

Принцип побудови підсилювальних каскадів

Багато підсилювачів складаються з декількох ступенів, що здійснюють послідовне посилення сигналу. Зазвичай ступень посилення називається каскадом. При цьому загальний коефіцієнт підсилення становить

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n.$$

Вхідні каскади та каскади попереднього підсилення виконуються, як правило, у вигляді підсилювачів напруги. Вихідні каскади – кінцеві – зазвичай є підсилювачами потужності або струму.

Підсилювачі відрізняються один від одного кількістю каскадів, режимом роботи. Але усім їм притаманні загальні принципи побудови.

Розглянемо їх на прикладі підсилювача сигналів напруги змінного струму, показаного на рис. 1.

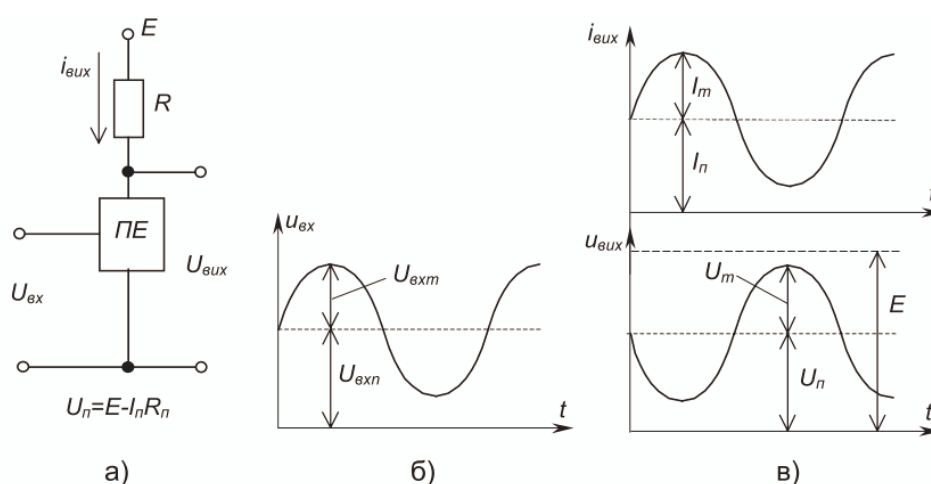


Рис. 1 – Структурна схема підсилювача напруги змінного струму (а) та часові діаграми його вхідного (б) і вихідного (в) сигналів

Основним елементом підсилювача є підсилювальний елемент (біполярний або польовий транзистор), що разом із навантаженням R та джерелом живлення постійного струму E утворюють головне вихідне коло підсилювача.

Принцип підсилення полягає у перетворенні енергії джерела постійної напруги E в енергію змінного вихідного сигналу шляхом зміни провідності $ПЕ$ за законом, зумовленим формою вхідного сигналу. Оскільки вихідне коло підсилювача живиться постійною напругою, у ньому може протікати струм лише однієї полярності. Для забезпечення отримання підсиленого сигналу змінного струму необхідно задати його на фоні постійного сигналу зміщення U_n , як це показано на рис. 1, в. При цьому для нормальної роботи підсилювача амплітудні значення вихідних напруги та струму повинні бути меншими за постійні рівні напруги та струму $U_n > U_m$, $I_n > I_m$ (I_n постійного струму зміщення).

Постійні рівні струму та напруги у вихідному колі задаються подачею постійного рівня вхідної напруги $U_{вх п} > U_{вх м}$; ($I_{вх п} > I_{вх м}$).

Режим роботи підсилювача за постійним струмом називається **режимом спокою**. Він характеризується струмом спокою та напругою спокою вихідного кола. Щоб задати режим спокою, використовують спеціальні схеми зміщення напруги.

Вихідна напруга $U_{вих}$ подається на навантаження, що ним зазвичай є наступний каскад підсилення. Зверніть увагу: за такої побудови підсилювача його навантаженням (корисним) є не резистор R , а вхідний опір наступного (наприклад, такого ж) каскаду підсилення, на який подається напруга $U_{вих}$.

Основні режими (класи) роботи підсилювачів

Режим спокою (режим роботи за постійним струмом) характеризує клас роботи підсилюючого каскаду. Ним визначаються призначення, к.к.д., ступінь нелінійних спотворень (порушення пропорційності вхідного і вихідного сигналів) та інші параметри каскаду.

