



ABC del joven radiotécnico

V. G. Borisov

Prólogo a la edición en español

En nuestro país, es decir, en la Unión Soviética, se llama jóvenes radioaficionados a la enorme multitud de muchachos y muchachas que se interesan por los fundamentos de la radiotecnica y la electrónica, por la construcción de diversos aparatos y dispositivos radiotécnicos y por las aplicaciones deportivas de la radio. A ellos, alumnos de las escuelas de enseñanza media, miembros de los numerosos clubs y circuitos de radio organizados en aquéllas, en las Casas y Palacios de pioneros y escolares y en los centros de jóvenes técnicos, se dedicó este libro.

Su primera edición vio la luz en 1951 e inmediatamente se hizo popular entre niños y jóvenes. Durante los más de treinta años transcurridos desde entonces el libro se ha ido renovando y reeditando hasta seis veces, siendo siempre bien acogido por sus jóvenes lectores. En cada nueva reedición se han tenido en cuenta las novedades de la radioelectrónica y de su base elemental en desarrollo. En conjunto esta obra es la generalización de la experiencia adquirida en los círculos y clubs de jóvenes

radioaficionados, con los que el autor, gran entusiasta del movimiento de radio-afición juvenil mantiene permanente relación activa.

Esta edición, dedicada a los jóvenes de habla española ávidos de saber, es la séptima de el "ABC del joven radiotécnico", en ella se ha conservado la terminología, los símbolos gráficos convencionales, los nombres y los parámetros de los elementos de la radio adoptados por la literatura radiotécnica popular en la URSS. Esperamos que esto no alarme al lector, ya que la técnica de diseño de los circuitos en que se basan las descripciones que se dan aquí de los aparatos y dispositivos es internacional y, por lo tanto comprensible en todos los rincones de nuestro planeta. En cuanto a los instrumentos a semiconductores, resistores, condensadores y demás elementos de amplia utilización recomendados son, en principio, iguales en todos los países y, por consiguiente, intercambiables. En lo fundamental sólo difieren en la forma, lo que prácticamente no influye en los resultados finales de la creación de los radioaficionados. No obstante, la parte final del libro se consagra a indicar las posibles sustituciones de dichos elementos.

Tanto la editorial "MIR" como el autor esperan que en vuestro país el "ABC del joven radiotécnico" se haga tan popular como en el nuestro entre los escolares amantes de la radio.

Joven amigo:

Mi libro sólo es un abecedario que te ayudará a dar los primeros pasos hacia el conocimiento de la Gran radiotecnica y de su compañera de viaje, la electrónica. Pero en este corto tramo de camino hacia el fin deseado te esperan dificultades, que tendrás que vencer, y, cómo no, las alegrías de los éxitos.

Empezaré por darte a conocer algunos acontecimientos relacionados directamente con la historia de la radio, construiré y ajustaré receptores sencillitos, que nos servirán de ejemplo para comprender las verdades evidentes básicas de la electro y radiotecnica.

No te desanimes si en esta etapa te sientes tan pálido como cuando pisaste por primera vez el umbral de tu escuela. Pronto empezarás a estudiar y construir los instrumentos de medida sin los cuales es simplemente imposible asimilar aparatos de radio más complicados.

Luego...

Bueno, mejor será que no nos adelantemos. Todo a su debido tiempo. Ahora recuerda lo principal si quieres ser un radioaficionado de verdad, y no sólo de palabra, acumula conocimientos, experiencia, y aprende a ser perseverante, tenaz, en la persecución objetivos. No flaquees ante las dificultades. Sólo así se abrirá a tu deseo de saber el amplio cauce de las maravillas de la radiotecnica, irás sintiendo seguridad en tus fuerzas y ella te reportará la satisfacción de poder crear.

Te deseo los mejores éxitos en este empeño.

Charla 1

Orígenes de la radio

Contenido:

- §. Desde tiempos remotos
- §. Una ojeada al micromundo
- §. Conductores, no conductores y semiconductores
- §. Corriente eléctrica
- §. Electricidad y magnetismo, ¿qué relación hay entre ellos?
- §. La corriente alterna engendra ondas electromagnéticas
- §. Nacimiento de la radio

* * * *

El invento de este medio de comunicación inalámbrico fue lógica continuación y el desarrollo de la ciencia de la electricidad, cuyos orígenes se pierden en la noche de los tiempos. Pero en esta primera charla no pienso iniciarte en todos los descubrimientos, investigaciones y etapas de la aplicación práctica de los fenómenos magnéticos y eléctricos que constituyen la base de la radiotecnia. Eso sería demasiado largo e incluso aburrido para ti ahora. Solo te voy a hablar de la más importante, a mi parecer, de esta historia y de fenómenos principales de la naturaleza, sin cuyo conocimiento es imposible que puedas valorar y comprender ni siquiera el más sencillo de los aparatos radiotécnicos.

§. Desde tiempos remotos

El descubrimiento de los fenómenos eléctricos lo atribuye la leyenda a Tales de Mileto, el más sabio de los pensadores de la antigua Grecia, que vivió hace más de dos mil quinientos años.

Ya por aquellos años, en las cercanías de la antigua ciudad griega de Magnesia, encontraba la gente a orillas del mar piedrecitas que atraían objetos de hierro ligeros. Por el nombre del lugar en que se encontraban, a estas piedrecitas las llamaban "magnetis" (de aquí la palabra magnetismo).

Tales, sin embargo, encontró otras piedrecitas no menos misteriosas, bellas y livianas. Estas llamativas dádivas del mar no atraían, como la piedra imán, pedacitos de hierro, pero poseían una propiedad no menos interesante: si se frotaban con un trapo de lana atraían plumillas y trocitos pequeños de madera o de yerba seca. Estas piedrecitas traídas por las mareas y las olas del mar son las que ahora conocemos con el nombre de ámbar. Los antiguos griegos al ámbar le llamaban *élektron*. De aquí, mas tarde, se derivó el término electricidad.

Este interesante fenómeno de la naturaleza, llamado electrización de los cuerpos por frotamiento, puedes observarlo sin tener que ir a la playa a buscar trocitos de la resina petrificada de arboles fósiles que denominamos ámbar. Frota un peine de plástico con un trapo de lana y acércalo después a unos pedacitos de papel delgado (Figura 1.a): éstos serán atraídos inmediatamente por el peine electrizado y al cabo de cierto tiempo se separarán de él y caerán sobre la mesa.

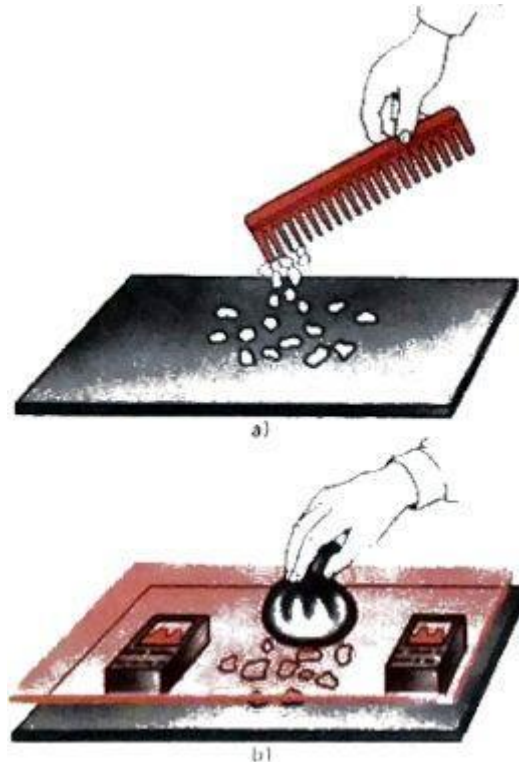


Figura 1. El peine electrizado atrae pelusas, cabellos y pedacitos de papel (a); debajo del vidrio que se electriza, los trocitos de papel "bailan" (b)

Acerca el peine electrizado a tus cabellos y verás como también son atraídos por él, hecho que a veces suele ir acompañado de desprendimiento de chispas, verdaderos rayos extraordinariamente diminutos.

Haz otro experimento. Pon sobre dos cajas de cerillas un vidrio limpio seco y debajo de él esos mismos trocitos de papel delgado. Frota con el trapo de lana plegado la cara superior del vidrio (Figura 1b). Veras como empiezan a saltar y bailar debajo de aquél, los pedacitos de papel. Aunque esto parezca un truco no tiene nada de misterioso: el peine y el vidrio frotados con el trapo de lana adquieren carga eléctrica y, en virtud de eso, de un modo semejante al imán, atraen los trocitos de papel, pelitos, etc.

Pero ni los antiguos griegos ni otros pensadores y filósofos pudieron en el transcurso de muchos siglos explicar esta propiedad del ámbar

y del vidrio. En el siglo XVII el científico alemán Otto Guericke consiguió hacer una máquina eléctrica que hacía saltar de una esfera de azufre fundido, frotada, grandes chispas cuyos "pinchazos" llegaban a producir dolor. No obstante, el secreto del "fluido eléctrico", como se llamaba entonces a este fenómeno eléctrico, tampoco fue descubierto entonces.

A mediados del siglo XVII en Holanda unos científicos de la universidad de Leyden hallaron el procedimiento de acumular las cargas eléctricas.

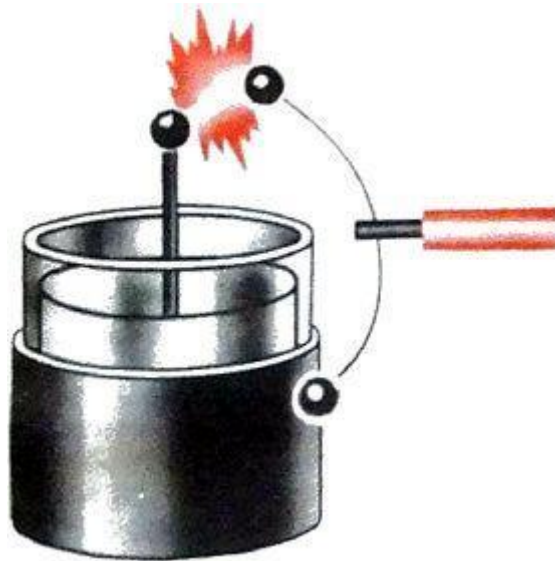


Figura 2. Botella de Leyden (condensador)

El condensador de electricidad o "botella de Leyden" era un recipiente de vidrio a cuyas paredes se pegaban por fuera y por dentro hojas de papel de plomo (Figura 2).

La botella de Leyden, con sus armaduras conectadas a una máquina eléctrica, podía acumular y conservar durante mucho tiempo una cantidad de electricidad bastante grande.

Sí sus armaduras se unían entre sí por medio de un trozo de alambre grueso, en el punto de contacto saltaba una fuerte chispa y la carga eléctrica acumulada desaparecía instantáneamente.

En cambio, si las armaduras del aparato cargado se unían con un alambre delgado, éste se calentaba rápidamente, se inflamaba y se fundía. De esto sólo podía sacarse una conclusión: por el alambre pasaba corriente eléctrica cuya fuente era la botella de Leyden cargada eléctricamente.

Ahora a estos aparatos se les da el nombre de condensadores eléctricos y a sus hojas metálicas planas, separadas entre sí, el de armaduras de los condensadores.

Una fuente más moderna y, lo que es más importante, casi constante, de corriente eléctrica es la inventada a finales del siglo XVIII por el físico italiano Alessandro Volta. Entre unos discos no muy grandes de cobre y zinc colocó un paño mojado en una solución ácida (Figura 3).

Mientras el paño conservaba la humedad entre los discos y la solución, se producía una reacción química que creaba en el conductor, que unía los discos, una débil corriente eléctrica.

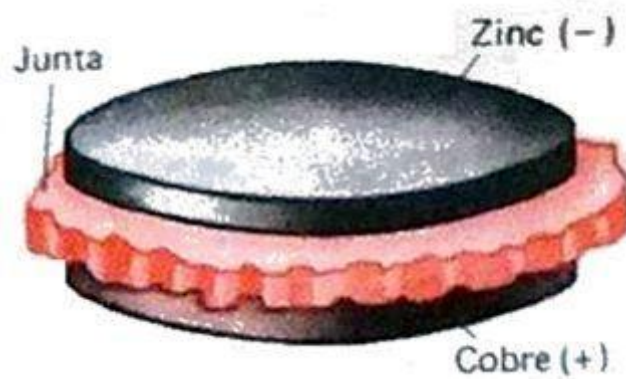


Figura 3. Pila de Volta

Formando una batería de pares de discos se podía obtener una corriente mucho mayor. Estas baterías se llamaron "pilas de Volta". Con ellas dio comienzo la electrotecnia.

En honor de Luigi Galvani, descubridor del fenómeno de la corriente eléctrica, estas fuentes de corriente se llaman también elementos galvánicos, y los elementos conectados en paralelo o en serie, baterías de elementos galvánicos.

La práctica ha demostrado que existen dos clases de electricidad. Una de ellas, correspondiente a la carga eléctrica de la lámina de cobre, se empezó a considerar convencionalmente positiva, y la otra, correspondiente a la carga de la lámina de zinc, negativa. De acuerdo con esto, la primera lámina comenzó a llamarse polo positivo de la fuente de corriente y a designarse por "+" y la segunda, polo negativo y a designarse por "-", También convencionalmente se empezó a suponer que la corriente va del polo positivo del elemento o batería al negativo.

Aquí me veo obligado a adelantarme un poco para poder responder a una pregunta que quizá ya te hayas hecho: ¿qué es la corriente eléctrica?

§. Una ojeada al micromundo

La corriente eléctrica es el movimiento ordenado de las cargas eléctricas. Para comprender este fenómeno de la naturaleza tendremos que penetrar mentalmente en el micro-mundo de la sustancia.

Se llama sustancia o materia todo aquello de que están formados todos los objetos o cuerpos que existen en la naturaleza: sólidos, líquidos y gaseosos. Éstos están constituidos por átomos. Los átomos son extraordinariamente pequeños. El milímetro, como unidad de longitud, no sirve para medirlos: es demasiado grande. Tampoco sirven para estas mediciones la micra, o milésima parte del milímetro, ni la milimicra, milésima parte de la micra. Sólo es utilizable la décima de milimicra. Los diámetros de los átomos de las distintas sustancias miden de 0,1 a 0,4 nm ($0,1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$). En otras palabras, en un segmento cuya longitud sea de 1 cm pueden caber libremente, de 25 a 100 millones de átomos.

En tiempos pasados se supuso que el átomo era la partícula más pequeña, indivisible, de la sustancia. La palabra "átomo" significa en griego "indivisible". Pero más tarde descubrieron los científicos que el átomo está formado por partículas más pequeñas. En el centro del átomo de toda sustancia hay un núcleo cuyas dimensiones son aproximadamente 100 mil veces menores que las del propio átomo. Después se supo que el núcleo también está constituido por partículas aún menores, llamadas protones y neutrones. En la actualidad los científicos han aprendido a destruir o, mejor dicho, desintegrar los núcleos de los átomos y obtener la enorme energía que ellos encierran, la energía atómica. En las centrales nucleoelectricas esta energía se transforma en energía de la corriente eléctrica. La energía atómica se utiliza también para mover buques, por ejemplo, rompehielos y submarinos.

El átomo se puede representar como un mundo de partículas microscópicas que giran alrededor de su eje y una en torno a otra. En el centro de este micromundo se encuentra el denso y pesado núcleo, alrededor del cual giran partículas muchísimo menores que él, llamadas electrones. Los electrones forman la envoltura del átomo.

¿Qué tamaño tienen los electrones? Extraordinariamente pequeño. Si la cabeza de un alfiler se agrandara mentalmente hasta tener las dimensiones de la Tierra, cada átomo del metal de que está hecho el alfiler tendría las dimensiones de una esfera de 1 m de diámetro. En el centro de este átomo tan fantásticamente aumentado, veríamos su

núcleo, una esferita del tamaño de un punto de imprenta, y alrededor de él girarían unas partículas apenas perceptibles, los electrones.

Si quieres saber el tamaño de un electrón, divide el número 3 por la unidad seguida de 12 ceros. Obtendrás el diámetro aproximado del electrón, expresado en milímetros.

Los electrones suele decirse que son "partículas". Pero esto no debe entenderse en el sentido de que el electrón sea una especie de bolita o esferita sólida. De acuerdo con las ideas modernas, los electrones pueden compararse con nubes que rodean el núcleo del átomo y que giran en torno a él. El electrón está como "difuminado" en la envoltura del átomo. No obstante, para hacer más clara la explicación de los fenómenos físicos de la naturaleza, los electrones suelen representarse convencional o simbólicamente en las figuras en forma de esferitas que giran alrededor del núcleo del átomo lo mismo que los satélites artificiales de la Tierra giran en torno a ésta.

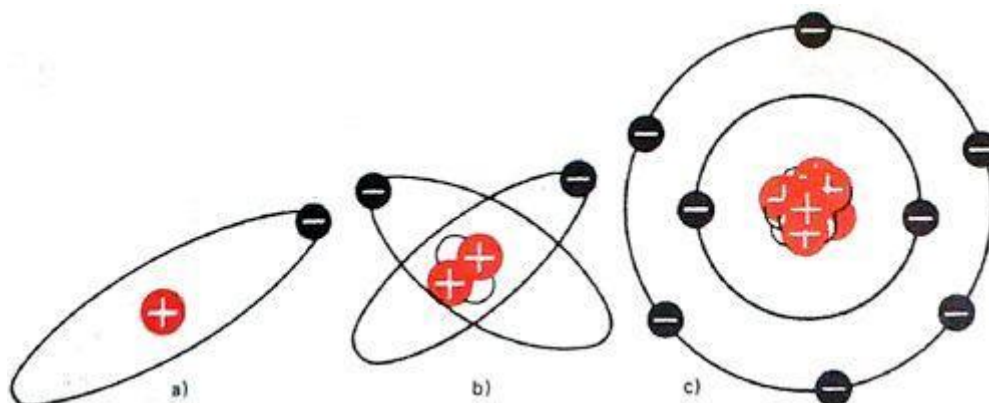


Figura 4. Estructura esquemática del átomo de hidrógeno (a), helio (b) y oxígeno (c). Las órbitas de los electrones se han representado en un plano.

Nosotros nos atendremos a esta representación.

En el átomo de cada elemento químico el número de electrones está rigurosamente determinado, pero no es igual para elementos químicos diferentes.

La estructura más simple es la del átomo del gas hidrógeno, cuya envoltura sólo tiene un electrón (Figura 4.a). La envoltura del átomo de helio (con este gas se llenan los tubos de los anuncios luminosos que emiten luz roja) tiene dos electrones (Figura 4.b). Los átomos de los otros elementos químicos tienen más electrones y sus envolturas son de varias capas. El átomo de oxígeno, por ejemplo, tiene ocho electrones situados en dos capas: en la primera capa, interna, más próxima al núcleo, se mueven dos electrones, y en la segunda, exterior, seis (Figura 4.c) Cada átomo de hierro tiene 26 electrones y

cada átomo de cobre, 29. Un los átomos de hierro y de cobre las envolturas electrónicas son de cuatro capas: la primera tiene dos electrones, la segunda y la tercera, ocho cada una, y todos los demás electrones se encuentran en la capa exterior, es decir, en la cuarta.

Los electrones que están en la capa exterior de la envoltura se llaman electrones de valencia. Acuérdate: *de valencia*. De estos electrones hablaremos más de una vez sobre todo al tratar de los semiconductores.

El número de electrones que hay en los átomos de las distintas sustancias puedes saberlo consultando la tabla (sistema periódico) de los elementos químicos construida por el gran científico ruso Dmitri Mendeléiev. Esta tabla la hay en los gabinetes de física y química de todas las escuelas. Por ahora conviene recordar que el número de protones del núcleo atómico es siempre igual al número de electrones que debe haber en la envoltura electrónica del átomo de la sustancia dada. Cada protón del núcleo atómico es portador de carga eléctrica positiva (+), y cada electrón de la envoltura del átomo, portador de una carga negativa (-) igual a la carga del protón. Los neutrones que entran en la composición del núcleo atómico no portan carga alguna.

Tú, como es natural, te habrás entretenido alguna vez con imán en herradura. El fenómeno de la atracción por él de los objetos de hierro sólo puede explicarse por la existencia de un campo magnético invisible que penetra el espacio que rodea sus polos. En virtud de este campo se puede conseguir, por ejemplo, que un clavo se mantenga vertical sobre la mesa sin tocarlo con el imán. ¿Y si probáramos a juntar dos imanes por sus polos de un mismo signo? ¡Se repelerán! ¿Y si los juntamos por los polos de signos opuestos? En este caso los polos de los imanes se pegarán uno a otro. De un modo semejante se comportan las cargas eléctricas: las cargas de igual signo se repelen y las de signos contrarios se atraen.

Si los electrones tienen carga de signo contrario a la carga de los protones, entre ellos actúan constantemente en el átomo fuerzas eléctricas que mantienen los electrones junto a su núcleo.

“¿Y por qué los electrones no caen en el núcleo?” me preguntarás. Porque giran alrededor de él con una velocidad enorme. La Luna tampoco cae sobre la Tierra, a pesar de que ésta atrae a su eterno satélite.

En el átomo la suma de las cargas negativas de todos los electrones es igual a la suma de las cargas positivas de todos los protones, por eso exteriormente el átomo no pone de manifiesto propiedades eléctricas algunas. De este átomo se dice que es eléctricamente

neutro. Esta propiedad intraatómica puede compararse con el fenómeno siguiente: si en los dos platillos de una balanza se pone igual número de monedas del mismo valor, la balanza estará en equilibrio. Los electrones de valencia, que son los que están más lejos del núcleo, son retenidos por éste con menos fuerza que los más próximos a él. Por la acción de algunas influencias exteriores, por ejemplo, calentamiento, frotamiento o incidencia de luz, los electrones de valencia de ciertas sustancias pueden abandonar sus átomos e incluso los límites de los cuerpos en que se encuentran. Estos electrones que han abandonado sus átomos se llaman *libres*.

¿Y qué ocurre con el átomo que ha perdido uno o varios electrones? Su equilibrio eléctrico interno se altera. En el átomo empieza a predominar la carga positiva del núcleo y el átomo en conjunto se hace positivo. Este átomo recibe el nombre de *ion positivo*. En estas condiciones, él, como un imán, tiende a atraer hacia sí los electrones libres más próximos o a "arrancarlos" de los átomos vecinos para llenar los huecos y volver a ser eléctricamente neutro. ¿Y si en la envoltura electrónica del átomo aparece un electrón de más? Este átomo pondrá de manifiesto las propiedades de la carga negativa. Será, pues, un *ion negativo*. En la primera oportunidad que tenga expulsará al electrón excedente y de nuevo se convertirá en eléctricamente neutro.

Los átomos "parientes" o los de elementos químicos distintos, al juntarse, forman moléculas. El hidrógeno, por ejemplo, está formado de ordinario por moléculas, en cada una de las cuales entran dos átomos de hidrógeno. En este caso las envolturas electrónicas de ambos átomos se confunden (Figura 5). En esta molécula los dos electrones se mueven alrededor de dos núcleos atómicos. Aquí es ya imposible distinguir cuál de los electrones pertenece a cada átomo. Si dos átomos de hidrógeno se, unen con un átomo de oxígeno se obtiene una molécula de agua. Todos los cuerpos se construyen sobre la base de las moléculas. El papel en que está impreso este libro, por ejemplo, está "tejido" de moléculas de celulosa, en las cuales entran átomos de hidrógeno, de oxígeno y de carbono.

La molécula, como el átomo, es eléctricamente neutra si en ella el número total de electrones es igual al número total de protones que hay en sus núcleos atómicos.



Figura 5. Cuando dos átomos de hidrógeno se unen en una molécula, sus envolturas electrónicas se confunden

Si el número de electrones que hay en la molécula es menor que el de protones, la molécula será portadora de carga positiva, y si es mayor que el de protones, su carga será negativa. Si por un procedimiento cualquiera parte de los electrones de los átomos o moléculas de un cuerpo se traslada a otro, alrededor de dichos cuerpos y en el espacio entre ellos surgen fuerzas eléctricas o, como suele decirse, se crea un campo eléctrico.

Ahí tienes la explicación del “secreto” del peine frotado con el trapo de lana o de seda. Al ser frotado con la lana, el peine cede a ella, parte de sus cargas eléctricas y como resultado él mismo se electriza. Alrededor del peine electrizado surge un campo eléctrico y, como consecuencia, él adquiere la propiedad de atraer objetos livianos. El campo eléctrico actúa también entre las dos partes de un mismo cuerpo, por ejemplo, en un trozo de metal, si en una de sus partes hay exceso de electrones y en la otra deficiencia de ellos, se crean las condiciones para que los electrones sobrantes en la primera se trasladen a la segunda.

La carga eléctrica de un electrón es insignificante. Pero si los electrones son muchos y puede hacerse que se muevan dentro del cuerpo hacia una parte, se origina una corriente de cargas negativas, resultando lo que se llama corriente eléctrica.

§. Conductores, no conductores y semiconductores

No en todo cuerpo se dan las condiciones para que pase la corriente eléctrica. Esto se debe a que las propiedades de los átomos y las moléculas de distintas sustancias no son iguales. En los metales, por ejemplo, los electrones abandonan con facilidad las envolturas y se mueven desordenadamente, caóticamente, entre los átomos. En los metales hay muchos electrones libres. En esencia, los metales están formados por iones positivos dispuestos en un orden determinado, entre los cuales queda un espacio totalmente ocupado por electrones libres (Figura 6).

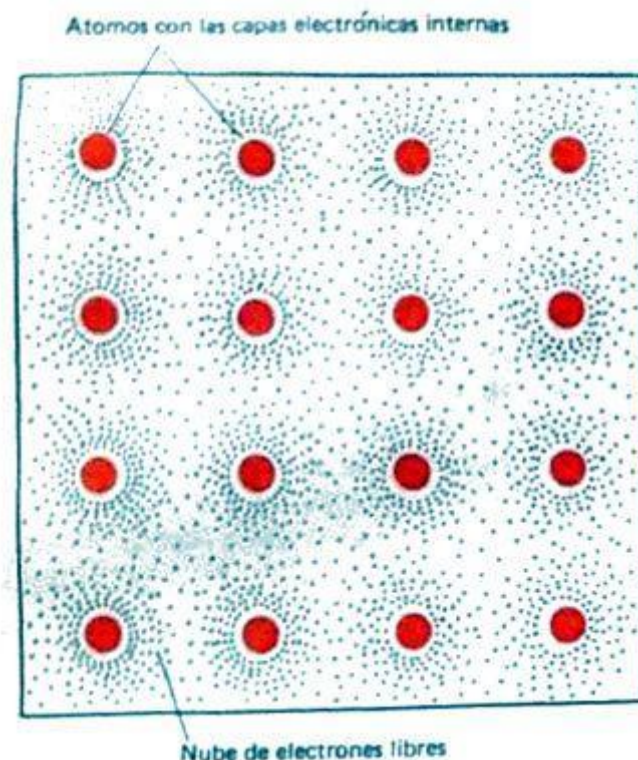


Figura 6. En un metal el espacio entre los átomos está ocupado totalmente por electrones libres

En un metal es imposible distinguir qué electrón pertenece a cuál de los átomos, los electrones se confunden en una "nube" electrónica única. La enorme cantidad de electrones libres que hay en los metales crea en ellos las condiciones más favorables para la corriente eléctrica. Sólo hace falta ordenar el movimiento caótico de los electrones, es decir, hacer que se muevan en una dirección.

En algunos cuerpos y sustancias casi no hay electrones libres, ya que éstos son fuertemente retenidos por los núcleos. A las moléculas y los átomos de estos cuerpos es difícil "quitarles" o "añadirles" electrones. En estos cuerpos no es posible crear corriente eléctrica.

Los cuerpos y las sustancias en que es posible crear corriente eléctrica se llaman *conductores*, y aquéllos en los cuales es imposible crearla, *dieléctricos* o no conductores de comente. A los conductores, además de los metales, pertenecen el carbón, las soluciones salinas, los ácidos, los álcalis, los organismos vivos y otros muchos cuerpos y sustancias. En las soluciones salinas la corriente eléctrica la crean no sólo los electrones, sino también los iones positivos. Son dieléctricos el aire, el vidrio, la parafina, la mica, las lacas, la porcelana, la goma, los plásticos, diversas resinas, los líquidos oleosos, la madera seca, los tejidos secos, el papel y otras sustancias. De porcelana, por ejemplo, se hacen los aisladores para los tendidos eléctricos: las lacas se utilizan para recubrir los conductores y aislarlos entre si y de otros objetos.

Hay también un gran grupo de sustancias llamadas *semiconductoras*. A éstas pertenecen en particular, el germanio y el silicio. Por su conductibilidad eléctrica, los semiconductores ocupan un lugar intermedio entre los conductores y los no conductores. Estas sustancias, consideradas antes como inservibles para fines prácticos, son ahora el material básico para fabricar los modernos dispositivos a semiconductores, por ejemplo, los transistores con los cuales estará relacionada una gran parte de tu creación.

§. Corriente eléctrica

¿Qué hacer para que la abundante cantidad de electrones libres se mueva ordenadamente en una dirección, por ejemplo, en el filamento de una lámpara eléctrica? Hay que crear en el conductor un campo eléctrico, conectándolo a una pila o a una batería de elementos galvánicos.

La estructura del elemento voltaico más simple, que es una fuente química de corriente, se muestra en la Figura 7. La pila consta de una lámina de zinc y otra de cobre, llamadas electrodos, sumergidas en electrólito o solución de una sal o de un ácido, por ejemplo, el sulfúrico. Como resultado de la reacción química entre los electrodos y el electrólito, en el electrodo de zinc se origina un exceso de electrones y adquiere carga negativa, y en el de cobre, al contrario, se produce una deficiencia de electrones y adquiere carga positiva. Al ocurrir esto, entre las cargas de signos opuestos de esta fuente de corriente surge un campo eléctrico y actúa una fuerza electromotriz (en abreviatura f.e.m.) o tensión. De la diferencia entre f.e.m. y tensión te hablaré más adelante, durante nuestra excursión a la electrotecnia.

Ya sabes que los polos de las pilas y de las baterías se designan por "+" y por "-". Estos signos los habrás visto, por ejemplo, en las láminas de hojalata que hacen de bornes de las pilas que sirven para alimentar la lamparita de las linternas de bolsillo. Estas pilas también están formadas por elementos galvánicos, sólo que éstos no son húmedos, como el que muestra la Figura 7, sino secos. Cada pila tiene tres elementos.

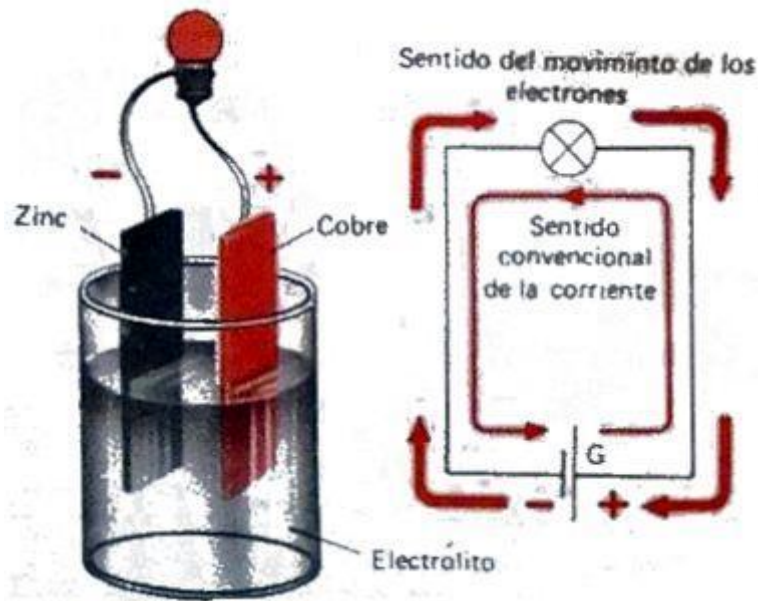


Figura 7. Estructura de la pila de Volta más simple y representación esquemática del circuito eléctrico cerrado

Varios elementos o pilas unidos entre sí para formar una fuente única de corriente reciben el nombre de batería.

Acuérdate de esto:

en los esquemas, el polo negativo de una pila o batería se acostumbra representar por una recta corta. El positivo por una cruz.

En cuanto un conductor se conecta a los polos de una pila o batería, en él surge un campo eléctrico bajo cuya acción los electrones como por un puente tendido sobre un barranco, se moverán hacia donde faltan, es decir, del polo negativo, a través del conductor, al polo positivo de la fuente de energía eléctrica. En esto consiste el movimiento ordenado de los electrones en el conductor o sea, la corriente eléctrica. La corriente pasa por el conductor porque en el circuito que se forma (polo positivo de la pila, conductor, polo negativo y electrolito) actúa una fuerza electromotriz. Este simplísimo circuito eléctrico se puede dividir en dos partes fundamentales: una exterior y otra interior. A la parte exterior del circuito pertenece todo lo que se conecta a los polos de la fuente de corriente (en la Figura 7, la lámpara de incandescencia y los conductores de conexión), y a la interior, la parte del circuito comprendida dentro de la propia fuente de corriente.

Acuérdate de esto: para que exista corriente en un circuito eléctrico es condición indispensable que dicho circuito esté cerrado.

A dos cuerpos aislados se les pueden comunicar cargas de signos distintos, por ejemplo, a dos bolitas pendientes de hilos de seda. En

este caso las bolitas se atraerán pero entre ellas no pasará corriente, porque están separadas por un dieléctrico, el aire.

Ha quedado establecido que los electrones se mueven en el conductor del polo negativo (en el que hay exceso de ellos) al positivo (en el que hay deficiencia), pero ahora, lo mismo que en el siglo pasado, se acostumbra considerar que la corriente va del más al menos, es decir, en sentido contrario al del movimiento de los electrones. Tú me puedes preguntar: ¿y por qué no se rompe ahora esta tradición? Porque para eso habría que rehacer todos los libros de texto y toda la literatura técnica relacionada directa o indirectamente con la electrotecnia y la radiotecnia. Además, este sentido convencional de la corriente ha sido tomado por los científicos como base para una serie de reglas para determinar muchos fenómenos eléctricos. Por otra parte, esta convencionalidad no crea dificultad alguna si se recuerda con firmeza que el sentido de la corriente en el conductor es inverso al del movimiento de los electrones. En aquellos casos en que la corriente la crean las cargas eléctricas positivas, como, por ejemplo, en los electrólitos de las fuentes químicas de corriente continua o en la corriente por "huecos" en los semiconductores (sobre esto se hablara en la sexta charla), dicha contradicción no existe, puesto que el sentido del movimiento de las cargas positivas coincide con el sentido de la corriente.

Mientras que una pila o batería funciona, en la parte exterior del circuito eléctrico pasa corriente en un mismo sentido. Esta corriente se llama continua y se simboliza por la letra latina I . La corriente continua se puede representar gráficamente como muestra la Figura 8.

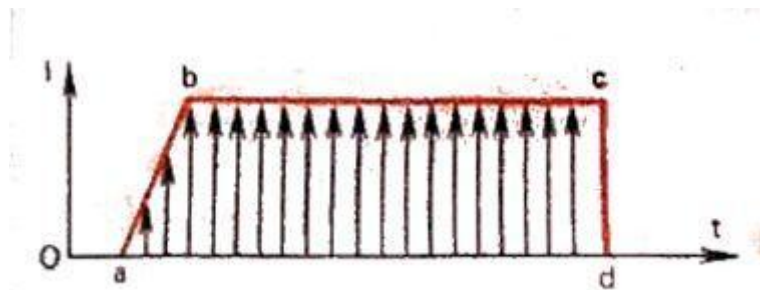


Figura 8. Representación gráfica de la corriente continua.

El punto de intersección O de los ejes horizontal y vertical sirve de referencia para representar gráficamente el tiempo t y el valor cuantitativo de la corriente en el circuito eléctrico.

¿Qué nos puede decir esta gráfica? Que al principio (durante el tiempo 0 , a) por el circuito no pasa corriente (la corriente era nula), ya que la parte exterior del circuito no estaba conectada a la fuente

de corriente. La corriente se produjo cuando se cerró el circuito (punto a). Creció rápidamente hasta cierto valor (punto b) y no varió más mientras el circuito estuvo cerrado (hasta el punto c). Cuando se abrió el circuito, la corriente se interrumpió en el acto (punto d). Si el circuito eléctrico volviera a cerrarse, por él volverla a pasar corriente. Así es, poco más o menos, la gráfica de la corriente que pasa por la lamparita de incandescencia de una linterna de bolsillo cuando se conecta por un corto intervalo de tiempo.

A través de los conductores de conexión y del filamento de la lamparita de incandescencia representados en la Figura 7, los electrones se mueven de izquierda a derecha, del menos al más. Pero si los polos de la pila se cambian de sitio entre sí, los electrones pasarán de derecha a izquierda en el mismo trozo exterior de circuito, puesto que en este caso el menos se encuentra en el extremo derecho del trozo de circuito y el más, en el izquierdo. Habrá variado el sentido del movimiento de los electrones pero la corriente también ahora será continua.

¿Y si los polos de la fuente cambian de sitio entre sí rítmicamente muy de prisa? En este caso en la parte exterior del circuito los electrones también cambiarán alternativamente el sentido en que se mueven. Al principio pasarán en un sentido, después, cuando los polos se intercambien, lo harán en el otro, opuesto al anterior, luego otra vez en el sentido directo y de nuevo en el inverso y así sucesivamente. Por el circuito exterior no pasara ya corriente continua, sino alterna.

Acuérdate de esto:

por los conductores de la red de alumbrado eléctrico la corriente es alterna y no continua como en el circuito de la linterna de bolsillo.

Esta corriente se produce en unas máquinas llamadas generadores de corriente alterna o alternadores. Los signos de las cargas eléctricas en los polos de los alternadores cambian continuamente, pero no a saltos como en nuestro ejemplo, sino suavemente. La carga del polo del generador que en cierto instante fue positiva, empieza a disminuir y al cabo de una fracción de segundo se convierte en negativa: la carga negativa crece al principio, después comienza a disminuir hasta que vuelve a hacerse positiva y así sucesivamente. Al mismo tiempo cambia de signo la carga del otro polo. Con esto la tensión y el valor de la corriente en el circuito eléctrico también cambian periódicamente.

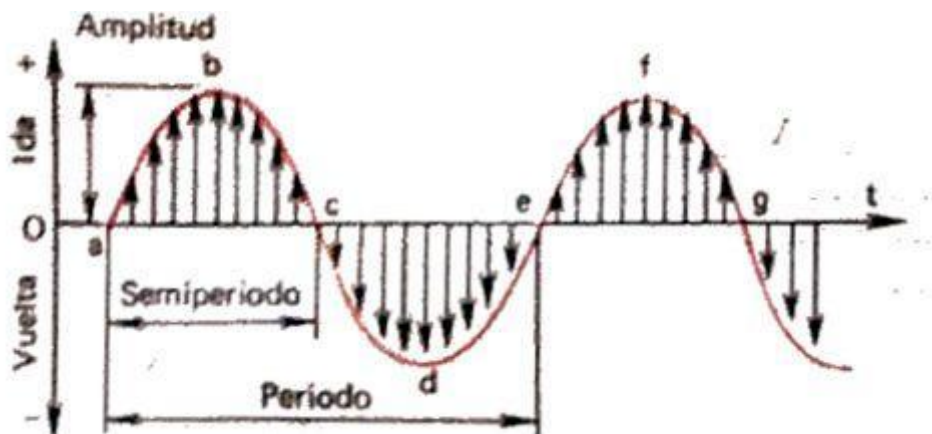


Figura 9. Representación gráfica de la corriente alterna

La corriente alterna se representa gráficamente como la línea ondulada senoide que se muestra en la Figura 9. Aquí el eje vertical con la flechita dirigida hacia arriba, indica un sentido de la corriente, al que yo llamo "de ida", y con la flechita dirigida hacia abajo, el otro sentido de la corriente, inverso al primero.

¿Qué puede decirnos esta gráfica? Que la corriente surge en el circuito en el instante señalado en la gráfica con el punto a. Aumenta suavemente y pasa en un sentido, el "de ida", hasta llegar al valor máximo (punto b), y disminuye, también suavemente, hasta cero (punto c). La corriente después de desaparecer por un instante, vuelve a surgir, a crecer suavemente y a pasar por el circuito, pero en sentido contrario, "de vuelta". Una vez que alcanza el valor máximo (punto d), disminuye de nuevo hasta cero (punto e). Y seguidamente, aumentando y disminuyendo alternativamente, la corriente cambia de sentido y valor durante todo el tiempo.

Con la corriente alterna los electrones se mueven en el conductor como si oscilaran de un lado al otro. Por eso la corriente alterna se llama también oscilaciones o vibraciones eléctricas. Una oscilación completa de la corriente se acostumbra definir como el movimiento ordenado de los electrones en el conductor correspondiente a la parte de la gráfica comprendida entre los puntos a y e o entre los b y g (Figura 9). El tiempo durante el cual se realiza una oscilación completa se llama *Periodo*, el que tarda en efectuarse media oscilación, *semiperiodo*, y el valor máximo de la corriente en cada semiperiodo, *amplitud*.

La corriente alterna se diferencia ventajosamente de la continua en que es fácil de transformar. Así, por ejemplo, por medio de un dispositivo especial, llamado transformador, puede elevarse o reducirse la tensión de la corriente. La corriente alterna puede también rectificarse, es decir, transformarse en corriente continua.

Estas propiedades de la corriente alterna las vas a utilizar mucho en tu práctica de radioaficionado.

Todo lo que acabo de decirte lo saben todos los alumnos de los últimos grados de la escuela secundaria y, como es natural, todos los aficionados a la radio. Tú le sirves de los bienes que proporciona la electricidad, y a veces incluso los malgastas, sin pensar que hace tan sólo unos 100 años los científicos apenas empezaban a tantear las vías de aplicación práctica de esta generosa dádiva de la naturaleza.

§. Electricidad y magnetismo: ¿qué relación hay entre ellos?

La relación directa entre la electricidad y el magnetismo fue descubierta en 1819 por el profesor de física danés Hans Oersted. Haciendo experimentos, este científico descubrió que cada vez que él conectaba la corriente, una aguja magnética que estaba cerca del conductor con corriente giraba y tendía a orientarse perpendicularmente al conductor, y cuando la desconectaba, la aguja magnética retornaba a su posición inicial. El científico llegó a la conclusión siguiente: alrededor del conductor con corriente surge un campo magnético que actúa sobre la aguja magnética.

Tú puedes comprobar esto haciendo un experimento semejante. Para eso necesitas: una batería de elementos voltaicos, por ejemplo, la 3336A una lamparita de incandescencia de linterna de bolsillo, un alambre de cobre de 0.2 ... 0.3 mm de diámetro, con aislamiento de esmalte, algodón o seda, y una brújula. Con unos trozos de alambre, después de quitar el aislamiento de sus extremos, conecta la lamparita a la batería. La lamparita se encenderá porque se ha formado un circuito eléctrico. En este caso la batería es la fuente de alimentación del circuito. Acerca uno de los conductores de conexión a la brújula (Figura 10) y verás que su aguja magnética se coloca inmediatamente en dirección transversal al conductor. La aguja indica la dirección de las líneas de fuerza magnéticas, circulares, engendradas por la corriente.



Figura 10. Cuando cambia la dirección de la corriente en el conductor cambia también la dirección de las líneas del campo magnético.

El campo magnético de dicha corriente tendrá su intensidad máxima junto al conductor mismo. A medida que aumenta la distancia al conductor el campo magnético se va dispersando y debilitando.

¿Y si se invierte el sentido de la corriente en el conductor, cambiando entre sí los extremos que se conectan a la batería? En este caso varía también el sentido de las líneas de fuerza magnéticas y la aguja se vuelve hacia el otro lado. Es decir, el sentido de las líneas de fuerza del campo magnético excitado por la corriente depende del sentido de ésta en el conductor.

¿Qué papel desempeña en estos experimentos la lamparita? El de indicar que por el circuito pasa corriente. También limita la corriente en el circuito. Si a la batería sólo se conectara el conductor, el campo magnético de la corriente sería más intenso, pero la batería se descargaría pronto.

Si por el conductor pasa corriente continua de valor constante, su campo magnético tampoco variará. Pero si la corriente disminuye, su campo magnético se debilitará; si la corriente aumenta, se intensificará, y si la corriente desaparece, el campo magnético también desaparecerá. Es decir, la corriente y su campo magnético son inseparables y su dependencia es mutua.

El campo magnético de una corriente es fácil de intensificar arrollando en forma de bobina el conductor con corriente. Las líneas de fuerza del campo magnético de semejante bobina se pueden condensar introduciendo en ella un clavo o una varilla de hierro. Esta bobina con núcleo es un electroimán capaz de atraer objetos de hierro relativamente pesados (Figura 11).

Esta propiedad de la corriente se utiliza en muchos aparatos eléctricos.

¿Y si la aguja magnética se acerca a un conductor con corriente alterna? En este caso la aguja no se moverá incluso si el conductor se enrolla en forma de bobina. ¿Significa esto que alrededor del conductor con corriente alterna no existe campo magnético? No. El campo magnético existe, pero también es alterno. La aguja no se desvía por culpa de la inercia, es decir, porque no tiene tiempo de reaccionar a las rápidas variaciones del campo magnético.

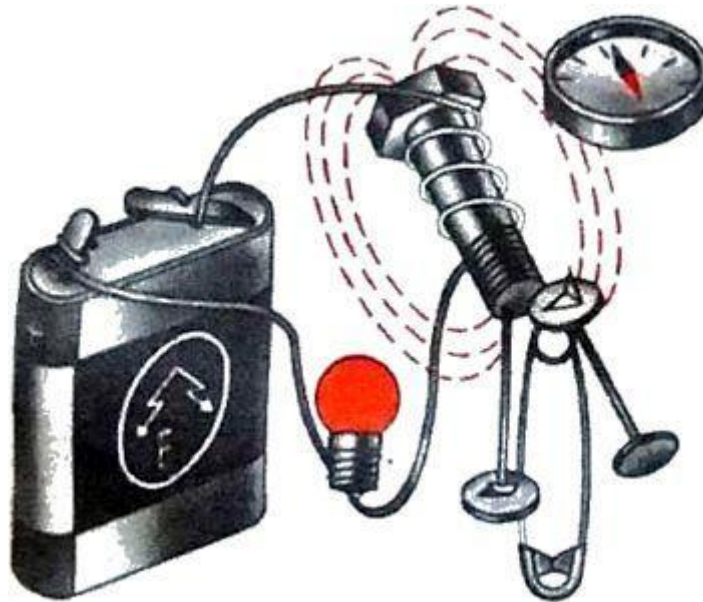


Figura 11. Un conductor con corriente arrollado en forma de bobina se convierte en un electroimán

El primer electroimán, cuyos rasgos fundamentales se conservan en muchos aparatos eléctricos modernos, entre ellos los relés electromagnéticos y los radiadores de los auriculares, fue inventado por el científico inglés Sturgeon en 1821. Dos decenios más tarde el físico francés Andrés Ampère hizo un nuevo descubrimiento de extraordinaria importancia en aquel tiempo. Por vía experimental estableció que dos conductores paralelos, por los cuales pase corriente, son capaces de realizar trabajo mecánico: si la corriente pasa por ambos conductores en el mismo sentido, éstos se atraen, y si pasa en sentidos opuestos, se repelen.

¿Sabes por qué ocurre esto? En el primer caso, cuando el sentido de la corriente es el mismo en ambos conductores, sus campos magnéticos también tienen el mismo sentido, de manera que se concentran en un campo único y arrastran consigo a los conductores. En el segundo caso los campos magnéticos alrededor de los conductores tienen sentidos opuestos, se repelen y, por consiguiente, hacen que se separen los conductores.

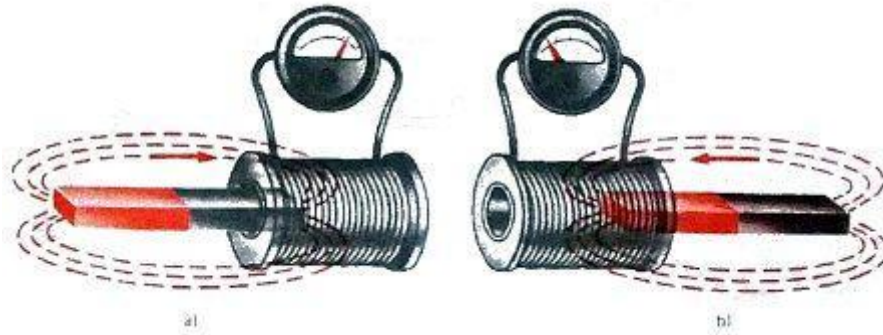


Figura 12. La energía del campo magnético crea el movimiento de electrones, es decir, corriente eléctrica.

En la primera mitad del siglo pasado hizo una aportación valerosísima a la ciencia el físico autodidacta inglés M. Faraday. Estudiando la relación entre la corriente eléctrica y el magnetismo, descubrió el fenómeno de *la inducción electromagnética*. Su esencia consiste en lo siguiente. Si dentro de una bobina de alambre aislado se introduce rápidamente un imán, la aguja indicadora de un aparato eléctrico de medida conectada a los extremos de la bobina se desvía por un instante del cero de la escala del aparato (Figura 12a). Moviendo con igual rapidez el imán dentro de la bobina, pero en sentido opuesto, la aguja del aparato también se desviará rápidamente en sentido contrario al de antes (Figura 12b) y retornará después a la posición inicial. De esto puede sacarse una conclusión: el campo magnético atraviesa el conductor y excita (induce) en él un movimiento de electrones libres, es decir, corriente eléctrica. También se puede proceder de otra forma: desplazando no el imán dentro de la bobina, sino la bobina a lo largo del imán en reposo. El resultado será el mismo. El imán puede sustituirse por una bobina por la cual pase corriente continua. El campo magnético de esta bobina, producido por la corriente, al atravesar las espiras de la segunda bobina también excitará en ella una fuerza electromotriz y creará en el circuito corriente eléctrica.

El fenómeno de la inducción electromagnética sirve de base al funcionamiento del generador de corriente alterna, que consiste en una bobina de alambre conductor que gira entre los polos de un potente imán o electroimán (en la Figura 13 la bobina se muestra en forma de una sola espira rectangular de alambre conductor). Al girar, la bobina corta las líneas de fuerza del campo magnético y en ella se induce (produce) corriente eléctrica.

En 1837 el académico ruso Boris Yakobi descubrió un fenómeno cuya acción es inversa a la del generador de corriente. Este científico, haciendo pasar corriente eléctrica por una bobina situada dentro de un campo magnético, observó que ésta empezaba a girar. Éste fue el primer motor electromagnético del mundo.

Faraday, descubridor de la ley de la inducción electromagnética, hizo experimental- mente otro descubrimiento muy importante, la posibilidad de transmitir la corriente alterna de una bobina a otra separada de la primera sin que entre ellas hubiera contacto eléctrico directo alguno. La esencia de este fenómeno consiste en que una corriente alterna o intermitente (pulsante) al pasar por una bobina se transforma en campo magnético alterno que atraviesa las espiras de la segunda bobina y con esto excita en ella una f.e.m. alterna. En esto se basa el magnífico aparato llamado transformador, que desempeña un papel muy importante en la electrónica y radiotecnia.

§. La corriente alterna engendra ondas electromagnéticas

Los experimentos de Michael Faraday y de su compatriota y continuador Clerk Maxwell condujeron a los científicos a la conclusión de que el campo magnético alterno, generado por una corriente continuamente variable, crea en el espacio circundante un campo eléctrico, el cual, a su vez, excita un campo magnético, este nuevo campo magnético excita otro eléctrico y así sucesivamente. Los campos magnético y eléctrico mutuamente relacionados, que se crean el uno al otro, forman un único campo electromagnético alterno que continuamente, como si se separara y alejara del punto en que fue excitado, se propaga por todo el espacio circundante con la velocidad de la luz igual a 300.000 km/s.

El fenómeno de la excitación de un campo electromagnético por la corriente alterna se llama *radiación de oscilaciones electromagnéticas* o *radiación de ondas electromagnéticas*.

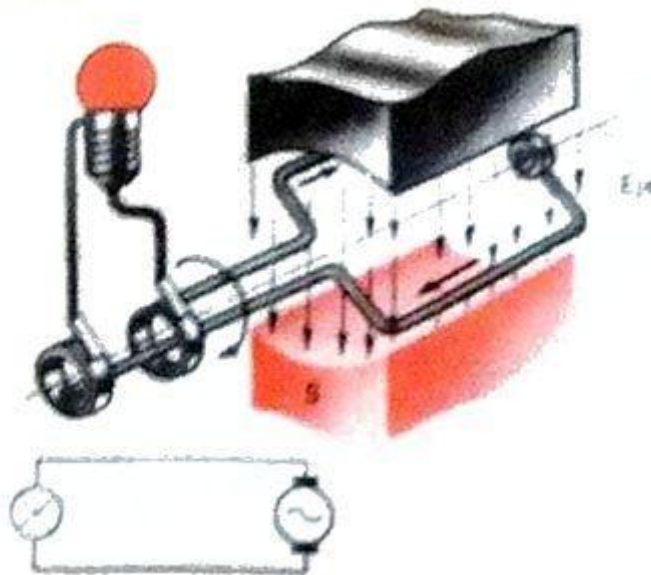


Figura 13. Esquema de un generador de corriente alterna

Sí éstas encuentran en su camino conductores, las componentes magnéticas de las oscilaciones electromagnéticas excitan en ellos un

campo eléctrico alterno que crea en los conductores una corriente alterna como la que excitó las ondas electromagnéticas pero incomparablemente más débil. En este magnífico fenómeno se basa la técnica de radiotransmisión y radio recepción.

La igualdad de la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas creadas por la corriente alterna y la velocidad de la luz no es casual, ya que los rayos luminosos, y los térmicos, son también por su naturaleza oscilaciones electromagnéticas.

La idea de la afinidad de los fenómenos luminosos y eléctricos fue expresada por el científico ruso Mijaíl Lomonósov a mediados del siglo XVIII.

La teoría de las ondas electromagnéticas las desarrolló Clerk Maxwell en la primera mitad del siglo IX.

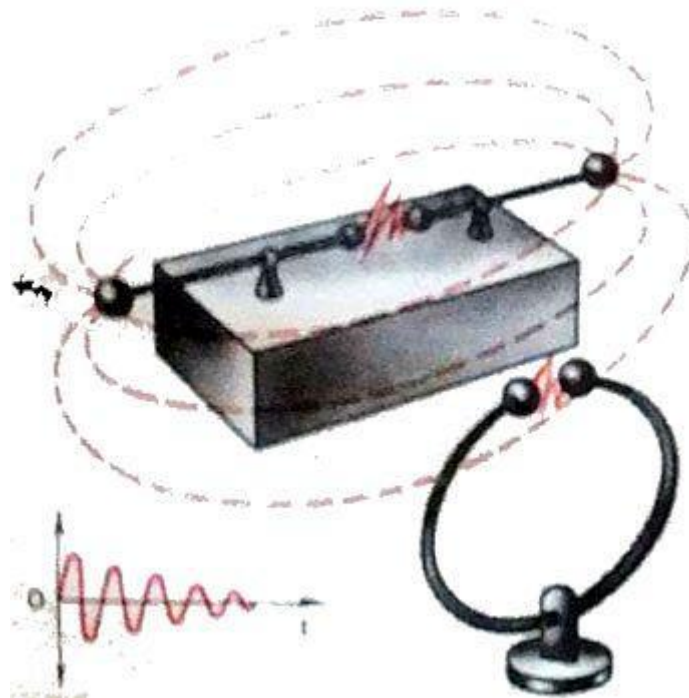


Figura 14. Dispositivo experimental de H. Hertz para excitar y detectar las ondas electromagnéticas y representación gráfica de las ondas electromagnéticas amortiguadas

Sin embargo, solo en 1888 el científico alemán Heinrich Hertz consiguió demostrar experimentalmente la existencia de las ondas electromagnéticas y halló la posibilidad de descubrirlas. En su dispositivo experimental (Figura 14) el emisor de ondas electromagnéticas era un oscilador o dipolo (dos varillas con esferas metálicas en los extremos), de fuente de tensión de alimentación del oscilador hacía un carrete de inducción de Ruhmkorff (como los que hay en los gabinetes de física de las escuelas) y de detector de la

energía electromagnética, un resonador, consistente en una espira de alambre no cerrada, también con esferas metálicas en los extremos. Las mitades del oscilador se cargaban hasta una tensión tan alta que entre las esferas interiores saltaba a través del aire una chispa eléctrica, especie de rayo artificial en miniatura, es decir, se producía una descarga eléctrica. En este instante, cuya duración era de pequeñas fracciones de segundo, el oscilador emitía una corta serie de ondas electromagnéticas amortiguadas, es decir, de amplitud decreciente, rápidamente variables. Al atravesar el conductor del resonador, situado a poca distancia, la energía electromagnética excitaba en él oscilaciones eléctricas que se ponían de manifiesto por una débil chispa que se producía entre las esferas del resonador. Otra descarga, y una nueva serie de ondas electromagnéticas amortiguadas excitaba en el resonador otra débil corriente alterna.

Así halló Heinrich Hertz el procedimiento de excitar las ondas electromagnéticas y de detectarlas. Pero él no pudo imaginarse las vías de aplicación práctica de su descubrimiento.

§. Nacimiento de la radio

Uno de los primeros que supo apreciar justamente los trabajos de H. Hertz y de otros científicos investigadores de las oscilaciones electromagnéticas fue Aleksandr Popov, profesor de la escuela de oficiales minadores de Kronstadt.



Aleksandr Stepánovich Popov

En sus conferencias sobre los fenómenos electromagnéticos, con demostración de los aparatos contruidos por d mismo. A. Popov expuso la idea, intrépida en aquel tiempo, de la posibilidad de utilizar las ondas electromagnéticas para transmitir señales a distancia sin necesidad de alambres.

Esto fue en la última década del siglo XIX. En aquella época la flota de guerra rusa se estaba equipando con nueva técnica militar. Para salvar los espacios marítimos la flota renovada necesitaba medios de comunicación más perfectos y el científico ruso los buscaba. Después de hacer muchos experimentos y pruebas, A. Popov contruyó un aparato, nuevo en principio, que reaccionaba a las ondas electromagnéticas a bastante distancia. La fuente de ondas electromagnéticas era un oscilador igual que el de la instalación experimental de Hertz, al cual se adicionaban unos trozos de alambre para mejorar la emisión. La recepción se efectuaba con otro trozo de alambre unido al aparato contruido por Popov. En cuanto el oscilador comenzaba a emitir energía electromagnética, el aparato receptor respondía haciendo sonar un timbre. El 7 de mayo de 1895 presentó Popov un informe a la Asamblea de la Sociedad fisicoquímica rusa de Petersburgo (hoy Leningrado)^[1] sobre el procedimiento inventado por él para la recepción inalámbrica de las ondas electromagnéticas. Aquel día histórico de finales del siglo XIX en que A. Popov expuso al mundo la nueva dirección en la ciencia y la técnica, se celebra anualmente en la URSS como día del nacimiento de la radiotecnica o Día de la radio.

El diseño esquemático del histórico aparato de Popov puedes verlo en la Figura 15.

Míralo atentamente, procura descifrarlo y comprender como funciona el receptor. Excluida la batería, el receptor consta de tres aparatos un cohesor (inventado en 1890 por d científico francés Eduard Branly), un timbre eléctrico y un relé electromagnético (un electroimán que atrae la armadura cuando por el devanado pasa corriente)

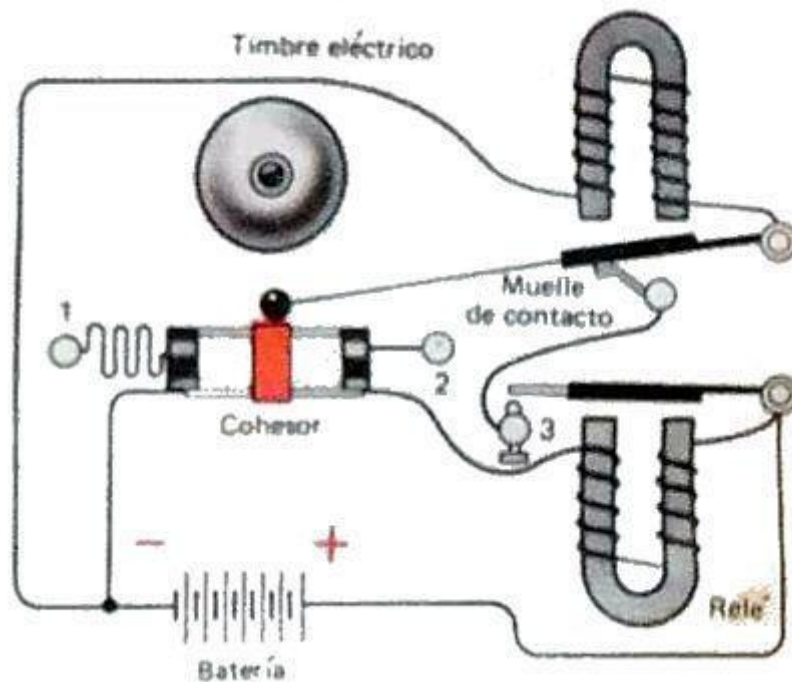


Figura 15 Diseño esquemático del receptor de A Popov

El cohesor es un tubo de vidrio con finas limaduras metálicas dentro. Por medio de unas tiras finas de metal, este está suspendido entre los apoyos 1 y 2. Una de las láminas de contacto del cohesor está conectada, a través del devanado del relé, al polo positivo de la batería; la otra lo está con el polo negativo. Este es el circuito eléctrico primario del receptor. Si la armadura del relé se aprieta al núcleo del electroimán, para que su extremo toque el tornillo, se forma el circuito eléctrico secundario del receptor, es decir, el circuito del timbre eléctrico.

La conductividad del cohesor es diferente en distintas condiciones. Las limaduras metálicas que hay en él, en las condiciones ordinarias ofrecen gran resistencia a la corriente, es decir, la conducen mal. En estas condiciones, la corriente que pasa por el circuito primario, en que está intercalado el devanado del relé, es tan débil que la armadura del relé no es atraída por el núcleo. Pero en cuanto vibre el cohesor empiezan a actuar las ondas electromagnéticas, disminuye la resistencia de la capa de limaduras y la corriente que pasa por el circuito primario crece bruscamente. En este instante la armadura del relé es atraída por el núcleo y al tocar el tornillo 3 cierra el circuito del timbre eléctrico. Inmediatamente es atraída la armadura del electroimán de este circuito y el macillo golpea la campana del timbre. Pero la armadura del electroimán del timbre se separa del muelle de contacto y corta el circuito secundario. Ahora el macillo del timbre, soltado por el electroimán, golpea al cohesor y sacude las limaduras, restableciendo así su gran resistencia. Si las ondas

electromagnéticas continúan actuando sobre el cohesor, el macillo golpea automáticamente, ora la campana del timbre, ora el cohesor.

Cuando Popov conectaba la antena al cohesor, la sensibilidad del aparato aumentaba notablemente, en este caso el receptor reacciona también a las descargas que producen los rayos a distancias de hasta 30 km. Y como el receptor reaccionaba no sólo a las ondas electromagnéticas creadas artificialmente, sino también a las que se producen en la atmósfera antes de las tormentas. A. Popov dio al receptor el nombre de "marca tormentas" (grozootmetchik).

Poco menos de un año después de la histórica asamblea de la Sociedad fisicoquímica, el 24 de marzo de 1896 ocurrió un nuevo gran acontecimiento en la historia de la radio. Este día, A. Popov, informó a los científicos de la posibilidad de transmitir y recibir las señales de radio inscribiéndolas en la cinta de un aparato telegráfico. Se hizo el silencio y en el auditorio se dejó oír el golpeteo del aparato telegráfico conectado al receptor: Aleksandr Popov recibía un radiograma transmitido por su colaborador más próximo, Petr Ribkin. Era el primer radiograma del mundo.

Este mismo año de 1896, durante el verano, publicó la prensa la noticia de que el ingeniero italiano Guglielmo Marconi había patentado en Inglaterra un aparato de telegrafía sin hilos. Pero hasta un año después no se conocieron los detalles del aparato de Marconi. Resultó entonces que su aparato transmisor era análogo al transmisor de H. Hertz y el receptor, totalmente idéntico al de A. Popov. Como Marconi era emprendedor, supo interesar por la radiotelegrafía a los hombres de negocios de Gran Bretaña y en 1897 organizó la gran Sociedad Anónima Marconi y Compañía. Las grandes posibilidades materiales de ésta y la colaboración de numerosos científicos e ingenieros destacados permitieron a Marconi alcanzar en adelante grandes éxitos en la realización práctica de la radiotelegrafía.

Popov siguió perfeccionando sus aparatos y aumentando el radio de acción de los mismos. Durante la primavera del año 1897 fueron transmitidas señales de radio desde un buque, que se encontraba a 640 m a la costa.



Estación radiotelegráfica de A. Popov en la isla de Gogland

Y dos años después, en 1899, una vez descubierta la posibilidad de recibir las señales por medio de auriculares, a oído, la distancia de comunicación por radio alcanzó ya 35 km. Esto constituyó un nuevo y brillante éxito del inventor de la radio, éxito que sirvió de impulso para el ulterior desarrollo de la radiotelegrafía en Rusia.

Sin embargo, sólo una casualidad ayudó a Popov a demostrar la vital necesidad del nuevo medio de comunicación. En noviembre de 1899 el acorazado "Almirante general Apraksin", durante una tempestad de nieve, encalló en unos arrecifes cerca de las desiertas costas de la isla de Gogland, en el golfo de Finlandia. Desde la isla hasta la ciudad costera más cercana, Kotka (Finlandia), había 44 km.

Los trabajos de salvamento se demoraban a causa de las dificultades del tendido de un cable de comunicación entre la isla y el continente. La radio vino a resolver esta dificultad.

A. Popov y P. Ribkin, para asegurar una buena comunicación bilateral, instalaron en la isla y en el continente sendas estaciones transmisoras-receptoras. Esta línea de radiocomunicación estuvo funcionando desde febrero hasta abril de 1900, mientras duraron los trabajos de salvamento. Durante este tiempo fueron transmitidos y recibidos 440 radiogramas. Uno de ellos prestó un servicio inapreciable.

Esto ocurrió el día 6 de febrero de 1900. P. Ribkin, que se encontraba en la isla de Gogland, recibió de Popov, desde Kotka, el siguiente radiograma:

"Comandante del "Ermak".

Cerca de Lavensaari se ha desprendido de la costa un banco de hielo con pescadores. Socórralos.

El rompehielos "Ermak" se hizo inmediatamente a la mar en busca de los siniestrados y recogió del banco de hielo a 27 pescadores. Su salvación la debieron a la radio.

Así funcionó la primera línea de radiocomunicación del mundo y así conquistó la radio su derecho a la existencia.

Hoy todos los países de nuestro planeta están cubiertos de una tupida red de estaciones de radiodifusión y de radiocentrales. Los receptores de radio se han convertido en aliados de primera necesidad en nuestra vida. De medios de radiocomunicación están equipados todos los tipos de naves aéreas, marítimas y fluviales, las expediciones científicas, los satélites artificiales de la Tierra, las naves cósmicas y las estaciones automáticas interplanetarias.

Pero, joven amigo, la radiodifusión y la radiocomunicación no son los únicos dominios de la radiotecnica moderna. La radiotecnica de hoy son la televisión, la radiolocalización, la radionavegación, la radioastronomía, la telemecánica, la grabación del sonido y muchas otras esferas y ramas de la ciencia y la técnica. De algunas de ellas pienso hablarte en las charlas siguientes. Empezaré, no obstante, por la rama más extendida de la radiotecnica, la técnica de la radiodifusión.

Charla 2

Primeros conocimientos acerca de la radiotransmisión y la radio recepción

Contenido:

- §. Oscilaciones y ondas
- §. Periodo y frecuencia de las oscilaciones
- §. Otra vez sobre las ondas radioeléctricas
- §. Gammas de ondas de radiodifusión
- §. Radiotransmisión
- §. Propagación de las ondas de radio

* * * *

La palabra "radia" proviene del latín radiare, que significa radiar o emitir rayos. Una estación de radiodifusión, por ejemplo, irradia, como el Sol, ondas de radio en todas las direcciones radiales. Sólo algunas estaciones de radio especiales emiten radioondas en una sola dirección determinada.

Si entras en el territorio de una estación de radiodifusión lo primero que ves es una torre metálica de celosía o conductor vertical que se

eleva hasta muy alto sobre la superficie de la tierra. Esta es la antena. Junto a ella o no muy lejos venís un edificio en el que se encuentra el transmisor, el cual produce las oscilaciones eléctricas de alta frecuencia que la antena transforma en energía de las radioondas.

Desde el estudio de radio, que puede estar lejos del transmisor, llega a éste un cable subterráneo bien aislado por un recubrimiento resistente. En el estudio está instalado el micrófono. En él se transforma instantáneamente no sólo la voz del locutor, las conversaciones, los sonidos musicales, sino hasta los cuchicheos y susurros, en oscilaciones eléctricas de frecuencia sonora que por el cable antedicho llegan al transmisor para "introducir" en él oscilaciones de alta frecuencia. ¡Cuántas transformaciones ha de sufrir aún la corriente alterna de frecuencia sonora antes de que el receptor las vuelva a convertir en sonidos!

El receptor será tu primer paso práctico en el estudio de la radiotecnia. Para que este paso sea seguro hay que comprender bien la esencia de aquellos fenómenos físicos que sirven de base a la técnica de la radiodifusión y la radio recepción, hablar de la naturaleza del sonido y de la corriente alterna y de sus propiedades algo más extensamente que en la primera charla.

§. Oscilaciones y ondas

Alrededor nuestro se generan y amortiguan constantemente fenómenos oscilatorios. Oscila la rama de que voló un pájaro. Oscilan el péndulo del reloj y el columpio. Bajo la acción del viento oscilan los árboles, los cables tendidos entre postes, el agua de los lagos y los mares.

Si tiras una piedra sobre la superficie tersa de un lago, por ella empezarán a "correr" ondas (Figura 16). ¿Qué es lo que ocurre? Las partículas de agua, en el lugar en que cayó la piedra, se hunden bajo la presión de ésta, hacen que se desplacen las partículas vecinas y en la superficie del agua se forma una cresta anular. Después, donde cayó la piedra sube el agua, pero hasta más arriba del nivel que tenía al principio, y detrás de la primera cresta surge una segunda y, entre ellas, un valle. Luego las partículas de agua continúan desplazándose alternativamente hacia arriba y hacia abajo, es decir, oscilando, y arrastran tras sí cada vez más partículas vecinas. Se forman ondas que, desde el punto en que surgen, se van alejando en ondulaciones concéntricas.

Subrayo esto: las partículas de agua solamente oscilan, pero no se alejan junto con las ondas. De esto es fácil convencerse echando sobre la superficie oscilante del agua una astilla. Si no hace viento ni hay corriente de agua, la astilla bajará y subirá sobre el agua sin desplazarse con las ondas.

Las ondas de agua pueden ser grandes, es decir, fuertes, o pequeñas, débiles. Solemos entender por fuertes las ondas cuya amplitud de oscilación es grande. Las ondas débiles tienen crestas pequeñas, es decir, poca amplitud. Cuanto mayor es la amplitud de las ondas que se forman, tanto mayor es la energía que transportan.

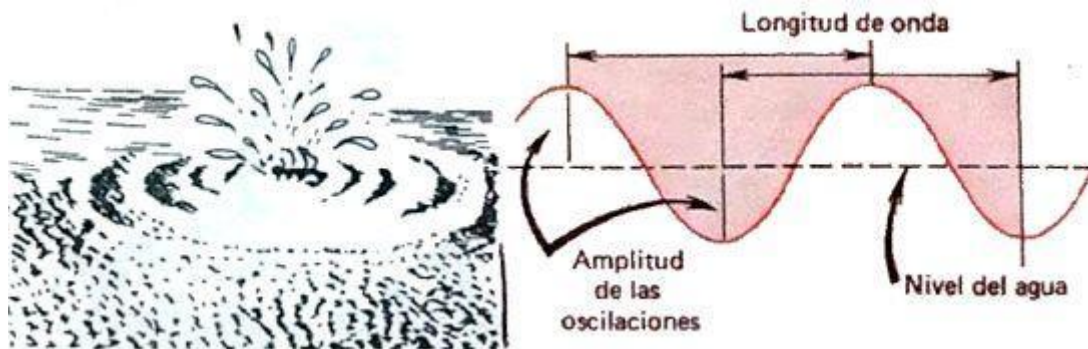


Figura 16. Cuando la piedra choca con la superficie del agua se forman ondas

La energía de las ondas que se producen cuando se tira una piedra al agua es relativamente pequeña, pero puede hacer que oscilen los juncos y la hierba que crece en el lago. Sabemos, sin embargo, que las ondas (olas) del mar, cuyas amplitudes son grandes y, por consiguiente, tienen mucha energía, pueden causar graves destrozos en la costa. La causa de estos destrozos es precisamente la energía que las olas transmiten continuamente a la costa.

Las ondas pueden ser frecuentes o infrecuentes. Cuanto menor es la distancia entre las crestas de las ondas móviles, tanto más corta es cada onda por separado. Cuanto mayor es la distancia entre las ondas, tanto mayor es la longitud de éstas. Llamamos longitud de onda en el agua a la distancia entre dos crestas o valles móviles vecinos. A medida que las ondas se van alejando del punto en que surgieron, su amplitud va disminuyendo poco a poco, es decir, las ondas se amortiguan, pero la longitud de onda permanece invariable.

En la superficie del agua las ondas se pueden crear también, por ejemplo, sumergiendo en el agua un palo y moviéndolo rítmicamente hacia arriba y hacia abajo al compás de las oscilaciones del agua, sin sacarlo de ella. En este caso las ondas también serán amortiguadas, pero existirán hasta que dejemos de excitar la superficie del agua.

¿Cómo se producen las oscilaciones de los columpios ordinarios? Todos lo sabemos bien: se les empuja y empiezan a oscilar de un lado a otro. Cuanto más fuerte sea el empujón, mayor será la amplitud de las oscilaciones. Estas oscilaciones se amortiguarán si no se las mantiene empujando de vez en cuando. Tanto estas oscilaciones mecánicas como otras semejantes podemos verlas. Pero

en la naturaleza hay más oscilaciones que no vemos, sino que oímos, es decir, que percibimos en forma de sonido. No siempre se pueden ver las oscilaciones (vibraciones) de las cuerdas de un instrumento musical, sin embargo oímos cómo suena. Cuando sopla el viento, en la chimenea se produce un sonido. Éste se debe a los movimientos oscilatorios del aire dentro de ella, que no podemos ver. Suenan el diapasón, el vaso, la cuchara, el plato, la pluma de escribir o la hoja de papel, porque también oscilan (vibran).

Sí, mi joven amigo, vivimos en un mundo de sonidos, porque muchos de los cuerpos que nos rodean oscilan, suenan.

¿Cómo se originan las ondas sonoras en el aire? El aire está formado por partículas invisibles para el ojo humano. Cuando hace viento estas partículas pueden desplazarse a grandes distancias. Pero, además, pueden oscilar. Por ejemplo, si en el aire se agita violentamente un palo, sentimos un soplo ligero de viento y, al mismo tiempo, oímos un débil sonido. Este sonido es el resultado de las oscilaciones de las partículas del aire excitadas por las oscilaciones del palo.

Haz el siguiente experimento: tira, por ejemplo, de la cuerda de una guitarra y suéltala después. La cuerda empezará a temblar, o sea, a oscilar en torno a su posición inicial de reposo. Las oscilaciones (vibraciones) suficientemente fuertes de la cuerda podrás verlas. Las débiles sólo podrás sentir las como un ligero hormigueo si tocas la cuerda con un dedo. Mientras la cuerda oscila (vibra) oímos el sonido. En cuanto la cuerda entra en reposo, el sonido deja de oírse.

El sonido se origina en este caso como resultado de condensaciones y enrarecimientos de las partículas de aire. Al oscilar de un lado a otro, la cuerda comprime por delante de ella las partículas de aire, originando en cierto volumen de este una región de presión elevada, y por detrás de ella, al contrario, una región de presión reducida. Esto son las ondas sonoras. Propagándose en el aire a la velocidad de 340 m/s, aproximadamente, son portadoras de cierta cantidad de energía. En el instante en que hasta nuestro oído llega la región de presión elevada de la onda, esta presiona sobre la membrana del tímpano y la combe un poco hacia dentro. Cuando hasta el oído llega la región enrarecida de la onda sonora, la membrana del tímpano se curva hacia fuera. La membrana oscila durante todo el tiempo al compás de las sucesivas regiones de presión elevada y reducida del aire. Estas oscilaciones son transmitidas por el nervio auditivo al cerebro y nosotros las percibimos como sonido. Cuanto mayores son las amplitudes de las ondas sonoras, tanto mayor es la energía que llevan y tanto más intenso es el sonido que percibimos.

Las ondas sonoras, lo mismo que las del agua o que las oscilaciones eléctricas, se representan por medio de una línea ondulada, la senoide. Las crestas de esta línea corresponden a las regiones de presión elevada, y los valles, a las regiones de presión reducida del aire. Una región de presión elevada y la región de presión reducida que la sigue forman una onda sonora.

Nosotros vivimos también en un mundo de ondas electromagnéticas, emitidas por los aparatos eléctricos y por todos los conductores de corriente alterna, por la enorme cantidad de antenas de estaciones de radio, por las descargas eléctricas atmosféricas, por las entrañas de la Tierra y por el Cosmos infinito. Estas ondas solo se pueden descubrir y registrar con ayuda de aparatos creados por el hombre.

§. Período y frecuencia de las oscilaciones

El parámetro más importante para caracterizar las oscilaciones mecánicas, sonoras, eléctricas, electromagnéticas y de todos los demás tipos es el periodo o ciclo, tiempo durante el cual se realiza una oscilación completa. Si, por ejemplo, el péndulo de un reloj de pesas efectúa dos oscilaciones completas en 1 s, el periodo de cada oscilación será igual a 0.5 s. El período de las oscilaciones de un columpio grande es, aproximadamente, de 2 s, y el período de las oscilaciones (vibraciones) de una cuerda de instrumento musical, desde unas décimas hasta diezmilésimas de segundo.

Otro parámetro característico de las oscilaciones es la frecuencia o sea, el número que indica cuántas oscilaciones completas o ciclos realiza por segundo el péndulo de un reloj, un cuerpo sonando, la corriente en un conductor, etc. Las frecuencias de las oscilaciones se miden con la unidad llamada hertzio (abreviado Hz):

1 Hz es igual a un ciclo por segundo. Si una cuerda realiza 440 oscilaciones completas en 1 s (produciendo en este caso la nota "la" de la tercera octava), se dice que la frecuencia de sus oscilaciones (vibraciones) es de 440 Hz o ciclos por segundo. La frecuencia de la corriente alterna de la red del alumbrado eléctrico, en la URSS, es de 50 Hz. Con esta corriente, los electrones pasan alternativamente por los conductores de la red 50 veces en un sentido y 50 veces en el opuesto cada segundo, es decir, realizan 50 oscilaciones completas por segundo.

Unidades mayores de frecuencia son el kilohertzio o kilociclo (que se escriben kHz o kc), igual a 1000 Hz y el megahertzio o megaciclo (que se escriben MHz o Mc), igual a 1000 kHz o a 1.000.000 Hz.

Por la frecuencia de las oscilaciones de un cuerpo sonoro puede apreciarse el tono a altura del sonido. Cuanto mayor es la frecuencia, tanto más alto es el tono del sonido y, viceversa, cuanto menor es la

frecuencia, más bajo es el tono de éste. Nuestro oído sólo es capaz de reaccionar a una banda relativamente pequeña de frecuencias de oscilaciones sonoras, comprendida, aproximadamente, entre 20 Hz y 20 kHz. No obstante, esta banda de frecuencias comprende toda la amplia gama de sonidos que produce la voz humana o una orquesta sinfónica: desde los tonos más bajos, parecidos al zumbido de un abejorro, hasta el alto, apenas perceptible, de un mosquito. Las oscilaciones de hasta 20 Hz, llamadas infrasonoras, y las de más de 20 kHz, denominadas ultrasonoras, no se oyen. Si la membrana del tímpano de nuestro oído fuera capaz de reaccionar a las oscilaciones ultrasonoras podríamos oír el alto tono del sonido que emiten los murciélagos y la voz del delfín. Los delfines emiten y oyen oscilaciones sonoras de hasta 180 kHz de frecuencia.

Pero, mi joven amigo, no debes confundir la altura, es decir, el tono del sonido, con su intensidad. La altura del sonido no depende de la amplitud de las oscilaciones, sino de su frecuencia. Una cuerda gruesa y larga de instrumento musical, por ejemplo, crea un sonido de tono bajo, es decir, oscila (vibra) más despacio que otra cuerda delgada y corta, que crea un sonido de tono alto. La Figura 17 te ayudará a comprender esto.

En electrotecnia y radiotecnica se utilizan corrientes alternas de frecuencias comprendidas entre varios hertzios y millares de gigahertzios. Las antenas de las estaciones de radio de amplia difusión se alimentan, por ejemplo, de corrientes de frecuencias comprendidas entre 150 kHz y 100 MHz. Estas oscilaciones de alta frecuencia son el medio con el cual se realiza la transmisión inalámbrica de los sonidos a grandes distancias.

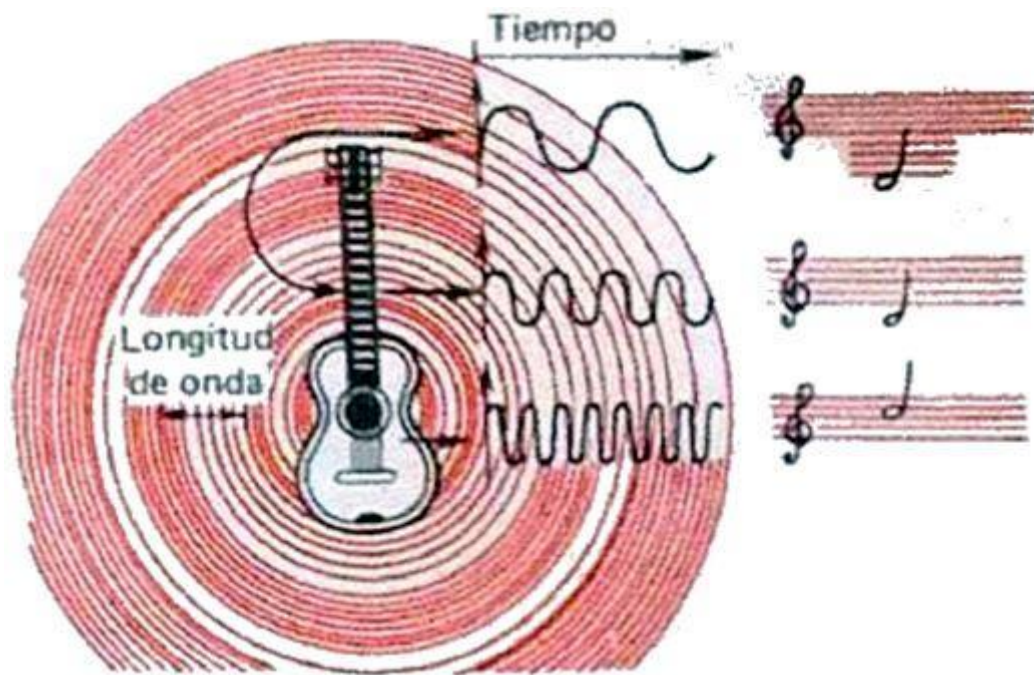


Figura 17. Cuanto mayor es la frecuencia de las oscilaciones de la cuerda, tanto más cortas son las ondas sonoras y más alto el tono del sonido

Toda la enorme gama de corrientes alternas se acostumbra dividir en varios intervalos o subgamas. Las corrientes de frecuencia desde 20 Hz hasta 20 kHz, correspondientes a las oscilaciones que percibimos como sonidos de distinto tono, se llaman corrientes (u oscilaciones) de audiofrecuencia, y las corrientes de frecuencia mayor de 20 kHz, corrientes de frecuencia ultrasonora. Las corrientes de frecuencia comprendida entre 100 kHz y 30 MHz se denominan corrientes de alta frecuencia, y las de frecuencias mayores de 30 MHz, corrientes de frecuencia ultra o extraalta.

Acuérdate bien de los límites y de los nombres de las subgamas de frecuencia de las corrientes alternas.

§. Otra vez sobre las ondas radioeléctricas

Supongamos que coges el teléfono y marcas o dices el número necesario. En seguida escucharás tú la voz de tu amigo y él la tuya. ¿Qué fenómenos eléctricos ocurren durante vuestra conversación por teléfono?

Las oscilaciones sonoras del aire creadas por ti, las transforma el micrófono en oscilaciones eléctricas de audiofrecuencia, las cuales son transmitidas por los conductores al aparato de tu interlocutor. Allí, al otro extremo de la línea, por medio del auricular, se transforman en oscilaciones del aire que tu amigo percibe como sonidos. En la telefonía el medio de comunicación de la red son los conductores, en la radiodifusión, las ondas de radio.

El "corazón" del transmisor de toda estación de radio es el generador, dispositivo que produce oscilaciones de alta frecuencia, rigurosamente constante para la estación dada. Estas oscilaciones de radiofrecuencia, amplificadas hasta la potencia necesaria, llegan a la antena y excitan en el espacio que la circunda oscilaciones electromagnéticas de frecuencia exactamente igual, o sea, ondas de radio. La velocidad con que se alejan las ondas de radio de la antena de la central es igual a la velocidad de la luz: 300.000 km/s, es decir, casi un millón de veces mayor que la de propagación del sonido en el aire. Esto quiere decir, que si en la estación de radiodifusión de Moscú se conecta en cierto instante el transmisor, sus ondas de radio llegan a Vladivostok en menos de $\frac{1}{30}$ s, mientras que el sonido sólo puede recorrer en este tiempo 10 u 11 m.

Las ondas de radio se propagan no sólo en el aire, sino también donde este no existe, por ejemplo, en el espacio cósmico. En esto se diferencian de las ondas sonoras, para las cuales es absolutamente necesaria la existencia de aire o de cualquier otro medio denso, por ejemplo, de agua.

Cuando una estación de radiodifusión comienza a transmitir, el locutor suele decir que dicha estación trabaja con ondas de tal o cual longitud. La onda que se mueve sobre la superficie del agua la vemos y con cierta habilidad podemos medir su longitud. En cambio, la longitud de las ondas de radio sólo puede medirse con aparatos especiales o calcularse matemáticamente si se conoce la frecuencia de la corriente que las excita.

La longitud de una onda de radio es la distancia a que se propaga la energía del campo electromagnético durante el periodo de oscilación de la corriente en la antena de la estación de radio. Esto debe entenderse como sigue. En el tiempo que dura un periodo de la corriente en la antena del transmisor, en el espacio que la rodea surge una onda de radio. Cuanto mayor es la frecuencia de la corriente, tanto mayor es el número de ondas de radio consecutivas que radia la antena en cada segundo. Supongamos que la frecuencia de la corriente en la antena de la estación de radio es de 1 MHz. En este caso el período de la corriente y del campo electromagnético excitado por ella es igual a una millonésima de segundo. En 1 s la onda de radio recorre 300.000 km o 300.000.000 m de distancia. En una millonésima de segundo recorrerá una distancia un millón de veces menor, es decir, 300.000.000:1.000.000. Por lo tanto, la longitud de onda de la estación de radio dada será de 300 m.

Así pues, la longitud de onda de una estación de radio depende de la frecuencia de la corriente en su antena: cuanto mayor sea la frecuencia de la corriente, tanto más corta será la onda y, al contrario, cuanto menor sea la frecuencia de la corriente, tanto más

larga será la onda. Para conocer la longitud de onda de una estación de radio hay que dividir la velocidad de propagación de las ondas de radio, expresada en metros, por la frecuencia de la corriente en su antena. Y, al contrario, para conocer la frecuencia de la corriente en la antena de una estación de radio hay que dividir la velocidad de propagación de las ondas de radio por la longitud de onda de dicha estación.

Para reducir la frecuencia en megahertzios de la corriente de un transmisor a longitud de onda en metros y, viceversa, resulta cómodo utilizar las fórmulas siguientes:

$$\lambda(\text{m}) = 300/f \text{ (MHz)} \text{ y } f \text{ (MHz)} = 300/\lambda \text{ (m)},$$

en las que λ (letra griega "lambda") es la longitud de onda; f la frecuencia de las oscilaciones, y 300, la velocidad de propagación de las ondas de radio, expresada en millares de kilómetros por segundo.

Quiero advertirte que: no debes confundir el concepto de longitud de onda, con que trabaja una estación de radio, con su alcance, es decir, con la distancia a la cual las emisiones de dicha estación pueden ser captadas. El alcance de una estación de radio depende, efectivamente, de la longitud de onda, pero no es identificable con ella. Así, las emisiones de una estación que funciona con longitud de onda de varias decenas de metros pueden ser oídas a varios millares de kilómetros de distancia, pero no siempre se oyen a distancias más próximas. En cambio, las emisiones de una estación que trabaja con ondas de centenas e incluso millares de metros de longitud, suelen no oírse a distancias tan grandes como aquellas a que se oyen las emisiones de estaciones de onda corta.

Resumiendo, cada estación de radiodifusión trabaja con una frecuencia determinada, que le ha sido asignada, y que se llama frecuencia portadora.

Las longitudes de onda de distintas estaciones de radio son diferentes, pero rigurosamente constantes para cada una de ellas. Esto da la posibilidad de oír las emisiones de cada estación por separado, es decir, no de todas al mismo tiempo.

§. Gammas de ondas de radiodifusión

La banda, bastante ancha, de ondas de radio asignada a las estaciones de radiodifusión se divide convencionalmente en varias gamas: de ondas largas (abreviado OL), de ondas medias (OM), de ondas cortas (OC) y de ondas ultracortas (OUC). En la URSS, por ejemplo, la gama de ondas largas abarca las ondas de radio de longitud desde 735.3 hasta 2000 m, a las cuales corresponden las frecuencias de 408 a 150 kHz: la de ondas medias, las ondas de radio

de longitud desde 186.9 hasta 571,4 m (radiofrecuencias de 1605 a 525 kHz); la de ondas cortas, las ondas de longitud desde 24,8 hasta 75,5 (radiofrecuencias de 12,1 a 3.95 MHz), y la de ondas ultracortas, las ondas de longitud desde 4.11 hasta 4.56 m (radiofrecuencias de 73 a 65.8 MHz).

Las ondas de la gama OUC se llaman también métricas; en general se da el nombre de ondas ultracortas a todas las ondas cuya longitud es menor de 10 m. En esta gama se llevan a cabo las emisiones de televisión y funcionan las estaciones de radiocomunicación de los coches del servicio de bomberos, de los taxis, de los servicios médicos de urgencia y de la policía de tráfico.

Las radiofrecuencias de las estaciones de radiodifusión de onda corta no están distribuidas uniformemente por toda la gama: la mayoría de dichas estaciones trabajan con ondas de cerca de 25, 31, 41 y 50 m. De acuerdo con esto, la gama de ondas cortas de radiodifusión se subdivide en las subgamas de 25, 31. 41 y 50 metros.

Por acuerdo internacional la onda de 600 m (500 kHz) de longitud se reserva para transmitir las señales de socorro SOS de los barcos en el mar. Con esta onda funcionan todos los transmisores de radio marítimos de alarma y a esta onda están sintonizados los receptores de las estaciones de salvamento y los radiofaros.

§. Radiotransmisión

Si el complejo equipo técnico de una estación de radiodifusión se representa, simplificada, en forma de signos convencionales y de rectángulos, se obtiene su esquema estructural en la forma que se ve en la Figura 18.

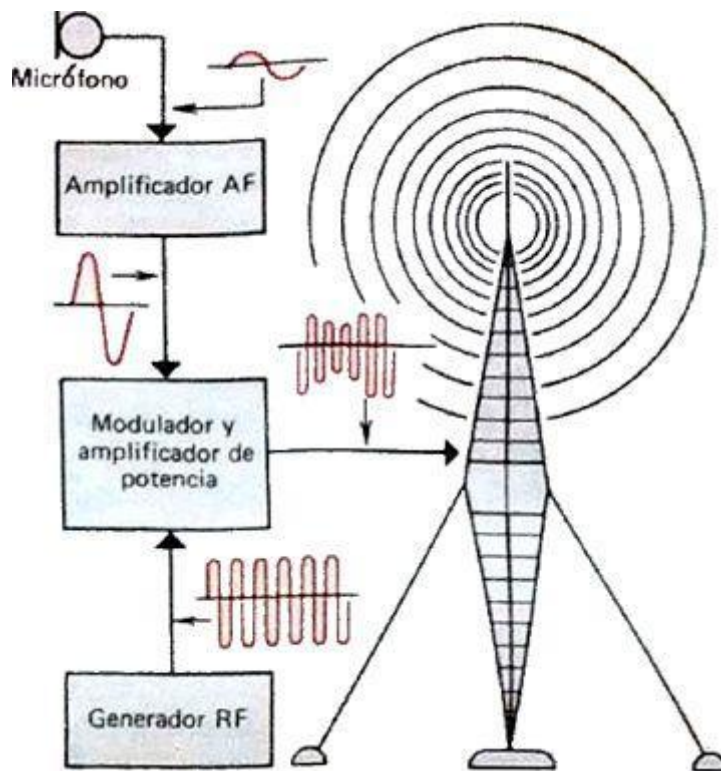


Figura 18. Esquema estructural de una estación de radiodifusión

Aquí hay cinco aparatos y dispositivos fundamentales: el micrófono del estudio, el amplificador de audiofrecuencia (AF), el generador de oscilaciones de radiofrecuencia (RE), el amplificador de potencia de las oscilaciones de radiofrecuencia y de antena, que radia la energía electromagnética de las ondas de radio. Mientras el micrófono del estudio no está conectado, a la antena llega corriente de alta frecuencia (portadora) y amplitud rigurosamente constantes (véanse las partes izquierdas de las gráficas en la Figura 19).

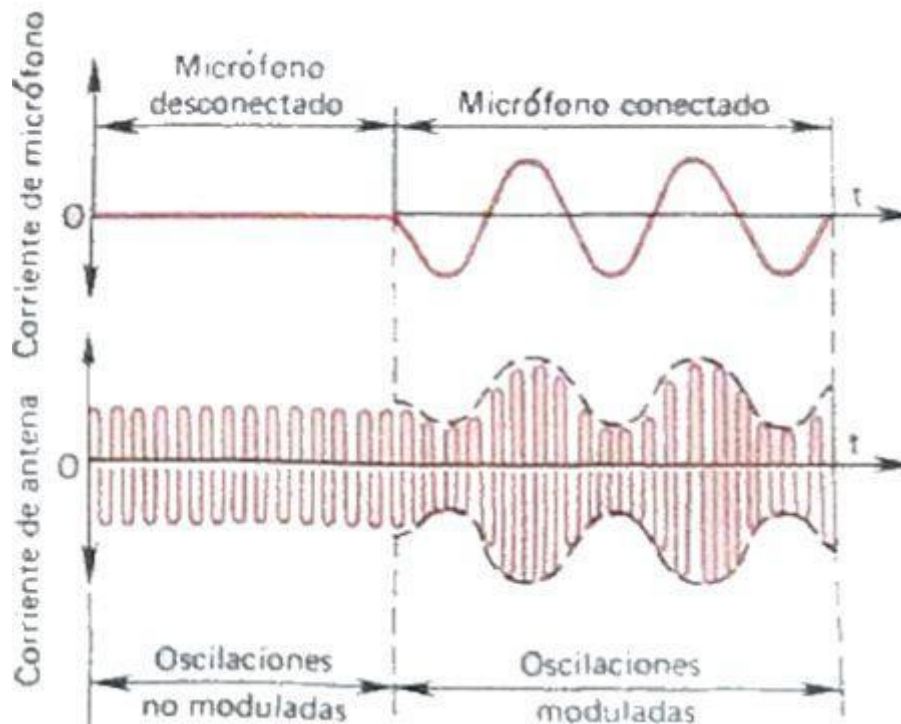


Figura 19. Al actuar el sonido sobre el micrófono, la amplitud de la corriente de alta frecuencia en la antena del transmisor, varía.

En estas condiciones la antena emite ondas de radio de longitud y potencia invariables. Pero en cuanto conectan el micrófono, los radio oyentes que se encuentran a decenas, centenares y hasta millares de kilómetros de la estación de radio empiezan a oír la conocida voz del locutor.

¿Qué ocurre durante este tiempo en el transmisor de la estación de radio? Las oscilaciones de audiofrecuencia creadas en el micrófono y amplificadas en el amplificador (AL) del estudio, llegan al llamado modulador, que forma parte del amplificador de potencia del transmisor y allí, actuando sobre la corriente de alta frecuencia del generador, hacen que varíen las amplitudes de las oscilaciones. A causa de esto varía la energía electromagnética que radia la antena del transmisor (véanse las partes derechas de la gráficas en la Figura 19).

Cuanto mayor es la frecuencia de la corriente que llega del estudio al transmisor, tanto con mayor frecuencia varían las amplitudes de la corriente en la antena.

De esta forma el sonido, transformado por el micrófono en oscilaciones eléctricas de audiofrecuencia reciben su "pasaporte" para el éter.

El proceso de variación de la amplitud de las oscilaciones de alta frecuencia bajo la influencia de la corriente de frecuencia sonora se llama *modulación de amplitud* (MA), y las corrientes de alta frecuencia cuya amplitud varía en la antena y las ondas de radio que ésta emite, reciben el nombre de *oscilaciones moduladas* de radiofrecuencia.

Además de la modulación de amplitud existe la llamada *modulación de frecuencia* (MF). En esta forma de modulación varía la frecuencia, y la amplitud de las oscilaciones de radiofrecuencia en la antena de la estación de radio permanece invariable. La modulación de frecuencia se utiliza, por ejemplo, para emitir el sonido de acompañamiento en televisión y para la radiodifusión es OUC. En la radiodifusión en OL, OM y OC sólo se utiliza la modulación de amplitud.

Las ondas de radio son imposibles de descubrir por nuestros órganos sensitivos, Pero si encuentran a su paso un conductor, le ceden parte de su energía. En este fenómeno se basa la recepción de las transmisiones por radio. La energía de las ondas la recoge la antena del receptor. Al ceder a la antena parte de su energía electromagnética, las ondas de radio inducen en ella oscilaciones moduladas de radiofrecuencia.

En el receptor tienen lugar procesos inversos a los que ocurren en el estudio y en la estación transmisora. Si allí el sonido se transforma sucesivamente primero en oscilaciones eléctricas de audiofrecuencia y después en oscilaciones moduladas de radiofrecuencia, durante la recepción se resuelve el problema inverso: las oscilaciones moduladas de radiofrecuencia, excitadas en la antena, las transforma el receptor en oscilaciones eléctricas de audiofrecuencia y luego en sonido. En el receptor más simple, que sólo funciona en virtud de la energía captada por la antena, las oscilaciones moduladas de radiofrecuencia se transforman en oscilaciones de audiofrecuencia en el detector, y estas últimas, en sonido en los auriculares.

Pero la antena del receptor la atraviesan ondas de radio de muchas estaciones, que excitan en ella oscilaciones moduladas de radiofrecuencias muy diversas. Si todas estas señales las transformásemos en sonido, escucharíamos centenares de voces hablando distintas lenguas. ¿De qué nos serviría esta recepción? De nada. Lo que interesa es escuchar las emisiones de las distintas estaciones, pero no a la vez, sino por separado.

Para esto, de las oscilaciones de todas las frecuencias excitadas en la antena hay que seleccionar aquellas que tienen la frecuencia de la estación de radio que queremos escuchar. Este problema lo resuelve el *circuito oscilante*, que obligatoriamente forma parte tanto de los receptores de radiodifusión más simples como de los más complejos.

Precisamente por medio del circuito oscilante tú mismo, en la charla siguiente, vas a sintonizar tu primer receptor a las señales de estaciones de radio de distinta longitud de onda.

§. Propagación de las ondas de radio

Para terminar esta charla, que espero te habrá ayudado a comprender la esencia de la radioemisión y la radio recepción, debo hablarle de algunas peculiaridades de la propagación de las ondas de radio. Es el caso que las ondas de diferentes gamas tienen distintas propiedades que influyen en la distancia a que se propagan. Las ondas de una longitud pueden franquear grandes distancias, mientras que las de otra se "pierden" fuera de los límites del horizonte. Suele ocurrir que una señal de radio se oiga perfectamente en algún sitio del lado opuesto de la Tierra o en el Cosmos, pero sea imposible detectarla a unas decenas de kilómetros de la estación emisora.

¿A qué se debe esto? ¿Qué influye en el alcance de las ondas de radio de distinta longitud? La Tierra y la atmósfera que la rodea.

La Tierra es un conductor de corriente, aunque no tan bueno como, digamos, los alambres de cobre. La atmósfera terrestre consta de tres capas. La primera, cuyo límite superior se encuentra a 10 ó 12 km sobre la superficie de la Tierra, se llama *troposfera*.

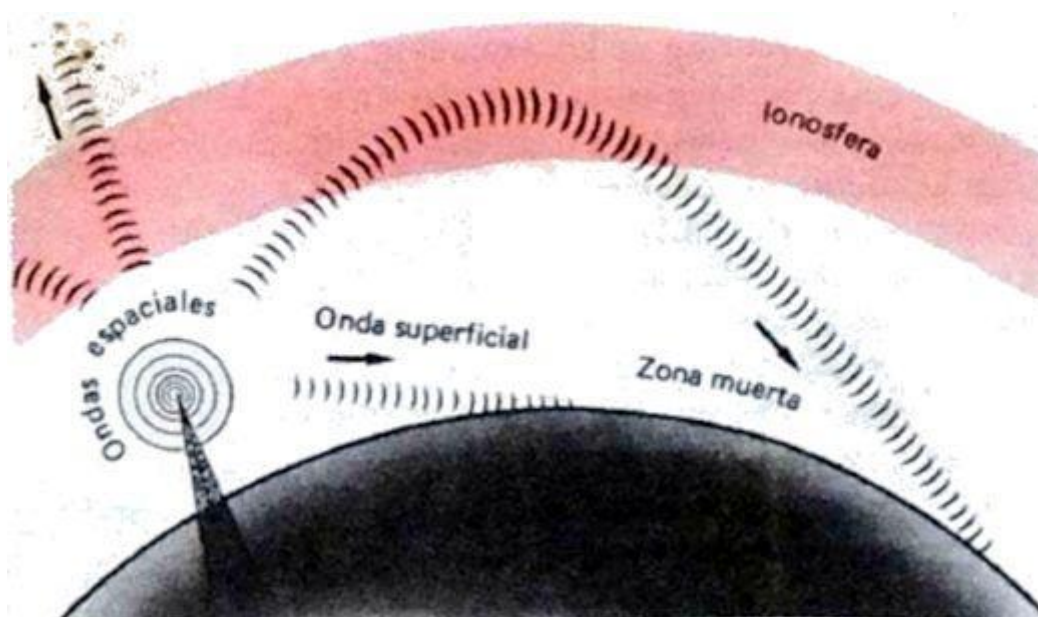


Figura 20. Caminos que siguen las ondas de radio

Sobre ella, hasta llegar a 50 kilómetros de la superficie de la Tierra, está la segunda capa, la *estratosfera*. Y más arriba, hasta, aproximadamente, 400 km sobre la superficie de la Tierra, se extiende la tercera capa o *ionosfera* (Figura 20). La ionosfera desempeña un papel decisivo en la propagación de las ondas de radio, sobre todo de las cortas.

En la ionosfera el aire está muy enrarecido. Bajo la acción de las radiaciones solares, en ella se separan de los átomos de los gases muchos electrones libres, como resultado de lo cual surgen iones positivos. Se produce, como suele decirse, la ionización de la capa superior de la atmósfera. Esa capa ionizada es capaz de absorber las ondas de radio y de torcer sus trayectorias. En el transcurso del día, en dependencia de la intensidad de la radiación solar, la cantidad de electrones libres que hay en la capa ionizada y el espesor y la altura a que está ésta, varían. Eso hace que cambien las propiedades eléctricas de dicha capa.

Las antenas de las estaciones de radio emiten ondas a lo largo de la superficie de la Tierra y también hacia arriba, formando diversos ángulos con ella. Las ondas que van siguiendo la superficie de la Tierra se llaman terrestres o *superficiales*, y las que forman distintos ángulos con ella, *espaciales* o indirectas. Para emitir señales de OL, las estaciones utilizan principalmente la energía de las ondas superficiales, las cuales contornean bien la superficie de la Tierra. Pero como la Tierra es un conductor, absorbe la energía de las ondas de radio. Por eso, a medida que las OL se alejan de la estación, la intensidad con que se reciben sus emisiones va disminuyendo continuamente y, por fin, la recepción cesa por completo.

Las ondas medias contornean peor la Tierra y son absorbidas más intensamente por ésta que las largas. Eso explica que el "alcance" de las estaciones de radiodifusión de OM sea menos que el de las de OL. Así, por ejemplo, las señales de una estación que trabaja con ondas de 300 a 400 m de longitud pueden captarse a distancias dos o tres veces menores que las señales de una estación de la misma potencia que funcione con ondas de 1500 a 2000 m de longitud. Para aumentar el alcance de las estaciones de OM hay que elevar su potencia.

Por la tarde y por la noche las emisiones de las estaciones de OL y OM se pueden oír a mayores distancias que durante el día. Esto se debe a que la parte de energía de las ondas de radio que estas estaciones emiten hacia arriba, durante el día se pierde en la atmósfera. Pero después de la puesta del Sol, la capa inferior de la ionosfera desvía la trayectoria de estas ondas de manera que vuelven a la Tierra a distancias a las cuales la recepción de dichas estaciones por medio de las ondas superficiales es imposible.

Las ondas de radio de la gama de ondas cortas son intensamente absorbidas por la Tierra y circunvalan mal su superficie. Por eso, a distancias de varias decenas de kilómetros de las estaciones emisoras sus ondas superficiales se amortiguan. En cambio, sus ondas espaciales pueden captarse por los receptores a distancias de varios millares de kilómetros de ellas e incluso en el punto opuesto de la

Tierra. La desviación de la trayectoria de las ondas cortas espaciales se produce en la ionosfera. Al penetrar en la ionosfera estas ondas pueden recorrer en ella un camino muy largo y volver a la Tierra lejos de la estación emisora. Pueden dar la vuelta a la Tierra y ser captadas en el mismo punto en que se encuentra dicha estación. Esto explica el secreto de la buena propagación de las ondas cortas a grandes distancias incluso si el emisor es de poca potencia.

Pero al propagarse las ondas cortas pueden producirse zonas en las cuales las emisiones de la estación de OC no se oyen en absoluto. Estas zonas se llaman *zonas muertas* o "*zonas de silencio*" (véase la Figura 20). La extensión de la zona muerta depende de la longitud de la onda y del estado de la ionosfera, que depende a su vez de la intensidad de la radiación solar.

Las ondas ultracortas son por sus propiedades las que más se parecen a los rayos luminosos. Fundamentalmente se propagan en línea recta y son intensamente absorbidas por la tierra, por el reino vegetal, por algunos edificios y objetos. Por eso la recepción segura de las señales por onda superficial de las estaciones de OUC sólo es posible, en general, cuando entre las antenas del transmisor y del receptor se puede trazar mentalmente una recta que no encuentre en toda su longitud obstáculo alguno en forma de montaña, colina o bosque. Para las OUC la ionosfera es como el vidrio para la luz, "transparente". Las ondas ultracortas pasan sin dificultad a través de ella. Por eso esta gama de ondas de radio se utiliza para la comunicación con los satélites artificiales de la Tierra y con las naves cósmicas.

Charla 3

Tu primer receptor

Contenido:

- §. Antena y toma de tierra
- §. Primer radiorreceptor
- §. Esquema eléctrico básico de tu receptor
- §. Estructura del receptor
- §. Defectos posibles

* * * *

El conocimiento práctico de la radiotecnica suele empezarse construyendo el receptor de radiodifusión más simple, el receptor de cristal detector. Te aconsejo que no rompas esta tradición de los radioaficionados.

Pero el receptor de cristal detector, como otros sencillos receptores de transistores, no funciona satisfactoriamente sin antena y toma de

tierra. Por esa razón, tus primeros pasos prácticos en radiotecnica debes empezar a darlos con ellas.

§. Antena y toma de tierra

La palabra "antena" viene del latín "antenna", nombre que se daba a los tentáculos o vigolillos que tienen los insectos. La antena receptora es también el "tentáculo" que "captura" en el espacio la energía de las ondas de radio. Cuanto mayor es la energía que el receptor recibe de su antena, tanto mayor es la intensidad con que funciona. Esto tiene especial importancia para el receptor de cristal detector, que funciona exclusivamente a expensas de la energía de las ondas de radio.

Existen muchas y muy variadas estructuras de antenas. La mayor parte de ellas consiste en largos conductores que se elevan a gran altura sobre la superficie de la tierra. Las antenas de este tipo se llaman exteriores, ya que se encuentran fuera de los edificios. Antenas semejantes, pero dispuestas dentro de los edificios reciben el nombre de interiores. Las antenas exteriores tienen mejores condiciones de recepción que las interiores.

Las señales de una estación de radiodifusión local, o lejana pero potente, se pueden captar utilizando una antena interior. Para construir esta antena hay que atornillar a los rincones de la habitación, cerca del techo, unos aisladores de polea, de porcelana, y tender entre ellos un alambre conductor desnudo o con aislamiento. Este alambre puede tenderse a lo largo de una, dos, tres o cuatro paredes de la habitación. Uno de los extremos del conductor debe bajar hasta el receptor. Esta antena será tanto mejor cuanto más largo sea el alambre y más alta sobre la tierra esté la habitación.



Figura 22 Antena interior helicoidal

También se puede hacer una antena interior helicoidal (Figura 22) para lo cual un alambre aislado o desnudo de 10 a 15 m de longitud se arrolla a una barra redonda y luego se saca de ella. La antena helicoidal hay que suspenderla de un cordón o de un sedal de caprón entre las paredes de la habitación. La bajada al receptor puede hacerse desde cualquiera de los extremos o espiras de la antena.



Figura 21. Toma de tierra

Para la toma de tierra pueden servir las tuberías de conducción del agua o de la calefacción central, puesto que tienen buen contacto eléctrico con la tierra. En la parte del tubo más próxima a tu sitio de trabajo debes limar, hasta que quede brillante, un trozo al cual arrollarás fuertemente el extremo, también limado, de un alambre de cobre cuyo otro extremo irá al receptor. Para que el contacto del alambre con el tubo sea mejor, se puede asegurar con una abrazadera de fijación (Figura 21).

§. Primer radorreceptor

Te propongo empezar por el montaje de un receptor de cristal detector experimental. La principal ventaja de esta modalidad de radorreceptor simple consiste en que en ella es fácil hacer cualquier variación o adición y corregir los errores conmutando los conductores de conexión, ya que todos sus elementos los tendrás desplegados ante ti.

Los experimentos con él te ayudarán a comprender los principios fundamentales en que se basa el funcionamiento de todo receptor de radiodifusión y a adquirir cierta práctica de construcción radiotécnica.



Figura 23, Bobina de inductancia hecha por un aficionado (a), barra de ferrita (b), diodo de punta de contacto (c), condensadores (d) y auriculares (e) necesarios para el receptor experimental.

Para hacer este receptor se necesita (Figura 23); una bobina de inductancia, una barra de ferrita (marca 400 HH o 600 HH) de 7 u 8 mm de diámetro y de 120 a 140 mm de longitud (estas barras se utilizan para hacer las antenas magnéticas de los receptores de transistores), un diodo semiconductor de punta de contacto, que hará de detector, varios condensadores de capacidad constante y unos auriculares. La bobina de inductancia debes hacerla tú mismo, los demás elementos puedes conseguirlos hechos. El diodo puede ser cualquiera de los de las series D9 o D2. Los condensadores también pueden ser de cualquier tipo (de mica, de cerámica o de papel), de capacidad desde varias decenas hasta varios millares de picofaradios (abreviado; pF) Los auriculares deben ser de alta resistencia óhmica, es decir, con devanados de 1500 a 2200 ohmios (Ω), por ejemplo, del tipo TOH-1 o TA-4. Más tarde, cuando empieces a hacer experimentos, necesitarás otros elementos y materiales.

Para la bobina se necesita hilo de bobinado marca ПЭВ-1 (hilo con aislamiento de esmalte en una capa, de alta resistencia mecánica. ПЭВ-2 (ídem, pero con dos capas de aislamiento) o ПЭЛБ (hilo esmaltado con barniz resistente) de 0,15 a 0,2 mm de diámetro. Los hilos de estas marcas y sus diámetros se designan así: ПЭВ-1: 0,15"; ПЭВ-2: 0,18" y ПЭЛБ: 0,2" También pueden servir hilos de bobinado de otras marcas, por ejemplo, ПБД, con aislamiento de hilo de algodón en dos capas o ПЭЛБ-ШО, esmaltado con barniz resistente y envuelto en una capa de seda natural. Lo importante es que el aislamiento no esté deteriorado, de lo contrario entre las espiras de la bobina puede producirse un corto circuito, lo cual es intolerable.

El diámetro interior de la armazón de la bobina, que se hace de papel de escribir encolado, formando 3 ó 4 capas, debe ser tal, que dentro de él pueda entrar con poco rozamiento la barra de ferrita. Con vistas a esta condición, te aconsejo que utilices la barra de ferrita como horma para hacer la armazón de la bobina. Haz esto así: envuelve previamente la barra de ferrita con una o dos capas de papel fino, para que luego la armazón no se sujete a ella. Después envuelve la barra una vez en una tira de papel de escribir de aproximadamente 100 mm de anchura. Sobre la parte de dentro del resto de la tira de papel extiende una capa delgada y uniforme de cola БФ-2, haz rodar la barra, apretándola, sobre la tira de papel y deja que la armazón se seque un poco antes de sacarla de la barra. Cuando se haya empezado a secar, sácala de la barra, quítale la capa de papel fino y termínala de secar en un sitio templado. La armazón terminada debe ser dura.

Antes de arrollar el hilo, introduce la barra de ferrita en el armazón. No aprietes mucho el hilo o al enrollarlo porque de lo contrario la armazón se comprimirá y será difícil sacar de ella la barra. Sobre la armazón hay que enrollar en fila 300 vueltas de hilo, haciendo cada

50 vueltas derivaciones en forma de bucles. Así se obtiene una bobina de inductancia de una capa con seis secciones, dos terminales extremos y cinco derivaciones. Para evitar que las espiras extremas del hilo de la bobina terminada se salgan de la armazón, sujétalas a ella con anillos cortados de tubos de goma o de policloruro de vinilo o atándolos con hilos. Las espiras de la bobina se pueden fijar también con una capa delgada de cola БФ-2.

Los extremos de la armazón córtalos cuidadosamente con un cuchillo bien afilado.

Ocurre a veces que al hacer la bobina se rompe el hilo, o que un trozo de él es insuficiente para toda la bobina. En este caso a los extremos de los hilos que hay que unir, les quitas el aislamiento, se retuercen fuertemente y se sueldan y se protegen con una cinta aisladora fina. Si la junta cae cerca de una derivación es preferible no escatimar varias vueltas de hilo y hacer el empalmo en el bucle.

Y ahora, mi joven amigo, puedes empezar a montar tu primer receptor de radio (Figura 24).

Quita de los extremos de los terminales y de las derivaciones de la bobina el aislamiento, pero hazlo con cuidado para que no se rompan los hilos. A uno de los terminales extremos le llamaremos principio de la bobina y lo designaremos con la letra p .

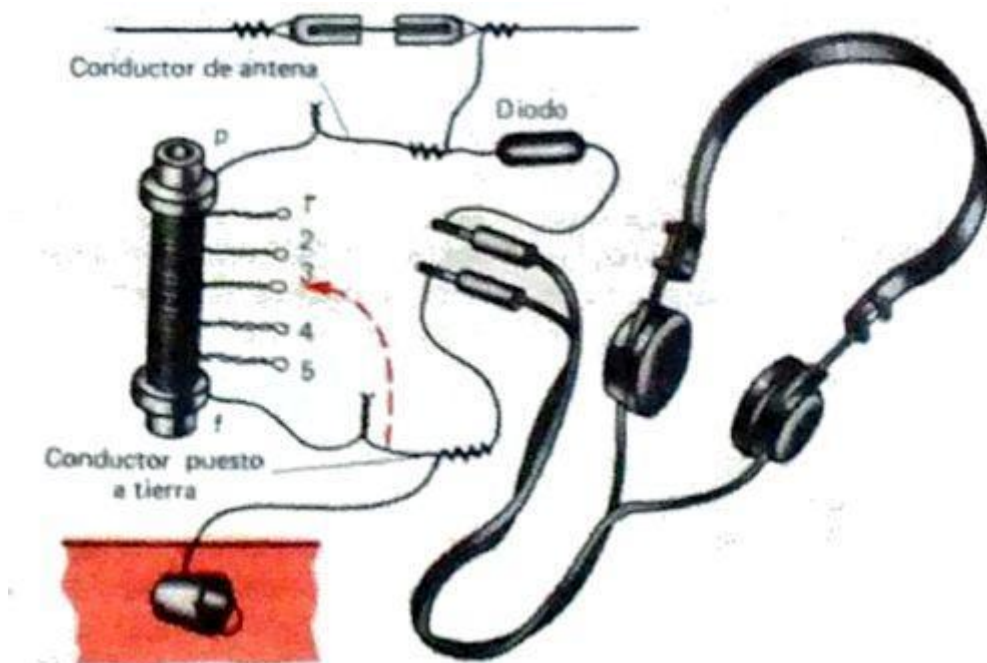


Figura 24. Conexión de los elementos del receptor experimental

Une este terminal al diodo. El otro extremo de la bobina, es decir, el final, f , únelo a una de las clavijas de contacto del cordón de los

auriculares. El otro terminal del diodo únelo a la otra clavija de los auriculares. Al conductor que va del principio de la bobina al diodo, retuerce fuertemente el alambre que baja de la antena, después de quitarle el aislamiento. A este conductor del receptor le llamaremos conductor de antena. Al conductor que une el final de la bobina con los auriculares retuerce el alambre de toma de tierra. Dicho conductor será el conductor de tierra. Durante los experimentos este conductor habrá que conmutarlo de una derivación de la bobina a otra; en la Figura 24 se indica esto con una línea de trazos y una flechita), sin que varíe la unión de la toma de tierra con los auriculares.

Démonos un “paseo” por los circuitos del receptor recién hecho. Del principio p de la bobina, pasando por el conductor de antena, llegamos al diodo, y desde él a los auriculares.

A través de éstos y siguiendo por el conductor de tierra y las espiras de la bobina, volvemos al punto de partida p . Resulta un circuito eléctrico cerrado que consta de una bobina, un diodo y unos auriculares. Este circuito se llama detector. Si en algún punto de este circuito se produce un corte, un mal contacto entre los elementos o los conductores de conexión, por ejemplo, por estar mal retorcidos, el receptor naturalmente no funcionará.

El camino más corto desde la antena hacia la tierra es la que pasa por la bobina. Este es el camino que sigue la corriente de alta frecuencia que exista en la antena las ondas de radio. Está corriente crea en los extremos de la bobina a una tensión de alta frecuencia que produce una corriente de igual frecuencia en todo el circuito detector.

El circuito formado por la antena, la bobina y la toma de tierra, se llama circuito de antena. Presta atención, la bobina del circuito oscilante del receptor forma parte tanto del circuito de antena como del circuito detector.

Después de este “paseo” por los circuitos del receptor puedes empezar a probarlo. Ponte los auriculares, ajústalos bien a los oídos, y escucha. Es posible que de momento no oigas nada, incluso si la antena y la toma de tierra son buenas, y el diodo y los auriculares han sido probados previamente. Esto puede deberse a que el receptor no está aún sintonizado a la frecuencia portadora de la estación de radiodifusión cuya señales se oyen bien en tu región o a que dicha estación no transmite a esa hora. Este receptor se puede sintonizar variando el número de espiras de la bobina que se incluyen en el circuito de la antena.

En la Figura 24, en el circuito de la antena, están incluidas las 300 espiras de la bobina. Pero si el conductor de tierra se desconectó en el extremo de la bobina y se conecta, por ejemplo a la desviación 5,

en el circuito estarán incluidos no las 300 espiras, sino sólo 250. Si este mismo conductor se conmuta a la derivación 4, en el circuito estarán incluidas 200 espiras. Si se conmuta a la derivación 3 ahora serán 150 espiras y así sucesivamente. En este caso las secciones inferiores están excluidas del circuito y no participarán en el funcionamiento del receptor.

De este modo conmutando el conductor de tierra puedes incluir en el circuito distinto número de espiras de 50 en 50.

Acuérdate de esto:

cuanto mayor sea la longitud de onda de la estación de radiodifusión a la que se puede sintonizar el receptor, tanto mayor debe ser el número de espiras de la bobina intercalada en el circuito de antena

Tu receptor experimental puede sintonizarse tanto a una estación de radiodifusión de la gama de ondas media como de la gama de ondas largas, pero claro está que no podrás captar las emisiones de cualquier estación. El receptor de cristal detector no puede reaccionar a las débiles señales de las estaciones lejanas porque su sensibilidad es pequeña

Empieza ahora a sintonizar el receptor uniendo el conductor de tierra primeramente a la derivación 5, después a la 4 y así hasta llegar a la 1. Al mismo tiempo ten cuidado de que las derivaciones de la bobina y los conductores de conexión no se toquen y de que los contactos y los retorcimientos no fallen. De lo contrario el receptor no funcionará o en los auriculares se oirán chasquidos y susurros que dificultarán la recepción. Los contactos eléctricos serán más seguros si los puntos de unión de los conductores y los elementos se sueldan.

Una vez que hayas sintonizado el receptor a una estación, acuérdate del número de espiras intercaladas en el circuito con el cual la estación se oye mejor. Luego intenta "hallar" por el mismo procedimiento, otra estación.

Espero que consiga cierto éxito. Prueba, sin embargo, a mejorar el funcionamiento del receptor. Sin cambiar su sintonización conecta en paralelo a los auriculares (entre su clavija de contacto) un condensador. La capacidad del condensador que en este caso se llama condensador de bloqueo puede ser de 1000 a 3000 pF. Con esto la intensidad del sonido en los auriculares debe aumentar un poco si las estaciones de radiodifusión se hayan a mas de 150 o 200 km de tu casa y intercala el condensador de bloqueo al empezar el experimento

Este procedimiento de sintonización del receptor con solo variar a saltos el número de espiras de la bobina es muy simple, pero no siempre permite sintonizarlo exactamente a la frecuencia portadora de la estación. La sintonización exacta puede lograrse por un procedimiento adicional, por ejemplo, valiéndose de un clavo ¡Haz la prueba!

Sintoniza el receptor como ya sabes a la onda de una estación de radio y después introduce dentro de la armazón de la bobina un clavo grueso o una varilla de hierro de diámetro apropiado, ¿Qué ocurre? La intensidad del sonido recibido aumentará un poco o, al contrario, disminuirá. Saca el clavo de la de la bobina y la intensidad volverá a ser la misma que al principio.

Ahora introduce nuevamente el clavo en la bobina y sácalo también con la misma lentitud, la intensidad del sonido variará poco, pero suavemente variará Así, por vía experimental, se puede hallar la posición del clavo o la varilla dentro de la bobina con la cual la intensidad del sonido será la mejor.

Este experimento permite sacar la siguiente conclusión: la varilla de hierro introducida en la bobina influye en la sintonización del circuito. Con este procedimiento de sintonización del receptor, aunque, naturalmente, utilizando no un clavo, sino un núcleo ferromagnético, te encontrarás en esta misma charla Mientras tanto, te propongo que hagas el experimento siguiente: sintoniza el receptor por medio de un condensador de capacidad variable.

Para que te resulte más cómodo hacer este experimento y algunos otros posteriores con el receptor de cristal detector, monta, en una tabla de madera contrachapado cuyos dimensiones sean 30×70 mm, una regleta con enchufes hembras para los auriculares, dos bornes y un condensador de bloqueo, conectándolos como muestra la Figura 25.

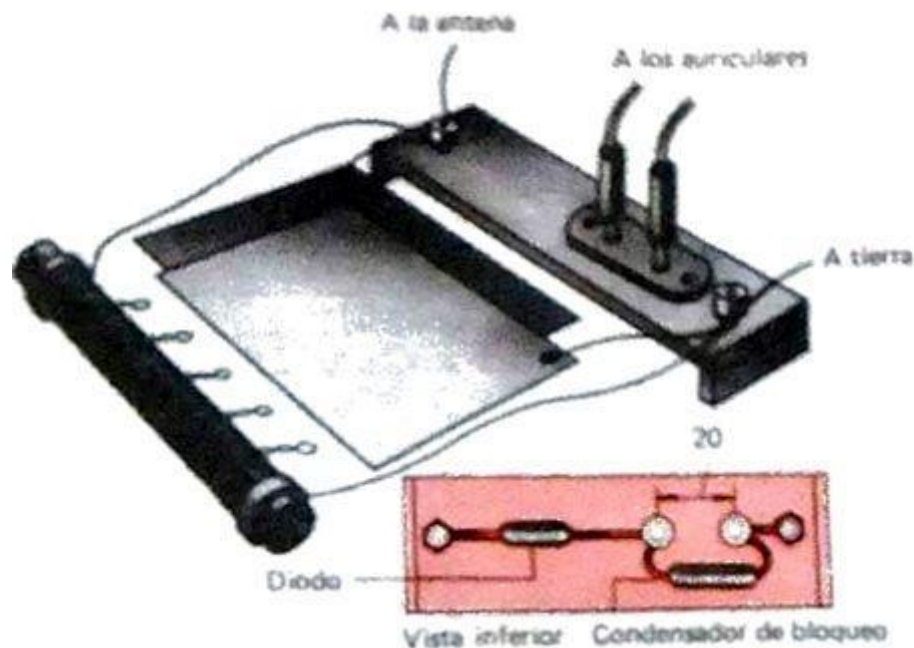


Figura 25. Sintonización del receptor por medio de un condensador improvisado de capacidad variable

La regleta con los enchufes hembras móntala en la tabla así: taladra en ella dos orificios de 6 a 8 mm de diámetro, a 20 mm de distancia entre sus centros, e introduce en ellos los manguitos de contacto. La regleta sujétala a la tabla con dos tirafondos o dos tornillos con tuercas. El principio de la bobina y la antena conéctalos a borne con que está unido el diodo y el segundo borne al cual está unido el enchufe hembra de los auriculares, conecta el final de la bobina y la toma de tierra.

El condensador de capacidad variable puede ser tanto con dieléctrico sólido como de aire. Pero la función del condensador de capacidad variable la pueden desempeñar dos láminas metálicas de dimensiones de 150 × 150 mm, cortada por ejemplo, de hojalata. Suelda a estas láminas en dos conductores de 250 a 300 mm de longitud. Por medio de estos conductores conecta una de las láminas con el borne de antena y la otra con el borne de derivación a tierra. Pon las láminas sobre la mesa una al lado de la otra pero de forma que no se toquen y sintoniza el receptor a una estación de radio, solamente conmutando las secciones de la bobina con el conductor de tierra. Ahora acerca la lámina puesta a tierra a la lámina conectada con la antena. Si la intensidad del sonido aumenta acerca más las láminas, y por fin pon una sobre otra, interponiendo entre ellas una hoja de papel seco (para que no haya contacto eléctrico). Encuentra la colocación mutua de las láminas con la cual la sintonización sea exacta. Si al aproximar las láminas la intensidad del sonido disminuye conmuta el conductor de tierra a la derivación de la bobina más próximo al principio de la misma y vuelve aproximar las láminas hasta lograr la intensidad máxima.

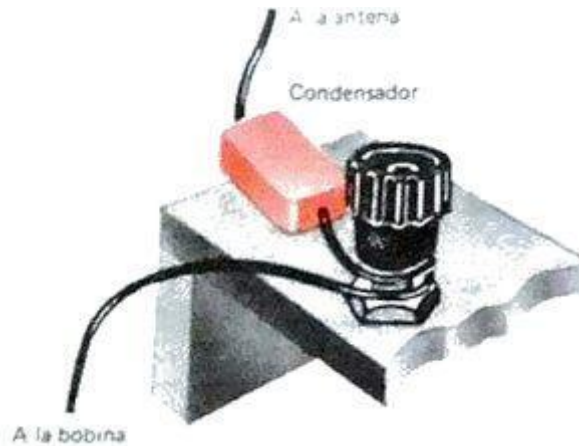


Figura 26 El condensador conectado al circuito de antena mejora la selectividad del receptor

En este experimento la sintonización del receptor a la frecuencia portadora de la estación de radio se ha realizado por dos procedimientos: uno, aproximado, variando la inductancia de la bobina mediante la conmutación de sus secciones, y otro, exacto, variando la capacidad del condensador de láminas.

Acuérdate de esto:

la inductancia de la bobina y la capacidad del condensador, cuando, el receptor se sintoniza a una estación emisora, están en relación mutua.

La misma estación de radio se puede oír intercalando en el circuito de antena del receptor un número mayor de espiras, es decir, mayor inductancia de la bobina, pero con menor capacidad del condensador, o, al contrario, con menor inductancia de la bobina, pero con mayor capacidad del condensador.

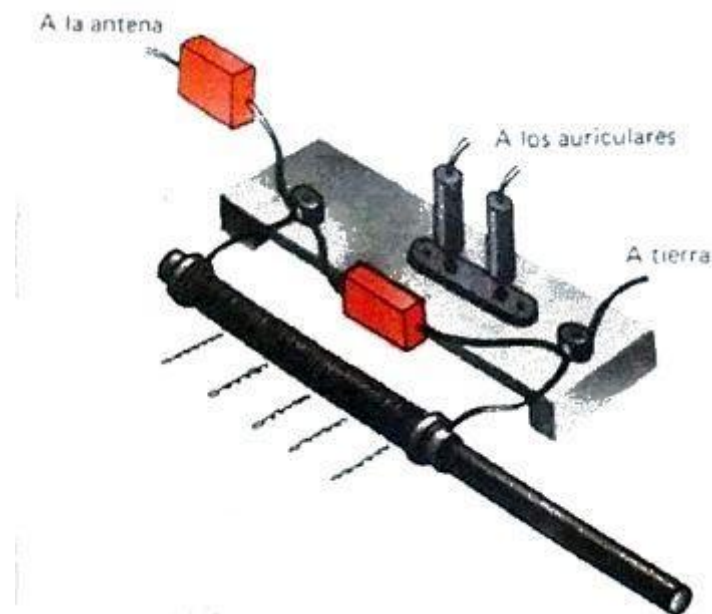


Figura 27. Receptor con sintonización por barra de ferrita

Vuelve ahora a sintonizar el receptor a cualquier estación de radio, recuerda la intensidad con que recibes la emisión y después, sin cambiar el ajuste, intercala entre la antena y el borne de antena *un* condensador de 47 a 62 pF (Figura 26). ¿Qué ocurre? Que la intensidad de la recepción disminuye un *poco*. Esto se debe a que el condensador intercalado en el circuito de antena hace un cambio en los parámetros de todo el circuito. Reajusta el circuito con el condensador de capacidad variable hasta que los auriculares suenen con la misma intensidad que antes. Si antes de intercalar al circuito el condensador adicional, durante la recepción de una estación, se oía a la vez otra estación cualquiera de frecuencia próxima, ahora esta última se oirá más débilmente o dejará de oírse. El receptor empieza a discriminar mejor las señales de la estación a que se sintoniza o, como suele decirse, su selectividad habrá mejorado.

En vez de un condensador de capacidad constante, intercala entre la antena y el receptor un condensador de capacidad variable. Con su ayuda podrás no sólo variar la selectividad del receptor, sino también, posiblemente, sintonizarlo a distintas estaciones.

El siguiente experimento consiste en sintonizar el receptor por medio de una barra de ferrita (Figura 27). Quita el condensador de láminas y en su lugar, entre los bornes de antena y de tierra, es decir, en paralelo a la bobina, conecta un condensador de mica o cerámico de 120 a 150 pF de capacidad. Ajústate bien los auriculares a los oídos, concéntrate y muy lentamente ve introduciendo la barra de ferrita dentro de la armazón de la bobina. A medida que penetra la barra en la bobina irás escuchando las emisiones de las distintas estaciones de radiodifusión cuya recepción es posible en tu localidad con el receptor

de cristal detector. Cuanto mayor sea la longitud de onda de la estación, tanto mas habrá que introducir la barra en la bobina. Haciendo pruebas, haya las posiciones de la barra dentro de la bobina con las cuales se oyen más intensamente las señales de las estaciones y haz con lápiz, sobre dicha barra, las indicaciones correspondientes. Utilizando estas indicaciones, como divisiones de una escala podrás sintonizar rápidamente el receptor a la onda de la estación que desees.

Siguiendo los experimentos con la barra de ferrita, conecta en paralelo a la bobina otro condensador de 390 a 470 pF de capacidad

¿Cómo influye eso en la sintonización del receptor? La intensidad permanece como antes, pero para sintonizar la misma estación hay que introducir menos la barra en la bobina. Quita el condensador y deja conectada únicamente la bobina. ¿Qué ocurre? Que para sintonizar el receptor a la misma estación has que introducir más la barra en la bobina.

¿Qué conclusiones se pueden sacar de los experimentos realizados con esta modalidad de receptor de cristal detector? Dos principales. Primera, que la barra de ferrita influye con mucha más intensidad que el clavo o la varilla de hierro en la inductancia de la bobina y por la tanto la sintonización del receptor. Segunda, que saliéndose de la barra de ferrita se puede sintonizar suavemente y con exactitud el circuito del receptor a la estación de radio deseada.

Otro experimento más. Desconecta del receptor la antena y la toma de tierra, conecta entre ellas el diodo y, en paralelo, los auriculares sin condensador de bloqueo. Ese es todo el receptor. ¿Cómo funciona? ¿Apenas se oye? Además es posible que se escuchen a la vez las emisiones de dos o tres estaciones de radiodifusión. De este receptor no se puede esperar nada mejor.

Tú, seguramente, habrás notado que cuando tocas con la mano los elementos o los conductores de conexión, la intensidad del sonido varía algo. Esto se debe al desajuste que introduce en el circuito de antena la capacidad eléctrica de tu cuerpo.

§. Esquema eléctrico básico de tu receptor

Para conectar correctamente los elementos del receptor has empleado dibujos. En ellos la bobina, los auriculares, el diodo detector y los demás elementos, aparatos y conexiones los has visto tal como son en realidad. Eso resulta muy cómodo al principio, mientras se trata de receptores de radio de estructura muy simple, formada por un pequeño número de elementos. Pero si se intentara representar por este procedimiento la estructura de un receptor moderno, resultaría una maraña de elementos y conductores

imposible de descifrar. Para evitar eso, todo aparato eléctrico o de radio se representa esquemáticamente, es decir, por medio de un dibujo simplificado o esquema.

Hay tres tipos fundamentales de esquemas: estructurales y eléctricos básicos de conexiones eléctricas.

El *esquema estructural* es un dibujo simplificado en el cual los grupos de elementos y aparatos, que desempeñan funciones determinadas en el dispositivo radiotécnico, se representan convencionalmente por medio de rectángulos u otros símbolos. El esquema estructural sólo da una idea de cómo funciona el dispositivo, de su estructura y de la relación entre sus grupos funcionales. De ejemplo de esquema estructural puede servir la Figura 18, que utilicé para explicarte el principio en que se basa el funcionamiento de una estación de radiodifusión. ¿Se puede representar por este procedimiento la estructura de un receptor de cristal detector? Claro que sí. Dibuja cuatro rectángulos en fila y únelos entre sí con rectas provistas de flechitas que vayan de izquierda a derecha. En el rectángulo extremo izquierdo escribe la palabra "Antena", en el rectángulo siguiente a él, "Circuito oscilante", en el tercer rectángulo, "Detector" y en el cuarto, "Auriculares". Así se obtiene el esquema estructural del receptor de cristal detector. Este esquema puede "leerse" como sigue: las oscilaciones moduladas de radiofrecuencia excitadas en la antena, llegan al circuito oscilante del receptor y después al detector, este último separa de la señal recibida las oscilaciones de audiofrecuencia las cuales son transformadas en sonido por los auriculares.

El *esquema eléctrico básico* también suele llamarse sólo básico o simplemente esquema. En él todos los elementos del aparato radioeléctrico y el orden de sus conexiones se representan por signos convencionales, que simbolizan dichos elementos, y por líneas. "Leyendo" el esquema básico como si fuera un mapa geográfico o el dibujo de un mecanismo cualquiera, no es difícil distinguir los circuitos y el principio que sirve de base al funcionamiento del aparato. Pero este esquema no da idea de las dimensiones del aparato ni de la colocación de sus elementos en las placas de montaje.

El *esquema de las conexiones*, a diferencia del básico, informa de cómo están colocados y conectados entre sí los elementos del aparato. Al montar un receptor, un amplificador o cualquier otro aparato, el radioaficionado coloca los elementos y los conductores aproximadamente como están en el esquema de conexiones que se recomienda.

Pero el montaje de todas las conexiones de los elementos se comprueban por el esquema básico del aparato.

Saber dibujar y leer correctamente los esquemas de radio es condición indispensable para todo el que quiera ser radioaficionado.

En la Figura 28 puedes ver los elementos y dispositivos que ya conoces y algunos otros que tendrás que utilizar en adelante y al lado de ellos, dentro de circunferencias, sus representaciones gráficas simbólicas en los esquemas básicos.

Cualquier bobina de inductancia sin núcleo, independientemente de su estructura y número de espiras, se representa en el esquema básico en forma de una línea ondulada.



Figura 28. Algunos elementos y dispositivos radiotécnicos, sus representaciones gráficas convencionales en los esquemas básicos.

Las derivaciones de la bobina se indican por medio de rayitas. Si la bobina tiene núcleo ferromagnético (barra de ferrita) fijo, que

aumenta su inductancia, esto se simboliza por medio de una recta a lo largo de la representación de la bobina. Si con el núcleo se sintoniza el circuito del receptor, como hiciste en el receptor experimental, en el esquema se simboliza por la misma recta, pero tanto ella como la bobina se cruzan con una flecha. El núcleo ferromagnético de ajuste de una bobina se representa por una rayita gruesa y corta cruzada por un símbolo en forma de T.

Todo condensador de capacidad constante se representa por dos rectas cortas paralelas, que simbolizan dos placas aisladas entre sí. Si el condensador es electrolítico (de estos condensadores hablaremos más adelante), su armadura positiva se indica con un signo "+" adicional. Los condensadores de capacidad variable se representan lo mismo que los de capacidad constante, pero cruzados oblicuamente por una flechita, que simboliza la variabilidad de la capacidad de dicho aparato. Los enchufes para conectar el conductor de antena, los auriculares o cualesquiera otros dispositivos o elementos se representan por signos en forma de horquillas, y los bornes, en forma de circulitos.

Es nuevo para ti el conmutador. En vez de, al sintonizar el receptor, tener que retorcer y enderezar los conductores como hiciste durante los experimentos con el receptor detector, los terminales y las derivaciones o tomas de la bobina se pueden conmutar por medio de un simple conmutador de corredera, de cursor o de cualquier otro tipo.

Los conductores que unen entre sí los elementos se representan por líneas rectas. Si estas líneas convergen y en el sitio en que se cruzan hay un punto, quiere decir que los conductores están unidos. Si el sitio en que se cruzan no está marcado con el punto, los conductores no están conectados entre sí.

En los esquemas básicos, junto a las representaciones simbólicas de los elementos, aparatos, dispositivos de conmutación y otros, se escriben las letras latinas correspondientes. Así, por ejemplo, a todos los condensadores, independientemente de su estructura, peculiaridades y utilización, se les atribuye la letra C; a los resistores, la letra R; a las bobinas, la L; a los diodos, transistores y otros muchos dispositivos semiconductores, la V; a las antenas, la W; a los enchufes y demás dispositivos de conexión, la X; a los auriculares, altavoces, micrófonos y demás transformadores de oscilaciones eléctricas o acústicas, la B; a las pilas y acumuladores, la G; a las baterías de pilas o de acumuladores, las letras BG; a las lámparas de incandescencia, la In y así sucesivamente. Además, en los esquemas básicos se numeran los elementos, es decir, al lado de la letra atribuida al elemento se escribe una cifra, por ejemplo, C1, L1, L2, R1, V1, etc. Para simplificar, en los esquemas básicos no se

representan a veces la antena ni los auriculares, sino únicamente los enchufes o bornes para conectarlos, pero en este caso al lado de estos últimos se escriben las letras y cifras correspondientes: W1, B1.

Ahora, conociendo ya los símbolos convencionales de los elementos, puedes representar los esquemas básicos de los receptores detectores con los cuales hiciste los experimentos.

