МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ОДЕСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ОДЕСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Схемотехніка РТС та телекомунікаційного обладнання

Галузь знань:	**17 – «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»**
Спеціальність:	**172 – «Телекомунікації та радіотехніка»**
Освітньо -професійна програма:	**«Телекомунікації та радіотехніка. Робототехніка»**

Одеса 2024

Укладачі: ___Лавріненко Юліан Володимирович, викладач, к.т.н.спеціаліст вищої категорії, викладач

_____

_____

_____

(вказати авторів, їхні посади, звання, категорії)

Програма обговорена та схвалена на засіданні циклової комісії «Прикладна механіка, телекомунікації та робототехніка»

Протокол № 1 від "30" 08 2024 року

Голова циклової комісії _____ Олександр ТИМОШЕВСЬКИЙ
(підпис)

Міністерство освіти і науки України

ВСП "Одеський фаховий коледж комп'ютерних технологій Одеського державного екологічного університету"

(повне найменування вищого навчального закладу)

Циклова комісія Прикладна механіка, телекомунікації, робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. директора ВСП «ОФККТ ОДЕКУ»

_____**Костянтин Мамука**

“____”_____**2024 року**

НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА

Схемотехніка РТС та телекомунікаційного обладнання

шифр і назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: **17** – «Електроніка та телекомунікації»/«Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

(шифр і назва напряму підготовки)

Спеціальність: **172** – «Телекомунікації та радіотехніка»/«Електроннні комунікації та радіотехніка»

(шифр і назва спеціальності)

Освітня програма: «Телекомунікації та радіотехніка. Робототехніка»

(назва програми)

Одеса – 2024 рік

Розробники:

_ Лавріненко Юліан Володимирович викладач кандидат технічних наук, спеціаліст вищої категорії

(вказати авторів, їхні посади, звання, категорії)

Програма обговорена та схвалена на засіданні циклової комісії Прикладної механіки, телекомунікацій, робототехніки

Протокол № 1 від "30" 08 2024 року

Голова циклової комісії _____ ____Тимошевський_О.В_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму розглянуто і схвалено Методичною Радою ВСП «ОФККТ ОДЕКУ»

Протокол № 1 від "30" 08 2024 року

Голова Методичної Ради коледжу _____ . _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Переглянуто:

Протокол № ___ від "____"_____202___ року

Голова циклової комісії _____ .
(підпис) (прізвище та ініціали)

© Лавріненко Ю.В., 2024 рік

1. Загальний опис освітньої компоненти

Галузь знань	17 Електроніка та телекомунікації/Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність	172 «Телекомунікації та радіотехніка»/ «Електроннні комунікації та радіотехніка
Освітньо-кваліфікаційний ступінь	Фаховий молодший бакалавр
Компонента освітньої програми	Обов'язкова
Кількість кредитів	5
Загальна кількість годин	150
Рік підготовки	3
Семестр	5
Види навчальних занять	Лекція, практичне, лабораторне, самостійне, індивідуальне.
Засоби діагностики успішності навчання	Поточне усне опитування, тести проміжного контролю, оцінювання завдань самостійної та індивідуальної роботи. Контрольна робота.
Вид контролю	Залік
Мова навчання	Українська

2. Мета, завдання, компетентності та результати навчання:

Метою викладення навчальної дисципліни є:

вивчення схем та принципів роботи основних пристроів РТП для вирішення професійних завдань в області експлуатації радіотехнічного обладнання комп`ютерних мереж.

Завданням навчальної дисципліни є:

дати студентам знання про вид та параметри основних сигналів та їх спектрів, що застосовуються в радіотехнічних системах; використовуваної термінології; конструкції, принципів дії, властивостей приладів діапазону НВЧ та основних схем радіотехнічних пристроїв (РТП),

Міждисциплінарні зв'язки: вивчення базується на знаннях, одержаних студентами по предметах "Загальна фізика", "Електронні прилади, мікроелектроніка та джерела електроживлення", "Матеріали РЕЗ та елементна база РЕА".

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми в процесі вивчення дисципліни «**Схемотехніка РТС та телекомунікаційного обладнання**» здобувачі передвищої фахової освіти повинні набути наступні програмні компетентності та результати навчання:

- ***загальні компетентності***:

ЗК8. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

- *спеціальні (фахові) компетентності*

СК6. Здатність до виявлення типових неисправностей телекомунікаційного і радіотехнічного обладнання за результатами інструментальних вимірювань.
СК11 Здатність до здійснення діагностики та технічного обслуговування обладнання для керування потоками навантаження телекомунікаційних мереж.

- ***програмні результати навчання*:**

РН4 Знати принципи роботи і застосування аналогової і цифрової компонентної бази радіоелектронної апаратури
РН6 Знати технічні характеристики, функціональні схеми, принципи побудови та функціонування, конструктивні особливості телекомунікаційного обладнання та радіотехнічних систем
РН12. Забезпечувати надійну та якісну роботу телекомунікаційних та радіотехнічних систем, оперативно відновляти функціонування систем та пристроїв, використовуючи системи керування та резервування.

3. Програма навчальної дисципліни.

Розділ 1.

Загальна інформація про сигнали.

Тема 1.1. Задачі та стислий зміст дисципліни. Загальні відомості про радіотехнічні системи .

Тема 1.2. Вторинні джерела живлення

Тема 1.3. Каскади підсилювача на транзисторах

Тема 1.4. Резонансні та багатокаскадні підсилювачі; зворотний зв'язок у підсилювачах.

Тема 1.5. Операційні підсилювачі.

Тема 1.6. Обмежувачі сигналів

Розділ ІІ. Генератори

Тема 2.1 Умови отримання неперерівних коливань.

Тема 2.2 Генератори синусоїдальних коливань.

Тема2.3. Генератори послідовностей імпульсів.

Розділ III. Електричні кола з розподіленими параметрами.

Тема 3.1. Електричні кола з розподіленими параметрами,

Тема 3.2. Рижим роботи довгих ліній. Рижим біжучої хвили в довгій лінії. Рижим стоячої хвили в довгій лінії. Рижим змішаної хвили довгій лінії.

Тема 3.3. Елементи техніки надзвичайних частот**.** Радіочастотні кабелі, хвилеводи, трійники, мости, ізолятори.

Розділ IV. Основи цифрової техніки

Тема 4.1 Основні логічні елементи

Тема 4.2. Тригери.

Тема 4.3. Пристрої на логічних елементах

Тема4. 4. Цифро-аналоговий перетворювач.
Тема 4.5. Аналого-цифровий перетворювач.

4. Рекомендована література

Базова

1.Колонтаевський Ю.П., Сосков А.Г, Промислова електроніка та мікросхемотехника.Навч. посіб.2-вид. – К. Каравела, 2004 -432с.
2.Зеленков О.А., Бунчук О.О. Теоретичні основи електротехніки. Електрічні кола з розподіленими параметрами. К. 2014р - 310с
3.Матвієнко М. П. М33 Основи електротехніки та електроніки. Підручник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2017. – 504 с. ISBN 978-617-7320-38-7
4.Паначевний Б.І., Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка: теорія і практикум.-К.:Каравела, 2003 - 440с.
Сисоев В.М.Основи радіотехніки: Підручник.- К. Вища шк.,2004 279с.

Допоміжна

1.Гужій А.М. Електротехніка з основами промислової електроніки .-Київ.: Форум, 2002р

ВСП "Одеський фаховий коледж комп'ютерних технологій
Одеського державного екологічного університету"

(повне найменування вищого навчального закладу)

Циклова комісія Прикладна механіка (електромеханіка), телекомунікації, робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Заступник директора
з навчальної роботи

_____ **Ю.В. Бігунова**

“____”_____**2024 року**

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Схемотехніка РТС та телекомунікаційного обладнання

шифр і назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: **17** – «Електроніка та телекомунікації»/«Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

(шифр і назва напряму підготовки)

Спеціальність: **172** – «Телекомунікації та радіотехніка»/«Електроннні комунікації та радіотехніка»

(шифр і назва спеціальності)

Освітня програма: «Телекомунікації та радіотехніка. Робототехніка»

(шифр і назва навчальної дисципліни)

Одеса – 2024 рік

Розробники:

Лавріненко Юліан Володимирович викладач кандидат технічних наук, спеціаліст вищої категорії

(вказати авторів, їхні посади, звання, категорії)

Програма обговорена та схвалена на засіданні циклової комісії Прикладної механіки, телекомунікацій, робототехніки

Протокол № ___ від "____"_____2024 року

Голова циклової комісії _____ ____Тимошевський_О.В_____

(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму розглянуто і схвалено Методичною Радою ВСП «ОФККТ ОДЕКУ»

Протокол № ___ від. "____"_____2024 року

Голова Методичної Ради коледжу _____ . _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

Переглянуто:

Протокол № ___ від "____"_____202___ року

Голова циклової комісії _____ .

(підпис) (прізвище та ініціали)

© Лавріненко Ю.В., 2024

1. Опис навчальної дисциплини

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень</td><td colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>денна форма навчання</td><td>заочна форма навчання</td></tr>
<tr><td>Кількість кредитів – 5</td><td>Галузь знань
12 Інформаційні технології
(шифр і назва)</td><td colspan="2">Обов’язкова</td></tr>
<tr><td rowspan="10">Загальна кількість годин 150

Тижневих годин для денної форми навчання:
аудиторних – 5
самостійної роботи студента – 2</td><td rowspan="10">Спеціальність (професійне спрямування):
123 Комп’ютерна інженерія

Освітньо-кваліфікаційний рівень:

молодший бакалавр</td><td colspan="2">Рік підготовки:</td></tr>
<tr><td>3-й</td><td>3-й</td></tr>
<tr><td colspan="2">Семестр</td></tr>
<tr><td>5-й</td><td>5-й</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лекції</td></tr>
<tr><td>48год.</td><td>10</td></tr>
<tr><td colspan="2">Практичні, семінарські</td></tr>
<tr><td>30год. .</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Лабораторні</td></tr>
<tr><td>8 год.</td><td>4год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>64год.</td><td>136</td></tr>
<tr><td colspan="2">Індивідуальні завдання:
год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Вид контролю: залік</td></tr>
</table>

2. Мета, завдання, компетентності та результати навчання:

Метою викладення навчальної дисципліни є:

вивчення схем та принципів роботи основних пристроїв РТП для вирішення професійних завдань в області експлуатації радіотехнічного обладнання комп`ютерних мереж.

Завданням навчальної дисципліни є:

дати студентам знання про вид та параметри основних сигналів та їх спектрів, що застосовуються в радіотехнічних системах; використовуваної

термінології; конструкції, принципів дії, властивостей приладів діапазону НВЧ та основних схем радіотехнічних пристроїв (РТП),

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми в процесі вивчення дисципліни «Схемотехніка РТС та телекомунікаційного обладнання » здобувачі передвищої фахової освіти повинні набути наступні програмні компетентності та результати навчання:

- ***загальні компетентності***:

ЗК6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
ЗК8. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

- *спеціальні (фахові) компетентності*

СК6. Здатність до виявлення типових неисправностей телекомунікаційного і радіотехнічного обладнання за результатами інструментальних вимірювань.

- ***програмні результати навчання*:**

РН12. Забезпечувати надійну та якісну роботу телекомунікаційних та радіотехнічних систем, оперативно відновляти функціонування систем та пристроїв, використовуючи системи керування та резервування.

3. Програма навчальної дисципліни.

Розділ 1.

Загальна інформація про сигнали.

Тема 1.1. Задачі та стислий зміст дисципліни. Загальні відомості про радіотехнічні системи .

Тема 1.2. Вторинні джерела живлення

Тема 1.3. Каскади підсилювача на транзисторах

Тема 1.4. Резонансні та багатокаскадні підсилювачі; зворотний зв'язок у підсилювачах.

Тема 1.5. Операційні підсилювачі.

Тема 1.6. Обмежувачі сигналів

Розділ ІІ. Генератори

Тема 2.1 Умови отримання неперерівних коливань.

Тема 2.2 Генератори синусоїдальних коливань.

Тема2.3. Генератори послідовностей імпульсів.

Розділ III. Електричні кола з розподіленими параметрами.

Тема 3.1. Електричні кола з розподіленими параметрами,

Тема 3.2. Рижим роботи довгих ліній. Рижим біжучої хвили в довгій лінії. Рижим стоячої хвили в довгій лінії. Рижим змішаної хвили довгій лінії.

Тема 3.3. Елементи техніки надзвичайних частот**.** Радіочастотні кабелі, хвилеводи, трійники, мости, ізолятори.

Розділ IV. Основи цифрової техніки

Тема 4.1 Основні логічні елементи

Тема 4.2. Тригери.

Тема 4.3. Пристрої на логічних елементах

Тема4. 4. Цифро-аналоговий перетворювач.
Тема 4.5. Аналого-цифровий перетворювач.

4. Структура навчальної дисципліни

	Кількість годин									
	денна форма						Заочна фо			
	усього	у тому числі					усьо го	у тому		
		л	п	лаб	Інд	с.р.		л	п	л
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1
Розділ І . Підсилювачи										
Тема 1.1. Задачі та стислий зміст дисципліни. Загальні відомості про радіотехнічні системи .	4	2				2	2			
Тема 1.2. Вторинні джерела живлення	12	2	4			6	6			
Тема 1.3 Каскади підсилювача на транзисторах	12	4	2			6	10	2		
Тема 1.4 Резонансні та багатокаскадні	16	8	2			6	10			

підсилювачі; зворотний зв'язок в підсилювачах										
Тема 1.5. Операційні підсилювачі	12	2	2	2		6	6			
Тема 1.6. Обмежувачі сигналів.	6	2				4	4			
Розділ II Генератори										
Тем 2.1. Умови отримання неперерівних коливань.	4	2				2	8			
Тема 2.2. Генератори синусоїдальних коливань	12	4	2	2		4	14	2		2
Тема2.3. Генератори послідовностей імпульсів.	12	4	2	2		4	12	2		
Розділ III. Електричні кола з розподіленими парам										
Тема 3.1 Електричні кола з розподіленими параметрами,	8	2	2			4	12	2		2
. **Тема 3.2**. Рижим роботи довгих ліній	12	4	2			6	12			
Тема 3.3. Елементи техніки надзвичайних частот**.** Радіочастотні кабелі, хвилеводи, трійники, мости, ізолятори.	6	2	2			2	10			
Розділ IV. Основи цифрової техніки										
Тема 4.1. Основні логічні елементи.	8	2	2			4	10	2		
Тема 4.2. Тригери.	6	2	2			2	10			
Тема 4.3. Пристрої на логічних елементах .	8	2	2	2		2	14			
Тема 4.4. Цифро-аналоговий перетворювач	6	2	2			2	6			
Тема 4.5. Аналого-цифровий перетворювач.	6	2	2			2	4			
Разом	**150**	**48**	**30**	**8**		**64**	**150**	**10**		**4**

5 . Теми лекційних занять.

Номер заняття	Номер лекції	Назва теми	К-сть годин	Літер.
1	1	Задачі та стислий зміст дисципліни. Загальні відомості про радіотехнічні системи .	2	[3]
2	2	Вторинні джерела живлення	2	[1,3]
3	3	Каскади підсилювача на транзисторах ОЕ.	2	[1,5]
4	4	Каскади підсилювача на транзисторах ОК.	2	[1,5]
5	5	Резонансні підсилювачі.	2	[1,5]
6	6	Богатокаскадние підсилювачі.	2	[1,5]
7	7	Парафазни підсилювачі.	2	[1,5]
8	8	Зворотний зв'язок в підсилювачах.	2	[3,5]
9	9	Операційні підсилювачі	2	[1,5]
10	10	Кола послідовного та паралельного обмеження сигналів	2	[4]
16	11	Умови отримання неперерівних коливань.	2	[5]
17	12	LC- генератори синусоїдальних коливань.	2	[5]
18	13	RC- генератори синусоїдальних коливань	2	[5]
19	14	Генератори послідовностей імпульсів с колекторно-базовими зв'язком.	2	[5]
20	15	Генератори послідовностей імпульсів з індуктивним зв'язком.	2	[5]
23	16	Кола з розподіленими параметрами. Довгі лінії. Поняття погонних опору, емкісти, індуктивності і характеристичного опору.	2	[2]
24	17	Хвилі що падає і відбита в довгій лінії.	2	[2]
25	18	Режим хвилі, що біжить і стоячої, в довгій лінії.	2	[2]
26	19	Елементи техніки надвисоких частот : фідери, хвилеводи, мости, резонатори, шлейфи, чвертьхвильові ізолятори.	2	[2]
30	20	Основні логічні елементи	2	[1]
31	21	Тригери	2	[1]
32	22	Пристрої на логічних елементах .	2	[1]
33	23	Цифро- аналогові перетворювачі	2	[1]
35	24	Аналого-цифрові перетворювачі	2	[1]
		Разом	48	

7. Теми лабораторних занять

Номер з/п	Номер заняття	Назва теми	К-во годин	Пер. літ. для вікон. д.з.

40	1	Дослідження роботи операційного підсилювача	2	Методичні вказівки
41	2	Дослідження роботи генератори синусоїдальних коливань.	2	Методичні вказівки
42	3	Дослідження роботи генератора послідовностей імпульсів.	2	Методичні вказівки
43	4	Дослідження роботи пристроів на логічних елементах	2	Методичні вказівки
		Разом	8	

8. Самостійна робота

Номер теми	Назва теми	Кількість Годин	Пер. літ. для вікон. с.р
1.1	Задачі та стислий зміст дисципліни. Загальні відомості про радіотехнічні системи	2	[1] [3]
1.2	Вторинні джерела живлення	6	[1] [3]
1.3	Каскади підсилювача на транзисторах	10	[1] [5]
1.4	Резонансні та багатокаскадні підсилювачі; зворотний зв'язок в підсилювачах	10	[1] [5]
1.5	Операційні підсилювачі	6	[1] [2]
1.6	Обмежувачі сигналів.	4	[1] [5]
2.1	Умови отримання неперерівних коливань.	2	[1] [5]
2.2	Генератори синусоїдальних коливань	4	[1] [5]
2.3	Генератори послідовностей імпульсів.	4	[1] [5]
3.1	Електричні кола з розподіленими параметрами,	4	[2] [3]
3.2	Рижим роботи довгих ліній	6	[2] [3]
3.3	Елементи техніки надзвичайних частот**.** Радіочастотні кабелі, хвилеводи, трійники, мости, ізолятори.	2	[2] [3]
4.1	Основні логічні елементи.	4	[1] [3]
4.2	Тригери	2	[1] [3]
4.3	Пристрої на логічних елементах	2	[1] [3]

4.4	Цифро-аналоговий перетворювач	2	[1] [3]
4.5	Аналого-цифровий перетворювач	2	[1] [3]
	Разом	**64**	

9. Методи навчання:
словесні – лекції,
наочні – використання комп'ютера з матричним монітором;
практичні – лабораторні роботи.

10. Методи контролю:
- поточне опитування,
- перевірка готовності до лабораторної роботи,
- семестровий залік.

11. Таблиця відповідності результатів контролю знань студентів, рівень знань яких оцінюється за 4-бальною шкалою, у системі ЄКТС

За 4-бальною шкалою	**Оцінка в ЄКТС**	**Критерії оцінювання**
5 (відмінно)	A	Студент виявляє особливі творчі здібності, вміє самостійно здобувати знання, без допомоги викладача знаходить та опрацьовує необхідну інформацію, вміє використовувати набуті знання і вміння для прийняття рішень у нестандартних ситуаціях, переконливо аргументує відповіді, самостійно розкриває власні обдарування і нахили
4 (добре)	B	Студент вільно володіє вивченим обсягом матеріалу, застосовує його на практиці, вільно розв'язує вправи і задачі у стандартних ситуаціях, самостійно виправляє допущені помилки, кількість яких незначна

	C	Студент вміє зіставляти, узагальнювати, систематизувати інформацію під керівництвом викладача; в цілому самостійно застосовувати її на практиці; контролювати власну діяльність; виправляти помилки, серед яких є суттєві, добирати аргументи для підтвердження думок
3 (задовільно)	D	Студент відтворює значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання і розуміння основних положень; з допомогою викладача може аналізувати навчальний матеріал, виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих
	E	Студент володіє навчальним матеріалом на рівні, вищому за початковий, значну частину його відтворює на репродуктивному рівні
2 (незадовільно)	FX	Студент володіє матеріалом на рівні окремих фрагментів, що становлять незначну частину навчального матеріалу
	F	Студент володіє матеріалом на рівні елементарного розпізнання і відтворення окремих фактів, елементів, об’єктів

12. Методичне забезпечення

1. Навчальна програма.
2. Робоча програма.
3. Конспект лекцій.
4. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт.
5. Опорний конспект самостійних робіт.
6. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт.

13. Рекомендована література

Базова

1.Колонтаевський Ю.П., Сосков А.Г, Промислова електроніка та мікросхемотехника.Навч. посіб.2-вид. – К. Каравела, 2004 -432с.
2.Зеленков О.А., Бунчук О.О. Теоретичні основи електротехніки. Електрічні кола з розподіленими параметрами. К. 2014р - 310с

3.Матвієнко М. П. М33 Основи електротехніки та електроніки. Підручник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2017. – 504 с. ISBN 978-617-7320-38-7
4.Паначевний Б.І., Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка: теорія і практикум.-К.:Каравела, 2003 - 440с.
Сисоев В.М.Основи радіотехніки: Підручник.- К. Вища шк.,2004 279с.

Допоміжна

1.Гужій А.М. Електротехніка з основами промислової електроніки .-Київ.: Форум,
2002р

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ОДЕСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ОДЕСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Схемотехніка РТС та телекомунікаційного обладнання

Галузь знань:	**17 – «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»**
Спеціальність:	**172 – «Телекомунікації та радіотехніка»**
Освітньо -професійна програма:	**«Телекомунікації та радіотехніка. Робототехніка»**

Одеса 2024

Укладачі: Лавріненко Юліан володимирович, викладач, спеціаліст вищої категорії, к.т.н.

(вказати авторів, їхні посади, звання, категорії)

Програма обговорена та схвалена на засіданні циклової комісії «Прикладна механіка, телекомунікації та робототехніка»

Протокол № 1 від "30" 08 2024 року

Голова циклової комісії _____ Олександр ТИМОШЕВСЬКИЙ
(підпис)

Лекция 1

Тема: Задачі та стислий зміст дисципліни. Загальні відомості про радіотехнічні системи .

Мета: Отримати первинні знання про радіотехнічні системи.

Питання лекції:

1. Задачі та стислий зміст дисципліни.
2. Загальні відомості про радіотехнічні системи .

1.Задачі та стислий зміст дисципліни.

дати студентам знання про вид та параметри основних сигналів та їх спектрів, що застосовуються в радіотехнічних системах; використовуваної термінології; конструкції, принципів дії, властивостей приладів діапазону НВЧ та основних схем радіотехнічних пристроїв (РТП),

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми в процесі вивчення дисципліни «**Схемотехніка РТП** » здобувачі передвищої фахової освіти повинні набути наступні програмні компетентності та результати навчання:

- ***загальні компетентності***:

ЗК6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК8. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

- *спеціальні (фахові) компетентності*

СК6. Здатність до виявлення типових неисправностей телекомунікаційного і радіотехнічного обладнання за результатами інструментальних вимірювань.

2.Загальні відомості про радіотехнічні системи .

Призначення, склад, розв'язувані завдання радіотехнічними стстемами

Лекция 2

Тема:. **Вторинні джерела живлення**

Мета: Отримати первинні знання про радіотехнічні системи.

Питання лекції:

Вторинні джерела живлення:

1. Поняття первинного та вторинного джерела живлення.

2. Змінний струм.

1. Поняття первинного та вторинного джерела живлення

"Вторинні джерела живлення" розглянемо що це таке, ознайомимося зі змінним струмом, використанням побутової мережі для живлення електронного обладнання, різновидами пристроїв живлення.

Практична частина – використання нашого допоміжного джерела живлення для заряджання різних акумуляторів.

Різноманіття джерел живлення електронних пристроїв та приладів поділяється на два різновиди – первинні та вторинні.

До *первинних джерел* живлення належать ті джерела, які продукують електричну енергію перетворюючи на неї інші види енергії. Давайте напружимо фантазію і подумаємо, що це може бути? Ну, наприклад, ті ж самі гальванічні елементи, батарейки, акумулятори, в яких електрична енергія є наслідком хімічних процесів. Різноманітні генератори змінного та постійного струму, які перетворюють на електричний струм механічну енергію від різноманітних рушіїв: бензинових, дизельних двигунів – автономні генератори; парових турбін – АЕС, ТЕЦ; вітру – вітряки; води – гідроелектростанції. Сонячні панелі – перетворюють енергію світла. І таке інше.

Вторинні джерела живлення, на відміну від первинних – не продукують електричної енергії, вони лише перетворюють один її вид на інший. Тому до вторинних джерел електричної енергії слід віднести різноманітні *блоки живлення*, які перетворюють змінний струм на постійний, а також *інвертори* – пристрої, які перетворюють постійний струм на змінний.

Існує ще один різновид вторинних джерел живлення – *конвертори*. Це пристрої, які призначені для перетворення рівня постійної напруги. Тобто її зниження або підвищення.

Первинні джерела це ті, які продукують електроенергію перетворюючи на неї інші види енергії. Вторинні джерела це ті, які виконують різноманітне перетворення вже існуючої електроенергії.

Сьогоднішня наша мета – Вторинні джерела. Основна маса таких джерел живлення призначена для перетворення мережевого змінного струму у струм постійний. В основі своїй вони поділяються на два види – *лінійні* та *імпульсні*. Саме їх ми і будемо розглядати, втім, перш ніж братися за це, слід з’ясувати що таке змінний струм.

2.Змінний струм

Факт, що наші зовнішні електромережі призначені для передачі та розподілення змінного струму, тож і до нашого житла потрапляє саме змінний струм. Чому змінний струм, а не постійний?
Електричні машини для генерації змінного струму конструктивно простіші, як і електродвигуни, які перетворюють електричну енергію на механічну. Змінний струм легше трансформувати: робити вищою або нижчою його напругу. І останнє – його легше транспортувати саме з меншими втратами. Це переваги змінного струму.
Основним недоліком змінного струму є його *більша небезпечність* на відміну від постійного. Для завдання аналогічної шкоди організму людини, сила змінного струму може бути втричі меншою за постійний. Ризик збою серцевого ритму, паралічу – при впливі змінного струму на організм людини, набагато вищий. Саме тому, при роботі зі змінним струмом треба бути особливо уважним та обережним!
Для отримання змінного струму використовують генератор – пристрій, який виробляє змінний струм перетворюючи механічну енергію за принципом електромагнітної індукції. Електромагнітна індукція – це процес утворення струму у дроті, який рухається у магнітному полі.
Не думаю, що нам слід повторювати курс фізики загальноосвітньої школи. Там усе це розібрано більш-менш детально. А основні моменти, для відновлення базових основ, нагадаю.
На *Мал. 1* показано один цикл обороту з відповідним кутом положення рамки умовного генератора змінного струму. Гадаю такий графік вам знайомий.

За один цикл (оберт) генерується один період змінного струму. Кількість періодів за секунду визначає частоту генерації та позначається літерами Гц (герц – похідна від прізвища німецького фізика Генріха Герца). Частота струму у нашій мережі змінного струму становить 50 Гц – це 50 повних періодів за секунду. Тобто, щоб отримати частоту мережевого струму, умовний генератор повинен робити 3000 об/хв.
Амплітуда періоду 90о та 270о – піки напруги виробленого струму різної полярності. Величина амплітудної напруги є потенціалом розмаху синусоїди – від піку до піку.
У повсякденні ми оперуємо діючою напругою змінного струму. Що це і як це? Давайте трохи зупинимося.
Для того, щоб стандартизувати, привести до відповідності діючу потужність змінного струму з постійним, порівняли їх і з'ясували. Змінний струм нашої мережі здатен віддати таку ж саму потужність, як і постійний при значенні 220 В. Тобто, і 220 В змінного струму, і 220 В постійного струму – в однаковій мірі розігріють обігрівач, або електричну лампочку освітлення. Тепер і закон Ома абсолютно однаково відповідає і змінному, і постійному струму.
Таке значення мережевої напруги змінного струму називається діючим. Отже, *діюча* напруга нашої мережі становить 220 вольтів. На цю напругу розраховані побутові прилади, електровимірювальні пристрої (мультиметри

теж показуватимуть 220 В), вона є опорною для розрахунків. Та факт полягає у тому, що вона відрізняється від *амплітудної*.
Величина амплітудної напруги (струму) співвідноситься з діючою, як добуток діючої на значення кореня квадратного з двійки, тобто:

UA = UД*√2 = 1.414

де: UA – напруга амплітудна;
UД – напруга діюча.
Отже, помноживши значення діючої напруги на 1.414 ми дізнаємося її значення амплітудне.