Найбільш широко застосовують три класи, які називають – А, В і С. При роботі підсилювача у **режимі класу А** точку спокою P , якій відповідають струми $I_{0к}$, $U_{0к}$, $I_{0б}$, вибирають посередині вихідної динамічної характеристики за постійним струмом, як показано на рис. 2 (транзистор увімкнений за схемою з спільний емітер СЕ).

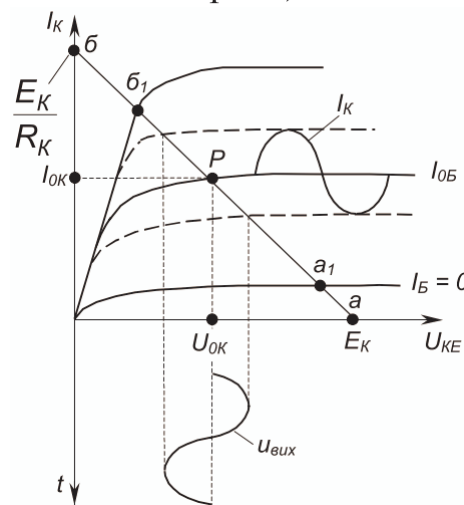


Рис. 2 – Вихідна динамічна характеристика підсилювача в режимі класу А

a_1b_1 – ділянка активного режиму роботи транзистора, де нелінійні спотворення мінімальні;

к.к.д. $\eta=0,25, 0,3$, бо в режимі спокою споживається значна потужність ($U_{0к}I_{0к}$). Тому клас А застосовують переважно у каскадах попереднього підсилення.

Якщо підсилювач працює у режимі **класу В**, точка спокою вибирається на межі між активним режимом та режимом відтинання: її положення

приблизно відповідає точці a_1 на рис. 3. У цьому режимі нелінійні спотворення великі, а к.к.д. $h=0,6, 0,7$.

При роботі підсилювача в режимі **класу С** точка спокою P лежить на ділянці відтинання a_1a . Кут відтинання $q \gg p/2, h \gg 0,85$.

Класи В і С застосовують при побудові підсилювачів потужності, причому підсилення позитивної та негативної півхвиль сигналу забезпечується у даному випадку окремими найпростішими каскадами, що разом являють собою єдиний каскад підсилення змінного струму.

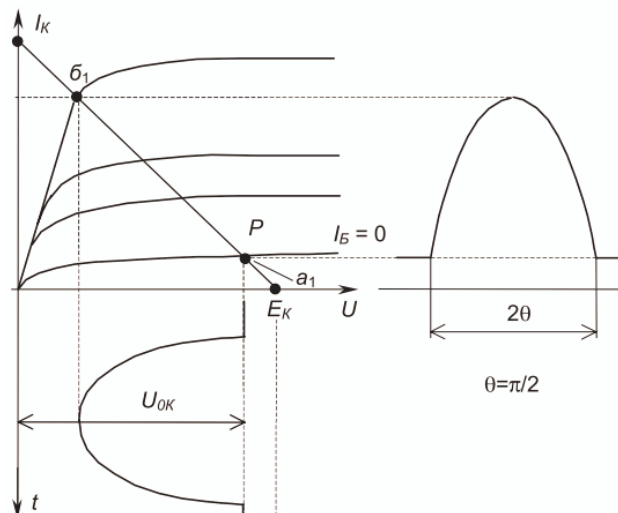


Рис. 3 – Вихідна динамічна характеристика підсилювача в режимах класів В і С

Клас АВ є проміжним між класами А і В: має менші викривлення сигналу, ніж клас В, у якому вони зумовлені нелінійністю початкової ділянки вхідної характеристики транзистора, але економічніший, ніж клас А.

Зараз все більшого розповсюдження набувають підсилювачі **класу D**. У таких підсилювачах транзистори працюють в ключовому режимі, формуючи на виході послідовність імпульсів різної тривалості, після фільтрування якої на навантаженні відтворюється аналоговий сигнал. К.к.д. таких підсилювачів надзвичайно високий за малих габаритів і незначного виділення тепла.

Кола зміщення підсилюючих каскадів

Щоб задати режим спокою каскаду, на його вхід необхідно подати певне значення постійної напруги, що має назву напруги зміщення. Кола, які забезпечують подачу цієї напруги, називаються колами зміщення (робоча точка P зміщується з положення, що відповідає $I_B = 0$ у положення, зумовлене класом).

Існує два способи задання початкової напруги: фіксованим струмом або фіксованою напругою. Перший спосіб реалізується за допомогою двох схем. Одну з них зображено на рис. 4 (вважаємо джерело вхідного сигналу умовнозакороченим). У цій схемі напруга зміщення задається допоміжним джерелом напруги $E_{зм}$, що разом з опором R_B утворює коло зміщення.