El esquema básico de la primera modalidad de receptor experimental se muestra en la Figura 29a, lo sintonizabas variando el número de secciones de la bobina intercaladas en el circuito, mediante la conmutación del conductor a tierra. Por eso, en el esquema se introduce el conmutador S1. Recuerda nuestro "paseo" por los circuitos del receptor y repítelo ahora, pero por el esquema básico. Desde el principio de la bobina L1, indicado en el esquema por el punto, vas a parar al diodo V1 y a través de él a los auriculares B1. Después, pasando por estos, por el conductor a tierra, el conmutador S1 y las espiras de la bobina L1, se vuelve al punto de partida. Éste es el circuito detector. Para las corrientes de alta frecuencia el camino desde la antena hasta tierra pasa por las secciones de la bobina y el conmutador

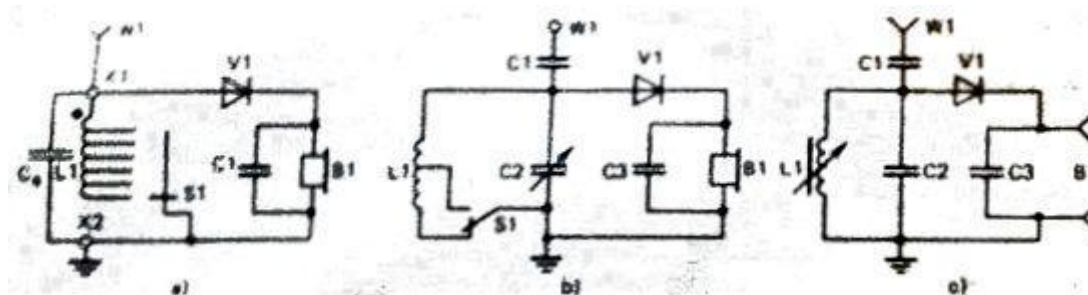


Figura 29. Esquemas básicos de las modalidades del receptor experimental con sintonización por conmutación de las derivaciones de la bobina (a); con condensador de capacidad variable (b); con barra de ferrita (c)

Este es el circuito de antena. El receptor se sintoniza con la estación emisora variando, a saltos, el número de espiras que se intercalan en el circuito. En paralelo a los auriculares está conectado el condensador de bloqueo C1.

En el mismo esquema, con líneas de trazos, se muestra condensador C. En el receptor no figuraba de este elemento. Pero la capacidad eléctrica que lo simboliza estaba presente, se forma por la antena y la toma de tierra y como sí se conectara el circuito a sintonizar.

El esquema básico de una de las modificaciones posteriores del receptor experimental puede verse en la figura 29b. Su circuito de entrada sintonizable consta de una bobina L1 con una derivación, el

condensador de la capacidad variable C2 introducido por ti, el dispositivo de antena y el condensador de antena C1. Si en el circuito solo se intercala la acción la sección superior (según el esquema) de la bobina, el receptor capta las estaciones de radio de la gama de OM y si se intercalan las dos secciones, las estaciones que emiten en la gama OL. De esta forma, en el receptor el paso de una gama a otra efectúa con el conmutador S1 y la sintonización suave en cada una de las gamas con el condensador de capacidad variable C2.

La última modificación fue la del receptor que se sintoniza valiéndose de la barra de ferrita. Su esquema básico lo puedes ver en la figura 29c, el circuito oscilante lo forman las bobinas L1 y el condensador de capacidad constante L2, la bobina no tiene derivaciones, de decir el receptor es de una sola gama; para la recepción de estaciones de otra, nada más hay que intercalar en el circuito otra bobina calculada para dicha recepción. Para conectar los auriculares se han previsto enchufes B1.

§. Estructura del receptor

En principio, el receptor de cristal detector ha perdido la importancia práctica que antes tenía. Hoy a nadie le asombra. Tales son las exigencias del tiempo. Pero para ti, como para todos los nuevos aficionados, tiene valor como material de estudio de las bases de la radiotecnica, con el cual, además, se puede adquirir cierta práctica en trabajos de montaje. Por eso es de suponer que te será útil terminar el receptor dándole una estructura simple acabada.

La estructura de la primera modalidad del receptor según el esquema de la Figura 29a, puede ser la que muestra la Figura 30. El diodo V1 que desempeña la función de detector, puede ser cualquiera de los de las series Д 2 o Д 9. La capacidad del condensador C1 que bloquea los auriculares B1, puede ser de 2200 a 6000 pF. El conmutador S1 de corredera puedes hacerlo tu mismo.

El receptor montado sobre un tablero de madera contrachapada de 60 × 60 mm. Debajo del tablero, en dos de los bordes opuestos, clava dos listones de 10 a 15 mm de altura cada uno, que sirven de patas.

Encima del tablero estarán el conmutador, el clavijero de dos enchufes para conectar los auriculares y los bornes para la antena y la toma de tierra. Debajo del tablero, el diodo VI, el condensador de bloqueo C1 y la bobina del circuito oscilante L1. Las derivaciones y los terminales de la bobina se conectan a los contactos del conmutador y al borne para la antena.

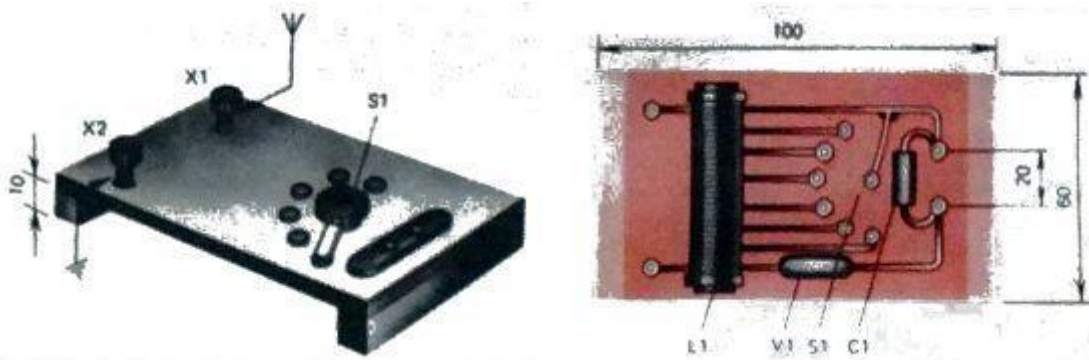


Figura 30. Receptor con sintonización por conmutación de todas las secciones de la bobina del circuito oscilante.

Cuando termines el montaje, comprueba si las conexiones son sólidas y están bien hechas, de acuerdo con el esquema básico, enchufa los auriculares, conecta la antena y toma de tierra y empieza a probar el receptor.

Puede ocurrir que la estación de onda más larga se oiga débilmente incluso cuando en el circuito oscilante estén intercaladas todas las secciones de la bobina. En este caso, entre los bornes de la antena y de la toma de tierra hay que conectar un condensador adicional de 100 a 270 pF de capacidad. Y si al mismo tiempo se escucha las emisiones de dos estaciones de radio, para mejorar la selectividad del receptor, intercala en el circuito de antena un condensador de 47 a 62 pF de capacidad.

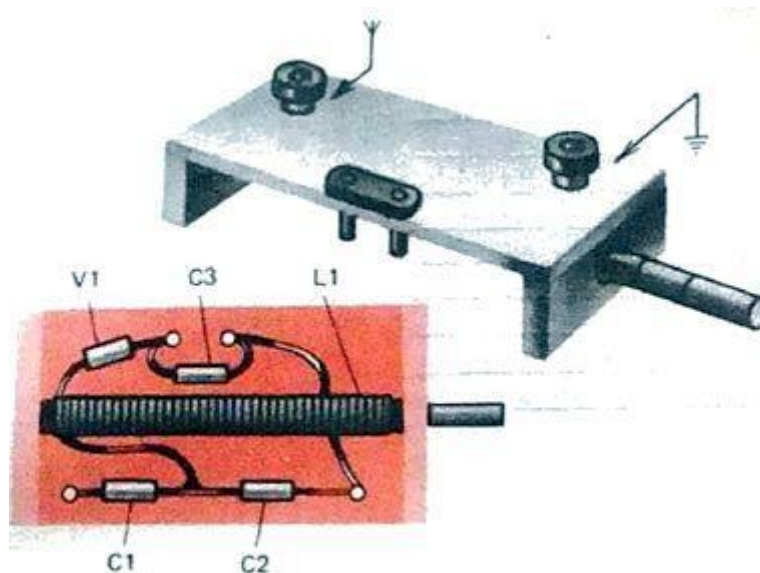


Figura 31. Receptor con sintonización por barra de ferrita

En la estructura que muestra la Figura 31 debes reconocer la tercera modificación del receptor experimental, con sintonización por medio de la barra de ferrita (según el esquema de la Figura 29c). Sólo que entonces la bobina del circuito oscilante se encontraba sobre la mesa

y tú conectabas sus terminales al dispositivo detector, mientras que ahora está pegada por los extremos de la armazón a unos orificios que tienen los listones, que hacen de pies de un dispositivo análogo. El receptor se sintoniza únicamente con la barra de ferrita. En dicha barra se han hecho las señales correspondientes a las posiciones que ocupa dentro de la armazón de la bobina al sintonizar las distintas estaciones.

Si donde vives las estaciones que se oyen bien son principalmente las que transmiten en la gama de OL, emplea en el receptor la bobina que hiciste para el experimental. Pero si se escuchan mejor las estaciones de la gama de OM, debes hacer otra bobina, calculada para la recepción de las estaciones de esta gama.

La estructura de la bobina para la gama de OM es la misma. La longitud de su armazón, también de papel encolado sirviéndose de la barra de ferrita como horma, puede ser de 80 a 90 mm. La bobina debe tener de 80 a 90 espiras de hilo ПЭВ 1 y ПЭВ 2 de 0.2 a 0.3 mm de diámetro, pero espaciadas (con poca distancia entre ellas, de modo que la longitud de arrollamiento sea de 60 a 70 mm.

Con este tipo de arrollamiento puede sintonizarse con mayor precisión el circuito oscilante a la onda de la estación emisora. Sobre todo si funciona en la parte de las ondas más cortas de esta gama. De esto te convencerás tú mismo.

El diodo V1 como en el receptor anterior, puede ser de Д 2 o Д 9 con cualquier índice literal. La capacidad del condensador C1 puede ser de 47 a 62 pF y la del condensador C3 de 2200 a 6800 pF. El condensador C2 elígelo experimentalmente (en el esquema se indica con un asterisco): su capacidad (de 100 a 470 pF) debe ser tal que la estación de onda más larga se sintonice con la barra de ferrita casi totalmente introducida en la armazón de la bobina. El manejo de este receptor ya lo conoces.

Si en tu localidad sólo se oyen bien las transmisiones de una estación de radio, por ejemplo, la local, puedes hacer un receptor de cristal detector aun más simple, con sintonización fija, según el esquema de la Figura 32. Este receptor carece de botones de sintonización. Se sintoniza una vez a la estación elegida y siempre está dispuesto para la recepción de dicha estación.

La sintonización del emisor a la emisora local se puede hacer valiéndose del núcleo de ajuste de la bobina L1 (en el esquema el núcleo de ajuste se representa por una rayita gruesa y corta cruzada por un símbolo en forma de T) y eligiendo la capacidad del condensador C1 desde 100 hasta 300 pF. Puedes utilizar la bobina con barra de ferrita que ya tienes en la cual dicha barra desempeña la

función de núcleo de ajuste. Pero, naturalmente, puedes hacer otra bobina nueva, más corta, y emplear como núcleo de ajuste un trozo de barra de ferrita de longitud igual a la de la armazón de la bobina. El núcleo hay que sujetarlo, de manera que quede fijo al tablero del receptor, y la sintonización a la onda de la emisora se hace desplazando la bobina a lo largo de él. Una vez sintonizado el circuito por este procedimiento, fija la armazón de la bobina al núcleo con una gola de cola.

Al utilizar este receptor debes tener presente que de su circuito oscilante forman parte la capacidad y la inductancia de la antena. Por eso, si le conectas otra antena, tendrás que sintonizarlo de nuevo.

§. Defectos posibles

El receptor de cristal detector es el aparato radiotécnico más simple. Sin embargo, tanto en él como en un receptor complejo pueden existir defectos que hay que saber hallar y corregir.

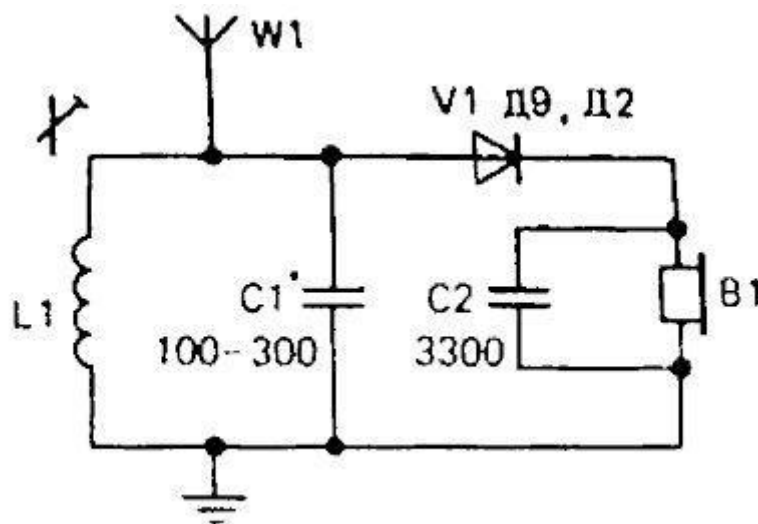


Figura 32. Esquema básico de un receptor de cristal detector con sintonización fija a una emisora

El receptor que tiene menos defectos suele ser aquel cuyos elementos están sólidamente sujetos, el montaje está hecho cuidadosamente y las conexiones bien soldadas.

Pero si a pesar de todo el receptor deja de funcionar o lo hace con interrupciones, quiere decir que en alguna parte hay una interrupción en el circuito, un contacto poco seguro o malo, o se ha producido un cortocircuito. En primer lugar hay que ver si la bobina está deteriorada exteriormente, si la antena y la toma de tierra están bien conectadas y si el conmutador funciona bien. Comprueba si la antena, la toma de tierra y sus entradas están en buen estado y si el conductor de antena está en contacto con algún objeto a través del cual pueda existir una fuga de corriente de la antena a tierra fuera

del receptor. Si no ves deterioros externos en el receptor, en la antena ni en la toma de tierra, por lo visto falla algún contacto dentro del receptor mismo. Lo más probable es que los malos contactos se produzcan en los conmutadores, debido a que las tuercas y los tornillos se aflojan al hacer los ajustes de sintonización o a que el conductor de conexión no tiene limpios los puntos de unión. En este caso el receptor no funciona o durante la recepción se oyen muchos chasquidos.

El desperfecto puede encontrarse también en la bobina misma, si su devanado no se hizo con un solo trozo de hilo y los empalmes no se soldaron. Éstos son los casos más frecuentes si el receptor lleva mucho tiempo en un sitio húmedo, porque con la humedad se oxidan las uniones y se pierde el contacto eléctrico.

¿Qué otros defectos puede tener el receptor?

Mira el esquema de tu receptor y responde a las preguntas siguientes: si el condensador de bloqueo está "perforado" (existe contacto entre sus armaduras), ¿funcionará el receptor? Si los hilos conductores del cordón de los auriculares se tocan, ¿qué pasará? ¿y si, por casualidad, se juntan los extremos de la bobina del circuito oscilante o se quiebran sus derivaciones?

Hazte una serie de preguntas semejantes y responde a ellas. Así te será más fácil encontrar los defectos y subsanarlos.

En la charla octava te daré a conocer los probadores y los aparatos que se utilizan para hacer más fácil la apreciación de la calidad de los elementos, contactos y conexiones. Con ellos se pueden buscar también los desperfectos en el receptor de cristal detector.

En esta charla sólo he tratado la parte práctica de la construcción del radorreceptor más simple y de los principios en que se basa el dibujo y la "lectura" de su esquema. Pero no he dicho casi nada de lo más importante, de lo esencial del funcionamiento del circuito oscilante, del detector, de los auriculares y del receptor en conjunto, de aquellos fenómenos y transformaciones que tienen lugar en sus circuitos. De todo esto me propongo hablar en la charla siguiente.

Charla 4

¿Cómo funciona el receptor?

Contenido:

§. Circuito oscilante

§. Detector y detección Auriculares

§. Recepción con altavoz

* * * *

En todo receptor de radiodifusión, independientemente de su complejidad, hay indispensablemente tres elementos que aseguran su funcionamiento. Estos elementos son; el circuito oscilante, el detector y los auriculares o, si el receptor tiene amplificador de frecuencia acústica (FA), el altavoz dinámico de radiación directa. Tu primer receptor, montado y probado durante la charla anterior, sólo constaba de estos tres elementos. El circuito oscilante, del que formaban parte la antena con la toma de tierra, aseguraba al receptor la sintonización a la onda de la estación emisora, el detector transformaba las oscilaciones moduladas de radiofrecuencia de las oscilaciones de frecuencia acústica, las cuales, a su vez, eran transformadas por los auriculares en sonido, Sin estos elementos o sin cualquiera de ellos, la recepción sería imposible. ¿En qué consiste esencialmente la acción de estos elementos indispensables en el receptor?

§. Circuito oscilante

La estructura del circuito oscilante más simple y su esquema se han representado en la Figura 33. Como puedes ver consta de la bobina L y el condensador C, que forman un circuito eléctrico cerrado. En ciertas condiciones en este circuito pueden producirse y existir oscilaciones eléctricas. Por eso se llama circuito oscilante.

Tú quizá hayas tenido ocasión de observar el fenómeno siguiente: en el instante en que se desconecta la alimentación de una lámpara del alumbrado eléctrico, entre los contactos del interruptor que se abre salta una chispa. Si, por casualidad, se unen los terminales de los polos de una batería de linterna de bolsillo (cosa que hay que evitar), en el instante en que se separan también salta entre ellos una pequeña chispa. Y en las fábricas y talleres, donde con interruptores de cuchilla se cortan circuitos eléctricos por los cuales pasan corrientes de gran intensidad, las chispas pueden ser tan grandes que hay que tomar medidas de seguridad para que no dañen a la persona que desconecta la corriente. ¿Por qué se producen estas chispas?

En la charla primera aprendiste ya que alrededor de un conductor con corriente existe un campo magnético, que puede representarse en forma de líneas de fuerza magnéticas cerradas, que atraviesan el espacio que rodea al conductor. Este campo, si es continuo, se puede descubrir valiéndose de la aguja magnética de una brújula. Si el conductor se desconecta de la fuente de corriente, su campo magnético al extinguirse, dispersándose en el espacio, inducirá corriente en los conductores más próximos a él. La corriente se induce también en el conductor que creó este campo magnético. Y como dicho conductor se encuentra donde es mayor la densidad de sus propias líneas de fuerza magnéticas, en él se induce una corriente

más intensa que en cualquier otro conductor. El sentido de esta corriente será el mismo que tenía en el instante de desconectar el conductor. En otras palabras, el campo magnético, al ir extinguiéndose, mantiene la corriente creada por él hasta que desaparece, es decir, hasta que gasta toda su energía. Por consiguiente, la corriente sigue pasando por el conductor después de haber desconectado la fuente de corriente, aunque claro está, sólo durante una pequeñísima fracción de segundo.

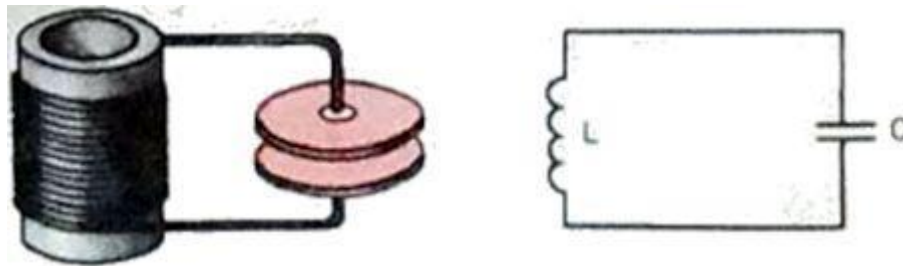


Figura 33. Circuito eléctrico oscilante simple

Pero, dirás tú, en un circuito abierto es imposible que se muevan los electrones. Efectivamente, así es. Sin embargo, inmediatamente después de abrir el circuito la corriente eléctrica puede seguir pasando durante cierto tiempo a través del espacio de aire que queda entre los extremos desconectados del conductor, es decir, entre los contactos del interruptor. Esta corriente a través del aire es precisamente la que origina la chispa eléctrica.

Este fenómeno recibe el nombre de *autoinducción* (no lo confundas con el fenómeno de la inducción que conociste en la charla primera), y la fuerza eléctrica que bajo la acción del campo magnético en extinción mantiene en él la corriente, se llama *fuerza electromotriz autoinducida* o, en abreviatura, f.e.m. autoinducida. Cuanto mayor es la f.e.m. autoinducida, tanto más intensa puede ser la chispa en el punto de ruptura del circuito eléctrico.

El fenómeno de autoinducción no sólo se observa al desconectar la corriente, sino también al conectarla. En el espacio que rodea al conductor surge el campo magnético en cuanto se conecta la corriente. Al principio es débil, pero se intensifica con mucha rapidez. El campo magnético de la corriente, al intensificarse, también excita corriente autoinducida, pero el sentido de esta corriente es opuesto al de la corriente principal. La corriente autoinducida impide que la corriente principal aumente instantáneamente y crezca el campo magnético. Pero al cabo de un pequeño intervalo de tiempo la corriente principal vence en el conductor a la corriente autoinducida de sentido contrario y alcanza su valor máximo, el campo magnético se hace continuo y la acción de la autoinducción cesa.

El fenómeno de autoinducción puede compararse con el de inercia. Un trineo, por ejemplo, es difícil de mover de su sitio mientras está parado, pero cuando toma velocidad y adquiere energía cinética o de movimiento, es difícil pararlo instantáneamente. Al ser frenado, el trineo sigue deslizándose hasta que la energía de movimiento adquirida se gaste en vencer el rozamiento con la nieve.

¿Tienen la misma autoinducción todos los conductores? ¡No! Cuanto más largo es un conductor, tanto mayor es su autoinducción. En un conductor arrollado en forma de bobina el fenómeno de la autoinducción se manifiesta con más fuerza que en otro recto, ya que el campo magnético de cada espira de la bobina induce corriente no sólo en esa espira, sino también en las contiguas de la bobina. Cuanto mayor es la longitud del conductor en la bobina, durante más tiempo existirá en él corriente autoinducida después de desconectar la corriente principal. Y, al contrario, se necesitará más tiempo después de conectar la corriente principal para que la corriente en el circuito aumente hasta un valor determinado y se establezca un campo magnético de intensidad constante.

Acuérdate de esto:

la propiedad que tienen los conductores de influir sobre la corriente en el circuito al variar el valor de esta, se llama inductancia, y las bobinas, en las cuales se manifiesta más intensamente esta propiedad, reciben el nombre de bobinas de autoinducción o inductancias. Cuanto mayor es el número de espiras y las dimensiones de la bobina, tanto mayor es su inductancia y la influencia que ejerce sobre la corriente en el circuito.

Así, pues, la bobina de inductancia dificulta tanto el aumento como la disminución de la corriente en el circuito eléctrico. Si la bobina se encuentra en un circuito de corriente continua su influencia sólo se manifiesta al conectar y desconectar la corriente. En cambio, en un circuito de corriente alterna, en el cual cambia continuamente la corriente y su campo magnético, la f.e.m. autoinducida de la bobina actúa durante todo el tiempo que pasa la corriente. Este fenómeno eléctrico se utiliza en el primer elemento del circuito oscilante del receptor, en la bobina de inductancia.

El segundo elemento del circuito oscilante del receptor es el "almacenador" de cargas eléctricas, es decir, el condensador. El condensador más simple consiste en dos conductores de corriente eléctrica, por ejemplo, dos placas metálicas, llamadas armaduras, separadas entre sí por un dieléctrico, por ejemplo, aire o papel. Un condensador así lo has empleado tú en los experimentos que hiciste con el receptor más simple. Cuanto mayor sea la superficie de las

armaduras del condensador y más cerca estén una de otra, tanto mayor será la capacidad eléctrica de este dispositivo.

Si a las armaduras de un condensador se conecta una fuente de corriente continua (Figura 34, a), en el circuito que se forma se produce una corriente de poca duración y el condensador se carga hasta una tensión igual a la de la fuente de corriente.

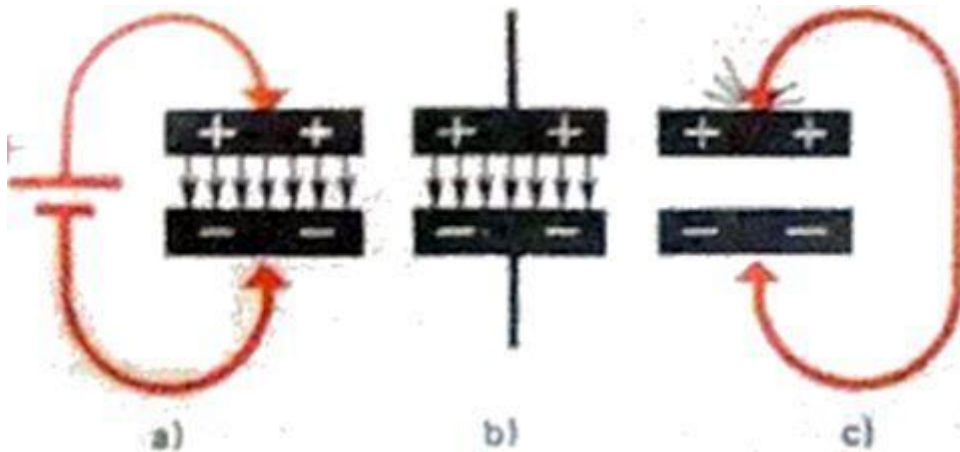


Figura 34. Carga y descarga del condensador

Tú puedes preguntarme: ¿cómo es posible que en un circuito, en el cual hay un dieléctrico, se produzca corriente? Es posible porque, cuando conectamos al condensador la fuente de corriente continua, los electrones libres de los conductores que forman el circuito empiezan a moverse hacia el polo positivo de la fuente, originando un flujo de electrones de poca duración en todo el circuito. Como resultado, tu armadura del condensador que está unida con el polo positivo de la fuente se empobrece en electrones libres y se carga positivamente, y la otra armadura se enriquece en electrones libres y, por consiguiente, se carga negativamente. En cuanto el condensador se carga, la corriente de corta duración en el circuito, llamada corriente de carga del condensador, se interrumpe.

Si la fuente de corriente se desconecta del condensador, éste permanece cargado (Figura 34b). El paso de los electrones sobrantes de una armadura a otra lo impide el dieléctrico, entre las armaduras del condensador no habrá corriente y la energía eléctrica almacenada en ellas se concentrará en el campo eléctrico del dieléctrico. Pero en cuanto las armaduras del condensador cargado se ponen en contacto por medio de un conductor cualquier (Figura 34c), los electrones "sobrantes" de la armadura negativamente cargada pasan por dicho conductor a la otra armadura, en que existe carencia de ellos, y el condensador se descarga. En este caso en el circuito que se forma también se produce una corriente de poca duración, llamada corriente de descarga del condensador. Si la capacidad del condensador es

grande y está cargado hasta una tensión considerable, su descarga va acompañada de una chispa bastante grande y de un chasquido

La propiedad del condensador de almacenar cargas eléctricas y de descargarse a través de un conductor puesto en contacto con él, se aprovecha en el circuito oscilante del receptor de radio.

Ahora, mi joven amigo, recuerda lo que ocurre en un columpio ordinario. El balanceo puede llegar a ser "vertiginoso". ¿Qué hay que hacer para conseguir esto? Primero, empujar un poco el columpio para sacarlo de su estado de reposo y después, aplicar cierta fuerza, pero de forma que coincida con el ritmo de sus oscilaciones. Sin gran esfuerzo se puede conseguir que las oscilaciones del columpio adquieran grandes amplitudes. Hasta un niño pequeño puede columpiar a una persona mayor si sabe cómo hay que aplicar la fuerza.

Si después de conseguir que las oscilaciones del columpio sean de gran amplitud dejamos de empujarle, ¿qué ocurrirá? Que, a expensas de la energía acumulada, seguirá balanceándose libremente durante cierto tiempo, la amplitud de sus oscilaciones irá disminuyendo o, como suele decirse, las oscilaciones se irán amortiguando y, por fin, el columpio se parará.

Durante las oscilaciones libres del columpio, lo mismo que durante las de un péndulo libremente colgado, la energía acumulada, o energía potencial, se convierte en energía cinética, o energía de movimiento, la cual, en el punto superior máximo, vuelve a convertirse en potencial y, al cabo de unas fracciones de segundo, otra vez en cinética. Y así hasta que se gasta la reserva de energía en vencer el rozamiento de las cuerdas en los puntos de suspensión del columpio y la resistencia del aire. Por muy grande que sea la reserva de energía, las oscilaciones libres siempre son amortiguadas: en cada oscilación su amplitud disminuye y las oscilaciones se van amortiguando hasta que el columpio se para. Pero el periodo, es decir, el tiempo durante el cual se efectúa una oscilación, y por consiguiente, la frecuencia de las oscilaciones, permanecen constantes.

Ahora bien, si al columpio se le empuja al ritmo de sus oscilaciones y de esta forma se compensan las pérdidas de energía en vencer las diversas fuerzas que lo frenan, las oscilaciones no se amortiguarán. Éstas no serán ya oscilaciones libres, sino forzadas y durarán mientras siga actuando la fuerza exterior de empuje.

Me he referido aquí al columpio porque los fenómenos físicos que ocurren en ese sistema oscilante mecánico son muy parecidos a los fenómenos que tienen lugar en el circuito oscilante eléctrico.

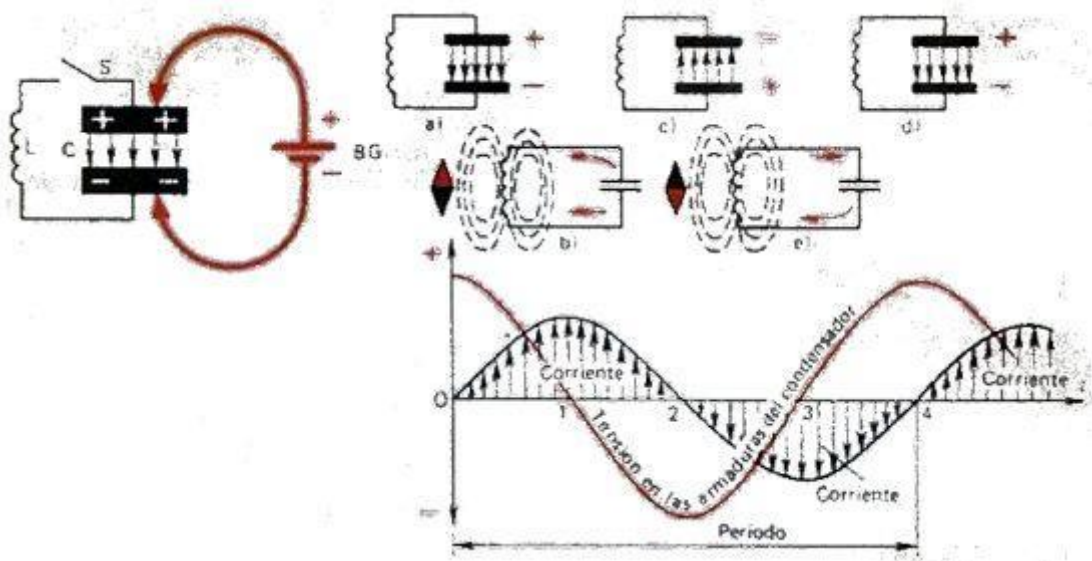


Figura 35. Oscilaciones eléctricas en el circuito

Para que en el circuito se produzcan oscilaciones eléctricas hay que comunicarle una energía de "empuje" a los electrones que hay en él. Esto puede hacerse, por ejemplo, cargando su condensador.

Abramos el circuito oscilante con ayuda del interruptor S y conectemos a las armaduras de su condensador una fuente de corriente continua. El condensador se cargará hasta la tensión de la batería BG. Desconectemos después la batería del condensador y cerremos el circuito con el interruptor S. Los fenómenos que ocurrirán en estas condiciones en el circuito se han representado gráficamente en la Figura 35, a la derecha.

En el instante del cierre del circuito por el interruptor, la armadura superior del condensador tiene carga positiva y la inferior, negativa (Figura 35a). En este momento (punto O de la gráfica) no hay corriente en el circuito y toda la energía almacenada en el condensador está concentrada en el campo eléctrico de su dieléctrico. Al cerrar el condensador a la bobina, aquél empieza a descargarse. En la bobina aparece corriente y alrededor de sus espiras, campo magnético. En el instante en que el condensador se descarga por completo (Figura 35b), señalado en la gráfica con la cifra 1, cuando la tensión en sus armaduras disminuye hasta cero, la corriente en la bobina y la energía del campo magnético alcanzan sus valores máximos. Al parecer, en este instante debería interrumpirse la corriente en el circuito. Pero eso no ocurre, ya que en virtud de la acción de la f.e.m. autoinducida, que tiende a mantener la corriente, el movimiento de los electrones en el circuito continuará, pero sólo hasta que se gaste toda la energía del campo magnético. Por la bobina pasará durante este tiempo una corriente inducida de intensidad decreciente, pero de sentido inicial. En el instante que se indica en la gráfica con la cifra 2, en el cual la energía del campo

magnético se agota, el condensador resulta estar cargado de nuevo, sólo que ahora en su armadura inferior estará la carga positiva y en la superior, la negativa (Figura 35c). En este momento los electrones empezarán a moverse en sentido contrario, es decir, de la armadura superior del condensador, a través de la bobina, a la inferior. En el instante 3 (Figura 35d) el condensador se habrá descargado y el campo magnético de la bobina habrá llegado a su valor máximo. Y, de nuevo, la f.e.m. autoinducida "empuja" por el hilo de la bobina a los electrones y con ello vuelve a cargar el condensador.

En el instante 4 (Figura 35e) el estado de los electrones en el circuito será el mismo que en el instante inicial 0. Ha terminado una oscilación completa. Es natural que el condensador cargado volverá de nuevo a descargarse en la bobina, y se recargará otra vez, y se cumplirá una segunda oscilación y luego una tercera cuarta y así sucesivamente.

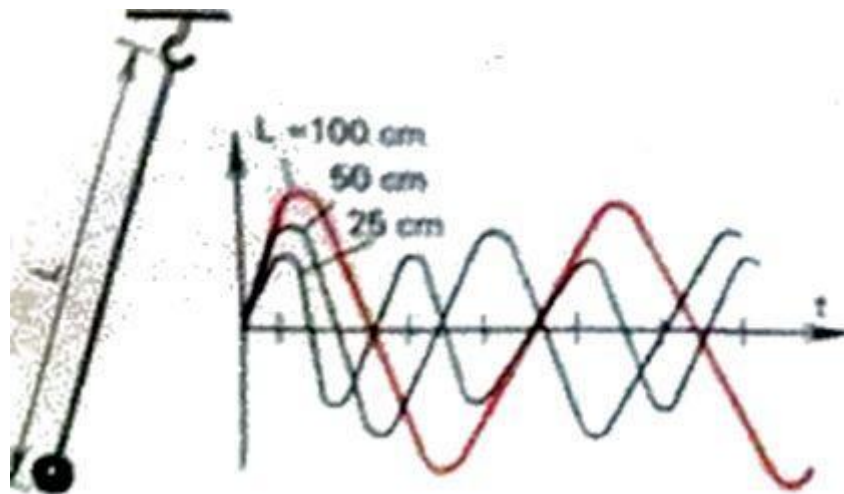


Figura 36. Gráfica de las oscilaciones de un péndulo simple

En otras palabras, en el circuito se produce una corriente alterna, oscilaciones eléctricas. Pero este proceso oscilatorio no es infinito. Persiste hasta que toda la energía recibida por el condensador de la batería se gasta en vencer la resistencia del hilo conductor de la bobina del circuito. Las oscilaciones en dicho circuito son libres y, por lo tanto, amortiguadas.

¿Qué frecuencia tienen estas oscilaciones de los electrones en el circuito? Para que comprendas mejor esta cuestión, te aconsejo que hagas el experimento siguiente con un péndulo simple. Cuelga de un hilo de 100 cm de largo una bolita hecha de plastilina o cualquier otro cuerpo que pese de 20 a 40 g (en la Figura 36 la longitud del péndulo se ha designado por la letra latina L). Saca el péndulo de su posición de equilibrio y, valiéndote de un reloj que tenga aguja segunda, calcula cuántas oscilaciones completas realiza en 1 min . Supongamos que son 30 . Por consiguiente, la frecuencia de las oscilaciones de este

péndulo es igual a 0.5 Hz, y su periodo. 2 s. Durante un periodo la energía potencial del péndulo se transforma dos veces en cinética y la cinética en potencial. Acorta el hilo hasta la mitad. La frecuencia de las oscilaciones del péndulo aumentará vez y media, aproximadamente, y en la misma cantidad disminuirá el periodo de las oscilaciones.

Esta experiencia permite sacar la conclusión siguiente a! disminuir la longitud del péndulo aumenta la frecuencia de sus oscilaciones naturales o propias y el periodo disminuye proporcionalmente.

Variando la longitud de la suspensión del péndulo, haz que la frecuencia de sus oscilaciones sea igual a 1 Hz. Esto ocurrirá cuando la longitud del hilo sea aproximadamente, de 25 cm. Entonces el periodo de las oscilaciones del péndulo será igual a 1 s. Cualquiera que sea la amplitud inicial del péndulo que desees crear la frecuencia de sus oscilaciones permanecerá invariable. Pero en cuanto acortes o alargues el hilo, la frecuencia de las oscilaciones variará inmediatamente. Con una misma longitud del hilo siempre será la misma la frecuencia de las oscilaciones. Ésta es la frecuencia natural o propia del péndulo. Una frecuencia dada de las oscilaciones se puede conseguir regulando convenientemente la longitud del hilo.

Las oscilaciones del péndulo simple son amortiguadas. Pueden convertirse en no amortiguadas o mantenidas únicamente en el caso de que el péndulo sea empujado ligeramente al ritmo de sus oscilaciones, compensándose de esta forma la energía que él invierte en vencer la resistencia que le opone el aire, la energía de rozamiento y la atracción de la Tierra.

La frecuencia natural es también característica para el circuito oscilante eléctrico. Depende en primer lugar, de la inductancia de la bobina. Cuanto mayor es el número de espiras y el diámetro de la bobina, tanto mayor es su inductancia y mayor la duración del período de cada oscilación y, respectivamente, menor la frecuencia natural de las oscilaciones en el circuito. Y, viceversa, si disminuye la inductancia de la bobina, se acorta el periodo de las oscilaciones y crece la frecuencia natural de éstas en el circuito. En segundo lugar, la frecuencia natural de las oscilaciones en el circuito depende de la capacidad de su condensador. Cuanto mayor es la capacidad, tanto mayor es la carga que puede almacenar y el tiempo que necesita para volver a cargarse y menor la frecuencia de las oscilaciones en el circuito. Si disminuye la capacidad del condensador, aumenta la frecuencia de las oscilaciones en el circuito. Así pues, la frecuencia natural o propia de las oscilaciones amortiguadas en el circuito se puede regular variando la inductancia de la bobina y la capacidad del condensador.

Pero en el circuito eléctrico, lo mismo que en el sistema oscilante mecánico, se pueden obtener oscilaciones no amortiguadas, es decir, oscilaciones forzadas, si en cada oscilación se añaden al circuito porciones adicionales de energía eléctrica de una fuente cualquiera de corriente alterna,

¿Cómo se excitan y mantienen las oscilaciones eléctricas no amortiguadas en el circuito del receptor? Las oscilaciones de radiofrecuencia son excitadas en la antena del receptor. Estas oscilaciones comunican al circuito la primera carga y ellas mismas mantienen las oscilaciones rítmicas de los electrones en el circuito. Pero las oscilaciones no amortiguadas más intensas surgen en el circuito del receptor únicamente cuando se produce la resonancia de la frecuencia natural del circuito con la frecuencia de la corriente en la antena. ¿Cómo hay que entender esto?

Según antiguas referencias, parece ser que en Petersburgo (hoy Leningrado), al pasar una formación de soldados llevando el paso, se hundió el puente egipcio. Esto pudo deberse, por lo visto, a las circunstancias siguientes. Las pisadas de los soldados al cruzar el puente eran rítmicas. Esto hizo que el puente empezara a balancearse, es decir, a oscilar. Por pura casualidad, la frecuencia natural de las oscilaciones del puente coincidió con la frecuencia de las pisadas de los soldados y el puente, como suele decirse, entró en resonancia. El ritmo de la formación comunicaba al puente cada vez nuevas porciones de energía. Como resultado, el balanceo llegó a ser tan grande que el puente se hundió: el buen orden de la formación militar perjudicó al puente. Si la resonancia de la frecuencia natural de las oscilaciones del puente con la frecuencia de las pisadas de los soldados no se hubiera producido, al puente no se habría derrumbado. Por eso, cuando una unidad militar va a pasar un puente poco sólido, suele darse la orden de no llevar el paso.

Haz el experimento siguiente: acércate a un instrumento musical de cuerda y grita "a": una de las cuerdas responderá empezando a sonar. Aquélla de ellas que resulte estar en resonancia con la frecuencia de este sonido, vibrará más intensamente que las demás, precisamente ella responderá al sonido.

Otro experimento con un péndulo. Tensa horizontalmente una cuerda delgada. Ata a ella el extremo del hilo del péndulo de plastilina que hiciste antes (Figura 37). Suspende de la misma cuerda otro péndulo igual, pero con un hilo más largo, de forma que su longitud pueda variarse tirando con la mano del extremo libre del hilo.

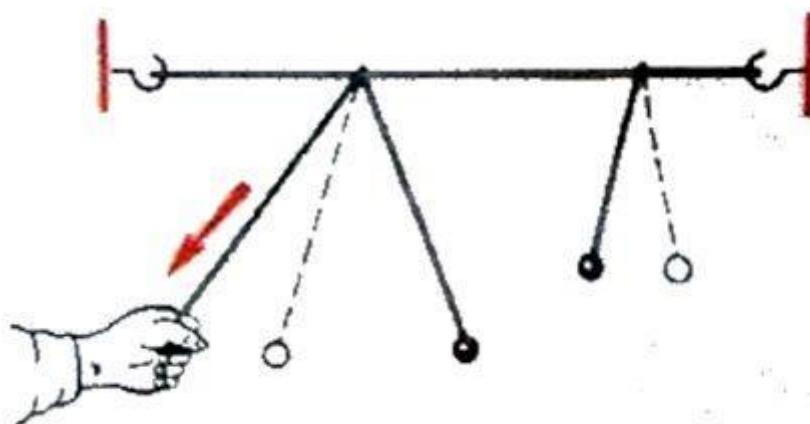


Figura 37. Experimento ilustrativo de) fenómeno de la resonancia

Haz que este segundo péndulo oscile. Con esto el primer péndulo también empezará a oscilar, pero con menor amplitud. Sin detener las oscilaciones del segundo péndulo ve acortando la longitud de su suspensión, verás que la amplitud de las oscilaciones del primero van aumentando.

En este experimento, que ilustra la resonancia de las oscilaciones mecánicas, el primer péndulo es el receptor de las oscilaciones que excita el segundo péndulo. La causa que obliga a oscilar al primer péndulo son las oscilaciones periódicas de la cuerda tensada horizontalmente, cuya frecuencia es igual a la de las oscilaciones del segundo péndulo. Las oscilaciones forzadas del primer péndulo tendrán la amplitud máxima únicamente cuando su frecuencia natural coincida con la frecuencia de las oscilaciones del segundo.

Estos fenómenos u otros semejantes, sólo que, naturalmente, de origen eléctrico, se observan también en el circuito oscilante del receptor. Por la acción de las ondas de muchas estaciones de radio, en la antena del receptor se excitan corrientes de las frecuencias más diversas, de todas las oscilaciones de radiofrecuencia hay que seleccionar únicamente la frecuencia portadora de la estación cuyas transmisiones queremos oír. Para eso hay que elegir el número de espiras de la bobina y la capacidad del condensador del circuito oscilante de modo que su frecuencia natural coincida con la frecuencia de la corriente que crean en la antena las ondas de radio de la estación que nos interesa. En este caso en el circuito se producirán las oscilaciones de mayor intensidad con frecuencia portadora de la estación a cuya onda está sintonizado. En esto consiste la sintonización del circuito oscilante del receptor en resonancia con la frecuencia de la emisora. En estas condiciones las señales de las otras estaciones no se oirán en absoluto o si se oyen será muy débilmente, ya que las oscilaciones que ellas excitan en el circuito serán muchísimo más débiles.

De esta forma, sintonizando el circuito del primer receptor en resonancia con la frecuencia portadora de una estación de radio, tú, con su ayuda, elegías, es decir, discriminabas las oscilaciones de la de la frecuencia de dicha estación únicamente.

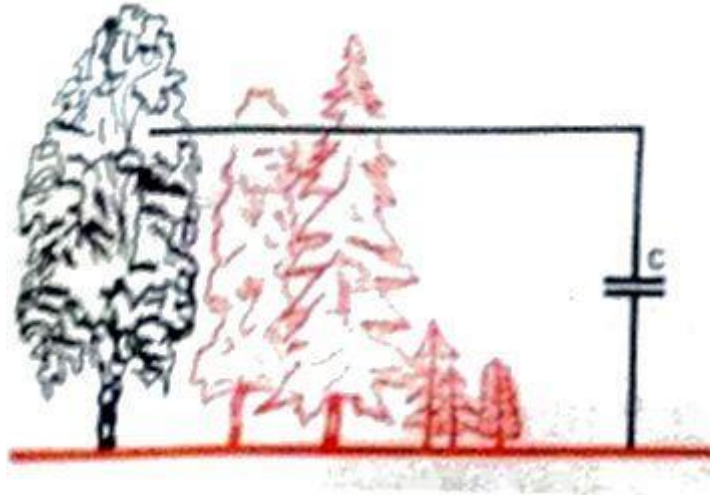


Figura 38. La antena y la toma de tierra en un circuito oscilante abierto

Cuanto mejor discrimine el circuito las oscilaciones necesarias de la antena, cuanto mayor será la selectividad del receptor y tanto más débiles, las interferencias por parte de otras estaciones.

Hasta ahora te he venido hablando del circuito oscilante cerrado, es decir, de un circuito cuya frecuencia natural depende únicamente de la inducción de la bobina y de la capacidad del condensador que lo forman. Pero del circuito de entrada del receptor forman parte también la antena y la toma de tierra. Este ya no es un circuito oscilante cerrado, sino abierto. Es el caso que el conductor de antena y la tierra son las "armaduras" de un condensador (Figura 38), que posee cierta capacidad eléctrica. En dependencia de la longitud del conductor y de la altura de la antena sobre la superficie de la tierra. Esta capacidad puede ser de varios centenares, de picofaradios. Este condensador C se representó ya en la Figura 29a con líneas de trazos. Pero la antena y la tierra pueden considerarse también como una espira incompleta de una bobina grande. Por consiguiente, la antena y la tierra, conjuntamente, poseen también inductancia; y una capacidad junto con una inductancia forman un circuito oscilante.

Este circuito, que es un circuito oscilante abierto, también tiene frecuencia natural de las oscilaciones. Conectando entre la antena y la tierra bobinas de inductancia y condensadores poderlos variar su frecuencia natural y sintonizarlo en resonancia con las frecuencias de distintas estaciones. Tú ya sabes cómo se hace eso en la práctica.

Si digo que el circuito oscilante es el "corazón" del receptor de radio, no me equivoco. Y no sólo del receptor. De esto te convencerás pronto. Por esa razón le he prestado mucha atención.

Paso ahora a ocuparme del segundo elemento del receptor, es decir, el detector.

§. Detector y detección

En tu primer receptor el papel de detector lo desempeñó un diodo. De su estructura y funcionamiento hablaremos detenidamente en la charla sexta. Ahora sólo diré que se trata de un dispositivo semiconductor de dos electrodos, que posee conductibilidad eléctrica unilateral, o sea, que conduce bien la corriente en un sentido y mal en el sentido opuesto. Para simplificar la explicación de cómo funciona el dipolo como detector vamos a suponer que en sentido contrario no conduce la corriente en absoluto y es, para ella, como un aislador.



Figura 39. «El diodo transforma la corriente alterna en pulsatoria»

Esta propiedad se ilustra con la gráfica de la Figura 39: el diodo deja pasar sin dificultad a través de él las semiondas positivas de la corriente alterna y no permite el paso de las semiondas negativas. Las semiondas negativas son como cortadas por el diodo. Como resultado de esta acción del diodo, la corriente alterna se convierte en pulsatoria, o sea, en corriente en un solo sentido, pero de magnitud que varía con la frecuencia de la corriente que pasa a través de él. Este proceso de transformación, llamado *rectificación* de la corriente alterna, sirve de base para la detección de las señales de radio recibidas.

Observa las gráficas representadas en la Figura 40. Son la ilustración de los procesos que transcurren en el circuito detector del receptor simple que conoces.

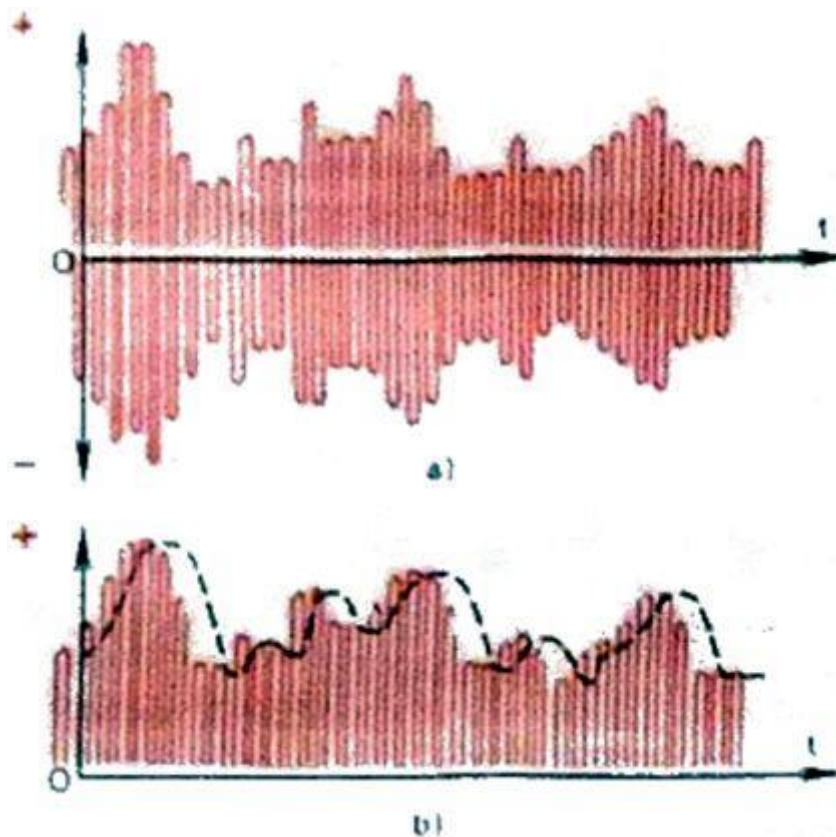


Figura 40. Gráficas ilustrativas de la detección de las oscilaciones moduladas de radiofrecuencia

Bajo la acción de las ondas de radio, en el circuito oscilante del receptor se excitan oscilaciones moduladas de radiofrecuencia (Figura 40a), Al circuito oscilante está conectado el circuito formado por el diodo y los auriculares. Para este segundo circuito el oscilante es una fuente de corriente alterna de radiofrecuencia. Como el diodo sólo deja pasar la corriente en un sentido, las oscitaciones de radiofrecuencia moduladas que llegan a su circuito son rectificadas por él (Figura 40b) o, dicho de otra forma, detectadas. Si se traza una línea de trazos que envuelva los vértices de la corriente rectificada se obtiene el dibujo de la corriente de frecuencia acústica que llega a la antena de la estación emisora durante la transmisión.

La corriente obtenida como resultado de la detección consta de impulsos de radiofrecuencia, cuyas amplitudes varían con frecuencia acústica. Esta corriente se puede considerar como una corriente compuesta y descomponerla en sus dos componentes: una de alta frecuencia y otra de baja frecuencia. Estas componentes se llaman respectivamente componente de alta frecuencia y componente de frecuencia acústica de la corriente pulsatoria. En el receptor más simple la componente de frecuencia acústica pasa por los auriculares y en ellos se transforma en sonido.

§. Auriculares

Los auriculares son el tercer y último eslabón del receptor simple, el cual, en expresión metafórica, "da el producto acabado", es decir, el sonido. Éste es uno de los aparatos electrotécnicos más antiguos, que casi sin variación ha conservado sus rasgos fundamentales hasta nuestros días.

Para los receptores de cristal detectores y muchos receptores simples de transistores se utilizan los auriculares de casco, por ejemplo, de los tipos TOH-1, TF-1 o TA-4. Éstos consisten en dos auriculares unidos en serie, que mediante un fleje se sostienen en la cabeza. Destornillemos la tapa de uno de ellos (Figura 41b).

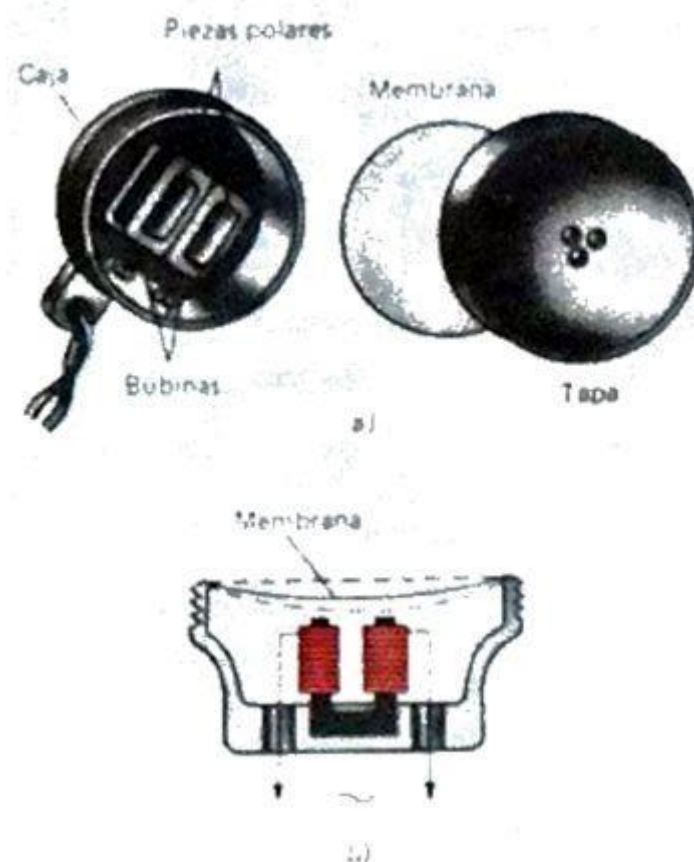


Figura 41. Estructura de un auricular electromagnético

Debajo de ella hay una plaquita redonda, de hojalata, la membrana. Si quitamos con cuidado la membrana veremos dos bobinas montadas sobre las piezas polares de un imán permanente ajustado a presión en la caja. Las bobinas están unidas en serie y sus terminales soldados a unos pasadores, a los cuales, por la parte de fuera y mediante tornillos de apriete va conectado el cordón con las clavijas unipolares de enchufe.

¿Cómo funcionan los auriculares? La membrana creadora del sonido se encuentra cerca de las piezas polares del imán y se apoya en el

borde de la caja (Figura 41b). Bajo la acción del campo del imán se comba un poco en el centro, pero sin llegar a tocar las piezas polares del imán (línea continua en la Figura 41b). Cuando por las bobinas del auricular pasa corriente, ésta crea alrededor de las bobinas un campo magnético que interacciona con el del imán permanente. La fuerza de este campo magnético unificado y por lo tanto, la fuerza de atracción de la membrana hacia las piezas polares, depende del sentido de la corriente en las bobinas.

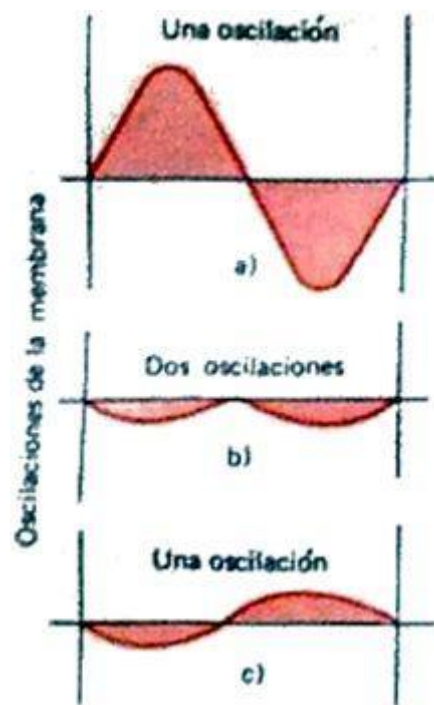


Figura 42. Gráficas ilustrativas del funcionamiento de un auricular: a) corriente alterna en el auricular; b) sin el imán permanente; c) con el imán permanente

Cuando el sentido de la corriente es tal que el de las líneas de fuerza de las bobinas y del imán coinciden y sus campos se suman, la membrana es atraída con más fuerza hacia los polos del imán (línea de trazos inferior en la Figura 41b). Cuando la corriente pasa en sentido contrario, las líneas de fuerza de las bobinas y del imán tienen sentidos opuestos y el campo común se hace más débil que el campo del imán solo. En este caso la membrana es atraída con menos fuerza por las piezas polares y, enderezándose, se aleja un poco de ellas (línea de trazos superior en la Figura 41b).

Si a través de las bobinas del auricular se hace pasar corriente alterna de audiofrecuencia, el campo magnético total se intensificará y debilitará sucesivamente y la membrana se acercará o se alejará sucesivamente de las piezas polares del imán, es decir, oscilará con la frecuencia de la corriente. Al oscilar la membrana crea en el espacio circundante ondas sonoras.

A primera vista parece que el imán permanente no hace falta en el auricular, las bobinas podrían colocarse sobre una herradurita de hierro no imanado. Pero eso no es así. He aquí por qué. Si la herradurita de hierro se imantara únicamente por la corriente en las bobinas, atraería a la membrana tanto cuando la corriente pasara por ellas en un sentido como en el otro. Por consiguiente, en un período de la corriente alterna la membrana sería atraída hacia el electroimán durante el primer semiperiodo, después se alejaría de él y luego volvería a ser atraída durante el segundo periodo, es decir, en un periodo de la corriente alterna (Figura 41a) realizaría dos oscilaciones (Figura 42b). Si, por ejemplo, la frecuencia de la corriente fuera de 500 Hz, la membrana del auricular en 1 s efectuaría $500 \times 2 = 1000$ oscilaciones y el tono del sonido se alteraría, es decir, sería dos veces más alto. Como es natural, ese auricular no nos satisfaría.

Con el imán permanente la cuestión se plantea de otro modo: durante un semiperiodo se produce la intensificación del campo magnético y la membrana, que ya era atraída, se comba un poco más; durante el otro semiperiodo el campo se debilita y la membrana, después de enderezarse, se aparta más de los polos del imán. Así, pues, en presencia del imán permanente, la membrana, en un periodo de la corriente alterna, realiza una sola oscilación (Figura 42) y el auricular no deforma el sonido. El imán permanente, además, eleva la intensidad del sonido en el auricular.

Ahora vamos a examinar el problema siguiente; ¿para qué se conecta en paralelo con los auriculares el condensador de bloqueo? ¿Qué papel desempeña este condensador?

La capacidad eléctrica del condensador de bloqueo es tal, que a través de él pasan libremente las corrientes de alta frecuencia, mientras que a las corrientes de frecuencia acústica les opone una resistencia considerable. Los auriculares, al contrario, dejan pasar bien la corriente de audiofrecuencia y oponen gran resistencia a las de alta frecuencia. En esta parte del circuito detector la corriente pulsatoria de alta frecuencia se divide (punto *a* en la Figura 43) en sus componentes, las cuales en adelante van: la de alta frecuencia, a través del condensador de bloqueo C_{b1} , y la de frecuencia acústica, a través de los auriculares B. Después las componentes se vuelven a unir (punto *b* en la Figura 43) y en adelante siguen juntas.

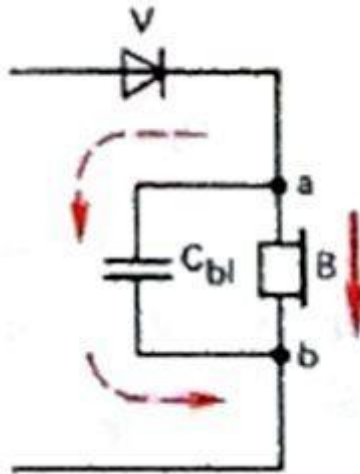


Figura 43. En el punto a del circuito detector las componentes de la corriente pulsatoria se separan, y en el punto b, se juntan

El papel del condensador de bloqueo se puede explicar también como sigue. El auricular, debido a la inercia de la membrana, no puede reaccionar a cada impulso de la corriente de alta frecuencia en el circuito detector. Por lo tanto, para que el auricular funcione hay que "alisar" de algún modo los impulsos de alta frecuencia, es decir, "rellenar" los baches de corriente entre ellos. Este problema se resuelve con el condensador de bloqueo de la forma siguiente: los impulsos aislados de alta frecuencia cargan el condensador. En los intervalos entre los impulsos el condensador se descarga a través de los auriculares y de este modo "rellena los baches" entre los impulsos. Como resultado, a través de los auriculares pasa corriente de un sólo sentido, pero cuya magnitud varía con la frecuencia acústica, la cual es transformada por ellos en sonido.

Más brevemente, del papel del condensador de bloqueo se puede decir que filtra la señal de frecuencia acústica discriminada por el diodo, es decir, la "depura" de su componente de radiofrecuencia.

¿Por qué, entonces, funcionaba el receptor detector durante el primer experimento (véase la Figura 24) sin condensador de bloqueo? Porque era compensado por la capacidad concentrada entre los conductores del cordón y las espiras de las bobinas de los auriculares. Pero esta capacidad es mucho menor que la del condensador conectado especialmente. En este caso la corriente que pasa por el detector es menor que en presencia del condensador de bloqueo y la transmisión que se oye es más débil. Esto se nota más en la recepción de estaciones lejanas.

La calidad del funcionamiento de un auricular se aprecia principalmente desde el punto de vista de su sensibilidad, o sea, de su capacidad para reaccionar a las oscilaciones débiles de la corriente

eléctrica. Cuanto más débiles son las oscilaciones a que responde el auricular, tanto mayor es su sensibilidad.

La sensibilidad del auricular depende del número de espiras de sus bobinas y de la calidad del imán. Dos auriculares con imanes exactamente iguales, pero con bobinas de distinto número de espiras, tienen diferente sensibilidad. Será más sensible aquél en que se emplean bobinas con mayor número de espiras. La sensibilidad de un auricular depende también de la posición de la membrana respecto de las piezas polares del imán. La sensibilidad será mayor en el caso en que la membrana esté más cerca de dichas piezas, pero si al vibrar no toca en ellas.

Los auriculares se suelen dividir en dos clases: de gran resistencia óhmica, con gran número de espiras en las bobinas, y de poca resistencia óhmica, con un número de espiras relativamente pequeño. Para el receptor de cristal detector sólo sirven los auriculares de gran resistencia óhmica. Las bobinas de cada auricular tipo TOH-1, por ejemplo, tienen 4000 espiras de hilo esmaltado de 0,06 mm de diámetro. Su resistencia a la corriente continua es de cerca de 2200 Ω . Este número, característico de los auriculares, va marcado en sus cajas. Como los dos auriculares van unidos en serie, su resistencia total a la corriente continua es de 44000. La resistencia a la corriente continua de los auriculares de poca resistencia óhmica, por ejemplo, del tipo TA-56, puede ser de 50 a 60 Ω . Estos auriculares se pueden utilizar en algunos receptores de transistores.

¿Cómo se puede comprobar el buen funcionamiento y la sensibilidad de los auriculares de casco? Ajústate los auriculares a los oídos. Moja con saliva las clavijas de contacto que hay en los extremos del cordón y haz que se toquen una a otra. En los auriculares debe oírse un débil chasquido. Cuanto más fuerte sea este chasquido, tanto más sensibles serán los auriculares. Los chasquidos se deben a que el contacto entre las clavijas metálicas mojadas es una débil fuente de corriente.

Los auriculares se pueden probar burdamente valiéndose de una batería de linterna de bolsillo. Cuando los auriculares se conectan a la batería y se desconectan de ella deben oírse chasquidos bruscos. Si los chasquidos no se oyen, quiere decir que en algún punto de las bobinas o del cordón hay un corte o un mal contacto.

§. Recepción con altavoz

La potencia de las oscilaciones eléctricas que se excitan en el circuito oscilante del receptor es muy pequeña. Suele ser suficiente sólo para el funcionamiento de un aparato tan sensible como es un auricular electromagnético. Únicamente en casos excepcionales, cuando la emisora está cerca del punto de recepción, a la salida del receptor de

crystal detector puede funcionar un altavoz de la red de radiotransmisión por cable.

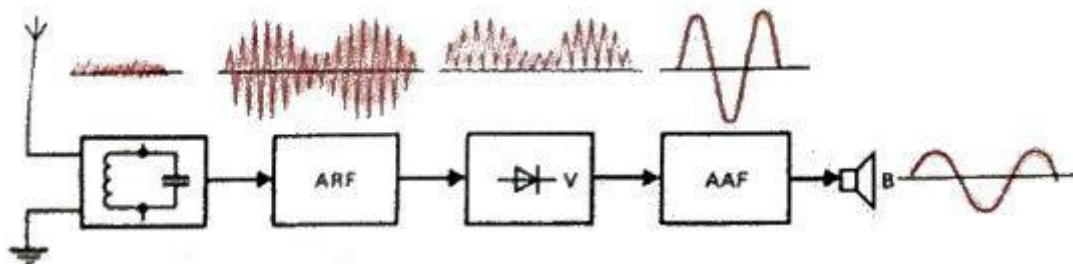


Figura 44. Esquema estructural de un receptor de amplificación directa que proporciona la radiorrecepción con altavoz.

En las condiciones ordinarias la recepción con altavoz sólo es posible si se amplifican las señales de las estaciones de radio, para lo cual se utilizan transistores, microcircuitos integrales y lámparas electrónicas.

Hay amplificadores de radiofrecuencias (ARF) y amplificadores de audiofrecuencias (AAF). Como su propio nombre indica, los primeros se emplean para amplificar las señales moduladas de las emisoras de radio, es decir, antes de ser detectadas, y los segundos, para amplificar las señales de frecuencia acústica, o sea, después de pasar por el detector. Si entre el circuito oscilante y el detector se intercala un amplificador de radiofrecuencias y después del detector un amplificador de audiofrecuencias, entonces el elemento de salida del receptor puede ser un convertidor de oscilaciones de frecuencia acústica en sonido más potente que un auricular, es decir, un altavoz dinámico.

El esquema estructural de este receptor se muestra en la Figura 44. Las funciones del circuito oscilante de entrada, del detector y del altavoz B en este receptor son las mismas que las que los elementos análogos desempeñaban en el receptor de cristal detector. Sólo que aquí, después del detector actúan oscilaciones más potentes de frecuencia sonora que, además, son amplificadas adicionalmente en el AAF. Así se obtiene un aparato que permite la recepción con altavoz incluso de emisoras lejanas. La sensibilidad de este receptor es muchas veces mayor que la del receptor de cristal detector.

En un receptor de semejante estructura sólo tiene lugar una transformación de las oscilaciones de radiofrecuencia, la detección. Antes del detector está el amplificador de RF y después de él, el amplificador de AF. Los receptores en los cuales sólo ocurre esta transformación de la señal recibida se llaman *receptores de amplificación directa*. Para caracterizarlos se utiliza una fórmula convencional en la cual el detector se simboliza por la letra V, el número de etapas de amplificación de las oscilaciones de

radiofrecuencia, por una cifra colocada delante de dicha letra, y el número de etapas de amplificación de las oscilaciones de frecuencia acústica, por otra cifra colocada detrás. Así, por ejemplo, en un receptor 1-V-1, además del detector hay una etapa de amplificación de oscilaciones de radiofrecuencia y una etapa de amplificación de oscilaciones de audiofrecuencia.

Los receptores simples de transistores pueden no tener amplificadores de RF o de AF. Pero en los más complejos... Bueno, no corramos. Ya tendremos tiempo de hablar de eso.

El receptor de amplificación directa va a ser tu siguiente etapa en el dominio de los aparatos de recepción pero antes tienes que profundizar más en el estudio de la electrotecnia elemental y de sus leyes y conocer la estructura y el funcionamiento de algunos elementos y dispositivos sin los cuales es inconcebible la recepción con altavoz.

Charla 5

Excursión a la electrotecnia

Contenido:

- §. Corriente eléctrica y su valoración
- §. Resistencia eléctrica
- §. Tensión eléctrica
- §. Ley de Ohm
- §. Inductancia
- §. Potencia y trabajo de la corriente
- §. Transformación de la corriente alterna
- §. Resistores
- §. Condensadores
- §. Unas palabras sobre los cortacircuitos fusibles
- §. ¡Cuidado, alta tensión!

* * * *

Al hablar en las charlas anteriores de la historia de la electrotecnia y la radiotecnica, de lo esencial de la radiotransmisión y del funcionamiento del receptor, me he valido solamente de explicaciones superficiales de unos u otros fenómenos eléctricos recurriendo a analogías y ejemplos. Y además, tu receptor sólo tenía unos cuantos elementos.

Para proseguir el aprendizaje de la radiotecnica y del montaje de aparatos y dispositivos radiotécnicos más complejos se necesitan conocimientos más amplios de electrotecnia y de algunas de sus leyes y saber calcular por lo menos circuitos eléctricos simples. Por otra parte, tendrás que habértelas con elementos y aparatos nuevos que aún no conoces, cuya estructura y principios básicos de

funcionamiento debes conocer. Por eso te propongo que en esta charla realicemos una especie de "excursión" a la electrotecnia.

§. Corriente eléctrica y su valoración

Para caracterizar la importancia cuantitativa de una corriente eléctrica he utilizado algunas veces términos como, por ejemplo, "corriente pequeña" o "corriente grande". Al principio esta forma de valorar la corriente podía servirte en cierto modo, pero para caracterizar la corriente desde el punto de vista del trabajo que puede realizar es totalmente inservible.

Al hablar del trabajo de la corriente entendemos por eso que su energía se convierte en otra forma cualquiera de energía: calor, luz, energía química o mecánica. Cuanto mayor es el flujo de electrones, tanto más importante es la corriente y su trabajo. Unas veces se dice "intensidad de la corriente", otras, simplemente "corriente". Por lo tanto, la palabra "corriente" tiene dos significados: uno se refiere al fenómeno mismo del movimiento de las cargas eléctricas en el conductor y otro, al valor de la cantidad de electricidad que pasa por el conductor.

La corriente (o intensidad de la corriente) se aprecia por el número de electrones que pasa por el conductor en 1 segundo. Este número es enorme. A través del filamento incandescente de la lamparita de una linterna de bolsillo, por ejemplo, pasan cada segundo cerca de 2.000.000.000.000.000.000 de electrones. Está absolutamente claro que caracterizar la corriente por el número de electrones sería muy incómodo, ya que manejar números grandísimos. Por eso, como unidad de corriente eléctrica se toma el amperio (cuyo símbolo es A), así llamado en honor del físico y matemático francés A. Ampère (1775-1836), que estudió las leyes de la interacción mecánica de los conductores con corriente y otros fenómenos eléctricos. Una corriente de 1 A es aquella con la cual en 1 segundo pasan a través de la sección transversal de un conductor 6.250.000.000.000.000.000 de electrones.

En las fórmulas matemáticas la corriente (o intensidad de la corriente) se designa por la letra I o i. Por ejemplo, se escribe: $I = 2$ A ó $i = 0,5$ A.

A la vez que el amperio se utilizan unidades más pequeñas de intensidad de la corriente, como son: el miliamperio (mA), igual a 0,001 A, y el microamperio (μ A), igual a 0,000001 A ó 0,001 mA. Por consiguiente, 1 A es igual a 1000 mA o 1.000.000 μ A.

Los instrumentos que sirven para medir la corriente se llaman *amperímetros*, *miliamperímetros* y *microamperímetros* respectivamente. Se

conectan al circuito eléctrico en serie con el consumidor de corriente, es decir, en un corte del circuito exterior (Figura 45). En los esquemas estos instrumentos se representan por medio de circunferencias dentro de las cuales figuran las letras que se les asignan: A (amperímetro), mA (miliamperímetro) y μA (microamperímetro), y junto a ellas se escribe PA, que significa medidor de corriente.

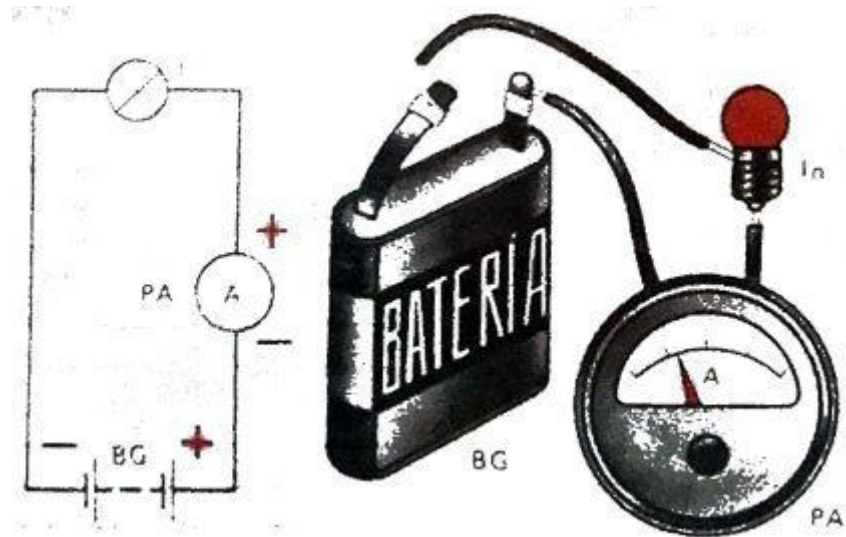


Figura 45. El amperímetro (miliamperímetro o microamperímetro) se conecta al circuito eléctrico en serie con el consumidor de corriente

Cada instrumento de medida está calculado para una corriente no mayor que la de valor límite para él y no debe conectarse a un circuito por el cual pase corriente que supere dicho valor, de lo contrario se estropeará.

Se te puede plantear la pregunta ¿cómo se puede valorar la corriente alterna si su sentido y magnitud cambian continuamente? La corriente alterna se aprecia de ordinario por su *valor eficaz*, es decir, por el valor que corresponde al de la corriente continua que realiza el mismo trabajo. El valor eficaz de la corriente alterna aproximadamente igual a 0,7 de la amplitud, es decir, del valor máximo.

§. Resistencia eléctrica

Al hablar de conductores nos referimos a las sustancias, materiales y, ante todo, metales que conducen relativamente bien la corriente. Sin embargo, no todas las sustancias llamadas conductoras conducen igual de bien la corriente eléctrica o, como suele decirse, poseen la misma conductibilidad de la corriente. Esto se explica porque, durante su movimiento, los electrones libres chocan con los átomos y las moléculas de la sustancia, con la particularidad de que en unas sustancias los átomos y las moléculas dificultan más el movimiento de los electrones y en otras, menos. De todos los

materiales que se utilizan en electrotecnia y radiotecnia, el cobre es el que ofrece menor resistencia a la corriente. Por eso los conductores eléctricos se hacen en la mayoría de los casos de cobre. Menos resistencia aún ofrece la plata, pero este metal es demasiado caro. El hierro, el aluminio y diversas aleaciones metálicas poseen más resistencia, es decir, peor conductibilidad eléctrica.

La resistencia de un conductor depende no sólo de las propiedades del material de que está hecho, sino también de las dimensiones del propio conductor. Un conductor grueso ofrece menos resistencia que otro delgado del mismo material, y un conductor corto tiene menos resistencia que otro más largo, del mismo modo que un tubo ancho y corto ofrece menos dificultad al paso del agua que otro estrecho y largo. Además, la resistencia de un conductor metálico depende también de su temperatura: cuanto más baja es su temperatura, tanto menor es su resistencia.

Como unidad de resistencia eléctrica se toma el ohmio (Ω) llamado así en honor del físico alemán G. Ohm. La resistencia de $1\ \Omega$ es una magnitud eléctrica relativamente pequeña. Esta resistencia al paso de la corriente la opone, por ejemplo, un trozo de alambre de cobre de 0,15 mm de diámetro y 1 m de longitud. La resistencia del filamento incandescente de una lamparita de linterna de bolsillo es de cerca de $10\ \Omega$, y la del elemento de caldeo de una cocinilla eléctrica de varias decenas de ohmios. En radiotecnia es más frecuente encontrarse con resistencias mayores que el ohmio o varias decenas de ohmios. La resistencia de un auricular de gran resistencia óhmica es, por ejemplo, de más de $2000\ \Omega$ y la de un diodo semiconductor, en el sentido en que no deja pasar la corriente, de varios centenares de millares de ohmios. ¿Sabes qué resistencia opone a la corriente eléctrica tu cuerpo? De 1000 a $20.000\ \Omega$. Y las resistencias de los resistores (elementos especiales de los cuales te hablaré en esta misma charla) pueden ser de hasta varios millones de ohmios y mayores. Estos elementos, como ya sabes (por la Figura 28), se representan en los esquemas en forma de rectángulos.

En las fórmulas matemáticas, la resistencia se designa con la letra R. Esta misma letra se pone junto a la representación gráfica de los resistores en los esquemas.

Para expresar las grandes resistencias de los resistores se emplean unidades más grandes que el ohmio, como son el kilohmio ($k\Omega$), igual a $1000\ \Omega$ y el megahmio ($M\Omega$), igual a $1.000\ 000$ o $1000\ \Omega$.

Las resistencias de los conductores, circuitos eléctricos, resistores y otros elementos se miden con instrumentos especiales llamados ohmímetros. En los esquemas se representa el ohmímetro por medio de la letra griega Ω (omega) dentro de una circunferencia.

§. Tensión eléctrica

Como unidad de tensión eléctrica y de fuerza electromotriz (f.e.m.) se toma el voltio (en honor del físico italiano A. Volta). En las formulas se designa la tensión por medio de la letra U y la unidad misma de tensión, o sea, el voltio, por la letra V . Por ejemplo, se escribe: $U = 4,5\text{ V}$; $U = 220\text{ V}$. La unidad voltio caracteriza la tensión en los extremos de un conductor, en un trozo, de circuito eléctrico o en los polos de una fuente de corriente. La tensión de 1 V es la magnitud eléctrica que en un conductor cuya resistencia sea de $1\ \Omega$, crea una corriente igual a 1 A .

La batería 3336Л, que se utiliza en las linternas de bolsillo planas, como tú sabes, consta de tres pilas unidas en serie. En la etiqueta de esta batería puede leerse que su tensión es de $4,5\text{ V}$, es decir, la tensión de cada una de las pilas de la batería es de $1,5\text{ V}$. La tensión de la batería "Krona" es de 9 V y la de la red del alumbrado eléctrico puede ser de 127 ó 220 V .

La tensión se mide con un *voltímetro*, conectando los polos del instrumento a los de igual signo de la fuente de corriente o en paralelo con el trozo de circuito, el resistor o cualquiera otra carga sobre la cual se desee saber la tensión que actúa (Figura 46). En los esquemas el voltímetro se representa por medio de una letra V dentro de una circunferencia al lado de la cual se escribe PU . Para valorar la tensión se utilizan también una unidad más grande que el voltio, el kilovoltio (kV) igual a 1000 V , y otras más pequeñas que él, el milivoltio, igual a $0,001\text{ V}$ y el microvoltio (μV), igual a $0,001\text{ mV}$. Estas tensiones se miden respectivamente con un kilovoltímetro, un milivoltímetro o un microvoltímetro.

Estos instrumentos, lo mismo que el voltímetro, se conectan en paralelo con las fuentes de corriente o los trozos de circuitos cuya tensión se desea medir.

Aclaremos ahora qué diferencia hay entre los conceptos de "tensión" y "fuerza electromotriz".

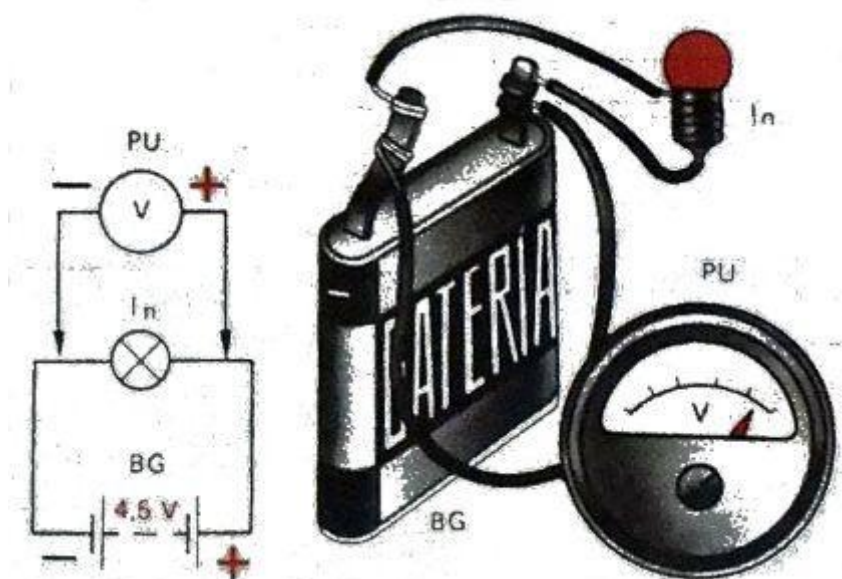


Figura 46. El voltímetro se conecta en paralelo a la carga o a la fuente que alimenta al circuito eléctrico

Se llama fuerza electromotriz la tensión que actúa entre los polos de una fuente de corriente mientras a ellos no está conectado el circuito exterior, es decir, la carga, por ejemplo, una lamparita de incandescencia o un resistor. En cuanto se conecta el circuito exterior, pasa por él la corriente y la tensión entre los polos de la pila voltaica nueva, sin estrenar, tiene por lo menos 1.5 V de f.e.m. Cuando a ella se conecta una carga, la tensión en sus polos se hace igual aproximadamente, a 1.3 o 1.4 .V. En la medida que se va gastando la energía de la pila en alimentar el circuito exterior, su tensión va disminuyendo.

Una pila se considera descargada y por consiguiente, inútil para seguir usándola, cuando su tensión disminuye hasta 0,7 V y aunque si se desconecta del circuito exterior su f.e.m. sea mayor que dicha tensión.

Y ¿cómo se valora la tensión alterna? Cuando se habla de tensión alterna, por ejemplo, de la tensión de la red del alumbrado eléctrico, se tiene en cuenta su valor eficaz, que como en el caso del valor eficaz de la corriente alterna, constituye 0,7 del valor de la amplitud de la tensión.

§. Ley de Ohm

En la Figura 47 se muestra el esquema del circuito eléctrico más simple, que tú ya conoces.

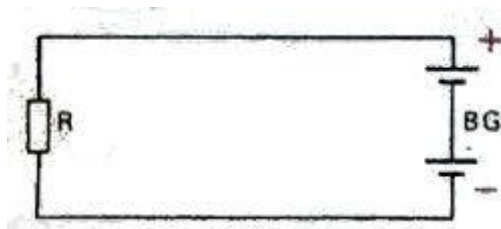


Figura 47 Circuito eléctrico simple

Este circuito cerrado consta de tres elementos: una fuente de tensión, la batería GB, un consumidor de corriente, la carga R, que puede ser, por ejemplo, el filamento incandescente de una lámpara eléctrica o un resistor, y los alambres conductores que unen la fuente de corriente con la carga. A propósito, si a este circuito se le añade un interruptor, se obtiene el esquema completo de una linterna eléctrica de bolsillo.

La carga R que posee cierta resistencia, es una parte del circuito. El valor de la corriente en esta parte del circuito depende de la tensión que actúa sobre él y de su resistencia. Cuanto mayor sea la tensión y menor la resistencia tanto mayor será la corriente que pasa por la parte del circuito. Esta dependencia de corriente respecto de la tensión y de la resistencia se expresa por medio de la fórmula siguiente:

$$I = U/R$$

en la que I es la corriente, expresada en amperios. A; U la tensión en voltios. V; y R, la resistencia en ohmios Ω . Esta expresión matemática se lee así: la corriente en un trozo del circuito es directamente proporcional a la tensión en él e inversamente proporcional a su resistencia.

Esta es la ley fundamental de la electrotecnia, llamada ley de Ohm (en honor de G. Ohm) para un trozo de circuito eléctrico.

La ley de Ohm también se puede escribir así;

$$U = IR \text{ o } R = U/I$$

Aplicando la ley de Ohm se puede, conociendo dos magnitudes eléctricas, hallar la tercera, desconocida. He aquí varios ejemplos de aplicación práctica de la ley de Ohm.

Ejemplo primero. Sobre un trozo de circuito cuya resistencia es de 5 Ω actúa una tensión de 25 V. Se desea saber el valor de la corriente en este trozo de circuito.

Solución: $I = U/R = 25/5 = 5 \text{ A.}$

Ejemplo segundo. Sobre un trozo de circuito actúa una tensión de 12 V, creando en él una corriente igual a 20 mA. ¿Qué resistencia tiene este trozo de circuito?

En primer lugar, la corriente de 20 mA hay que expresarla en amperios. Tendremos 0,02 A. Entonces. $R = U/I = 12/0.02 = 6000$.

Ejemplo tercero. Por un trozo de circuito cuya resistencia es de 10 kΩ pasa una corriente de 20 mA. ¿Qué tensión actúa en dicho trozo de circuito?

Aquí, lo mismo que en el ejemplo anterior, hay que expresar la corriente en amperios (20 mA = 0.02 A y la resistencia, en ohmios (10 kΩ = 10.000 Ω. Por consiguiente. $U = IR = 0.02 \times 10\ 000 = 200$ V.

En el casquillo de la lamparita de incandescencia de una linterna de bolsillo plana va marcado: 0.28 A y 3.5 V. ¿Qué nos dicen estos datos? Que la lamparita alumbrará normalmente con una corriente de 0,28 A, la cual puede crearse con una tensión de 3,5 V. Aplicando la ley de Ohm, es fácil calcular que la resistencia del filamento incandescente de la lamparita es $R = U/I = 3,5/0,28 = 12,5\ \Omega$.

Esta, subrayo, es la resistencia del filamento incandescente de la lamparita. La resistencia de dicho filamento frío será mucho menor.

La ley de Ohm es correcta no sólo para un trozo de circuito, sino también para todo el circuito eléctrico. En este caso, como valor de R se toma la resistencia total de todos los elementos del circuito, incluso la resistencia interna de la fuente de corriente. Pero en los cálculos más simples de circuitos se suele omitir la resistencia de los conductores de conexión y la resistencia interna de la fuente de corriente. En relación con esto voy a poner otro ejemplo. La tensión de la red del alumbrado eléctrico es de 220 V. ¿Qué corriente pasará por el circuito si la resistencia de la carga es igual a 1000 Ω?

Solución: $I = U/R = 220/1000 = 0,22$ A.

Esta es la corriente que, aproximadamente, consume un soldador eléctrico.

Todas estas fórmulas, deducidas de la ley de Ohm se pueden utilizar también para calcular circuitos de corriente alterna, pero a condición de que no haya en ellos bobinas de inductancia ni condensadores.

Veamos ahora la siguiente cuestión: ¿cómo influye en la corriente un resistor conectado en el circuito en serie con la carga o en paralelo con ella?

Analicemos el ejemplo siguiente. Tenemos una lamparita de linterna eléctrica redonda, calculada para una tensión de 2,5 V y una corriente de 0.075 A. ¿Puede alimentarse esta lamparita con una batería 1336 Л cuya tensión inicial es de 4.5 V? Es fácil calcular que la resistencia del filamento incandescente de la lamparita es algo menor que $30\ \Omega$. Si se alimentara esta lamparita con una batería 3336 Л nueva, a través del filamento de incandescencia pasaría, según la ley de Ohm, una corriente casi dos veces mayor que aquella para la cual está calculado. El filamento no resistiría esta sobrecarga y se fundiría. No obstante, esta lamparita puede ser alimentada por la batería 3336 Л si en serie con ella se intercala en el circuito un resistor adicional cuya resistencia sea de $25\ \Omega$, como se muestra en la Figura 48.

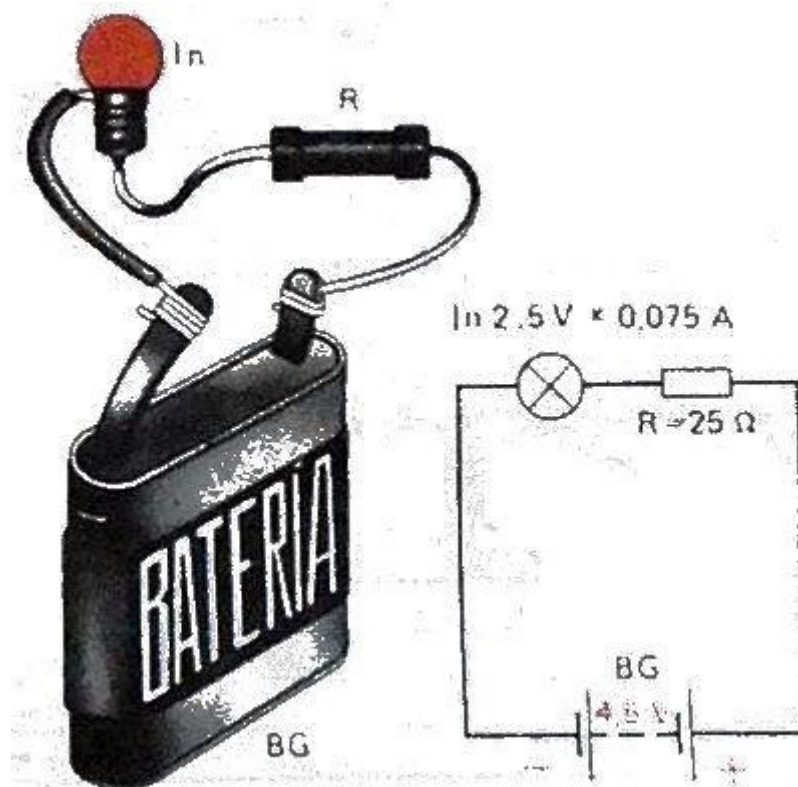


Figura 48. Un resistor adicional, intercalado en el circuito, limita la corriente en él

En este caso la resistencia total del circuito exterior será igual, aproximadamente, a $55\ \Omega$, es decir, $30\ \Omega$ de resistencia del filamento de la lamparita en más $25\ \Omega$ de resistencia del resistor adicional R. Por el circuito pasará, pues, una corriente igual, aproximadamente a 0.08 A, o sea, casi igual a aquella para la cual está calculado el filamento de incandescencia de la lamparita. Esta misma lamparita puede alimentarse de una batería con tensión aún mayor y hasta de la red del alumbrado eléctrico si se elige convenientemente la resistencia del resistor adicional.

En este ejemplo el resistor adicional limita la corriente en el circuito hasta el valor necesario. Cuanto mayor sea su resistencia, tanto menor será la corriente en el circuito. En este caso al circuito se conectaron en serie dos resistencias: la del filamento de la lamparita y la del resistor. Y cuando las conexiones son en serie, las resistencias a la corriente son iguales en todos los puntos del circuito. Puede conectarse un amperímetro en cualquier punto del circuito y en todas partes marcará el mismo valor. Este fenómeno puede compararse con la corriente de agua en un río. El cauce del río en distintos tramos puede ser más ancho o más estrecho, más profundo o menos profundo, pero, en un intervalo de tiempo determinado, a través de la sección transversal de cada tramo del cauce, siempre pasará la misma cantidad de agua.

El resistor adicional conectado al circuito en serie con la carga (como por ejemplo, en la Figura 48) se puede considerar como "supresor" de parte de la tensión que actúa en el circuito. La tensión que suprime el resistor adicional o, como suele decirse, que cae en él, será tanto mayor cuanto mayor sea la resistencia de éste.

Sabiendo cuál es la corriente y conociendo la resistencia del resistor adicional, es fácil calcular la caída de la tensión en él por la fórmula que ya conoces: $U = I \times R$, aquí U es la caída de tensión en V, y la corriente en el circuito en A, y R , la resistencia del resistor adicional en Ω .

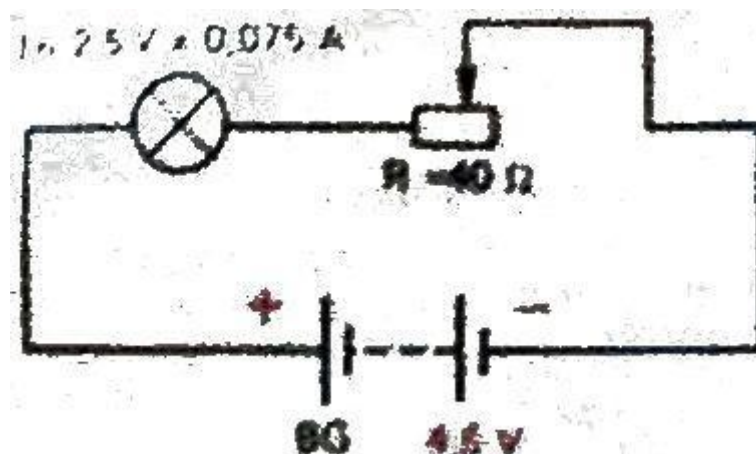


Figura 49. Regulación de la corriente en el circuito valiéndose de un resistor

Aplicando a nuestro ejemplo, el resistor R (Figura 48) suprimió el exceso de tensión: $U = IR = 0,08 \times 25 = 2V$. El resto de la tensión de la batería, igual a, aproximadamente a 2,5 V, recaía sobre el filamento de la lamparita.

La resistencia que debe tener el resistor se puede hallar por otra fórmula que también conoces $R = U/I$ en la que R es la resistencia

que se busca del resistor adicional, en Ω ; U la tensión que hay que suprimir en V e I, la corriente en el circuito en A. Para nuestro ejemplo la resistencia del resistor adicional debería ser $R = U/I = 27/0,075$ igual 27Ω .

Variando la resistencia se puede disminuir o aumentar la tensión que recae sobre el resistor adicional y, de esta forma, regular la corriente en el circuito.

El resistor adicional R conectado a este circuito puede ser variable, es decir, un resistor cuya resistencia se puede variar (Figura 49). En este caso con el cursor del resistor se puede variar suavemente la tensión que se aplica a la carga I y, por consiguiente, regular con suavidad la corriente que pasa por dicha carga. Un conector variable, conectado de esta forma recibe el nombre de reóstato. Por medio de reóstatos se regula la corriente en los circuitos de los receptores y de los amplificadores. En muchos cines se utilizan reóstatos para apagar la luz paulatinamente en la sala.

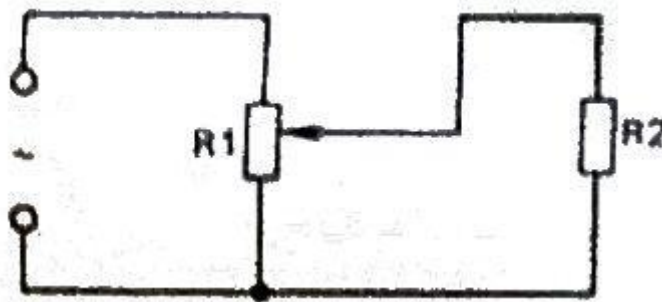


Figura 50. Regulación de la carga R2 del circuito, valiéndose de un resistor variable R1

Pero existe otro procedimiento de conectar la carga a una fuente de corriente con tensión excesiva, valiéndose también de un resistor variable conectado como potenciómetro, es decir, como divisor de la tensión (Figura 50).

Aquí R1 es el resistor conectado como potenciómetro, y R2, la carga, que puede ser la misma lamparita de incandescencia o cualquier otro dispositivo. En el resistor R1 tiene lugar la caída de la tensión de la fuente de corriente, que parcial o totalmente puede ser suministrada a la carga R2. Cuando el cursor del resistor se halla en la posición extrema inferior, a la carga no llega tensión (esto es, la lamparita no se encenderá). A medida que el cursor del resistor se desplaza hacia arriba, se irá suministrando cada vez más tensión a la carga R2 (en el caso de la lamparita su filamento se pondrá incandescente). Y cuando el cursor del resistor R1 se encuentre en la posición extrema superior, a la carga R2 se le suministrará toda la tensión de la fuente de corriente (si R2 es la lamparita y la tensión de la fuente de corriente

es grande, el filamento se fundirá). Por medio de pruebas puede hallarse una posición tal del cursor del resistor variable con la cual se le suministrará a la carga la tensión necesaria.

Los resistores variables, conectados como potenciómetros, se utilizan mucho para regular el volumen en los receptores y amplificadores de AF.

El resistor puede conectarse también directamente en paralelo con la carga. En este caso la corriente, en esta parte del circuito, se bifurcará y seguirá dos caminos paralelos: uno a través del resistor adicional y otro, a través de la carga principal. La corriente será mayor en la rama que tenga menos resistencia. Pero la suma de las corrientes en ambas ramas será igual a la corriente consumida en alimentar el circuito exterior.

A la conexión en paralelo se recurre en aquellos casos en que hay que limitar la corriente no en todo el circuito, como cuando se conecta en serie el resistor adicional, sino solamente en una cualquiera de sus partes. Los resistores adicionales se conectan, por ejemplo, en paralelo con los miliamperímetros, para medir grandes corrientes. Estos resistores se llaman resistencias en derivación o "shunt". La palabra "shunt" significa derivación

§. Inductancia

En un circuito de corriente alterna influye sobre la intensidad de la corriente no sólo la resistencia del conductor conectado al circuito, sino también su inductancia. Por eso en los circuitos de corriente alterna se distinguen la llamada *resistencia óhmica*, determinada por las cualidades del material del conductor, y la *resistencia inductiva o inductancia*, determinada por la inductancia del conductor. Un conductor recto tiene una inductancia relativamente pequeña. Pero si este mismo conductor se enrolla en forma de bobina, su inductancia aumenta. Al mismo tiempo aumenta la resistencia que él ofrece a la corriente alterna y la corriente que pasa por el circuito disminuye. Si aumenta la frecuencia de la corriente, la resistencia inductiva de la bobina también aumenta.

Acuérdate de esto:

la resistencia de una bobina de inductancia a la corriente alterna aumenta al aumentar su inductancia y la frecuencia de la corriente que pasa por ella.

Esta propiedad de las bobinas se aprovecha en diversos circuitos de los receptores cuando es necesario limitar la corriente de alta frecuencia o discriminar las oscilaciones de alta frecuencia en

rectificadores de corriente alterna y en otros muchos casos, con los cuales te encontrarás constantemente en la práctica.

La unidad de inductancia es el henrio (H). Una bobina tiene la inductancia de 1 H, si la corriente varía 1 A durante 1 segundo, se desarrolla una f.e.m. autoinducida igual a 1 V. Esta unidad se utiliza para determinar la inductancia de las bobinas que se conectan en los circuitos de corriente de frecuencia acústica. La inductancia de las bobinas que se emplean en los circuitos oscilantes se mide en milésimas de henrio, denominadas milihenrios (mH) o en unidades mil veces más pequeñas, microhenrios (μH).

§. Potencia y trabajo de la corriente

El calentamiento del filamento de incandescencia de una lámpara eléctrica, de un soldador, de una cocinilla o de cualquier otro dispositivo eléctrico, requiere el gasto de cierta cantidad de energía eléctrica. La energía que cede la fuente de corriente (o que recibe de ella la carga) durante 1 segundo, se llama *potencia* de la corriente. Como unidad de potencia de corriente se toma el vatio (W). Un vatio es la potencia que desarrolla una corriente continua de 1 A, a la tensión de 1 V. En las fórmulas, la potencia de la corriente se designa por la letra P. La potencia eléctrica en vatios se obtiene multiplicando la tensión en voltios por la corriente en amperios, es decir. $P = U \times I$

Si, por ejemplo, una fuente de corriente continua de 4,5 V de tensión crea en el circuito una corriente de 0,1 A, la potencia de esta corriente será: $P = U \times I = 4,5 \times 0,1 = 0,45 \text{ W}$.

Aplicando esta fórmula se puede, por ejemplo, calcular la potencia que consume la lamparita de una linterna de bolsillo plana, multiplicando 3,5 V por 0,28 A. Resulta cerca de 1 W.

Escribiendo esta fórmula así: $I = P/U$ se puede hallar la corriente que pasa por un dispositivo eléctrico si se conoce la potencia que éste consume y la tensión que se le suministra.

Por ejemplo, ¿qué corriente pasa a través de un soldador eléctrico, si se sabe que con 220 V de tensión consume 40 W de potencia?

$$I = P/U = 40/220 \approx 0,18 \text{ A}.$$

Si se conocen la corriente y la resistencia del circuito, pero no se conoce la tensión, la potencia se puede calcular por la fórmula $P = I^2 \times R$. Cuando se conocen la tensión que actúa en el circuito y la resistencia de este último, para calcular la potencia se utiliza la fórmula $P = U^2/R$.

Pero el vatio es una unidad de potencia relativamente pequeña. Cuando se trata de dispositivos, aparatos o máquinas eléctricas que consumen corrientes de decenas o centenares de amperios, se utiliza como unidad de potencia el kilovatio (kW), igual a 1000 W. Las potencias de los motores eléctricos de las máquinas herramientas, por ejemplo, pueden ser de varias unidades o varias decenas de kilovatios.

La cantidad de energía que se gasta se valora en vatios-segundo, magnitud que equivale a la unidad de energía llamada julio (J). El gasto de energía eléctrica se calcula multiplicando la potencia que consume el aparato por el tiempo durante el cual funciona, expresado en segundos. Si, por ejemplo, la lamparita de una linterna eléctrica de bolsillo plana (cuya potencia ya sabes que es de cerca de 1 W) ha estado encendida durante 25 segundos, la energía gastada por ella será igual a 25 vatios-segundo.

Pero el vatio- segundo es una magnitud muy pequeña. Por eso se utilizan en la práctica unidades de grado de energía eléctrica más grandes cómo son el vatio-hora, el hectovatio-hora y el kilovatio-hora.

Para expresar el gasto de energía en vatios-hora o en kW-hora hay que multiplicar respectivamente, la potencia en vatios o kilovatios por el tiempo en horas. Si por ejemplo, un aparato consume 0,5 kW de potencia durante 2 horas con el gasto de energía es de $0,5 \times 2 = 1$ kW-hora; un kW-hora de energía también se gastarán si un circuito consume (o gasta) 2 kW de energía de potencia en media hora o 4 kW-hora en un cuarto de hora, etc.

El contador de electricidad que hay en la casa o en el apartamento en que tú vives, cuenta el gasto de energía eléctrica en kW-hora. Multiplicando las indicaciones de contador por el precio de un kW-hora, (que en la URSS es de 4 kopeks) puede saber lo que cuesta la energía que se gasta en una semana o en un mes.

Cuando se trabaja con pilas voltaicas o con batería se suele hablar de su capacidad eléctrica en amperios por hora la cual se expresa por el producto del valor de la corriente de descarga por la duración del funcionamiento en horas.

La capacidad inicial de una batería 3336A por ejemplo es de 0,5 A-hora. Calcula cuánto tiempo seguido funcionará esta batería si se descarga con una corriente de 0,18 A (corriente de la lamparita de la linterna). Aproximadamente será una hora y tres cuartos; si la misma batería se descarga más intensamente por ejemplo con una corriente de 0,5 A, funcionará menos de una hora. Por lo tanto conociendo la capacidad de la pila voltaica o de la batería y las corrientes que

consumen sus cargas se puede calcular aproximadamente el tiempo durante el cual trabajará esta fuente químicas de corriente. La capacidad inicial de la corriente de descarga que se recomienda o la resistencia del circuito exterior que determina la corriente de descarga de la pila o batería se indican algunas veces la etiqueta de esta o en los manuales de consulta.

§. Transformación de la corriente alterna

La corriente alterna se distingue ventajosamente de la corriente continua en que puede transformarse con facilidad, es decir, convertirse de una corriente de tensión relativamente alta en corriente de tensión más baja y viceversa. Los transformadores permiten la transmisión de corriente alterna por cable a grandes distancias con pérdidas de energía pequeñas. Para esto la tensión alterna que producen los generadores de las centrales eléctricas se eleva, por medio de transformadores, hasta cientos de miles de voltios y se envía por líneas de transporte de energía (LTE) en diversas direcciones. En las ciudades y pueblos que se encuentran a centenares o millares de kilómetros de la estación eléctrica esta tensión se reduce, también con la ayuda transformadores, a otra más baja, de la cual se alimentan las lámparas del alumbrado y los motores eléctricos y demás dispositivos eléctricos.

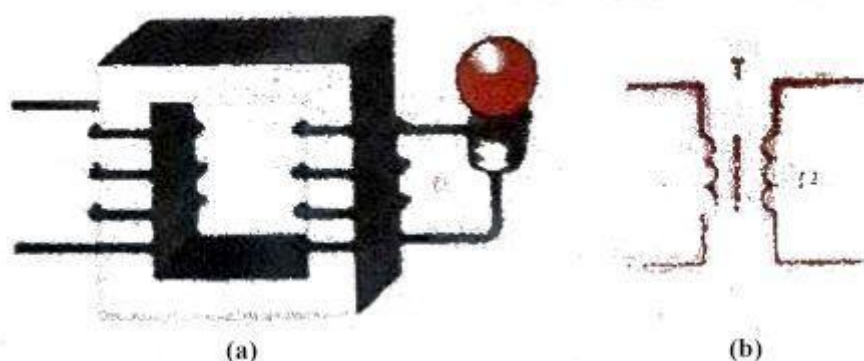


Figura 51. Transformador con circuito magnético de acero. (a) dispositivo simplificado. (b) representación esquemática.

Los transformadores se utilizan mucho en radiotecnica.

La estructura esquemática de un transformador elemental se muestra en la Figura 51. Consta de dos bobinas de hilo conductor aislado, llamadas devanados, que se arrollan sobre un circuito magnético, formado por láminas de acero especial para transformadores. Los devanados de los transformadores se representan en los esquemas lo mismo que las bobinas de inductancia, y el circuito magnético, por una recta entre ellos. La acción del transformador se funda en el fenómeno de la inducción electromagnética. La corriente alterna que pasa por uno de los devanados del transformador crea a su alrededor

y en el circuito magnético un campo magnético alterno. Este campo corta las espiras del otro devanado del transformador e induce en él tensión alterna de la misma frecuencia. Si a este segundo devanado se conecta una carga cualquiera, por ejemplo, una lamparita de incandescencia, por el circuito cerrado que se obtiene pasa corriente alterna y la lamparita se enciende.

El devanado al cual se aplica la tensión alterna que se quiere transformar, se llama *primario* y el devanado en el cual se induce la tensión alterna, *secundario*.

La tensión que se obtiene en los extremos del devanado secundario depende de la relación entre los número de espiras que tienen los devanados; si los número de espiras son iguales, la tensión en el devanado secundario será aproximadamente igual a la tensión que se le suministra en el primario; si el devanado secundario del transformador tiene un número de espiras menor que el primario, la tensión en el también será menor que la suministrada al devanado primario. Y al contrario, si el devanado secundario tiene más espiras que el primario, la tensión que se desarrolla en él será mayor que la que comunica primario. En el primer caso, el transformador reduce la tensión alterna y en el segundo, eleva. La tensión que se induce en el devanado secundario se pueden calcular con bastante exactitud por la relación entre los números de espiras de ambos devanados del transformador; la tensión en el devanado secundario será tantas veces mayor o menor que la tensión que se suministran primario como veces el número de espiras de aquél sea mayor o menor que el número de espiras de éste.

Así por ejemplo, si un devanado del transformador tiene 1000 espiras y el segundo 2000 conectando el primero a la red de corriente alterna de 220 V, obtendremos en el segundo devanado 440 V, es decir, el transformador será elevador. En cambio, si la tensión de 220 V se comunica al devanado de 2000 espiras, en el que tiene 1000 se obtendrán 110 V, o sea, el transformador será reductor. El devanado con 2000 espiras, en el primer caso, hace de secundario, y en el segundo, de primario.

Pero al utilizar un transformador no debes olvidar que la potencia de la corriente ($P = U \times I$) que se puede obtener en el circuito del devanado secundario nunca es mayor que la potencia de la corriente que pasa por el primario. Esto significa que en el secundario sí puede obtener la misma potencia elevando la tensión y reduciendo la corriente o consumiendo de él tensión más baja con mayor corriente. Por lo tanto, al elevar la tensión perdemos intensidad de corriente. Y si ganamos intensidad de corriente, perdemos necesariamente tensión.

Para alimentar los aparatos de radio de la red de corriente alterna se suelen utilizar transformadores con varios devanados secundarios de distinto número de espiras. Con estos transformadores, llamados de red o de alimentación, se obtienen varias tensiones para alimentar distintos circuitos.

La potencia máxima de la corriente que puede ser transformada depende de las dimensiones del circuito magnético del transformador y del diámetro del hilo conductor del cual están hechos los devanados. Cuanto mayor sea el volumen del circuito magnético, tanto mayor puede ser la potencia de la corriente transformada. En la práctica siempre se pierde inútilmente parte de la potencia, por eso la potencia en el circuito del devanado secundario (o la suma de las potencias obtenida de todos los derivados secundarios) es siempre algo menor que la potencia que consume el primario.

Pero acuérdate, el transformador no transforma la corriente continua. No obstante si en el devanado primario pasa corriente pulsatoria, en el secundario se induce tensión alterna de frecuencia igual a la de las pulsaciones de la corriente en el primario. Esta propiedad del transformador se aprovecha para el acoplamiento inductivo entre distintos circuitos, para descomponer la corriente pulsatoria en sus componentes y para una serie de otros fines de los cuales hablaremos más adelante.

Todos los transformadores con circuitos magnéticos de acero o de aleaciones de ferroníquel (permalloy) se llaman transformadores de baja frecuencia ya que solo sirven para transformar tensiones alternas de la gama baja frecuencia.

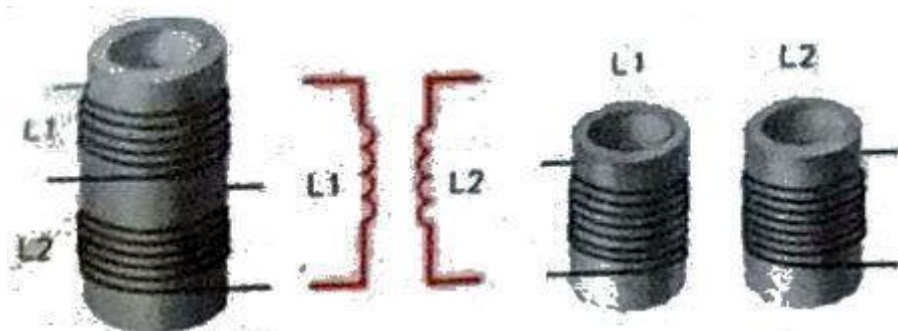


Figura 52. Transformadores de alta frecuencia sin núcleo a la izquierda, a la derecha las bobinas tienen armazones separados, al centro, representación gráfica de transformador en los esquemas

En los esquemas los transformadores de baja frecuencia se identifican con la letra T y sus devanados con números romanos. El principio de funcionamiento de los transformadores de alta frecuencia destinados para transformar oscilaciones de alta frecuencia, también se fundan en la inducción magnética, pueden tener núcleos o carecer de ellos,

sus devanados o bobinas se encuentra en un armazón o en distintos armazones pero necesariamente próximos entre sí (Figura 52) cuando por una bobina pasa corriente de alta frecuencia, alrededor de ella surge un campo magnético rápidamente variable que induce la segunda tensión de la misma frecuencia.

Como los transformadores la baja frecuencia, la tensión en la bobina secundaria depende de la relación entre los números de espiras de las bobinas.

Para reforzar el acoplamiento entre las bobinas, en los transformadores de alta frecuencia se utilizan núcleos en forma de barras o de anillos (Figura 53) hechos de una masa prensada de materiales no metálicos, llamados núcleos magneto-dieléctricos o de alta frecuencia.

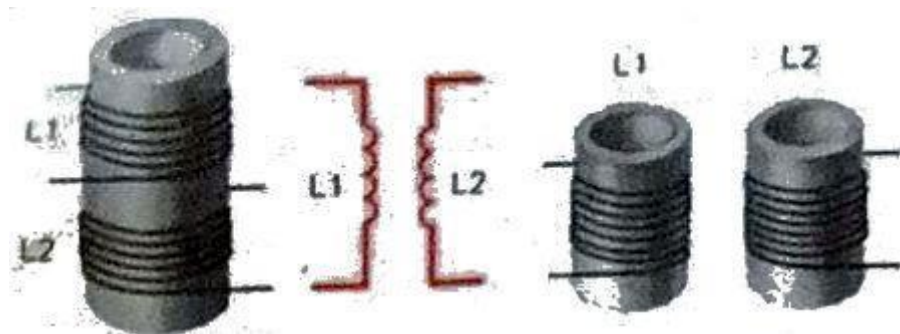


Figura 53. Transformadores de alta frecuencia con núcleos magneto-eléctricos (a la izquierda, con núcleo en forma de barra; a la derecha, con núcleo anular (toroidal)).

Los núcleos más difundidos son los de ferrita. Con uno de estos núcleos (barra de ferrita) tuviste ya relación en la charla segunda. El núcleo de ferrita no sólo refuerza el acoplamiento entre las bobinas, sino que además eleva su inductancia, por lo cual éstas pueden tener menos espiras en comparación con las bobinas del transformador sin núcleo.

El núcleo magneto-dieléctrico del transformador de alta frecuencia, independientemente de su estructura y forma, se representa en los esquemas lo mismo que el circuito magnético del transformador de baja frecuencia, es decir, por una recta entre las bobinas; y los devanados, como las bobinas de inductancia, por medio de la letra L.

Los elementos que en mayor número intervienen en los receptores y amplificadores quizá sean los resistores. En un receptor de transistores de complejidad media, por ejemplo, puede haber de 20 a 25 resistores. Estos se utilizan para limitar la corriente en los circuitos, para crear, en algunas partes de los circuitos, caídas de

tensión, para descomponer la corriente pulsatoria en sus componentes, para regular la intensidad y el timbre del sonido, etc.

Para hacer los resistores de resistencia relativamente pequeña, calculados para corrientes de varias decenas de miliamperios, se utilizan hilos delgados de niquelina, nicromo y algunas otras aleaciones metálicas. Estos son los denominados resistores bobinados. Para los resistores de resistencias grandes, calculados para corrientes relativamente pequeñas, se emplean diversas aleaciones de metales y carbono, las cuales se depositan en capas delgadas sobre materiales aisladores. Estos resistores se llaman no bobinados.

Tanto los resistores bobinados como los no bobinados pueden ser de resistencia fija, es decir, no regulable, y de resistencia variable, cuya resistencia puede variarse desde ciertos valores mínimos hasta los máximos, durante el proceso de funcionamiento.

Las características fundamentales de un resistor son: la resistencia nominal, es decir, que se indica en su cuerpo: la potencia nominal de disipación y la desviación máxima posible de la resistencia efectiva respecto de la nominal. Se llama potencia de disipación la potencia máxima de la corriente que el resistor puede soportar largo tiempo y disipar en forma de calor sin perjuicio para su funcionamiento. Si, por ejemplo, a través de un resistor de $100\ \Omega$ de resistencia pasa una corriente de $0,1\text{ A}$, aquél dispersa una potencia de 1 W . Si el resistor no está calculado para esa potencia puede fundirse pronto. La potencia nominal de disipación es en realidad la característica de rigidez eléctrica del resistor.

Se fabrican resistores de resistencia fija y variable de distintas estructuras y valores nominales: desde varios ohmios hasta centenares de megaohmios. De los de resistencia fija los más difundidos son los de capa metálica MJT (metalizados barnizados termoestables). La estructura de un resistor de este tipo se muestra algo aumentada en la Figura 54a.

De base le sirve un tubo cerámico sobre cuya superficie se ha depositado una capa de aleación especial que forma una película, conductora de la corriente, de $0,1\ \mu\text{m}$ de espesor.

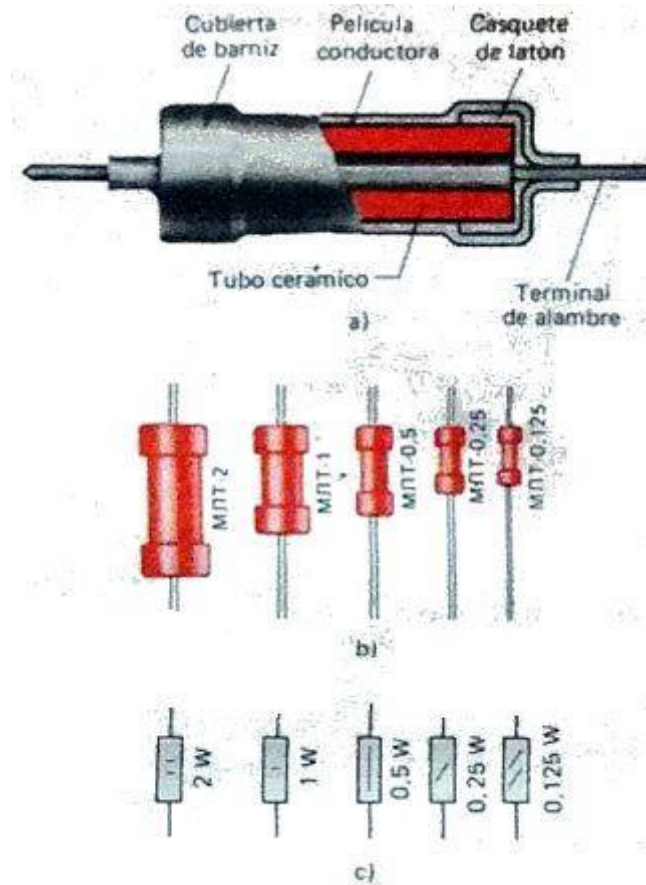


Figura 54. Resistores fijos

En los resistores de alta resistencia óhmica esta capa puede tener forma espiral. En los extremos de la barra con recubrimiento conductor de la corriente se ajustan a presión sendos casquetes metálicos a los cuales van soldados los terminales de contacto del resistor. El cuerpo del resistor está cubierto de un barniz de color resistente a la humedad.

Los resistores MAT se fabrican para potencias de disipación de 2, 1, 0,5, 0,23 y 0,125 W. Respectivamente llevan las marcas MAT-2, MAT-1, MAT-0,5, MAT-0,25 y MAT-0,125. La vista exterior de estos resistores y las representaciones convencionales de sus potencias de disipación en los esquemas básicos se muestran en la Figura 54.

Con el tiempo aprenderás a distinguir las potencias de disipación de los resistores por su aspecto exterior.



Figura 55. Estructuras y representación gráfica de los resistores variables en los esquemas

La desviación máxima posible de la resistencia efectiva de un resistor respecto de la nominal se expresa en tantos por ciento.

Si, por ejemplo, la resistencia nominal del resistor es de 100 k Ω con una tolerancia de $\pm 10\%$, esto significa que su resistencia real puede ser desde 90 hasta 110 k Ω .

La estructura de un resistor variable no bobinado es la siguiente (en la Figura 55 el resistor CП-1 se muestra sin la tapa protectora): a una base redonda de plástico va pegado un arco de perlina recubierto de una tenue capa de negro mezclado con barniz. Esta capa, que posee resistencia, es precisamente el resistor. De los dos extremos de la capa salen terminales. En el centro de la base va ajustado a presión un casquillo. En él gira un eje y, solidariamente, una plaquita de pertinax perfilada. Sobre el extremo exterior de la plaquita va sujeta una escobilla (corredora), de toma de corriente, formada por varios alambres flexibles que están en contacto con el "pétalo" medio de salida. Al girar el eje, la escobilla se desplaza por la capa de negro sobre el arco, como resultado de lo cual varía la resistencia entre los terminales medio y extremos. Por arriba se cierra el resistor con una tapa metálica que lo protege contra deterioros.

Así, o aproximadamente así, están contruidos casi todos los resistores variables, entre ellos los de los tipos СП (resistencia variable), resistores variables de disco, por ejemplo, del tipo СП13-3b.

Se fabrican resistores no bobinados variables con resistencias nominales desde 47 Ω y desviaciones tolerables de la nominal de ± 20 , 25 y 30%.

En los esquemas básicos, con objeto de no recargarlos, se utiliza un sistema de designaciones abreviadas de las resistencias de los resistores con la cual no se escriben junto a las cifras los símbolos de las unidades de resistencia (Ω , k Ω , M Ω). Este mismo sistema de designación de las resistencias nominales de los resistores se utiliza también en este libro.

Las resistencias de los resistores desde 1 hasta 999 Ω se indican en los esquemas básicos por medio de los números enteros correspondientes a los ohmios, y las de los resistores desde 1 hasta 999 k Ω , con las cifras que indican el número de kilohmios con la letra "k". Las resistencias grandes de los resistores se indican en megaohmios con la letra "M". He aquí varios ejemplos de cómo se designan las resistencias de los resistores en los esquemas: R1 270 corresponde a 270 Ω ; R2 6.8 k, a 6800 Ω ; R3 56 k a 56 k Ω (56.000 Ω); R4 220 k, a 220 k Ω (0,22 M Ω); R5 1,5 M a 1.5 M Ω .

Inmediatamente hago una advertencia: en la inmensa mayoría de los aparatos que construyen los radioaficionados, sin perjuicio para su funcionamiento, pueden tolerarse desviaciones de las resistencias nominales de los resistores indicadas en los esquemas, dentro de los límites de hasta el ± 10 ó 15%. Esto quiere decir que un resistor de 5.1 k Ω de resistencia, por ejemplo, puede ser sustituido por el resistor de resistencia nominal más próxima a él, o sea, por el de 4.7 k Ω de resistencia nominal por el de 5,6 k Ω .

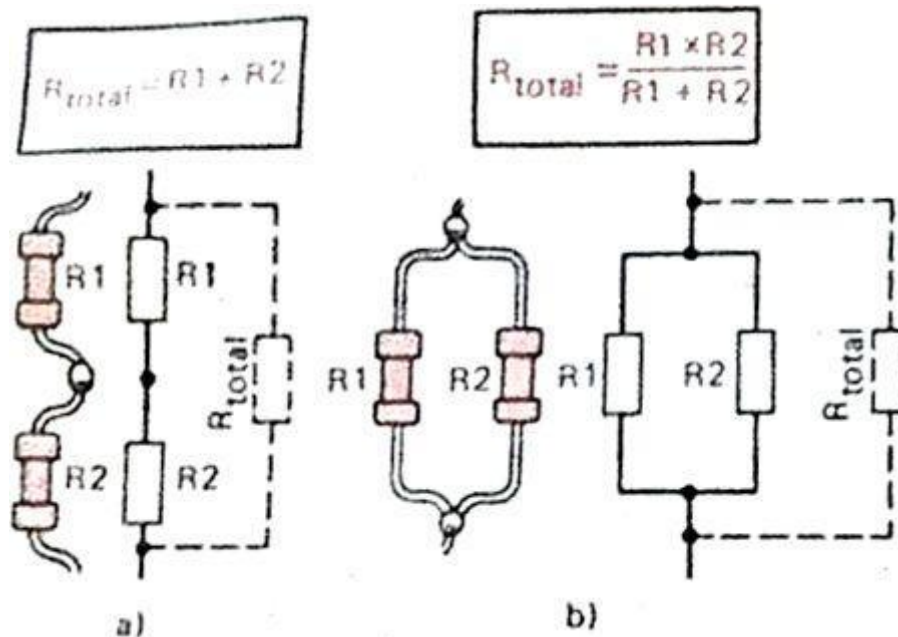


Figura 56. Acoplamientos en serie (a) y en paralelo (b) de los resistores

Figúrate el caso siguiente. Te hace falta un resistor de resistencia determinada. Tú no lo tienes, pero si tienes otros con distintas resistencias nominales. ¿Se puede componer con ellos un resistor de la resistencia que necesitas? Claro que se puede. Pero para eso hay que saber hacer el cálculo elemental de la conexión en serie y en paralelo de las resistencias de los circuitos eléctricos y de los resistores. Cuando los resistores se conectan en serie (Figura 56a) su resistencia total R_{tot} es igual a la suma de las resistencias de todos los resistores conectados en cadena, es decir.

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Así por ejemplo, si $R_1 = 15 \text{ k}\Omega$ y $R_2 = 33 \text{ k}\Omega$ su resistencia total

$$R_{tot} = 15 + 33 = 48 \text{ k}\Omega$$

Cuando los resistores se conectan en paralelo (Figura 56b), su resistencia total R_{tot} disminuye y es siempre menor que la resistencia de cada uno de ellos por separado. La resistencia resultante de un circuito de resistores unidos en paralelo se calcula valiéndose de la fórmula:

$$R_{tot} = R_1 \times R_2 / (R_1 + R_2)$$

Supongamos que $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$ y $R_2 = 30 \text{ k}\Omega$. La resistencia total de la parte del circuito formada por estos dos resistores será:

$$R_{tot} = R_1 \times R_2 / (R_1 + R_2) = 20 \times 30 / (20 + 30) = 12 \text{ k}\Omega$$

Cuando se conectan en paralelo dos resistores con resistencias nominales iguales, su resistencia total es igual a la mitad de la resistencia de cada uno de ellos.

§. Condensadores

Los condensadores, lo mismo que los resistores, son unos de los elementos más numerosos de los dispositivos radiotécnicos. De algunas propiedades del condensador, "almacenador" de cargas eléctricas, ya te he hablado. Entonces también te dije que la capacidad del condensador será tanto mayor, cuanto mayor sea el área de sus armaduras y más delgada la capa de dieléctrico entre ellas.

La unidad fundamental de capacidad eléctrica es el faradio (F), llamada así en honor del físico inglés M. Faraday. Pero 1 F es una capacidad muy grande. La capacidad eléctrica de la esfera terrestre, por ejemplo, es de menos de 1 F. En electrotecnia y radiotecnica se emplea una unidad de capacidad igual a una millonésima de faradio, cuyo nombre es microfaradio (μF). En un faradio hay 1.000.000 μF , es decir, $1 \mu\text{F} = 0.000001 \text{ F}$. Esta unidad de la capacidad también es con frecuencia demasiado grande. Por eso existe otra unidad aún más pequeña, el picofaradio (pF) igual a la millonésima parte de un microfaradio, es decir, a 0.000001 pF: $1 \text{ pF} = 1.000.000 \mu\text{F}$.

Todos los condensadores, sean de capacidad fija o variable, se caracterizan en primer lugar por sus capacidades expresadas en picofaradios o microfaradios.

En los esquemas básicos, la capacidad de los condensadores desde 1 hasta 999 pF lo indicaremos por los números enteros correspondientes a sus capacidades en estas unidades sin la designación pF, y la capacidad de los condensadores desde 0,01 μF (10000 pF, y mas, en fracciones de microfaradio o en microfaradios sin la designación μF . Si la capacidad del condensador es igual a un número entero de microfaradios, a diferencia de cómo se indica la capacidad en picofaradios, después de la última cifra significativa pondremos una coma y un cero.

Ejemplos de cómo se indicarán las capacidades de los condensadores en los esquemas: C1 47, corresponde a 47 pF; C2 3300, a 3300 pF; C3 0.047, a 0.047 pF (47 000 pF); C4 0.1 a 0,1 pF: C5 20,0 a 20 pF.

Ya sabes que el condensador más simple consiste en dos láminas conductoras separadas por un dieléctrico. Si un condensador se conecta en un circuito de corriente continua, la corriente dejará de pasar por el circuito. Esto es comprensible: a través de un aislador como lo es el dieléctrico del condensador no puede pasar la corriente continua. La conexión de un condensador en un circuito de corriente

continúa equivale a cortarlo (no tenemos en cuenta el instante de la conexión, en el cual se produce la corriente de carga del condensador, que dura muy poco). Otro es el comportamiento del condensador en un circuito de corriente alterna. Recuerda: la polaridad de la tensión en los bornes de la fuente de corriente alterna varía periódicamente. Por lo tanto, si se intercala un condensador en un circuito alimentado por una fuente de corriente de este tipo, sus armaduras se recargarán alternativamente con la frecuencia de esta corriente. Como resultado, por el circuito pasará corriente alterna.

El condensador, de un modo semejante al resistor y a la bobina, ofrece resistencia a la corriente alterna, pero diferente a las corrientes de distinta frecuencia. Puede dejar pasar bien las corrientes de alta frecuencia y al mismo tiempo, ser casi aislador para las de baja frecuencia.

Acuérdale de esto:

la capacitancia de un condensador a la corriente alterna disminuye al aumentar su capacidad y frecuencia de la corriente y, viceversa, aumenta al disminuir su capacidad la frecuencia de la corriente

La propiedad de los condensadores de no dejar pasar la corriente continua y de conducir de distinto modo las corrientes alternas de diferentes frecuencias se aprovecha para descomponer las corrientes pulsatorias en sus componentes para detener las corrientes de unas frecuencias y dejar pasar las de otras. De esta propiedad de los condensadores te servirás a menudo en tus construcciones.

¿Cómo están hechos los condensadores de capacidad fija?

Todos los condensadores de capacidad fija tienen armaduras conductoras de corriente y entre ellas un dieléctrico de cerámica, mica, papel u otro sólido. Por el tipo de dieléctrico que se usa los condensadores reciben, respectivamente, los nombres de condensadores de cerámica, de mica, de papel, etc. El aspecto exterior de algunos condensadores de cerámica de capacidad fija, se muestra en la Figura 57.

En ellos sirve de dieléctrico una cerámica especial, de armaduras, capas delgadas de metal plateado depositadas sobre las superficies de la cerámica, y de terminales, unos alambres, o tiras de latón, también plateados, soldados a las armaduras. Los cuerpos de los condensadores se recubren por arriba de esmalte.

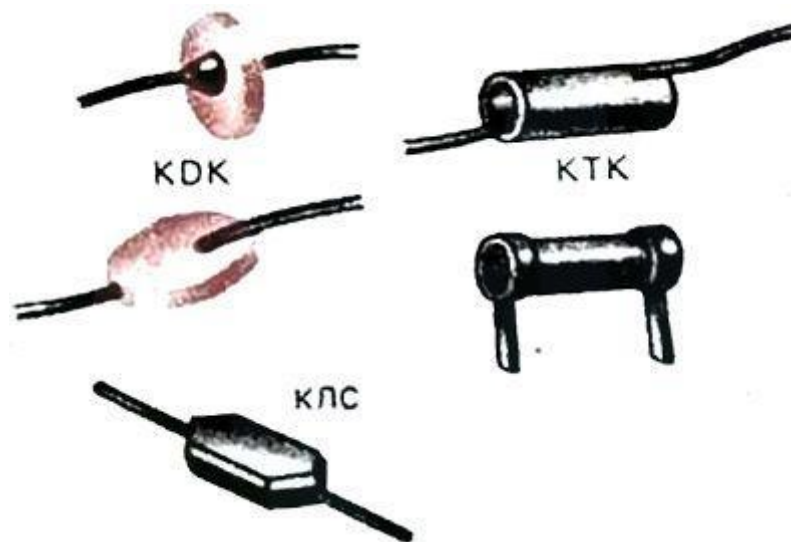


Figura 57. Condensadores cerámicos de capacidad fija

En la URSS los condensadores de cerámica más difundidos son los de los tipos KAK (condensador de discos de cerámica) y KTK (condensador tubular de cerámica).

En el condensador KTK una armadura va depositada sobre la superficie interior y la otra, sobre la superficie exterior de un tubo de cerámica de paredes delgadas.

Los condensadores de cerámica tienen capacidades relativamente pequeñas, de hasta varios millares de picofaradios. Se utilizan en aquellos circuitos por los cuales pasa corriente de alta frecuencia (circuito de antena, circuito oscilante), para acoplarlos entre sí.

Para conseguir que las dimensiones del condensador sean pequeñas, pero que su capacidad sea relativamente grande, éste se hace no de dos placas, sino de varias apiladas, separadas entre sí por el dieléctrico (Figura 58).

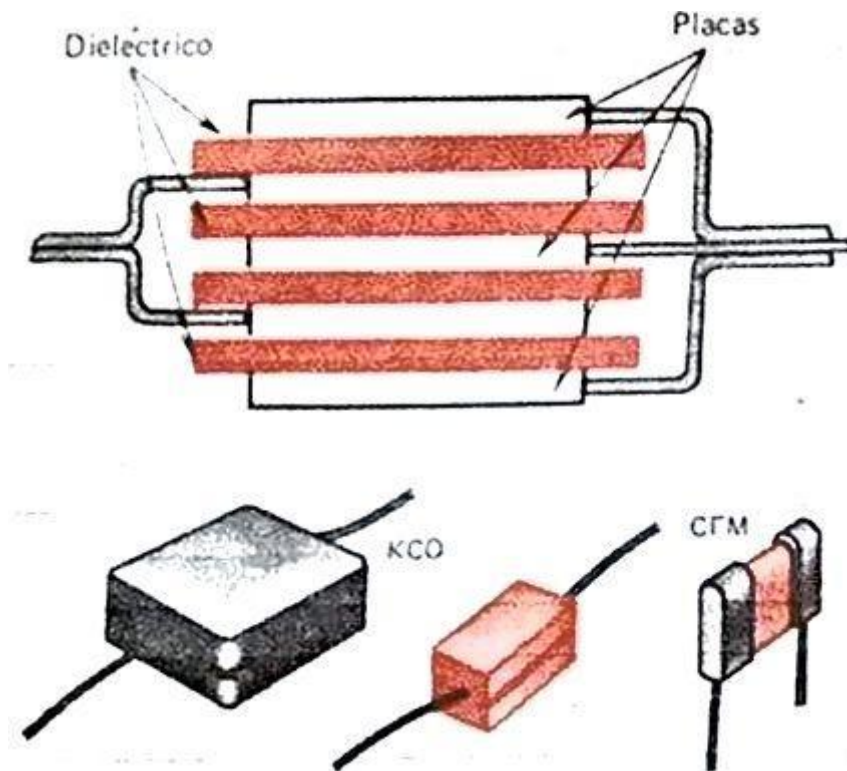


Figura 58. Condensadores de mica

En este caso cada par de placas contiguas forma un condensador. Uniendo estos pares de placas en paralelo se obtiene un condensador de más capacidad. Así están contruidos todos los condensadores con dieléctrico de mica. En ellos hacen las veces de placas-armaduras hojas de papel de aluminio o capas de plata depositadas directamente sobre la mica, y de terminales, trozos de alambre plateado.

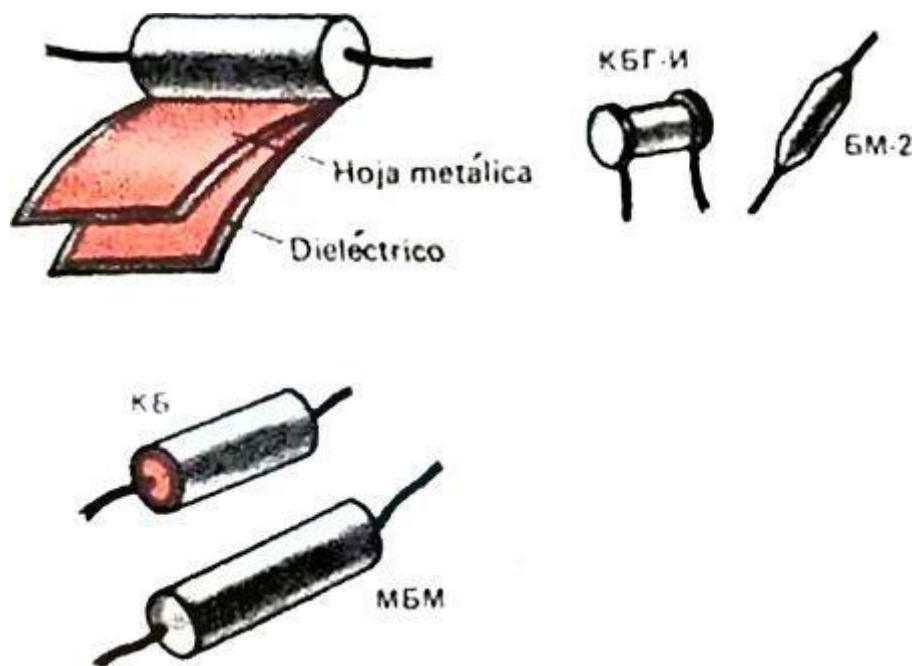


Figura 59. Condensadores de papel y papel metalizado de capacidad fija

Los conductores de mica, lo mismo que los de cerámica, se utilizan en los circuitos de alta frecuencia, en calidad de condensadores de bloqueo para acoplamiento entre circuitos de alta frecuencia.

En los condensadores de papel (Figura 59) sirve de dieléctrico un papel fino impregnado en parafina, y de armaduras, hojas de papel metálico. Las hojas de papel, junto con las armaduras, se enrollan y se colocan dentro de una cajita de cartón o de metal. Cuanto más anchas y largas son las armaduras, tanto mayor es la capacidad del condensador.

Los condensadores de papel se emplean principalmente en los circuitos de alta frecuencia y para bloquear las fuentes de alimentación. Hay muchas clases de condensadores con dieléctrico de papel. Todas ellas tienen en su designación la letra Б (inicial de la palabra "bumaga", papel). Los condensadores БМ (de papel y pequeñas dimensiones) tienen caja tubular metálica sellada por sus extremos con una resina especial. Los КБ tienen cajas cilíndricas de cartón. Los del tipo КБГ-И, cajas de porcelana con casquetes metálicos en los extremos soldados a las armaduras, de las cuales parten estrechas lengüetas terminales.

De dieléctrico de los condensadores del tipo МБМ (de papel metalizado y pequeñas dimensiones) sirve panel barnizado para condensadores, y de armaduras, una capa de metal, de menos de una micra de espesor, depositada sobre una de las caras del panel. La particularidad característica de este grupo de condensadores es su

capacidad para autorestablecerse después de la perforación eléctrica del dieléctrico.

Un grupo particular de condensadores de capacidad fija lo constituyen los electrolíticos (Figura 60).

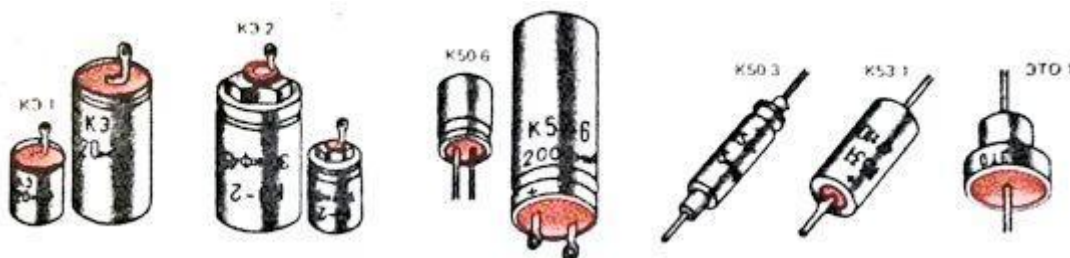


Figura 60. Condensadores electrolíticos

Por su estructura interior el condensador electrolítico recuerda en algo al de papel. Tiene dos cintas de hoja de aluminio. La superficie de una de ellas está recubierta de una capa delgadísima de óxido. Entre las dos cintas de hoja de aluminio se encuentra una de papel poroso impregnada en un líquido espeso especial, el electrolito. Esta tira de cuatro capas se enrolla y se introduce en una caja o cartucho cilíndrico de aluminio.

De dieléctrico de este condensador sirve la capa de óxido. La armadura positiva (ánodo) es la cinta que tiene la capa de óxido. Esta cinta se une a una lengüeta terminal aislada del cartucho. La armadura negativa (cátodo) es el papel impregnado en electrolito, el cual, a través de la cinta metálica sin capa de óxido, se une al cartucho. De esta forma el cartucho es el terminal negativo de la armadura del condensador electrolítico y la lengüeta aislada de él, el terminal positivo. Así, en particular, están contruidos los condensadores de los tipos KЭ, KЭ-3. Los condensadores KЭ-2 se diferencian de los KЭ en que tienen un casquillo de plástico roscado y una tuerca para sujetarlos al panel. Las cajas de aluminio de los condensadores KЭ-3 tienen forma de cartuchos de 4,5 a 6 mm de diámetro y de 15 a 20 mm de longitud. Los terminales son de alambre. Análoga estructura tienen los condensadores del tipo KЭ-6. Pero en ellos los terminales de los electrodos (armaduras) están aislados de las cajas.

En los esquemas básicos los condensadores electrolíticos se representan lo mismo que los otros condensadores de capacidad constante, es decir, por dos cortas rectas paralelas, pero junto a la armadura positiva se pone el signo "+".