220*1.414 ≈ 311 В

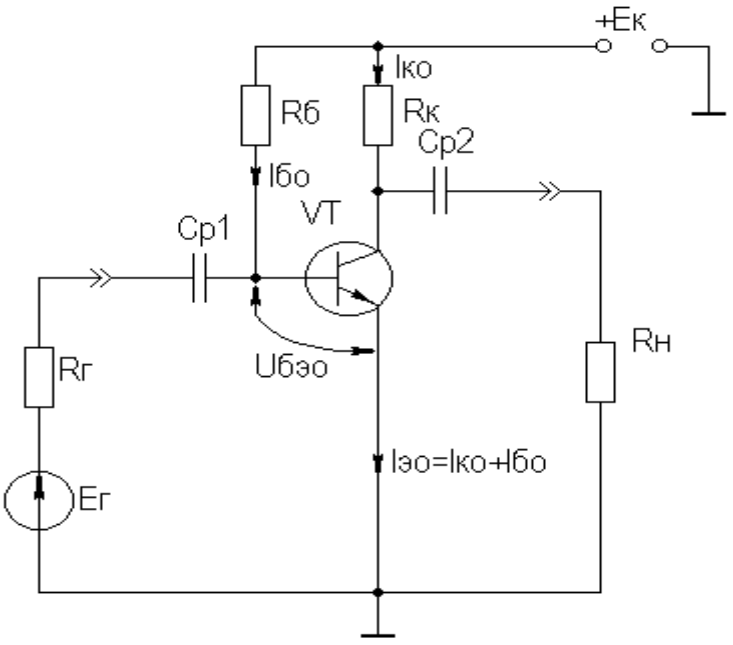
Тобто, потенціал розмаху синусоїди від піку до піку становить близько 311 В.
Запам'ятайте співвідношення, та засвойте різницю між *діючим* та *амплітудним* значеннями. Аматору, який займається виготовленням, ремонтом вторинних джерел живлення, це вкрай необхідно. Ми ще зустрінемося із терміном амплітудне значення при подальшому розгляді як лінійних так і імпульсних блоків живлення.
Не слід забувати, що наведена вище формула співвідношення істинна лише для *синусоїдального* струму!

Лекция 3.

Тема: Каскади підсилювача на транзисторах ОЕ.
Мета: Вивчити принципову схему та роботу каскаду підсилювача на транзисторі, включеному з ОЕ
Питання лекції:
1.Підсилювальний каскад на біполярному транзисторі з ОЕ.
2. Каскад підсилювача на транзисторі з ОЕ з термокомпенсацією

1. Підсилювальний каскад на біполярному транзисторі з ое

Серед численних варіантів підсилювальних каскадів на БТ найширше застосування знаходить каскад з ОЕ, що має максимальний коефіцієнт передачі по потужності K_p варіант схеми якого приведений на малюнку 2.9.
Если входного сигнала нет, то каскад работает в режиме покоя. С помощью резистора $R_б$ задается ток покоя базы $I_{б0} = (E_к - U_{бэ0}) / R_б$. Ток покоя коллектора $I_{к0} = H_{21э} I_{б0}$. Напряжение коллектор-эмиттер покоя $U_{к0} = E_к - I_{к0} R_к$. Отметим, что в режиме покоя напряжение $U_{бэ0}$ составляет десятки и



сотни мВ (обычно 0,5…0,8 В). При подаче на вход положительной полуволны синусоидального сигнала будет возрастать ток базы, а, следовательно, и ток коллектора. В результате напряжение на $R_к$ возрастет, а напряжение на коллекторе уменьшится, т.е. произойдет формирование отрицательной полуволны выходного напряжения. Таким образом, каскад с ОЭ осуществляет инверсию фазы входного сигнала на 180^0 .

Графічно проілюструвати роботу каскаду з ОЕ можна, використовуючи вхідні і вихідні статичні характеристики БТ, шляхом побудови його динамічних характеристик (ДХ) . Унаслідок слабкої залежності вхідної провідності транзистора g від величини навантаження, вхідні статичні і динамічні характеристики практично співпадають. Вихідні ДХ - це прямі лінії, які в координатах $I_к, U_{кэ}$ відповідають рівнянням, що виражають залежності між постійними і змінними значеннями струмів і напруги на навантаженнях каскаду по постійному і змінному струму. Процес побудови вихідних динамічних характеристик (прямих навантажень по постійному - $R_=$ змінному - $R_\approx$ струму) зрозумілий з малюнка 2.10.

Слід зазначити, що проста побудова ДХ можливо тільки при активному навантаженні, тобто в області СЧ АЧХ (див. рис.2.2), в областях НЧ і ВЧ прямі навантажень трансформуються в складні криві.

Побудова ДХ і їх використання для графічного розрахунку підсилювального каскаду детально описана в [5,6].

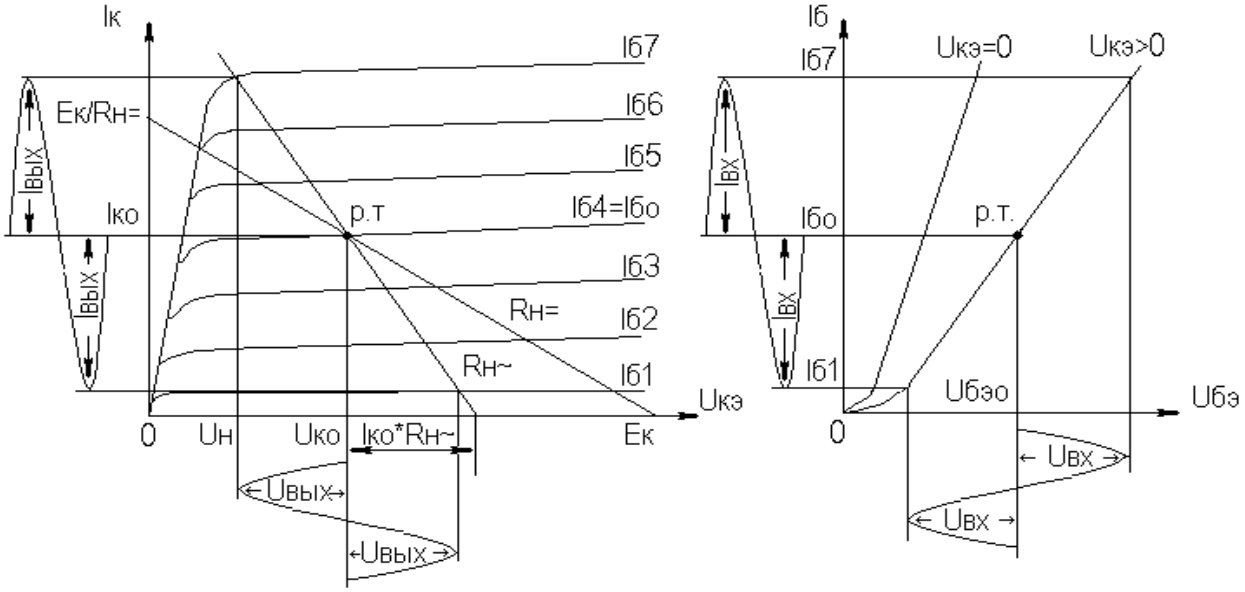


Рисунок 2.10 Динамические характеристики каскада с ОЭ

Навантаження даного каскаду по постійному і змінному струму визначаються як:

$R_= = R_к$;

$R_\approx = R_к \,||\, R_н$.

Координати робочої точки $(U_{к0}, I_{к0}, U_{бэ0}, I_{б0})$ для малосигнальних підсилювальних каскадів вибирають на лінійних ділянках вхідний і вихідний ВАХ БТ, використовуючи в малосигнальних підсилювальних каскадах так званий режим (клас) посилення А. Другие режими роботи каскадів частіше використовуються в підсилювачах потужності, і будуть розглянуті у відповідному розділі.

За відсутності в довідкових даних ВАХ БТ, координати робочої точки можуть бути визначені аналітичним шляхом (див. малюнок 2.10):

$U_{к0} = U_{вых} + U_{н}$,

де $U_{н}$ - напруга нелінійної ділянки вихідних статичних ВАХ транзистора $U_{н} = 1...2\ В$;

$I_{к0} \geq U_{вых} / R_{\sim}$,

$I_{б0} = I_{к0} / H_{21э}$,

$U_{бэ0} = 0{,}6...0{,}8\ В$ (*для кремниевых транзисторов*),

$U_{бэ0} = 0{,}4...0{,}6\ В$ (*для германиевых транзисторов*).

Якщо для малосигнальних каскадів в результаті розрахунку по вищенаведених формулах значення $U_{к0}$ і $I_{к0}$ опиняться, відповідно, менше 2 В і 1 мА, то, якщо не пред'являються додаткові вимоги до економічності каскаду, рекомендується брати ті значення координат робочої точки, при яких наводяться довідкові дані і гарантуються оптимальні частотні властивості транзистора.

2. Каскад підсилювача на транзисторі з ОЕ з термокомпенсацією

Для розрахунку параметрів підсилювального каскаду по змінному струму зручно використовувати методику, описану в розділі 2.3, а БТ представляти моделлю, запропонованою в розділі 2.4.1.

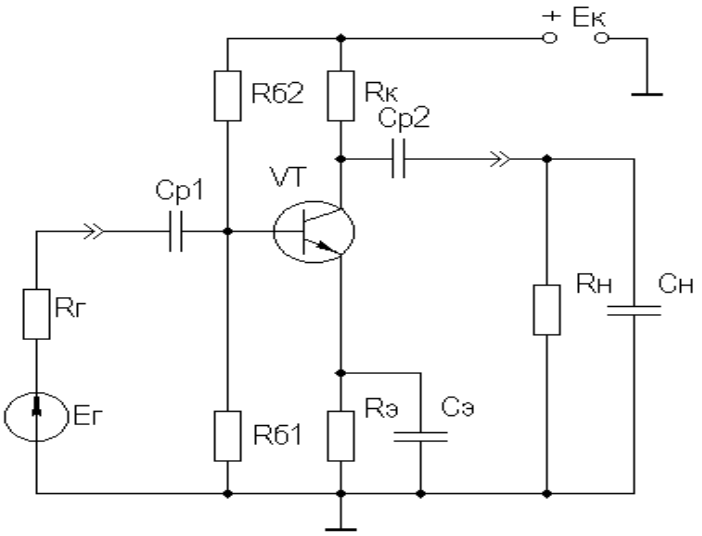


Рисунок 2.11 Усилительный каскад с ОЭ

Полная электрическая схема усилительного каскада с ОЭ приведена на рис.2.11.

На відміну від раніше розглянутого каскаду (рис.2.9) тут застосована емітерна схема термостабілізації ($R_{б1}, R_{б2}, R_{э}$), що забезпечує кращу стабільність режиму спокою, принцип її роботи буде розглянутий далі. Конденсатор $C_{э}$ необхідний для шунтування $R_{э}$ з метою з'єднання емітера транзистора із загальним дротом на частотах сигналу (усунення зворотного зв'язку на частотах сигналу, вигляд і характер цього зв'язку буде розглянутий у відповідному розділі).

Лекция 4.

Тема: Каскади підсилювача на транзисторах ОК.

Мета: Вивчити принципову схему та роботу каскаду підсилювача на транзисторі, включеному з ОК

Питання лекції:

1. Підсилювальний каскад на біполярному транзисторі з ОК

2. Характерні риси каскаду підсилювача на транзисторі, включеному з ОК.

1.Підсилювальний каскад на біполярному транзисторі з ок

Схема каскаду з ОК з емітерною схемою термостабілізацією приведена на малюнку .

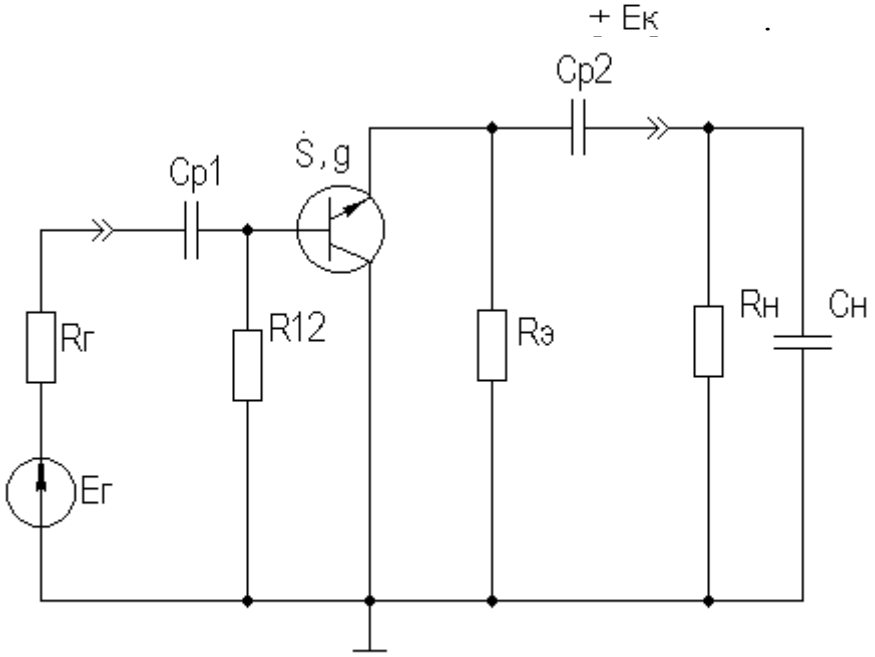


Рисунок 2.27 Схема каскада с ОК для частот сигнала

Каскад с ОК называют еще "повторителем напряжения" или "эмиттерным повторителем", т.к. коэффициент передачи по напряжению этого каскада меньше единицы, что вытекает из его дальнейшего анализа.

При подачі на базу позитивної півхвилі вхідного синусоїдального сигналу збільшуватиметься струм колектора і, отже, струм емітера. В результаті падіння напруги на збільшиться, тобто відбудеться формування позитивної півхвилі вихідної напруги. Таким чином, каскад з ОК не інвертує вхідний сигнал.

Напруга сигналу, прикладена до емітерного переходу, є різницею між $U_{вх}$ і $U_{вых}$. Чим більше і (при заданому), тим менше опиниться напруга, прикладена до емітерного переходу, що приводитиме до зменшення струму емітера і, відповідно, до зменшення тобто в каскаді з ОК виявляється дія ООС, причому 100%-ной.

Аналіз роботи підсилювального каскаду з ОК по вхідних і вихідних динамічних характеристиках проводиться як для ОЕ (див. розділ 2.5).

Для розрахунку параметрів каскаду з ОК по змінному струму використовуємо методику розділу 2.3, а БТ представляти моделлю запропонованою в розділі 2.4.1.

Лекция 5

Тема: Резонансні підсилювачі.

Мета: Вивчити принципову схему та роботу каскаду резонансного підсилювача на транзисторі.

Питання лекції:

1. Резонансні підсилювачі
2. Вплив коливального контуру на АЧХ підсилювача

1. Резонансні підсилювачі

Ці підсилювачі найчастіше використовуються для виділення та підсилення радіочастотних сигналів. Це — суто вузькосмугові вибірні підсилювачі, основними параметрами яких є максимальний коефіцієнт підсилення K_0 , частота максимального

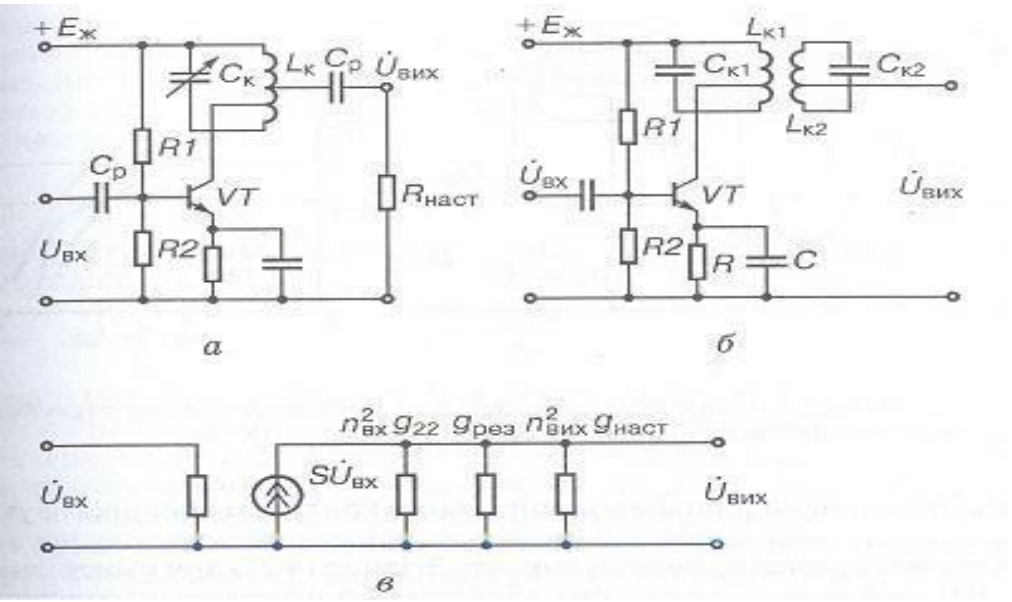


Рисунок1. Принципові схеми резонансних підсилювачів, побудованих на одиночному

(*а)* і зв'язаних (*б*) контурах, та їх еквівалентна схема (*в*)

підсилення , смуга пропускання $2\Delta f$ і вибірність, що визначається крутістю схилів АЧХ, або її коефіцієнтом прямокутності. В колі навантаження такого підсилювача є резонансний фільтр у вигляді коливального контуру чи системи коливальних контурів. Такий підсилювач називається *підсилювачем із зосередженою селекцією*.

2. Вплив коливального контуру на АЧХ підсилювача

Між вимогами до коефіцієнта прямокутності та ширини смуги пропускання підсилювача існує протиріччя, яке не завжди можна вирішити за допомогою схем зосередженої селекції. Тому в багатокаскадних резонансних підсилювачах з розосередженою селекцією сигналів застосовується взаємне розстроювання контурів (рис.2) Залежно від кількості каскадів такі підсилювачі називаються підсилювачами *на розстроєних парах і розстроєних трійках контурів*. Принцип збільшення вибірності при збереженні широкої

смуги пропускання і достатній рівномірності вершини АЧХ багатокаскадного підсилювача полягає в тому, що загальне їх рівняння визначається як добуток рівнянь характеристик окремих каскадів. Здобутий ефект для випадку розстроєних пар контурів при критичному їх розстроюванні ілюструє рис. 5.12, *б*.

Існують також вибірні підсилювачі з резонансними системами на п’єзокварцових, магнітострикційних та інших фільтрах. Властивості резонансних підсилювачів значною мірою залежать від типу резонансної системи і способів її зв'язку з навантаженням та електронним приладом.

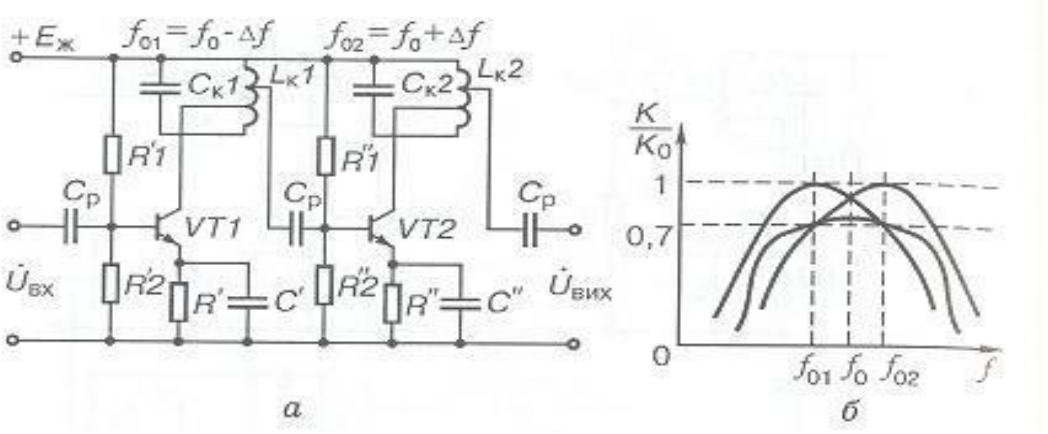


Рисунок 2. Приклад резонансного двокаскадного підсилювача на розстроєних парах
контурів (*а*) та ілюстрація принципу формування його АЧХ (*б*)

Підсилювачі з одиночним коливальним контуром використовують переважно тоді, коли треба змінювати резонансну частоту, для чого застосовується конденсатор змінної ємності. Згідно з (4.27) при цьому змінюється хвильовий опір, а разом з ним усі еквівалентні параметри коливального контуру, в тому числі коефіцієнт передачі.

Вихідний опір транзистора і навантаження наступних елементів схеми суттєво впливають на вибірні властивості резонансного фільтра, його еквівалентну добротність та резонансний опір. Тому в резонансних підсилювачах завжди застосовують неповне вмикання коливального контуру з обох боків, як показано на рис. 5.11, *а*, *б*. Коефіцієнт підсилення такого каскаду на резонансній частоті визначається виразом

$$K_{рез} = n_{ВХ} n_{ВИХ} S R_{рез.ек} \quad , (5.13)$$

де $n_{ВХ}$ і $n_{ВИХ}$ — коефіцієнти вмикання контуру з боку його входу та виходу;

$S = g_{21}$ —провідність прямої передачі транзистора;

$$R_{рез.ек} = \frac{R_{рез}}{1 + R_{рез}(n_{ВХ}^2 g_{22} + n_{ВИХ}^2 g_{НАСТ})}$$ — еквівалентний резонансний опір контуру

Лекция 6.

Тема: Богатокаскадние підсилювачі.

Мета: Вивчити принципову схему та роботу богатокаскадного підсилювача на транзисторах

Питання лекції:

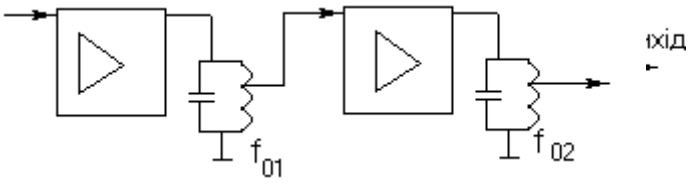
1. Схеми з'єднання каскадів підсилювача**.**
2. Результуючі параметри багатокаскадних підсилювачів

1.Схеми з'єднання каскадів підсилювача.

Використання багатокаскадних підсилювачів

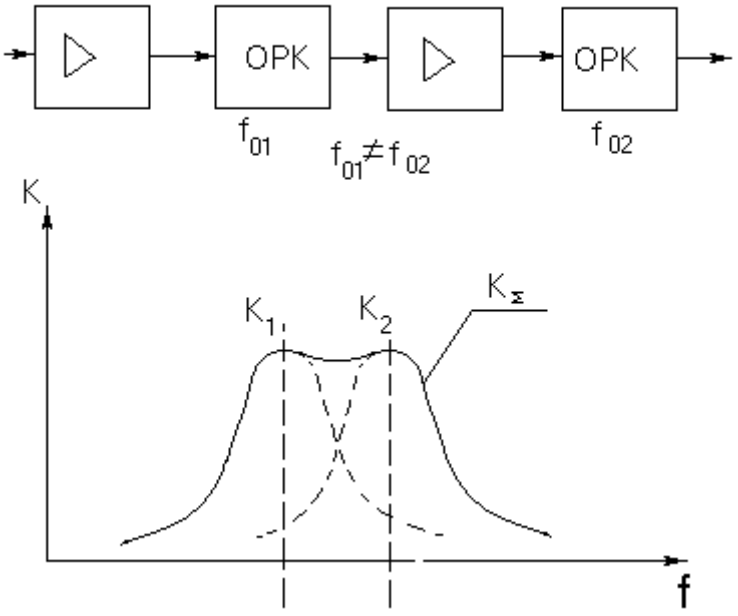
Якщо використовувати контури настроєні на одну й туж частоту , то корисний ефект може бути не досягнутий.Основним методом поліпшення вибірковості є АЧХ підсилювача з формою що наближена до прямокутника.Варіантів досягнення цього декілька.

Використання подвійних смугових фільтрів (ПСФ)



кращою

Крім того прямокутну форму можна отримати в підсилювачах з розподільною селективністю з взаємно розстроєними контурами.



Такі підсилювачі називають підсилювачами з парами . Також використовують 3 взаєморозстроєні ОРК .Основне використання : широкосмугові селективні підсилювачі .

В вузькополосних селективних підсилювачах використовують також фільтри з зосередженою вибірковістю (ФЗВ). Ці фільтри являють собою взаємозв‘язані контури з узгодженим характеристичним опором. Такі фільтри мають великі габарити і важко настроюються .Тому їх витісняють п‘єзоелектричні фільтри (ПЕФ), п‘єзокерамічні фільтри (ПКФ),електромеханічні фільтри(ЕМФ), та фільтри на поверхневих акустичних хвилях.

2. Результуючі параметри багатокаскадних підсилювачів

Резонансний коефіцієнт підсилення $K_0=S \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \rho \cdot Q_e=$
$S \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \rho \cdot Q_e \cdot \omega_0 \cdot L_k= S \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \rho \cdot Q_e/\omega_0 \cdot C_k$

В залежності від потрібної властивості підбирають різні значення параметрів.

Якщо потрібна висока селективність m_1 і m_2 вибирають малі.

Якщо потрібен максимальний K_0 m_1 і m_2 вибирають оптимальні.Вони визначаються в режимі узгодження .

Практика

Лекція № 1

§ Коефіцієнт передачі (підсилення, перетворення)

Коефіцієнт передачі – загальний випадок (параметр) коефіцієнта перетворення.Про $К_и$ можна говорити тільки тоді, коли є коефіцієнт перетворення (передачі).

$K = \frac{A_{вих}}{A_{вх}}$ A => U; I; P; в різних сполученнях.

$К_у = U_{вих} / U_{вх}$; $К_і = I_{вих} / I_{вх}$; $К_р = P_{вих} / P_{вх}$;

$К=I_{вих}/U_{вих}$ – коефіцієнт прямої передачі транзистора (крутизна характеристики, якщо $I_к$, а не $U_{бе}$)

Для перетворення частоти $К_у = U_{вих.\ пч}/U_с$, де $U_{вих.\ пч}$ – напруга коливань проміжної частоти.

Лекция 7.

Тема: Парафазни підсилювачі.

Мета: Вивчити принципову схему та роботу парафазного підсилювача на транзисторах

Питання лекції:

1. Презначення
2. Схема фазоинверсного каскада с инвертирующим транзистором

1. Призначення

Фазоінверсний каскад з транзистором, що інвертує, містить двокаскадний резисторний підсилювач на транзисторах V1, V2, включених з ОЕ. Перший каскад на транзисторі V1 посилює вхідну напругу uвх. Напруга uвых1 на виході V1 є вихідною напругою першого плеча інверсного каскаду. Ця напруга uвых1подается на другий каскад, має коефіцієнт посилення по напрузі близько одиниці (Кн≈1). Напруга на виході V2 uвых2 є вихідною напругою другого плеча інверсного каскаду. По амплітуді воно дорівнює напрузі uвых1і зсунуто щодо його фазою на 180°.

