

## 6.7. Каскади попереднього підсилення

### 6.7.1. Каскад попереднього підсилення на біполярному транзисторі з СЕ

Найбільш розповсюджена схема каскаду попереднього підсилення на біполярному транзисторі з СЕ наведена на рис. 6.13.

Розглянемо склад схеми та призначення елементів:

$VT1$  – біполярний транзистор – підсилюючий елемент;

$R_H$  – навантаження, на якому виділяється підсилений сигнал;

$R_K$  – колекторне навантаження транзистора за постійним струмом;

$E_K$  – джерело живлення каскаду (колекторного кола).

Вхідний сигнал, що підлягає підсиленню, подається на клеми (1) – (2):  $e_{дж}$  – джерело вхідного сигналу;  $R_{дж}$  – його внутрішній опір.

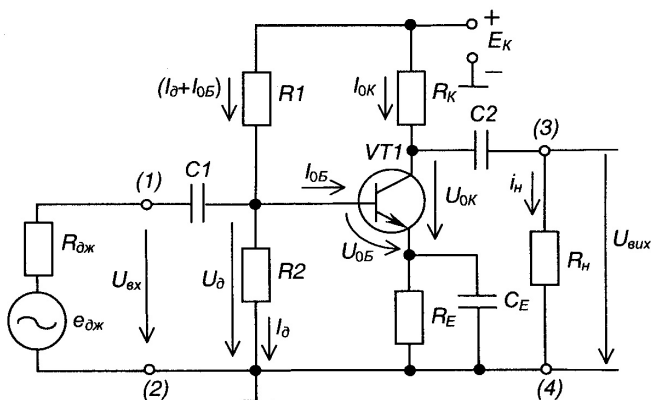


Рис. 6.13 – Каскад попереднього підсилення на біполярному транзисторі з СЕ

Значимо:  $VT1$  разом із  $R_K$  і  $E_K$  утворюють головне коло підсилювача, у якому здійснюється підсилення сигналу. Решта елементів схеми виконують допоміжну роль. Так, дільник напруги  $R_1$

–  $R_2$  задає режим спокою класу  $A$ , подаючи на вхід каскаду постійну напругу  $U_0$ .  $R_E$ ,  $C_E$  – забезпечують температурну стабілізацію режиму спокою транзистора.  $C_1$ ,  $C_2$  – розділяючі конденсатори:  $C_1$  виключає потрапляння постійної напруги  $U_0$  на джерело вхідного сигналу;  $C_2$  виключає потрапляння постійної напруги на колекторі  $U_{0K}$  до навантаження (конденсатори розділяють кола за постійним струмом і з'єднують за змінним).

Для схеми необхідно дотримуватись таких співвідношень:

$$\frac{1}{\omega_n C_1} \ll R_{вх}; \quad \frac{1}{\omega_n C_2} \ll R_n; \quad \frac{1}{\omega_n C_E} \ll R_E,$$

де  $\omega_n$  – нижня межа діапазону частот підсилюваного сигналу.

Навантаження каскаду за змінним струмом рівне:

$$R_{n\approx} = \frac{R_H R_K}{R_H + R_K}. \quad (6.11)$$

Роботу каскаду ілюструють часові діаграми, наведені на рис. 6.14.

