

Підсилювальні властивості транзисторів, їх параметри і характеристики

В підсилювальних схемах у вихідне коло транзистора поряд із джерелом живлення вмикають навантаження, а у вхідне - джерело посилюваного сигналу. На Рис. 6.16 зображена найпростіша схема підсилювача напруги низької частоти (ПНЧ) на транзисторі з СБ. В коло колектора транзистора увімкнене навантаження R_H , а в коло емітера увімкнене джерело посилюваного сигналу u_c . Для простоти міркувань будемо вважати, що $u_c = \pm \Delta U_E$ (під приростами можна розуміти будь-які миттєві значення посилюваного сигналу).

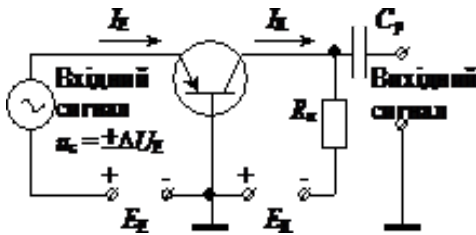


Рис. 6.16. Схема найпростішого підсилювача напруги низької частоти на транзисторі з СБ

При позитивному прирості напруги в колі емітера струм емітера зростає на величину $\Delta I_E = \Delta U_E / R_{\text{вх.СБ}}$, де $R_{\text{вх.СБ}}$ — опір для змінного струму вхідного кола транзистора, увімкненого за схемою з СБ. Цей опір, як і динамічний опір напівпровідникового діода, увімкненого в прямому напрямку, відносно малий. Збільшення струму емітера викликає збільшення струму колектора:

$$\Delta I_K = K_i \Delta I_E,$$

де $K_i = \Delta I_K / \Delta I_E$ — коефіцієнт підсилення схеми за струмом, який практично не відрізняється від α , оскільки збільшення струму колектора транзистора визначається тільки струмом емітера та майже не залежить від напруги на колекторі. Отже, $K_i \approx \alpha$. Збільшення струму колектора викликає збільшення напруги на навантаженні:

$$\Delta U_H = \Delta I_K R_H = K_i \Delta I_E R_H \approx \alpha \frac{\Delta U_E}{R_{\text{вх.СБ}}} R_H,$$

тому коефіцієнт підсилення схеми транзистора з СБ за напругою виявляється рівним

$$K_u = \frac{\Delta U_H}{\Delta U_E} \approx \alpha \frac{R_H}{R_{\text{вх.СБ}}}.$$

З цієї формули випливає, що при $R_H \gg R_{\text{вх.СБ}}$ $K_u \gg 1$, тобто схема здійснює підсилення сигналу за напругою.

Коефіцієнт підсилення схеми транзистора з СБ за потужністю

$$K_p = \frac{P_{ЕКн}}{P_{ЕКн}} = \frac{U_{ЕКн} I_{ЕКн}}{2 I_{ЕКн} U_{ЕКн}} = \frac{\Delta I_K \Delta U_K}{\Delta I_E \Delta U_E} = K_i K_u \approx \alpha^2 \frac{R_K}{R_{ЕК.СБ}} \gg 1$$

Підсилювальні властивості транзисторів можна пояснити наступним чином: Як відомо, у транзисторів прирости (амплітуди змінних складових) струмів у колі колектора та емітера приблизно однакові, але струм колектора протікає під дією більшої напруги через великий опір навантаження ($R_K \gg R_{ЕК.СБ}$). Тому однакові прирости струмів зв'язані з різними приростами напруг $\Delta U_K \gg \Delta U_E$.

Аналітичний вираз навантажувальної колекторної характеристики транзистора з СБ для підсилювального каскаду на опорах має такий вигляд:

$$U_K = E_K - I_K R_K$$

Це рівняння прямої лінії, яка проводиться через дві крапки, відкладені на осях координат. Крапка на осі абсцис відповідає напрузі джерела живлення колектора E_K , а крапка на осі ординат визначається рівнянням $I_K = E_K / R_K$.

Побудова навантажувальної колекторної характеристики на сімействі вихідних статичних характеристик показана на Рис. 6.17. Робоча крапка (Р.К.) на навантажувальній колекторній характеристиці задається струмом емітера $I_{ЕД}$.