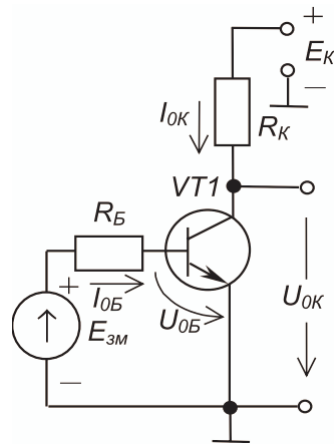


Рис. 4 – Зміщення допоміжним джерелом напруги

Параметри кола зміщення розраховують за допомогою вихідної динамічної характеристики транзистора за постійним струмом, показаної на рис. 5,б. Клас режиму роботи підсилювача визначає положення точки спокою P , а отже, значення $I_{0К}$, $U_{0К}$, $I_{0Б}$.

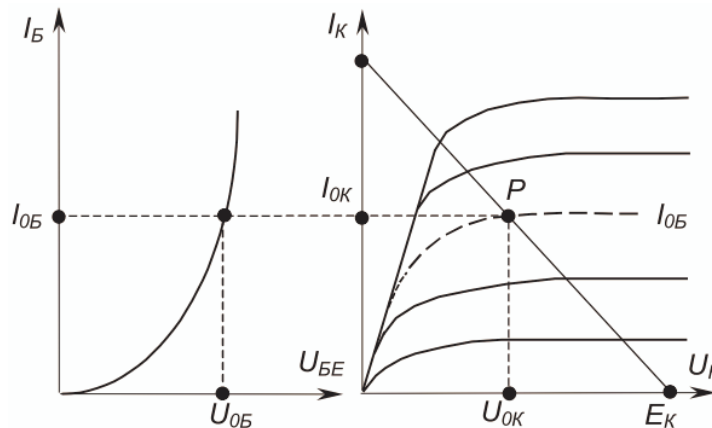


Рис. 5 – Динамічні характеристики транзистора за постійним струмом: а – вхідна, б – вихідна

Знайшовши величину $I_{0Б}$ і користуючись вхідною характеристикою транзистора (рис. 5,а), визначають $U_{0Б}$. Після цього знаходять $R_Б$:

$$R_Б = \frac{E_{зм} - U_{0Б}}{I_{0Б}}.$$

Схему зміщення фіксованим струмом бази за наявності одного джерела напруги зображено на рис. 6. Режим спокою забезпечується напругою джерела $E_К$ і опором $R_Б$:

$$R_Б = \frac{E_К - U_{0Б}}{I_{0Б}}$$

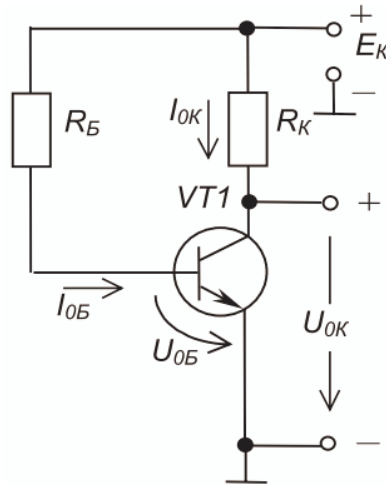


Рис. 6 – Зміщення за одного джерела напруги

Спосіб задання зміщення фіксованою напругою реалізується дільником напруги, як показано на рис. 7 – резистори R_1 і R_2 . Для розрахунку параметрів дільника використовують такі співвідношення:

$$R_1 = \frac{E_K - U_{0B}}{I_{0B} + I_{\partial}};$$

$$R_2 = \frac{U_{0B}}{I_{\partial}};$$

$$I_{\partial} = (2 \div 5)I_{0B}.$$

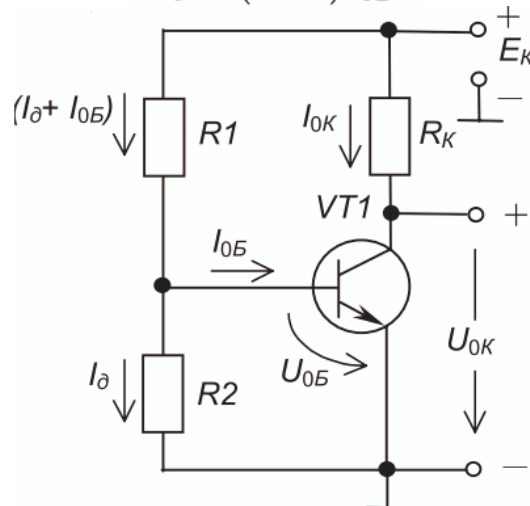


Рис. 7 – Зміщення фіксованою напругою

Остання схема знайшла найширше використання при побудові підсилюючих каскадів.