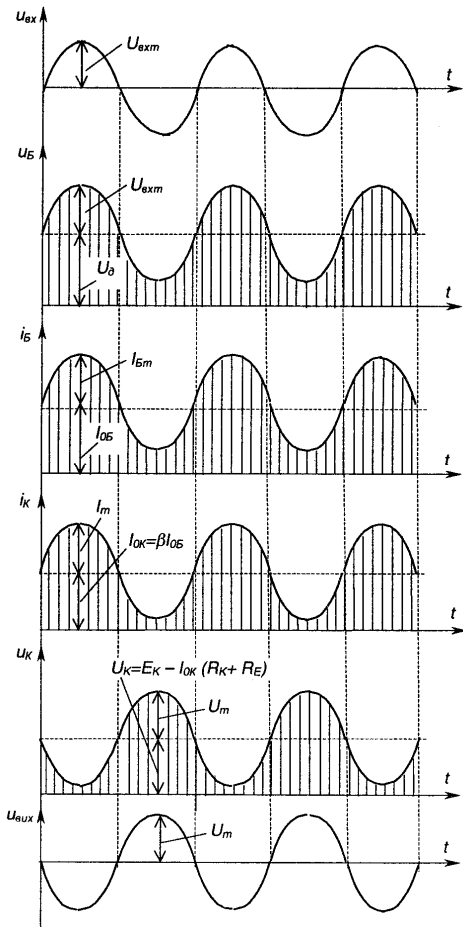


Рис. 6.14 – Часові діаграми роботи каскаду підсилення з СЕ

З рисунка видно, що, наприклад, при позитивній півхвилі вхідної напруги із зростанням базового струму  $i_B$  зростає і колекторний струм  $i_K$  який у  $\beta$  разів більший за  $i_B$ . При цьому колекторна напруга  $u_K$  що дорівнює різниці між  $E_K$  і спадом напруги на  $R_K$  знижується: у даній схемі поряд із підсиленням сигналу має місце зміна його фази на 180 електричних градусів (інверсія). Підсилювач можна розрахувати аналітично за допомогою  $h$ -параметрів або на підставі фізичної моделі транзистора. Такий метод використовується за невеликих змін вхідного сигналу, тобто коли транзистор працює на лінійній ділянках ВАХ.

Більш універсальним є графоаналітичний метод, при якому розрахунок проводиться за вихідною динамічною характеристикою транзистора за постійним струмом. Крім того, використовуються вихідні статичні характеристики транзистора.

На рис. 6.15, а зображено вхідну характеристику транзистора, на рис. 6.15, б – вихідні статичні характеристики, на яких будується лінія навантаження за постійним струмом. Вона і є вихідною динамічною характеристикою за постійним струмом:

$$U_{KE} = E_K - I_K (R_K + R_E) . \quad (6.12)$$

Лінія навантаження будується за двома точками, що відповідають:

- режиму Н.Х. транзистора –  $U_{KE} = E_K$ , за  $I_K = 0$ ,
- режиму К.З. транзистора –  $I_K = E_K / (R_K + R_E)$ , за  $U_{KE} = 0$ .

*ab* – лінія навантаження за постійним струмом. За її допомогою знаходять положення точки спокою *P*, яка для режиму класу *A* має лежати посередині відрізка *ab*.

Із вхідної характеристики знаходимо значення  $U_{0Б}$ .

Тобто за допомогою лінії навантаження за постійним струмом, вхідної та вихідної характеристик транзистора знаходять параметри, що характеризують режим роботи транзистора за постійним струмом за  $U_{вх} = 0$  (у режимі спокою). Знаючи  $U_{0Е}$ , можна розрахувати параметри дільника напруги  $R_1 - R_2$ .

Щоб знайти вихідні параметри каскаду, необхідно використати лінію навантаження за змінним струмом.

