

1. Класифікація і маркування транзисторів

Транзистором називається напівпровідниковий перетворювальний пристрій, який має не менше трьох виводів і здатний підсилювати потужність.

У біполярних транзисторах струм визначається рухом носіїв заряду двох типів: електронів і дірок. В біполярних транзисторах з допомогою тришарової напівпровідникової структури з напівпровідників різної електропровідності утворюються два р-п-переходи.

Існують дві тришарові структури з різним чергуванням ділянок з електронною і дірковою електропровідністю: діркова-електронна-діркова; ($p-n-p$) та електронна-діркова-електронна ($n-p-n$).

Класифікація транзистора здійснюється за наступними ознаками:

- за матеріалом напівпровідника:
 - германієві;
 - кремнієві.
- за типом провідності областей (тільки біполярні транзистори):
 - з прямою провідністю ($p-n-p$ -структура);
 - з оборотною провідністю ($n-p-n$ -структура).
- за принципом дії транзистори поділяються на біполярні і польові (уніполярні);
- за частотою:
 - низькочастотні: $f_{гр} \leq 3 \text{ МГц}$;
 - середньочастотні: $3 \text{ МГц} < f_{гр} \leq 30 \text{ МГц}$;
 - високочастотні: $30 \text{ МГц} < f_{гр} \leq 300 \text{ МГц}$;
 - надвисокочастотні: $f_{гр} > 300 \text{ МГц}$.
- за потужністю:
 - малої потужності: $P_{\max} < 0,3 \text{ Вт}$;
 - середньої потужності: $0,3 < P_{\max} \leq 1,5 \text{ Вт}$;
 - великої потужності: $P_{\max} > 1,5 \text{ Вт}$.

Маркування транзисторів проводиться згідно схеми, поданої на рис. 4.1.

Г	Т	313	А
К	П	103	Л
І	ІІ	ІІІ	ІV

І – матеріал напівпровідника: Г – германій, К – кремній; П – тип транзистора за принципом дії: Т – біполярні, П – польові; ІІІ – три або чотири цифри – група транзисторів за електричними параметрами. Перша

Рис. 4.1. Маркування транзисторів.

цифра показує частотні властивості і потужність транзистора у відповідності з нижче наведеною таблицею.

Р / f	< 3 МГц (НЧ)	3 – 30 МГц (СЧ)	> 30 МГц (ВЧ і НВЧ)
МП < 0,3 Вт	1	2	3
СП 0,3 – 3 Вт	4	5	6
ВП > 3 Вт	7	8	9

ІV – модифікація транзистора в 3-ій групі.

2. Будова біполярних транзисторів

Основою біполярного транзистора є кристал напівпровідника p - чи n -типу провідності, який також як і вивід від нього називається базою.

Дифузією домішки чи сплавленням з двох сторін від бази утворюються області з протилежним типом провідності, ніж база (рис. 4.2).

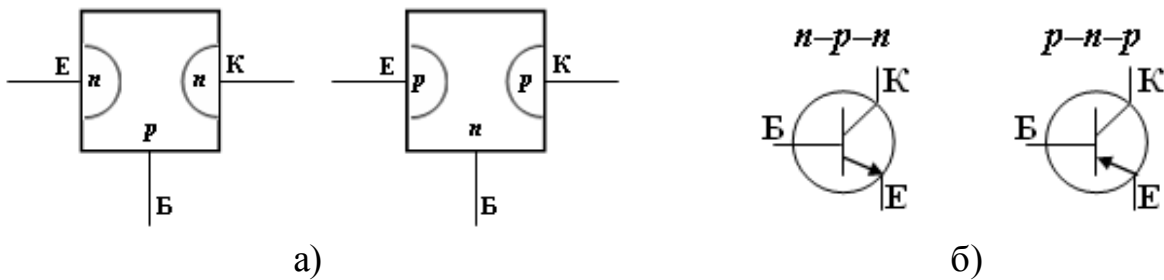


Рис. 4.2. Будова біполярного транзистора (а) та його схематичне позначення (б).