Los condensadores electrolíticos tienen capacidades «rundes, desde unas fracciones de microfaradio hasta vanos millares de ellos. Se Utilizan en los circuitos de corriente pulsatoria, por ejemplo, en los

filtros de los rectificadores de corriente alterna y para el acoplamiento entre circuitos de alta frecuencia. El electrodo negativo del condensador se conecta al polo negativo del circuito y el positivo, al polo positivo. Si la polaridad se infringe, el condensador electrolítico puede estropearse.

La capacidad nominal de los condensadores electrolíticos se indica en sus cajas-cartuchos. La capacidad real puede ser mucho mayor que la nominal.

Una característica muy importante de todo condensador, además de su capacidad, es su tensión nominal, es decir, la tensión con la cual el condensador puede funcionar durante mucho tiempo sin perder sus propiedades. Esta tensión depende de las propiedades y del espesor de la capa de dieléctrico del condensador. Los condensadores de cerámica, mica, papel y papel metalizado de diversos tipos están calculados para tensiones nominales de 150 a 1000 V y mayores. Los condensadores electrolíticos se fabrican para tensiones nominales desde varios voltios hasta 30-50 V y desde 150 hasta 450-500 V. En vista de esto se subdividen en: condensadores para *baja tensión* y condensadores para *alta tensión*. Los del primer grupo se emplean en circuitos con tensiones relativamente pequeñas, y los del segundo, en circuitos con tensiones relativamente grandes.

Cuando tengas que elegir condensadores para tus construcciones, presta siempre atención a sus tensiones nominales. En circuitos con tensiones menores que la nominal se pueden conectar los condensadores, pero en circuitos con tensiones mayores que la nominal, no. Si la tensión en las armaduras de un condensador es mayor que la nominal, el dieléctrico se perfora. Un condensador perforado ya no sirve para seguir funcionando.

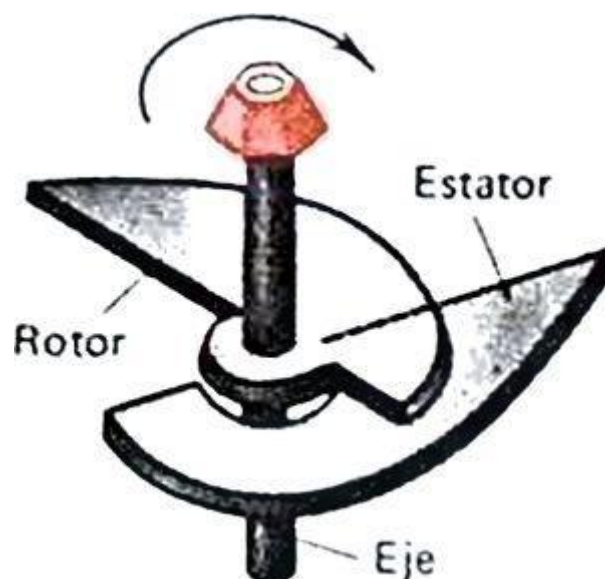


Figura 61. Condensador simple de capacidad variable

Hablemos ahora de los condensadores de capacidad variable. La estructura del condensador de capacidad variable más simple puede verse en la Figura 61. Una armadura (estator) es fija y la otra (rotor) va sujeta a un eje. Cuando gira el eje, el área de superposición de las armaduras y, a la vez, la capacidad del condensador, varía.

Los condensadores de capacidad variable que se utilizan en los circuitos oscilantes sintonizables de los receptores, constan de dos grupos de placas (Figura 62a) de aluminio laminado o de latón. Las placas del rotor van unidas al eje.

Las del estator están también unidas entre sí, pero aisladas del rotor. Al girar el eje, las placas del grupo rotor entran paulatinamente en los espacios de aire que hay entre las placas del grupo estator, con lo cual la capacidad del condensador varía suavemente. Cuando las placas del rotor están completamente fuera de los espacios entre las placas del estator, la capacidad del condensador es mínima y se llama capacidad inicial del condensador. Cuando las placas del rotor están completamente introducidas entre las del estator, la capacidad del condensador es la máxima que este puede tener. La capacidad máxima de un condensador será tanto mayor; cuanto más placas tenga y menor sea la distancia entre las móviles y las fijas.

En los condensadores que se muestran en las Figura 61 y Figura 62a, sirve de dieléctrico el aire. Pero en los condensadores de capacidad variable de pequeñas dimensiones (Figura 62.b) el dieléctrico puede ser de papel, de película de plástico o de cerámica. Estos últimos reciben el nombre de condensadores de capacidad variable con dieléctrico sólido.

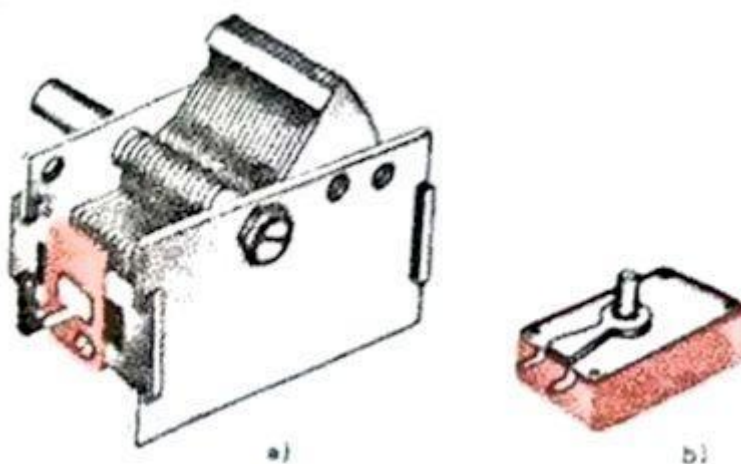


Figura 62. Un condensador de capacidad variable con dieléctrico de aire (a) y con dieléctrico sólido (b).

A pesar de tener menor tamaño que los de dieléctrico de aire, estos condensadores pueden tener capacidades máximas grandes.

Precisamente éstos son los condensadores que se utilizan para sintonizar los circuitos oscilantes de los pequeños receptores de transistores.

Los condensadores de capacidad variable más difundidos tienen una capacidad inicial de varios picofaradios y una máxima de 240-490 pF. No excluyo la posibilidad de que uno de estos condensadores lo hayas utilizado ya para sintonizar tu primer receptor de radio.

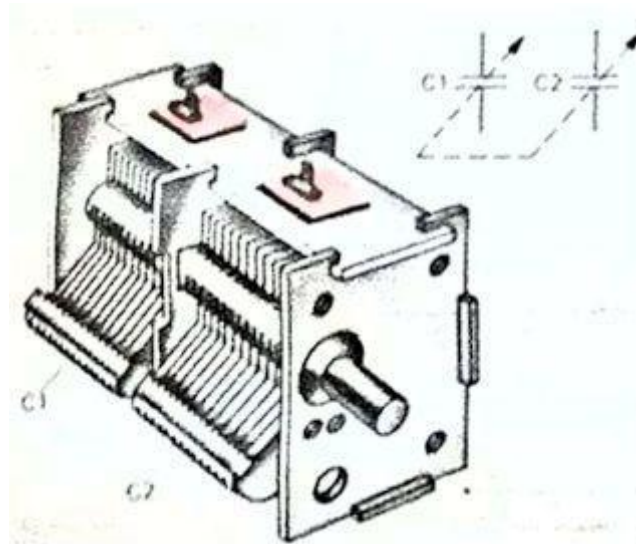


Figura 63. Una de las posibles estructuras de bloque de condensadores de capacidad variable

En los receptores con dos circuitos oscilantes sintonizables se emplean condensadores gemelos de capacidad variable (КПЕ). El КПЕ representado en la Figura 63 consta de dos condensadores cuyos rotors tienen eje común. Al girar el eje varían a la vez las capacidades de ambos condensadores.

Tanto los condensadores de capacidad variable simples como gemelos con dieléctrico de aire requieren trato cuidadoso. Incluso deformaciones insignificantes o cualquier otro deterioro de las placas ocasionan contactos entre ellas. La corrección de las placas del condensador deterioradas es difícil.

A los condensadores con dieléctrico sólido pertenecen también los de ajuste (trimmeres), que son una variedad de los de capacidad variable. El uso más frecuente de estos condensadores es el de ajuste de los circuitos en resonancia, de ahí su nombre.

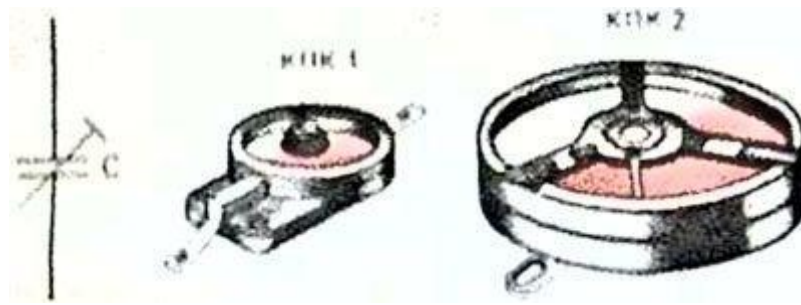


Figura 64. Condensadores de ajuste y su representación esquemática

Las estructuras de algunos condensadores de ajuste se muestran en la Figura 64. Cada uno de ellos consta de una base de cerámica relativamente maciza y de un disco delgado también de cerámica. En la superficie de la base (debajo del disco) y sobre el disco hay depositadas capas metálicas en forma de sectores, que son las armaduras del condensador. Al girar el disco alrededor de su eje varía el área de superposición de los sectores-armaduras y la capacidad del condensador.

La capacidad de los condensadores de ajuste se indica en el cuerpo de los mismos en forma de número quebrado, en el cual el numerador es la capacidad mínima y el denominador, la máxima. Si, por ejemplo, en el condensador se indica 6/30, esto significa que su capacidad mínima es de 6 pF y la máxima, 30 pF. Los condensadores de ajuste tienen, por lo general, una capacidad mínima de 2 a 5 pF y una máxima de hasta 100-150 pF. Algunos de ellos, por ejemplo, los КПК-2, se pueden utilizar en calidad de condensadores de capacidad variable para sintonizar receptores simples de un sólo circuito.

Los condensadores, lo mismo que los resistores, se pueden conectar en paralelo o en serie. En la mayoría de los casos se recurre a estos acoplamientos cuando no se dispone de un condensador de la capacidad nominal que se necesita, pero sí de otros con los cuales se puede componer dicha capacidad. Si los condensadores se acoplan en paralelo (Figura 65a), su capacidad total será igual a la suma de las capacidades de todos los condensadores acoplados, es decir:

$$C_{\text{tot}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Así por ejemplo, si $C_1 = 33 \text{ pF}$ y $C_2 = 47 \text{ pF}$, la capacidad total de estos dos condensadores será $C_{\text{tot}} = 33 + 47 = 80 \text{ pF}$.

Si los condensadores se acoplan en serie (Figura 63b), su capacidad total será siempre menor que la más pequeña de las de los condensadores incluidos en la cadena. Para calcularla se emplea la fórmula:

$$C_{\text{tot}} = C_1 \times C_2 / (C_1 + C_2).$$

Por ejemplo, supongamos que $C_1 = 220 \text{ pF}$ y $C_2 = 330 \text{ pF}$; entonces $C_{\text{tot}} = 220 \times 330 / (220 + 330) = 132 \text{ pF}$.

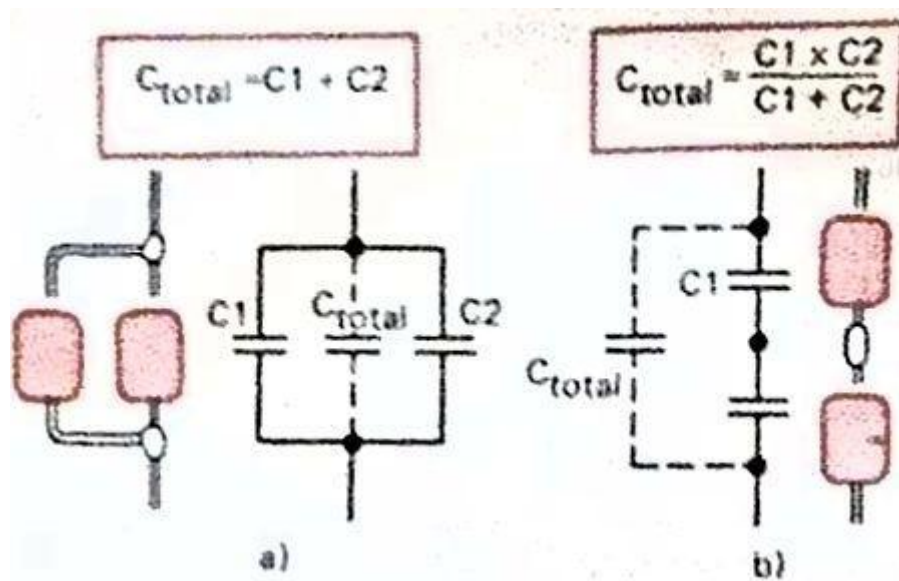


Figura 65 Acoplamientos en paralelo («/») y en serie (6) de los condensadores

Cuando se acoplan en serie dos condensadores de igual capacidad, la capacidad total será igual a la mitad de la de cada uno de ellos.

§. Unas palabras sobre los cortacircuitos fusibles

Un cortacircuitos fusible o simplemente, un fusible es un dispositivo constituido por un trozo de alambre, cuyo espesor está calculado para el paso de una corriente de intensidad determinada, por ejemplo, 0.25 A. Este dispositivo protege contra sobrecargas la fuente de corriente. Tienen cortacircuitos todas las redes eléctricas y, a veces, los enchufes de toma de corriente y los aparatos de radio que se alimentan de la red del alumbrado eléctrico.

El fusible se intercala en un corte del circuito eléctrico, para que a través de él pase toda la corriente que consume dicho circuito. Mientras la corriente no supera la norma tolerable, el alambre del cortocircuito se mantiene templado o frío. Pero en cuanto en el circuito surge una carga de magnitud intolerable o se produce un cortocircuito, la corriente crece bruscamente, el alambre se funde y el circuito se corta automáticamente. El casquillo portafusible que se emplea en la red del alumbrado es igual que el portalámparas.

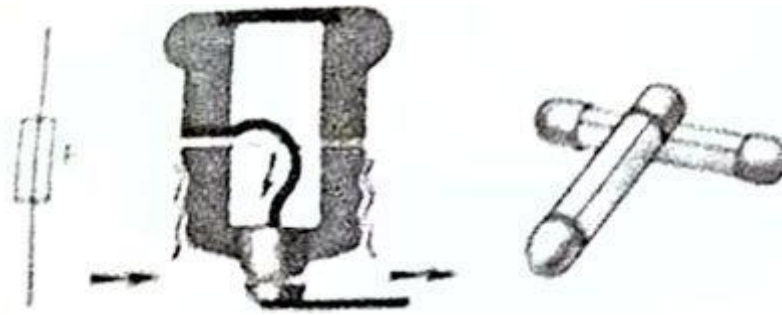


Figura 66. Cortocircuito fusible

A él se atornilla el "tapón" de porcelana (Figura 66, a la izquierda) dentro del cual se encuentra un alambre de plomo. Uno de los extremos de este alambre está soldado al fondo metálico del tapón y el otro, al cilindro metálico roscado que sirve para atornillar el fusible al portafusible.

El alambre de los fusibles de los aparatos de radio (Figura 66, a la derecha) está dentro de un tubito de vidrio y sus extremos los tiene soldados a sendos casquetes metálicos que hacen las veces de contactos. Por medio de estos contactos se encaja el fusible en un portafusibles especial o entre dos pequeños montantes metálicos a los cuales llegan los conductores de la red que se desea proteger contra las sobrecargas.

La causa que hace que se funda un cortocircuito debe buscarse, eliminarse y sólo después de esto, y teniendo cuidado, se puede poner un nuevo fusible en el circuito eléctrico.

§. ¡Cuidado Alta tensión!

Sí, mi joven amigo, siempre que tengas que tratar con la red eléctrica, pon mucha atención, ten cuidado y no olvides jamás el peligro que encierra la alta tensión que en ella actúa.

A veces, jugando o por alardear, hay muchachos que tocan con la mano un alambre conductor desnudo o los contactos de un enchufe de toma de corriente como si no existiera peligro. Pero puede ocurrir lo irreparable, porque la red eléctrica no soporta bromas. El "efecto" de "experimentos" semejantes depende totalmente de la resistencia eléctrica del cuerpo humano, de su aislamiento de la tierra y de la humedad del suelo que pisa.

La resistencia eléctrica de distintas personas, de diferentes edades y diversos estados del organismo, es distinta y puede variar entre mil y varias decenas de millares de ohmios. Y si un individuo cuyo cuerpo tenga una resistencia realmente baja toca los conductores de la red

eléctrica, a través de él puede pasar una corriente considerable, la cual puede causarle un trauma eléctrico.

Hagamos un simple cálculo: si la tensión en la red es de 220 V y la resistencia del cuerpo humano de 22 k Ω , la corriente que pasa por este, según la ley de Ohm, será de $220/22000 = 0.01$ A. Esta corriente, aunque peligrosa, no es mortal para el hombre. Pero, ¿y si la resistencia del cuerpo es pequeña, por ejemplo, de 2.2 k Ω ? En este caso la corriente será de $220/2200 = 0,1$ A y el peligro, mortal.

¿Cómo evitar los contratiempos que puede ocasionar la red eléctrica?

En primer lugar, cualesquiera que sean las circunstancias, no toques jamás con las manos trozos desnudos de los conductores de la red del alumbrado ni de los montajes o conexiones de contacto de los aparatos que se alimentan de dicha red, ya sea durante su montaje o su regulación. Y si tienes que aislar un conductor o mejorar los contactos de una toma de corriente, hazlo después de cortar la corriente desconectando el interruptor de entrada a tu apartamento, el cual se encuentra en el cuadro de distribución.

Cuando regules un receptor o un amplificador que se alimente de la red del alumbrado, la sonda del instrumento de medida sostenla con una sola mano, para no tocar con ambas los conductores con corriente. Antes de sustituir un elemento estropeado o de hacer algún cambio en el montaje, desconecta totalmente de la red el receptor, el amplificador o el rectificador que los alimenta.

Aquí interrumpo mi charla. Pero la "excursión" a la electrotecnia aún no ha terminado. Nos esperan otros fenómenos eléctricos y otros dispositivos de los cuales tengas que valerte.

Charla 6

Dispositivos semiconductores

Contenido:

- §. Semiconductores y sus propiedades
- §. Conductibilidad eléctrica de un semiconductor
- §. Diodos y sus aplicaciones
- §. Estabilizador (regulador) de tensión y su aplicación
- §. Transistores
- §. Transistor -amplificador
- §. Esquemas de conexión y parámetros fundamentales de los transistores bipolares
- §. Algo sobre el transistor de efecto-campo

* * * *

Tú, mi joven amigo, eres contemporáneo de la revolución técnica en todas las ramas de la radioelectrónica. Lo esencial en ella consiste en que a sustituir las lámparas o tubos electrónicos vinieron los dispositivos semiconductores- y éstos van siendo desplazados cada vez más por los microcircuitos.

Para poder comprender la esencia de los fenómenos que tienen lugar en los dispositivos semiconductores modernos tendremos que "echar una ojeada" a la estructura del semiconductor, comprender las causas por las cuales se origina en él la corriente eléctrica. Pero antes de esto sería conveniente recordar la parte de la charla primera en que te hablé de la estructura de los átomos.

§. Semiconductores y sus propiedades

Recordarás que, por sus propiedades eléctricas, los semiconductores ocupan una posición intermedia entre los conductores y los no conductores de la corriente. A lo antedicho añadido que al grupo de los semiconductores pertenecen muchas más sustancias que a los grupos de los conductores y no conductores juntos. I ni i o los semiconductores que se utilizan prácticamente en la técnica figuran el germanio, sodio, silicio, óxido cuproso y algunas otras sustancias. Para los dispositivos semiconductores >c emplean principalmente el germanio y el silicio.

¿Cuáles son las propiedades más características de los semiconductores que los diferencian de los conductores y no conductores de la corriente? La conductibilidad de los semiconductores depende mucho de la temperatura del medio que los rodea. A temperatura muy baja, próxima al cero absoluto ($- 273^{\circ}$), se comportan respecto de la corriente eléctrica como aisladores. En cambio, la mayoría de los conductores a esta temperatura se hacen superconductores, es decir, casi no ofrecen resistencia al paso de la corriente. A medida que se eleva la temperatura de los conductores, su resistencia a la corriente eléctrica aumenta, mientras que la resistencia de los semiconductores disminuye. La conductibilidad de los conductores no varía si sobre ellos actúa la luz, la de los semiconductores, por el contrario, cuando se someten a la acción de la luz, aumenta. Este fenómeno recibe el nombre de fotoconductibilidad. Los semiconductores pueden transformar la energía de la luz en corriente eléctrica. Esta propiedad no la tienen en absoluto los conductores. La conductibilidad de los semiconductores aumenta bruscamente si se introducen en ellos átomos de algunos otros elementos. La de los conductores, por el contrario, si en ellos se introducen impurezas, disminuye. Estas y algunas otras propiedades de los semiconductores eran conocidas desde hace relativamente mucho tiempo, pero hasta hace poco no empezaron a utilizarse.

El germanio y el silicio, materias primas de muchos dispositivos semiconductores modernos, tienen en las capas exteriores de sus envolturas cuatro electrones de valencia cada uno. El átomo de germanio tiene en total 32 electrones y el de silicio, 14. Pero 28 electrones del átomo de germanio y 10 del de silicio se encuentran en las capas interiores de sus envolturas, fuertemente sujetos por los núcleos, y no se desprenden de ellos de ningún modo. Sólo los cuatro electrones de valencia de los átomos de estos semiconductores pueden, aunque no siempre, convertirse en libres. Recuérdalo: ¡cuatro! Pero si un átomo del semiconductor pierde, aunque sólo sea un electrón, se transforma en un ion positivo.

En el semiconductor los átomos se encuentran en perfecto orden: cada átomo está rodeado de cuatro átomos iguales a él.

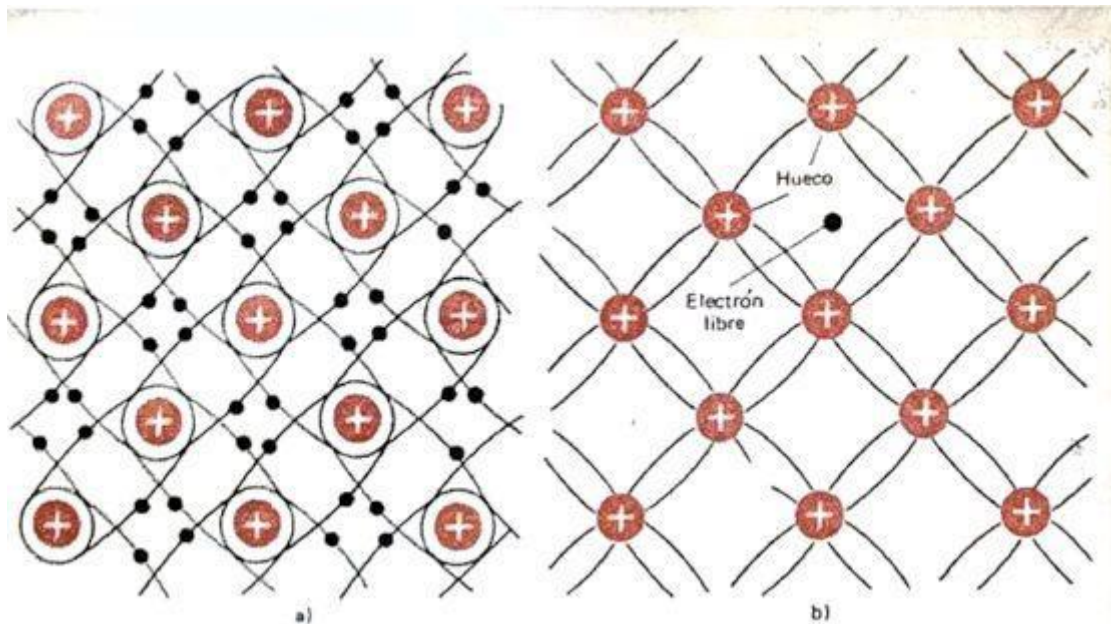


Figura 67 Esquema que muestra la relación mutua de los átomos en un cristal semiconductor (a) y esquema simplificado de su estructura (b)

Además, se encuentran tan próximos entre sí que sus electrones de valencia forman órbitas comunes que pasan alrededor de todos los átomos vecinos y los enlazan en una sustancia única. Esta relación mutua de los átomos en el cristal del semiconductor podemos figurárnosla en forma de esquema plano, como se muestra en la Figura 67a. En él los círculos grandes con signo "+" representan convencionalmente los núcleos de los átomos con las capas electrónicas interiores de la envoltura (es decir, los iones positivos), y los círculos pequeños, los electrones de valencia. Cada átomo, como puedes ver, está rodeado por cuatro átomos iguales a él. Todo átomo está ligado con cada uno de sus vecinos por dos electrones de valencia, uno de los cuales es "suyo" y el otro tomado al "vecino",

este es el enlace por dos electrones o *de valencia*: iel más fuerte de los enlaces!

A su vez, la capa exterior de la envoltura electrónica de cada átomo tiene ocho electrones; cuatro propios y uno de cada uno de los cuatro átomos vecinos. Aquí ya es imposible distinguir cual de los electrones de valencia es "propio" y cuál "extraño", ya que se han convertido en electrones comunes. Con este enlace de los átomos, en toda la masa del cristal de germanio o de silicio se puede considerar dicho cristal semiconductor como una gran molécula.

El esquema de la relación mutua entre los átomos en el semiconductor se puede simplificar para mayor claridad, representándolo como se hace en la Figura 67b. Aquí los núcleos de los átomos con las capas electrónicas internas se muestran en forma de círculos con el signo más, y los enlaces interatómicos, por dos líneas que simbolizan los electrones de valencia.

§. Conductibilidad eléctrica de un semiconductor

A temperatura próxima al cero absoluto el semiconductor se comporta como perfecto no conductor de la corriente, porque en él no hay electrones libres. Pero al elevarse la temperatura, el enlace de los electrones de valencia con los núcleos de los átomos se debilita y algunos de ellos, en virtud del movimiento térmico, pueden abandonar sus átomos. El electrón escapado del enlace interatómico se convierte en libre (en la Figura 67b, el punto negro), y allí, donde él estuvo hasta entonces, se origina un sitio libre. Este sitio libre en el enlace interatómico del semiconductor se llama convencionalmente *hueco* (en la Figura 67b), la línea electrónica rota).

Cuanto más alta es la temperatura del semiconductor, tanto mayor es el número de electrones libres y de huecos que surgen en él. De este modo, la formación de un hueco en la masa del semiconductor se debe a la salida de un electrón de valencia de la envoltura del átomo y corresponde a la aparición de una carga eléctrica positiva igual a la carga negativa del electrón.

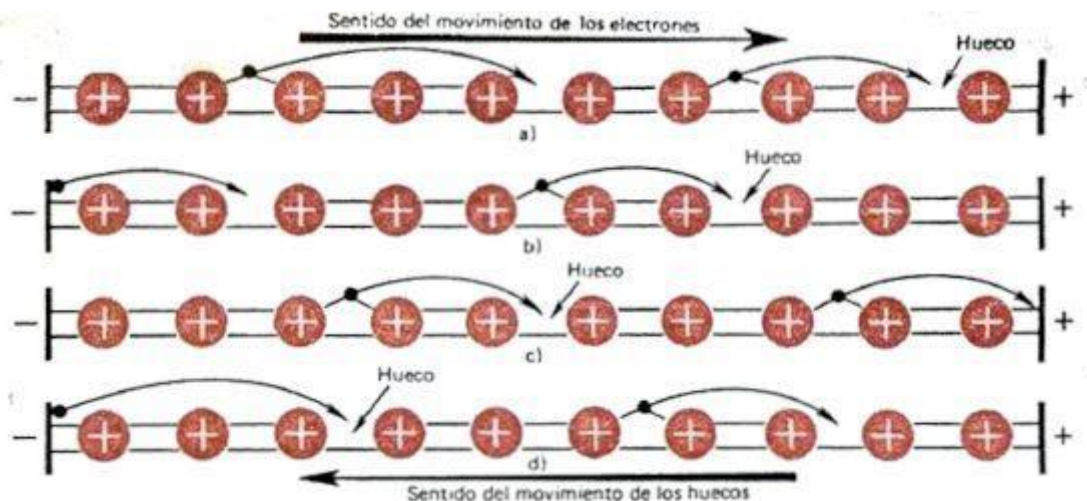


Figura 68. Esquema del movimiento de los electrones y de los huecos en un semiconductor

Ahora fijémonos en la Figura 68. En ella se representa esquemáticamente el fenómeno de la aparición de la corriente en el semiconductor. La causa de que se produzca la corriente es la tensión aplicada al semiconductor (en la Figura 68, la fuente de tensión se simboliza por medio de los signos " + " y " - "). Como consecuencia de los fenómenos térmicos, en toda la masa del semiconductor se libera de los enlaces interatómicos cierta cantidad de electrones (en la Figura 68 se representan por medio de puntos con flechas). Estos electrones, liberados cerca del polo positivo de la fuente de tensión, son atraídos por dicho polo y salen de la masa del semiconductor, dejando tras sí huecos. Los electrones desprendidos de los enlaces interatómicos a cierta distancia del polo positivo también son atraídos por él y se mueven en ese sentido. Pero al encontrar en su camino huecos, los electrones "saltan" a ellos (Figura 68. «) y llenan algunos enlaces interatómicos. Y los huecos más próximos al polo negativo se llenan con otros electrones escapados de átomos aún más próximos a dicho polo (Figura 68,6). Mientras sobre el semiconductor actúa el campo eléctrico, este proceso continúa: se rompen unos enlaces interatómicos (de ellos se escapan los electrones de valencia, surgen huecos) y se restablecen otros enlaces (a los huecos "saltan" electrones que se liberan de otros enlaces interatómicos) (Figura 68b-d).

. Observando estos esquemas te habrás dado cuenta de que los electrones se mueven del polo negativo de la fuente al positivo, y los huecos se trasladan del polo positivo al negativo. Este fenómeno podría compararse con lo que ocurriría en una formación militar si varios soldados saliesen de ella dejando vacíos sus puestos, es decir, "huecos". Cuando el jefe diera la orden de cerrar la formación, los soldados se desplazarían sucesivamente hacia la derecha e irían ocupando los sitios vacíos. ¿Qué habrá ocurrido en definitiva? Que los soldados, uno tras otro, se habrán ido corriendo hacia el flanco

derecho y los sitios vacíos se habrán ido desplazando hacia la izquierda.

A temperatura superior al cero absoluto, en el semiconductor surgen y desaparecen continuamente electrones libres y huecos incluso en ausencia de campos eléctricos externos. Pero los electrones y los huecos se mueven caóticamente en distintas direcciones y no salen de los límites del semiconductor. En un semiconductor puro (intrínseco) el número de electrones que se liberan en cada instante es igual al número de huecos que se forman en el mismo tiempo. Su número total a la temperatura ambiente es relativamente pequeño. Por eso la conductibilidad eléctrica de este semiconductor, denominada *intrínseca*, es pequeña. En otras palabras, este semiconductor ofrece a la corriente eléctrica una resistencia bastante grande. Pero si a un semiconductor intrínseco se le añade aunque sólo sea una cantidad insignificante de impureza en forma de átomos de otros elementos, su conductibilidad se eleva bruscamente. En este caso, en dependencia de las estructuras de los átomos de los elementos de impureza, la conductibilidad del semiconductor será *por electrones* o *por huecos*.

¿En qué se diferencian estas dos formas de conductibilidad?

Si un átomo cualquiera del cristal semiconductor se sustituye por un átomo de antimonio que tiene en la capa exterior de su envoltura electrónica cinco electrones de valencia, este átomo "advenedizo" enlaza por medio de cuatro electrones con los cuatro átomos vecinos del semiconductor. Pero el quinto electrón de valencia del átomo de antimonio "sobra" y queda libre. Cuanto más átomos de antimonio se introduzcan en el semiconductor, tanto más electrones libres habrá en su masa. Por consiguiente, el semiconductor con impureza de antimonio se aproxima por sus propiedades a un metal: para que a través de él pase corriente eléctrica no es necesario que se destruyan sus enlaces interatómicos. Los semiconductores que poseen estas propiedades reciben el nombre de semiconductores con conductibilidad tipo *n* o simplemente, semiconductores tipo *n*, aquí la letra *n* es la inicial de la palabra "negativo". En este caso debe entenderse por el término "negativo" que en el semiconductor tipo *n* los portadores de corriente mayoritarios son las cargas negativas., es decir, los electrones.

Algo totalmente distinto ocurre si en el semiconductor se introducen átomos con tres electrones de valencia, por ejemplo, de indio. Cada átomo del metal indio, con sus tres electrones, enlaza solamente con tres de los átomos vecinos del semiconductor. Para enlazar con el cuarto átomo le falta un electrón. Es decir, se origina un hueco. Éste, como es natural, puede ser llenado por un electrón cualquiera desprendido de un enlace de valencia entre otros átomos del

semiconductor. Sin embargo, independientemente de donde se encuentren los huecos, en la masa del semiconductor con impureza de indio no bastarán electrones para llenarlos. Y cuanto más átomos de impureza de indio se introduzcan en el semiconductor, tanto más huecos se formarán en él.

Para que en este semiconductor puedan desplazarse los electrones es absolutamente necesario que se rompan enlaces de valencia entre los átomos. Los electrones escapados de estos enlaces, o los que entran de fuera en el semiconductor, se mueven de hueco en hueco.

Pero en toda la masa del semiconductor, en cada instante, el número de huecos será mayor que el número total de electrones libres. Los semiconductores que tienen esta propiedad se llaman semiconductores con conductibilidad por huecos o semiconductores tipo p . La letra p es la inicial de la palabra "positivo". En este caso dicho término debe entenderse en el sentido de que el fenómeno de la corriente eléctrica en la masa del semiconductor de tipo p va acompañado del continuo surgimiento y desaparición de cargas positivas (huecos). Desplazándose por la masa del semiconductor, los huecos actúan como si fueran portadores de carga corriente.

La conductibilidad de los semiconductores tipo p , lo mismo que la de los de tipo n , es muchas veces mayor que la de los semiconductores puros o intrínsecos.

Hay que decir que, prácticamente, no existen semiconductores absolutamente intrínsecos ni semiconductores cuya conductibilidad sea totalmente de los tipo n o p . En un semiconductor con impureza de indio siempre hay una pequeña cantidad de átomos de otros elementos que le confieren conductibilidad por electrones, y en los semiconductores con impureza de antimonio hay átomos de elementos que crean en él la conductibilidad por huecos. Por ejemplo, en un semiconductor cuya conductibilidad sea en conjunto del tipo n , habrá huecos que puedan ser ocupados por los electrones libres de los átomos de impureza de antimonio. A causa de esto la conductibilidad del semiconductor empeora algo, pero en total sigue siendo por electrones.

Un fenómeno análogo se observará si en un semiconductor cuya conductibilidad es por huecos penetran electrones libres. Por eso se consideran semiconductores del tipo n aquéllos en los cuales los portadores mayoritarios de la corriente son los electrones, y semiconductores del tipo p , aquéllos en los cuales los portadores mayoritarios de la corriente son los huecos (predomina la electroconductibilidad por huecos).

Ahora, cuando ya tienes una idea de los fenómenos que ocurren en los semiconductores, te será fácil comprender el principio básico del funcionamiento de los dispositivos semiconductores.

Empezaremos por los diodos semiconductores.

§. Diodos y sus aplicaciones

De la "familia" de los diodos forman parte hoy varias decenas de dispositivos semiconductores que llevan el nombre de "diodos". Aquí nos referiremos solamente a algunos dispositivos con los cuales tropezarás en primer lugar.

Esquemáticamente un diodo se puede representar como dos plaquitas semiconductoras, una de las cuales tiene conductibilidad tipo p y la otra, tipo n .

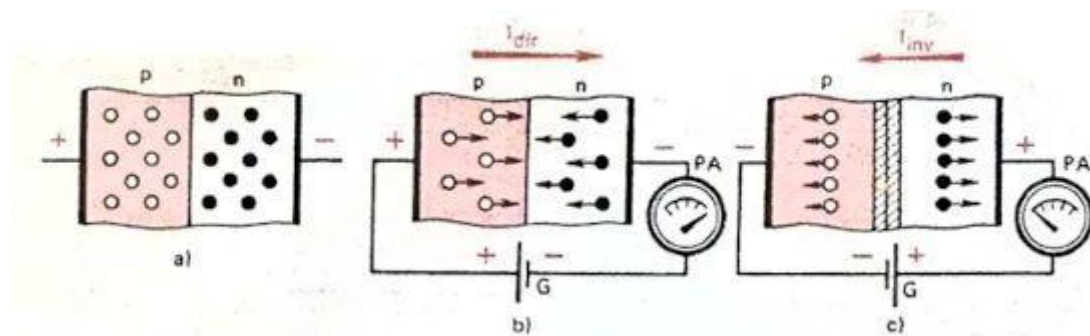


Figura 69. Estructura esquemática y funcionamiento de un diodo semiconductor

En la Figura 69, a los huecos, mayoritarios en la plaquita tipo p , se representan convencionalmente por círculos blancos, y los electrones, mayoritarios en la plaquita tipo n , por círculos negros del mismo tamaño. Estas dos regiones son los dos electrodos del diodo: el ánodo y el cátodo. El ánodo, o sea, el electrodo positivo, es la región tipo p , y el cátodo, es decir, el electrodo negativo, la región tipo n . Sobre las superficies exteriores de las plaquitas hay depositadas capas metálicas de contacto, a las cuales van soldados los terminales de alambre de los electrodos del diodo.

Este dispositivo semiconductor puede hallarse en uno de los dos estados siguientes: abierto, cuando conduce bien la corriente, y cerrado, cuando la conduce mal. Si a sus electrodos se conecta una fuente de corriente continua, por ejemplo, una pila voltaica, de manera que su polo positivo se una al ánodo del diodo, con la región tipo p , y el negativo, con el cátodo, o sea, con la región tipo n (Figura 69b), el diodo se encontrará en estado abierto y por el circuito formado pasará corriente, cuya intensidad dependerá de la tensión aplicada y de las propiedades del diodo. Con esta polaridad de conexión de la pila, los electrones de la región tipo n se desplazarán

del menos al más, es decir, hacia la región tipo p y los huecos de la región tipo p se moverán al encuentro de los electrones, desde el más al menos. Al encontrarse en el límite de las regiones, llamado *unión electrón-hueco* o, simplemente, *unión $p-n$* , los electrones se comportan como si "saltasen" a los huecos, y como resultado, unos y otros al encontrarse dejan de existir. El contacto metálico unido al polo negativo de la pila puede ceder a la región tipo n una cantidad de electrones prácticamente ilimitada, reponiendo así la disminución de electrones en esta región, y el contacto unido al polo positivo de la pila puede aceptar de la región tipo p la misma cantidad de electrones, lo que equivale a la introducción en ella de la cantidad de huecos correspondiente. En este caso la resistencia de la unión $p-n$ es pequeña, por lo cual a través del diodo pasa la corriente denominada *corriente directa*. Cuanto mayor sea la superficie de la unión $p-n$ y la tensión de la fuente de energía, tanto mayor será la corriente directa.

Si los polos de la pila se cambian entre si, como muestra la Figura 69c, el diodo se encontrará en estado cerrado. En este caso el comportamiento de las cargas eléctricas en el diodo es otro. Ahora los electrones de la región tipo n alejándose de la unión $p-n$, se desplazarán hacia el contacto positivo del diodo, y los huecos de la región tipo p , hacia el contacto negativo. Como resultado, el límite entre las regiones con distinto tipo de conductibilidad parece que se ensancha y se forma una zona pobre en electrones y huecos (en la Figura 69c, la zona rayada) y que, por consiguiente, ofrece gran resistencia a la corriente. No obstante, en esta zona tendrá lugar un pequeño intercambio de portadores de corriente entre las regiones del diodo. Por eso, a través del diodo pasará corriente, pero su intensidad será muchas veces menor que la directa. Esta corriente recibe el nombre de *corriente inversa* del diodo.

En las gráficas que caracterizan el funcionamiento del diodo la corriente directa se designa por I_{dir} y la inversa, por I_{inv} .

¿Y si el diodo se conecta a un circuito con corriente alterna? En este caso se abrirá durante los semiperiodos positivos en el ánodo, dejando pasar libremente la corriente en un sentido (corriente directa I_{dir}) y se cerrará durante los semiperiodos negativos en el ánodo, y casi no dejará pasar la corriente en sentido opuesto (corriente inversa I_{inv}). Estas propiedades de los diodos se aprovechan en los rectificadores para convertir la corriente alterna en continua.

La tensión con la cual el diodo se abre y a través de él pasa la corriente directa se llama tensión directa (U_{dir}) o que pasa, y la tensión de polaridad inversa, con la cual el diodo se cierra y a través de él no pasa corriente, recibe el nombre de tensión inversa (U_{inv} o que no pasa. Con la tensión directa la resistencia de un diodo de

buena calidad no supera varias decenas de ohmios, y con la inversa, su resistencia llega a decenas y centenares de kiloohmios e incluso megaohmios. De esto es fácil convencerse midiendo la resistencia inversa del diodo con un ohmímetro.

La resistencia interna del diodo abierto es una magnitud no constante, y depende de la tensión directa que se le aplica: cuanto mayor sea esta tensión, tanto mayor será la corriente directa que pasa por el diodo y menor la resistencia al paso de esta.

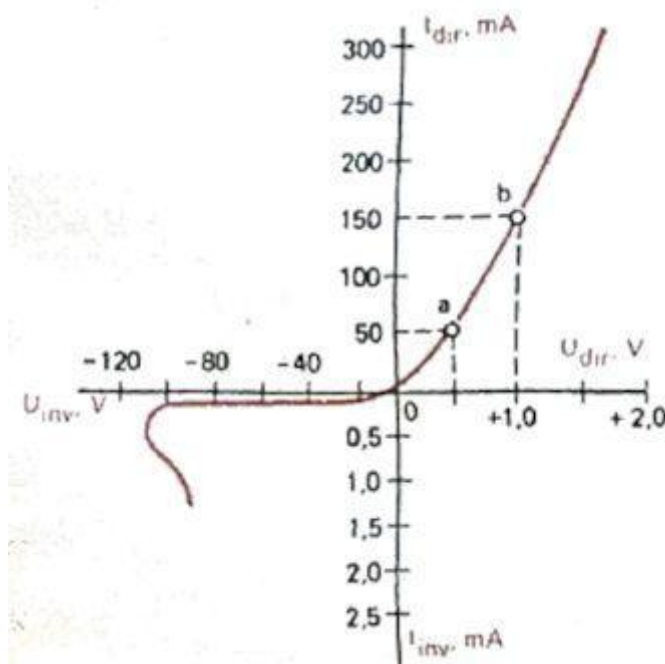


Figura 70. Característica tensión-corriente de un diodo semiconductor

Sobre la resistencia del diodo puede juzgarse por la caída de tensión en él y por la corriente que deja pasar. Así, por ejemplo, si por el diodo pasa una corriente directa $I_{dir} = 100 \text{ mA}$ ($0,1 \text{ A}$) y la caída de tensión en él es de 1 V , por la ley de Ohm, la resistencia directa del diodo será:

$$R = U/I = 1/0,1 = 10 \Omega.$$

En estado cerrado la caída de la tensión aplicada al diodo es casi total, la corriente inversa que pasa a través de él es extraordinariamente pequeña y la resistencia, por consiguiente, grande.

La dependencia de la corriente que pasa a través del diodo respecto de la intensidad y de la polaridad de la tensión a él aplicada se representa en forma de una curva, llamada *característica tensión-corriente del diodo*. Esta característica puedes verla en la Figura 70. En ella se toman sobre el eje vertical, hacia arriba, los

valores de la corriente directa I_{dir} , y hacia abajo, los de la corriente inversa I_{inv} . Sobre el eje horizontal, hacia la derecha, se señalan los valores de la tensión directa U_{dir} , y hacia la izquierda, los de la tensión inversa U_{inv} .

En la característica tensión-corriente se distinguen: la rama directa (en la parte superior derecha), correspondiente a la corriente directa que pasa por el diodo, y la rama inversa, que corresponde a la corriente inversa. Como puedes ver, la corriente I_{dir} en el diodo es centenares de veces mayor que la corriente I_{inv} . Así, por ejemplo, cuando la tensión directa es $U_{dir} = 0.5 \text{ V}$, la corriente $I_{dir} = 50 \text{ mA}$ (punto *a* en la característica), y cuando $U_{dir} = 1 \text{ V}$, la corriente I_{dir} crece hasta 150 mA (punto *b* en la característica), mientras que si la tensión inversa $U_{inv} = 100 \text{ V}$, la corriente inversa I_{inv} no pasa de $0,5 \text{ mA}$ ($500 \mu\text{A}$). Calcula cuántas veces mayor será la corriente directa que la inversa si las tensiones directa e inversa son iguales.

La rama directa es muy pendiente y parece tender a acercarse al eje vertical. Esta rama caracteriza el rápido crecimiento de la corriente directa que pasa por el diodo al aumentar la tensión directa. La rama inversa, en cambio, va casi paralela al eje horizontal y caracteriza el lento crecimiento de la corriente inversa. Una corriente inversa apreciable indica que el diodo tiene defectos.

Aproximadamente iguales a ésta son las características tensión-corriente de todos los diodos de germanio.

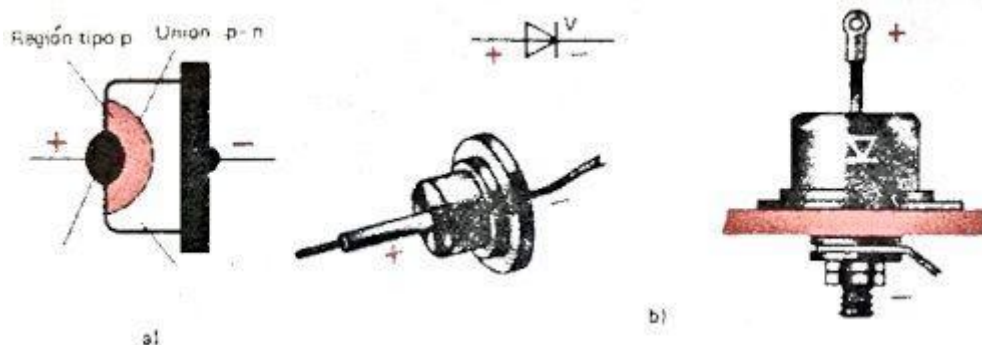


Figura 71. Estructura esquemática (a) y aspecto exterior de algunos diodos planares (b)

Las de los diodos de silicio están algo más desplazadas hacia la derecha. Esto se debe a que el diodo de germanio se abre y empieza a conducir la corriente cuando la tensión directa es de $0,1$ a $0,2 \text{ V}$, mientras que el de silicio sólo lo hace cuando es de $0,5$ a $0,6 \text{ V}$.

El dispositivo que tomé como ejemplo para explicarte las propiedades del diodo constaba de dos plaquitas de semiconductores de distinta conductibilidad unidas entre sí por planos. Estos semiconductores se

llaman *plagues*. En realidad el diodo planar es una placa de semiconductor dentro de la cual se crean dos regiones de diferente conductibilidad eléctrica. La tecnología de fabricación de estos diodos consiste en lo siguiente. Sobre la superficie de una plaquita cuadrada de 2 a 4 mm² de superficie y de unas fracciones de milímetro de espesor, cortada de un cristal semiconductor con conductibilidad por electrones, se funde un trocito pequeño de indio. El indio se alea fuertemente con la plaquita. Con esto los átomos de indio penetran (se difunden) en el espesor de la plaquita y forman en ella una región en la que predomina la conductibilidad por huecos (Figura 71a). Se obtiene un dispositivo semiconductor con dos regiones, cuyas conductibilidades son de distinto tipo, y entre ellas una unión *p-n*. De contactos de los electrodos del diodo sirven una gotita de indio y un disco (varilla) metálico con los conductores terminales.

Así están hechos los diodos planares de germanio y de silicio más difundidos. El aspecto exterior de algunos de ellos se muestra en la Figura 71b. Estos dispositivos se encierran en cápsulas metálicas herméticas con aislamiento de vidrio que permiten utilizarlos donde tengan que funcionar en condiciones de humedad elevada. Los diodos calculados para corrientes directas considerables tienen tornillos y tuercas para sujetarlos a los paneles de montaje o a los chasis de los dispositivos radiotécnicos.

Los diodos planares se emplean principalmente en los rectificadores de corriente alterna de los bloques de alimentación de los aparatos de radio, por eso también se conocen con el nombre de *diodos rectificadores*.

A la construcción de los bloques de alimentación de los dispositivos radiotécnicos dedicaremos una charla especial, la décima. Ahora sólo te daré a conocer el principio básico de la transformación de la corriente alterna en continua.

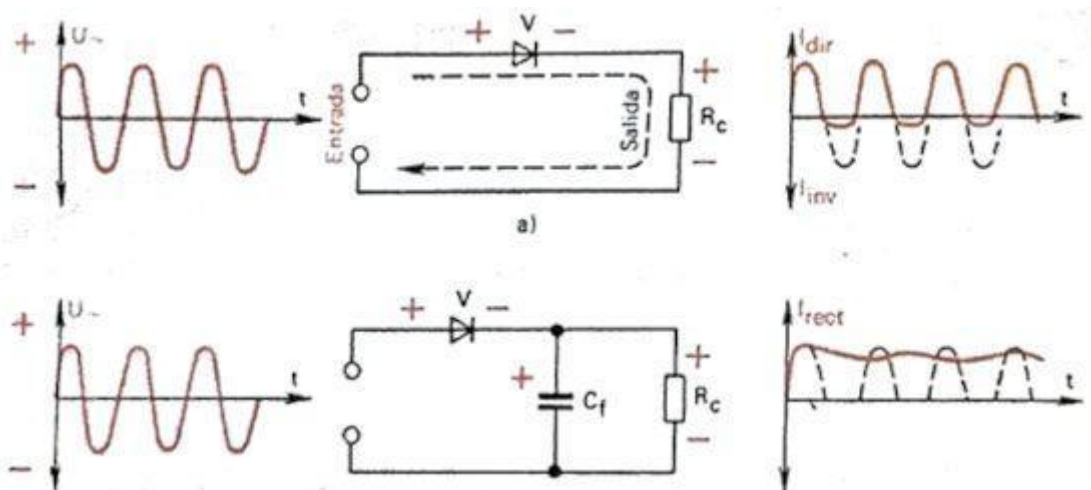


Figura 72 Esquemas de rectificador de media onda

El esquema del rectificador de corriente alterna más simple se ve en la Figura 72,a. A la entrada del rectificador se suministra tensión alterna de la red de alumbrado. A la salida del mismo va conectado un resistor R_c , que simboliza la carga que se alimenta del rectificador. La función de elemento rectificado la desempeña el diodo V . La esencia del funcionamiento de este rectificador la ilustran las gráficas que se dan en la misma figura. Durante los semiperiodos positivos de la tensión en el ánodo, el diodo se abre. En estos instantes a través del diodo V , por consiguiente, a través de la carga conectada al rectificador, pasa la corriente directa I del diodo. Durante los semiperiodos negativos de la tensión en el ánodo, el diodo se cierra y por todo el circuito a que está conectado pasa la insignificante corriente inversa I_{inv} del diodo.

Éste se comporta como si cortara una gran parte de las semiondas negativas de la corriente alterna (en la Figura 72a se muestra con líneas de trazos). Y he aquí el resultado: a través de la carga R_L , conectada al circuito detrás del diodo V , no pasa ya corriente alterna, sino corriente pulsatoria, es decir, corriente de un solo sentido, pero de intensidad de valor variable de 50 Hertz. En esto consiste la rectificación de la corriente alterna. Así pues, el diodo es un dispositivo que posee conductibilidad unilateral, claramente manifiesta, de la corriente eléctrica. Y si se desprecia la pequeña corriente inversa (como suele hacerse en la práctica), que en los diodos en buen estado no supera unas pequeñas fracciones de miliamperio, se puede considerar que el diodo es un conductor unilateral de la corriente.

¿Se puede alimentar una carga con esta corriente? Sí, puesto que está rectificad, pero la carga no puede ser cualquiera. Una lámpara de incandescencia si puede ser, siempre que la tensión de salida no sea mayor que aquella calculada dicha lámpara. Su filamento se caldea no de un modo constante. Sino a impulsos que se suceden con la frecuencia de 50 Hz. En virtud de la inercia térmica el filamento no tiene de enfriarse durante los intervalos entre los impulsos y por eso no se nota titilación alguna de la luz.

Pero esta corriente no sirve para alimentar un receptor, porque en los circuitos de sus amplificadores la corriente también pulsará con la misma frecuencia. Como resultado en los auriculares o en el altavoz de salida del receptor se oirá ruido de tono bajo de 50 Hz de frecuencia, llamado fondo de corriente alterna. Éste defecto se puede eliminar parcialmente si a la salida del rectificador, en paralelo con la carga, se conecta un condensador electrolítico de filtrado de gran capacidad, como muestra la Figura 72.b.

El condensador C_f se carga a expensas de los impulsos de corriente y en el instante en que decae o se anula la intensidad (entre los

impulsos), se descarga a través de la carga R_c . Si el condensador tiene una capacidad suficientemente grande, en el tiempo que media entre los impulsos no tendrá tiempo de descargarse por completo y en la carga se mantendrá continuamente la corriente. La corriente mantenida a expensas de la carga del condensador se muestra en la Figura 72b por medio de la línea ondulada continua. Pero con esta corriente un poco alisada tampoco se puede alimentar un receptor o un amplificador ya que de lo contrario "dará fondo", puesto que las pulsaciones de la corriente serán todavía muy perceptibles.

En el rectificador cuyo funcionamiento acabo de darte a conocer, sólo se emplea eficazmente la energía de la mitad de las ondas de la corriente alterna. Esta rectificación recibe el nombre de *semirrectificación* o de *media onda* y los rectificadores de este tipo se llaman *rectificadores de media onda* o de *una alternancia*. Pero los rectificadores contruidos por estos esquemas tienen dos defectos importantes. El primero de ellos consiste en que la tensión de la corriente rectificada es aproximadamente igual a la de la red, mientras que para alimentar los aparatos de transistores se necesita una tensión más baja y para los de lámparas, frecuentemente, una tensión más alta. El segundo defecto es que no se tolera la puesta a tierra del receptor alimentado por dicho rectificador. Si el receptor se pone a tierra, la corriente de la red pasa a tierra a través de él y los cortacircuitos pueden fundirse.

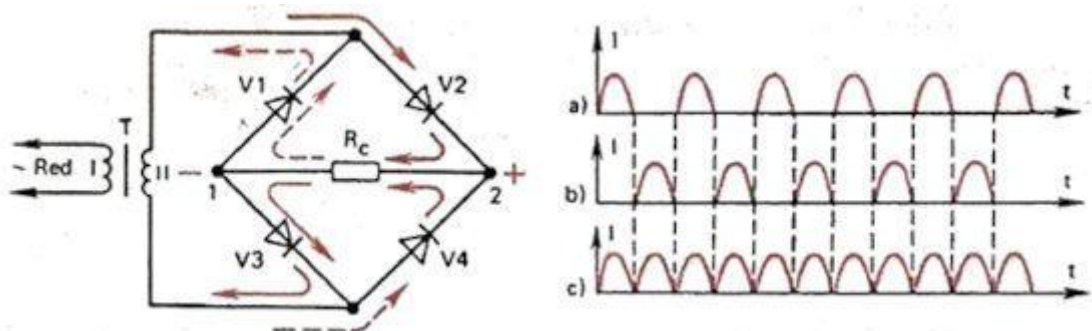


Figura 73. Rectificador de onda completa con transformador de red

Además, el receptor o amplificador alimentados por este rectificador y, por lo tanto, que tienen contacto directo con la red eléctrica, es peligroso, ya que al tocarlo puede ocasionar una sacudida eléctrica.

Estos dos defectos se eliminan en el rectificador con transformador (Figura 73). En este caso no se rectifica la corriente de la red, sino la del arrollamiento secundario (II) del transformador de red T. Como este arrollamiento está aislado del primario, de red, I, el receptor no tiene contacto con la red y puede ponerse a tierra.

El rectificador de la Figura 73 tiene cuatro diodos conectados según el llamado circuito en puente. Los diodos son los brazos del puente de

rectificadores. La carga R_c va conectada a la diagonal 1-2 del puente. En este rectificador, durante cada semiperiodo, funcionan por turno los dos diodos de los brazos opuestos del puente, conectados entre sí en serie, pero en sentido contrario respecto del otro par de diodos. ¡Observa atentamente! Cuando el semiperiodo positivo de la tensión está en el terminal superior (según el esquema) del arrollamiento secundario, la corriente pasa por el diodo V2, la carga R_c y el diodo V3 al terminal inferior del arrollamiento II (gráfica a). Los diodos V1 y V4 están cerrados todo este tiempo. Durante el otro semiperíodo de la tensión alterna, cuando el más se encuentra en el terminal inferior del arrollamiento II, la corriente pasa a través del diodo V4, la carga R_c y el diodo V1 al terminal superior del arrollamiento (gráfica b). Durante este tiempo los diodos V2 y V3 están cerrados y, como es natural, no dejan que la corriente pase por ellos. Y he aquí el resultado: en los terminales del arrollamiento secundario del transformador cambia de signo la tensión, pero a través de la carga del rectificador pasa corriente unilateral (gráfica c). En este rectificador se aprovechan eficazmente los dos semiperíodos de la corriente alterna, por lo que los rectificadores de este tipo se denominan *rectificadores de onda completa*.

La mayor eficacia del funcionamiento del rectificador de onda completa frente al de media onda es evidente: la frecuencia de las pulsaciones de la corriente rectificada es doble y las "caídas" entre los impulsos son menores. El valor medio de la tensión de la corriente continua a la salida de este rectificador es igual aproximadamente al de la tensión alterna que actúa en todo el arrollamiento secundario del transformador. Y si el rectificador se completa con un filtro que alise las pulsaciones de la corriente rectificada, la tensión de salida será 1,4 veces mayor, es decir, un 40%. Precisamente un rectificador así te recomendaré más tarde para alimentar los aparatos de transistores.

Ahora vamos a estudiar el *diodo de contacto puntual*.

El aspecto exterior de uno de estos dispositivos y su estructura (muy aumentada) se muestran en la Figura 74. Un diodo como éste o semejante a él ya lo conoces, porque te recomendé que lo empleases en tu primer receptor en calidad de detector.

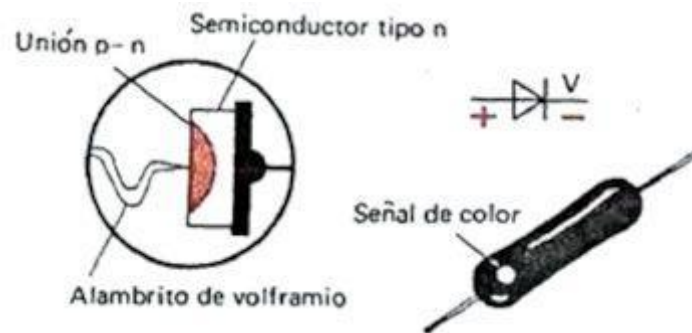


Figura 74. Estructura esquemática y aspecto exterior de un diodo de contacto puntual de la serie D9

De elemento rectificador de este diodo sirve una plaquita delgada muy pequeña (de cerca de 1 mm^2 de superficie) de semiconductor de germanio o de silicio, tipo *n*, y un alambre de wolframio que apoya su extremo agudo en dicha plaquita. Tanto a esta como al alambre van soldarlos sendos trozos de alambre plateado de, aproximadamente, 50 mm de longitud que hacen las veces de terminales del diodo. Todo esto se encuentra dentro de un tubito de vidrio de unos 3 mm de diámetro y menos de 10 mm de longitud, soldado por sus extremos. Después de montado, el diodo se forma, es decir, se hace pasar por el contacto entre la plaquita de semiconductor y la punta del alambre de wolframio una corriente de intensidad determinada. En este caso, debajo de la punta del alambre se forma en el cristal de semiconductor una pequeña región con conductibilidad por huecos. Se obtiene una unión electrón-hueco que posee conductibilidad unilateral de la corriente, La plaquita de semiconductor es el cátodo y el alambre de wolframio, el ánodo del diodo de contacto puntual. En este diodo el área de contacto de la punta del alambre con la superficie de la plaquita de semiconductor es extraordinariamente pequeña, no mayor de $50 \mu\text{m}^2$, Por eso las corrientes que pueden rectificar los diodos de contacto puntual durante mucho tiempo son pequeñas. Los radioaficionados utilizan estos diodos principalmente para la detección de las oscilaciones moduladas de alta frecuencia, por eso suelen llamarse también *diodos de alta frecuencia*.

El principio en que se basa el funcionamiento del diodo de contacto puntual ya lo conoces por la charla cuarta.

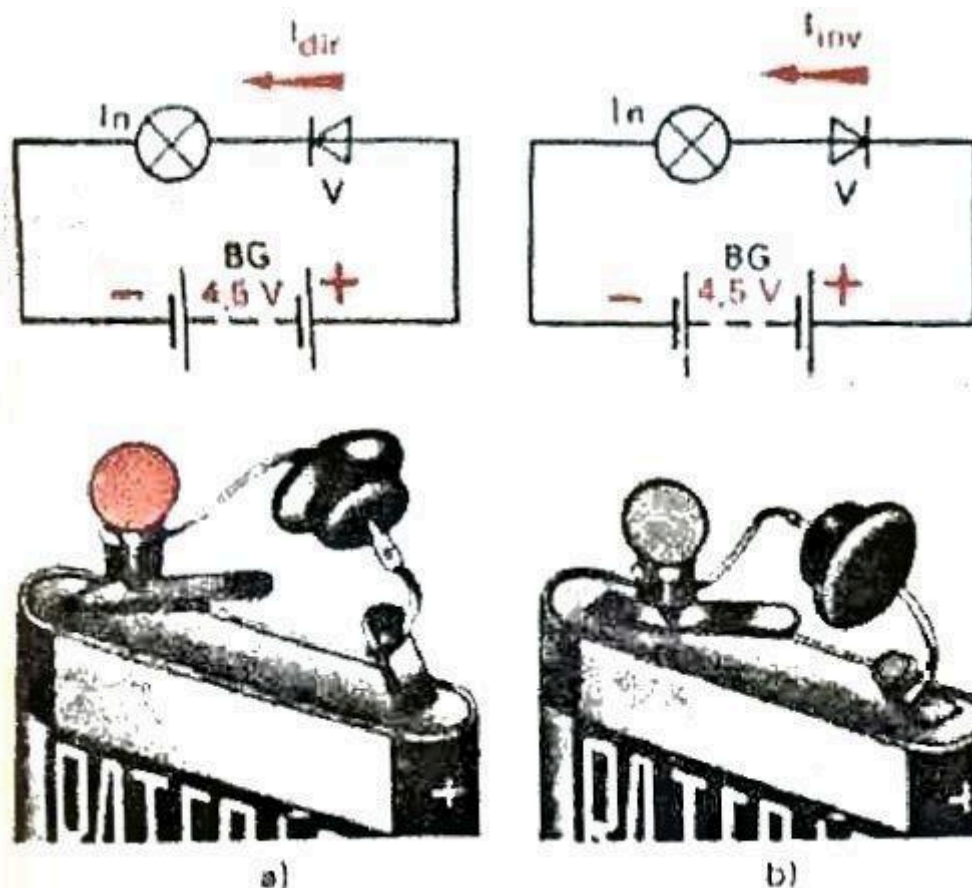


Figura 75. Experimentos con un diodo planar

Tanto para los diodos planares como para los de contacto puntual existen valores máximos tolerables de las corrientes directa e inversa, las cuales dependen de las tensiones directa e inversa y de las propiedades rectificadoras y rigidez eléctrica determinantes. Éstos son sus parámetros fundamentales. El diodo planar D226B, por ejemplo, puede rectificar durante largo tiempo una corriente de hasta 300 mA. Pero si se conecta en un circuito que consuma corriente de más de 300 mA se calentará, lo que inevitablemente conducirá a la perforación por calor de la unión $p-n$ y a la inutilización del diodo. Éste también se perforará si se conecta en un circuito al que se suministre una tensión inversa de más de 400 V. La corriente a rectificar tolerable para el diodo de contacto puntual Д9А es de 65 mA, y la tensión inversa tolerable, de 10 V. Los parámetros fundamentales de los diodos semiconductores se indican en sus certificados técnicos y en las tablas de consulta. La superación de los valores límites ocasiona la inutilización de los dispositivos.

Ahora, para fijar mejor en tu memoria la idea de las propiedades de los diodos, te propongo hacer el experimento siguiente. En un circuito eléctrico formado por una batería 3336А y una lamparita de incandescencia, calculada para una tensión de 3,5 V y una corriente de caldeo de 0,28 A, intercala un diodo planar cualquiera de modo

que el ánodo del dipolo esté unido directamente, o a través de la lamparita, con el terminal positivo de la batería, y el cátodo, con el terminal negativo (Figura 75a). La lamparita deberá encenderse y alumbrar casi lo mismo que si el diodo no estuviera en el circuito. Cambia el orden de conexión de los electrodos del diodo por el inverso (Figura 75,b). En este caso la lamparita no debe encenderse. Si se enciende es señal de que el diodo tiene perforada la unión $p-n$. Como este diodo ya no sirve para funcionar como rectificador, rómpelo y mira cómo está hecho. No obstante, espero que el diodo esté en buen estado y que el experimento resulte bien.

¿Por qué al conectar por primera vez el diodo en la red se encendía la lamparita y por segunda vez no? Porque en el primer caso el diodo estaba abierto, ya que se le suministraba una tensión directa U_{dir} , la resistencia del diodo era pequeña y a través de él pasaba la corriente directa I_{dir} , cuyo valor estaba determinado por la carga del circuito, es decir, por la lamparita. En el segundo caso el diodo estaba cerrado; puesto que se le aplicaba una tensión inversa U_{inv} igual a la tensión de la batería. La resistencia del diodo era muy grande y por el circuito sólo pasaba una corriente inversa I_{inv} insignificante que no podía caldear el filamento de la lamparita.

En este experimento la lamparita desempeñaba una doble función. En primer lugar servía de indicador de la existencia de corriente en el circuito y, en segundo, limitaba la corriente en dicho circuito hasta 0,28 A y de esta forma protegía el diodo contra sobrecargas.

§. Estabilizador (regulador) de tensión y su aplicación

El estabilizador o regulador de tensión es también un diodo, pero cuya función no es la de rectificar la corriente alterna (cosa que también podría hacer), sino la de estabilizar o regularla tensión, es decir, mantenerla constante en los circuitos de alimentación de los aparatos radioeléctricos. El aspecto exterior de uno de los estabilizadores de tensión más difundidos entre los radioaficionados y su representación simbólica se muestra en la Figura 76.

Por su estructura y el principio en que se basa su funcionamiento, los estabilizadores de silicio de amplia utilización son análogos a los diodos rectificadores planares. Pero el estabilizador no se emplea para trabajar en la rama directa de la característica tensión-corriente, como los diodos rectificadores o de alta frecuencia, sino en la parte de la rama inversa de la misma, donde una tensión inversa insignificante hace que aumente mucho la corriente inversa a través del dispositivo. A comprender lo esencial de la acción del estabilizador de tensión te ayudará su característica tensión- corriente, que se muestra en la Figura 77a. En ella (lo mismo que en la Figura 70) sobre el eje horizontal se ha tomado, en cierta escala, la tensión inversa U_{inv} , y sobre el eje vertical, hacia abajo, la corriente inversa

I_{inv} . La tensión se suministra al estabilizador con la polaridad invertida, o sea, éste se conecta de modo que su ánodo esté unido con el polo negativo de la fuente de tensión. Con esta conexión, a través del estabilizador pasa la corriente inversa I_{inv}

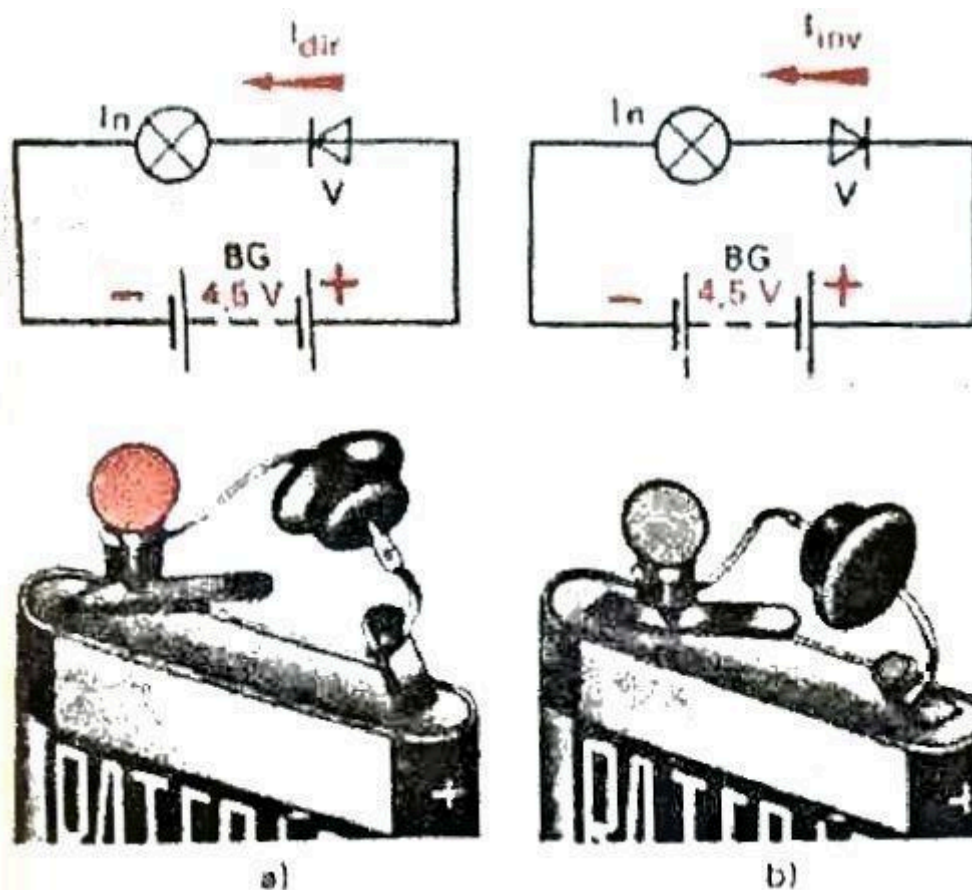


Figura 76. Diodo estabilizador de tensión y su representación gráfica en los esquemas

A medida que aumenta la tensión inversa, la corriente inversa crece muy despacio, la característica va casi paralela al eje U_{inv} .

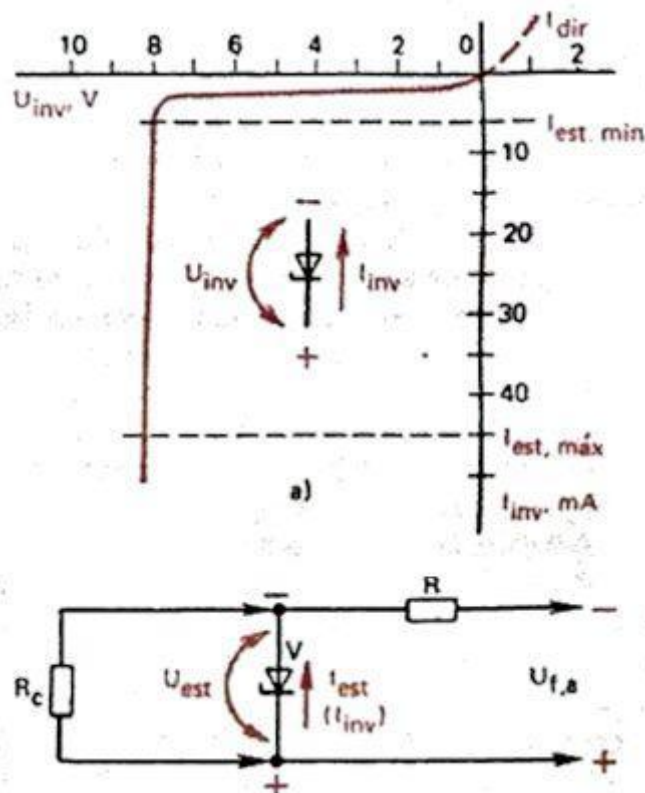


Figura 77. Característica tensión-corriente del diodo estabilizador de tensión (a) y esquema del estabilizador paramétrico de tensión (b)

Pero al llegar a cierta tensión U_{inv} (en la Figura 77, a es de cerca de 8 V) la unión $p-n$ del estabilizador se perfora y a través de él empieza a pasar una corriente inversa importante. En este punto la característica tensión-corriente se tuerce bruscamente y marcha hacia abajo casi paralelamente al eje I_{inv} . Esta parte de la característica es la de trabajo del estabilizador de tensión. La perforación de la unión $p-n$ no implica la inutilización del dispositivo si la corriente que pasa por él no supera cierto valor tolerable.

En la Figura 77b se da el esquema de la posible aplicación práctica del estabilizador de tensión. Se trata del llamado *estabilizador paramétrico de tensión*. Con esta conexión, a través del estabilizador y pasa la corriente inversa I_{inv} creada por la fuente de alimentación, cuya tensión puede variar dentro de unos límites considerables. Bajo la acción de esta tensión, la corriente I_{inv} que pasa por el estabilizador, también varía, mientras que la tensión en él, por lo tanto, en la carga R_c a él conectada, permanece prácticamente invariable, es decir, estabilizada. El resistor R_c limita la corriente máxima permisible que pasa a través del estabilizador.

Con los estabilizadores de tensión tropezarás en la práctica en más de una ocasión.

He aquí los parámetros más importantes de un estabilizador de tensión: la tensión estabilizada U_{est} , la corriente de estabilización I_{est} , la corriente de estabilización mínima $I_{\text{est.min}}$ y la corriente de estabilización máxima $I_{\text{est.max}}$. El parámetro U_{est} es la tensión que se crea entre los terminales del estabilizador de tensión en régimen de trabajo (la industria soviética produce estabilizadores de tensión de silicio para tensiones estabilizadas desde varios voltios hasta 180 V). La corriente de estabilización mínima es la menor corriente que pasa a través del dispositivo, con la cual éste empieza a funcionar establemente en régimen de perforación (en la Figura 77a, la línea de trazos $I_{\text{est.min}}$): si esta corriente disminuye, el dispositivo deja de estabilizar la tensión. La corriente de estabilización máxima tolerable $I_{\text{est.max}}$ es la mayor corriente que pasa a través del dispositivo (y que no debe confundirse con la que pasa por el circuito alimentado por el estabilizador de tensión), con la cual la temperatura de su unión $p-n$ no supera la permisible (en la Figura 77a, la línea de trazos). La superación de la corriente $I_{\text{est.max}}$ conduce a la perforación por calor de la unión $p-n$ y, como es natural, a la inutilización del dispositivo.

Pasemos a los transistores.

§. Transistores

El antecesor del transistor fue el denominado detector generador inventado en 1922 por el radiofísico soviético O. V. Losev. Este dispositivo, consistente en un cristal semiconductor con dos alambres conductores adheridos a él, en determinadas condiciones podía generar y amplificar las oscilaciones eléctricas. Pero en aquel tiempo, debido a su imperfección, no pudo competir con la lámpara electrónica. El semiconductor digno de competir con dicha lámpara, llamado transistor, fue creado en 1948 por los científicos norteamericanos Brattain, Bordeen y Shockly.

En la gran "familia" de los transistores modernos figuran dos tipos: los *bipolares* y los de *efecto-campo*. Los primeros, para distinguirlos de algún modo de los segundos, suelen llamarse transistores corrientes. Los transistores bipolares son los que más se emplean. Por ellos comenzaré mi relato.

El término "transistor" está formado por dos palabras inglesas: *transfer*, transformador, y *resistor*, resistencia. En forma simplificada un transistor bipolar consiste en una plaquita de semiconductor con tres regiones consecutivas (como en un emparedado) de diferente conductibilidad eléctrica (Figura 78), las cuales forman dos uniones $p-n$.

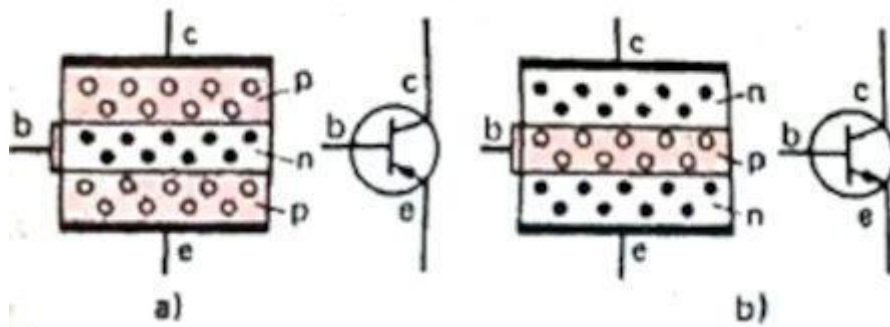


Figura 78. Estructura esquemática y representación gráfica en los esquemas de los transistores de estructura $p-n-p$ y $n-p-n$

Las dos regiones extremas tienen un mismo tipo de conductibilidad, la intermedia, conductibilidad de otro tipo. Cada región posee su terminal de contacto. Si en las regiones extremas es mayoritaria la conductibilidad por huecos y en la intermedia, la conductibilidad por electrones (Figura 78a), este transistor recibe el nombre de transistor con estructura $p-n-p$. En un transistor con estructura $n-p-n$, por el contrario, en los extremos están las regiones cuya conductibilidad es por electrones y entre ellos se encuentra la región de conductibilidad por huecos (Figura 78b).

Tapa con una hoja de papel cualquiera de las regiones extremas de los transistores representados en la Figura 78. ¿Que resulta? Que las dos regiones que quedan son, ni más ni menos, que un diodo planar. Si se tapa la otra región extrema, también se obtiene un diodo. Es decir, el transistor podemos figurárnoslo como dos diodos planares con una región común, conectados el uno al encuentro del otro. La región común (intermedia) del transistor se llama *base*, una de las regiones extremas, *emisor*, y la otra región extrema, *colector*. Éstos son los tres electrodos del transistor. Durante, el funcionamiento de éste su "emisor" introduce (emite) huecos en la base (en el transistor de estructura $p-n-p$) o electrones (en el de estructura $n-p-n$), y el colector recoge estas cargas eléctricas introducidas en la base por el emisor. La diferencia en la designación de los transistores de distintas estructuras en los esquemas consiste solamente en la dirección de la flechita del emisor: en los transistores $p-n-p$ está dirigida del emisor a la base y en los transistores $n-p-n$, de la base al emisor.

Las uniones electrón-hueco se pueden obtener en el transistor del mismo modo que en los diodos planares. Por ejemplo, para hacer un transistor de estructura $p-n-p$ se toma una plaquita delgada de germanio con conductibilidad por electrones y sobre cada una de sus caras se funde trocitos de indio. Los átomos de indio se difunden (penetran) en el cuerpo de la plaquita, formando en ella dos regiones de tipo p , emisor y colector, y entre ellas queda una capa muy delgada (de varias micras) de semiconductor tipo n , base. Los

transistores fabricados por este procedimiento se llaman *de unión de aleación*.

Conviene saber cómo se llaman las uniones $p-n$ del transistor, la unión entre el colector y la base se denomina colectora, y la unión entre el emisor y la base, emisora.

La estructura esquemática y la construcción de un transistor de unión de aleación se muestra en la Figura 79.

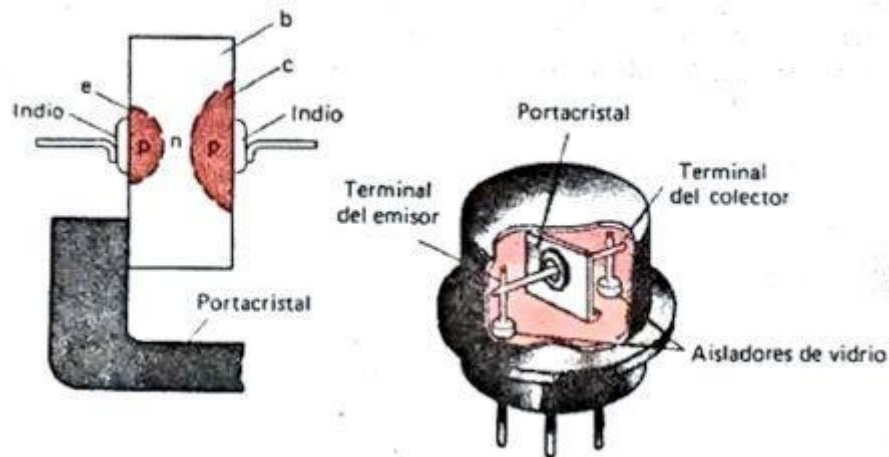


Figura 79. Estructura esquemática y construcción de un transistor de unión de aleación p-n-p

El dispositivo va montado sobre un disco metálico de menos de 10 mm de diámetro. Sobre este disco está soldado el portacristal, que hace de terminal interno de la base, y debajo del disco, su terminal, de alambre, externo. Los terminales internos del colector y del emisor van soldados a los alambritos que van soldados a los aisladores de vidrio sirven de terminales exteriores de estos electrodos. Un casquete metálico protege el dispositivo contra los deterioros mecánicos y la acción de la luz. Así están hechos los transistores de germanio más difundidos para pequeña potencia y frecuencia baja de las series МП139, МП40, МП41, МП42 y sus variedades y los transistores para potencia grande П213 - П217. La letra М en la designación indica que la cápsula del transistor está soldada en frío, la letra П (P rusa) es la inicial de la palabra "planar", y las cifras, los números de orden, de fábrica, de los dispositivos. Al final de la designación pueden figurar las letras А, Б, В (por ejemplo, МП39Б), que indican la variante del resistor de la serie dada.

Existen otros procedimientos de fabricación de los transistores, por ejemplo, el *de aleación-difusión* (Figura 80).

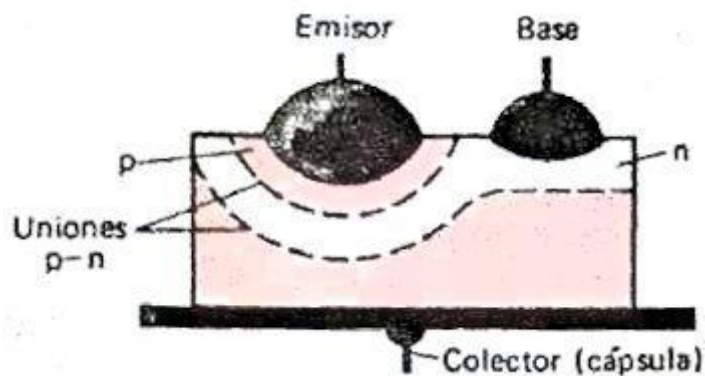


Figura 80. Estructura esquemática de un transistor de aleación-difusión p-n-p

De colector del transistor fabricado por este procedimiento sirve una plaquita del semiconductor inicial. Sobre la superficie de la plaquita se funden, muy próximas entre sí, dos pequeñas bolitas de los elementos de impureza. Durante el tiempo que dura el calentamiento hasta una temperatura rigurosamente determinada, transcurre la difusión de los elementos de impureza en la plaquita de semiconductor. Al ocurrir esto una de las bolitas (en la Figura 79 la de la derecha) forma en el colector una delgada región de base, y la otra (en la Figura 79 la de la izquierda), una región emisora. Como resultado, en la plaquita de semiconductor inicial se obtienen dos uniones $p-n$ que forman un transistor de estructura $p-n-p$. Con esta tecnología se fabrican, en particular, los transistores para poca potencia y alta frecuencia que se producen en mayor escala, los de las series $\Gamma 308$, $\Gamma 309$, $\Gamma 310$. La letra Γ (G rusa) en la designación indica que el transistor es de germanio, y la letra T es la inicial de la palabra "transistor". En la designación de los transistores de silicio, en vez de la letra P figura la K, por ejemplo, KT315.

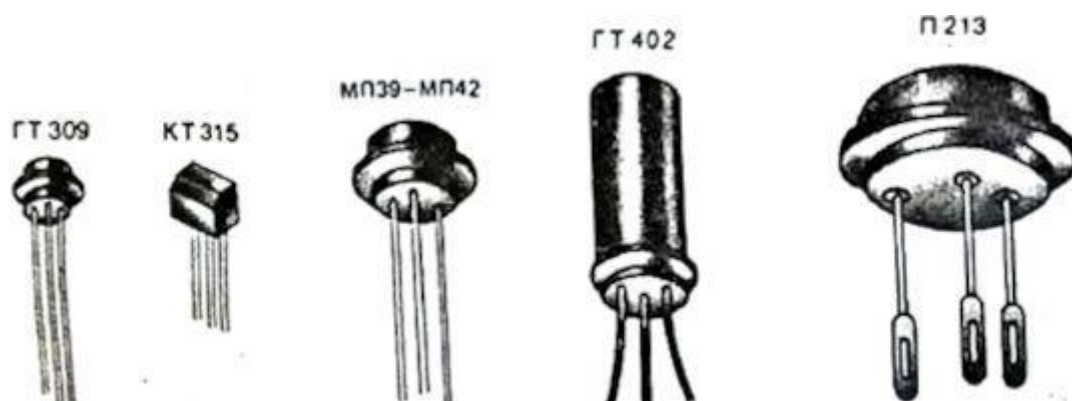


Figura 81. Aspecto exterior de algunos transistores bipolares

El aspecto exterior de algunos transistores bipolares, para diferentes potencias, de los más utilizados por nuestros radioaficionados, se muestra en la Figura 81.

Te propongo hacer varios experimentos.

§. Transistor - amplificador

Al principio de esta parte de mi charla dije que un transistor bipolar podemos figurárnoslo como dos diodos planares conectados uno al encuentro del otro reunidos en una plaquita de semiconductor. De esto es fácil convencerse haciendo unos experimentos para los cuales puede servir cualquier transistor de germanio para baja frecuencia, de estructura $p-n-p$, ya usado, pero no deteriorado, por ejemplo, el МП39 u otro semejante de las series МП40 ó МП42. Entre el colector y la base del transistor conecta unidas en serie una batería 3336Λ y una lamparita de linterna de bolsillo calculada para 2,5 V de tensión y 0,075 ó 0,15 A de corriente (Figura 82).

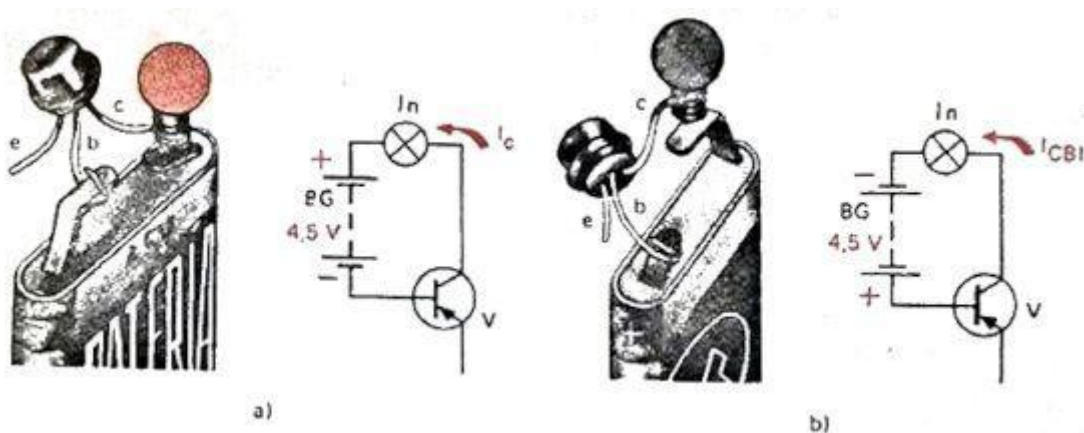


Figura 82. Experimentos con un transistor bipolar

Si el polo positivo de la batería BG resulta unido (a través de la lamparita) con el colector y el negativo, con la base (Figura 82a), la lamparita debe encenderse.

Si la polaridad de conexión de la batería es otra (Figura 82b), la lamparita no se encenderá.

¿Cómo se explica este fenómeno? En el primer caso tú hacías llegar a la unión $p-n$ colectora la tensión directa, es decir, de conducción. La unión $p-n$ colectora estaba abierta, su resistencia era pequeña y a través de ella pasaba la corriente directa del colector I_c . La intensidad de la corriente en este caso viene determinada en lo fundamental por la resistencia del filamento de incandescencia de la lamparita y por la resistencia interna de la batería. En el segundo caso la tensión de la batería llegaba a la unión colectora en sentido inverso, es decir, no de conducción. En este caso la unión estaba cerrada, su resistencia era grande y a través de ella sólo pasaba la pequeña corriente inversa del colector $I_{c \text{ b i}}$. En los transistores para pequeña potencia y baja frecuencia, la corriente inversa del colector no supera 30 μA . Esta

corriente, como es natural, no puede caldear el filamento de la lamparita y por eso ésta no se enciende.

Haz un experimento análogo con la unión *p-n* emisora. El resultado será el mismo: para la tensión inversa la unión estará cerrada y la lamparita no se encenderá, y para la tensión directa estará abierta y la lamparita se encenderá.

El siguiente experimento, que ilustra uno de los regímenes de funcionamiento del transistor, hazlo de acuerdo con el esquema que se muestra en la Figura 83.

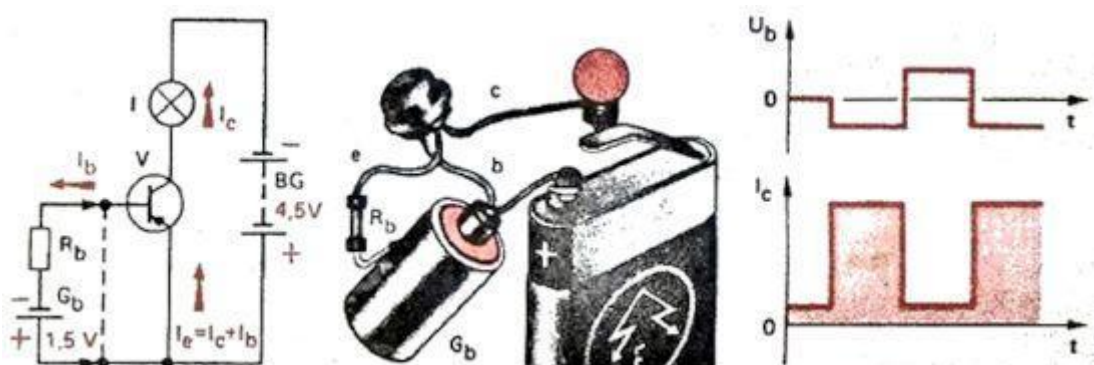


Figura 83. Experimento ilustrativo de cómo funciona el transistor bipolar en régimen de conmutación

Entre el emisor y el colector del transistor conecta unidas en serie la batería 3336A y la misma lamparita de incandescencia. El polo positivo de la batería debe unirse al emisor y el negativo, al colector (a través del filamento de incandescencia). ¿Se enciende la lamparita? No, no se enciende. Une con un puente de alambre la base con el emisor, como muestra en el esquema la línea de trazos. La lamparita, conectada al circuito colector del transistor, tampoco se encenderá. Quita el puente y en vez de él conecta a estos electrodos, unidos en serie, un resistor R_b de 200 a 300 Ω de resistencia y una pila voltaica G_b , por ejemplo, tipo 332, pero de forma que el menos de la pila vaya unido a la base y el más, al emisor. Ahora la lamparita debe encenderse. Cambia su polaridad de la conexión de la pila a estos electrodos del transistor. En este caso la lamparita no debe encenderse. Repite este experimento varias veces y te convencerás de que la lamparita sólo se enciende en el circuito del colector cuando sobre la base del transistor, respecto del emisor, actúa tensión negativa.

Veamos lo que ocurre en estos experimentos. En el primero de ellos, cuando, uniendo con el puente la base con el emisor, cortocircuitaste la unión emisora; la unión colectora se convirtió en un simple diodo, al cual se suministraba tensión inversa. A través del transistor sólo pasaba la corriente inversa insignificante de la unión colectora, la cual

no podía caldear el filamento de la lamparita. En este caso el transistor se encontraba en estado cerrado. Después, quitando el puente, restableciste la unión emisora. Cuando conectaste la primera vez la pila entre la base y el emisor, hiciste llegar a la unión emisora tensión directa: La unión emisora se abrió y a través de ella pasó la corriente directa, la cual abrió la segunda unión del transistor, la colectora. El transistor resultó abierto y por el circuito emisor - base-colector pasó la corriente colectora I_c del transistor, muchas veces mayor que la corriente del circuito emisor-base.

Ella fue la que caldeó el filamento de la lamparita. Cuando tú invertiste la polaridad de conexión de la pila, si tensión cerró la unión emisora y al mismo tiempo se cerró la unión colectora.

Con esto la corriente del transistor casi se interrumpió (sólo seguía pasando la corriente inversa del colector) y la lamparita no se encendió.

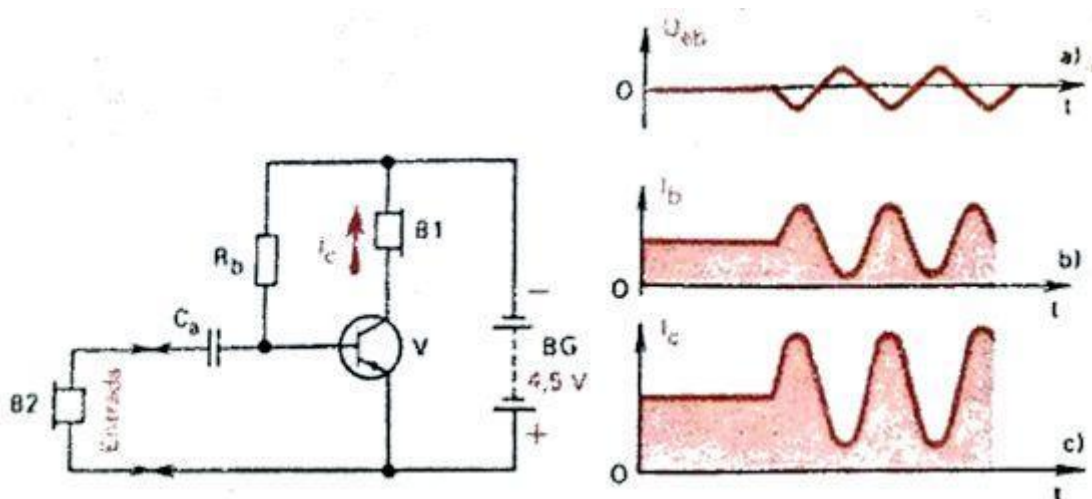


Figura 84. Experimento ilustrativo de cómo funciona el transistor en régimen de amplificación

¿Qué papel desempeña el resistor R_b ? En principio de este resistor se podría prescindir. Pero yo te recomendé incluirlo exclusivamente para limitar la corriente en el circuito de base. De lo contrario a través de la unión emisora pasaría una corriente directa demasiado grande que podría ocasionar la perforación por calor de la unión y la inutilización del transistor.

Si al hacer estos experimentos se hubieran intercalado instrumentos de medida en los circuitos de base y de colector, estando cerrado el transistor casi no hubiera habido corriente en los circuitos. En cambio, con el transistor abierto la corriente de base I_b hubiera sido no mayor de 2 ó 3 mA y la del colector I_c , de 60 a 75 mA. Esto indica que el transistor puede ser amplificador de corriente.

En estos experimentos el transistor se encontró en uno de los dos estados: abierto o cerrado. La conmutación del transistor de un estado a otro se producía bajo la acción de la tensión de base U_b . Este régimen de trabajo del transistor se ilustra con las gráficas de la Figura 83 y se llama régimen de conmutación. Este régimen de trabajo del transistor se utiliza principalmente en los aparatos y dispositivos de automática electrónica.

En los receptores de radiodifusión y en los amplificadores de audiofrecuencia los transistores funcionan en régimen de amplificación.

Éste se diferencia del régimen de conmutación en que utilizando corrientes pequeñas en el circuito de base, podemos dirigir corrientes relativamente grandes al circuito del colector del transistor. El funcionamiento del transistor en régimen de amplificación puede ilustrarse con el experimento siguiente (Figura 84). En el circuito del colector del transistor y conecta los auriculares electromagnéticos B1 y entre la base y el menos de la fuente de alimentación BG (batería 3336A), el resistor R_b de 200 a 250 k Ω de resistencia. Conecta el segundo micrófono B2 entre la base y el emisor del transistor, pero a través de un condensador C_a de 0.1 a 0,5 μ F de capacidad. Obtendrás un amplificador' muy simple que puede desempeñar, por ejemplo, el papel de aparato telefónico unilateral. Si un compañero tuyo habla no muy alto delante del micrófono B2, conectado a la entrada del amplificador, su voz la oirás en los auriculares B1 conectados a la salida del amplificador. A la entrada del amplificador, en vez del micrófono B2, se puede conectar un fonocaptor (pick-up) y tocar un disco de gramófono. En este caso en los auriculares B1 se oirán bien los sonidos de la melodía o la voz del cantante, grabados en el disco.

¿Qué función desempeñan aquí el resistor R_b y el condensador C_a ? A través del resistor R_b llega a la base del transistor, procedente de la batería de alimentación BG, una pequeña tensión negativa, llamada tensión de polarización, que abre el transistor y con eso asegura su funcionamiento en régimen de amplificación. Sin la tensión de polarización inicial la unión emisora $p-n$ del transistor estará cerrada y, de un modo semejante a un diodo, "cortará" los semiperíodos positivos de la tensión de entrada, por lo que la amplificación irá acompañada de deformación. El condensador C_a desempeña la función de elemento acoplador entre el micrófono B2 y la base del transistor. Deja pasar libremente las oscilaciones de audiofrecuencia e impide el paso a la corriente continua del circuito de base al micrófono. Sin este condensador separador la base del transistor estaría unida con el emisor por medio de la corriente continua y el régimen de amplificación se alteraría.

En este experimento, a la entrada del amplificador llegaba una tensión alterna de frecuencia sonora, cuya fuente era el micrófono, que transformaba las oscilaciones de audiofrecuencia en eléctricas (en la Figura 84, la gráfica *a*).

Esta tensión creaba en el circuito emisor-base oscilaciones de corriente continua (gráfica *a*), las cuales dirigían una corriente bastante grande al circuito del colector (gráfica *c*). Se producía la amplificación de la señal de entrada. Dicha señal, amplificada por el transistor, era transformada en los auriculares B1 conectados al circuito del colector, en oscilaciones de audiofrecuencia. El transistor funcionaba en régimen de amplificación.

El proceso de amplificación, en rasgos generales, transcurre del modo siguiente. En ausencia de tensión de señal de entrada, por los circuitos de base y del colector pasan pequeñas corrientes (en la Figura 84, las partes de la izquierda de las gráficas *b* y *c*) determinadas por la tensión de la fuente de alimentación, la tensión de polarización en la base y las propiedades amplificadoras del transistor. En cuanto en el circuito de base aparece una señal, con arreglo a ella empiezan a cambiar las corrientes en los circuitos del transistor: durante los semiperiodos negativos, en que la tensión negativa total en la base crece, las corrientes en los circuitos aumentan, y durante los semiperiodos positivos en que las tensiones de la señal y de polarización son opuestas y, por consiguiente, la tensión negativa en la base disminuye, las corrientes en ambos circuitos también disminuyen. Se produce la amplificación de la tensión y de la corriente. Si la carga del transistor no fueran los auriculares, sino un resistor, la tensión de la componente alterna de la señal amplificada creada por él se podría hacer llegar al circuito de entrada de un segundo transistor para amplificarla adicionalmente. Un transistor puede amplificar la señal de 30 a 50 veces.

Exactamente lo mismo funcionan los transistores de estructura *n-p-n*. Pero para ellos la polaridad de conexión con la batería que alimenta el circuito de base y del colector no debe ser la misma que para los transistores *n-n-p*, sino la inversa.

Acuérdate de esto:

para que un transistor funcione en régimen de amplificación, a su base (respecto del emisor), junto con la tensión de la señal a amplificar, hay que hacer llegar necesariamente una tensión continua de polarización que abra el transistor.

Para los transistores de germanio esta tensión de polarización debe ser de 0,1 a 0,2 V, y para los de silicio, de 0,5 a 0,7 V. La tensión de

polarización no se suministra a la base únicamente en aquellos casos en que la unión emisora del transistor se utiliza para detectar una señal modulada de radiofrecuencia.

§. Esquemas de conexión y parámetros fundamentales de los transistores bipolares

Quedamos, pues, en que un transistor bipolar, independientemente de su estructura, es un dispositivo con tres electrodos. Sus electrodos son: el emisor, el colector y la base. Para utilizar un transistor como amplificador de tensión, de corriente o de potencia, la señal de entrada que hay que amplificar puede hacerse llegar a dos cualesquiera de los electrodos y sacar de dos electrodos la señal amplificada. Uno de los electrodos tiene que ser necesariamente común. Éste es el que determina el nombre del procedimiento de conexión del transistor en circuito de emisor común (EC), en circuito de colector común (CC) o en circuito de base común (BC).

La conexión de un transistor $p-n-p$ en circuito de CC se muestra en la Figura 85a. La tensión de la fuente de alimentación U_{fa} en el colector del transistor y pasa a través del resistor R_c , que hace de carga, y del conductor común "puesto a tierra" (simbolizado en los circuitos por el signo al emisor. La señal de entrada, a través del condensador de acoplamiento C_a , llega a los terminales de la base y del emisor, es decir, a la parte base-emisor del transistor, y la señal amplificada se saca de los terminales del emisor y del colector. Con esta conexión del transistor, el emisor es, por lo tanto, común para los circuitos de entrada y de salida.

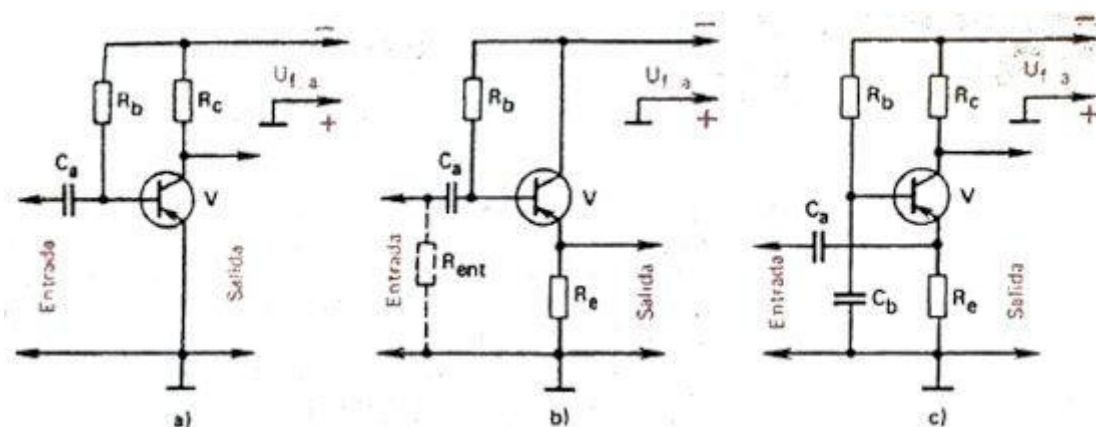


Figura 85. Esquemas de acoplamientos de transistores $p-n-p$

Recuerda los esquemas y dibujos que has utilizado en esta charla haciendo funcionar al transistor en regímenes de amplificación y de conmutación. Sí, en todos ellos has conectado el transistor en circuito de emisor común. Eso no es casual: el transistor conectado por ese procedimiento, en dependencia de sus propiedades amplificadoras, puede amplificar de 10 a 200 veces la tensión de la señal y de 20 y 100 veces la corriente. En virtud de eso, el procedimiento de

conexión del transistor en circuito de emisor común es el más popular entre los radioaficionados.

Un inconveniente importante de la etapa amplificadora en el transistor conectado por este procedimiento es su relativamente pequeña resistencia de entrada (de 500 a 1000 Ω), lo que dificulta la adaptación de las etapas amplificadoras de los transistores que se conectan por este procedimiento. Esto se explica porque en este caso la unión emisora $p-n$ del transistor está conectada en sentido directo, es decir, de paso. Pero la resistencia de la unión de paso, dependiente de la tensión que se le aplica, es siempre pequeña. En cuanto a la resistencia de salida de esta etapa, es suficientemente grande (de 2 a 20 k Ω) y depende de la resistencia de la carga R_c y de las propiedades amplificadoras del transistor.

La conexión de un transistor en circuito de CC puedes verla en la Figura 85b. La señal de entrada llega a la base y al emisor a través del resistor del emisor R_e , que forma parte del circuito del colector. De este mismo resistor, que hace las veces de carga del transistor, se saca la señal de salida. De este modo, esta parte del circuito del colector es común para los circuitos de entrada y salida, por eso se da el nombre de CC a este procedimiento de conexión del transistor. La etapa con transistor conectado por este procedimiento da una amplificación de la tensión menor que la unidad. Se obtiene, en cambio, una amplificación de la corriente aproximadamente igual que si el transistor estuviera conectado en circuito de EC. La resistencia de entrada de esta etapa puede ser de 10 a 500 k Ω , que se adapta bien a la gran resistencia de salida de la etapa en el transistor conectado en circuito de EC. En realidad, la etapa no amplifica la tensión, sino que se comporta como si sólo repitiera la señal que se le comunica. Por eso los transistores conectados por este procedimiento se llaman también *amplificadores de emisor servoasistido*. ¿Por qué de emisor? Porque la tensión de salida en el emisor del transistor repite totalmente en la práctica la tensión de entrada.

¿Por qué la etapa no amplifica la tensión? Para aclarar esto unamos con un resistor el circuito de base del transistor con el terminal inferior (según el esquema) del resistor R_e del emisor, como se muestra en la Figura 85.b con línea de trazos. Este resistor es equivalente a la resistencia interna de la fuente de la señal de entrada R_{ent} por ejemplo, del micrófono o del fonocaptor. De este modo el circuito del emisor resulta acoplado con la base a través del resistor R_{ent} . Cuando a la entrada del amplificador llega la tensión de la señal, en el resistor R_t , que hace las veces de carga del transistor, se separa la tensión de la señal amplificada, la cual, a través del resistor R_{ent} , resulta aplicada a la base en oposición de fase. En estas condiciones, entre los circuitos del emisor y de la base surge una reacción negativa muy fuerte que reduce a cero la amplificación de la

etapa. Esto se refiere a la tensión. Pero en cuanto a la corriente se obtiene la misma amplificación que cuando el transistor se conecta en circuito de EC.

Ahora hablemos de la conexión del transistor en circuito de BC (Figura 85,c). En este caso la base, a través del condensador C_b , está puesta a tierra en corriente alterna, es decir, unida al conductor común de alimentación. La señal de entrada llega al emisor y a la base a través del condensador C_a , y la señal amplificada se saca del colector y de la base puesta a tierra. La base es, pues, el electrodo común de los circuitos de entrada y salida de la etapa. Ésta da una amplificación de la corriente menor que la unidad y una amplificación de la tensión igual que la que proporciona el transistor conectado en circuito de EC (es decir, de 10 a 200 veces). Debido a que la resistencia de entrada es muy pequeña, inferior a varias decenas de ohmios (de 30 a 100 Ω), la conexión del transistor en circuito de BC se utiliza principalmente en los generadores de oscilaciones eléctricas y en las etapas de superregeneración, que se emplean, por ejemplo, en los aparatos de mando por radio de modelos, de lo cual trataremos más adelante.

Tú utilizarás más que nada la conexión en circuito de EC del transistor y, alguna vez, en circuito de CC. Pero éstos sólo son procedimientos de conexión. El régimen de funcionamiento del transistor como amplificador viene determinado por las tensiones en sus electrodos, las corrientes en sus circuitos y, naturalmente, por los parámetros del transistor mismo.

La calidad y las propiedades amplificadoras de los transistores bipolares se valoran por varios parámetros eléctricos, los cuales se miden con instrumentos especiales. A ti, desde el punto de vista práctico, deben interesarte en primer lugar tres parámetros fundamentales: la corriente inversa del colector I_{ebi} , el factor estático de transferencia de corriente h_{21E} : (que se lee: hache dos uno E) y la frecuencia limite del factor de transferencia de corriente f_{tim} .

La corriente inversa del colector I_{cbi} es la corriente no controlada a través de la unión $p-n$ colectora, que crean los portadores minoritarios de la corriente en el transistor. Esta corriente caracteriza la calidad del transistor: cuanto menor sea el valor numérico del parámetro I_{ebi} , tanto más elevada será la calidad del transistor. En los transistores de poca potencia y bajas frecuencias, por ejemplo, de las series MΩ39 a MΠ42, la corriente I_{cbi} no debe superar 30 μA , y en los de poca potencia y altas frecuencias, 5 μA . Los transistores con valores de I_{cbi} mayores no funcionan con estabilidad.

El factor estático de transferencia de corriente h_{21E} caracteriza las propiedades amplificadoras del transistor. Se llama estático porque

este parámetro se mide a tensiones constantes en sus electrodos y corrientes constantes en sus circuitos. La letra "E" mayúscula que figura en esta expresión indica que, durante la medición, el transistor se encuentra en circuito de EC. El factor h_{21E} se caracteriza por la razón de la corriente continua del colector a la corriente continua de la base, para una tensión continua inversa colector-emisor y una corriente del emisor dadas. Cuanto mayor sea el valor numérico del factor h_{21E} , tanto mayor será la amplificación de la señal que puede proporcionar el transistor dado.

La frecuencia límite del factor de transferencia de corriente $U_{CE\max}$ expresada en kilohertzios o megahertzios, permite juzgar acerca de las posibilidades de utilizar el transistor para amplificar oscilaciones de tales o cuales frecuencias. La frecuencia límite f_{lim} del transistor МП39, por ejemplo, es de 500 kHz, y la de los transistores 401 a П403, de más de 30 MHz. En la práctica los transistores se utilizan para amplificar frecuencias mucho menores que las límites, ya que, al aumentar la frecuencia, el factor h_{21E} del transistor disminuye.

Al construir los dispositivos radiotécnicos deben tenerse en cuenta también otros parámetros de los transistores, como son la tensión máxima tolerable colector-emisor $U_{CE\max}$, la corriente máxima tolerable del colector I_{CmM} , y la potencia disipada máxima tolerable del colector $P_{C\max}$ potencia que dentro del transistor se transforma en calor.

Y ahora...

§. Algo sobre el transistor de efecto-campo

En este dispositivo semiconductor el control de la corriente de trabajo no se efectúa por la corriente en el circuito de entrada (de la base), como en un transistor bipolar, sino por la acción sobre los portadores de corriente de un campo eléctrico. De aquí el nombre de transistor de "efecto-campo"

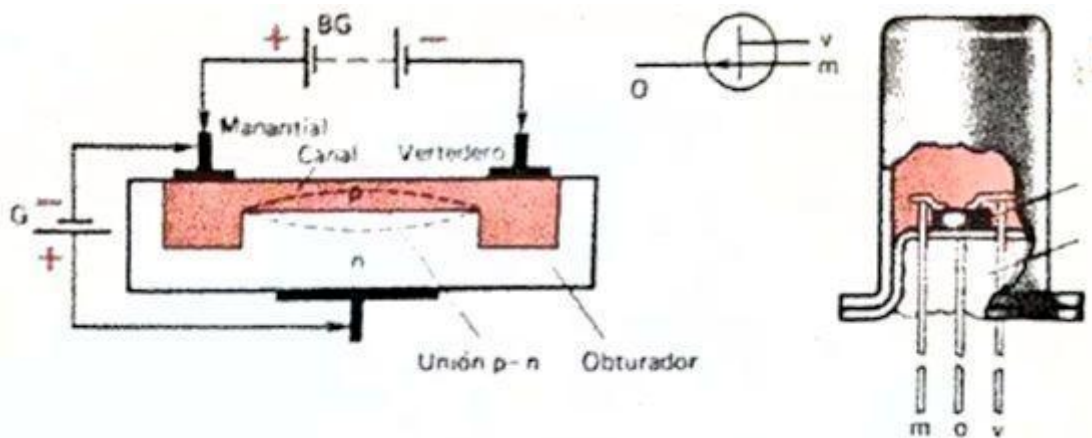


Figura 86. Estructura esquemática, representación gráfica y construcción de un transistor de efecto-campo con canal tipo p

La estructura esquemática y la construcción de un transistor de efecto-campo con unión $p-n$ se muestra en la Figura 86. De base de este transistor sirve una plaquita de silicio de conductibilidad tipo n , en la cual hay una delgada región de conductibilidad tipo p . La plaquita del dispositivo se llama *obturador* o *puerta* y la región tipo p que hay en ella, *canal*. Por una parte el canal termina en el *manantial* o *fuerce* y por la otra en el *vertedero* o *salida*, también en la región tipo p , pero con elevada concentración de huecos. Entre el obturador y el canal se crea una unión $p-n$. El obturador, manantial y vertedero tienen terminales de contacto.

Si al manantial se conecta el polo positivo de una batería de alimentación (en la Figura 86, la batería BG) y al vertedero, el negativo, en el canal se produce una corriente creada por el movimiento de los huecos del manantial al vertedero, esta corriente, llamada corriente de vertedero I_v , depende no sólo de la tensión de dicha batería, sino también de la tensión que actúa entre el manantial y el vertedero (en la Figura 86, la pila G). He aquí por qué. Cuando sobre el obturador actúa, respecto del manantial, una tensión positiva de cierre, la región empobrecida de la unión $p-n$ se ensancha (en la Figura 86 se muestra con líneas de trazos). Con esto el canal se estrecha y su resistencia aumenta, por lo que la corriente de vertedero disminuye. Si la tensión positiva sobre el obturador disminuye, la región empobrecida de la unión $p-n$, por el contraste, se estrecha, el canal se ensancha y la corriente aumenta de nuevo. Si al obturador llega, junto con la tensión positiva de polarización, una señal de baja o de alta frecuencia, en el circuito del vertedero surge una corriente pulsatoria y en la carga conectada a este circuito, la tensión de la señal amplificada.

Así, de forma simplificada, están contruidos y funcionan los transistores de efecto-campo con canal tipo p , por ejemplo, los

transistores КП102 y КП103 (las letras К y П son las iniciales de las palabras «кремний», silicio, y «полевой», de campo).

En principio también así está construido y funciona el transistor de efecto-campo con canal tipo n . El obturador del transistor de esta estructura posee conductibilidad por huecos, por lo que a él, respecto del manantial, debe comunicarse tensión negativa de polarización, y al vertedero (también respecto del manantial), tensión positiva de la fuente de alimentación. En la representación gráfica convencional del transistor de efecto-campo con canal tipo n , la flechita en la línea del obturador está dirigida hacia el manantial, y no partiendo de éste, como en la simbolización del transistor con canal tipo p .

El transistor de efecto-campo es también un dispositivo de tres electrodos. Por eso, lo mismo que un transistor bipolar, se puede conectar en la etapa amplificadora por tres procedimientos: en circuito de vertedero común (VC), en circuito de manantial común (MC) y en circuito de obturador común (OC). En la práctica los radioaficionados utilizan principalmente sólo los dos primeros procedimientos de conexión, que permiten emplear los transistores de efecto-campo con mayor eficacia.

La etapa amplificadora a base del transistor de efecto campo posee una resistencia de entrada muy grande, de megohmios. Esto permite suministrar a su entrada señales de alta y baja frecuencia de fuentes con gran resistencia interna, por ejemplo, de un fonocaptor piezocerámico, sin temor a que se deforme o empeore la amplificación de la señal de entrada. Ésta es la principal ventaja de los transistores de efecto-campo frente a los bipolares.

Las propiedades amplificadoras de un transistor de efecto-campo se caracterizan por la pendiente de la característica S , es decir, por la razón de la variación de la corriente de vertedero a la variación de la tensión en el obturador en cortocircuito por la corriente alterna en la salida del transistor, conectado en circuito de MC. El valor numérico del parámetro S se expresa en miliamperios por voltio; para distintos transistores puede ser desde 0.1 ó 0,2 hasta 10 ó 15 mA/V y mayor. Cuanto mayor es la pendiente, tanto mayor es la amplificación de la señal que puede proporcionar el transistor.

Otro parámetro del transistor de efecto - campo es la tensión de corte U_{OMC} . Ésta es la tensión inversa en la unión $p-n$ obturador-canal con la cual la corriente a través de esta unión disminuye hasta cero. En distintos transistores la tensión de corte puede ser de 0,5 a 10 V.

Esto es lo más esencial que sucintamente se puede decir de los transistores de efecto-campo.

En esta charla me he referido principalmente a sólo cinco tipos de dispositivos semiconductores: los diodos de aleación y de contacto puntual, el regulador de tensión y los transistores bipolar y de efecto-campo, fistos son sin duda los elementos más "corrientes" de las construcciones radiotécnicas de los aficionados. ¡Pero no son los únicos! En la 'familia" de ios diodos que utilizan los radioaficionados en sus construcciones figuran también dispositivos como, por ejemplo, los fotodiodos, las células fotorresistentes y los fototransistores. De la estructura y de los principios básicos del funcionamiento de éstos y de algunos otros dispositivos semiconductores trataré ateniéndome a su aplicación práctica. A los microcircuitos y su utilización en las construcciones de aficionados a la radio dedicaré una charla especial.

Charla 7

Primer receptor de transistores

Contenido:

- §. Del receptor de cristal detector al de un solo transistor*
- §. Variantes del receptor de un solo transistor*
- §. Breve resumen de lo tratado*

* * * *

Tu primer aparato radiotécnico fue un receptor detector. Funcionaba exclusivamente a expensas de la energía de las ondas de radio captadas por la antena. El receptor de transistores a que dedico esta charla es también un aparato sencillo, pero para su funcionamiento es absolutamente necesaria una fuente de corriente continua. Consumiendo energía de esta fuente, el receptor puede recibir las señales de las mismas estaciones de radio, pero con mucha más intensidad de sonido. Este receptor será tu primer aparato de transistores.

§. Del receptor de cristal detector al de un sólo transistor

El esquema eléctrico básico del receptor puede ser el que representa la Figura 87.

En él todo te es conocido. Su parte derecha, separada por la recta de trazos, es un receptor detector con sintonización del circuito oscilante por medio del condensador con capacidad variable C2, sólo que en vez de los auriculares, en el circuito detector, está conectado el resistor R1. La parte derecha es un amplificador monoetápico de audiofrecuencia.

El condensador electrolítico C4 es el elemento acoplador entre las dos partes. Independientemente del procedimiento de sintonización del circuito oscilante, por medio de un núcleo de ferrita o de un

condensador de capacidad variable, las oscilaciones moduladas de radiofrecuencia serán detectadas (desmoduladas) por el diodo V1.

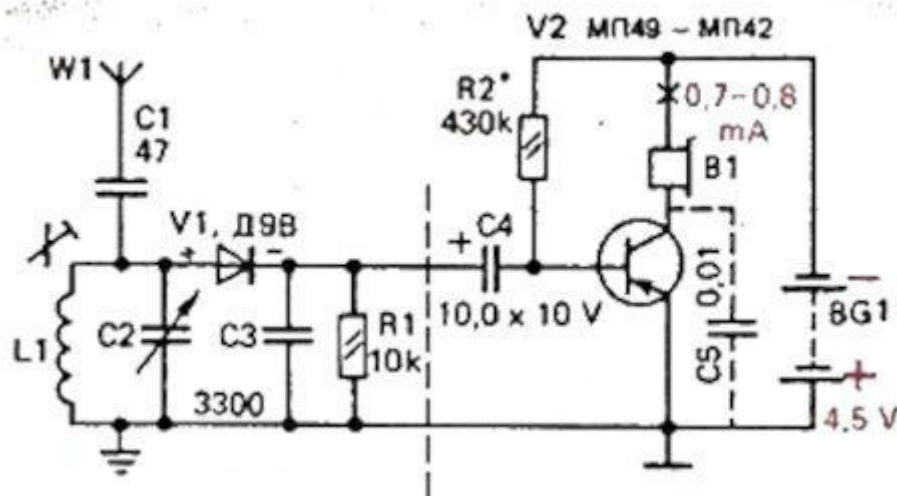


Figura 87. Receptor de cristal detector con amplificador de audiofrecuencia monoetápico

El resistor R1 desempeña el papel de carga del detector. Las oscilaciones de audiofrecuencia que se crean en aquél llegan, a través del condensador C4, a la base del transistor V2, conectado en circuito de EC, y después de ser amplificadas por los auriculares B1, conectados al circuito colector, se transforman en oscilaciones acústicas.

De fuente de alimentación sirve la batería BG1 de 4,5 V de tensión, por ejemplo, la 3336Λ o una formada por tres pilas 332 (acopladas en serie).

Hay que prestar atención a la polaridad de conexión del condensador electrolítico C4. En la base del transistor, respecto del conductor "puesto a tierra" hay una tensión negativa igual, aproximadamente, a 0,1 V. Por eso, a la base debe conectarse la armadura negativa del condensador electrolítico, es decir, hay que tener en cuenta la polaridad de dicho condensador.

Por la charla anterior ya sabes que para que el transistor funcione normalmente, a la base, además de la señal de entrada, hay que hacer llegar la tensión de polarización que la abra: si el transistor es de estructura *p-n-p*, debe ser negativa, y si es de estructura *n-p-n*, positiva. El procedimiento más fácil de suministrar la tensión de polarización es conectar la base del transistor con el correspondiente conductor de la fuente de alimentación a través de un resistor. En nuestro caso esta función la desempeña el resistor R2.

En el amplificador puede emplearse cualquiera de los transistores de germanio de las series :МП39 a МП42. Para abrir el transistor de germanio basta suministrar a su base, respecto del emisor, solamente 0,1 V. Es fácil calcular (por la ley de Ohm) que esta tensión se puede crear en la unión emisora, cuya resistencia tomamos igual a 1000 Ω , con una corriente de 100 μA (0,001 A). Entonces, en dependencia del factor de transferencia de corriente h_{21E} , la corriente del colector del transistor puede llegar a ser de 0,8 a 1 mA. Aproximadamente en este régimen de funcionamiento se deja por lo general el transistor de poca potencia para que no deforme la señal al amplificarla. Un mayor aumento de la tensión de polarización y, por consiguiente, de la corriente colectora, carece de sentido, ya que con esto no aumenta la amplificación de la señal y sólo crece el gasto de energía en alimentar el transistor. ¿Y si la tensión de polarización en la base resulta ser demasiado grande? En este caso el transistor también deformará la señal y, además, empezará a calentarse a causa de la gran corriente del colector. Si el transistor es de silicio, de poca potencia, la corriente en el circuito del colector debe ser la misma, pero la tensión de polarización en la base debe ser de 0.5 a 0,6 V.

La corriente colectora correspondiente al funcionamiento del transistor en régimen de amplificación la establecen los radioaficionados escogiendo la resistencia del resistor a través del cual se suministra a la base la tensión de polarización. En el esquema este resistor se indica con un asterisco, que simboliza su carácter opcional. El conductor del circuito colector de este transistor se ha cortado con dos líneas oblicuas en cruz y junto a él se indica la corriente en reposo aproximada, es decir, la corriente colectora del transistor en ausencia de señal en la base. Éste es el régimen estático de funcionamiento del transistor.

Cuando la señal llega a la entrada del amplificador, la corriente colectora empieza a variar, siendo su variación tanto más importante cuanto mayor sea la tensión de la señal de entrada. Éste es el régimen dinámico de funcionamiento del transistor.

La resistencia del resistor de polarización R2, indicada con el asterisco, se puede calcular aproximadamente multiplicando la resistencia de la carga por el duplo del valor del factor de transferencia de corriente del transistor que se emplea en el amplificador. Supongamos que el factor h_{21E} del transistor es igual a 50 y la resistencia de los radiadores de los auriculares de gran resistencia óhmica conectados en serie, igual a 4 k Ω . Por consiguiente, la resistencia del resistor R2 del amplificador de tu primer receptor de transistores debe ser aproximadamente de 400 k Ω . Pero ésta, insisto, es la resistencia aproximada del resistor de polarización.

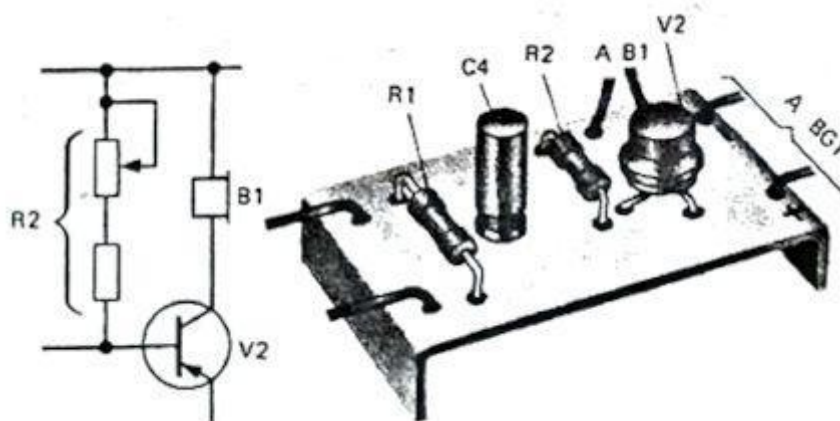


Figura 88. Montaje del amplificador y esquema del ajuste del régimen de funcionamiento del transistor por medio de un resistor variable

Durante el ajuste del régimen dado, esta resistencia, en dependencia del factor h_{21E} del transistor, puede ser muy diferente de la calculada.

Los elementos del amplificador y el resistor R1 móntalos en un papel de cartón en el mismo orden, aproximadamente, en que se muestran en la Figura 88. Los terminales de los elementos pásalos a través de los orificios practicados en el panel y, sin alargarlos, conéctalos por debajo. Los puntos de conexión debes soldarlos obligatoriamente. No te equivoques: al conectar el transistor, su terminal colector debe unirse, a través de los auriculares, con el polo negativo de la batería de alimentación; el emisor, directamente con el conductor puesto a tierra (positivo), y el de la base, a través del condensador C4, con el terminal superior (según el esquema) del resistor R1.

En el amplificador utiliza un transistor de poca potencia y baja frecuencia cuyo factor estático de transferencia de corriente h_{21E} sea igual a 50-60. Pero el transistor puede ser también de alta frecuencia, por ejemplo, el H401 a el ГТ309 con cualquier Índice literal. El condensador C4 es del tipo K50-6 o del K50-3 para una tensión nominal no menor de 6 V. A través de los resistores R1 y R2 pasan corrientes insignificantes, por eso pueden ser calculadas para una potencia disipada de 0,125 W (MAT-0,125) La resistencia del resistor R1 es de 6.8 a 10 kΩ.

Si en el amplificador empleas un transistor de estructura *n-p-n*, por ejemplo, uno de los МП35 a МП38 o el КТ315, no te olvides cambiar la polaridad de conexión de la batería de alimentación y del condensador electrolítico C4.

Antes de conectar la batería comprueba el montaje del amplificador por el esquema básico. Cerciórale de que no hay errores. A la entrada del amplificador conecta la salida de uno cualquiera de los tres receptores con que hiciste los experimentos en la charla tercera.

Conecta al circuito oscilante del receptor la antena y la toma de tierra y, paralelamente al resistor R1, los auriculares de alta resistencia óhmica. Sintoniza el receptor con la emisora local. Conecta después los auriculares al circuito colector del transistor y sustituye temporalmente el resistor R2 por los resistores acoplados en serie: uno fijo, de 20 a 30 k Ω de resistencia nominal, y otro de resistencia variable, de 220 a 300 k Ω . El resistor fijo se necesita en esta cadena para evitar que llegue a la base del transistor la tensión total de la batería, que podría estropearlo. El cursor del resistor variable, es decir, del reóstato acoplado, ponlo en la posición de resistencia máxima introducida (según el esquema de la Figura 88, en la posición extrema superior) y luego conecta la batería y ve disminuyendo despacio la resistencia del resistor variable. Al hacer esto debe ir aumentando paulatinamente la intensidad del sonido en los auriculares, pero solamente hasta cierto límite, tras el cual surgen interferencias y el sonido deja de oírse. Pon el cursor del resistor variable en la posición en que el sonido en los auriculares sea más intenso y no esté deformado.

El ajuste del régimen de funcionamiento del transistor "a oído" es el procedimiento más fácil de reglaje del amplificador del receptor. Sin embargo, es preferible hacer esto valiéndose de un miliamperímetro intercalado en un corte del circuito colector del transistor, señalado en el esquema con una cruz. Disminuyendo paulatinamente la resistencia del resistor en el circuito de base del transistor hay que conseguir que la corriente en el circuito colector sea de 0,7 a 0,8 mA. Esta corriente corresponderá al régimen normal de funcionamiento del transistor. Si con la intensidad máxima el amplificador se excita (en los auriculares se oyen sonidos de tono alto que empeoran la calidad de la recepción), en paralelo a los auriculares o entre el colector del transistor y el conductor puesto a tierra de la fuente de alimentación, conecta un condensador de, aproximadamente, 0,01 μ F de capacidad (en el esquema de la Figura 87 se muestra con líneas de trazos). Los sonidos silbantes deberán desaparecer. Sustituyendo este condensador por otros de capacidades aproximadas de hasta 0.05 μ F, se puede, por vía experimental, escoger el tono más agradable de sonido de los auriculares.

¿Pueden conectarse en el circuito colector del transistor unos auriculares de baja resistencia óhmica o una cápsula telefónica electromagnética ДЭМ-4М? Sí, se pueden conectar. En este caso el régimen de funcionamiento del transistor regúlalo también por medio de una cadena provisional de resistores do ajuste previo, procurando obtener la mayor intensidad del sonido en los auriculares. Ahora la corriente del circuito colector será algo mayor que con los auriculares de alta resistencia óhmica. Pero puede seguirse otro camino: el de conectar en el circuito colector del transistor un resistor, y los auriculares, ya sean de alta o de baja frecuencia, o la cápsula

ДЭМ-4М, conectarlos, a través de un condensador, en paralelo a la sección emisor-colector del transistor, como se, muestra en la Figura 89. En este caso el resistor R3 desempeñará la función de carga del transistor. Las oscilaciones de audiofrecuencia que se crean en éste, es decir, la componente de baja frecuencia de la corriente del colector, llegarán, a través del condensador C5 a los auriculares B1 y se transformarán en ellos en oscilaciones acústicas. El condensador C5 puede ser electrolítico, de 1 a 5 μF de capacidad, para tensión nominal no menor que la de la fuente de alimentación U_{fa} . En este caso el terminal de la armadura negativa debe conectarse al colector del transistor, y el terminal de la armadura positiva, a los auriculares.

¿Qué resistencia debe tener el resistor de carga R3? Su resistencia debe ser tal que, en régimen de reposo, en el colector, respecto del emisor, es decir, en la sección emisor-colector, haya una tensión igual aproximadamente a la mitad de la tensión de la fuente de alimentación. En estas condiciones el funcionamiento del transistor será óptimo. A este requisito responden los resistores de varios kilohmios de resistencia, por lo general de 3 a 5.1 k Ω . El régimen de funcionamiento del transistor también debes establecerlo ahora escogiendo la resistencia de una cadena de resistores en su circuito de base.

Con esto termina en realidad el proceso de ajuste del amplificador. Queda solamente medir con un ohmímetro la resistencia total de la cadena provisional de resistores, soldar en el circuito de base del transistor un resistor del mismo valor nominal o muy próximo a él, comprobar una vez más el funcionamiento del receptor y montar los elementos del receptor de cristal y del amplificador en el panel definitivo. Pero de esto te ocuparás tú, independientemente, si quieres, después de terminar nuestra charla. Ahora te propongo que compruebes como funcionan varias modificaciones de este receptor.

§. Variantes del receptor de un sólo transistor

En primer lugar, conecta en serie otra batería más 3336Λ en el circuito de alimentación para elevar la tensión de la fuente de alimentación hasta 9 V, y lo mismo que antes consigue con el resistor variable la recepción a volumen máximo, no distorsionada, del sonido de la misma emisora.

Los auriculares darán ahora un sonido algo más intenso. Esto se debe a que aumentando la tensión de la fuente de alimentación aumentas al mismo tiempo la tensión en el colector del transistor y, por lo tanto, su amplificación.

Después sustituye la hatería de alimentación por una pila tipo 332 ó 343. En este caso para conseguir el mayor volumen de recepción

tendrás que disminuir la resistencia de la cadena de resistores de ajuste previo. El sonido de los auriculares será más débil.

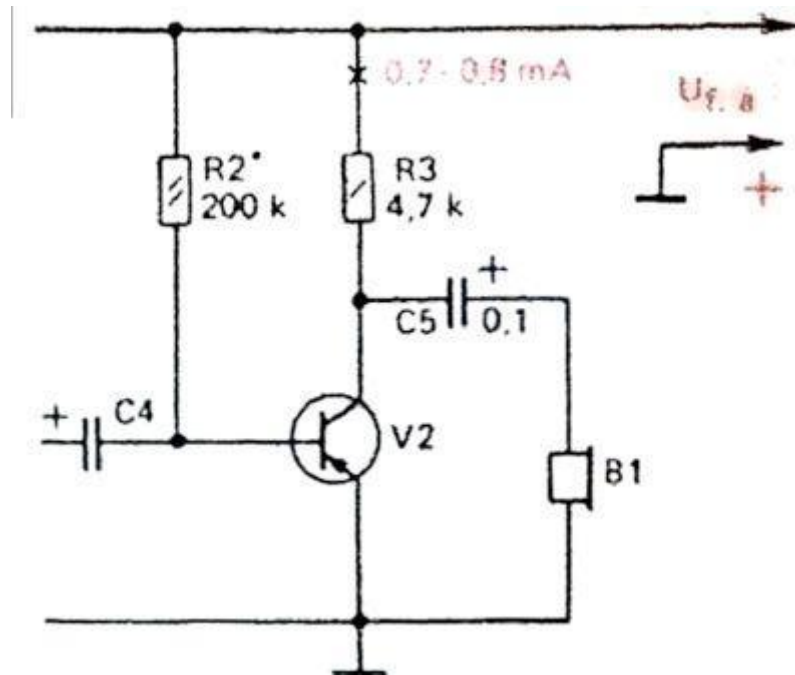


Figura 89. Esquema del amplificador con carga por resistencia

¿Depende el volumen del sonido de los auriculares del factor estático de transferencia de corriente h_{21E} del transistor? Indudablemente, y mucho más que de la tensión de la fuente de alimentación. Cuanto mayor sea el factor h_{21E} del transistor utilizado y la tensión de la fuente de alimentación, tanto mayor deberá ser la resistencia del resistor en el circuito de base del transistor. Puede ocurrir que a tu disposición sólo tengas transistores con factor h_{21E} pequeño, por ejemplo, igual a 10 15. Un transistor con este factor h_{21E} produce menor amplificación de la señal de baja frecuencia y el sonido en los auriculares será más débil. Pero en este caso también es posible una recepción intensa del sonido si en el amplificador funciona no uno, sino dos transistores de éstos. Conéctalos entre sí como muestra la Figura 90: los colectores de los transistores juntos y el emisor del primer transistor, $V2$, con la base del segundo, $V3$. Se obtiene lo que se llama un *transistor compuesto* $V2V3$. La amplificación del transistor compuesto es aproximadamente igual al producto de los factores h_{21E} , de los transistores que lo forman. Así, por ejemplo, si el factor h_{21E} de cada uno de los transistores es 15, el factor de amplificación total del transistor compuesto será de cerca de 200.

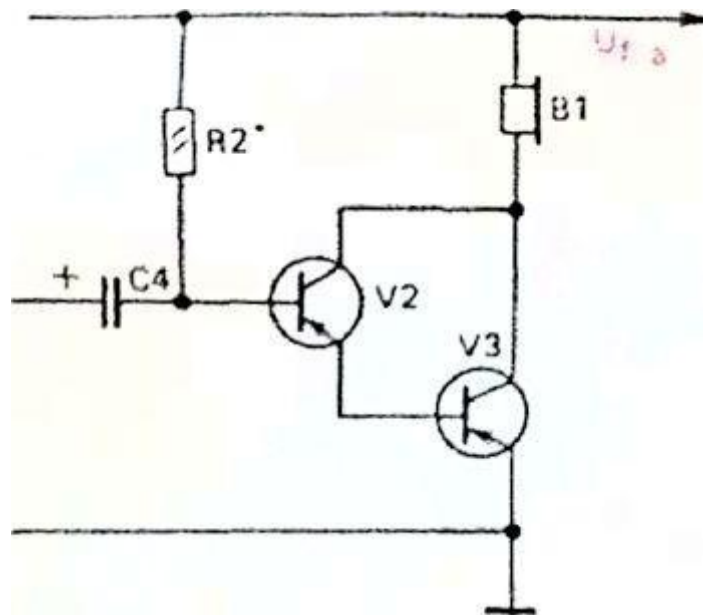


Figura 90. Amplificador, con transistor compuesto, del receptor

Comprueba el funcionamiento de un transistor compuesto en tu receptor experimental. Al hacerlo ten presente que el primer transistor (V2) debe ser aquel de los transistores componentes en el cual sea menor la corriente inversa de la unión colectora $I_{c.b.}$

¿Tiene que ser necesariamente electrolítico el condensador C4? No, pero su capacidad debe ser grande, en todo caso no menor de $1 \mu F$, para que oponga la menor capacitancia posible a la corriente de audiofrecuencia. Entre los condensadores de papel de dimensiones pequeñas no los hay con esas capacidades. Y si en este modo de acoplamiento del receptor se encontrará un condensador de menor capacidad, sobre él recaerá una parte mayor de la tensión de la corriente de frecuencia acústica que sobre la unión $p-n$ emisora del transistor, lo que ocasionaría pérdidas en la amplificación. Para disminuir las pérdidas, la capacitancia del condensador C4 debe ser, por lo menos, de 3 a 5 veces menor que la resistencia de entrada del transistor. Esta condición la satisfacen los condensadores electrolíticos.

¿Y no es posible eliminar por completo el condensador acoplador, uniendo directamente la base del transistor con el resistor R1? Si, es posible. Pero entonces hay que cambiar necesariamente la polaridad de conexión del diodo VI. En este caso el esquema del receptor toma la forma que se muestra en la Figura 91.

Ahora los resistores R1 y R2 forman un divisor, conectado a la batería, del cual se toma la tensión inicial de polarización de la base del transistor.

La función de carga fundamental del detector la desempeña ya no el resistor R1, como en la anterior variante del receptor, sino la unión emisora del transistor. Y como la resistencia de dicho unión es mucho menor que la del resistor R1, éste se puede eliminar del receptor.

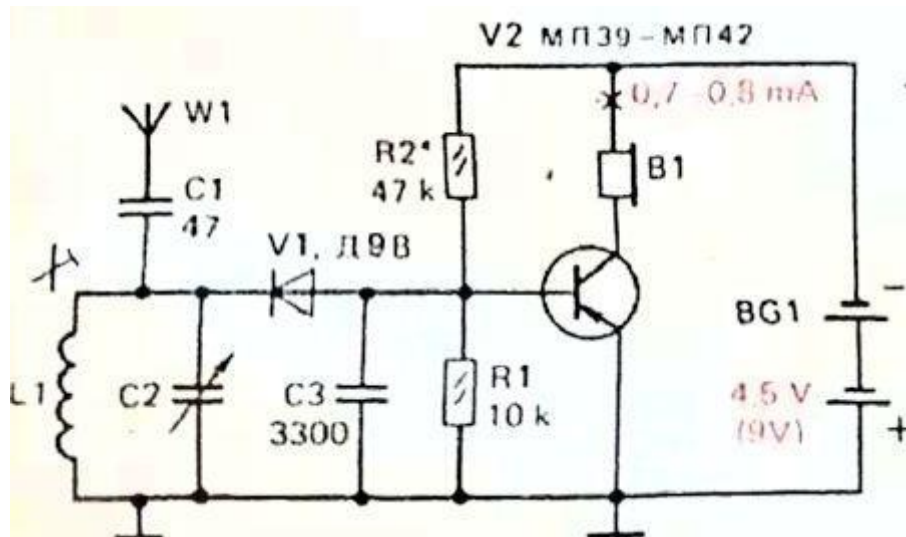


Figura 91. Esquema de una posible variante de receptor con un solo transistor

Prueba esta variante de receptor en acción. El régimen de funcionamiento del transistor establéclo como antes, seleccionando el resistor R2.

¿Por qué tiene que ser necesariamente la polaridad de conexión del diodo la que muestra la Figura 91? Porque si no fuera así, la base del transistor resultaría cerrada con el emisor por la corriente de base del transistor. Esto se explica muy fácilmente. Sobre la base del transistor, respecto del emisor, actúa una tensión negativa aproximadamente igual a 0,1 V. Si a ella se une no el ánodo, sino el cátodo, el diodo se abre, a través de él y de la bobina L1 pasa la corriente directa y aquél deja de cumplir la función de detector.

¿Y no sería posible eliminar también del receptor el diodo? Sí. Pero entonces el transistor tendría que ser de efecto-campo, por ejemplo, de la serie КП103.