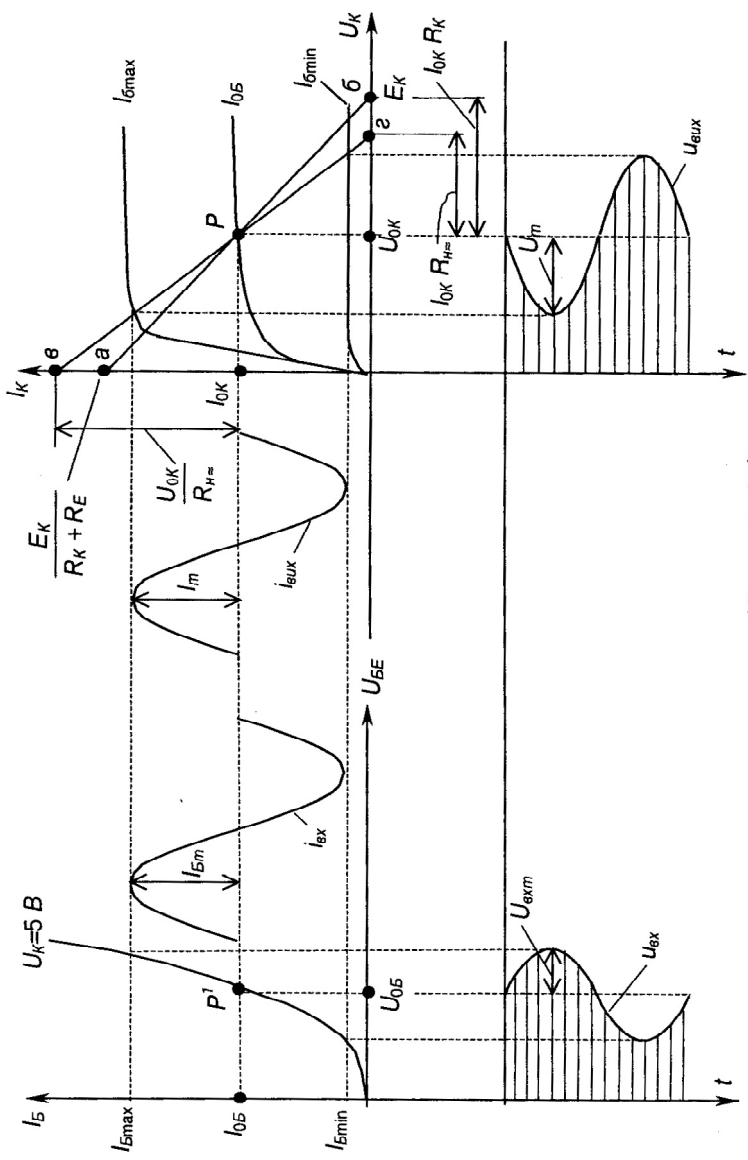


Рис. 6.15 – Вхідна (а) та вихідні статичні й динамічні (б) характеристики транзистора та часові залежності струмів і напруг

Виходячи з того, що

$$i_K = I_{0K} + I_m \sin \omega t , \quad (6.13)$$

$$u_K = U_{0K} + U_m \sin \omega t , \quad (6.14)$$

$$U_m = I_m R_n . \quad (6.15)$$

За виразом (6.13) знаходимо

$$I_m = \frac{i_K - I_{0K}}{\sin \omega t} . \quad (6.16)$$

Якщо у вираз (6.14) підставити (6.15) і (6.16) одержимо

$$u_K = U_{0K} - (i_K - I_{0K}) R_{H \approx} . \quad (6.17)$$

Вираз (6.17) і є вихідною динамічною характеристикою транзистора за змінним струмом.

За умови:  $u_K = U_{0K}$  маємо  $i_K = I_{0K}$ .

Для режиму Н.Х.:  $i_K = 0$ ,  $u_K = U_{0K} + I_{0K} R_H$ .

За цими точками будуюмо лінію  $вг$ , що характеризує роботу каскаду за змінним струмом. Для забезпечення максимального динамічного діапазону каскаду точка спокою  $P$  повинна знаходитись посередині відрізка  $вг$ .

Визначимо основні параметри каскаду.

1. Коефіцієнт підсилення за струмом

$$K_I = \frac{I_{nm}}{I_{exm}} = \frac{I_m R_K}{I_{Bm} (R_K + R_n)} = \beta \frac{R_K}{R_K + R_n} . \quad (6.18)$$

2. Коефіцієнт підсилення за напругою

$$K_U = \frac{U_{nm}}{U_{exm}} = \frac{I_m R_{n \approx}}{I_{Bm} R_{ex}} = \beta \frac{R_{n \approx}}{R_{ex}} . \quad (6.19)$$

Якщо вважати, що  $i_{ex} = I_B$  (без врахування дільника  $R_1 - R_2$ ), то

$$R_{ex} = \frac{u_{ex}}{i_{ex}}. \quad (6.20)$$

Нааявність дільника  $R_1 - R_2$  знижує вхідний опір. Зверніть увагу: відносно вхідного сигналу змінного струму резистори  $R_1$  і  $R_2$  виявляються увімкненими паралельно: від  $e_{дж}$  струм проходить не тільки через  $R_2$  (що очевидно), а й через  $R_1$  і далі через  $E_K$  (з опором, що дорівнює нулю – джерело напруги).

4. Вихідний опір каскаду  $R_{вих} = R_K$ , оскільки опір транзистора з боку колектора нескінченний (реально – сотні кілоом), як у джерела струму (див. розділ 2.4).

