

*Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю. М. Потєбні*

*Кафедра: Електроніки, інформаційних систем та програмного
забезпечення*

Практичне заняття 4

з дисципліни Аналогова та оптохемотехніка

**Побудова ліній навантаження для постійного і змінного струмів
для схеми з загальним емітером**

Студента (ки) 2 курсу, групи _____

(прізвище та ініціали)

Викладач _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Метою вивчення теми є засвоєння побудови ліній навантаження для постійного і змінного струмів для схеми з загальним емітером та розрахунку потужностей схеми і визначення ККД каскаду.

Ключові терміни та поняття: транзистор, розділовий конденсатор, напруга, потужність, резистор, постійний струм, змінний струм.

План самостійного опрацювання теми.

1. Засвоїти поняття лінії навантаження за постійним струмом.
2. Засвоїти поняття лінії навантаження за змінним струмом.
3. Засвоїти технічні показники схеми підсилювача з загальним емітером.

Методичні вказівки до вивчення питань та виконання завдань.

Для підсилювачів на біполярних транзисторах вхідний перехід транзистора завжди підключають у прямому напрямі, а вихідний – у зворотному.

Схему підсилювача на біполярному транзисторі, ввімкненому з загальним емітером, наведено на рисунку 4.1.

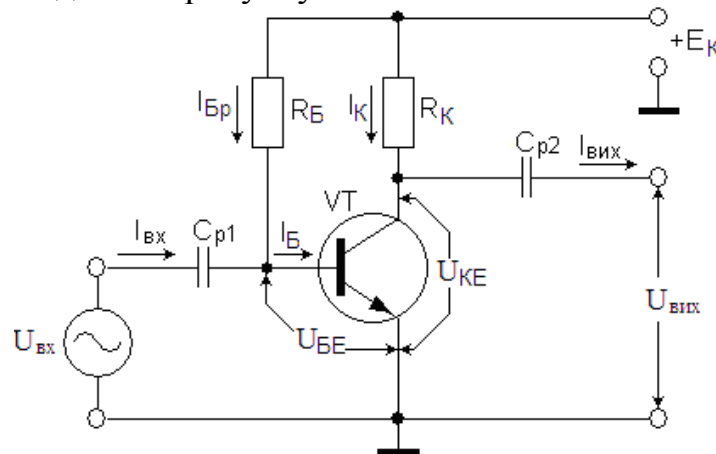


Рисунок 4.1 – Схема резистивного підсилювального каскаду з загальним емітером

Джерело змінного струму $I_{вх}$ повинно забезпечувати низький опір постійного струму $I_{Б}$.

Резистор R_K є навантаженням транзистора за постійним струмом і визначає його підсилювальні властивості. Якщо $R_K = 0$, то ефект підсилення напруги не відбувається, тому що $U_{КБ} = E_K = \text{const}$. З збільшенням R_K збільшується також коефіцієнт підсилення схеми за напругою, однак існує обмеження на R_K зверху.

Розрахунок за постійним струмом. Режим роботи підсилювача за постійним струмом визначається елементами E_K , R_K , R_B і параметрами транзистора VT.

Під час проектування підсилювача задаються $U_{м.вих}$ і R_H . Виходячи з цього

$$2E_K > U_{вих м}; I_{нт} = \frac{U_{вих м}}{R_H}; I_{R_K м} = \frac{U_{вих м}}{R_K};$$

вважаючи те, що $R_H \approx (3...5)R_K$, одержимо $I_{Rkm} = I_{Km}$, звідси випливає, що $I_{Kmax} = 5I_{Hmax}$. Гранична частота $f_{зр}$ підсилення транзистора має бути в 3...5 разів вище верхньої граничної частоти сигналу підсилення f_e . Транзистори вибирають за значеннями гранично допустимих параметрів I_{Kmax} , U_{KEmax} , P і $f_{зр}$.

