

# Підсилювач на біполярному транзисторі, включеному за схемою із спільним колектором

© Коломієць Р. О.

26.03.2020

Схема із загальним колектором — це інша схема включення біполярного транзистора. В цій схемі вхідний сигнал подається на базу, а вихідний знімається з емітера. Таким чином, колектор є загальним для вхідних і вихідних контурів. Цей тип схеми називається схемою із спільним колектором (СК), оскільки в ній колектор є “заземленим” або приєднаним безпосередньо до джерела живлення.

Багато в чому схема із спільним колектором є протилежною до схеми із спільним емітером. В ній опір навантаження підключений до емітера.

Схема із спільним колектором зазвичай використовується, коли вхідний сигнал береться від джерела з високим внутрішнім опором і передається на навантаження з низьким внутрішнім опором. В цьому випадку насамперед потрібне підсилення струму. Далі розглянемо загальну схему підсилювача зі спільним колектором.

## 1 Загальна схема включення БТ із СК

На рис. 1 показана загальна схема зі спільним колектором. Резистори  $R_1$  і  $R_2$  утворюють дільник напруги, який використовується для зміщення транзистора типу  $n-p-n$  в область провідності. Оскільки

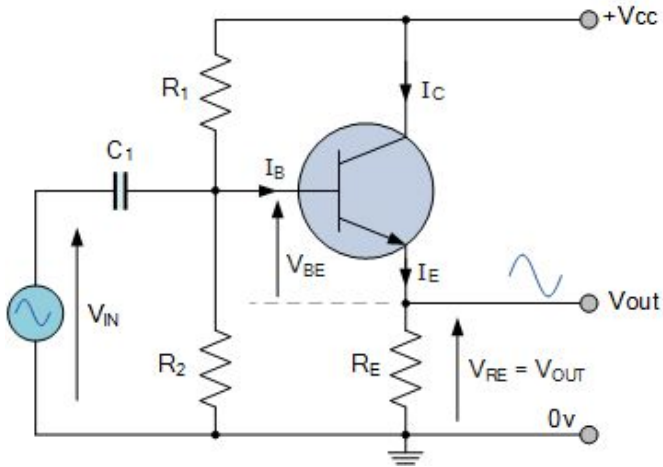


Рис. 1 – Схема із спільним колектором

цей дільник напруги злегка навантажує транзистор, базову напругу  $V_b$  можна легко обчислити, використовуючи вже відому формулу для дільника напруги (рис. 2).

Якщо колектор транзистора підключений безпосередньо до напруги живлення  $V_{CC}$  і опор на колекторі відсутній ( $R_C = 0$ ), то будь-який струм колектора буде призводити до появи падіння напруги на резисторі  $R_e$ . Однак у загальній схемі підсилювача із СК

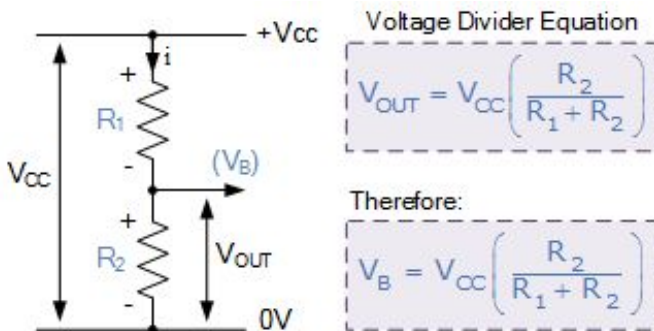


Рис. 2 – Дільник напруги

той же перепад напруги  $V_e$  також представляє собою вихідну напругу,  $V_{OUT}$ .

В ідеалі ми хотіли б, щоби падіння напруги постійного струму на  $R_e$  дорівнював половині напруги живлення, а  $V_{CC}$  забезпечувало б положення робочої точки транзистора десь посередині кривих вихідних характеристик, що дозволило б отримати максимальний вихідний сигнал. Таким чином, вибір значення  $R_e$  сильно залежить від струму бази  $I_b$  та коефіцієнта підсилення по струму транзистору  $\beta$ .