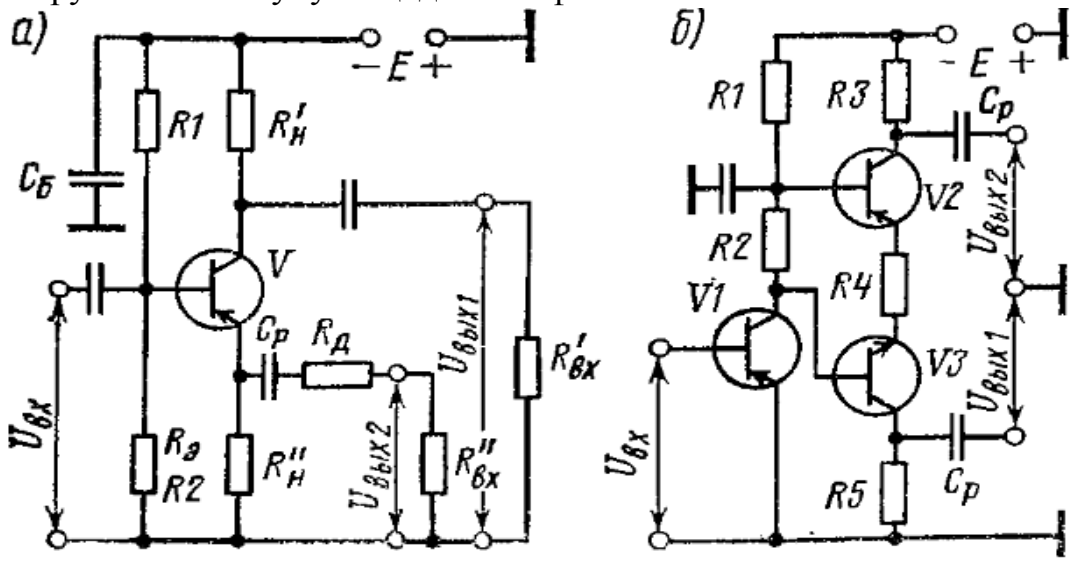
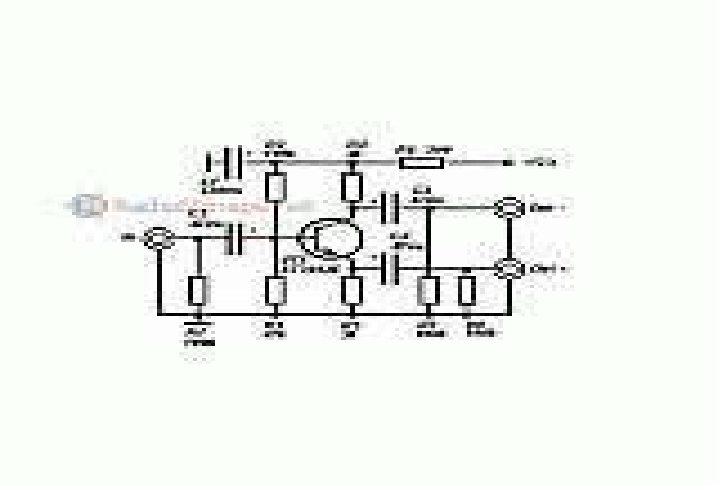


Рис. 1 Фазоинверсный каскад с инвертирующим транзистором.

С помощью резисторов $R_{э1}$ и $R_{э2}$ каскады охвачены ООС по току, стабилизирующей режим транзисторов по постоянному току и улучшающей частотную и переходную характеристики усилителя. Чтобы второй каскад имел $К_Н$=1, сопротивление резистора R5 выбирают меньше сопротивления резистора R3. Возникающую при этом асимметрию выходных сопротивлений плеч инверсного каскада устраняют с помощью резистора R4.

2.**Схема фазоинверсного каскада с инвертирующим транзистором**
В тех случаях, когда усилитель не предназначен для работы в мостовом включении, его можно перевести в такой режим при помощи предлагаемого каскада. Принципиальная схема фазоинвертора для мостового усилителя (КТ3102). Никаких секретов здесь нет- это известный с доисторических ...



Лекция 8

Тема: Зворотні зв'язки в підсилювачах.

Мета: Вивчити принцип організації зворотного зв'язку в підсилювачах Види зворотних зв'язків у підсилювачах

Питання лекції:

1. Зворотні зв'язки в підсилювачах.

2.Види зворотних зв'язкі в у підсилювачах

1. Зворотні зв'язки в підсилювачах

Крім кола прямої передачі енергії сигналу підсилювальний каскад може мати електричні кола по яких частина енергії корисного сигналу передається з виходу каскаду на його вхід або на вхід одного з попередніх каскадів. Це явище називається зворотним зв’язком. Зворотний зв'язок може бути загальним (рис.1.), який охоплює весь підсилювач і місцевим (рис.2), який охоплює окремі каскади підсилювача. Замкнутий контур, який охоплює

основне коло і коло зворотного зв’язку, яке охоплює підсилювач, називається петлею зворотного зв’язку.

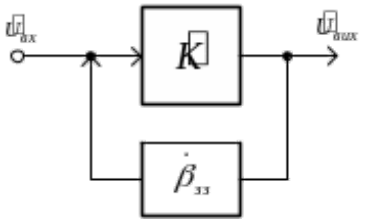


Рис.1. Загальний зворотний зв'язок в підсилювачі

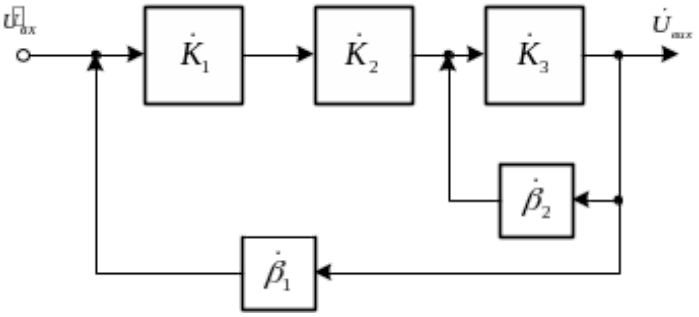


Рис.2. Місцевий зворотний зв'язок в підсилювачі

2.Види зворотних зв'язкі в у підсилювачах

В залежності від того, якій величині пропорційна напруга зворотного зв’язку $U_{зз}$, розрізняють зворотний зв'язок за напругою і за струмом. Якщо напруга зворотного зв’язку пропорційна вихідній напрузі на навантаженні $\dot{U}_{зз} = \dot{\beta}_{зз} \dot{U}_{вих}$, то такий зворотний зв'язок називається зворотним зв’язком за напругою (рис.3).

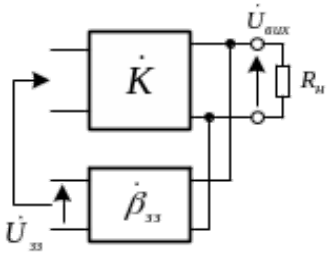


Рис.3.. Зворотний зв'язок за напругою

Якщо напруга зворотного зв’язку пропорційна струму в навантаженні $\dot{U}_{зз} = \dot{\beta}_{зз} \cdot \dot{I}_{вих} \cdot \dot{R}_{зз}$, то це буде зворотний зв'язок за струмом (рис.4.).

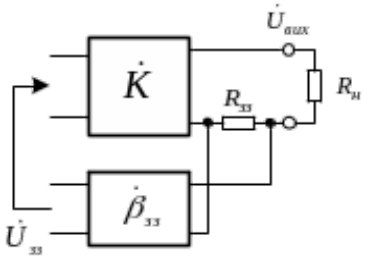


Рис.4 Зворотний зв'язок за струмом

Якщо напруга зворотного зв’язку пропорційна як напрузі, так і струму в навантаженні $\dot{U}_{зз} = \dot{\beta}_{зз} \cdot \left(\frac{\dot{U}_{вих} \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \dot{I}_{вих} \cdot R_{зз} \right)$, то такий зворотний зв'язок називається комбінованим (рис.5).

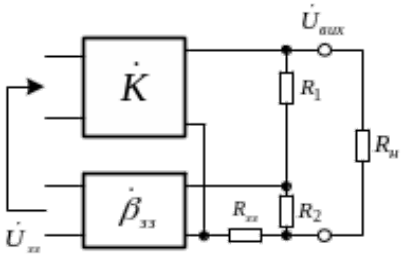


Рис.5. Комбінований зворотний зв’язок за напругою і за струмом

За способом введення сигналу у вхідне коло підсилювача розрізняють паралельний і послідовний зв'язок. При послідовному зворотному зв’язку (рис.6) напруга зворотного зв’язку вводиться у вхідне коло послідовно з вхідною напругою і напруга сигналу на вході підсилювача буде складати $\dot{U}_c = \dot{U}_{вх} \pm \dot{U}_{зз}$.

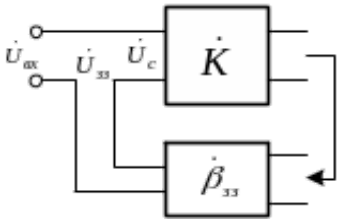


Рис.7. Послідовний зворотний зв’язок у підсилювачах

Якщо напруга зворотного зв’язку подається паралельно до вхідної напруги підсилювача (рис.8), то такий зворотний зв'язок називають паралельним зворотним зв’язком. У цьому випадку струм на вході підсилювача буде складати $\dot{i}_c = \dot{i}_{вх} \pm \dot{i}_{зз}$.

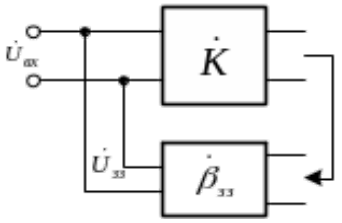


Рис.8. Паралельний зворотний зв’язок у підсилювачах

У підсилювачах із змішаним зворотним зв’язком у вхідному колі підсилювача послідовно вмикаються: сигнал зворотного зв’язку пропорційний вихідній напрузі і паралельно сигнал зворотного зв’язку пропорційний вихідному струму.

Основними характеристиками зворотного зв’язку є коефіцієнт зворотного зв’язку

$\dot{\beta}_{зз} = \frac{\dot{U}_{зз}}{\dot{U}_{вих}}$, $\dot{\beta}_{зз} = \frac{\dot{I}_{зз}}{\dot{I}_{вих}}$.

При схемній реалізації підсилювача і кола зворотного зв’язку можливий варіант, коли зворотний зв'язок здійснюється тільки для повільно змінної складової вихідного сигналу. У цьому випадку зворотний зв’язок

здійснюється за постійним струмом. Коли сигнал зворотного струму пропорційний змінній складовій сигналу на виході підсилювача, то в цьому випадку зворотний зв'язок здійснюється за змінним струмом. Коли сигнал зворотного зв’язку пропорційний усьому вихідному сигналі, то в цьому випадку зворотний зв'язок буде за змінним і за постійним струмами**.**

Лекция 9

Тема: Операційні підсилювачі

Мета: : Вивчити принципову схему та роботу операційних підсилювачів

Питання лекції:

1.Загальні відомості за операці́йний підси́лювач,

2. Живлення

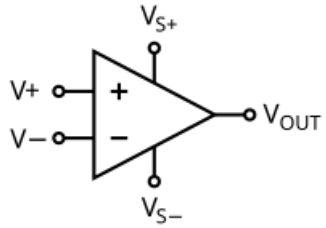
3. Ідеальний операційний підсилювач

1.Загальні відомості за операці́йний підси́лювач,

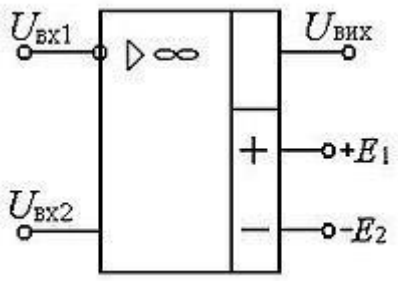
ОП (англ. *operational amplifier*) — підсилювач постійного струму з диференційним входом, що має високий коефіцієнт підсилення. Призначений для виконання різноманітних операцій над аналоговими сигналами, переважно, в схемах з негативним зворотним зв'язком (НЗЗ). Операційні підсилювачі застосовуються в різноманітних схемах радіотехніки, автоматики, інформаційно-вимірювальної техніки, — там, де необхідно підсилювати сигнали, в яких є постійна складова.

В даний час ОП отримали широке застосування, як у вигляді окремих мікросхем, так і у вигляді функціональних блоків — у складі складніших мікросхем. Така популярність обумовлена тим, що ОП є універсальним блоком з характеристиками, близькими до ідеальних, на основі якого можна побудувати безліч різноманітних електронних вузлів.

[



Позначення операційного підсилювача на схемах



На рисунку показане зображення ОП на схемах.

Де:

- V+ — неінвертуючий вхід;
- V- — інвертуючий вхід;
- Vout — вихід;

- Vs+ — плюс джерела живлення (також може позначатися як V_{DD}, V_{CC}, або V_{CC+})
- Vs- — мінус джерела живлення (також може позначатися як V_{SS}, V_{EE}, або V_{CC-}).

Вказані п'ять виводів, має будь-який ОП, вони абсолютно необхідні для його функціонування. Окрім вказаних, деякі ОП можуть мати додаткові виводи, призначені для:

- встановлення струму спокою;
- частотної корекції;
- балансування (корекції зсуву) нуля;

і ряду інших функцій.

Виводи живлення (Vs+ і Vs-) можуть бути позначені по-різному, але, не залежно від позначень, їхнє призначеня залишається тим самим. Часто виводи живлення не малюють на схемі, щоб не захламлювати її неістотними деталями, при цьому, спосіб підключення цих виводів явно не вказується, або навіть вважається очевидним (особливо часто це відбувається, при зображенні одного ОП, з мікросхеми, що містить 4 ОП в одному корпусі, і має загальні виводи живлення для всіх чотирьох ОП). При позначенні ОП на схемах, можна міняти місцями інвертуючий і неінвертуючий входи, якщо це зручно; виводи живлення, як правило, завжди розміщують одним чином (позитивний вгорі).

2.Живлення

У загальному випадку, ОП використовує біполярне живлення, тобто джерело живлення, що має три виводи, з потенціалами: U+ (до нього підключається Vs+), 0, і U- (до нього підключається Vs-).

Вивід джерела живлення з нульовим потенціалом, безпосередньо до ОП, зазвичай, не підключається, але, як правило, є загальною точкою схеми і використовується для створення зворотного зв'язку. Тому, часто, замість біполярного, використовується простіше, однополярне, джерело живлення, а загальна точка створюється штучно.

ОП здатні працювати в широкому діапазоні напруги джерела живлення, типове значення, для ОП загального застосування: від ±1,5 В до ±15 В (тобто U+ = 1,5…15 В, U- = -1,5…-15 В).

3.Ідеальний операційний підсилювач

Щоб розглянути функціонування ОП в режимі зі зворотним зв'язком, необхідно спочатку ввести поняття ідеального операційного підсилювача. Ідеальний ОП є фізичною абстракцією, тобто не може реально існувати, проте дозволяє істотно спростити розгляд роботи схем на ОП, завдяки використанню простих математичних моделей.

Ідеальний ОП описується формулою (1) і має такі параметри:

1) нескінченно великий коефіцієнт підсилення з розімкненою петлею зворотного зв'язку $G_{openloop}$;

2) нескінченний великий вхідний опір входів V- і V+ (іншими словами, струм, що протікає через ці входи, рівний нулю);

3) нульовий вихідний опір виходу ОП;

4) нескінченно велика швидкість наростання напруги на виході ОП;
5) смуга пропускання: від постійного струму до нескінченності.
Пункти 4 і 5, насправді випливають з формули (1), оскільки в неї не входять часові затримки і фазові зсуви.
З перерахованих параметрів випливає властивість ідеального ОП, яка спрощує розгляд схем з його використанням: ідеальний ОП, охоплений негативним зворотним зв'язком, підтримує однакову напругу на своїх входах. В цьому легко переконатись. Припустимо, формула (2) невірна, і є невелика різниця напруги. Тоді, вхідна диференційна напруга, підсилена ОП, викликала б (унаслідок нескінченного коефіцієнта підсилення) нескінченно велику вихідну напругу, яка, відповідно до визначення ВЗЗ, ще зменшила б різницю вхідної напруги. І так до тих пір, поки рівність не була б виконана. Відзначте, що вихідна напруга може бути будь-якою — вона визначається видом зворотного зв'язку і вхідною напругою.

Лекция 10

Тема: Кола послідовного та паралельного обмеження сигналів
Мета: : Вивчити принципову схему та роботу кола обмеження сигналів
Питання лекції:
1.Амплітудне обмежування
2. Схеми обмеживателів

1. Загальні відомості за амплітудне обмежування

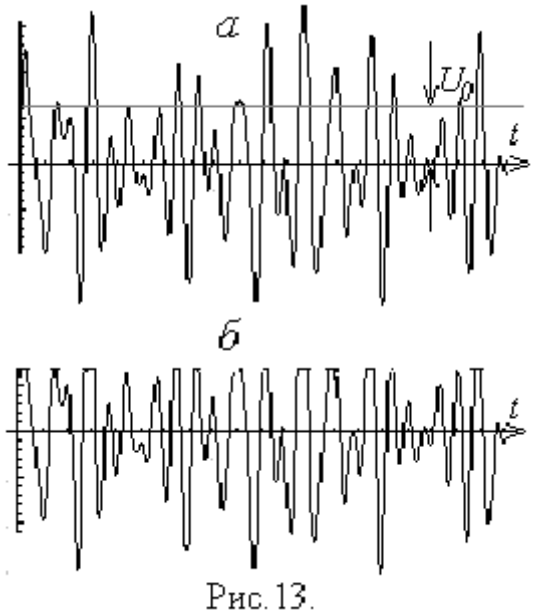


Рис. 13.

У багатьох практично важливих випадках буває необхідним зробити так, щоб напруга сигналу не виходила за межі деякого заданого рівня, наприклад, щоб вона не перевищувала U_0 (рис.13). Операція “відсікання” тої частини сигналу, яка лежить вище (або нижче) заданого рівня, має назву*амплітудного обмежування,* а пристрій, що цю операцію виконує - *амплітудного обмежувача*.

За своїм принципом дії амплітудний обмежувач близький до діодного детектора, котрий може розглядатися як обмежувач за нульовим рівнем, який відсікає відсікає все, що лежить вище або нижче $U=0$.
Операцію зображену на рис.13 можна здійснити за допомогою схеми, що зображена на рис.14а. При вхідній напрузі $U(t)<U_0$ діод відкритий, його опір малий і уся вхідна напруга доходить до виходу обмежувача. При $U(t)>U_0$ діод закривається і на виході підтримується напруга U_0. Такий обмежувач має назву паралельного.
Такий самий результат може бути одержаний за допомогою послідовного обмежувача, що його зображено на рис.14б. Якщо $U(t)<U_0$ діод закритий і уся вхідна напруга потрапляє на вихід[4]. При зворотному співвідношенні діод відкривається і на виході підтримується напруга U_0, а уся надлишкова частина напруги $U(t)$ спадає на опорі R.

2. Схеми обмежувачів

Змінюючи напругу джерела U_0 можна змінювати рівень обмежування. Так, наприклад. якщо у розглянутих схемах змінити полярність U_0, то відсікатися буде все те, що лежить вище цього рівня ; напруга на виході буде підтримуватися рівню U_0, і лише у моменти, коли вхідна напруга становитиме менш U_0, будуть з'являтися негативні викиди.

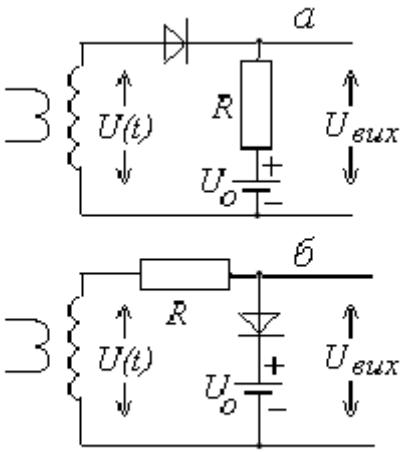


Рис.14.

Легко також впевнитися, що змінивши одночасно полярність джерела напруги U_0 і діода у схемах, зображених на рис.14, можна одержати обмежувач, який буде відсікати усю ту частину сигналу, котра лежить нижче рівня U_0.
Важливо відмітити, що для успішної роботи обмежувача він повинен мати відкритий вхід, через який могла б замикатися постійна складова струму діода. Щоб підкреслити це на усіх наведених вище схемах вхідний сигнал подається з вторинної обмотки трансформатора. Бажано також, щоб опір діода у відкритому режимі був набагато меншим від опору R, бо при

невиконанні цієї умови утворився б дільник і частина вхідної напруги спадала б на діоді.
Постійна часу RC , що утворюється опором R і вихідною ємністю обмежувача С (вона зажди присутня, хоча і не зображена на малюнках), має бути значно меншою від характерного часу (періоду) сигналу. Якщо ж ця умова не буде виконаною, то ємність може істотно шунтувати вихід обмежувача, спотворюючи форму вихідних сигналів. Наведені умови накладають обмеження зверху і знизу на величину опора R .
Амплітудні обмежувачі можуть бути побудовані на основі транзисторів або стабілітронів через використання нелінійностей їх характеристик.

Лекция 11

Тема: Умови отримання неперерівних коливань
Мета: : Вивчити умови отримання неперерівних коливань
Питання лекції:

1. Гармонічні коливання
2. Условие баланса амплітуд
3. Условие баланса фаз

1.. Гармонічні коливання

Гармонічні коливання — це такі коливання, при яких осцилююча величина (наприклад, відхилення маятника) змінюється з часом за законом синуса або косинуса. Гармонічні коливання з загасанням — це такі коливання, при яких осцилююча величина (наприклад, відхилення маятника) змінюється з часом, як добуток синуса (косинуса) на спадаючу експоненту:

Як встановив в 1822 році Фур'є, будь-яке періодичне коливання може бути представлено як сума гармонічних коливань шляхом розкладання відповідної функції в ряд Фур'є. Серед складових цієї суми існує гармонічне коливання з найменшою частотою, яка називається основною частотою, а саме це коливання — першої гармонікою або основним тоном, частоти же всіх інших складових, гармонічних коливань, кратні основній частоті, і ці коливання називаються вищими гармоніками або обертонами — першим, другим і т. д.
Параметричні коливання відбуваються коли один з параметрів системи (коефіцієнт диференціального рівняння коливань) змінюється періодично. Приклад — гойдалки (маятник) із змінною довжиною.

2 Условие баланса амплитуд

$K_{ос} \cdot S_{ср} \cdot R_{рез} = 1$ или $K_{ос} \cdot K_{н} = 1$ – условие баланса амплитуд: в стационарном режиме коэффициент передачи по замкнутому кольцу генератора равен 1.Условие баланса амплитуд выполняется лишь при определенном значении $U_{твх}$, т. е. при определенной стационарной амплитуде колебаний $U_{твых}$. Из этого условия получаем: $K_{ос} = \frac{1}{K_{н}}$.

Если $K_{ос} \succ 1/K_н$, амплитуда колебаний на выходе АГ нарастает до тех пор, пока вновь не выполнится условие $K_{ос} = \frac{1}{K_н}$.

При $K_{ос} \prec 1/K_н$ возникновение автоколебаний невозможно, поскольку энергия, поступающая в колебательную систему недостаточна для компенсации потерь.

Условие баланса амплитуд определяет стационарную амплитуду выходных колебаний и наименьший коэффициент передачи ЦОС (критический, $K_{ос} \succ K_{оскр}$), обеспечивающий самовозбуждение АГ.

3. Условие баланса фаз

Это условие определяется выражением $\phi + \phi_{ос} = 0$, $\phi = 0, 2\pi, 4\pi$: в стационарном режиме суммарный угол сдвига фаз при обходе замкнутого кольца автогенератора должен быть равен 0 или целому числу 2 π.

В цепях автогенератора могут быть следующие сдвиги фаз:

1. Сдвиг фаз на угол $\phi_1 = \pi$, создаваемый усилительным элементом (например, транзистором при его включении по схеме с общим эмиттером), между его входным и выходным напряжениями.

2. Сдвиг фаз на угол $\phi_{ос}$, возникающий в цепи обратной связи между ее входным и выходным напряжениями.

3. Сдвиг фаз на угол ϕ_2 между напряжением на входе усилительного элемента и первой гармоникой его выходного тока. Этот сдвиг возникает на очень высоких частотах и при правильном выборе лампы или транзистора $\phi_2 \approx 0^0$.

4. Сдвиг фаз на угол ϕ_3 между напряжением $\dot{U}_{твых}$ и током $\dot{I}_{m1}$. Если колебательный контур точно настроен на частоту первой гармоники выходного тока, угол $\phi_3 = 0°$.

Таким образом, условие баланса фаз можно переписать в следующем виде: $\phi_1 + \phi_{ос} + \phi_2 + \phi_3 = 180^0 + \phi_{ос} + 0^0 + 0^0 = 0; 360; 720, \ldots$ или $\phi_{ос} = \pm 180^0$.

Соотношение означает, что для выполнения условия баланса фаз цепь обратной связи должна изменять фазу подводимого к ней переменного напряжения на 180°. В большинстве автогенераторов существует лишь одна частота, на которой выполняется условие баланса фаз, т. е. на которой возможно генерирование колебаний. Следовательно, условие баланса фаз определяет частоту автоколебаний.

Лекция 12

Тема: LC- генератори синусоїдальних коливань.

Мета: : Вивчити схему та роботу LC- генератори синусоїдальних коливань.

Питання лекції:

1. Загальні ведомости за генератори синусоїдальних коливань.

2. Принцип роботи транзисторного автогенератора типу LC.

1.**Загальні ведомости за LC- генератори синусоїдальних коливань.**
Найбільш розповсюджені схеми автогенераторів синусоїдальних коливань містять підсилюючий елемент і коливальну систему, між якими існує коло додатного зворотного зв'язку.
Для побудови автогенератора звичайно використовують два типи підсилюючих схем – резонансні підсилювачі і підсилювачі на резисторах. Автогенератори, які виконані на основі схеми резонансного підсилювача, називають автогенераторами типу *LC*, автогенератори, що виконані на основі схеми підсилювача на резисторах, – автогенераторами типу *RC*. Перші використовуються головним чином на високих частотах, другі – на низьких. Як підсилюючі елементи схем автогенераторів, що використовуються у засобах електронної автоматики і обчислювальної техніки, найбільш широко використовуються транзистори і тунельні діоди.
При вивчені цієї теми особливу увагу необхідно приділити таким питанням:

- В чому полягає сутність фізичних процесів, що відбуваються в схемах автогенераторів?
- Якими міркуваннями керуються при побудові схем генераторів типу *LC* і *RC* та які функції елементів, що входять до їх складу?
- Якими технічними показниками характеризуються автогенератори?
- Як забезпечити стабільність частоти генерованих коливань?

2.Принцип роботи транзисторного автогенератора типу LC.

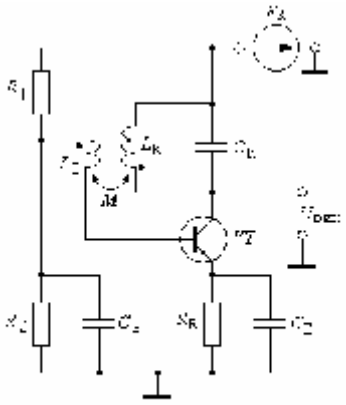


Рис. 3.59.

Найпростіша схема транзисторного автогенератора типу *LC* показана на рис. 3.59. Така схема називається **генератором із трансформаторним зв'язком** і використовується зазвичай у діапазоні високих частот.
Коливальний контур, що складається із котушки $L_К$ і конденсатора $C_К$, є колекторним навантаженням транзистора *VT*. Індуктивний зв'язок між виходом і входом підсилювача забезпечується котушкою $L_Б$, приєднаною до бази транзистора.
Елементи R_1, R_2, $R_Е$ і $C_Е$ призначені (так же, як і у підсилювачах) для забезпечення необхідного режиму по постійному струму і його термостабілізації. Завдяки конденсатору $C_Б$, ємнісний опір якого на частоті генерації незначний, заземлюється один кінець базової котушки $L_Б$, чим створюється коло для змінної складової струму між базою і емітером транзистора. Точками позначені початки обмоток $L_Б$ і $L_К$, оскільки необхідно дотримати умову балансу фаз.
Робота автогенератора починається при включенні джерела живлення $U_К$. В момент включення джерела живлення у колекторному колі транзистора з'являється струм $I_К$, який заряджає конденсатор коливального контуру $C_К$.