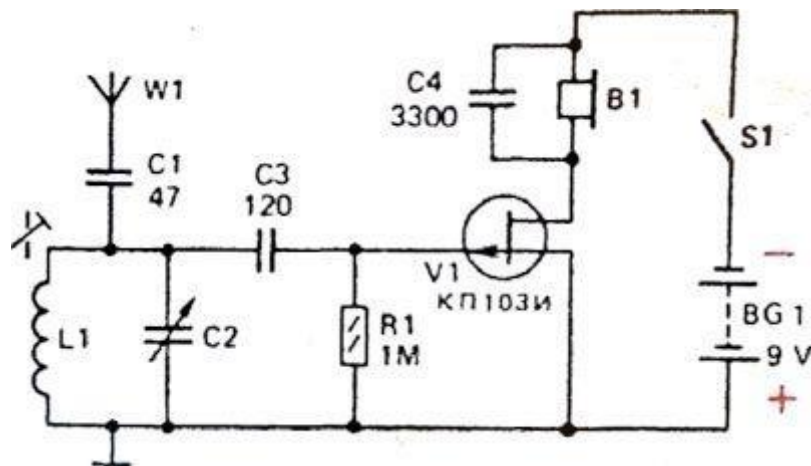


Figura 92. Esquema del receptor con transistor de efecto-campo

El esquema básico de esta variante de receptor se muestra en la Figura 92. En él, como puedes ver, no hay diodo. El transistor está conectado en circuito de MC. Entre el circuito oscilante de entrada $L1C2$ (que puede ser cualquiera) y el obturador del transistor está conectado el condensador $C3$ (de 100 a 150 μF), y entre el obturador y el manantial, el resistor $R1$ (de 750 $\text{k}\Omega$ a 1.5 $\text{M}\Omega$). Los auriculares, intercalados en el circuito del vertedero, están bloqueados por el condensador $C4$ (de 2200 a 3300 μF). De fuente de alimentación sirve la batería $BG1$ de 9 V de tensión (dos baterías 3336A acopladas en serie). La alimentación se conecta con el interruptor SI .

¿Cómo se efectúa la detección de las ondas de radiofrecuencia moduladas en este receptor? El papel de detector lo desempeña en él la unión $p-n$ entre el obturador y el canal.

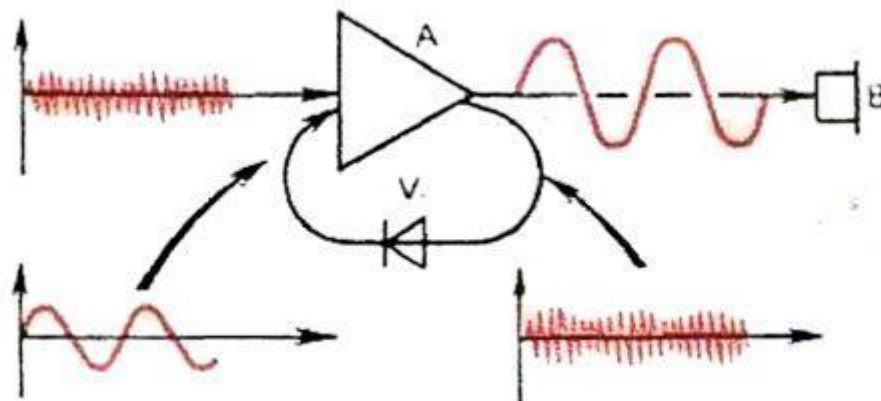


Figura 93. Esquema ilustrativo del principio de funcionamiento del receptor reflejo

Actuando como rectificador, esta unión crea en el resistor $R1$ oscilaciones débiles de audiofrecuencia, las cuales son ampliadas por el transistor y transformadas por los auriculares en oscilaciones acústicas. El condensador $C4$, que bloquea los auriculares en alta

frecuencia, desempeña el mismo papel que el condensador análogo a él del receptor de cristal.

La resistencia de entrada del transistor de efecto-campo es enorme, millares de veces mayor que la del transistor bipolar conectado en circuito de EC. Esta ventaja del transistor de efecto-campo es la que permite utilizarlo en el receptor simultáneamente para detectar la señal de radiofrecuencia y amplificar las oscilaciones de audiofrecuencia.

La sensibilidad del receptor de un solo transistor se puede elevar mucho si su transistor, que funciona en el amplificador de audiofrecuencias, se utiliza también para amplificar las oscilaciones de radiofrecuencia, es decir, si el receptor se hace reflejo.

Lo esencial del funcionamiento de este receptor se ilustra con el esquema y las gráficas que se dan en la Figura 93. En ella el triángulo A representa convencionalmente un amplificador de transistor único. A su entrada llega, del circuito oscilante, la señal modulada de la estación de radiodifusión. Después de amplificada, esta señal es desmodulada por el diodo V; las oscilaciones de audiofrecuencia separadas por él se conducen a la entrada del mismo amplificador y, una vez amplificadas, los auriculares las transforman en sonido.

El esquema básico de una variante posible de este receptor puedes verlo en la Figura 94.

Analicemos sus circuitos eléctricos en las funciones que desempeñan sus elementos. El circuito de entrada lo forman el circuito oscilante LIC2, que ya conoces, que se sintoniza a la señal de la estación emisora por medio del condensador de capacidad variable C2, y la antena y la toma de tierra conectadas a él.

A través de la bobina de acoplamiento L2, inductivamente acoplada a la bobina del circuito oscilante L1, la señal captada de radiofrecuencia modulada llega a la base del transistor VI, conectado en circuito de EC.

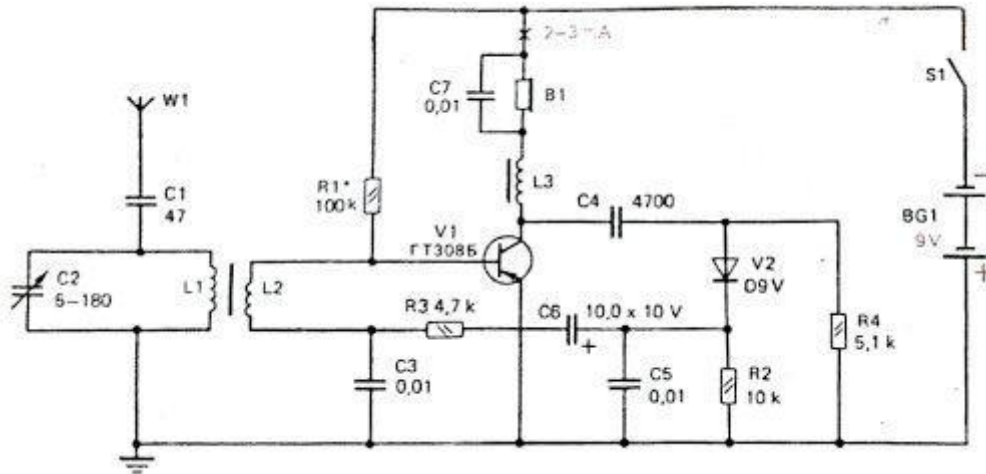


Figura 94. Esquema básico del receptor reflejo de un solo transistor amplificador de radio y audiofrecuencia, es decir, como una cascada refleja.

La tensión de polarización, que pone al transistor en régimen de amplificación, se suministra a la base a través del resistor R1. En esta parte del receptor tampoco hay nada nuevo para ti.

Desconoces, por ahora, el circuito colector del transistor. En virtud de que el transistor se utiliza para amplificar las señales tanto de radio como de audiofrecuencia, en su circuito colector hay dos cargas: una de alta frecuencia, la bobina de choque L3, y otra de baja frecuencia, los auriculares B1. La bobina de choque L3 es una bobina de inductancia que opone a las oscilaciones de radiofrecuencia una gran resistencia. Después de pasar por ella, la señal de radiofrecuencia, amplificada por el transistor, llega, a través del condensador separador C4, al diodo V2 y es desmodulada por él. El resistor R2 es la carga del detector. Las oscilaciones de frecuencia acústica que se crean en el resistor, a través del condensador C6, el resistor R3 y la bobina de acoplamiento L2, llegan a la base del transistor. Junto con la señal de alta frecuencia, se estabilizan y, después de pasar libremente por la bobina de choque L3, son transformadas en sonido por los auriculares. De este modo, la etapa del transistor V1 funciona al mismo tiempo como amplificador de radio y audiofrecuencia, es decir, como una cascada refleja.

El circuito formado por el diodo V2, el resistor R2 y el condensador C5 debe recordarte al circuito detector de la primera variante del receptor de un solo transistor (Figura 87). Sólo que allí la señal de radiofrecuencia llegaba al circuito detector directamente del oscilante, mientras que en este receptor es amplificada previamente por la transistor. El condensador C4, que deja pasar sin dificultad las oscilaciones de radiofrecuencia, prácticamente le impide el paso a las de audiofrecuencia y se lo cierra por completo a la corriente Continua. El resistor R4 mejora las condiciones de trabajo del diodo. El

condensador eléctrico C6 es un elemento acoplador, y el resistor R3 y el condensador C3 forman un filtro que depura la señal de audiofrecuencia de la componente de alta frecuencia. Sin este filtro, entre el colector y la base del transistor (a través del circuito detector) puede surgir una reacción parásita de alta frecuencia, la etapa amplificadora se autoexcitará y en los auriculares se oirá un sonido silbante.



Figura 95. Anillo de ferrita (a), bobina de choque de alta frecuencia (b) y lanzadera de alambre para devanar el hilo

Ahora unas palabras acerca de los elementos. El transistor V1 debe ser para alta frecuencia, por ejemplo, el ПТ308 o uno de los П401 a П403 cualquiera que sea su índice literal. El diodo V2, uno cualquiera de las series Д9 o Д2. El condensador C4, de mica o de cerámica, de 300 a 510 μF de capacidad. Los condensadores C3, C5 y C7 pueden ser del tipo МБМ o КЛС de 3300 μF a 0.01 μF de capacidad. El condensador C6, del tipo К50-6 o К53-1, y los resistores R1 y R3, del tipo МАТ-0,125, o МАТ-0,25.

La bobina de choque de alta frecuencia L3 hazla tú mismo. De núcleo para ella te servirá un anillo de ferrita de la marca 400HH o 600HH de 6-8 mm de diámetro interior (Figura 95b). En él hay que enrollar 180-200 espiras de hilo ПЭВ-1 0,12-0,18, prácticamente hasta llenar el orificio del anillo. No debe emplearse hilo más grueso, ya que puede no caber el número de espiras necesario. Sujeta los terminales y las espiras del devanado con unas gotas de cola БФ-2.

Para que te sea más fácil devanar el hilo en el anillo, haz una lanzadera (Figura 95c) con dos trozos de alambre de cobre desnudo de 0,8 a 1 mm de diámetro y de 60 a 70 mm de largo. Los dos trozos suéldalos entre sí en varios puntos. Toda la lanzadera y, en particular, los extremos de las horquillas, líjalos con papel de grano fino para que no estropeen el aislamiento del hilo de devanado.

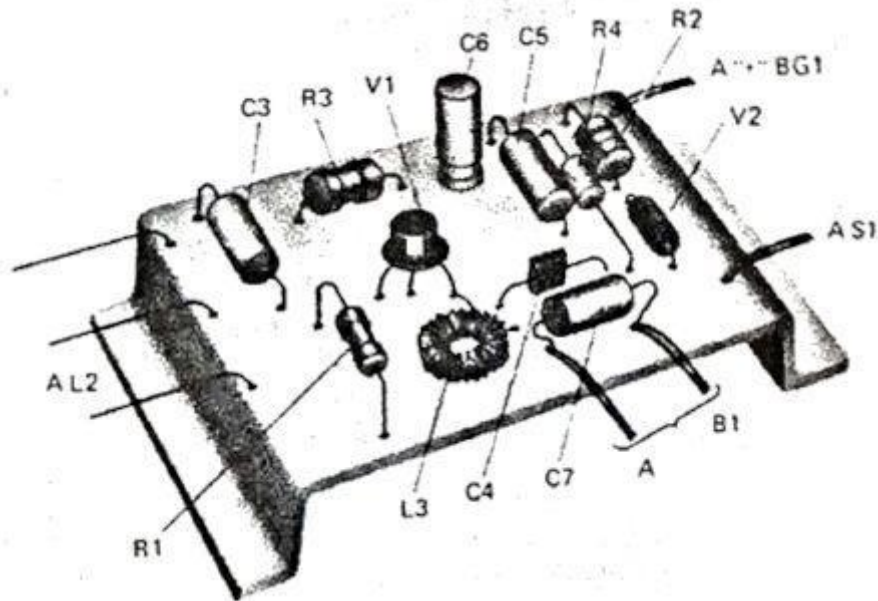


Figura 96. Montaje de los elementos del amplificador y del circuito detector del receptor reflejo

Arrolla en la lanzadera la longitud de hilo suficiente para todo el devanado de la bobina. La longitud media de una espira de alambre puedes medirla. Aproximadamente será de 10 a 12 mm. Por lo tanto, para una bobina de choque de 200 espiras habrá que arrollar a la lanzadera, teniendo en cuenta cierta reserva, cerca de 2,5 m de hilo. Pasando la lanzadera por el orificio del anillo de ferrita, ve devanando apretadamente las espiras y presta atención a que el hilo no forme lazos ni se estropee su aislamiento. Antes de empezar a enrollar el hilo mata los filos del anillo con papel de lija.

Para alimentar el receptor utiliza dos baterías 3336Λ acopladas en serie. El interruptor S1 puede ser de cualquier tipo. También puedes no ponerlo. En el receptor experimental se puede conectar la alimentación juntando los conductores.

El circuito oscilante puede ser cualquiera de los que te sirvieron en la charla tercera. Sólo que sobre la bobina del circuito, o al lado de ella, sobre una barra de ferrita, hay que devanar la bobina de acoplamiento L2, de 15 a 20 espiras de hilo ПЭВ-1 o ПЭΛ de 0.18 a 0.2 mm de diámetro. El circuito oscilante es preferible sintonizarlo con un condensador de capacidad variable, por ejemplo, con el КПЕ-180 o con el condensador de ajuste (trimmer) КПК-2 de 150 μF de capacidad máxima.

Los elementos de los circuitos amplificador y detector móntalos en un panel de cartón de aproximadamente, 80 × 50 mm (Figura 96). Los elementos disponlos sobre el panel y las conexiones entre ellos hazlas por debajo y suéldalas. El circuito oscilante con la bobina de

acoplamiento L2 lo conectarás a la entrada del amplificador después de ajustado.

Comprueba por el esquema básico todas las uniones, la corrección de conexión de los terminales del transistor y la polaridad del condensador electrolítico C6. Sólo después de cerciorarte de que no existen errores en el montaje puedes conectar la fuente de alimentación y comenzar el reglaje del receptor. No estaría mal que, una vez conectada la batería, midieras con un voltímetro la tensión que actúa entre los conductores de signos más y menos del circuito de alimentación. Si la batería está en buenas condiciones, esta tensión debe ser de 8.5 a 9 V. Si es mucho menor, quiere decir que la batería está parcialmente descargada, que se han cometido errores en el montaje o que el transistor tiene perforadas las uniones *p-n*.

El reglaje del amplificador consiste en establecer en el circuito colector la corriente que se recomienda, escogiendo el resistor R1. Para eso intercala en el circuito colector, un miliamperímetro, sustituye el resistor R1 provisionalmente por una cadena de resistores, como hiciste al ajustar el amplificador monoetápico R2 en la Figura 87), y con su ayuda establece en el circuito colector una corriente igual a 2-3 mA. Hecho esto, se puede conectar ya al amplificador el circuito oscilante con la bobina de acoplamiento y empezar las pruebas del receptor.

En primer lugar, desconecta la alimentación y ajusta el circuito de entrada del receptor. Para eso conecta el circuito oscilante la antena y la toma de tierra y, en paralelo con él, los auriculares y un diodo cualquiera de contacto puntual, acoplados en serie. Así resulta el receptor de cristal que ya conoces. Sintonízalo a una estación de radiodifusión cualquiera. Después une entre sí los conductores que vienen del condensador C7 (para cerrar esta parte del circuito colector mientras en él no estén los auriculares), acopla los auriculares en paralelo al resistor R2 y conecta la alimentación. Ahora las oscilaciones moduladas de radiofrecuencia serán amplificadas por el transistor, desmoduladas por el diodo V2, y las oscilaciones de audiofrecuencia creadas de este modo serán transformadas por los auriculares en sonido. Este debe ser bastante más intenso que el que se obtenía con el receptor de cristal.

Luego conecta los auriculares en el sitio que les corresponde en el circuito colector del transistor, sintoniza lo más exactamente posible el circuito de entrada con la frecuencia de la estación que recibas y, corrigiendo una vez más la corriente en el circuito colector del transistor, haz que los auriculares suenen con la intensidad máxima. Si se produce autoexcitación a causa del acoplamiento parásito entre los circuitos colector y de base del transistor, cambia de sitio entre sí los terminales de la bobina de choque de altas frecuencias o halla,

por medio de pruebas, una posición de ella en el panel de montaje con la cual desaparezca el sonido silbante en los auriculares.

Sólo queda medir la resistencia de la cadena de resistores de ajuste previo y sustituirla por un resistor de la misma resistencia nominal.

§. Breve resumen de lo tratado

La estructura y el funcionamiento de los elementos de las diversas variantes de receptor de cristal ya las conocías por las charlas tercera y cuarta. Por eso en esta charla he preferido prestar especial atención al funcionamiento del transistor en la etapa de amplificación de las oscilaciones eléctricas. Esto no es casual, ya que amplificadores semejantes formarán parte de muchas de tus construcciones. La mayor parte de la charla la he dedicado a hablar de un simple receptor de radiodifusión 0-V-1, es decir, de un receptor formado por un detector y una etapa de amplificación de las oscilaciones de audiofrecuencia. La última variante la refleja, aunque sólo tenía un transistor funcionaba como un receptor 1-V-1. Su sensibilidad es mucho mejor que la del receptor 0-V-1, como habrás podido comprobar en tus ensayos.

Hay que decir que entre los radioaficionados principiantes los receptores reflejos gozan de gran popularidad. Esto se explica porque con un número menor de transistores aseguran una recepción a más volumen de los programas de las estaciones de radiodifusión.

Pero los receptores reflejos tienen un defecto importante, su tendencia a la autoexcitación. Esto se debe a que, por mucho que "depure" la señal desmodulada, a la base del transistor también llega de la etapa refleja la componente de radiofrecuencia de la señal de la estación emisora. Con esto, entre los circuitos colector y de base del transistor surge una reacción parásita, positiva, irregulable, contra la cual no siempre pueden tomarse medidas eficaces. Como resultado, el receptor se autoexcita, se producen silbidos que distorsionan la recepción e incluso se ocasionan interferencias en otros receptores cercanos, por eso, construyas receptores de este tipo, no olvides estas peculiaridades tuyas.

En los receptores de que he hablado en esta charla se han utilizado principalmente transistores de germanio. Ahora la producción de estos transistores es ya limitada y en un futuro próximo cesará por completo. En las construcciones de los aficionados a la radio estos transistores están siendo desplazados cada vez más por los transistores de silicio. Por eso, ya en esta etapa de tu creación técnica procura prestar más atención a los transistores de silicio.

Tengo la seguridad de que las pocas horas que pases con el soldador en la mano no transcurrirán en vano, darás un nuevo paso en el

conocimiento de la técnica de la radiorrecepción. La experiencia acumulada de montaje, comprobación y ajuste del receptor te serán muy útiles en el futuro.

En cuanto a la construcción de tu primer receptor de transistores creo que en un problema que puedes resolver por tu cuenta. Por ejemplo, los elementos del amplificador se pueden armar sobre el panel que antes hiciste para el receptor de cristal. Y si el transistor es de efecto-campo, puede ocupar el puesto del diodo.

El procedimiento de ajuste del régimen de funcionamiento del transistor "a oído", que has practicado al regular tu primer receptor, es muy utilizado por los radioaficionados noveles. Pero es un procedimiento poco técnico y no da siempre buenos resultados. Es más correcto utilizar instrumentos de medida: la corriente en reposo del circuito colector debe medirse con un miliamperímetro; la tensión en el colector o la polarización en la base, con un voltímetro de corriente continua: la resistencia de los resistores, incluso de aquellos por cuya combinación se establecen los regímenes de trabajo recomendados para los transistores, con un ohmímetro. También conviene comprobar si el transistor está en buen estado y, antes de montarlo, medir sus parámetros fundamentales. Los instrumentos de medida mencionados y algunos otros puedes hacerlos tú mismo. De eso hablaremos en la charla siguiente.

Charla 8

Técnica de medición de primera necesidad

Contenido:

§. Probadores de medición

§. Miliamperímetro

§. Voltímetro

§. Ohmímetro

§. Miliampervoltohmímetro

§. Medición de los parámetros fundamentales de los transistores

* * * *

No ha habido ni una sola charla en la cual no haya hablado yo de mediciones eléctricas o de instrumentos de medida. Esto no fue casual, porque sin medidas es difícil, y a veces imposible, comprender lo esencial de determinados fenómenos eléctricos a hacer que funcione normalmente tal o cual dispositivo radiotécnico.

No son raros los casos en que un receptor o un amplificador ya montado, funciona mal o no "habla". La culpa de esto la tiene con frecuencia el aficionado mismo que no soldó bien, allá aisló mal los conductores o las uniones, acullá puso un elemento sin probarlo o confundió los terminales de un resistor. Y ahí está el resultado, el

receptor no funciona o lo hace muy mal. Estas y otras contrariedades semejantes deben prevenirse. Pero si a pesar de todo surgen, hay que saber hallar pronto sus causas y eliminarlas. Para esto sirven los diversos aparatos de control e instrumentos de medida que debes tener siempre a mano.

¿Te acuerdas de tus primeros pasos prácticos de radioaficionado? Construiste el receptor de cristal. Entonces fue posible prescindir de los instrumentos de medida porque todo era muy sencillo: varios elementos y dos circuitos acoplados. En eso consistía todo el receptor. Otra cosa es un receptor o un amplificador de transistores, incluso el más simple de ellos, por ejemplo, el de un solo transistor, ya requiere el empleo de un miliamperímetro para su reglaje. Sin un instrumento de medida es imposible poner el transistor en el régimen de trabajo más conveniente y obtener de él la amplificación máxima. Y cuanto más compleja sea la estructura, tanto más instrumentos de medida hay que tener. Para reglar, por ejemplo, un amplificador de audiofrecuencias transistorizado, aunque sólo sea de complejidad media, se necesitan además un voltímetro de gran resistencia de entrada, un generador de ondas acústicas y algunos otros instrumentos de medida. Sin ellos es preferible no empezar a construir aparatos de este tipo, porque sería perder tiempo y energías inútilmente y estropear elementos y materiales.

En esta charla sólo voy a hablar de aquellos aparatos de control e instrumentos de medida sin los cuales es sencillamente imposible ampliar tus conocimientos de radiotecnia. A estos dispositivos les daremos el nombre de instrumentos de medida de primera necesidad.

Empezaré por los más simples.

§. Probadores de medición

Probador con auriculares. El aparato de control más simple se puede hacer con unos auriculares y una batería 3336Λ. Acóplalos en serie, como muestra la Figura 97. Ése es todo el aparato.



Figura 97. Probador con auriculares

El elemento o circuito a comprobarlo conecta a la clavija libre de los auriculares y al segundo terminal de la batería.

Este probador debe utilizarse en el orden siguiente. Primero se comprueba el aparato mismo, tocando con la clavija libre el polo, también libre, de la batería. En los auriculares debe oírse un sonido bastante fuerte parecido a un chasquido. Un chasquido igual se oye en los auriculares cuando se desconectan de la batería. Si el chasquido se oye, el probador está en buen estado.

Para comprobar si hay rupturas en la bobina de un circuito, en el devanado de un transformador o en una bobina de choque hay que conectar a ellos el probador. Si la bobina o el devanado están en buenas condiciones, a través de ellos pasa corriente. En los instantes en que se cierra y se abre el circuito, en los auriculares se oyen chasquidos fuertes. Si en la bobina existe una ruptura, la corriente no pasa por ella y en los auriculares no se oye chasquido alguno. Por este procedimiento se puede comprobar cada uno de los devanados de un transformador.

Procediendo de igual forma, comprueba los condensadores. Si el condensador está en buenas condiciones, al cerrar por primera vez el circuito, en los auriculares del probador se oirá un chasquido, pero al abrirlo no se oirá. Cuanto mayor sea la capacidad del condensador, tanto más fuerte será el chasquido. Éste es producido por la corriente de carga del condensador que pasa por los auriculares. En un condensador de poca capacidad, la corriente de carga es pequeña y

por eso el chasquido será muy débil o no se oirá en absoluto. Y si al probar el condensador se oye el chasquido no sólo cuando se cierra el circuito, sino también cuando se abre, es señal de que el dieléctrico es de mala calidad o de que el condensador está perforado. Para probar un condensador de capacidad variable hay que intercalarlo en el circuito del probador y girar lentamente el eje de las placas móviles. Si en una posición cualquiera del eje se oye un chasquido en los auriculares, quiere decir que en este punto las placas móviles y fijas hacen contacto. En este caso hay que examinar el condensador, hallar el lugar en que las placas se tocan y subsanar el defecto.

De forma análoga, valiéndose del probador con auriculares, se pueden comprobar la seguridad de las conexiones de los conductores, el estado de los filamentos de las lámparas de incandescencia y otras muchas cosas. Pero con este probador no puede determinarse si una batería sirve o no, ya que en los auriculares se oirá un chasquido fuerte, aunque la batería esté descargada y no sirva ya para caldear el filamento de una lamparita ni para alimentar un receptor de transistores.

Probador universal. Valiéndote del probador cuyo esquema y estructura se dan en la Figura 98, puedes probar no sólo los elementos y los contactos, sino también "auscultar" el funcionamiento de muchos circuitos de los receptores o amplificadores.

Consiste en un panel de 40 × 60 mm sobre dos listones que le sirven de pies, en el que van montados los jacks para enchufar los auriculares y las sondas, el diodo V1 (cualquiera de contacto puntual), el condensador ('1 de 0.01 a 0.02 pF de capacidad y la pila G1 de 1.5 V de tensión (332 ó 316).

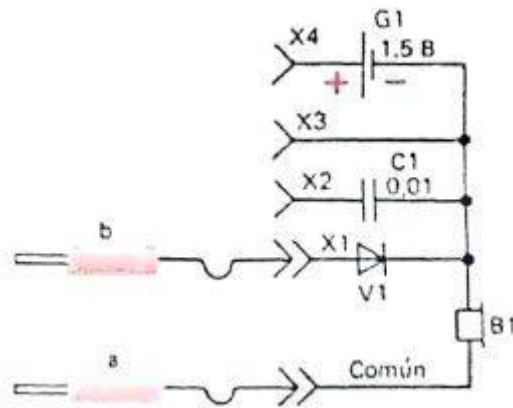


Figura 98. Probador universal

Con las sondas *a* y *b* se conecta el probador a los circuitos o elementos del receptor o amplificador que se quieren comprobar. La clavija macho *a* de la sonda está enchufada constantemente en el jack común ("Común") para todas las mediciones, sólo se conmuta la sonda *b*. Cuando la clavija macho *b* de la sonda se encuentra en el jack X1, los auriculares se ponen en contacto con el circuito a comprobar a través del diodo; cuando está enchufada en el jack X2, a través del condensador, y cuando lo está en el jack X3, los auriculares se conectan directamente al circuito que se comprueba.

El primer tipo de conexión del probador se utiliza para "auscultar" los circuitos de radiofrecuencia del receptor, en este caso las oscilaciones moduladas de la estación emisora a que está sintonizado el receptor son desmoduladas por el diodo y las oscilaciones de frecuencia acústica captadas las transforman los auriculares en sonido.

El segundo y tercer tipo de conexión se utilizan para verificar los circuitos de audiofrecuencias; cuando la sonda está enchufada en el jack X2, el condensador cierra el paso a la componente continua de la corriente a través de los auriculares, dejando pasar por ellos sólo a la componente de audiofrecuencia; y cuando dicha sonda está enchufada en el jack X3, a través de los auriculares puede pasar tanto la corriente continua como la de audiofrecuencia. El último tipo de conexión (en el jack X4) se emplea cuando el probador se utiliza para comprobar elementos, de un modo semejante al probador con auriculares.

Generador de sálaes elemental. También es un probador pero más universal que el anterior, ya que con su ayuda se puede probar no sólo el canal de audiofrecuencias de un receptor, sino también el de radiofrecuencias.

El esquema básico y una de las posibles estructuras de este aparato se representan en la Figura 99. Este es el llamado multivibrador, una de las variantes de los generadores de oscilaciones eléctricas. Del principio básico de funcionamiento del multivibrador y de la diversidad de sus aplicaciones, especialmente en automática, electrónica, trataremos detalladamente más adelante (en la charla decimosexta). Ahora sólo (diré que genera oscilaciones no sólo de una determinada frecuencia fundamental, sino también de muchas frecuencias múltiples, denominadas armónicas, hasta llegar a las de la gama de ondas cortas.

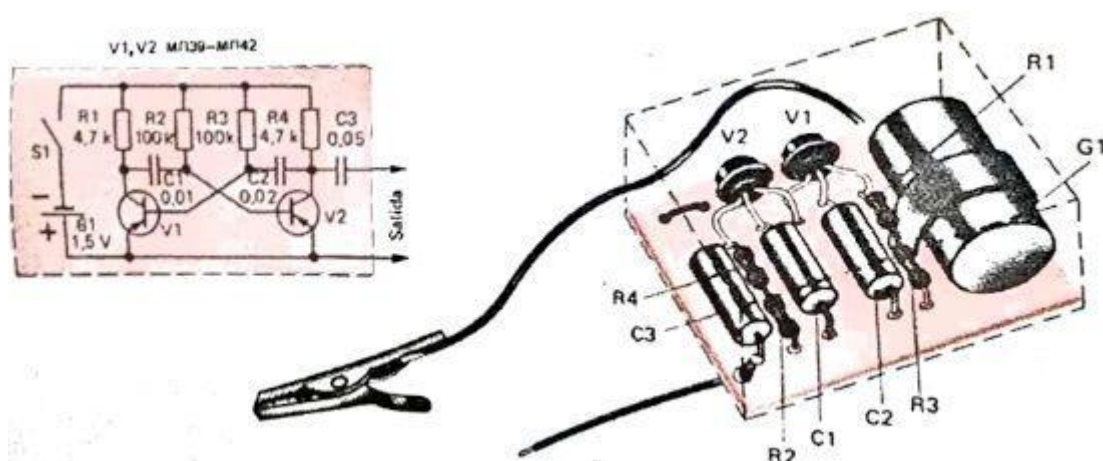


Figura 99. Generador de señales simple.

Este generador tiene dos transistores. La tensión de la señal se toma del resistor R4, que hace de carga del transistor V2, y, a través del condensador C3, se suministra a la entrada del amplificador o receptor a probar. Si el amplificador o receptor están en buen estado, en el altavoz se oye un sonido no distorsionado de tono correspondiente a la frecuencia de las vibraciones del generador. La frecuencia fundamental de la señal es de alrededor de 1 kHz y la amplitud de la señal de salida, de cerca de 0.5 V. Para alimentar el aparato se utiliza una pila de 1,5 V. La corriente que consume el generador no supera 0.5 mA. Por lo tanto, una pila puede alimentar al generador prácticamente durante más de un año, hasta que se desgaste totalmente.

Los transistores V1 y V2 pueden ser cualesquiera para pequeña potencia, baja frecuencia y cualquier factor h_{21E} . Lo importante es que no estén estropeados. Si el aparato está bien montado empieza a funcionar en cuanto se conecta la alimentación y no requiere ajuste

alguno. El funcionamiento del generador se puede probar conectando a su salida unos auriculares de gran resistencia óhmica. En ellos se oirá un sonido de tono intermedio. La frecuencia de las oscilaciones fundamentales del generador se puede variar utilizando en él condensadores C1 y C2 de otras capacidades. Cuando aumentan las capacidades de estos condensadores, la frecuencia de las oscilaciones disminuye, y cuando dichas capacidades disminuyen, la frecuencia aumenta.

Los elementos del generador se montan, como muestra la Figura 99, sobre una placa de cartón baquelizado (pertinax) de 50 × 70 mm. La batería G1 a la cual se le ha quitado la etiqueta, se sujeta a la placa con una abrazadera de hojalata que sirve de terminal del polo positivo de la pila. Interruptor de la alimentación no hace falta; durante la utilización del generador se puede cerrar con los conductores positivos el circuito de alimentación.

El conductor positivo de salida del generador, lo mismo que en el probador anterior, conviene proveerlo de una pinza ("cocodrilo"), y el otro, el que sale del condensador C3, hacerlo en forma de sonda. Para evitar que la señal se "infiltre" en el circuito del receptor o amplificador a comprobar sin pasar por el circuito de salida del generador* éste debe apantallarse (en el diseño, el blindaje se indica con líneas de trazos) y unir la pantalla al conductor positivo. El papel de la pantalla puede desempeñarlo una caja de hojalata o de hoja de aluminio (de las que envuelven el chocolate), la cual debe estar aislada de los otros circuitos del generador.

La estructura del aparato puede ser otra. Por ejemplo, los elementos se pueden montar muy juntos sobre una placa estrecha y meterlos en la caja de un condensador electrolítico estropeado. El generador puede ser muy pequeño si se utilizan en él transistores de dimensiones pequeñas y, para alimentarlo, un acumulador de disco tipo Д-0,06.

Los simples probadores de que he hablado hasta aquí sólo son una parte de los instrumentos de primera necesidad. Pero, ¿cómo medir las corrientes y las tensiones, sin lo cual es imposible comprobar y establecer el régimen de funcionamiento necesario del aparato, o los parámetros de los transistores, para conocer sus propiedades amplificadoras? Para éstas y otras muchas mediciones se necesita un instrumento de medida magnetoeléctrico, de aguja.

Los principales parámetros eléctricos por los cuales puede juzgarse la posibilidad de utilizar este instrumento para distintas mediciones son dos: la corriente de desviación máxima de la aguja I , es decir, la corriente con la cual la aguja se desvía hasta la última división de la escala, y la resistencia del cuadro del instrumento R_i . El primer

parámetro puede verse en la escala del aparato. Así, por ejemplo, si en la escala va escrito μA (microamperímetro) y junto a la última división de ésta figura la cifra 100, quiere decir que la corriente de desviación máxima de la aguja es igual a $100\ \mu\text{A}$ ($0,1\ \text{mA}$). Este instrumento sólo se puede conectar a un circuito en el cual la corriente no supere $100\ \mu\text{A}$. Una corriente más intensa podría deteriorarlo. El valor del segundo parámetro, R_i , necesario para calcular los instrumentos de medida que se construyen, se suele indicar en la escala. Para el instrumento de medida combinado, del cual voy a hablar en esta charla, se necesita un microamperímetro para $100\ \mu\text{A}$ de corriente, con escala grande si es posible. Cuanto menor sea la corriente para la cual esté calculado el instrumento y mayor su escala, tanto más exacto será el aparato de medida construido a base de él.

¿Cómo se puede saber el sistema de un instrumento dado sin abrirlo? Basta mirar el signo convencional que hay en su escala. Si representa un imán en forma de herradura con un rectángulo entre sus polos, el instrumento es de sistema magnetoeléctrico con cuadro móvil. Junto a éste debe haber otro signo que indica la posición en que debe encontrarse el instrumento al hacer las mediciones. Si no se observa esta condición, las indicaciones del instrumento no serán exactas. Si el microamperímetro se había utilizado antes como miliamperímetro, en su escala puede figurar la inscripción mA , si como amperímetro, la letra A , y si como voltímetro, la letra V .

Si el instrumento magnetoeléctrico se utiliza para medir corrientes relativamente intensas, por ejemplo, como amperímetro, en paralelo a su cuadro se acopla un resistor, llamado resistencia en derivación o shunt (Figura 100a). La resistencia R_{sh} se elige de tal forma que a través de ella pase la corriente fundamental y a través del instrumento de medida PA , sólo una parte de la corriente a medir. Si de este instrumento se quita la resistencia en derivación, la corriente máxima que podrá medirse con él será menor. En el caso en que el instrumento magnetoeléctrico se utiliza como voltímetro, en serie con su bobina se intercala un resistor adicional R_a (Figura 100b). Este resistor limita la corriente que pasa por el instrumento y eleva la resistencia total de este.

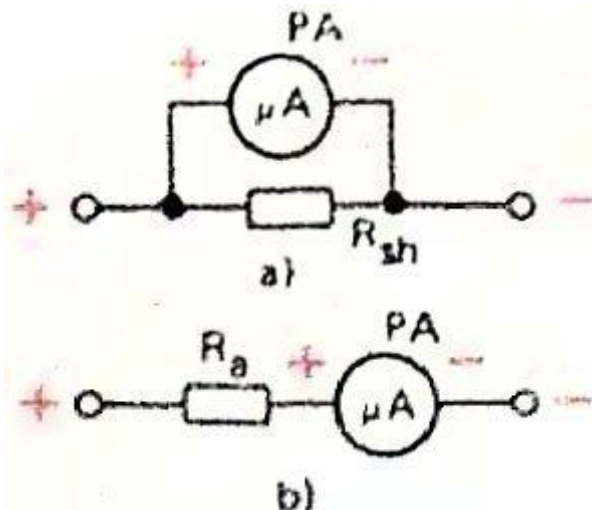


Figura 100. Conexión del shunt y del resistor adicional al instrumento de medidas eléctricas

Las resistencias en derivación (shunt) y los resistores adicionales pueden encontrarse tanto dentro de las cajas de los instrumentos (resistencias interiores) como fuera de ellas (resistencias exteriores). Para convertir un amperímetro, miliamperímetro o voltímetro en microamperímetro basta a veces quitarle el shunt o el resistor adicional.

§. Miliamperímetro

En la práctica tendrás que medir principalmente corrientes continuas de intensidad desde unas fracciones de miliamperio hasta 100 mA. Por ejemplo, las corrientes colectoras de los transistores de las etapas amplificadoras de radiofrecuencias y de las etapas de preamplificación de audiofrecuencia pueden ser aproximadamente de desde 0,5 hasta 3 - 5 mA, y las corrientes de los amplificadores de potencia pueden llegar hasta 60 - 80 mA. Por consiguiente, para medir corrientes relativamente pequeñas se necesita un instrumento para corriente I , no mayor de 1 mA. Y los límites de las corrientes que se miden se pueden ampliar aplicando un shunt (véase la Figura 101a).

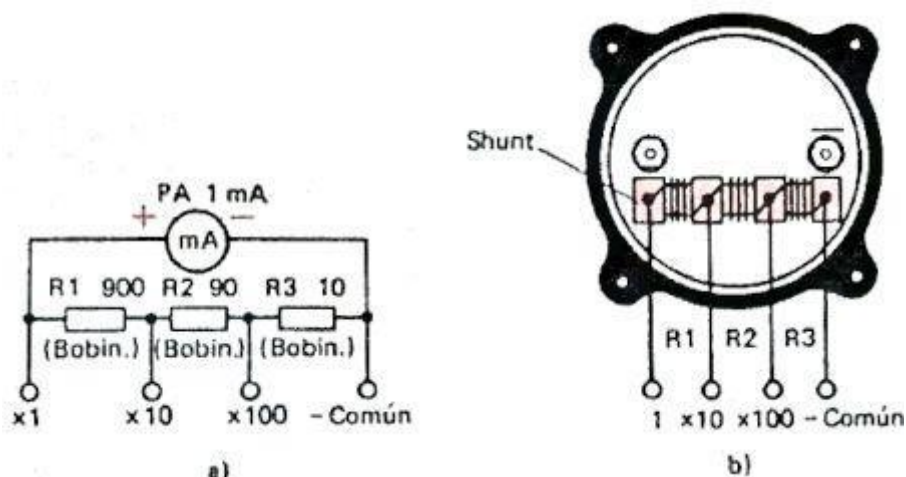


Figura 101. Miliamperímetro con shunt universal

La resistencia del shunt se puede calcular por la fórmula siguiente;

$$R_{sh} = I_i R_i / (I_{i \max} - I_i)$$

en la que $I_{i \max}$ es el valor máximo requerido de la corriente a medir, en mA. Si, por ejemplo, $I_i = 1$ mA, $R_i = 100 \Omega$ y la corriente necesaria $I_{i \max} = 100$ mA, resulta que $R_{sh} = I_i R_i / (I_{i \max} - I_i) = 1 \times 100 / (100 - 1) \approx 1 \Omega$.

Con este miliamperímetro se pueden medir las corrientes siguientes; sin el shunt, hasta 1 mA, con el shunt, hasta 100 mA. Cuando se mide la corriente máxima (de hasta 100 mA), a través del instrumento pasa una corriente no mayor de 1 mA, es decir, su centésima parte, y a través del shunt, 99 mA. Sin embargo, es preferible tener un límite de medición más, hasta 10 mA. Esto es necesario para medir, con más exactitud que por la escala de 100 mA, las corrientes de varios miliamperios, por ejemplo, las colectoras de los transistores de las etapas de salida de los amplificadores simples. En este caso el medidor de corriente se puede construir según el esquema que se muestra en la Figura 101a. En él se utiliza un shunt universal, constituido por tres resistores de hilo bobinado, R1-R3, que permiten aumentar los límites de las mediciones del miliamperímetro en 10 y 100 veces. Y si la corriente $I_i = 1$ mA, aplicando este shunt, cuya resistencia debe ser mucho mayor que R_i , el instrumento podrá medir corrientes continuas dentro de los límites de 0 a 1 mA, de 0 a 10 mA y de 0 a 100 mA. El borne "Común" es común para los tres límites de mediciones. Para conocer la intensidad de la corriente medida hay que multiplicar la corriente indicada por la aguja del instrumento por el valor numérico del coeficiente que hay al lado del borne correspondiente. Y como la corriente del instrumento es conocida, junto a los bornes, en vez de "x 1", "x 10", "x 100", se pueden escribir las corrientes límites medibles. En nuestro caso pueden ser las inscripciones: "1 mA", "10 mA" y "100 mA". Del

cálculo de shunt universal hablaré con más detalle en esta misma charla.

Los shunt se hacen, por lo general, de conductores con alta resistencia (manganina, niquelina o constantán), arrollándolos a armazones de materiales aislantes. El armazón del shunt de un miliamperímetro puede ser un listón de cartón baquelizado de longitud un poco mayor que la distancia entre los bornes del instrumento (Figura 101b). De terminales de shunt y de derivaciones de sus secciones sirven unos trozos de alambre de cobre sujetos en los orificios del listón. Desde ellos van los conductores a los bornes (o manguitos de contacto) del instrumento.

Tiene mucha importancia que los contactos en el shunt mismo sean seguros. Si en él hay una unión deficiente o una ruptura, toda la corriente que se mide pasará a través del instrumento y éste podrá estropearse.

Otro requisito indispensable es que: al circuito cuya corriente se mide debe conectarse el shunt, al cual va acoplado el miliamperímetro, y no al revés. De lo contrario, si hay un mal contacto entre los bornes del instrumento y el shunt, la totalidad de la corriente que se mide también pasará a través del instrumento y éste se estropeará.

§. Voltímetro

La aptitud de un voltímetro para medir las tensiones en unos u otros circuitos de un aparato radiotécnico se juzga por su resistencia interna o, lo que es lo mismo, por su resistencia de entrada, que se compone de la resistencia del resistor adicional. Así, por ejemplo, si la resistencia R , del instrumento es de 8000 y la resistencia del resistor adicional en el límite de las mediciones, digamos de 3 V, es igual a 2,2 k Ω , la resistencia de entrada del voltímetro en este límite de mediciones será de 3k Ω .

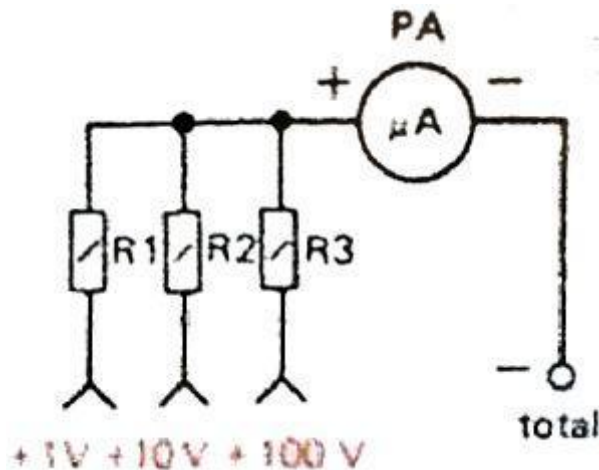


Figura 102. Voltímetro, para corriente continua, de tres limites de mediciones

Para otro límite de mediciones los datos del resistor adicional serán otros y, por lo tanto, variará la resistencia de entrada del voltímetro.

Pero es frecuente valorar el voltímetro por su resistencia relativa de entrada, que caracteriza la razón de la resistencia de entrada del instrumento a 1 V de tensión a medir, por ejemplo, 3 k Ω /V.

Esto es más cómodo, ya que la resistencia de entrada del voltímetro es distinta para diferentes limites de medición, mientras que la resistencia relativa de entrada es constante. Cuanto menor sea la corriente I_i del instrumento de medición utilizado en el voltímetro, tanto mayor será la resistencia relativa de entrada de éste y la exactitud de las mediciones que con él se efectúen.

Para muchas de tus mediciones te servirá un voltímetro con resistencia relativa de entrada no menor de 1 k Ω /V. Pero para mediciones más exactas de las tensiones en los circuitos de los transistores se necesita un voltímetro con mayor resistencia óhmica. En las construcciones con transistores hay que medir tensiones desde fracciones de voltio hasta varias decenas de ellos, y en las de lámparas, aún mayores. Por eso el voltímetro de un solo límite resulta incómodo. Por ejemplo, con un voltímetro de escala hasta 100 V no se pueden medir exactamente tensiones de 3-5 V, ya que la desviación de la aguja es casi imperceptible. Y con un voltímetro de escala hasta 10 V no se pueden medir tensiones más altas. Por eso te hace falta un voltímetro que tenga, por lo menos, tres límites de medición.

El esquema de un voltímetro semejante para corriente continua se muestra en la Figura 102. El hecho de que tenga tres resistores adicionales, R1, R2 y R3, pone de manifiesto que el voltímetro tiene tres límites de medición. En este caso el primer límite es de 0 a 1 V,

el segundo, de 0 a 10 V, y el tercero, de 0 a 100 V. La resistencia de uno cualquiera de los resistores adicionales se puede calcular por la formula, deducida de la ley de Ohm. $R_a = U_i / (I_i - R_i)$, en la que U_i es la tensión máxima del límite de mediciones dado.

Así, por ejemplo, para un instrumento de corriente $I_i = 500 \mu A$ (0,005 A) y resistencia de cuadro $R_i = 500 \Omega$ la resistencia del resistor adicional R_1 para el límite de 0 a 1 V deberá ser de 1,5 k Ω la del resistor R_2 para el límite de 0 a 10 V, de 19,5 k Ω , y la del resistor R_3 para el límite de 0 a 100 V, de 195,5 k Ω . La resistencia relativa de entrada de este voltímetro será de 2 k Ω/V . Por lo general, en el voltímetro se montan resistores adicionales cuyas resistencias nominales son próximas a las calculadas. El ajuste definitivo de las resistencias se hace al calibrar el voltímetro, acoplando en paralelo o en serie con ellas otros resistores. Haz tú lo mismo.

Pero a ti te hace falta medir no sólo tensiones continuas, sino también alternas, como la tensión en la red y las tensiones en los devanados secundarios de los transformadores. Para adaptar a este fin el voltímetro para corriente continua hay que añadirle un rectificador que transforme la tensión alterna en continua (o, más exactamente, en pulsatoria), la cual será indicada por el instrumento.

Un posible esquema de este instrumento se muestra en la Figura 103. Este voltímetro funciona como sigue.

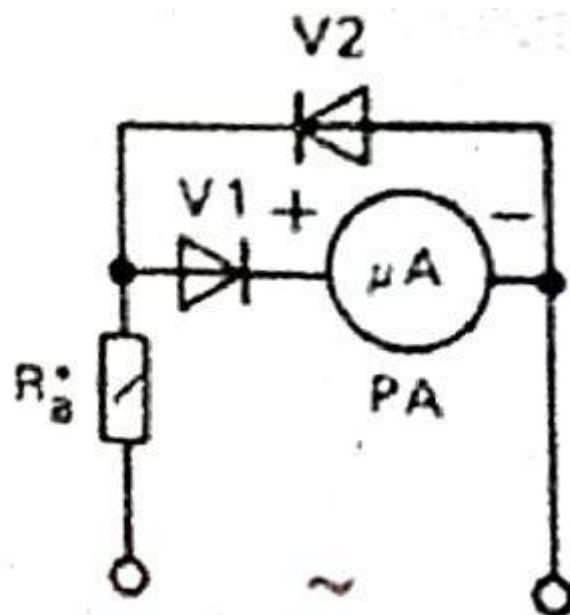


Figura 103. Voltímetro para corriente alterna

En aquellos instantes en que en el borne izquierdo (según el esquema) del instrumento son positivas las semiondas de la tensión alterna, la corriente va a través del diodo V_1 , conectado para ella en

sentido directo, y después, pasa por el microamperímetro PA, al borne derecho. Durante este tiempo la corriente no puede pasar a través del diodo V2, ya que en este sentido de la corriente dicho diodo está cerrado. En los intervalos de tiempo en que en el borne derecho son positivos los semiperiodos, el diodo V1 se cierra y las semiondas positivas de tensión alterna se cierran a través del diodo V2 sin pasar por el microamperímetro.

El resistor adicional R_a , lo mismo que su análogo en el voltímetro de corriente continua, extingue la tensión sobrante. Se calcula del mismo modo que para las tensiones continuas, pero el resultado que se obtiene hay que dividirlo por 2.5 ó 3 si el rectificador del instrumento es de una alternancia, o por 1.25 ó 1.5 si dicho rectificador es de dos alternancias, por lo que el resultado hay que dividirlo por 2.5 ó 3. La resistencia de este resistor se elige por vía experimental durante el calibrado de la escala del instrumento.

Con este voltímetro se pueden medir también las tensiones de audiofrecuencia de hasta varios kilohertzios.

§. Ohmímetro

Lo esencial del funcionamiento del ohmímetro consiste en que si en un circuito, formado por el instrumento de medida y una fuente de corriente continua, se intercalan resistores de distintas resistencias u otros elementos con resistencia óhmica, la intensidad de la corriente en dicho circuito varía. Respectivamente varia también el ángulo en que se desvíe la aguja del instrumento.

Para comprender mejor el principio en que se basa el funcionamiento del ohmímetro, haz el experimento siguiente. Forma con un miliamperímetro cualquiera, una batería 3336Λ y un resistor adicional, un circuito eléctrico cerrado, como el que muestra la Figura 104a. La resistencia del resistor adicional elígela de manera que la aguja del instrumento de medida se desvíe hasta el final de la escala (la resistencia puedes calcularla por la fórmula con la que calculamos la del resistor adicional para el voltímetro). Una vez escogido el resistor adicional, abre el circuito. Los extremos de los conductores que se forman al hacer esto serán la entrada del ohmímetro elemental que se obtiene (Figura 104b). Conecta a las sondas R, (que en la figura se representan por medio de flechitas) un resistor de resistencia pequeña, por ejemplo, de 10 Ω.

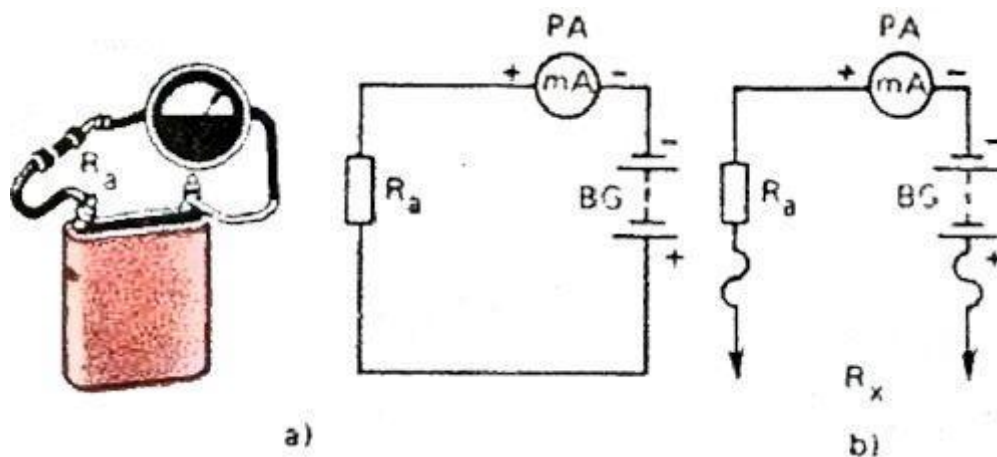


Figura 104. Ohmímetro simple: a, elección del resistor adicional; b, esquema del instrumento

La resistencia total del circuito será ahora mayor en la magnitud de la resistencia del resistor. Respectivamente, la corriente en el circuito disminuirá y la aguja del instrumento no se desviará hasta el final de la escala. Esta posición de la aguja se puede marcar con un trazo sobre dicha escala y junto a él escribir el número 10. Después conecta a los terminales R_x un resistor de $15\ \Omega$ de resistencia. La aguja del instrumento se desviará menos aún. Esta nueva posición de la aguja márcala también sobre la escala y ponle el número correspondiente. Ve conectando sucesivamente resistores de varias decenas de ohmios, de centenares y de kiloohmios e indica cada vez la desviación de la aguja que se obtiene. Si después de conectar a los terminales del ohmímetro elemental así calibrado un resistor de resistencia desconocida, la aguja del instrumento indicará sobre la escala la resistencia correspondiente a dicho resistor.

Cuando cierras en corlo circuito los terminales R_x , la aguja del instrumento debe situarse en la división extrema derecha de la escala. Esta división corresponde al "cero" del ohmímetro. El cero del miliamperímetro inicial corresponderá en el ohmímetro a una gran resistencia, que se indica con el signo ∞ (infinito). Pero las indicaciones de este ohmímetro sólo serán correctas mientras no disminuya la tensión de la batería a causa de su descarga. Cuando la tensión de la batería disminuya, la aguja del instrumento no mareará ya cero y el ohmímetro dará indicaciones falsas. Este defecto es fácil de subsanar en el ohmímetro construido según el esquema de la Figura 105.

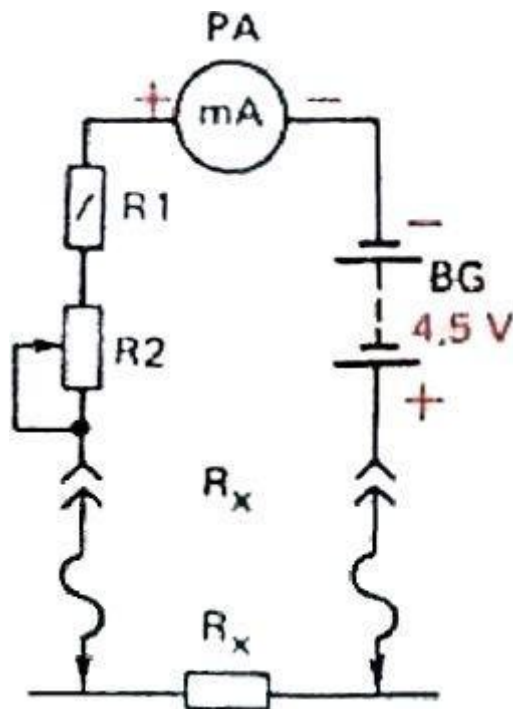


Figura 105. Ohmímetro con puesta a "cero"

En él, en serie con C1 instrumento de medida y el resistor adicional R_1 , va intercalado un resistor variable R_2 , que sirve para poner a cero la aguja del ohmímetro. Mientras la batería es nueva, en el circuito se introduce una gran parte de la resistencia del resistor R_2 . A medida que se va descargando la batería se reduce la resistencia del resistor. De esta forma, el resistor variable, que forma parte del adicional, permite regular la tensión en el circuito del ohmímetro y poner a cero su aguja. Por eso este resistor se llama corrientemente resistencia de puesta a cero del ohmímetro.

La resistencia de puesta a cero del ohmímetro debe constituir de 1/10 a 1/8 parte de la total del resistor adicional. Si, por ejemplo, la resistencia adicional total, según el cálculo, debe ser de 4,7 k Ω , la del resistor variable R_2 puede ser de 470 a 6200, la del resistor R_1 , de 3.9 a 4.3 k Ω . Con esto se hace innecesario el ajuste exacto de la resistencia del resistor adicional.

El manejo del ohmímetro no es difícil. Cada vez, antes de hacer una medición, hay que poner a cero la aguja del instrumento, cortocircuitando las sondas. Después, poniendo en contacto las sondas del ohmímetro con los terminales de los resistores, de los devanados de los transformadores o de otros elementos, se determinan sus resistencias por la escala calibrada. Con el tiempo la aguja no podrá ponerse a cero. Esto es señal que la batería se ha descargado y que hay que sustituirla por una nueva.

El ohmímetro puede utilizarse como probador universal, por ejemplo, para comprobar si hay rupturas en las bobinas de los circuitos, en los devanados de los transformadores o si hacen contacto entre sí dichas bobinas o devanados. Con el ohmímetro es fácil encontrar los terminales de los devanados de un transformador y, por su resistencia, conocer su destinación, comprobar si está roto el filamento de una lámpara de incandescencia, la calidad de los diodos, si hay contactos en el montaje o entre las armaduras de un condensador, la fiabilidad de las uniones por contacto y otras muchas cosas.

Debes recordar cómo se comporta el ohmímetro cuando se comprueban con él los condensadores. Si con las sondas se tocan los terminales de un condensador, la aguja del instrumento se desvía e inmediatamente retorna a la posición de resistencia muy grande. Este "salto" de la aguja se produce a expensas de la corriente de carga del condensador y será tanto mayor cuanto mayor sea la capacidad de este. Cuando se prueban condensadores de capacidad muy pequeña, las crestas de amplitud de la corriente son tan minúsculas que no se perciben, ya que la corriente de carga de estos condensadores es insignificante. Si al probar un condensador la aguja del ohmímetro se desvía hasta cero, el condensador está perforado, y si el ohmímetro, después de haber sido desviada su aguja por la corriente de carga, indica cierta resistencia, el condensador tiene fuga.

§. Miliampervoltohmímetro

Tú, sin duda, te habrás dado cuenta de que en el miliamperímetro, el voltímetro y el ohmímetro, cuyos principios de funcionamiento te he explicado, se utilizan instrumentos de aguja de un mismo tipo. Espontáneamente se plantea la pregunta: ¿no sería posible unificar todo esto en un instrumento de medida combinado? Si, se puede. Resulta un miliampervoltohmímetro, es decir, un aparato que sirve para medir corrientes, tensiones y resistencias.

El esquema básico de una variante posible de este aparato de medida se representa en la Figura 106.

En él se agrupan un miliamperímetro de corriente continua, de seis límites (0,1, 1, 3, 10, 30 y 100 mA), un voltímetro de corriente continua, de seis límites (1, 3, 10, 30, 100 y 300 V), un ohmímetro de un solo límite y un voltímetro de corriente alterna, de cinco límites (3, 10, 30, 100 y 300 V).

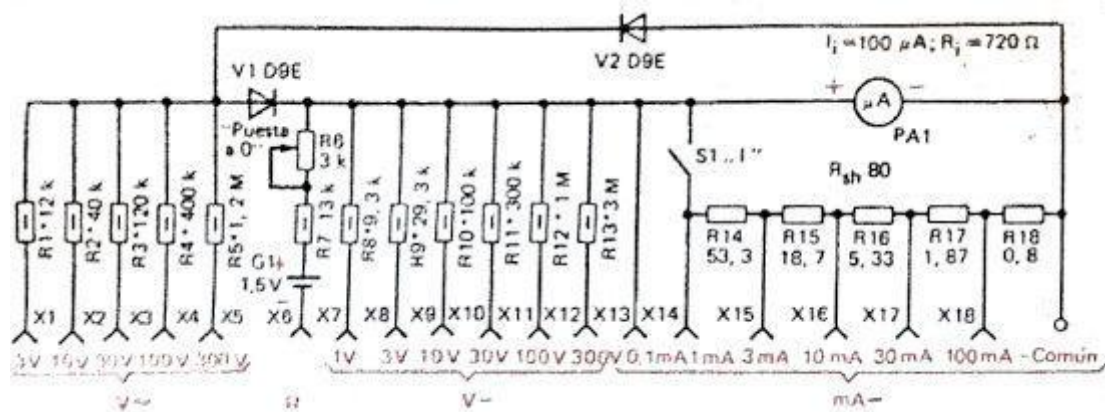


Figura 106. Esquema del miliampervoltohmímetro

El borne "Común", al cual se conecta una de las sondas de medición, es común para todos los tipos de medidas. El aparato se conmuta a los diferentes tipos y límites de medición cambiando la posición de enchufe macho de la segunda sonda: para medir corriente continua se enchufa en los jacks X13 a X18; para medir tensiones continuas, en los jacks X7 a X12; para medir resistencias, en el jack X6, y para medir tensiones variables, en los jacks X1 a X5. Cuando el aparato se utiliza como miliamperímetro para corriente continua, en todos los límites, excepto en el de 0,1 mA, hay que cerrar los contactos del interruptor S1 para conectar al shunt R_{sh} el microamperímetro PA 1.

Las resistencias de los resistores y los límites de las mediciones indicados en la Figura 106 corresponden a un microamperímetro de corriente $I_i = 100 \mu A$ con resistencia del cuadro $R_i = 7200$. Para microamperímetros con otros parámetros I_i y R_i las resistencias de los resistores para estos mismos límites de medidas hay que calcularlas.

La parte del aparato relacionada únicamente con el miliamperímetro de corriente continua (mA) consta del microamperímetro PA1, el interruptor S1, los resistores R14...R18 que forman el shunt R_{sh} , los jacks X13...X18 y el borne "Común". Cualquiera que sea el límite de medición, la corriente que pasa por el microamperímetro no supera la máxima.

Con arreglo al microamperímetro utilizado en el aparato de medida combinado que describo, voy a hablar del cálculo del shunt R_{sh} y de los resistores que lo componen R14...R18. Para esto, el primer límite, más pequeño, de medición con el shunt (1 mA), lo designaremos por I_{11} ; el segundo (3 mA), por I_{12} ; el tercero (10 mA), por I_{13} ; el cuarto (30 mA), por I_{14} , y el quinto, que es el mayor, (100 mA), por I_{15} .

Primero hay que determinar la resistencia total del shunt para el primer límite de medición I_{11} por la fórmula

$$R_{sh} = R_i / (I_{I1} / (I_i - 1)) = 720 / (0,1 - 1) = 80 \Omega$$

Hecho esto se pueden calcular los resistores componentes, empezando por el R18 para el mayor limite de medición I_{I5} (hasta 100 mA), en el orden siguiente:

$$R18 = (I_i / I_{I5})(R_{sh} + R_i) = (0,1/100) (720 + 80) = 0,8 \Omega;$$

$$R17 = (I_i / I_{I4})(R_{sh} + R_i) - R18 = (0,1/30) \times 800 - 0,8 = 1,87 \Omega;$$

$$R16 = (I_i / I_{I3})(R_{sh} + R_i) - R17 - R18 = (0,1/10)800 - 1,87 - 0,8 = 5,33\Omega;$$

$$R15 = (I_i / I_{I2})(R_{sh} + R_i) - R16 - R17 - R18 = (0,1/3)800 - 5,33 - 1,87 - 0,8 = 18,7 \Omega;$$

$$R14 = (I_i / I_{I1})(R_{sh} + R_i) - R15 - R16 - R17 - R18 = (0,1/1)800 - 18,7 - 5,33 - 1,87 - 0,8 = 53,3 \Omega.$$

Así se puede calcular también el shunt para un microamperímetro con otros parámetros I_i y R_i poniendo sus valores en estas fórmulas.

Ahora, acerca del voltímetro de corriente continua V. En esta parte del aparato entra el mismo microamperímetro PA1, los resistores adicionales R8...R13, los jacks de X7 a XI2 y el borne "Común" (los contactos del interruptor S1 están abiertos para desconectar el microamperímetro del shunt). Cada limite de medición tiene un resistor adicional independiente: el R8 es para el límite "1 V"; el R9, para el límite "3 V"; el R10, para el "10 V"; el R11, para el "30 V" y así sucesivamente. Cómo se calculan los resistores adicionales ya lo sabes.

La parte siguiente del aparato es el ohmímetro de un solo limite Ω . Lo constituyen: el microamperímetro PAI, los resistores R6 y R7, la pila G1, el jack X6 y el borne "Común". Une mentalmente el jack X6 con el borne "Común". Se forma un circuito cerrado (lo mismo que el de la Figura 105) en el cual la corriente depende de la tensión de la fuente de alimentación G1 del ohmímetro, de la resistencia total de los resistores R6 y R7 y de la resistencia del cuadro del microamperímetro. Antes de medir la resistencia de un resistor o de un trozo de circuito, las sondas de medir se juntan y, con el resistor R6 de "puesta a 0", la aguja del instrumento se coloca justamente en la división final de la escala, es decir, en el cero del ohmímetro. Si la aguja no llega hasta el cero del ohmímetro hay que sustituir la fuente de alimentación. La resistencia total de los resistores R6 y R7 se ha elegido de manera que cuando la tensión de la fuente de alimentación del ohmímetro es de 1,2 a 1,5 V en el circuito se puede establecer una corriente igual a la I_i del microamperímetro.

Con este ohmímetro se pueden medir resistencias de desde aproximadamente 100 a 150 Ω hasta de 60 a 80 k Ω .

El voltímetro para corriente alterna V lo integran: el microamperímetro, los diodos V1 y V2, los resistores adicionales R1 a R5, los jacks X1 a X5 y el borne "Común". Consideremos como ejemplo el circuito del límite de medición 3 V. Cuando se conectan las sondas de medición (jack XI, borne "Común") a una fuente de corriente alterna de hasta 3 V de tensión, la corriente pasa a través del resistor adicional R1, es rectificadada por el diodo V1 y hace que la aguja microamperímetro se desvíe al ángulo correspondiente al valor de la corriente rectificadada. Así funciona también el aparato en los otros límites de mediciones, la única diferencia consiste en las resistencias de los resistores adicionales. El papel del diodo V2 es secundario: dejar pasar a través de sí la semionda de tensión negativa, sin pasar por el microamperímetro. En principio este diodo podría suprimirse, pero, en este caso, cuando las tensiones a medir fueran grandes, la semionda negativa podría perforar el diodo V1 y el voltímetro para corriente alterna quedaría inutilizado.

Para un microamperímetro con otros parámetros I_i y R_i , los resistores adicionales puedes calcularlos lo mismo que los resistores para medir las tensiones de corriente continua y después dividir los resultados obtenidos por el factor 2.5.

Unas palabras sobre cómo elegir los límites de medición. Los mayores errores en las mediciones de las corrientes y tensiones se obtienen cuando sus magnitudes se leen en el primer tercio de la escala. Por eso, al elegir los límites de medición procura siempre que el primero de ellos (el menor) abarque el primer tercio de la escala del segundo límite; el segundo límite, el primer tercio de la escala del tercer límite y así sucesivamente. En este sentido se pueden considerar convenientes para las mediciones los límites siguientes; 0-1, 0-3, 0-10. 0-30 y 0-100. Éstos son precisamente los límites de medición de las corrientes y tensiones elegidos para el aparato combinado que te he recomendado.

Pero esto no significa que sólo éstos deben ser los límites de las mediciones. Teniendo en cuenta las dimensiones y el trazado de las divisiones de la escala del microamperímetro se pueden elegir otros límites, por ejemplo. 0-1, 0- 5, 0-25, 0-100. Sin embargo, la lectura de las magnitudes medidas hay que procurar hacerla fuera de los límites del primer tercio de la escala.

Una estructura posible del aparato de medida combinado, en la cual se utiliza un microamperímetro M24, puedes verla en la Figura 107.

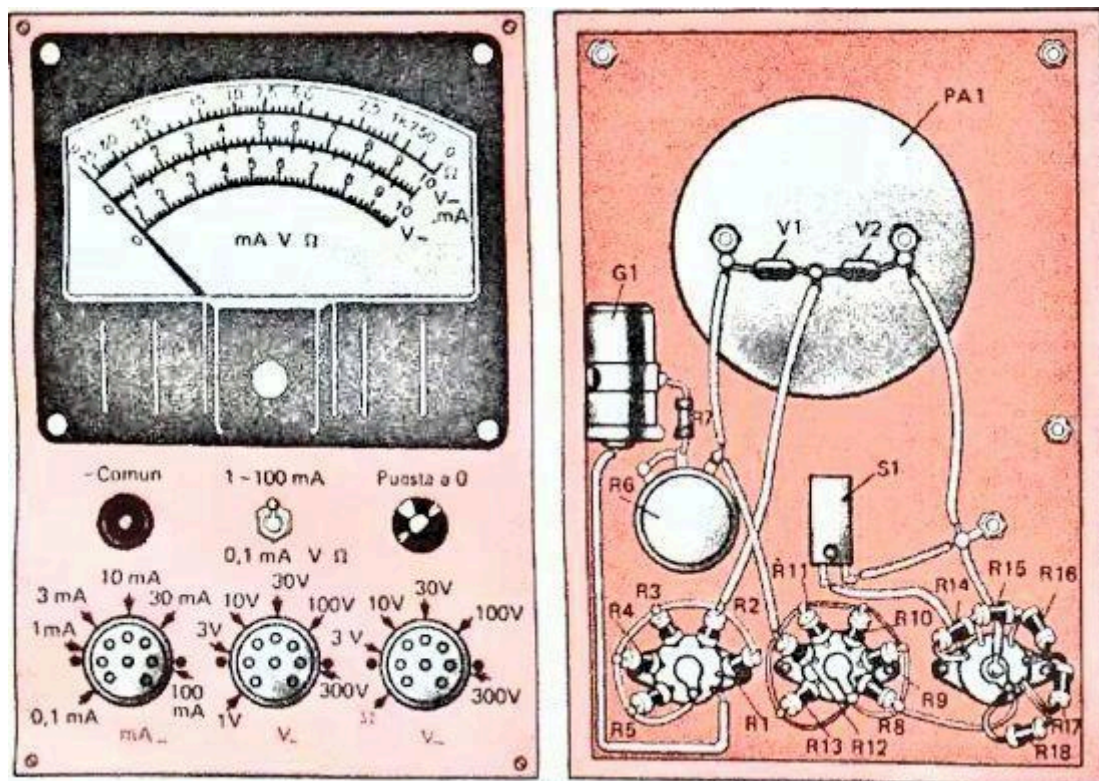


Figura 107. Estructura del miliampervoltohmímetro

El papel de contactos de entrada lo desempeñan los jack de tres zócalos para válvulas de siete clavijas y un borne. Los jack de uno de los zócalos son únicamente para el miliamperímetro, los del segundo zócalo, únicamente para el voltímetro de corriente continua y los del tercero, para el ohmímetro y el voltímetro de corriente alterna. El borne "Común" es el contacto de entrada común para todos los tipos y límites de mediciones.

El microamperímetro, los zócalos para siete clavijas, el resistor variable R6 (tipo 01-1) y el interruptor S1 (interruptor basculante, TB2-1) sujétalos en un panel de cartón baquelizado de 200 × 140 mm, y la pila G1 (332), en la pared lateral, de madera contrachapada o de tabla, del aparato. Los resistores del shunt y los adicionales de los voltímetros, móntalos directamente en los contactos de salida de los zócalos. Los conductores de montaje comunes de los resistores de los voltímetros pueden ser trozos de alambre de cobre desnudo, de 1 a 1,5 mm de grosor, soldados a los contactos centrales de los zócalos.

Como resistores adicionales utiliza los MAT-0.5 ó MAT-1,0. Los resistores de R14 a R18 del shunt deben ser de alambre. Utiliza para ellos alambre de manganina o constantán, de alta resistencia óhmica, de 0.08 a 0,1 mm de diámetro, con aislamiento de seda o de papel. Los trozos de alambre de la longitud necesaria arróllalos a las cápsulas de los resistores MAT-0,5 ó MAT-1,0, cuyas resistencias nominales mínimas deben ser de 20 a 50 kΩ y suelda sus extremos a

los terminales de alambre de éstos. La longitud del trozo de conductor correspondiente a la resistencia necesaria se puede calcular valiéndose de los datos que facilitan los manuales o midiéndola con un ohmímetro. Por ejemplo, un trozo de alambre de constantán ПЭК de 0,1 mm de diámetro y 1 m de longitud tiene una resistencia de $60\ \Omega$. Por lo tanto, para todo el shunt ($80\ \Omega$) se necesitarán 1,5 m de este conductor.

La resistencia de los resistores del shunt, por muy exactamente que se calcule, durante el calibrado del aparato hay que reducirla o aumentarla un poco, es decir, ajustarla a los parámetros del microamperímetro. Para no tener que alargar el hilo en caso de que su resistencia sea insuficiente, haz sus trozos para los resistores de un 5 a un 10% más largos que lo calculado.

La estructura de la sonda de medición puede ser como la que muestra la Figura 108.



Figura 108. Estructura de la sonda de medición

Consiste en una varilla (o alambre) de cobre o latón de 3 ó 4 mm de diámetro y de 120 a 150 mm de longitud, uno de cuyos extremos está afilado. A su otro extremo se suelda un conductor flexible, multifilar aislado que termina en una clavija unipolar, para enchufarla en uno de los jacks de los zócalos, en un terminal metálico en forma de horquilla, para conectarla al borne "Común". La varilla se enfunda en un tubo aislador de goma o policloruro de vinilo. Éste cubre toda la varilla de la sonda, incluso el lugar de soldadura con el conductor flexible. Del tubo sólo sobresale el extremo afilado de la varilla, con el cual pueden localizarse los puntos de los circuitos a medir. Si no encuentras un tubo aislador apropiado, envuelve la varilla de la sonda en una tira de papel, unta previamente con cola o un barniz cualquiera, y deja que se seque bien. El espesor de la capa de papel debe ser de 0,5 a 0,8 mm. Sobre el aislamiento de papel extiende una capa de la misma cola o barniz, o de pintura al aceite.

El calibrado del miliamperímetro y del voltímetro de corriente continua se reduce a ajustar las secciones del shunt universal y los resistores adicionales a la corriente máxima de los límites de medición, y el del voltímetro de corriente alterna y del ohmímetro, a trazar, además, sus escalas.

Para ajustar el shunt del miliamperímetro se necesita: un miliamperímetro patrón de múltiples límites de medición, una batería 3336A nueva y dos resistores variables, uno bobinado de 200 a 500 Ω de resistencia y otro de mástique (СП. СПО) de 5 a 10 k Ω . El primero de los resistores variables lo emplearás para regular la corriente al ajustar los resistores del R16 al R18, y el segundo, al ajustar los R14 y R15 del shunt.

Primero ajusta el resistor R14. Para esto une en serie (Figura 109a) el miliamperímetro patrón PA_p , la batería BG y el resistor de regulación R_r . Pon el cursor del resistor R_r en la posición de resistencia máxima. Conecta el aparato a calibrar PA_e , puesto en el límite de medición de hasta 1 mA (las sondas de medición deben estar conectadas una al borne "Común" y otra al jack X14, y los contactos del interruptor S1 deben estar cerrados). Luego, disminuyendo paulatinamente la resistencia del resistor de regulación, por el miliamperímetro patrón, establece en el circuito de medición una corriente igual exactamente a 1 mA. Compara las indicaciones de ambos instrumentos. Como la resistencia del hilo del resistor R14 es un poco mayor que la calculada, la aguja del aparato que se calibra pasará de la división final de la escala.

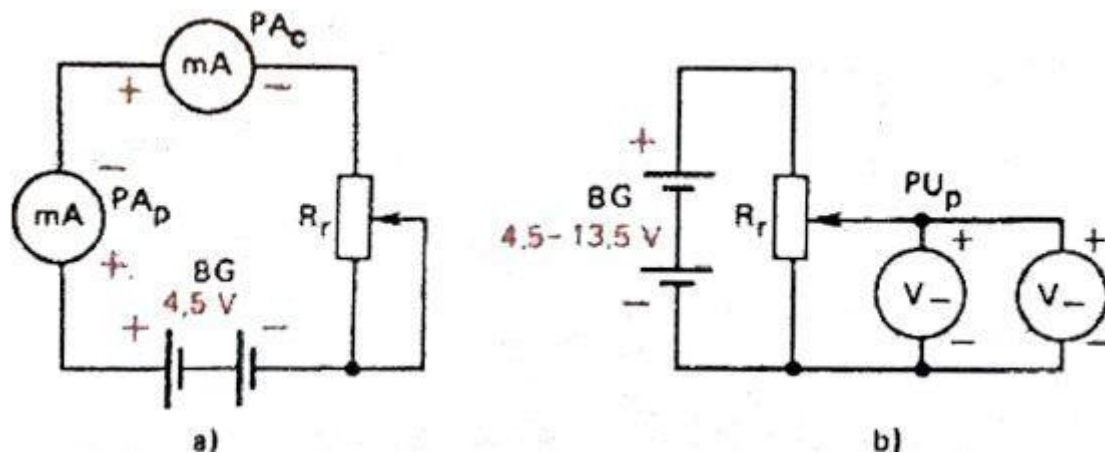


Figura 109, Esquema para el calibrado del aparato

Tu tarea consiste en, disminuyendo poco a poco la longitud del hilo del resistor, conseguir que la aguja del aparato que se calibra se pare exactamente frente al trazo final de la escala.

Después de esto pasa a ajustar el resistor R15 al límite de medición de hasta 3 mA, el resistor R16 al límite de hasta 10 mA y así sucesivamente. Al escoger la resistencia del resistor de turno, no toques los resistores del shunt ya ajustados, porque de lo contrario podrías alterar el calibrado de los límites de medición correspondientes a ellos.

La escala del voltímetro de tensión constante de los tres primeros límites (de 1, 3, y 10 V) calíbrala por el esquema que se muestra en la Figura 109b. En paralelo a la batería BG, compuesta, en dependencia de la gama, de una o de tres baterías 3336Λ (acopladas en serie), conecta mediante el potenciómetro el resistor variable R_r , de resistencia de 1,5 a 2,5 k Ω , y entre su terminal inferior (según el esquema) y el cursor intercala acoplados en paralelo los voltímetros patrón PU_0 y a calibrar PU_c . Previamente pon el cursor del resistor en la posición extrema inferior (según el esquema), correspondiente a la tensión nula suministrada de la batería BG a los instrumentos de medida, y el voltímetro a calibrar conectado en el límite de medición de hasta IV. Desplazando poco a poco el cursor del resistor hacia arriba (según el esquema) haz llegar al voltímetro una tensión igual exactamente a 1 V. Compara las indicaciones de ambos instrumentos. Si la aguja del voltímetro que se calibra no llega hasta la división final de la escala, la resistencia del resistor R_8 es grande; si, por el contrario, la rebasa, su resistencia es pequeña. Hay que elegir un resistor cuya resistencia sea tal, que cuando el voltímetro patrón indique la tensión de 1 V, la aguja del aparato que se calibra se pare frente a la división final de la escala. Del mismo modo, pero con las tensiones de 3 y 10 V, ajusta los resistores adicionales R_9 y R_{10} de los dos límites de medición siguientes.

Por este mismo esquema calibra también las escalas de los otros tres límites de medición, pero utilizando las fuentes de tensión continua correspondientes. Al hacer esto no es obligatorio suministrar a los instrumentos las tensiones máximas de los límites de medición. Las resistencias de los resistores se pueden ajustar para tensiones medias (por ejemplo, la del resistor R_{11} , para la tensión de 15 a 20 V) y después comprobar las indicaciones de los voltímetros para tensiones más bajas y más altas. De fuente de tensión para calibrar la escala límite hasta 300 V puede servir el rectificador de un amplificador termoiónico o de un receptor. En este caso resistor R_r puede sustituirse por otro cuya resistencia sea de 470 a 510 k Ω .

Entre los resistores fijos que produce la industria no suele haberlos con resistencias nominales que coincidan exactamente con las calculadas de los resistores adicionales. Por eso los resistores de la resistencia necesaria hay que elegirlos entre los de resistencia nominal más próxima a ellos, con una desviación tolerable no mayor de $\pm 5\%$.

Pero un resistor adicional de la resistencia necesaria también se puede componer de dos o tres resistores o proceder como sigue: incluir en el circuito del voltímetro un resistor cuya resistencia sea mayor que la necesaria y después conectar en paralelo con él resistores de resistencias aún mayores hasta conseguir que la aguja del aparato que se calibra se desvíe hasta el final de la escala.

Las escalas del miliamperímetro y del voltímetro para corriente continua son lineales. Por eso no se recomienda trazar en la escala del microamperímetro divisiones algunas entre las de cero y la final. La escala graduada del microamperímetro se utiliza para medir las corrientes y las tensiones en todos los límites de medición. En cambio, la escala del voltímetro de corriente alterna no es lineal. Por lo tanto, además del ajuste del resistor adicional a la tensión máxima de cada límite de medición, hay que trazar todas las divisiones intermedias de la escala.

El esquema del circuito de medición durante el calibrado del voltímetro de corriente alterna es el mismo que se utilizó para calibrar el voltímetro de corriente continua (Figura 109b). Sólo que al resistor variable R_r hay que suministrarle tensión alterna y el instrumento patrón debe ser un voltímetro para corriente alterna. La fuente de tensión alterna puede ser el devanado secundario de un transformador. Primero, utilizando un transformador que reduzca la tensión de la red hasta 12-15 V, conecta el voltímetro a calibrar en el límite de medición de hasta 3 V y establece con el resistor R_r , por la escala del voltímetro patrón, la tensión de 3 V. Luego, escogiendo la resistencia del resistor R_f , consigue que la aguja del microamperímetro se desplace hasta el final de la escala. Hecho esto, establece con el resistor de regulación las tensiones de 2,9; 2,8; 2,7 y así sucesivamente cada 0.1 V, y marca las indicaciones del voltímetro. Después, por estas indicaciones, traza la escala del voltímetro de tensión alterna para todos los límites de medición.

Para calibrar las escalas de los demás límites de medición bastará escoger los resistores adicionales de forma que correspondan a la desviación de la aguja del microamperímetro hasta la división final de la escala. Los valores intermedios de las tensiones medibles deben leerse por la escala del límite primero, pero en otras unidades.

La escala del ohmímetro se puede calibrar valiéndose de resistores fijos, con tolerancia de $\pm 5\%$ en la desviación de la resistencia nominal. Haz como sigue: conecta el instrumento para medir resistencias, cortocircuita las sondas y con el resistor variable R_6 , de "Puesta a 0", sitúa la aguja del microamperímetro en la división final de la escala, que corresponde al cero del ohmímetro. Luego, abre las sondas y conecta sucesivamente al ohmímetro resistores cuyas resistencias nominales sean de 50, 100, 200, 300, 400, 5000, 1 k Ω , etc., aproximadamente hasta 60-80 k Ω , y marca cada vez el punto sobre la escala hasta el cual se desplaza la aguja del aparato. En este caso las resistencias necesarias de los resistores pueden componerse de varios de éstos cuyas resistencias nominales sean otras. Así, por ejemplo, el resistor de 400 Ω (que no produce nuestra industria) se puede componer de dos resistores de 200 Ω cada uno; el resistor de 50 k Ω , de un resistor de 20 y otro de 30 Ω acoplados en serie.

Cuanto mayor sea la resistencia del resistor patrón, tanto menor será el ángulo de desviación de la aguja del aparato. Por los puntos de las desviaciones de la aguja correspondientes a las distintas resistencias de los resistores podrás construir la escala del ohmímetro.

Una muestra de las escalas del aparato de medida combinado se da en la Figura 110.

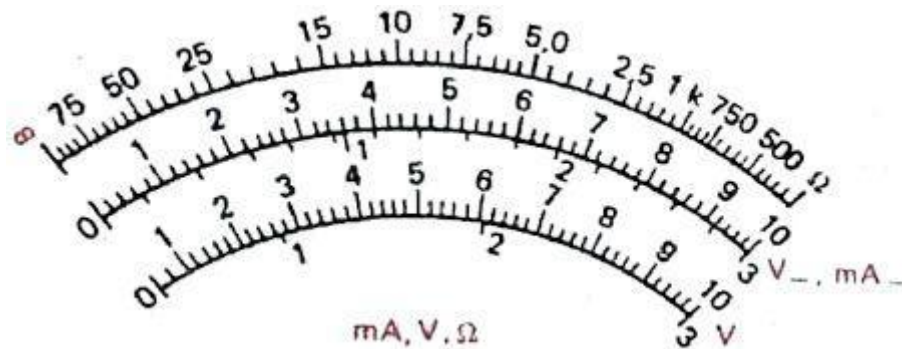


Figura 110. Escala del miliampervoltohmímetro

La escala superior es la del ohmímetro; la de en medio, la del miliamperímetro y del voltímetro de corriente continua, y la inferior, la del voltímetro de corriente alterna. Así, aproximadamente, deben ser las escalas de tu aparato. Dibújalas lo más exactamente posible en una hoja de papel de dibujo y recorta dicho papel siguiendo la forma de la escala del miliamperímetro. Saca después su caja, con mucho cuidado, el sistema magnetoeléctrico del instrumento y pega sobre su escala metálica la dibujada por ti, del miliamperímetro de límites de medición múltiples.

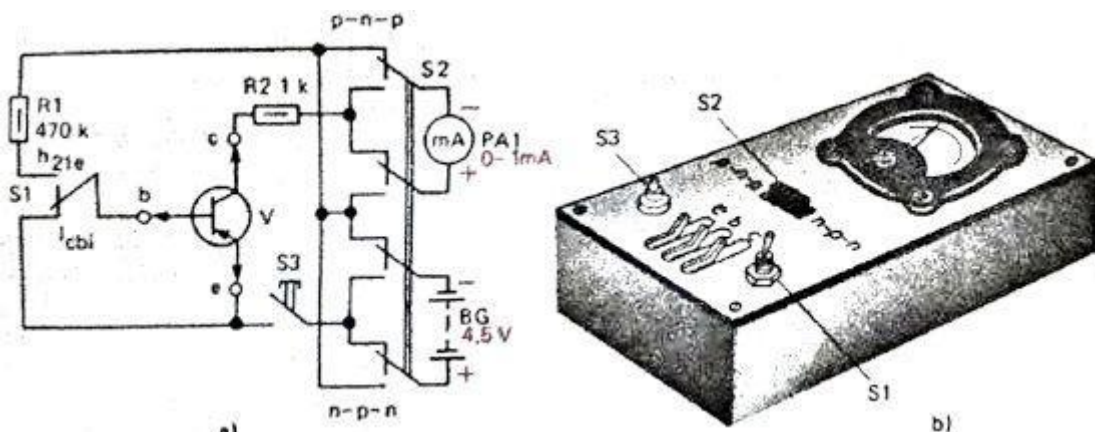


Figura 111. Esquema y aspecto exterior del aparato para comprobar transistores bipolares de poca potencia

¿Se puede simplificar este aparato? Claro que sí. Si no piensas construir aparatos de lámparas, puedes suprimir los resistores adicionales R4, R5 y R12, R13 de los límites de medición de las tensiones alternas y continuas de hasta 100 y 300 V, Queda un

miliamperímetro de corriente continua con cinco límites de medición, un voltímetro de corriente alterna con tres límites, un voltímetro de corriente continua con cuatro límites y un ohmímetro con un solo límite. Más adelante, todo lo que excluyas ahora para simplificar el aparato de medida, puedes restablecerlo.

§. Medición de los parámetros fundamentales de los transistores

Antes de montar un transistor en un aparato radiotécnico cualquiera es conveniente, y si el transistor ha sido utilizado con anterioridad, absolutamente necesario, probar su corriente inversa de colector I_{cbi} , el factor estático de transferencia de corriente h_{21E} y la constancia de la corriente colectora. Estos importantísimos parámetros de los transistores bipolares, de poca potencia, de estructura $n-n-p$ y $n-p-n$ puedes comprobarlos valiéndote del aparato cuyo esquema y estructura se representan en la Figura 111. Para él se necesita: un miliamperímetro PA1 para corriente de 1 mA, una batería BG de 4,5 V de tensión, un conmutador S1 para los tipos de mediciones, un conmutador S2 para cambiar la polaridad de conexión del miliamperímetro y de la batería, un interruptor de botón S3 para conectar la fuente de alimentación, dos resistores y tres pinzas tipo "cocodrilo" para conectar los transistores al aparato. Para conmutar los tipos de medición utiliza un interruptor basculante de dos posiciones, y para cambiar la polaridad de conexión del miliamperímetro y la batería de alimentación, un conmutador de cursor. El interruptor de botón puede ser cualquiera, por ejemplo, semejante al de un timbre o en forma de láminas que se cierran. De batería de alimentación sirve la 3336A o una formada por tres pilas 332 ó 316.

La escala del miliamperímetro debe tener diez divisiones principales, correspondientes a décimas de miliamperio. Al comprobar el factor estático de transferencia de corriente, cada división de la escala se valorará como diez unidades h_{21E} .

Los elementos del aparato móntalos sobre un panel de material aislante, por ejemplo, de cartón baquelizado. Las dimensiones del panel dependen de las de los elementos.

El aparato funciona como sigue: cuando el conmutador S1, para el tipo de medición, se encuentra en la posición I_{CB1} , la base del transistor V que se prueba resulta cerrada al emisor. Al conectar la alimentación, apretando el interruptor de botón S3, la aguja del miliamperímetro indica el valor de la corriente inversa de colector I_{CUI} . Cuando el conmutador se halla en la posición " h_{21E} ", a la base del transistor llega, a través del resistor R_t , la tensión de polarización, que crea en el circuito de la base la corriente que el transistor amplifica. En este caso la indicación del miliamperímetro, conectado

en el circuito colector, multiplicada por 100 corresponde al valor aproximado del factor estático de transmisión de corriente h_{2tE} del transistor dado. Así, por ejemplo, si el miliamperímetro indica una corriente de 0.6 mA, el factor h_{21E} del transistor dado será 60.

La posición de los contactos del conmutador que se muestra en la Figura 111a corresponde a la conexión del aparato para comprobar transistores de estructura $p-n-p$. En este caso al colector y a la base del transistor se hace llegar tensión negativa respecto del emisor, el miliamperímetro está conectado a la batería por el borne negativo. Para probar transistores de estructura $n-p-n$, los contactos móviles del conmutador S2 deben trasladarse a la posición inferior (según el esquema). Al mismo tiempo, al colector V a la base del transistor se hace llegar tensión positiva, respecto del emisor, y cambia también la polaridad de conexión del miliamperímetro en el circuito colector del transistor.

Al comprobar el factor h_{21E} de un transistor, presta atención a la aguja del miliamperímetro. La corriente colectora no debe variar ("flotar") con el tiempo. Un transistor con corriente colectora "flotante" no es apto para el trabajo.

Ten presente que

durante el tiempo que dura la comprobación del transistor éste no se puede tener en la mano,

ya que el calor de ésta puede hacer que varíe la corriente colectora.

¿Qué papel desempeña el resistor R2 acoplado en serie en el circuito colector del transistor que se comprueba? El de limitar la corriente en dicho circuito en el caso en que la unión colectora del transistor esté perforada y a través de ella pase una corriente intolerable para el miliamperímetro.

La corriente colectora inversa I_{CB} , máxima en los transistores para baja frecuencia y poca potencia puede alcanzar 20...25 pero no más de 30 μA . En nuestro aparato a esto corresponderá una desviación muy pequeña de la aguja del miliamperímetro, aproximadamente igual a la tercera parte de la primera división de la escala. La corriente I_{CHI} en los buenos transistores para alta frecuencia y poca potencia es mucho menor, de sólo unos microamperios, por lo que el aparato apenas si reacciona a ella. Los transistores en los cuales la corriente I_{CHI} supere varias veces la permisible, considéralos inservibles, ya que pueden fallar.

El aparato con miliamperímetro para 1 mA permite medir un factor estático de transferencia de corriente h_{21E} de hasta 100, es decir, el

de los transistores más utilizados. Un aparato con miliamperímetro para corriente de 5 a 10 mA amplía respectivamente en 5 ó 10 veces los límites de medición del factor h_{21E} . Pero este último aparato será casi insensible a los valores pequeños de la corriente colectora inversa.

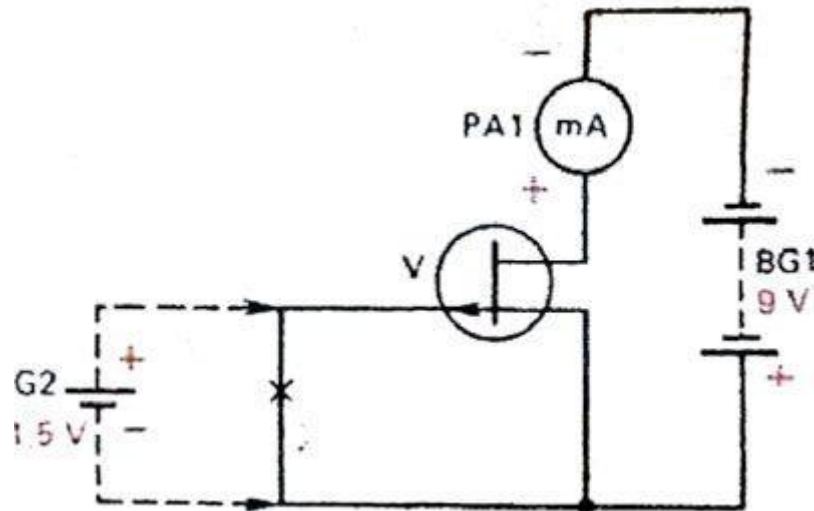


Figura 112. Esquema para la medición de los parámetros I_{vinc} y S de un transistor de efecto- campo

Seguramente te habrás hecho la pregunta: ¿no se podría utilizar en el aparato para comprobar los parámetros de los transistores, en calidad de miliamperímetro, el microamperímetro del aparato de medida combinado antes descrito? La respuesta es unívoca: sí, se puede. Para esto el miliamperímetro del aparato combinado hay que ponerlo en el límite de medición de hasta 1 mA y conectarlo al adaptador para comprobar transistores en vez del miliamperímetro PAL.

Y. ¿cómo se miden los parámetros fundamentales de un transistor de efecto-campo? Para eso no es necesario construir un aparato especial, tanto más por cuanto en tu práctica los transistores de efecto-campo no serán utilizados tan a menudo como los bipolares de poca potencia.

Para ti los parámetros del transistor de efecto-campo que más importancia práctica tienen son dos: la corriente de vertedero para la tensión nula en el obturador I_{vinc} y la pendiente S de la característica. Estos parámetros se pueden medir utilizando el esquema que se da en la Figura 112. Para eso se necesita: un miliamperímetro PA1 (emplea el aparato combinado conectado para medir corriente continua), una batería BG1 de 9 V de tensión ("Krona" o compuesta de dos baterías 3336Λ) y una pila G2 (332 ó 316).

Procede como sigue: el terminal del obturador del transistor que se comprueba únelo con el terminal del vertedero. Con esto el miliamperímetro indicará el valor del primer parámetro del transistor, es decir, la corriente inicial de vertedero $I_{v \text{ inic}}$. Anota su valor. Luego separa los terminales del obturador y del vertedero (en la Figura 112 se indica esto con un aspa) y conecta a ellos la pila G2 uniendo el polo positivo al obturador (en el esquema se indica con líneas de trazos). El miliamperímetro indicará una corriente menor que $I_{v \text{ inic}}$. Si ahora la diferencia entre las dos indicaciones del miliamperímetro se divide por la tensión de la pila G2, el resultado que se obtiene será igual al valor numérico del parámetro S del transistor que se comprueba.

Para medir estos mismos parámetros, pero de los transistores de efecto-campo con unión $p-n$ y canal tipo n , la polaridad de conexión del miliamperímetro, la batería y la pila debe invertirse.

Con los probadores de instrumentos de medición de que te he hablado en esta charla tienes bastante para empezar. Pero más adelante, cuando llegue la hora de construir y reglar aparatos de radio más complejos, por ejemplo, receptores superheterodinos o amplificadores de audiofrecuencia, necesitarás un voltímetro con elevada resistencia relativa de entrada y un generador de oscilaciones de audiofrecuencia. De estos aparatos, que completarán tu laboratorio de medición, te hablaré más tarde.

No obstante, debe estar claro que los aparatos que hagas tú mismo no deben excluir la adquisición de los que produce la industria. Si puedes, compra en primer lugar un ampervoltiohmímetro (avómetro), instrumento combinado que sirve para medir las tensiones y corrientes continuas y alternas, las resistencias de los resistores, de los devanados de las bobinas y transformadores, e incluso comprobar los parámetros principales de los transistores. En este instrumento, si lo cuidas bien, tendrás durante muchos años un buen ayudante en la construcción radiotécnica.

Charla 9

Tu taller

Contenido:

§. Aprende a soldar

§. Sobre algunos materiales y métodos de montaje

§. Bobinas de inductancia de los circuitos oscilantes

§. Montaje con circuitos impresos

§. Medidas de precaución al montar los transistores

* * * *

Espero que mis primeras charlas y la costumbre de trabajar adquirida en la escuela te hayan ayudado o construir y probar los primeros y más simples receptores transistorizados y algunos instrumentos de medida. Pero ya este corto camino de aficionado a la radio te habrá obligado a adquirir algunas herramientas de carpintero, ajustador y montador, así como materiales y elementos. Este "utillaje" de tu taller irá completándose con el tiempo.

Pero ante todo debes aprender a soldar bien, a dominar los procedimientos de montaje de aparatos de radio y la tecnología de fabricación de algunos elementos, conocimientos imprescindibles para todo radioaficionado.

§. Aprende a soldar

La seguridad de los contactos eléctricos entre los conductores y los elementos y la solidez del montaje en conjunto depende de la calidad de las soldaduras.

La herramienta principal para soldar es el soldador, que consiste en una barra o pieza de cobre rojo que se calienta hasta la temperatura de fusión de la soldadura o aleación para soldar. La barra tiene un extremo limado en forma de cuña, ésta es la parte de trabajo o filo del soldador. Los radioaficionados suelen utilizar soldadores eléctricos. La barra del soldador eléctrico va metida en un tubo metálico. Este tubo está envuelto por una capa de mica o de tejido de lana de vidrio.

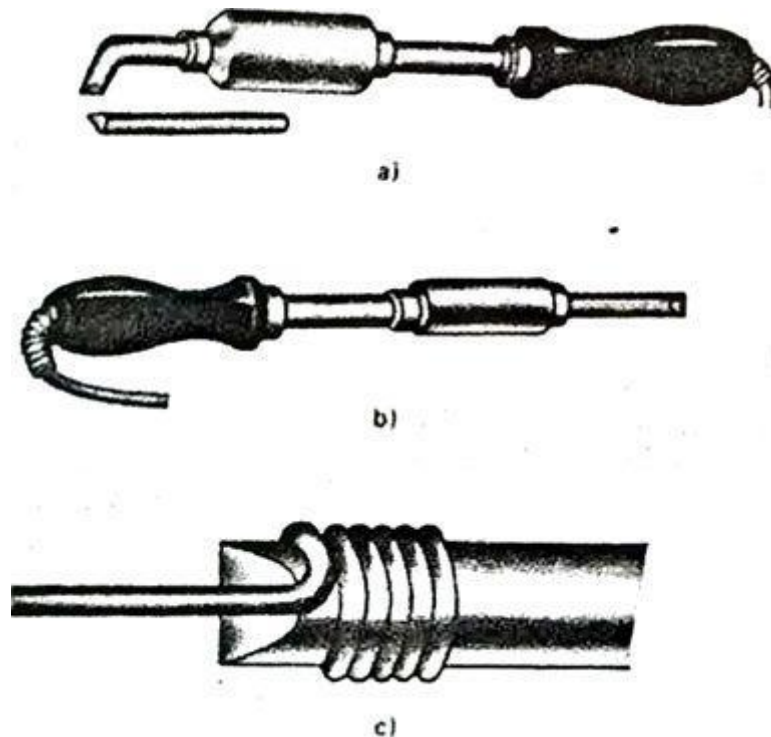


Figura 113. Soldadores eléctricos y suplemento para soldar piezas de radio pequeñas

Encima de esta capa aisladora va enrollado un alambre de nicromo, que hace de elemento de caldeo del soldador. Dicho arrollamiento va protegido por una capa de amianto y una cubierta metálica. Por el otro extremo termina el tubo en un mango de madera o de plástico. Por medio del enchufe de clavijas que tiene un cordón soldado al elemento de caldeo, el soldador se conecta en el tomacorriente de la red eléctrica. La corriente eléctrica caldea el alambre y éste cede calor a la pieza de cobre y la calienta.

La industria soviética fabrica varios tipos de soldadores eléctricos, calculados principalmente para tensiones de 127 y 220 V. El valor de la tensión para la cual está calculado el soldador y la potencia de la corriente que éste consume van estampados en su cubierta metálica. Como es natural, es preferible y menos peligroso utilizar un soldador calculado para la tensión de 25 ó 36 V. Pero para alimentarlo se requiere un transformador reductor.

En la Figura 113 se muestran dos de las estructuras más difundidas de soldadores eléctricos. Una de ellas (Figura 113a) tiene dos piezas de cobre intercambiables: una en forma de L invertida y otra recta. Para el trabajo se coloca en el tubo del elemento de caldeo aquella de las piezas con la cual resulta más cómodo soldar. El segundo soldador (Figura 113b) tiene recta la pieza de cobre, ésta es más delgada que en el primero y también se puede cambiar. Pero la principal diferencia entre estos soldadores no consiste únicamente en sus piezas de cobre: el primer soldador es más potente (de 80 a 100W), con él se pueden soldar piezas cuya masa sea considerable e incluso repararse pequeños objetos de uso doméstico: el segundo es menos potente (de 35 a 40 W) y se destina principalmente al montaje de aparatos de radio.

Conviene, claro está, tener dos soldadores de potencias distintas. El principal será el soldador eléctrico de 35 a 40 W de potencia. Sin embargo, este soldador no puede considerarse universal para montajes de radio. Con su corte, relativamente grueso, no siempre se puede "llegar" hasta cualquier punto del aparato que se monta. Además, la temperatura de dicho corte es demasiado alta, peligrosa para soldar elementos pequeños, terminales de transistores de pequeñas dimensiones y microcircuitos integrales. En estos casos se utiliza una boquilla (Figura 113), que consiste de una espiral de alambre de cobre estañado, de 1,5 a 2 mm de diámetro, que se ajusta en la pieza de cobre del soldador. Las piezas pequeñas se sueldan con la punta de la boquilla, calentada por la varilla de cobre del soldador.

Para soldar se necesitan también soldadura o aleación para soldar y fundente.

Se llaman *soldaduras o aleaciones para soldar* las aleaciones metálicas de baja temperatura de fusión con las cuales se suelda. A veces se utiliza como soldadura estaño puro. La varilla de estaño tiene la superficie de color plateado mate claro y si se dobla o comprime con unos alicates, cruje. El estaño puro es relativamente caro, por lo que sólo se emplea para estañar y soldar vasijas destinadas a preparar y guardar alimentos. Para los montajes radiotécnicos se suele utilizar una aleación de estaño y plomo cuyo aspecto es parecido al del estaño puro, pero de un mate menos claro, que funde a la temperatura de 180 a 200 °C.

Los *fundentes* son sustancias que se utilizan para que las partes de las piezas o conductores preparados para ser soldados no se oxiden al calentarlos con el soldador. Sin el fundente la soldadura no se "adhiera" a la superficie del metal.

Hay diferentes fundentes. En los talleres de reparación de baterías de cocina, por ejemplo, utilizan "ácido para soldar", que es una solución de zinc en ácido clorhídrico. Para el montaje de aparatos de radio este fundente no sirve, ya que, cuando el soldador se pone en contacto con él, salpica, ensucia el montaje y destruye con el tiempo la unión y los elementos pequeños. Basta que sólo una gotita pequeña de ácido caiga sobre el hilo de un devanado para que al cabo de cierto tiempo éste se haya corroído.

Para el montaje radiotécnico sólo sirven los fundentes en que no intervienen ácidos. Uno de ellos es la colofonia. Si se suelda en puntos fácilmente accesibles, se emplea colofonia en trozos. Cuando es difícil llegar hasta las piezas con el trozo de colofonia, se utiliza una solución espesa de colofonia en alcohol o acetona. Para que la colofonia se disuelva bien hay que pulverizarla. Como el alcohol y la acetona se evaporan pronto, esta solución debe conservarse en un frasquito con tapón esmerilado, por ejemplo, de los que sirven para agua de colonia. El fundente de solución alcohólica de colofonia se extiende sobre las superficies a soldar con una varilla o un pincel.

Te recomiendo que para el soldador hagas un soporte y que la soldadura y la colofonia las tengas en una cajita de aluminio (Figura 114). Estos simples dispositivos crean cierta comodidad en el trabajo y aseguran la limpieza del soldador, la soldadura y la colofonia.



Figura 114. Soporte para el soldador

Saber soldar bien es una especie de arte que no se domina al primer intento, sino que requiere cierta práctica. El secreto de una soldadura sólida y bonita consiste en el cuidado y la limpieza: si los conductores no están bien limpios y el soldador sucio, poco caliente o demasiado caliente, la soldadura nunca será buena. El soldador poco caliente convierte la soldadura en una papilla con la cual no se puede soldar. De señal de que el soldador está suficientemente caliente sirve el que empieza a hervir la colofonia y se desprende abundante vapor cuando ésta se pone en contacto con el soldador. Cuando el corte del soldador está normalmente caliente funde bien la soldadura y no se recubre de costra de óxido.

El extremo útil del soldador debe estar siempre caliente y bien estañado, es decir, cubierto de una capa delgada de soldadura. El soldador se estaña como sigue: se calienta, se limpia el corte con una lima o papel de lija, se sumerge en colofonia y se toca con él un trozo de soldadura. Inmediatamente después se frota con una madera para que toda su superficie se cubra uniformemente con la capa delgada de soldadura. Si ésta no se adhiere incluso al corte bien caliente, hay que volverlo a limpiar y a estañar.

El soldador se puede considerar bien estañado cuando el corte está uniformemente cubierto de una capa de soldadura y de su punta pende una gotita de ésta cuando está caliente. El extremo de trabajo de todo soldador se "quema" con el tiempo, es decir, se forma en él oquedades. La forma correcta se le puede volver a dar con una lima. La forma mejor y más cómoda de la parte de trabajo de un soldador se muestra en la Figura 115.



Figura 115. Extremo del corte del soldador (a la izquierda, bien afilado: a la derecha, "quemado")

Las superficies de los conductores o de las piezas que se van a soldar deben limpiarse hasta ponerlas brillantes y después estañarse. La soldadura sin estañado previo requiere más tiempo y es menos segura. El procedimiento más cómodo de estañar los conductores es el siguiente: el conductor limpio se pone en contacto con la colofonia y se calienta bien con el soldador (Figura 116). La colofonia al fundirse recubre la superficie del conductor y la soldadura que hay en el soldador se extiende por él. Haciendo girar el conductor y desplazando por el lentamente el corte del soldador es fácil conseguir

que la superficie de aquél se recubra de una delgada capa uniforme de soldadura.

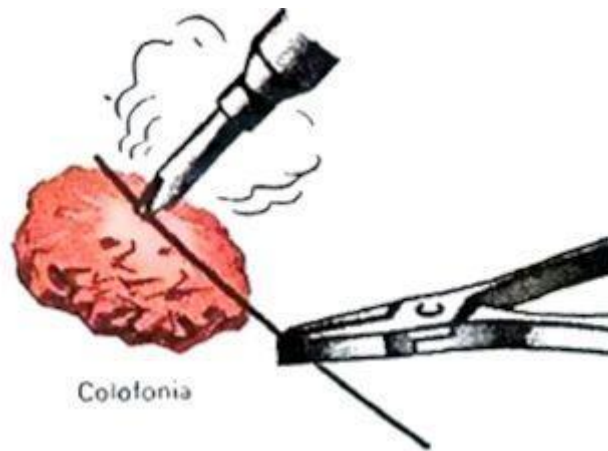


Figura 116. Estañado de un alambre conductor

Si para soldar se emplea fundente de colofonia liquido, se humedece la pieza a estañar con este fundente, valiéndose de un palito o de un pincel, y luego dicha pieza se calienta con el soldador hasta que la soldadura se extienda por su superficie.

Para soldar conductores o piezas ya estañadas hay que ajustarlos entre sí y aplicar el soldador, con una gotita de soldadura suspenda en el corte, al lugar en que se tocan. En cuanto este lugar se calienta, la soldadura se extiende y llena el intervalo entre las piezas. Moviendo uniformemente el soldador, distribuye la soldadura por toda la junta y la que sobre quítala con el mismo soldador; la soldadura se endurece pronto y sujeta fuertemente las piezas. Tiene mucha importancia que las piezas soldadas no se muevan de sus sitios, después de apartar el soldador, hasta que se endurezca la soldadura, porque de lo contrario la junta no será sólida.

Si no es posible estañar por separado las superficies de las piezas que se sueldan, hay que ajustarlas bien entre sí, untar el sitio de contacto con fundente de calofonia liquido (o poner en él un trocito de calofonia} y calentarlo con el soldador, en el cual se toma previamente soldadura. Calienta las piezas hasta que la soldadura se extienda por toda la junta.

Acuérdate de esto:

se puede considerar buena soldadura aquella en la cual la aleación para soldar no se encuentra apelotonada, sino formando una capa delgada que baña el lugar de la junta por todas partes.

Los radioaficionados principiantes, faltos de experiencia, procuran a veces "untar" con soldadura el lugar de la junta, y después se

sorprenden de que la unión que obtienen no sea sólida, a pesar de haber gastado mucha soldadura, El arte de soldar bien consiste en hacerlo gastando poca soldadura. Esto se consigue con un soldador bien calentado y estañado. Sólo en estas condiciones se consigue una soldadura sólida, pulcra y bonita.

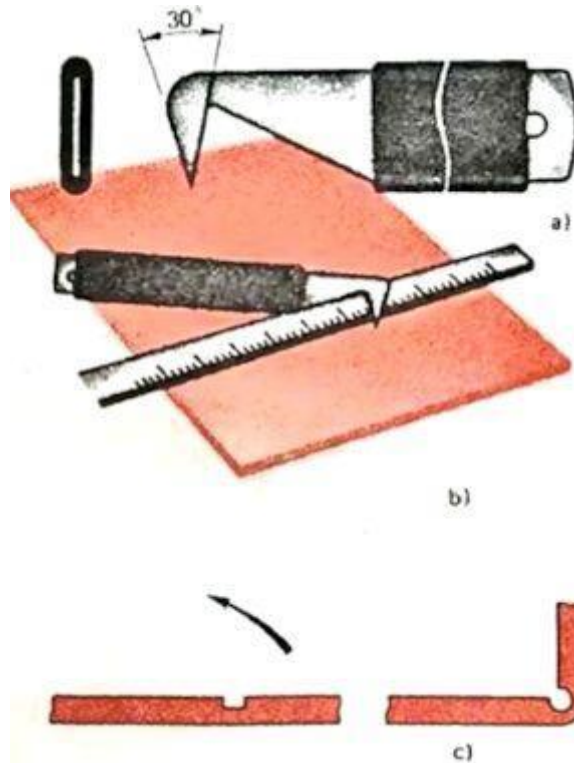


Figura 117. Cuchilla-cortador (a), su utilización (b) y doblado de la chapa metálica (c)

Ten presente: los vapores de calofonia irritan la membrana mucosa del ojo y la faringe, por lo que se debe soldar en un local ventilado. Aún mejor será si mientras se suelda funciona un ventilador en el sitio de trabajo.

§. Sobre algunos materiales y métodos de montaje

La calidad del funcionamiento de un receptor, amplificador o cualquier otro aparato radiotécnico depende mucho de la distribución racional de sus elementos y de la solidez de su montaje. Los elementos principales deben distribuirse de tal forma que los hilos de conexión sean lo más cortos posibles y no se crucen. El montaje debe ser rígido, para evitar contactos casuales entre los elementos y los conductores, los cuales pueden surgir si se producen golpes o sacudidas. Además, el montaje debe ser compacto, cómodo para la comprobación y sustitución de los elementos y, naturalmente, bonito.

De base, o especie de fundamento, de los aparatos o dispositivos radiotécnicos sirven paneles planos o en forma de cajas, chasis. Tanto los primeros como los segundos pueden ser de madera

contrachapada, de tablas, metálicos, de orgalita laminada, de plástico o combinados de distintos materiales. Si el panel es de madera contrachapada, de tabla o de orgalita, hay que procurar que sea un aislador suficientemente bueno. No deberá absorber humedad, ya que un panel húmedo puede ser causa de una fuga de corriente y, por consiguiente, de que el aparato no funcione. Para que eso no ocurra, la madera contrachapada, antes de hacer con ella el panel o el chasis, debes secarla bien y frotarla por todas partes con parafina o cera fundida o recubrirla con una o dos capas de barniz de alcohol o al aceite. Los materiales preparados por este procedimiento no absorberán la humedad y el aspecto exterior de la base del aparato construido con ellos será más agradable.

El metal laminado es más difícil de trabajar sobre todo en las condiciones domésticas. Pero los paneles y chasis hechos con él son mejores que los de madera contrachapada. Y no sólo por que sean más resistentes, sino porque el metal sirve de pantalla para eliminar

las interrelaciones parásitas entre elementos aislados y circuitos a través de los campos magnéticos y eléctricos, lo que en muchos casos es una condición técnica obligatoria, y porque, además, se utiliza como "masa" o conductor a tierra, con lo que se simplifica el montaje. Para hacer el chasis metálico lo mejor es utilizar chapa de aluminio de 1.5 a 2 mm de espesor. En los talleres de tu escuela puedes cortar el material, doblarlo, para formar el chasis, o hacer éste con tiras de metal remachadas, y taladrar los orificios. El acabado lo puedes hacer en casa.

Si utilizas un chasis o panel metálico tienes que prestar mucha atención al hacer el montaje; todos los elementos, conductores y circuitos eléctricos que según el esquema no se pongan a tierra (masa) tienen que estar perfectamente aislados del chasis.

Para los paneles y placas de montaje de los receptores, amplificadores e instrumentos de medida a base de transistores, los aficionados a la radio utilizan hojas de cartón baquelizado, laminados de tela de fibra de vidrio (textolita de fibra de vidrio) o de vidrio orgánico de 1.5 a 3 mm de espesor. Estos materiales son buenos aisladores, se trabajan con facilidad y las piezas hechas con ellos tienen siempre buen aspecto. El material laminado para hacer los paneles, las placas de montaje u otras piezas de hasta 4 ó 5 mm de espesor es preferible cortarlo con una cuchilla cortadora hecha de la hoja de una sierra. Al extremo del trozo de hoja de sierra (que debe tener 130 ó 140 mm de longitud) dale en la afiladora la forma que se muestra en la Figura 117 y el mango del cortador envuélvelo en varias capas de cinta aisladora (para proteger la mano). El ángulo de la parte cortante debe ser de 30 a 35° y su anchura, igual al espesor de la hoja.

Este cortador se utiliza así: la hoja de cartón baquelizado o de otro material ponla sobre una mesa o sobre una madera contrachapada de superficie lisa. Sobre dicho material coloca una regla metálica y por ella, sacando viruta a viruta, corta el material hasta aproximadamente la mitad de su espesor. Luego haz la misma operación por el lado opuesto y rompe el material por la línea de corte. Si los cortes por ambos lados coinciden, el borde de la pieza, una vez limado, queda liso.

Cuando hagas el trazado de la futura pieza sobre el material, toma en consideración la anchura del cortador.

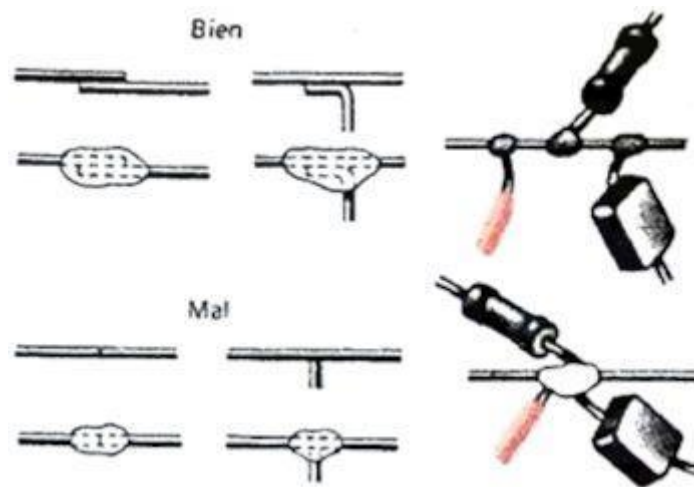


Figura 118. Procedimientos de unión por soldadura de conductores y elementos

Este mismo cortador te servirá también para doblar las chapas de aluminio o duraluminio. Obtener un ángulo recto liso en el metal doblado no es fácil incluso si éste se sujeta en un tornillo de mordazas entre dos láminas o piezas angulares de acero. Pero si el metal está previamente ranurado a lo largo de la línea de flexión, aproximadamente en una tercera parte o en la mitad de su espesor (Figura 117c), el ángulo que se obtiene es necesariamente recto y liso.

Al hablar de la estructura de los receptores, amplificadores u otros aparatos no siempre voy a indicar las dimensiones de sus placas de montaje, paneles o chasis. ¿Por qué? Porque para distintos casos puede no servir una misma recomendación. Dichas dimensiones dependen mucho de la estructura y dimensiones de los elementos de que se dispone. Por eso, antes de corlar el material elige todos los elementos necesarios, colócalos sobre una hoja de papel en el orden que se recomienda y precisa las futuras dimensiones de la placa de montaje. No debes tender a disminuir el tamaño de la placa o chasis, ya que en una superficie pequeña es más difícil el montaje.

Una vez hecha la placa, coloca sobre ella los elementos y señala los puntos de todos los orificios que sean necesarios. El trazado final de dichos orificios hazlo valiéndote de una regla y un compás. Los diámetros de los orificios deben ser tales que los elementos queden bien sujetos en ellos. Para el montaje emplea hilo de cobre desnudo o aislado, estañado o plateado, de 0,8 a 1,5 mm de diámetro. Este hilo conduce bien la corriente eléctrica y el montaje hecho con él será sólido.

El hilo para el montaje debe enderezarse.

Para eso coge un trozo de hilo de 1,5 a 2m de largo, sujeta uno de sus extremos en un tornillo de mordazas o arróllalo a un objeto cualquiera y tira con fuerza del otro extremo cogiéndolo con unos alicates. El hilo se alargará un poco y se enderezará. De él, con un cortaalambres, irás cortando los conductores de conexión de la longitud que necesites. Todas las juntas suéldalas con cuidado. En los sitios en que sean posibles contactos entre los conductores, enfunda éstos en tubitos de goma, de cloruro de polivinilo u otros materiales aislantes, o protégelos con cinta aisladora.

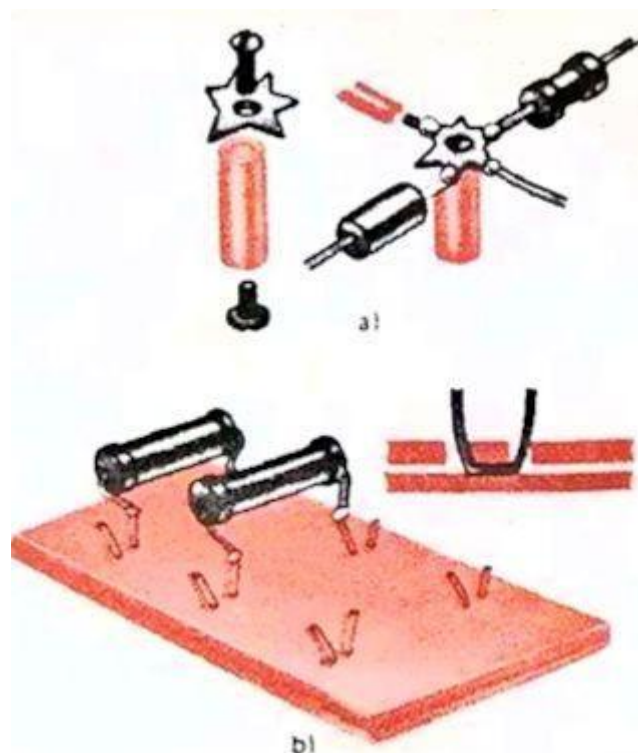


Figura 119. Soporte (a) y placa de montaje (b) que tú mismo puedes hacer.

Durante el montaje, las pruebas y el ajuste de los aparatos es frecuente tener que soldar y desoldar los conductores y sustituir un elemento por otro. Esto hay que tenerlo siempre en cuenta y utilizar en cada caso los procedimientos de montaje más cómodos. Algunos

de estos procedimientos se muestran en la Figura 119. Si hay que empalmar dos conductores rectilíneos, no es necesario retorcer sus extremos, basta ponerlos juntos, de manera que sus superficies estén en contacto en una longitud mínima de 6 a 8 mm, y soldarlos. Cuando haya que unir conductores que formen entre sí un ángulo recto, el extremo de uno de ellos se puede doblar apretándolo al otro conductor, y en esta forma soldarlos. No te recomiendo que sueldes varios conductores o elementos en un mismo punto. En este caso, si hay que quitar uno de los conductores o elementos, es inevitable que se deshaga todo el nudo de soldadura.

¿Y si las condiciones del montaje dictan la necesidad de conectar varios elementos en un mismo punto? En estos casos hay que utilizar soportes de montaje. De soporte de montaje simple puede servir, por ejemplo, un trozo de lapicero (Figura 118a). La parte de la punta del lápiz, córtala. Saca la barra de grafito. Obtienes un soporte con un orificio en el cual puede enroscarse un tornillo o un tirafondos. Por uno de sus extremos sujeta este soporte al panel o chasis. Al otro extremo suyo sujeta con el tornillo una "estrella" cortada de un trozo de hojalata. A esta estrella se sueldan los conductores y los elementos de construcción del aparato.

Cuanto más compleja sea la estructura del aparato, tanto más resistores y condensadores habrá en ella. Por lo general estos no se pueden soldar directamente a otros elementos sujetos sólidamente. En estos casos se recurre a las tablillas de montaje o láminas de material aislante con patillas de contacto, a las cuales se sueldan los elementos y los conductores.

Una tablilla de montaje simple puede verse en la Figura 119b. De base le sirven dos láminas de cartón baquelizado o de textolita. En el último caso pueden hacerse de cartón compacto o de madera contrachapada, previamente "cocidos" en parafina caliente o impregnados en barniz para hacerlos buenos aisladores. Las patillas de contacto se cortan de hojalata o latón, o se hacen de alambre de cobre de 1.5 a 2mm de diámetro, y se sujetan en unos orificios practicados en la lámina superior. Las tablillas se colocan y atornillan directamente a los paneles o se sujetan sobre soportes. Las dimensiones de las tablillas de montaje y el número de patillas de contacto que hay en ellas vienen determinados por las dimensiones y el número de elementos que se montan en ellas.

Los elementos de las construcciones a base de transistores se montan, por lo general, en paneles de hojas de cartón baquelizado o de textolita de fibra de vidrio, y como puntos de apoyo de los elementos se utilizan "espárragos" de alambre o remaches huecos ("pistones"). Las piezas se colocan en una cara del panel y se unen

entre sí por la otra cara. Estos paneles con los elementos montados en ellos se llaman placas de montaje.

El montaje sobre espárragos (Figura 120,a) se hace así: trozos de alambre de cobre estañado o plateado, de 1 a 1.5 mm de diámetro y de 5 a 10 mm de longitud, se introducen a presión en la placa de tal manera, que por la cara de ésta en que estarán los elementos sobresalgan 4 ó 5 mm y por la otra cara, 2 ó 3 mm.

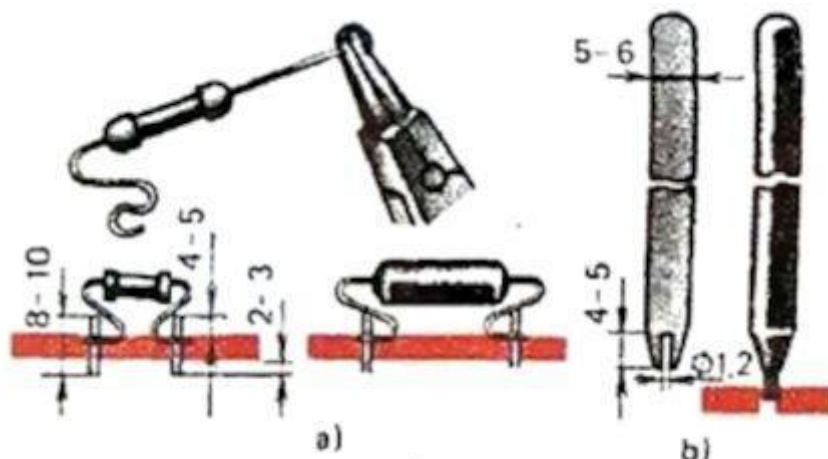


Figura 120. Montaje de elementos sobre espárragos (o soportes de alambre) (a) y portaespárragos (b)

Para que los espárragos no se muevan, los orificios que para ellos se practican en la placa deben ser un poco menores que su diámetro y la parte media de aquéllos estar un poco aplastada por un golpe de martillo. Para meter a presión los espárragos se utiliza un portaespárragos, varilla de acero con un orificio guía para el espárrago, taladrado en uno de sus extremos (Figura 120b). Valiéndose de este dispositivo se puede poner el espárrago en el orificio y clavarlo con un golpe de martillo.

Los extremos de los terminales de alambre de los elementos, con ayuda de unos alicates de puntas redondas, dóblalos en forma de bucles, puntos de manera que los espárragos correspondientes entren en ellos y suéldalos. Exactamente del mismo modo suelda a los espárragos los conductores de conexión, pero por la otra cara de la placa.

Unos ejemplos de procedimientos de montaje sobre remaches huecos se dan en la Figura 121.



Figura 121. Montaje de elementos sobre remaches huecos (pistones)

Los remaches se introducen a presión en los orificios de la placa y a ellos se sueldan los terminales de los elementos. Si no tienes remaches hechos, puedes hacerlos de tubitos de latón o de cobre de 1,5 a 2 mm de diámetro exterior, cortándolos en trozos de 3 a 4 mm de longitud, es decir, 1.5 ó 2 mm más largos que el espesor de la placa. Se obtienen buenos remaches de las patillas de contacto de las lámparas de radio estropeadas de casquillo octal. Estos tubitos deben entrar ajustados en los orificios de la placa y los bordes de cada uno de sus extremos se abocardan con un granete o con un clavo de punta especialmente afilada.

A veces se puede prescindir de los espárragos y de los remaches huecos, haciendo pasar los terminales de los elementos a través de los orificios de la placa y soldándolos entre sí por la otra cara de ésta. Pero con este montaje es más difícil sustituir los elementos.

§. Bobinas de inductancia de los circuitos oscilantes

En los circuitos oscilantes de los receptores, los radioaficionados suelen utilizar bobinas no fabricadas, sino hechas por ellos mismos, cuyas estructuras son muy diversas. Algunas de éstas ya las conoces por los receptores de cristal y de un solo transistor. Ahora quiero hablarte de otras estructuras de bobinas que se utilizan en los receptores que voy a recomendarte que construyas.

Para el devanado de las bobinas, además de los hilos ПЭВ y ПЭЛ que ya conoces, se emplean hilos de devanado de las marcas siguientes: ПБО, hilo con revestimiento de algodón de una capa; ПШО, hilo con revestimiento de seda de una capa; ПШД ídem, de dos capas; y ПЭЛШО, hilo con aislamiento de esmalte y barniz resistente con revestimiento de seda de una capa. Muchas bobinas de aparatos de producción industrial tienen devanados del llamado "litzendraht", conductores con aislamiento de esmalte, que trenzados en forma de cordón tienen todos juntos un revestimiento de seda de una o dos capas. Este conductor, si hace falta, puedes trenzarlo tú mismo valiéndote de una taladradora.

Prácticamente, para las bobinas de los circuitos oscilantes de los receptores que hacen los aficionados sirve un hilo de cualquier marca con tal que tenga un aislamiento seguro y no sea muy grueso, porque si no la bobina resultaría muy voluminosa. Las bobinas para la recepción de estaciones de radiodifusión de las gamas de ondas

medias y largas se devanan, por lo general, de hilo de 0,1 a 0,3 mm de diámetro; las destinadas a las ondas cortas, de hilo de 0.8 a 1 mm, y las dedicadas a las ultracortas, de hilo de hasta 3 mm.

Existe una regla que conviene recordar; *cuanto más corta sea la longitud de las ondas para las cuales se calcula la bobina, tanto más grueso debe ser el conductor que tiene que devanarse.*

Si se dispone de un hilo cuyo diámetro se desconoce, éste se puede determinar aproximadamente así; arrolla el hilo, espira junto a espira, en un lapicero y después divide la longitud del devanado por el número de espiras. La exactitud con que se determina el diámetro será tanto más elevada cuanto mayor sea el número de espiras arrolladas. Si no se dispone de hilo del diámetro que se recomienda pero sí de otro de diámetro próximo a él, por lo general, se puede utilizar éste. Así, por ejemplo, en vez de hilo de 0.18 mm de diámetro se puede utilizar hilo de 0,15 ó 0,20 mm.

En dependencia de las dimensiones de los armazones y de la gama de ondas a captar, las bobinas pueden tener desde varias espiras hasta varios centenares. Cuanto más largas sean las ondas y menor el diámetro de la bobina, tanto más espiras deberá tener ésta. Para los receptores de cristal se recomiendan a veces las bobinas de una capa, devanadas sobre armazones grandes con hilo relativamente grueso. Esto no es casual, ya que en dichas bobinas son menores las pérdidas de energía de alta frecuencia y cuanto menores son estas pérdidas, mejor funciona el receptor de cristal.

Las bobinas de los receptores de transistores o de lámparas se suelen devanar sobre armazones relativamente pequeños y con hilo más fino que el que se utiliza en los receptores de cristal. En este caso, en la bobina para ondas largas el hilo se devana en varias capas. Estas son las *bobinas de capas múltiples*, más compactas que las de una capa. Las pérdidas de energía de alta frecuencia en estas bobinas es algo mayor que en las de dimensiones más grandes, pero se compensan introduciendo en ellas núcleos para altas frecuencias y aprovechando las propiedades amplificadoras de los transistores o de las lámparas de radio.

Las bobinas de capas múltiples de los circuitos de muchos receptores de producción industrial están devanadas por un procedimiento especial llamado "universal". Con este devanado, en que los hilos se entrecruzan de un modo complejo, disminuye la capacidad interior (entre espiras) de la bobina y aumenta la gama de frecuencias que cubre el circuito. Los aficionados devanan estas bobinas sobre carretes de papel o de cartón, haciendo premeditadamente que el hilo no forme capas regulares. Con este devanado la capacidad interior de la bobina también es relativamente pequeña.

Son preferibles las bobinas con núcleos para altas frecuencias. El núcleo, que eleva el factor de calidad de la bobina y, por lo tanto, reduce las pérdidas en ella, da la posibilidad de reducir considerablemente el número de espiras y las dimensiones de la bobina. Además, si el núcleo es de ajuste, es decir, si puede desplazarse dentro de la bobina, también permite entre ciertos límites variar la inductancia de ésta y ajustar el circuito a la frecuencia necesaria.

Los núcleos magnéticos para alta frecuencia que más se utilizan son los *de ferrita*. Los hay en forma de barras, de anillos y de copas. Con los núcleos de ferrita en forma de barra y de anillo ya has tenido ocasión de tratar.

Una de las posibles estructuras de bobina fraccionada con núcleo de ajuste de 9 mm de diámetro, que puedes hacer tú mismo, se muestra en la Figura 122.

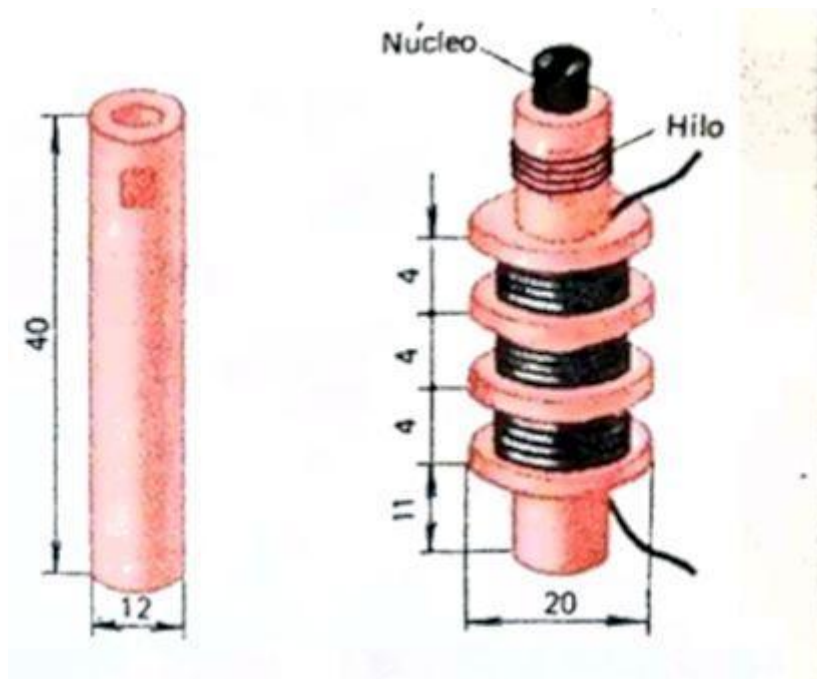


Figura 122. Bobina con núcleo de ajuste

El aumento de la inductancia de la bobina se consigue atornillando el núcleo a su armazón, y la disminución, destornillándolo. El armazón para esta bobina hazlo arrollando y pegando una tira de papel denso de 40 mm de anchura, utilizando para ello una forma cilíndrica, un tubo de vidrio o una probeta de 9,5 a 10 mm de diámetro. A la distancia de 6-7 mm del extremo superior, después de que el armazón esté acabado y bien seco, corta en él, con una cuchilla bien afilada, sendos orificios rectangulares por dos lados opuestos. En los sitios de los cortes arrolla a la bobina una capa de hilo grueso; las espiras de este arrollamiento desempeñarán el papel de rosca para

atornillar el núcleo. Las gualderas de la bobina córtalas de cartón baquelizado fino, de textolita o de cartón denso de 0,3 a 0,5 mm de espesor. Colócalas en el armazón y pégalas a él.

La bobina devánala desordenadamente con hilo ПЭВ-1 de 0,12 a 0,18 mm de diámetro. Si es para ondas medias debe tener en total 135 espiras (tres secciones de 45 espiras cada una), y si es para ondas largas, 450 espiras (tres secciones de 150 espiras cada una). Primero devana la primera sección entre las dos guarderas superiores, después pasa el hilo al espacio entre las gualderas intermedias y devana la segunda sección, y luego, entre las dos gualderas inferiores devana la tercera sección. Los terminales de la bobina pásalos a través de agujeros hechos en las gualderas.

Esta bobina puede sujetarse en el panel por medio de un anillo de madera contrachapada pegado a él o pegando el extremo inferior del armazón en un orificio practicado en dicho panel.

La bobina del circuito oscilante se puede devanar sobre un manguito de papel y ensartarla en un trozo de barra de ferrita marca 400HH ó 600HH de 8 mm de diámetro y 25-30 mm de longitud (Figura 123).

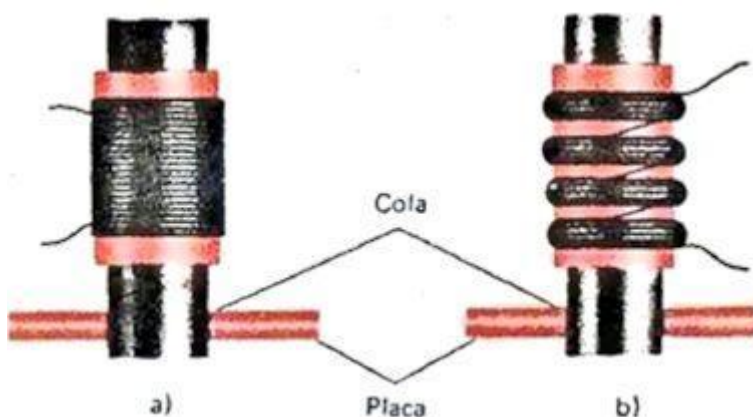


Figura 123. Bobinas con barras de ferrita: para ondas medias (a) y para ondas largas (b)

Para la recepción de estaciones de la gama de ondas medias, la bobina debe tener de 70 a 80 espiras de hilo ПЭВ-1 de 0,12 a 0,20 mm de diámetro, devanadas en una capa, y para las de la gama de ondas largas, de 225 a 250 espiras de ese mismo hilo, pero devanadas en cuatro o cinco secciones de 45 a 50 espiras cada una. La inductancia máxima de esta bobina se consigue cuando se encuentra en la mitad de la barra de ferrita. A medida que se desplaza hacia uno de los extremos de la barra, la inductancia disminuye. De este modo, desplazando la bobina por la barra, se puede corregir la sintonización del circuito a la frecuencia necesaria de la parte de ondas más largas de la gama.

En muchos receptores de producción industrial se emplean bobinas devanadas sobre armazones fraccionados de plástico, estandarizadas, con anillos y núcleos de ajuste, en forma de barra, de ferrita (Figura 124a). La bobina devanada sobre este armazón se encuentra entre dos anillos de ferrita que aumentan su inductancia. El núcleo en forma de barra, sujeto a un cilindro roscado, se puede atornillar, con un atornillador, a distintas profundidades dentro del armazón y de este modo ajustar la inducción de la bobina.

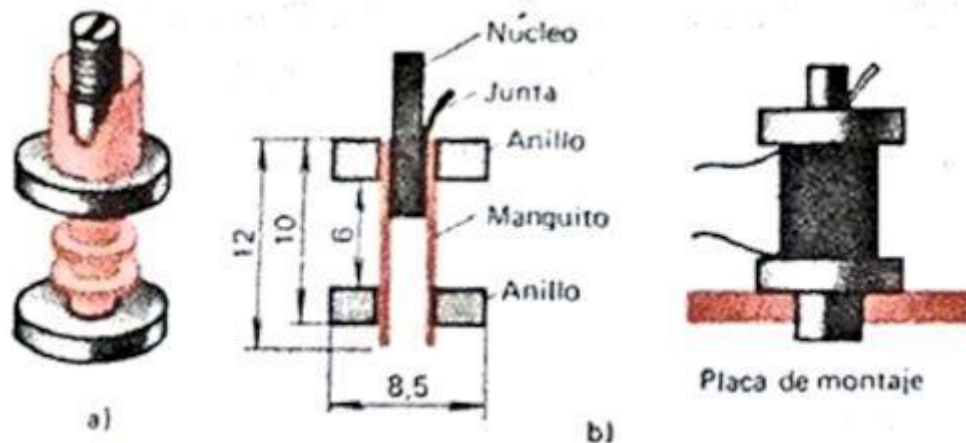


Figura 124. Armazones con anillos y núcleos de ajuste de ferrita

Un armazón análogo, que puedes hacer tú mismo y utilizarlo para bobinas de diversa aplicación, se muestra en la Figura 124b. Para hacerlo se necesitan dos anillos de ferrita marca 600HH de 8 a 9 mm de diámetro exterior y de 3 a 3,5 mm de diámetro interior, y un núcleo de ajuste en forma de barra, de la misma marca, de 2.7 mm de diámetro y 15 mm de longitud. De base del armazón sirve un manguito de papel de 12 mm de longitud y un diámetro exterior igual al interior de los anillos. Estos últimos pégalos al manguito de papel a una distancia de 6 mm entre sí. El extremo del manguito que sobresale por abajo lo introducirás en el orificio correspondiente de la placa de montaje (o del chasis) y lo pegarás a ella. El núcleo de ajuste se sujeta dentro del armazón por medio de una junta de papel o de tela.

El número de espiras y el hilo para la bobina devanada sobre este armazón depende de su destinación.

En adelante, cuando hable de las bobinas de los circuitos o de las de los transformadores de alta frecuencia de los receptores, indicaré el número aproximado de espiras de sus devanados y me referiré a las bobinas y armazones de que he hablado aquí. Pero, naturalmente, puede haber otras estructuras de bobinas.

§. Montaje con circuitos impresos

En los aparatos de radio modernos de producción industrial se utiliza

el denominado procedimiento de montaje impreso. Este tipo de montaje también lo utilizan los aficionados a la construcción radiotécnica. En este procedimiento de montaje el papel de conductores de conexión lo desempeñan no trozos de hilo de montaje, sino superficies y franjas de hoja de cobre que están como estampadas en la placa de montaje.

Para hacer las placas impresas se emplea cartón baquelizado, textolita de fibra de vidrio u otros plásticos laminados con una hoja de cobre adherida de 0,05 mm de espesor.

