

*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 3

з дисципліни Аналогова та оптохемотехніка

Резистивні підсилювальні каскади із 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 розрахунку параметрів схем резистивних підсилювачів з загальним емітером.

Ключові терміни та поняття: транзистор, струм, розділовий конденсатор, напруга, коло, опір.

План самостійного опрацювання теми.

1. Засвоїти поняття лінії навантаження.
2. Засвоїти технічні показники схеми підсилювача з фіксованим базовим струмом.
3. Засвоїти технічні показники схеми підсилювача з фіксованою напругою на базі.

Методичні вказівки до вивчення питань та виконання завдань.

Простіша схема резистивного підсилювального каскаду із загальним емітером і живленням від одного джерела показана на рисунку 3.1.

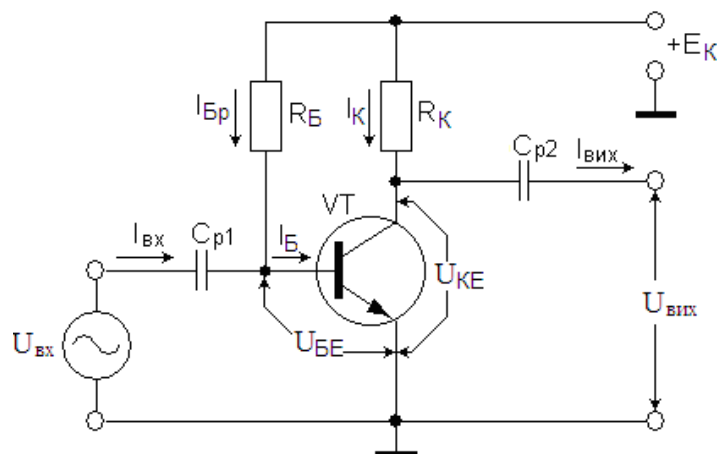


Рисунок 3.1 – Схема резистивного підсилювального каскаду із загальним емітером

Вхідний сигнал поступає на базу і змінює її потенціал відносно заземленого емітера. Це наводить до зміни струму бази, а отже, до зміни струму колектора і напруги на опорі навантаження R_K . Розділовий конденсатор C_{p1} служить для запобігання протіканню постійної складової струму бази через джерело вхідного сигналу. За допомогою конденсатора C_{p2} на вихід каскаду подається змінна складова напруги U_{KE} , яка змінюється за законом вхідного сигналу, але значно перевищує його по величині.

Важливу роль грає резистор R_B в колі бази, який забезпечує вибір вихідної робочої точки на характеристиках транзистора і визначає режим роботи каскаду по постійному струму. Для з'ясування ролі резистора R_B звернемося до рисунку 3.2, який ілюструє процес посилення сигналу схемою із загальним емітером.

Розглядаючи спочатку рисунок 3.2 а, а потім рисунок 13.2 б, можна переконатися в тому, що напруга вхідного сигналу з амплітудою $U_{мвх} = U_{BEм}$ синфазно змінює величину струму бази.