Оскільки до конденсатора $C_К$ підключена котушка $L_К$, то після заряду конденсатор почне розряджатись через цю котушку. В результаті обміну енергією між конденсатором і котушкою в контурі $L_К C_К$ виникають вільні затухаючі (які могли би припинитись через теплові втрати енергії в активних опорах контуру) коливання, частота яких визначається параметрами контуру і дорівнює

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_К \cdot C_К}}.$$

Змінний (коливальний) струм контуру, проходячи по котушці $L_К$, створює навколо неї змінне магнітне поле. Внаслідок цього, оскільки між котушками $L_Б$ і $L_К$ існує індуктивний зв'язок із коефіцієнтом взаємоіндукції $\boldsymbol{M}$, в котушці зворотного зв'язку $L_Б$, включеній в коло бази транзистора, наводиться змінна напруга $U_Б$ тієї ж частоти, з якою відбуваються коливання в контурі. Ця змінна напруга викликає в базовому колі пульсуючий струм $I_Б = U_Б/R_{вх}$, в якому є змінна складова. Змінна складова струму $I_Б$ визначає пульсацію струму колекторного кола, яка заповнює втрати енергії в контурі, створюючи в ньому підсилену транзистором змінну напругу. В свою чергу це призводить до нового зростання напруги на котушці зв'язку $L_Б$, яке спричинить нове зростання амплітуди змінної складової струму колектора і т.д.

Зростання колекторного струму не відбуватиметься не безмежно – воно спостерігається лише в межах активної ділянки вихідної характеристики транзистора (нагадаємо, що на ділянці насичення струм колектора практично не змінюється).

Отже, підсилені коливання передаються із контуру знову в базове коло, і розмах коливань поступово зростає, досягаючи заданого значення. Збільшення амплітуди коливань пояснюється перевищенням кількості енергії, що надходить в контур над втрачаємою, а наступне встановлення певного (незмінного) розмаху коливань зумовлено зменшенням коефіцієнта підсилення каскаду внаслідок перерозподілу значень коефіцієнта підсилення і коефіцієнта додатного зворотного зв'язку і встановленням динамічної рівноваги між припливом енергії і її втратами при даній амплітуді коливань.

Незгасаючі коливання в контурі автогенератора встановлюється лише при виконанні двох основних умов, які отримали назву **умов самозбудження**.

Як зазначалось, перша із цих умов називається **умовою балансу фаз**.

Лекция 13

Тема: RC- генератори синусоїдальних коливань.

Мета: : Вивчити схему та роботу RC- генератори синусоїдальних коливань.

Питання лекції:

1. RC-генератори
2. Схема генератора с мостом Віна.

1. RC-генератори

Для отримання гармонійних коливань низької частоти застосовують генератори, у яких частотно-залежні кола ЗЗ складаються з резисторів і конденсаторів. Застосування *LC*-кіл на низьких частотах недоцільно через великі габарити котушок індуктивності. Найбільш частіше в *RC*-генераторах застосовуються міст Віна й подвійний Т-подібний міст.

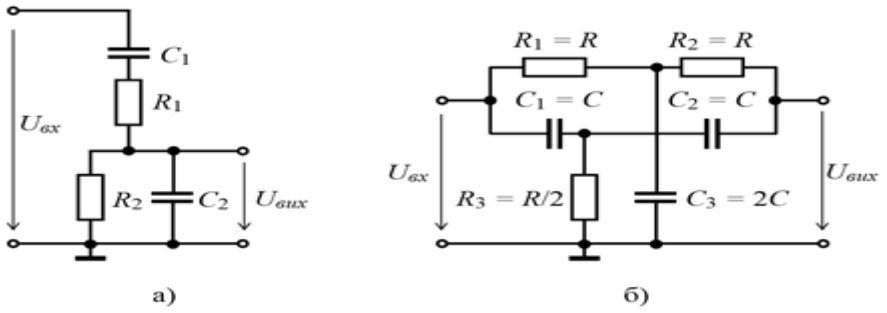


Рисунок 1. Частото-залежні кола *RC*-генераторів: а) міст Віна; б) подвійний Т-подібний міст.

2. **Схема генератора с мостом Віна.**

Схема моста Віна і його характеристики наведені на рис. . Частота генерації схеми дорівнює частоті

$$f_0 = 1/(2\pi \cdot R \cdot C).$$

де $R1 = R2 = R$ і $C1 = C2 = C$.

На частоті f_0 коефіцієнт передачі кола зворотного зв'язка β має максимальне значення, а зсув фаз φ між вхідною й вихідною напругою дорівнює нулю. Схема подвійного Т-подібного моста наведена на рис.7.3, б.

На квазірезонансній частоті f_0 коефіцієнт передачі подвійного симетричного Т-подібного моста дорівнює нулю ($\beta = 0$), фазовий зсув на цій частоті також дорівнює нулю ($\varphi = 0$). Зазначені властивості проявляються при певних співвідношеннях між параметрами схеми

$$R1 = R2 = R,\ R3 = R/2;\ C1 = C2 = C,\ C3 = 2C.$$

Частота квазірезонанса Т-подібного моста визначається вираженням

$$f_0 = 1/(2\pi \cdot R \cdot C).$$

Т.к. на частоті f_0 коефіцієнт передачі дорівнює нулю, подвійний Т-подібний міст необхідно включати в підсилювачі як коло ВЗЗ. Наприклад, в *RC*-генераторі на операційному підсилювачі міст підключений до інвертую чого входу (рис.7.4). За допомогою дільника $R1R2$ створюється необхідна ПЗЗ.

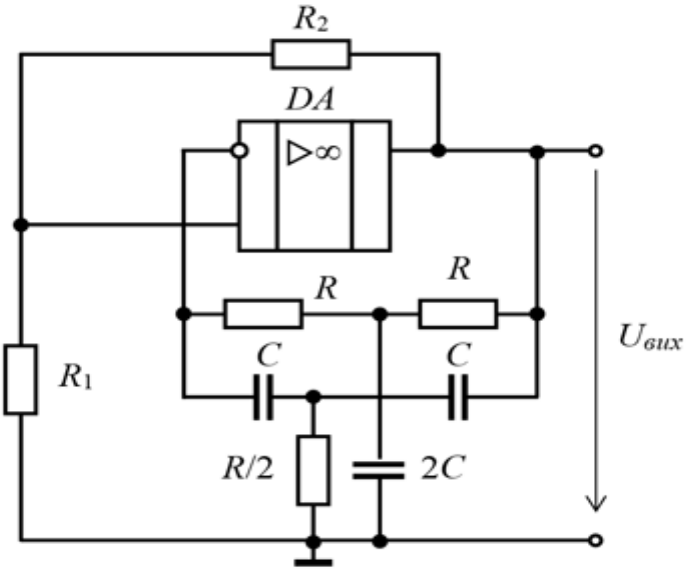


Рисунок 2. Схема *RC*-генератора на ОП з подвійним Т-подібним мостом.

Лекция 14

Тема: Генератори послідовностей імпульсів с колекторно-базовими зв'язком.

Мета: : Вивчити схему та роботу генераторів послідовностей імпульсів с колекторно-базовими зв'язком..

Питання лекції:

1.Схема мультивібратора

2.Принцип роботи

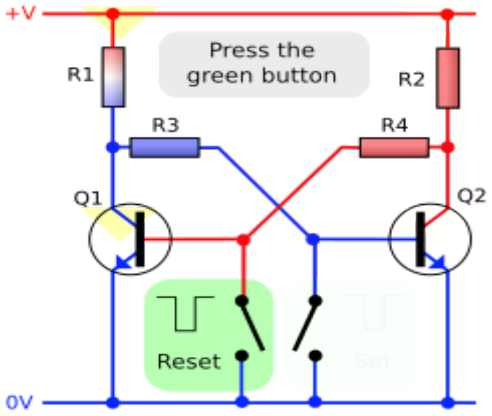
1.Схема мультивібратора

Мультивібра́тор — релаксаційний генератор електричних коливань прямокутного типу. Термін ввів голландський фізик ван дер Пол, тому що в спектрі мультивібратора є багато гармонік — на відміну від генератора синусоїдних коливань («моновібратора»).

Мультивібратор описали Ікклз і Джордан 1919 року.

Мультивібратор є одним з найпоширеніших генераторів імпульсів прямокутної форми, що являє собою двокаскадний резистивний підсилювач з додатним зворотним зв'язком. В електронній техніці використовуються найрізноманітніші варіанти схем мультивібратора, які різняться між собою за типом використовуваних елементів (лампові, транзисторні, тиристорні, мікроелектронні і так далі), режиму роботи (автоколивальних, режиму очікування, синхронізації), видами зв'язку між підсилювальними елементами, способах регулювання тривалості і частоти генерованих імпульсів і так далі.

Віднесення мультивібратора до класу автогенератори виправдане лише при автоколивальному режимі його роботи. У режимі очікування мультивібратор виробляє імпульси тільки тоді, коли на його вхід надходять спеціальні сигнали, які його запускають. Режим синхронізації відрізняється від автоколивальних лише тим, що в цьому режимі за допомогою зовнішнього керувальної (синхронізувальної) напруги можна змінювати частоту генерованих коливань.



2.Принцип роботи

Схема може знаходитися в одному з двох нестабільних станів і періодично переходить з одного в інший. Фаза переходу дуже коротка завдяки дії позитивного зворотного зв'язку між каскадами посилення.
При вмиканні живлення через резистори R1, R3 на бази транзисторів подається напруга, яка відкриває транзистори. При цьому напруга на колекторах починає зменшуватись і ця зміна напруги з виходу кожного з транзисторів подається на вхід іншого, протидіючи його відкриванню. Через розбіжності в параметрах деталей, один з транзисторів відкривається, а інший повністю закривається. Припустимо, що має місце:

- Стан 1: Q1 закритий, Q2 відкритий і насичений, C1 заряджається струмом бази Q2 через R1 і Q2, після чого при повністю зарядженому C1 (полярність заряду вказана на схемі) через R1 струм не тече. C2, заряджений раніше в попередньому стані 2 (полярність за схемою), починає повільно розряджатися через відкритий Q2 і R3.
- Стан 2: то ж в дзеркальному відображенні (Q1 відкритий і насичений, Q2 закритий).

R1 і R4 підбираються набагато менші, ніж R3 і R2, щоб зарядка конденсаторів через R1 і R4 була швидше, ніж розрядка через R3 і R2. Чим більше буде час зарядки конденсаторів, тим пологішими виявляться фронти імпульсів. Відношення R3/R1 і R2/R4 не повинні бути більше, ніж коефіцієнти підсилення відповідних транзисторів, інакше транзистори не будуть відкриватися повністю.

Лекция 15

Тема: Генератори послідовностей імпульсів з індуктивним зв'язком.

Мета: : Вивчити схему та роботу генераторів послідовностей імпульсів з індуктивним зв'язком

Питання лекції:

1.Схема автогенератор Роера

2. Принцип роботи

1.Схема автогенератор Роера

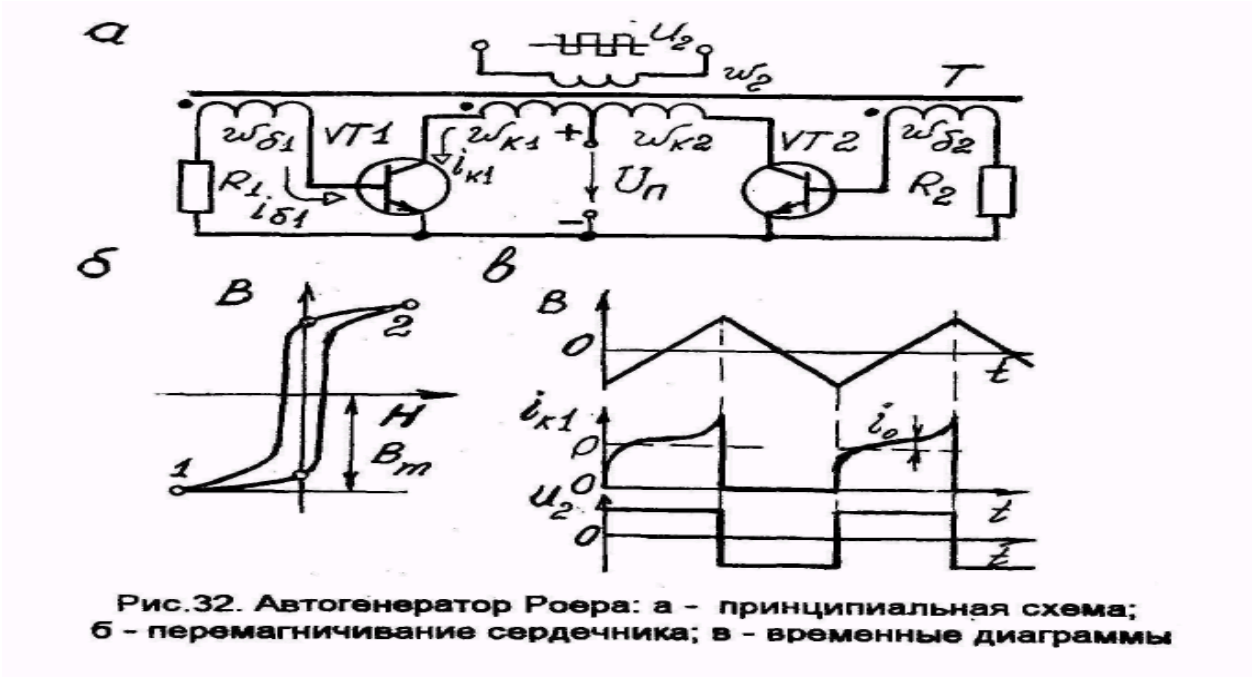


Рис.32. Автогенератор Роера: а - принципиальная схема; б - перемагничивание сердечника; в - временные диаграммы

В качестве генератора прямоугольного напряжения мощностью до нескольких сот ватт наиболее широко используется автогенератор Роера, который представляет собой самовозбуждающийся двухтактный блокинг-генератор с одним сердечником, но двумя транзисторами, что позволяет генерировать импульсы обеих полярностей (рис.32,а).

2.Принцип роботи

Допустим, в начальный момент магнитная индукция в сердечнике трансформатора равна $-B_m$ (точка 1 на рис.32,б). С этого момента магнитная индукция начнет возрастать, и во всех обмотках возникает ЭДС, направленная от точки (начала обмотки). ЭДС базовой обмотки $w_{б1}$ создает ток базы $i_{б1}$ первого транзистора. Транзистор VT1 откроется, и первая коллекторная обмотка $w_{к1}$ окажется под напряжением питания $U_п$, обусловливающим рост магнитной индукции и поддерживающим практически неизменную ЭДС во всех обмотках. Положительная обратная связь, также как и в обычном блокинг-генераторе, будет поддерживать VT1 в открытом состоянии. Ток коллектора $i_{к1}$ во время перемагничивания сердечника равен сумме приведенных к первичной обмотке токов нагрузки,

базы (показаны штриховой линией) и намагничивающего тока i_0. В конце полупериода автогенератора сердечник насыщается и все быстрее нарастают намагничивающий ток и ток коллектора. Когда ток коллектора достигнет величины $i_{к1max} = B_1 i_{б1}$, транзистор войдет в насыщение, нарастание тока и магнитной индукции существенно замедлится, уменьшится ток базы и начнется лавинообразный процесс закрывания VT1. Магнитная индукция в этот момент максимальна (точка 2 на рис.32,б).

Далее магнитная индукция начнет спадать и возникнет ЭДС про-тивоположного направления (к точке на рис.32,а). При этом ЭДС второй базовой обмотки $i_{б2}$ откроет VT2, и коллекторная обмотка $w_{к2}$ окажется под напряжением источника питания. Магнитная индукция будет спадать с постоянной скоростью, пока сердечник не перемагнитится и ток коллектора не достигнет величины, ограниченной током базы $i_{к2max} = B_2 i_{б2}$. После лавинообразного закрывания VT2 ЭДС в обмотках снова скачком изменит направление. Таким образом, ЭДС во всех обмотках и выходное напряжение u_2 имеют прямоугольную форму.

В соответствии с (50) частота автогенератора определяется сечением сердечника, его материалом (DB), числом витков коллекторных обмоток, сопротивлениями резисторов $R_1 = R_2$ и отчасти коэффициентами усиления транзисторов, которые должны быть близки друг другу. Коллекторные обмотки имеют равные числа витков и мотаются обычно одновременно двумя проводниками для улучшения магнитной связи между ними и уменьшения индуктивности рассеяния. Для пуска автогенератора при подаче напряжения питания между источником питания и базой одного из транзисторов ставят резистор для внесения асимметрии.

Автогенераторы обычно генерируют частоту 5...50 кГц. Сердечник выполняется из колцевого феррита, наматывается из тонкого ленточного пермалоя или холоднокатаной электротехнической стали с прямоугольной петлей гистерезиса. Рассмотренная схема не является единственной. Используется много ее разновидностей.

Рассмотренный автогенератор имеет в литературе много наименований: двухтактный блокинг-генератор, магнитно-транзисторный мультивибратор, двухтактный преобразователь с самовозбуждением, автогенератор с насыщающимся трансформатором, генератор прямоуголного напряжения на транзисторах с индуктивной обратной связью, однофазный транзисторный инвертор с самовозбуждением. На наш взгляд, наиболее правильно называть его *автогенератором Роера* - по фамилии автора (Royer G.H.), предложившем его в 1955 г.

Поскольку частота автогенератора Роера пропорциональна напряжению питания, то при p=2 в асинхронной одноканальной СИФУ он может заменить все элементы СИФУ [11, с.105]. Нужен только регулятор, сравнивающий заданное и действительное выпрямленные напряжения и вырабатывающий приращение напряжения питания (напряжение управления) автогенератора .

Лекция 16

Тема: Електричні кола з розподіленими параметрами, поняття погонних емністей, індуктивності і опору.

Мета: Вивчити особливості елементів із розподіленими параметрами (довгих ліній).

Запитання лекції:

1. Загальні відомості про елементи з розподіленими параметрами

2. Первинні параметри лінії

3. Характеристичний імпеданс (хвилевой опір)

1.Загальні відомості про елементи з розподіленими параметрами .

Основні поняття та означення

У попередніх лекціях розглядалися коливання , які змінюються тільки у часі. Але існують також коливання (сигнали), які змінюються як у часі, так і у просторі. Такий сигнал зветься *хвилею*.

Кола з *розподіленими* параметрами характеризуються існуванням в них хвильових процесів, за яких напруга $u(t,l)$ і струм $i(t,l)$ змінюються не тільки за часом , але і у просторі. Характер змінювання цих величин у просторі може бути подібним до закону їх змінювання у часі. Якщо, наприклад, на вході кола діє синусоїдна ЕРС, то в будь-якій точці кола з координатою l_0 значення напруги (струму) повторюється через період *T*: $u(t,l_0)=u(t+T,l_0)$. При цьому в будь-який фіксований момент часу t_0 значення напруги (струму) може повторюватися через деякий просторовий інтервал $\Delta l=\lambda$: $u(t_0,l)=u(t_0,l+\lambda)$ (рис.15.1). Величина λ зветься *довжиною хвилі*.

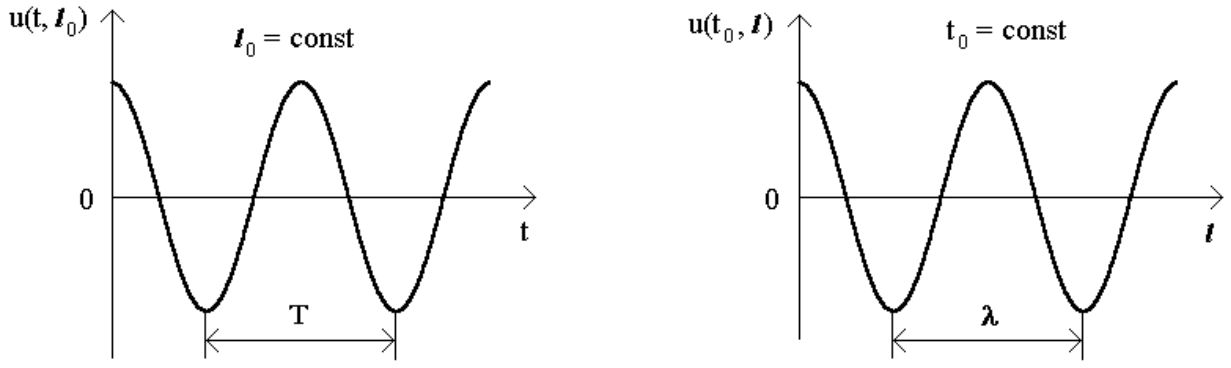


Рисунок .1

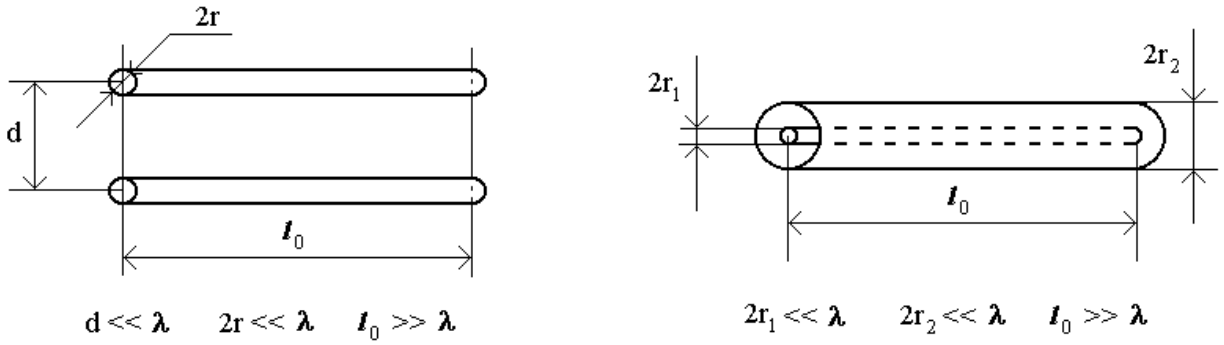
Загалом коло характеризується трьома лінійними розмірами *x*, *y*, *z*. Якщо $x<<1$; $y<<1$; $z<<1$, то коло є системою з зосередженими параметрами.

При цьому, по-перше, час запізнення електромагнітних коливань у колі Δt значно менший за період коливань генератора, $\Delta t << T$; а по-друге, миттєве значення напруги (струму) однакове у будь-якій точці кола.

Із зменшенням довжини хвилі (інакше, із збільшенням частоти *f*) вказані умови не виконуються, і тоді коло буде системою з розподіленими параметрами (хвилеводною системою).

Розглянемо окремий випадок хвилеводних систем, у яких $x >> \lambda$; $y << \lambda$; $z << \lambda$. Такі системи звуться колами з лінійно-розподіленими параметрами або електричними *довгими лініями*. Струм і напруга в лінії є функціями лінійної координати *x* (або *l*).

Довгі лінії є основним елементом будь-якої системи електрозв'язку. В техніці радіозв'язку прикладом ліній є так звані фідери. Наприклад, двопровідна лінія зв'язку (рис.15.2а) і коаксіальна лінія (рис.15.2б). Лінії використовуються для передавання електромагнітної енергії від передавача до антени, від антени до приймача та ін. Довгі лінії (ДЛ) застосовуються також як елементи радіоапаратури в діапазоні НВЧ (фазообертачі, лінії затримки тощо).

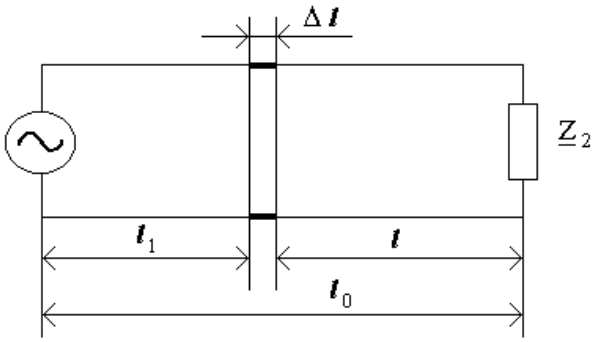


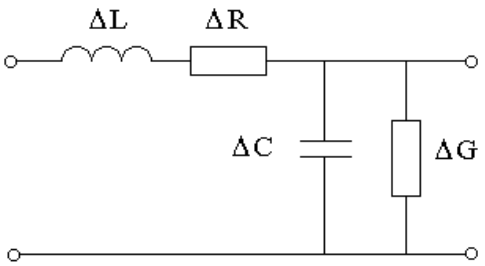
а) б)

Рисунок .2

2. **Первинні параметри довгой лінії**

Безпосередньо описати систему з розподіленими параметрами за допомогою рівнянь Кірхгофа неможливо, тому що миттєві значення напруги і струму залежать від розміру кола та часу розповсюдження електромагнітних хвиль. Разом з тим, будь-яку ділянку лінії довжиною Δl можна подати у вигляді еквівалентної схеми, яка складається з зосереджених нескінченно малих елементів ΔR , ΔL , ΔG , ΔC , для яких закони теорії кіл слушні повною мірою (рис..3а,б).





а) б)

Рисунок .3

Для кількісної оцінки величин , , , використовуються так звані первинні параметри лінії, які розраховуються на одиницю довжини:

$L_0 = \frac{dL}{dl}$ − первинна індуктивність, Гн/м (мкГн/м);

$C_0 = \frac{dC}{dl}$ − первинна ємність, Ф/м (пФ/м);

$R_0 = \frac{dR}{dl}$ − первинний опір втрат, Ом/м;

$G_0 = \frac{dG}{dl}$ − первинна провідність, См/м.

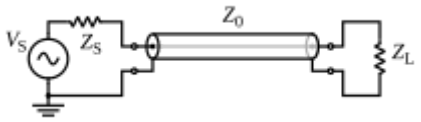
Якщо відомі первинні параметри, тоді $\Delta R = R_0 \Delta l$; $\Delta G = G_0 \Delta l$; $\Delta L = L_0 \Delta l$; $\Delta C = C_0 \Delta l$. Первинні параметри залежать від частоти і конструкції лінії. Формули для розрахунку первинних параметрів визначаються в теорії поля і наводяться у довідниковій та навчальній літературі .

Якщо первинні параметри не змінюються вздовж лінії, то лінія зветься *однорідною*. При синусоїдній дії використовують поняття первинного комплексного опору і первинної комплексної провідності:

$\underline{Z}_0 = R_0 + j\omega L_0$; . $\underline{Y}_0 = G_0 + j\omega C_0$

3.**Характеристичний імпеданс (хвилевой опір)**

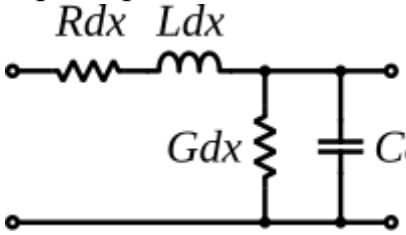
Характеристичний імпеданс (англ. *characteristic impedance*) або **імпеданс поширення/переносу** (англ. *surge impedance*) типової лінії передачі, котрий позначається як Z_0, є відношенням амплітуд *одинокої* пари величин — напруги та струму електромагнітної хвилі, що поширюється/передається вздовж лінії за відсутності відбиття на неоднорідностях лінії. В SI величина характеристичного імпедансу вимірюється в омах. Характеристичний імпеданс лінії передачі без втрат є чисто реальна/дійсна величина, з нульовою уявною компонентою.



Характеристичний імпеданс в цьому випадку проявляє себе як звичайний опір, на якому дисипативні втрати енергії будуть відсутні за умови *самопогодження* з опором навантаження. Лінія передачі кінцевої довжини (з втратами, чи без них) з активним опором навантаження на кінці лінії, рівним характеристичному імпедансу ($Z_L = Z_0$) , є лінією нескінченної довжини відносно до джерела змінної напруги.

2.Модель лінії передачіенергії. Основне визначення

Відношення прикладеної напруги до струму називається вхідним імпедансом; вхідний імпеданс лінії передачі нескінченної довжини називається характеристичним імпедансом.



Схематичне зображення елементарних компонент лінії передачі.

Використовуючи модель лінії передачі, яка ґрунтується на телеграфних рівняннях, загальний вираз для характеристичного імпедансу лінії передачі буде:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

де

— опір на одиницю довжини,

— індуктивність на одиницю довжини,

— провідність на одиницю довжини,

— ємність на одиницю довжини,

— уявна одиниця,

— кутова частота.