La tecnología de fabricación casera de las placas impresas es la siguiente. Primero, sobre una hoja de papel, se marcan y dibujan a tamaño natural o a escala aumentada todos los elementos del aparato y las conexiones entre ellos. Al hacer esto se procura que los futuros conductores de conexión sean lo más cortos posibles y no se crucen. Al mismo tiempo se introducen las posibles variaciones del dibujo de la placa de montaje teniendo en cuenta los elementos de que se dispone. Así, por ejemplo, si en vez de los condensadores electrolíticos K50-6 que se recomiendan se utilizan condensadores K50-3, la distancia entre los orificios para sus terminales tendrá que aumentarse hasta 25-35 mm.

Cuando el esquema de montaje ya está dibujado, del material con la hoja metálica adherida se corta con una sierra una lámina de las dimensiones necesarias y, valiéndose de un papel de copiar o por una cuadrícula de rayas de 2,5 a 5 mm de paso, se traslada a la hoja metálica el dibujo de todos los conductores que han de imprimirse. En los sitios en que debe haber orificios para los terminales de los elementos se hacen hoyos con un granete o una lezna. Después, todas sus partes de la hoja metálica que deben quedar impresas en la placa se recubren cuidadosamente, valiéndose de un tiralíneas de vidrio, de algún barniz nitrocelulósico o asfaltobituminoso, o con cola БФ-2 ligeramente coloreada para que sobre la hoja metálica se vea bien el dibujo de los futuros conductores de corriente. Las irregularidades de las líneas y las chorreaduras se eliminan con la punta afilada de una navaja, bisturí o cuchilla de afeitar.

Cuando el barniz está bien seco, la placa así preparada se sumerge, para su grabado químico, en una solución de cloruro férrico, de 1,3 de densidad, vertida en una cubeta plana de plástico o porcelana. Para obtener la solución de la densidad indicada, disuelve 150 g de cloruro férrico en 200 cm³ de agua. Durante todo el tiempo que dure el grabado hay que mecer la cubeta. A la temperatura ambiente, el mordido de la hoja metálica en esta solución dura aproximadamente 1 h, y si se calienta hasta 40-50 °C, cerca de 15 min.

La placa, una vez grabada, se lava bien sucesivamente en agua fría y caliente, se seca y, después, en los sitios antes marcados se taladran los orificios para los terminales de los elementos. Antes de empezar el montaje se lija la placa con papel de grano fino y se lava con un disolvente o con acetona para eliminar los restos de barniz ácidorresistente, e inmediatamente se recubre con barniz de colofonia (solución al 15% de colofonia en alcohol o acetona), para proteger los conductores impresos contra la oxidación.

Al hacer el montaje, los terminales de los elementos se pasan a través de los orificios de la placa y, por debajo, se sueldan a los conductores impresos.

Como ejemplo, en la Figura 125a se muestra una placa impresa y el esquema de las conexiones en ella de los elementos del amplificador de audiofrecuencias para el receptor de cristal montado según el esquema que se dio en la Figura 87 (a la derecha de la línea de trazos) que tú ya conoces.

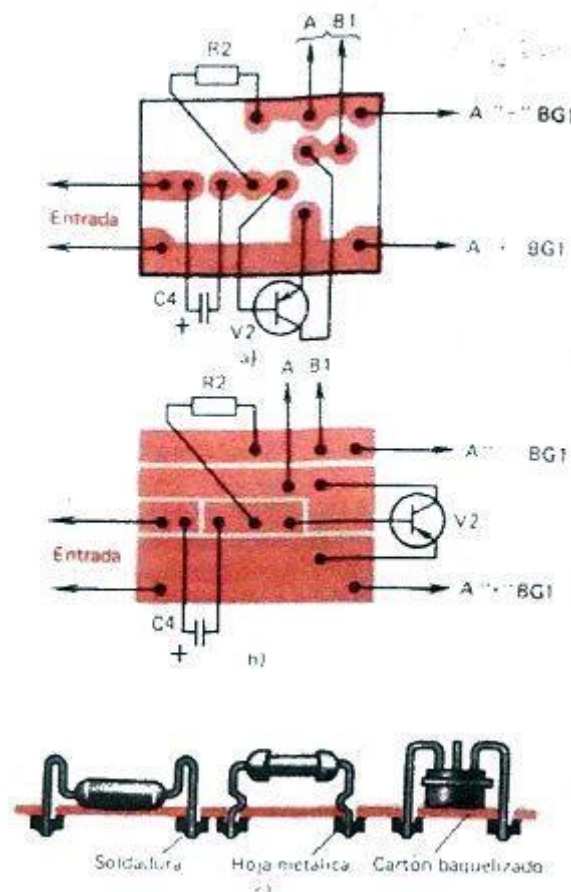


Figura 125. Montaje con circuito impreso

La placa se muestra vista desde la cara en que están los conductores impresos; los elementos se encuentran en la otra cara (véase la

Figura 87). Ahora, si quieres, puedes ya montar el amplificador sobre una placa impresa.

¿Y si no hay cloruro férrico? En ese caso la placa de montaje con el circuito impreso se puede hacer valiéndose de la cuchilla-cortador de que ya te he hablado en esta charla. En la Figura 125b? puedes ver otra placa para el mismo amplificador de un solo transistor. La disposición de los elementos en ella es la misma que en la placa de la Figura 125a, pero en ella los conductores de corriente no tienen forma perfilada, sino de franjas rectangulares de hoja metálica separadas entre sí por cortes en dicha hoja.

Si se utilizan circuitos impresos, los elementos, tales como resistores, transistores y condensadores, se deben montar en la placa rígidamente; deben estar bien apretados a ella o sus terminales de alambre deben ser previamente torcidos en forma de escalones que excluyan los desplazamientos longitudinales. Algunos procedimientos de montaje de estos elementos se muestran en la Figura 125c. Esto es necesario para que si desde arriba se ejerce presión sobre los elementos, los delgados conductores de hoja metálica no puedan desprenderse de la placa y romperse.

El montaje de algunas construcciones, de las cuales hablaré más tarde, está hecho por el método del circuito impreso. Pero eso no significa que sólo puede ser así. El montaje de esas mismas construcciones también puede hacerse por medio de cables.

§. Medidas de precaución al montar los transistores

El funcionamiento seguro de los aparatos de radio que se construyen depende no sólo de la calidad de los transistores que en ellos se emplean, sino también del cumplimiento de las reglas para su montaje.

Los terminales de los transistores, antes de montarlos, se enderezan, se limpian de óxidos, se estañan, se doblan de una forma determinada y, si es preciso, se acortan. En este caso el terminal en el cuerpo se sujeta con unas pinzas o unos alicates para que no se rompa. El curvado de los terminales de alambre de los transistores de poca potencia se tolera con un radio de 1.5 a 2 mm, a una distancia no menor de 3 mm de su cápsula, y sujetándolos obligatoriamente cerca de ésta con unas pinzas o unos alicates, para no dañar los aisladores de vidrio. No se recomienda acortar los terminales de los transistores hasta una longitud menor de 15 mm.

Hay que recordar que los transistores, como todos los dispositivos semiconductores, son muy sensibles al recalentamiento, el cual influye en la variación de sus parámetros. Por eso para soldar los terminales de los transistores debe emplearse un soldador cuya

potencia no supere 40 W. Para mejorar la derivación del calor del transistor mientras se suelda, sus terminales se sujetan con unas pinzas o unos alicates, los cuales desempeñan la función de extractores adicionales de calor. El proceso de soldadura debe durar poco, no más de 3-5 s, y la soldadura repelida de la misma junta (si eso fuera necesario) no debe hacerse antes de 2-3 min.

La tensión de perforación de las uniones $p-n$ de muchos transistores bipolares y de efecto-campo para poca potencia es de unidades de voltio y aún menores. Si la parte útil del soldador no está bien aislada del devanado de caldeo, esto puede ser causa de que el transistor se estropee. Por eso, para montar transistores, es preferible utilizar un soldador de baja tensión, alimentado por un transformador reductor y con el cuerpo puesto a tierra.

Al montar los transistores de efecto-campo no se debe olvidar la posibilidad de que éstos sean perforados por la electricidad estática e incluso por tensiones inducidas. La carga eléctrica que surge en tu cuerpo si estás de pie en un suelo no conductor puede, en el instante que toques el transistor, crear un impulso eléctrico suficiente para inutilizar éste. Por eso, al montar transistores de efecto-campo es más conveniente utilizar soldadores de baja tensión, cuyo corte debe ponerse a tierra y, antes de soldar, conectar en corto circuito todos los terminales de aquéllos con un trozo de alambre desnudo. También conviene que antes, y durante, el montaje de los transistores de efecto-campo, el montador se "descargue" periódicamente tocando con la mano por unos instantes una toma de tierra.

En general, el soldador eléctrico, que va a ser tu herramienta de trabajo en todos tus montajes radiotécnicos, puede ocasionar contrariedades no sólo al transistor o a otros dispositivos semiconductores, sino también a ti, si uno de sus conductores de corriente o el elemento de caldeo hace contacto con la cubierta metálica. Utilizar un soldador así es peligroso, ya que se puede ser víctima de la alta tensión de la red de alumbrado. Por eso, de vez en cuando, comprueba con el ohmímetro si se ha producido contacto entre la cubierta metálica del soldador y la clavija de enchufe que hay en el extremo del cordón de alimentación de aquél.

Procura adquirir un soldador de baja tensión, por ejemplo, del tipo ПЧ 25-36. Para su alimentación se necesita un transformador que reduzca la tensión de la red hasta 25-36 V, pero con este soldador el montaje no será peligroso para los elementos de los aparatos de radio ni para ti.

La charla sobre tu taller ha resultado un poco larga. Sin embargo no ha podido abarcar todos los consejos relacionados con la tecnología de fabricación de diversos elementos y con la práctica de montaje de

aparatos e instrumentos. Procuraré añadir lo omitido al tratar de las construcciones concretas.

Charla 10

Fuentes de corriente

Contenido:

§. Pilas y baterías

§. Acumuladores y baterías de acumuladores

§. Rectificador

§. Bloque de alimentación de la red

* * * *

Todo receptor o amplificador de transistores se puede alimentar tanto de fuentes químicas de corriente continua, pilas, acumuladores o baterías, como de la red del alumbrado de corriente alterna. Todo depende de qué receptor o amplificador sea. Si, por ejemplo, el receptor es pequeño, de los que se llaman "de bolsillo", y está calculado para alimentarse de una fuente de corriente continua de 4, 5 ó 9 V de tensión, para él se utilizan generalmente pilas eléctricas o baterías. Y si un amplificador de transistores se destina a reproducir grabaciones conjuntamente con un electrófono enchufable, conviene que se alimente de la red del alumbrado.

¿Cómo están hechas y cómo funcionan las fuentes químicas de corriente continua? ¿Cómo puede alimentarse de la red de corriente alterna un receptor, amplificador u otro aparato radiotécnico a base de transistores? A estas y otras preguntas quiero responder en esta charla.

§. Pilas y baterías

La estructura de una pila voltaica simple te la di a conocer ya en la primera charla (ve la Figura 7). De electrodos de esta pila sirven unas placas metálicas heterogéneas, y de electrólito, un ácido disuelto. Ésta es una fuente química de corriente continua completamente apta para el trabajo. Pero tiene dos defectos importantes. El primero consiste en que su electrólito es un líquido corrosivo que puede derramarse o salpicar, el segundo es la influencia que sobre el funcionamiento de la pila ejerce el fenómeno de la polarización. Este consiste esencialmente en lo que sigue: como resultado de la continua descomposición del electrólito por la corriente que pasa por el interior de la pila, sobre el electrodo positivo se depositan en forma de burbujas iones positivos de hidrógeno, que originan en él una película gaseosa que impide el movimiento de las cargas eléctricas. Estos dos defectos de la pila de líquido más simple han sido subsanados en las pilas secas que tú ya has utilizado y que utilizarás para alimentar tus construcciones.

Estoy seguro de que tú, en más de una ocasión, habrás desarmado alguna batería descargada 3336A u otra semejante para ver lo que había en ella debajo de la capa de papel protectora. Hay tres pilas aisladas entre sí por juntas de cartón. Por arriba las pilas están protegidas por una pasta (pez) de color negro. Quitando ésta verás unas barras de grafito con sombreretes metálicos que sobresalen de unos recipientes de zinc. Las barras de grafito son los terminales de los electrodos positivos, y los vasos de zinc, los electrodos negativos de las pilas.

Para ver la estructura interna de una pila hay que, con cuidado, cortar a lo largo el vaso de zinc y enderezar sus bordes. La barra de grafito se encuentra dentro de una bolsita llena de una mezcla prensada de carbón triturado, polvo de grafito y dióxido de manganeso. Éste es el despolarizante. De electrólito sirve una pasta gelificada, que llena el espacio entre el despolarizante y las paredes del vaso, consistente en una solución de sal de amoniaco mezclada con almidón y harina. Durante el funcionamiento de la pila, el hidrógeno que se desprende se combina con el oxígeno que contiene el dióxido de manganeso del despolarizante y no se produce polarización. La pila seca funciona hasta que la reacción química destruya el electrodo de zinc y varía la composición química del electrólito y del despolarizante.

La industria soviética fabrica más de una decena de tipos de pilas cilíndricas para la alimentación de motores eléctricos de poca potencia, diversos dispositivos de alumbrado y aparatos radioelectrónicos. Pero las que más se usan para alimentar los receptores portátiles, los magnetófonos y los instrumentos de medida, tanto de fabricación industrial como hechos por los radioaficionados, son las 373, 343, 332 y 316 (Figura 126).



Figura 126. Pilas voltaicas 373, 343, 332 y 316

De las pilas 336 que componen la batería 3336A, estas sólo se diferencian por sus dimensiones.

Una pila voltaica, independientemente de su estructura, desarrolla una tensión de cerca de 1,5 V. Pero la corriente que puede suministrar para el consumo depende principalmente de las dimensiones de sus electrodos y, de ordinario, no supera 0.2-0.3 A.

En algunas baterías, por ejemplo, en la "Krona L", las pilas tienen forma de galleta, por lo que se llaman pilas tipo "galleta".

Para alimentar la inmensa mayoría de los receptores e instrumentos de medida a base de transistores que tú construyas, que con tensiones de 4, 5, 9 V consuman corrientes relativamente pequeñas, sirven las baterías 3336A, las "Krona L" y las pilas, que pueden acoplarse en batería. Todas ellas son aptas por su corriente de descarga. Hay que elegir solamente aquellas que aseguren las tensiones necesarias o, si hace falta, componer con pilas una batería que suministre la tensión y la corriente que se requiere.

Existen dos procedimientos principales para acoplar las pilas en baterías: en serie y en paralelo. Cuando las pilas se acoplan en serie (Figura 127a), la tensión de la batería es igual a la suma de las tensiones de las pilas que la forman. Si, por ejemplo, se acoplan en serie tres pilas de 1,5 V de tensión cada una, la tensión de la batería será de 4,5 V. De esta batería se puede consumir una corriente cuyo valor no sea mayor que el que puede suministrar una de las pilas por separado. Cuando hay que obtener una corriente mayor que la que puede proporcionar una pila, éstas se acoplan en paralelo, es decir, se conectan en batería los polos del mismo signo, como muestra la Figura 127b.

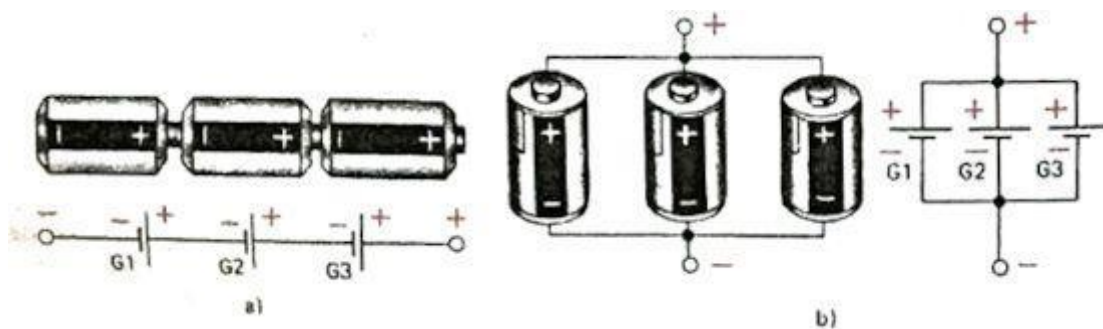


Figura 121. Acoplamiento de pilas en batería

Esta batería puede suministrar tantas veces más corriente que una sola pila como número de éstas se acoplan en batería. Si, por ejemplo, una pila puede suministrar 0,1 A, pero se necesitan 0.5 A, hay que acoplar en paralelo cinco pilas. En este caso la tensión de la batería será igual a la de una pila.

Voy a darte dos consejos útiles:

1. No pruebes nunca el estado de una pila o batería por el procedimiento de la chispa. Esa comprobación de la fuente de corriente, incluso si el contacto es instantáneo, reduce bruscamente sus reservas de energía.
2. Es frecuente que en las pilas secas se seque el electrolito y éstas dejen de dar corriente. Pero se pueden "revitalizar". Para eso taladra en la cubierta superior de pez dos orificios y por uno de ellos echa agua destilada o agua de lluvia dentro de la pila. Si el vaso del electrodo de zinc no está corroído ni deja pasar el agua, en la pila se forma electrolito y ésta vuelve a dar corriente. Se puede añadir agua varias veces, hasta que el vaso de zinc se destruya.

§. Acumuladores y baterías de acumuladores

Se llaman acumuladores las fuentes secundarias de corriente. Esto significa que ellas mismas no producen corriente, como las pilas voltaicas, sino que sólo ceden la energía eléctrica acumulada por ellas durante su carga por medio de otras fuentes de corriente continua. Los acumuladores pueden cargarse y descargarse muchas veces, por lo que se diferencian con ventaja de las pilas voltaicas. Para alimentar los aparatos portátiles de transistores y los instrumentos de medida, la industria soviética fabrica acumuladores herméticos de cadmio y níquel de pequeñas dimensiones. Tienen forma de disco de diámetro igual al de la moneda de una peseta y su aspecto exterior recuerda un botón. Por eso los radioaficionados suelen darles el nombre de acumuladores de botón.

La estructura de un acumulador de cadmio y níquel en forma de disco se muestra en la Figura 128a. Va montado en una botella de acero niquelado que tiene dos partes: la caja 1 y la tapa 2.



Figura 128. Estructura de un acumulador de cadmio y níquel, de pequeñas dimensiones (a); aspecto exterior del acumulador y de una batería de acumuladores 7Д-0,1 (b) y esquema de conexión de la batería al consumidor de corriente (c)

Estas partes están aisladas entre sí por una junta elástica hermetizante 4 y son los terminales de contacto de los polos del acumulador: la tapa es el terminal negativo y la caja, el positivo. Dentro están los electrodos, separados por la rejilla 7 y por la junta separadora porosa y aislante 6. Los electrodos se aprietan con el muelle 3, lo que da rigidez a toda la estructura. Durante el montaje, la botella del acumulador se llena de electrólito. Estos acumuladores sólo se diferencian por sus dimensiones. Cuanto mayor sea el acumulador, tanto mayor será su capacidad eléctrica.

La tensión de un acumulador recién cargado es igual a 1.25 V. El acumulador se considera descargado cuando su tensión ha descendido hasta 0.7 ó 1 V. El acumulador descargado hay que volverlo a cargar haciendo pasar a través de él una corriente continua igual, aproximadamente, a la décima parte de la capacidad del acumulador durante 12 h. Para cargarlo sus electrodos se conectan a los polos del mismo signo de la fuente de corriente continua.

Se pueden adquirir no sólo acumuladores sueltos, sino también baterías de acumuladores, por ejemplo, la 7Д-0,1 (Figura 128.) que sirve para alimentar los aparatos transistorizados de pequeñas dimensiones. Esta batería consta de siete (eso indica la cifra 7 en la denominación de la batería) condensadores tipo Д-0,1 acoplados en serie; la tensión inicial de la batería recién cargada es de 9 V. La corriente de descarga que se recomienda para esta batería no debe ser mayor de 20 mA. Si la capacidad nominal de la batería se divide por el valor medio de la corriente consumida por la carga, el resultado que se obtiene es aproximadamente igual a la duración de su funcionamiento continuo.

Presta atención a la forma de los terminales de los polos de la batería: el positivo tiene la forma de enchufe hembra y el negativo, la de enchufe macho, a ellos se conecta una regleta de conexión con contactos análogos. Así se forma el enchufe X (Figura 128c) a través del cual la tensión de la batería se suministra al circuito del dispositivo que de ella se alimenta. Las formas distintas de los terminales excluyen la posibilidad de conexiones erróneas de los polos de estas baterías con sus cargas.

Los acumuladores en forma de disco y las baterías compuestas con ellos se pueden cargar de los bloques de alimentación de las construcciones transistorizadas a través de un resistor que extinga el exceso de tensión. Pero para este fin se puede montar un simple dispositivo de carga, por ejemplo, según el esquema que se da en la Figura 129.

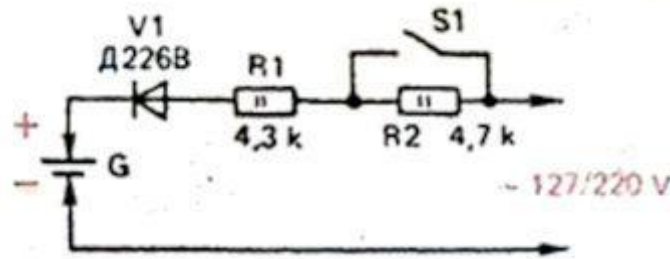


Figura 129. Rectificador, sin transformador, para cargar acumuladores de disco

Se trata de un rectificador de una alternancia, sin transformador, sobre la base de un diodo Д226Б ó Д7Ж(V1). Los resistores R1 y R2, intercalados en el circuito del rectificador, extinguen el exceso de tensión de la corriente alterna. Cuando la red es de 220 V de tensión trabajan los dos resistores, cuya resistencia total es de 9 kΩ. Pero si el dispositivo se conecta a una red de 127 V, el resistor R2 se cortocircuita por medio del interruptor S1. En este caso el exceso de tensión lo extingue únicamente el resistor R1.

Si la red que vas a utilizar es de 110 ó 127 V, el resistor R2 y el interruptor S1 puedes suprimirlos, y si es de 220 V, en vez de dos resistores puedes poner uno solo, cuya resistencia sea de 9,1 Ω; en este caso el interruptor también es innecesario.

Con las resistencias nominales de los resistores indicadas en el esquema, la corriente de carga del acumulador será de 10 mA aproximadamente. Para obtener una corriente de carga de otro valor hay que variar las resistencias de los resistores R1 y R2. El acumulador se considera cargado cuando su tensión alcanza 1,25-1,3 V.

Si para alimentar el dispositivo radiotécnico se utiliza no uno, sino varios acumuladores acoplados en serie, la batería así formada debe cargarse entera (como la batería 7Д-0,1), y no cada condensador por separado, asegurando buenos contactos entre ellos. La corriente de carga sigue siendo la misma que para un acumulador.

Paso a tratar de la utilización de la red del alumbrado para la alimentación de las construcciones a base de transistores. Empezaré por el rectificador.

§. Rectificador

Por la charla sexta ya sabes que si como fuente de alimentación de un receptor o amplificador se utiliza la red del alumbrado, la corriente alterna de la red tiene que ser rectificad obligatoriamente, es decir, transformada en corriente de un sólo sentido. La rectificación de la corriente alterna se realiza por medio de diodos semiconductores. ¿Te

acuerdas de sus propiedades eléctricas? El diodo semiconductor conduce bien la corriente en un sentido, el directo, y muy mal en el opuesto, el inverso. Para simplificar, vamos a suponer, como ya hicimos antes, que el diodo no deja pasar en absoluto la corriente de sentido inverso.

Los rectificadores de los bloques de alimentación de los aparatos de transistores, los construyen de ordinario los aficionados a la radio por el esquema que puedes ver en la Figura 130.

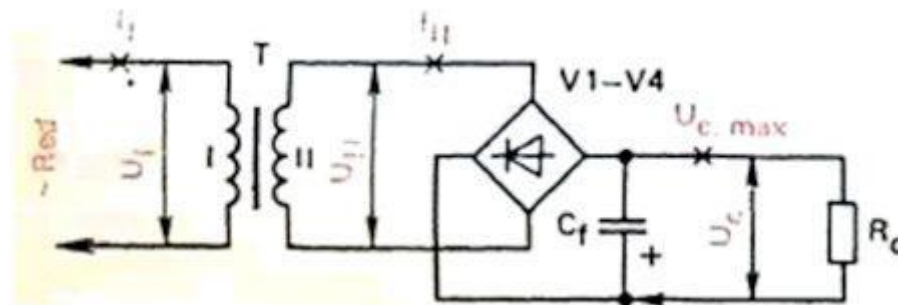


Figura 130. Esquema del rectificador del bloque de alimentación

Compáralo con el esquema, que ya conoces, de la Figura 73. Son análogos. Sólo que en aquél la polaridad de los diodos era otra y estaban conectados directamente en los brazos del puente de rectificación, mientras que en éste han sido sustituidos por una imagen del diodo dentro del cuadrado que simboliza al puente rectificador. Si quieres seguir todo el camino que recorre la corriente rectificada por los diodos V1 a V4, inclúyelos en los lados del cuadrado.

Voy a recordarte lo esencial del funcionamiento de este rectificador. El transformador T, llamado de red o de alimentación, reduce la tensión de la red del alumbrado hasta cierto valor necesario, y los diodos V1 a V4, conectados según el esquema del puente, la rectifican. El condensador del filtro C_f , conectado en paralelo a la diagonal del puente, atenúa las pulsaciones de la tensión rectificada por el puente. El resistor R_c simboliza al receptor, al amplificador de audiofrecuencia o a cualquier otra carga del rectificador. La tensión en el condensador C_f , que es el elemento de salida del rectificador, es igual al producto de la tensión del devanado secundario U_{II} del transformador por $1.4 (\sqrt{2})$.

El transformador de red, que es la base del bloque de alimentación, puedes hacerlo tú mismo utilizando para él un circuito magnético adecuado de otro transformador. La potencia de este transformador no debe ser menor que la de la corriente que consume la carga del rectificador. Te aclararé esto con un ejemplo concreto de elección del circuito magnético. Supongamos que la tensión de alimentación del

amplificador de audiofrecuencia construido por ti debe ser de 12 V con una corriente de 300 mA (0,3 A). Por lo tanto, la potencia de la corriente del rectificador que consume el amplificador será:

$$P = U_c \times I_c = 12 \times 0,3 = 3.6 \text{ V}$$

Teniendo en cuenta las inevitables pérdidas que se producen durante la transformación y la rectificación de la corriente alterna, la potencia del transformador de red del bloque de alimentación debe ser de 5 W como mínimo. El área de la sección del núcleo del circuito magnético correspondiente a la potencia del transformador necesaria, se puede determinar por la fórmula simplificada $S = 1,3 \times \sqrt{P_r}$, en la que 1,3 es un coeficiente promediado y P_{tr} , la potencia del transformador. Por consiguiente, para nuestro ejemplo, el área de la sección mínima del circuito magnético del transformador debe ser no menor de:

$$S = 1,3 \times \sqrt{P_r} = 1,3\sqrt{5} \approx 3 \text{ cm}^2$$

El área de la sección del circuito magnético elegido sirve de parámetro inicial para calcular los números de espiras de los devanados primario y secundario del transformador de red del rectificador.

La experiencia demuestra que los circuitos magnéticos más a propósito para las construcciones de los aficionados a la radio son los de los transformadores de salida de los receptores de radiodifusión de lámparas y los de los canales de sonido de los televisores. El área de la sección de muchos de ellos es de 4 a 5 cm² y cualquiera de ellos se puede utilizar para hacer el transformador de red del bloque de alimentación. Se debe preferir el circuito magnético de mayor sección, ya que en este caso tendrán menos espiras los devanados y si el transformador tiene más potencia que la necesaria, eso no perjudicará.

El cálculo de los devanados del futuro transformador de red hazlo en el orden siguiente. Primero determina el área del circuito magnético que hayas elegido. Para eso, el grosor del conjunto de láminas (en centímetros) multiplícalo por la anchura de la lengüeta de en medio de una lámina. Después calcula el número de espiras por voltio de tensión, para la sección dada del circuito magnético, por la fórmula simplificada $w = 50/S$, en la que w es el número de espiras; S , el área de la sección del circuito magnético, y 50, un factor constante. El número de espiras que obtengas w multiplícalo por la tensión en voltios que se le suministra al devanado primario y por la tensión que debe proporcionar el secundario. Los productos de estas magnitudes dan el número de espiras de cada devanado.

Supongamos que tú tienes un circuito magnético de láminas Ш-20; el grosor del conjunto de láminas es de 25 mm y la anchura de la lengüeta, 20 mm. Por lo tanto, el área de la sección será $2 \times 2,5 = 5 \text{ cm}^2$. La tensión en la red es de 220 V (U_I en la Figura 130), el devanado secundario debe dar la tensión alterna U_{II} , igual, por ejemplo, a 10 V. Determinamos el número de espiras que para el circuito magnético dado debe corresponder a 1 V de tensión;

$$w = 50/S = 50/5 = 10 \text{ espiras.}$$

Ahora es fácil hallar el número de espiras que debe tener cada devanado: el primario, calculado para la tensión en la red de 220 V deberá tener $10 \times 220 = 2200$ espiras, y el secundario, $10 \times 10 = 100$. Si el transformador debe conectarse a una red cuya tensión sea menor que 220 V, por ejemplo, en una red de 127 V, hay que calcular de nuevo solamente el número de espiras del devanado primario. Para el primario puede utilizarse hilo ПЭВ-1 0,12 a 0,15, y para el secundario, ПЭВ-1 0,55-0,62. Sobre el armazón arrolla primero el devanado primario y después el secundario. El hilo de los devanados debes colocarlo en filas compactas, espira junto a espira. Entre las filas interpón una o dos capas de papel fino, y entre los devanados, tres o cuatro capas del mismo papel o dos o tres de otro más grueso.

Los terminales de los devanados pásalos a través de orificios practicados en las gualderas del armazón e inmediatamente haz en el las correspondientes marcas.

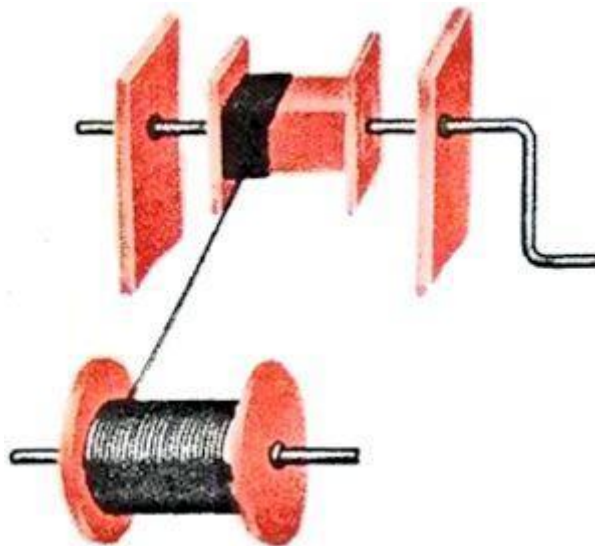


Figura 131. Dispositivo para hacer los devanados del transformador

Los devanados del transformador conviene devanarlos valiéndose del simple dispositivo que se muestra en la Figura 131. De eje del taco, que entra ajustado en la abertura del armazón del transformador, sirve una varilla metálica de 6 a 8 mm de diámetro acodada por uno

de sus extremos en forma de manivela. Esta varilla se apoya en los orificios que hay en dos montantes de tabla. Con una mano giras el eje y con la otra conduces el hilo sobre el armazón. El devanado se puede hacer también a mano, utilizando un taco más largo provisto de mango para tenerlo en la mano. Presta atención a que el arrollamiento del hilo sea uniforme y compacto y al aislamiento entre las filas y los devanados. Si la primera condición no se cumple, el número requerido de espiras de los devanados puede no caber en el armazón. Y si el aislamiento entre las filas y entre los devanados no es seguro, al conectar el transformador a la red éstos pueden perforarse, produciéndose entre ellos o entre las espiras un cortocircuito y el transformador habrá que hacerlo de nuevo.



Figura 132. Montaje del circuito magnético de un transformador de red

Las láminas del circuito magnético móntalas alternativamente (Figura 132) hasta llenar por completo la abertura del armazón, y apriétalas entre sí con un engaste (o con espárragos y tuercas, envolviendo previamente aquellos en papel para que a su través no hagan contacto las láminas). Si el circuito magnético está mal apretado puede zumbir.

Y ahora...

§. Bloque de alimentación de la red

En esta parte de mi charla te voy a hablar del bloque de alimentación de la red de corriente alterna ya terminado de los aparatos de transistores. Los receptores o amplificadores que construyas podrás variarlos, simplificarlos o complicarlos, pero para su alimentación utilizarás el mismo bloque.

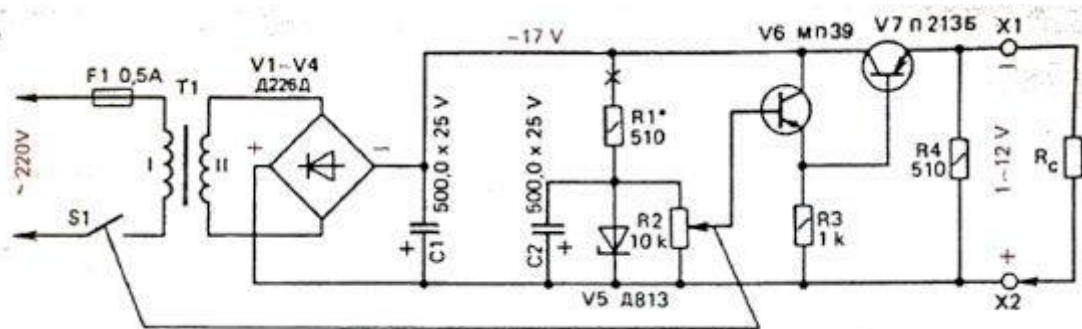


Figura 133. Esquema básico del bloque de alimentación de las construcciones transistorizadas

El bloque de alimentación que te ofrezco (Figura 133) es un rectificador de onda entera con estabilizador y regulador de la tensión rectificada. La tensión de la corriente continua se puede variar suavemente a su salida desde aproximadamente 1 hasta 12 V con corriente de hasta 0.5 A. Esto significa que el bloque se puede utilizar para alimentar prácticamente cualquier receptor o amplificador de audiofrecuencias y los instrumentos de medida a base de transistores.

Vamos a examinar la estructura y el funcionamiento de este bloque. El devanado I del transformador de red T1 se conecta a la red del alumbrado de 220 V a través del fusible E1 y del interruptor S1. El devanado II del transformador y los diodos V1...V4 están conectados según el esquema del puente y forman el rectificador de onda entera. Esta parte del bloque de alimentación ya la conoces por lo antedicho en esta charla (ve la Figura 130).

Al puente rectificador va conectado el condensador electrolítico C1, que atenúa parcialmente las ondulaciones de la tensión rectificada. Desde él, la tensión rectificada va a parar a la carga R_c a través del estabilizador de tensión, que desempeña la función de filtro adicional del rectificador y, al mismo tiempo, de regulador de la tensión de salida del bloque de alimentación.

Sigue el circuito de alimentación de la carga R_c (receptor, amplificador) que se conecta a los bornes X1 "-" y X2 "+" del bloque. La corriente en este circuito y, por consiguiente, la tensión en la carga, depende del estado del transistor V7, intercalado en este circuito. Cuando este transistor está abierto y la resistencia de su sección emisor-colector es pequeña (de varios ohmios), toda la tensión del rectificador recae sobre la carga R_c . En cambio, cuando el transistor está cerrado y la resistencia de su sección emisor-colector se hace muy grande, casi toda la tensión del rectificador recae sobre esta sección y la parte que le corresponde a la carga es prácticamente nula. El estado del transistor V7 lo controla el transistor V6, que a su vez está controlado por la tensión que llega a

su base procedente del cursor del resistor variable R2. Ambos transistores están conectados según el esquema de colector común (amplificadores de emisor servoasistido) y funcionan como un amplificador bietápico de corriente. La carga del transistor V6 es la unión emisor $p-n$ del transistor V7 y el resistor R3, y la carga del transistor regulador V7, el circuito del receptor o amplificador conectado a la salida del bloque.

El circuito de control del estabilizador de tensión lo forman el estabilizador paramétrico, constituido por el resistor R1 y el diodo de regulación de tensión V5, y el resistor variable R2 conectado a él. En virtud del diodo V5 y del condensador C2, sobre el resistor variable (que respecto del diodo V5 está conectado como potenciómetro, es decir, como divisor de tensión) actúa una tensión continua igual a la de estabilización U_{est} que se utiliza en el bloque del diodo regulador de tensión. En el bloque que describo esta tensión es igual a 12 V. Cuando el cursor del resistor variable se encuentra en la posición extrema inferior (según el esquema), el transistor de control V6 está cerrado, ya que la tensión en su base (respecto del emisor) es nula. El transistor regulador V7 también está cerrado en estas condiciones. A medida que el cursor del resistor variable se desplaza hacia arriba, a la base del transistor V6 llega tensión negativa de apertura y en su circuito emisor surge corriente. Al mismo tiempo, la tensión negativa que incide sobre el resistor R3 del emisor del transistor V6 abre el transistor V7 y en el circuito exterior del bloque de alimentación aparece corriente. Cuanto mayor es la tensión negativa en la base del transistor V6, tanto más se abren los transistores, mayor es la tensión en la salida del bloque de alimentación y la corriente en su carga.

La tensión máxima en la salida del bloque es casi igual a la tensión de estabilización del diodo regulador de tensión V5 (Д813) y la corriente máxima que consume la carga del bloque es igual al duplo de la corriente directa de los diodos del rectificador. En el rectificador del bloque que estoy describiendo se utilizan diodos de la serie Д226, cuya tensión rectificadora máxima es de 300 mA (0,3 A). Por consiguiente, la corriente máxima que consume la carga del bloque de alimentación puede llegar a ser de 600 mA. Cuando la corriente en la carga varía desde varios miliamperios hasta 280-300 mA, la tensión en ella permanece prácticamente invariable.

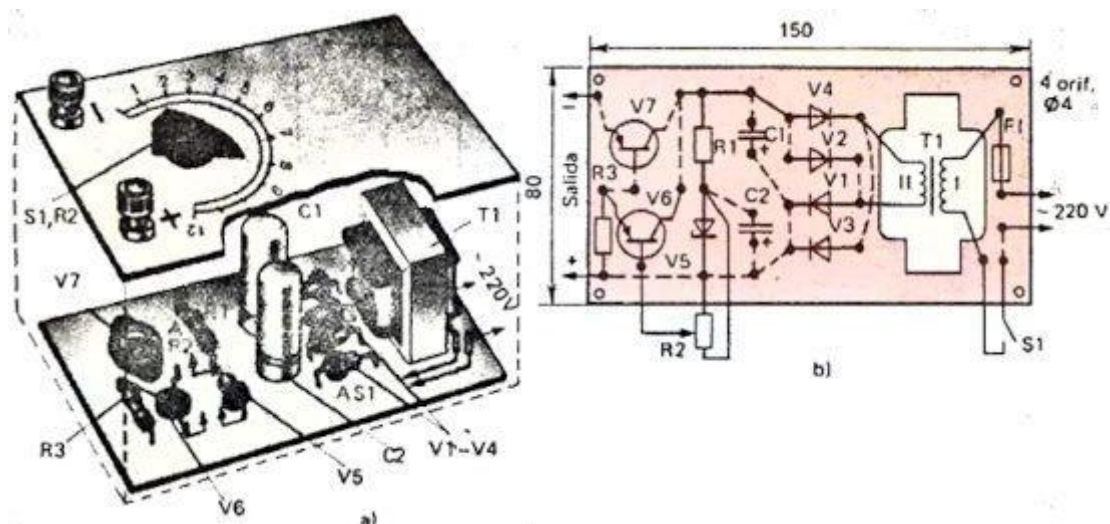


Figura 134. Estructura del bloque de alimentación y esquema de las conexiones de sus elementos en la placa de montaje

Una posible estructura del bloque de alimentación se muestra en la Figura 134a. Las líneas de trazos representan convencionalmente las aristas de la caja de madera contra-chapada del bloque. Todos los elementos, excepto el resistor variable R2 con el interruptor de alimentación SI, el resistor R4 y los bornes, van montados en un panel (placa) de cartón baquelizado que se atornilla a la base de la caja. Las dimensiones aproximadas de este panel y el esquema de la disposición y conexiones de los elementos en él se muestra en la Figura 134b. En este dibujo los elementos se representan, lo mismo que en el esquema básico, esquemáticamente, y los conductores de conexión que se encuentran debajo del panel, por líneas de trazos. El cuerpo del transistor V6 está dentro de un orificio (de 10 mm de diámetro) practicado en la placa. La parte inferior del cuerpo del transistor V7 también se encuentra dentro de un orificio (de 17 mm de diámetro) hecho en la placa y se sujeta a ella desde arriba por medio de su brida. El resistor variable R2 (tipo TK o TKД) con el interruptor S1 y los bornes de salida del bloque van sujetos a otro panel, hecho de cartón baquelizado, textolita de fibra de vidrio o cualquier otro material laminado aislante de 2 a 3 mm de espesor (en último caso se puede hacer de madera contrachapada), que hace las veces de tapa de la caja. Dichos elementos se conectan con los respectivos puntos del panel de montaje por medio de conductores multifilares con aislamiento seguro. El resistor R4 va soldado directamente a los bornes de salida.

El resistor R2, para potencia disipada menor de 0.5 W, debe ser del grupo A, es decir, su resistencia entre la salida del cursor y cualquiera de las salidas externas es directamente proporcional al ángulo de giro del eje. Eso es necesario para que la escala de tensiones de salida sea lo más uniforme posible. El factor h_{21E} de los transistores puede ser pequeño, por ejemplo, 15-20, lo importante es que estén en

buenas condiciones. En vez del transistor МП39 se puede emplear cualquiera otros transistores para baja frecuencia y poca potencia (МП40-П42) y en vez del П213Б, los transistores П214-П217 con cualquier índice literal. El potente transistor V7 conviene ponerlo en un radiador. Los resistores R1 y R3 son del tipo МЛТ para cualquier potencia de disipación. Los condensadores electrolíticos son del tipo К50-6. Sus capacidades pueden ser de más de 500 μF , con lo que se atenuarán mejor las ondulaciones de la corriente rectificada. En lo que se refiere a sus tensiones nominales, la del condensador debe ser no menor de 25 V, y la del C2, no inferior a 15 V. El diodo regulador de tensión V5 es de la serie Л813 o de las semejantes a ella Д811 y 814ДГ, con tensión de estabilización de 12 V. Para el propio rectificador, además de los diodos de la serie Д226 se pueden emplear los Д1 con cualquier índice literal.

El transformador de red puedes hacer tú mismo como ya te dije en esta charla.

Al montar los elementos del bloque de alimentación presta especial atención a que la polaridad de conexión de los diodos, condensadores electrolíticos y terminales de los transistores sea correcta. Una vez terminado el montaje comprueba por el esquema básico si hay errores o conexiones innecesarias. Sólo después de esto conecta el bloque a la red y comprueba su aptitud para el trabajo. En cuanto conectes la alimentación mide con el voltímetro de corriente continua la tensión en la salida del bloque. Cuando el cursor del resistor variable R2 esté en la posición extrema superior (según el esquema), dicha tensión debe ser igual a la nominal de estabilización del diodo regulador de tensión (en nuestro caso a 12 V) e irá disminuyendo suavemente hasta cero a medida que se gira el eje del resistor variable en sentido contrario al de las agujas del reloj. Si por el contrario, con esta rotación del eje del resistor aumenta la tensión, cambia de sitio entre si los conductores que van a los bornes extremos de este regulador de la tensión de salida del bloque.

Luego, en la interrupción del circuito del diodo regulador de tensión, indicada con un aspa en la Figura 133, conecta el miliamperímetro y escoge un resistor R1 con el cual la corriente en este circuito sea igual a 10-12 mA. Al conectar a la salida del bloque una carga, cuyo papel puede ser desempeñado por un resistor bobinado de 100 a 120 Ω de resistencia, la corriente a través del diodo regulador de tensión debe disminuir hasta 6 u 8 mA, y la tensión en la carga equivalente permanecer invariable.

Hecho esto, empieza a calibrar la escala del resistor variable R2, por la cual, en adelante, vas a establecer la tensión que se suministra a una u otra carga. Haz esto así. A los bornes de salida conecta un resistor de 430 a 470 Ω de resistencia, para cerrar el circuito exterior

del bloque, y un voltímetro de corriente continua. Después, gira suavemente el eje del resistor variable y en un arco, trazado alrededor de dicho eje, haz las señales correspondientes a las tensiones que indique el voltímetro.

Con esto se puede dar por terminado el reglaje del bloque de alimentación.

¿Qué modificaciones o qué complementos se pueden introducir en este bloque de alimentación?

Puede ocurrir que no dispongas del transistor П213Б u otro para potencia media o grande. En vez de él puedes poner el transistor МП42. Pero en este caso la corriente máxima que del bloque de alimentación puede consumir la carga no deberá ser de más de 40 50 mA. De momento eso satisfará tus necesidades; más tarde podrás sustituir este transistor por otro para gran potencia.

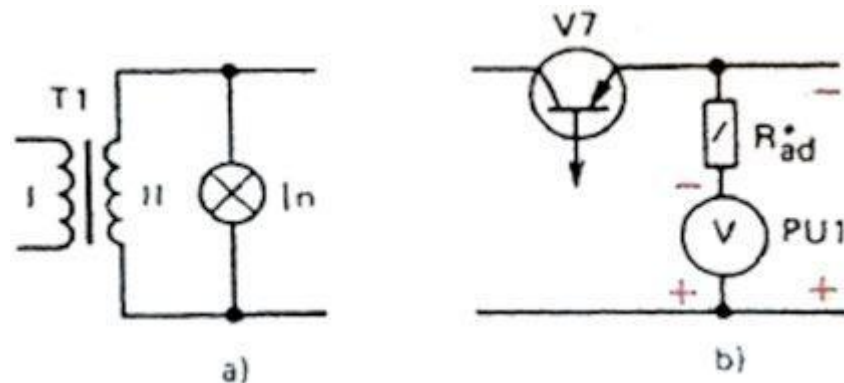


Figura 135. Introducción en el bloque de un indicador la conexión de alimentación (a) y un voltímetro para la tensión de salida (b)

Al devanado secundario del transformador se puede conectar una lamparita de incandescencia para conmutadores In1 (Figura 135a), calculada para la tensión de 12 V, y sujetarla en el panel superior frontal. Esta lamparita, al encenderse, indicará que el bloque está conectado, a la red.

El bloque se puede completar con un voltímetro y por él, en vez de por la escala del resistor variable, establecer la tensión de salida necesaria. El esquema de conexión de este instrumento de medida a la salida del bloque se muestra en la Figura 135b. Para este fin sirve cualquier instrumento pequeño, de sistema magnetoeléctrico, para corriente de 1 a 5 mA. La resistencia aproximada del resistor adicional, que limita la corriente que puede pasar por el voltímetro PU1, calcúlala por la fórmula, deducida de la ley de Ohm, $R = U/I$, en la que U es la tensión máxima en la salida del bloque de alimentación, e I, la corriente máxima para la cual está calculado el instrumento de medida. Así, por ejemplo, si el instrumento es para 5

mA y la tensión de salida del bloque es de 12 V, el resistor R_{ad} deberá tener una resistencia de cerca de $2400\ \Omega$. La escala del instrumento se calibra valiéndose de un voltímetro piloto.

El voltímetro, lo mismo que el resistor variable, se puede colocar en el panel frontal del bloque.

En el bloque de alimentación se puede introducir también un indicador de sobrecarga. Eso conviene hacerlo porque los transistores que funcionan en el estabilizador de tensión no aguantan sobrecargas. Lo más peligroso es un cortocircuito entre los bornes de salida o entre los conductores de corriente de la construcción que se conecta al bloque. En este caso a través del transistor regulador V7 puede pasar una corriente excesivamente grande para él, y puede producir la perforación térmica del transistor y su inutilización.

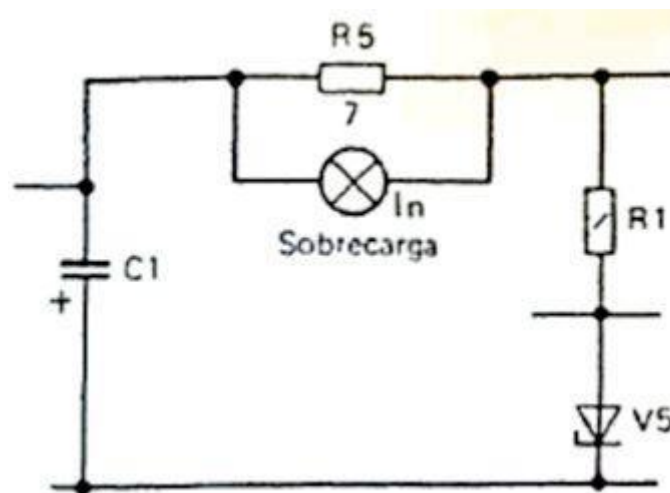


Figura 136. Introducción en el bloque de alimentación de un indicador de sobrecarga

El indicador de sobrecarga más simple (Figura 136) consiste en un resistor $R5$ y una lámpara de incandescencia $In2$ conectada en paralelo con él. Este indicador se intercala en una interrupción del circuito entre el condensador de filtrado $C1$ y el diodo regulador de tensión paramétrico $R1V5$. A medida que crece la corriente de carga, aumenta la caída de tensión en el filamento de la lámpara $In2$ y en el resistor $R8$. La resistencia de éste se elige de tal manera que cuando la corriente de carga sea de 200 a 250 mA el filamento de la lámpara empiece a incandescer de modo perceptible a la vista, y cuando dicha corriente sea mayor de 500 mA, brille intensamente indicando la sobrecarga del bloque de alimentación.

El resistor $R5$ es bobinado para una potencia de disipación mínima de 10 W. Emplea para hacerlo alambre de alta resistencia, de manganina, nicromo o constantán de 0.18 a 0,2 mm de diámetro. Devánalo sobre el armazón de un resistor MAT-0,5 o MAT-1,0. La

lámpara de señalización H2 debe ser de conmutador, KM6-60 (6V×60 mA) o MH6.3-0.26 (6.3 V×0.26 A). Colócala en el panel, por la parte de dentro, no lejos del resistor variable R2 y el orificio (que debes hacer frente a ella) cúbrelo con una película roja transparente. Este sencillo dispositivo de señalización te ayudará, en caso de sobrecarga del bloque de alimentación, a evitar que se estropeen los transistores del estabilizador de tensión.

¿Debe tener siempre estabilizador de tensión el bloque de alimentación? No. No es necesario, por ejemplo, para el rectificador del bloque de alimentación de un amplificador de audiofrecuencias de elevada potencia de salida, y para algunos otros aparatos que no requieren atenuación escrupulosa de las ondulaciones de la tensión rectificada.

Para terminar quiero recordarte una vez más lo siguiente: Cuando uses el bloque de alimentación de la red no olvides que en el circuito del devanado primario de su transformador actúa una tensión bastante alta.

¡Ten cuidado!

Charla 11

Amplificador de audiofrecuencia

Contenido:

- §. Etapas del amplificador
- §. Un amplificador simple de dos etapas
- §. Estabilización del régimen de funcionamiento de un transistor
- §. Amplificador de potencia en contrafase
- §. Parámetros del amplificador de audiofrecuencia
- §. Altavoces dinámicos de radiación directa
- §. Amplificador de audiofrecuencia con potencia de salida elevada
- §. Toca-discos

* * * *

El amplificador de las oscilaciones de audiofrecuencia es una parte integrante de todo receptor de radio, radiola, televisor o magnetófono moderno. Este amplificador es la base de la radiodifusión por hilo, de muchos instrumentos de medida, de la automatización y la técnica de calcular electrónica y de las instalaciones cibernéticas. Pero en esta charla voy a hablarte de muy poco: de los elementos y del funcionamiento de los amplificadores transistorizados que se emplean en una rama muy limitada de la radiotécnica, en la amplificación y transformación de las oscilaciones eléctricas de audiofrecuencia en sonido.

§. Etapas del amplificador

Se entiende por etapa amplificadora el transistor con los resistores, condensadores y demás elementos que crean las condiciones para su funcionamiento como amplificador. El amplificador que hiciste para el receptor de cristal (ve la Figura 87) era de una etapa. Su transistor podía ser compuesto (ve la Figura 90), pero el amplificador seguía siendo de una etapa. Un amplificador transistorizado de una sola etapa es incapaz de asegurar la amplificación suficiente de la señal de frecuencia acústica para reproducir el sonido en un altavoz.

Para eso el amplificador de transistores tiene que ser, por lo menos, de dos etapas. En los amplificadores con varias etapas éstas pueden ser de amplificación previa y de salida o finales. Se llama etapa de salida la final del amplificador, que funciona para los auriculares o para el motor del altavoz, y previas son las etapas que preceden a la de salida.

La misión de la etapa o etapas previas de amplificación consiste en aumentar la tensión de audiofrecuencia hasta el valor necesario para que funcione el transistor de la etapa de salida. Del transistor de la etapa de salida se requiere que eleve la potencia de las oscilaciones de frecuencia acústica hasta el nivel necesario para el funcionamiento del motor dinámico del altavoz.

Para las etapas de salida de los amplificadores transistorizados más simples, los radioaficionados suelen utilizar transistores para poca potencia iguales que los de las etapas de amplificación previa. Esto se explica por el deseo de que el amplificador sea más económico, lo que tiene especial importancia para las construcciones portátiles con alimentación por baterías. La potencia de salida de estos amplificadores es pequeña-de varias decenas de mW a 100-150 mV, pero suficiente para el funcionamiento de los auriculares o los motores dinámicos de poca potencia de los altavoces. Si el problema del ahorro de energía de las fuentes de alimentación no tiene tanta importancia, por ejemplo, si los amplificadores se alimentan de la red del alumbrado, en las etapas de salida se utilizan transistores potentes.

¿Cuál es el principio de funcionamiento de un amplificador de varias etapas?

El esquema de un sencillo amplificador de audiofrecuencias transistorizado de dos etapas puedes verlo en la Figura 137.

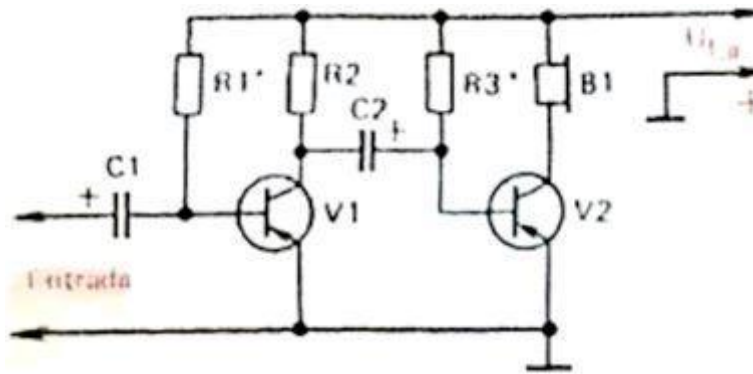


Figura 137. Amplificador bietápico

Examínalo atentamente. En la primera etapa del amplificador funciona el transistor V1 y en la segunda, el V2. Aquí la primera etapa es la de amplificación previa y la segunda, la de salida. Entre ellas se encuentra el condensador separador C2. El principio de funcionamiento de cualquiera de las etapas de este amplificador es análogo al principio básico del funcionamiento del amplificador de una etapa que ya conoces. La diferencia consiste únicamente en los elementos: de carga el transistor de la primera etapa V1 sirve el resistor R2, y de carga del transistor V2, de la etapa de salida, los auriculares 131 (o si la señal de salida es suficientemente potente, el motor del altavoz). La tensión de polarización a la base del transistor de la primera etapa llega a través del resistor R1, y a la base del transistor de la segunda etapa, a través del resistor R3. Ambas etapas se alimentan de una fuente común U_{fa} , la cual puede ser una batería de pilas o un rectificador. El régimen de funcionamiento de los transistores se establece eligiendo los resistores R1 y R3, lo que en el esquema se indica por medio de asteriscos.

La acción del amplificador en conjunto consiste en lo siguiente. La señal eléctrica, que a través del condensador C1 llega a la entrada de la primera etapa, es amplificada por el transistor V1, con el resistor de carga R2, y a través del condensador separador C2, pasa a la entrada de la segunda etapa. En ella es amplificada por el transistor V2 y los auriculares B1 conectados al circuito colector del transistor, la transforman en sonido.

¿Qué papel desempeña el condensador C1 a la entrada del amplificador? Cumple dos misiones: deja pasar libremente la tensión alterna de la señal al transistor y evita el cierre de la base al emisor a través de la fuente de la señal. Figúrate que este condensador no existe en el circuito de entrada y que de fuente de la señal que se amplifica sirve un micrófono electrodinámico de poca resistencia interna. ¿Qué ocurrirá? Que a través de la pequeña resistencia del micrófono la base del transistor resultará unida con el emisor. El transistor se cerrará, puesto que funcionará sin tensión de polarización inicial. Sólo se abrirá durante los semiperiodos negativos

de la tensión de la señal. Y los semiperiodos positivos que cerrarán aún más el transistor, serán "cortados" por él. Como resultado, el transistor distorsionará la señal que amplifica.

El condensador C2 acopla las etapas del amplificador por la tensión alterna. Debe dejar pasar bien la componente alterna de la señal que se amplifica y detener la componente continua del circuito colector del transistor de la primera etapa. Si junto con la componente alterna condujera el condensador la corriente continua, el régimen de funcionamiento del transistor de la etapa de salida se alteraría y el sonido sería distorsionado o desaparecería por completo.

Los condensadores que desempeñan estas funciones se llaman *condensadores de acoplamiento de enlace entre etapas o separadores*.

Los condensadores de entrada y los de enlace entre etapas deben dejar pasar bien toda la banda de frecuencias de la señal a amplificar, desde las más bajas hasta las más altas. Esta condición la cumplen los condensadores con capacidad mínima de 5 μF . La utilización de condensadores de acoplamiento de grandes capacidades en los amplificadores transistorizados se explica porque las resistencias de entrada de los transistores son relativamente pequeñas. El condensador de acoplamiento ofrece a la corriente alterna una resistencia capacitiva (capacitancia) que será tanto menor cuanto mayor sea su capacidad. Si ésta resulta ser mayor que la resistencia de entrada del transistor, sobre aquél recaerá una parte de tensión de la corriente alterna mayor que sobre la resistencia de entrada del transistor, por lo que se producirá una pérdida de amplificación. La capacitancia del condensador de acoplamiento debe ser por lo menos de 3 a 5 veces menor que la resistencia de entrada del transistor. Por eso en la entrada, y también para el enlace entre las etapas de transistores, se ponen condensadores de grandes capacidades. Aquí se emplean condensadores electrolíticos de pequeñas dimensiones, observando obligatoriamente la polaridad de sus conexiones.

Éstas son las particularidades más características de los elementos del amplificador de audiofrecuencias transistorizado de dos etapas.

Para fijar en la memoria el principio de funcionamiento de un amplificador de audiofrecuencias transistorizado de dos etapas te propongo montar, ajustar y comprobar el funcionamiento de varias variantes del mismo.

§. Un amplificador simple de dos etapas

Los esquemas básicos de dos variantes de este amplificador se dan en la Figura 138.

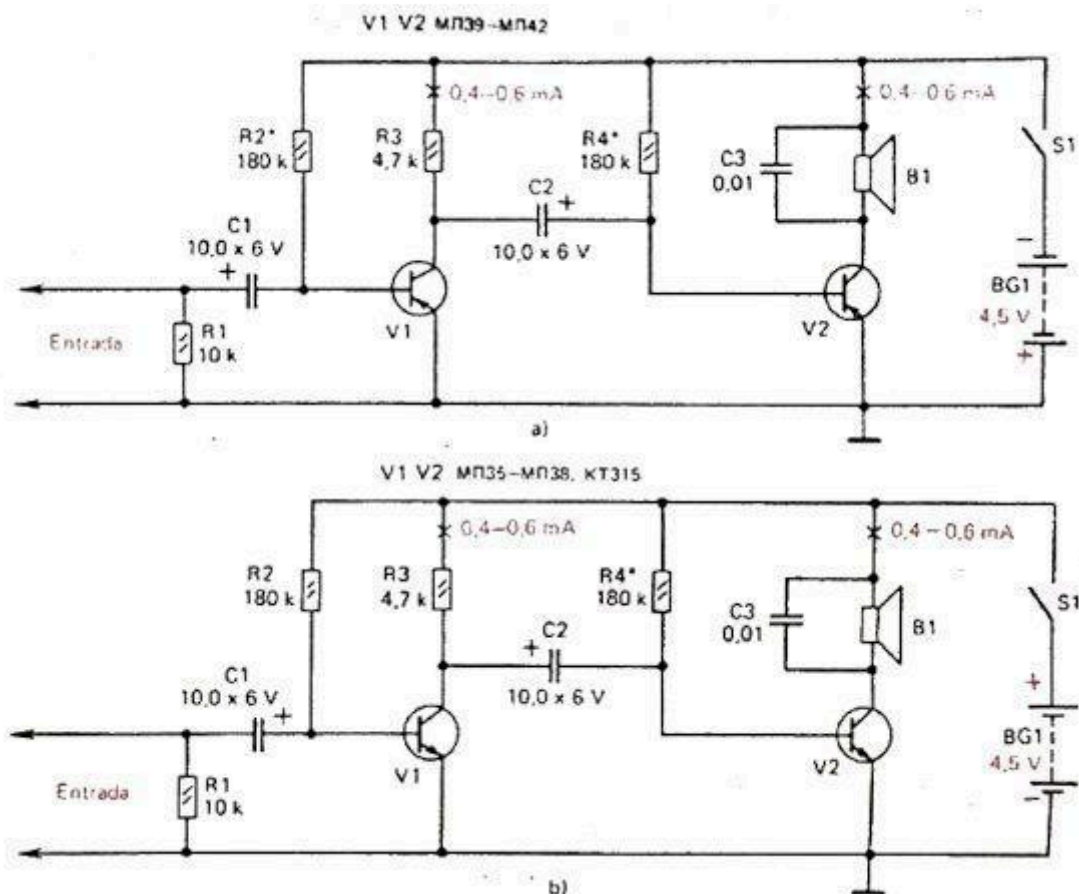


Figura 138. Amplificador bietápico de audiofrecuencia: de transistores $p-n-p$ (a); de transistores $n-p-n$ (b)

En esencia son una repetición del esquema que hemos examinado del amplificador de transistores. Únicamente se diferencian en que en ellos se dan los datos de los elementos y se han introducido otros tres elementos adicionales: los R1, C3 y S1.

El resistor R1 es la carga de la fuente de oscilaciones de frecuencia acústica (un receptor de cristal detector o un fonocaptor); C3 es el condensador que bloquea al motor D1 del altavoz por las frecuencias acústicas altas, y S1 el interruptor de alimentación.

En el amplificador de la Figura 138 a funcionan transistores de estructura $p-n-p$, y en el de la Figura 138b, transistores de estructura $n-p-n$.

A esto se debe que la polaridad de conexión de las baterías que los alimentan sea distinta: a los colectores de los resistores de la primera variante del amplificador se hace llegar la tensión negativa, y a los colectores de los de la segunda, la tensión positiva. La polaridad de conexión de los condensadores electrolíticos también es distinta. En todo lo demás estos amplificadores son exactamente iguales.

En cualquiera de estas variantes del amplificador pueden funcionar transistores con factor estático de transferencia de corriente h_{21E} : de 20 a 30 y mayor. En la etapa de preamplificación (primera) hay que poner un transistor con gran factor h_{21E} . El papel de la carga B1 de la etapa de salida lo pueden desempeñar unos auriculares, una cápsula telefónica ДЭМ-4 o un altavoz de abonado. Para alimentar el amplificador se emplea una batería 3336A o un bloque de alimentación de la red del alumbrado (del cual ya se ha hablado).

El amplificador móntalo previamente en placa maqueta para poder estudiarlo detalladamente y aprender a ajustarlo, después de lo cual puedes trasladar sus elementos a la placa permanente.

Primero monta en la placa maqueta solamente los elementos de la primera etapa y el condensador C2. Entre el terminal derecho (según el esquema) de este condensador y el conductor puesto a tierra de la fuente de alimentación conecta los auriculares. Si ahora se une la entrada del amplificador con los enchufes de salida de un receptor de cristal detector, sintonizado a una estación de radio cualquiera, o se conecta a ella un fonocaptor y se toca un disco de gramófono, en los auriculares se oye el sonido de la estación emisora o la música grabada en el disco. Eligiendo la resistencia del resistor R2 (lo mismo que para ajustar el régimen de funcionamiento del amplificador con un solo transistor, de lo cual ya te hablé en la charla séptima), consigue que el volumen sea máximo. En estas condiciones, si se conecta al circuito colector del transistor un miliamperímetro, este debe indicar una corriente de 0,4 a 0,6 mA. Cuando la tensión de la fuente de alimentación es de 4,5 V éste es el régimen más conveniente de funcionamiento del transistor.

Después monta los elementos de la segunda etapa (de salida) del amplificador y conecta los auriculares al circuito colector de su transistor. Ahora los auriculares deben sonar con mucha más intensidad. El volumen del sonido puede ser aún mayor después de que, eligiendo el resistor R4, se establece en el transistor la corriente colectora de 0,4 a 0,6 mA.

También se puede proceder de otra forma: se montan todos los elementos del amplificador, se establecen los regímenes recomendados de los transistores (por las corrientes en los circuitos colectores o por las tensiones en los colectores de los transistores) eligiendo convenientemente los resistores R2 y R4, y sólo después de hacer esto se comprueba el funcionamiento por reproducción del sonido. Esta vía es más técnica. Para un amplificador más -A complejo, como los que tendrás que usar principalmente, es la única correcta.

Creo que habrás comprendido que mis consejos sobre el ajuste del amplificador de dos etapas son válidos en igual medida para sus dos variantes. Si los factores de transmisión de corriente de sus transistores son aproximadamente iguales, los volúmenes del sonido en los auriculares, cargas de los amplificadores, deberán ser iguales. Pero como ya he dicho antes, la carga del amplificador puede ser una cápsula telefónica ДЭМ-4 o un altavoz de abonado. En este caso el régimen de trabajo del transistor de salida debe ser otro. Con la cápsula ДЭМ-4, cuya resistencia es de $60\ \Omega$, la corriente de reposo del transistor de dicha etapa hay que aumentarla (disminuyendo la resistencia del resistor R4) hasta 4-6 mA, y con el altavoz de abonado (cuyo transformador adaptador, que se utiliza como transformador de salida, tiene un devanado primario de resistencia aún menor), hasta 8 a 10 mA.

El esquema básico de una tercera variante del amplificador de dos etapas se da en la Figura 139. La particularidad de este amplificador es que en su primera etapa funciona un transistor de estructura $p-n-p$ y en la segunda, otro de estructura $n-p-n$. La base del segundo transistor está acoplada al colector del primero no a través de un condensador de enlace entre las etapas, como en los amplificadores de las dos primeras variantes, sino directamente o, como suele decirse, por acoplamiento galvánico. Con este tipo de acoplamiento se amplía la gama de frecuencias de las oscilaciones que se amplifican y el régimen de funcionamiento del segundo transistor viene determinado en lo fundamental por el régimen de funcionamiento del primero, que se establece eligiendo el resistor R2.

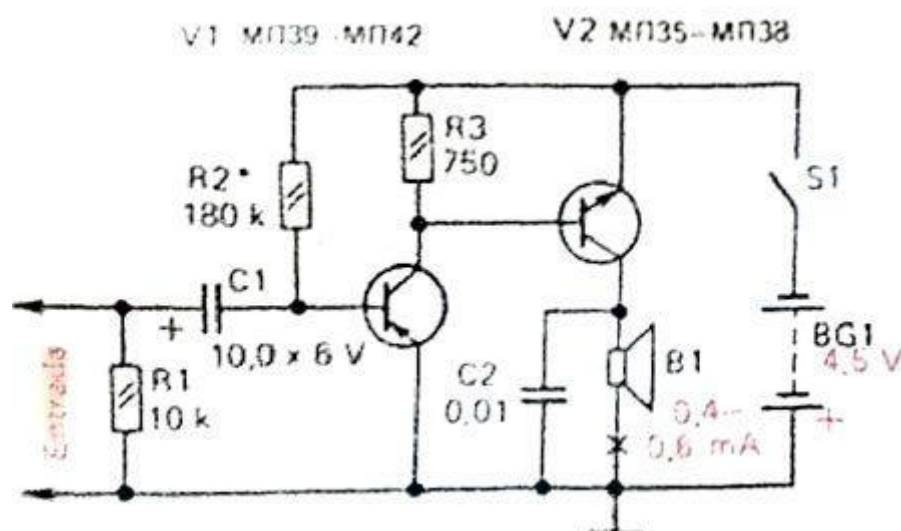


Figura 139. Amplificador de transistores de distinta estructura

En este amplificador sirve de carga del transistor de la primera etapa no el resistor R3, sino la unión emisora $p-n$ del segundo transistor. El resistor es necesario únicamente como elemento de polarización: la

caída de tensión que en él se crea abre el segundo transistor. Si este transistor es de germanio (МП35-МП38), la resistencia del resistor R3 puede ser de 680 a 750 Ω , y si es de silicio, por ejemplo, de la serie KT315 de alrededor de 3 k Ω .

Desgraciadamente, la estabilidad del funcionamiento de este amplificador cuando varia la tensión de alimentación o la temperatura no es alta. En lo demás, todo lo dicho con referencia a los amplificadores de los dos primeros tipos también se refiere a este amplificador.

¿Se puede alimentar el amplificador de una fuente de corriente continua de 9 V de tensión, por ejemplo de dos baterías 3336Λ, o, por el contrario, de una fuente de 1.5 a 3 V de tensión, de una o dos pilas 332 ó 316? Claro que sí: con una tensión más alta de la fuente de alimentación de la carga del amplificador, el altavoz debe sonar con más intensidad, y con una más baja, con menos, intensidad. Pero en este caso el régimen de los transistores debe ser algo distinto. Además, si la tensión de la fuente de alimentación es de 9 V, las tensiones nominales de los condensadores electrolíticos C2 de las dos primeras variantes del amplificador deben ser de 10 V como mínimo. Mientras los elementos del amplificador estén montados en la placa maqueta, todo esto es fácil de comprobar experimentalmente y sacar las consecuencias correspondientes.

Montar los elementos del amplificador ya ajustado en la placa permanente no es difícil.

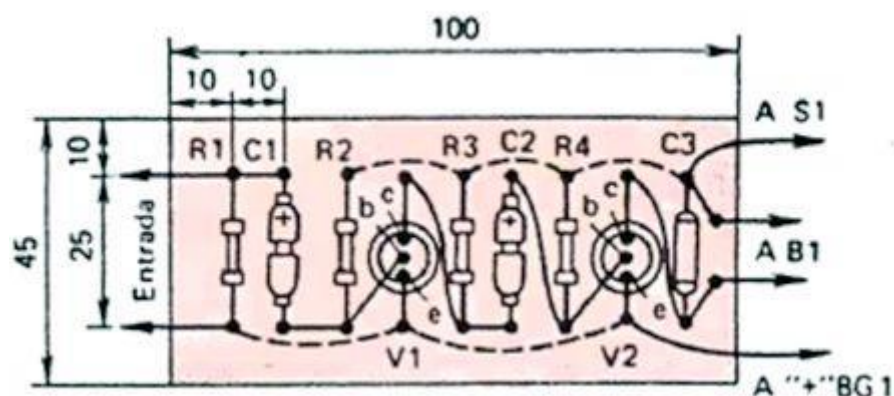


Figura 140. Placa de montaje del amplificador bietápico de audiofrecuencia

Como ejemplo, en la Figura 140 se muestra la placa de montaje del amplificador de la primera variante (según el esquema de la Figura 138a). Corta la placa con una sierra de una hoja de cartón baquelizado o de textolita de 1,5 a 2 mm de espesor. Sus dimensiones, indicadas en la figura, son aproximadas y dependen de

las de los elementos de que dispongas. Por ejemplo, en el esquema la potencia que se indica de los resistores es de 0.125 W y la capacidad de los condensadores electrolíticos, de 10 μF cada uno. Pero eso no significa que sólo esos elementos puedan ponerse en el amplificador. Las potencias de dispersión de los resistores pueden ser cualesquiera. En vez de los condensadores electrolíticos K50-3 o K52-1, que se indican en la placa de montaje, pueden utilizarse condensadores K50-6, y además para tensiones nominales mayores. En dependencia de los elementos de que dispongas puede variar también el esquema de montaje del amplificador.

Del montaje mismo te hablé en la charla nueve. Si te has olvidado, vuelve a leerla.

Cualquiera de los amplificadores de que te he hablado en esta charla te servirá en el futuro, por ejemplo, para un receptor transistorizado portátil.

Ahora, continuando la charla dedicada a los amplificadores, voy a hablarte de la estabilización del régimen de funcionamiento de los transistores.

§. Estabilización del régimen de funcionamiento de un transistor

Un amplificador de la primera o segunda variante (según los esquemas de la Figura 138) montado y reglado en un local, funciona mejor en él que en la calle, donde se encuentra bajo la influencia de los calientes rayos del sol estival o de las heladas invernales. ¿Por qué ocurre eso? Porque, desgraciadamente, con la elevación de la temperatura el régimen de funcionamiento del transistor se altera. El origen de eso es la corriente inversa no controlada del colector I_{CBI} y la variación del factor estático de transferencia de corriente $h_{21\text{E}}$ al variar la temperatura.

En principio, la corriente I_{CBI} es pequeña. En los transistores de germanio para baja frecuencia y pequeña potencia, por ejemplo, esta corriente, medida con una tensión inversa de 5 V en la unión colectora $p-n$ y a la temperatura de 20 °C, no supera 20 a 30 μA , y en los transistores de silicio es menor de 1 μA . Pero cambia mucho por la acción de la temperatura. Si la temperatura aumenta en 10 C, la corriente I_{CBI} del transistor de germanio, aproximadamente, se duplica, y la del de silicio aumenta 2.5 veces. Si, por ejemplo, a 20 °C la corriente I_{CBI} del transistor de germanio es de 10 μA , cuando la temperatura aumenta hasta 60 °C crece aquélla, aproximadamente, hasta 160 μA .

La corriente I_{CBI} caracteriza solamente las propiedades de la unión colectora $p-n$. Pero en las condiciones reales de funcionamiento, la

tensión de la fuente de alimentación resulta estar aplicada a dos uniones $p-n$, la colectora y la emisora. En este caso la corriente inversa del colector pasa también a través de la unión emisora y es como si se amplificara a sí misma. Como resultado, el valor de la corriente no controlada, que varía bajo la acción de la temperatura, aumenta en varias veces. Y cuanto mayor es su parte en la corriente colectora tanto más inestable es el régimen de funcionamiento del transistor en distintas condiciones de temperatura. El aumento del factor de transferencia de corriente h_{21E} con la temperatura, refuerza este efecto.

¿Qué ocurre en estas condiciones en la etapa, por ejemplo, en el transistor V1 del amplificador de la primera o de la segunda variante? Con el aumento de la temperatura, la corriente común del circuito colector aumenta, produciendo una caída de tensión cada vez mayor en el resistor de carga R3 (ve la Figura 138). En cambio, la tensión entre el colector y el emisor disminuye al ocurrir esto, lo que hace que surja una señal distorsionada. Si la temperatura sigue subiendo, la tensión en el colector puede hacerse tan pequeña que el transistor deje por completo de amplificar la señal de entrada.

La influencia de la temperatura sobre la corriente colectora sólo se puede disminuir utilizando transistores con corriente I_{CBI} muy pequeña en los aparatos, por ejemplo, transistores de silicio destinados a funcionar con oscilaciones importantes de la temperatura, o, tomando medidas especiales para estabilizar térmicamente el régimen de funcionamiento de los transistores.

Uno de los procedimientos para la estabilización térmica del régimen de un transistor de germanio de estructura $p-n-p$ se muestra en el esquema de la Figura 141a.

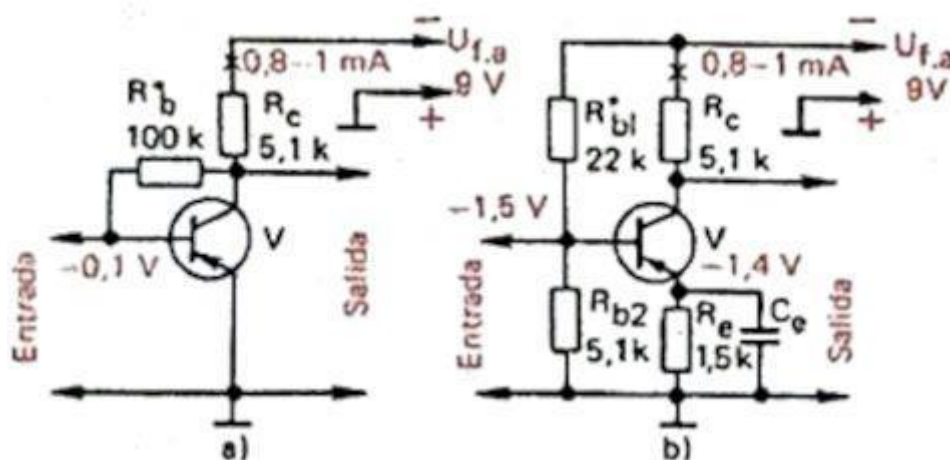


Figura 141. Etapas de amplificación con estabilización térmica del régimen de funcionamiento de los transistores

En él, como puedes ver, el resistor de base R_b está conectado no al conductor de signo menos de la fuente de alimentación, sino al colector del transistor. ¿Qué da esto? Que al aumentar la temperatura, la corriente colectora creciente hace que aumente la caída de tensión en la carga R_c y que disminuya la tensión en el colector. Y como la base está unida (a través del resistor R_b) con el colector, en ella también disminuye la tensión de polarización negativa, lo que a su vez hace que disminuya la corriente colectora. Se obtiene un acople de reacción entre los circuitos de salida y de entrada de la etapa (la corriente colectora creciente hace que disminuya la tensión en la base, con lo que automáticamente disminuye la corriente colectora). Se produce así la estabilización del régimen de funcionamiento dado del transistor.

Pero durante el funcionamiento del transistor, entre su colector y la base, a través del mismo resistor R_b , surge una reacción negativa por la corriente alterna, lo que hace que disminuya la amplificación total de la etapa. De este modo, la estabilización del régimen del transistor se consigue a costa de una pérdida en la amplificación. Es una lástima, pero no hay más remedio que aceptar esta pérdida para poder conservar durante las variaciones de la temperatura del transistor el funcionamiento normal del amplificador.

Existe, sin embargo, un procedimiento de estabilización del régimen de funcionamiento del transistor con pérdidas algo menores en la amplificación, pero eso se consigue complicando la etapa. El esquema de este amplificador se da en la Figura 141b. El régimen de reposo del transistor por la corriente continua y la tensión sigue siendo el mismo: la corriente del circuito colector es de 0,8 a 1 mA, la tensión negativa de polarización en la base, respecto del emisor, es de 0,1 V ($1,5 - 1,4 = 0,1$ V). Pero el régimen se establece con ayuda de los dos resistores adicionales R_{e2} y R_c . Los resistores R_b y R_{b2} forman un divisor, con el cual se mantiene en la base una tensión estable. El resistor del emisor R_e es un elemento de estabilización térmica. La termoestabilización del régimen del transistor transcurre del modo siguiente. A medida que aumenta la corriente colectora bajo la acción del calor, aumenta la caída de tensión en el resistor R_c . Con esto, la diferencia de tensión entre la base y el emisor disminuye, lo que automáticamente hace que disminuya la corriente colectora. Se obtiene la misma reacción, sólo que ahora entre el emisor y la base, en virtud de la cual el régimen del transistor se estabiliza.

Tapas con un trozo de papel o con el dedo el condensador C_c , conectado en paralelo con el resistor R_c y, por consiguiente, que lo shunta. ¿Qué te recuerda ahora este esquema? Una etapa con el transistor conectado según el esquema CC (repetidor emisor). Por lo tanto, durante el funcionamiento del transistor, cuando en el resistor R_c se produce la caída de tensión no sólo de la componente continua,

sino también de la alterna, entre el emisor y la base surge una reacción negativa del 100% por la tensión alterna, con la cual la amplificación de la etapa es menor que la unidad. Pero esto puede ocurrir solamente cuando no está el condensador C_c . Este condensador crea una vía paralela por la cual, sin pasar por el resistor R_c , va la componente alterna de la corriente colectora que pulsa con la frecuencia de la señal que se amplifica, y la reacción negativa no se produce. La capacidad de este condensador debe ser tal que no ofrezca resistencia apreciable alguna a las frecuencias más bajas de la señal que se amplifica. En la etapa de amplificación de audifrecuencias a esta condición puede responder un condensador electrolítico de 10 a 20 μF de capacidad.

Un amplificador con este sistema de estabilización del régimen del transistor es prácticamente insensible a las oscilaciones de la temperatura y también a la sustitución de los transistores, lo cual tiene no menor importancia.

¿Debe estabilizarse precisamente así el régimen de funcionamiento del transistor en todos los casos? Claro que no. Porque todo depende del fin a que se destina el amplificador. Si éste va a funcionar siempre en condiciones domésticas, en que las variaciones de temperatura sean insignificantes, la termoestabilización rígida no es obligatoria. Pero si piensas construir un amplificador o un receptor que funcione establemente tanto en casa como en la calle, tendrás que estabilizar el régimen de los transistores incluso a costa de complicar la construcción con elementos adicionales.

§. Amplificador de potencia en contrafase

Cuando al principio de esta charla hablaba yo de la misión de las etapas del amplificador, dije como con anticipación que en las etapas de salida, que son amplificadores de potencia, los radioaficionados utilizan los mismos transistores para poca potencia que en las etapas de amplificación de la tensión. Entonces es natural que pudiera plantearse, y quizá se planteara, la siguiente pregunta: ¿Cómo se consigue eso? Ahora te voy a responder a ella.

Esas etapas se llaman amplificadores de potencia en contrafase. Pueden ser de transformador, es decir, amplificadores en que se utiliza un transformador, o sin transformador. En tus construcciones emplearás los dos tipos de amplificadores en contrafase de las oscilaciones de audiofrecuencia. Examinemos el principio en que se basa su funcionamiento.

El esquema simplificado de una etapa de amplificación de potencia en contrafase, con transformador, y las gráficas que ilustran su funcionamiento se dan en la Figura 142. En ella, como puedes ver, hay dos transformadores y dos transistores. El transformador T1,

interetápico, es el que enlaza la penúltima etapa con la entrada del amplificador de potencia, y el T2, es el de salida.

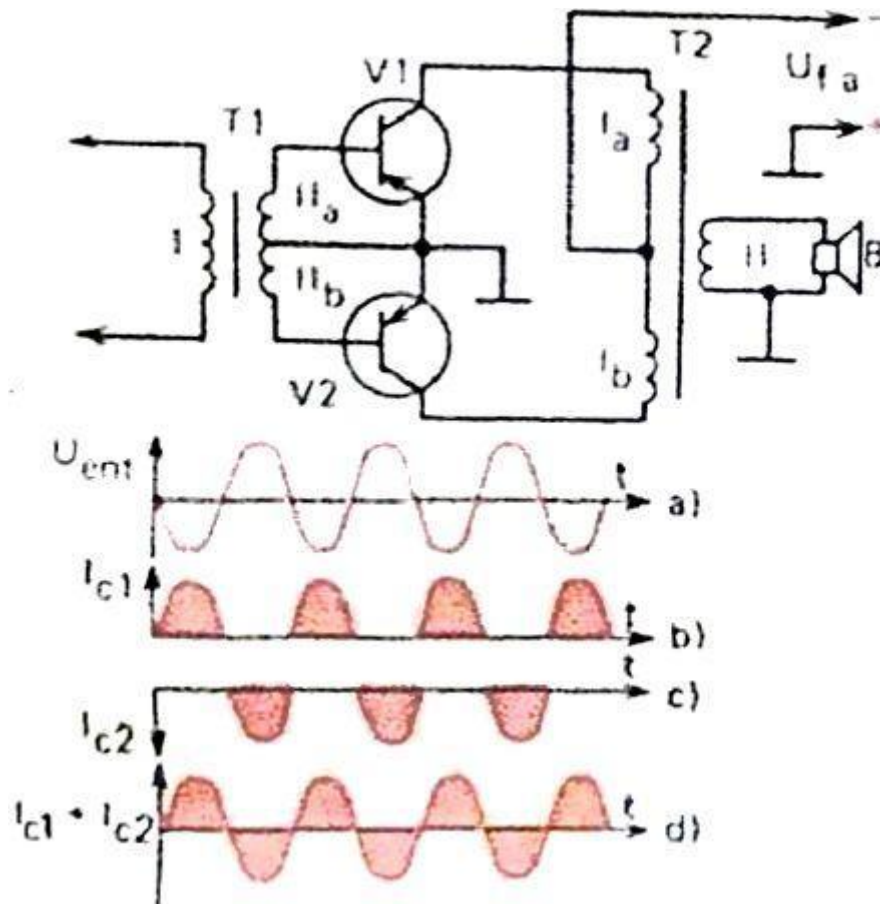


Figura 142. Amplificador de potencia bietápico con transformadores y gráficas ilustrativas de su funcionamiento

Los transistores V1 y V2 están conectados según el esquema EC. Sus emisores, lo mismo que el terminal medio del devanado secundario del transformador interetápico, están "puestos a masa", es decir, conectados con el conductor común de la fuente de alimentación U_{fa} . La tensión negativa de alimentación llega a los colectores de los transistores a través del devanado primario del transformador de salida T2: al colector del transistor V1, a través de la sección I_a , y al colector del transistor V2, a través de la sección I_b . Cada transistor, y la sección que le corresponde del devanado secundario del transformador interetápico, y el devanado primario del transformador de salida forman un amplificador ordinario como los que ya conoces.

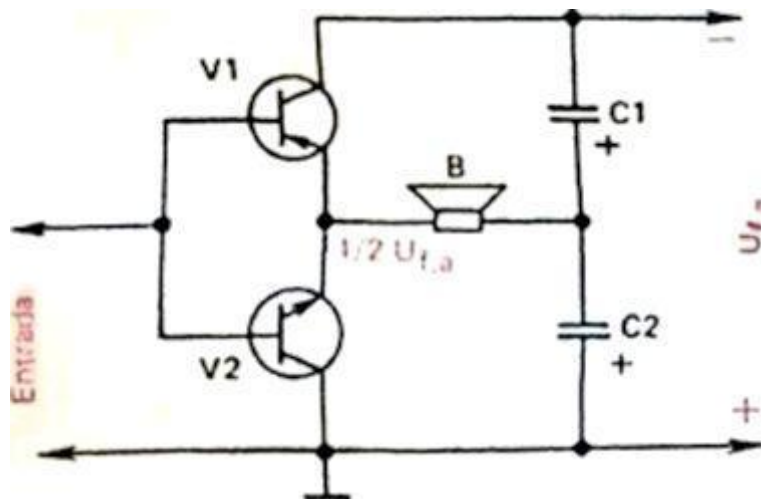


Figura 143. Amplificador de potencia biestático sin transformadores

De esto es fácil convencerse tapando con una hoja de papel uno de los brazos de la etapa. Pero juntos forman el amplificador de potencia en contrafase.

Lo esencial del funcionamiento del amplificador en contrafase consiste en lo siguiente. Las oscilaciones de audiofrecuencia (gráfica a en la Figura 142) de la penúltima etapa llegan a las bases de ambos transistores de manera que las tensiones en ellas varían en todo instante en sentidos opuestos, es decir, en contrafase. Con esto los transistores funcionan sucesivamente, a razón de dos cadencias por cada período de la tensión suministrada. Cuando, por ejemplo, a la base del transistor V1 llega la semionda negativa, éste se abre y a través de la sección I_a del devanado primario del transformador de salida pasa solamente la corriente de este transistor (gráfica b). Durante este tiempo el transistor V2 está cerrado, ya que a su base llega la semionda de tensión positiva. En el semiperíodo siguiente ocurre lo contrario: la semionda positiva llega a la base del transistor V1 y la negativa a la base del V2. Ahora se abre el transistor V2 y a través de la sección I_b del devanado primario del transformador de salida pasa la corriente de su colector (gráfica c), y el transistor V1, cerrándose, "descansa". Y así ocurre en cada periodo de las oscilaciones acústicas que llegan al amplificador. En el devanado del transformador se suman las corrientes colectoras de ambos transistores (gráfica d) y, como resultado, a la salida del amplificador se obtienen oscilaciones eléctricas de frecuencia acústica más potentes que a la del amplificador ordinario. El altavoz dinámico B, conectado al devanado secundario del transformador, transforma estas oscilaciones en sonido.

Ahora, utilizando el esquema de la Figura 143, vamos a examinar el principio de funcionamiento de un amplificador de potencia sin transformador. En él hay también dos transistores, pero de diferentes estructuras: la del transistor V1 es $p-n-p$, y la del V2, $n-p-n$. Por la

corriente continua los transistores están acoplados en serie, formando una especie de divisor de la tensión de la corriente continua de la fuente de alimentación. En este caso en el colector del transistor V1, respecto del punto medio entre ellos, llamado punto de simetría, se crea una tensión negativa igual a la mitad de la tensión de la fuente de alimentación, y en el colector del transistor V2, una positiva, también igual a la mitad de la tensión U_{fa} de la fuente de alimentación. El altavoz dinámico B está conectado a los circuitos emisores de los transistores: al del transistor V1 a través del condensador C1. De esta forma, los transistores, atendiendo a la corriente alterna, están conectados según el esquema CC (repetidores emisores) y funcionan con una carga común, el altavoz dinámico B.

Sobre las bases de ambos transistores del amplificador actúa una tensión alterna, igual tanto en valor como en frecuencia, que llega de la penúltima etapa. Y como los transistores tienen estructuras distintas, funcionan sucesivamente, en dos cadencias: con la semionda de tensión negativa sólo se abre el transistor V1 y en el circuito altavoz B -condensador C2 surge un impulso de corriente colectora (gráfica b de la Figura 142), y con la semionda positiva se abre solamente el transistor V2 y en el circuito altavoz-condensador C1 aparece un impulso de corriente colectora de este transistor (gráfica b de la Figura 142). De esta forma, a través del altavoz pasa la suma de las corrientes de los dos transistores (gráfica c de la Figura 142), es decir, las oscilaciones de frecuencia acústica con la potencia amplificada que dicho altavoz transforma en oscilaciones sonoras. Prácticamente se consigue el mismo efecto que con el amplificador con transformadores, pero, en virtud de haber utilizado transistores de distinta estructura, deja de ser necesario el dispositivo para hacer llegar a las bases de los transistores la señal en contrafase.

En la explicación que he dado del funcionamiento de los amplificadores de potencia en contrafase, te habrás dado cuenta de que hay una contradicción: a las bases de los transistores no se suministra tensión de polarización. Así es, pero no se trata de un error. Los transistores de la etapa simétrica pueden funcionar sin tensión inicial de polarización. Pero en este caso en la señal amplificada se producen deformaciones del tipo de "escalón", que se aprecian con especial intensidad cuando la señal de entrada es débil. Se llaman de "escalón" porque en el oscilograma de la señal sinusoidal tienen forma escalonada (Figura 144).

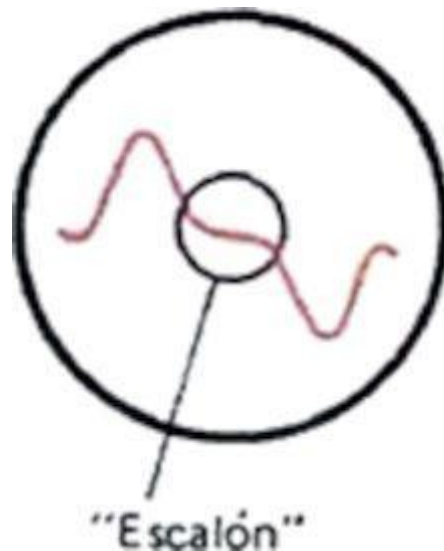


Figura 144. Distorsiones tipo "escalón" que pueden verse en la pantalla del oscilógrafo

El procedimiento más fácil de eliminar estas distorsiones es suministrar a las bases de los transistores tensión de polarización, que es lo que se hace en la práctica.

§. Parámetros del amplificador de audiofrecuencia

La calidad y la aptitud de un amplificador para unos fines determinados se juzga por varios parámetros, de los cuales los más importantes se puede considerar que son tres: la potencia de salida P_{sal} , la sensibilidad y la característica de frecuencia. Estos son los tres parámetros principales que debes conocer y comprender.

La potencia de salida es la potencia de las oscilaciones eléctricas de frecuencia acústica, expresada en vatios o milivatios, que el amplificador transmite a la carga, que, por lo general, es un altavoz dinámico de radiación directa. De acuerdo con las normas establecidas, se distinguen: la potencia nominal P_{nom} y la potencia máxima P_{max} . Se llama nominal la potencia con la cual las llamadas distorsiones no lineales de la señal de salida, introducidas por el amplificador, no superan un 3 a 5% respecto de la señal no distorsionada. A medida que la potencia se sigue elevando, las distorsiones no lineales de la señal de salida aumentan. La potencia con la cual la distorsión llega al 10% se llama máxima. La potencia máxima de salida puede ser de 5 a 10 veces mayor que la nominal, pero con ella, incluso a simple oído, se nota la distorsión.

Al hablar de los amplificadores, tanto en ésta como en otras charlas, por regla general, voy a indicar sus potencias de salida promediadas y les daré el nombre de potencias de salida.

Se llama sensibilidad de un amplificador la tensión de la señal de frecuencia acústica, expresada en voltios o milivoltios, que hay que suministrar a su entrada para que la potencia en la carga alcance el valor nominal. Cuanto menor sea esta tensión, tanto mayor será la sensibilidad del amplificador. Como ejemplo, diré: la sensibilidad de la inmensa mayoría de los amplificadores, tanto hechos por los aficionados como de producción industrial, destinados a la reproducción de registros fonográficos es de 100 a 200 mV (esta es la tensión que desarrolla, aproximadamente, un fonocaptor (pick-up) piezocerámico), y la sensibilidad de los amplificadores que funcionan con micrófonos de 1 a 2 mV.

La característica de frecuencia (banda de frecuencias de explotación del amplificador) se representa gráficamente por una línea horizontal algo curvada, que muestra la dependencia de la tensión de la señal de salida U_{sal} respecto de su frecuencia, cuando la tensión de entrada U_{ent} permanece invariable. Todo amplificador, por una serie de razones, no amplifica lo mismo las señales de frecuencias distintas. Por lo general, las oscilaciones que peor se amplifican son las de las frecuencias más bajas y más altas de la gama acústica. Por eso las líneas (características de frecuencia de los amplificadores) no son uniformes y tienen caídas (abatimientos) en sus extremos. Las oscilaciones de frecuencia más bajas y más altas, cuya amplificación comparada con la de las oscilaciones de frecuencia media (de 800 a 1000 Hz) desciende hasta un 30% se consideran los límites de la banda de frecuencias del amplificador. Las bandas de frecuencia de los amplificadores que se destinan a la reproducción de registros fonográficos puede abarcar desde 20 Hz hasta 20 a 30 kHz; la de los amplificadores de los receptores de radiodifusión por hilo, desde 60 Hz hasta 10 kHz y la de los amplificadores de los receptores transistorizados de pequeñas dimensiones, desde, aproximadamente, 200 Hz hasta 3 a 4 kHz.

Para medir los parámetros fundamentales de los amplificadores de audiofrecuencias se emplea un generador de oscilaciones de frecuencia acústica, un voltímetro de tensión alterna, un oscilógrafo y algunos otros instrumentos de medida.

Ahora, antes de empezar a hablar de las construcciones prácticas de amplificadores de radiofrecuencia, quiero darle a conocer la estructura y el funcionamiento de los altavoces electrodinámicos, últimos eslabones de los receptores altoparlantes y de los amplificadores de audiofrecuencias.

§. Altavoces dinámicos de radiación directa

El auricular electromagnético conectado a la salida de un receptor de cristal detector o de un sólo transistor, irradia la energía de las oscilaciones acústicas. En él desempeña la función de radiador directo

la membrana vibrante. Los primeros radiadores potentes de energía acústica fueron los altavoces electromagnéticos. Éstos fueron siendo desplazados por otros radiadores de energía acústica más potentes aún, los dispositivos electrodinámicos con diafragmas difusores de papel llamados altavoces electrodinámicos.

En la actualidad se ha aceptado llamarles *altavoces dinámicos de radiación directa* y *altavoces* al conjunto de todos los elementos de salida del dispositivo reproductor del sonido.

De ejemplo de dispositivo reproductor del sonido puede servir el altavoz de abonado, calculado para funcionar enchufado a la red de radiodifusión por hilo. Además de un altavoz dinámico de amplificación directa, tiene una caja (cuerpo), de no poca importancia para la calidad de la reproducción del sonido, un transformador adaptador (de transición) y un regulador de volumen. Los altavoces de los aparatos estereofónicos de los conjuntos radiotécnicos pueden constar de dos, tres o más altavoces dinámicos de radiación directa, de amplificadores con sus rectificadores de alimentación correspondientes, diversos reguladores y conmutadores.

La estructura de un altavoz dinámico de amplia utilización se muestra en la Figura 145. Entre la barra central del imán anular 7, soporte 1, y la brida 2, del imán con orificio circular en el centro, queda un espacio en el cual se crea un intenso campo magnético. En este espacio se encuentra la bobina 6, devanada sobre un armazón de papel sujeto al vértice del diafragma (cono), también de papel. 3. Esta bobina recibe el nombre de bobina vocal. Valiéndose de la arandela centrante 5, pegada a la junta de la armadura de la bobina vocal con el diafragma, la bobina se coloca exactamente en la mitad del espacio magnético.

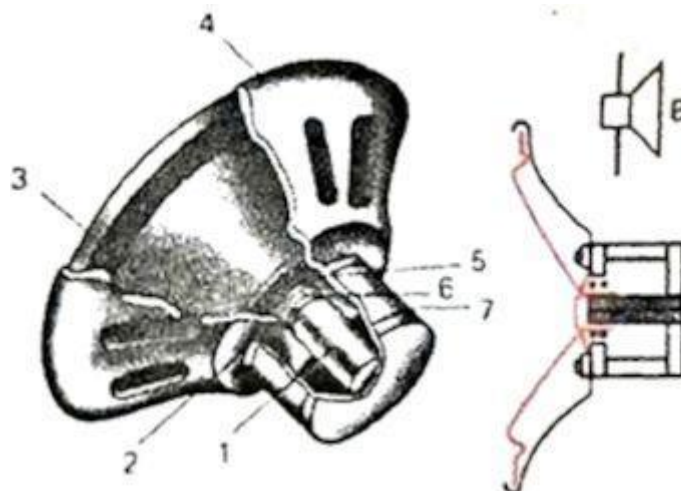


Figura 145. Estructura y representación gráfica de un altavoz dinámico de radiación directa

En virtud de las ondulaciones que tiene la arandela centrante, la bobina vocal puede oscilar en el campo magnético sin tocar el soporte ni la brida del imán.

Los bordes del diafragma también están ondulados, lo cual le da a éste movilidad, y pegados al aro del cuerpo metálico 4. Los terminales de la bobina vocal están hechos de conductores multifilares aislados, provistos de piezas de contacto y sujetos al cuerpo por medio de una lámina aisladora.

El altavoz funciona como sigue. Mientras no pasa corriente por la bobina vocal, esta descansa en medio del espacio magnético. Cuando por ella pasa corriente, a su alrededor surge un campo magnético que interacciona con el campo del imán. Al pasar la corriente en un sentido, la bobina es empujada hacia fuera del espacio, y al hacerlo en el otro, es atraída hacia dentro de él. Si la corriente que pasa por ella es alterna de frecuencia acústica, la bobina oscila en el espacio magnético con la frecuencia de la corriente. Junto con la bobina oscila (vibra) el diafragma y crea en el aire ondas sonoras.

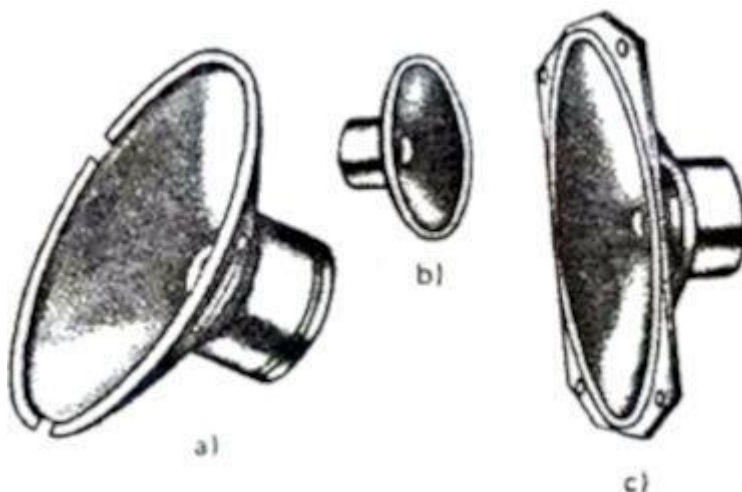


Figura 146. Altavoces dinámicos de radiación directa

Los altavoces dinámicos se distinguen por sus dimensiones, por la forma del diafragma y por la estructura de su sistema magnético. Muchos altavoces de amplia utilización tienen diafragmas redondos (Figura 146a) con diámetros desde 60 hasta 300 mm. Los más pequeños de ellos (Figura 146b) se emplean principalmente en los receptores transistorizados de pequeñas dimensiones (de "bolsillo"). Hay altavoces con diafragmas elípticos (ovalados) (Figura 146c). Esta forma del diafragma no mejora la calidad de la reproducción del sonido, lo único que hace es facilitar la ubicación del altavoz mismo en el receptor de radio, en el televisor, en el magnetófono o en cualquier otro dispositivo reproductor del sonido.

El imán no sólo puede tener forma anular, sino también cuadrada o en marco.

Los altavoces dinámicos de fabricación soviética se marcan con cifras y letras, por ejemplo. 0.1ГД-6, 1ГД-3, 3ГД-1. La primera cifra caracteriza la potencia nominal del altavoz, expresada en vatios o, lo que es lo mismo, en voltamperios, o sea, el producto de la tensión alterna de frecuencia acústica que llega a la bobina vocal multiplicada por la corriente que pasa a través de la misma. Las letras ГД se descifran como altavoz dinámico. La cifra que va detrás de ellas indica convencionalmente el número de orden del diseño.

La potencia nominal es la potencia máxima de la corriente de frecuencia acústica de que se puede alimentar la bobina vocal sin peligro de que el altavoz distorsione el sonido ni se estropee pronto. Éste es el parámetro más importante de los que caracterizan el altavoz. Pero no lo confundas con la intensidad del sonido, es decir, con la amplitud de las oscilaciones sonoras. Si se toman dos altavoces cuyas potencias nominales sean de 1 y 3 W, respectivamente, y cada uno de ellos se alimenta con una corriente de frecuencia acústica de 1 W, los dos sonarán prácticamente con la misma intensidad. La intensidad del sonido del segundo sólo será mayor que la del primero cuando reciba la potencia para la cual está calculado. Esta circunstancia debes tenerla en cuenta cuando elijas un altavoz para tus construcciones.

El segundo parámetro importante de un altavoz dinámico es la gama nominal de frecuencias de explotación, es decir, la anchura de la banda de frecuencias acústicas que puede reproducir uniformemente y sin distorsiones apreciables. Los límites de esta banda de frecuencias se expresan en hertzios, por ejemplo, de 315 a 7000 Hz. El altavoz con esta característica reproducirá bien las frecuencias acústicas comprendidas entre 315 y 7000 Hz, y mas, o sin reaccionar en absoluto a las más bajas (de hasta 315 Hz) o más altas, de más de 7000 Hz).

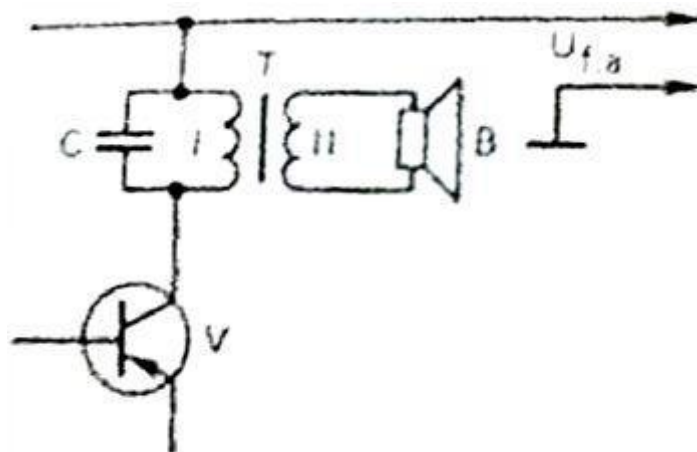


Figura 147. Esquema de la conexión de un altavoz dinámico en el circuito colector del transistor de la etapa de salida del amplificador de audiofrecuencia

Cuanto más ancha sea la banda de frecuencias de explotación, tanto mejor será el altavoz.

Los altavoces dinámicos pequeños, con diafragmas de reducidas dimensiones, desmerecen siempre en este sentido de los que tienen diafragmas grandes. La anchura nominal de la banda de frecuencias de explotación del altavoz 0,1ГД-6, por ejemplo, es de 450 a 3150 Hz, mientras que la del 4ГД-35, desde 63 hasta 12.500 Hz. La característica de frecuencia del primer altavoz, en comparación con la del segundo, es peor. Pero no puede decirse que sea mala. Para un receptor de transistores pequeño, al cual se imponen condiciones menos rigurosas, dicho altavoz es más conveniente que el segundo, que se destina a receptores o amplificadores de audiofrecuencias que deben tener condiciones y calidad de reproducción del sonido, más elevadas.

Estos y algunos otros parámetros de los altavoces dinámicos se indican, por lo general, en sus certificados técnicos.

Las bobinas vocales de la inmensa mayoría de los altavoces destinados a los aparatos para la red de radiodifusión por hilo, para los receptores de radio, televisores y radiolas, tienen un número de espiras pequeño de hilo de bobinar de 0,15 a 0,2 mm de diámetro, por lo que su resistencia es pequeña: de 4 a 10 Ω solamente. Están calculadas para una tensión de frecuencia acústica del orden de varios voltios, pero con corrientes importantes. Las bobinas vocales de estos altavoces se conectan a los circuitos colectores de los transistores o a los circuitos módicos de las lámparas de radio, pero no directamente, sino a través de transformadores u otros circuitos de acoplamiento. Los transformadores adaptan las tensiones y las

corrientes de los dispositivos amplificadores a las tensiones y corrientes de los altavoces. Reduciendo la tensión hasta varios voltios, los transformadores permiten a las bobinas vocales consumir corrientes de hasta varios amperios.

Los transformadores de adaptación que se utilizan en los receptores y amplificadores de audiofrecuencias se ponen en los circuitos de salida, extremos, de los dispositivos amplificadores potentes, por lo que suelen llamarse transformadores de salida.

De ejemplo de conexión de la bobina vocal de un altavoz dinámico a la etapa de salida de un amplificador, cuyo transistor está conectado según el esquema EC, puede servir el esquema representado en la Figura 147. El transformador de salida T está conectado por su devanado primario I al circuito colector del transistor V. Las oscilaciones de frecuencia acústica, amplificadas por el transistor, excitan en el devanado secundario II oscilaciones iguales, pero de tensión más baja que en el circuito colector, que van a parar a la bobina vocal del altavoz B y se transforman en oscilaciones sonoras.

En paralelo al devanado primario del transformador de salida se conecta un condensador que mejora el funcionamiento del amplificador.

La adaptación de la tensión y la corriente de la bobina vocal del altavoz dinámico y del circuito de salida del dispositivo amplificador es una condición indispensable para poder utilizar con la mayor eficacia la energía de frecuencia acústica que la etapa de salida del amplificador comunica al altavoz.

La calidad de la reproducción del sonido por el altavoz depende mucho del montaje acústico, es decir, de la forma de la caja o estuche en que se coloca. Para la mayoría de los receptores de radiodifusión, televisores, radiolas monofónicas y magnetófonos, de montaje acústico sirven las cajas de los propios aparatos. Se utilizan también sistemas acústicos autónomos cuyos altavoces van montados en cajas o superficies planas (pantallas) en forma de tableros de madera.

Los sistemas acústicos autónomos pueden adquirirse en el comercio. Por ejemplo, los 3AC-1, 10MAC-1, I5AC-404 y "Electrónica 25AC-227". Las cifras iniciales de la marca de los sistemas indican sus potencias nominales, y las letras AC se descifran como "sistema acústico".

El "Electrónica 25AC-227" tiene tres altavoces: uno de baja frecuencia, 25ГД-42, otro de frecuencia media, 15ГД-11 y otro de alta frecuencia con sistema magnético de estructura especial

(llamada isodinámica), 10ГИ-1. Los altavoces de este sistema acústico, destinado a funcionar con aparatos amplificadores de clase superior, aseguran una banda nominal de frecuencias reproducibles de 31,5 a 31.500 Hz.

Estos sistemas acústicos son necesarios especialmente para la reproducción estereofónica del sonido.

Paso a la práctica. Relataré sobre dos amplificadores de audiofrecuencia.

§. Amplificador de audiofrecuencia con potencia de salida elevada

Para empezar, diré la advertencia siguiente: aunque a continuación voy a hablar de un amplificador de audiofrecuencia para la reproducción de sonidos grabados en discos de gramófono, también se puede utilizar con la misma eficacia en un receptor de radio transistorizado de pequeñas dimensiones.

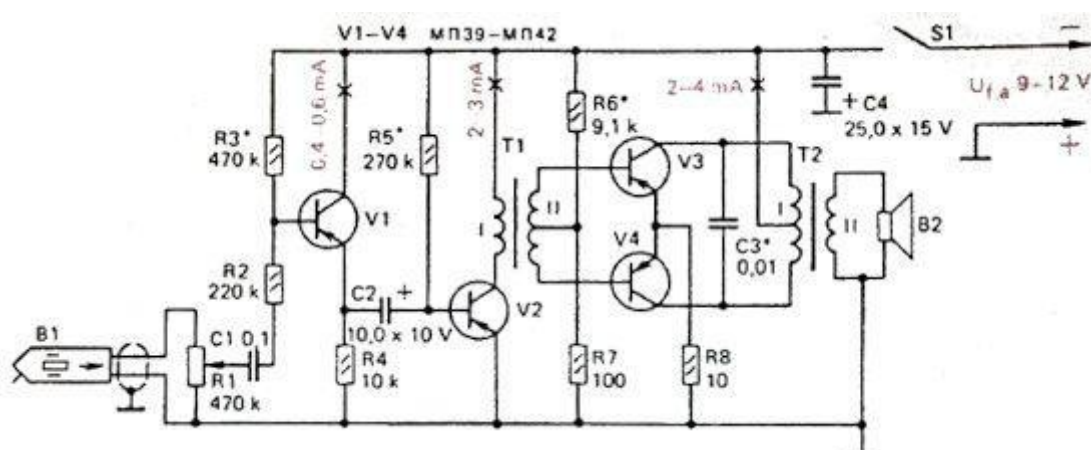


Figura 148. Esquema del amplificador de audiofrecuencia

El esquema básico de este amplificador se da en la Figura 148. Su potencia de salida es de alrededor de 150 mV y su sensibilidad no peor que 150 mV. La potencia, naturalmente, es pequeña, pero asegura la reproducción del sonido grabado con suficiente intensidad. Puede alimentarse de una fuente de 0 12 V de tensión, compuesta por dos o tres baterías 3336Λ, o de la red eléctrica a través de un rectificador. La corriente media que consume de la fuente de alimentación el amplificador no supera 40 mA.

Veamos lo que ya conoces de este amplificador y lo que no conoces aún. Empecemos por la entrada. La señal de frecuencia acústica, procedente del fonocaptor piezoeléctrico B1, llega al resistor variable R1 y, pasando por su cursor, a la base del transistor de la primera etapa, a través del condensador él y del resistor R2. El resistor variable R1 desempeña la función de regulador de la intensidad:

cuando el cursor se desplaza hacia arriba (según el esquema), a la base del transistor V1 se le transmite cada vez más tensión de señal y el volumen del sonido aumenta. En cambio, cuando el cursor está en la posición extrema inferior (según el esquema), el circuito de base, atendiendo a la corriente alterna, estará cerrado al conductor común del circuito de alimentación del amplificador y la señal del fonocaptor no llegará al transistor y no habrá sonido. El resistor R2 es un elemento auxiliar. Elimina el "rechinamiento" característico del fonocaptor piezocerámico. En principio, este resistor puede no estar en el circuito de entrada.

Para el fonocaptor piezocerámico la resistencia de entrada del amplificador debe ser la mayor posible. Por eso el transistor V1 de la primera etapa está conectado según el esquema CC. La tensión de polarización se transmite a su base a través del resistor R3. La tensión de la señal del resistor de carga R4 de esta etapa, a través del condensador C2, llega a la base del transistor V2, conectado según el esquema EC. Esta parte del amplificador ya la conoces, puesto que en lo fundamental es una repetición del amplificador bietápico simple. La única diferencia entre ellos consiste en el procedimiento de conexión del primer transistor. La tercera etapa, de salida, es un amplificador de potencia en contrafase con transformadores, cuyo principio básico de funcionamiento le he dado a conocer brevemente en esta misma charla.

El régimen de funcionamiento en contrafase de los transistores de la etapa de salida lo da la segunda etapa del amplificador con el transistor V2, fin el circuito del colector de este transistor está conectado el devanado primario del transformador interetápico T1, cuyo devanado secundario, lo mismo que el primario del transformador de salida T2, tiene una derivación central. Por medio de esta derivación y de las secciones del devanado secundario se transmite a las bases de los transistores V3 y V4, desde los resistores divisores R6 y R7, la tensión de polarización. El resistor R8 termoestabiliza el régimen de funcionamiento de los transistores de la etapa de salida. En estado de reposo, los transistores V3 y V4 están prácticamente cerrados. Pero cuando a la salida de la penúltima etapa surge una señal, a la base de los transistores de la etapa de salida llega en oposición de fase la tensión de frecuencia acústica inducida en el devanado secundario del transformador T1. Esto asegura a la etapa de salida el régimen de funcionamiento en contrafase.

La etapa del amplificador por mediación de la cual llega a los transistores de salida la tensión en oposición de fase, es decir, con un desfase de 180° , se llama etapa *de inversión de fase*. Por lo tanto, en nuestro amplificador, la etapa con el transistor V2 es la de inversión de fase.

¿Qué función desempeñan los condensadores C3 y C4? El condensador C3, conectado en paralelo al devanado primario del transformador de salida, corta las frecuencias superiores de la gama acústica y con esto evita la autoexcitación del amplificador, fenómeno que se manifiesta en forma de silbido o ruido. Eligiendo experimentalmente la capacidad de este condensador se puede establecer además el timbre de sonido más agradable. El condensador C4 shunta la fuente de alimentación en cuanto a la corriente alterna, dejando pasar a través de él la componente alterna de la señal a amplificar sin que pase por dicha fuente. Su papel se manifiesta principalmente al final del proceso de descarga de la batería de alimentación, cuando la resistencia interna de ésta aumenta. Si este condensador no estuviera, entre las etapas, a través de la fuente común de alimentación, podría surgir una reacción positiva no controlada a causa de la cual el amplificador podría autoexcitarse, es decir, se transformaría en un generador de oscilaciones de frecuencia acústica. Si el amplificador se alimenta de un rectificador, el condensador C4 no hace falta.

Empieza a construir el amplificador. Sus elementos móntalos primero en una placa maqueta. Cuando hayas ajustado los regímenes de los transistores y probado el funcionamiento del amplificador, entonces podrás trasladar los elementos a una placa de montaje permanente de cartón baquelizado o de textolita. Los datos de los resistores, condensadores y transistores que se recomiendan están indicados en el esquema básico del amplificador. Las resistencias de los resistores R7 y R8 se indican en ohmios (no los confundas con los kiloohmios). En general, la resistencia de los resistores puede ser de 15 a un 20% mayor o menor que la que se indica en el esquema. Los condensadores electrolíticos C2 y C4 son del tipo K50-3, K50-1, o K50-6.

El factor estático de transferencia de corriente h_{21E} de los transistores V1 y V2 no debe ser menor de 50 60, y el de los transistores V3 y V4, no menor de 30. Conviene que los transistores V3 y V4 tengan factores h_{21E} y corrientes inversas de sus colectores, I_{CBI} , iguales o de valores lo más próximos posibles. Este par de transistores para la etapa de salida elígelo valiéndote del probador de transistores. En la primera etapa conviene utilizar un transistor que suene poco, de baja frecuencia МП39Б, MP27A, MP28 o de alta frecuencia ГТ308Б.

El altavoz dinámico B2 es de 0,25 a 0,5 W de potencia con bobina vocal de 6 a 8 Ω de resistencia, por ejemplo, el 0,5ГД-21. Los transformadores T1 y T2 puedes comprarlos o hacerlos tú mismo. Si los compras hechos, te servirán los transformadores destinados a los receptores transistorizados portátiles con etapa de salida simétrica, por ejemplo, para los receptores "Selga" o "Sokol". Hay transistores análogos en los juegos de elementos para hacer receptores de

transistores, en los cuales se designan abreviadamente por TC, transformador adaptador (T1 en nuestro amplificador) y TB, transformador de salida (T2 en nuestro amplificador).

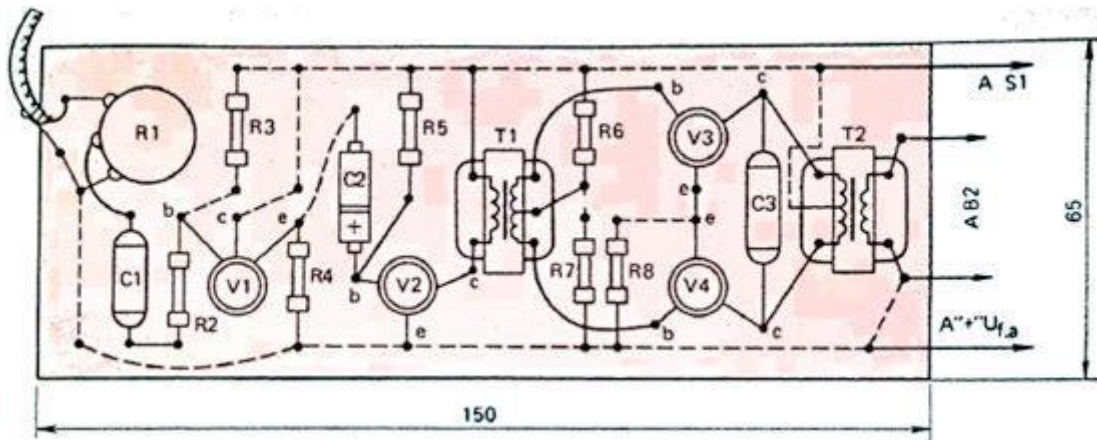


Figura 149. Placa de montaje del amplificador con potencia de salida elevada

Para hacer tú mismo los transformadores te harán falta circuitos magnéticos de 0.6 a 0.8 cm² de área de sección, por ejemplo, láminas Ш8; el espesor del conjunto de láminas debe ser de 0.8 a 1 cm. El devanado primario del transformador interetápico T1 debe tener 2200 espiras de hilo HЭB-I 0.1 a 0.12, y el secundario, 520 espiras del mismo hilo, con una derivación en el centro (260 + 260 espiras). El devanado primario del transformador de salida T2 puede tener 800 espiras de hilo HЭB-1 0,1 a 0,12, con una derivación en el centro (400 + 400 espiras), y el secundario. 100 espiras de hilo HЭB-1 0.25 a 0.3. Cuando los transformadores estén ya hechos, comprueba sus devanados con el ohmímetro, por si hay cortes o contactos entre los devanados.

Antes de conectar el fonocaptor a la entrada del amplificador, comprueba con el miliamperímetro las corrientes de reposo de los circuitos colectores de los transistores. Si éstas difieren mucho de las que se indican en el esquema básico, regúlalas eligiendo experimentalmente las resistencias de los resistores en los circuitos de base. Tú ya sabes cómo se hace esto. El funcionamiento del amplificador se puede probar valiéndose de la red de radiodifusión por hilo o de un simple generador de señales, del cual ya te hablé en la charla octava. Conectando estas fuentes de señales a las entradas de cada una de las etapas del amplificador (a través de un condensador cuya capacidad sea de 0.2 μF como mínimo), empezando por la de salida, se puede juzgar acerca de la calidad del funcionamiento de los transistores, sus regímenes y la amplificación total de todas las etapas. La intensidad máxima del sonido se obtendrá cuando la fuente de la señal esté conectada a la entrada de la primera etapa del amplificador.

Al montar los elementos del amplificador en la placa guíate por el esquema que se da en la Figura 149. Las dimensiones de la placa determínalas de acuerdo con los elementos de que dispongas. Cuando traces los orificios para los soportes de montaje o para los remaches huecos, procura que los conductores de conexión sean lo más cortos posibles. Los conductores del circuito de entrada deben estar lo más lejos posible de los conductores y elementos del circuito de salida. De no ser así, a través de los campos magnéticos surge un acoplamiento parásito que puede ser causa de que el amplificador se excite. El fonocaptor conéctalo a la entrada del amplificador con un cable apantallado, provisto de envoltura metálica flexible. Esta misma envoltura puedes utilizarla como conductor de conexión puesto a masa. Los transformadores, cuyos armazones con los devanados se introducen en los orificios que para ellos se practican en la placa, después de metidos en ésta pégalos a ella.

¿Qué variaciones o adiciones pueden introducirse en este amplificador?

En la primera etapa, en vez de un transistor bipolar se puede utilizar un transistor de efecto-campo, por ejemplo, el КП 103 И u otro de las series КП 102 ó КП 103, conectándolo según el esquema MC, como se muestra en la Figura 150a.

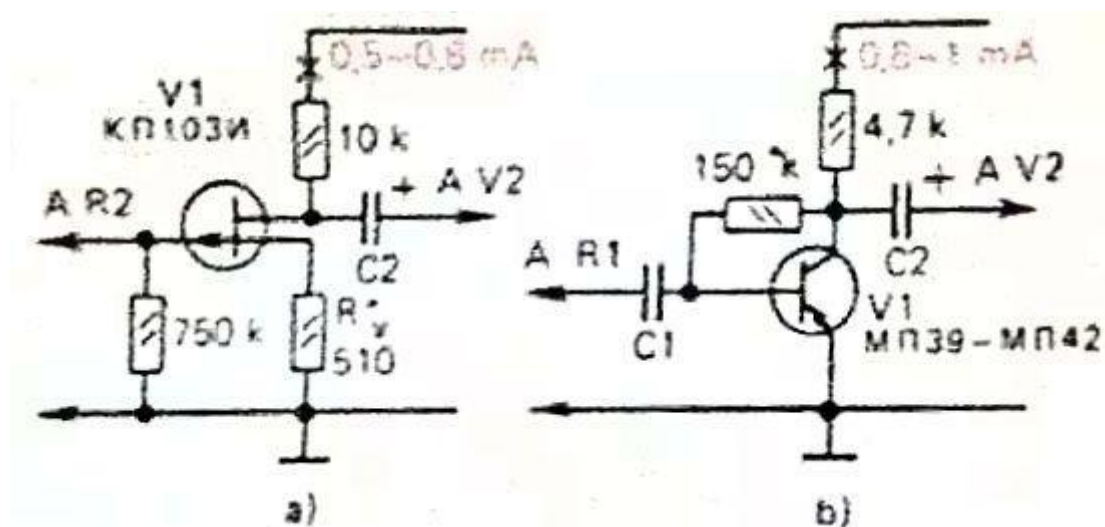


Figura 150. Etapas de salida del amplificador

La pequeña tensión positiva de polarización en el obturador, respecto del vertedero, se obtiene a expensas de la caída de tensión en el resistor R_v del circuito de vertedero. La señal amplificada con la carga de vertedero ($10\text{ k}\Omega$), a través del condensador $C2$, llega a la entrada de la segunda etapa del amplificador. El resistor K elígelo experimentalmente de manera que la corriente de vertedero sea de $0,4$ a $0,6\text{ mA}$.

El transistor de efecto-campo eleva considerablemente la resistencia de entrada del amplificador, lo que mejora su adaptación con la gran resistencia interna del fonocaptor piezocerámico y proporciona una pequeña amplificación adicional de la señal. Al montar el transistor de efecto-campo en la placa evita que sobre la parte inferior de su cápsula caigan gotitas de soldadura, de colofonia o de fundente a base de ésta, porque si esto ocurre su resistencia de entrada empeorará mucho y no se obtendrá mejoramiento alguno del amplificador.

Si el fonocaptor que vas a utilizar fuera magnético, el transistor bipolar de la primera etapa conéctalo según el esquema EC (Figura 150b) y excluye el resistor R2 (220 k Ω). En este caso la resistencia del resistor variable R1, que hace las veces de carga del fonocaptor y de regulador de volumen, debe ser de 6.8 a 10 k Ω .

Puede ocurrir que el factor h_{21E} , de los transistores que tengas sea pequeño, por ejemplo, de 15 a 20. Estos transistores, si están en buenas condiciones, también se pueden utilizar en la primera y segunda etapa del amplificador, conectándolos según el esquema del transistor compuesto. De este acoplamiento de los transistores te hablé ya en la charla séptima.

En el amplificador puedes introducir un regulador de timbre del sonido. Para eso, entre la base del transistor V2 y el conductor a masa conecta, unidos en serie, un condensador de 0,2 a 0.25 μ F de capacidad y un resistor variable con resistencia nominal de 6,8 a 10 k Ω . Al disminuir la resistencia de este resistor, las oscilaciones de frecuencias acústicas más elevadas se cortarán más y el sonido en el altavoz será cada vez más sordo. Una cadena semejante de regulación del timbre del sonido, pero con un condensador de 0,02 a 0.025 μ F de capacidad se puede intercalar entre la base y el colector del mismo transistor. En este caso el timbre del sonido variará como resultado de la variación de la profundidad de la contrarreacción que se crea entre los circuitos colector y de base del transistor.

Cuando hayas terminado el amplificador y probado cómo funciona, tengo la seguridad que querrás hacer un amplificador más potente, para elevar mucho más el volumen de la reproducción del sonido. Este deseo es justo y he aquí cómo puedes realizarlo.

§. Tocabiscos

Para tocar las placas de gramófono se fabrican aparatos llamados electrófonos o tocabiscos eléctricos (TDE). El mecanismo de los TDE más corrientes consta de un fonocaptor piezocerámico, un motor eléctrico con un plato para soportar la placa y un sistema de palancas para poner en marcha y parar automáticamente el motor cuando termina la grabación. Con estos dispositivos electromecánicos se

equipan precisamente todas las radiolas, es decir, los receptores de radiodifusión cuyos amplificadores de audiofrecuencia se pueden emplear para reproducir grabaciones fonográficas.

Puede ocurrir que tengas a tu disposición un TDE montado en una caja de plástico parecida a un maletín. Para reproducir en él las grabaciones fonográficas hace falta un amplificador de audiofrecuencia con altavoz a su salida.

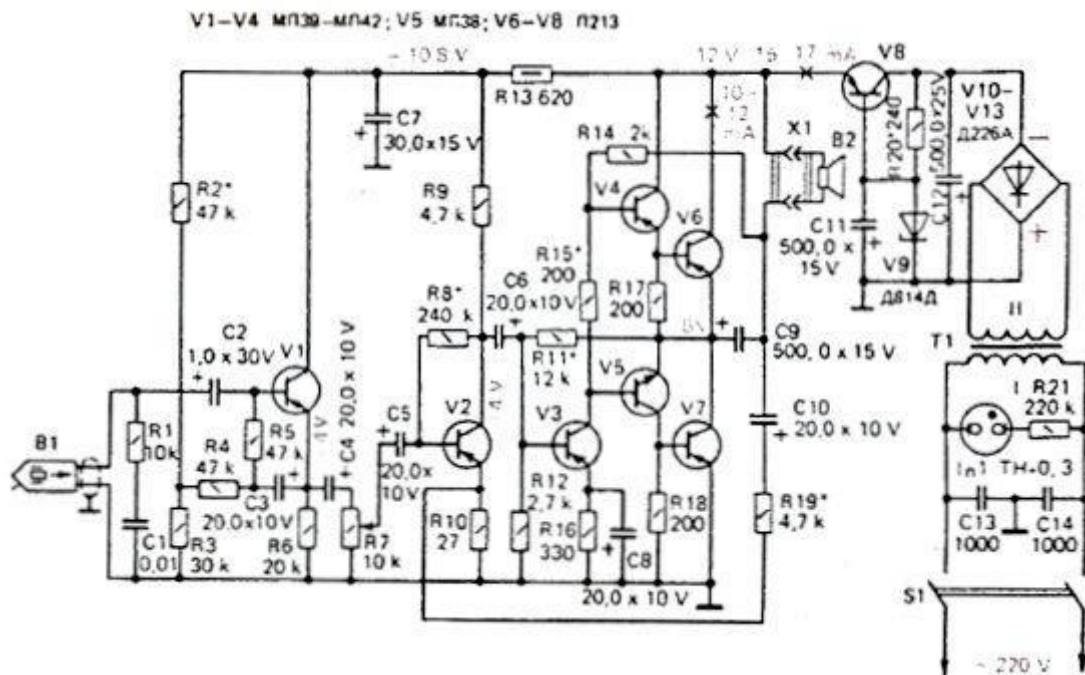


Figura 151. Esquema del amplificador del tocadiscos

¿No podría montarse el amplificador directamente en la caja del tocadiscos eléctrico? ¡Claro que sí! Se obtiene un tocadiscos portátil. Un aparato radiotécnico de este tipo, para reproducir las grabaciones de las placas o discos de gramófono es el que te propongo que construyas.

El esquema básico de una posible variante de amplificador para el tocadiscos se representa en la Figura 151. En ella, de todos los elementos del TDE se muestra únicamente el fonocaptor B1, conectado a la entrada del amplificador.

La primera y más característica peculiaridad de este amplificador consiste en que lo mismo que el motor eléctrico del TDE, se alimenta de la red de corriente alterna, y la segunda, que no tiene transformadores.

La potencia nominal de salida del amplificador es de 1 W y su sensibilidad, de alrededor de 100 mV. La banda de frecuencias de las oscilaciones que se amplifican uniformemente comprende desde 30

Hz basta 15 kHz. El altavoz electrodinámico exterior de radiación directa B2 se conecta a la salida del amplificador por medio del enchufe de dos contactos X1.

Empezaré a explicar el funcionamiento del amplificador por el bloque de alimentación. De él forman parte: el transformador de red T1, el rectificador de onda entera con los diodos V10 ...V13 acoplados en puente, el diodo regulador de tensión V9, el transistor V8 y los condensadores electrolíticos C2 y C11. Esta parte del circuito debe recordarte el rectificador con estabilizador de la tensión de salida que te recomendé en la charla anterior. Se diferencia de él solamente en que la tensión de salida no se regula y es igual a 12 V, es decir, a la tensión de estabilización que se utiliza en el bloque del tubo regulador de la tensión Д814Д. Esta tensión estabilizada del bloque es la que llega al amplificador.

La corriente consumida por el amplificador del bloque de alimentación es de 250 a 280 mA por lo que el transistor regulador V8 del tubo regulador de tensión debe ser de potencia mediana o grande.

La lamparita de neón In1 conectada al devanado primario del transformador a través del resistor de extinción R21, hace las veces de indicador de conexión de la alimentación. Los condensadores C13 y C14 reducen el nivel de las perturbaciones industriales que penetran en el circuito de alimentación del amplificador y que producen chasquidos que se mezclan con la reproducción del sonido.

El rectificador se conecta, a través del interruptor bipolar S1, al circuito de alimentación del motor eléctrico del TDE.

El amplificador tiene cinco etapas con siete resistores, del V1 al V5. De ellos el transistor V5 es de estructura *n-p-n* y los demás, de estructura *p-n-p*. La primera etapa es la de adaptación entre el fonocaptor y la entrada del amplificador fundamental. Para que esta etapa shunte lo más débilmente posible al fonocaptor, su transistor V1 funciona como repetidor emisor. La tensión negativa de polarización se suministra a la base del transistor desde el divisor R2, R3 a través de los resistores R4 y R5. Entre los circuitos emisor y de base del transistor V1 está intercalado el condensador electrolítico C3, que contribuye a aumentar la resistencia de entrada de la etapa hasta, aproximadamente, 1 MΩ, Esta resistencia es mucho mayor que la de entrada de la etapa análoga del amplificador anterior.

El resistor R1 y el condensador el forman un circuito de corrección que debilita un poco las frecuencias más altas de la gama acústica. Pero en principio, ese circuito podría no existir.

Del resistor R6, carga del transistor de la etapa de adaptación, la señal del fonocaptor pasa, a través del condensador C4, al resistor variable R7, que es el regulador del volumen, y desde su cursor, a través del condensador C5, a la base del transistor V2. El transistor de esta etapa del amplificador está conectado según el esquema EC. De carga le sirve el resistor R9. La tensión de polarización es suministrada a la base desde el colector, a través del resistor R8. En este procedimiento de polarización, entre el colector y la base del transistor se crea una contrarreacción que estabiliza el funcionamiento de la etapa. El resistor R10 del emisor, cuya pequeña resistencia no influye prácticamente en el régimen del transistor, es un elemento de otro circuito de contrarreacción del cual te hablaré más tarde.

La tercera etapa, con el transistor V3 conectado según el esquema EC, no sólo amplifica adicionalmente la señal que llega a ella a través del condensador C6, procedente de la etapa anterior, sino que además asegura a las etapas siguientes el régimen de funcionamiento en contrafase.

Recuerda lo que le dije acerca del principio básico del funcionamiento del amplificador en contrafase. Para el funcionamiento de la etapa en este régimen, a las bases de los transistores debe suministrarse en oposición de fase la tensión de frecuencia acústica que se amplifica, es decir, con un desfase de 180° . En el amplificador anterior esto se consiguió por medio del transformador interetápico de la etapa de inversión de fase. En éste esto se logra empleando en la penúltima etapa transistores de estructura distinta.

He aquí cómo se consigue esto. La carga colectora del transistor V3 de la tercera etapa la forman los resistores R15, R14 y la bobina vocal del altavoz B2. La resistencia del resistor R14 en este circuito es mucho mayor que la resistencia total del resistor R15 y de la bobina vocal del altavoz, por lo que en él, en lo fundamental, se produce una caída de tensión de la señal que se amplifica. Esta tensión es la que llega directamente a las bases de los transistores V4 y V5 de la cuarta etapa. El transistor V4 ($p-n-p$) amplifica las semiondas negativas de la señal de frecuencia acústica, y el transistor V5 ($n-p-n$), las positivas. Como resultado, en los resistores R17 y R18, que desempeñan el papel de cargas de los transistores V4 y V5, se crean impulsos de oscilaciones de frecuencia acústica iguales en amplitud pero opuestos en fase, cuyas potencias son amplificadas por los transistores V6 y V7 de la etapa simétrica de salida. Las potentes oscilaciones de frecuencia acústica del punto medio entre los transistores de esta etapa (punto de simetría) llegan a través del condensador C9 al altavoz B2 y se transforman en oscilaciones sonoras.

La capacidad del condensador C9 debe ser la mayor posible (por lo menos de 100 μF), para que no ofrezca resistencia apreciable a las oscilaciones de frecuencia acústica bajas. El resistor R14, que es la carga colectora principal del transistor V3, está conectado por su terminal derecho (según el esquema) con el conductor negativo de la fuente de alimentación no directamente, sino a través del altavoz B2. Con esta conexión, entre la salida y la base del transistor V4 se crea una reacción positiva que equilibra las condiciones de funcionamiento de los transistores de la penúltima etapa.

¿Qué función desempeña el resistor R15? Este resistor hace falta para evitar las distorsiones de tipo "escalón". La corriente colectora del transistor V3 crea en este resistor una caída de tensión de 0,2 a 0,3 V, que junto con la señal que se amplifica llega a las bases de los transistores V4 y V5. En este caso, en la base del transistor V4, respecto de su emisor, se obtiene tensión negativa de polarización, y en la base del transistor V5, respecto de su emisor, tensión positiva. Como resultado, los transistores se entreabren un poco y no distorsionan la débil señal que se amplifica.

Presta atención al procedimiento de suministro de la tensión de polarización a la base del transistor V3. El terminal derecho (según el esquema) del resistor R11 del divisor de tensión R11, R12, está conectado no al conductor común del circuito de alimentación, sino al punto de simetría de la etapa de salida. Pero en ese punto actúa tensión alterna de frecuencia acústica. Por consiguiente, a la base del transistor V3, a través del resistor R11, junto con la tensión continua de polarización llega también tensión alterna de frecuencia acústica, formando una contrarreacción de tensión que estabiliza el funcionamiento de tres etapas del amplificador.

El resistor R 16 es el elemento de estabilización térmica del régimen de funcionamiento del transistor V3, y el condensador C8, que lo shunta, debilita la contrarreacción entre el emisor y la base de dicho transistor, que disminuye la amplificación de la etapa. El condensador C10 y el resistor R19, junto con el resistor R10, crean entre la salida y la segunda etapa del amplificador un circuito de contrarreacción de tensión alterna. Este circuito, que abarca cuatro etapas, reduce algo la sensibilidad, pero mejora la calidad del funcionamiento del amplificador en conjunto. La profundidad de esta contrarreacción puede regularse eligiendo experimentalmente el resistor R19.

El resistor R13 y el condensador C7 forman un filtro-célula de desacoplamiento que evita la autoexcitación del amplificador debida a los acoplamientos parásitos, entre su salida y la entrada, a través de la fuente común de alimentación. Un filtro semejante, e incluso no uno sólo, figurará en muchas de tus construcciones, por eso te hablaré de su acción con más detalle.

Es el caso que, en el amplificador, el consumidor principal de corriente es su etapa de salida. En el amplificador de que hablamos ahora, la corriente de reposo de los transistores de la etapa de salida es de 10 a 12 mA, cantidad que ya es más de dos veces mayor que la corriente que consumen los transistores de todas las demás etapas. Durante el funcionamiento del amplificador, la corriente de la etapa de salida varía con la frecuencia acústica y con las señales más intensas aumenta hasta 200 -250 mA. Con esta misma frecuencia varía, dentro de límites pequeños, la tensión de la fuente de alimentación y, por lo tanto (si el filtro no estuviera), la tensión en los circuitos de los transistores de las otras etapas. En estas condiciones, entre la salida y la entrada del amplificador, puede surgir, a través de la fuente común de alimentación, una reacción parásita, positiva en este caso, que si es suficientemente intensa ocasiona la autoexcitación del amplificador.

Para evitar este desagradable fenómeno, en el amplificador se introduce el filtro R13C7. Por la acción éste debe recordarte la célula del filtro de pulsaciones del rectificador. En el resistor R13 se produce una caída de tensión incluso de las oscilaciones de frecuencia acústica creadas en el circuito común de alimentación por la etapa de salida. El condensador C7 está conectado, lo mismo que en el rectificador, en paralelo a la fuente de alimentación. Cuando la tensión aumenta en sus armaduras, se carga más, y cuando la tensión disminuye en el circuito de alimentación, se descarga, manteniendo constante de esta forma la tensión en aquellas secciones del circuito a que está conectado. De este modo, la célula R13C7 desacopla en corriente alterna las etapas del amplificador, lo que evita la autoexcitación, razón por la cual recibe el nombre *de filtro de desacoplamiento*.

¿Qué ventajas tiene este amplificador frente a su análogo con transformadores (por ejemplo, según el esquema de la Figura 148)? Principalmente son dos. La primera ventaja es de carácter puramente constructivo: la ausencia de los transformadores, interetápico y de salida, relativamente complejos y voluminosos. Eso permite construir amplificadores más compactos y livianos, cosa que tiene especial importancia cuando se trata de aparatos portátiles. La segunda ventaja es cualitativa: la ausencia de las distorsiones que introducen los transformadores en el funcionamiento del amplificador y la uniformidad de la amplificación en la gama de frecuencias acústicas. El amplificador sin transformadores puede amplificar uniformemente casi toda la gama de frecuencias acústicas que podemos percibir (aproximadamente desde 20 a 40 Hz hasta 15 a 20 kHz). Un amplificador análogo con transformadores interetápico y de salida podría amplificar uniformemente una banda más estrecha de oscilaciones acústicas, por ejemplo, desde 10 Hz hasta 5 a 6 kHz.