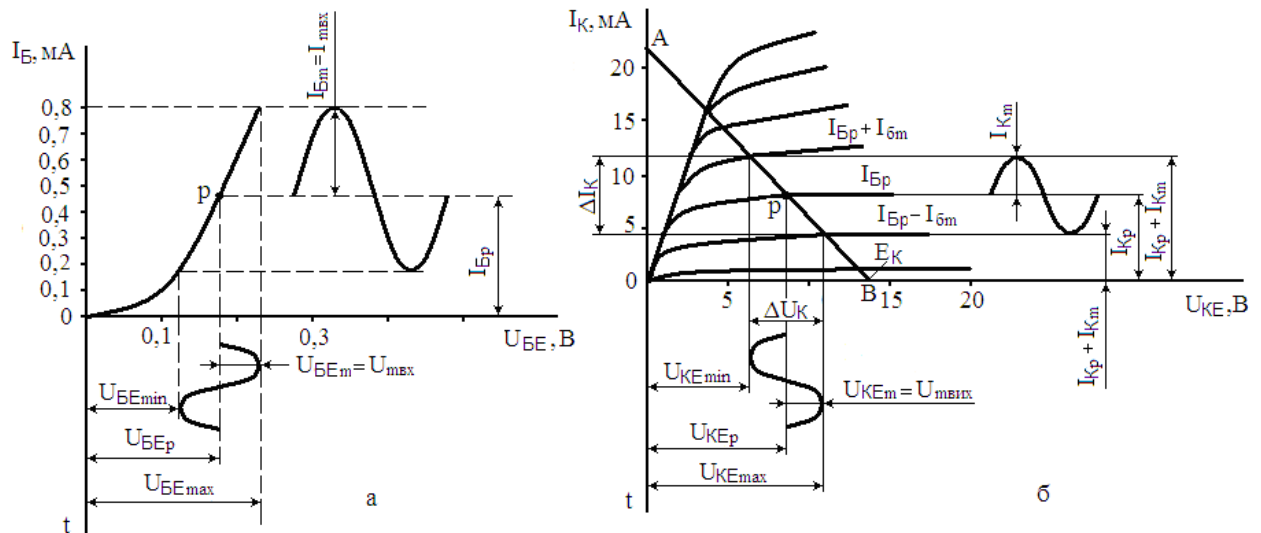


Рисунок 3.2 - Графічне пояснення процесу посилення сигналу схемою із загальним емітером

Ці зміни базового струму викликають в колекторному колі пропорційні зміни струму колектора і напруги на колекторі, причому амплітуда колекторної напруги (з урахуванням масштабу по осі абсцис) виявляється значно більше амплітуди напруги на базі.

Для здобуття найменших спотворень підсилюваного сигналу робочу точку P слід розташовувати на середині відрізка AB прямої навантаження, побудованої в сімействі вихідних характеристик транзистора. З рисунку 3.2 б видно, що положення робочої точки P відповідає струму зсуву в колі бази I_{Bp} . Для здобуття вибраного режиму необхідно в підсилювачі забезпечити необхідну величину струму зсуву в колі бази. Для цього служить резистор R_B у схемі на рисунку 3.1. Величину опору цього резистора розраховують по формулі

$$R_B = \frac{E_K - U_{Bp}}{I_{Bp}} \approx \beta \frac{E_K}{I_{cp}} \quad (3.1)$$

де I_{Bp} і I_{Kp} – постійні складові струму бази і колектора у вибраних робочих точках P

Схема, яка приведена на рисунку 3.1 отримала назву: схема з фіксованим базовим струмом.

Підсилювач з фіксованим базовим струмом являється подільником напруги E_K , у верхньому плечі якого включений опір навантаження R_K , а в нижньому - транзистор VT .

$$U_{KE} = E_{KE} \frac{R_{VT}}{R_K + R_{VT}}, \quad (3.2)$$

де R_{VT} - опір між колектором та емітером на постійному струмі.

З формули (3.2) випливає наступне:

- напруга U_{KE} між колектором та емітером є часткою напруги живлення

E_K ;

- напруга U_{KE} між колектором та емітером тим більше чим вище напруга живлення E_K ;
- напруга U_{KE} ніколи не може перевищувати напругу живлення E_K

$$U_{KE} < E_K.$$

Розглядаючи роботу підсилювача, не слід уявляти собі, що вхідна напруга $U_{вх}$ якось надходить до виходу у збільшеному вигляді. Вхідна напруга $U_{вх}$, яку треба підсилити, повністю витрачається на те, щоб змінювати опір R_{VT} транзистора за своїм законом і саме тим керувати коефіцієнтом передачі частини напруги E_K до виходу:

$$K = \frac{R_{VT}}{R_K + R_{VT}}. \quad (3.3)$$

Таким чином, в основу принципу дії підсилювача покладене те, що частина напруги живлення E_K надходить до виходу через подільник напруги з R_K і опору R_{VT} між колектором та емітером транзистора, а вхідний сигнал $U_{вх}$, який треба підсилити, керує коефіцієнтом передачі K цього подільника.

Для докладного розгляду роботи підсилювача знайдемо рівняння лінії навантаження.

Напруга живлення E_K за законом Кірхгофа поділяється на падіння напруги $I_K R_K$ на опорі навантаження R_K та напругу колектора U_{KE} :

$$E_K = I_K R_K + U_{KE}. \quad (3.4)$$

Звідси одержуємо рівняння лінії навантаження

$$I_K = \frac{E_K}{R_K} - \frac{U_{KE}}{R_K}. \quad (3.5)$$

Рівняння (3.5) відносно U_{KE} першого степеня. Тому лінія навантаження є прямою (навантажувальна пряма) і її можна побудувати по двох точках на осях координат (рис. 3.2).