Температурна стабілізація підсилювачів

Як впливає із попередніх викладів, положення точки спокою на вихідній характеристиці залежить від коефіцієнта передачі транзистора за струмом ($I_{0K} = bI_{0B}$). При підвищенні температури навколишнього середовища він зростає, при зниженні – зменшується. В результаті

положення точки спокою транзистора змінюється залежно від температури навколишнього середовища або при заміні транзистора на інший (коефіцієнти передачі різних екземплярів транзисторів навіть одного типу можуть суттєво різнитися).

Переміщення (дрейф) точки спокою зі змінами температури навколишнього середовища показано на рис. 8.

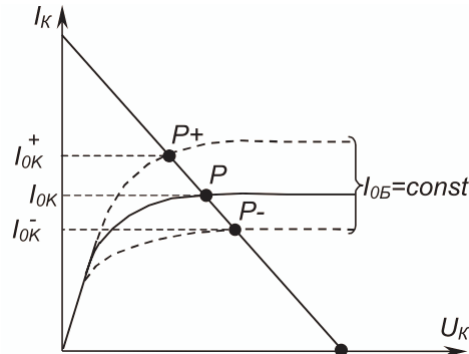


Рис. 8 – Температурний дрейф точки спокою транзистора

Щоб забезпечити температурну стабілізацію режиму спокою, застосовують так звані кола температурної стабілізації.

У підсилювачах за схемою з СЕ для цього послідовно із емітером транзистора вмикається резистор R_E , шунтований конденсатором C_E , як показано на рис. 9.

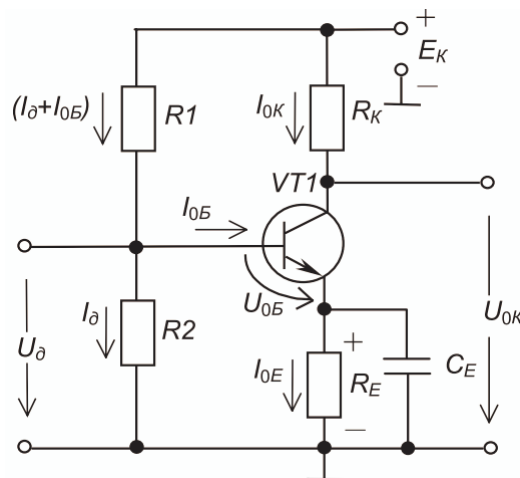


Рис. 9 – Підсилювач із температурною стабілізацією

Розглянемо, яким чином резистор R_E стабілізує режим спокою, скориштувавши рівняння $U_d = U_{0B} + I_{0E} R_E$ звідки $U_{0B} = U_d - I_{0E} R_E$, а також тим, що $U_d = \text{const}$ (задається ділянкою R_1, R_2 і від температури не залежить).

Так, наприклад, при зростанні температури транзистора, збільшується його коефіцієнт передачі b , що призводить до зростання колекторного струму спокою $I_{0K} = b I_{0B}$, а отже, і струму емітера $I_{0E} = (I_{0K} + I_{0B})$.

Падіння напруги на R_E збільшується, викликає зменшення U_{0B} , що, у свою чергу, зменшить I_{0B} , а значить і I_{0K} (приблизно до попереднього значення).

Таким чином, спроба відхилення I_{0K} від заданого значення припиняється за рахунок наявності у схемі R_E , що у даному випадку здійснює негативний зворотний зв'язок за струмом.

Зрозуміло, що при зменшенні температури струм I_{0K} також практично не змінить свого значення.

Зазвичай задають $R_E = (0,1 \text{ , } 0,2)R_K$. Конденсатор C_E забезпечує виключення негативного зворотного зв'язку за вхідним сигналом. Його ємність визначається зі співвідношення $1/\omega_n C_E \ll R_E$, де ω_n – нижня межа діапазону робочих частот підсилюваного сигналу. Отже за змінним струмом резистор R_E є зашунтованим малим отвором C_E – маємо схему з СЕ. А за постійним струмом – це схема з негативним зворотним зв'язком.