

2. ТРАНЗИСТОРИ

Транзистором називається електроперетворювальний НП прилад, який має один або декілька $p-n$ переходів, три або більше виводів і здатний посилювати потужність електричного сигналу. Загальні теоретичні відомості про транзистори наведені в [1, с.32-62].

Транзистори прийнято поділяти на групи за діапазонами використовуваних частот (f_{cp}) і потужностей (P_{max}):

f_{cp}	P_{max}
Низькочастотні: $f_{cp} \leq 3\text{МГц}$	Малої потужності: $P_{max} \leq 0,3\text{Вт}$
Середньочастотні: $3\text{МГц} < f_{cp} \leq 30\text{МГц}$	Середньої потужності: $0,3 < P_{max} \leq 1,5\text{Вт}$
Високочастотні: $f_{cp} > 30\text{МГц}$	Великої потужності: $P_{max} > 1,5\text{Вт}$

Рівняння для струмів транзистора в усталеному режимі має вид:

$$I_E = I_B + I_K. \quad (2.1)$$

Зв'язок між струмом емітера і струмом колектора характеризується коефіцієнтом передачі струму, що вказує, яка частка повного струму через емітерний перехід досягає колектора

(передається до нього з емітера):

$$\alpha = \frac{I_K}{I_E}. \quad (2.2)$$

Для сучасних транзисторів $\alpha = 0,9 \div 0,995$.

Залежно від того, який електрод є спільним для вхідного і вихідного кіл, як це показано на рис.

2.1, розрізняють три схеми вмикання транзисторів:

- зі спільною базою – з СБ;
- зі спільним емітером – з СЕ;
- зі спільним колектором – з СК.

Слід зазначити, що основні схеми вмикання розглядаються для сигналу напруги змінного струму.

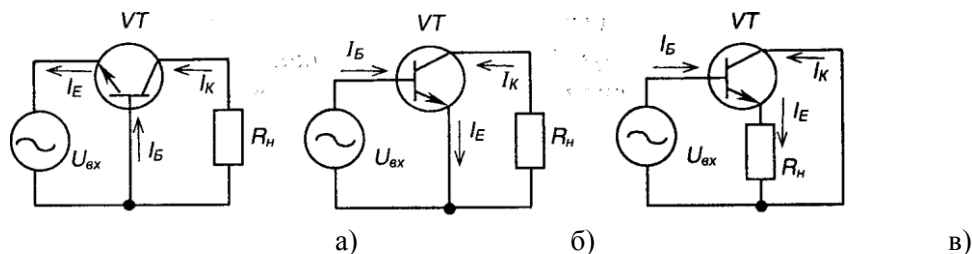


Рис. 2.1 - Схеми вмикання транзистора: а) з СБ; б) з СЕ; в) з СК

У схемі з СБ: I_E – вхідний струм, I_K – вихідний, передатність струму:

- статична – $\alpha = \frac{I_K}{I_E}; \quad (2.3)$

- динамічна – $\alpha_{дин} = \frac{dI_K}{dI_E} | U_{KB} = const. \quad (2.4)$

У схемі з СЕ: I_B – вхідний струм, I_K – вихідний, передатність струму:

- статична – $\beta = \frac{I_K}{I_B} = \frac{I_K \cdot I_E}{(I_E - I_K) \cdot I_E} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}; \quad (2.5)$

- динамічна – $\beta = \frac{dI_K}{dI_B} | U_{K\delta} = const. \quad (2.6)$

У схемі з СК: I_B – вхідний струм, I_K – вихідний, передатність струму: $\frac{I_E}{I_B} = \frac{1}{1 - \alpha} = 1 + \beta.$

(2.7)

Для аналітичного розрахунку транзисторів користуються системою h -параметрів. Значення коефіцієнтів h знаходять під час створення режимів неробочого ходу (Н.Х.) на вході чотириполосника і короткого замикання (К.З.) на виході за змінною складовою струму.

Із режиму Н.Х. на вході, коли $I_1 = 0$, $\Delta I_1 = 0$, можуть бути визначені:

$$h_{12} = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2}, \text{ за } I_1 = 0 \text{ – коефіцієнт зворотного зв'язку за напругою};$$

$$h_{22} = \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2}, \text{ за } I_1 = 0 \text{ – вихідна провідність транзистора.}$$

Із режиму К.З. на виході, коли $U_2 = 0$, можна визначити:

$$h_{11} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1}, \text{ за } U_2 = 0 \text{ – вхідний опір транзистора};$$

$$h_{21} = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1}, \text{ за } U_2 = 0 \text{ – коефіцієнт передачі за струмом.}$$

Величини U_1, I_1 є вхідними, а U_2, I_2 - вихідними. Значення h -параметрів наводяться у довідникових матеріалах на транзистори.

До основних параметрів біполярних транзисторів належать:

- максимально допустимий струм колектора I_{Kmax} , що в основному визначається перерізом виводів від кристалу НП, становить (0,01÷100)А;
- допустима робоча напруга U_{KEmax} , що визначається напругою лавинного пробою колекторного переходу, становить (20÷1000)В;
- допустима потужність на колекторі $P_K = I_K \cdot U_{KE}$, за її перевищення кристал розплавиться;
- коефіцієнт передачі струму $\beta = 20 \div 50$.