Точка А: $U_{KE} = 0$; з (3.5) одержуємо

$$I_K = \frac{E_K}{R_K}$$

Точка В: $I_K = 0$; з (3.5) маємо

$$U_{KE} = E_K.$$

Відрізок прямої АВ є лінією навантаження.

Перетин лінії навантаження із заданою характеристикою визначає робочу точку. Якщо, наприклад, заданою характеристикою є $I_B = I_{Br}$, то робочою буде точка Р. Робоча точка однозначно визначає режим роботи транзистора, тобто сукупність напруг і струмів. Вона ніби розподіляє напругу живлення E_K на напругу між колектором і емітером U_{KEp} та падіння напруги $I_K R_K$ на опорі навантаження R_K , тобто

$$E_K = U_{KEp} + I_K R_K.$$

Лінія навантаження повністю віддзеркалює режим роботи транзистора. За допомогою лінії навантаження можна визначити вплив зміни будь-якого параметра режиму. Якщо, наприклад, змінити струм бази на ΔI_B , то струм колектора зміниться на $\Delta I_K = \beta \Delta I_B$, а напруга між колектором та емітером - відповідно на ΔU_K .

Як видно з рисунків 3.1 та 3.2, у загальному випадку схема підсилювача знаходиться під наступними напругами та струмами:

- напруга бази

$$U_{\bar{b}e} = U_{\bar{b}e p} \pm U_{m \text{ вх}}; \quad (3.6)$$

- напруга колектора

$$U_{ke} = U_{ke p} \pm U_{m \text{ вих}}; \quad (3.7)$$

- струм бази

$$I_{\bar{b}} = I_{\bar{b}p} \pm I_{m \text{ вх}}; \quad (3.8)$$

- струм колектора

$$I_k = I_{kp} \pm I_{mk}. \quad (3.9)$$

Струмопроходження у схемі, яка наведена на рисунку 3.1 наступне. Струм бази $I_{\bar{b}}$ тече по колу: $+E_K$, резистор $R_{\bar{b}}$, база, емітер, загальний вивід. Оскільки протікає струм бази $I_{\bar{b}}$, то з'являється і струм колектора $I_k = \beta I_{\bar{b}}$, який протікає по колу: $+E_K$, опір навантаження R_k , колектор, емітер, загальний вивід.

У початковому стані за відсутності вхідної напруги, $U_{\text{вх}} = 0$ підсилювач перебуває у стані спокою. У цьому стані параметри режиму визначаються робочою точкою і дорівнюють лише першим складовим залежностей (3.6) ... (3.9). У робочий точці:

- постійна напруга бази: $U_{\bar{b}e} = U_{\bar{b}ep}$;

- постійна напруга між колектором та емітером: $U_{ke} = U_{kep}$;

- постійний струм бази: $I_{\bar{b}} = I_{\bar{b}p}$;

- постійний струм колектора : $I_k = I_{kp}$.

З подачею сигналу з'являється вхідна напруга $U_{\text{вх}}$. Вона викликає появу змінних вхідного струму $I_{\text{вх}}$, струму колектора I_k та вихідної напруги $U_{\text{вих}}$, миттєві значення яких розташовуються навколо робочої точки (рис. 3.2).

З (3.4) знаходимо напругу колектора

$$U_{ke} = E_k - I_k R_k. \quad (3.10)$$

Якщо на вході підсилювача позитивна напівхвиля напруги, то на виході - негативна, і навпаки, негативна напівхвиля вхідної напруги зумовлює позитивну напівхвилю напруги вихідної.

Таким чином, підсилювач зі спільним емітером обертає фазу вхідної напруги на 180° .

Зсув фіксованим струмом бази відрізняється мінімальним числом деталей і малим споживанням струму від джерела живлення. Крім того, порівняно великий опір резистора $R_{\bar{b}}$ (десятки кілоом) практично не впливає на величину вхідного опору каскаду. Проте цей спосіб зсуву придатний лише тоді, коли каскад працює при малих коливаннях температури транзистора. Крім того, великий розкид і нестабільність параметра β навіть в однотипних транзисторів роблять режим роботи каскаду вельми нестійким при зміні транзистора, а також з часом.

Ефективнішою є схема з фіксованою напругою зсуву на базі (рис. 3.3).

