

# Підсилювач на біполярному транзисторі, включеному за схемою із спільною базою

© Коломієць Р. О.

30.03.2020

У схемі із спільною базою (СБ) база транзистора є загальним виводом як для вхідних, так і вихідних сигналів. Схема із спільною базою менш поширена, ніж схема із спільним емітером (СЕ) або спільним колектором (СК), але використовується завдяки своїм .

Щоб схема із СБ працювала як підсилювач, вхідний сигнал подається на емітер, а вихідний береться з колектора. Таким чином, струм емітера є вхідним струмом, а струм колектора — вихідним. Оскільки біполярний транзистор є тришаровою структурою з двома  $p$ - $n$ -переходами, він повинен бути правильно зміщений, щоб працювати як підсилювач. Для цього перехід база–емітер повинен бути зміщеним у прямому напрямку.

## 1 Загальні властивості схеми із спільною базою

Як ми бачимо із загального вигляду схеми зі спільною базою (рис. 1), вхідні сигнали — струм емітера  $I_E$  та напруга база–емітер  $V_{BE}$ , а вихідні сигнали — струм колектора  $I_C$  та напруга база–колектор  $V_{CB}$ .

Оскільки струм емітера  $I_E$  є вхідним струмом, то будь-які зміни вхідного струму будуть створювати відповідні зміни вихідного

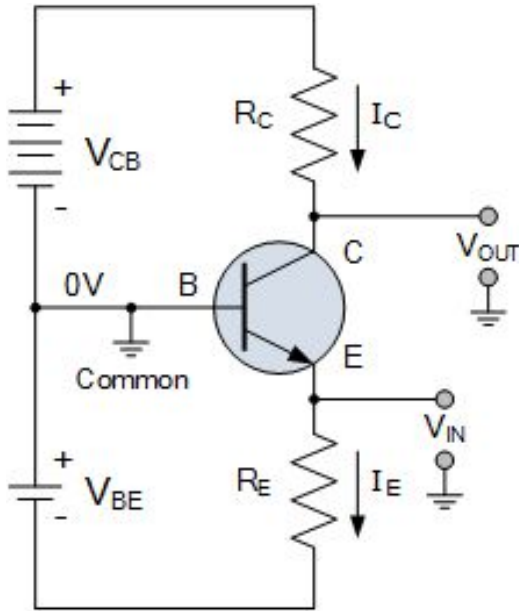


Рис. 1 – Загальний вигляд схеми із спільною базою

струму — струму колектора  $I_C$ . Для схеми із спільною базою підсилення по струму  $A_i$  задається як  $i_{OUT}/i_{IN}$ , що визначається формулою  $I_C/I_E$ . Підсилення для схеми із СБ традиційно позначається літерою  $\alpha$ .

У підсилювачі на БТ струм емітера завжди більший за струм колектора, оскільки  $I_E = I_B + I_C$ , тому коефіцієнт посилення струму  $\alpha$  у схемі зі спільною базою повинен бути меншим одиниці, оскільки  $I_C$  завжди менше значення  $I_E$  на значення  $I_B$ . Таким чином, підсилювач по схемі із СБ послаблює струм з типовими значеннями  $\alpha$  в межах від 0,980 до 0,995.

Між трьома транзисторними струмами можна вказати наступну електричну залежність:

$$\begin{aligned}
 I_E &= I_B + I_C \quad \Rightarrow \\
 \Rightarrow \alpha &= \frac{I_C}{I_E} \quad \text{and} \quad \beta = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow \\
 \Rightarrow I_C &= \alpha \times I_E = \beta \times I_B \Rightarrow
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}; \quad \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}.$$

Оскільки у БТ звичайне значення  $\beta$  становить порядку 100, то коефіцієнт підсилення по струму у схемі із спільною базою буде дещо меншим за одиницю:

$$A_i = \frac{i_{IN}}{i_{OUT}} = \frac{\beta}{\beta + 1} \approx 1.$$

Оскільки схема із СБ не може працювати як підсилювач струму ( $A_i \approx 1$ ), тому він повинен мати можливість працювати як підсилювач напруги. Коефіцієнт підсилення напруги для схеми із СБ — це відношення  $V_{OUT}/V_{IN}$ , тобто напруги колектора  $V_C$  до напруги емітера  $V_E$ . Іншими словами,  $V_{OUT} = V_C$  і  $V_{IN} = V_E$ .

Оскільки вихідна напруга  $V_{OUT}$  розподіляється по опорі колектора  $R_C$ , то вихідна напруга, отже, повинна бути функцією  $I_C$ , відповідно до закону Ома:  $V_{RC} = I_C \times R_C$ . Отже, будь-яка зміна  $I_E$  матиме відповідну зміну в  $I_C$ .

Тоді для схеми із спільною базою можна сказати, що:

$$A_V = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{V_C}{V_E} = \frac{I_C \times R_C}{I_E \times R_E}.$$

Враховуючи, що  $\frac{I_C}{I_E} = \alpha$ , останній вираз можна переписати так:

$$A_V = \alpha \frac{R_C}{R_E} = A_i \frac{R_C}{R_E}.$$

Таким чином, підсилення напруги більш-менш дорівнює відношенню опорів колектора до опорів емітера. Однак у БТ є один  $p$ - $n$ -перехід між базою і емітером, що спричиняє те, що називається транзисторним динамічним опором емітера  $r'_e$ .