Оскільки  $p$ - $n$ -перехід база-емітер зміщений у прямому напрямку, струм бази протікає через до емітера, що стимулює роботу транзистора, викликаючи набагато більший струм колектора,  $I_c$ . Таким чином, струм емітера являє собою суперпозицію базового струму і струму колектора:

$$I_e = I_b + I_c.$$

Однак, оскільки базовий струм надзвичайно малий порівняно зі струмом колектора, то струм емітера приблизно такий, як і струм колектора. Таким чином  $I_e \approx I_c$ .

Як і в схемі підсилювача спільним емітером (СЕ), вхідний сигнал подається на базу транзистора, і, як ми говорили раніше, вихідний сигнал отримується з емітера. Однак, оскільки між базою та емітером є лише один зміщений у прямому напрямку  $p$ - $n$ -перехід, будь-який вхідний сигнал, поданий на базу, проходить безпосередньо через з'єднання між колектором та емітером. Тому вихідний сигнал у даній схемі знаходиться у тій же фазі, що і вхідний сигнал на базі.

Оскільки вихідний сигнал підсилювача приймається з емітерного навантаження, то такий тип транзисторної схеми також відомий як "емітерний повторювач", оскільки вихід емітера "слідuje" або відслідковує будь-які зміни напруги вхідного сигналу на базі, за винятком того, що залишається близько 0,7 вольт ( $V_{be}$ ) нижче базової напруги. Таким чином,  $V_{IN}$  і  $V_{OUT}$  є синфазними, тобто такими, що мають нульову різницю фаз між вхідним і вихідним сигналами.

Важливо відзначити, що емітерні  $p$ - $n$ -переходи ефективно виконують роль діода, зміщеного у прямому напрямку, і для малих

вхідних сигналів змінного струму цей діодний перехід має опір, що приблизно дорівнює

$$r'_e = \frac{25mV}{I_e},$$

де 25 мВ — теплова напруга переходу при кімнатній температурі (25 °С) і  $I_e$  — струм емітера. При збільшенні струму емітера його опір зменшується на пропорційну величину.

Струм бази, який протікає через внутрішній опір переходу база-емітер, також витікає і через зовнішньо підключений емітерний резистор  $R_e$ . Ці два опори з'єднані між собою, і, таким чином, вони діють як дільник напруги. Оскільки значення  $r'_e$  дуже мале, а  $R_e$  набагато більше (як правило, в діапазоні кілоОм (кОм)), то величина вихідної напруги підсилювача менша, ніж його вхідна напруга. Однак насправді величина вихідної напруги (пік-пік), як правило, становить від 98 до 99% значення вхідної напруги.

## 2 Підсилення у схемі із спільним колектором

Ми можемо обчислити коефіцієнт підсилення напруги для схеми із спільним колектором, використовуючи формулу дільника напруги, якщо припустити, що базова напруга  $V_b$  — це вхідна напруга  $V_{IN}$ :

$$A_V = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}.$$

Але

$$V_{OUT} = \frac{V_{IN} \times R_e}{r'_e + R_e},$$

тоді

$$A_V = \frac{I_e \times R_e}{I_e \times (r'_e + R_e)}.$$

Оскільки  $R_e \gg r'_e$ , то  $r'_e + R_e \approx R_e$ , і в останній формулі струми емітера скорочуються, то

$$A_V = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R_e}{R_e} \approx 1.$$

Таким чином, схема із спільним колектором не може забезпечити посилення напруги, і з цієї причини як підсилювач напруги не використовується. Тому така схема є підсилювачем струму або неінвертуючим підсилювачем напруги з близьким до одиниці коефіцієнтом підсилення.

### 3 Приклад розрахунку схеми із спільним колектором

**Задача.** Підсилювач на біполярному  $n$ - $p$ - $n$ -транзисторі, включеному по схемі із спільним колектором має дільник напруги з  $R_1 = 5,6 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 6,8 \text{ k}\Omega$  і напруга живлення становить 12 вольт. Обчисліти значення:  $V_b$ ,  $V_c$  і  $V_e$ , а також струм емітера  $I_e$ , внутрішній опір емітера  $r'_e$  та коефіцієнт підсилення по напрузі  $A_V$  при використанні опору навантаження  $R_L = 4,7 \text{ k}\Omega$ .