Фазори/комплексна амплітуда відношення напруг до струмів лінії передачі пов'язані з характеристичним імпедансом як:

$Z_0 = \sqrt{L/C}$

де суперскріпти + та - відображають передню- та задню біжучі хвилі, відповідно.Для лінії без втрат R та G дорівнюють нулю, тому рівняння для характеристичного імпедансу спрощується

3.Передавальний імпеданс навантаження

При передачі електричної енергії характеристичний імпеданс лінії передачі виражається в термінах передавальний імпеданс навантаження (ПІН) (англ. *surge impedance loading, SIL*), або природне навантаження, будучи

MW-навантаженням, при якому відсутні генерація та поглинання: де — лінія-до-лінії напруга у вольтах.
Навантажена знизу ПІН, лінія передачі повільно переміщує енергію до системи, намагаючись збільшити напругу системи. Вище цього значення лінія поглинає реактивну енергію, намагаючись знизити напругу. Ефект Феррарі описує підсилення по напрузі на кінці слабко навантаженої (або зовсім ненавантаженої — відкритої) лінії передачі. Всередині кабелю, як правило, дуже низький характеристичний імпеданс, який продукується в ПІН так, що типово перевищується термальна межа для кабелю, тобто він завжди є джерелом повільної зміни реактивної енергії.

Лекция 17

Тема: Рижим хвилі, що бежить і стоячей в довгої линії.

Мета: Вивчити хвилю, що виникає в реальній лінії.
Запитання лекції:

1. Поняття узгодженого навантаження.
2. Умови виникнення смішаной хвили.

1.Поняття узгодженого навантаження.

В залежності від характера і значення навантаження в лінії встановлюється один з трьох режимів: біжучої хвилі, стоячої хвилі та змішаних хвиль. Найбільшого коефіцієнту корисної дії системи, що складається з генератора, лінії передачі і навантаження, можна досягти при утворенні **режиму біжучої хвилі**. Такий режим забезпечується при рівності вхідного опору генератора, хвильового опору лінії передачі і опору навантаження і називається **режимом узгодження**. При такому режимі амплітуда напруги і струму в кожному перетині лінії однакова (рис..3, а).
Якщо опір навантаження не дорівнює хвильовому опорові лінії - виникає відбита хвиля, що поширюється назустріч падаючій. У результаті інтерференції падаючої і відбитої хвиль рівних амплітуд у лінії встановлюється режим стоячих хвиль. У реальних умовах стоячі хвилі виникають при короткому замиканні (Zн=0) або розмиканні лінії (Zн®¥). У тих перетинах лінії, де падаюча і відбита хвилі знаходяться у фазі, то результируюча напруга подвоюється по амплітуді, створюючи пучність, а в тих перетинах де падаюча і відбита хвилі знаходяться в протифазі, то

результуюча напруга дорівнює нулю й утворюється вузол (рис. 1.3, б). Відстань між вузлами і пучностями дорівнює половині довжини хвилі в лінії.

2.Умови виникнення смішаної хвили.

При інтерференції відбитої і падаючої хвиль нерівних амплітуд у лінії виникає **режим змішаних хвиль**. Для режиму змішаних хвиль характерні не пучності і вузли, а максимуми і мінімуми напруги (рис. 3, в).

Режим в лінії передачі і ступінь її узгодження з навантаженням характеризується коєфіцієнтом відбиття Г(х) або коефіцієнтом стоячої хвилі КСХ. Відношення комплексних амплітуд відбитої та падаючої хвиль називається коефіцієнтом відбиття:

$$\dot{\Gamma}(x) = \frac{\dot{U}_{від}}{\dot{U}_{пад}} e^{i\varphi}, \quad (1.9)$$

де $\frac{U_{від}}{U_{пад}} = \Gamma$ - модуль коефіцієнта відбиття;

φ – фаза коефіцієнта відбиття.

Зв'язок коефіцієнта відбиття з опором навантаження описується виразом:

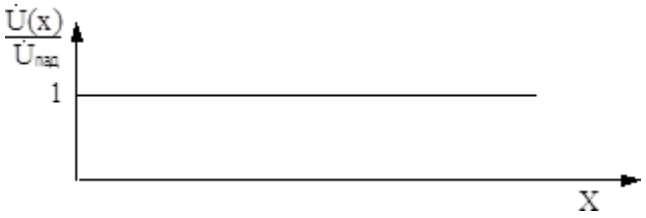
$$\dot{\Gamma}(x) = \frac{Z_H - Z_{XB}}{Z_H + Z_{XB}}. \quad (1.10)$$

Коефіцієнт стоячої хвилі визначається виразом:

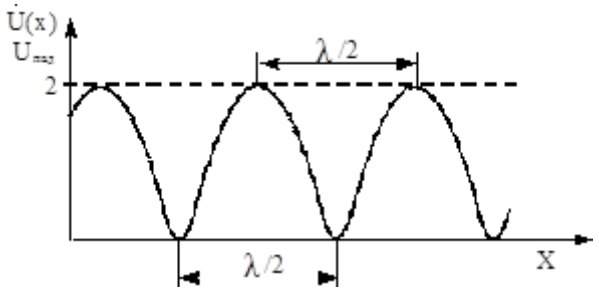
$$KCX = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}. \quad (1.11)$$

Коефіцієнт стоячої хвилі пов'язанний з модулем коефіцієнта відбиття наступним співвідношенням:

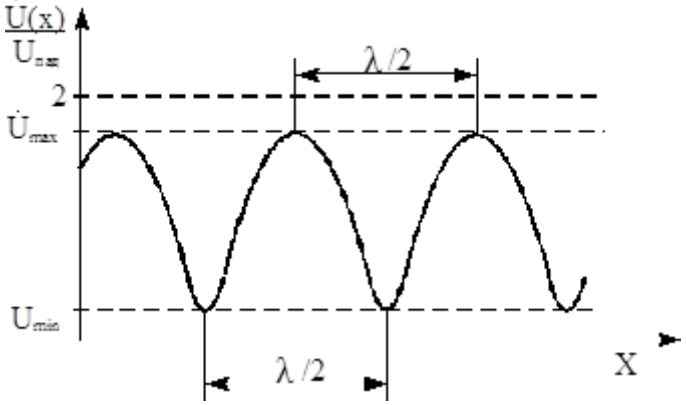
$$KCX = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma}, \text{ або } \Gamma = \frac{KCX-1}{KCX+1}. \quad (1.12)$$



а)



б)



в)

а – режим біжучої хвилі; б – режим стоячої хвилі; в – режим змішаної хвилі.
Рисунок 3 – Режими роботи довгих ліній

При ідеальному узгодженні навантаження (Zн=Zхв) Г=0, КСХ=1.
При короткому замиканні (Zн=0) і холостому ході лінії (Zн®¥), а також при навантаженні лінії реактивним опором в лінії виникає режим стоячих хвиль. При цьому режимі Г=1, а КСХ→∞.
Коли опір навнтаження не дорівнює хвильовому опору лінії, (Zн≠Zхв) в ній виникає режим змішаних хвиль. В цьому випадку 1>Г>0, а КСХ>1.

Лекция 18

Тема:Рижим роботи довгих ліній. Рижим біжучої та стоячеї хвили в довгій лінії.

Мета: Вивчити фізичний сенс хвиль у довгих лініях

Запитання лекції:

1. Біжуча хвиля

2. . Стояча хвиля

1. Біжуча хвиля

Біжуча хвиля — хвильовий рух, під час якого поверхня рівних фаз (фазові хвильові фронти) переміщується зі скінченною швидкістю (постійною для однорідного середовища). Прикладами можуть слугувати пружні хвилі у стрижні, стовпі газу чи рідини, електромагнітна хвиля вздовж довгої лінії або у хвилеводі.
На відміну від стоячих хвиль, біжучі хвилі під час поширення в середовищі переносять енергію. З біжучою хвилею, групова швидкість якої відрізняється від нуля, пов'язане перенесення енергії, імпульсу чи інших характеристик процесу.

Еволюцію біжучої хвилі в часі та просторі можна описати виразом: де амплітудна обгортка хвилі, хвильове число, а фаза коливань. Фазова швидкість цієї хвилі задається виразом де довжина хвилі.

Часткові випадки

Стояча хвиля є частковим випадком біжучої хвилі з , де групова швидкість хвилі. Тобто, дві однакові періодичні біжучі хвилі (в рамках справедливости принципу суперпозиції), що поширюються у протилежних напрямках, утворюють стоячу хвилю.

Частково біжуча хвиля

Виникає за різних амплітуд. Характеризується або коефіцієнтом біжучої хвилі (КБХ), або коефіцієнтом стоячої хвилі (КСХ), або коефіцієнтом відбиття Г, до дорівнює відношенню амплітуд зустрічних хвиль: КСХ = 1 / КБХ = (1 + |Г|²) / (1 — |Г|²)

За лініями передавань, оптимальне передавання енергії вимагає їх узгодження: отримання в лінії режиму біжучої хвилі — КСХ = 1, Г = 0. Такий режим для ланцюгів із зосередженими параметрами відповідатиме рівності внутрішнього опору джерела опору навантажен

2. Стояча хвиля

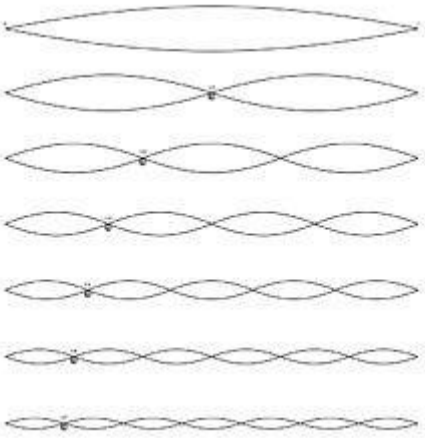
Стоя́ча (стійна, нерухома) хви́ля — це хвиля, яка при будь-якій фазі коливань не поширюється в просторі. Характерною особливістю х. с. є наявність у ній вузлів, у яких амплітуда хвилі дорівнює нулю, та пучностей, у яких амплітуда максимальна, причому положення вузлів і пучностей лишається незмінним у просторі. Стояча хвиля утворюється в результаті накладання двох біжучих (рухомих) хвиль, які поширюються назустріч одна одній і мають деякий зсув фаз. У біжучій хвилі відбувається перенесення енергії, а в стоячій хвилі через площини, в яких розташовані вузли, енергія не перетікає. Для оптимальної передачі енергії лініями передач необхідне їхнє узгодження, тобто одержання всередині лінії режиму рухомої хвилі, коли коефіцієнт відбивання Г= 0, а коефіцієнт стійності (нерухомості) хвилі КСХ (КНХ) = 1.

У випадку гармонічних коливань в одновимірному середовищі стояча хвиля описується формулою.

де u збурення в точці x в момент часу t, амплітуда стоячої хвилі, частота, k хвильовий вектор, фаза.

Стоячі хвилі є розв'язками тих же хвильових рівнянь. Їх можна уявити собі, як суперпозицію хвиль, що розповсюджуються в протилежних напрямках. При існуванні в середовищі стоячої хвилі, існують точки, амплітуда коливань у яких дорівнює нулю. Ці точки називаються **вузлами** стоячої хвилі. Точки, в яких коливання мають максимальну амплітуду називаються **пучностями**. Термін «стояча хвиля» увів близько 1860 року німецький фізик Франц Мельде і продемонстрував це явище в своєму класичному експерименті з вібруючими струнами[en][1][2][3][4].

Моди



Моди коливань струни

Стоячі хвилі виникають у резонаторах. Скінченні розміри резонатора накладають додаткові умови на існування таких хвиль. Зокрема, для систем скінченних розмірів хвильовий вектор (а, отже, довжина хвилі) може приймати лише певні дискретні значення. Коливання із певними значеннями хвильового вектора називаються **модами**.

Наприклад, різні моди коливань затиснутої на кінцях струни визначають її основний тон і обертони.

В одновимірному випадку дві хвилі однакової частоти, довжини хвилі та амплітуди, що розповсюджуються в протилежних напрямках (напприклад назустріч одна одній), будуть взаємодіяти в результаті чого може виникнути стояча хвиля. Наприклад, гармонічна хвиля розповсюджуючись вправо, досягаючи кінця струни, продукує стоячу хвилю. Хвиля, що відбивається від кінця повинна мати таку саму амплітуду та частоту, як і падаюча хвиля. Розглянемо падаючу та відбиту хвилі у вигляді:

{\displaystyle u=u_{0}\cos kx\cos(\omega t-\varphi)},

де:

- y_0 — амплітуда хвилі,
- — циклічна (кутова) частота, що вимірюється в радіанах за секунду,
- k — хвильовий вектор, вимірюється в радіанах на метр, і є поділений на довжину хвилі ,
- x та t — змінні для позначення довжини та часу.

\

Лекция 19

Тема: Елементи техніки надзвичайних частот, ВЧ кабели, хвилеводи, трійники, мости.

Мета: Ознайомитися з конструкцією та властивостями елементів НВЧ
Запитання лекції:

1. Хвилевід.
2. Коаксіальний кабель
3. Подвійний хвилевода трійник**,**

1.Хвилевід

Хвилевід (електромагнітний) — лінія передачі, яка описується телеграфними рівняннями (в загальному випадку рівняннями Максвелла) і служить для передачі спрямованих електромагнітних хвиль розпочинаючи з метрового і закінчуючи сантиметровим діапазонами.

Опис

Бокова поверхня каналу хвилевода є границя розділу двох середовищ, при переході через яку різко змінюються діелектрична проникність або магнітна проникність та електропровідність. Ця поверхня може мати довільну форму. На практиці використовуються циліндричні хвилеводи з різноманітними перерізами (прямокутні, круглі, Н- та П- подібні і т.і.).
До хвилеводів відносять, як правило тільки ті, що мають канал з однозв'язним перерізом, а інші (наприклад, коаксільні кабелі) розглядаються в теорії довгих ліній.

Властивості

Головна особливість хвильовода полягає в тому, що в ньому можуть розповсюджуватися електромагнітні хвилі, довжина яких менша чи співмірна із поперечним перерізом хвилевода. Це обумовлює використання хвилеводів в основному в області надвисоких частот (сантиметровий та дециметровий діапазони). За використанням поділяються на дві групи: фідери та лінії далекого зв'язку. Фідери служать для передачі енергії між блоками апаратури, що знаходяться на порівняно невеликій відстані, наприклад, антенно-фідерна система радіолокаційної станції чи мережевий кабель між ПК локальної мережі. Лінії далекого зв'язку служать для передачі даних на великі відстані. Лінія радіозв'язку використовує атмосферу.

Технічні вимоги

- малий коефіцієнт загасання, що забезпечує високий коефіцієнт корисної дії (ККД) фідера;
- забезпечення заданої потужності, що передається, без електричних пробоїв і перегріву;
- економічна доцільність, обумовлена помірними поперечними розмірами, малою вагою, доступними матеріалами, простотою конструкції і технології виробництва та ін.

Переваги
Основною перевагою металічних хвилеводів в порівнянні з двохпровідними лініями передачі та коаксильними кабелями є незначні втрати на НВЧ. Причини цього:

- Майже повна відсутність втрат на випромінювання енергії в навколишнє середовище;
- При однакових розмірах хвилевода та, наприклад, двопровідної лінії поверхня хвилевода, по якій течуть струми (скін ефект) завжди більша ніж у двопровідної лінії. Із цього випливає, що густина поверхневих струмів, а отже і втрати на джоулеве тепло, будуть в хвилеводах менші.

Недоліки

- Наявність нижньої границі для пропускних частот;
- Громіздкість конструкції на дециметрових та більш довгих хвилях;
- Необхідність більшої точності виготовлення та спеціальної обробки внутрішньої поверхні стінок хвилевода; * Складність монтажу.

2.Коаксіальний кабель

Коаксіальний кабель **(**менш поширена назва – коаксіал) – це електрокабель, основними компонентами якого є центральний провід та металеве обплетення, розділені внутрішньою ізоляцією та розміщені в єдиній оболонці. Застосовується передачі радіочастотних електросигналів. Телевізійний кабель максимально захищений від перешкод, а також передає сигнал на далекі відстані.

Сфера використання коаксіального кабелю
Коаксіальний кабель – оптимальний варіант, якщо ставиться завдання передавати електросигнали з низькими втратами швидко та на значні відстані. Це сприяє широкій сфері використання даної кабельно-провідникової продукції. Сьогодні радіочастотний кабель застосовують не лише для створення комп'ютерних мереж типу Ethernet, але також для кабельного телебачення та широкодіапазонного телерадіомовлення. Крім того, виріб задіють в автоматичних системах контролю, науково-дослідних конструкціях, відеоспостереженні та сигналізації, радіоелектроніці, військовій та авіатехніці, і навіть у космічному обладнанні.

Групи коаксіальних кабелів для телебачення та радіотехніки
Виходячи з хвильового опору, розрізняють кабелі:

- 50 Ом – частіше зустрічаються у радіоелектронній сфері, проте можуть використовуватися також для вирішення інших завдань. Особливість – передача радіосигналів із мінімальними втратами;

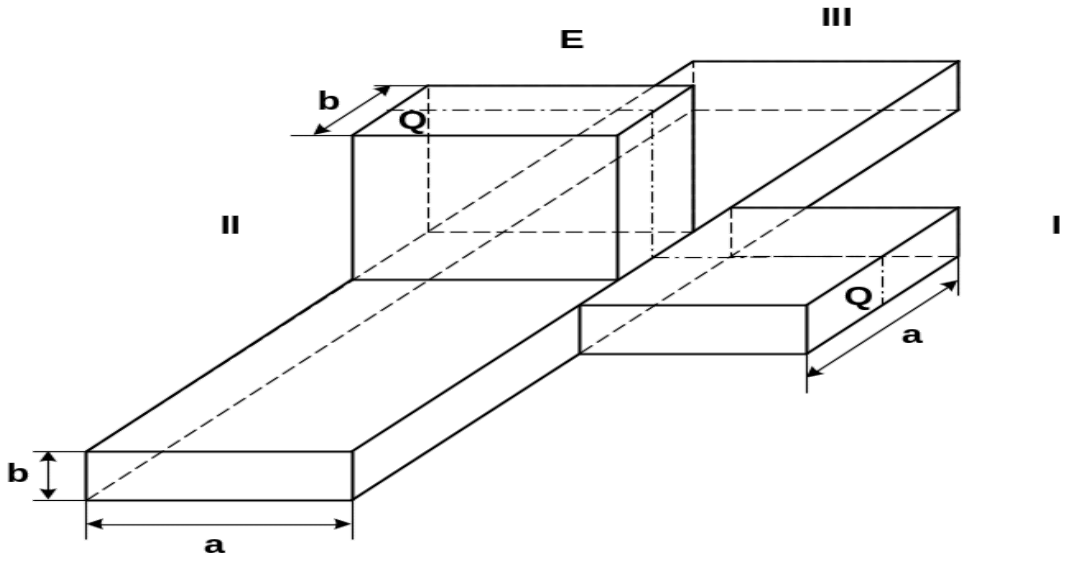
- 75 Ом – становить конкуренцію попередньому підвиду. Якщо стоїть питання про те, який телевізійний кабель який кращий, у проводу 75 Ом немає конкурентів. Використовується у галузях, де висока потужність – не мета, і необхідний великий метраж провідникової продукції;
- 100 Ом – зустрічається досить рідко, переважно, у техніці використовує імпульси;
- 150 Ом – досить рідко зустрічається у будь-якій із сфер. Не має аналогів і не використовується за кордоном;
- 200 Ом – не може скласти гідну конкуренцію проводам 50 та 75 Ом.

Залежно від екранування, розрізняють дроти:

- із заниженим екрануванням;
- з одношаровим обплетенням;
- з дво- або багатошаровим обплетенням;
- із звичайним екраном;
- з цілісним екраном.

3. Подвійний хвилевода трійник,

У техніці НВЧ широко застосовується подвійний хвилевода трійник, або Т-міст (рис. 4). Міст утворюється суміщення в єдиний симетричний простір Н- і Е-трійників. У Т-мості Е-трійник утворений плечима II, III, IV а Н-трійник – плечима I, III, IV.
Розглянемо роботу трійників за умови, що всі плечі узгоджені і розраховані на пропускання лише основної хвилі.
Розріз Е-трійника показано на рис. 5 Він являє собою розгалуження в площині Е основного хвилеводу III, VI.
Трійник конструктивно симетричний відносно площини Е. Тому при подачі потужності в Е-плече розподіл магнітного поля в плечах III, IV однаковий, а електричного – однаковий за амплітудою і протилежний за фазою. Отже, в бокових плечах трійника збуджуються хвилі, в яких амплітуди векторів Е і Н однакові магнітні поля синфазні, а електричні – протифазні. Тому в узгод женому трійнику потужність, подана в плече Е, в бокових плечах III і IV ділиться навпіл.



Конструкція подвійного хвилеводного трійника

Н-трійник являє собою розгалуження в Н-площині основного хвилеводу III, IV. Оскільки трійник симетричний відносно площини Q, то при збудженні Н-плеча в площинах зв’язку 1-1 і 2-2 розподіл електричного поля однаковий за амплітудою і фазою, а магнітного – однаковий за амплітудою, але протифазний.

Тому в бокових плечах збуджуються однакові хвилі з синфазними електричними і протифазними магнітними полями.

Якщо в трійнику відсутні втрати, то потужність, подана в Н-плече, поділяється в бокових плечах навпіл. Для взаємного Н-трійника – навпаки: при подачі в плечі III і IV однакових хвиль з синфазними електричними полями вся потужність підсумовується в Н-плечі.

Розглянемо роботу Т-моста. Його основною властивістю є взаємна розв'язка між плечима I, II, Ш, IV.

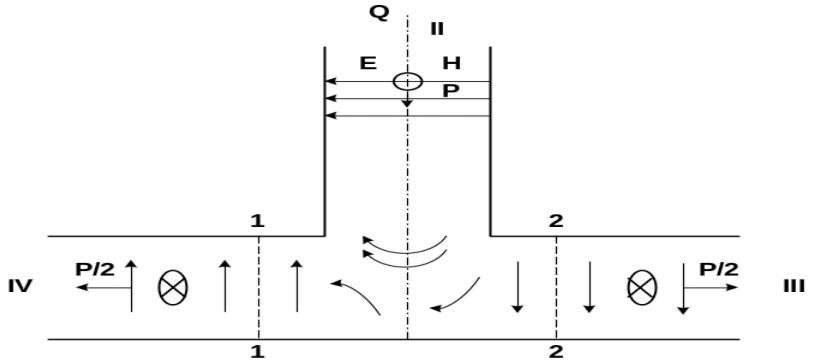


Рис. 5. Спрощена конструкція Е-трійника

За аналогічним принципом працює й узгоджений Н-трійник

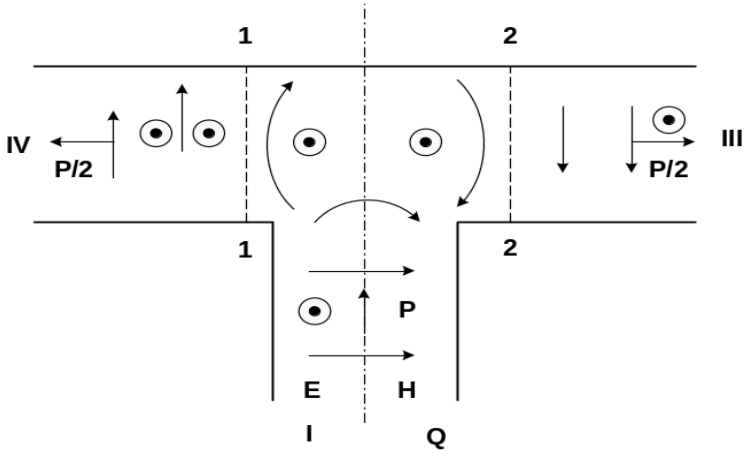


Рис. 6 Спрощена конструкція Н-трійника

Розв'язка між плечима I і II пояснюється так. При збудженні в плечі і хвилі H_{10} вектор Е буде паралельним поздовжній осі плеча II. При такій орієнтації в Е-плечі можуть збуджуватись хвилі Е або Н вищих типів, які в плечі і не можуть поширюватись, тому що воно розраховано на пропускання хвилі H_{10} При збудженні хвилі H_{10} в плечі II вектор Е паралельний широким стінкам хвилеводу плеча 1, і тому збудження хвилі H_{10} у цьому плечі неможливе. Плечі III і IV також розв'язані за умови ввімкнення узгоджених навантажень в Е- і Н-плечах моста. Справедливість даного твердження можна пояснити таким чином. Припустимо, що живиться плече III, а в плечі IV потужність відсутня. Нехай в плечі III амплітуда електричного поля дорівнює 2А. Тоді можна вважати, що в плечі III існують дві синфазні хвилі з амплітудами А, а відсутність потужності в плечі IV еквівалентна наявності в ньому двох однакових за амплітудою і протилежних за фазою хвиль, тобто хвиль з амплітудами ±А. Відповідно до викладеного вище пара хвиль з однаковими фазами з плечей III і IV надходить в Н-плече, а пара хвиль з протилежними фазами – в Е-плече.

Таким чином, подвійний трійник працює як міст: при подачі потужності в Н(Е)-плече потужність надходить у бокові плечі і не проходить в Е(Н) – плече.

Для забезпечення нормальної роботи Т-моста необхідно його узгоджувати. З цією метою в Н- і Е-плечі вводять різноманітні узгоджувальні елементи – штирі, діафрагми і т.ін. Такий узгоджений міст часто застосовується в різних пристроях НВЧ. Його характеристики при повній конструктивній симетрії зберігаються в широкому діапазоні частот, точніше – у смузі узгодження Н- і Е-плечей.

Лекция 20

Тема: Основні логічні елементи.

Мета: вивчити основні логічні елементи та їх таблиці істинності.

Питання лекції:

1.Логічні елементи .

2. Класифікація логічних елементів

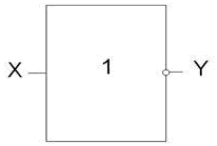
1.Логічні елементи

Логічний елемент – це електронний пристрій, що реалізує одну з логічних операцій. Логічні елементи являють собою електронні пристрої, у яких оброблювана інформація закодована у вигляді двійкових чисел, відображуваних напругою (сигналом) високого і низького рівня. Термін «логічні» прийшов в електроніку з алгебри логіки, що оперує зі змінними величинами і їхніми функціями, що можуть приймати тільки два значення: «істинно» чи «хибно». Для позначення чи істинності хибності висловлень використовують відповідно символи 1 чи 0. Кожна логічна перемінна може приймати тільки одне значення: 1 чи 0. Ці двійкові змінні і функції від них називаються логічними змінними і логічними функціями. Пристрої, що реалізують логічні функції, називаються логічними чи цифровими пристроями.

На рис. 10.1 – 10.10 представлені логічні елементи, що реалізують розглянені вище функції. Там же представлені так називані таблиці чи станів таблиці істинності, що описують відповідні логічні функції в двійковому коді у виді станів вхідних і вихідних перемінних. Таблиця істинності є також табличним способом завдання ФАЛ.

2. **Класифікація логічних елементів**

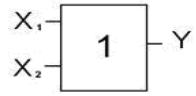
На рис.1 представлений елемент “НІ”, що реалізує функцію логічного заперечення Y = .



X	Y
0	1
1	0

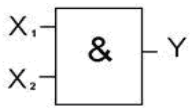
Рисунок 1. Елемент НІ

Елемент “АБО” (рис.2) і елемент “І” (рис.3) реалізують функції логічного додавання і логічного множення відповідно.



X_1	X_2	Y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

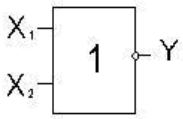
Рисунок 2. Елемент АБО.



X_1	X_2	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

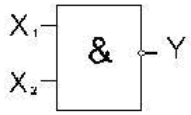
Рисунок 3. Елемент І

Функції Пірса і функції Шеффера реалізуються за допомогою елементів “АБО-НІ” і “І-НІ”, представлених на рис.4 і рис. .5 відповідно.