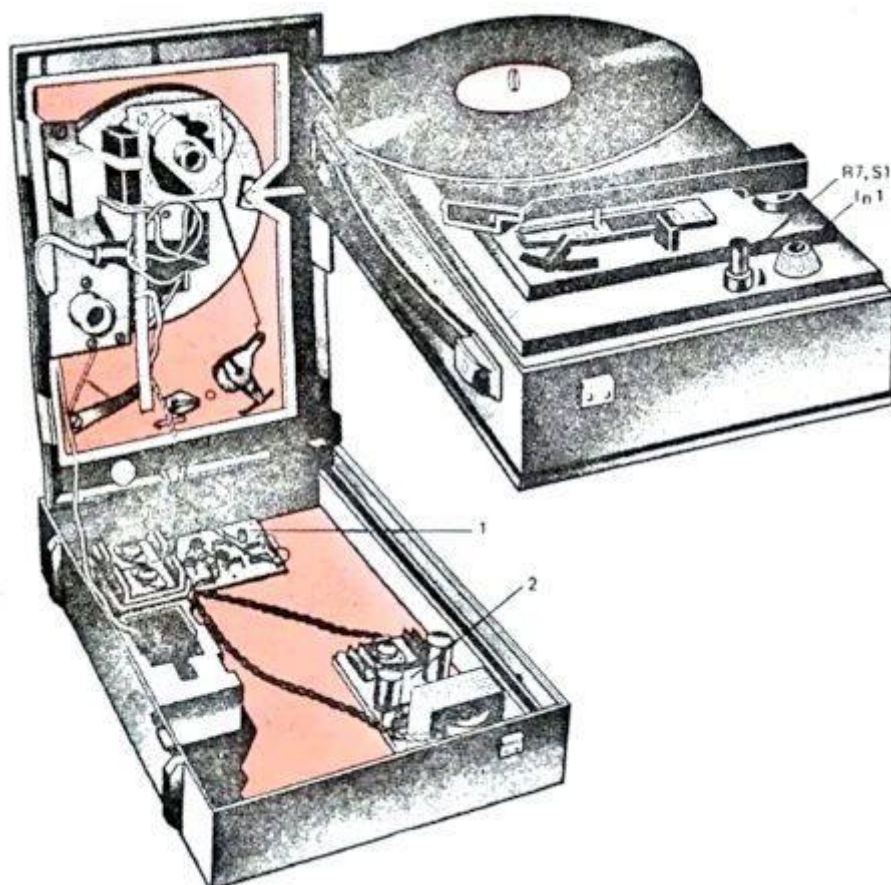


Figura 152. Instalación del amplificador y su bloque de alimentación en la caja del tocadiscos eléctrico

Estas ventajas de los amplificadores sin transformadores se logran principalmente a expensas de la complicación de sus etapas de salida y de cierto aumento del gasto de energía en su alimentación.

El aspecto exterior y la estructura interna del tocadiscos descrito se muestra en la Figura 152. El amplificador 1 y el bloque de alimentación 2 van montados en placas independientes, las cuales (teniendo en cuenta las peculiaridades constructivas del TDE) se sujetan al fondo de la caja sobre soportes cilíndricos de poca altura, por medio de tornillos y tuercas. El regulador de volumen R7, unido al interruptor S1 de la alimentación y al indicador de conexión In1 de la alimentación, se hallan en el panel del TDE junto al fonocaptor.

El enchufe hembra para unir la bobina vocal del altavoz con la salida del amplificador se puede sujetar a una de las paredes laterales.

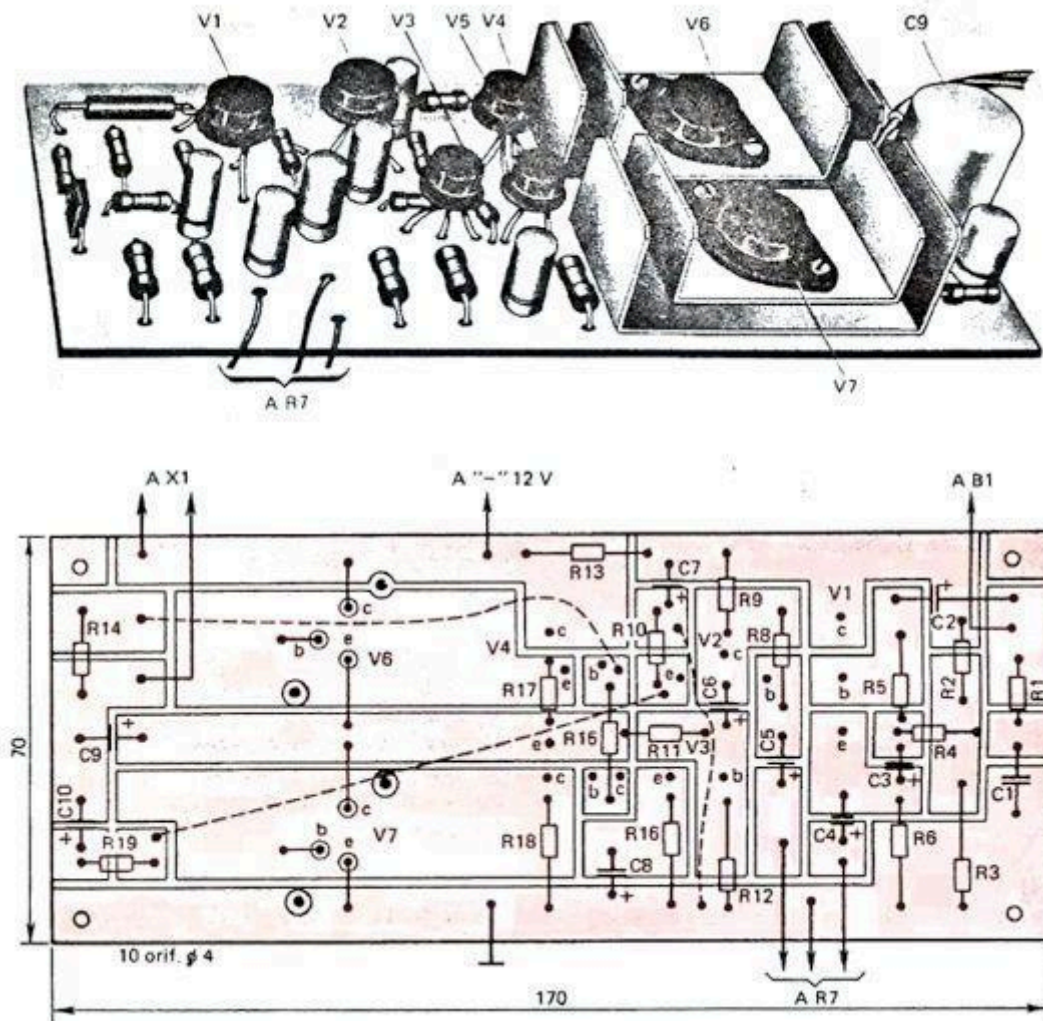


Figura 153. Vista exterior y placa de montaje del amplificador

La vista exterior de las placas de montaje del amplificador, del bloque de alimentación y de la conexión de los elementos en ellas se muestra en la Figura 153 y Figura 154.

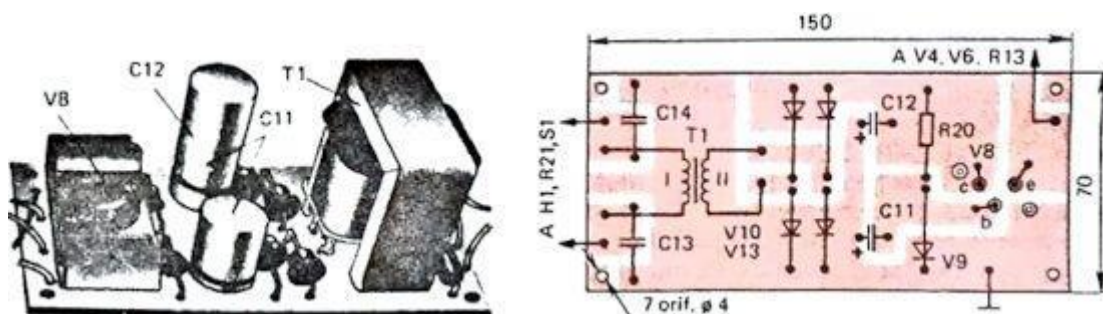


Figura 154. Vista exterior y placa de montaje del bloque de alimentación del amplificador

Sus placas con los circuitos impresos están hechas de textolita de fibra de vidrio recubierta de hoja metálica, de 1,5 mm de espesor, por el procedimiento descrito en la charla novena. El montaje puede ser

colgante, utilizando remaches huecos o espárragos encajados a presión en orificios practicados en las placas de cartón baquelizado o de textolita.

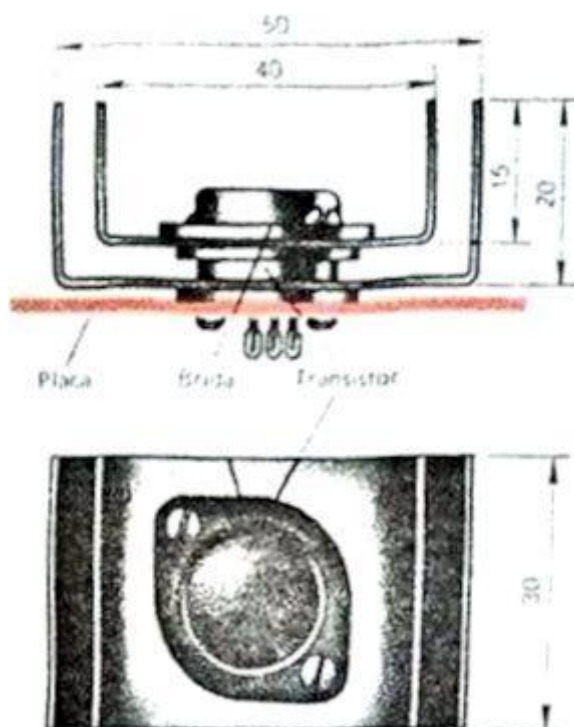


Figura 155. Transistor potente con radiador

El factor estático de transferencia de corriente h_{21E} de los transistores puede ser de 40 a 50. En la primera etapa del amplificador conviene utilizar un transistor que haga poco ruido МП39Б, П27А o ГТ310А. El transistor МП38 (V5) se puede sustituir por los transistores МП35 ... МП37, y el П213, por los П214, П217. Todos los resistores constantes son МАТ-0,5 (también pueden ser МАТ-0,25 ó МАТ-0,125), el resistor variable R7 (con el interruptor de la alimentación SI) es el СП3-4ВМ. Todos los condensadores electrolíticos, excepto el C2 (que para comodidad del montaje es el K50-3), son del tipo K50-6. Los condensadores no electrolíticos pueden ser cualesquiera (МБ, КЛС, КСО, К20-7А), pero las tensiones nominales de los condensadores C13 y C14 deben ser de 400 V como mínimo. El altavoz dinámico B2 tendrá por lo menos 1 W de potencia (como, por ejemplo, los 1ГД-36, 1ГД-40, 2ГД-22 ó 3ГД-31).

Los transistores potentes del amplificador y del estabilizador de tensión del bloque de alimentación están provistos de radiadores o láminas en forma de U invertida, de duraluminio, bien ajustadas a las cápsulas de los transistores (Figura 155). Alrededor de los tornillos de sujeción de los radiadores con los transistores hay que quitar una franja de hoja metálica de la placa. Los terminales de los transistores, forrados con trozos de tubitos de cloruro de polivinilo, están

conectados a las correspondientes superficies conductoras de las placas por medio de conductores de montaje aislados.

Como transformador de red del bloque de alimentación se ha utilizado un transformador de salida de exploración vertical TBK-110-Λ-2. Su devanado I (de 2430 espiras de hilo ПЭВ-1 0.15) funciona como de red, el devanado II (de 150 espiras de hilo ПЭВ-1 0.55), como reductor, y el devanado III no se utiliza. Esta función puede desempeñarla también en el bloque de alimentación un transformador TBK-90. Para el rectificador sirven cualesquiera diodos de enlace. El diodo estabilizador de tensión Д815Д puede sustituirse por los próximos a él por la tensión de estabilización, Д811, Д813 ó Д814Г.

La estructura del altavoz puede ser horizontal (Figura 156) o vertical, esto es cuestión de gustos. Para hacer su caja utiliza madera contrachapada bien pegada o plancha de virutas de madera prensadas (VMP). En el panel delantero haz con una sierra de marquetería o con un formón una abertura que tenga las dimensiones del diámetro del diafragma del altavoz y cúbrelo con tela decorativa que no sea muy gruesa.

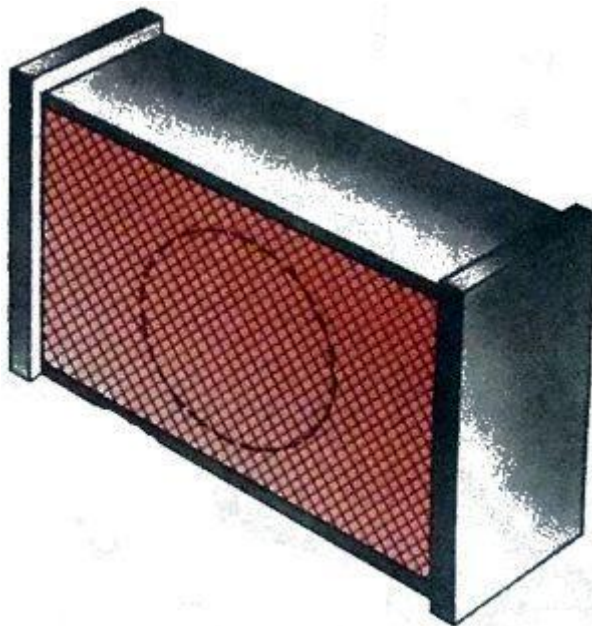


Figura 156. Altavoz

Las partes de la caja pégalas entre sí con cola, poniendo barretas de madera por la parte de dentro de los ángulos. Tiene mucha importancia que las juntas de las piezas de la caja sean sólidas, de lo contrario el sonido será temblante. A la bobina vocal del altavoz conecta un conductor bifilar de 1,5 m de longitud con clavijas para enchufarlo a la salida del amplificador.

Comprueba atentamente el montaje del amplificador y del bloque de alimentación siguiendo el esquema básico (¿no has cometido errores?), limpia los espacios entre las superficies conductoras de las placas (para eliminar las gotitas de soldadura que casualmente hayan caído en ellas) y sólo después de hacer esto, y antes de sujetar las placas a la caja del tocadiscos, empieza a reglar éste.

Primero prueba el bloque de alimentación sin el amplificador, pero conectando a su salida una carga provisional, por ejemplo, una resistencia de 1 a 1,5 k Ω . Conecta la alimentación y con el voltímetro de corriente continua mide la tensión a la salida del bloque. Debe ser igual a la tensión de estabilización del diodo estabilizador V9 que se utiliza (de 11.5 a 13.5 V). Mide la corriente que pasa por dicho estabilizador y elige experimentalmente el resistor R20 de manera que esa corriente sea de 10 a 15 mA. Si una vez hecho esto conectas a la salida del bloque una resistencia de 30 a 40 Ω , la corriente a través del diodo estabilizador de tensión disminuirá un poco y la tensión a la salida del bloque deberá permanecer casi invariable. Así no sólo probarás, sino también comprobarás si el bloque de alimentación puede funcionar con carga.

Después ajusta el amplificador. Para eso el altavoz debe estar firmemente conectado a él. Si no has cometido errores en el montaje y no hay cortocircuitos en los circuitos de alimentación, la corriente total de reposo que consume del bloque de alimentación el amplificador, no debe ser mayor de 15 a 20 mA. Esta corriente puedes medirla intercalando el miliamperímetro en un corte del conductor de conexión de signo menos. Luego mide y, si hace falta, ajusta los regímenes de funcionamiento de los transistores.

Las tensiones que se indican en el esquema básico en los electrodos de los transistores se han medido, respecto del conductor a "masa", con un voltímetro de resistencia relativa de entrada de 10 k Ω /V (ve la charla octava). La tensión en el punto de simetría de la etapa de salida, igual a la mitad de la tensión de la fuente de alimentación, establécela eligiendo experimentalmente el resistor R11, y la corriente de reposo del circuito colector de los transistores V6 y V7, igual a 10-12 mA, eligiendo de igual modo el resistor R15. ¡Ten en cuenta!, durante las sustituciones del resistor R15 es indispensable cortar la corriente en el amplificador, si no los transistores de la penúltima etapa, debido a las corrientes demasiado grandes que pasarían por sus uniones *p-n*, podrían inutilizarse. La tensión en el colector del transistor V2 establécela eligiendo experimentalmente el resistor R8 y en el emisor del transistor V1, eligiendo el R2.

Una vez establecidos los regímenes recomendados de funcionamiento de los transistores, pon una placa de gramófono y tócala. El sonido que emita el altavoz deberá ser intenso y no distorsionado. El

volumen del sonido debe aumentar suavemente a medida que se gira el botón del resistor R7 en el sentido de las agujas del reloj. Si, por el contrario, el volumen aumenta al girar el botón en sentido inverso, cambia entre si las conexiones de los conductores que van a los terminales extremos de dicho resistor.

Hemos dado un paso más en el conocimiento práctico de la radiotecnica. Un paso muy importante, porque como ya dije al principio de esta charla, el amplificador de audiofrecuencia forma parte de muchos dispositivos radiotécnicos modernos. De esto podrás convencerte en más de una ocasión.

Charla 12

Receptores de transistores de amplificación directa

Contenido:

- §. *Del amplificador al receptor de amplificación directa*
- §. *Amplificador de radiofrecuencias y antena con núcleo magnético*
- §. *Acerca de algunos elementos de los receptores portátiles*
- §. *Receptor portátil*

* * * *

Con esta charla comienza la etapa siguiente de tu creación radiotécnica, el estudio y la construcción de un receptor transistorizado de amplificación directa.

Se llama receptor de amplificación directa el aparato en el cual sólo se efectúa una transformación de las ondas moduladas de radiofrecuencia, la detección o demodulación. Antes del detector tiene lugar la sintonización y la amplificación de la señal de la estación emisora y después del detector. La amplificación de las oscilaciones de frecuencia acústica y su transformación en sonido. El amplificador de radiofrecuencia asegura el funcionamiento normal del altavoz dinámico. Los amplificadores constituyen por lo tanto la base del receptor de amplificación directa, que proporciona la recepción en altavoz de las estaciones de radiodifusión.

§. Del amplificador al receptor de amplificación directa

El primer paso del amplificador al receptor de amplificación directa ya lo has dado. ¿Cuándo? Recuerda la charla séptima. Entonces hiciste experimentos con el amplificador de un solo transistor, conectándolo al receptor de cristal. Como resultado obtuviste un receptor muy simple de amplificación directa, de cristal con amplificador de audiofrecuencia de una etapa (ve la Figura 87). Aquel era un receptor 0-V-1. En la misma charla, el receptor reflejo de un solo transistor también era 0-V-1.

¿Y en la charla anterior? Si a la entrada de cualquiera de los amplificadores hicieras llegar la señal de un receptor de cristal, el amplificador también se convertiría en un receptor de amplificación directa. Así, por ejemplo, el amplificador montado por cualquiera de los esquemas de las figs. 138 ó 139 en combinación con un receptor de cristal se convertirían en un receptor de amplificación directa 0-V-2 y el amplificador montado según el esquema de la Figura 148, en un receptor 0-V-3.

Para que se te grabe en la memoria el principio básico de la estructura y el funcionamiento de estos receptores te aconsejo que montes y pruebes el receptor cuyo esquema se da en la Figura 157.

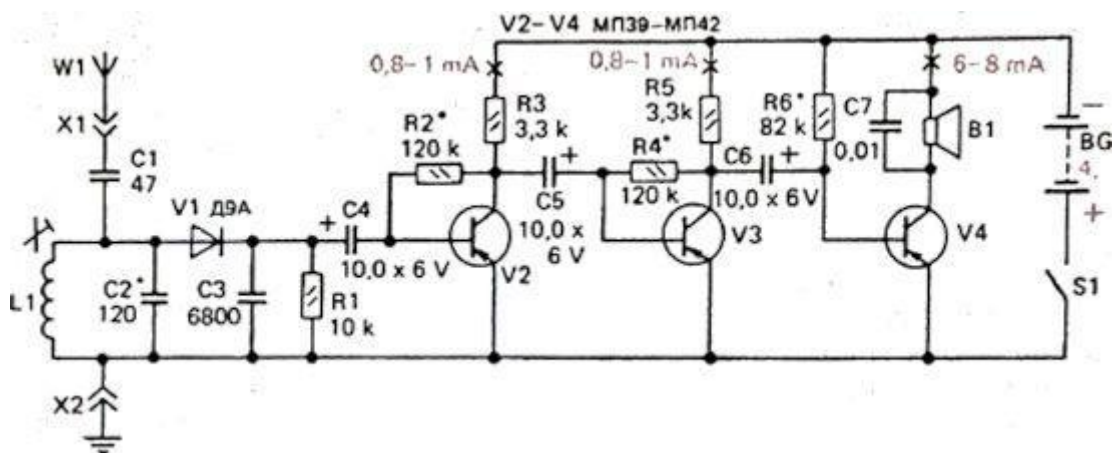


Figura 157. Esquema básico del receptor 0-V-3

Éste es un receptor 0-V-3 con sintonización a una estación emisora local. Su circuito oscilante de entrada lo forman la bobina L1 con el condensador C2 y la antena exterior W1 conectada a ellos y puesta a tierra. La sintonización aproximada del circuito a la onda de la estación emisora se efectúa eligiendo experimentalmente el condensador C2, y la precisa, variando la inductancia de la bobina por medio del núcleo de ajuste de ferrita.

El circuito oscilante de entrada, junto con el diodo V1 y el resistor R1, que desempeña el papel de carga del detector, forman el receptor de cristal que ya conoces. La señal de frecuencia acústica creada en el resistor R1, a través del condensador C4, llega a la entrada del amplificador de audiofrecuencia, se amplifica en sus tres etapas y es transformado en oscilaciones sonoras por el altavoz conectado al circuito colector del transistor de salida V4. Se supone que para el receptor se empleará un altavoz dinámico para radiodifusión por hilo de 0.25 a 0,5 W de potencia y que su transformador de acoplamiento va a desempeñar el papel de transformador de salida del receptor.

Todos los transistores están conectados según el esquema EC. La tensión inicial de polarización de las bases de los transistores V2 y V3

se suministra de los colectores a través de los respectivos resistores R2 y R4, lo que mejora la estabilidad térmica del régimen de funcionamiento de dichos resistores.

Para alimentar el receptor utiliza una o dos baterías 3336Λ acopladas en serie. Independientemente de la tensión de la fuente de alimentación, establece las corrientes colectoras de los transistores que se indican en el esquema. Compara el funcionamiento del receptor con distintas tensiones de la fuente de alimentación.

Los elementos del receptor puedes montarlos en una placa de cartón baquelizado de 70 × 90 mm (Figura 158). De puntos de apoyo del montaje sirven soportes de alambre o remaches huecos. En el circuito oscilante emplea la bobina con barra de ferrita de cuya construcción te hablé en la charla novena (Figura 123). Los condensadores electrolíticos C4 a C6 son del tipo K50-3, K53-1 ó K50-6; los demás condensadores y resistores pueden ser cualesquiera. Presta atención a la construcción del enchufe X2 para conectar la toma de tierra. Su parte hembra está formada por dos anillos o tubos cortos metálicos sujetos a la placa.

Cuando en ellos se introduce ajustadamente el enchufe macho del conductor a tierra, los anillos se cortocircuitan y conectan la alimentación del receptor.

La placa de montaje sujétala a la caja del altavoz de radiodifusión por hilo en cualquier posición. La batería puedes ponerla debajo de la placa o al lado de ella.

¿Qué hay que tener en cuenta al montar el receptor? En la primera etapa del amplificador hay que poner el transistor que tenga el mayor factor estático de transferencia de corriente, y en la de salida, el que tenga menor h_{21E} . Si, por ejemplo, el factor h_{21E} de un transistor es 20, el de otro, 80, y el de tercero, 60, el primero de ellos debe funcionar en la tercera etapa, el segundo, en la primera, y el tercero, en la segunda. Eligiendo experimentalmente la resistencia de los resistores de polarización, prueba cambiar también los resistores de carga (desde 3 hasta 10 kΩ), procurando obtener el volumen de sonido máximo, conservando al mismo tiempo las corrientes de reposo de los circuitos colectores que se indican en el esquema.

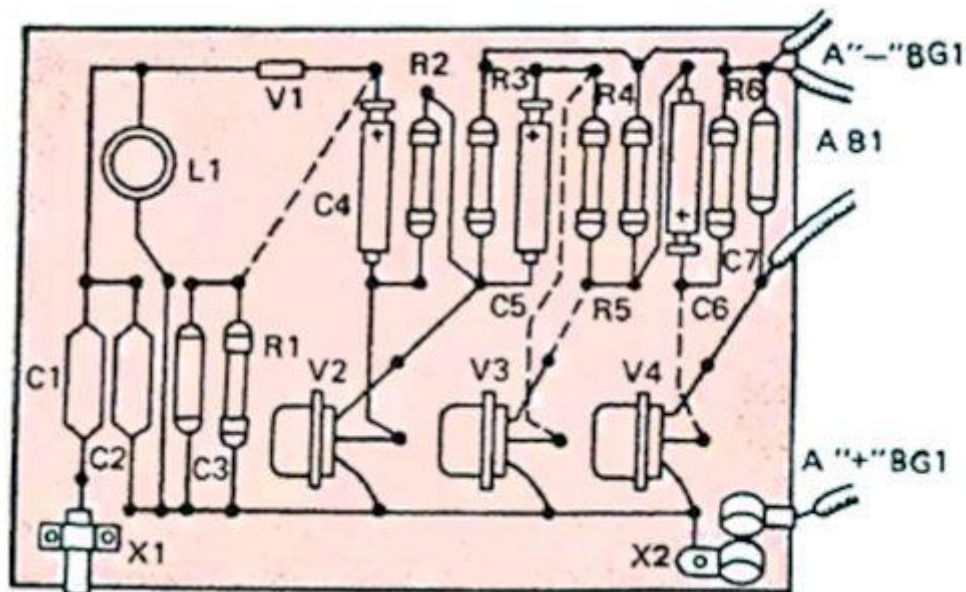


Figura 158. Placa de montaje del receptor

El condensador C2, eligiendo el cual se efectúa la sintonización aproximada del receptor a la onda de la estación emisora local (la sintonización exacta se obtiene desplazando la bobina L1 por la barra de ferrita) se puede sustituir por uno de ajuste tipo КПК-2. Éste no sólo simplifica la sintonización del circuito, sino que, posiblemente, de la posibilidad de, utilizándolo como condensador de capacidad variable, sintonizar el receptor a dos estaciones emisoras.

Si por causas cualesquiera el receptor no empieza a funcionar inmediatamente, en primer lugar mide las corrientes colectoras de los transistores y prueba el receptor por partes, utilizando el generador de señales simple (ve la Figura 99): comprueba primero la parte de entrada, lo mismo que hiciste en el caso del receptor de cristal, y luego el amplificador. Está claro que esto hay que hacerlo en el panel maqueta y sólo después trasladar los elementos a la placa de montaje, de acuerdo con el esquema que para este fin debes dibujar previamente tomando en consideración las dimensiones de dichos elementos.

¿Puede hacerse portátil este receptor u otro más simple, por ejemplo, con dos etapas de amplificación de las oscilaciones de frecuencia acústica? Si, se puede. Pero sólo podrás utilizarlo en las acampadas. En este caso de antena podrá servir un hilo conductor aislado de X a 10 m de longitud colgado por uno de sus extremos de la rama de un árbol alto, y de toma de tierra, una barra metálica clavada profundamente en aquélla. Sin una buena antena y toma de tierra, este receptor funcionará débilmente, su sensibilidad será pequeña. Para elevar esta última hay que añadirle un amplificador de radiofrecuencia.

§. Amplificador de radiofrecuencias y antena con núcleo magnético

Cuando se valora un receptor, se tiene en cuenta no sólo el volumen y la naturalidad del sonido reproducido, factores que vienen determinados por la solución esquemática y la calidad del funcionamiento del amplificador de radiofrecuencias, sino también parámetros como la selectividad y la sensibilidad.

Se entiende por *selectividad* la capacidad del receptor para destacar de entre todas las oscilaciones de radiofrecuencia que se producen en la antena, sólo las de aquella frecuencia a la cual está sintonizado. Cuando un receptor destaca claramente la emisora a la cual está sintonizado, se dice que posee buena selectividad. Y si durante la recepción de una emisora se oyen otras de frecuencia próxima, de dicho receptor se dice que su selectividad es mala o insuficiente. Uno de los procedimientos para elevar la selectividad de un receptor simple consiste en debilitar el acoplamiento del circuito a sintonizar con la antena exterior, y la de uno más complejo, en aumentar el número de circuitos que se sintonizan a la frecuencia de la emisora.

Otro Índice cualitativo de un receptor es la *sensibilidad*, que caracteriza su capacidad para "responder" a las señales débiles de emisoras lejanas. Si el receptor no reacciona a dichas señales, se dice que tiene poca o mala sensibilidad. En cambio, si recibe un gran número de emisoras lejanas y de poca potencia, se dice que tiene buena sensibilidad.

La sensibilidad de un receptor depende de la calidad de su circuito de entrada, del número de etapas de amplificación de radiofrecuencias, de los transistores que hay en ellas y de sus regímenes de funcionamiento.

Un receptor transistorizado de amplificación directa que proporcione la recepción segura de las emisoras locales y de las lejanas de gran potencia tiene por lo general un circuito sintonizable una o dos etapas de amplificación de las oscilaciones de radiofrecuencia moduladas y, si es portátil, una antena imenor con núcleo magnético.

El esquema y lo esencial de la etapa de amplificación de las oscilaciones de radiofrecuencia es análogo al esquema y al funcionamiento de la etapa de preamplificación de las oscilaciones de frecuencia acústica. La única diferencia entre ellos consiste en la carga de los circuitos colectores en que se obtiene la señal amplificada por el transistor. Esta carga, lo mismo que en la etapa de amplificación de la frecuencia acústica, puede ser un resistor R , (Figura 159^a) de 3,3 a 6,8 k Ω de resistencia. La señal amplificada que se crea en él llega, a través del condensador separador C_{sep} , a la

entrada de la segunda etapa de amplificación de radiofrecuencia, si el amplificador es biestático, o al detector (demodulador).

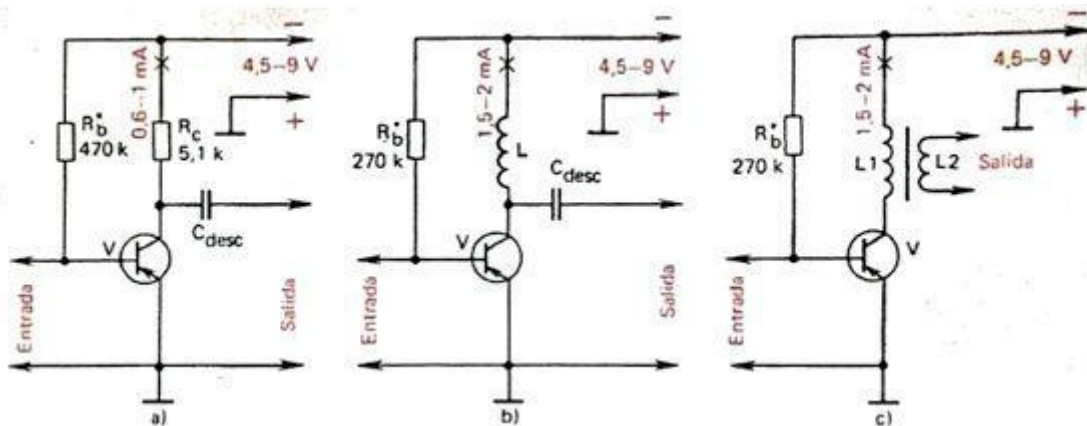


Figura 159. Etapas de amplificación de radiofrecuencia con transistores p-n-p (para transistores n-p-n la polaridad de la fuente de alimentación debe invertirse)

Sin embargo, es mejor que la carga del transistor, en vez de ser un resistor, sea una bobina de choque de alta frecuencia L (Figura 159b), y aún mejor, un transformador de alta frecuencia (Figura 159c). La bobina de choque, o el transformador, ofrece a la señal de radiofrecuencia mayor resistencia que el resistor y eleva la amplificación de la etapa. El transformador permite, además, eligiendo la relación de transformación, transmitir del mejor modo la energía de alta frecuencia del circuito colector del transistor amplificador al circuito de entrada del transistor de la siguiente etapa o del detector, adaptar la resistencia de estos circuitos.

Independientemente del esquema y de la carga de la etapa amplificadora, a la base de un transistor de germanio, junto con la señal a amplificar, debe llegar una tensión inicial de polarización (respecto del emisor) de 0.1 a 0.2 V, y a la base de un transistor de silicio, de 0.5 a 0.7 V.

En las etapas de amplificación de las oscilaciones de radiofrecuencia se utilizan transistores de poca potencia con frecuencia límite de 10 MHz y mayor. De los transistores con estructura $p-n-p$, por ejemplo, los transistores del П401 al П403, П416, ПТ308, ПТ309, ПТ10, y de los de estructura $n-p-n$, los ПТ311, КТ315, КТ301 y muchos otros. Los procedimientos de suministro de la tensión de polarización y de estabilización térmica de los regímenes de funcionamiento de los transistores de las etapas de radiofrecuencia son los mismos que se utilizan en los amplificadores de audiofrecuencia.

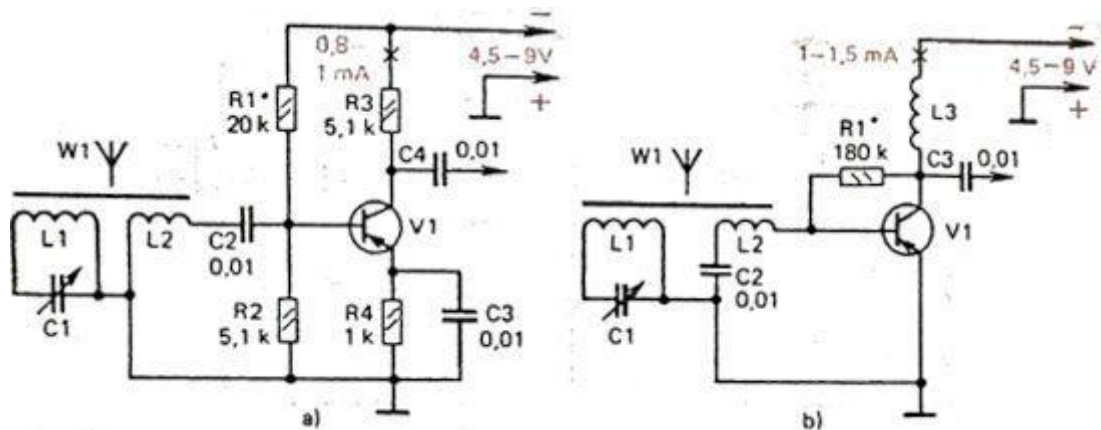


Figura 160. Amplificador monoetápico de radiofrecuencia con antena magnética

El amplificador de radiofrecuencia de una etapa, con estabilización térmica del régimen de funcionamiento del transistor y de los circuitos de entrada del receptor, que utilizan más a menudo los radioaficionados es el que ves en la Figura 160^a. Esta puede decirse que es la variante clásica del amplificador de radiofrecuencia de una etapa. El circuito oscilante de entrada, que determina la sintonización del receptor, lo forman la bobina L1 con su barra de ferrita dentro y el condensador de capacidad variable C1. La barra de ferrita con la bobina L1, juntas, son la antena de núcleo magnético W1, en la cual las oscilaciones moduladas de radiofrecuencia las excita la componente magnética de las ondas de radio. La bobina L2, que se encuentra sobre la barra de ferrita de la antena, acopla el circuito de la antena con el amplificador, por lo que recibe el nombre de *bobina de acoplamiento*. Ambas bobinas se devanan de ordinario sobre manguitos de papel, los cuales pueden desplazarse a lo largo de la barra, con lo que se puede elegir experimentalmente el mejor acoplamiento entre ellas y desplazar algo los límites de la gama de ondas que cubre el circuito de la antena con núcleo magnético L1C1.

De carga del circuito colector sirve el resistor R3. Las oscilaciones de radiofrecuencia que se crean en él llegan, a través del condensador C4, a la segunda etapa de radiofrecuencia o al detector.

La estabilización del régimen de funcionamiento del transistor se consigue por medio del divisor de tensión R1, R2 en el circuito de base del transistor y del resistor del emisor R4, exactamente del mismo modo que en las etapas de amplificación de audiofrecuencia con este sistema de estabilización térmica del punto de trabajo del transistor (ve la Figura 141b).

El condensador C2, conectado entre la bobina de acoplamiento L2 y la base del transistor es divisor. Su misión consiste en dejar pasar libremente las oscilaciones de radiofrecuencia al circuito de base del

transistor y, al mismo tiempo, no dejar pasar la corriente continua. Sin este condensador la base del transistor estaría cerrada al conductor común a través de la bobina de acoplamiento L2 y el transistor estaría cerrado. Este condensador puede conectarse también entre la bobina y el conductor común puesto a tierra. Los condensadores C2 al C4 no deben ofrecer resistencia apreciable a las oscilaciones de frecuencias más bajas de la gama de ondas que amplifica la etapa. Estas condiciones las satisfacen los condensadores de mica y cerámicos de 5 a 10 mil pF capacidad.

El condensador C1 del circuito de la antena con núcleo magnético puede tener dieléctrico de aire o sólido. Su capacidad máxima determina la gama de ondas que cubre el circuito de la antena.

En la Figura 160 se da el esquema simplificado de la etapa de amplificación de oscilaciones de radiofrecuencia con la antena de núcleo magnético a la entrada. De carga del transistor sirve la bobina de choque para alta frecuencia L3. La señal amplificada que se toma de ella llega, a través del condensador C3, a la entrada de la etapa siguiente de amplificación de radiofrecuencia o a la etapa demoduladora. La tensión de polarización llega a la base del transistor, procedente de su colector, a través del resistor R1.

§. Acerca de algunos elementos de los receptores portátiles

Las dimensiones relativamente pequeñas, la antena con núcleo magnético y la alimentación autónoma son sin duda los atractivos principales de los receptores transistorizados. Tú, como es natural, querrás hacer un receptor que puedas llevar contigo en tus excursiones, paseos por el bosque y cuando vayas a pescar o a una colonia de pioneros. Pero para construir los receptores de pequeñas dimensiones hace falta constancia, pulcritud y, a veces, trabajar como un verdadero artífice. Si, como un artífice, porque hay que trabajar con piezas diminutas, utilizando pinzas y, en ocasiones, hasta lupa. Incluso es necesario afilar el corte del soldador, como si fuera un lápiz, para poder llegar a los puntos que hay que soldar sin estropear otras soldaduras o elementos. Algunos de éstos, también pequeños, tiene que hacerlos uno mismo y no contar con adquirirlos hechos.

Entre los elementos de un receptor de transistores portátil que tiene que hacer uno mismo se encuentra, en primer lugar, la antena con núcleo magnético (Figura 161), que es su elemento sensible más importante.

Para las antenas de este tipo de los receptores, incluso de los que vamos a hablar en esta charla, se utilizan barras redondas (o planas) de ferrita marca 400HH o 600HH de 8 a 9 mm de diámetro y de 100 a 140 mm de longitud.

Quizá te acuerdes de que en la charla tercera te recomendé una barra así para el receptor de crista! detector. Las letras que figuran en la marca de la barra caracterizan su material, y las cifras, la permeabilidad magnética de la barra.



Figura 161. Bobina del circuito de antena magnética con bobina de acoplamiento

Las barras de ferrita con permeabilidad magnética más elevada, como, por ejemplo, de 1000 y 2000, no sirven, porque funcionan peor en la gama de ondas medias.

Antes de devanar la bobina del circuito oscilante hay que decidir para qué banda de ondas de radio debe calcularse la antena con núcleo magnético del receptor. El problema consiste en que para la recepción de emisoras de la banda de ondas largas se necesita una antena y para la recepción de las de ondas medias, otra. Se requiere, pues, un conmutador que complica la estructura del receptor y su manejo. Pero un receptor de transistores sencillo, de amplificación directa, de todas formas sólo puede captar las emisoras locales y las más potentes dentro de un radio de hasta 200 ó 300 km. Por eso carece de sentido complicar el receptor. Que capte sólo dos o tres emisoras, pero que lo haga con seguridad y alto. Así es como piensan los radioaficionados y calculan el circuito de la antena con núcleo magnético del receptor únicamente para las estaciones de radio de la banda cuyas emisiones se oyen mejor en las zonas en que ellos viven. Creo que tú debes hacer lo mismo.

Durante tus experimentos con el receptor de transistores simple conociste de qué emisoras eran las señales que mejor se oían en tu localidad. Pues teniendo en cuenta la recepción de estas estaciones

hay que devanar la bobina del circuito de la antena con núcleo magnético.

La bobina del circuito oscilante calculada para captar emisoras de la banda de ondas medias, debe tener de 70 a 80 espiras, y si se calcula para la banda de ondas largas, de 250 a 280 espiras. Pero si la bobina tiene de 160 a 180 espiras y la capacidad máxima del condensador es de 250 a 350 pF, el receptor cubrirá una gama de ondas que abarcará aproximadamente desde 450 hasta 900 m, es decir, el final de la banda de ondas medias y el principio de la de ondas largas. Para hacer la bobina de ondas medias utiliza hilo ПЭВ-1 o ПЭЛШО 0,2-0,25, y para la de ondas largas o de la banda intermedia, hilo de las mismas marcas pero de 0,15 a 0,2 mm de diámetro. El hilo de la bobina para ondas medias devánalo en una capa, espira junto a espira. La bobina para ondas largas es preferible, para disminuir su capacidad interna, devanarla formando cuatro o cinco secciones y arrollando en cada sección distinto número de espiras.

La bobina de acoplamiento devánala en el mismo hilo que la del circuito. La de acoplamiento para la banda de ondas medias debe tener 5 ó 6 espiras; la de la banda de ondas largas, de 10 a 15 espiras. El número definitivo de espiras de la bobina de acoplamiento lo determinarás durante el ajuste del receptor.

Ten presente que los manguitos en que vayas a devanar las bobinas deben desplazarse con poco rozamiento por el armazón. Trasladando la bobina del circuito oscilante podrás variar, dentro de ciertos límites, las fronteras de la banda que cubre el receptor, y desplazando la bobina de acoplamiento, establecer el acoplamiento más conveniente del circuito de antena con la entrada del amplificador de radiofrecuencia del receptor.

La barra de ferrita de la antena puede ser plana. En este caso sólo cambia la forma de los armazones de las bobinas, pero el número de espiras en ellas será el mismo.

Para sintonizar un receptor transistorizado de amplificación directa, en el cual, por regla general, sólo hay un circuito sintonizable (el de la antena con núcleo magnético), conviene utilizar un condensador de capacidad variable de pequeñas dimensiones. De uno de estos condensadores, que fabrica la industria soviética especialmente para los receptores de transistores, te hablé en la charla quinta (ve la Figura 62b). Sus dimensiones exteriores son $25 \times 20 \times 10$ mm, su capacidad inicial (mínima) es de 5 pF y la final (máxima), de 350 pF. También puede servir un condensador cuya capacidad mínima sea de 5 pF y la máxima de 180 pF.

Pero los radioaficionados en vez del condensador de capacidad variable emplean a menudo condensadores cerámicos de ajuste КПК-2 con capacidad inicial de 10 a 25 pF y final de 100 a 150 pF. Debe darse preferencia al condensador con capacidad inicial de 10 pF y final de 100 pF, ya que con él cubre el circuito una gama mayor de ondas que con el condensador de capacidad de 25 a 150 pF. Y para mayor comodidad de utilización de este condensador como órgano de sintonización, sobre su disco móvil- rotor-se pone y se pega un anillo con dientes por su circunferencia exterior, como muestra la Figura 161. Este anillo puede cortarse, con una sierra de marquetería, de una placa de vidrio orgánico o de textolita de 2,5 a 3 mm de espesor, y los dientes, con una sierra de ajustador o una lima.

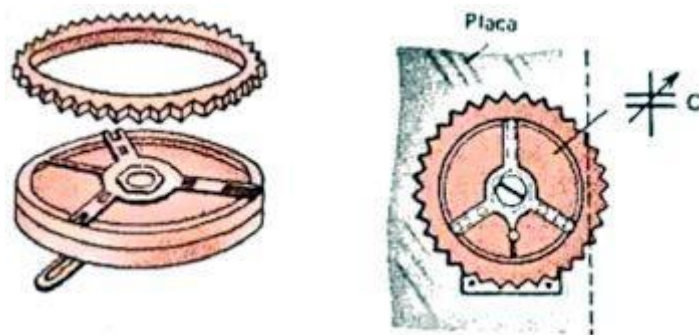


Figura 162. Condensador de ajuste utilizado como condensador de sintonización

Fija este condensador de ajuste en la placa de montaje con un tornillo y una tuerca o pégalo a ella de manera que la parte dentada sobresalga un poco, aproximadamente 4 ó 5 mm de la pared lateral del estuche del receptor (en la Figura 162, a la derecha, la superficie externa de la pared del estuche se indica con línea de trazos).

El interruptor de alimentación y el regulador de volumen también son partes imprescindibles del receptor de transistores portátil.

En la charla quinta te di a conocer un resistor variable tipo TK, en cuya caja hay un interruptor. En principio, en el receptor de transistores este resistor también puede desempeñar las funciones de interruptor y de regulador de volumen, si lo permiten las dimensiones del receptor.

Sin embargo, en el receptor de transistores portátil es preferible utilizar el resistor variable de pequeñas dimensiones СПЗ-3 que se muestra en la Figura 163, que también tiene interruptor. El disco, de 20 mm de diámetro, encajado en el eje del resistor, es la manija del regulador del volumen. Las dos laminillas extremas son los terminales de los contactos del interruptor, y las tres intermedias, los terminales del resistor variable. Los terminales del interruptor se utilizan

también para sujetar, por lo general con soldadura, este elemento en la placa de montaje.

Ahora pienso que ya puedes empezar a construir el receptor portátil.

§. Receptor portátil

¿Cómo debe ser este receptor? En primer lugar, de funcionamiento seguro y sin “caprichos” en las excursiones, la pesca y en todas partes a que lo lleves contigo. En segundo lugar, debe proporcionar una buena recepción, con la antena de núcleo magnético, de dos o tres emisoras con suficiente volumen para que no sólo tú, sino también tus compañeros, podáis escuchar durante las marchas o en las acampadas, junto a la hoguera, las últimas noticias, la música, los reportajes deportivos, comprobar la hora y, en general, sentirnos como en casa.

Estas condiciones puede satisfacerlas totalmente el receptor cuyo esquema básico se muestra en la Figura 164. Es un receptor de banda única 2-V-3, es decir, con dos etapas de amplificación de oscilaciones de radiofrecuencia, una etapa de demodulación o detección y tres etapas de amplificación de frecuencia acústica. La elección de la gama de ondas que cubre el receptor depende de las condiciones locales de recepción. De fuente de alimentación del receptor puede servir una balería “Krona”, una batería de acumuladores 7Д,-0.1 o dos baterías 3336Λ acopladas en serie.

Examinemos en el esquema los elementos y el funcionamiento del receptor en conjunto. En él hay mucho que ya conoces y algo nuevo. Empecemos, como de costumbre, por la entrada.

El circuito de entrada del receptor, que se sintoniza a la frecuencia de la emisora, lo forman la bobina L1, la antena con núcleo magnético W1 y el condensador de capacidad variable C1, cuya función la desempeña el condensador de ajuste КПК-2. A través de la bobina de acoplamiento L2 y del condensador separador C2, la señal de la emisora, a la cual está sintonizado el circuito magnético de la antena, llega a la base del transistor V1 de la primera etapa del amplificador de radiofrecuencia. De carga de este transistor sirve la bobina de choque de alta frecuencia L3. De ella, a través del condensador C3, la señal amplificada llega a la base del transistor V2 de la segunda etapa, y desde su resistor de carga R3, pasando por el condensador C4, a la etapa de demodulación.

Los dos transistores del canal de radiofrecuencia del receptor están conectados según el esquema EC. Su régimen de funcionamiento de corriente continua se regula con los resistores de polarización R1 y R2 entre las bases y los colectores. La diferencia entre las dos etapas consiste únicamente en que de carga del transistor de la primera

sirve la bobina de choque de alta frecuencia, mientras que la carga del transistor de la segunda es un resistor.

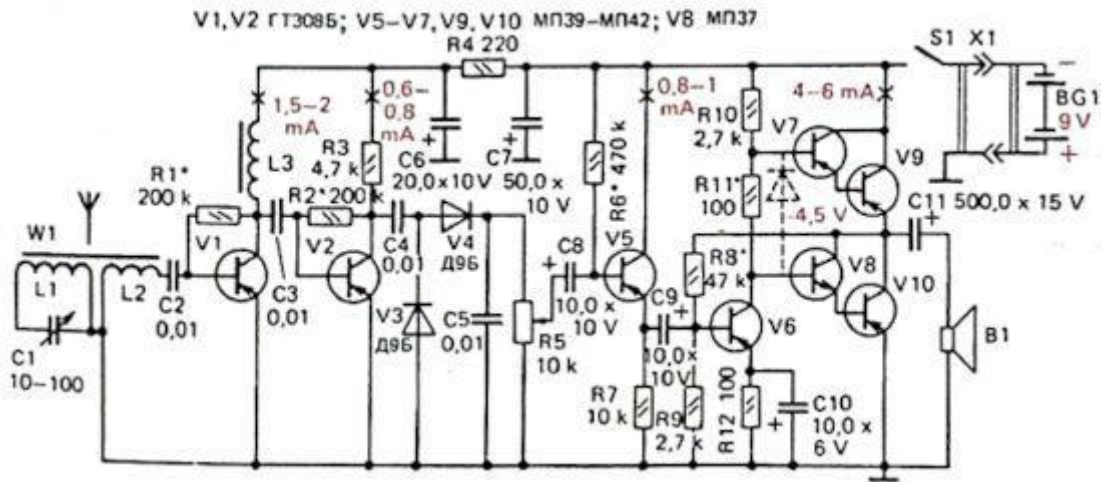


Figura 163. Resistor variable de pequeñas dimensiones tipo CП-3 con interruptor de alimentación

Pero estas cargas se pueden no sólo cambiar de sitio entre sí, sino también, utilizando para estos fines transformadores de alta frecuencia, introducir algunas otras variaciones en el amplificador, de las cuales hablaremos más tarde.

Para ti es nueva la etapa de demodulación o detección. En casi todos los receptores anteriores el papel de detector lo desempeñaba un diodo de contacto puntual, mientras que en éste son dos, el V3 y el V4. Con esta conexión de los diodos del detector, sobre su resistor de carga se crea una tensión de frecuencia acústica casi dos veces mayor que cuando la carga es un solo diodo. Por eso estos detectores se llaman *detectores con duplicación de la tensión*. A veces se denominan también detectores con entrada cerrada a la corriente continua, ya que el condensador C4 sólo deja pasar libremente al detector solamente la componente alterna de la corriente del circuito colector del transistor V2 y no deja pasar en absoluto la continua.

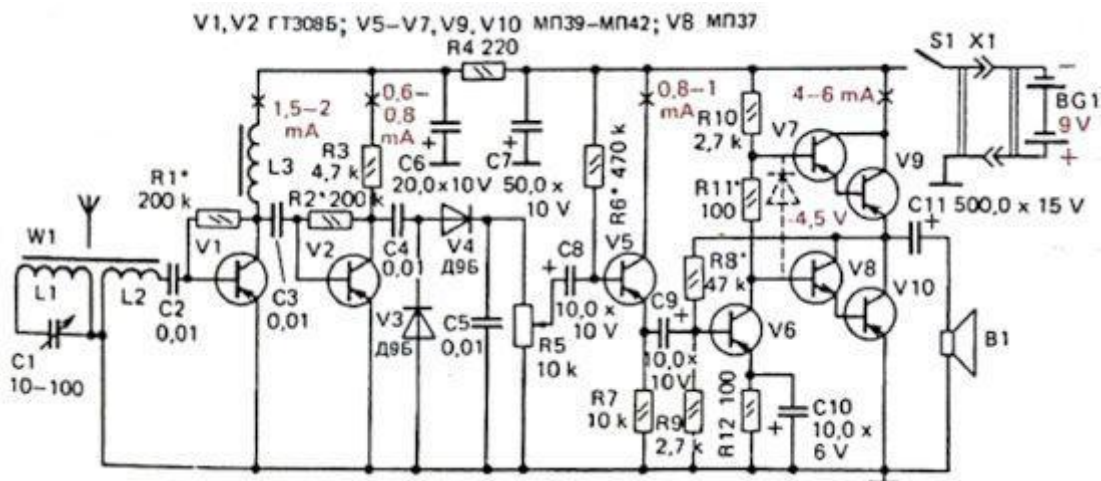


Figura 164. Esquema básico del receptor portátil

Si el condensador tiene fugas, a través de él y del diodo V3 conectado, respecto de la polaridad de la batería, en sentido directo, pasará una corriente continua considerable y el detector demodulará mal o no demodulará la señal de radiofrecuencia.

En este receptor sirve de carga del detector el resistor variable R5. Al mismo tiempo, este resistor desempeña el papel de regulador del volumen, cuanto más alto (según el esquema) se encuentra mi cursor, tanta más tensión de frecuencia acústica llega a la entrada del canal de baja frecuencia y tanto mayor es el volumen del sonido.

Pura que sea mejor el acoplamiento de la resistencia del detector con la resistencia de entrada del amplificador de frecuencia acústica, el transistor V5 de la primera etapa del amplificador está conectado según el esquema CC, Las oscilaciones de frecuencia acústica que se crean en su resistor de carga R7 ilegan, a través del condensador C9, al transistor V6 de la segunda etapa y son amplificadas por él.

Los transistores V7, V9 y V8, V10 están conectados según el esquema del transistor compuesto y forman los dos brazos de un amplificador de potencia en contrafase sin transformadores Por su principio básico de funcionamiento, este amplificador es análogo a la etapa de salida del amplificador del tocadiscos de que hablamos en la charla anterior, pero menos potente. Las oscilaciones de frecuencia acústica amplificadas por él llegan, a través del condensador C11, al altavoz dinámico B1 y se transforman en oscilaciones sonoras.

Él resistor R11, en virtud del cual en las bases de los transistores compuestos se crean (respecto de los emisores) las tensiones de polarización iniciales, elimina las distorsiones de tipo de escalón. El resistor R4 y el condensador C6 forman un filtro desacoplador (que ya conoces por el amplificador del tocadiscos) que evita los

acoplamientos parásitos entre los amplificadores del receptor a través de la fuente de alimentación común.

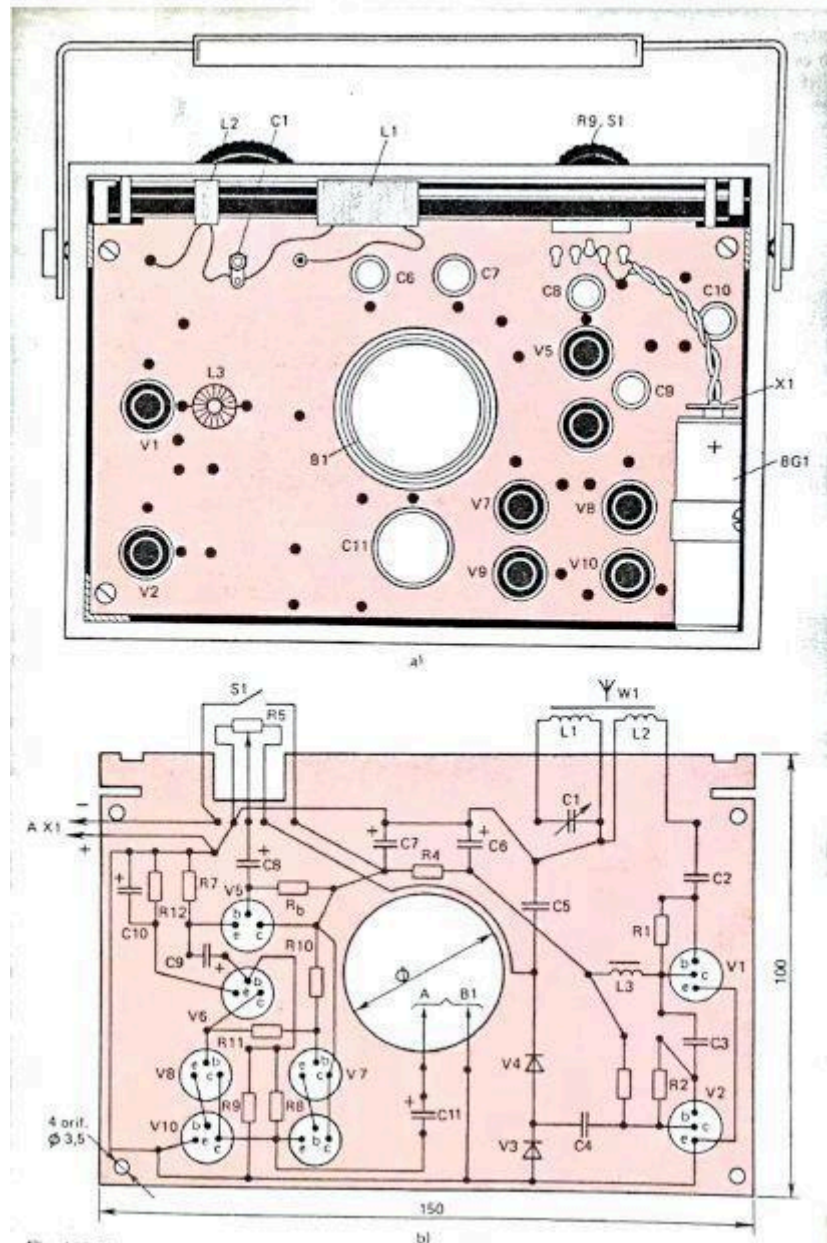


Figura 165. Estructura (a) y esquema de la disposición de los elementos en la placa de montaje (b)

La función que desempeña el condensador electrolítico C7 que shunta la fuente de alimentación en corriente alterna, también la conoces. Su papel se nota especialmente al final de la descarga de la batería, cuando aumenta la resistencia interna de ésta a la componente alterna de la corriente de frecuencia acústica.

Una posible estructura de este receptor así como su placa de montaje con el esquema de la disposición de los elementos y las conexiones entre ellos se muestra en la Figura 165.

En el receptor se utilizan: transistores con factor estático de transferencia de corriente h_{21E} no menor de 50, el altavoz dinámico B1 -0,5ГД-21, el condensador C1 del circuito de la antena con núcleo magnético – КПК-2 (con anillo-manija como en la Figura 162)-, el resistor variable R5 con interruptor de alimentación S1, tipo СП3-3, los condensadores electrolíticos K50-6, y la batería de alimentación “Krona”. Ten en cuenta que los pares de transistores V7 y V8, V9 y V10 deben tener parámetros h_{21E} y I_{CBI} lo más próximos posible o ser iguales los productos de los factores h_{21E} de los transistores V7 y V9 y de los V8 y V10. Ésta es una condición indispensable para el funcionamiento sin distorsión del amplificador de potencia.

La longitud de la barra de ferrita de la antena es de 140 mm. Las estructuras y los datos de las bobinas L1 y L2 son las mismas que te dije en la parte anterior de esta charla. Para la recepción de emisoras de la banda de ondas medias, la bobina de choque L3 debe tener de 75 a 85 espiras, y para las emisoras de la banda de ondas largas, aproximadamente, 200 espiras.

Todos los elementos, excepto el altavoz dinámico y la batería de alimentación, van montados sobre una placa de cartón baquelizado, de textolita, de laminado de tela de fibra de vidrio o de cualquier otro material aislante, de 150 × 100 mm. La abertura de 36 mm de diámetro en el centro de la placa se hace para el sistema magnético del altavoz. La barra de ferrita de la antena se sujeta a la placa con anillos de goma.

El altavoz dinámico se fija por el soporte del diafragma en la pared delantera de la caja, y la batería “Krona”, en la pared lateral. La placa de montaje se sujeta con cuatro tornillos para madera sobre barretas de apoyo fijas a las paredes de la caja. Esta última se hace de madera contrachapada de 4 ó 5 mm de espesor pegando con cola sus piezas. En la pared anterior, delante del diafragma del altavoz hay una abertura, que se cubre con tela no muy gruesa para proteger aquél del polvo y la humedad. Sobre la abertura se pone una rejilla decorativa. A las paredes laterales va sujeta con tornillos el asa (o correa) para transportar cómodamente el receptor.

La pared posterior de la caja (en la Figura 165^a no se muestra) puede sujetarse a las paredes laterales *con* tornillos para madera. Pero es preferible, sin embargo, que esta pared sea abatible, sobre pequeñas bisagras, y se cierre con un picaporte, lo que da la posibilidad de sustituir rápidamente la batería descargada.

Ésta u otra parecida puede ser la estructura de tu receptor. Eso depende mucho de los elementos y materiales de que dispongas y, naturalmente, de tu ingenio creador.

Antes de empezar a ajustar el receptor, comprueba atentamente su montaje siguiendo el esquema básico, Presta especial atención a que sean correctas las conexiones de los terminales de los transistores, la polaridad de los condensadores electrolíticos y de los dardos del detector. Después, con los contactos abiertos del interruptor de alimentación, conecta el miliamperímetro en estas condiciones, el instrumento que cierra consigo el circuito de alimentación, debe indicar la corriente de reposo, de 12 a 15 mA como máximo. Si esta corriente es mucho mayor, eso indica que el montaje está mal hecho, que en el receptor se han utilizado elementos defectuosos o que los resistores no tienen los valores nominales necesarios.

El ajuste del amplificador de audiofrecuencia del receptor se reduce fundamentalmente al establecer los regímenes de funcionamiento de los transistores de su etapa de salida. Primero, eligiendo experimentalmente el resistor R8, sustituyéndolo o conectando en paralelo a él resistores de otros valores nominales, establece en el punto de simetría una tensión igual a 4,5 V, es decir, a la mitad de la tensión de la batería (o del bloque de alimentación de la red). Mide la tensión entre los conductores comunes negativos y puestos a masa de los circuitos de alimentación. Esta tensión no debe ser menor de 8.5 V. Luego, eligiendo experimentalmente el resistor K11 establece la corriente de reposo de los transistores de la etapa de salida entre los límites de 4 a 6 mA.

Debo advertirte una vez más que durante las sustituciones del resistor R11, el amplificador debe estar sin corriente, de lo contrario los transistores compuestos de la etapa de salida pueden estropearse a causa de las corrientes excesivamente grandes que pasan por ellos.

La aptitud para el funcionamiento del canal de audiofrecuencia del receptor en conjunto compruébala como te dije en la charla anterior al tratar del amplificador de audiofrecuencia.

Hecho esto pasa a ajustar la parte de radiofrecuencia del receptor. Primero conecta el miliamperímetro a los circuitos colectores de los transistores y, eligiendo experimentalmente los resistores R2 y R1, establece en estos circuitos corrientes que estén dentro de los límites indicados en el esquema. Después, girando el receptor en el plano horizontal, sintonízalo a una emisora cualquiera y, eligiendo adicionalmente los resistores R2 y R1, consigue el mayor volumen de recepción posible de dicha emisora. El volumen máximo se logra cuando el eje longitudinal de la antena con núcleo magnético está situado perpendicularmente a la recta dirigida a la emisora que se recibe. Eso es así porque la antena con núcleo magnético posee directividad de acción. La gama de ondas que cubre el receptor se puede correr un poco hacia el lado de las ondas más cortas o de las

más largas desplazando la bobina del circuito de antena por la barra de ferrita.

Luego halla una posición tal de la bobina de acoplamiento L2 en la barra, respecto de la bobina del circuito de antena, que el nivel de la señal sea máximo y no esté distorsionado. Si cuando el alejamiento de la bobina de acoplamiento, respecto de la del circuito, es máximo, el receptor funciona con distorsiones, hay que disminuir el número de espiras de la primera. Los armazones de ambas bobinas sujétalos a la barra de ferrita con sendas gotitas de cola.

Puede ocurrir que con la amplificación máxima el receptor empiece a autoexcitarse en alta frecuencia y se produzcan silbidos. En este caso cambia entre sí las conexiones de los terminales de la bobina de choque de alta frecuencia. Si esto no surte efecto, shúntala con un resistor de 1 a 10 k Ω de resistencia.

¿Qué variaciones o adiciones se pueden introducir en este receptor?

En primer lugar, en relación con los transistores. En el amplificador de radiofrecuencia, en vez de los transistores ПТ308 que indica el esquema básico, se pueden utilizarse cualesquiera otros de alta frecuencia y pequeña potencia de estructura p-n-p, por ejemplo, los ПТ310, П401 a П403, П416 y П422 con cualquier índice literal, y en lugar del transistor МП37, en la penúltima etapa, los análogos a él МП35 y МП36, también con cualquier índice literal.

Los transistores V9 y V10 de la etapa de salida pueden ser transistores de potencia media, como por ejemplo, los ПТ402, ПТ403, П601 o П605. En este caso la potencia de salida del receptor aumenta aproximadamente hasta 0.6 a 0,8 W. Respectivamente se puede aumentar también la potencia del altavoz dinámico que se utiliza en el receptor. Pero al hacer esta sustitución de los transistores la corriente media que consume la etapa de salida aumenta hasta 150 a 200 mA. El receptor con esta etapa de salida hay que alimentarlo con una batería compuesta de seis pilas 343 ó 373. La batería "Krona" o la 7Д-0.1 no pueden abastecer durante mucho tiempo el funcionamiento de este receptor.

En paralelo al resistor R11, es decir, entre las bases de los transistores V7 y V8, se puede conectar en sentido directo un diodo de germanio de contacto puntual o de enlace, con lo que se eleva la estabilidad térmica del funcionamiento de la etapa de salida. En el esquema básico del receptor (Figura 164) este diodo se representa con líneas de trazos. La esencia de la acción de este diodo se reduce a lo siguiente. Al aumentar la temperatura, la caída directa de tensión en él disminuye, y al disminuir, por el contrario, aumenta. Al ocurrir esto varía automáticamente la tensión de polarización de las bases de

los transistores, lo cual se aprovecha para estabilizar térmicamente el amplificador.

La carga del transistor de la primera etapa puede ser un resistor de 3.3 a 4.7 k Ω de resistencia. Pero con esto disminuye un poco la sensibilidad del receptor. Esta pérdida puede compensarse ajustando más cuidadosamente los regímenes de funcionamiento de los transistores e intensificando el acoplamiento del circuito de antena con la entrada del amplificador. Además, se puede prever un enchufe hembra para poder conectar al circuito de la antena con núcleo magnético, una antena eléctrica exterior que aumente el radio de acción del receptor.

La caja del receptor no es necesario que la hagas tú mismo. Puedes adquirir la de un receptor de transistores portátil que sirva para el tuyo. La caja adquirida te sugerirá las dimensiones de la placa de montaje y la colocación en ella de los elementos.

Teniendo en cuenta los elementos elegidos y las posibles variaciones y adiciones, comprobadas en el panel maqueta, puedes empezar a construir el receptor. Dice el refrán: *antes de cortar una vez, mide siete veces*. Cuando se trata de hacer un receptor portátil, sobre todo si deseas reducir sus dimensiones, hay que tener eso muy presente. Por lo mismo quiero darte otro consejo: *partiendo de los elementos de que dispones, haz varios esquemas distintos de montaje, elige sin darte prisa el mejor y sólo después empieza a hacer la placa, a marcarla y a montar el receptor*.

El receptor de amplificación directa fue, y por lo visto, seguirá siendo durante mucho tiempo, una de las etapas más importantes del proceso de formación creadora de los radioaficionados. Pero en esta charla no termino mis explicaciones sobre los receptores de esta clase. Las continuaré en la charla dedicada a la utilización de los microcircuitos integrales.

Charla 13

Del receptor de amplificación directa al superheterodino

Contenido:

§. Peculiaridades del superheterodino

§. Convertidor de frecuencia

§. Superheterodino de transistores

* * * *

El estudio práctico de los aparatos radiorreceptores empieza, por regla general, con el aprendizaje de los receptores de amplificación directa. Así hemos procedido nosotros. Después comienza la fase

siguiente, mas difícil, del quehacer de los radioaficionados, el estudio y la construcción del receptor superheterodino, el cual posee mejor selectividad y sensibilidad que el de amplificación directa. A este tipo moderno, fundamental, de receptores de radiodifusión dedico esta charla

§. Particularidades del superheterodino

¿En qué se diferencia en principio el superheterodino del receptor de amplificación directa? Principalmente, por el método de amplificación de las oscilaciones moduladas de radiofrecuencia. En el receptor de amplificación directa la señal recibida se amplifica sin variación alguna de su frecuencia. En el superheterodino, en cambio, la señal recibida se transforma en oscilaciones de la llamada frecuencia intermedia, con la cual se efectúa la amplificación principal de dicha señal. La demodulación, la amplificación de las oscilaciones de frecuencia acústica y su transformación en oscilaciones sonoras, son procesos que en los receptores de ambos tipos se realizan en principio del mismo modo.

El esquema estructural del superheterodino puedes verlo en la Figura 166. Su circuito oscilante sintonizable, de entrada, es el mismo que el del receptor de amplificación directa. Desde él la señal recibida de la emisora llega al *mezclador*. A éste se hace llegar también la señal de un generador local de oscilaciones de radiofrecuencia de poca potencia, denominado *heterodino*. En el mezclador las oscilaciones del heterodino se transforman en oscilaciones de frecuencia intermedia (FI), igual de ordinario a la diferencia entre la frecuencia del heterodino y la de la señal recibida, las cuales después se amplifican y demodulan. En la mayoría de los casos la frecuencia intermedia del superheterodino es igual a 465 kHz. Las oscilaciones de frecuencia acústica separadas por el detector también se amplifican y después son transformadas por el altavoz en oscilaciones sonoras.

El mezclador, junto con el heterodino, transforman la señal recibida de la emisora en oscilaciones de frecuencia intermedia, por eso esta etapa del superheterodino se llama *convertidor*. Al circuito de salida del convertidor están conectados los circuitos oscilantes sintonizados a la frecuencia de 465 kHz. Estos circuitos forman un filtro de frecuencia intermedia (FFI) que separa las oscilaciones de frecuencia intermedia y filtra las oscilaciones de las frecuencias de la señal de entrada, del heterodino y de sus combinaciones.

Cualquiera que sea la sintonización del superheterodino, la frecuencia de su heterodino debe ser más alta (o más baja) que la de la señal de entrada en 465 kHz, es decir, en el valor de la frecuencia intermedia. Así, por ejemplo, si el receptor se sintoniza a una emisora cuya frecuencia portadora sea de 200 kHz (longitud de onda de 1500 m),

la frecuencia del heterodino debe ser de 665 kHz ($665 - 200 = 465$ kHz), para recibir una emisora cuya frecuencia sea de 1 MHz (longitud de onda de 300 m), la frecuencia del heterodino deberá ser de 1465 kHz ($1465 \text{ kHz} - 1 \text{ MHz} = 465 \text{ kHz}$) y así sucesivamente.

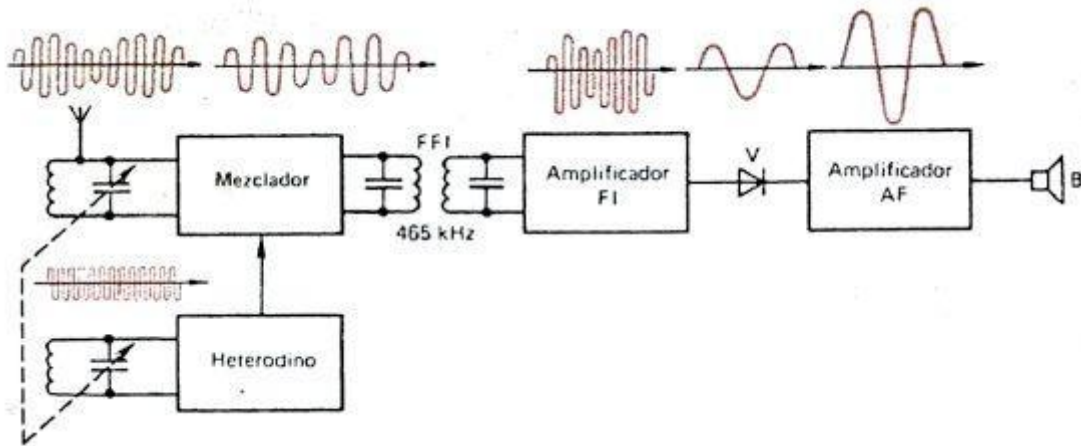


Figura 166. Esquema estructural del superheterodino

Para conseguir que la frecuencia intermedia sea constante cuando el receptor se sintoniza a una onda de radio de longitud cualquiera es necesario que la banda de frecuencias del heterodino esté desplazada, respecto de la banda que cubre el circuito de entrada, en una frecuencia igual a la intermedia, es decir, en 465 kHz. En esta frecuencia se efectúa la amplificación de la señal recibida hasta el nivel necesario para que el detector funcione normalmente.

¿En qué consiste la ventaja del superheterodino frente al receptor de amplificación directa?

En que en el superheterodino la amplificación principal de la señal recibida se efectúa en una frecuencia intermedia fija, que, además, es relativamente baja. Esto da la posibilidad de, aumentando el número de etapas del amplificador de FI, conseguir una amplificación muy grande y bastante estabilizada de la señal recibida, sin temor a que se excite el amplificador de FI. Las propiedades selectivas del receptor de amplificación directa vienen determinadas de ordinario solamente por el circuito oscilante de entrada. En el superheterodino, en cambio, varios circuitos oscilantes están sintonizados constantemente a la frecuencia intermedia. Estos circuitos, que forman filtros de FI, aseguran al superheterodino una selectividad más alta que la del receptor de amplificación directa. A todo esto hay que añadir que la sensibilidad y selectividad del superheterodino se conservan aproximadamente constantes en todas las bandas, incluso en las de onda corta, para las cuales los receptores de amplificación directa no sirven prácticamente.

§. Convertidor de frecuencia

La comprensión del principio básico del funcionamiento de un convertidor de frecuencia transistorizado te será más fácil examinando su esquema simplificado, el cual puedes verlo en la Figura 167.

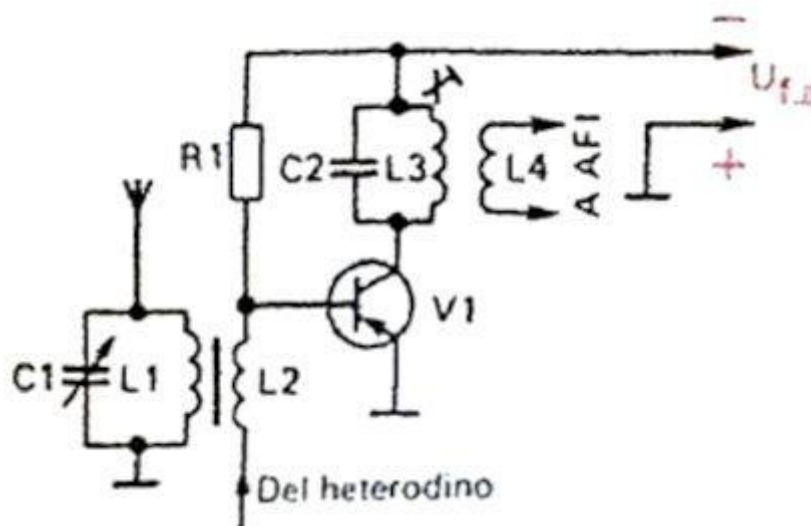


Figura 167. Convertidor de frecuencia simplificado

La señal de la emisora a cuya frecuencia está sintonizado el circuito de entrada $L1C1$, a través de la bobina de acoplamiento $L2$, llega a la base del transistor $V1$. Al mismo tiempo, a la base del transistor, a través de la bobina de acoplamiento $L2$ (o directamente) llega también la señal del heterodino, cuya frecuencia es 465 kHz mayor que la frecuencia portadora de la emisora. En el circuito colector las oscilaciones de las frecuencias de la señal recibida y del heterodino, se mezclan y, como resultado, surgen en él oscilaciones de diversa frecuencia, incluso de frecuencia intermedia. El circuito $L3C2$, conectado al colector, está sintonizado a la frecuencia intermedia, por lo que separa principalmente sólo las oscilaciones de esta frecuencia y filtra las oscilaciones de todas las demás. Las oscilaciones de frecuencia intermedia separadas por el circuito, a través de la bobina de acoplamiento $L4$, llegan a la entrada del amplificador de $F1$ para ser amplificadas.

La señal del heterodino puede hacerse llegar también al circuito emisor del transistor de la etapa mezcladora. El resultado será el mismo.

En el convertidor de frecuencia del superheterodino pueden funcionar dos transistores: uno en el mezclador y otro en el heterodino. Este tipo de etapas recibe el nombre de *convertidor con heterodino separado*. Pero los convertidores de frecuencia de la inmensa mayoría de los superheterodinos hechos por los radioaficionados son de un

solo transistor. Éstos se llaman *convertidores con heterodino combinado*, ya que un mismo transistor desempeña las funciones de heterodino y de mezclador.

En principio también funcionan así los convertidores de frecuencia de los superheterodinos de lámparas.

Los convertidores de frecuencia de muchos superheterodinos de transistores, entre ellos los de producción industrial en serie, están calculados para captar estaciones emisoras de sólo dos gamas de ondas: medias y largas. La gama de ondas cortas suele faltar en ellos. Esto se explica porque la introducción de la gama de ondas cortas va ligada con considerables complicaciones de los convertidores de frecuencia, no siempre justificables durante la explotación. Los radioaficionados suelen dar preferencia a los superheterodinos de transistores más simples, de una sola gama, teniendo en cuenta las condiciones locales de radiorrecepción, pero siempre con amplificador de F1. Sin este amplificador el superheterodino funciona mal.

Esta pequeña digresión puede suscitar la siguiente pregunta: ¿Vale la pena hacer un superheterodino de transistores? ¡Claro que sí, porque la selectividad del superheterodino es mejor que la del receptor de amplificación directa y su sensibilidad es más uniforme por toda la gama de ondas que cubre el receptor! De esto te convencerás tú mismo.

§. Superheterodino de transistores

El esquema básico de la parte de radiofrecuencia y del detector de un superheterodino (con heterodino combinado) se muestra en la Figura 168.

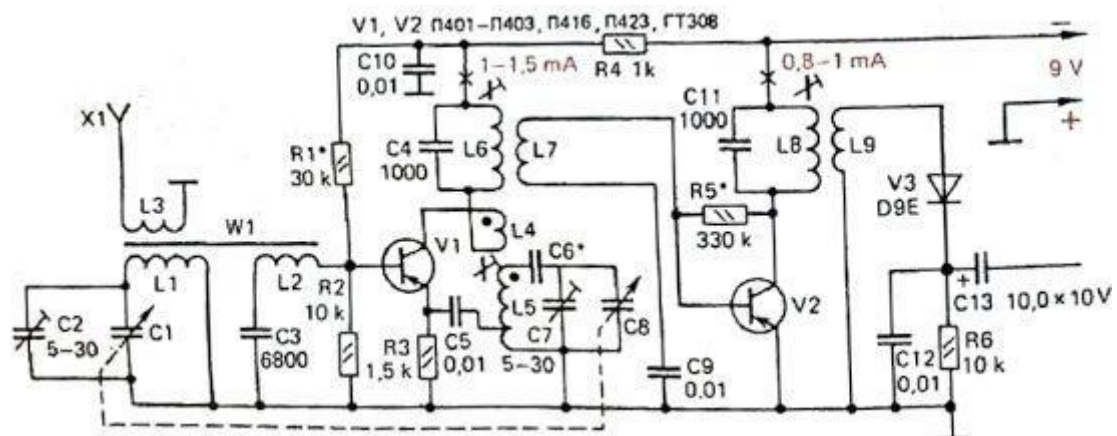


Figura 168. Esquema básico de la parte de radiofrecuencia y del detector del superheterodino de transistores

El amplificador de audiofrecuencia (que en el esquema no se da) no difiere en nada del de un receptor de amplificación directa. Puede ser cualquiera de los amplificadores que tú ya has construido. Pero, en principio, el amplificador de audiofrecuencia no es imprescindible: la carga del detector pueden ser los auriculares, conectados a su circuito en vez del resistor R6.

El circuito de entrada del superheterodino, formado por el circuito L1C1C2 de la antena con núcleo magnético W1 y la bobina de acoplamiento L2, no se diferencia en nada del circuito de entrada de la etapa de radiofrecuencia de un receptor de amplificación directa. La bobina L4, conectada al circuito colector del transistor, y el circuito L5C6C7C8, unido a través del condensador C5 con el emisor del transistor V1, forman la parte heterodina del convertidor. En virtud del acoplamiento inductivo entre las bobinas L4 y L5, en el circuito L5C6C7C8 se excitan oscilaciones eléctricas cuya frecuencia viene determinada por los datos del circuito y se regula con el condensador de capacidad variable C8.

Parte de la energía de las oscilaciones de radiofrecuencia que surgen en el circuito heterodino, a través del condensador C5, llega al circuito emisor del transistor V1, es amplificado por él y, a través de la bobina de reacción L4, llega de nuevo al circuito heterodino y mantiene en él las oscilaciones de la frecuencia a la cual está sintonizado. De este modo, sobre la corriente del transistor influyen simultáneamente las oscilaciones de la señal de la emisora que se recibe y la del circuito heterodino. Estas, mezclándose, forman las oscilaciones de frecuencia intermedia, que son separadas por la carga del colector del transistor, el circuito L6C4, sintonizado a dicha frecuencia. A través de la bobina de acoplamiento L7, las oscilaciones antedichas llegan al amplificador de F1.

El resistor R3 puede considerarse en este convertidor de un transistor como carga del circuito heterodino, en la cual se separa la tensión alterna de radiofrecuencia que entra en el circuito emisor del transistor. El condensador C5 es un elemento de transición que acopla el circuito heterodino con el transistor.

Al mantenimiento relativamente constante de la diferencia entre las frecuencias de sintonización del circuito heterodino y del de entrada, igual a 465 kHz, se le da el nombre de *alineación de los circuitos*. La alineación se consigue eligiendo convenientemente la inductancia de las bobinas para cada gama y variando al mismo tiempo la capacidad de los condensadores de sintonía de estos circuitos. Y como las capacidades de los condensadores de sintonía son iguales, la inductancia de la bobina del heterodino debe ser algo menor que la de la bobina del circuito de entrada.

Presta atención al condensador C6. Este condensador se llama de *conjugación* o "*padding*". Como está conectado en serie con el condensador de sintonización, hace que disminuya la capacidad total del circuito, con lo cual se estrecha la gama de frecuencias del heterodino. En virtud del padding, las frecuencias de las oscilaciones del heterodino por toda la gama supera la frecuencia de las oscilaciones de la señal captada en la frecuencia intermedia, es decir, en 465 kHz. La alineación de circuitos se consigue: en la parte de alta frecuencia de la gama, con los condensadores de ajuste C2 y C7 conectados en paralelo a los condensadores de sintonía C1 y C8, y en la de baja frecuencia, con el correspondiente ajuste de las inductancias de las bobinas de entrada y del heterodino.

Acuérdate de esto: *la alineación de los circuitos de entrada y heterodino de acuerdo con la frecuencia intermedia es condición indispensable para el funcionamiento del superheterodino*. Si la alineación no se hace con suficiente esmero, el receptor funcionará mal.

Para estabilizar el funcionamiento del transistor del convertidor, la tensión de polarización se suministra a su base desde el divisor de tensión R1, R2. El régimen de funcionamiento más conveniente del transistor se establece eligiendo experimentalmente el resistor R1. El resistor R4 y el condensador C10 forman el filtro desacoplador.

Con objeto de aumentar el radio de acción del receptor se ha previsto la posibilidad de conectar a él una antena exterior, una varilla o un trozo de alambre de aproximadamente 1.5 m de longitud. En este caso el acoplamiento de la antena exterior, conectada al enchufe hembra X1, con el circuito de entrada del convertidor es inductivo, a través de la bobina L3.

El amplificador monoetápico de FI lo forman el transistor V2, el circuito L8C11 y el resistor R5, a través del cual se suministra a la base del transistor la tensión inicial de polarización. Este amplificador funciona lo mismo que el de radiofrecuencia del receptor de amplificación directa, con la única diferencia de que de carga del transistor de esta etapa sirve el circuito resonante L8C11, sintonizado, lo mismo que el circuito L6C4, a la frecuencia intermedia, el circuito de entrada de esta etapa, por medio de la bobina L7, está acoplado inductivamente con la carga del convertidor, y d de salida, con el detector.

A partir de la bobina de acoplamiento L9, que acopla la etapa de amplificación de frecuencia intermedia con la etapa detectora, todo marcha como en el receptor de amplificación directa, las oscilaciones de frecuencia acústica separadas por el diodo V3, desde su resistor de carga R6, bloqueado por el condensador C12, llegan, a través del

condensador eléctrico C13, a la entrada del amplificador de audiofrecuencia de dos o tres etapas.

Los datos de la mayoría de los elementos de la parte de radiofrecuencia del superheterodino se indican en el esquema básico. Sólo se han omitido en él las capacidades de los condensadores C1 y C8 de sintonización de los circuitos, y la del condensador pudding C6. Esto se debe a que se desconocen el bloque de condensadores de capacidad variable, de que dispones, la gama de ondas para la cual piensas calcular el receptor y el núcleo que vas a emplear para la bobina L5 del heterodino. Estos datos están relacionados entre sí y determinan la capacidad del condensador pudding Cp.

En el receptor puede utilizarse un bloque de condensadores cualquiera, incluso el estandarizado para los receptores de lámparas con capacidad máxima de 495 pF. No obstante, es preferible que sea de pequeñas dimensiones, como el de los superheterodinos transistorizados de producción industrial. Pero en estos últimos también se emplean bloques de condensadores de distinta estructura y capacidad. En los receptores "Sputnik" y "Surpriz", por ejemplo, se utilizan bloques de condensadores cuya capacidad máxima es de 170 pF, en el Sokol es de 240 pF, en el "Atmosfera", de 250 pF y en el "Spidola" de 365 pF.

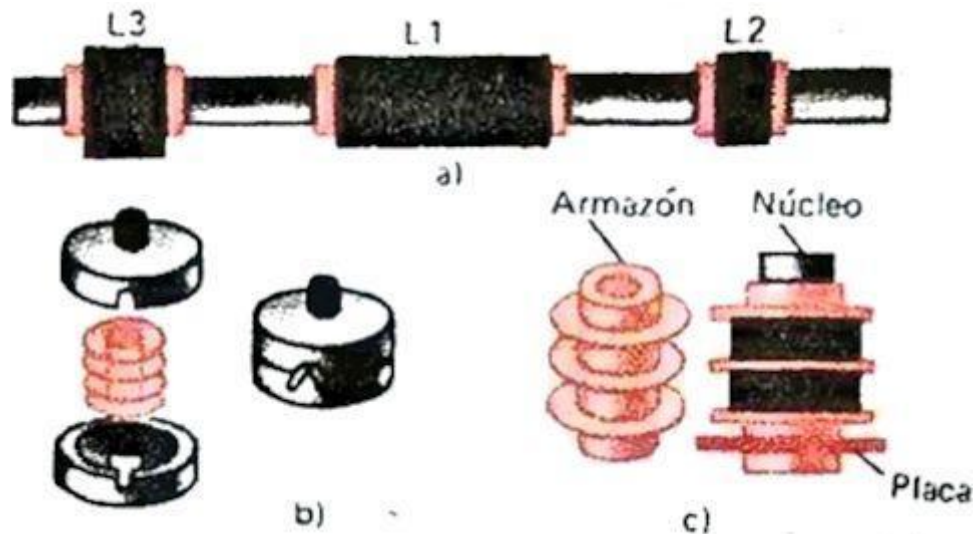


Figura 169. Bobinas del superheterodino de transistores

Los núcleos de alta frecuencia que pueden emplearse para la bobina L5 del heterodino también pueden ser distintos. Se puede, por ejemplo, utilizar el núcleo acorazarlo (en forma de caja redonda, de carbonilo marca C5-12a, en el cual se introduce la bobina (Figura 160a), o una barra de ferrita, metida dentro del armazón, hecho por ti, de las bobinas (Figura 169b). Distintos núcleos requieren diferentes números de espiras de las bobinas.

En ella se indica también la capacidad del condensador padding C6, correspondiente a estos datos.

Si el receptor está calculado para la gama de ondas medias, la bobina L1 se debe devanar en una capa, espira junto a espira. Pero si es para la gama de ondas largas, hay que devanarla por secciones c irregularmente. La bobina de acoplamiento L2 debe tener de 8 a 12 espiras. El número definitivo de espiras de esta bobina lo erigirás experimentalmente al ajustar el receptor. El número de espiras de la bobina L3 debe ser, aproximadamente, 2 ó 3 veces mayor que el de la bobina L2 (su devanado también tiene que ser irregular).

Para las bobinas de heterodino es preferible utilizar un núcleo acorazado de carbonilo C5-12a (Figura 169b). Sobre el armazón de poliestireno seccionado previsto para este núcleo, devana primero, con hilo ПЭВ-1 0,1 a 0,12, la bobina L5 del circuito oscilante, distribuyendo uniformemente las espiras en sus secciones. La derivación que va al emisor del transistor tómalala de la 4ª espira (para las ondas medias) o de la 6ª (para las ondas largas), contado desde el extremo puesto a masa. Después, sobre las espiras de la sección media, devana con el mismo hilo la bobina de reacción L4. Esta bobina deberá tener 20 espiras. El armazón con las bobinas colócalo dentro del núcleo, después de enfundar los terminales de aquéllas en trozos cortos de tubos aisladores para que no se estropee el aislamiento del hilo. Las dos mitades del núcleo en forma de caja redonda pégalas con barniz o con cola БФ-2.

Si no dispones del núcleo de carbonilo puedes utilizar para la bobina del heterodino un armazón seccionado, hecho por ti, y un trozo de barra de ferrita (Figura 169c). La altura del manguito del armazón será de 13 a 15 mm y la longitud del núcleo, de 18 a 20 mm. El armazón hazlo de papel fuerte, pegado, de manera que el núcleo entre rozando dentro del manguito y se sostenga en él. Primero devana sobre el armazón, irregularmente, la bobina L5 del heterodino y después la L4, de reacción. La derivación de la bobina del heterodino hazla de la 5ª a la 7ª espira, contando desde el extremo puesto a masa. El numero de espiras de la bobina de reacción es 15; el hilo. ПЭВ-1 0,1 a 0,12.

La estructura de las bobinas de los filtros de F1, L6 y L8, y las de las bobinas de acoplamiento L7 y L9 es análoga a la de las bobinas del heterodino. Para ellas, lo mismo que para las de aquel, se pueden utilizar núcleos acorazados de carbonilo o trozos de barra de ferrita. En el primer caso las bobinas L6 y L8 deberán tener de 75 a 80 espiras cada una, y en el segundo, de 45 a 50 espiras, también cada una, de hilo ПЭВ-1 0,1. Las bobinas de acoplamiento L7 y L9 devánalas sobre las de los filtros, con hilo de la misma marca, pero de 0.12 a 0,15 mm de diámetro. En el primer caso la bobina L7

deberá tener 15 espiras y la L9, 30 espiras, y en el segundo, respectivamente 10 y 20 espiras.

Para la etapa convertidora utiliza un transistor con factor h_{21E} de 40 a 50, y para la de amplificación de FI, con h_{21E} de 60 a 80. Los condensadores de ajuste C2 y C7 pueden ser cualesquiera.

Creo que el convertidor de frecuencia, el amplificador de FI el detector y las una o dos etapas de amplificación de las oscilaciones de audiofrecuencia (o los auriculares conectados al circuito detector), debes montarlos y a justarlos primero en un panel maqueta. Conecta después la alimentación, mide las corrientes colectoras de los transistores V1 y V2 y, si éstas difieren mucho de las indicadas en el esquema, regúlalas cambiando los resistores R1 y R5.

Esta comprobación previa, aproximada, da la posibilidad de conocer si se han cometido errores, si existen malos contactos o si hay elementos defectuosos en los circuitos del receptor. Luego conecta a éste la antena exterior e intenta sintonizarlo a una emisora cualquiera. Al hacer esto pon los condensadores de ajuste C2 y C7 de los circuitos de entrada y heterodino en la posición de capacidad media. Si el intento no da resultado, eso significa que el heterodino no genera o que no existe alineamiento de los circuitos del convertidor.

En este caso comprueba primeramente si funciona el heterodino. Conecta en paralelo al resistor R3 el voltímetro de corriente continua y cortocircuita la bobina L5. Cuando el heterodino funciona normalmente, al cortocircuitar la bobina debe disminuir un poco la tensión en el emisor del transistor. Si la tensión no varía es porque el heterodino no genera. Entonces hay que cambiar entre sí de sitio la conexión de los terminales de la bobina de reacción L4 o, disminuyendo la resistencia del resistor R1 aumentar un poco la tensión en la base del transistor V1.

Cuando el heterodino funcione bien, podrás sintonizar el receptor a una emisora cualquiera. Si la recepción va acompañada de un silbido que distorsiona la transmisión, aleja la bobina de antena L3 y la de acoplamiento L2 de la bobina del circuito oscilante L1. Hecho esto, varía la inductancia de las bobinas de los filtros de frecuencia intermedia (valiéndote de los núcleos de ajuste o desplazando las bobinas por las barras de ferrita) primero la de la bobina L8 y después la de la L6 hasta que consigas la intensidad máxima de recepción de las señales de la emisora.

Ahora pasa a hacer el trabajo más laborioso, el de alinear los circuitos de entrada y heterodino. El bloque de condensadores C1 y C8 ponlo en la posición de capacidad máxima y, valiéndote

únicamente del núcleo de ajuste de la bobina L5 del heterodino, sintoniza el receptor a una emisora cualquiera de la parte de frecuencia más baja de la gama. Variando la inductancia de la bobina L1 del circuito de entrada, desplazándola por la barra de ferrita de la antena de núcleo magnético, consigue la intensidad máxima de recepción de las señales de la emisora. Después sintoniza el receptor a una emisora de la parte de frecuencia más alta de la gama (poniendo el bloque de condensadores de capacidad variable en la posición de capacidad mínima}. Sin tocar las bobinas, alinea los circuitos únicamente con los condensadores de ajuste L2 y L7. Puedes aumentar la capacidad del primero y disminuir la del segundo o, al contrario, disminuir la del primero y aumentar la del segundo. El problema es el mismo, conseguir la intensidad máxima de recepción de la emisora.

Con esto no termina aún el reglaje del superheterodino. Hay que sintonizar otra vez el heterodino y el circuito de entrada al final y al principio de la gama, volver a ajustar los circuitos L8C11 y L6C4 del filtro de frecuencia intermedia y retornar a los circuitos del convertidor del receptor. Esto puede repetirse dos o tres veces, hasta conseguir que ninguno de los elementos de ajuste pueda mejorar ya el funcionamiento del receptor.

No está excluido que el receptor empiece a auto-excitarse. Esto puede deberse a una colocación desacertada del circuito heterodino y de los circuitos de frecuencia intermedia respecto de la antena con núcleo magnético y entre ellos mismos. Busca una disposición mejor de estos elementos en el receptor. Si no lo consigues, prueba cambiar de sitio entre sí los terminales de las bobinas de acoplamiento L7 y L9, acortar o separar los conductores de los circuitos de las bases y de los colectores de los transistores. Si se produce generación a causa del acoplamiento de las etapas a través del circuito de alimentación, intercala en el circuito colector del transistor V2 del amplificador de FI un filtro desacoplador igual que el del circuito del transistor del convertidor de frecuencia.

Cuando subsanes todos los defectos y acabes de reglar el receptor, comienza la fase final, la instalación de los elementos en la placa de montaje y la del receptor en su caja. En esto todo depende de tu ingenio, iniciativa y posibilidades. Por ejemplo, se puede transformar en superheterodino el receptor portátil de amplificación directa (según el esquema de la Figura 164). En tal caso sólo tienes que desmontar la parte de radiofrecuencia y convertirla en etapa de amplificación de frecuencia intermedia y convertidora de frecuencia. En la placa de montaje queda sitio para los nuevos elementos. La etapa detectora y el amplificador de audiofrecuencia del receptor se conservan sin variaciones.

Si, por el contrario, decides hacer un receptor nuevo, entonces, teniendo en cuenta las dimensiones y las particularidades de los elementos de que dispongas, piensa bien su esquema de montaje, la forma de la caja y sólo después pon manos a la obra. Ya tienes experiencia, de manera que puedes resolver tú mismo todos estos problemas prácticos.

El superheterodino es un receptor de elevada complejidad. Pero su sensibilidad y selectividad sólo serán buenas si están bien alineados sus circuitos de entrada y heterodino en toda la gama de frecuencias y concienzudamente sintonizados los filtros de frecuencia intermedia.

Charla 14

Conocimiento con la automática

Contenido:

- §. Células fotoeléctricas
- §. Relé electromagnético
- §. Relé electrónico
- §. Fotorrelé
- §. Relé de tiempo
- §. El modelo va hacia la luz
- §. Relé acústico
- §. Cerradura de combinación

* * * *

En una ocasión, cuando daba clase en un círculo de radiotecnica, pedí a los alumnos que hicieran memoria y nombraran los aparatos y dispositivos automáticos que utilizaban en sus casas. Cualesquiera que fueran: térmicos, mecánicos, eléctricos o electrónicos. Al principio algunos hasta se echaron a reír: hay aparatos automáticos en las fábricas, eso está claro, pero, ¿en casa?

Sin embargo, la confusión duró poco. Pronto empezaron a nombrar una serie de cosas y sistemas que tenían elementos de automática: la pluma estilográfica, el reloj, la calefacción central, la válvula del agua, el refrigerador eléctrico, el depósito del retrete, el contador de la luz, el timbre eléctrico, el regulador de caldeo de la plancha eléctrica, el fusible de la red eléctrica y otros muchos. Sí, todos éstos son aparatos o dispositivos automáticos que desempeñan funciones peculiares. Por ejemplo, el fusible. En cuanto la corriente eléctrica es mayor que aquélla para la cual está calculado, se calienta y se funde. Y los diversos juguetes con motores de cuerda y eléctricos o los juegos-atracciones ¿no encierran acaso elementos de automática?

¿Qué aparatos automáticos electromecánicos y electrónicos puedes hacer con tus propias manos?> A eso voy o referirme en esta charla.

Pero, antes les tendré que hablarte de los captadores eléctricos y relés electromagnéticos, que son los elementos más importantes de la automática electrónica. Empezaré por las células fotoeléctricas, dispositivos que transforman la energía luminosa en eléctrica.

§. Células fotoeléctricas

El invento de la célula fotoeléctrica se debe a varios científicos, entre ellos, e independientemente de los demás, a Alexandr Grigórievich Stoliétov.

Siendo profesor de física de la Universidad de Moscú. A. G. Stoliétov hizo en 1888 el experimento siguiente (Figura 170).

Puso un disco metálico y una rejilla de alambre fina enfrentados entre sí a poca distancia, sujetándolos en sendos soportes de vidrio. El disco lo unió con el polo negativo de una batería y la rejilla, con el positivo.

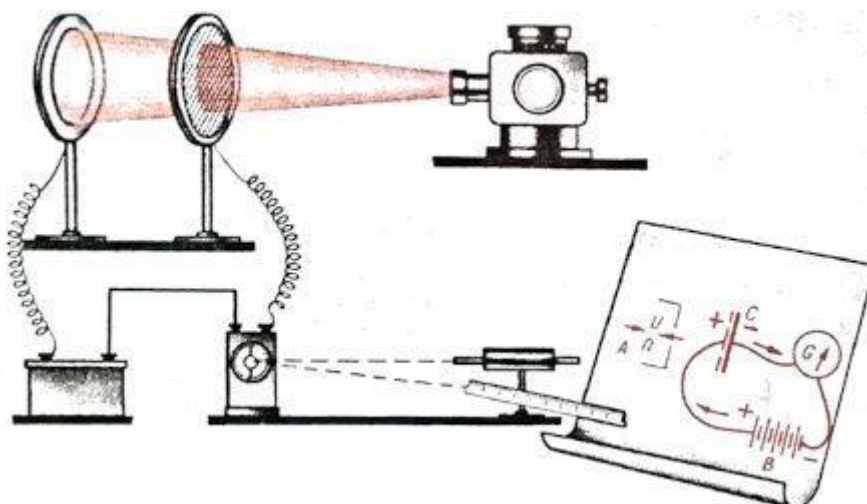


Figura 170. Dispositivo experimental de A. Stoliétov (a la derecha, dibujo de su obra, en el cual: A es la linterna de arco; B, la batería; C, dos discos planos paralelos, y G, el galvanómetro)

Entre la rejilla y la batería intercaló un instrumento eléctrico de medición sensible, un galvanómetro con espejo sobre cuadro móvil en lugar de aguja. Frente al galvanómetro colocó una linterna y debajo de ella una tira de papel con divisiones, es decir, una escala. El haz de luz de la linterna se dirigía al espejo del galvanómetro y su rayo reflejado incidía sobre la escala. Cualquier corriente, por muy pequeña que fuera, podía hacer que el espejo del galvanómetro girara y el rayo reflejado corriera por las divisiones de la escala. A cierta distancia del disco y la rejilla puso Stoliétov otra linterna, de arco, cuya luz, pasando a través de la rejilla, iluminaba el disco. Mientras el obturador de la linterna de arco estaba cerrado, el rayo luminoso de la segunda linterna incidía sobre el cero de la escala. Pero cuando se entreabría, el rayo empezaba a desplazarse por la

misma, indicando la presencia de corriente en el circuito que, al parecer, estaba abierto.

Este experimento permitió a Stoliétov llegar a la siguiente conclusión: La luz "genera" corriente eléctrica. Este fenómeno se conoce hoy con el nombre de efecto fotoeléctrico. Además, el científico ruso demostró experimentalmente que ciertos materiales, bajo la acción de la luz, lo mismo que el cátodo caldeado de una lámpara de radio, pueden emitir electrones. En sus experimentos la luz desprendía del disco metálico un "enjambre" de electrones que, atraídos por la rejilla, cargada positivamente, creaban en el circuito la corriente eléctrica. Esta corriente se llama hoy corriente fotoeléctrica, y los dispositivos cuyo funcionamiento se basa en este principio reciben el nombre de células fotoeléctricas de efecto externo.

Las células fotoeléctricas modernas se hacen de semiconductores y son dispositivos fotosensibles de efecto fotoeléctrico interno. A ellas pertenecen las células fotorresistentes o resistencias fotosensibles, los fotodiodos, los fototransistores y algunos otros dispositivos.

Una resistencia fotosensible (Figura 171) consiste en una capa delgada de material semiconductor aplicada sobre una lámina de vidrio o de cuarzo, encajada en una cápsula redonda, ovalada o rectangular de plástico de pequeñas dimensiones.

La capa semiconductor tiene por dos de sus lados opuestos contactos para conectarla al circuito eléctrico. La conductividad eléctrica del semiconductor varía en dependencia de su iluminación: cuanto más intensamente esté iluminado, tanto menor será su resistencia y, por consiguiente, mayor la corriente que pase por él.

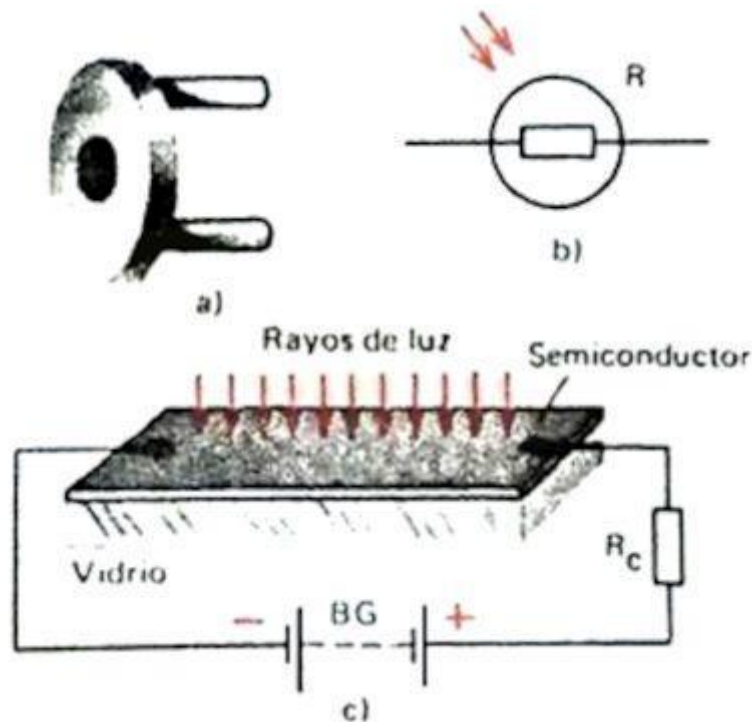


Figura 171 Vista exterior (a), representación gráfica esquemática (b) estructura y conexión (c) de la resistencia fotosensible

De esta forma, este dispositivo, bajo la acción de la luz que sobre él incide, también se puede utilizar para conectar y desconectar aparatos eléctricos o mecanismos diversos.

El fotodiodo, que es un elemento fotosensible con capa de barrera, recuerda por su estructura a un diodo semiconductor plano (Figura 172). Sobre una plaquita de silicio de conducción por electrones hay depositada por fusión una fina capa de boro. Los átomos de boro, penetrando en el silicio, crean en él una zona que posee conducción por huecos. Entre el silicio y el boro se forma una unión electrón-hueco. Por abajo, sobre la capa de tipo *n* hay una capa de metal de contacto relativamente gruesa. La superficie de la capa tipo *p* está recubierta de una película delgadísima, casi transparente, de metal, que hace las veces de contacto de dicha capa.

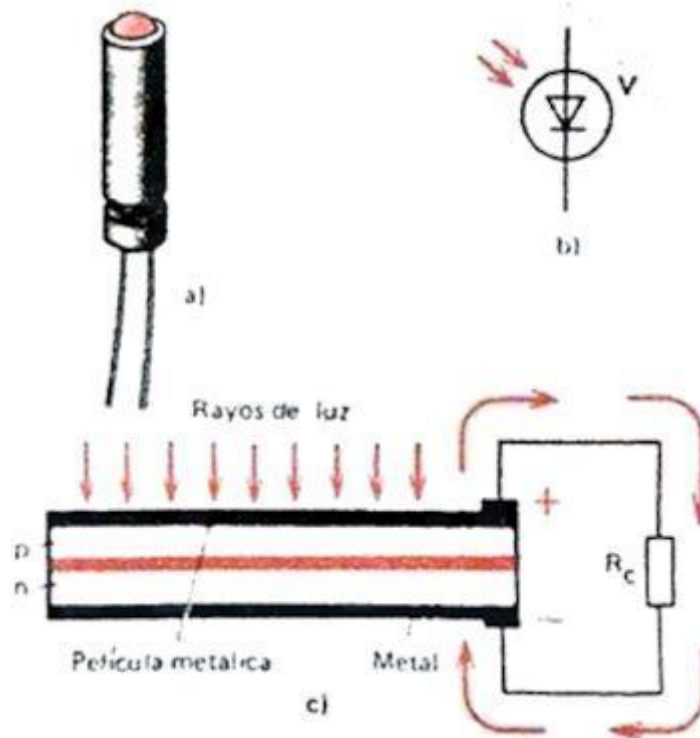


Figura 172 Vista exterior (a), representación gráfica en los esquemas (b), estructura y esquema de conexión (c) del fotodiodo

El fotodiodo funciona como sigue. Mientras no sufre irradiación luminosa, su capa de barrera impide el intercambio de electrones y huecos. Cuando se somete a irradiación, la luz penetra a través de la película transparente en la capa p y genera en ella pares electrón-hueco. Los huecos se quedan en la capa p y los electrones pasan a la capa n. Como resultado, el electrodo superior se carga positivamente y el inferior, negativamente. Si a estos electrodos se conecta una carga, a través de ella pasa corriente continua. Por lo tanto, el fotodiodo es un dispositivo en el cual la energía luminosa se transforma directamente en eléctrica.

Tú es posible que hayas visto, o quizá tengas, un fotoexposímetro, dispositivo que sirve para determinar el tiempo de exposición a! hacer fotografías. La parte más importante de este aparato es un fotodiodo de silicio. A él va conectado un galvanómetro sensible cuya aguja, al desviarse, indica la iluminación del objeto que se fotografía.

Un fotodiodo cuya capa fotosensible tenga aproximadamente 1 cm^2 de superficie, iluminada directamente por el sol, puede dar una corriente de 20 a 25 mA con una tensión de alrededor de 0.5 V. Pero los fotodiodos, lo mismo que las pilas voltaicas, se pueden acoplar en batería para conseguir mayor tensión y corriente. Así, por ejemplo, están construidas las baterías solares de que se proveen las naves cósmicas para alimentar sus aparatos.

Las perspectivas de aplicación de los fotodiodos son muy seductoras. No sólo en la automática. En las zonas del sur, donde hace calor y la luz solar es abundante, de las fotobaterías con grandes superficies se puede obtener una cantidad enorme de energía eléctrica. De fotobaterías se pueden hacer los tejados de las casas: durante el día, bajo la acción de la luz, aquéllas cargarán baterías de acumuladores, y por la noche la energía eléctrica acumulada se utilizará para el alumbrado.

Los fototransistores son dispositivos fotosensibles a los cuales sirven de base transistores. Casi todos los transistores bipolares se pueden transformar en fototransistores. El hecho es que en un transistor la corriente colectora depende mucho de la iluminación de la unión colectora $p-n$. Si quieres cerciorarte, lima con precaución la parte superior de la cápsula de un transistor de baja frecuencia, por ejemplo, de la serie desde МП39 hasta МП42, conecta después el transistor a un circuito de corriente continua e ilumínalo (Figura 173).

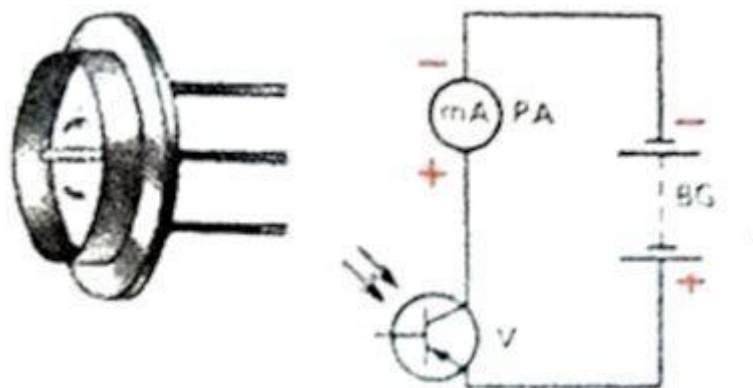


Figura 173. Resistencia fotosensible y esquema de su conexión

Si en el circuito colector se intercala un miliamperímetro, éste, cuando se ilumine intensamente el cristal del transistor, marcará una corriente colectora que aumentará hasta varios miliamperios. Esta propiedad de los transistores, análoga a la de las células fotoeléctricas de efecto interno, se utiliza mucho por los radioaficionados experimentadores en los dispositivos automáticos que ellos mismos hacen.

Cuanto más potentes sean estos elementos fotoeléctricos y más intensa la luz de los focos, tanto mayores serán las variaciones de las corrientes colectoras y tanto más eficaz el funcionamiento de los dispositivos. En el transistor de la serie П213, por ejemplo, si su cristal se ilumina con una lámpara eléctrica de 75 a 100 W de potencia, la corriente colectora aumenta hasta 1 A y más. Esa corriente es suficiente para alimentar un pequeño motor eléctrico que empezará a funcionar cuando se ilumine el fotorresistor.

§. Relé electromagnético

Un relé electromagnético es un dispositivo electromecánico que puede mandar el funcionamiento de otros dispositivos (mecanismos) o circuitos eléctricos.

La Figura 174 representa esquemáticamente la estructura y el principio de funcionamiento del relé electromagnético. El relé consiste en una barra de hierro dulce (núcleo) en la cual encaja una bobina con gran número de espiras de hilo aislado. Sobre una pieza en forma de L invertida, llamada culata, se sostiene la armadura, que es una lámina, también de hierro dulce, acodada en ángulo obtuso. El núcleo, la culata y la armadura forman el circuito magnético del relé. A la culata van sujetos unos resortes con contactos, que conectan y desconectan la alimentación del circuito ejecutivo, por ejemplo, el circuito de alimentación de una lámpara de incandescencia $H1$ para señales.

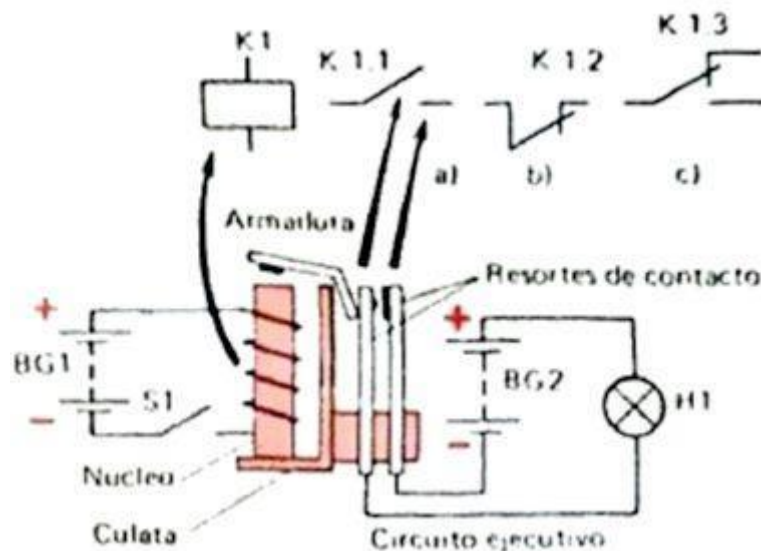


Figura 174. Estructura esquemática, conexión y representación gráfica del relé electromagnético y de sus contactos

Mientras no pasa corriente por el devanado del relé, la armadura, por la acción de los resortes de contacto, se encuentra a cierta distancia del núcleo. Pero en cuanto por el devanado pasa corriente, su campo magnético imanta el núcleo y éste atrae a la armadura. En este instante el otro extremo de ésta presiona sobre los resortes de contacto y conecta el circuito ejecutivo. Cuando deja de pasar corriente por el devanado, el campo magnético desaparece, el núcleo se desmagnetiza y los resortes de contacto se enderezan y, desconectando el circuito ejecutivo, devuelven la armadura a su posición inicial.

En dependencia de las particularidades estructurales de los resortes de contacto, los relés pueden ser: de contactos normalmente

abiertos, de contactos normalmente cerrados y de contactos a dos direcciones. Los contactos normalmente abiertos, en ausencia de corriente en el devanado, están abiertos (Figura 174a), y en presencia de la corriente, se cierran. Los normalmente cerrados, por el contrario, en ausencia de corriente en el devanado están cerrados (Figura 174b) y cuando acciona el relé se abren. En los contactos a dos direcciones (Figura 174c) el resorte central está acoplado a la armadura y en ausencia de corriente conecta con uno de los resortes extremos y, cuando el relé acciona, salta al otro resorte extremo y establece contacto con él. Muchos relés tienen no un grupo de resortes de contacto, sino varios, que dan la posibilidad de, por medio de los impulsos de corriente que se crean en el devanado, mandar a distancia vanos circuitos ejecutivos al mismo tiempo, cosa que se utiliza en la automática.

En los esquemas básicos los devanados de los relés electromagnéticos se representan por medio de un rectángulo y una letra K con la cifra indicadora del número de orden del relé en el dispositivo. Los contactos de este relé se designan con la misma letra, pero con dos cifras separadas por un punto: la primera indica el número de orden del relé, y la segunda, el número de orden del grupo de contactos en dicho relé.

Atendiendo a la función que tienen que desempeñar, las culatas, las armaduras y los resortes de contacto de los relés electromagnéticos tienen diversas estructuras y los devanados, distintos datos. Pero el principio en que se basa el funcionamiento de todos los relés es el mismo: cuando la corriente que pasa por el devanado adquiere cierto valor, el relé entra en acción y su armadura, atraída por el núcleo imanado, cierra o abre los contactos del circuito ejecutivo.

La característica principal de un relé electromagnético es su sensibilidad, es decir, la potencia de la corriente que debe pasar por el devanado para que el relé accione. Cuanto menor sea la potencia de la corriente necesaria para que el relé responda tanto más sensible será el relé.

La utilidad de un relé para un determinado dispositivo automático se estima de ordinario por el valor mínimo de la corriente con la cual acciona. Si se comparan dos relés, uno de los cuales para accionar necesita consumir 80 mW de potencia y el otro, 40 mW, el segundo relé se considera más sensible que el primero. Por regla general, el devanado del relé más sensible tiene mayor número de espiras y su resistencia también es mayor.

Para nuestros fines vamos a necesitar relés cuya acción sea segura con una corriente de 6 a 10 mA y una tensión de la fuente de alimentación de 4.5 ó 9 V, lo que corresponde a una potencia de 27 a

90 mW. La resistencia de los devanados de estos relés debe ser de 120 a 700 Ω . Estas condiciones pueden satisfacerlas, por ejemplo, el relé P3C-10 con certificado técnico PC4.524.302 ó PC4.524.303. La resistencia del devanado del primero de estos relés es de 630 Ω , y la del segundo, de 120 Ω .

Para probar un relé electromagnético cuyos datos técnicos desconozcas puedes utilizar el esquema que se muestra en la Figura 175.

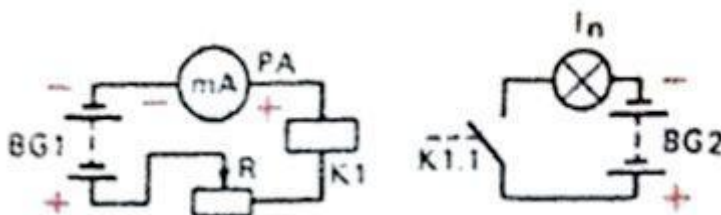


Figura 175. Esquema para probar el relé electromagnético

Necesitarás una batería BG1 de 9 a 12 V (dos o tres baterías 3336Λ), una batería BG2 de 4.5 V (una batería 3336Λ), un resistor variable R de 1 a 1.5 k Ω de resistencia, un miliamperímetro PA para corriente de 20 a 30 mA y una lámpara de señales In (indicador) para 3.5 V de tensión (Figura 175). Cuando los contactos K.1.1 se cierran, la lámpara In se enciende y cuando se abren, se apaga. Variando la resistencia del resistor R y observando las indicaciones del miliamperímetro, es fácil determinar los puntos correspondientes a los instantes en que el relé conecta y desconecta. Estos datos facilitan y aceleran el trabajo de ajuste de los dispositivos automáticos.

En la mayoría de los relés la armadura retorna a la posición inicial cuando sobre ella presionan los resortes de contacto. Si estos resortes se tuercen un poco, para que presionen menos sobre la armadura, la sensibilidad del relé mejora un poco. De esta forma se pueden regular las corrientes de conexión y desconexión del relé.

§. Relé electrónico

La sensibilidad de los relés electromagnéticos de que te he hablado es, a pesar de todo, pequeña para reaccionar a las variaciones de la corriente en el circuito de una célula fotoeléctrica de una resistencia fotosensible o de cualquier otro captador de señales eléctricas. Únicamente los llamados relés polarizados, que poseen una sensibilidad muy elevada, pueden accionar con señales eléctricas de potencias pequeñas.

Esponáneamente se te planteará la pregunta: ¿cómo se puede elevar la sensibilidad de un relé electromagnético? Valiéndose de un amplificador de señales eléctricas a base de transistores o de

lámparas. Este amplificador, combinado con el relé electromagnético, recibe el nombre de relé electrónico.

El esquema de un relé electrónico muy simple se da en la Figura 176a.



Figura 176. Esquema del relé electrónico

Consiste en un amplificador de corriente ordinario, de un solo transistor, que funciona en régimen de conmutación, a cuya salida se ha conectado un relé electromagnético. En dependencia de la estructura del transistor y de la polaridad de la señal de mando que llega a la entrada del amplificador, el transistor se cierra (si es de estructura $p-n-p$ y la tensión en la base del transistor es positiva) o, al contrario, se abre (si la tensión en la base del transistor es negativa y la estructura es $p-n-p$). Cuando el transistor está cerrado, la resistencia de su sección emisor-colector es grande y la corriente colectora no supera $20\ 25\ \mu A$, demasiado pequeña para que el relé accione. Durante este tiempo los contactos K.1.1 del relé K1 están abiertos y el circuito ejecutivo, desconectado. Pero cuando el transistor se abre, la resistencia de su sección emisor-colector disminuye bruscamente y la corriente colectora crece hasta el valor necesario para que responda el relé y cotícele el circuito ejecutivo.

Recuerda esta importantísima condición: para que relé electrónico funcione bien, la tensión de su fuente de alimentación debe ser un 20 30% mayor que la tensión necesaria para que actúe el relé electromagnético que en él se utiliza.

En el circuito colector del transistor, en vez del relé electromagnético, se puede conectar otro dispositivo eléctrico, por ejemplo, un motor eléctrico M de poca potencia, como muestra la Figura 176b. Se obtiene entonces un relé electrónico sin contactos. En este caso el rotor del motor eléctrico empieza a girar cada vez que se ubre el transistor. Está claro que la corriente que pase por el transistor no debe superar la permisible para él.

El relé electrónico es un elemento imprescindible en la mayor parte de los dispositivos automáticos electrónicos que conectan y desconectan cualesquiera mecanismos ejecutivos.

§. Fotorrelé

La corriente de un elemento fotosensible, que varia bajo la acción de la luz que incide sobre él, es pequeña. Pero si esta corriente se amplifica y a la salida del amplificador se conecta un relé electromagnético, se obtiene un fotorrelé, dispositivo que, variando la intensidad de la luz que incide sobre su elemento fotosensible, da la posibilidad de mandar otros dispositivos y mecanismos.

El esquema estructural de un dispositivo de acción automática de este tipo y las gráficas de las corrientes que ilustran su funcionamiento se ve en la Figura 177.

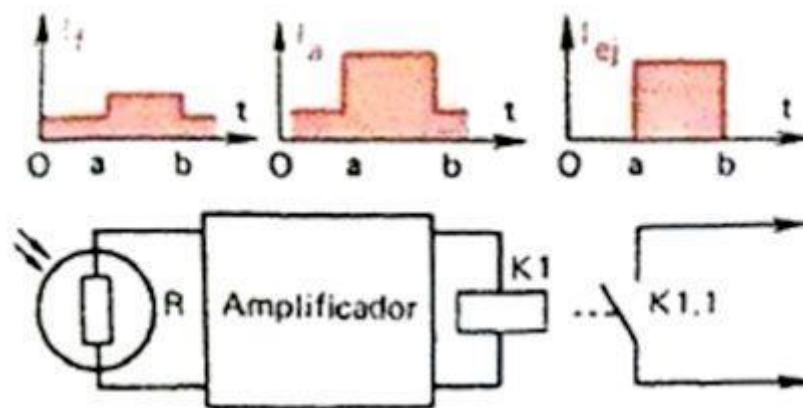


Figura 177. Esquema estructural de un fotorrelé en el cual la función de elemento fotosensible la desempeña un fotorresistor

Supongamos que la resistencia fotosensible R (en su lugar puede estar cualquier otra célula fotoeléctrica) está en sombra, por ejemplo, tapada por la palma de la mano. En este instante (en las gráficas los tramos $0a$) la corriente en el circuito del elemento fotoeléctrico I_f y la corriente en el amplificador I_a son pequeñas y en el circuito ejecutivo no existe corriente I_{ej} en absoluto, ya que los contactos $K1.1$ del relé $K1$ están abiertos. Si se destapa el elemento fotoeléctrico o se dirige sobre él un haz de luz, la corriente en dicho elemento y en el amplificador aumentan bruscamente (en las gráficas, los tramos ab), el relé electromagnético actúa y con sus contactos conecta el circuito de alimentación del mecanismo ejecutivo. Pero en cuanto el elemento fotoeléctrico vuelve a taparse (o queda a la sombra), el circuito ejecutivo se desconecta inmediatamente (o se conmuta).

Lo principal en el funcionamiento del fotorrelé es la diferencia de corriente que hace que el relé electromagnético actúe. En dependencia del amplificador elegido, el relé electromagnético puede

actuar no cuando está iluminado el elemento fotoeléctrico, sino, al contrario, cuando está a oscuras. El resultado es el mismo, la luz que incide sobre el elemento fotoeléctrico manda el circuito del mecanismo ejecutivo, el cual puede ser un motor eléctrico, un sistema de alumbrado, unos aparatos o muchas otras cosas.

Para que hagas experimentos y construyas te propongo tres variantes de fotorrelé con distintos captadores fotosensibles.

El esquema de la primera variante de fotorrelé se da en la Figura 178a. En él se utiliza como elemento fotoeléctrico el transistor V1 de poca potencia y baja frecuencia (МП39 - МП42). Toma un transistor cuyo factor h_{21E} no sea menor de 50 y que tenga una corriente I_{CB1} , lo menor posible. Corta cuidadosamente con una sierra de marquetería la parte superior de la cápsula del transistor y después limpia bien el cristal de las limaduras metálicas que hayan caído sobre él. Para evitar que se deposite polvo o humedad en dicho cristal, tapa la cápsula con una fina película transparente de polietileno o lavsán. Así obtendrás un fototransistor.

¿Cómo funciona esta variante de fotorrelé? En el estado inicial, en el cual el elemento fotosensible está a oscuras, los dos transistores están cerrados. Cuando se ilumina el cristal del transistor V1, la resistencia inversa de su unión colectora disminuye y se produce un aumento brusco de la corriente colectora.

Esta corriente es amplificada por el transistor V2. El relé K1 que es la carga del transistor V2, actúa y con sus contactos K1.1 conecta el circuito de mando.

La regulación del fotorrelé se reduce a establecer los regímenes de funcionamiento de los transistores. Hay que elegir una resistencia tal del resistor R1 que, cuando el fototransistor esté a oscuras, pase por el devanado del relé una corriente de 5 a 8 mA. El resistor R2 desempeña en este dispositivo automático el papel de limitador de la corriente del circuito de base del transistor VI, y el R4 hace lo mismo en el del colector. El relé electromagnético K1 puede ser del tipo PCM. PЭC con devanado de 200 a 700 Ω de resistencia o hecho por ti.

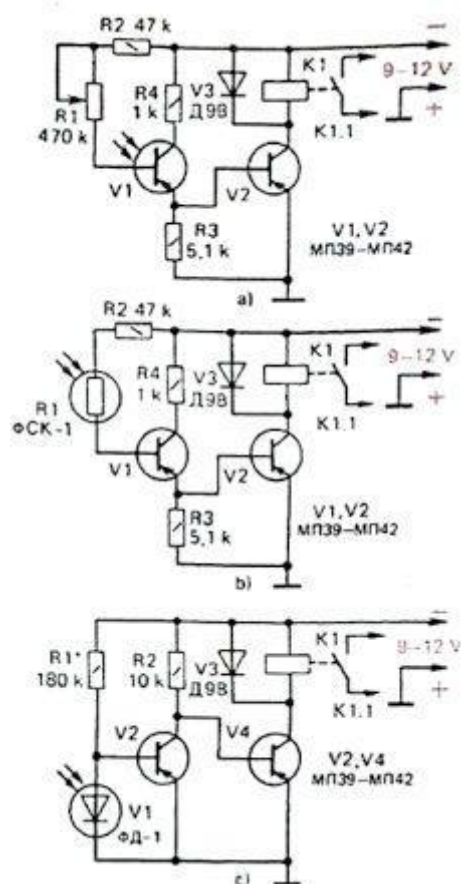


Figura 178. Variantes de fotorrelé

El fotorrelé funciona mucho mejor si el flujo luminoso incide sobre el fototransistor a través de una pequeña lente en cuyo foco se halla el cristal.

El esquema de la segunda variante de fotorrelé se muestra en la Figura 178b. Se diferencia del anterior solamente en que en él sirve de captador la resistencia fotosensible R1 la cual está conectada al circuito de base del transistor V1 en serie con el resistor R2, que limita la corriente en el circuito. Su resistencia de reposo es grande. En estas condiciones la corriente colectora del transistor es pequeña. Cuando la resistencia fotosensible se ilumina, su resistencia disminuye, con lo que aumenta la corriente en el circuito de base. La corriente fotoeléctrica, acrecentada y amplificada por los dos transistores, pasa por el devanado del relé electromagnético K 1 y hace que éste actúe. Sus contactos K1.1 se cierran y conectan el circuito de mando.

Para esta variante de fotorrelé se pueden utilizar resistencias fotosensibles de los tipos ΦСК-1 y ΦСК-2. El relé electromagnético debes calcularlo para una corriente de accionamiento de 10 a 12 mA (la resistencia del devanado será de 200 a 400 Ω).

En la tercera variante de fotorrelé, cuyo esquema se ha representado en la Figura 178c el papel de captador lo desempeña el fotodiodo V1 de tipo $\Phi\Delta$ -1 o $\Phi\Delta$ -2. El relé electromagnético K1 es el mismo que en las variantes anteriores. En esta variante el elemento fotoeléctrico y el resistor R1 forman un divisor de tensión de la fuente de alimentación, desde el cual llega a la base del transistor V2 la tensión negativa de polarización. Mientras el fotodiodo no está iluminado, su resistencia inversa (estando intercalado en el circuito del divisor en sentido inverso) es muy grande. En estas condiciones la tensión de polarización en la base del transistor viene determinada principalmente sólo por la resistencia del resistor R1. El transistor V2 está en este caso abierto y el V4, cerrado. Los contactos K1.1 del relé K1 también están abiertos. Pero en cuanto se ilumina el fotodiodo, su resistencia inversa y la diferencia de tensión en el disminuyen, por lo que el transistor V2 casi se cierra y el V4, por el contrario, se abre. En estas condiciones el relé K1 actúa y sus contactos K1.1 se cierran, conectando el circuito ejecutivo. Si el fotodiodo se oscurece, su resistencia inversa vuelve a crecer, el transistor V2 se abre, el V4 se cierra y el relé K1 desconecta sus contactos y corta el circuito ejecutivo.

¿Qué función desempeñan en estos fotorrelés, los diodos V3, que shuntan los devanados de los relés electromagnéticos? En los instantes en que el transistor del amplificador pasa de estado abierto al cerrado y la corriente en el circuito colector disminuye bruscamente, en el devanado del relé surge una corriente electromotriz autoinducida, mantenida por la corriente que decrece en el circuito colector. En este instante la suma de las tensiones de la f.e.m. autoinducida y de la fuente de alimentación del relé electromagnético es mucho mayor que la tensión máxima permisible en el colector y las uniones $p-n$ del transistor pueden ser perforadas. Respecto de la fuente de alimentación del dispositivo automático, el diodo está conectado en sentido inverso, y respecto de la f.e.m. autoinducida, en sentido directo y, por consiguiente, la extingue y evita de esta forma que se estropeen los transistores.

El diodo puede ser tanto de punta de contacto puntual como plano, con tensión inversa de 30 V como mínimo.

El fotorrelé y la lámpara para su iluminación se pueden alimentar tanto de una batería como de un rectificador con tensión de salida de 9 a 12 V. El rectificador se puede montar en la misma caja opaca (Figura 179) en que se encuentre el fotorrelé. Sobre el captador del fotorrelé no debe incidir luz clara extraña.

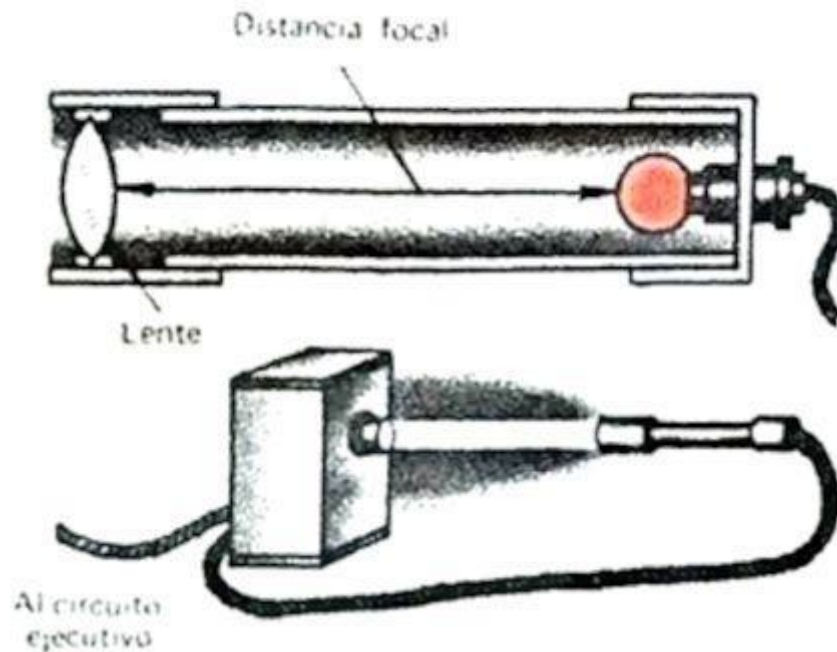


Figura 179. Estructura del fotorrelé y del iluminador

El buen funcionamiento de cualquiera de los fotorrelés de que acabo de hablarte depende en alto grado de su dispositivo iluminador. Su eficacia será máxima si dicho dispositivo da un estrecho haz de luz brillante exactamente en la dirección del captador fotoelectrónico. El dispositivo iluminador puede hacerse en forma de tubo metálico o de cartón de 120 a 220 mm de longitud y de 28 a 30 mm de diámetro. Dentro del tubo, en uno de sus extremos sujeta una lámpara de incandescencia de pequeñas dimensiones, calculada para 9 a 12 V de tensión (por ejemplo, una lámpara para faros de automóvil) y en el otro extremo coloca una lente convergente (por ejemplo, un vidrio redondo para gafas) cuya distancia focal sea de 100 a 120 mm. La disposición mutua de la lente y la lámpara en el dispositivo elígela experimentalmente de manera que la luz salga de él formando un haz estrecho.

¿Para qué puede servir el fotorrelé? Para muchas cosas. Se puede poner, por ejemplo, a la entrada de la escuela para que conecte un letrero luminoso que diga: "Bien venidos". Puede montarse en una maqueta de transportador que imite la carga de cajones con la producción acabada. Cada vez que un cajón corte el haz luminoso funcionará el contador electromecánico conectado al circuito ejecutivo del fotorrelé o se encenderá una lámpara señaladora.

En general, el fotorrelé puede ser una muestra útil de material didáctico evidente para el gabinete de física de la escuela. También puede tener éxito en las veladas dedicadas a la técnica contemporánea.

§. Relé de tiempo

Si tienes afición a la fotografía puedes hacerte un dispositivo que conecta automáticamente la lámpara de la ampliadora durante el tiempo que dure la exposición para hacer las copias. La conexión y desconexión automática de este u otro dispositivo puedes lograrla valiéndote de un relé de tiempo.

Para comprender mejor el funcionamiento de dicho dispositivo haz una prueba siguiendo el esquema que se da en la Figura 180.

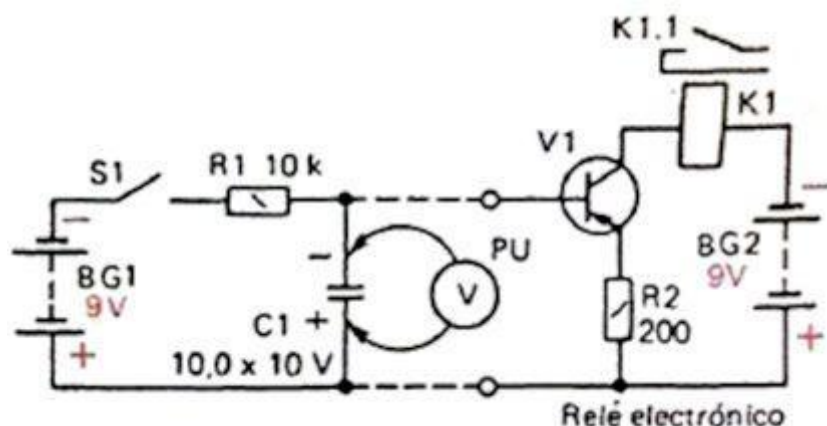


Figura 180. Experimento ilustrativo del principio en que se basa el funcionamiento del relé de tiempo

Cuando el interruptor de botón S1 no está apretado, el voltímetro PU indica ausencia de tensión en las armaduras del condensador C1. Aprieta durante varios segundos el botón S1 y observa atentamente cómo se comporta la aguja del voltímetro. Se desvía de cero y se para frente a la división de la escala que corresponde, aproximadamente, a la tensión de la batería BG1. Esto ocurre como consecuencia de la carga del condensador. Para variar el tiempo que dura la desviación de la aguja del instrumento, es decir, la carga del condensador, basta sustituir este condensador o el resistor R1. Alimentando la capacidad del condensador el doble, la aguja se desviará dos veces más despacio. El mismo efecto obtendrás si duplicas la resistencia del resistor R1.

¿Qué ocurrirá si a las armaduras de un condensador cargado se conecta un relé electrónico con transistor de resistencia de entrada relativamente grande? La resistencia de entrada del transistor se puede aumentar conectado un resistor R2 al circuito de su emisor. El condensador empezará a descargarse a través de la unión emisora y del resistor R2 del emisor del transistor del relé electrónico. Con esto el transistor se abre, el relé K1 actúa y, cerrando los contactos K1.1, conecta el circuito ejecutivo. En cuanto el condensador se descarga, el transistor se cierra, el relé K1 desconecta sus contactos y éstos, al abrirse, cortan el circuito ejecutivo. El tiempo que tarda en

descargarse el condensador y, por consiguiente, el tiempo en que el transistor se encuentra en estado abierto, viene determinado por la capacidad del condensador y la resistencia del circuito a través del cual se descarga.

Ése es el principio en que se basa el funcionamiento del relé electrónico de tiempo.

El dispositivo para la exposición automática en la ampliadora de fotografías puedes montarlo por el esquema que se da en la Figura 181.

Los dos transistores de este dispositivo funcionan en el régimen de conmutación, asegurando el accionamiento seguro del relé K1 cuando se hace llegar a la entrada del transistor V1 una tensión de 2V aproximadamente.

El tiempo que tarda en accionar el relé viene determinado por el tiempo que dura la descarga del condensador C1 a través de los resistores R2, R3 de la unión emisora del transistor V1 y del resistor R4. Variando la resistencia del resistor variable R3 se puede fijar el tiempo de exposición, aproximadamente, desde 0,1 hasta 5 s.

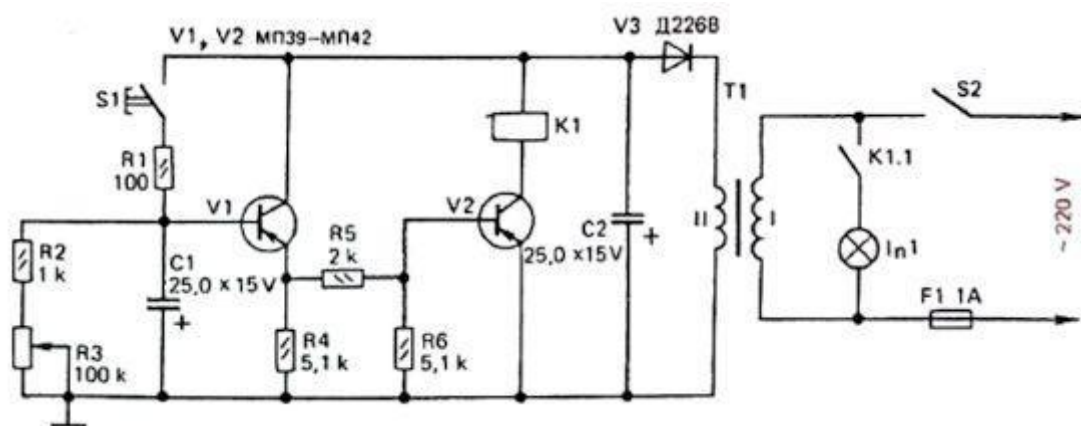


Figura 181. Esquema del relé de tiempo

El relé de tiempo funciona como sigue. En el estado inicial, en el cual los contactos del interruptor de botón S1 están desconectados, la tensión en el condensador C1 es nula. En estas condiciones los dos transistores están cerrados, a través del devanado del relé electromagnético K1 prácticamente no pasa corriente y sus contactos K1.1, que conectan la alimentación de la lámpara de la ampliadora In1, están abiertos. Cuando el botón S1 se aprieta por poco tiempo, el condensador C1 se carga e inmediatamente empieza a descargarse a través de los circuitos que ya conoces. Desde el instante en que se aprieta el botón hasta el instante en que el condensador C1 se descarga hasta la tensión de 2 V, el relé K1 permanece conectado,

cerrando con sus contactos el circuito de alimentación de la lámpara de la ampliadora. Dicha lámpara se desconecta en cuanto la tensión en las armaduras del condensador C1 se hace menor de 2 V. Para conectar de nuevo la lámpara de la ampliadora hay que volver a apretar el botón S1 de puesta en marcha del dispositivo. El tiempo durante el cual se aprieta el botón de puesta en marcha del dispositivo automático se incluye en el tiempo total de exposición.