Режим роботи підсилювача за постійним струмом описується системами рівнянь:

$$E_K = I_K R_K + U_{KE}; \quad (4.1)$$

$$U_{KE} = f(I_K, I_B); \quad (4.2)$$

$$E_K = I_B R_B + U_{BE}; \quad (4.3)$$

$$U_{BE} = f(I_B, U_{KE}). \quad (4.4)$$

За вихідними характеристиками транзистора, з урахуванням обмежень (рис. 4.2), вибирають положення навантажувальної лінії за постійним струмом; E_K рекомендують брати $(0,8...0,9 U_{KEmax})$. Навантажувальну лінію будують за двома точками з рівняння (4.1):

- для режиму холостого ходу $I_K = 0$; $U_{KE} = E_K$ (точка 1);
- для режиму короткого замикання $U_{KE} = 0$; $I_K = U_K / R_K$ (точка 2).

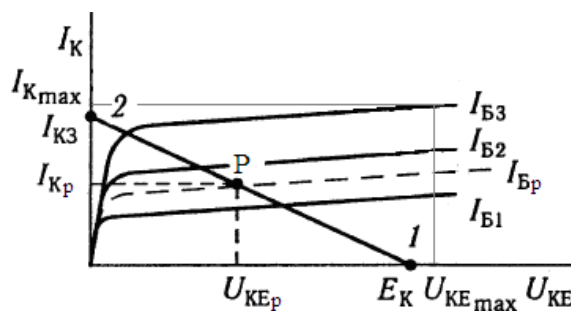


Рисунок 4.2. Вихідні ВАХ транзистора з ЗЕ і гранично допустимі параметри

Під час роботи підсилювача в режимі малих сигналів робочу точку доцільно розташовувати в середині робочої області характеристик (точка P). Вона визначається двома координатами I_{Kp} і U_{KEp} . Для вибраного струму бази I_{Bp} . Цій точці відповідає точка P на вхідних характеристиках транзистора (рис. 4.3), яка визначається координатами I_{Bp} , U_{KBp} .

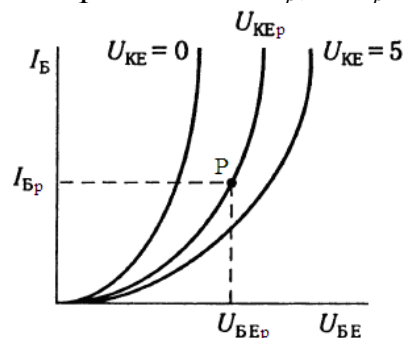


Рисунок 4.3 - Вхідні ВАХ транзистора з ЗЕ

Для розрахунку величини резистора R_B (за рівняннями (4.3) і (4.4)) встановимо величину напруги U_{BEp} . Оскільки величина цієї напруги близько 0,4...0,7 В, то проводити навантажувальну лінію згідно з рівнянням (4.3) незручно, тому що напруга E_K досягає 10...20 В. Записавши рівняння (4.3) для точки Р, розрахуємо необхідне значення резистора R_B :

$$E_K = U_{BEp} + I_{Bp} R_B, \text{ звідси } R_B = \frac{E_K - U_{BEp}}{I_{Bp}}.$$

Для малопотужних транзисторів значення опорів R_K і R_B відповідно становлять одиниці та десятки кілоомів.

Розрахунок за змінним струмом. Для розрахунку за змінним струмом необхідно (рис. 4.4).