X_1	X_2	Y
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

Рисунок 4. Елемент АБО-НІ.



X_1	X_2	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Рисунок 5. Елемент І-НІ.

Елемент Пірса можна представити у виді послідовного з'єднання елемента “АБО” і елемента “НІ” (рис.6), а елемент Шеффера - у виді послідовного з'єднання елемента “І” і елемента “НІ” (рис.7).

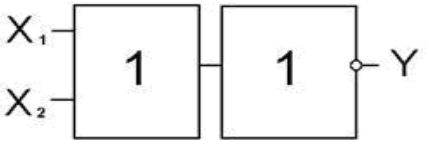


Рис.6

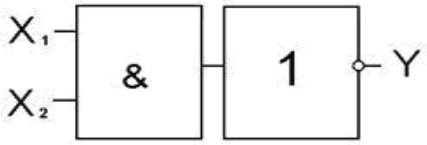
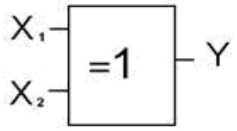


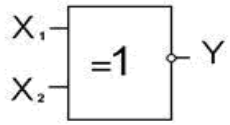
Рис. 7

На рисунку 8 і 9 представлені елементи “ Що виключає Або” і “ Що виключає АБО-НІ”, що реалізують функції нерівнозначності і нерівнозначності з запереченням відповідно.



X_1	X_2	Y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

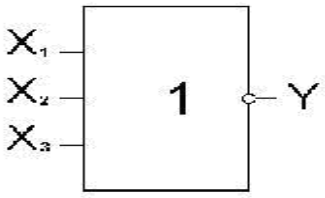
Рисунок 8. Елемент, що виключає АБО.



X_1	X_2	Y
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Рисунок 9. Елемент, що виключає АБО-НІ.

Логічні елементи, що реалізують операції кон'юнкції, диз'юнкції, функції Пірса і Шеффера, можуть бути, у загальному випадку, n - входові. Так, наприклад, логічний елемент із трьома входами, що реалізує функцію Пірса, має вид, представлений на рис.10.



X_1	X_2	X_3	Y
0	0	0	1
1	0	0	0
0	1	0	0
1	1	0	0
0	0	1	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	1	0

Рисунок10. Логічний елемент, що реалізує функцію Пірса

У таблиці істинності (рис.10.10) є вісім значень вихідних змінних Y. Ця кількість визначається числом можливих комбінацій вхідних змінних N, що, у загальному випадку, дорівнює: $N = 2^n$, де n - число вхідних змінних.

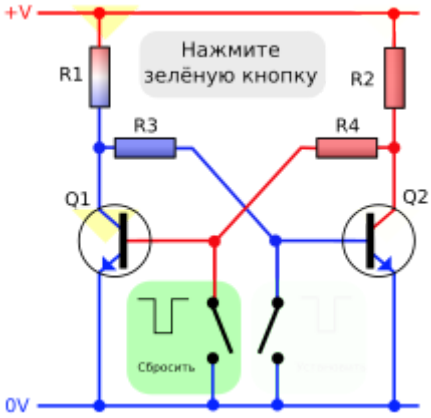
Логічні елементи по режиму роботи підрозділяються на статичні і динамічні. Статичні ЛЭ можуть працювати як у статичному, так і динамічному (імпульсному) режимах. Статичні елементи найбільше широко використовуються в сучасних мікросхемах. Динамічні ЛЕ можуть працювати тільки в імпульсному режимі.

Логічні елементи класифікують також за типом транзисторів, які застосовуються. Найбільше поширення одержали ЛЕ на біполярних і МДП - транзисторах і МДП – транзисторах. Крім того, інтенсивно розробляються ЛЕ на арсенід – галієвих МЕП і ГМЕП – транзисторах. Для кожного з перерахованих типів ЛЕ існує число схемотехнічних і конструктивно – технологічних різновидів.

Лекция 21.

Тема:Тригери.
Мета: вивчити основні тригери та їх таблиці істинності
Питання лекції:
1 Тригери.
2.Типи тригерів.

.1. **Триггер (значения).**



RS-триггер➢

(*R1, R2* = 1 kΩ, *R3, R4* = 10 kΩ).

Триггер (триггерная система) — класс электронных устройств, обладающих способностью длительно находиться в одном из двух устойчивых состояний и чередовать их под воздействием внешних сигналов. Каждое состояние триггера легко распознаётся по значению выходного напряжения. По характеру действия триггеры относятся к импульсным устройствам — их активные элементы (транзисторы, электронные лампы) работают в ключевом режиме, а смена состояний длится очень короткое время.

Отличительной особенностью триггера как функционального устройства является свойство запоминания двоичной информации. Под памятью триггера подразумевают способность оставаться в одном из двух состояний и после прекращения действия переключающего сигнала. Приняв одно из состояний за «1», а другое за «0», можно считать, что триггер хранит (помнит) один разряд числа, записанного в двоичном коде.

При включении питания триггер непредсказуемо принимает (с равной или неравной вероятностью) одно из двух состояний. Это приводит к необходимости выполнять первоначальную установку триггера в требуемое исходное состояние, то есть подавать сигнал сброса на асинхронные входы триггеров, счётчиков, регистров, и т. д. (например, с помощью RC-цепочки), а

также учитывать, что ячейки ОЗУ, построенного на триггерах (память статического типа), содержат после включения произвольную информацию. При изготовлении триггеров применяются преимущественно полупроводниковые приборы (обычно биполярные и полевые транзисторы), в прошлом — электромагнитные реле, электронные лампы. С появлением технологии производства микросхем малой и средней степени интеграции был освоен выпуск обширной номенклатуры триггеров в интегральном исполнении. В настоящее время логические схемы, в том числе с использованием триггеров, создают в интегрированных средах разработки под различные программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Используются, в основном, в вычислительной технике для организации компонентов вычислительных систем: регистров, счётчиков, процессоров, ОЗУ.

2. Типи тригерів

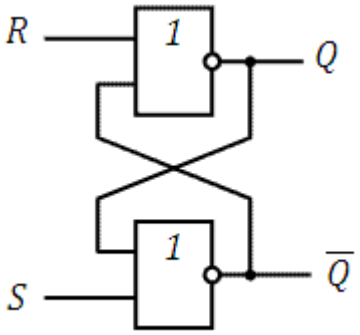
RS-тригер

Асинхронный RS-тригер с инверсными входами

Загальна таблиця переходів SR-тригера

S	R	Q(t)	Q(t)
H	A	0	1
A	H	1	0
H	H	Q(t-1)	Q(t-1)
A	A	не определено	не определено

A — активный уровень;
H — неактивный уровень.



Асинхронный RS-триггер на елементах 2АБО-НЕ
Таблиця переходів
RS-**тригер на елементах**

АБО-НЕ

S R Q(t) Q(t)
0 1 0 1
1 0 1 0
0 0 Q(t-1) Q(t-1)
1 1 0 0

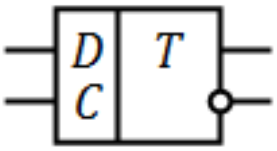
RS-тригер або SR-тригер (від англ. Set/Reset - встановити/скинути) - асинхронний тригер, який зберігає свій попередній стан при неактивному стані обох входів і змінює свій стан при подачі на один з його входів активного рівня. При подачі на обидва входи активного рівня стан тригера взагалі кажучи невизначено, але в конкретних реалізаціях на логічних елементах обидва виходи приймають стани або логічного нуля, або логічного Залежно від конкретної реалізації активним вхідним рівнем може бути як логічний 1, так і логічний 0 . ний 0.

При подачі активного рівня на вхід S (від англ. Set - Встановити) вихідний стан стає рівним логічній одиниці. А при подачі активного рівня на вхід R (від англ. Reset - скинути) вихідний стан стає рівним логічному нулю. Стан, при якому на обидва входи R і S одночасно подані активні рівні не визначено і залежить від реалізації, наприклад у тригері на елементах «або-не» обидва виходи переходять у стан логічної 0, яке зберігається поки на входах утримуються логічні 1. Переклад одного з входів у неактивний стан, в даному прикладі в логічний 0, Одночасне переведення обох входів з активного в неактивний стан викликає непередбачуване перемикання тригера в один із стійких станів.
У деякій літературі тригери, у яких документовано, який саме стан на виходах відповідає одночасним активним рівням на входах (тобто RS-тригери, у яких заборонений стан довизначено тим чи іншим чином), називаються Rs, rS або навіть R- та S-тригери, за назвою входу, який є пріоритетним. Проте вихід із довизначеного стану повинен все одно проводитися послідовним (не одночасним) переведенням входів у неактивний стан, з дотриманням паспортних затримок (що відповідають фізичній швидкодії тригера).
RS-тригер використовується для формування сигналу з позитивним і негативним фронтами, що окремо керуються за допомогою подачі імпульсів на входи, які рознесені в часі. Також RS-тригери часто використовуються для виключення помилкового спрацьовування цифрових пристроїв від так званого "брязкоту контактів".RS-тригери іноді називають RS-фіксат

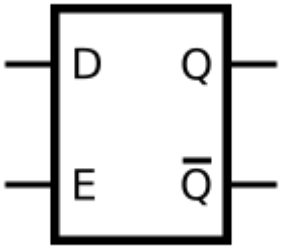
D-триггеры
D-триггеры также называют триггерами задержки (от англ. *delay*).

0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

D-триггер (**D** от англ. *delay — задержка*[13][14][15], либо от *data*[16] — *данные*) — запоминает состояние входа и выдаёт его на выход.



УГО D-триггера со статической синхронизацией



D-тригери також називають тригерами затримки (від англ. Delay).

D-тригер синхронний
D Q(t) Q(t+1)
0 0 0
0 1 0
1 0 1
1 1 1
D-тригер (D від англ. delay - Затримка або від data - дані) - запам'ятовує стан входу і видає його на вихід.
Інше УДО зі статичною синхронізацією (прозора клямка)
D-тригери мають, як мінімум, два входи: інформаційний D і синхронізації C. Вхід синхронізації може бути статичним (потенційним) і динамічним. У тригерів зі статичним входом інформація записується протягом часу, при якому рівень сигналу C=1, такі тригери іноді називають "прозорою клямкою". У тригерах з динамічним входом інформація записується зі входу D в стан тригера тільки в момент перепаду напруги на вході C. Динамічний вхід зображують на схемах трикутником або похилою рисою. Якщо вершина трикутника звернена у бік мікросхеми чи коса риса як слеша (прямий динамічний вхід), то тригер спрацьовує по фронту імпульсу, якщо трикутник повернуть від зображення мікросхеми чи коса риса як зворотного слеша (інверсний динамічний вхід) — то спаду імпульсу.

У такому тригері інформація на виході може бути затримана на один такт по відношенню до вхідної інформації. Оскільки інформація на виході залишається незмінною до приходу чергового імпульсу синхронізації, D-Тригер називають також тригером із запам'ятовуванням інформації або тригером-засувкою. У такому тригері інформація на виході може бути затримана на один такт по відношенню до вхідної інформації. Так як інформація на виході залишається незмінною до приходу чергового імпульсу синхронізації, D-тригер називають також тригером із запам'ятовуванням інформації

Т-триггеры
Т-тригер (від англ. Toggle - перемикач) часто називають лічильний тригер, так як він є найпростішим лічильником за модулем 2 [5].
Т-тригер асинхронний Асинхронний Т-тригер немає входу дозволу рахунку — З і перемикається по кожному тактовому імпульсу на вході Т.
Т-тригер синхронний Робота схеми асинхронного двоступінчастого Т-тригера з парафазним входом на двох парафазних D-тригерах на восьми логічних вентилях 2І-НЕ. Зліва – входи, праворуч – виходи. Синій колір відповідає 0, червоний - 1
T Q(t) Q(t+1)
0 0 0
0 1 1
1 0 1

1 1 0
Синхронний Т-тригер при одиниці на вході Т, по кожному такту на вході З змінює свій логічний стан на протилежне, і не змінює вихідний стан при нулі на вході Т. Т-тригер можна побудувати на JK-тригері, на двоступінчастому (Master-Slave, MS) D-тригері D-тригері.
Як можна бачити в таблиці істинності JK-тригера, він переходить в інверсний стан щоразу при одночасному подачі на входи J і K логічної 1. Ця властивість дозволяє створити на базі JK-тригера Т-тригер, поєднуючи входи J і K..
Т-тригер часто застосовують для поділу частоти на 2, при цьому на вхід Т подають одиницю, а на С - сигнал з частотою, яка буде поділена

Лекция 22

Тема: Пристрої на логічних елементах
Мета: Вивчити різні пристрої на логічних елементах
Питання лекції:

1. Типи логіки
2. Логічні елементи на МДН - транзисторах

1.Типи логіки

Існує ряд типів логіки (способів промислового виготовлення) функціонально еквівалентних мікросхем.
Функціональна еквівалентністьбазується на незмінності початкової логічної схеми цифрового приладу.
Найрадикальніше між собою розрізняються наступні типи логіки :

· резистивно-транзисторна логіка (РТЛ) - найбільш простий варіант, де базовий елемент перемикача представлений транзистором з резисторами на вході; має низьку швидкодію і недостатню завадозахищеність;
· діодно-транзисторна логіка (ДТЛ) - базовий елемент є транзистором з включеними на вході діодами; забезпечується максимальний захист від перешкод;
· транзисторно-транзисторна логіка (ТТЛ) заснована на застосуванні біполярних транзисторів з декількома емітерами, кожен з яких є самостійним входом.

Логіка ТТЛ показала себе універсальною. Інтегральні схеми, реалізовані на її основі, мають збалансовані технічні показники та характеризуються великою здатністю навантаження, порівняно високою швидкодією і низькою споживаною потужністю.
Існують типи логіки, створені на основі ТТЛ, :

· транзисторна емітерно-пов'язана логіка (ЭСЛ) - дозволяє максимально збільшити швидкодію за рахунок включення базового транзистора в ненасиченому режимі; недолік - порівняно висока споживана потужність;
· логіка з діодами Шотки (ТТЛШ) - використовує ефект Шотки, що не дозволяє базовому транзистору увійти до режиму насичення, внаслідок чого значно скорочується затримка перемикання і знижується енергоспоживання.

Біполярна мікроелектронна технологія на основі ефекту Шотки досить поширена. Важливу роль грає той факт, що мікросхеми ТТЛ і ТТЛШ мають однакову напругу електроживлення +5В і схожі значення логічних рівнів, що полегшує їх електричне сполучення.
Основні технічні параметри ТТЛ і ТТЛШ приведені в таблиці 1.1.
Перспективи розвитку радянської мікроелектроніки зв'язувалися з інтегрально-інжекційною логікою (И2Л), яка, не дивлячись на обмежену швидкодію, могла стати альтернативою біполярним технологіям. Переваги И2Л - висока міра інтеграції і низьке енергоспоживання. З розвалом СРСР дослідження інжекційних технологій сповільнилися.
Переважна більшість сучасних мікросхем, у тому числі, мікропроцесорів і систем на кристалі, виготовляється за технологією КМОП - логіки комплементу на полярних транзисторах «метал-оксид-напівпровідник» (МОН).
В порівнянні з іншими МОН-структурами (n-МОП, р-МОП), базовий елемент комплементу об'єднує в собі частини польових транзисторів n- і р- типа. Мікросхеми КМОП мають високу швидкодію і порівняно мале енергоспоживання, хоча складніші у виготовленні.

2.Логічні елементи на МДН - транзисторах

На сьогодні найбільш поширені логічні елементи двох транзисторних логік: ТТЛ і КМОН. Величезну кількість логічних елементів ТТЛ і КМОН, які виконують різноманітні функції, випускають десятки фірм. За допомогою ТТЛ-елементів і КМОН-елементів можна задовольнити усі потреби, що виникають під час побудови цифрових пристроїв і систем.
Зусилля розробників біполярних ІС завжди були спрямовані на зменшення споживаної потужності зі збереженням швидкодії, а розробників МОН-ІС – на збільшення швидкодії зі збереженням економічності. Результатом такої сумісно праці стали елементи логіки на суміщених біполярних і МОН-транзисторах (БіКМОН). В статичному режимі ключ БіМОН (рис.2) працює як звичайний КМОН-інвертор (*VT1*, *VT*2), в якому послідовно з каналом кожного транзистора ввімкнені відповідно резистори R1 і R2, опори яких сумірні з опорами каналів відкритих *VT*1 і *VT*2. Під час перехідних процесів використання біполярних транзисторів *VT*3 і *VT*4 допомагає прискорити перезаряджання ємності навантаження, а отже, збільшити швидкодію ІЛЕ.

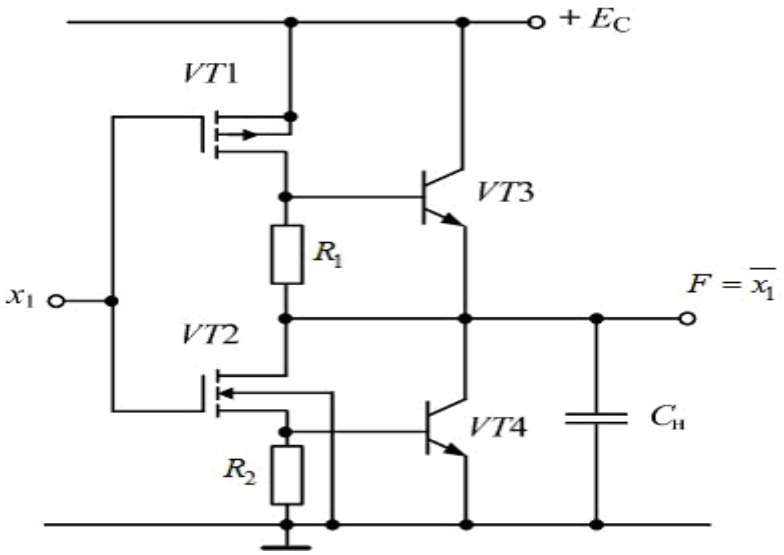


Рисунок 2 БіКМОН-інвертор

Незалежно від приналежності до тієї чи іншої серії, усі логічні елементи характеризуються основними параметрами,
які є довідковими даними. Більшість параметрів має чітке офіційне визначення, що забезпечує однозначність вимірювальних методик і можливість порівняння різних типів ІЛЕ. Значення ж
цих параметрів обумовлені схемотехнічними конструктивним
і технологічним виконанням елементів. Значення параметрів, як правило, задаються з запасом і
не вичерпують фізичних можливостей мікросхеми, проте перевищувати їх не слід. Повний перелік основних параметрів, за якими оцінюють ІЛЕ, надто великий: параметрів, які мають розмірність напруги близько тридцяти, параметрів з розмірністю струму – близько 20, з розмірністю потужності – близько 20, з розмірністю частоти і часу – відповідно 8 і 13, відносних параметрів – 18, є й інші.

Лекция 23

Тема: Цифро-аналогові перетворювачі

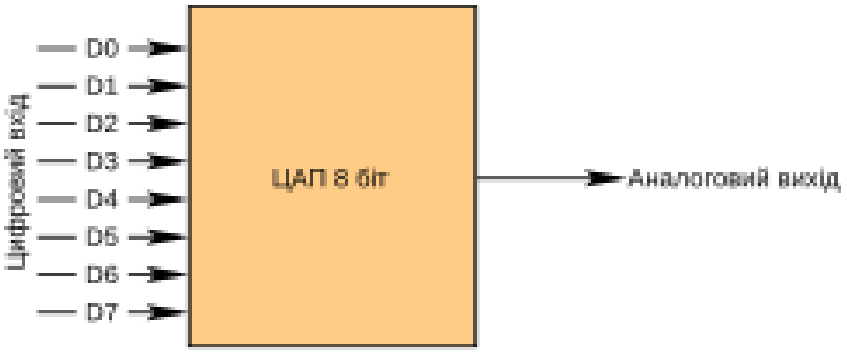
Мета: Ознайомиться із принципом дії ЦАП.

Питання лекції:

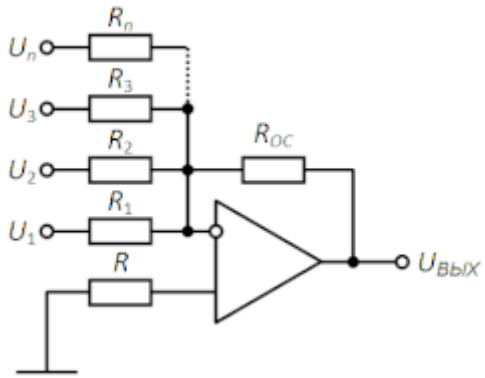
1. Ци́фро-ана́логовий перетво́рювач.
2. Реалізація

Ци́фро-ана́логовий перетво́рювач (ЦАП; англ. *DAC — Digital-to-Analog Convertor*) — електронний пристрій для перетворення цифрового (як правило двійкового) сигналу на аналоговий. Пристрій, що виконує зворотну дію, називається аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП).

Як правило ЦАП отримує на вхід цифровий сигнал в імпульсно-кодовій модуляції PCM (англ. *pulse-code modulation*). Перетворення різних стиснутих форматів в PCM виконується відповідними кодеками.



Використання. ЦАП використовується завжди, коли необхідно перетворити сигнал з цифрового формату в аналоговий. ЦАП використовується в системах керування технологічними процесами, програвачах CD/DVD, звукових картах ПК.



ЦАП на основі аналогового суматора, опори вхідних резисторів R_1—R_n мають співвідноситись як основа системи числення, для двійкової системи кожен наступний — в 2 рази більший

2.Реалізація

У найпростішому випадкові ЦАП може бути реалізований за схемою суматора струмів, наприклад, на основі диференціального підсилювача в інвертуючому ввімкненні, на інверсному вході якого відбувається складання струмів. Зважаючи на те, що при заземленому неінверсному вході операційний підсилювач, охоплений негативним зворотним зв'язком, буде підтримувати нульовий потенціал і на інверсному вході, вхідні струми будуть однозначно визначатись вхідними напругами та опорами вхідних резисторів. Тим часом струм у ланцюзі зворотнього зв'язку визначається вихідною напругою та опором резистора зворотнього зв'язку. Позаяк сума вхідних струмів буде дорівнювати струму зворотнього зв'язку, вихідна напруга буде пропорційною сумі вхідних струмів.

Лекция 24

Тема: Аналогові цифровий перетворювачі

Мета: Ознайомиться із принципом дії АЦП

Питання лекції:

1. Ана́лого-цифрови́й перетво́рювач,
2. Типи перетворення

Ана́лого-цифрови́й перетво́рювач, **АЦП** (англ. *Analog-to-digital converter, ADC*) — пристрій, що перетворює вхідний аналоговий сигнал в дискретний код (цифровий сигнал), який кількісно характеризує амплітуду вхідного сигналу. Зворотне перетворення здійснюється за допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП).
Як правило, АЦП — електронний пристрій, що перетворює електричну напругу в двійковий цифровий код. Проте, деякі неелектронні пристрої, такі як перетворювач кут-код, слід також відносити до АЦП.

Розрядність

Розрядність АЦП характеризує кількість дискретних значень, які перетворювач може видати на виході. Вимірюється в бітах. Наприклад, АЦП, здатний видати 256 дискретних значень (0..255), має розрядність 8 бітів, Розрядність може бути також визначена в величинах вхідного сигналу і виражена, наприклад, у вольтах. Розрядність за напругою дорівнює напрузі, що відповідає максимальному вихідному коду, який ділиться на кількість вихідних дискретних значень. Наприклад:

- Приклад 1
  - Діапазон вхідних значень = від 0 до 10 вольт
  - Розрядність АЦП 12 бітів: $2^{12} = 4096$ рівнів квантування
  - Розрядність за напругою: (10-0)/4096 = 0.00244 вольт = 2.44 мВ
- Приклад 2
  - Діапазон вхідних значень = від −10 до +10 вольт
  - Розрядність АЦП 14 бітів: $2^{14} = 16384$ рівнів квантування
  - Розрядність за напругою: (10-(-10))/16384 = 20/16384 = 0.00122 вольт = 1.22 мВ

На практиці розрядність АЦП обмежена співвідношенням сигнал/шум вхідного сигналу. При великій інтенсивності шумів на вході АЦП розрізнення сусідніх рівнів вхідного сигналу стає неможливим, тобто погіршується розрядність. При цьому реальний досяжний дозвіл описується ефективною кількістю розрядів (effective number of bits — ENOB), яка менше, ніж реальна розрядність АЦП. При перетворенні сильно зашумленного сигналу молодші біти вихідного коду практично непридатні, оскільки містять шум. Для досягнення заявленої ро

2.Типи перетворення

Лінійні АЦП

Більшість АЦП вважаються лінійними, хоча аналого-цифрове перетворення по суті є нелінійним процесом (оскільки операція перетворення безперервного сигналу в дискретний — операція необоротна і, отже, нелінійна). Термін *лінійний* стосовно АЦП означає, що діапазон вхідних значень, що відображається на вихідне цифрове значення, зв'язаний за лінійним законом з цим вихідним значенням, тобто вихідне значення k досягається при діапазоні вхідних значень від $m(k + b)$ до $m(k + 1 + b)$, де m і b — деякі константи. Константа b, як правило, має значення 0 або

−0.5. Якщо $b = 0$, АЦП називають *mid-rise*, якщо ж $b = -0.5$, то АЦП називають *mid-tread*.

Нелінійні АЦП

Якби густина ймовірності амплітуди вхідного сигналу мала рівномірний розподіл, то співвідношення сигнал/шум (стосовно шуму квантування) було б максимально можливим. З цієї причини зазвичай перед квантуванням за амплітудою сигнал пропускають через безінерційний перетворювач, передавальна функція якого повторює функцію розподілу самого сигналу. Це покращує достовірність передачі сигналу, оскільки найважливіші області амплітуди сигналу квантуються з кращою розрядністю. Відповідно, при цифро-аналоговому перетворенні потрібно буде обробити сигнал функцією, зворотною функції розподілу початкового сигналу.

Цей принцип також використовується в компандерах, які застосовуються у магнітофонах і різних комунікаційних системах з метою максимізації ентропії.

Наприклад, голосовий сигнал має лапласовий розподіл амплітуди. Це означає, що сигнал в області малих амплітуд несе більше інформації, ніж в області великих амплітуд. З цієї причини логарифмічні АЦП часто застосовуються в системах передачі голосу для збільшення динамічного діапазону значень, що передаються без зміни якості передачі сигналу в області малих амплітуд. 8-бітові логарифмічні АЦП з a-законом або μ-законом забезпечують широкий динамічний діапазон і мають високий дозвіл в найкритичнішому діапазоні малих амплітуд; лінійний АЦП з подібною якістю передачі повинен був би мати розрядність близько 12 біт.

6. Теми практичних занять

Номер з/п	Номер заняття	Назва теми	К-во годин	Пер. літер.
11	1	Вторинні джерела живлення. Віп римлячі.	2	Методичні вказівки
12	2	Вторинні джерела живлення. Фільтри.	2	Методичні вказівки
13	3	Каскади підсилювача на транзисторах	2	Методичні вказівки
14	4	АЧХ резонансних та богатокаскадних підсилювачів	2	Методичні вказівки
15	5	Види операційних підсилювачів	2	Методичні вказівки
21	6	Генератори синусоїдальних коливань	2	Методичні вказівки
22	7	Генератори послідовностей імпульсів	2	Методичні вказівки
27	8	Електричні кола з розподіленими параметрами, погони параметри.	2	Методичні вказівки

28	9	Рижим роботи довгих ліній	2	Методичні вказівки
29	10	Елементи техніки надзвичайних частот**.**	2	Методичні вказівки
34	11	Основні логічні елементи		Методичні вказівки
35	12	Види тригерів		Методичні вказівки
37	13	Пристрої на логічних елементах	2	Методичні вказівки
38	14	Робота цифро-аналогових перетворювачів	2	Методичні вказівки
39	15	Робота аналого-цифрових перетворювачів.	2	Методичні вказівки
		Разом	30	

Методические розробки для практичних занять
Методична розробка для заняття 1.

Тема: Вторинні джерела живлення. Віпримлячі.
Мета: Закріпити знання матеріалу лекції 2.
На початку заняття викладач доводить мету та порядок проведення заняття.