El dispositivo se alimenta de la red de corriente alterna a través del transformador T1, que reduce la tensión de la red hasta 10 a 12 V, y del rectificador de una alternancia con el diodo V3 de la serie Д226 ó А? con cualquier Índice literal. El condensador C2 atenúa las pulsaciones de la tensión rectificada.

El transformador de red T1 devánalo sobre un circuito magnético de láminas Ш-16, el espesor del juego de láminas es de 18 mm. El devanado I, calculado para la tensión de 220 V, debe tener 2800 espiras de hilo ПЭВ-1 0,12, y el devanado II, 100 espiras de hilo ПЭВ-1 0,3. A la salida del rectificador la tensión debe ser de 10 V como mínimo.

El relé electromagnético es semejante al del fotorrelé antes descrito. Los datos de los demás elementos del dispositivo automático se dan en el esquema.

Una vez que hayas montado el relé de tiempo y te hayas cerciorado de que puede funcionar, calibra el resistor variable R3. El calibrado se reduce a que para las posiciones de su contacto deslizante, con intervalos de 10 a 15 s, se determina con un cronómetro el tiempo que está conectado el relé. Los resultados que obtengas márcalos en forma de escala alrededor del botón del resistor, al cual proveerás de una aguja indicadora.

¿Este dispositivo automático sólo puede servir para obtener copias fotográficas? No, claro que no. Puede adaptarse para conectar durante un tiempo dado otros aparatos, por ejemplo, los motores eléctricos de modelos para la exposición de trabajos de jóvenes técnicos.

§. El modelo va hacia la luz

Recuerda el fotorrelé. Su mecanismo ejecutivo (ve la Figura 178) era relé electromagnético. ¿Y si en lugar de este relé se conecta en el circuito colector del transistor de la segunda etapa el motor eléctrico montado en un modelo cualquiera, por ejemplo, en el de un automóvil? En este caso, cuando se dé la señal luminosa, el modelo marchará hacia adelante, y cuando dicha señal no se dé, estará parado. Será un modelo fotomandado.

En el comercio puedes adquirir un modelo de tanque con mando a distancia. Dentro del modelo hay dos micromotores eléctricos, uno para cada oruga, y la batería que los alimenta. El mando se efectúa apretando botones en una cajita de mando unida al modelo por medio de los conductores que conectan los motores eléctricos. Te propongo transformar este modelo en fotomandado.

El esquema básico del "relleno" electrónico de este juguete y el de la distribución en él de los bloques de mando a distancia se muestra en la Figura 182.

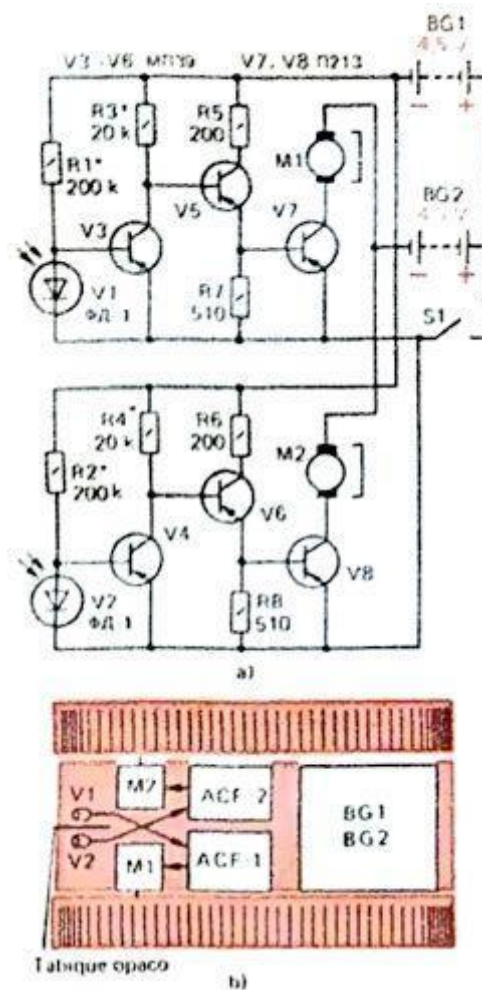


Figura 182. Esquema básico (a) y esquema de la ubicación de los grupos de aparatos de mando a distancia (b) en el modelo de tanque

Las partes receptora y ejecutiva de los aparatos que se montan en el modelo constan de dos fotorrelés con amplificadores bietápicos de la corriente fotoeléctrica. El acoplamiento entre los transistores es directo. A los circuitos colectores de los transistores de salida de ambos bloques están conectados los micromotores eléctricos M1 y M2, que son los mecanismos ejecutivos del modelo. El papel de transmisor de las órdenes de este sistema de mando a distancia lo desempeña una linterna eléctrica redonda con haz de luz enfocable.

Para alimentar los aparatos se utilizan dos baterías 3336. La batería BG1 alimenta al fotorrelé y a los transistores V3-V6 de las primeras etapas de los amplificadores, y la batería BG2, a los transistores de salida V7 y V8 con los motores eléctricos conectados a sus circuitos colectores. El interruptor S1 es común para los circuitos de alimentación.

Cada fotodiodo y el respectivo amplificador de corriente fotoeléctrica (en la Figura 182b los $\Upsilon\Phi-1$ y $\Upsilon\Phi-2$) sólo manda su motor eléctrico. A saber, el fotodiodo V1 al motor eléctrico M1, y el fotodiodo V2 al motor eléctrico M2. Entre los fotodiodos hay un tabique opaco que permite iluminarlos por separado.

Mientras los fotodiodos no se iluminan, los transistores de salida V7 y V3 están cerrados, a los motores eléctricos no llega corriente y el modelo, por consiguiente, está parado. Cuando se iluminan ambos fotodiodos, la luz incide sobre el modelo por delante, los transistores V7 y V8 se abren, empiezan a funcionar ambos motores y el modelo se mueve hacia adelante, hacia la luz. Si el foco de luz se desplaza hacia un lado, para que sólo ilumine uno de los fotodiodos, únicamente funcionará un motor y el modelo se parará y empezará a girar hacia el lado de donde viene la luz. Para que gire en sentido opuesto hay que desplazar en ese mismo sentido el foco de luz.

Los transistores de cada bloque de fotorrelé conviene montarlos sobre placas separadas para que sea más fácil colocarlos dentro del modelo. Los transistores V3-V6 pueden ser cualesquiera de poca potencia y baja o alta frecuencia, y los V7 y V8 cualesquiera transistores de potencia media. Cuanto mayor sea su factor h_{21E} tanto más sensible será el fotorrelé. Los fotodiodos pueden ser $\Phi\Delta-1$ ó $\Phi\Delta-2$. El papel de fotodiodo puede desempeñarlo una de las uniones $p-n$ de un transistor de poca potencia de estructura $p-n-p$ con el "sombbrero" de la cápsula cortado (como en el fototransistor hecho por ti). El terminal de la base del fotodiodo se une con el conductor de signo más del circuito de alimentación y el terminal del emisor o del colector (determinalo experimentalmente procurando conseguir la mejor sensibilidad), con la base del transistor del fotorrelé.

Los bloques de fotorrelé ajústalos por separado. Primero el fotodiodo V1 (en el otro bloque el V2) cortocircuitándolo con un puente de alambre, para cerrar el transistor V3, y el resistor R3 sustitúyelo por dos acoplados en serie, uno fijo, de 15 a 20 k Ω , y otro variable, de 30 a 50 k Ω . Disminuyendo suavemente la resistencia total de esta cadena de resistores, capta el instante en que una mayor disminución de la resistencia no influye ya en la frecuencia con que gira el rotor del motor. La resistencia nominal del resistor R3 debe ser,

aproximadamente, un 10% menor que la resistencia medida de la cadena provisional de resistores.

Después quita el puente que cerraba el fotodiodo y eligiendo por medio de pruebas la resistencia del resistor R1, procura que el motor funcione con la luz difusa que incide

sobre el fotodiodo. En el circuito de base del transistor V3 hay que conectar un resistor cuya resistencia nominal sea un 10% mayor que la resistencia con la cual el motor eléctrico apenas empieza a funcionar.

El otro bloque de fotorrelé del modelo fotomandado ajústalo exactamente del mismo modo.

§. Relé acústico

De base para un relé acústico o, lo que es lo mismo, de sonido, también sirve un relé electrónico, y de captador de las señales de mando, un micrófono o cualquier otro convertidor de las oscilaciones sonoras del aire en oscilaciones de frecuencia acústica.

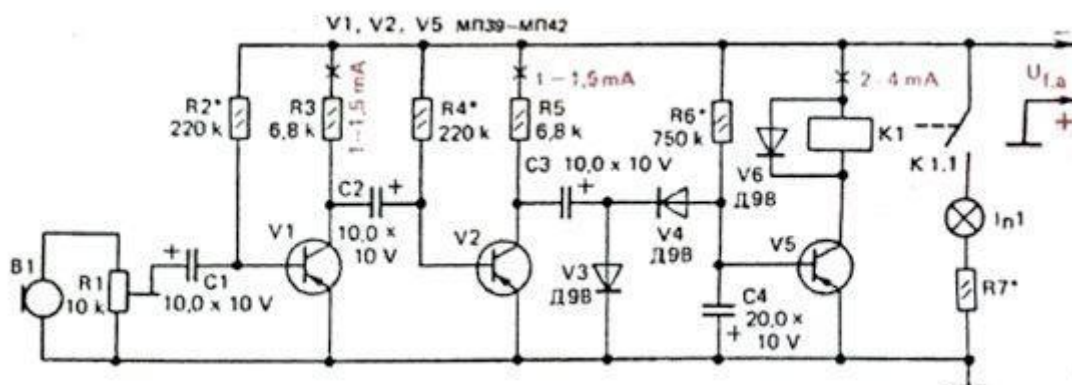


Figura 183. Esquema del relé acústico

El esquema de la variante más simple de este dispositivo electrónico automático se da en la Figura 183. Examínalo atentamente. En él, si no todo, hay mucho que ya debes conocer. El micrófono B1 desempeña la función de captador de las señales de mando. Los transistores V1 y V2 forman el amplificador bietápico de las oscilaciones de audiofrecuencia que crea el micrófono, y los diodos V3 y V4, conectados según el esquema de duplicación de la tensión, el rectificador de estas oscilaciones. La etapa del transistor V5 con el relé electromagnético K1 en el circuito colector y el condensador de carga C4 en el circuito de base, es el relé electrónico. La lámpara de incandescencia In1, que conectan a la fuente de alimentación los contactos K1.1 del relé K1, simboliza el circuito ejecutivo (de mando).

En conjunto el dispositivo funciona así. Mientras en el local en que se halla instalado el micrófono reine relativo silencio, el transistor V5 del relé electrónico estará prácticamente cerrado, los contactos K1.1 del relé K1 abiertos y, por consiguiente, la lámpara del circuito ejecutivo, apagada. Éste es el régimen inicial de servicio del dispositivo. Cuando surge la señal sonora, por ejemplo, un ruido o una conversación en alta voz, las oscilaciones de frecuencia acústica que crea el micrófono son amplificadas por los transistores V1 y V2 y luego rectificadas por los diodos V3 y V4. Estos diodos están acoplados de tal forma que la tensión rectificada por ellos llega a la base del transistor V5 en polaridad negativa y al mismo tiempo carga el condensador de carga C4. Si la señal acústica es suficientemente intensa y el condensador de carga hasta la tensión de 0.25- 0.3 V, la corriente colectora del transistor V5 aumenta tanto que el relé K-1 actúa y sus contactos K.1.1 conectan el circuito ejecutivo y se enciende la lámpara de señales In1. El circuito ejecutivo permanecerá conectado mientras en el condensador de carga C4 y en la base del transistor V5 se mantenga la misma tensión negativa o se haga un poco mayor. En cuanto el ruido o la conversación ante el micrófono cesa, el condensador C4 se descarga casi totalmente a través de la unión emisora del transistor, la corriente colectora disminuye hasta el estado inicial, el relé K1 desconecta y sus contactos, al abrirse, dejan sin corriente el circuito ejecutivo.

Con el resistor de ajuste R1 se puede cambiar (como con un regulador de intensidad) la tensión de señal que del micrófono llega a la entrada del amplificador de audiofrecuencia y, de este modo, regular la sensibilidad del relé acústico.

La función de micrófono puede desempeñarla una cápsula telefónica electromagnética o uno de los radiadores de unos auriculares. El factor estático de transferencia de corriente de los transistores no debe ser menor de 30. El relé electromagnético puede tener una corriente de accionamiento de hasta 30-40 mA. La tensión de la fuente de alimentación debe ser un 25-30% mayor que la tensión de accionamiento del relé electromagnético elegido. La resistencia y la potencia de disipación del resistor R7, dependiente de la lámpara de señalización In1 que se utilice, calcúlalas tú mismo.

Cuando empieces a ajustar y probar este dispositivo acústico automático, pon el contacto deslizante del resistor de ajuste R1 en la posición inferior (según el esquema) y, eligiendo experimentalmente el resistor R6, establece en el circuito colector del transistor V5 una corriente de 2 a 4 mA. Ésta debe ser menor que la corriente de desconexión del role electromagnético. Después conecta en paralelo con el resistor R6 otro resistor cuya resistencia sea de 15 a 20 k Ω . Al hacer esto, la corriente colectora del transistor debe aumentar bruscamente y el relé, actuar. Si quitas este resistor, la corriente

colectora debe disminuir hasta su valor inicial, el relé, soltar la armadura, y la lámpara del circuito ejecutivo, apagarse. Así se prueba la aptitud para funcionar del role electrónico del dispositivo automático.

Las corrientes colectoras de los transistores V1 y V2 (de 1 a 1,5 mA) establécelas eligiendo por medio de pruebas los resistores R2 y R4.

Pon luego el contacto deslizante del resistor R1 en la posición superior (según el esquema) y emite a media voz un sonido "a-a-a" prolongado. El dispositivo accionará y conectará el circuito ejecutivo. Debe reaccionar incluso a una conversación en voz baja delante del micrófono o a una palmadita.

Haz el siguiente experimento. En paralelo con el condensador C4 conecta un segundo condensador electrolítico de 100 a 200 μF de capacidad y de tensión nominal de 6 a 10 V. En el circuito colector del transistor V5 intercala un microamperímetro y, mientras observas su aguja, da una palmada. ¿Qué ocurre? Que la corriente colectora aumenta pero el relé electrónico no actúa. Da de 5 a 10 palmadas seguidas. A cada palmada la corriente colectora aumenta y, por fin, el relé entra en acción y conecta el circuito ejecutivo. Si las señales acústicas cesan, al cabo de cierto tiempo la corriente en el circuito colector del transistor disminuye hasta el valor inicial, el relé suelta la armadura y desconecta el circuito ejecutivo.

¿Qué nos dice este experimento? Que el relé electromagnético del dispositivo automático ha empezado a conectar y desconectar con cierto retraso. Esto se explica porque en este caso es necesario más tiempo, tanto para que se cargue el condensador C4 como para que se descargue. Por si misma se impone la conclusión siguiente: eligiendo la capacidad del condensador de carga se puede regular el tiempo que tarda en conectarse y desconectarse el circuito ejecutivo.

¿Dónde y de qué manera se puede utilizar este relé acústico? Se puede emplear, por ejemplo, como autómata para imponer silencio. Para eso la lámpara del circuito ejecutivo hay que ponerla dentro de una caja, una de cuyas paredes sea un vidrio mate sobre el cual se haya escrito la palabra "SILENCIO". En cuanto el nivel de ruido o la altura de voz de las conversaciones en el local supere cierto límite preestablecido con el resistor de ajuste R1, el tablero luminoso se encenderá.

También se puede montar el dispositivo automático, junto con el micrófono, en un modelo o juguete automóvil y conectar el micromotor eléctrico de éste al circuito ejecutivo, en vez de la lámpara de incandescencia. Varias palmadas o una orden de viva voz bastarán para que el modelo empiece a moverse.

¿Para qué más puede servir? ¡Piénsalo! Otro ejemplo de automática...

§. La cerradura de combinación

Las cerraduras con "secreto" en forma de combinación codificada de cifras son muy antiguas. Pueden ser tanto electromecánicas como electrónicas. De mecanismo ejecutivo de una cerradura de este tipo puede servir un electroimán, cuyo núcleo móvil esté unido mecánicamente al pestillo de la cerradura.

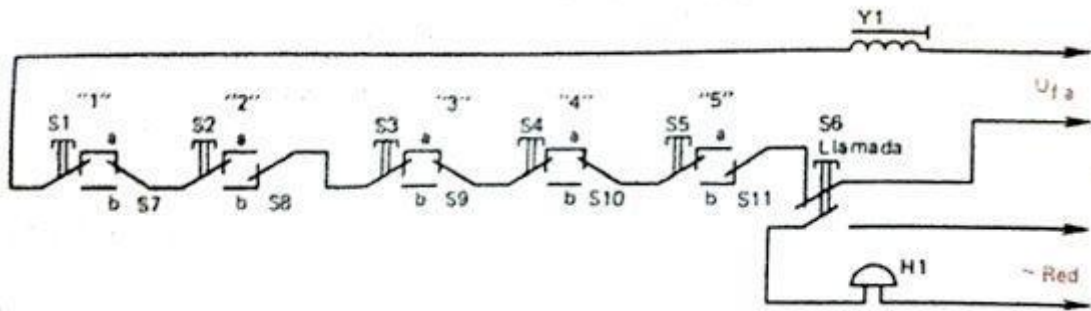


Figura 184. Cerradura de combinación electromecánica

El esquema de una cerradura de combinación electromecánica muy simple se muestra en la Figura 184. En él Y1 es el electroimán; de S1 a S6 son conmutadores de botón, y de S1 a S11, interruptores basculantes. La caja de mando por botones, apretando los cuales se puede descorrer el pestillo de la cerradura, se encuentra en la parte de fuera de la puerta, y los interruptores basculantes, desde el S7 hasta el S11, de codificación de la cerradura, en la parte de dentro. Para que el electroimán actúe y pueda abrirse la puerta hay que conocer la combinación de cifras de la cerradura y apretar al mismo tiempo todos los botones correspondientes a ella.

La combinación de cifras se fija previamente pasando los contactos de varios interruptores basculantes de la posición *a* a la posición *b*. En la figura 184 se encuentran en la posición *b* los interruptores S8 y S11, por lo tanto, en este caso la combinación de nuestra cerradura será 2 y 5. Si, conociendo esta combinación, aprietas al mismo tiempo los botones S2 y S5, el circuito de alimentación del electroimán quedará cerrado, el electroimán atraerá a su núcleo hacia dentro del devanado y éste tirará del pestillo de la cerradura y se podrá abrir la puerta.

¿Y si además de esos dos bolones se aprieta otro cualquiera? El tercer botón cortará el circuito de alimentación de la cerradura y el electroimán no accionará. ¿Y si se aprietan a la vez todos los botones? Si la combinación sigue siendo la misma, la puerta no se abrirá.

Si no se conoce la combinación, el acertarla para abrir la puerta es tanto más difícil cuanto mayor es el número de interruptores basculantes de codificación y el de botones de la cerradura. Si el número de unos y otros se alimenta hasta diez, para acertar la combinación habrá que probar más de mil variantes. No obstante, si la cerradura tiene sólo cinco botones (32 combinaciones), tampoco es fácil acertar.

¿Y si llega una persona que no conoce la combinación? Para eso está el botón S6 "Llamada". Cuando se aprieta ese botón, dentro del local suena el timbre In1.

Pero a ti, como aficionado a la radio, te interesará más la cerradura de combinación electrónica. Si es así, te recomiendo una cerradura con "memoria" capacitiva (Figura 185).

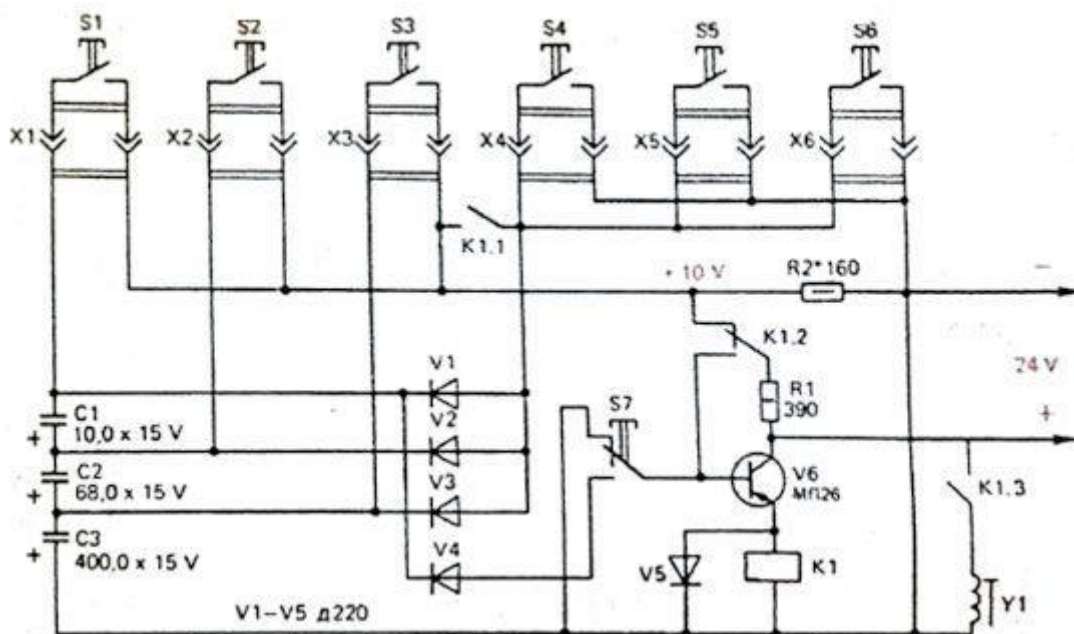


Figura 185. Esquema de la cerradura de combinación con "memoria" capacitiva

Consta de tres condensadores electrolíticos, C1 al C3 de distinta capacidad, que constituyen la "memoria" de la cerradura, cuatro diodos, de V1 a V4, un transistor, V6, con el relé electromagnético K1 en el circuito emisor, siete botones, de S1 a S7, seis de los cuales están en el cuadro de mando de la cerradura, y un electroimán Y1, cuyo núcleo está unido mecánicamente al pestillo de la cerradura de la puerta. Los enchufes X a X6 forman el centro de codificación de ésta. La codificación o fijación previa de la combinación de cifras se efectúa variando el orden de conexión de los botones del cuadro y de los enchufes de dicho centro. Para alimentar la cerradura se utiliza un rectificador bifásico con tensión de salida de 24 V.

El estado inicial de los elementos de la cerradura es: los contactos de los botones de SI ii So están abiertos; el transistor, cerrado, ya que su base está unida, a través de los contactos normalmente cerrados del botón S7, con el conductor de signo más de la fuente de alimentación, y el resistor K1 de su colector y el R2, con el circuito común de signo menos, unido a través de los contactos normalmente cerrados K1.2 (del relé K1), forman un divisor de tensión. En el punto en que se unen los resistores R1 y R2 del divisor, la tensión debe ser de cerca de 10 V.

La combinación de la cerradura es de tres cifras. La primera cifra corresponde al número del botón conectado a la parte hembra del enchufe X1; la segunda, al número del botón conectado a la parte hembra del enchufe X2, y la tercera, al número del conectado al enchufe X3. El orden de conexión, que muestra el esquema, de los botones S1 a S3 al centro de codificación corresponde a la combinación 123. Los botones de S4 a S6 no empleados en la codificación, están conectados (en un orden cualquiera) a las partes hembras de los enchufes de X4 a X6. Para abrir la cerradura hay que apretar los botones de S1 a S3 sucesivamente, en el orden preestablecido al fijar la combinación, y después el botón S7. Si no se han cometido errores, el electroimán actúa y la puerta puede abrirse.

Al apretar los botones correspondientes a la combinación establecida, los condensadores de C1 a C3 de la cerradura de combinación se cargan con la tensión que llega a ellos desde el divisor R1, R2. La capacidad de los condensadores y la resistencia de los resistores del divisor se han elegido de manera que, al apretar el primer botón de la combinación, el condensador C1 se carga hasta la 0.85 parte de dicha tensión (aproximadamente 8.5 V), cuando se aprieta el segundo botón, se carga hasta la misma tensión el condensador C2, y al apretar el tercer botón, el condensador C3 se carga hasta la tensión total que se toma del divisor R1. R2 (de cerca de 10 V). Una vez conseguida la combinación correcta, la suma de las tensiones de los condensadores acoplados en serie en la memoria es igual a 2,7 veces la tensión susodicha, es decir, aproximadamente, a 27 V. Si en estas condiciones se aprieta el botón S7, toda esta tensión, a través del diodo V4, se transmitirá en polaridad negativa a la base del transistor V6 y éste se abrirá. Al mismo tiempo actuará el relé K1, sus contactos K1.3 conectarán la alimentación del electroimán, los K1.2 conmutarán el resistor R1 a la base del transistor (para mantenerlo en estado abierto), y los contactos K1.1, cerrando a través de si los diodos V1 a V3 y el resistor R2, descargan los condensadores de C1 a C3. Cuando se suelta el botón S7, la base del transistor vuelve a encontrarse unida con el conductor de signo más del circuito de alimentación. Con esto el transistor se cierra, el relé electromagnético suelta la armadura y el dispositivo en su conjunto adquiere el estado inicial. Si los condensadores de la memoria tienen corrientes de fuga

pequeñas, la tensión en ellos, suficiente para que actúe el relé, el electroimán y se abra la puerta, se conserva por lo menos tres minutos. Esto permite, en caso de error al marcar la combinación, apretar uno cualquiera de los bolones que no figuran en ella, para descargar los condensadores, y marcar otra vez la combinación correcta.

En el instante de apretar el bolón S7 la tensión total en los condensadores de la memoria debe ser necesariamente mayor que el duplo de la tensión que se toma del divisor R1, R2 y mayor que la tensión de accionamiento del relé electromagnético K1. Si la combinación no se marca entera, por ejemplo, si se aprietan solamente los botones primero y tercero de ella, la tensión en los condensadores no supera el duplo de la del divisor y resulta insuficiente para que funcione la cerradura. También será pequeña si los bolones que entran en la combinación no se aprietan en el orden preestablecido. Y si al intentar acertar la combinación se aprieta aunque sólo sea uno de los botones no necesarios, los condensadores cargados se descargan en el acto a través de los diodos V1 a V3.

La estructura de la cerradura se muestra en la Figura 186. Todos sus elementos, excepto los botones, van montados en la pieza donde están las hembras de los enchufes, que al mismo tiempo es la regleta de codificación de la cerradura. La pieza donde se encuentran los enchufes machos está corlada transversalmente en partes, que forman los enchufes bipolares de X1 a X6.

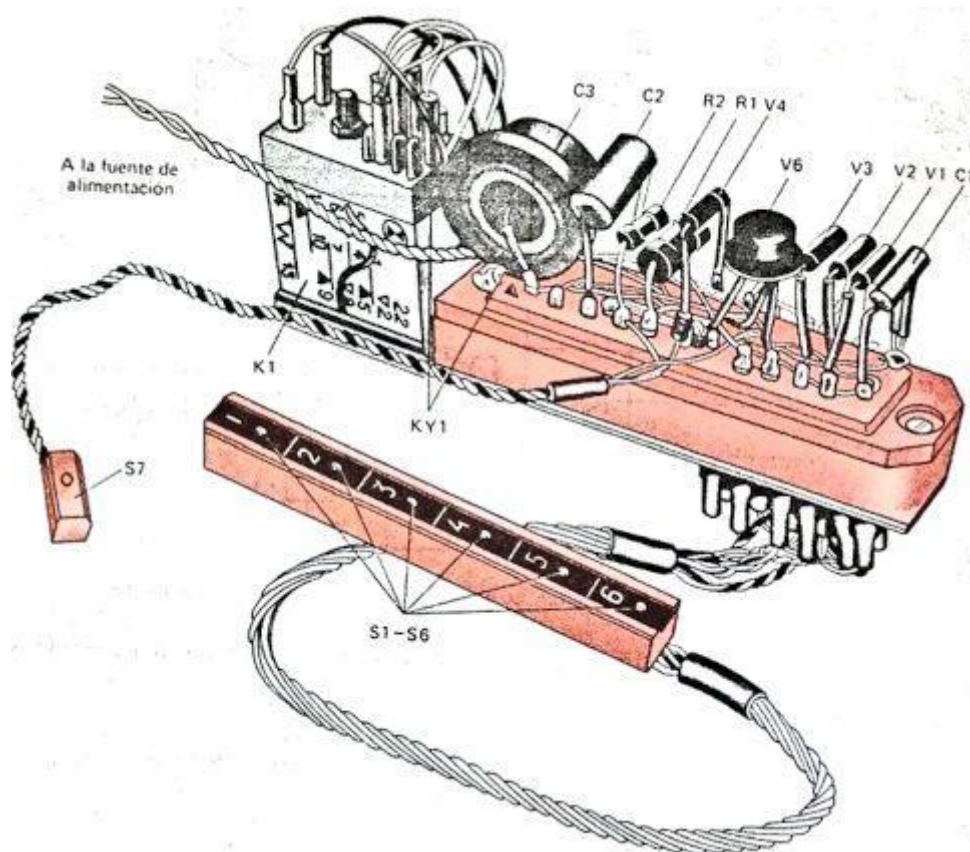


Figura 186. Montaje de la parte electrónica de la cerradura de combinación

Para la cerradura se han utilizado: un transistor con factor h_{21E} no menor de 20; un relé electromagnético tipo PЭC-22 (certificado técnico PФ4.500.163); los condensadores C1 y C3 (K53-1 y C3-ЭТО, que puede sustituirse por el K50-6); los resistores R1 y R2 (МАТ. V los botones (microinterruptores KMI-1). El transistor МП26 puede sustituirse por su análogo МП25 y los diodos Д220 por los Д219 con cualquier índice literal. Los botones pueden tener cualquier estructura, incluso puedes hacerlos tú mismo.

El electroimán está hecho con la bobina de choque de baja frecuencia del filtro del rectificador de un radioreceptor de lámparas (o de un televisor). El devanado de esta bobina debe tener una resistencia de 20 a 25 Ω a la corriente continua. La estructura del circuito magnético de la bobina de choque (sin el armazón con el devanado) se muestra en la Figura 187.

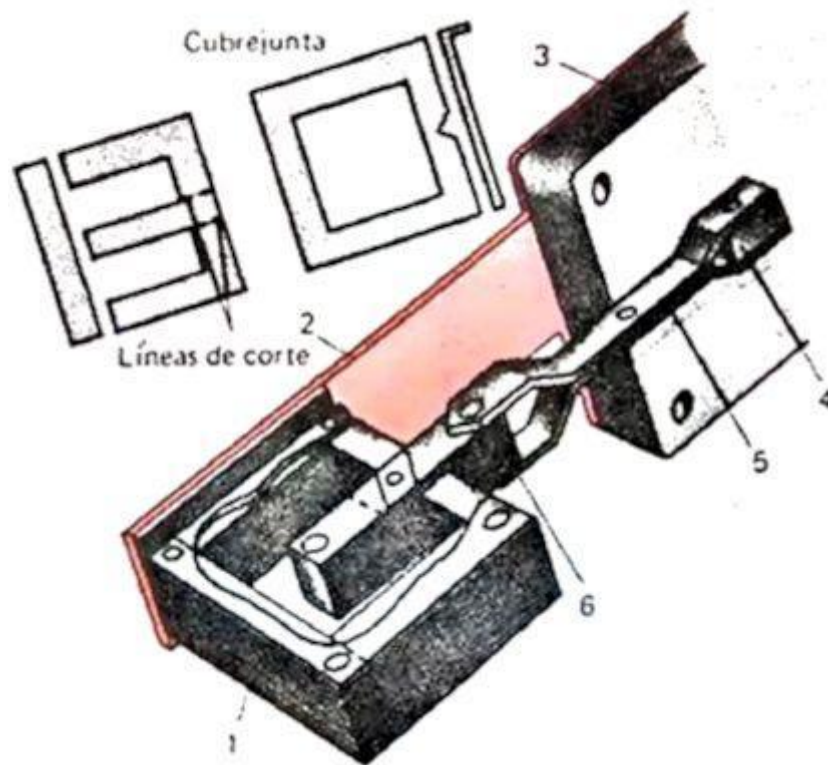


Figura 187. Estructura del circuito magnético del electroimán de la cerradura de combinación

El conjunto de láminas en forma de E se ha cortado por las líneas de trazos. Su parte media se utiliza como armadura 6, y las partes extremas y el conjunto de láminas de cierre, como circuito magnético 1 del electroimán de tracción. Las partes del circuito magnético están sujetas entre sí por medio de cubrejuntas metálicas y remaches. Para que dentro del armazón con el devanado, que se encuentra en el circuito magnético, pueda moverse sin rozamiento apreciable la armadura, el conjunto que la forma debe tener 4 ó 5 láminas menos que el del circuito magnético. La armadura del electroimán se une con el botón del pestillo 4 de la cerradura 3 de la puerta, por medio del tirante 5, formado por dos tiras de chapa de acero de 0,5 a 1 mm de espesor remachadas entre sí. El circuito magnético junto con el devanado se fija en una chapa de acero 2 de 2 a 2,5 mm de espesor, que se pone debajo de la cerradura y junto con ella se fija a la puerta. El electroimán, cuando se conecta, consume cerca de 1 A de corriente. Para esta corriente hay que calcular los diodos del rectificador que alimenta esta variante de cerradura de combinación.

El ajuste de la cerradura se reduce a elegir experimentalmente el resistor R2. La resistencia debe ser tal, que cuando la combinación de cifras se marque correctamente, la caída de la tensión que en ella se crea cargue los condensadores de la memoria hasta la tensión de accionamiento del relé electromagnético. Al mismo tiempo, si se

aprietan sólo dos botones, correspondientes a la primera y tercera cifra de la combinación establecida, el relé no debe accionar.

La estructura de esta variante de cerradura de combinación, como es natural, puede ser otra. Todo depende de los elementos de que se dispone, del ingenio del constructor y de donde se piensa poner. En todo caso la parte electrónica de la cerradura, junto con la regleta de codificación y el rectificador se puede montar en una placa común de dimensiones apropiadas. De pieza de enchufes hembra de la regleta de codificación pueden servir soportes (zócalos) de válvulas, y de pieza de los enchufes machos, trozos de alambre de cobre estañado unidos en parejas. El número total de enchufes y de bolones puede no ser seis, como en la cerradura descrita, sino mayor, con lo que será más difícil acertar la combinación.

Para el rectificador se necesita un transformador de 40 a 50 W de potencia que reduzca la tensión de la red del alumbrado hasta 17 a 18 V con corriente mínima de 1 A. Después de la rectificación bifásica de la tensión en el devanado secundario y la atenuación de las oscilaciones de la tensión rectificada, la tensión en la parte electrónica de la cerradura será de 24 a 25 V. De cómo se calcula el transformador de red para el bloque de alimentación te hablé en la charla undécima.

Los diodos del rectificador, acoplados en forma de circuito en puente, pueden ser de las series КД202, КД206, Д242, Д243. También se puede utilizar un bloque rectificador de potencia media КЦ402 ó КЦ403 con índices literales A-E, con lo que el montaje del rectificador se simplifica. El condensador electrolítico que atenúa las oscilaciones de la tensión rectificada puede tener de 500 a 1000 μF de capacidad para una tensión nominal de 50 V.

En la caja de la parte electrónica (que debe estar hecha de madera contrachapada gruesa) hay que prever una abertura con tapa o puertecilla, necesaria para el acceso a la regleta de codificación si hay que cambiar la combinación.

Los botones para marcar la combinación pueden ser cualesquiera. Lo único que importa es que sus contactos conecten y desconecten sin agarrotarse. Conviene montarlos en una tablilla común y taparla con una cubierta protectora con orificios frente a los botones.

Procederás bien si primero escoges todas las piezas de radio necesarias, haces el electroimán y, si es preciso, el transformador del rectificador, montas y pruebas la parte electrónica sobre una placa maqueta y sólo después de esto comienzas el montaje definitivo de la cerradura. Si el transformador que elijas es demasiado pesado, es preferible hacer independiente el bloque de alimentación y fijarlo en

la pared, junto al vano de la puerta, y unirlo con un cable bifilar flexible con la parte electrónica y el electroimán, sujetos en la parte interna de la puerta.

Los aparatos y dispositivos que te he dado a conocer en esta charla son nada más que unos cuantos ejemplos de un extensísimo campo de la técnica, la automática. El tema no termina aquí. Volveremos a tratar de él en la charla decimosexta, dedicada al multivibrador y su aplicación en dispositivos electrónicos de funcionamiento automático.

Charla 15

Tu laboratorio de medidas

Contenido:

§. Voltímetro de transistores para corriente continua

§. Frecuencímetro

§. Osciladores para medir señales de audiofrecuencia

* * * *

La cultura técnica de un radioaficionado moderno se juzga no sólo por los receptores o amplificadores que construye, sino también por el laboratorio de medidas, cuyos instrumentos utiliza en el proceso de elección de los elementos y durante el montaje y ajuste de los aparatos. ¡Si, así es! Porque sin instrumentos de medida es imposible lograr que un dispositivo radiotécnico funcione bien e ininterrumpidamente durante mucho tiempo. Creo que tú ya te habrás convencido de esto por propia experiencia y que en adelante te convencerás más de una vez.

La base del laboratorio ya la sentaste (ve la charla octava). Pero sus aparatos eran principalmente probadores. Sólo el miliampervoltímetro-ohmímetro daba la posibilidad de hacer las mediciones necesarias, sin las cuales es imposible, en general, conseguir que funcione incluso mi simple receptor, amplificador o dispositivo automático electrónico. Ahora conviene completar el laboratorio con un frecuencímetro, un generador de oscilaciones de frecuencia acústica para ajustar y valorar la calidad de los amplificadores al reproducir grabaciones musicales y un voltímetro de corriente continua con el cual pueda medirse la tensión en las bases de los transistores.

§. Voltímetro de transistores para corriente continua

En las descripciones de estructuras que publica la literatura radiotécnica se indica, por lo general, la resistencia relativa de entrada del voltímetro de corriente continua, con el cual se han medido las tensiones en los circuitos de la construcción. Eso mismo hice yo cuando te hablé de los amplificadores y receptores recomendables. ¿Fue esto casual? ¡No! Porque las tensiones en los

circuitos de las construcciones medidas con un voltímetro, cuya resistencia de entrada sea otra, pueden ser distintas. Eso se explica porque el voltímetro con su resistencia de entrada (interna) shunta el circuito que mide y, por lo tanto, cambia la corriente y la tensión en él. Cuanto menor es su resistencia de entrada, tanto más intensamente shunta el trozo de circuito que mide y tanto mayor es el error en los resultados de la medición.

La resistencia relativa de entrada del voltímetro de corriente continua del aparato combinado, de que te hablé en la charla octava, era de 10 k Ω /V. Esta resistencia relativa es suficientemente alta y en muchos casos los errores de medición que ocasiona son insignificantes. Subrayo: en muchos casos, pero no en todos. En aquellos casos en que el circuito que se mide tiene una resistencia de alto valor óhmico, el error en la medición se hace apreciable. Con este voltímetro no se puede medir ya con suficiente exactitud, por ejemplo, la tensión en la base o en el colector de un transistor directamente, si el resistor de carga de su circuito posee una resistencia grande. Y no puede medirse en absoluto la tensión de polarización en puerta de un transistor de efecto-campo, cuya resistencia de entrada es muchas veces mayor que la del voltímetro.

¿Y si en el aparato de medida combinado se empleara un microamperímetro para corriente I , mayor de 100 μ A? Por ejemplo, para corriente de 500 μ A. En este caso la resistencia relativa de entrada del voltímetro disminuiría hasta 2 k Ω /V. Con él podrían medirse aún las tensiones de los circuitos de tus construcciones, pero los errores en las mediciones serían mayores. Y, al contrario, la resistencia relativa de entrada del voltímetro podría duplicarse, es decir, aumentarse hasta 20 k Ω /V, si para él se utilizara un microamperímetro para corriente de 50 μ A. Pero este microamperímetro y, además con escala grande, no es probable que puedas conseguirlo.

No obstante, existe otra vía para aumentar considerablemente la resistencia de entrada del voltímetro, la de introducir en él transistores. De acuerdo con esto te propongo hacer un experimento que te ayudará a comprender el principio básico del funcionamiento de este aparato.

El esquema básico del voltímetro experimental se ha representado en la Figura 188.

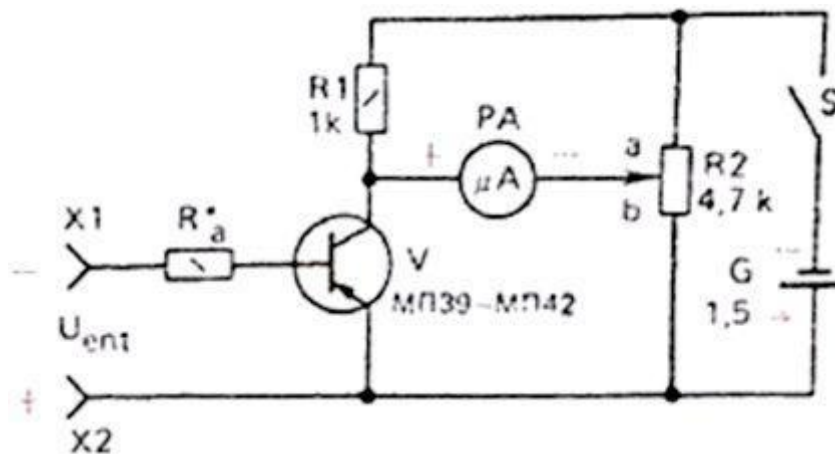


Figura 188. Voltímetro experimental

Como en el aparato de medida RCL, se traía de un puente de medida a cuya diagonal está conectado el miliamperímetro PA. Los brazos del puente los forman: la sección emisor-colector del transistor V, el resistor R1 y las secciones a y b del resistor variable R2. El puente es alimentado por la pila G de 1.5 V de tensión (332 ó 316). La tensión continua a medir se hace llegar a la unión emisora del transistor a través de los enchufes de entrada X1 y X2 y del resistor adicional R, que extingue el exceso de tensión de medida. El microamperímetro PA, que hace las veces de indicador de equilibrio del puente, puede ser para una corriente de 300 a 500 μA e incluso mayor. El transistor, con factor $h_{21E} = 50$ a 60. La resistencia del resistor adicional R, depende del microamperímetro que se utilice y determina en lo fundamental la resistencia de entrada del voltímetro. Ésta debe ser de 30 a 50 k Ω como mínimo.

Pon el contacto deslizante del resistor R2 en la posición superior (según el esquema). Cortocircuita los enchufes X1 y X2, conecta la alimentación y con el resistor R2, girando lentamente su eje, haz que la aguja del microamperímetro coincida con la división cero de la escala. Al cabo de 3 5 min, necesarios para que se caliente el transistor, vuelve a poner a cero el voltímetro. Hecho esto, desconecta los bornes de entrada, suminístrales tensión constante de 1 V, por ejemplo, parte de la tensión de una pila 332 (a través de un divisor de tensión) y, eligiendo experimentalmente el resistor adicional R_a haz que la aguja del indicador se desvíe hasta la última división de la escala. Esto corresponderá a 1 V de tensión medida.

¿Qué resistencia de entrada tendrá este voltímetro? Su resistencia será muchas veces mayor (aproximadamente tantas como el valor numérico del factor h_{21E} del transistor que se utilice) que la resistencia de entrada del voltímetro del aparato combinado.

¿Cuál es el principio básico del funcionamiento de este voltímetro? Su transistor desempeña la función de amplificador de la corriente y,

además, es un elemento del puente de medida de corriente continua. Antes de hacer la medición, el puente se equilibra poniendo el contacto deslizante del resistor en la posición con la cual la tensión en el microamperímetro y la corriente que pasa por él son nulas. Pero he aquí que a los enchufes de entrada del voltímetro y, por consiguiente, a la unión emisora del transistor, tú, teniendo en cuenta la polaridad, haces llegar la tensión continua a medir. Con esto la corriente colectora aumenta, la resistencia de la sección emisor-colector disminuye y, como resultado, el equilibrio del puente se altera y a través del microamperímetro pasa una corriente proporcional a la tensión que llega a la entrada del voltímetro.

Este aparato que, como es natural, puede ser de límites múltiples, ya se puede utilizar como voltímetro de alta resistencia óhmica. No obstante, hay que considerarlo como un medidor experimental de tensión.

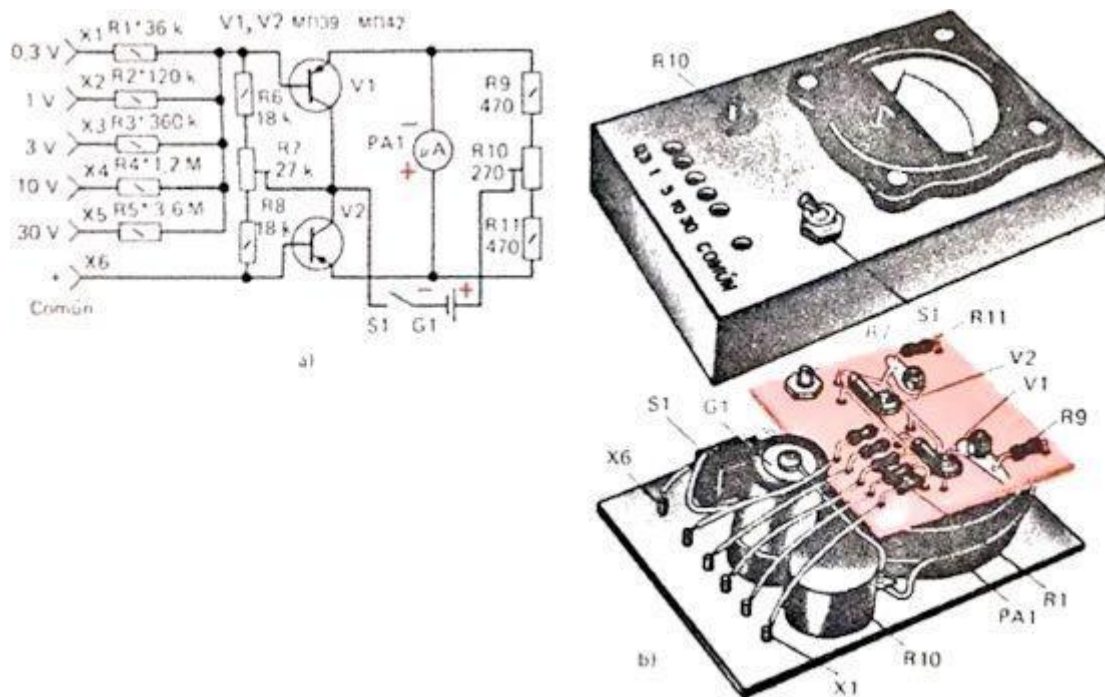


Figura 189. Voltímetro de transistores para corriente continua

Para tu laboratorio de medidas te recomiendo que construyas un voltímetro de transistores de acuerdo con el esquema que se da en la Figura 189a. Este voltímetro tiene cinco límites o escalas calibradas y está calculado para mediciones en los circuitos de los aparatos de transistores, en los cuales la tensión, en la mayoría de los casos, no supera 20-30 V. Los brazos del puente de este aparato lo forman las secciones emisor-colector de los transistores V1 y V2, el resistor R9 con la parte superior (según el esquema), respecto del contacto deslizante, del resistor de ajuste R10 y el resistor R11 con la parte inferior del resistor R10. En una diagonal del puente (entre los emisores de los transistores) está conectado el miliamperímetro PAI,

y en la otra (entre los colectores de los transistores y el contacto deslizante del resistor de ajuste R10), la fuente de alimentación G1. Para que la escala del voltímetro sea uniforme, a las bases de los transistores se hacen llegar, a través de dos resistores R6 y R8, tensiones negativas de polarización que abren los dos transistores.

El puente de medida se equilibra: con el resistor R10 (estando conectadas entre sí las bases de los transistores), equilibrando con ellas las corrientes colectoras de los transistores, y con el resistor R7, estableciendo con él las respectivas corrientes de base, que se diferencian algo entre sí a causa de la no identidad de los parámetros de los transistores.

La tensión que se mide se hace llegar a las bases de los transistores a través de uno de los resistores adicionales R1 R5. En estas condiciones el transistor V1 cuya base resulta estar bajo tensión negativa, se abre aún más y el transistor V2, cuya base resulta estar bajo tensión positiva, al contrario, se cierra. Como resultado, la resistencia de la sección emisor-colector del transistor V1 disminuye y la del transistor V2, aumenta, por lo que el equilibrio del puente se altera y a través del microamperímetro PAI pasa una corriente proporcional a la tensión que se mide.

Para el voltímetro elige transistores con factor de transferencia de corriente h_{21E} de cerca de 50 y, si es posible, con pequeñas y, lo que es más importante, próximas entre sí por sus valores, corrientes inversas I_{CBI} . Cuanto menores sean estas corrientes y la diferencia entre ellas, tanto mayor será la estabilidad con que funcione el aparato.

La estructura del voltímetro puede ser la que se muestra en la Figura 189b. El microamperímetro, el interruptor de la alimentación S1, la pila G1 (332), el resistor de ajuste R10 y los enchufes hembras X1-X6 se montan sobre una placa de cartón baquelizado (pertinax) cuyas dimensiones se determinan principalmente por las dimensiones del microamperímetro. Los demás elementos se montan en otra placa, también de cartón baquelizado, que se sujeta directamente a los bornes del microamperímetro. Los puntos de apoyo para el montaje de estos elementos pueden ser remaches huecos o de trozos de alambre de cobre estañado de 1 a 1,5 mm de diámetro, encajados en los orificios de la placa. Para unir el microamperímetro con los elementos del aparato, debajo de las tuercas que se enroscan en sus espárragos-bornes se colocan laminillas de montaje.

El papel de resistores de ajuste R7 y R10 lo pueden desempeñar resistores variables iguales o de resistencias nominales próximas. Las resistencias de los resistores R6 y R8 pueden ser desde 15 hasta 50 k Ω y las de los R9 y R11, desde 220 hasta 510 Ω

Cuando termines el montaje del voltímetro, compruébalo con el esquema básico. ¿No habrás cometido errores? Los contactos deslizantes de los resistores de ajuste ponlos en la posición media respecto de los terminales extremos. Conecta la alimentación. La aguja del microamperímetro se desviará inmediatamente de cero, pudiendo hacerlo incluso en sentido opuesto. Girando lentamente el eje del resistor R7, vuelve a poner la aguja en la división cero de la escala. Después, con un puente de alambre, une provisionalmente entre si las bases de los transistores y equilibra otra vez el puente con el resistor R10. Repite esta operación varias veces hasta que la aguja deje de reaccionar a la unión de las bases de los transistores.

Hecho esto, empieza a ajustar los resistores adicionales de los límites (calibres) de las mediciones. Haz esto del mismo modo que lo hiciste al ajustar el voltímetro del aparato de medida combinado.

En el esquema del voltímetro las resistencias de los resistores R1 - R5 se indican teniendo en cuenta un microamperímetro para corriente $I_i = 200 \mu\text{A}$ y transistores con factor estático de transferencia de corriente de cerca de 50. Para un microamperímetro y unos transistores con otros parámetros las resistencias de los resistores adicionales serán otras. En este caso conviene elegir primero el resistor adicional R2 del límite de medición de 1 V y luego, por él, calcular las resistencias de los demás resistores adicionales. Así, por ejemplo, si la resistencia del resistor de dicho límite resulta ser de $50 \text{ k}\Omega$ (que corresponde aproximadamente a un microamperímetro para la corriente $I_i = 400 \mu\text{A}$), entonces, para el límite de 5 V el resistor adicional R3 deberá tener una resistencia de cerca de $150 \text{ k}\Omega$, y para el límite de 0,3 V, de aproximadamente $15 \text{ k}\Omega$. En definitiva elige los resistores por vía experimental, controlando con un aparato patrón la tensión que llega a la entrada del voltímetro.

¿Pueden elegirse otros límites o calibres de mediciones? Claro que sí, y pueden ser dictados por la escala numerada del microamperímetro. Así, por ejemplo, si el microamperímetro es para corriente $I_i = 500 \mu\text{A}$ los límites de medición pueden ser 0.5: 1: 5: 10 y 50 V ó 0.5: 2.5: 10 y 50 V.

Al utilizar el voltímetro de transistores, acuérdate de que las mediciones hay que empezarlas al cabo de 5-6 min de haber conectado la alimentación. Durante este tiempo se estabiliza el régimen térmico de funcionamiento de los transistores y la aguja del aparato se para en la división cero de la escala. De vez en cuando hay que efectuar, con el resistor de ajuste R10, la corrección de cero del voltímetro. ¿Cada cuánto tiempo hay que cambiar la pila de alimentación? La corriente que consume el voltímetro no supera 3-5 mA. Por lo tanto, la pila funciona casi sin carga y puede servir por lo menos un año.

§. Frecuencímetro

El radioaficionado tiene que medir a menudo la frecuencia de las corrientes alternas y pulsatorias. Un frecuencímetro puede ser muy útil, por ejemplo, para graduar (calibrar) la escala de un oscilador de medida, para afinar instrumentos electromusicales y para reglar los aparatos de mando a distancia de modelos. Por eso es un aparato que conviene que tengas en tu laboratorio de medidas.

Los radioaficionados suelen emplear frecuencímetros de condensadores. Estos aparatos se llaman así porque su funcionamiento se basa en la medición del valor medio de la corriente de carga y de descarga de un condensador patrón que se recarga de la fuente de tensión alterna o pulsatoria.

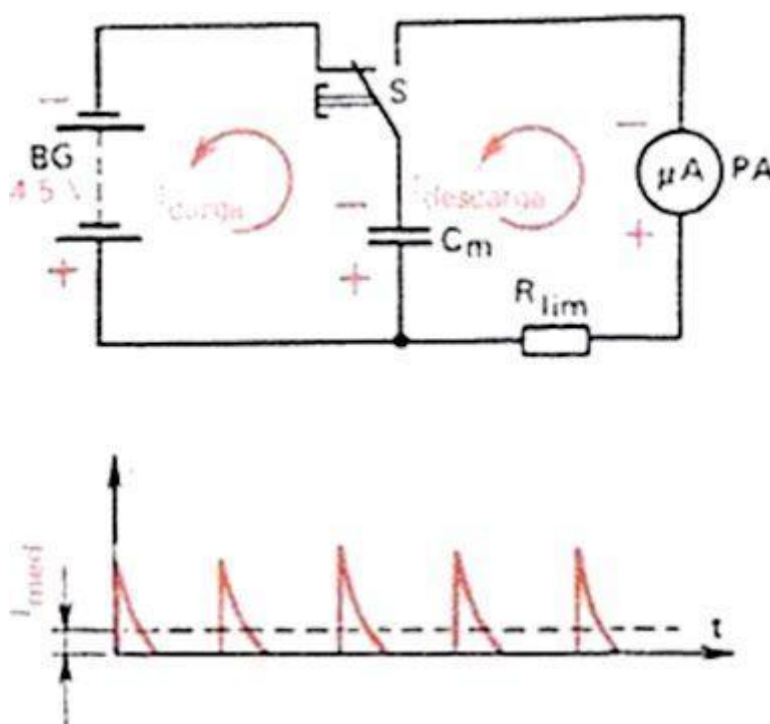


Figura 190. Experimento ilustrativo del principio de funcionamiento del frecuencímetro de condensadores

Para comprender esto, haz este experimento. Conecta según el esquema de la Figura 190 una batería 13361Л (BG), un condensador patrón de papel C_p de 0,5 a 1 μF , un microamperímetro PA para corriente de 100 a 300 μA , por ejemplo, el microamperímetro del aparato de medida combinado o del voltímetro de transistores, y un conmutador de botón S de tipo KM1-1. En serie con el microamperímetro conecta el resistor limitador R_1 , cuya resistencia debes calcular por la fórmula $R_1 = U_b / I_1$, en la que U_b es la tensión máxima de la batería que emplees en el experimento, e I_1 , la corriente de desviación total de la aguja del microamperímetro. El conmutador de botón S conéctalo de manera que sus contactos se encuentren en la posición que indica el esquema. En estas

condiciones el condensador se carga instantáneamente hasta la tensión de la batería. Aprieta el botón para conectar el condensador cargado al microamperímetro. La aguja de éste se desviará hacia la derecha, indicará la corriente de carga del condensador e inmediatamente retornará a la posición cero. Procura apretar y soltar rítmica y lo más frecuentemente que puedas el botón del conmutador. Con la misma frecuencia se cargará el condensador de la batería y se descargará a través del aparato. Cuanto mayor sea la frecuencia de estas conmutaciones, tanto menos oscilará la aguja al indicar el valor medio de la corriente que por el microamperímetro (en la gráfica de la parte inferior de la Figura 189 se indica el valor medio de la corriente I_{med}) Si no cambias el condensador patrón, al elevar la frecuencia de las conexiones, el aparato indicará una corriente cada vez mayor. De esta forma, por la desviación de la aguja puede juzgarse la frecuencia de los impulsos de corriente que llegan al aparato.

El esquema básico del frecuencímetro que te propongo para tu laboratorio de medidas se da en la Figura 191.

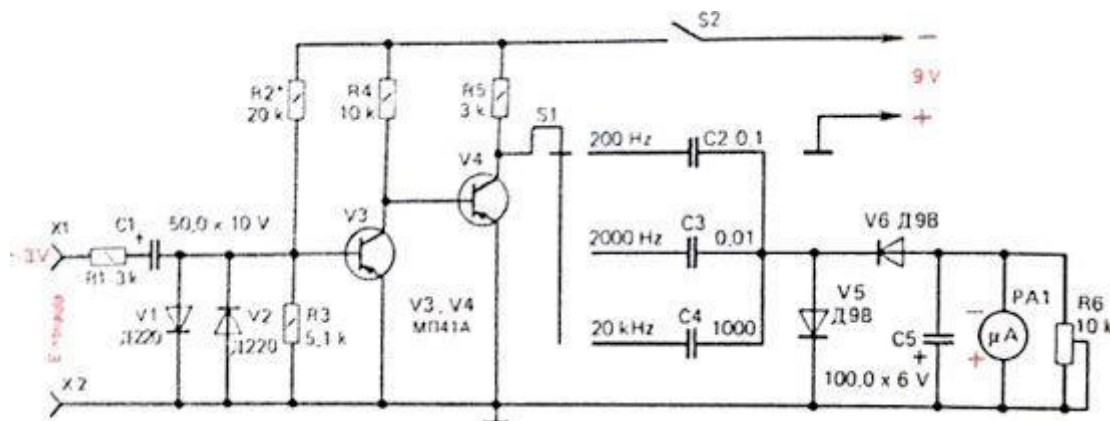


Figura 191. Esquema básico de un frecuencímetro

En este aparato hay dos transistores con acoplamiento directo que funcionan en régimen de conmutación. Los condensadores C2-C4 son condensadores patrón. Con el condensador C2 el aparato puede medir la frecuencia de la corriente alterna o pulsatoria que llegue a los enchufes de entrada X1 y X2, aproximadamente desde 20 hasta 200 Hz; con el C3, desde 200 hasta 2000 Hz, y con el C4, desde 2 hasta 20 kHz, es decir, cubre toda la gama de oscilaciones acústicas. La tensión máxima medible es de 0,2 a 0.25 V y la máxima, de 3 V.

En el estado inicial el transistor V3 está cerrado, ya que la corriente que llega a su base es insuficiente para abrirlo, y el transistor V4, naturalmente, está abierto por la tensión negativa que llega a su base desde el colector del transistor V3. En estas condiciones la armadura izquierda (según el esquema) del condensador patrón C2 está unida, a través de los contactos del conmutador S1 y de la pequeña

resistencia del transistor V4 abierto, con el conductor común puesto a masa del circuito de alimentación: a través del microamperímetro PAI no pasa corriente. En cuanto a la entrada del frecuencímetro llega el primer semiperiodo negativo de la tensión alterna, el transistor V3 se abre y el V4 se cierra. El condensador patrón se carea instantáneamente, a través del microamperímetro PAI y del resistor R6 que lo shunta, del diodo V6 y del resistor R5, hasta la tensión de la fuente de alimentación. Al mismo tiempo se carga también el condensador de carga C5. Durante el semiperiodo positivo de la tensión que se mide, el transistor V3 se cierra y el V4 se abre. El condensador patrón se descarga a través de la pequeña resistencia del transistor V4 y del diodo V5. El condensador C5 se descarga a través del microamperímetro, manteniendo la corriente que pasa por él al cargarse el condensador patrón.

El siguiente semiperiodo negativo abre de nuevo el transistor V3 y cierra el V4, y el semiperiodo positivo los conmuta al estado inicial. Y así ocurre cada período de la tensión alterna que se mide. En este caso, el transistor V4, al abrirse y cerrarse, desempeña, respecto del condensador patrón, la función de conmutador electrónico. Como resultado, a través del microamperímetro pasa la corriente media de carga del condensador patrón, que es proporcional a la frecuencia de la tensión alterna que se mide.

Con el resistor de ajuste R6 se establece el límite superior de frecuencia de la subgama.

¿Qué papel desempeñan los diodos V1 y V2 que shuntan el resistor R3 y la unión emisora del transistor V3? Limitan la tensión que llega a la unión emisora del transistor V3 y así evitan su perforación térmica. Estos diodos son de silicio. Los diodos de silicio, como ya sabes, se abren cuando la tensión directa es de 0.6 a 0.7 V. Mientras la señal de entrada no supera esta tensión, los diodos están cerrados y prácticamente no ejercen influencia alguna sobre el funcionamiento del transistor. Pero cuando la tensión de entrada se hace mayor de 0,6 0,7 V, los diodos se abren (V1 durante los semiperiodos positivos y V2, durante los negativos) y mantienen en la base del transistor una tensión no mayor de 0,7 a 0.8 V.

El resistor R1, a la entrada del frecuencímetro, impide que por los diodos V1 y V2 pasen corrientes grandes peligrosas para ellos.

El frecuencímetro se puede alimentar de dos baterías 3336Л o, mejor, de la tensión estabilizada de un bloque de alimentación de la red.

Los transistores deben tener un factor estático de transferencia de corriente h_{21E} de 60 a 80 como mínimo y una corriente inversa I_{CBI} de la unión colectora lo más pequeña posible. Si entre los transistores de

baja frecuencia de que puedas disponer no los hay con estos parámetros, emplea para el frecuencímetro transistores $p-n-p$ de poca potencia y alta frecuencia, por ejemplo, de las series ТГ308, П401, П416. Los diodos V1 y V2 deben ser de silicio, por ejemplo, de las series, Д101, Д102, Д104 (excepto el Д220) y los diodos V5 y V6 cualesquiera de la serie Д9 o Д2. Los condensadores electrolíticos C1 y C5 son del tipo К50-3. К50-6 ó К50-1. El resistor de ajuste R6 puede ser de cualquier tipo. El microamperímetro, para una corriente de desviación total de la aguja de 50 a 100 μA . El conmutador S1 es monoplaca de tipo "galleta", y el S2, basculante o П2К.

La escala del medidor de frecuencia es lineal, común para las tres subgamas. Por eso las capacidades de los condensadores patrón C2 y C4 deben ser lo más exactas posibles, ya que de eso depende la precisión de las mediciones que se hagan. Los condensadores necesarios se pueden seleccionar valiéndose de un medidor RCL.

El frecuencímetro móntalo y pruébalo previamente sobre una placa maqueta. De los condensadores patrón conecta por ahora, sin el conmutador S1, sólo el C2. Comprueba la polaridad de conexión de todos los condensadores electrolíticos de los diodos y del microamperímetro. Pon luego el contacto deslizante del resistor de ajuste R6 en la posición extrema inferior (según el esquema) y sustituye provisionalmente el resistor R1 por una cadena de resistores acoplados en serie formada por un resistor variable de 30 a 40 $\text{k}\Omega$ y de otro constante de 4 a 5 $\text{k}\Omega$ de resistencia. Conecta la alimentación y haz llegar a la entrada del frecuencímetro la tensión alterna de la red del alumbrado reducida por un transformador hasta varios voltios. Para eso se puede utilizar, por ejemplo, como muestra la Figura 192a el devanado secundario del transformador de red del bloque de alimentación, conectando a él como potenciómetro el resistor variable de regulación R_v y regulando con él la tensión que se suministra a la entrada del frecuencímetro. Eligiendo experimentalmente la resistencia de la cadena provisional de resistores hay que conseguir que la aguja del microamperímetro se desvíe de forma estable con la tensión mínima (0,3 V) a la entrada del frecuencímetro.

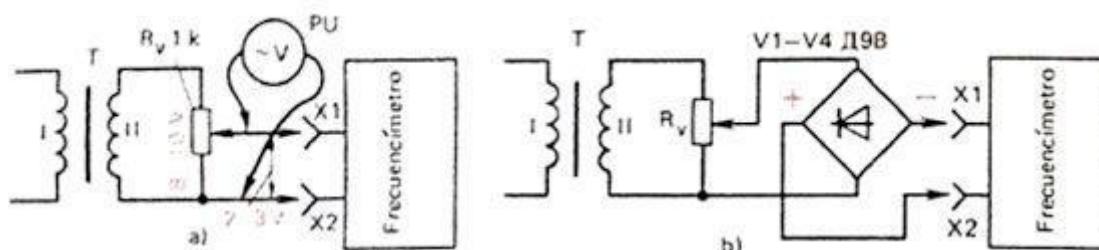


Figura 192. Esquema para la comprobación y calibrado de la escala del frecuencímetro

Conseguido esto, haz llegar a la entrada del frecuencímetro desde ese mismo resistor regulador, la tensión alterna rectificada por el rectificador bifásico (Figura 192b) En este caso la frecuencia de ondulación de la tensión a la entrada del frecuencímetro será de 100 Hz, es decir, del duplo de la frecuencia de la tensión alterna en la red, la aguja del microamperímetro deberá desviarse un ángulo mayor que cuando la frecuencia de la tensión era de 50 Hz. Pon el contacto deslizante del resistor de ajuste R5 en una posición tal que dicha aguja se sitúe un poco a la izquierda de la mitad de la escala. La señal que hagas en ésta corresponderá a la frecuencia de 100 Hz y la totalidad de la escala, a la frecuencia de 200 Hz.

Luego, una vez más, haz que a la entrada del frecuencímetro llegue la tensión alterna desde el resistor de regulación y señala en el arco de la escala del microamperímetro la posición que ocupe su aguja. En estas condiciones corresponderá a la frecuencia de 50 Hz. De esta forma tendrás dos señales iniciales, sin contar con la de cero y la final, por las cuales podrás calibrar la escala de la subgama de 20 a 200 Hz Esta misma escala servirá también para las otras dos subgamas. En este caso lo único que hay que hacer es multiplicar por 10 el resultado de la medición cuando esté conectado el condensador patrón C3 (de 0.01 μ F) y por 100 cuando lo esté el condensador patrón C4 (de 1000 μ F). Para saber a que subgama está conectado el frecuencímetro, haz junto al botón del conmutador S1 las inscripciones «x 1». «x 10» y «x 100».

La estructura del frecuencímetro depende de las dimensiones y de la posición (horizontal o vertical) en que debe funcionar el microamperímetro y, en principio, puede ser como la del voltímetro de transistores para corriente continua. En el panel frontal monta el microamperímetro, los enchufes de entrada, el conmutador de subgamas y el interruptor de la alimentación. Los demás elementos puedes montarlos en una placa de pequeñas dimensiones que sujetarás en los bornes del microamperímetro.

La graduación de la escala, sobre todo la del límite superior de frecuencias (200 Hz) se puede precisar valiéndose de las señales de un generador de oscilaciones de frecuencia acústica.

§. Osciladores para medir señales de audiofrecuencia

El multivibrador que te recomendé en la charla octava para que lo utilizases como fuente de señales, genera oscilaciones, cuya forma se aproxima a la rectangular y muchas armónicas. Es bueno únicamente como probador, pero no sirve en absoluto para ajustar amplificadores de audiofrecuencia, aparatos de mando a distancia de modelos y otros muchos dispositivos automáticos electrónicos para los cuales la señal de salida de los osciladores de medida tiene que ser sinusoidal.

Voy a hablarte de dos osciladores (generadores de ondas): uno de frecuencia fija de 1000 Hz, y otro de frecuencia variable con suavidad desde aproximadamente 200 hasta 3000 Hz. El primero de ellos es más simple y el segundo, más complejo. Pero como las señales de los osciladores han de ser sinusoidales, para sus reglajes se necesita un oscilógrafo de rayos catódicos.

El esquema del generador de una frecuencia fija puedes verlo en la Figura 193. El generador propiamente dicho del aparato es un amplificador monoetápico ordinario con el transistor V1 rodeado de una reacción positiva. La tensión de esta reacción positiva llega desde el resistor de carga R5 a la base del transistor V1, a través de la cadena trielemental desfaseadora, compuesta por los condensadores C1 - C3, los resistores R1-R4 y la resistencia de entrada del transistor.

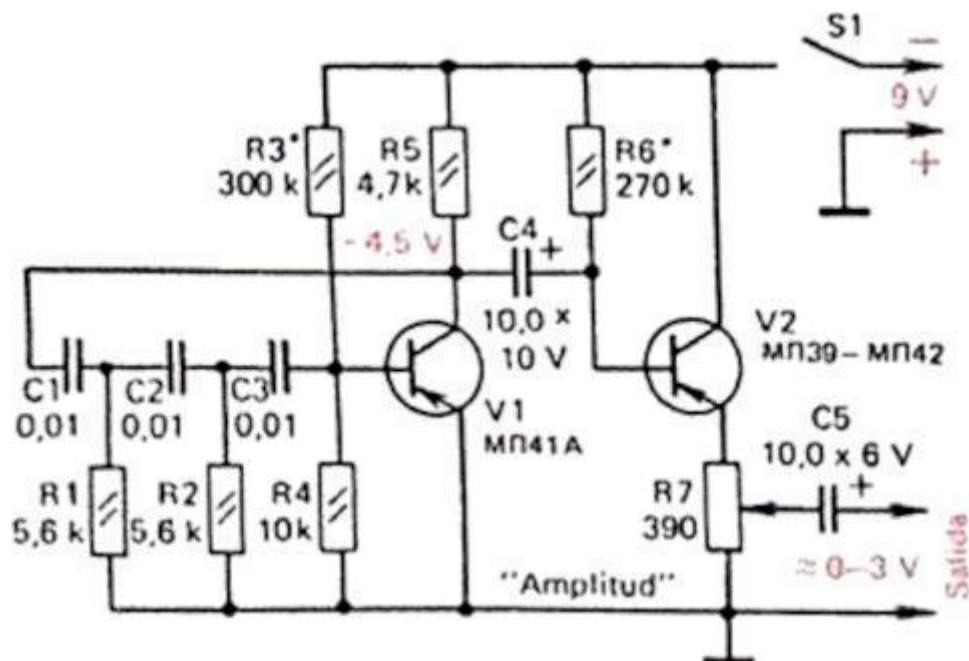


Figura 193. Esquema del generador de frecuencia fija

Como resultado, el amplificador se excita y genera oscilaciones eléctricas cuya frecuencia se determina por los datos de los elementos de la cadena antedicha. Estos osciladores de medida se llaman generadores de tipo RC (resistencia-capacidad).

La tensión de polarización que asegura al transistor el régimen de generación se transfiere a su base desde el divisor R3, R4. Eligiendo experimentalmente el resistor R3, que forma parte de dicho divisor, se procura obtener la forma sinusoidal de la tensión de salida del generador.

Desde el resistor R5 la señal del generador llega a la entrada de la segunda etapa, cuyo transistor V2 está conectado como amplificador

de emisor servoasistido y desde el contacto deslizante de su resistor de carga R7, a través del condensador C5, a la entrada del amplificador de audiofrecuencia que se prueba o ajusta. Con el resistor variable R7, la tensión de la señal de salida del generador se puede regular suavemente desde cero hasta 2.5-3 V. En principio, la segunda etapa podría no existir. El resistor de carga podría sustituirse por un resistor variable del mismo valor nominal y de su contacto deslizante tomar la señal del generador. Pero en este caso, en dependencia de la resistencia de entrada del amplificador que se ajusta, que shuntará la salida, de resistencia óhmica relativamente grande, del generador la tensión y la frecuencia de la señal del generador variará un poco. El amplificador de emisor servoasistido, con su salida de baja resistencia óhmica, elimina estas variaciones indeseables.

La estructura del generador es arbitraria. Lo único que importa es que no sea demasiado grande y que el trabajo con él sea cómodo. Conviene que el conductor, puesto a tierra, de salida del generador esté provisto de pinza tipo "cocodrilo". El generador puede alimentarse de cualquier batería de 9 V de tensión o de un bloque de alimentación de la red. La corriente que consume no supera 5 mA.

Si los elementos han sido probados previamente y no se han cometido errores al hacer el montaje, el ajuste del generador se reduce a elegir experimentalmente las resistencias óptimas de los resistores R3 y R6. Para cerciorarte de que el generador está en condiciones de funcionar bien, conecta unos auriculares de gran resistencia óhmica en paralelo con el resistor R5; en ellos oirás un sonido de tonalidad mediana. Conéctalos después a la salida del generador. En estas condiciones la intensidad del sonido debe variar al girar el botón del resistor variable R7 y su tonalidad, permanecer invariable.

Haz pasar luego la señal desde la salida del generador a la entrada "V" del amplificador de desviación vertical del rayo de un oscilógrafo. Pon los reguladores de amplificación y frecuencia de barrido del oscilógrafo en posiciones tales que en la pantalla se vean bien dos o tres oscilaciones del generador. Conseguido esto, procura, eligiendo experimentalmente la resistencia del resistor R3, darles a esas oscilaciones forma sinusoidal y, procediendo del mismo modo con el resistor R6, elimina las limitaciones unilaterales de la amplitud de la señal. Para hacer esto resulta cómodo sustituir provisionalmente los resistores R3 y R6 por resistencias variables, con ellas conseguir la forma no desfigurada de la señal y, después volver a sustituirlas por resistencias fijas de los respectivos valores nominales y, otra vez por la representación en la pantalla del oscilógrafo, comprobar la forma de la señal del generador. ¿Por qué se elige para el generador la frecuencia de 1000 Hz? Porque es una de las principales frecuencias

de medida que se emplean para comprobar la calidad del funcionamiento de los amplificadores de audiofrecuencia. Puede ocurrir que la frecuencia de las oscilaciones del generador montado por ti difiera algo de 1000 Hz, cosa que puedes comprobar con el frecuencímetro. Pero eso no debe preocuparte, porque, en primer lugar, es totalmente permisible en aparatos de aficionado, y en segundo, en tu laboratorio de medida debe haber otro generador con variación suave de frecuencia.

El esquema del oscilador (o generador) de medida con variación suave de la frecuencia de la señal de salida se muestra en la Figura 194.

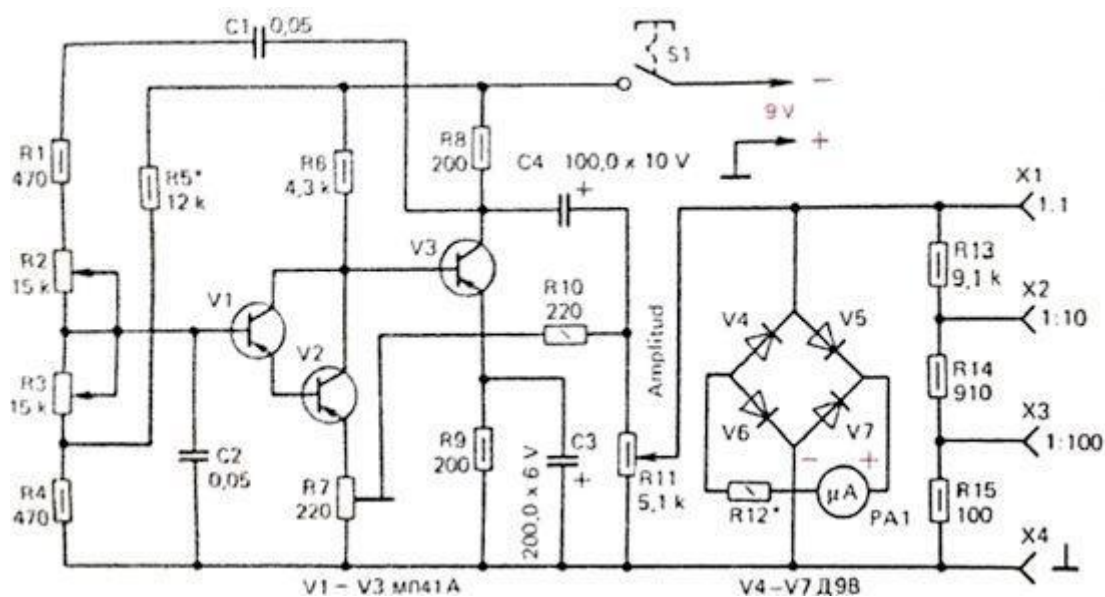


Figura 194. Esquema del generador con variación suave de la frecuencia

Se trata de un amplificador bietápico de transistores *p-n-p* abarcado por dos circuitos reactivos, uno positivo, en virtud del cual el amplificador se convierte en generador de oscilaciones eléctricas, y el otro, negativo, que mejora la forma de las oscilaciones generadas. Los transistores V1, y V2 de la primera etapa están acoplados en circuito de transistor compuesto, lo que aumenta la amplificación y la resistencia de entrada de la etapa, y el transistor V3 de la segunda etapa, en circuito EC. El acoplamiento directo entre los transistores mejora el funcionamiento del generador en las frecuencias más bajas de las oscilaciones que genera.

El circuito de reacción positiva consta de un elemento RC en serie y de otro en paralelo. El elemento en serie lo forman el condensador C1 y los resistores R1 y R2, y en paralelo, el condensador C2 y los resistores R3 y R4. Estos dos elementos RC constituyen los dos brazos del divisor de la tensión alterna que se toma del resistor de

carga K8 del transistor V3 de la segunda etapa (de salida), y que pasa al circuito de base del transistor compuesto V1-V2 de la primera etapa.

La tensión de la reacción negativa, gracias a la cual la señal de salida del generador adquiere forma sinusoidal, se toma del resistor de carga R8 de la segunda etapa y a través del condensador C4 que barre el resistor R10 y el cursor del resistor de control R7 se envía al circuito de emisión del transistor de la primera etapa.

La frecuencia de las oscilaciones del generador se regula suavemente con el doble bloque de resistores variables R2 y R3 que intervienen en los brazos del divisor de la tensión de salida. Los resistores R5 y R4 forman el divisor de tensión de la fuente de alimentación, del cual se toma para la base del transistor compuesto V1-V2 la tensión de polarización, y el resistor R7 estabiliza térmicamente su régimen de funcionamiento. La tensión de polarización para la base del transistor V3 se toma directamente del colector del transistor compuesto. El condensador electrolítico C3 de gran capacidad, que shunta al resistor R9 en el circuito del emisor del transistor V3, mejora las condiciones de autoexcitación del generador en las frecuencias bajas.

Desde el resistor de carga R8 de la etapa de salida, la tensión del generador pasa, a través del condensador C4 al resistor variable R11 y, desde su contacto deslizante, a los enchufes X1 a X4 con el divisor de tensión (atenuador) formado por los resistores R13 R15, acoplados en serie entre sí. Las resistencias de los resistores de este divisor, indicadas en el esquema, se han elegido calculando que la tensión en el enchufe X2 sea igual a 1/10 parte de toda la tensión que entra en el divisor, y en el X3, a 1/100 parte de la misma. Así, por ejemplo, si desde el resistor variable R11 "Amplitud" llega al divisor una tensión de 1 V, entre los enchufes X4 y X2 habrá 0.1 V(100 mV) y entre el X4 y el X3, 0.01 V (10 mV).

Al mismo tiempo la tensión pasa, desde el contacto deslizante del resistor R11, al rectificador bifásico de diodos de punta de contacto V4-V7. En la diagonal del puente rectificador está conectado (a través del resistor de extinción R12) el microamperímetro PAI, por el cual se controla la tensión en el divisor de la tensión de salida.

Los transistores МП41А se pueden sustituir por otros transistores *p-n-p* de baja frecuencia, pero su factor estático de transferencia de corriente debe ser 60 como mínimo. Los diodos V4-V7 pueden ser cualesquiera de las series Д9 ó Д2. El microamperímetro PAL para una corriente mínima de desviación total de la aguja de 300 mA. El doble bloque de condensadores de los resistores R2, R3, del tipo СП-III. La resistencia de los resistores del bloque puede ser menor, por ejemplo, de 10 kΩ, pero en este caso la

frecuencia de las oscilaciones generadas se corre hacia el lado de las frecuencias más altas de la gama acústica. Los condensadores electrolíticos C3 y C4 y el interruptor de la alimentación S1 pueden ser de tipos cualesquiera. La resistencia nominal del resistor R12 depende del microamperímetro de que dispongas.

Las resistencias de los resistores R1, R4 y las capacidades de los condensadores C1, C2, tienen que ser, si es posible iguales: en todo caso no deben diferir en más de un 10%.

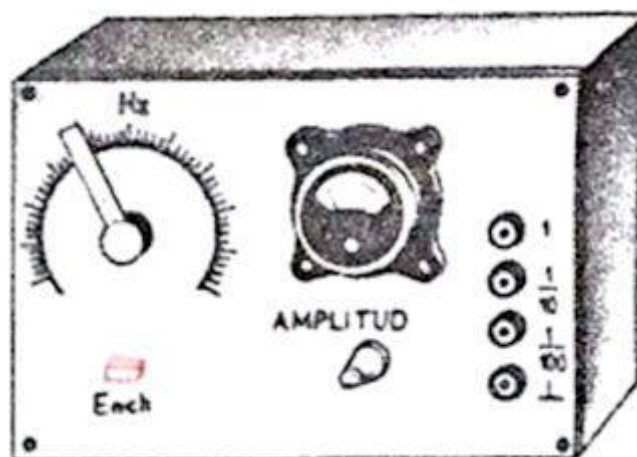


Figura 195. Aspecto del generador

El posible aspecto exterior de la estructura del generador se reproduce en la Figura 195. Sus dimensiones aproximadas son 200 × 150 × 100 mm. En tablero frontal conviene hacerlo de una hoja de cartón baquelizado, de textolita o de vidrio orgánico de color de 2 a 3 mm de espesor. En él se disponen: el bloque de resistores variables con el índice y la escala, el interruptor de alimentación (П2К1), el microamperímetro, el resistor variable R11 "Amplitud" y los enchufes de salida del generador. Los resistores R13 a R15 del divisor de tensión de salida móntalos directamente en los enchufes X1 a X4; los diodos V4 a V7 y el resistor R12, en los bornes del microamperímetro. Los demás elementos pueden montarse en circuitos impresos o suspendidos sobre una placa de dimensiones apropiadas. Las paredes laterales de la caja pueden ser metálicas o de madera contrachapada indiferentemente. Pero hay que procurar que el aspecto del generador sea agradable y su construcción sólida, ya que, probablemente, este aparato de medida no sólo utilizarás tú, sino también tus compañeros de afición a la radio.

Antes de montar definitivamente el generador, compruébalo siguiendo el esquema básico. A los enchufes de salida conecta unos auriculares, pon el contacto deslizante del resistor R11 "Amplitud" en la posición superior (según el esquema) y el resistor de ajuste R7, en posición inferior. Si en estas condiciones conectas la alimentación, en los auriculares oirás un sonido que, girando el botón del bloque de

resistores variables, debe variar suavemente desde un tono muy bajo hasta otro alto. Si no se oye nada, procura que se oiga eligiendo el resistor R5 (sustituyéndolo provisionalmente por un resistor variable de 20 a 30 k Ω). Después transfiere la señal de salida del generador a la entrada "Y" del oscilógrafo y, observando la imagen en su pantalla, desplaza muy despacio el contacto deslizante del resistor de ajuste R7 hacia arriba (según el esquema). Con esto llegará al circuito emisor del transistor V2 una tensión cada vez mayor de reacción negativa, por lo que la señal del generador tomará la forma sinusoidal. Si la reacción negativa es demasiado intensa, la generación se cortará. Pon el contacto deslizante del resistor de ajuste en una posición en la cual la señal tenga forma sinusoidal y la generación no se corte al variar la frecuencia. Luego, eligiendo experimentalmente el resistor R6, procura conseguir la amplitud máxima de las oscilaciones y con el resistor de ajuste, intenta otra vez mejorar la señal sinusoidal.

La escala del bloque de resistores variables se puede graduar (marcar) valiéndose del frecuencímetro, llevando a su entrada la tensión del generador, o por medio de un oscilógrafo y de un generador de oscilaciones de frecuencia acústica, de fabricación industrial, por ejemplo, del tipo 3 Γ -10 o 3 Γ -11. En el segundo caso, a la entrada "Y", de desviación vertical del rayo del oscilógrafo, se transfiere la tensión del generador hecho por ti, a la "X", de desviación horizontal de dicho rayo, la tensión del generador de oscilaciones de audiofrecuencia de fabricación industrial, y la igualdad de las frecuencias de los dos generadores se determina por las llamadas figuras de Lissajous que aparecen en la pantalla del oscilógrafo.

La escala graduada de tu aparato será el indicador de partida de las frecuencias de las oscilaciones que él genera.

Queda medir, con el voltímetro de corriente alterna del aparato combinado, la tensión de salida del generador y elegir el resistor adicional R12, del circuito del microamperímetro, correspondiente a esta tensión. En dependencia de los transistores utilizados en el generador y de la escrupulosidad del ajuste de su régimen de trabajo, la tensión máxima de salida del generador puede ser de 1,2 a 1,5 V. El resistor R12 elígelo de un valor nominal tal que, cuando la tensión alterna sea máxima, la aguja del microamperímetro se desvíe en casi la totalidad de la escala. Haz en esta última las marcas respectivas a las tensiones alternas de 0,25, 0,5 y 1 V a la salida del generador, valiéndote de las cuales vas a regular las tensiones de las señales que lleguen a la entrada del amplificador de audiofrecuencia que pruebes o ajustes.

La caja del generador (oscilador) ya acabado píntala con esmalte nitro o fórrala con película decorativa de policloruro de vinilo.

Ahora, en la ciencia, en la técnica y en la industria se utilizan cada vez más los aparatos de medida con indicadores numéricos de los resultados de las mediciones, voltímetros, ohmímetros, frecuencímetros y otros aparatos con este tipo de indicadores, contruidos a base de microcircuitos integrales encuentran entre los aficionados amplia aplicación. Para ti estos aparatos pueden ser en el futuro el paso siguiente y superior en la construcción de técnica de medición.

Charla 16

Multivibrador y su aplicación

Contenido:

§. Multivibrador autooscilador

§. Multivibrador en los osciladores y conmutadores electrónicos

§. Multivibrador en juguetes radiotécnicos

§. Autómata musical "ruiseñor"

* * * *

Los multivibradores son dispositivos electrónicos que generan oscilaciones eléctricas de forma aproximadamente rectangular. El espectro de las oscilaciones generadas por un multivibrador contiene muchas armónicas que son también oscilaciones eléctricas, pero múltiplos de las oscilaciones de la frecuencia fundamental, como refleja su nombre "multi", mucho y "vibro" oscilo. Precisamente un generador de este tipo te recomendé, en la charla octava, como fuente de señales eléctricas.

¿En qué consiste un multivibrador y cómo funciona?

§. Multivibrador autooscilador

Mira el esquema que muestra la Figura 196a. ¿Lo conoces? Sí, es un esquema de amplificador de audiofrecuencia biestático, de transistores, con salida a unos auriculares ¿Qué ocurrirá si la salida de este amplificador se une con su entrada, como se indica con línea de trazos en el esquema? Entre ellas surgirá una reacción positiva y el amplificador se autoexcitará, es decir, se convertirá en un generador de oscilaciones de frecuencia acústica y en los auriculares se oír un sonido de tono bajo.

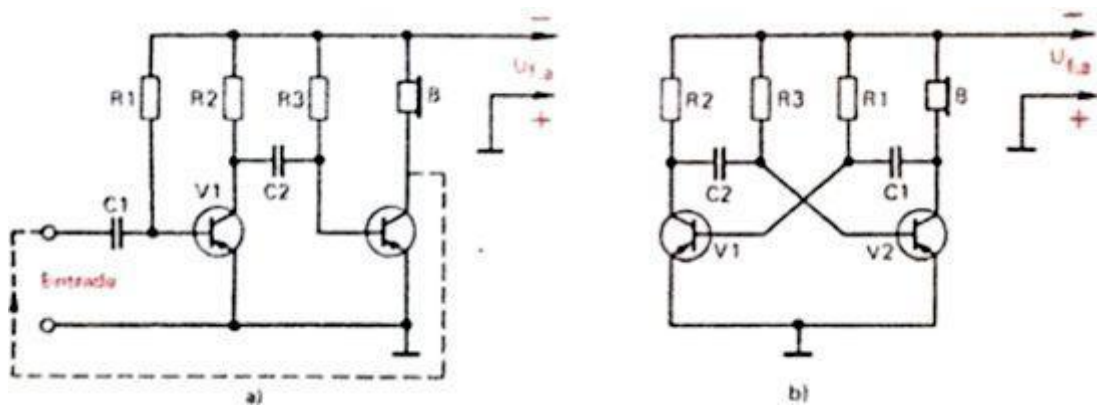


Figura 196. Un amplificador de dos etapas abarcado por una reacción positiva se convierte en un multivibrador

Contra este fenómeno se lucha decididamente en los receptores y amplificadores, pero he aquí que para los dispositivos que actúan automáticamente resulta ser útil. Observa ahora la Figura 196b. En ella puedes ver el esquema del mismo amplificador, abarcado por la reacción positiva como en la Figura 196a, pero su trazado se ha cambiado algo. Así es como de ordinario se suelen dibujar los esquemas de los multivibradores autoosciladores, es decir, con autoexcitación.

La experiencia es sin duda el mejor método para conocer lo esencial del funcionamiento de todo dispositivo electrónico. De esto ya has podido convencerte en más de una ocasión. Ahora también, para que comprendas mejor como funciona este dispositivo automático universal, te propongo que hagas un experimento con él.

El esquema básico de un multivibrador autoexcitador, con todos los datos de sus resistores y condensadores puedes verlo en la Figura 197a. Móntalo sobre un panel maqueta.

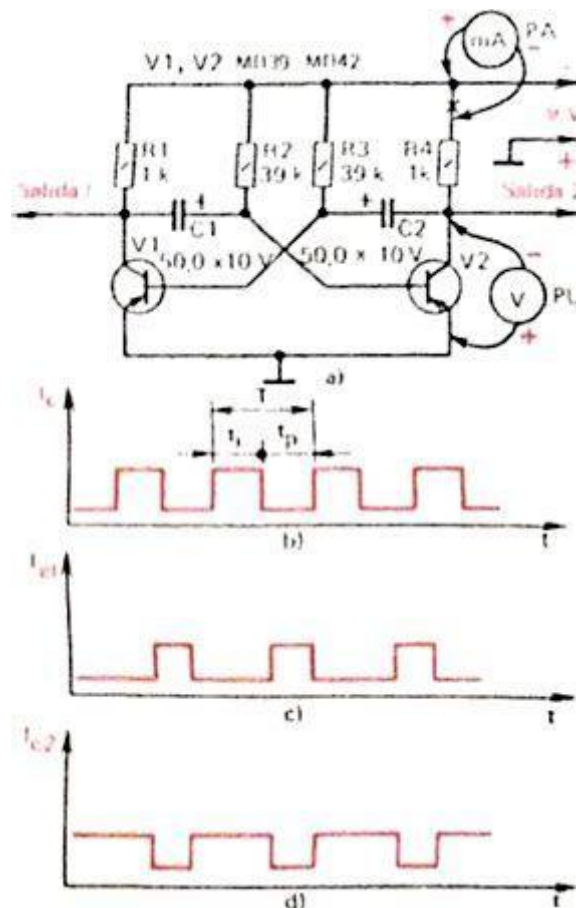


Figura 197 Esquema del multivibrador simétrico (a) y gráfica de los impulsos de frecuencia generados por él (b)

Los transistores deben ser de baja frecuencia (МЛ39-МП42), ya que en los de alta frecuencia П401-П403, П420, П422) la tensión de perforación de la unión emisora es muy pequeña. Los condensadores electrolíticos C1 y C2 son del tipo K50-6. K50-3 o K53-1 para tensión nominal de 10 a 15 V. Las resistencias de los resistores pueden diferir de las indicadas en el esquema hasta en un 50%. Importa solamente que los valores nominales de los resistores de carga R1, R4 y de los resistores de base R2, R3 sean, si es posible, iguales. Para la alimentación utiliza dos baterías 3336Л acopladas en serie o un rectificador.

En el circuito colector de cualquiera de los transistores conecta un miliamperímetro (PA) para corriente de 10 a 15 mA y a la sección emisor-colector de ese mismo transistor conecta un voltímetro de alta resistencia óhmica de corriente continua (PU) para tensión de hasta 10 V. Después de comprobar el montaje y, con especial atención, la polaridad de las conexiones de los condensadores electrolíticos, conecta el multivibrador a la fuente de alimentación. ¿Qué indican los aparatos de medida? El miliamperímetro, un aumento brusco, de hasta 8 a 10 mA de la corriente en el circuito colector del transistor, la cual, a continuación y también bruscamente, disminuye casi hasta

cero. El voltímetro, por el contrario, indica ya una tensión colectora que disminuye casi hasta cero, ya un aumento de ésta hasta la tensión de la fuente de alimentación.

¿Qué nos dicen estas mediciones? Que el transistor de este brazo del multivibrador trabaja en régimen de conmutación. La corriente colectora máxima y, al mismo tiempo, la tensión mínima en el colector corresponden al estado abierto del transistor, y la corriente mínima y la tensión máxima en el colector, a su estado cerrado, exactamente del mismo modo trabaja el transistor del segundo brazo del multivibrador, pero, como suele decirse, con un desfase de 180° , cuando uno de los transistores está abierto, el otro está cerrado. De esto es fácil cerciorarse conectando en el circuito colector del transistor del segundo brazo del multivibrador un miliamperímetro igual que el primero; las agujas de los aparatos de medición se desviarán alternativamente de los ceros de las escalas.

Hecho esto, valiéndole de un reloj con segundero, cuenta cuántas veces por minuto pasan los transistores del estado abierto al cerrado. Serán aproximadamente 15-20. Ese es el número de oscilaciones eléctricas que genera el multivibrador por minuto. Por consiguiente, el periodo de oscilaciones es igual a 3-4 segundos. Sin dejar de observar la aguja del miliamperímetro, procura representar gráficamente estas oscilaciones. Sobre el eje horizontal de ordenadas traza, a cierta escala, los intervalos de tiempo en que el transistor está en los estados abierto y cerrado, y sobre el eje vertical, la corriente colectora correspondiente a dichos estados. Obtendrás aproximadamente una gráfica como la que representa la Figura 177b. Por lo tanto, puede considerarse que el multivibrador genera oscilaciones eléctricas de forma rectangular.

En la señal del multivibrador, independientemente de la salida de que se tome, pueden destacarse impulsos de corriente y pausas entre ellos. El intervalo de tiempo que transcurre desde el instante en que se produce un impulso de corriente (o de tensión) hasta el instante en que se produce el siguiente impulso de la misma polaridad se llama periodo de sucesión de los impulsos y se designa por la letra T y el tiempo entre dos impulsos, duración de la pausa. Los multivibradores que generan impulsos cuya duración t , es igual a la de las pausas entre ellos, se llaman simétricos. Por lo tanto, el multivibrador experimental que acabas de hacer es simétrico.

Sustituye los condensadores C_1 y C_2 por otros que tengan de 10 a 15 μF de capacidad cada uno. El multivibrador seguirá siendo simétrico, pero la frecuencia de las oscilaciones generadas habrá aumentado 3 ó 4 veces, hasta 60-80 por minuto o, lo que es lo mismo, hasta, aproximadamente, la frecuencia de 1 Hz.

Las agujas de los aparatos de medida apenas tendrán tiempo de seguir las variaciones de las corrientes y tensiones en los circuitos de los transistores. Y si los condensadores C1 y C2 ¿se sustituyen por otros de papel de 0,01 a 0,05 μF de capacidad? ¿Cómo se comportarán las agujas de los aparatos de medida? Una vez desviadas de los ceros de las escalas, permanecerán en sus sitios. ¿Se habrá cortado la generación? ¡No!, lo que ocurre es que la frecuencia de las oscilaciones del multivibrador ha aumentado hasta varios cientos de hertzios. Éstas son oscilaciones de la gama acústica, cuyas frecuencias no pueden ser registradas por aparatos para corriente continua. Se pueden poner de manifiesto valiéndose de un frecuencímetro o de unos auriculares conectados a través de un condensador de 0,01 a 0,05 μF de capacidad a cualquiera de las salidas del multivibrador o directamente al circuito colector de cualquiera de los transistores en vez del resistor de carga. En los auriculares se oye un sonido de tono bajo.

¿En qué principio se basa el funcionamiento del multivibrador? Retornemos al esquema de la Figura 197a. En el instante en que se conecta la alimentación, los transistores de los dos brazos del multivibrador se abren, ya que a sus bases llegan, a través de sus respectivos resistores R2 y R3, tensiones negativas de polarización. Al mismo tiempo empiezan a cargarse los condensadores de acoplamiento: el C1, a través de la unión emisora del transistor V2 y del resistor R1 y el C2, a través de la unión emisora del transistor V2 y del resistor R4. Estos circuitos de carga de los condensadores son divisores de la tensión de la fuente de alimentación y crean en las bases de los transistores (respecto de los emisores) tensiones negativas de valor cada vez mayor, que tienden a abrir cada vez más los transistores. La apertura de un transistor hace que disminuya la tensión negativa en su colector, lo que ocasiona la disminución de la tensión negativa en la base del otro y lo cierra. Este proceso transcurre al mismo tiempo en ambos transistores, pero se cierra solo uno de ellos, en cuya base la tensión positiva es mayor a causa de la diferencia de los factores de transferencia de corriente h_{21E} de los valores nominales de los resistores y de los condensadores. El segundo transistor permanece abierto. Pero estos estados de los transistores no son estables, ya que en sus circuitos continúan los procesos eléctricos.

Supongamos que al cabo de cierto tiempo de haberse conectado la alimentación está cerrado el transistor V2 y abierto el V1. Desde este instante el condensador C1 empieza a descargarse a través del transistor abierto V1, cuya sección emisor-colector ofrece poca resistencia en estas condiciones, y del resistor R2. A medida que se descarga el condensador C1, la tensión positiva en la base del transistor cerrado V2, disminuye. En cuanto el condensador se descarga por completo y la tensión en la base del transistor V2 se

aproxima a cero, en el circuito colector de este transistor, que ahora se abre, surge una corriente que, a través del condensador C2, actúa sobre la base del transistor V1 y hace que descienda en ella la tensión negativa. Como resultado, la corriente que pasa por el transistor V1 empieza a disminuir y la que pasa por el V2, al contrario, a aumentar. Esto conduce a que el transistor V1 se cierre y el V2 se abra. En estas condiciones empieza a descargarse el condensador C2, pero a través del transistor abierto V2 y del resistor R3, lo que al fin y al cabo hace que se abra el primer transistor y que se cierre el segundo y así sucesivamente. Los transistores interaccionan durante todo el tiempo y a esto se debe que el multivibrador genere oscilaciones eléctricas.

La frecuencia de las oscilaciones del multivibrador depende de la capacidad de los condensadores de acoplamiento, como ya has comprobado, y de la resistencia de los resistores de base, de lo que también puedes cerciorarte ahora mismo. Para ello prueba, por ejemplo, sustituir los resistores de base R2 y R3 por resistores de mayores resistencias. La frecuencia de las oscilaciones del multivibrador disminuirá. Y, al contrario, si sus resistencias fueron menores, la frecuencia de las oscilaciones aumentaría. Otro experimento: desconecta los terminales superiores (según el esquema) de los resistores R2 y R3 del conductor de signo menos de la fuente de alimentación, júntalo, y entre ellos y el conductor antedicho intercala como reóstato un resistor variable cuya resistencia sea de 30 a 50 kΩ. Girando el eje del resistor variable, podrás, dentro de unos límites muy amplios, variar la frecuencia de las oscilaciones del multivibrador.

La frecuencia de las oscilaciones de un multivibrador simétrico se puede calcular aproximadamente por la siguiente fórmula simplificada

$$f \approx 700/(RC)$$

en la que f es la frecuencia en hertzios; R, la resistencia de los resistores de base en kΩ, y C la capacidad de los condensadores de acoplamiento en microfaradios.

Aplicando esta fórmula simplificada, calcula la frecuencia de las oscilaciones que genera el multivibrador.

Retornemos a los datos iniciales de los resistores y condensadores del multivibrador experimental (según el esquema de la Figura 177a). El condensador C2 cámbialo por uno de 2-3 μF de capacidad. En el circuito colector del transistor V2 incluye un miliamperímetro y, observando su aguja, representa gráficamente las oscilaciones de corriente que genera el multivibrador. En estas condiciones en el circuito colector del transistor V2 se producirán impulsos más cortos

que antes (Figura 197c). La duración de estos impulsos t_i será, aproximadamente, tantas veces menor que las pausas entre ellos t_p como disminuya la capacidad del condensador C2 respecto a su capacidad anterior.

Ahora conecta el mismo miliamperímetro (u otro igual en el circuito colector del transistor V1. ¿Qué indica el aparato de medida? Los mismos impulsos de corriente, pero su duración es mucho mayor que las pausas entre ellos (Figura 197d)

¿Qué ha ocurrido? Que, al disminuir la capacidad del condensador C2, has alterado la simetría de los brazos del multivibrador y éste se ha convertido en asimétrico. Por eso las oscilaciones generadas por él también se han hecho asimétricas: en el circuito colector del transistor V1 la corriente se manifiesta en impulsos relativamente largos, y en el circuito colector del transistor V2, en impulsos cortos. De la "Salida 1" de este multivibrador se pueden tomar impulsos de tensión cortos, y de la "Salida 2", impulsos largos. Cambia provisionalmente de sitio entre sí los condensadores C1 y C2. En este caso los impulsos de tensión cortos serán los de la "Salida 2", y los largos, los de la "Salida 1".

Cuenta (valiéndole de un reloj con segundero) cuántos impulsos eléctricos por minuto genera esta variante de multivibrador. Serán alrededor de 80. Aumenta la capacidad del condensador C1 conectando en paralelo a él un segundo condensador electrolítico de 20 a 30 μF . La frecuencia con que se suceden los impulsos disminuirá. ¿Y si, por el contrario, se disminuye la capacidad del condensador? La frecuencia con que se suceden los impulsos deberá aumentar.

Hay, no obstante, otro procedimiento para regular la frecuencia con que se suceden los impulsos, Este consiste en variar la resistencia del resistor R2 disminuyendo la resistencia de este resistor (pero hasta 3-5 $\text{k}\Omega$ como mínimo, ya que de lo contrario el transistor V2 estará abierto durante todo el tiempo y el proceso autooscilatorio se interrumpirá) la frecuencia de seguimiento de los impulsos deberá aumentar, y aumentando su resistencia, al contrario deberá disminuir. Prueba prácticamente si ocurre así Para ello elige un resistor cuyo valor nominal sea tal que, con él, el número de impulsos por minuto sea exactamente igual a 60. La aguja del miliamperímetro oscilará en este caso con la frecuencia de 1 Hz. El multivibrador se habrá convertido en una especie de mecanismo de relojería, contador de segundos.

Si yo quisiera enumerar solamente dónde y cómo se utilizan los multivibradores autoosciladores simétricos y asimétricos, necesitaría para eso varias páginas.

Quizá no haya ni una sola rama de la radiotecnica, la electrónica, la automática y de las técnicas de impulsos o de cálculo en que estos generadores no se utilicen. En esta charla daré varios ejemplos de aplicación práctica de los mismos con miras a tu trabajo creador.

§. Multivibrador en los osciladores y conmutadores electrónicos

Timbre eléctrico. Un multivibrador puede utilizarse como timbre para vivienda, en sustitución del timbre eléctrico corriente. Para hacer este aparato puedes valerte del esquema de la Figura 198.

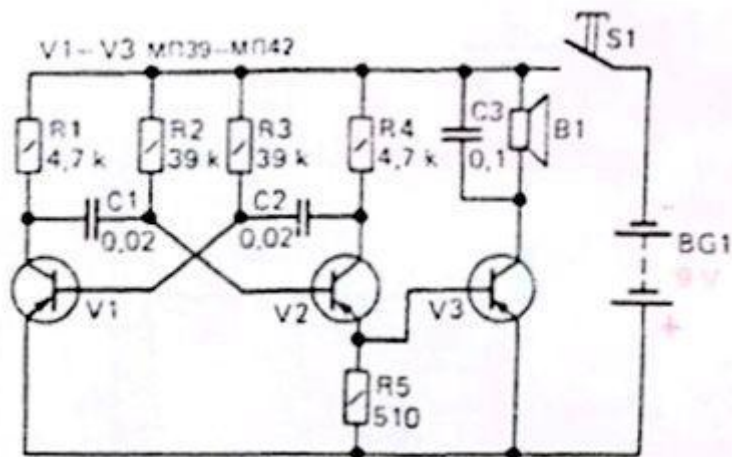


Figura 198. Timbre electrónico

Los transistores V1 y V2 funcionan en el multivibrador simétrico, generador de oscilaciones de aproximadamente 1000 Hz de frecuencia, y el transistor V3, en el amplificador de potencia de estas oscilaciones. Las oscilaciones amplificadas se transforman en el altavoz B1 en oscilaciones acústicas.

Si para el timbre se utiliza un altavoz, de la red de radiodifusión por hilo y se incluye el devanado primario de su transformador de transición en el circuito colector del transistor V3, en su caja puede caber toda la parte electrónica del timbre, montada en una placa, y la batería de alimentación.

Pon el timbre donde estimes más conveniente y únelo por medio de dos hilos conductores con el botón S1. Cuando aprietes este botón, el altavoz sonará y, cuando lo sueltes, dejará de sonar. Como la alimentación sólo se conecta durante las llamadas, dos baterías 3336Л acopladas en serie pueden durar varios meses.

Tono del sonido puedes regularlo a tu gusto cambiando los condensadores C1 y C2 por otros de distintas capacidades.

El multivibrador montado por este esquema se puede utilizar para aprender y entrenarse a recibir de oído las señales telegráficas en alfabeto Morse. En este caso hay que sustituir el bolón por un manipulador Morse.

Conmutador electrónico. Este aparato, cuyo esquema se da en la Figura 199, se puede emplear para conmutar dos guirnaldas de lámparas de un árbol de Navidad, que se alimenten de la red de corriente alterna.

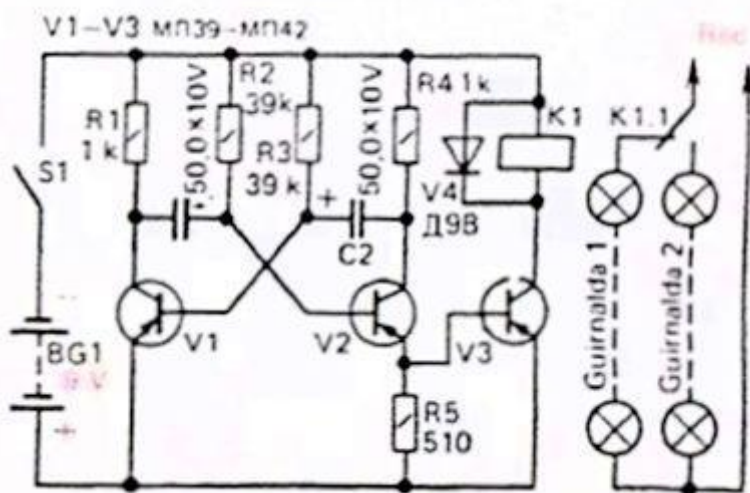


Figura 199. Conmutador electrónico

El conmutador electrónico mismo puede alimentarse de dos baterías 3336Л acopladas en serie o de un rectificador que proporcione a su salida una tensión continua de 9 a 12 V.

El esquema del conmutador es muy parecido al del timbre electrónico, pero las capacidades de los condensadores C1 y C2 del conmutador son muchas veces mayores que las de sus análogos del timbre. El multivibrador del conmutador, en el cual funcionan los transistores V1 y V2, genera oscilaciones de frecuencia aproximadamente igual a 0.4 Hz y la carga de su amplificador de potencia (transistor V3) es el devanado del relé electromagnético K1. Este relé tiene un par de placas de contacto que funcionan en régimen de conmutación. Para esto sirve, por ejemplo, el relé PЭC-10 (certificado técnico PC4.524.302) u otro relé electromagnético que accione con seguridad a 6-8 V de tensión con corriente de 20 a 50 mA.

Al conectar la alimentación, los transistores V1 y V2 del multivibrador se abren y se cierran alternativamente generando señales de forma rectangular. Cuando el transistor V2 está abierto, la tensión negativa de alimentación, a través del resistor R4 y de este transistor, pasa a la base del transistor V3 y lo satura. Con esto la resistencia de la

sección emisor-colector del transistor V3 disminuye hasta varios ohmios y casi toda la tensión de la fuente de alimentación se aplica al devanado del relé K1, el cual actúa y con sus contactos conecta a la red una de las guirnaldas. Cuando el transistor V2 está cerrado, el circuito de alimentación de la base del transistor V3 está abierto y él también cerrado, a través del devanado del relé no pasa corriente. En estas condiciones el relé suelta la armadura y sus contactos, conmutándose, conectan a la red la segunda guirnalda de lámparas del árbol de Navidad.

Si quieres variar el tiempo de conmutación de las guirnaldas, sustituye los condensadores C1 y C2 por otros cuyas capacidades sean distintas. Los datos de los resistores R2 y R3 deja que sigan siendo los mismos, de lo contrario, se alterará el régimen de funcionamiento de los transistores en corriente continua.

El amplificador de potencia, análogo al de transistor V3, se puede conectar también en el circuito emisor del transistor V1 del multivibrador. En este caso los relés electromagnéticos (incluso si están hechos por los mismos aficionados) pueden tener no grupos de contactos conmutables, sino normalmente abiertos o normalmente cerrados. Los contactos del relé de uno de los brazos del multivibrador cerrarán y abrirán periódicamente el circuito de alimentación de una de las guirnaldas, y los contactos del relé del otro brazo del multivibrador, el circuito de alimentación de la otra guirnalda.

El conmutador electrónico puede montarse sobre una placa de cartón baquelizado o de otro material aislante y, junto con la batería de alimentación, colocarlo en una caja de madera.

El conmutador no consume durante el funcionamiento más de 30 mA de corriente, por lo que la energía de dos baterías 3336Л es suficiente para todo el tiempo que duran las fiestas de Navidad y Año Nuevo.

Un conmutador análogo se puede utilizar para otros fines. Por ejemplo, para iluminar máscaras y atracciones. Figúrate que de madera contrachapada, se ha cortado y pintado la figura del héroe del cuento "El gato con botas". Detrás de sus ojos transparentes se han puesto dos lamparitas de linterna de bolsillo que un conmutador electrónico puede conectar y desconectar sucesivamente, y, en la misma figura, un botón. Si se aprieta el botón, el gato empieza a hacer guiños.

Y ¿acaso no se puede emplear el conmutador para electrificar algunos modelos, como el de un faro, por ejemplo? Claro que sí. En este caso en el circuito colector del transistor del amplificador de potencia, en

vez del relé electromagnético, se puede conectar una lámpara de incandescencia de pequeñas dimensiones, calculada para pequeña corriente de caldeo, la cual imitará los destellos del faro. Si el conmutador se completa con un interruptor basculante, por medio del cual se puedan conectar alternativamente al circuito colector del transistor de salida dos lámparas como la antedicha, el dispositivo puedes utilizarlo como indicador de virajes para tu bicicleta.

Metrónomo. Este aparato es una especie de reloj que, por sus señales acústicas, da la posibilidad de contar intervalos de tiempo iguales con una exactitud de hasta fracciones de segundo. Se utiliza, por ejemplo, para desarrollar el sentido del ritmo cuando se estudia música, durante los primeros entrenamientos de transmisión de señales por código telegráfico, etc.

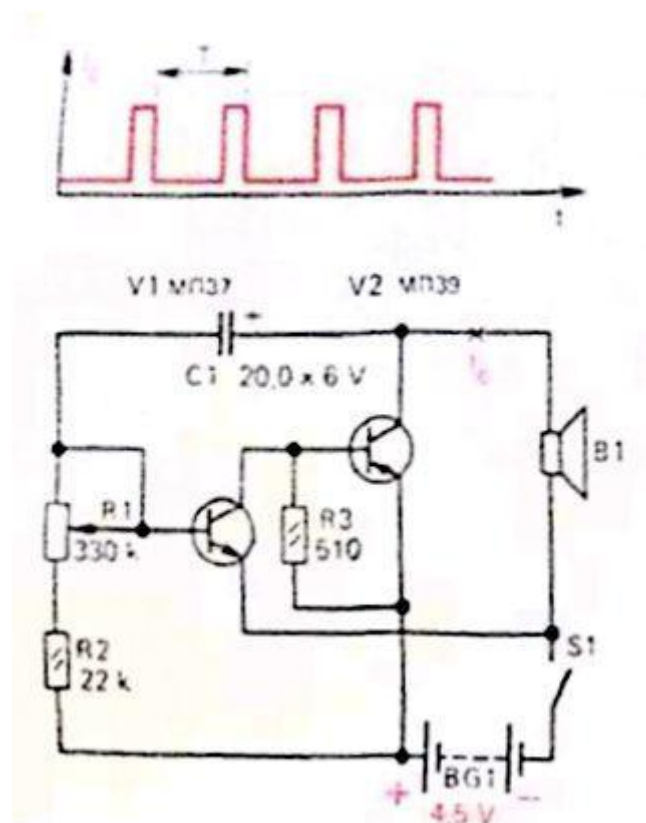


Figura 200. Metrónomo electrónico

El esquema de uno de estos aparatos puedes verlo en la Figura 200. También es un multivibrador, pero asimétrico. En él se utilizan transistores de estructura diferente: el $V1$ es $n-p-n$ (MН35 — MН38) y el $V2$, $p-n-p$ (MН-39 MН42). Esto permite disminuir el número total de elementos del multivibrador. Pero el principio de funcionamiento sigue siendo el mismo. La generación surge a expensas de la reacción positiva entre la salida y la entrada del amplificador bietápico de audiofrecuencia. El acoplamiento se efectúa por medio del condensador electrolítico $C1$. De carga del multivibrador sirve un

altavoz, dinámico de pequeñas dimensiones B1 con bobina vocal de 4 a 10 Ω de resistencia (o la cápsula de un auricular), el cual crea, con los cortos impulsos de corriente, sonidos parecidos a chasquidos. La frecuencia con que se suceden los impulsos se puede regular con el resistor variable R1 desde, aproximadamente, 20 hasta 300 impulsos por minuto. El resistor R2 limita la corriente de base del primer transistor cuando el contacto deslizante del resistor R1 se halla en la posición extrema inferior (según el esquema), correspondiente a la frecuencia máxima de las oscilaciones que pueden generarse.

El metrónomo puede alimentarse de una batería 3336Л o de tres pilas 332 acopladas en serie. La corriente de la batería que consume el aparato no supera 10 mA.

El resistor variable R1 debe tener una escala graduada con ayuda de un metrónomo mecánico. Valiéndose de ella, un simple giro del botón del resistor será suficiente para establecer la frecuencia necesaria de las señales acústicas del metrónomo.

§. Multivibrador en juguetes radiotécnicos

Los radiotécnicos (no sólo jóvenes) utilizan mucho los multivibradores en diversos juegos y juguetes, atracciones, objetos para regalo, etc. Una prueba evidente de esto son, en particular, las muestras, hechas por escolares, que se exhiben en las exposiciones de obras de aficionados a la radio. Junto a ellas, por lo general, siempre hay mucha gente. De algunas de estas simpáticas muestras, que tú puedes repetir, quiero hablarte ahora.

"El perrito ofendido". En la Figura 201a, por la puerta de una perrera de madera asoma el hocico un chucho. Cerca hay una escudilla con un hueso. Si se coge la escudilla, el perro empieza a gruñir. Tiene gracia, ¿verdad?

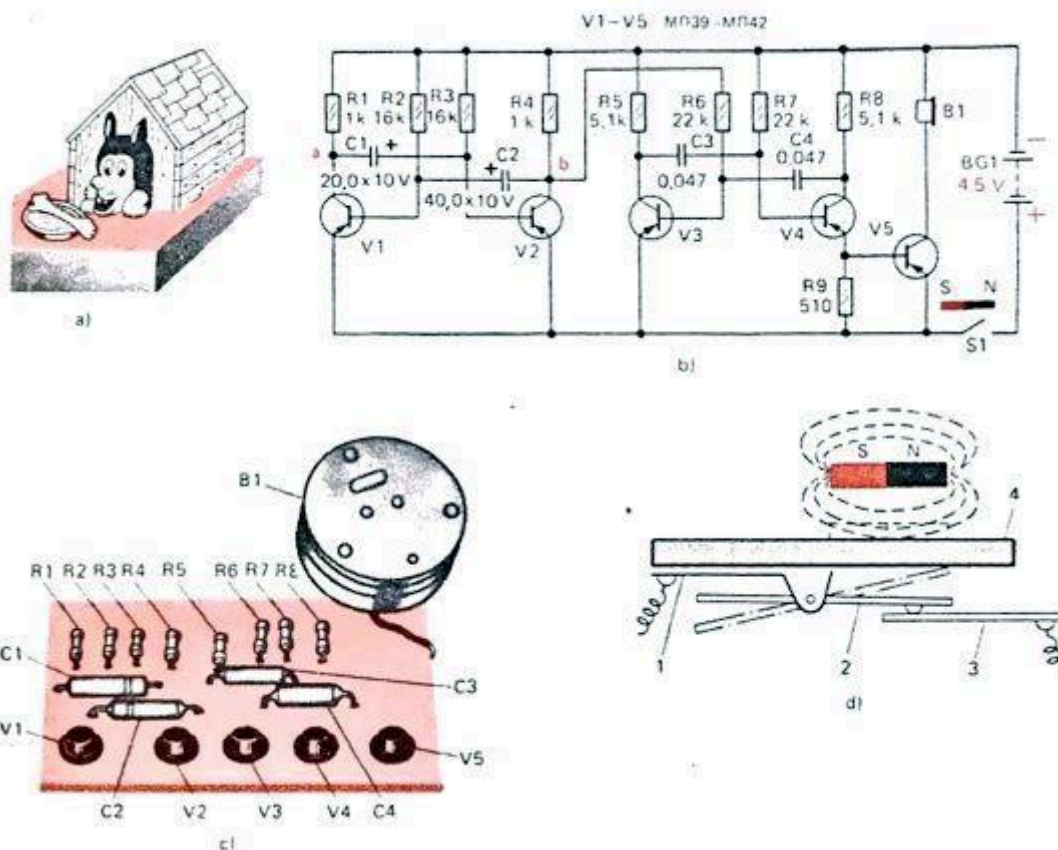


Figura 201. Vista exterior (a): esquema básico (b): placa de montaje (c): y estructura del conmutador magnético (d) del juguete "El perrito ofendido"

El "relleno" electrónico de este juguete (Figura 201b) forman dos multivibradores relacionados entre sí y una cápsula de auricular B1 (HДЭМ-4М). El multivibrador cuyos transistores son V3 y V4 genera oscilaciones de frecuencia acústica, y el multivibrador cuyos transistores son V1 y V2 conecta (cuando el transistor V2 está cerrado) y desconecta (cuando dicho transistor está abierto) periódicamente el primer multivibrador, lo cual es necesario para imitar la voz del perrito ofendido. El transistor V5 amplifica las oscilaciones de frecuencia acústica, que el auricular transforma en sonido. También puede servir de carga a este transistor un altavoz de poca potencia intercalado en el circuito colector a través de un transformador de salida de pequeñas dimensiones. De fuente de alimentación sirve una batería 3336Л (4.5 V) o dos acopladas en serie (9 V)

Para este juguete puedes emplear cualesquiera transistores de poca potencia y baja frecuencia incluso con pequeño factor de transferencia de corriente h_{21E} , resistores y condensadores de tipos cualesquiera y valores nominales próximos a los que se indican en el esquema.

Empieza la comprobación del funcionamiento del aparato por el multivibrador derecho (según el esquema) con el amplificador, uniendo el terminal superior del resistor R6 directamente con el conductor de signo menos del circuito de alimentación y conectando la batería sin pasar por el interruptor S1. Si los elementos están en buenas condiciones y durante el montaje no se han cometido errores, en el auricular (o altavoz) se oirá un sonido monótono continuo. Si no se oye, es señal de que al montar el multivibrador se han cometido errores o de que hay en el elementos estropeados. El funcionamiento de los transistores V1 y V4 solo se puede comprobar conectando en paralelo con el resistor R8 unos auriculares de gran resistencia óhmica. Si éstos suenan, el defecto hay que buscarlo solamente en la etapa del transistor V5.

El tono del sonido variálo a tu gusto eligiendo experimentalmente los condensadores C3 y C4

Cuando te hayas cerciorado de que el multivibrador funciona bien, restablece la unión del resistor R6 con el circuito colector del transistor V2 (en el esquema, el punto b) del segundo multivibrador. Este resistor se puede conectar también al colector del transistor V1 ten el esquema, punto a). Un este caso la relación entre las pausas en el sonido del auricular debe variar

El secreto del juguete es el interruptor magnético S1 de la alimentación. Su estructura se muestra en la Figura 201d. En la abrazadera de hojalata 1 se apoya la lamina 2, la cual, por gravedad, descansa sobre el contado 3 del interruptor. El extremo derecho de la lámina 2 se levanta con facilidad por la acción del campo de un imán permanente y abre el circuito de alimentación del multivibrador. Si se retira el imán, la lámina cae sobre el contacto, cierra el circuito de alimentación y el perrito gruñe.

Los elementos del interruptor mismo se encuentran delante del hocico del chuchó, tapados por un delgado cartón baquelizado 4. El imán se disimula en la escudilla. El extremo izquierdo de la lámina 2 sirve de contrapeso y facilita el trabajo del imán. Para que el rozamiento sea menor, esta lámina de cierre descansa libremente sobre la clavija de la abrazadera, sin tener enlace mecánico con ella.

Como interruptor de la alimentación pueden utilizarse unos contactos hermetizados, que se cierran por la acción del campo magnético. Dichos contactos deben ser del tipo de conmutador. Su empleo contribuye a acrecentar la "reacción" del perrito.

La pata con los patitos. Sobre un soporte, cuyo tablero superior de plástico imita la superficie del agua, parecen nadar en fila y llamarse

unos a otros una pata y unos patitos (Figura 202). La voz de la pata es ruda. La de los patitos, tierna.

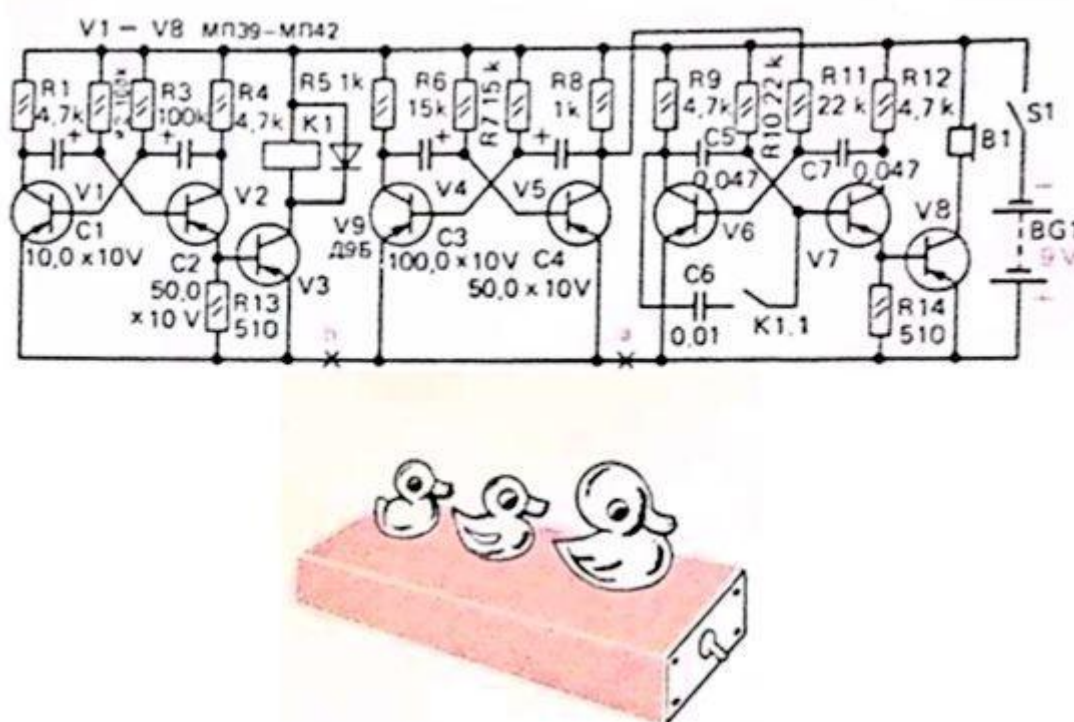


Figura 202. Vista exterior y esquema básico de "La pata con los patitos"

Este juguete tiene tres multivibradores mutuamente relacionados. El multivibrador simétrico con los transistores V6 y V7, que genera oscilaciones de 800 a 1000 Hz de frecuencia es el principal. El multivibrador con los transistores V4 y V5 es asimétrico. Generando impulsos cortos con pausas de 2 a 2,5 s de duración, este multivibrador hace las veces de interruptor electrónico de mando del funcionamiento del multivibrador principal. Esto se efectúa del modo siguiente. Durante las pausas, cuando el transistor V5 está cerrado y la resistencia de su sección emisor-colector es grande, el terminal superior (según el esquema) del resistor R11 del circuito de base del transistor V6, a través del resistor R8, está unido con el conductor de signo menos de la fuente de alimentación. Durante estos intervalos de tiempo el multivibrador principal genera oscilaciones de frecuencia acústica, que son amplificadas por el transistor V8 y transformadas por el auricular B1 en oscilaciones sonoras. Pero durante los cortos impulsos, cuando el transistor V5 se abre, el resistor R11, a través de la poca resistencia del transistor abierto resulta estar unido al conductor de signo más de la fuente de alimentación y la generación por el multivibrador principal se corta. Como resultado el sonido se interrumpe con la frecuencia en que se suceden los impulsos del segundo multivibrador.

El tercer multivibrador, en el cual funcionan los transistores V1 y V2, genera impulsos relativamente largos (de 4 a 5 s) con pausas relativamente cortas entre ellos. Cuando llegan los impulsos, el relé electromagnético K1, conectado al circuito colector del transistor V3, actúa, sus contactos K1.1 se cierran y conectan, en paralelo al condensador C5, el condensador C6. Como resultado el multivibrador principal se convierte en asimétrico, el tono del sonido intermitente en el auricular B1 (cápsula ДЭМ-4М), intercalado en el circuito colector del transistor V8, varía, y con esto se consigue imitar las voces de la pata y de los patitos.

De fuente de alimentación del juguete pueden servir dos baterías 3336Л conectadas en serie, una batería "Krona" o una batería de acumuladores 7Д-0.1. El relé electromagnético debe ser de dimensiones pequeñas y accionar con una tensión de 6-8 V. El factor h_{21E} de los transistores no tiene prácticamente gran importancia y puede encontrarse entre los límites de 15 a 80.

El reglaje del juguete se reduce a comprobar el funcionamiento de los multivibradores. Para comprobar el multivibrador principal, desconecta provisionalmente los otros dos, corlando, por ejemplo, el conductor de signo más del circuito de alimentación en el punto a (ve el esquema). En estas condiciones el sonido debe ser continuo. Si el punto de unión de los resistores R11 y R8 se une con el conductor común puesto a tierra, el sonido debe desaparecer. Después, desconectando sólo el tercer multivibrador (corta provisionalmente el conductor común en el punto b), comprueba el funcionamiento conjunto de los dos primeros multivibradores. Ahora el sonido debe ser intermitente, y si se conecta el tercer multivibrador, parecido al parpar de los patos.

"El gato goloso". Sobre un pequeño soporte, con la cabeza un poco inclinada, está sentado un gato blanco con lazo en el cuello (Figura 203).

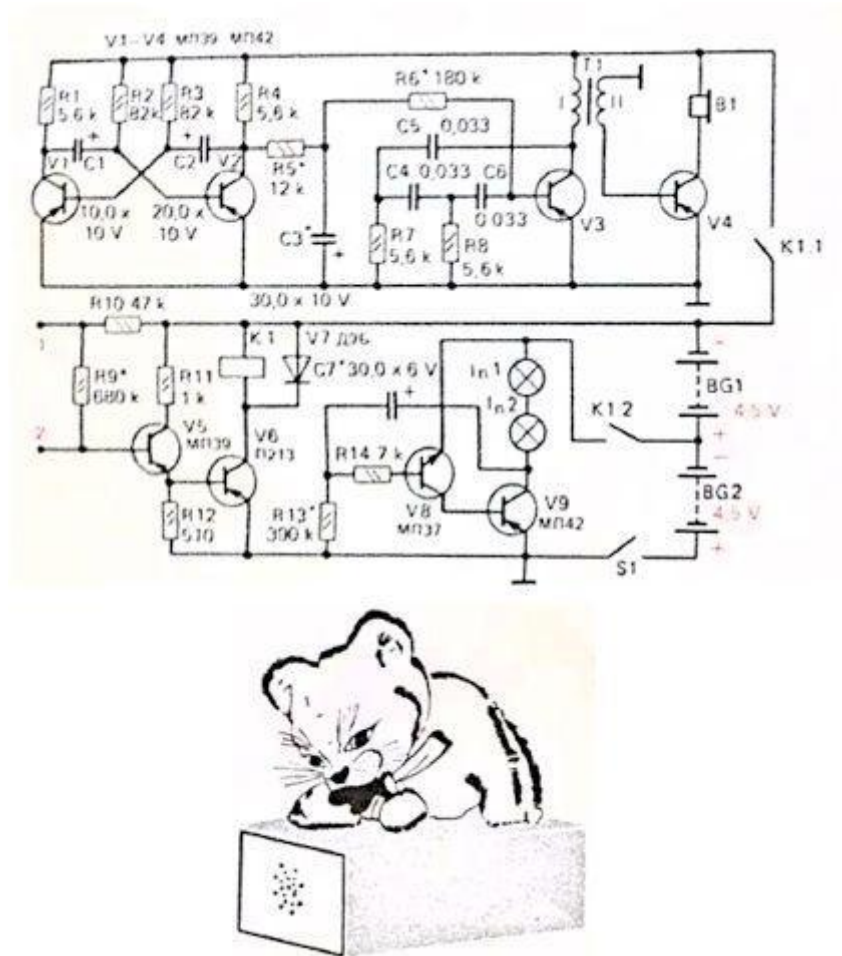


Figura 203. Esquema básico y vista exterior de "Un gato goloso"

Si a su nariz se aproxima un trocito de carne cocida, de embutido o de queso, el gato empieza a maullar, como si pidiera la golosina, y sus ojos brillan.

La parte electrónica de este juguete consta de tres bloques: uno, generador "miau", con los transistores V1-V4, otro, amplificador de corriente, con los transistores V5 y V6 y el tercero, generador de impulsos luminosos, con los transistores V7 y V8, que imita los destellos de los ojos. El generador "miau" consta a su vez de un multivibrador, con los transistores V1 y V2, que genera oscilaciones con un período de 3 s aproximadamente, y de un generador RC, con el transistor V3, que genera oscilaciones de frecuencia acústica de 800 Hz aproximadamente. El generador RC se excita y crea con la frecuencia del primer generador paquetes de oscilaciones de frecuencia acústica que se suceden unos a otros aumentando suavemente en amplitud y extinguiéndose inmediatamente. Estas oscilaciones son amplificadas por el transistor V4 y transformadas por el auricular B1 (cápsula ДЭМ-4М) en oscilaciones sonoras que se perciben como el sonido que hace el gato que maúlla. El generador

"miau" empieza a funcionar cuando los contactos K1.1 del relé electromagnético K1 conectan la alimentación.

El generador de impulsos luminosos es un multivibrador asimétrico con transistores de estructuras diferentes (el V8 es *n-p-n* y el V9, *p-n-p*) que genera oscilaciones cuyo periodo es de aproximadamente 3 s. Al cabo de estos intervalos de tiempo se encienden y apagan las lamparitas In1 y In2 (ojos del gato), que son la carga del transistor V9. Este generador se conecta cuando se cierran los contactos K1.2 del mismo relé K1.

El secreto del juguete está en los contactos 1 y 2 a la entrada del amplificador de corriente, en el cual funcionan los transistores V5 y V6. Estos contactos son trozos de alambre delgado sin aislamiento, disimulados cuidadosamente en los morros del gato. Cuando éstos se cierran con el trozo de carne (lo mismo se conseguiría, claro está, con un pedacito de algodón empapado en agua salada), la resistencia de esta "golosina" shunta el resistor R9 y eleva bruscamente la tensión negativa en la base del transistor V5. La corriente de base, que en este caso aumenta, es amplificada por los transistores V5 y V6, como resultado de lo cual actúa el relé K1, que con sus contactos K1.1 cierra el circuito de alimentación del generador "miau", y con los K1.2 el circuito de alimentación del generador de impulsos luminosos. El resistor R10 limita las corrientes de los circuitos de base de los transistores V5 y V6 cuando los contactos 1 y 2 se cierran casualmente.

Los bloques del juguete se montan en una caja-soporte hecha de madera contrachapada. La cápsula ПЭМ-4М (B1) se encuentra detrás de los orificios tapizados que hay en la pared delantera del soporte. Las lamparitas In1 y In2 (ojos) están calculadas para la tensión de 1 V y la corriente de caldeo de 75 mA; los contactos 1 y 2 "olfateadores" se montan en la cabeza del gato y se unen con el generador de impulsos luminosos y con la entrada del amplificador de corriente por medio de trozos de conductor multifilar aislado.

El transformador T1 del generador "miau" es el transformador interetápico de un receptor de transistores. El relé K1 debe accionar con una tensión de la fuente de alimentación de 6-8 V. El factor h_{21E} de los transistores puede ser de 30 a 60.

El bloque de alimentación del juguete lo forman dos baterías BG1 y BG2 (3336Л) acopladas en serie. El generador de impulsos luminosos se alimenta de una batería BG2.

El aumento y la disminución del sonido del generador "miau" lo determinan las resistencias de los resistores R5, R6 y la capacidad del condensador C3 y la altura y el timbre del sonido, las capacidades de

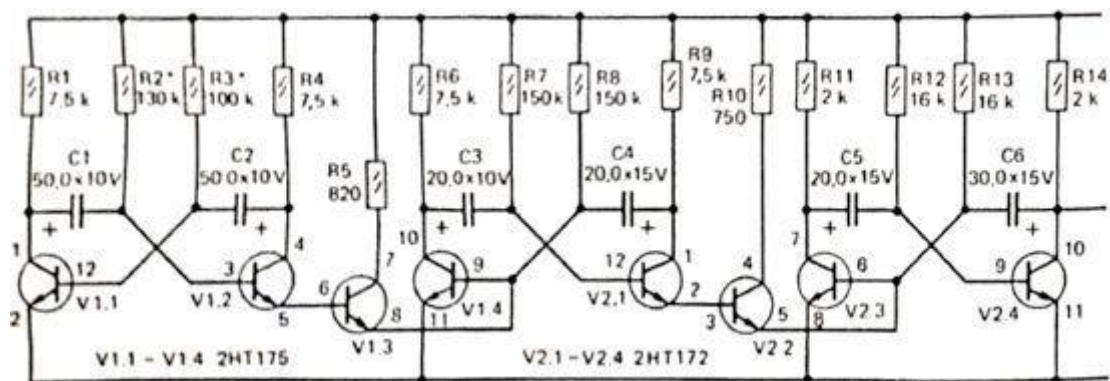
los condensadores C4, C6 y las resistencias de los resistores R7 y R8. La frecuencia de los destellos de los ojos, que concuerda con la de las señales acústicas del juguete, se puede establecer eligiendo experimentalmente el resistor R13 y el condensador C7.

La resistencia del resistor R9 en el circuito de base del transistor V5 debe ser tal que, cuando los contactos 1 y 2 estén abiertos, la corriente colectora de reposo del transistor V6 sea algo menor que la corriente de desconexión del relé K1. Pero, en general, de este resistor se puede prescindir.

En el generador de impulsos luminosos se pueden utilizar también lamparitas de incandescencia de linterna de bolsillo ($3.5\text{ V} \times 0.26\text{ A}$) y alimentarlo, lo mismo que al generador "miau", de la batería de 9 V. En este caso el relé K1 puede ser de un solo grupo de contactos normalmente abiertos, los cuales conectarían al mismo tiempo los dos generadores. Siendo así, en la segunda etapa del amplificador es conveniente utilizar un transistor МП42, y en el generador de impulsos luminosos, un transistor ПТ402 (o cualquier otro de potencia media o grande y estructura *p-n-p*).

§. Autómata musical "ruiseñor"

En las exposiciones de trabajos de jóvenes radiotécnicos, junto a los juguetes electrónicos que imitan las voces de animales y pájaros se reúne siempre mucho público. Desde el punto de vista técnico los que despiertan mayor interés, a mi parecer, son los llamados "ruiseñores".



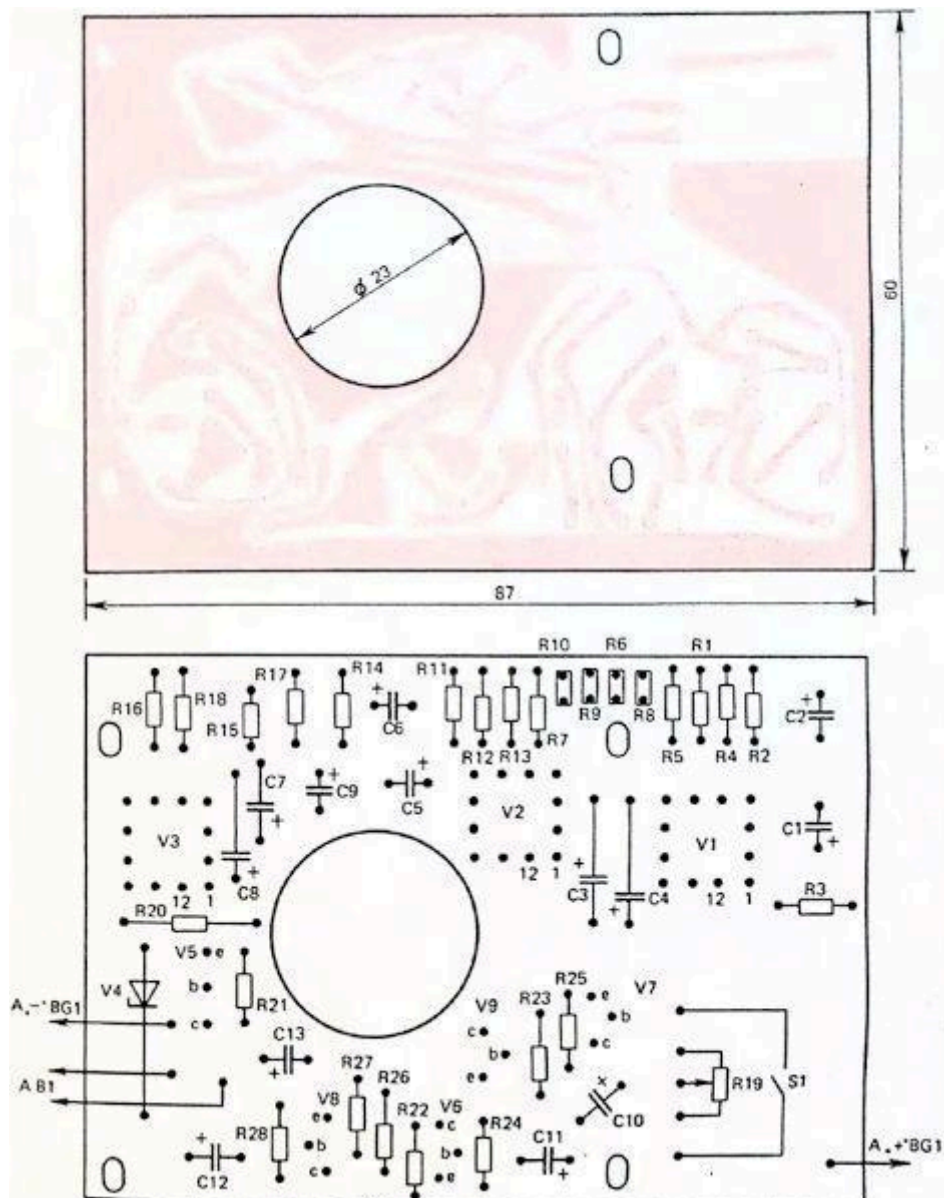


Figura 204. Esquema básico del "ruiseñor" electrónico (cortado en dos)

El esquema básico de uno de estos autómatas musicales, que imita el trino del ruiseñor, se da en la Figura 204. A primera vista puede parecer muy complicado, porque tiene 16 transistores. Pero cuando se observa detenidamente el esquema, esta primera impresión se desvanece, ya que en él lo conoces todo. Además, muchos de los transistores que se emplean pueden tener un factor h_{21E} de sólo 15-20. Además es fácil de reglar y con un montaje compacto puede caber en la caja de un receptor de transistores de dimensiones pequeñas.