**Розв'язання.** 1. Напруга зміщення на базі:

$$I = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{12}{5600 + 6800} = 968 \text{ }\mu\text{A},$$

$$V_b = I \times R_2 = 968 \times 10^{-6} \times 6800 = 6,5 \text{ V}.$$

2. Напруга колектора  $V_C$ . Оскільки опору навантаження колектора немає, колектор транзистора підключається безпосередньо до напруги живлення постійного струму, тому  $V_C = V_{CC} = 12$  вольт.

3. Напруга зміщення емітера  $V_e$ :

$$V_e = V_b - V_{be} = 6,5 - 0,7 = 5,8 \text{ V},$$

тоді

$$V_{ce(OFF)} = V_{CC} - V_e = 12 - 5,8 = 6,2 \text{ V}.$$

4. Струм емітера  $I_e$ :

$$I_e = \frac{V_e}{R_e} = \frac{5,8}{4700} = 0,00123 = 1,23 \text{ mA}.$$

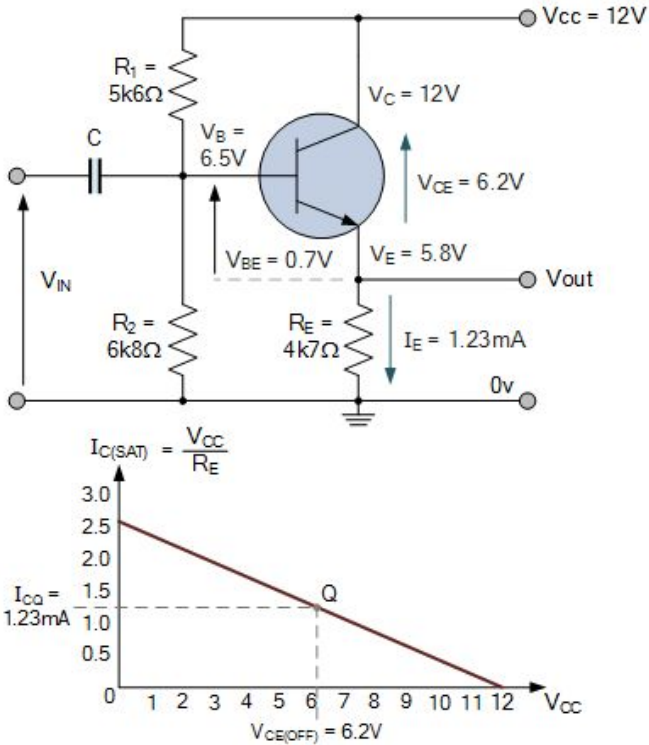


Рис. 3 – Повна схема підсилювача і навантажувальна пряма

5. Емітерний опір змінному струму (або диференціальний опір емітера)  $r'_e$ :

$$r'_e = \frac{25 \text{ mV}}{I_e} = \frac{25 \text{ mV}}{1,23 \text{ mA}} = 20,3 \Omega.$$

6. Підсилення по напрузі  $A_V$ :

$$A_V = \frac{R_e}{r'_e + R_e} = \frac{4700}{20,3 + 4700} = 0,996, \quad \text{or} \quad 99,6\%.$$

Повна схема підсилювача разом із навантажувальною прямою представлена на рис. 3.

## 4 Імпеданс схеми із спільним колектором

Хоча схема із спільним колектором — не дуже хороший підсилювач в тому сенсі, що він не є підсилювачем напруги, оскільки, як ми бачили, його невеликий коефіцієнт посилення напруги сигналу приблизно дорівнює одиниці, але менший за неї, проте він є дуже хорошим буферним колом напруги завдяки його високому вхідному ( $Z_{IN}$ ) і низькому вихідному ( $Z_{OUT}$ ) імпедансам, що забезпечує ізоляцію (розв'язку) між джерелом вхідного сигналу та опором навантаження.

Ще одна корисна особливість схеми із спільним колектором полягає в тому, що вона забезпечує посилення струму ( $A_i$ ) доти, доки вистачає потужності джерела живлення. Тобто він може пропускати великий струм, що протікає від колектора до емітера, у відповідь на невелику зміну базового струму  $I_b$ . Цей струм якби “бачить” лише  $R_e$ , оскільки немає  $R_c$ . Тоді постійний струм дорівнює  $V_{CC}/R_e$ , і може бути великим, якщо опір  $R_e$  невеликий.