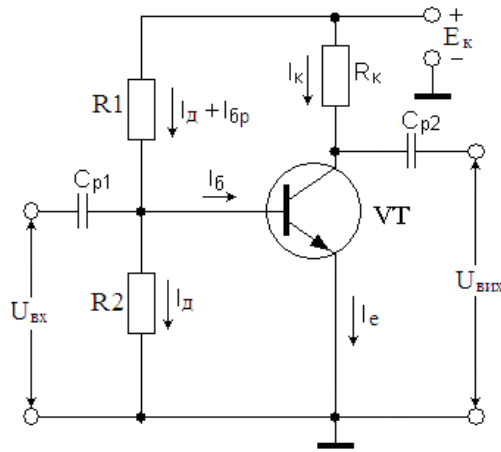


Рисунок 3.3 - Резистивний підсилювальний каскад з фіксованою напругою зсуву на базі

У цій схемі резистори R_1 і R_2 , які підключені паралельно джерелу живлення E_K , складають дільник напруги. Опори дільника визначаються з співвідношень:

$$R_1 = \frac{E_K - U_{\text{бєр}}}{I_{\text{д}} + I_{\text{бр}}}, \quad (3.11)$$

$$R_2 = \frac{U_{\text{бєр}}}{I_{\text{д}}}. \quad (3.12)$$

Струм дільника $I_{\text{д}}$ зазвичай вибирають в межах

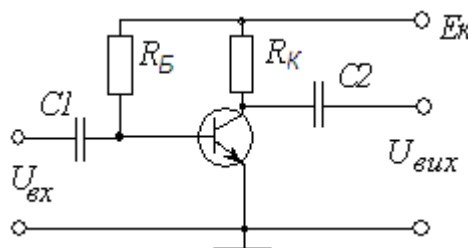
$$I_{\text{д}} \approx (2 \div 5)I_{\text{бр}} \quad (3.13)$$

При цьому підвищується стабільність режиму роботи схеми, оскільки зміни струму в колах емітера і колектора транзистора трохи впливають на величину напруги зсуву. В той же час струм дільника не слід вибирати дуже великим з міркувань економічності, оскільки чим більше струм $I_{\text{д}}$, тим більше потужним повинно, бути джерело живлення E_K .

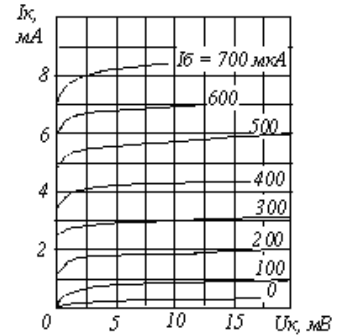
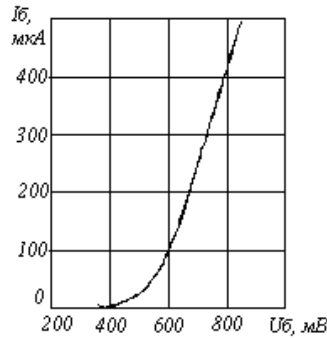
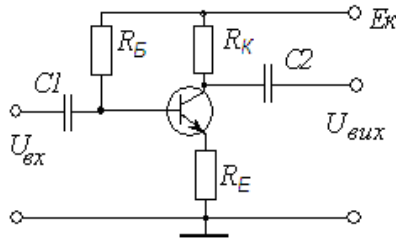
З схеми (рис. 3.3) видно, що опір R_2 дільника включений паралельно вхідному опорю транзистора. Крім того, нехтуючи малим внутрішнім опором джерела живлення, можна вважати, що дільник R_1 R_2 повинен володіти чималим опором (порядку декілька кілоом). Інакше вхідний опір каскаду виявиться недопустимо малим.

Практичні завдання.

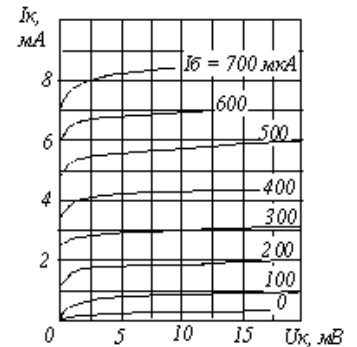
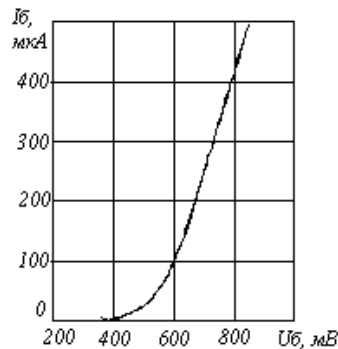
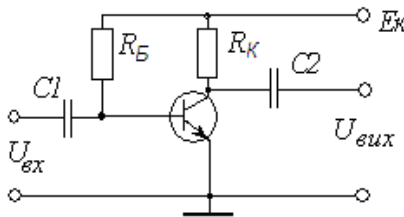
Задача 1. В режимі спокою напруга між базою та емітером транзистора КТ 315А в підсилювальному каскаді $U_{BE} = 0,6 \text{ В}$. Визначити величину опору R_B , якщо $E_K = 16 \text{ В}$.