La base de este autómata la constituyen cuatro multivibradores del mismo tipo mutuamente enlazados entre si y un amplificador de frecuencia acústica con potencia de salida de aproximadamente, 150

mW. El dispositivo automático se alimenta de una batería de 9 V de tensión ("Krona". 7Д-0.1 o dos baterías 3336Л acopladas en serie) o de un rectificador. La corriente media que consume de la fuente de alimentación, con el volumen máximo de sonido, no llega a 50 mA.

La particularidad característica de este dispositivo electrónico, que lo diferencia de "La pata con los patitos" y de "El gato goloso", es que los multivibradores no se conectan y conmutan con un relé electromagnético, sino por medio de transistores. Además, en los multivibradores funcionan tres conjuntos de transistores 2И7НТ2 (2HT172). En las cajas metalovítreas de cada uno de estos conjuntos hay tres transistores n-p-n de silicio con terminales independientes, que pueden funcionar como elementos activos separados. En el esquema básico los transistores de cada conjunto se diferencian únicamente por la numeración de sus terminales.

Mi explicación del funcionamiento del ruiseñor electrónico la empezare por el amplificador de audiofrecuencia que asegura el sonido, suficientemente intenso, de su "trino". Como puedes ver, este amplificador es semejante al de audiofrecuencia del tocadiscos (ve la Figura 151) y la del receptor portátil (ve la Figura 164) La señal "ruiseñor", tomada del resistor variable R19 pasa a través del condensador C10 a la base del transistor V6 de la etapa de preamplificación de tensión, y de su resistor de carga R25, directamente a la base del transistor V7 de la etapa de inversión de fase. Luego la potencia de la señal se amplifica en la etapa simétrica con los transistores V8 y V9 y el altavoz B1 la transforma en oscilaciones sonoras que imitan la voz del ruiseñor.

El multivibrador con los transistores V3.1 y V3.2 del conjunto V3, que llamaremos primero, genera oscilaciones de aproximadamente 5 kHz de frecuencia, correspondientes al sonido de tono alto. Tras su amplificación por el transistor V3.3, del mismo conjunto, y por el amplificador trietápico de audiofrecuencia, dichas oscilaciones determinan el matiz del timbre característico del trino del ruiseñor.

El funcionamiento del primer multivibrador lo manda el segundo, con los transistores V2.3 y V2.4 del conjunto V2, que genera oscilaciones de 5 Hz de frecuencia. Cuando el transistor V2.4 está cerrado, el primer multivibrador funciona. En cuanto el transistor V2.4 se abre y, a través de su pequeña resistencia y del resistor R15, la base del transistor V3.2 resulta unida con el conductor común del circuito de alimentación, el primer multivibrador no funciona. Como resultado, el altavoz dinámico reproduce una señal parecida al frecuente "chasquear" característico del canto del ruiseñor.

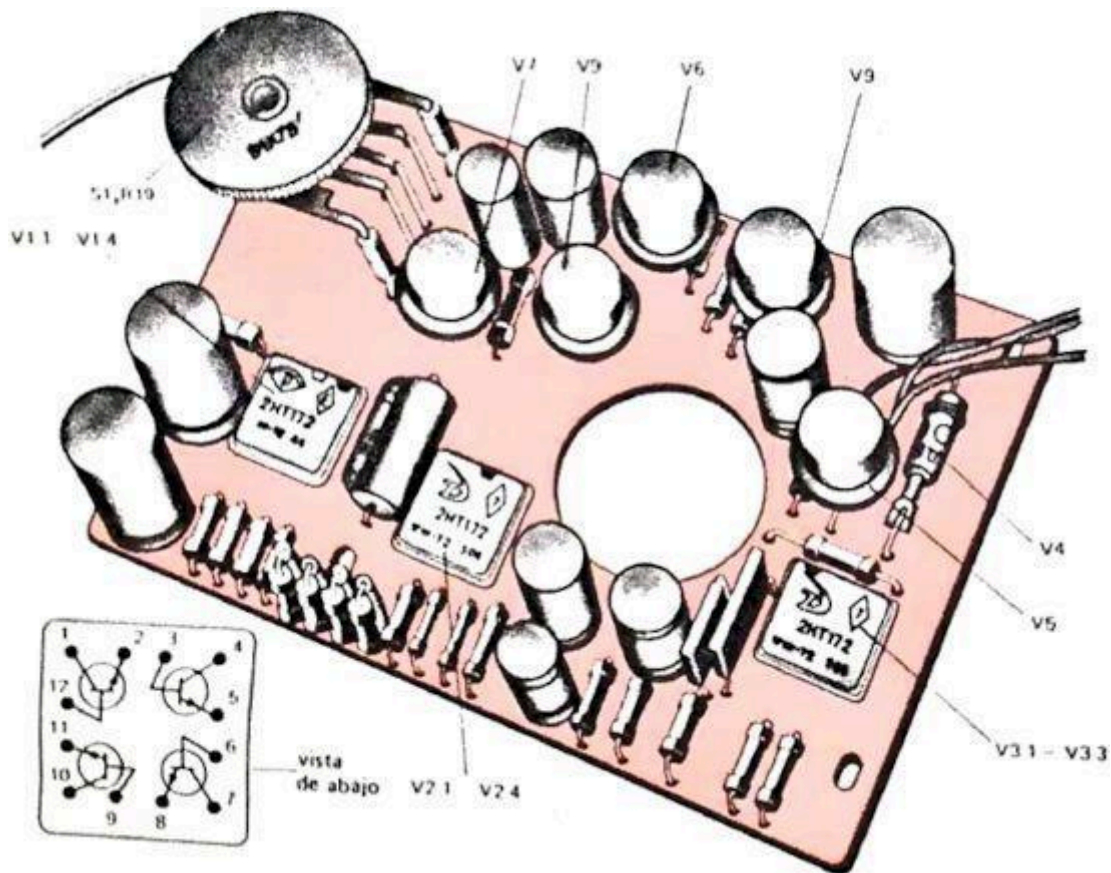


Figura 205. Vista de la placa de montaje del dispositivo automático

El funcionamiento del segundo multivibrador lo manda el tercero, al que sirven de base los transistores V1.4 y V2.1, de los conjuntos V1 y V2. Generando oscilaciones de aproximadamente, 1 Hz de frecuencia, este multivibrador interrumpe con esta misma frecuencia la generación por el segundo multivibrador. Cuando el transistor V2.1 está cerrado, la corriente de base del transistor V2.2 es insuficiente, por lo que éste también está cerrado y no influye en el trabajo del segundo multivibrador.

A su vez, el tercer multivibrador es controlado por el cuarto, basado en los transistores V1.1 y V1.2, el cual genera impulsos de corriente con periodo de sucesión de 6-8 s. Los transistores V1.3 y V2.2 amplifican los impulsos de corriente de mando de los multivibradores. De este modo, los multivibradores forman el trino completo del ruiseñor, empezando por el silbo chasqueado individual, que pasa a ser más frecuente, y termina en rápidas modulaciones.

La tensión de alimentación que llega a los transistores de los multivibradores se estabiliza con el diodo estabilizador de tensión V4 y el transistor V5. Sin la estabilización de tensión el canto del ruiseñor variaría al disminuir la tensión de la fuente de alimentación.

El aspecto exterior de la placa de montaje de este juguete y el orden en que están dispuestos los terminales de los transistores de los conjuntos 217HT2 se muestra en la Figura 205, y la placa con los circuitos impresos, de textolita, recubierta de hoja metálica de 1.5 mm de espesor, y el esquema de la conexión de los elementos en ella, en la Figura 206.

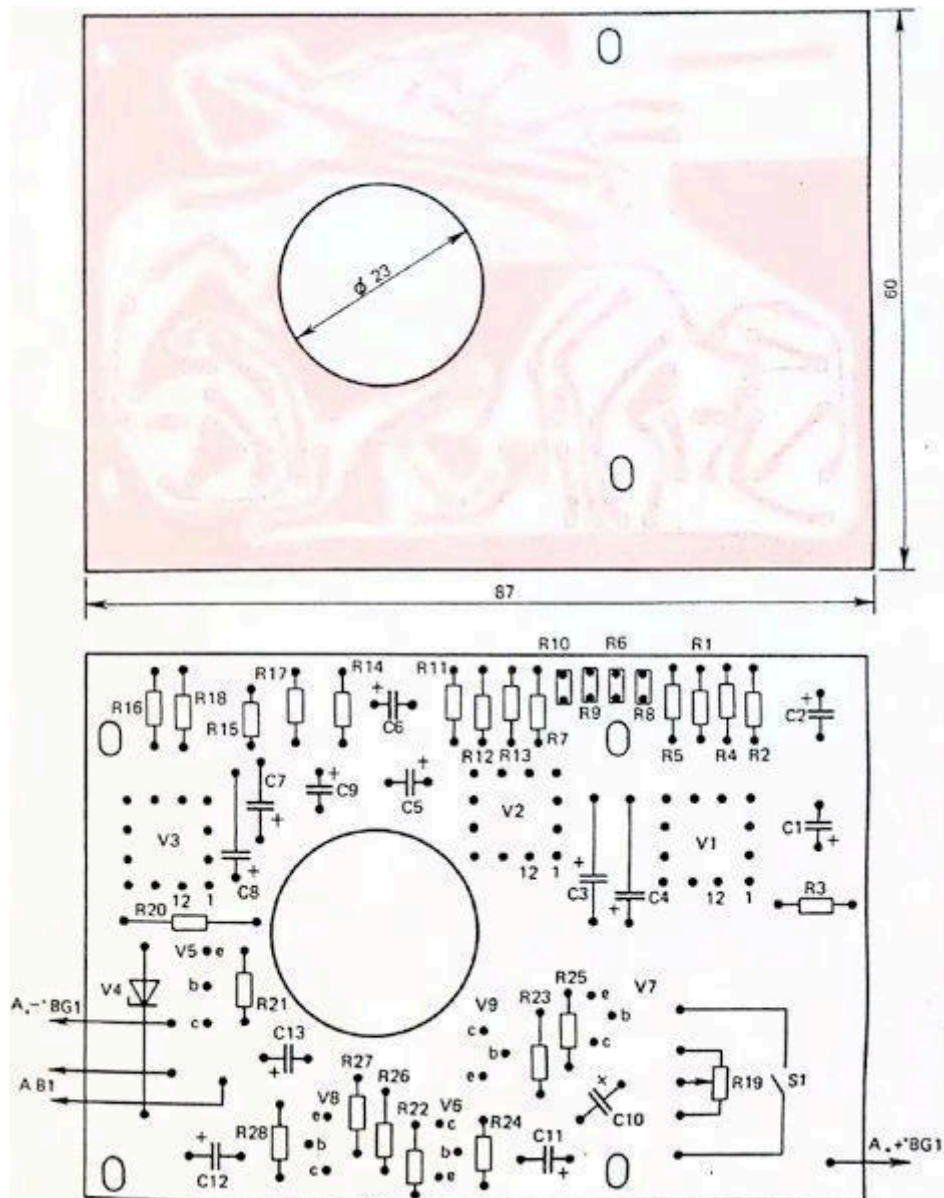


Figura 206. Placa con circuito impreso (vista por la cara de los conductores de corriente) y esquema de las conexiones de los elementos en ella.

Las dimensiones de la placa se han elegido teniendo en cuenta que ella, junto con la batería "Krona" o 7Д-0,1, quepa en la caja de un radorreceptor de bolsillo. La abertura circular en la parte central de la placa es para el sistema magnético del altavoz de pequeñas dimensiones de 0.1 a 0.2 W de potencia, el cual se sujeta al panel

frontal de la caja, y los cuatro orificios ovalados son para los tornillos de sujeción de dicha placa a la caja. Todos los resistores son del tipo МЛТ-0,125 (también pueden ser МЛТ-0,25), los condensadores electrolíticos, К50-6, el resistor variable R19 con el interruptor de la alimentación S1, СП3-3В. Los resistores R6, R7, R9 y R10 se montan en posición vertical. Uno de los transistores del conjunto V3 (cuyos terminales son los 9-11 no se utiliza.

En el amplificador de audiofrecuencia y en el estabilizador de tensión se pueden utilizar transistores de las series МП39 МП42 (V6, V9, V5), МП37 ó МП38 (V7, V8) y el diodo estabilizador de tensión, Д14А (V4). Los conjuntos de transistores 2И7НТ2 se pueden sustituir sin cambiar el esquema ni la estructura por los 217НТ1, 217НТ3 o por el 243НТ 1-3. En general, en vez de los conjuntos de transistores indicados, en el dispositivo automático musical, se pueden emplear transistores n-p-n de silicio, de las series КТ315, КТ312 con cualquier índice literal. Pero en este caso las dimensiones de la placa de montaje hay que aumentarlas y además, modificar el esquema de los conductores impresos correspondientes a los multivibradores del "ruiseñor". El montaje también puede ser colgante {si no dispones de material recubierto de hoja metálica o de cloruro férrico para atacar químicamente la placa) y otra la estructura, dependiendo todo de los elementos de que dispongas y de cómo pienses utilizar este juguete musical. En este caso el altavoz dinámico también puede ser más potente, de 1 a 2,5 W, con lo que el sonido del "ruiseñor" será más intenso.

Cómo se ajusta el amplificador de audiofrecuencia ya lo sabes por los amplificadores sin transformadores con etapa simétrica de salida que antes has construido. El ajuste se reduce a escoger el resistor R28 de manera que en los emisores de los transistores V8 y V9 de la etapa de salida sea la tensión igual a la mitad de la tensión de la fuente de alimentación. La calidad del funcionamiento del amplificador en conjunto se puede comprobar reproduciendo una grabación fonográfica, para lo cual hay que conectar el fonocaptor en paralelo con el resistor R22.

El reglaje de la parte básica del "ruiseñor" consiste en comprobar el funcionamiento de los multivibradores y en corregir su trino. Esto se hace variando las frecuencias de los impulsos generados por los multivibradores, escogiendo los condensadores que intervienen en ellos, y el multivibrador con los transistores V1.1 y V1.2 eligiendo experimentalmente los resistores R2 y R3 de sus circuitos de base. Para controlar el funcionamiento de los multivibradores utiliza un voltímetro de corriente continua con resistencia relativa de entrada no menor de 10 k Ω /V, por ejemplo, el voltímetro de tu multiampervoltímetro o el voltímetro de transistores (del que te hablaré en la charla siguiente). Por la desviación de la aguja del

voltímetro del cero de la escala se puede juzgar aproximadamente el periodo y la duración de los impulsos que generan los multivibradores.

Antes de conectar la alimentación, une en la placa de montaje, con tres puentes provisionales de alambre, la base y el emisor del transistor V2.4, los emisores de los transistores V1.4 y V2.1, y los emisores de los transistores V1.1 y V1.2. Si el multivibrador con los transistores V3.1 y V3.2 está en buen estado, el altavoz dinámico B1 debe reproducir la señal sonora de tono alto correspondiente a la frecuencia de 4 a 5 kHz.

Si esto es así, quita el primer puente de alambre, que une los terminales 9 y 11 del conjunto V2 y prueba el multivibrador cuyos transistores son el V2.3 y el V2.4. Si está en buenas condiciones, el sonido del tono fundamental se hace intermitente con una frecuencia de, aproximadamente. 5 Hz. En este caso la aguja de voltímetro, conectado al colector del transistor V2.4 (terminal 10 del conjunto V2), deberá desviarse cinco veces por segundo del cero de la escala.

Luego quita el segundo puente de alambre (que une el terminal 11 del conjunto V1 con el terminal 2 del conjunto V2) y comprueba cómo funciona el multivibrador con los transistores V1.4 y V2.1. Conecta el voltímetro al colector del transistor V1.4 (terminal 10 del conjunto V1) y escogiendo los condensadores C3 y C4 consigue que el periodo de sucesión de los impulsos positivos sea aproximadamente de 1 s y la duración de los impulsos, de 0.3 s. En estas condiciones el altavoz debe emitir cada segundo un sonido parecido al cloqueo de la gallina: "cu-cu-cudá-a", "cu-cu-cudá-a", etc.

Comprueba después el multivibrador con los transistores V1.1 y V1.2, para lo cual conecta el voltímetro en el colector de transistor V1.1 (terminal 1 del conjunto V1). Escogiendo las resistencias de los resistores R2, R3 y las capacidades de los condensadores C1, C2, procura que el periodo de sucesión de los impulsos positivos sea de 6 a 8 s y la duración del impulso, de 2,5 a 3 s. Logrado esto, quita el tercer puente de alambre (que une los terminales 2 y 5 del conjunto V1) y si es necesario, corrige definitivamente el tono fundamental del trino eligiendo experimentalmente los condensadores C7 y C8. La resistencia del resistor R2 debe ser de 120 a 130 k Ω , y la del R3, de 91 a 100 k Ω .

El resistor R20, que con el resistor variable R19 forma la carga del transistor V3.3, elígelo de acuerdo con el altavoz que utilices. La resistencia debe ser tal que, con la intensidad máxima del sonido del altavoz, cuando el contacto deslizante del resistor 19 se encuentre en la posición inferior (según el esquema), el amplificador de

audiofrecuencia no se recargue y los transistores de salida V8 y V9 no se calienten.

¿Qué modificaciones pueden introducirse en este autómata electrónico? Además de la sustitución de los conjuntos de transistores (de que ya he hablado), se puede simplificar excluyendo el amplificador de audiofrecuencia. Para eso, en el circuito colector del transistor V3.3, en vez de los resistores R19 y R20, hay que conectar una cápsula de teléfono ДЭМ-4М o uno de los radiadores de unos auriculares. Pero, en este caso, la intensidad del canto disminuirá considerablemente.

Si piensas regalar este juguete musical a tu hermana o hermano o a un compañero de colegio, tendrás que pensar cómo acabarlo exteriormente. Las variantes pueden ser muchas. Por ejemplo, lo puedes presentar como una caja de música, de la cual, al abrir la tapa (en cuyo momento se cerrarán los contactos disimulados de conexión de la alimentación), empezarán a salir los trinos del "ruiseñor".

El ruiseñor puede utilizarse también como timbre de puerta, conectándolo por medio de un relé de tiempo, como el que en la charla decimocuarta (ve la Figura 181) te sirvió para hacer experimentos. El tiempo durante el cual cantará el "ruiseñor" dependerá de la capacidad del condensador de predeterminación del tiempo de acción de dicho relé. Para este uso conviene que el dispositivo se alimente de la red de corriente alterna a través de un rectificador con estabilizador de tensión de salida.

En esta charla te he dado a conocer únicamente el principio básico del funcionamiento y algunos tipos de aplicaciones de los multivibradores. En cuanto a su composición y montaje de los elementos, dimensiones y acabado exterior de las construcciones, creo que son cosas que ya puedes resolver sin mi ayuda. Ya no eres un principiante. Has resuelto problemas más difíciles.

Charla 17

Primer encuentro con los microcircuitos integrales

Contenido:

§. Microcircuitos analógicos de las series K118 y K122

§. Amplificador de audiofrecuencias de potencia elevada con un microcircuito

§. Elementos lógicos

* * * *

Hasta aquí hemos tenido hablando de la estructura y del funcionamiento de dispositivos radiotécnicos cuyos elementos activos y pasivos eran discretos, es decir, transistores, diodos, resistores y otras piezas de radio que tu podías elegir. Uniendo estos elementos en tal orden determinado, dictado por el esquema eléctrico básico, has construido receptores, amplificadores y dispositivos automáticos de diversa complejidad.

Ahora los elementos discretos ceden su puesto cada vez más en la radiotecnica y electrónica o los microcircuitos o bloques electrónicos miniaturizados de aplicación funcional. Uno de estos bloques, que reúne en su cápsula miniatura transistores, diodos y resistores, puede desempeñar la función de circuito de un receptor de radiodifusión, de un amplificador de audiofrecuencia, de un oscilador, de un convertidor de frecuencia o de un dispositivo electrónico automático.

Tu, mi joven amigo, eres coetáneo de la introducción de los microcircuitos en la radiotecnica.

El aspecto exterior de unos microcircuitos, con los cuales te encontrarás en el transcurso de esta charla, se muestra en la Figura 207.



Figura 207. Vista exterior de los microcircuitos de las series K118 y K122

Son microcircuitos de las series K118 y K122. Los microcircuitos de muchas otras series de gran aplicación tienen un aspecto análogo. Junto a ellas como término de comparación, se ha representado una

moneda de 1 kopeikia (15 mm) de diámetro), que da idea de las dimensiones de los microcircuitos de estas series. El primero de estos microcircuitos pesa 1 g, el segundo, 1,5 g.

Atendiendo a la tecnología de su fabricación, los microcircuitos pueden ser híbridos o semiconductores. En los híbridos, los conductores de corriente, resistores y armaduras de condensadores son películas de determinadas dimensiones y propiedades eléctricas extendidas sobre un soporte dieléctrico sobre el cual se colocan los diodos y transistores (por lo general de silicio con estructura $n-p-n$), pero sin cápsulas. En los microcircuitos semiconductores todos los elementos activos y pasivos están hechos en la masa y en la superficie de un cristal semiconductor.

Por su aplicación funcional, los microcircuitos se subdividen en analógicos (o de impulsos lineales) y lógicos (o digitales). Los analógicos, a los cuales pertenecen los microcircuitos de las series citadas, se emplean para amplificar, generar y convertir oscilaciones eléctricas, por ejemplo, en los receptores, magnetófonos y televisores. Los lógicos se utilizan en las calculadoras electrónicas, dispositivos automáticos y aparatos con indicación numérica de los resultados de las mediciones.

Eso es lo poco que, en rasgos generales, puede decirse de los microcircuitos. La práctica de la utilización de los microcircuitos, de que vamos a tratar en esta charla, te ayudara a comprender mejor las perspectivas que ofrecen.

Empezaré por los microcircuitos analógicos.

§. Microcircuitos analógicos de las series K118 Y K122

Entre los circuitos analógicos más simples se encuentran los K118YH1 y K122YH1 de las series K118 y K122. La letra K indica que el microcircuito es de amplia aplicación. El número de los microcircuitos híbridos empieza por el dos, y el de los semiconductores, por el uno. Por consiguiente, los microcircuitos de las series K118 y K122 son semiconductores y de amplia aplicación. Las letras Y y H caracterizan la aplicación funcional de los microcircuitos, los cuales son amplificadores de tensión o de potencia. Esencialmente, los microcircuitos K118YH1 y K122YH1 son "gemelos" y sólo se diferencian entre sí por sus estructuras.

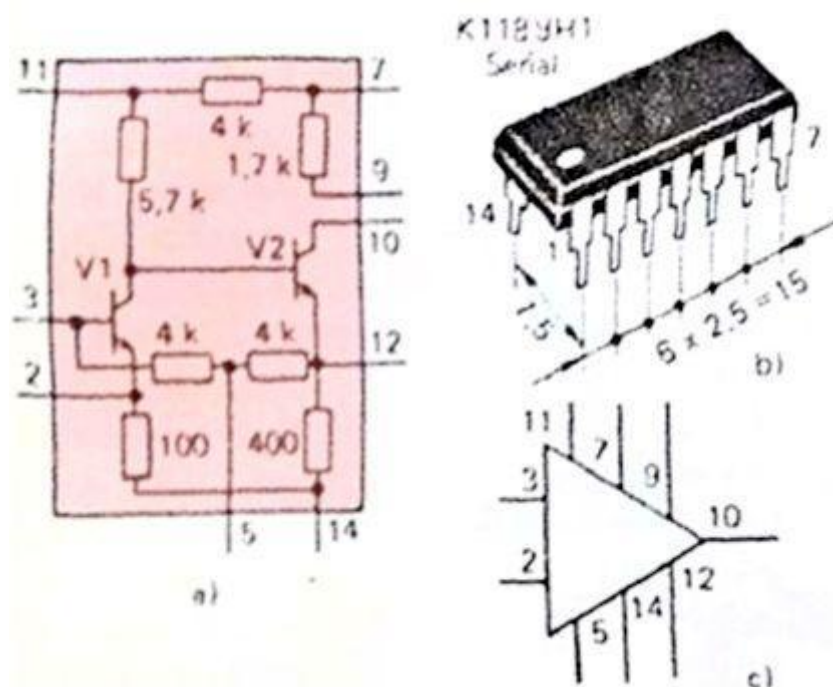


Figura 208. Esquema (a) vista exterior; (b) y representación convencional; (c) del microcircuito K118 y H1

El esquema del "relleno" del microcircuito K118YH1 (con cualquier índice literal), la estructura con la numeración de los terminales y su designación en los esquemas básicos se muestran en la Figura 208.

Como puedes ver, se trata de un amplificador bietápico, casi terminado de transistores de silicio con estructura *n-p-n*. El enlace entre los transistores del microcircuito es directo. En el circuito emisor del transistor V2 hay un resistor de 400 Ω de resistencia. En él se produce la caída de tensión que, a través de dos resistores acoplados en serie, de 4 k Ω cada uno, pasa a la base del transistor V1 y, actuando como tensión de polarización, lo abre. El resistor, que hay en el circuito colector del transistor V1 (de 5,7 k Ω), es su carga. La tensión de la señal amplificada que en él se crea pasa directamente a la base del transistor V2 para ser amplificada adicionalmente. El terminal 3 es el de entrada, el V10, el de salida, del microcircuito.

En total, el microcircuito tiene 14 terminales, cuya numeración va desde una señal especial que hay en la cápsula, en el sentido del movimiento de las agujas del reloj (mirando desde abajo). Pero, algunos de ellos no están numerados, por ejemplo, los 1, 4, 6, 8 y 13. En dependencia del uso que se hace del microcircuito, no todos sus terminales se aprovechan.

Citaré unos cuantos ejemplos concretos de utilización de los microcircuitos K118YH1.

El primer ejemplo es un simple amplificador de audiofrecuencia (Figura 209), que puede emplearse para escuchar grabaciones fonográficas, con auriculares, o como preamplificador de tensión de las oscilaciones de audiofrecuencia. En él funciona un microcircuito K118YH1B, que proporciona una amplificación algo mayor que la que se obtiene con el microcircuito de la misma serie pero con el índice literal A.

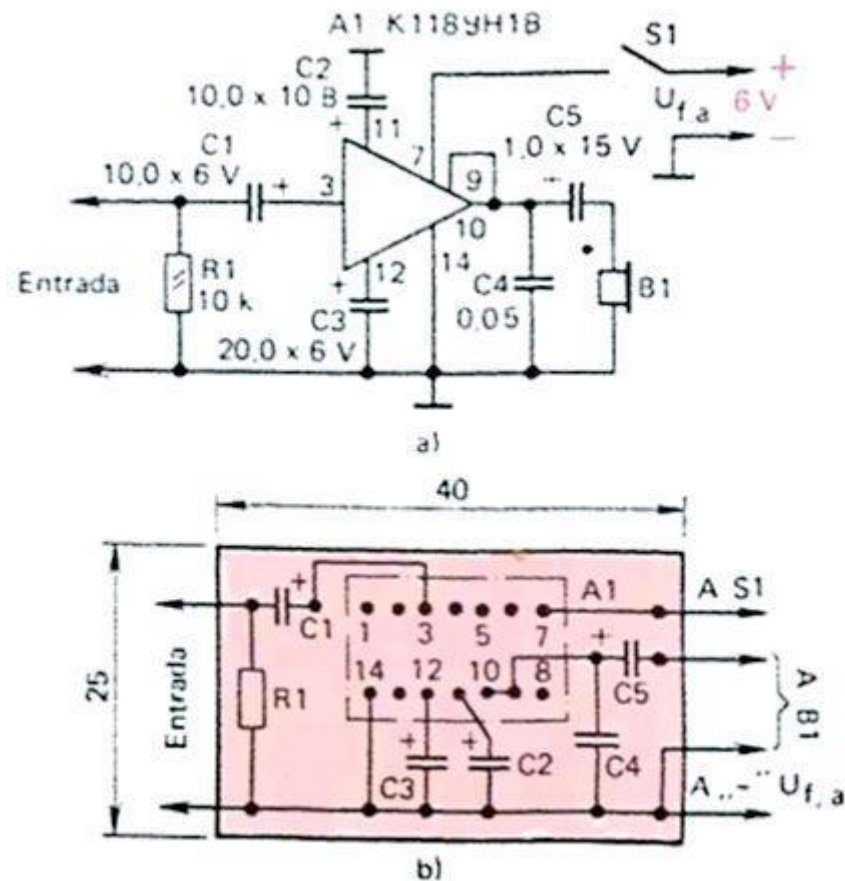


Figura 209. Amplificador basado en el microcircuito

La fuente de alimentación U_{fa} de 6,3 V de tensión, se conecta al microcircuito a través de sus terminales 7 (más) y 14 (menos). La señal de frecuencia acústica que hay que amplificar llega a la entrada 3 del microcircuito a través del condensador C1. La señal amplificada, tomada de los terminales juntos 9 y 10 (de un resistor de 1.7 kΩ de resistencia de dentro del microcircuito, que desempeña el papel de carga del transistor V2), pasa, a través del condensador C5, a los auriculares B1 y es transformada por ellos en sonido. El condensador C4 bloquea los auriculares por las frecuencias más altas de la gama sonora.

¿Qué papel desempeñan los condensadores electrolíticos C2 y C3, conectados entre el conductor común puesto a masa del circuito de alimentación y los terminales 11 y 12 del microcircuito? El

condensador C2, junto con el resistor del microcircuito (de 4 k Ω), forma un filtro desacoplador que elimina la reacción parásita entre la segunda y la primera etapas del microcircuito a través de la fuente común de alimentación. Sin él las oscilaciones de corriente que surgen al funcionar el transistor de la segunda etapa pueden penetrar en el circuito de alimentación del transistor de la primera, lo que daría lugar a la autoexcitación del amplificador. Filtros desacopladores semejantes a este había en muchas de tus construcciones anteriores.

El condensador C3 shunta al resistor del emisor del transistor de la segunda etapa del microcircuito (de 400 Ω) por la corriente alterna, con lo cual se debilita la reacción negativa que disminuye la amplificación del microcircuito. Con esta inserción de condensadores también te has encontrado antes al construir aparatos receptores y amplificadores.

Si para el amplificador se utilizan condensadores electrolíticos K50-6, sus elementos, excepto la fuente de alimentación (cuatro pilas 332 o cinco acumuladores Д-0,06), y el interruptor (interruptor basculante TB2-1), pueden montarse en una placa cuyas dimensiones máximas sean 40 × 25 mm (Figura 209b). Coloca los elementos en una de sus caras y únelos entre sí por la cara opuesta. Para los terminales del microcircuito taladra en la placa dos filas de orificios de 0.8 a 1 mm de diámetro; la distancia entre las filas de orificios debe ser de 7,5 mm y entre los centros de los mismos en las filas, de 2,5 mm.

Los auriculares B1 son de alta resistencia óhmica TOH-2. Si utilizas cápsulas telefónicas ДЭМ-4М o auriculares de baja resistencia óhmica, intercálalos entre el conductor de signo más y el terminal 10 del microcircuito (sin unirlos con el terminal 9).

Si el amplificador está bien montado no hay necesidad de ajustar el régimen de los transistores. Para que empiece a funcionar no hay más que hacer llegar a él la tensión de alimentación.

El segundo ejemplo es un generador de oscilaciones de frecuencia acústica (Figura 210). Para convertir el amplificador del microcircuito en generador de oscilaciones eléctricas de 800 a 1000 Hz de frecuencia, entre su salida (los terminales 9 y 10 juntos) y la entrada (terminal 3) hay que conectar un condensador C1 de 2200 y 3000 pF de capacidad. Este condensador crea entre la salida y la entrada del microcircuito una reacción positiva en corriente alterna y el amplificador se excita.

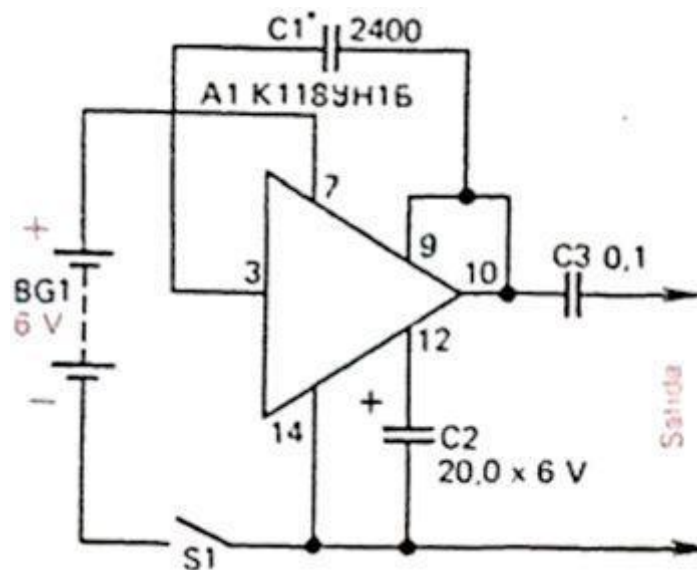


Figura 210. Esquema del generador de oscilaciones de frecuencia acústica

En estas condiciones, en los auriculares conectados a la salida del generador se oirá un sonido de tonalidad mediana. El tono que se desee dar a este sonido se puede conseguir eligiendo experimentalmente el condensador $C1$: cuanto mayor sea su capacidad, tanto más bajo será el tono del sonido.

Este generador puede emplearse como fuente de señal para comprobar el funcionamiento de los amplificadores de audiofrecuencia. También se puede utilizar como generador de sonido para el estudio del alfabeto telegráfico. En este caso sólo hay que sustituir el interruptor de alimentación $S1$ por un manipulador telegráfico y a la salida conectar unos auriculares.

El tercer ejemplo es un receptor reflejo, de pequeñas dimensiones, de amplificación directa. Su esquema básico, placa de montaje y elementos en forma desarrollada, así como la unión de éstos en la placa, se da en la Figura 211.

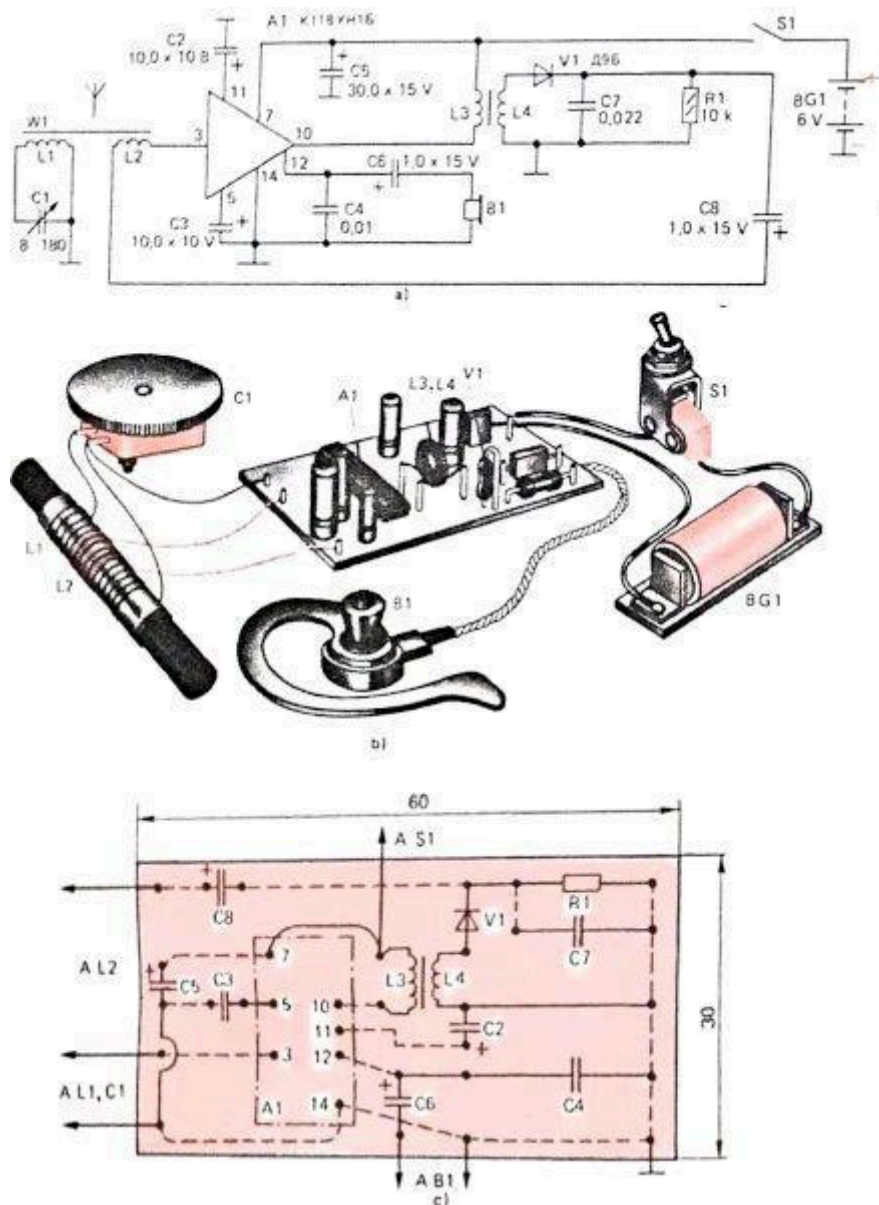


Figura 211. Esquema básico (a), elementos en forma desarrollada (b) y placa de montaje (c) del receptor reflejo basado en el microcircuito K118YH1

Una breve explicación de esta variante de receptor. La señal de la emisora, a la cual está sintonizado el circuito L1C1 de la antena magnética, pasa, a través de la bobina de acoplamiento L2, al terminal 3 del microcircuito A1. De la bobina L3, que es la carga de radiofrecuencia del microcircuito, la señal amplificada, a través de la bobina L4, llega al diodo V1, y las oscilaciones de frecuencia acústica, que se toman de la carga R1 del detector, a través del condensador C8 y de la bobina L2, pasan también al mismo terminal de entrada 3 del microcircuito. El papel de segunda carga lo desempeña un resistor de 400 Ω de resistencia en el circuito emisor del segundo transistor del microcircuito. Desde él las oscilaciones de frecuencia acústica

pasan a través del terminal 12 y el condensador C6 al auricular B1 y son transformadas por él en sonido.

¿Qué funciones desempeñan los demás elementos de este receptor? El condensador C5 shunta la fuente de alimentación U_{fa} en corriente alterna. El condensador C2, junto con el resistor que hay en el microcircuito forman el filtro desacoplador. El condensador C3 conectado entre el terminal 5 y el conductor a masa, elimina la reacción negativa en corriente alterna que disminuye la amplificación de la primera etapa del microcircuito. El condensador C4 bloquea el auricular en las frecuencias más altas de la gama acústica y elimina la reacción negativa en la segunda etapa del amplificador de radiofrecuencia.

De fuente de alimentación del receptor sirve una batería formada por cinco acumuladores de pequeñas dimensiones empaquetados en un tubo de cartón (también se pueden utilizar cuatro pilas 322 ó 316 acopladas en serie).

Para la antena magnética W1 utiliza una barra de ferrita marca 400HH ó 600HH de 8 mm de diámetro y de 55 a 60 mm de longitud, y para el transformador de alta frecuencia L3, L4, un anillo de ferrita de 7 u 8 mm de diámetro. Para captar emisoras de la gama de ondas medias, la bobina del circuito oscilante L1, devanada sobre un manguito de papel, debe tener de 70 a 80 espiras; la bobina de acoplamiento L2, devanada sobre la del circuito oscilante, de 5 a 6 espiras de hilo ПЭВ-1 0, 12-0,15 y para captar estaciones de la gama de ondas largas, respectivamente, de 210 a 220 y de 15 a 20 espiras del mismo hilo. La bobina del circuito oscilante para ondas largas conviene devanarla en cuatro o cinco secciones con distinto número de espiras en cada una.

La bobina del transformador de alta frecuencia devánala con hilo ПЭВ-1 0,1 0,12 valiéndote de la lanzadera de alambre, después de lijar los bordes del anillo de ferrita. Para la gama de ondas medias la bobina L3 debe tener de 75 a 80 espiras, y la L4, de 60 a 85, y para la gama de ondas largas, respectivamente, de 110 a 120 y de 75 a 80 espiras del mismo hilo.

El condensador de capacidad variable C1 del circuito de la antena magnética puede ser de cualquier estructura. Pero conviene que sus dimensiones sean pequeñas. Está claro que también puede utilizarse un condensador de ajuste de capacidad máxima de 100 pF pero en este caso la gama de ondas que cubra el circuito se estrechara algo. De cómo sea este elemento de sintonización del circuito oscilante dependerá mucho la estructura del receptor en conjunto.

El auricular B1 puede ser de tipo de oído TM-2M, TM-4M, de cápsula telefónica ДЭМШ-4М o de poca resistencia óhmica, de casco. Los condensadores C2, C3 y C5 son electrolíticos del tipo K50-6, y los C4 y C7, del tipo КЛС o МБМ.

La comprobación del funcionamiento del receptor hazla en el orden siguiente. Primero conecta el auricular (que es preferible que sea de alta resistencia óhmica) al resistor de carga R1 del detector, y el terminal de la armadura negativa del condensador C8 (desconectándolo del resistor R1) únelo con el conductor puesto a masa del circuito de alimentación. Variando la capacidad del condensador C1 y haciendo girar al mismo tiempo el receptor, con la antena magnética, en el plano horizontal, deberás oír las emisoras que se captan bien en el lugar en que vives. Después de restablecer la unión del condensador C8 con la carga del detector y de conectar el auricular en su sitio, la intensidad de recepción deberá ser mucho mayor.

No hace falta ningún ajuste de los regímenes de los transistores del microcircuito del receptor. En cuanto al pequeño desplazamiento de los límites de la gama de ondas que cubre el receptor, tú ya sabes cómo puede hacerse, variando la posición de la bobina del circuito oscilante L1 (junto con la bobina L2) sobre la barra de ferrita.

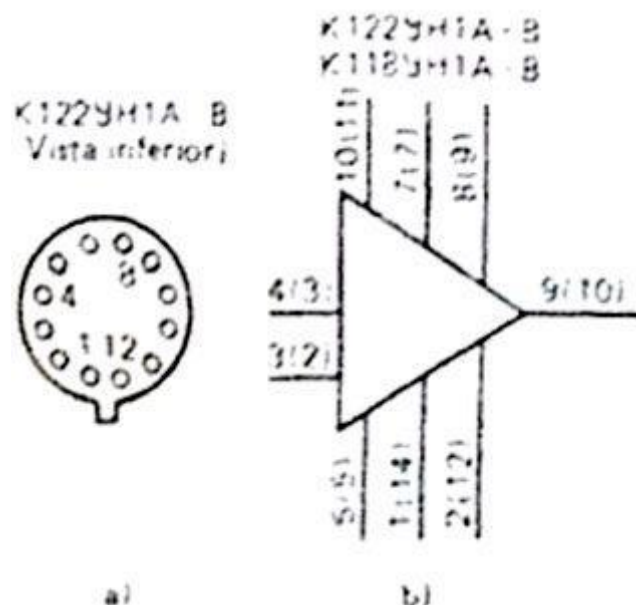


Figura 212. Disposición de los terminales en el zócalo (a) y numeración de los mismos (b) en los microcircuitos K122YH1A y K118YH1B

En cualquiera de los dispositivos de que te he hablado aquí también se puede utilizar el microcircuito K118YH1A o aumentando la tensión de la fuente de alimentación hasta 12 V, el microcircuito K118YH1B. En el primer caso el nivel de la señal a la salida del amplificador, del

generador o del receptor será un poco más bajo, y en el segundo, un poco más alto. Para hacer estas sustituciones no es necesario cambiar nada en el montaje.

Se pueden emplear también los microcircuitos análogos K118YH1A-B. Pero entonces habrá que cambiar la parte del montaje directamente relacionada con el microcircuito, teniendo en cuenta su estructura y la disposición de sus terminales. Los microcircuitos de esta serie se parecen exteriormente a los transistores bipolares de producción en gran escala. Cada uno tiene 12 terminales que se encuentran en la parte del fondo de la cápsula (Figura 212). «T1 a numeración de los terminales va desde el saliente que hay en el cerco de la cápsula metálica, en el sentido del movimiento de las agujas del reloj, cuando la cápsula se mira desde abajo. Para evitar errores durante el montaje, en la Figura 212b, se indica la numeración de los terminales de un microcircuito de la serie K122 y, entre paréntesis, la numeración de los respectivos terminales de los microcircuitos de la serie K118 que sustituyen.

Al hacer esta sustitución ten presente que los microcircuitos K122VH1 con los índices literales A y B están calculados para la tensión de alimentación de 6.3 V, y los microcircuitos con los índices literales de C D, para la tensión de 12.6 V. Una superación importante de la tensión de la fuente de alimentación puede inutilizar los circuitos.

¿Y si no dispones de un microcircuito K118YH1A ó K122YH1B? En este caso puedes sustituirlo por su análogo en forma de modulo, montado según el esquema que se da en la Figura 209. Todos los transistores que se emplean en él pueden ser del tipo KT315 o KT312 con factor estático de transferencia de corriente no menor de 50. Los elementos de este análogo se pueden montar sin dificultad en una placa de, aproximadamente, 15 × 15 mm

§. Amplificador de audiofrecuencia de potencia elevada con un microcircuito

El microcircuito K.I74YH7 de la serie K174, a base del cual se puede montar un amplificador de audiofrecuencia terminado para tocadiscos monofónicos o el circuito de frecuencia acústica de un receptor de radiodifusión, se fabrica con destino a los receptores de televisión. En su monocristal de silicio, encerrado en una cápsula de plástico de 21,5 × 6,8 × 4 mm, funcionan 16 transistores de diversas estructuras, 5 diodos y 16 resistores, que junto con los elementos exteriores que se conectan al microcircuito al montarlo, forman varias etapas de amplificación previa de la señal y un amplificador de potencia, en contrafase. Los transistores de la etapa de amplificación de potencia tienen contacto térmico con una lámina metálica que sale de la cápsula.

Esta lámina desempeña la función de radiador para evacuar el calor de los transistores. Si se necesita una refrigeración más eficaz de los transistores de la etapa de salida, a las partes salientes de la lámina antedicha se atornilla otra lámina doblada en forma de "U" con escotadura para la cápsula. El radiador adicional no debe tocar los terminales del microesquema.

El aspecto exterior de este microcircuito y el esquema básico del amplificador de audiofrecuencia que basándose en él puedes construir se muestra en la Figura 213a.

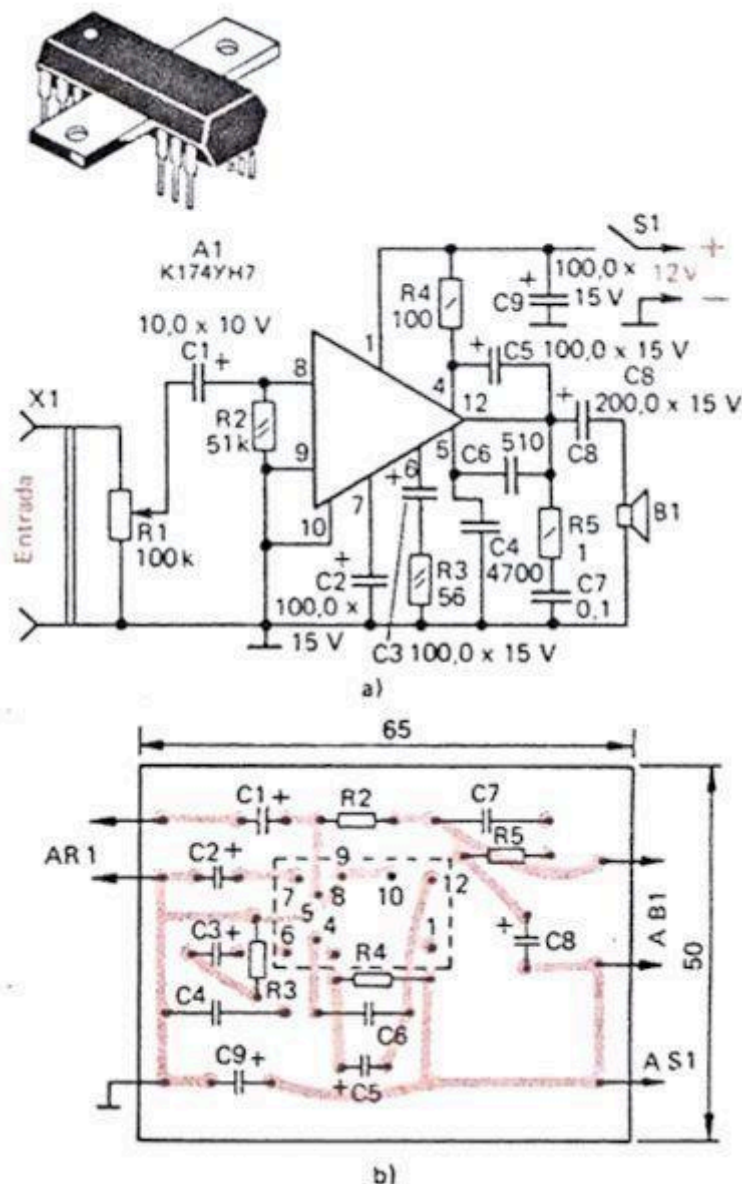


Figura 213. Amplificador de audiofrecuencia basado en el microcircuito KI74YH7

La señal del fonocaptor del electrófono o de la salida de la etapa detectora del receptor de radiodifusión pasa, a través del enchufe XI,

al resistor variable R1, que desempeña la función de regulador de volumen, y, desde su contacto deslizante, a la entrada (terminal 8) del microcircuito A1. De la salida del microcircuito (terminal 12) la señal de frecuencia acústica, amplificada por todas sus etapas, llega, a través del condensador C8, al altavoz dinámico B1 y es transformada por él en sonido.

Si la tensión de la fuente de alimentación es de 12 V, la potencia de salida del amplificador será de 2 a 2,5 W, en ausencia de señal de entrada el consumo de corriente no supera 20 mA, y cuando las señales tienen la intensidad máxima, aumenta hasta 200 ó 250 mA. De fuente de alimentación puede servir una batería formada por ocho pilas 343 ó 373 ó un rectificador con estabilizador de la tensión de salida.

La tensión de alimentación se suministra al microcircuito a través de los terminales 1 y 10. A través del resistor R2 llega a la base del transistor *p-n-p* de la primera etapa del microcircuito la tensión negativa de polarización que lo abre. El condensador C2, junto con varios elementos del microcircuito, forman un filtro a través del cual se alimentan los transistores de las primeras etapas del amplificador. El condensador C3 y el resistor R3 forman parte del circuito de reacción positiva que mejora la característica de frecuencia del amplificador. El condensador C5 y el resistor R4 son elementos de "voltoadición", que permiten un aprovechamiento más completo de los transistores de salida del microcircuito, en cuanto a potencia. Los condensadores C4 y C6 y la cadena R5 y C7 sirven para corregir el amplificador en las frecuencias más altas de la gama acústica. El condensador C9 shunta la batería de alimentación en corriente alterna.

Esa es, en pocas palabras, la misión de los elementos exteriores que determinan el funcionamiento del microcircuito K174YH7 en régimen de amplificación de las oscilaciones de frecuencia acústica.

El microcircuito, junto con los elementos adicionales, se puede montar sobre una placa de 65 × 50 mm (Figura 213b). El montaje puede ser tanto con circuito impreso como colgante. En el segundo caso pueden servirle de puntos de apoyo remaches huecos o trocitos de alambre de cobre estañado, encajados en orificios taladrados en la placa. Los elementos, incluso el microcircuito mismo, colócalos en una de las caras de la placa y las conexiones entre sus terminales hazlas por la otra cara (en la Figura 213b) se muestra la cara de la placa en que están los conductores de corriente). Los terminales 2, 3 y 11 del microcircuito no se aprovechan, por lo que pueden doblarse con precaución hacia un lado y no pasarlos a través de los orificios de la placa.

El resistor variable R1 con el interruptor de parpadeo S1, que se encuentran fuera de la placa, puede ser de cualquier tipo (TK, СП-3), y los resistores fijos, MAT. Todos los condensadores electrolíticos son del tipo K50-6, los demás, МБМ, БМ-2, КАС. El altavoz dinámico MI es de 2 a 3 W de potencia con bobina vocal de 4.5 a 6.5 Ω de resistencia.

Si los condensadores y los resistores se probaron de antemano y en el montaje no se cometieron errores, el amplificador no necesitará reglaje alguno, empezará a funcionar en cuanto se conecte la alimentación. De indicio de su buen funcionamiento puede servir el sonido intenso (fondo de la corriente alterna) que se oirá en el altavoz si se toca el contacto superior (según el esquema) del enchufe de entrada X1, cuya intensidad variará al girar la manija del resistor variable R1.

El amplificador puede alimentarse de una fuente de 9 V de tensión, por ejemplo, si funciona conjuntamente con el canal de radiofrecuencia de un receptor de amplificación directa o superheterodino. Pero en este caso su potencia de salida será de 1 a 1,5 W. Sin embargo, si la tensión de la fuente de alimentación es de 15 V, para la cual está calculado el microcircuito K.147YH7, la potencia de salida del amplificador aumenta hasta 4 ó 4,5 W. En estas condiciones el microcircuito debe tener un radiador adicional de calor.

§. Elementos lógicos

Los microcircuitos lógicos, o numéricos, se destinan principalmente a los aparatos que elaboran las señales lógicas y la información numérica en la técnica de cálculo, por ejemplo, en las computadoras y dispositivos electrónicos automáticos. De ahí el nombre de esta clase de microcircuitos: lógicos o numéricos. A ella pertenecen diversos generadores, triggeres, contadores de impulsos, divisores de frecuencia, codificadores y decodificadores, memorias y otros muchos microcircuitos para fines funcionales. Pero en esta parte de mi charla sólo te daré a conocer los microcircuitos lógicos más simples, basándose en los cuales pueden hacerse distintos dispositivos electrónicos.

Entre los aficionados a la radiotecnica que se interesan por la técnica de codificación, los microcircuitos que gozan de más popularidad son los de la serie K155, que sirven de base para construir las computadoras modernas. Una parte integrante de muchos de ellos, y no sólo de los microcircuitos de esta serie, es el elemento lógico Y-NO, que representado gráficamente puedes ver en la Figura 213a.

Su símbolo convencional es dentro de un rectángulo (que sustituye en inglés a la conjunción "Y"). Este elemento lógico puede tener dos o más entradas, que se indican a la izquierda, y una sola salida, a la

derecha. La pequeña circunferencia, con la cual da comienzo la línea de salida de acoplamiento, simboliza la negación lógica NO a la salida del elemento. En el dialecto de la técnica de codificación, "NO" significa que el elemento lógico Y-NO es inversor, es decir, un dispositivo electrónico cuya señal de salida tiene nivel inverso al de entrada.

El estado eléctrico del elemento lógico Y NO lo caracterizan las señales eléctricas en sus entradas y salida. De acuerdo con el sistema binario de numeración adoptado en la técnica de codificación, una señal de nivel pequeño (o nulo), cuya tensión no supere 0,3 -0.4 V, se llama cero lógico (0), y una señal de nivel más alto (comparada con el 0 lógico), que puede ser de 2.5 a 3.5 V, unidad lógica (1). Si, por ejemplo, se dice que a la salida del elemento hay un 1 lógico (y, por consiguiente, a la entrada, un 0 lógico), esto significa que en este caso sobre la salida del elemento actúa una señal cuya tensión corresponde al nivel de la unidad lógica. La acción de este elemento como inversor puede compararse con el funcionamiento de un transistor *n-p-n* de silicio en régimen de conmutación. Si su base se une con el emisor o se hace llegar a ella tensión positiva de polarización no mayor de 0,3 a 0,4 V, el transistor se encontrará en estado abierto y la tensión en su colector será aproximadamente igual a la de alimentación. En este estado del transistor, la tensión de entrada de bajo nivel puede tomarse como 0 lógico, y la tensión de salida, de nivel más alto, como 1 lógico. Si luego llega a la base una tensión positiva de polarización con la cual el transistor se abra, la tensión en su colector disminuirá casi hasta cero. Este estado del transistor corresponderá en nuestro ejemplo a una tensión de salida de bajo nivel, y de entrada, de nivel alto.

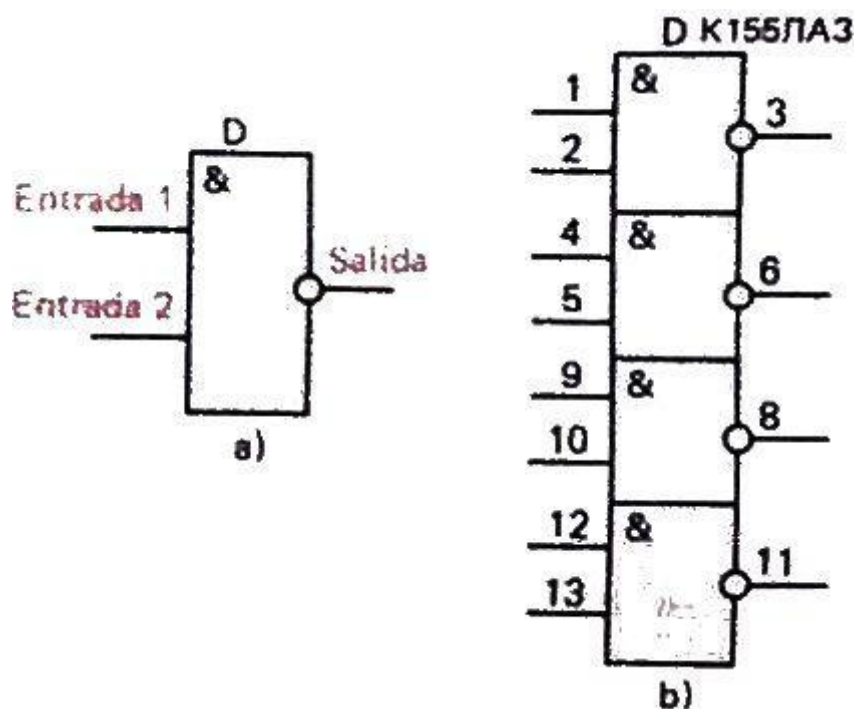


Figura 214. Elemento lógico 2Y NO 1 y microcircuito 155ЛA3 (b)

Si a la base llega tensión pulsatoria, el transistor, con la frecuencia y la polaridad de sucesión de los impulsos, se conmutará del estado abierto al cerrado y, viceversa, del estado cerrado al abierto, imitando el funcionamiento del inversor. Pero el elemento 2Y—NO (Figura 214a), con el cual empecé a darte a conocer los microcircuitos lógicos, tiene dos entradas. Por eso, el principio en que se basa su acción difiere un poco de las propiedades del transistor funcionando en régimen de conmutación. En esencia, la acción de este elemento consiste en que cuando a una de sus entradas llega una señal de bajo nivel y a la otra, tensión de nivel alto, en la salida aparece tensión de alto nivel, la cual desaparece cuando a ambas entradas llegan señales correspondientes a una tensión de nivel alto. En esto consiste la lógica del elemento 2Y—NO. Si todas las entradas de este elemento se juntan, es decir, si se hace que tenga una sola entrada, funcionará como inversor. La tensión en la entrada del elemento lógico con la cual pasa éste de un estado estable a otro, es decir, se conmuta del estado abierto al cerrado, se llama de umbral. Para los microcircuitos de la serie K155, la tensión de umbral es, aproximadamente, de 1,15 V. Para las construcciones experimentales necesitarás, en primer lugar, un microcircuito K155ЛA3, cuya representación convencional se da en la Figura 214b. Estructuralmente este microcircuito se parece a los de la serie K118, pero en su cápsula hay cuatro elementos lógicos 2Y-NO. Cada uno de ellos tiene sus entradas y salida y funciona como elemento independiente. La fuente de corriente continua, de tensión no mayor de 5 V, que alimenta todos los elementos del microcircuito, se conecta a sus terminales 7 (— 5 V) y 14 (+5 V). Pero estos terminales no se suelen indicar en las representaciones

convencionales de los microcircuitos numéricos, ya que, en los esquemas eléctricos básicos de unos u otros dispositivos, los elementos que forman el microcircuito se dibujan, en la inmensa mayoría de los casos, separados.

El esquema del primer dispositivo experimental, basado en un microcircuito numérico, que te propongo para que fijas en tu memoria cómo funciona el elemento 2Y-NO, se muestra en la Figura 215.

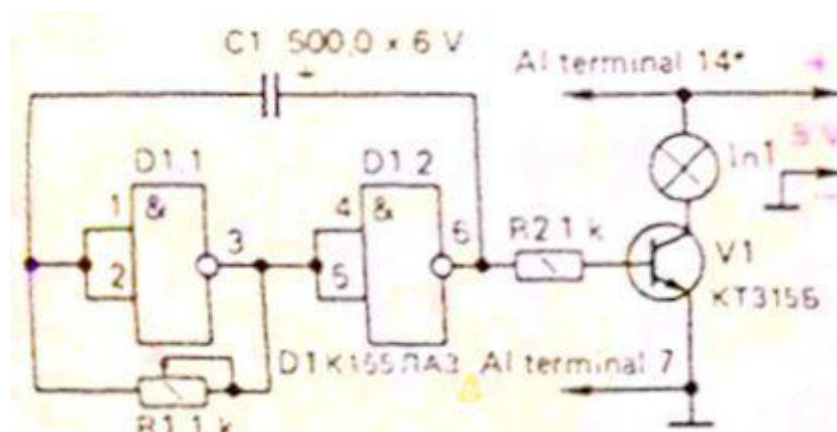


Figura 215. Esquema del generador de impulsos luminosos en que se utilizan elementos lógicos 2Y NO

De los cuatro elementos del microcircuito K155ΛA3, en él sólo funcionan dos (cualesquiera) y los otros dos no se aprovechan. En conjunto este dispositivo es un generador de impulsos luminosos que puede utilizarse, por ejemplo, para el modelo del faro.

Los elementos D1.1 y D1.2, conectados como inversores acoplados entre sí en serie, forman una especie de amplificador de transistores de dos etapas con acoplamiento directo. El condensador C1, intercalado entre la salida del elemento D1.2 y la entrada del D1.1, crea entre la entrada y la salida del amplificador una reacción positiva, en virtud de la cual éste se excita y empieza a generar oscilaciones eléctricas.

¿Te das cuenta de lo que es esta parte del dispositivo electrónico? Exactamente: un multivibrador que genera impulsos de tensión cuya forma aproximada es rectangular. La frecuencia de los impulsos depende de la capacidad del condensador C1 y de la resistencia del resistor R1. Con la capacidad del condensador C1 indicada en el esquema, solamente con el resistor variable R1 se puede variar la frecuencia de los impulsos desde, aproximadamente, 60 hasta 120 por minuto (de 1 a 2 Hz)

Del terminal 6 del elemento D1.2, que es el de salida del multivibrador, la tensión variable a saltos se transmite a la base del

transistor V1 y manda su funcionamiento. En los instantes en que en el terminal 6 de este elemento la tensión es de nivel bajo, el transistor V1 está cerrado. Cuando la tensión en este terminal es de alto nivel, el transistor se abre y la lamparita H1, que hay en el circuito colector, se enciende. De esta forma el transistor, mandado por los saltos de tensión a la salida del elemento D1.2, funcionará en régimen de conmutación y la frecuencia de los destellos de la lamparita estará determinada por la de los impulsos que genera el multivibrador.

Todos los elementos del generador de impulsos luminosos, excepto la fuente de alimentación, se pueden montar en una placa de cartón de aproximadamente, 40 × 60 mm. El microcircuito D1, es condensador electrolítico C1 (tipo K50-6), el transistor V1 la lamparita de incandescencia Inl (MH2, 5-0,068) y los resistores, colócalos en una de las caras de la placa, y las conexiones entre ellos hazlas por la otra cara. Los terminales de los microcircuitos pásalos a través de orificios practicados en la placa, procurando que la cápsula se apoye en ésta, dóblalos un poco hacia un lado y numéralos inmediatamente para evitar errores en la conexión de los elementos.

La fuente de alimentación puede ser un bloque de alimentación de la red, una balería 3336A o una batería formada por tres pilas 332.

El conductor del polo positivo de la fuente de corriente (que es preferible que tenga aislamiento rojo) conéctalo al terminal 14 del microcircuito, y el del polo negativo, al terminal 7.

Antes de conectar la alimentación, pon el contacto deslizante del resistor R1 en la posición de resistencia máxima (según el esquema, en la posición extrema derecha), y entre el conductor común a masa y la salida del multivibrador (terminal 6 del elemento D1.2) conecta un voltímetro para corriente continua. Si no has cometido errores al hacer el montaje, al conectar la alimentación la aguja del voltímetro debe desviarse periódicamente, con la frecuencia del multivibrador, del cero de la escala y, con la misma frecuencia, encenderse la lamparita en el circuito colector del transistor. Si disminuye la resistencia introducida por el resistor variable R1, la frecuencia de las oscilaciones de la aguja del voltímetro y de los destellos de la lamparita de incandescencia deberá aumentar suavemente.

Conecta en paralelo con el condensador C1 otro condensador de la misma o mayor capacidad. ¿Qué varía? Se reduce aproximadamente a la mitad la frecuencia de los destellos luminosos, regulable con el resistor R1. La capacidad de este condensador se puede disminuir, aproximadamente, hasta 100 μF . Pero en este caso, con la resistencia mínima del resistor R1, la frecuencia de los impulsos generados por el multivibrador será tan considerable que la aguja del voltímetro y el

filamento de incandescencia de la lamparita, debido a la inercia, ya no podrán reaccionar a ellos. A esta frecuencia sólo reaccionan los auriculares conectados a la salida del multivibrador.

Este generador puedes utilizarlo también como "parpadeador" o indicador de virajes de tu bicicleta. En este caso el resistor R1 puede ser fijo, pero elegido con tal valor nominal que la lamparita destelle no más de 50-60 veces por minuto. La fuente de alimentación será una batería 3336Λ. Para la conmutación de los circuitos de alimentación emplea un interruptor basculante de tres posiciones, dos secciones y una posición media neutra. Cuando la palanquita del interruptor esté en la posición media, el generador y a las lamparitas de incandescencia, que se encontraran a la izquierda y a la derecha del sillín de la bicicleta, no llegará corriente. Cuando dicha palanquita se ponga en la posición izquierda se conectarán al mismo tiempo el generador y la lamparita izquierda indicadora de viraje, y cuando se ponga en la posición derecha se conectarán a la vez el generador y la lamparita derecha. Supongo que tú mismo podrás hacer el esquema de esta conmutación de los circuitos de alimentación.

El esquema de otro dispositivo basado en el microcircuito K.155ΛA3, en el cual funcionan todos los elementos 2Y-NO que lo componen, puedes verlo en la fie. 216.

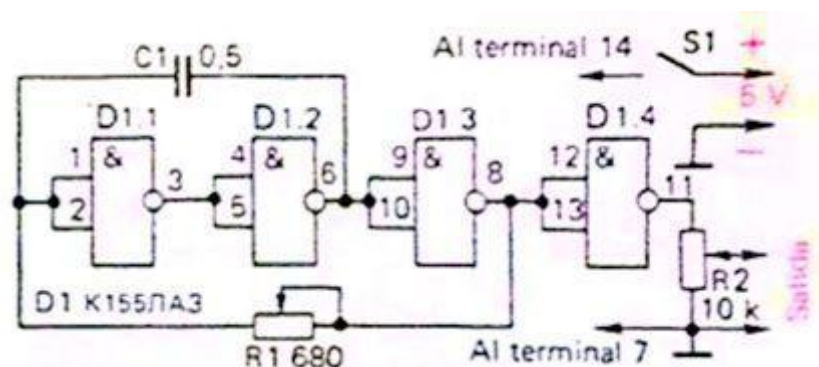


Figura 216. Esquema del generador de oscilaciones de frecuencia acústica

Es también un generador, pero de baja frecuencia. El generador mismo lo forman los elementos D1.1, D1.2 y D1.3 acoplados en serie. El condensador C1 crea entre la salida del segundo elemento y la entrada del primero una reacción positiva que asegura el proceso auto-oscilador, y el resistor R1 estabiliza el régimen de excitación del generador.

El dispositivo funciona como sigue. En cuanto se conecta la alimentación (con el interruptor S1) el condensador C1 empieza a cargarse a través del resistor R1. Supongamos que en este instante en la salida del elemento D1.2 hay una tensión de alto nivel (de cerca

de 4V), entonces en la salida del elemento D1.3 habrá tensión de bajo nivel (aproximadamente de 0.4 V). En el instante en que la tensión en la armadura izquierda (según el esquema) del condensador C1 y, por consiguiente, en la entrada del elemento D1.1. se hace inferior a la de umbral (1,2-2,3 V), el estado de todos los elementos se invierte. Ahora el condensador C1 empieza a descargarse a través del resistor R1 y del elemento D1.3, y después, cuando los elementos se conmuten al estado inicial, otra vez se cargará y así sucesivamente. Como resultado, en el terminal 6 del elemento D1.2 que es el de salida del generador, se formarán continuamente, mientras esté conectada la alimentación, impulsos de tensión de forma rectangular. Impulsos exactamente iguales, pero desfasados a 180°, se formarán en el terminal 11 del elemento D1.4, que desempeña la función de inversor.

Desde la salida del elemento D1.4 la señal del generador se transmite al resistor variable R2, y desde su contacto deslizante, a la entrada del amplificador de audiofrecuencia, cuyo funcionamiento hay que comprobar. Este resistor desempeña, por lo tanto, el papel de regulador del nivel de la señal de salida del generador.

La frecuencia de los impulsos que se generan se regula suavemente con el resistor variable R1. Cuando su resistencia disminuye, la frecuencia del generador aumenta, y cuando aumenta, al contrario, disminuye. Si la capacidad del condensador C1 es igual a 0.5 μF , la frecuencia máxima del generador es de 4 a 5 kHz, y la mínima, aproximadamente, de 500 Hz.

El generador se puede montar, y comprobar cómo funciona, sobre la misma placa de cartón en que montaste el primer generador con este microcircuito. El condensador C1 es del tipo МБМ o БМ: los resistores R1 y R2, de tipos cualesquiera. La fuente de alimentación puede ser un rectificador con tensión de salida de 5 V o una batería 3336Λ.

Comprueba atentamente todas las conexiones por el esquema básico. Si no has cometido errores en el montaje, conecta a la salida del generador unos auriculares y enchufa la alimentación. En los auriculares oirás un sonido cuya tonalidad puede variarse con el resistor R1 y su volumen, con el resistor variable R2.

Tiene cierto interés práctico un generador de dos tonos que se puede utilizar, por ejemplo, como timbre de puerta de un apartamento.

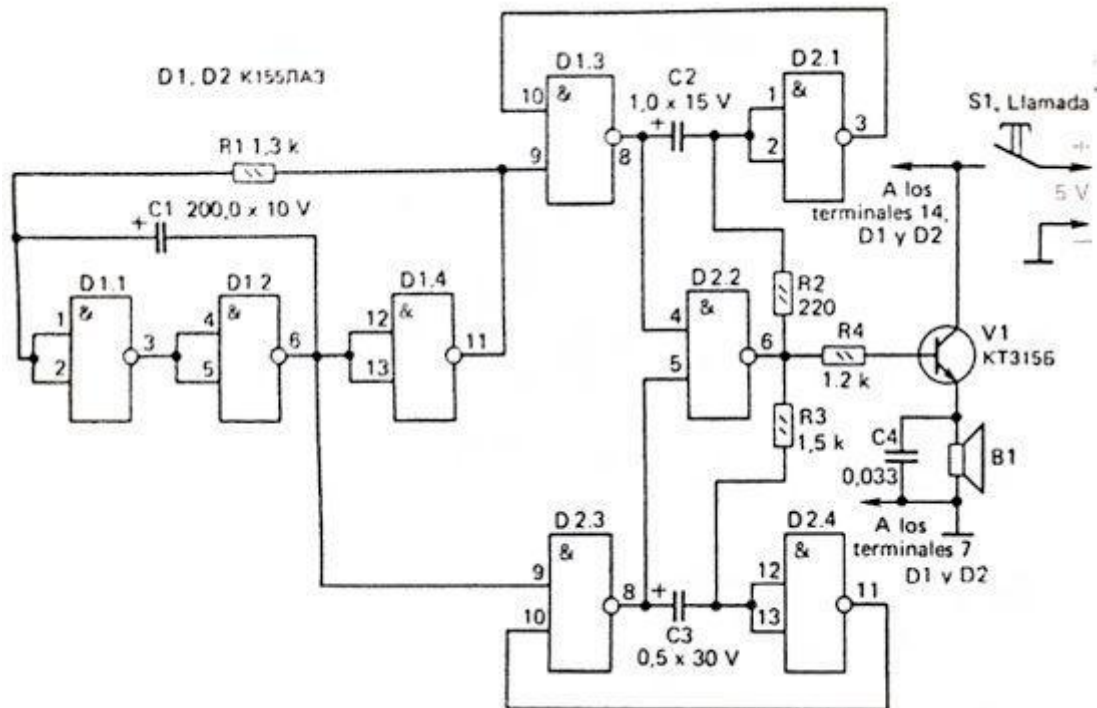


Figura 217. Esquema del generador de dos tonos para timbre de puerta

Este dispositivo automático sonoro (Figura 217) consta de tres generadores que se conectan con ayuda del botón de llamada S1. En el primero de ellos funcionan los elementos D1.1, D1.2 y D1.4, en el segundo los D1.3, D2.1 y D2.2, y en el tercero, los D2.3, D2.4 y D2.2. El elemento D2.2 es, por lo tanto, común para los generadores segundo y tercero, los cuales, a su vez, son mandados por el primero.

El principio de funcionamiento de todos los generadores es análogo a la acción de los antes descritos, pero la frecuencia de pulsación del primer generador es de 0,7 a 0.8 Hz, la del segundo, de cerca de 600 Hz y la del tercero, de, aproximadamente, 1000 Hz. La frecuencia de los impulsos del primer generador, que hace las veces de conmutador electrónico, depende principalmente de la capacidad del condensador C1, y las frecuencias de los generadores segundo y tercero, que son los de los tonos, de las capacidades de los respectivos condensadores C2 y C3 y de los resistores R2 y R3. Cuando el botón de llamada S1 está apretado y, por consiguiente, se suministra tensión de alimentación a los microcircuitos, los impulsos del generador conmutador conectan (con desfase de 180°) los generadores de tono. En estas condiciones, en el terminal 6 del elemento D2.2 surgen periódicamente, con la frecuencia del generador conmutador, oscilaciones ya del segundo ya del tercer generador de tono. Estas oscilaciones son amplificadas por el transistor V1 y el altavoz H1 las transforma en un sonido que parece vibrar y cambiar de tono. El resistor R4 limita la corriente de base del transistor V1.

Los elementos de este timbre pueden montarse, por el método del circuito impreso o del colgante, sobre una placa de 65 × 30 mm (Figura 218) y, junto con la fuente de alimentación (cuatro acumuladores de pequeñas dimensiones o una batería 3336Λ), colocarse dentro de una caja de plástico.

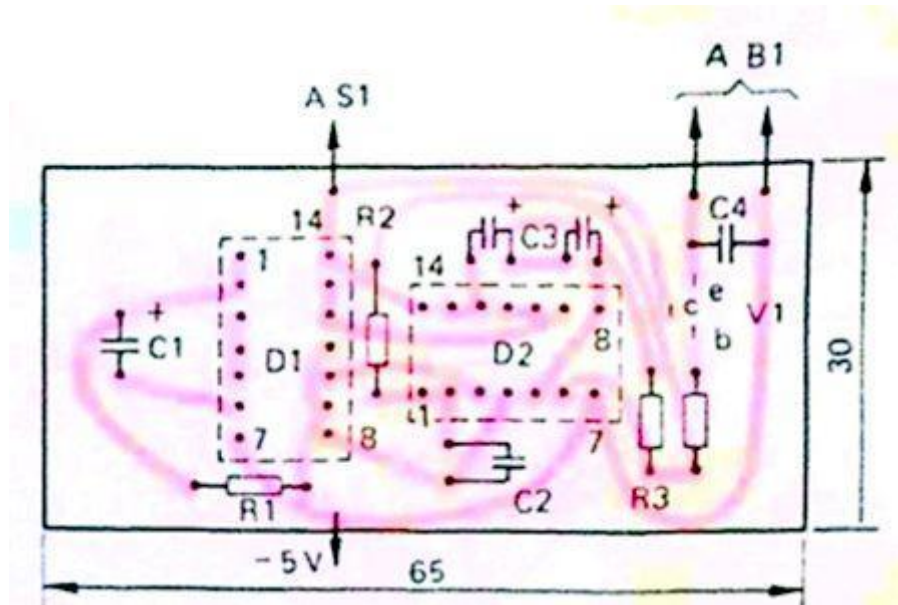


Figura 218. Placa de montaje del generador de dos tonos

Todos los condensadores electrolíticos son del tipo K50-6. El condensador C3 está formado por dos condensadores, de 1 μF cada uno, acoplados en serie, pero puede ser un condensador de papel de 0,5 ó 0,47 μF de capacidad. Los resistores son MAT. El altavoz dinámico, de 0,1 a 0,5 W de potencia con bobina vocal de 8 a 10 Ω de resistencia.

Si los elementos están en buen estado y no has cometido errores en el montaje, el timbre empezará a funcionar en cuanto, apretando el botón de llamada, se conecte la alimentación. La tonalidad del sonido puede regularse eligiendo experimentalmente los condensadores y los resistores de los generadores de tono. Para alargar los intervalos de tiempo de conexión de estos generadores mientras se escogen los elementos antedichos, se puede acoplar, en paralelo con el condensador C1, de conmutación del generador, otro condensador de varios millares de microfaradios de capacidad.

Si este generador de dos tonos quieres utilizarlo en juegos electrónicos o en juguetes con señales sonoras de larga duración, el transistor KT315 del amplificador de potencia debes sustituirlo por un transistor *n-p-n* de silicio de potencia media, por ejemplo, por el KT603 ó KT608 con cualquier índice literal.

A base de los elementos lógicos de los microcircuitos K155AA3 se puede construir incluso un instrumento electromusical (IEM) muy simple. La vista exterior y el esquema de una posible variante de este dispositivo electrónico monofónico se dan en la Figura 219.

Se toca el instrumento pulsando las teclas con una sonda. Su diapason musical es de dos octavas: desde el "do" de la primera octava hasta el "si" de la segunda, a lo que corresponde una gama de frecuencias acústicas que va desde 260 Hz hasta 988.

No se trata realmente de un instrumento musical en el sentido cabal de esta palabra, sino más bien de un juguete electromusical, de un objeto de regalo. Pero en él pueden tocarse muchas melodías musicales sencillas.

El esquema básico del IEM debe recordarte el del generador de oscilaciones de frecuencia acústica (ve la Figura 216). Pero en aquél tú variabas la frecuencia de las oscilaciones suavemente, con el resistor variable, mientras que en éste dicha frecuencia se varía a saltos, al conectar en el circuito de mando de la frecuencia resistores de valores nominales distintos.

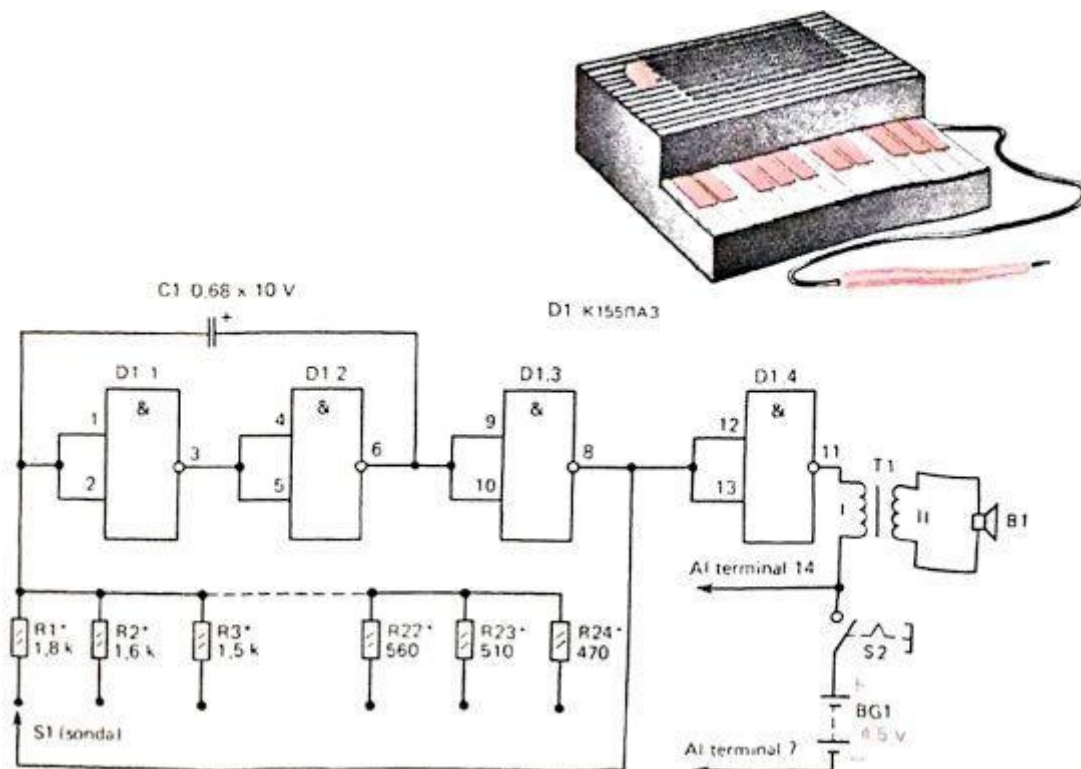


Figura 219. Vista exterior y esquema del instrumento eléctrico musical (IEM)

En este dispositivo todos los elementos lógicos 2Y-NO de los microcircuitos K155AA3 están conectados como inversores. Los elementos D1.1, D1.2 y D1.3 forman el generador de tono, y el

elemento D1.4, junto con el primer devanado del transformador T1, el amplificador de potencia de las oscilaciones de frecuencia acústica que se generan. El altavoz dinámico B1, conectado al segundo devanado del transformador, convierte estas oscilaciones en sonoras de distinto tono.

El IEM se alimenta de una batería 3336A o tres pilas 322 acopladas en serie. La corriente máxima que consume no supera 30 mA.

La frecuencia de las oscilaciones del generador de tono la determina la capacidad del condensador C1 y de aquel de los resistores R1-R24 que, a través de la sonría S1, conectada al terminal de salida N del elemento D1.3 y si la tecla correspondiente a dicho tono, se intercala en el circuito de mando de la frecuencia del generador. Cuanto menor sea la resistencia del resistor intercalado en este circuito, tanto más alto será el tono del sonido. Al sonido "do" de la primera octava le corresponde la conexión del resistor R1 en el circuito, y al sonido "si" de la segunda octava, la conexión, con la sonda, del resistor R24. Los valores nominales de los resistores R1-K24 se eligen experimentalmente al ajustar el IEM.

De base del IHM sirve una placa de textolita de fibra de vidrio recubierta de hoja metálica. Las dimensiones de esta placa y la configuración de todas las superficies conductoras de corriente y de las teclas, así como las conexiones de los elementos, se indican en la Figura 220.

Las ranuras aisladoras, de 1 a 1,5 mm de ancho, se practican con un corlador hecho de hoja de sierra.

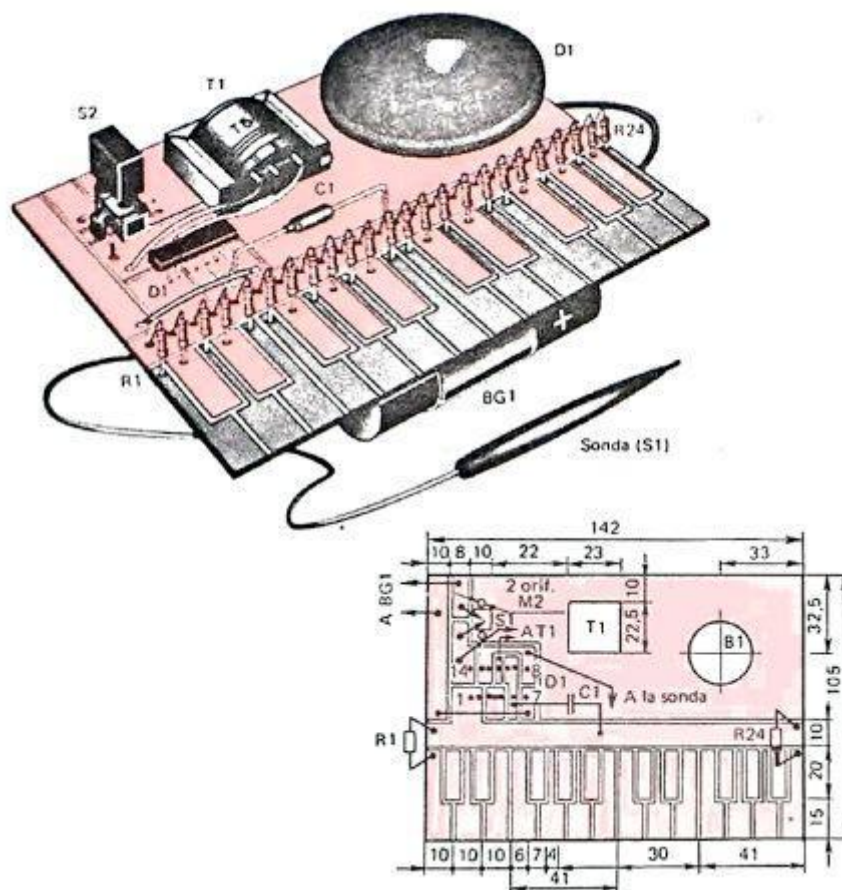


Figura 220. Estructura y montaje del IEM

Los orificios pasantes que hay en la placa son para el interruptor de botón S2 (П2К) para el transformador de salida T1, de tipo TB-12 (también se puede utilizar el transformador de cualquier receptor de transistores de pequeñas dimensiones) y para el sistema magnético del altavoz, también de dimensiones pequeñas (B1). Los resistores, el condensador, las patillas terminales de los microcircuitos y los conductores de conexión se sueldan a los conductores impresos sin taladrar orificios en ellos. Para que las teclas largas, fundamentales (que suelen ser blancas) se distingan de las cortas, conviene estañarlas con cuidado. El condensador electrolítico C1 debe tener la corriente de fuga menor posible, por ejemplo, ser del tipo K53-1. Los resistores son MAT-0,125 o MA-0,25. La resistencia del resistor R1 no debe ser mayor de 1,8 k Ω , y la del R24, no menor de 300 Ω . Los valores nominales de los resistores intermedios se diferencian de los de sus vecinos en la parte de baja frecuencia de la gama acústica, en 100 ó 150 Ω y en la de alta frecuencia, en 30 ó 50 Ω . Así, por ejemplo, la resistencia aproximada del resistor R2 (nota "re" de la primera octava) debe ser de 1670 y la del resistor R23 (nota "la" de la segunda octava), de 505 Ω .

Para hacer la sonda S1 utiliza el mango de un bolígrafo o de un portaminas de mordazas. Su tubito metálico, con el cual se pulsan las

teclas, únelo por medio de un conductor flexible aislado con la superficie del terminal 8 del elemento D1.4. La tapa protectora de la caja del instrumento, con orificio para el botón del interruptor y ranuras frente al altavoz dinámico, hazla de hojas de plástico o de orgahta, pegando sus piezas, y píntala con esmalte nitro o tapízala con película decorativa.

El reglaje del IEM consiste en escoger cuidadosamente los resistores R1-R24 del circuito marcador de frecuencia del generador de tono. Primero escoge el resistor R1. Para eso sustitúyelo por dos resistores, uno variable y otro fijo, acoplados en serie, de $1\text{ k}\Omega$ de resistencia cada uno. Toca con la sonda la tecla extrema izquierda y, sirviéndote de un piano o de un acordeón como patrón, afina el generador a la frecuencia correspondiente a la nota "do" de la primera octava. Luego, con un ohmímetro, mide la resistencia de la cadena provisional de resistores y sustitúyela por un resistor (o varios resistores) del mismo valor nominal.

De un modo análogo escoge los otros resistores del circuito marcador de frecuencia del generador de tono y después empieza a aprender a tocar el IEM.

Puede ocurrir que no dispongas de textolita, de fibra de vidrio o de cartón baquelizado. En este puede servir de base para el teclado una placa de vidrio orgánico, sobre la cual puedes pegar tiras de hoja de cobre. Para el montaje del microcircuito, del interruptor de alimentación del condensador electrolítico no es indispensable la hoja metálica.

Debes tener en cuenta que si la tensión de la fuente de alimentación baja, la frecuencia de las oscilaciones del generador y, por consiguiente, el tono del sonido del IEM varía un poco. Pero a medida que se descarga la batería, la relación entre las frecuencias vocales contiguas, en general, se conserva, por lo que ésta no influye en la melodía que se ejecuta. Y para que la frecuencia del generador de tono no varíe hay que alimentar el IEM de una fuente de tensión estabilizada o de cuatro pilas voltaicas acopladas en serie, pero a través de un estabilizador paramétrico de tensión, en el cual puedes utilizar un diodo de regulación de tensión KCI39A o KCI47A.

Este teclado sonoro puedes regalárselo a tu hermana o hermano menor y tú dedicarte a construir otro instrumento electromusical más complejo.

En todos los dispositivos descritos en esta parte de la charla, el microcircuito K155AA3 se puede sustituir por el K15XAA3 de la serie K158 o por el K176AA 3 de la serie K176. Al hacer esto no es necesario cambiar nada en los esquemas en el montaje, ya que tanto

ellos como el K155AA5 tienen cuatro elementos 2Y NO cada uno y la misma disposición de los terminales. De los microcircuitos no soviéticos pueden servir, por ejemplo, los LM324, 7400, pero su zócalo de conexión es distinto.

Los microcircuitos analógicos y numéricos que le he dado a conocer en esta charla pertenecen a los de primer grado de integración, es decir, a los más simples. En los microcircuitos modernos, más complejos, cuyas dimensiones son, aproximadamente, las mismas, el número total de elementos activos y pasivos puede llegar a ser de varias decenas, hasta centenares de millares.

Para que puedas hacerte una idea de cuántas y qué operaciones lógicas puede realizar un microcircuito integral te pondré el ejemplo siguiente: el "mecanismo" de los relojes de pulsera electrónicos de mediana complejidad, que miden el tiempo con la exactitud de un segundo, indican el día de la semana, el mes y sirven de cronómetros con la exactitud de hasta una centésima de segundo y de despertadores con señal acústica, consta de un solo microcircuito integral especialmente diseñado. Y los relojes electrónicos de elevada complejidad dan además la posibilidad de utilizarlos para juegos electrónicos, como microcalculadoras de pulsera, etc. Ya ves lo que es el microcircuito integral, que ha revolucionado todas las ramas y direcciones de la radiotécnica.

Charla 18 Estereofonía

Contenido:

§. ¿Qué es el efecto estereoscópico?

§. Estereofonía con auriculares

§. Complejo estereofónico

* * * *

De la técnica de reproducción de grabaciones gramofónicas ya te hablé en la charla undécima, dedicada a los amplificadores de audiofrecuencia. Pero entonces se trataba de la reproducción monofónica, es decir, monocanal. Sin embargo, entre los aficionados a la música goza cada vez de mayor popularidad el procedimiento de reproducción de dos canales, estereofónico. A él voy a consagrar esta charla.

§. ¿Qué es el efecto estereoscópico?

¿Has tenido ocasión de asistir al concierto de una gran orquesta sinfónica? Durante estos conciertos las salas están llenas de aficionados a la música. El espectador se encuentra en ellos como sumergido en el mar de sonidos que invade la enorme sala.

¿Y si la misma composición musical, ejecutada por la misma orquesta, se escucha reproducida de una grabación en placa monofónica, por medio de un tocadiscos o de una radiola? El efecto será otro. Se pierde el carácter estereofónico del sonido. Y si se presta atención, parece como si todos los instrumentos musicales de la orquesta no pudieran "caber" en el pequeño espacio del altavoz. Sí, por este procedimiento de reproducción de las grabaciones gramofónicas es imposible figurarse la disposición de las fuentes de sonido en el espacio. A la salida del amplificador del tocadiscos eléctrico o de la radiola se pueden conectar varios altavoces y colocarlos en distintos ángulos de la habitación. Pero la sensación estereofónica del sonido de la composición musical tampoco se consigue, ya que la reproducción sigue siendo monocanal.

Otra cosa ocurre cuando la reproducción del sonido es estereofónica, es decir, cuando la grabación de la composición musical y su ulterior reproducción se efectúa por medio de aparatos de dos canales. Para este procedimiento de reproducción del sonido, que da a éste la sensación de relieve espacial, están calculadas las placas de gramófono estereofónicas.

¿En qué consiste la estereofonía? Cuando se emplea este procedimiento de grabación del sonido, delante de la orquesta sinfónica, o de música ligera, y a cierta distancia de ella se colocan dos micrófonos (o dos grupos de micrófonos), cada uno de los cuales está unido con su amplificador a los aparatos grabadores. El micrófono que se encuentra a la izquierda (cuando la orquesta se mira de frente) suele llamarse micrófono del canal izquierdo de grabación, y el que se halla a la derecha, micrófono del canal derecho.

La reproducción de las grabaciones estereofónicas se efectúa por medio de un fonocaptor estereofónico y dos amplificadores de audiofrecuencia, con altavoces independientes, colocados, delante del que oye, a cierta distancia uno de otro. El altavoz que se encuentra a la izquierda del oyente es el del canal izquierdo de reproducción del sonido, y el que está a su derecha, el altavoz del canal derecho.

Los instrumentos musicales o los solistas, que son las fuentes de oscilaciones sonoras, se hallan a distancias distintas de los micrófonos, por lo que las intensidades de sus sonidos en los altavoces son diferentes. Además, las oscilaciones acústicas llegan hasta los micrófonos con distinto retraso, aunque éste sea pequeño, como resultado, en el oyente se crea la sensación no sólo de la distribución de las fuentes de sonido en el espacio, sino también de sus movimientos. Así, por ejemplo, si el solista, mientras canta, se mueve por el escenario, acercándose ya a un micrófono ya a otro, la intensidad del sonido de su voz en los altavoces varía. Esto crea la

ilusión del desplazamiento de la voz del solista por el espacio entre los altavoces cuando el solista se encuentra a distancias iguales de los micrófonos y las oscilaciones acústicas creadas por el actúan con igual intensidad vibre los dos micrófonos, el sonido se oye entre los altavoces.

§. Estereofonía con auriculares

El conocimiento práctico con la esencia y los procedimientos de reproducción de las grabaciones estereofónicas se puede empezar construyendo un dispositivo, relativamente simple, según el esquema estructural que se da en la Figura 221.

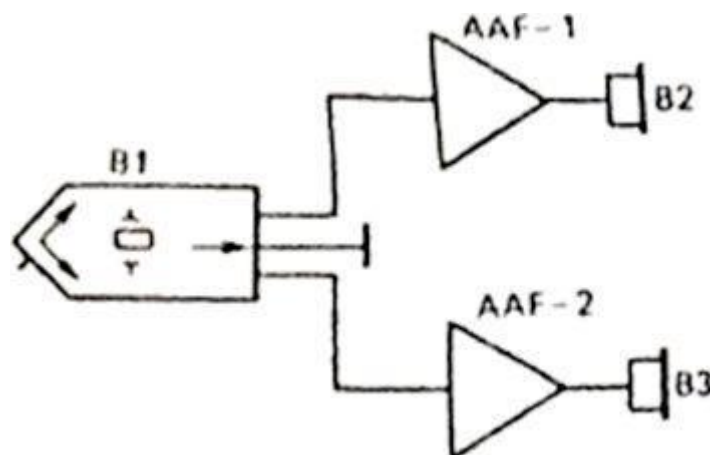


Figura 221. Esquema estructural del amplificador, con auriculares, para reproducir grabaciones estereofónicas

Este dispositivo consta de dos amplificadores de audiofrecuencia (AAF-1 y AAF-2), a cuyas entradas llegan las señales del fonocaptor B1 y de dos auriculares enchufados a los terminales de las salidas de los amplificadores; el AAF-1 y el auricular B2 forman el canal izquierdo del dispositivo estereofónico y el AAF-2 y el auricular B3, el canal derecho.

El esquema básico de una posible variante de este dispositivo, calculada para funcionar conjuntamente con un fonocaptor de cerámica piezoeléctrica y unos auriculares de casco de baja resistencia óhmica, puedes verlo en la Figura 222.

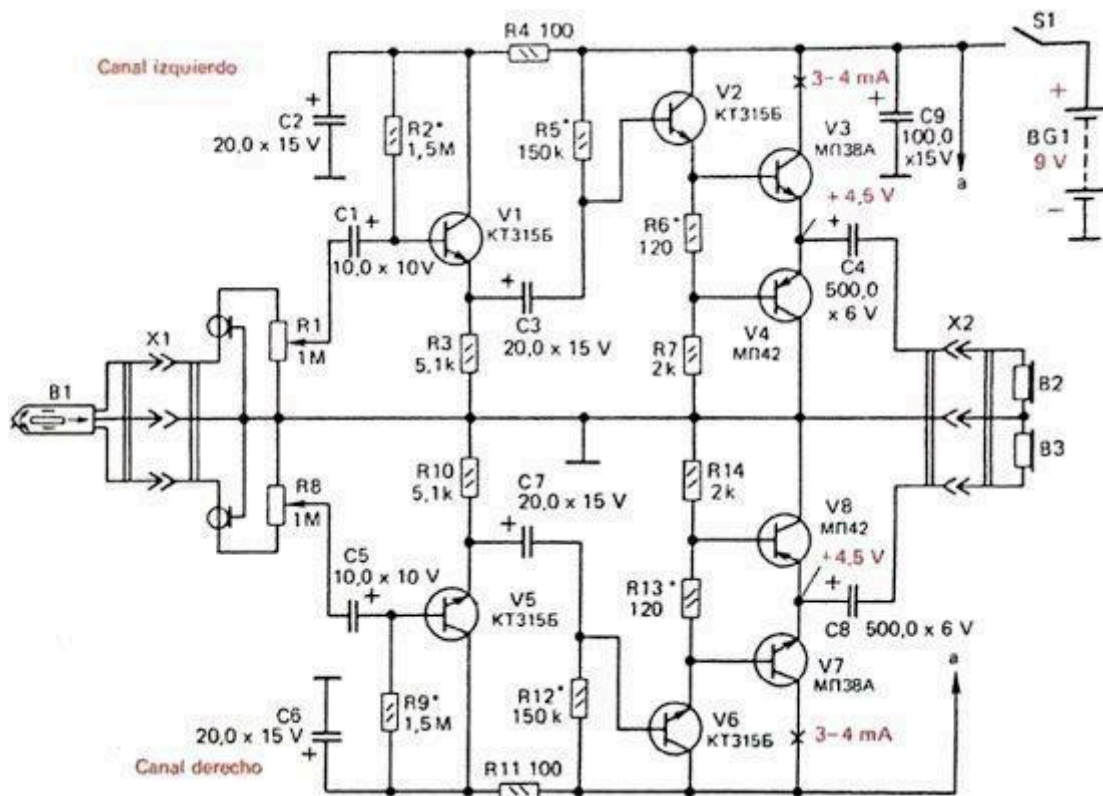


Figura 222. Esquema básico del amplificador estereofónico

El conductor común a "masa" de los circuitos de alimentación divide el esquema en dos partes simétricas. Los elementos de la parte superior del esquema forman el canal izquierdo, y los de la inferior, el canal derecho. Por lo tanto, su base la constituyen dos amplificadores idénticos, con entradas y salidas independientes. Sólo son comunes el fonocaptor B1, la batería de alimentación BG1 y el condensador C9, que shunta en corriente alterna la batería. Como los dos canales del estereoamplificador son absolutamente iguales, explicaré solamente el funcionamiento de uno de ellos, por ejemplo, del izquierdo. La señal del fonocaptor pasa a través del enchufe X1 al resistor variable R1, que desempeña la función de regulador de volumen, y de él, a través del condensador C1, a la base del transistor V1 de la primera etapa del amplificador. El amplificador es de tres etapas con transistores de distinta estructura: los V1 a V3 son *n-p-n* y el V4, *p-n-p*. Todos los transistores, incluso los de la etapa de salida en contrafase, están acoplados según el esquema CC, es decir, funcionan como amplificadores de emisión servoasistidos. En conjunto es, pues, un amplificador de potencia.

Del resistor R3, que es la carga del transistor V1 de la primera etapa, pasa la señal, a través del condensador C3, a la base del transistor V2 de la segunda etapa, y desde su resistor de carga R7, directamente a las bases de los transistores V3 y V4 de la tercera, en contrafase. La señal, amplificada en potencia, a través del condensador C4, llega al auricular B2 y es transformada por él en

sonido. El régimen de funcionamiento del resistor de la primera etapa se establece escogiendo el resistor R5. Eligiendo experimentalmente el resistor R6, que es parte de la carga del transistor V2, se eliminan las deformaciones del tipo "escalón". El resistor R4 y el condensador C2 forman la célula del filtro desacoplador que evita la excitación del amplificador.

La tensión de la señal que se desarrolla en el auricular de baja resistencia óhmica (de 8 a 10 Ω) no supera la tensión que llega a la entrada del amplificador procedente del fonocaptor. Pero la señal ha sido amplificada en potencia, por lo que el sonido en los auriculares es suficientemente intenso.

Exactamente lo mismo funciona el canal derecho de éste, en general, simple, estereo- amplificador.

Los resistores R1 y R8 en la entrada del amplificador no son sólo reguladores de volumen, con ellos se establecen, además, iguales niveles de las señales en las salidas de los canales, o sea, como suele decirse, se realiza el equilibrio estereofónico. Sin este equilibrio se pierde el efecto de relieve del sonido de la grabación estereofónica.

De fuente de alimentación del dispositivo sirven dos baterías 3336A acopladas en serie. La corriente que de ellas consumen los dos canales del amplificador no pasa de 25-30 mA.

El amplificador puede funcionar hasta que la tensión en las baterías llegue a 6 V.

Todos los elementos y grupos del amplificador, incluso la balería de alimentación, se pueden colocar en una caja hecha con dos láminas de duraluminio dobladas en forma de U (Figura 223).

La tapa en forma de U, sujeta con dos tornillos a la base, también en U, forma una caja cuyas dimensiones exteriores son 150 × 110 × 50 mm.

Los resistores variables R1-R8 y la parte hembra del enchufe de entrada X1, se encuentran en la pared delantera de la base de la caja, y la parte hembra del enchufe de salida X2 y el interruptor de alimentación S1, en la pared trasera.

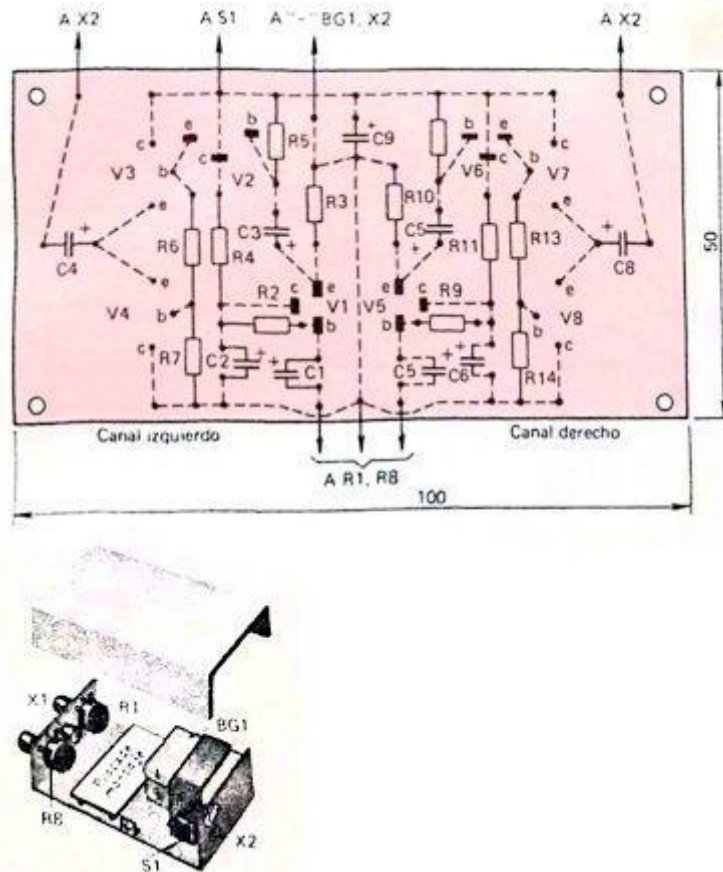


Figura 223. Disposición de los elementos y bloques del amplificador en la caja y su placa de montaje

La placa de montaje del amplificador y la batería de alimentación se fijan en la superficie horizontal de la base, la cual, por debajo, lleva unos tacos de goma a modo de patitas. El montaje de los elementos sobre la placa puede ser colgante o con circuito impreso, depende de lo que desees y de los elementos que dispongas.

Los resistores variables R1 y R8 son del tipo CП-1 grupo A o B (deben ser iguales); los resistores fijos, MAT-0,125 o MAT-0,25; los condensadores electrolíticos, del tipo K50-6; el interruptor de alimentación S1, basculante, tipo TB2-1; los auriculares B2 y B3, de baja resistencia óhmica, electrodinámicos, estereofónicos, de cualquier tipo.

Los pares de transistores V1 y V5, V2 y V6, así como los V3, V4, y V7, V8 conviene escogerlos con parámetros h_{21E} lo más próximos posible. En las etapas de salida, los transistores de germanio МП38А se pueden sustituir por transistores de silicio KT315, y los МП42, por los KT361Б. Pero en este caso la resistencia del resistor R6, que se elige experimentalmente durante el ajuste del amplificador, debe ser mucho mayor.

Los canales del amplificador ajústalos por separado. Supongamos que el primero va a ser el canal izquierdo. En este caso quita la corriente de los transistores del canal derecho del amplificador, enchufa los auriculares a la salida, pon el contacto deslizante del resistor R1 en la posición extrema inferior (según el esquema) y, en paralelo al contacto abierto del interruptor S1, conecta un miliamperímetro para medir la corriente total que consume el canal izquierdo del amplificador. Esta corriente no debe ser mayor de 12 15 mA. Si es mucho mayor puede indicar la existencia de un posible error en el montaje o una resistencia excesivamente grande del resistor R6. Después conecta la alimentación con el interruptor basculante S1 y, escogiendo el resistor R5, establece en los emisores de los transistores V3 y V4 (en el punto de simetría) una tensión de 4,5 V, es decir, igual a la mitad de la tensión de la batería de alimentación, y escogiendo el resistor R6, una corriente de reposo de 3 a 4 mA en el circuito colector del transistor V3.

Cuando vayas a sustituir el resistor R6 desconecta la fuente de alimentación, de lo contrario los transistores V3 y V4 pueden deteriorarse por perforación térmica de las uniones *p-n*. Luego, escogiendo el resistor R2, establece en el emisor del transistor V1 una tensión también igual a la mitad de la de la fuente de alimentación. Si una vez hecho esto pones el contacto deslizante del resistor R1 en la posición extrema superior (según el esquema) y tocas con un dedo su terminal, en el auricular se oye un sonido importante de tono bajo.

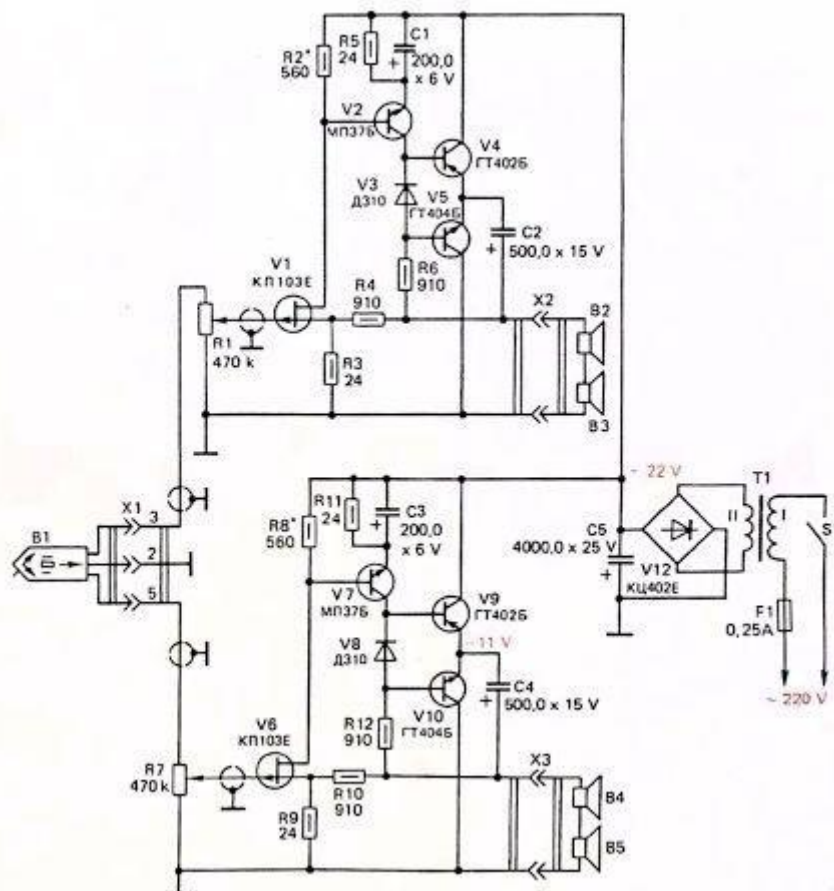
Cuando del mismo modo hayas reglado el canal derecho del amplificador, conecta a su entrada el fonocaptor y toca una placa de gramófono en la cual esté grabada estereofónicamente una composición musical. Al girar los botones de los resistores variables R1 y R8 en sentidos opuestos, el sonido aparecerá y aumentará ya en el auricular derecho ya en el izquierdo. Una vez establecido el equilibrio estereofónico con los resistores, el sonido se percibirá como en relieve. En esto consiste la ventaja del efecto estereofónico frente a la reproducción monofónica del sonido.

La caja del amplificador acabado puedes pintarla con esmalte nitro gris o tapizarla con una película de vinilo decorativa.

§. Complejo estereofónico

En principio, para reproducir las grabaciones estereofónicas en altavoz pueden utilizarse amplificadores de audiofrecuencia iguales cuya sensibilidad sea de 100 a 200 mV y su potencia de salida, de 1 a 3 W. Sin embargo, es preferible construir un amplificador de dos canales calculado para funcionar conjuntamente con un fonocaptor de cerámica piezoeléctrica ЭПУ.

El esquema básico de este amplificador se da en la Figura 224.



Los transistores V1, V2, V4 y V5 y los altavoces dinámicos B2 3 B3 forman el canal izquierdo, y los transistores V6, V7, V9 y V10 y los altavoces B4 y B5, d cana! derecho.

Los canales, como puedes ver, son totalmente iguales. Sólo son comunes para ambos el enchufe X1, por mediación del cual se conecta al amplificador el fonocaptor estereoscópico B1, y el bloque de alimentación de la red. Si la tensión de la fuente de alimentación es de 22 V, la potencia nominal de salida de cada canal es igual a 1 W

y la máxima a 2 W. La sensibilidad, de cerca de 200 mW La gama de frecuencias de funcionamiento de 50 a 15000 Hz.

Vamos a examinar solamente como funciona uno de los canales del amplificador, por ejemplo, el izquierdo. Es de tres etapas, con acoplamiento directo entre los transistores. El transistor V1 de la primera etapa es de efecto-campo, el V2 de la segunda etapa, de poca potencia y baja frecuencia y estructura *n-p-n*, y los transistores de la tercera etapa, de salida, de baja frecuencia, potencia media y distintas estructuras (el V4, *p-n-p*, y el V5, *n-p-n*).

A través del clavijero del enchufe X2 se conectan a la salida del amplificador los altavoces acoplados en serie B2 y B3 de este canal.

Tu sabes que el transistor de efecto-campo posee una resistencia de entrada muy grande y prácticamente no shunta la fuente de la señal a amplificar. Esto permite conectar el fonocaptor de cerámica piezoeléctrica, cuya resistencia interna es grande, a la entrada del amplificador, sin necesidad de etapas adicionales.

En el amplificador que describo la señal del fonocaptor pasa a la puerta del transistor de efecto-campo V1 a través del resistor variable R1 que desempeña la función de regulador de volumen. La tensión positiva de polarización es creada automáticamente en la puerta del transistor por la corriente de la fuente, que pasa por el resistor R3. El papel de carga del vertedero de este transistor lo desempeña la unión emisora *p-n*, el transistor V2 de la segunda etapa. La señal amplificada por esta etapa se transmite directamente a las bases de los transistores V4 y V5, que funcionan en el amplificador de potencia en contrafase. A través del condensador electrolítico C2 las oscilaciones de frecuencia acústica llegan a los altavoces B2 y B4 y son transformadas por ellos en oscilaciones sonoras.

Para evitar las distorsiones tipo "escalón", que surgen en el amplificador en contrafase, a las bases de sus transistores, respecto de sus emisores, hay que suministrarles una tensión de polarización que abra los transistores. En el amplificador que describo las tensiones de polarización iniciales se crean en las bases de los transistores V4 y V5. La caída total de tensión en este diodo V3, intercalado en el circuito colector del transistor V2 en sentido directo. La caída total en este diodo es de 0,25 V. Por consiguiente, sobre la base de cada uno de los transistores de la etapa de salida, respecto de su emisor, actúa una tensión de polarización igual a 0,12-0,13 V.

El diodo V3 desempeña a la vez el papel de elemento termoestabilizador del funcionamiento de los transistores de la etapa de salida.

Esto se efectúa como sigue. El diodo va montado entre los transistores de la etapa de salida, los cuales se calientan al funcionar y calientan también a los elementos que los rodean. Con esto varía la temperatura de la capsula del diodo. Al aumentar la temperatura la resistencia directa del diodo y, por lo tanto, la caída de tensión en él, disminuyen y, respectivamente, disminuyen las tensiones de polarización en las bases y las corrientes en los circuitos colectores de los transistores de salida. Y, al contrario, si la temperatura desciende, cuando la resistencia directa del diodo aumenta, las tensiones de polarización y las corrientes colectoras de los transistores también aumentan un poco. Como resultado, independientemente de las oscilaciones de la temperatura, el régimen de funcionamiento de los transistores de la etapa de salida permanece prácticamente invariable.

Unas palabras sobre las funciones que desempeñan otros elementos del canal de amplificación. El resistor R5 estabiliza el régimen de funcionamiento del transistor V2, y el condensador C1, que lo shunta, hace que disminuya la reacción negativa local en corriente alterna, la cual reduce la amplificación de esta etapa. El resistor R4 crea, entre la salida del amplificador y la fuente del transistor de la primera etapa, una reacción negativa que abarca al amplificador en conjunto y mejora su característica de frecuencia.

El bloque de alimentación de los dos canales lo forman el transformador de red T1 y el bloque rectificador V12, cuyos diodos están conectados en puente. Las ondulaciones de la tensión rectificada se alisan con el condensador C5 (dos condensadores, de 200 mF cada uno, acoplados en paralelo).

Ahora sobre la estructura \ los elementos del amplificador. La vista exterior del amplificador y la ubicación de sus elementos en la caja (cuya pared superior se ha quitado) se muestran en la Figura 225, y la placa de montaje de uno de los canales (el izquierdo) y el esquema de las conexiones de los elementos en ella, en la Figura 226.

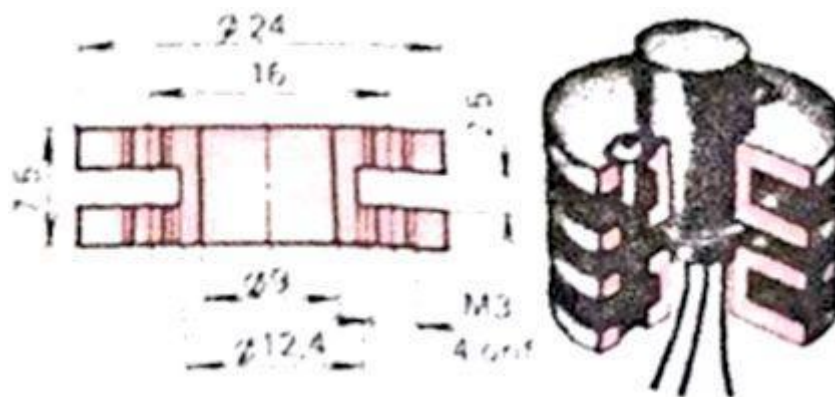


Figura 225. Vista exterior del amplificador y disposición de los elementos en la caja (vista superior)

La caja, cuyas dimensiones exteriores son $170 \times 100 \times 75$ mm, está hecha con seis para corriente de 0.25 A, y los enchufes de entrada y salida, en la pared trasera.

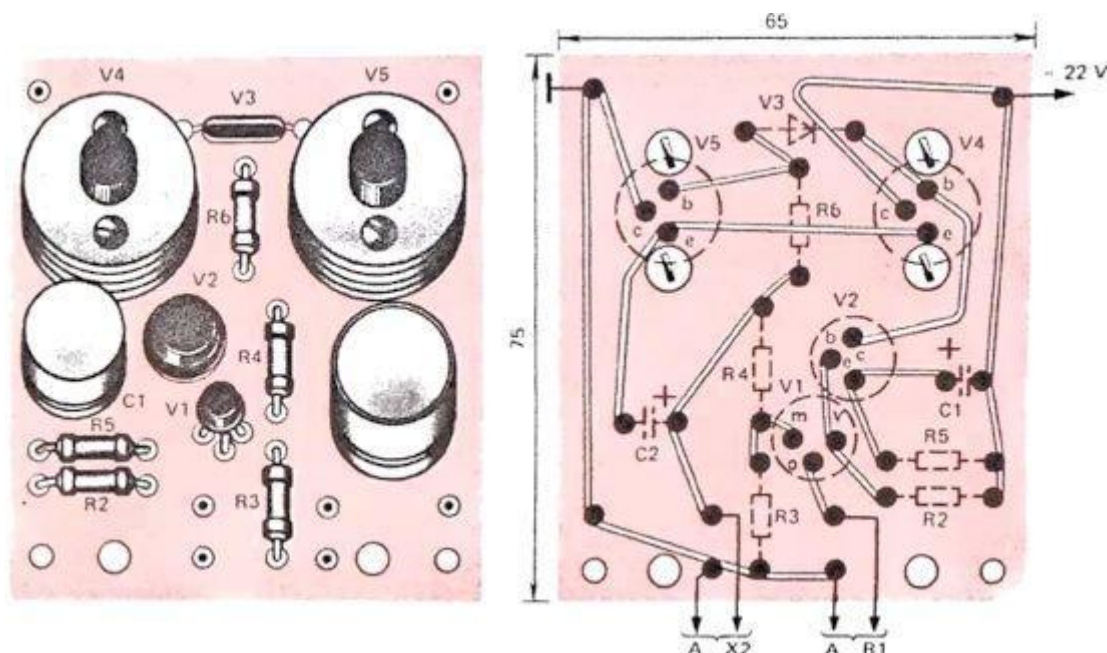


Figura 226. Placa de montaje del canal izquierdo del amplificador y esquema de las conexiones de los elementos en ella

Todos los resistores fijos son del tipo MAT-0,5; los variables R1 y R7, del tipo СП-1; y los condensadores electrolíticos, del K50-6; enchufe X1, del tipo СГ-5, y los X2 y X3, del СГ-3.

Los transistores de efecto-campo КП103Е se pueden sustituir por sus análogos МП103Ж; los transistores МП37Б, por МП37А los con factor estático de transferencia de corriente h_{21E} no menor de 25, y los ПТ402Б y ПТ404Б, respectivamente por los ПТ402А y ПТ404А o (mejor aún) por los ПТ402Г y ПТ404Г. En el bloque de alimentación, el bloque rectificador КД402Е puede sustituirse por cuatro diodos de la serie Д226, con cualquier índice literal, conectándolos en puente. Se pueden montar sobre una placa de cartón baquelizado.

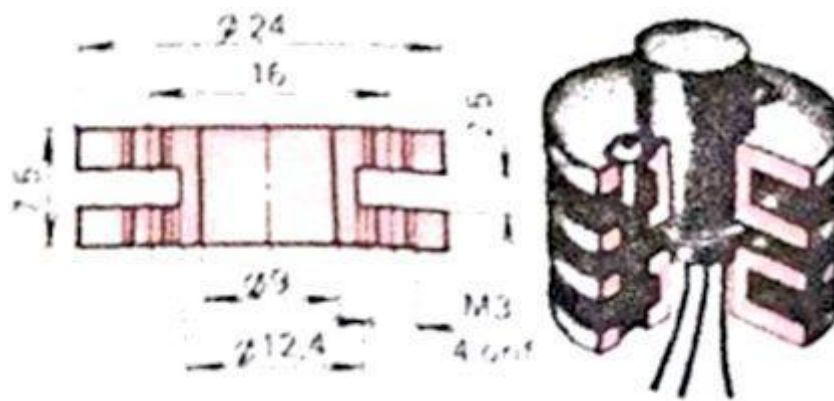


Figura 227. Radiador de calor del transistor de la etapa de salida

El transformador de red T1 del bloque de alimentación está hecho por el mismo aficionado. Para él se puede utilizar el circuito magnético $\Lambda 16 \times 20$ mm. Su devanado primario I está calculado para una tensión de la red de 220 V y tiene 2200 espiras de hilo ПЭВ1 0,2, y el secundario, ПЭВ1 0,67, 180 espiras de hilo ПЭВ1, 0,67. Puede utilizarse un transformador hecho cuyo devanado reductor este calculado para una tensión de 18 a 20 V con corriente mínima de 0,1 A.

Los altavoces M2 y M3 del conjunto del canal izquierdo, así como los B4 y B5 del derecho, son dinámicos, para potencia de 1 a 2 W, con bobinas vocales de 6 a 8 Ω de resistencia.

Los altavoces deben montarse en cajas de madera o contrachapadas. Sus bobinas vocales deben montarse cofásicamente.

Conecta la alimentación y mide inmediatamente la tensión en la salida del rectificador (en el condensador C5).

En dependencia de los datos del devanado secundario del transformador, esta tensión puede ser algo mayor o, al contrario, menor.

Recuerda este valor y después, escogiendo los resistores R2 y R8, establece en los emisores de los transistores de salida (respecto del conductor común de masa) una tensión igual a la mitad de la que hay a la salida del rectificador.

Hecho esto, conecta a la entrada del amplificador el fonocaptor estereofónico y, mientras tocas una placa de gramófono, comprueba a oído la calidad de la reproducción del sonido y la suavidad con que se regula el volumen en cada canal. Cuando las posiciones de los contactos deslizantes de los resistores variables R1 y R7 sean iguales, el volumen del sonido en los altavoces de los dos canales debe ser,

aproximadamente, el mismo y aumentar suavemente al girar las manijas de los resistores en el sentido de las agujas del reloj.

Como ya he dicho, los altavoces de cada conjunto deben conectarse cofásicamente. La coincidencia de fases en la conexión se puede comprobar por el procedimiento siguiente. Conecta brevemente a las clavijas del enchufe del conjunto una batería 33336Λ al mismo tiempo que observas los diafragmas de los dos altavoces del conjunto. En el instante de la conexión de la batería los diafragmas de dichos altavoces deben desplazarse en el mismo sentido, hacia delante o hacia atrás, arrastrados por sus sistemas magnéticos. Si ocurre así, funcionan cofásicamente, si no, es decir, si se desplazan en sentidos distintos, hay que invertir la conexión de los conductores de uno de los altavoces.

Los conjuntos de altavoces de los dos canales también deben conectarse en coincidencia de fases. Es decir, para una misma polaridad de la fuente de la señal, los diafragmas de sus altavoces deben desplazarse en el mismo sentido. Comprueba esto también con una batería 3336Λ. Si, con una misma polaridad de conexión de la batería, los diafragmas de los altavoces de un conjunto se desplazan en un sentido y los del otro conjunto, en sentido opuesto, invierte la posición de los conductores de conexión en las clavijas del enchufe de uno de los conjuntos de altavoces.

Pero el efecto estereofónico sólo se percibe cuando el oyente ocupa una posición determinada respecto de los altavoces, lo cual se explica por la llamada directividad binaural de nuestro oído.

Un gran número de ensayos y experimentos demuestran que el efecto estereofónico se percibe mejor a una distancia de los altavoces igual al doble de su base, es decir, do la distancia entre ellos. También se ha comprobado que la zona del efecto estereofónico será máxima cuando la base de los altavoces sea igual a 1,5 a 2 m y estén dirigidos hacia el oyente formando, aproximadamente, un ángulo de 30°. Estas condiciones se representan esquemáticamente en la Figura 228.

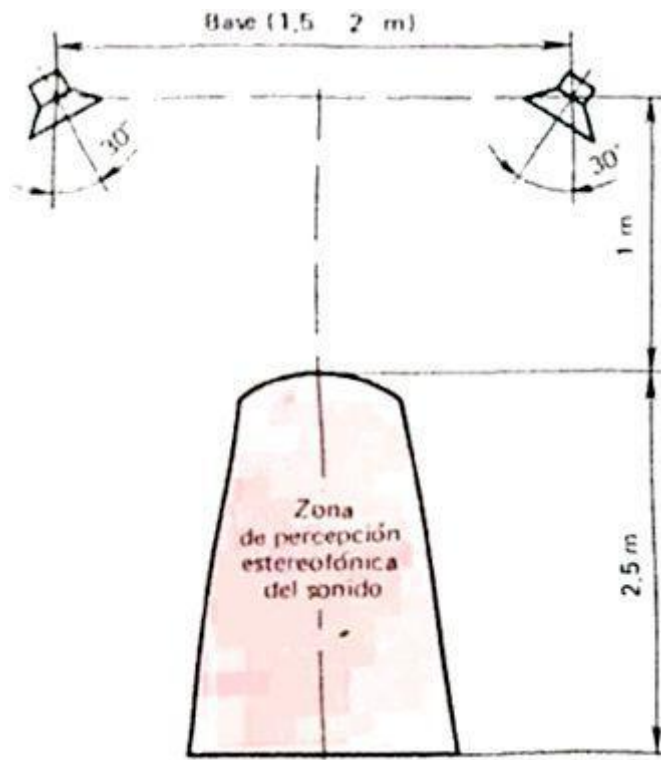


Figura 228 Esquema de la colocación de los altavoces

Teniéndolas en cuenta, encuentra en tu habitación, por medio de pruebas, los puntos de emplazamiento del complejo estereofónico.

Si la habitación es cuadrada, los altavoces puedes colocarlos junto a cualquiera de las paredes. Si es rectangular, es preferible colocar los altavoces en la parte media de una de las paredes largas.

¿A qué distancia del suelo deben ponerse los altavoces? Depende de muchas circunstancias, entre ellas, de su acabado exterior, de la gama de frecuencias en que funcionen y de la potencia del amplificador y las peculiaridades individuales de percepción auditiva. Determina estos factores experimentalmente. El mejor efecto lo conseguirás, probablemente, colocando los altavoces a 1,5-2 m del suelo.

* * * *

En una ocasión pude escuchar la grabación estereofónica hecha en un autódromo. Recuerdo que, de alguna parte, por la derecha, empezaba a oírse el ruido de un motor de automóvil en marcha. El ruido iba aumentando, ante mí se convirtió en rugido y, amortiguándose rápidamente, se alejó por la izquierda. Ha pasado mucho tiempo y aún me acuerdo perfectamente de la sensación que me produjo el efecto estereofónico del automóvil de carreras lanzado a gran velocidad. Ahí tienes lo que es la estereofonía.

Conclusión

Nuestras charlas, mi joven amigo, han terminado. Pero antes de poner el punto final quiero, como si volviera a empezar, darte algunos consejos prácticos acerca de la posibilidad de sustituir los elementos radiotécnicos. La necesidad de las sustituciones se debe a que en todas las construcciones descritas en el libro figuren resistores, condensadores y dispositivos semiconductores de producción soviética. Por eso es lógico preguntarse, ¿qué consideraciones hay que tener en cuenta al sustituir estos elementos por los que puedas encontrar en los comercios de tu país?

Empezaré por los elementos más numerosos, los resistores. Las resistencias y potencia de disipación recomendadas de estos elementos de los aparatos de radio se indican en los esquemas básicos. Esos son sus parámetros eléctricos fundamentales. La resistencia del resistor sustituto puede diferenciarse de la indicada en el esquema dentro de un margen de hasta $\pm 20\%$, lo que prácticamente no influye en el funcionamiento del aparato construido. La potencia de disipación, en cambio, no debe ser menor que la señalada en el esquema, de lo contrario el resistor se recalentará y podrá fundirse. La potencia de disipación de un resistor puedes calcularla, aproximadamente, tú mismo, multiplicando la caída de tensión en él por el valor de la corriente que lo atraviesa. La estructura del resistor sustituto es indiferente, o sea, puede ser cualquiera.

Las estructuras de los condensadores sustitutos también pueden ser cualesquiera. Los condensadores de los grupos y circuitos de alta frecuencia, por ejemplo, de los circuitos oscilantes y de acoplamiento entre las etapas de los canales de radiofrecuencia de los receptores, deben ser de mica o cerámicos y sus capacidades no diferir de las indicadas en los esquemas en más de un $+ 10\%$. En los circuitos de baja frecuencia, por ejemplo, en los amplificadores de audiofrecuencia, las capacidades de los condensadores pueden ser mucho mayores que las que señalan los esquemas, pero no menores, de lo contrario ofrecerían a las oscilaciones de frecuencia acústica una resistencia apreciable. Las capacidades de los condensadores electrolíticos (de óxidos) también pueden ser mayores, pero sus tensiones nominales no deben ser menores que las indicadas, de no ser así, pueden perforarlas las tensiones más altas que actúan sobre ellos. Te recomiendo que primero escojas los condensadores que más convengan y, tomando en consideración sus particularidades estructurales, hagas las correcciones necesarias en las placas de montaje de los aparatos y dispositivos que sayas a construir.

Los diodos de punta de contacto de las etapas detectoras de los receptores de radio pueden ser cualesquiera de germanio, por

ejemplo, de tipo IN87T, IN87X o IS307. Los diodos de punta de contacto de silicio son menos deseables, ya que se abren y emiten las señales de frecuencia acústica a niveles de tensión de las señales de alta frecuencia más altos que los de germanio. Los diodos de aleación (de ligadura) no sirven para estos fines a causa de sus grandes capacidades interiores.

En los rectificadores de los bloques de alimentación de la red para los receptores de radio y los amplificadores de audiofrecuencia pueden funcionar tanto diodos de aleación de germanio como de silicio prácticamente de todos los tipos. Sirven, por ejemplo, los diodos IN443, IN604, DT230H1, MCO30, con los cuales se pueden sustituir los soviéticos de las series D7 ó D226. Los diodos estabilizadores de tensión, que se emplean en los estabilizadores de tensión rectificada, deben tener las mismas tensiones de estabilización, o las más próximas posibles, es decir, corresponder a la necesaria tensión de salida de los estabilizadores. Los diodos estabilizadores de tensión Д813 y Д814, o Д814Г, que se recomiendan para el estabilizador de tensión del bloque de alimentación de las construcciones de transistores (ve el esquema de la Figura 132), pueden sustituirse por los IS473, SV134, Z1AH y el KC139A, o KC147A, con tensión de estabilización de 4 a 5 V, por los MZC3, MZ4A, MZ4622 ó MZ4624

Los transistores bipolares sustitutos deben ser del mismo material inicial que los sustituidos es decir, de germanio (Ge) o de silicio (Si) y tener la misma estructura *p-n-p* o *n-p-n* y factores estáticos de transferencia de corriente (h_{21E}) próximos. Estos son los datos principales que deben servirte de orientación al elegir los transistores sustitutos más convenientes. Debido a la complejidad de la tecnología de fabricación de los transistores, los factores estáticos de transferencia de corriente y otros parámetros, tanto en corriente continua como alterna, tienen cierta dispersión, por lo que la elección de los transistores sustitutos debe hacerse por las características promediadas de dichos parámetros. Para las construcciones de aficionados este método es totalmente aceptable.

A la elección de los transistores convenientes para sustituir los más utilizados en los aparatos y dispositivos radiotécnicos de aficionados, descritos en este libro, puede ayudarle la tabla que aquí se inserta. En la primera columna se indican los transistores de fabricación soviética, en la segunda sus materiales semiconductores iniciales y sus estructuras, y en la tercera, sus análogos aproximados. Al montar los transistores elegidos como sustitutos, ten en cuenta sus peculiaridades estructurales y la disposición de los terminales en el zócalo.

Con esto termina esta última parte del libro.

* * * *

Muchas gracias, mi joven amigo, por la atención que has prestado a mis charlas, al estudio y repetición minuciosa de los receptores, amplificadores de audiofrecuencia, instrumentos de medida y sencillos dispositivos automáticos electrónicos. Ante ti se abre ahora la perspectiva de perfeccionar los conocimientos adquiridos y el amplio camino hacia la construcción de medios de recepción y amplificación más complejos, de aparatos musicales eléctricos y dinámico luminosos y de muchas otras cosas en que tan rica es la radioelectrónica moderna.

¡Que tengas muchos éxitos en esta empresa!

Tabla de transistores análogos

Transistor	Material, Estructura	Análogo	Transistor	Material, Estructura	Análogo
De baja frecuencia y poca potencia					
МП25	Ge, <i>p-n-p</i>	MA910	МП37Б	Ge, <i>n-p-n</i>	T322N
МП25А	Ge, <i>p-n-p</i>	AC116	МП38	Ge, <i>n-p-n</i>	T321N
МП25Б	Ge, <i>p-n-p</i>	2SB172	МП38А	Ge, <i>n-p-n</i>	AC183
МП26	Ge, <i>p-n-p</i>	2N44	МП39	Ge, <i>p-n-p</i>	2N331
МП26А	Ge, <i>p-n-p</i>	GC112	МП39Б	Ge, <i>p-n-p</i>	AC540
МП26Б	Ge, <i>p-n-p</i>	ACY24	МП40	Ge, <i>p-n-p</i>	EFT306
П27	Ge, <i>p-n-p</i>	2N175	МП40А	Ge, <i>p-n-p</i>	OC70
П27А	Ge, <i>p-n-p</i>	2N220	МП41	Ge, <i>p-n-p</i>	OC1072
П28	Ge, <i>p-n-p</i>	AC160	МП41А	Ge, <i>p-n-p</i>	AC542
МП35	Ge, <i>n-p-n</i>	GC525	МП42	Ge, <i>p-n-p</i>	ASY70
МП36А	Ge, <i>n-p-n</i>	AC183	МП42А	Ge, <i>p-n-p</i>	ASY26
МП37	Ge, <i>n-p-n</i>	103N70	МП42Б	Ge, <i>p-n-p</i>	AF266
МП37А	Ge, <i>n-p-n</i>	104N070			
De alta frecuencia y poca potencia					
П401	Ge, <i>p-n-p</i>	EFT317	ГТ310Б	Ge, <i>p-n-p</i>	2N503
П402	Ge, <i>p-n-p</i>	T316H	ГТ310В	Ge, <i>p-n-p</i>	2SA116
П403	Ge, <i>p-n-p</i>	T354H	ГТ310Г	Ge, <i>p-n-p</i>	2N503
П403А	Ge, <i>p-n-p</i>	T357H	ГТ310Д	Ge, <i>p-n-p</i>	2SA107
П416	Ge, <i>p-n-p</i>	SFT319	ГТ310Е	Ge, <i>p-n-p</i>	2SA105
П416А	Ge, <i>p-n-p</i>	T354H	ГТ311Е	Ge, <i>n-p-n</i>	2N955А
П416Б	Ge, <i>p-n-p</i>	2SA279	ГТ311Ж	Ge, <i>n-p-n</i>	2N1585
П422	Ge, <i>p-n-p</i>	SFT316	ГТ311И	Ge, <i>n-p-n</i>	2N955
П423	Ge, <i>p-n-p</i>	SFT163	КТ312А	Si, <i>n-p-n</i>	2N702
КТ301	Si, <i>n-p-n</i>	2N1390	КТ312Б	Si, <i>n-p-n</i>	2SC105
КТ301А	Si, <i>n-p-n</i>	2N842	КТ312В	Si, <i>n-p-n</i>	2SC281
КТ301Б	Si, <i>n-p-n</i>	2N1387	ГТ313А	Ge, <i>p-n-p</i>	2SA229
КТ301В	Si, <i>n-p-n</i>	2N843	ГТ313Б	Ge, <i>p-n-p</i>	2N3250
КТ301Г	Si, <i>n-p-n</i>	2N842	ГТ313В	Ge, <i>p-n-p</i>	2N741
КТ301Д	Si, <i>n-p-n</i>	2N1390	КТ315А	Si, <i>n-p-n</i>	BFP719
КТ301Е	Si, <i>n-p-n</i>	BC101	КТ315Б	Si, <i>n-p-n</i>	2SC633
КТ301Ж	Si, <i>n-p-n</i>	2N843	КТ315В	Si, <i>n-p-n</i>	BFP721
ГТ308А	Ge, <i>n-p-n</i>	2N794	КТ315Г	Si, <i>n-p-n</i>	2SC634
ГТ308Б	Ge, <i>p-n-p</i>	2SA412	КТ315Д	Si, <i>n-p-n</i>	BFP722
ГТ308В	Ge, <i>p-n-p</i>	2N2400	КТ315Е	Si, <i>n-p-n</i>	2N3397
ГТ309А	Ge, <i>p-n-p</i>	2SA272	КТ361А	Si, <i>p-n-p</i>	BC250А
ГТ309Б	Ge, <i>p-n-p</i>	AF178	КТ361Б	Si, <i>p-n-p</i>	BC250В
ГТ309В	Ge, <i>p-n-p</i>	GF128	КТ361В	Si, <i>p-n-p</i>	2N3906
ГТ309Г	Ge, <i>p-n-p</i>	GF126	КТ361Г	Si, <i>p-n-p</i>	BC156
ГТ309Д	Ge, <i>p-n-p</i>	GF130	КТ361Д	Si, <i>p-n-p</i>	BC557
ГТ309Е	Ge, <i>p-n-p</i>	2SA49	КТ361Е	Si, <i>p-n-p</i>	2SA556
ГТ310А	Ge, <i>p-n-p</i>	2SA260	КТ361Ж	Si, <i>p-n-p</i>	2N2711
De potencias media y grande					
ГТ402А	Ge, <i>p-n-p</i>	AD152	ГТ404Е	Ge, <i>n-p-n</i>	AC188
ГТ402Б	Ge, <i>p-n-p</i>	AD155	ГТ404Ж	Ge, <i>n-p-n</i>	AC128
ГТ402В	Ge, <i>p-n-p</i>	AD169	П213	Ge, <i>p-n-p</i>	AD139
ГТ402Г	Ge, <i>p-n-p</i>	AD164	П213А	Ge, <i>p-n-p</i>	AD431
ГТ402Д	Ge, <i>p-n-p</i>	GC500	П213Б	Ge, <i>p-n-p</i>	AD465
ГТ402Е	Ge, <i>p-n-p</i>	GC501	П214	Ge, <i>p-n-p</i>	2N2659
ГТ402Ж	Ge, <i>p-n-p</i>	AC117	П214А	Ge, <i>p-n-p</i>	AD263
ГТ403А	Ge, <i>p-n-p</i>	AD152	П214Б	Ge, <i>p-n-p</i>	AD1203
ГТ403Б	Ge, <i>p-n-p</i>	AD153	П215	Ge, <i>p-n-p</i>	AD439
ГТ403В	Ge, <i>p-n-p</i>	ASY80	П216	Ge, <i>p-n-p</i>	AD138
ГТ403Г	Ge, <i>p-n-p</i>	ADP666	П216А	Ge, <i>p-n-p</i>	EFT212
ГТ403Д	Ge, <i>p-n-p</i>	GC500	П216Б	Ge, <i>p-n-p</i>	2N178
ГТ403Е	Ge, <i>p-n-p</i>	AD155	П216В	Ge, <i>p-n-p</i>	2N554
ГТ403Ж	Ge, <i>p-n-p</i>	AC117	П216Г	Ge, <i>p-n-p</i>	2N5890
ГТ404А	Ge, <i>n-p-n</i>	AC176	П217	Ge, <i>p-n-p</i>	AD130
ГТ404Б	Ge, <i>n-p-n</i>	AC127	П217А	Ge, <i>p-n-p</i>	ASZ15
ГТ404В	Ge, <i>n-p-n</i>	AC141	П217Б	Ge, <i>p-n-p</i>	ASZ1016
ГТ404Г	Ge, <i>n-p-n</i>	AC185	П217В	Ge, <i>p-n-p</i>	ASZ1018
ГТ404Д	Ge, <i>n-p-n</i>	2SD127			