У ході заняття викладач ставить питання аудиторії, по черзі виклікае студентів до дошки для відповіді; у разі утруднення чи неправильної відповіді звертається до аудиторії. Після закінчення відповіді робить короткий розбір та оцінює студента.
Питання для обговорення:

1. Яке джерело живлення називається вторинним?
2. Які елементи має містити вторинне джерело?
3. Дати призначення трансформатора.
4. Дати призначення випрямлювача.
5. Які бувають випрямлячі за кількістю випрямлених напівперіодів?
6. Які бувають випрямлячі за кількістю фаз.
7. Скільки вентилів в однонапівперіодному однофазном випрямлячі?
8. Скільки вентилів в однонапівперіодному трех фазном випрямлячі?
9. Скільки вентилів в двотактному двонапівперіодному випрямлячі?
10. Скільки вентилів в мостовой схеме Греца?
11. Скільки вентилів в мотовой схеме Ларионова?
12. Що таке пульсації випрямленої напруги?

Наприкінці заняття викладач робить виводи за переглянутим матеріалом, підбиває підсумки, оголошує оцінки.

Методична розробка для заняття 2.

Тема: Вторинні джерела живлення. Фільтри.

Мета: Закріпити знання матеріалу лекції 2.

На початку заняття викладач доводить мету та порядок проведення заняття.

У ході заняття викладач ставить питання аудиторії, по черзі виклікае студентів до дошки для відповіді; у разі утруднення чи неправильної відповіді звертається до аудиторії. Після закінчення відповіді робить короткий розбір та оцінює студента.

Питання для обговорення:

1. Дати призначення фільтра.
2. Дати призначення стабілізатора.
3. Які бивають фільтри по конфігурації?
4. Які бивають фільтри по використовуємим елементам?
5. Що таке постийна часу фільтра?
6. Які бивають стабілизатори?
7. Яка роль керуючого елемента стабілізатора?
8. Яка роль регулючого елемента стабілізатора?
9. Дати визначення коефіцієнта стабілізації.

Наприкінці заняття викладач робить виводи за переглянутим матеріалом, підбиває підсумки, оголошує оцінки.

Методична розробка для заняття 3.

Тема:. **Каскади підсилювача на транзисорах**

Мета: Закріпити знання матеріалу лекції 3,4.

На початку заняття викладач доводить мету та порядок проведення заняття.

У ході заняття викладач ставить питання аудиторії, по черзі виклікае студентів до дошки для відповіді; у разі утруднення чи неправильної відповіді звертається до аудиторії. Після закінчення відповіді робить короткий розбір та оцінює студента.

Питання для обговорення:

1. Призначення підсилювача
2. Які бують підсилювачі за схемою включення активного елемента?
3. Який параметр підсилювача залежить від величини опору в колі колектора?
4. Від чого залежить становище робочої точки на вхідній характеристиці транзистора?

5. Навіщо потрібні розділові конденсатори?
6. Що входить та як працює кіла термостабілізації?
7. Навіщо в кіле термостабілізації конденсатор?
8. Як змінюється фаза сигналу, що посилюється в каскаду з ОЕ?
9. Як змінюється фаза сигналу, що посилюється в каскаду з ОК?
10. Які три області виділяють на вихідних характеристик транзистора каскаду з ОЕ?
11. Дати характеристику лінійної області.
12. Дати характеристику області відсічення.
13. Дати характеристику областиі насичення

Наприкінці заняття викладач робить виводи за переглянутим матеріалом, підбиває підсумки, оголошує оцінки.

Методична розробка для заняття 4.

Тема:. **АЧХ резонансних та богатокаскадних підсилювачів**
Мета: Закріпити знання матеріалу лекції 5,6.
На початку заняття викладач доводить мету та порядок проведення заняття.

У ході заняття викладач ставить питання аудиторії, по черзі виклікае студентів до дошки для відповіді; у разі утруднення чи неправильної відповіді звертається до аудиторії. Після закінчення відповіді робить короткий розбір та оцінює студента.
Питання для обговорення:

1. Що таке амплітудно-частотна характеристика підсилювача?
2. Як визначається результуючий коефіцієнт посилення багатокаскадного підсилювача?
3. Який вид має АЧХ реонансного підсилювача?
4. Як залежить вид АЧХ від добротності підсилювача контуру?
5. Як визначається смуга пропускання каскаду?
6. Що показує смуга пропускання каскаду?
7. Імпульс якої полярності треба подавати на вхід підсилювача зібраного на транзисторі п-р-п типу провідності?

Наприкінці заняття викладач робить виводи за переглянутим матеріалом, підбиває підсумки, оголошує оцінки.

Методична розробка для заняття 5.

Тема:. **Види операційних підсилювачів**
Мета: Закріпити знання матеріалу лекції 9.
На початку заняття викладач доводить мету та порядок проведення заняття.

У ході заняття викладач ставить питання аудиторії, по черзі виклікае студентів до дошки для відповіді; у разі утруднення чи неправильної відповіді звертається до аудиторії. Після закінчення відповіді робить короткий розбір та оцінює студента.
Питання для обговорення:

1. Дати визначення операційному підсилювачу.
2. З урахуванням підсилювача якого типу будуються операційні підсилювачі?
3. Яким вимогам має задовольняти ідеальний ОУ?
4. Які входи має ОУ ОУ?
5. Що означає інвертуючий вхід?
6. Як підсилювач постійного струму перетворити на ОУ?
7. Які типи ОУ Вам відомі?
8. Які елементи стоять на вході та в колі зворотного зв'язку масштабуючого ОУ?
9. Які елементи стоять на вході та в колі зворотного зв'язку підсумовує ОУ?
10. Які елементи стоять на вході та в колі зворотного зв'язку інтегруючого ОУ?
11. Які елементи стоять на вході та в колі зворотного зв'язку диференціюючого ОУ?
12. Які елементи стоять на вході та в колі зворотного зв'язку логарифмує ОУ?

Наприкінці заняття викладач робить виводи за переглянутим матеріалом, підбиває підсумки, оголошує оцінки.

Методична розробка для заняття 6.

Тема:. **Генератори синусоїдальних коливань**
Мета: Закріпити знання матеріалу лекції 11,12
На початку заняття викладач доводить мету та порядок проведення заняття.

У ході заняття викладач ставить питання аудиторії, по черзі виклікае студентів до дошки для відповіді; у разі утруднення чи неправильної відповіді звертається до аудиторії. Після закінчення відповіді робить короткий розбір та оцінює студента.
Питання для обговорення:

1. Умови виникнення незагасаючих коливань.
2. Пояснити фізичний сенс балансу амплітуд .
3. Пояснити фізичний сенс балансу фаз.
4. Яка роль коливального котуру в LC-генераторі?
5. Яка роль RC моста Вина в генераторі?

6. Який вид зворотного зв'язку необхідний роботи генератора?
7. Які елементи LC-генератора впливають на частоту коливань, що формуються?
8. Які елементи RC- генератора впливають на частоту коливань, що формуються?

Наприкінці заняття викладач робить виводи за переглянутим матеріалом, підбиває підсумки, оголошує оцінки.

Методична розробка для заняття 7.

Тема:. Генератори послідовностей імпульсів

Мета: Закріпити знання матеріалу лекції 13.

На початку заняття викладач доводить мету та порядок проведення заняття.

У ході заняття викладач ставить питання аудиторії, по черзі виклікае студентів до дошки для відповіді; у разі утруднення чи неправильної відповіді звертається до аудиторії. Після закінчення відповіді робить короткий розбір та оцінює студента.

Питання для обговорення:

1. 1. Умови виникнення незагасаючих последовностей імпульсив.
2. Пояснити фізичний сенс балансу амплітуд .
3. Пояснити фізичний сенс балансу фаз.
4. Який вид зворотного зв'язку необхідний роботи генератора?
5. Які параметри має імпульсна послідовність?
6. Які параметри має прямокутний імпульс?
7. Які параметри має імпульсна послідовність типу "меандр»?
8. Якими елементами визначається тривалість імпульсів, що формуються?
9. Якими елементами визначається період прямування імпульсів, що формуються?

Наприкінці заняття викладач робить виводи за переглянутим матеріалом, підбиває підсумки, оголошує оцінки.

Методична розробка для заняття 8.

Тема:. Електричні кола з розподіленими параметрами, погони параметри.

Мета: Закріпити знання матеріалу лекції 15.

На початку заняття викладач доводить мету та порядок проведення заняття.

У ході заняття викладач ставить питання аудиторії, по черзі виклікае студентів до дошки для відповіді; у разі утруднення чи неправильної

відповіді звертається до аудиторії. Після закінчення відповіді робить короткий розбір та оцінює студента.
Питання для обговорення:

1. Умови виникнення довгої лінії?
2. Які бивають ДЛ?
3. Що таке погони параметри?
4. Які параметри ДЛ називаються первинними?
5. Які параметри ДЛ називаються вторинними?
6. Дати визначення характеристичного (хвильового) опору ДЛ.
7. Пояснити поняття узгодженого навантаження ДЛ.

Наприкінці заняття викладач робить виводи за переглянутим матеріалом, підбиває підсумки, оголошує оцінки.

Методична розробка для заняття 9.

Тема:. Рижими роботи довгих ліній.
Мета: Закріпити знання матеріалу лекції 16,17.
На початку заняття викладач доводить мету та порядок проведення заняття.
У ході заняття викладач ставить питання аудиторії, по черзі виклікае студентів до дошки для відповіді; у разі утруднення чи неправильної відповіді звертається до аудиторії. Після закінчення відповіді робить короткий розбір та оцінює студента.
Питання для обговорення:

1. Що таке хвиля струму (напруги) у ДЛ?
2. Яка хвиля називається "падаюча хвиля"?
3. Яка хвиля називається "відбита хвиля"?
4. Від чого залежить швидкість поширення хвилі у ДЛ?
5. Пояснити режим роботи ДЛ "біжуча хвиля"?
6. Які умови сприяють виникненню режиму ДЛ "біжуча хвиля" в ДЛ?
7. Пояснити режим роботи ДЛ "стояча хвиля"?
8. Які умови сприяють виникненню режиму ДЛ "стояча хвиля" в ДЛ?
9. Пояснити режим роботи ДЛ "змішана хвиля" у ДЛ?

Наприкінці заняття викладач робить виводи за переглянутим матеріалом, підбиває підсумки, оголошує оцінки.

Методична розробка для заняття 10.

Тема:. Елементи техніки надзвичайних частот.
Мета: Закріпити знання матеріалу лекції 19.

На початку заняття викладач доводить мету та порядок проведення заняття.

У ході заняття викладач ставить питання аудиторії, по черзі виклікае студентів до дошки для відповіді; у разі утруднення чи неправильної відповіді звертається до аудиторії. Після закінчення відповіді робить короткий розбір та оцінює студента.

Питання для обговорення:

1. Що таке коаксіальний кабель і навіщо він застосовується?
2. Що таке коаксіальний кабель і навіщо він застосовується?
3. Що таке хвильвод і навіщо він застосовується?
4. Що таке хвилеводний мост і навіщо він застосовується?
5. Що таке металевий ізолятор і навіщо він застосовується?
6. Що таке шлейф і навіщо він застосовується?

Наприкінці заняття викладач робить виводи за переглянутим матеріалом, підбиває підсумки, оголошує оцінки.

Методична розробка для заняття 11.

Тема: Основні логічні елементи.

Мета: Закріпити знання матеріалу лекції 20.

На початку заняття викладач доводить мету та порядок проведення заняття.

У ході заняття викладач ставить питання аудиторії, по черзі виклікае студентів до дошки для відповіді; у разі утруднення чи неправильної відповіді звертається до аудиторії. Після закінчення відповіді робить короткий розбір та оцінює студента.

Питання для обговорення:

1. Елемент "НІ", привести УГО, таблицю істинності та пояснити сферу застосування.
2. Елемент "І", привести УГО, таблицю істинності та пояснити сферу застосування.
3. Елемент "АБО", привести УГО, таблицю істинності та пояснити сферу застосування.
4. Елемент "функція Шиффера", привести УГО, таблицю істинності та пояснити сферу застосування.
5. Елемент "функція Пирса", привести УГО, таблицю істинності та пояснити сферу застосування.

Наприкінці заняття викладач робить виводи за переглянутим матеріалом, підбиває підсумки, оголошує оцінки.

Методична розробка для заняття 12.

Тема: Види тригерів.

Мета: Закріпити знання матеріалу лекції 21.

На початку заняття викладач доводить мету та порядок проведення заняття.

У ході заняття викладач ставить питання аудиторії, по черзі виклікае студентів до дошки для відповіді; у разі утруднення чи неправильної відповіді звертається до аудиторії. Після закінчення відповіді робить короткий розбір та оцінює студента.

Питання для обговорення:

1. Призначення, принцип роботи, УГО та таблиця станів триггера типу "RS".
2. Призначення, принцип роботи, УГО та таблиця станів триггера типу "D".
3. Призначення, принцип роботи, УГО та таблиця станів триггера типу "T".
4. Призначення, принцип роботи, УГО та таблиця станів триггера типу "JK".

Наприкінці заняття викладач робить виводи за переглянутим матеріалом, підбиває підсумки, оголошує оцінки.

Методична розробка для заняття 13.

Тема: Пристрої на логічних елементах.

Мета: Закріпити знання матеріалу лекції 22.

На початку заняття викладач доводить мету та порядок проведення заняття.

У ході заняття викладач ставить питання аудиторії, по черзі виклікае студентів до дошки для відповіді; у разі утруднення чи неправильної відповіді звертається до аудиторії. Після закінчення відповіді робить короткий розбір та оцінює студента.

Питання для обговорення:

1. Види логіки мікросхем.
2. Базові елементи логіки ДТЛ.
3. Базові елементи логіки РТЛ,
4. Базові елементи логіки ТТЛ.
5. Базові елементи логіки МДП.
6. Базові елементи логіки I^2L.
7. Навести схеми з'єднань елементів

Наприкінці заняття викладач робить виводи за переглянутим матеріалом, підбиває підсумки, оголошує оцінки.

Методична розробка для заняття 14.

Тема: Робота цифро-аналогових перетворювачів

Мета: Закріпити знання матеріалу лекції 23.

На початку заняття викладач доводить мету та порядок проведення заняття.

У ході заняття викладач ставить питання аудиторії, по черзі виклікае студентів до дошки для відповіді; у разі утруднення чи неправильної відповіді звертається до аудиторії. Після закінчення відповіді робить короткий розбір та оцінює студента.

Питання для обговорення:

1. Призначення цифро-аналогового перетворювача.
2. Види ЦАП.
3. Принцип роботи послідовного ЦАП.
4. Принцип роботи паралельного ЦАП

Наприкінці заняття викладач робить виводи за переглянутим матеріалом, підбиває підсумки, оголошує оцінки.

Методична розробка для заняття 15.

Тема: Робота аналого-цифрових перетворювачів

Мета: Закріпити знання матеріалу лекції 23.

На початку заняття викладач доводить мету та порядок проведення заняття.

У ході заняття викладач ставить питання аудиторії, по черзі виклікае студентів до дошки для відповіді; у разі утруднення чи неправильної відповіді звертається до аудиторії. Після закінчення відповіді робить короткий розбір та оцінює студента.

Питання для обговорення:

1. Призначення аналого-цифрового перетворювача.
2. Види АЦП.
3. Призначення УВХ.
4. Принцип роботи послідовного АЦП.
5. Принцип роботи паралельного АЦП

Наприкінці заняття викладач робить виводи за переглянутим матеріалом, підбиває підсумки, оголошує оцінки.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ОДЕСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ОДЕСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Схемотехніка РТС та телекомунікаційного обладнання

Галузь знань:	**17 – «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»**
Спеціальність:	**172 – «Телекомунікації та радіотехніка»**
Освітньо -професійна програма:	**«Телекомунікації та радіотехніка. Робототехніка»**

Одеса 2024

Укладачі: Лавріненко Юліан Володимирович, викладач, спеціаліст вищої категорії, к.т.н

_____

_____

_____

(вказати авторів, їхні посади, звання, категорії)

Програма обговорена та схвалена на засіданні циклової комісії «Прикладна механіка, телекомунікації та робототехніка»

Протокол № 1 від "30" 08 2024 року

Голова циклової комісії _____ Олександр ТИМОШЕВСЬКИЙ
(підпис)

Лабораторна робота №1

Тема: Дослідження роботи операційного підсилювача

Мета: 1. Дослідження амплітудних і частотних властивостей операційного підсилювача.

2. Вивчення впливу негативного зворотного зв'язку на характеристики операційного підсилювача Вимірювання напруги зміщення ОП.

Прилади й елементи:

Вольтметр
Амперметр
Осцилограф
Функціональний генератор
Операційний підсилювач LM124
Резистори

Теоретичні відомості

1**. Операційні підсилювачі**

Підсилювачі постійного струму (ППС) є основою для конструювання операційних підсилювачів (ОП). Сучасні операційні підсилювачі є багатоцільовими елементами, виконаними у вигляді напівпровідникових інтегральних мікросхем. Вони широко застосовуються при конструюванні різних підсилювальних пристроїв, пристроїв збудження сигналів синусоїдної та імпульсної форм (генераторів сигналів), фільтрів і так далі.

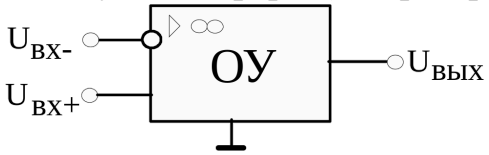


Рисунок 1.

Умовне позначення ОП показане на *рис.8.1*. Символ ▷ означає посилення, а символ ∞ - великий вхідний опір. Один з входів підсилювача Uвх+ є неінвертуючим, інший Uвх- - інвертуючим (аналогічно до диференціальних підсилювачів). Принципові електричні схеми ОП, як правило, містять декілька каскадів ППС. При цьому вхідний каскад завжди виконується за диференціальною схемою, а вихідний каскад за схемою емітерного повторювача.

Сучасні інтегральні ОП володіють високим значенням коефіцієнта підсилення (К=104÷107), вхідного опору (Rвх=104÷109 Ом), можуть працювати від двополярних джерел живлення і перетворювати електричні сигнали в широкому діапазоні частот (від 0 до 107 Гц).

Амплітудна і амплітудно-частотна характеристики такого підсилювача аналогічні до відповідних характеристик ППС.

2. Зворотні зв'язки в операційних підсилювачах

Конструювання різних електронних пристроїв на основі ОП виробляється з використанням зворотних зв'язків. Зворотним зв'язком називається передача частини енергії вихідного сигналу підсилювача на його вхід *(рис..2)*.

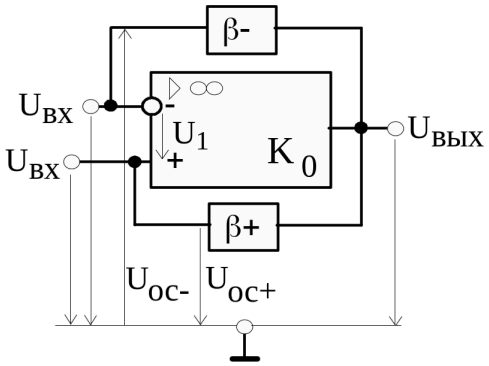


Рисунок 2.

З вихідного ланцюга у вхідний енергія передається через електричний ланцюг зворотного зв'язку з коефіцієнтом передачі $\beta = \frac{U_{ос}}{U_{вых}}$.

K_0 - коефіцієнт посилення підсилювача без зворотного зв'язку (у області середніх частот, де дією реактивних елементів ОП і зворотного зв'язку можна нехтувати).

Зворотний зв'язок називається позитивним, якщо передаваний нею з виходу на вхід сигнал Uос = β · Uвих співпадає за фазою (складається) з вхідним сигналом Uвх = U1+β · Uвих (на *рис.8.2* позитивний зворотний зв'язок позначений β_+). Коефіцієнт підсилення підсилювача $K_{\beta+}$ з позитивним зворотним зв'язком визначається виразом $K_{\beta+} = \frac{K_0}{1 - K_0 \cdot \beta +}$.

Зворотний зв'язок називається негативним якщо сигнал зворотного зв'язку Uос знаходиться в протифазі (віднімається) з вхідним сигналом Uвх = U1-β · Uвих (на *рис.8.2* негативний зворотний зв'язок позначений β_-).

Коефіцієнт підсилення підсилювача $K_{\beta+}$ при негативному зворотному зв'язку буде $K_{\beta-} = \frac{K_0}{1 + K_0 \cdot \beta -}$.

Застосування негативного зворотного зв'язку (НЗЗ) в підсилювачах істотно покращує їх параметри:

- підвищує стабільність коефіцієнта підсилення;
- збільшує вхідний опір;
- зменшує вихідний опір;
- розширює смугу пропускання.

Тому НЗЗ широко застосовується в підсилювальних пристроях.

Позитивний зворотний зв'язок (ПЗЗ) впливає на параметри підсилювачів протилежним чином.

Підвищуючи нестабільність коефіцієнта підсилення, він приводить підсилювач до самозбудження, тобто переходу його в режим генератора.

Тому ПЗЗ **використовується в генераторах гармонійних коливань та імпульсів**

3. Операційний підсилювач з нзз

Операційний підсилювач з негативним зворотним зв'язком найчастіше застосовується на практиці *(рис.3)*.

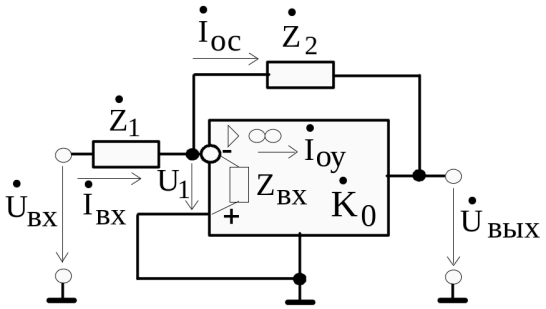


Рисунок 3.

Негативний характер зворотного зв'язку обумовлений подачею напруги $\dot{U}_1$ на інвертуючий вхід ОП так, що $\dot{U}_{вых} = -\dot{K}_0\dot{U}_1$. Негативний зворотний зв'язок здійснюється через опори $\dot{Z}_1$ і $\dot{Z}_2$. Оскільки вхідний опір ОП великий (приймаємо $\dot{Z}_{вх} = \infty$), то вхідний струм ОП $\dot{I}_{оу} = 0$, і тоді: $\dot{I}_{вх} = \dot{I}_{оу}$, звідки

$$\frac{\dot{U}_{вх} - \dot{U}_1}{\dot{Z}_1} = -\frac{\dot{U}_{вых} - \dot{U}_1}{\dot{Z}_2}$$

.

При великому коефіцієнті підсилення ОП ($\dot{K} \to \infty$) напруга на вході буде

$\dot{U}_1 = \frac{\dot{U}_{вых}}{\dot{K}_0} \to 0$, і тому: $\frac{\dot{U}_{вх}}{\dot{Z}_1} = -\frac{\dot{U}_{вых}}{\dot{Z}_2}$, звідки: $\dot{K}_{\beta-} = -\frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1}$.

3.1. Масштабуючий підсилювач

При $\dot{Z}_1 = R_1$ і $\dot{Z}_2 = R_2$ вираз для коефіцієнта посилення прийме вигляд

$$\dot{K}_{\beta-} = -\frac{R_2}{R_1}$$

,

а підсилювач виконує роль масштабуючого інвертуючого підсилювача у якого $U_{вих} = -U_{вх}K_{\beta-}$

Схема підсилювача в цьому випадку представлена на *рис. 8.4*.

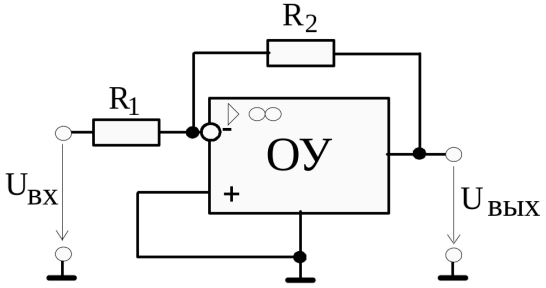


Рисунок.4.

4. Операційний підсилювач з пзз

Генератори гармонійних сигналів призначені для перетворення енергії джерела живлення в енергію електричного сигналу синусоїдної форми необхідної частоти і потужності.

На практиці, часто, такий генератор є ОП охоплений глибоким позитивним зворотним зв'язком з коефіцієнтом передачі β_+ (див. *рис.8.8*). Для отримання стійкого режиму автогенерації, поліпшення форми коливань і стабілізації

амплітуди коливань, що генеруються, часто вводиться негативний зворотний зв'язок (β_-).

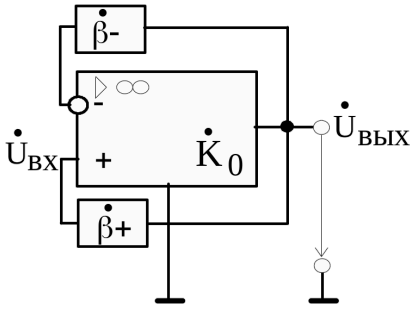


Рисунок 5.

Для цієї схеми вхідна і вихідна напруги зв'язані співвідношеннями:

$\dot{U}_{вх} = \dot{\beta}_+ \cdot \dot{U}_{вых}$, $\dot{U}_{вых} = \dot{K}_0 \cdot \dot{U}_{вх}$.

Перемножуючи одне на інше, одержуємо формулу $\dot{U}_{вых} = \dot{K}_0 \cdot \dot{\beta}_+ \cdot \dot{U}_{вх}$, яка справедлива при $\dot{K}_0 \cdot \dot{\beta}_+ = 1$. Виконання останньої умови забезпечує в автогенераторі незгасаючі коливання. Величини $\dot{K}_0$ і $\dot{\beta}_+$ у рівнянні є комплексними величинами, тому можна записати $\dot{K}_0 \cdot e^{j\varphi} \cdot \dot{\beta}_+ \cdot e^{j\psi} = 1$, останнє виконується при: $\varphi + \psi = 0$ - умова балансу фаз автогенератора,

$\dot{K}_0 \cdot \dot{\beta}_+ = 1$ - умова балансу амплітуд.

Умова балансу фаз означає, що в схемі існує позитивний зворотний зв'язок. Умова балансу амплітуд відповідає тому, що енергія, що втрачається в генераторі за одне коливання заповнюється енергією від джерела живлення. Виконання умов балансу фаз і амплітуд забезпечує виникнення сигналів генератора складної форми, що складаються з великого числа гармонійних складових.

Для виникнення сигналу генератора потрібної частоти забезпечують виконання умов балансу фаз і амплітуд, тільки для частоти f_0 , шляхом включення частотно-залежних схем, наприклад, моста Віна.

Приклад виконання автогенератора гармонійних коливань з мостом Вина приведений на *рис.8.9*.

Негативний незалежний зворотний зв'язок створюється резисторами R_2 і R_1.

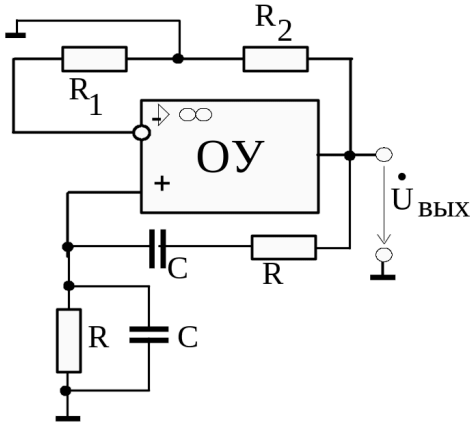


Рисунок 6.

Оскільки в ланцюзі позитивного зворотного зв'язку ввімкнено міст Віна, то умови самозбудження генератора виконуються тільки для однієї резонансної частоти (на інших частотах $К_0$ малий). Отже, виникаючі коливання матимуть гармонійну форму.

Хід роботи

1. Операційний підсилювач з від'ємним зворотним зв'язком ($К_{ЗЗ}$=25 і $К_{ЗЗ}$=50).

Схема проведення досліду зображена на *рис.7.*.