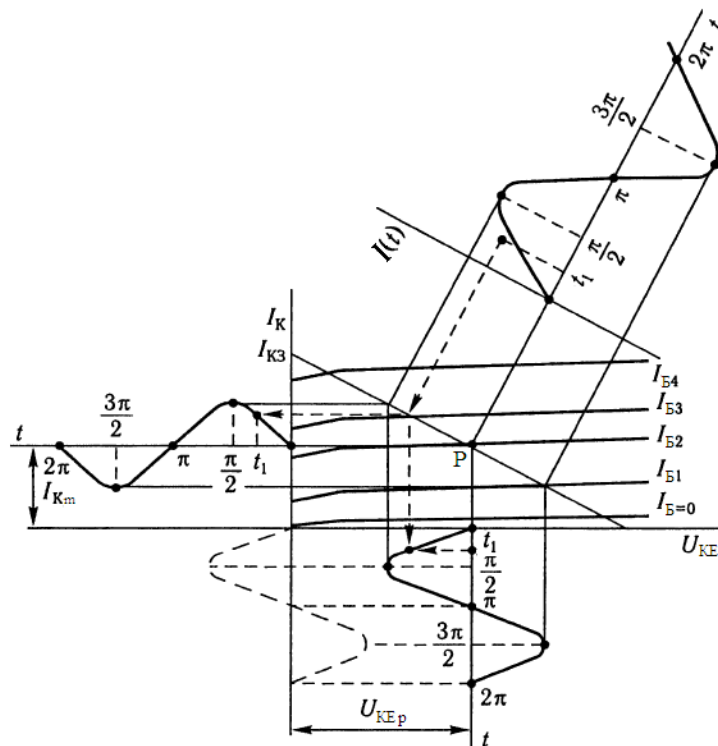


Рисунок 4.4 – Осцилограма підсилювача на транзисторі з ЗЕ

1. Початок координат на характеристиках транзистора перенести в робочу точку Р за постійним струмом. У робочій точці визначити для нескінченно малих приростів параметри транзистора (найбільш вживані h -параметри). Зауважимо, що навколо робочої точки транзистор працює в режимі малих сигналів, і в цьому випадку до розрахунку підсилювача треба застосувати принцип накладання.

2. Для змінних складових напруг і струмів скласти лінійну модель підсилювача з урахуванням лінійної моделі транзистора.

З урахуванням того, що для змінних складових напруг і струмів внутрішній опір джерела надто малий (точки E_K і $-E_K$ мають однаковий потенціал) і транзистор працює в активній області в режимі малого сигналу, одержимо таку лінійну електричну модель підсилювача (рис. 4.5).

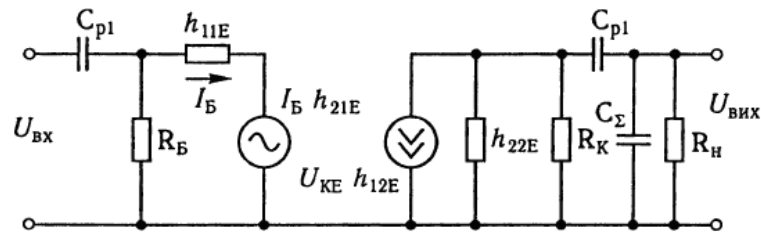


Рисунок 4.5 - Схема заміщення підсилювача з загальним емітером

Описавши цю модель рівняннями відповідно до законів електротехніки, визначають.

1) Вхідний опір підсилювача, що необхідно для урахування узгодження підсилювача з джерелом вхідного сигналу.

2) У вихідному колі сигнали подають еквівалентним генератором на опір навантаження R_H . Для цього визначають вихідний опір підсилювача $U_{вих}$ і коефіцієнт підсилення за напругою в режимі холостого ходу K_{xx} .

3) Визначають коефіцієнти підсилення підсилювача за напругою і струмом K_U і K_I та їхню залежність від частоти для побудови амплітудно-частотної характеристики (АЧХ), фазочастотної характеристики (ФЧХ) та амплітудно-фазочастотної характеристики (АФЧХ).

4) Визначають коефіцієнт нелінійних спотворень для заданого значення вхідного сигналу і коефіцієнти частотних спотворень M_n і M_e на граничних частотах f_n і f_e .