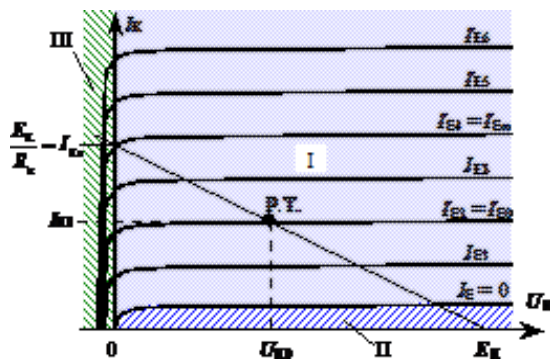


Рис. 6.17. Навантажувальна характеристика ПНЧ на транзисторі з СБ

В колекторному колі робоча крапка визначає постійні складові колекторного струму $I_{К0}$ та колекторної напруги $U_{К0}$. Робоча ділянка навантажувальної колекторної характеристики знаходиться в області активного (або підсилювального) режиму транзистора (область I на Рис. 6.17). В цій області зміни струму емітера викликають пропорційні зміни струму колектора. Активному режимові транзистора відповідають напруги $U_K < 0$ та $U_E > 0$ (для транзистора структури р-п-р). Знизу (на рівні некерowanego струму колектора) робоча ділянка навантажувальної колекторної характеристики обмежується областю відсічки (область II). В режимі відсічки транзистор "замкнений", при цьому $U_K < 0$, $U_E \leq 0$.

Зверху робоча ділянка навантажувальної колекторної характеристики обмежується областю насичення (область III). В режимі насичення подальше збільшення струму емітера практично не викликає збільшення струму колектора. Значення струмів у колах транзистора, при яких він переходить у режим насичення (або виходить з нього), позначаються $I_{ЕН}$, $I_{КН}$, $I_{БН}$. При переході транзистора в режим насичення відбувається зміна знака колекторної напруги: U_K стає позитивним. Докладніше режим насичення транзистора буде розглянутий пізніше.

В підсилювальних схемах найчастіше використовують транзистори, увімкнені за схемою з СЕ.

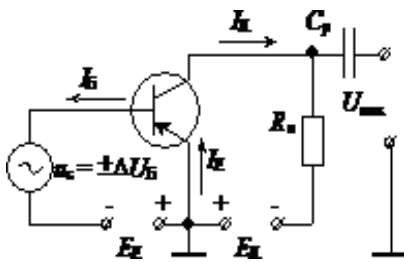


Рис. 6.18. Схема найпростішого ПНЧ на транзисторі з СЕ

На Рис. 6.18 показана найпростіша схема підсилювача напруги низької частоти на транзисторі з СЕ. В цій схемі посилюваний сигнал подається в коло бази. Напруга сигналу $u_c = \pm U_E$ — це та ж напруга, що і в схемі з СБ тільки зі іншим знаком (тобто $\Delta U_E = -\Delta U_E$), але вхідним струмом є не струм емітера, а струм бази, прирости якого відносно малі. Тому вхідний опір підсилювальної схеми на транзисторі з СЕ значно більший за вхідний опір схеми з СБ:

$$R_{вх.СЕ} = \frac{\Delta U_E}{\Delta I_E} = \frac{\Delta U_E \beta}{\Delta I_E \alpha} = R_{вх.СБ} \frac{\beta}{\alpha} \approx R_{вх.СБ} \beta,$$

де

$$\Delta I_E = \frac{\Delta I_K}{\beta} = \frac{\Delta I_E \alpha}{\beta}.$$

Коефіцієнт підсилення за напругою схеми на транзисторі з СЕ

$$K_u = \frac{\Delta U_K}{\Delta U_E} = \frac{\Delta U_K}{\Delta U_E} = \alpha \frac{R_K}{R_{вх.СБ}}.$$

При однаковому навантаженні коефіцієнти підсилення за напругою в обох схемах рівні.

Коефіцієнт підсилення за потужністю схеми транзисторі з СЕ

$$K_p = K_i K_u \approx \beta \alpha \frac{R_K}{R_{вх.СБ}},$$

тобто у β раз більший, ніж у схеми зі спільною базою.

На Рис. 6.19, а показана навантажувальна колекторна характеристика транзистора з СЕ, яка нанесена на сімейство статичних вихідних характеристик транзистора. Дрібний масштаб характеристик не дозволяє виділити на даному малюнку область відсічки, яка, як і в схемі з СБ, визначається некерованим струмом колектора. Характеристика, знята при $I_E = -I_{K0}$ (а також при $I_E = 0$), зливається зі віссю абсцис. Область насичення транзистора, у якій збільшення струму бази не викликає помітних змін струму колектора, заштрихована. В цій області U_{KE} залишається негативним, але U_{KE} , як і в схемі з СБ, стає позитивним. Це пояснюється тим, що в режимі насичення напруга між базою та емітером за модулем стає більшою, ніж U_{KE} .