Для розрахунку каскаду необхідно дотримуватись певних обмежень:

- 1)  $I_{0K} = (1,05 \div 1,2) I_m$ ;
- 2)  $(I_{0K} + I_m) < I_{Kmax}$  (максимально-допустимого струму транзистора);
- 4)  $(U_{0K} + U_m) < U_{Kmax}$  (максимально-допустимої робочої напруги);
- 5)  $P_K = I_{0K} U_{0K} < P_{дон}$  (допустимої потужності).

Із розглянутого випливає, що для каскаду з СЕ:  $K_I \gg 1$ ,  $K_U \gg 1$  – його використовують, коли необхідно отримати найбільший коефіцієнт підсилення за потужністю.

Каскади з СЕ зручно сполучаються один з одним, оскільки їх вхідний і вихідні опори досить близькі.

### 6.7.2. Підсилюючий каскад з СК (емітерний повторювач)

Схема емітерного повторювача зображена на рис. 6.16.

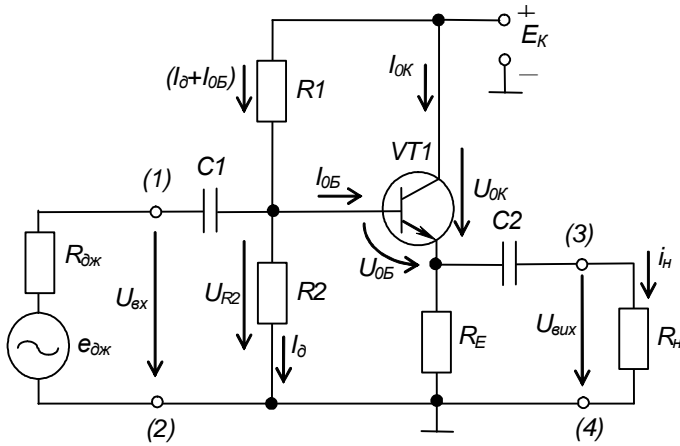


Рис. 6.16 – Емітерний повторювач

Тут  $R_E$  – навантаження підсилювача за постійним струмом, яке одночасно забезпечує температурну стабілізацію режиму спокою. Призначення решти елементів те ж, що й у схеми з СЕ.

Роботу каскаду ілюструють часові діаграми, наведені на рис. 3.17.

Зверніть увагу на те, що вихідна напруга співпадає за фазою з вхідною.

Оскільки у емітерного повторювача  $I_E$  приблизно дорівнює  $I_K$  графоаналітичний розрахунок його параметрів можна провести, використовуючи побудови, наведені у попередньому розділі.

Розглянемо параметри емітерного повторювача.

$$1. K_I = \frac{I_{вх}}{I_{Бм}} = \frac{I_E R_E}{(R_E + R_n) I_{Бм}} = (\beta + 1) \frac{R_E}{R_E + R_n} \gg 1.$$

$$2. K_U = \frac{U_{вхм}}{U_{вхт}} = \frac{U_{вхм}}{U_{вхм} + U_{BE}} \ll 1; U_{BE} \ll U_{вхм}, \text{ тому } K_U \approx 1.$$

$$3. R_{вх} = \frac{U_{вхт}}{I_{вхт}} = R_B + (\beta + 1)(R_E + R_{EB}).$$



$$4. R_{вих} = R_{EB} + \frac{R_B + R_{ож}}{\beta + 1} - \text{має невелике значення.}$$

де  $R_B$  – опір бази;  $R_E$  – опір у колі емітера;  $R_{EB}$  – опір емітерного переходу.