Під час розрахунку підсилювачів звукових частот цей діапазон частот умовно поділяють на три діапазони:

- низькі частоти (10...300 Гц);
- середні частоти (300...5000 Гц);
- високі частоти (5000...30 000 Гц).

Основні параметри підсилювача визначають у діапазоні середніх частот. При цьому припускають, що опори розділових конденсаторів у цій області малі порівняно з R_{ex} і R_H , вони ввімкнені послідовно і ними можна знехтувати, а опір конденсатора C_Σ набагато більший, ніж R_H , і $|X_C| \gg R_H$ ввімкнені паралельно і ним також можна знехтувати.

$$C_\Sigma = C_{KE} + C_H + C_M,$$

де C_{KE} – вихідна ємність транзистора; C_H – ємність навантаження; C_M – ємність монтажу.

Як правило, опір конденсатора C_Σ досягає десятків-сотень пікофарад.

Побудова лінії навантаження для постійного і змінного струмів для схеми зі загальним емітером (рисунок 4.6).

Вважаємо що робоча точка транзистора розміщена в середині лінії навантаження за постійним струмом.

Робимо припущення, що конденсатор C_E повністю шунтує резистор R_E за змінним струмом.

Для побудови лінії навантаження за постійним струмом необхідно визначити координати точок:

$$\text{I. } I_K = 0; U_{KE} = E_K.$$

$$\text{II. } U_{KE} = 0; I_K = \frac{E_K}{R_K + R_E}.$$

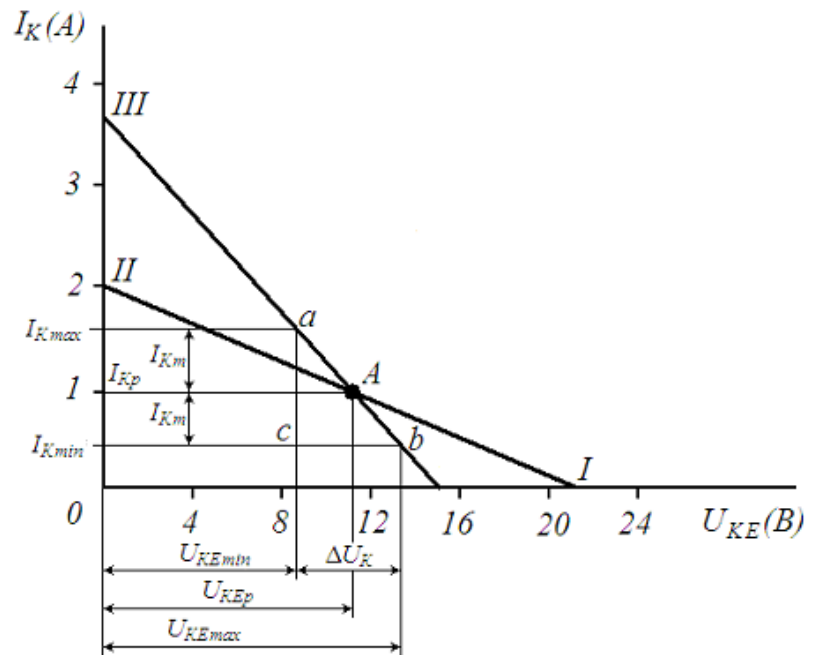
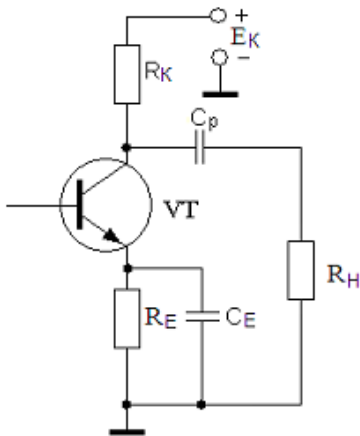


Рисунок 4.6 - Побудова ліній навантаження за постійним і змінним струмами для схеми з загальним емітером

Відмічаємо ці точки у вибраній системі координат і з'єднуємо їх прямою лінією, тобто отримуємо лінію навантаження. Робочу точку А вибираємо посередині лінії навантаження. Проектуючи точку А на осі ординат і абсцис, отримуємо її координати I_{Kp} , U_{KEp} .