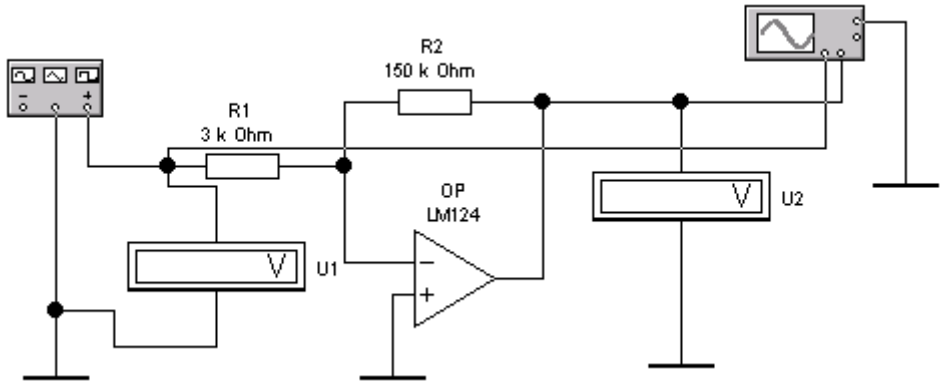


Рисунок 7.

а) Зніміть амплітудну характеристику підсилювача Um.вх = f(Um.вих), при f=1кГц і Uвх = 10÷1000мВ. (*Див. методику зняття амплітудних характеристик*).

б) Скопіюйте осцилограми вхідних і вихідних напруг на лінійній і нелінійній ділянках амплітудної характеристики підсилювача.

в) Зніміть амплітудно-частотну характеристику підсилювача $К_П$ = F(f) при uвх=100мВ і f=0÷20кГц. (*Див. методику зняття амплітудно-частотних характеристик*).

г) Побудуйте амплітудну характеристику підсилювача.

д) Побудуйте амплітудно-частотну характеристику підсилювача.

Контрольні питання

1. Наведіть структурну схему ОП.
2. .Яке призначення елементів схеми?
3. Опишіть принцип роботи схеми.
4. Яка роль позитивного зворотного зв'язку в ОП.
5. Яка роль негативною.зворотного зв'язку в ОП.
6. Які елементи стоять у колі зворотного зв'язку підсилювача, що масштабує?
7. Які фактори впливають на вигляд амплітудно-частотної характеристики ОП?

Лабораторна робота №2

Тема: Дослідження роботи генератори синусоїдальних коливань.

Навчальна мета: Закріплення й експериментальне підтвердження теоретичного матеріалу по генераторах синусоїдальних (гармонійних) коливань.

1. Завдання для домашньої підготовки

1. Записати визначення, класифікацію й умови самозбудження генераторів.
2. Замалювати схему ємнісної трьохкрапки LC – генератора на біполярному транзисторі. Описати призначення елементів схеми і роботу генератора.
3. Визначити частоту генеруючої напруги по формулі f = 1/2π $\sqrt{LkCk}$ Варіанти Lк і Cк приведені в таблиці 1.
4. Привести схеми і характеристики триланкового RC - ланцюга і моста Віна.
5. Замалювати схему RC – генератора з мостом Віна на операційному підсилювачі. Описати призначення елементів схеми і роботу генератора.
6. Визначити частоту генеруємої напруги по формулі f = 1/2πRC.

2. Порядок виконання роботи на комп'ютері
    1. Набрати схему LC – генератора (Рис.1).
    2. Установити задані в таблиці і зазначені на схемі параметри елементів.
    3. Уключити схему. Для прискорення появи коливань генератора перемикачем [1] короткочасно замкнути конденсатор C.
    4. За допомогою візирних ліній осцилографа визначити амплітуду і тривалість періоду синусоїдального коливання. Обчислити частоту коливань f=1/T.
    5. Набрати схему RC – генератора з мостом Віна на операційному підсилювачі.
    6. Установити задані в таблиці і зазначені на схемі параметри елементів.
    7. Лінію, що з'єднує вхід B осцилографа, установити кольоровою.
    8. За допомогою візирних ліній осцилографа визначити амплітуди напруг на виході генератора Uвих. і моста Віна $Uвих_{ос}$ і тривалість періоду синусоїдального коливання. Обчислити частоту коливань і коефіцієнт передачі моста провина β = $Uвих_{ос}$/ Uвих.

3 Зміст звіту

3.1 Найменування роботи.
3.2 Відповіді на питання для домашньої підготовки.
3.3 Схеми генераторів.
3.4 Схеми експериментальних досліджень.
3.5 Результати експериментальних досліджень.
3.6 Аналіз теоретичних і експериментальних результатів.

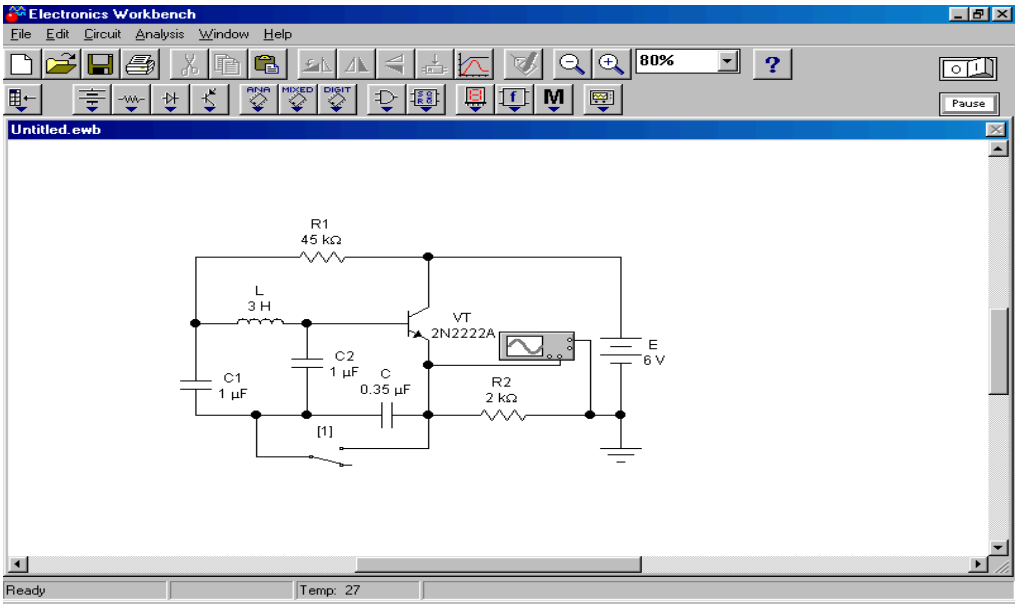


Рис.1 Схема дослідження LC – генератора на біполярному транзисторі

Контрольні питання

1. Дайте визначення.генераторам гармонійних коливань.
2. Наведіть класифікація генераторів за частотою.
3. Наведіть класифікація генераторів за способом збудження.
4. Наведіть структурну схему генератора.
5. Яка умова для режиму генерації?
6. Що таке баланс фаз?
7. Що таке баланс амплітуд?
8. Дайте визначення LC-генераторам.
9. Які особливості LC-генераторів?
10. Чому дорівнює частота коливань, що генеруються?
11. Наведіть схему генератора із трансформаторним ЗЗ.
12. Яке призначення елементів схеми?
13. Опишіть принцип роботи схеми.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Тема. Дослідження автоколивальних та ждучих мультивібраторів на біполярних транзисторах.

Мета роботи: вивчення принципів, методів розрахунку і особливостей настроювання автоколивальних та ждучих мультивібраторів, набуття навичок реалізації їх на дискретних елементах, навичок конструювання та дослідження їх в реальних умовах.

Теоретичні відомості

Ждучі мультивібратори, котрі також називають одновібраторами - це пристрої, здатні почергово знаходитися в двох станах: довготривалому стійкому стані і короткочасному /квазистійкому/ стані. Для переведення з стійкого стану в квазистійкий на вхід схеми треба подати зовнішній запускаючий імпульс, після якого вона формує одне перемикання, а потім самостійно повертається в початковий стан, гальмується.

Якщо використовувати тільки момент закінчення квазистійкого стану, який може мати регульовану довжину, то довжина вихідного імпульсу

визначить затримку вихідного сигналу по відношенню до фронту вхідного імпульсу і одновібратор працюватиме як схема регульованої затримки сигналу.

Одновібратори широко використовуються в пристроях автоматики та системах управління різноманітних модифікацій. Вони можуть бути реалізовані на дискретних елементах, логічних мікросхемах або операційних підсилювачах. Схеми на дискретних елементах використовуються в нестандартній апаратурі систем автоматичного регулювання і контролю процесів виробництва, в перетворювальній техніці, ядерній фізиці, де необхідні підвищені значення напруги та струму. В якості активних елементів в таких системах частіше всього використовуються біполярні транзистори, але також можуть використовуватись і польові та однопереходні транзистори, діодні та тріодні тиристори.

Схеми на логічних елементах найбільш широко використовуються в різного роду цифровій апаратурі в силу своєї простоти, універсальності живлення (як правило, джерело +5В використовується для живлення всього пристрою) та зручності роботи з іншими інтегральними елементами. В деяких серіях логічних елементів одновібратори є у вигляді спеціальних мікросхем - наприклад, К1533АГ1. Схеми на операційних підсилювачах в основному використовуються в аналого-цифрових пристроях. Вони більш стабільні в роботі, але складніші за схемою, вимагають двох різнополярних джерел живлення, та мають на виході двохполярний сигнал.

Одновібратори на біполярних транзисторах. Найбільш відомі дві основні схеми одновібраторів цього типу: з колекторно-базовими зв’язками, та з емітерним зв’язком (рис.1,а, б).

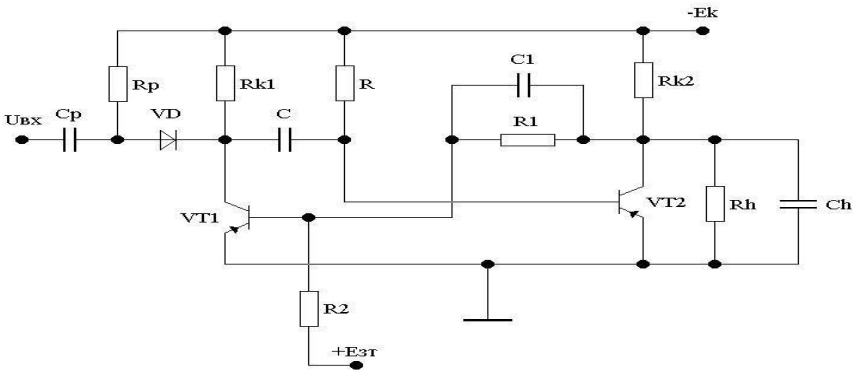


Рисунок 1(а) – Одновібратор з колекторно-базовими зв’язками

Рисунок 1(б) – Одновібратор з емітерним зв’язко

В схемі рис..1,а транзистор VT1 в початковому стані закритий позитивною напругою +Езт а транзистор VT1 відкритий і насичений струмом бази з резистора R. При дії короткого вхідного позитивного імпульсу в колектор транзистора VT1 (рис.1,а) в схемі відбувається регенеративний процес, в результаті якого транзистор VT2 закривається, а транзистор VT1 відкривається. Такий стан схеми квазистійкий і визначається часом перезаряду конденсатора С через відкритий VT1 сталою часу т=RC.

Недоліком схеми одновібратора з колекторно-базовими зв'язками є вплив опору навантаження на процеси перемикання схеми і велика тривалість фронту колекторної напруги U_{k2} при закриванні транзистора VT2, яка визначається зарядом конденсатора С1. Ці недоліки відсутні в схемі ждучого мультивібратора з емітерним зв'язком.
Ждучий мультивібратор з емітерним зв'язком. Робота схеми в стійкому та квазистійкому стані забезпечується різними значеннями напруги емітера U_e, яка визначається емітерним струмом транзистора VT1 або VT2. Емітерний струм VT1 менший за струм емітера VT2 внаслідок різних опорів R_{k1} і R_{k2}.
Схеми на дискретних елементах широко використовують в цифровій апаратурі широкого призначення в складі стандартних комплексів інтегральних елементів.
МВ на ОП в більшості своїй знаходять призначення в вимірювальній апаратурі, спеціальних пристроях.
М ультивібратори на біполярних транзисторах.
Типова схема симетричного автоколивального мультивібратора цього виду приведена на рис..2.

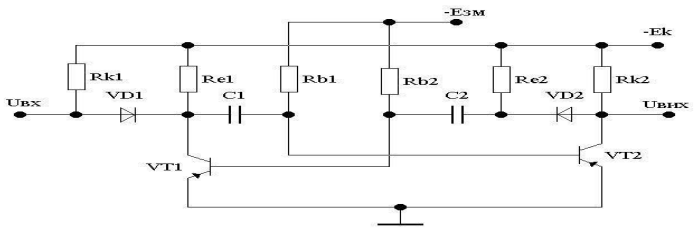


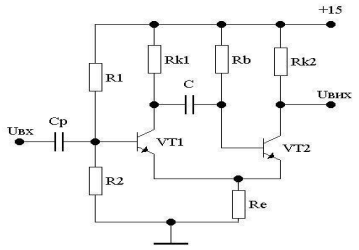
Рисунок 2 – Схема симетричного мультивібратора

Як і в схемі 0В з колекторно-базовими зв'язками, тривалість квазистійкого стану визначається часом перезаряду конденсатора, увімкненого через відкритий транзистор до входу закритого, від напруги Ек до нульової напруги. Цей момент визначає лавиноподібний перехід МВ у новий квазистійкий стан, коли відкритий та закритий транзистори міняють свої стани на протилежні і вступає в дію другий часозадаючий ланцюг, визначаючий тривалість другого квазистійкого

стану. За цей час конденсатор першого часозадаючого ланцюга відновлює свій заряд.

Порядок виконання роботи

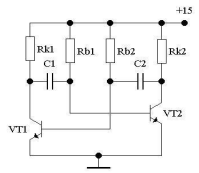
1. Запустіть Electronics Workbench.
2. Підготуйте новий файл для роботи. Для цього необхідно виконати такі операції з меню: File/New і File/Save as. При виконанні операції Save as буде необхідно вказати ім'я файлу і каталог, у якому буде зберігатися схема.



3 . Зібрати схему ждучого мультивібратора, приведеного на рис.12.3, де Rk1=30кОм, Rk2=2,4кОм, R1=24к0м, R2=5,6кОм, Re=820Ом, Rb=56к0м, Ср=30пФ; С=15 нФ.

Рисунок 3 – Схема ждучого мультивібратора

4. Зібрати схему, приведену на рис.12.4. Rk1=Rk2=Rk=2.4кОм, Rb1=Rb1=Rb=30к0м, C1=C2=C=6,8пФ.



Р исунок 4 – Схема симетричного мультивібратора

5. Коли схема зібрана і готова до запуску, натисніть кнопку вмикання живлення на панелі інструментів. У випадку серйозної помилки в схемі (замикання елементу живлення накоротко, відсутність нульового потенціалу в схемі) буде видано попередження.
6. Зробіть аналіз схеми, використовуючи інструменти індикації. Виклик термінала здійснюється подвійним натисканням клавіші миші на елементі. У випадку потреби можна скористатися кнопкою Pause.
7. При необхідності зробіть доступні аналізи в розділі меню Analysis.
8. Занесіть пояснення щодо створення схем у звіт.
9. Зробіть висновки.

Контрольні запитання

1. З яких виходів ОВ на дискретних елементах краще знімати напругу?
2. Які засоби зміни тривалості вихідних імпульсів можна застосувати в схемах ОВ?
3. Яку роль грає вхідний подільник у схемі ОВ з емітерним зв’язком?
4. Поясніть фізичні принципи зміни частоти та шпаруватості генерованих імпульсів всіх розглянутих схем МВ.
5. Показати ланцюги заряду та розряду хронувальних конденсаторів в схемі автоколивального МВ.

6. Зрівняти характеристики схем ОВ с колекторно-базовими і емітерними зв’язками.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

1. Метою роботи є:

- теоретичне вивчення логічних елементів, що реалізують елементарні функції логіки алгебри (ФАЛ);

- Експериментальне дослідження логічних елементів, побудованих на вітчизняних мікросхемах серії К155.

2. Основні теоретичні становища.

2.1. Математичною основою цифрової електроніки та обчислювальної техніки є логіка алгебри або булева алгебра (на ім'я англійського математика Джона Буля). У булевій алгебрі незалежні змінні або аргументи (X) приймають лише два значення: 0 або 1. Залежні змінні або функції (Y) також можуть приймати лише одне з двох значень: 0 або 1. Функція логіки алгебри (ФАЛ) подається у вигляді

$$Y = F (X1; X2; X3; ...; XN).$$

Данная форма задания ФАЛ называется алгебраической.

2.2. Основными логическими функциями являются:

- логическое отрицание (инверсия)

$$Y = \overline{X};$$

- логическое сложение (дизьюнкция)

$$Y = X1 + X2 \text{ или } Y = X1 \vee X2 ;$$

- логическое умножение (коньюнкция)

$$Y = X1 \cdot X2 \text{ или } Y = X1 \wedge X2 .$$

К более сложным функциям алгебры логики относятся:

- функция равнозначности (эквивалентности)

$$Y = X1 \cdot X2 + \overline{X}_1 \bullet \overline{X}_2 \text{ или } Y = X1 \sim X2 ;$$

- функция неравнозначности (сложение по модулю два)

$$Y = X1 \cdot \overline{X}_2 + \overline{X}_1 \cdot X2 \text{ или } Y = X1 \oplus X2 ;$$

- функция Пирса (логическое сложение с отрицанием)

$$Y = \overline{X_1 + X_2} ;$$

- функция Шеффера (логическое умножение с отрицанием)

$$Y = \overline{X_1 \bullet X_2} ;$$

2.3Для булевої алгебри справедливі такі закони та правила:

- розподільчий закон

$$X1 (X2 + X3) = X1 \cdot X2 + X1 \cdot X3 ,$$

$$X1 + X2 \cdot X3 = (X1 + X2) (X1 + X3) ;$$

- правило повторения

$$X \cdot X = X , \quad X + X = X ;$$

- правило отрицания

$$X \cdot \overline{X} = 0 , \quad X + \overline{X} = 1 ;$$

- теорема де Моргана

$$\overline{X_1 + X_2} = \overline{X}_1 \bullet \overline{X}_2 , \quad \overline{X_1 \bullet X_2} = \overline{X}_1 + \overline{X}_2 ;$$

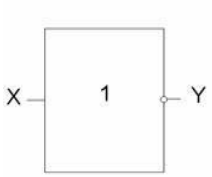
- тождества

$$X \cdot 1 = X , \; X + 0 = X , \; X \cdot 0 = 0 , \; X + 1 = 1.$$

2.4. Схеми, що реалізують логічні функції, називаються логічними елементами. Основні логічні елементи мають, як правило, один вихід (Y) і кілька входів, число яких дорівнює числу аргументів (X1; X2; X3 ... XN). На електричних схемах логічні елементи позначаються як прямокутників з висновками для вхідних (ліворуч) і вихідних (праворуч) змінних. Усередині прямокутника зображується символ, що вказує на функціональне

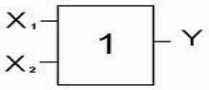
призначення елемента. На рис.1 10 представлені логічні елементи, що реалізують розглянуті в п.2.2. функції. Там же представлені так звані таблиці станів або таблиці істинності, що описують відповідні логічні функції у двійковому коді у вигляді станів вхідних та вихідних змінних. Таблиця істинності також табличний спосіб завдання ФАЛ.

На рис.1 представлений елемент "НЕ", що реалізує функцію логічного



X	Y
0	1
1	0

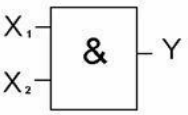
заперечення Y = .



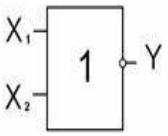
X_1	X_2	Y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

Рис. 1 Рис.2

Елемент “АБО” (рис.2) та елемент “І” (рис.3) реалізують функції логічного складання та логічного множення відповідно



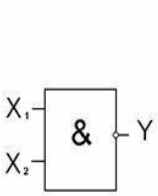
X_1	X_2	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



X_1	X_2	Y
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

Рис. 3 Рис.4

Функции Пирса и функции Шеффера реализуются с помощью элементов “ИЛИ-НЕ” и “И-НЕ”, представленных на рис.4 и рис. 5 соответственно.



X_1	X_2	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Рис. 5

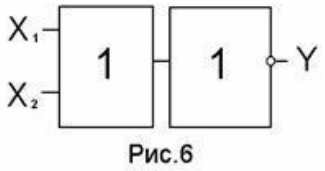


Рис.6

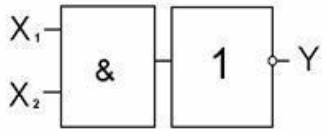
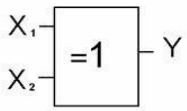


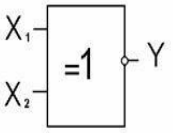
Рис. 7

Елемент Пірса можна як послідовного з'єднання елемента “АБО” і елемента “НЕ” (рис.6), а елемент Шеффера - як послідовного з'єднання елемента “І” і елемента “НЕ” (рис.7). На рис.8 і рис.9 представлені елементи "Виключає АБО" і "Виключає АБО - НЕ", що реалізують функції нерівнозначності та нерівнозначності з запереченням відповідно.



X_1	X_2	Y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

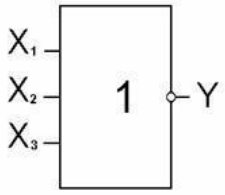
Рис. 8



X_1	X_2	Y
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Рис. 9

2.5. Логічні елементи, реалізують операції коньюнкції, дизюнкції, функції Пірса і Шеффера, може бути, у випадку, n - входовые. Так, наприклад, логічний елемент із трьома входами, що реалізує функцію Пірса, має вигляд, представлений на рис.10.

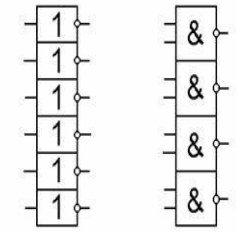


X_1	X_2	X_3	Y
0	0	0	1
1	0	0	0
0	1	0	0
1	1	0	0
0	0	1	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	1	0

Рис.10

У таблиці істинності (рис.10) на відміну таблиць в п.2.4. є вісім значень вихідний змінної Y. Ця кількість визначається числом можливих комбінацій вхідних змінних N, яке, у випадку, дорівнює: $N = 2^n$, де n - число вхідних змінних.

2.6. Логічні елементи використовуються для побудови інтегральних мікросхем, що виконують різні логічні та арифметичні операції та мають різне функціональне призначення. Так, наприклад, мікросхеми типу К155ЛН1 і К155ЛА3 мають у своєму складі шість інверторів і чотири елементи Шеффера відповідно (рис.11), а мікросхема К155ЛР1 містить елементи



К155ЛН1 К155ЛА3

різного виду (рис.12). Рис. 11

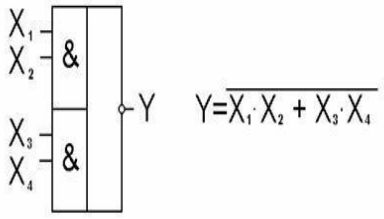


Рис. 12

2.7. ФАЛ будь-якої складності можна реалізувати за допомогою вказаного переліку логічних елементів.

3. Опис об'єкта та засобів дослідження

Досліджуваний у лабораторній роботі пристрій представлений на рис.13.

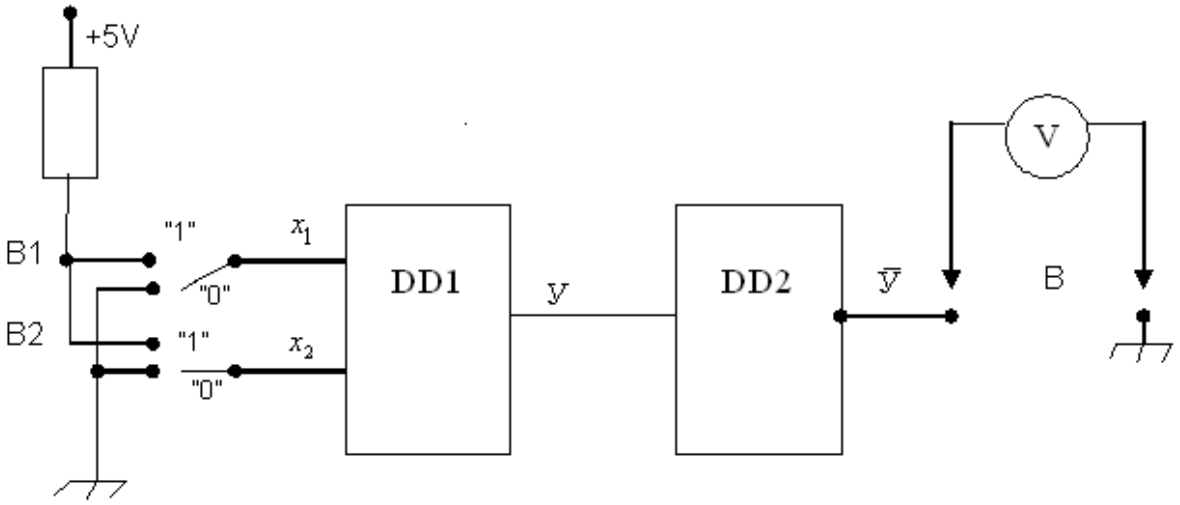


Рис.13

3.1. Пристрій являє собою групу логічних елементів, виконаних на мікросхемах серії К155 (елементи ДД1ДД2). Для мікросхем даної серії логічній одиниці відповідає напруга U1 = (2,4 - 5,0) В, а логічного нуля - U0 = (0 - 0,8) В.

3.2. Логічні “0” та “1” на вході елементів задаються за допомогою тумблерів, розташованих на передній панелі під написом “X1 та X2”. При включеному тумблері (важіль у верхньому повженні) вхід елементів через резистор R1 підключається до джерела з напругою 5В. При цьому на вході елементів діятиме напруга U1, що відповідає подачі на виведення мікросхеми логічної одиниці. При вимкненому тумблері (важіль у нижньому положенні) вхід елемента буде з'єднаний з шиною, що знаходиться під потенціалом землі, що відповідає подачі на виведення мікросхеми логічного нуля U0. Логічний сигнал, що подається на вхід елемента, індикується цифровим індикатором розташованим поруч із тумблером у вигляді символу «0» або «1».

3.3. Логічні сигнали з виходу елементів ДД1 ДД2 надходять на цифрові індикатори і індукуються у вигляді символів "0" і "1". Сигнал з виходу елемента ДД2 (з гнізда «В») подається на вхід мультиметра Ф.. Попередньо мультиметр встановлюється в режим вимірювання постійної напруги “-V”

4. **Методичні рекомендації до виконання роботи**

4.1. Дослідження особливостей функціонування логічних елементів ДД1 та ДД2 та визначення їх функціонального призначення.

4.2. Попередньо, задаючи всі можливі різні комбінації вхідних логічних сигналів, заповнити колонки X1 та X2 таблиці 1.

4.3. Послідовно встановлювати значення вхідних змінних X1 і X2 у порядку передбаченому рядками таблиці 1. Визначати значення вихідних сигналів та за результатами вимірювань заповнити колонки Y та $\hat{Y}$ таблиці істинності для елементів ДД1 та ДД2 (таблиця 1) у лабораторному звіті. Одночасно за допомогою мультиметра вимірювати і записувати в таблицю1 колонку U вих величину напруги на виході елемента ДД2 (гніздо «В»).

Таблиця 1.

X1	X2	Y	$\hat{Y}$	U вых, В
0	0			
1	0			
0	1			
1	1			

5. Зміст звіту:

- назва та мета роботи;
- схема досліджуваного пристроїв;
- Таблиця 1;
- Висновки щодо роботи із зазначенням типу досліджуваного елемента - Висновки щодо роботи із зазначенням типу досліджуваного елемента.

6. Контрольні питання

1. Якими значеннями змінних оперує логіка алгебри?
2. Основні форми завдання ФАЛ
3. Вид основних логічних функцій в формі алгебри
4. Що таке “логічний елемент”?
5. Які логічні функції виконують елементи Пірса та Шеффера?
6. Складіть таблицю істинності для логічних елементів 2І, 2АБО, 2І-НЕ, 2ІЛІ-НЕ.
6. Чим визначається кількість можливих комбінацій вхідних змінних для довільного логічного елемента?