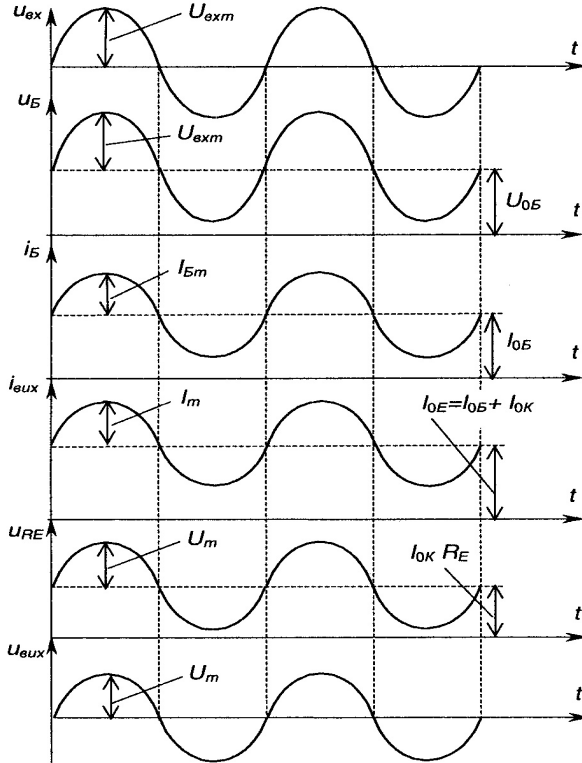


Рис.6.17 – Часові діаграми роботи емітерного повторювача

Якщо вважати, що  $R_E \rightarrow 0$  і  $R_{EB} \rightarrow 0$ , то  $R_{ex} = (\beta + 1)R_E$  – має велике значення.

Каскади з СК застосовують як узгоджувальні, коли джерело сигналу має великий  $R_{вих}$ , а навантаження (наприклад, каскад підсилення з СЕ) має малий  $R_{вх}$ .

Оскільки каскад не змінює фази і не підсилює напруги вхідного сигналу ( $K_U \approx 1$ ), тому його називають повторювачем.

### 6.7.3. Підсилюючий каскад з СБ

Схема підсилюючого каскаду з СБ зображена на рис. 6.18. Конденсатор  $C_3$  забезпечує підключення бази до спільної точки за змінним струмом. Призначення решти елементів те ж саме, що й у попередніх схемах. Роботу каскаду ілюструють часові діаграми, наведені на рис. 6.19.

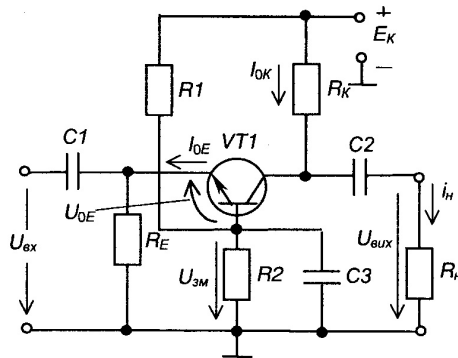


Рис. 6.18 – Підсилюючий каскад з СБ

Основні параметри каскаду:

$$1. K_I = \frac{I_{nm}}{I_{exm}} = \frac{I_{Km} R_K}{(R_K + R_n)} = \alpha \frac{R_K}{R_K + R_n} < 1.$$

$$2. K_U = K_I \frac{R_n}{R_{ex}} \gg 1, \text{ тобто } K_I < 1, \quad K_U \gg 1.$$

$$3. R_{ex} = \frac{U_{exm}}{I_{Em}} - \text{малий.}$$

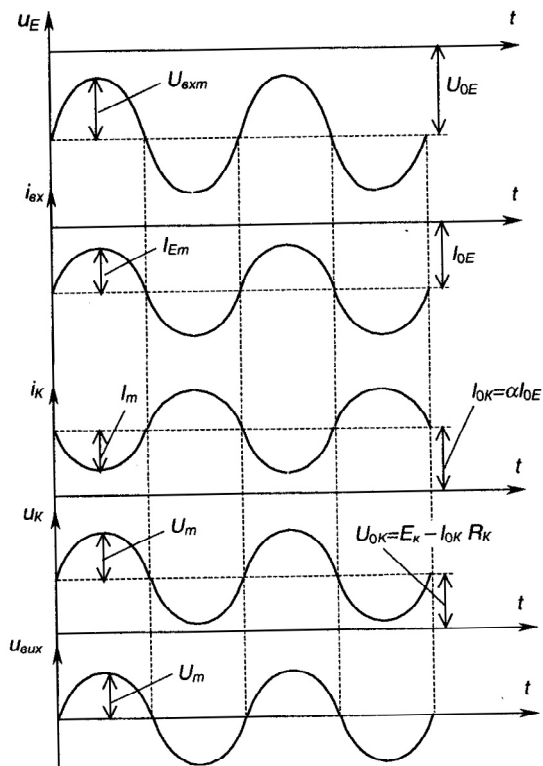


Рис. 6.19 – Часові діаграми роботи підсилюючого каскаду з СБ

Такі каскади використовують як узгоджувальні, коли джерело сигналу має малий  $R_{вих}$ , а навантаження – великий  $R_{вх}$ .