Розрахуємо опір вихідного кола транзистора за змінним струмом:

$$R_{вих} = \frac{R_K \cdot R_H}{R_K + R_H}.$$

Побудова лінії навантаження за змінним струмом. Координати точок:

$$\text{III. } U_{KE} = 0; I_K = \frac{E_K}{R_{вих}}.$$

З'єднати точку III з точкою А прямою лінією до її перетину з віссю абсцис. Враховуючи розмах колекторного струму $2 \cdot I_{Km}$, розглянемо трикутники потужності на лінії навантаження за змінним струмом. З трикутника (a,b,c) видно, що при амплітуді струму I_{Km} :

$$I_{Kmax} = I_{Kp} + I_{Km},$$

$$I_{Kmin} = I_{Kp} - I_{Km},$$

розмах напруги відносно робочої точки становить

$$\Delta U_K = U_{KEmax} - U_{KEmin}.$$

Визначення потужності за постійним струмом:

$$P_{R_K} = I_{Kp}^2 R_K,$$

$$P_{R_E} = I_{Kp}^2 R_E.$$

Потужність розсіювання на колекторному переході транзистора:

$$P_{Kp} = I_{Kp} \cdot U_{KEp}.$$

Потужність споживання від джерела живлення:

$$P_{жив} = I_{Kp} \cdot E_K.$$

Виконані обчислення перевіряються за умовою балансу

$$P_{жив} = P_{Kp} + P_{Rk} + P_{RE}.$$

Визначення потужності при подачі змінного сигналу:

$$P_{Rkзмін} = P_{Rk} + \frac{\Delta U_K^2}{2R_K}.$$

Потужність розсіювання на резисторі R_H

$$P_{RH} = \frac{\Delta U_K^2}{2R_H}.$$

Потужність розсіювання на колекторному переході транзистора:

$$P_K = P_{Kp} - \frac{\Delta U_K \cdot I_{Km}}{2}.$$

Визначення ККД каскаду:

$$\eta = \frac{P_{RH}}{P_{жив}} \cdot 100\%.$$

Практичне завдання.

Побудуйте лінії навантаження для постійного і змінного струмів для схеми з загальним емітером. Параметри схеми: $E_K = 24$ В, $R_K = 15$ Ом, $R_H = 20$ Ом, $R_E = 2$ Ом, $I_{Km} = 0,8$ А. Вважати, що робоча точка транзистора розміщена в середині лінії навантаження за постійним струмом.

Визначте:

- потужність постійного і змінного струму, яка розсіюється, на резисторах R_K і R_E ;
- потужність, яка розсіюється на транзисторі в стані спокою і при подачі змінного сигналу;
- враховуючи, що вихідна потужність визначається як потужність на резисторі R_H , визначте ККД.

Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю.

- Побудова ліній навантаження за постійним струмом для схеми з загальним емітером.
- Побудова ліній навантаження за змінним струмом для схеми з загальним емітером.
- Визначення потужності за постійним струмом.
- потужності за змінним струмом.
- Визначення потужності, яка розсіюється на транзисторі в стані спокою і при подачі змінного сигналу.

6. Визначення потужності, яка розсіюється на транзисторі при подачі змінного сигналу.

Література

1. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Основи схемотехніки електронних систем: підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с.
2. Гельжинський І. І., Голяка Р. Л., Готра З. Ю., Марусенкова Т. А. Мікросхемотехніка: підручник. Львів : Ліга - Прес, 2015. 492 с.
3. Бойко В. І., Зорі А. А. Основи електронних систем : вступ до фаху. Донецьк : ДНТУ, 2002. 207 с.