Для вхідних сигналів змінного струму  $p$ - $n$ -перехід має ефективний опір  $r'_e = 25 \text{ mV}/I_E$ , де 25 мВ — теплова напруга  $p$ - $n$ -переходу, а  $I_E$  — струм емітера. Таким чином, при збільшенні струму, що проходить через емітер, його опір зменшиться на пропорційну величину.

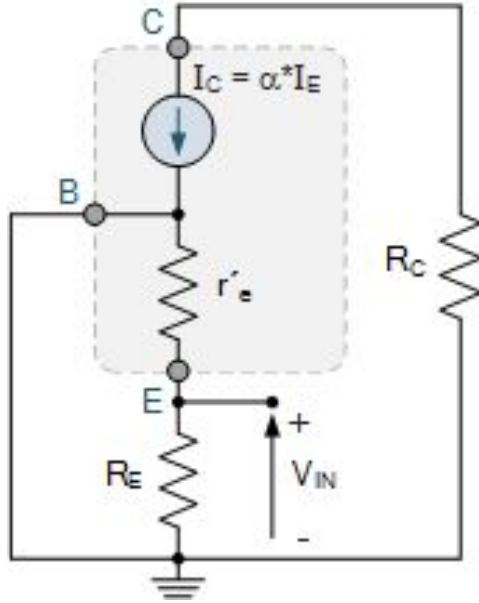


Рис. 2 – Еквівалентна схема транзистора в схемі із СБ

Частина вхідного струму протікає через цей внутрішній опір переходу база–емітер до бази, а також через зовнішньо підключений емітерний резистор,  $R_E$  (рис. 2). Для малосигнального аналізу ці два опори з'єднані паралельно один одному.

Оскільки значення  $r'_e$  дуже мале, а  $R_E$  зазвичай набагато більше (як правило, в діапазоні кількох кілом), то величина підсилення напруги динамічно змінюється з різними рівнями струму емітера.

Таким чином, якщо  $R_E \gg r$ , то справжнє підсилення по напрузі у схемі із спільною базою буде:

$$A_V = \alpha \frac{R_E}{r'_e} = A_i \frac{R_E}{r'_e}.$$

Враховуючи та, що в схемі із СБ  $A_i \approx 1$ , можна записати:

$$A_V = \frac{R_E}{r'_e}.$$

Так, якщо, наприклад, струм в 1 мА протікав би через перехід емітер–база, то його динамічний опір становив би  $25 \text{ мВ} / 1 \text{ мА} =$

25 Ом. Коефіцієнт підсилення  $A_V$  для опору навантаження на колекторі 10 кОм становитиме:  $10000 / 25 = 400$ , і чим більше струм, який протікає через перехід, тим меншим стає його динамічний опір і чим більший приріст напруги.

Крім того, чим вище значення опору навантаження, тим більше підсилення напруги. Однак у практичній схемі підсилювача зі спільною базою навряд чи буде використовуватися опір навантаження, що перевищує приблизно 20 кОм, і тому типові значення коефіцієнта підсилення напруги в цій схемі становлять приблизно від 100 до 2000, залежно від значення  $R_C$ . Зауважте, що коефіцієнт підсилення по потужності підсилювача зі СБ приблизно такий же, як його підсилення по напрузі.

Оскільки підсилення по напрузі у схемі зі СБ залежить від співвідношення двох значень опорів, то з цього випливає, що між емітером і колектором не відбувається інверсії фаз. Таким чином, форми вхідної та вихідної хвиль є подібними між собою, фаза сигналу в цій схемі не інвертується.

## 2 Вхідний та вихідний опори в схемі із спільною базою

Однією з цікавих характеристик схеми із СБ є співвідношення вхідних та вихідних імпедансів, яке ще називається “підсиленням опору” підсилювачів, основне властивість якого робить можливим власне підсилення. Вище ми бачили, що вхід підключений до емітера, а вихід — від колектора.

Між вхідним і заземлюючим виводами є два можливі паралельні резистивні шляхи. Один через опір емітера  $R_E$  до заземлення, тобто через  $r'_e$ , а через базу до заземлення. Таким чином, ми можемо сказати, що

$$Z_{IN} = R_E \parallel r'_e.$$

Але, оскільки динамічний опір емітера  $r'_e$  є дуже малим порівняно з  $R_E$  ( $r'_e \ll R_E$ ), то це призводить до низького вхідного опору, який приблизно дорівнює  $Z_{IN} \approx r'_e$ .

Отже, для схеми із СБ вхідний опір дуже низький, і залежно від значення опору джерела  $R_S$ , підключеного до емітера, значення вхідного опору можуть коливатися від 10 Ом до 200 Ом. Низький вхідний опір схеми із СБ є однією з головних причин його обмеженого застосування як одноступеневого підсилювача.

Однак вихідний опір підсилювача зі СБ може бути високим залежно від опору колектора, який використовується для керування підсиленням напруги та підключеного зовнішнього опору навантаження  $R_L$ . Якщо опір навантаження підключено паралельно до опору колектора, тоді

$$Z_{OUT} = R_C \parallel R_L.$$

Але якщо  $R_L$  дуже великий порівняно з  $R_C$ , то опором колектора можна знехтувати і тоді вихідний опір  $Z_{OUT} = R_C$ .

Оскільки вихідний опір підсилювача зі спільною базою може бути дуже великим, то така схема працює майже як ідеальне джерело струму, приймаючи вхідний струм з боку низького вхідного опору і направляючи струм на високий вихідний опір. Тому схема із спільною базою також називається буфером струму.