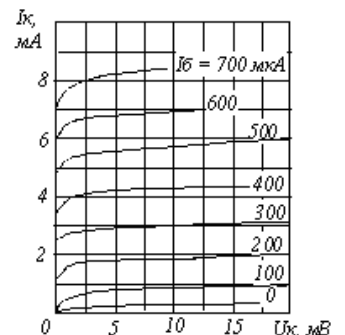
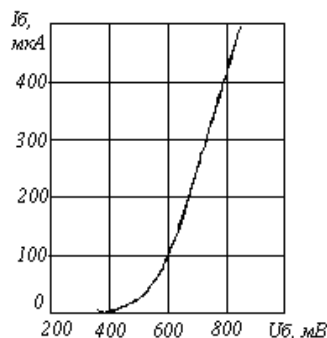
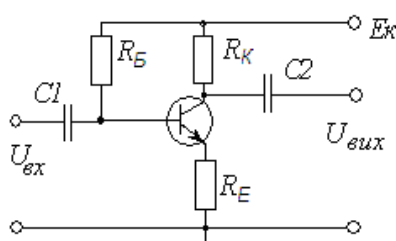
Задача 2. В режимі спокою напруга між базою та емітером транзистора в підсилювальному каскаді (рис.1) $U_{BE} = 0,6 \text{ В}$, $R_K = 1,2 \text{ кОм}$, $R_E = 20 \text{ Ом}$. Визначити величину опору R_B , якщо $E_K = 16 \text{ В}$. Розрахунки провести з використанням характеристик.



Задача 3. Визначити напругу U_{BE} та величину струму спокою в колі бази I_B підсилювача, якщо напруга джерела живлення $E_K = 12 \text{ В}$, а $R_B = 40 \text{ кОм}$. Розрахунки провести з використанням характеристик; $R_E = 0$.

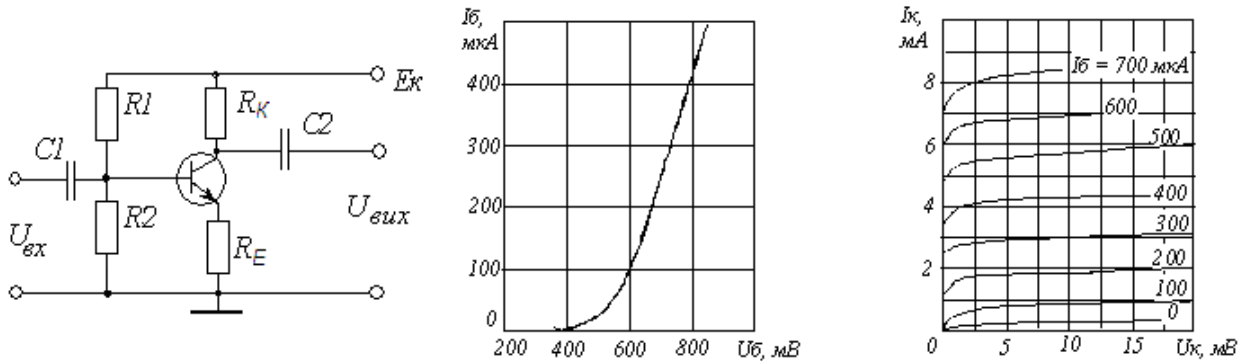


Задача 4. Визначити напругу U_{BE} та величину струму спокою в колі бази I_B підсилювача, якщо напруга джерела живлення $E_K = 12 \text{ В}$, а $R_B = 40 \text{ кОм}$. Розрахунки провести з використанням характеристик; $R_E = 20 \text{ Ом}$.