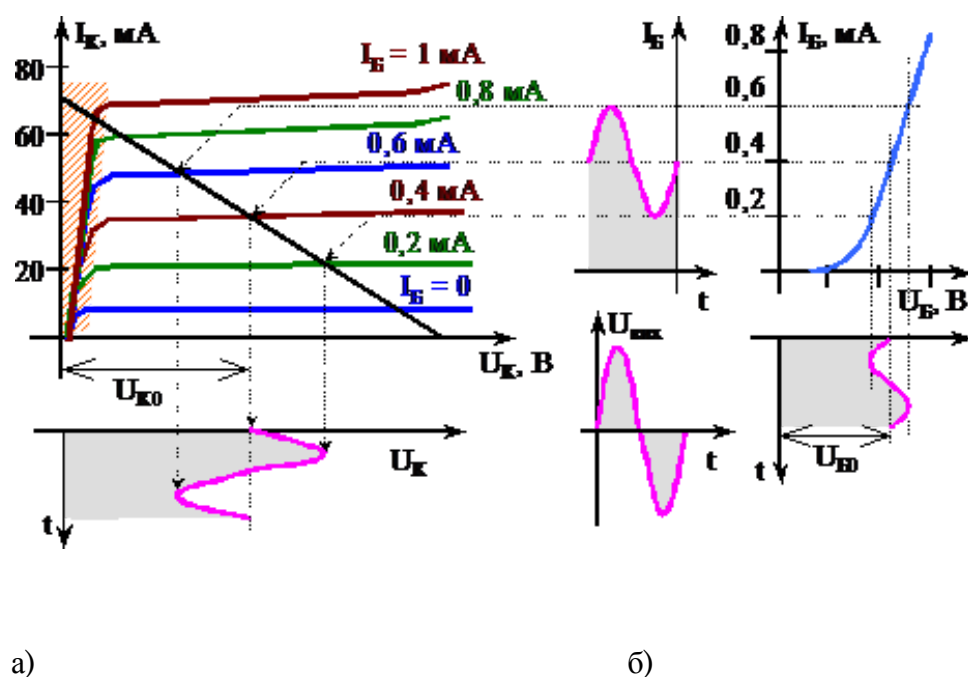


Рис. 6.19. Ілюстрація роботи ПНЧ на транзисторі у схемі з СЕ

а — навантажувальна колекторна характеристика;
б — навантажувальна вхідна характеристика.

На Рис. 6.19, б показана навантажувальна вхідна характеристика транзистора, яка у підсилювальному режимі практично збігається зі статичною характеристикою, яка знята при $U_K \neq 0$ В.

Часові діаграми на Рис. 6.19 ілюструють роботу підсилювального каскаду на транзисторі з СЕ. Напруга на базі U_{B0} та струм I_{B0} визначають положення робочої крапки на навантажувальній колекторній характеристиці, тобто визначають U_{K0} та I_{K0} . Зміни вхідної напруги (під дією вхідного сигналу) викликають зміни вхідного струму (струм бази). При зміні струму бази змінюється вихідний струм (струм колектора) і в колекторному колі

виділяється підсилений сигнал, який через розділювальний конденсатор надходить на вихід каскаду (див. Рис. 6.18, 14-19).

Наприклад, якщо $E_K = 10 \text{ В}$, $R_H = 4 \text{ кОм}$, $U_{B0} = 0,225 \text{ В}$, $I_{B0} = 0,2 \text{ мА}$, $U_{K0} = 4,5 \text{ В}$, $I_{K0} = 14 \text{ мА}$, то для такої схеми (див. Рис. 6.19):

$$R_{ж.сб} = \frac{\Delta U_E}{\Delta I_E} = \frac{0,035}{0,1 \cdot 10^{-3}} = 350 \text{ Ом};$$

$$K_i = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E} = \frac{6,5}{0,1} = 65 \approx \beta;$$

$$K_u = \frac{\Delta U_K}{\Delta U_E} = \frac{2,5}{0,035} = 71,5;$$

$$K_p = K_i K_u = 65 \cdot 71,5 \approx 4650.$$

Схема підсилювача на транзисторі з СК розглядається в спеціальних курсах.

Схеми на напівпровідникових транзисторах, володіють деякими специфічними особливостями:

1. В кожній зі схем увімкнення транзистора у вхідному колі протікає струм підсилюваного сигналу, отже, витрачається і потужність. Тому кожен з підсилювальних каскадів на транзисторах можна розглядати як підсилювач потужності.

2. Вхідний опір схем відносно малий, особливо в схемах зі спільною базою та спільним емітером, а вихідні опори відносно великі, що викликає ускладнення при узгодженні окремих каскадів.