Основні формули та рівняння

Вхідний опір транзистора по змінному струму:

$$R_{ex} = \frac{\Delta U_{ex}}{\Delta I_{ex}} \quad (2.8)$$

Потужність втрат на колекторі:

$$P_K = I_K U_K \quad (2.9)$$

Коефіцієнт підсилення струму бази у схемі з СЕ:

$$h_{21E} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \quad (2.10)$$

Коефіцієнт передачі струму емітера у схемі з СБ:

$$h_{21B} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E} \quad (2.11)$$

Рівняння для побудови лінії навантаження транзистора:

$$U_{KE} = E_K - U_H = E_K - I_K R_K, \quad (2.12)$$

Лінія навантаження будується за двома точками, що відповідають:

- режиму неробочого ходу транзистора – $U_{KE} = E_K$, за $I_K = 0$,
- режиму короткого замикання транзистора – $I_K = E_K / R_K$, за $U_{KE} = 0$.

Таблиця 2.1 – Формули для розрахунку параметрів транзисторних схем

Пара- метр	Схема ввімкнення транзистора		
	СБ	СЕ	СК
K_I	$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$	$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$	$\frac{1}{1 - \alpha} = 1 + \beta$
K_U	$\alpha \frac{R_H}{R_{exB}}$	$\frac{R_H}{R_{exE}} \alpha \approx \frac{\beta R_H}{R_{exE}}$	1
$K_{P=} = K_U K_I$	$\alpha^2 \frac{R_H}{R_{exB}}$	$\frac{\alpha^2 R_H}{1 - \alpha R_{exE}} \approx \frac{\beta^2 R_H}{R_{exE}}$	$\frac{1}{1 - \alpha} = 1 + \beta$
$h_{11}, \text{ Ом}$	$\frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}}$	$\frac{h_{11B}}{1 + h_{21B}}$	$\frac{h_{11B}}{1 + h_{21B}} = h_{11E}$
h_{12}	$\frac{h_{11E} h_{22E} - h_{12E}}{1 + h_{21E}}$	$\frac{h_{11B} h_{22B} - h_{12B}}{1 + h_{21B}}$	1
h_{21}	$-\frac{h_{21E}}{1 + h_{21E}}$	$-\frac{h_{21B}}{1 + h_{21B}} = \beta$	$-\frac{1}{1 + h_{21B}} = -(h_{21E} + 1)$
$h_{22}, \text{ Ом}^{-1}$	$\frac{h_{22E}}{1 + h_{21E}}$	$\frac{h_{22B}}{1 + h_{21B}}$	$\frac{h_{22B}}{1 + h_{21B}} = h_{22E}$

Задачі для самостійного розв'язку

- Для транзистора КТ312А статичний коефіцієнт підсилення струму бази $\beta = 10 \div 100$. Визначити, у яких межах може змінюватися коефіцієнт передачі струму емітера α .
- Для транзистора ГТ312А статичний коефіцієнт підсилення струму емітера $\alpha = 0,95 \div 0,98$. Визначити у яких межах може змінюватися коефіцієнт передачі струму бази β .
- Для транзистора КТ339А, ввімкненого за схемою з СБ, при зміні струму емітера на 10мА струм колектора змінюється на 9,7мА. Визначити коефіцієнти підсилення за струмом для транзистора у схемі з СЕ.
- Для транзистора ГТ403А, ввімкненого за схемою з СЕ, струм колектора зміниться на 140мА, а струм емітера на 145мА. Визначити коефіцієнт підсилення струму бази.
- Розрахувати значення h -параметрів транзистора типу П416, ввімкненого за схемою з СБ, якщо відомі значення цих параметрів при ввімкненні транзистора за схемою з СЕ: $h_{11E} = 650 \text{ Ом}$; $h_{21E} = 40$; $h_{12E} = 32 \cdot 10^{-3}$; $h_{22E} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ См}$.
- Для транзистора КТ315А, ввімкненого за схемою з СЕ, вхідний опір за змінним струмом $R_{ex} = 160 \text{ Ом}$. Визначити вхідний опір транзистора за схемою з СБ, якщо коефіцієнт передачі струму емітера становить $h_{21B} = 0,96$.
- Розрахувати значення h -параметрів транзистора типу П416, ввімкненого за схемою з СК, якщо відомі значення цих параметрів при ввімкненні транзистора за схемою зі СЕ: $h_{11E} = 650 \text{ Ом}$; $h_{12E} = 32 \cdot 10^{-3}$; $h_{21E} = 40$; $h_{22E} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ См}$.
- Розрахувати значення h -параметрів транзистора типу ГТ322А, ввімкненого за схемою зі СБ, якщо відомі значення цих параметрів при ввімкненні транзистора за схемі з СЕ: $h_{11E} = 330 \text{ Ом}$; $h_{21E} = 56$; $h_{12E} = 1,6 \cdot 10^{-4}$; $h_{22E} = 62,5 \cdot 10^{-6} \text{ См}$.
- Розшифруйте умовне позначення транзисторів: 2П904, 2Т704Б, ГТ905А, КТ312А, КТ961?