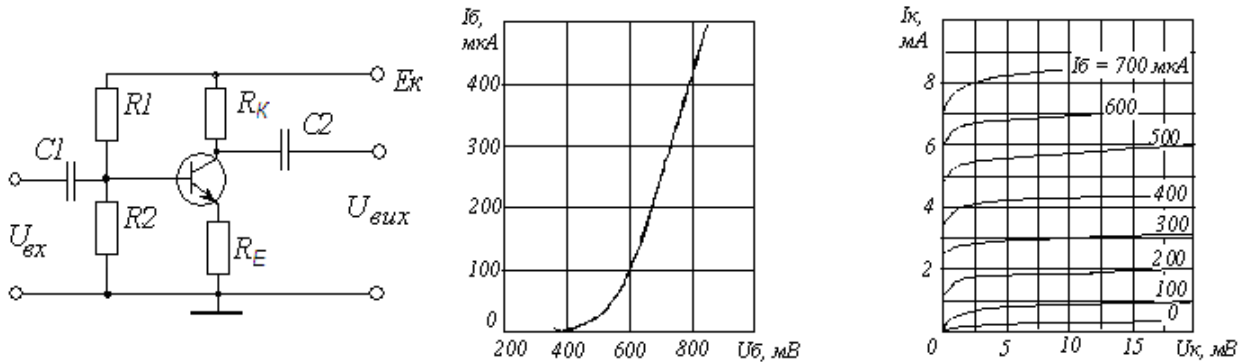
Задача 5. На рисунку приведена схема, в якій зміщення на базу подається за допомогою ділянки $R1, R2$. Використовуючи сімейство характеристик, визначити розрахункові значення цих опорів, якщо відомо, що колекторний струм спокою $I_{K0} = 4 \text{ мА}$, статичний коефіцієнт підсилення за струмом транзистора $h_{21E} = 20$, $E_K = 15 \text{ В}$, $R_E = 0$; струмом насичення знехтувати.

В к а з і в к а: урахувати, що струм ділянки вибирається з умови $I_{dil} \geq (5 \div 10) I_B$.

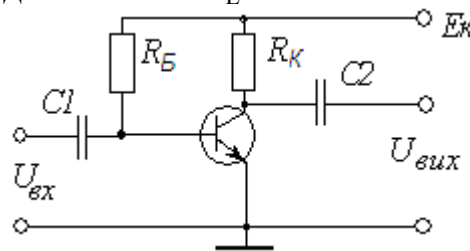


Задача 6. На рисунку приведена схема, в якій зміщення на базу подається за допомогою дільника $R1, R2$. Використовуючи сімейство характеристик, визначити розрахункові значення цих опорів, якщо відомо, що колекторний струм спокою $I_{K0} = 4\text{mA}$, статичний коефіцієнт підсилення за струмом транзистора $h_{21E} = 20$, $E_K = 15\text{V}$, $R_E = 20\text{Om}$; струмом насичення знехтувати.

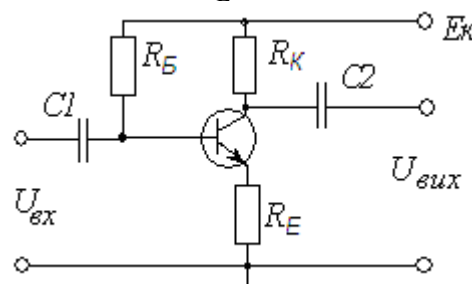
В к а з і в к а: урахувати, що струм дільника вибирається з умови $I_{dil} \geq (5 \div 10) I_B$.



Задача 7. Визначити падіння напруги U_{KE0} и R_B в схемі, якщо струм спокою колектора $I_{K0} = 2\text{mA}$, опір резистора $R_K = 2000\text{Om}$, $E_K = 15\text{V}$, $h_{21E} = 20$. Задачу розв'язувати для значень $R_E = 0$.



Задача 8. Визначити падіння напруги U_{KE0} и R_B в схемі, якщо струм спокою колектора $I_{K0} = 2\text{mA}$, опір резистора $R_K = 2000\text{Om}$, $E_K = 15\text{V}$, $h_{21E} = 20$. Задачу розв'язувати для значень $R_E = 20\text{Om}$.



Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю.

1. Наведіть схему підсилювача на біполярному транзисторі з ЗЕ.
2. Поясніть методику розрахунку коефіцієнтів підсилення напруги K_U , струму K_I та потужності K_P .
3. Поясніть вибір робочої точки.
4. Поясніть критерій вибору напруги живлення колекторного кола E_{KE} в залежності від амплітуди вихідної напруги $U_{m \text{ вих.}}$.
5. Поясніть вплив температури на якість підсилення.
6. Наведіть вхідні та вихідні ВАХ для схеми з загальним емітером і поясніть їхній хід.

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.