Область, яка має більшу площу p - n -переходу, і вивід від неї називається колектором. Область, яка має меншу площу p - n -переходу, і вивід від неї називається емітером. p - n -перехід між колектором і базою називається колекторним переходом, а між емітером і базою – емітерним переходом.

Напрямок стрілки в транзисторі показує напрям струму, що протікає в ньому.

Основною особливістю будови біполярних транзисторів є нерівномірність концентрації основних носіїв зарядів в емітері, базі і колекторі (рис. 4.3).

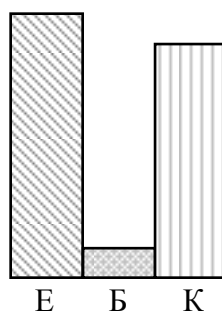


Рис. 4.3. Розподіл концентрації основних носіїв заряду в областях транзистора.

3. Принцип дії біполярних транзисторів

Залежно від способів увімкнення переходів емітер-база (е-б) та колектор-база (к-б) розрізняють чотири режими роботи транзистора:

- 1) активний режим: е-б - в прямому напрямі; к-б - в зворотному;
- 2) інверсний режим: е-б - в зворотному напрямі; к-б - в прямому;
- 3) режим відсічки - обидва переходи ввімкнені в зворотному напрямі;
- 4) режим насичення - обидва переходи ввімкнені в прямому напрямі.

Основний режим – активний. Він досягається відповідним ввімкненням джерел живлення. Розглянемо принцип дії біполярного транзистора *n-p-n*-типу, який працює в активному режимі роботи (рис. 4.4).

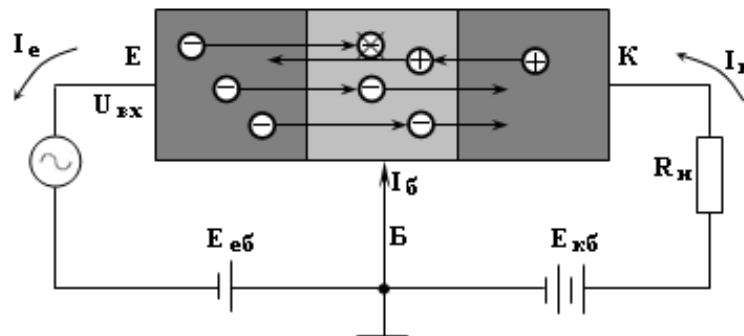


Рис. 4.4. Принцип роботи біполярного транзистора.

Оскільки емітерний перехід відкритий, то через нього буде протікати струм емітера, викликаний переходом електронів з емітера в базу і переходом дірок з бази в емітер. Отже, струм емітера буде мати дві складові – електронну I_{en} і діркову I_{ep} .

$$I_e = I_{en} + I_{ep}.$$

Ефективність емітера оцінюють коефіцієнтом інжекції:

$$\gamma = \frac{I_{en}}{I_e}. \quad (4.1)$$

Інжекцією зарядів називається перенесення носіїв з області, де вони були основними, в область, де вони стають неосновними. Оскільки $I_{en} \gg I_{ep}$, то $\gamma \approx 0,999$.

У базі електрони рекомбінують, а їх концентрація в базі поповнюється від “+” джерела $E_{eб}$, за рахунок чого в колі буде протікати дуже малий струм I_{δ} . Електрони, що залишилися і не встигли рекомбінувати в базі, під прискорюючою дією поля закритого колекторного переходу як неосновні носії будуть переходити в колектор, утворюючи струм колектора. Перехід носіїв з області, де вони були неосновними, в область, де вони стають основними, називається екстракцією зарядів. Ступінь рекомбінації носіїв заряду у базі оцінюється коефіцієнтом переходу носіїв заряду δ :

$$\delta = \frac{I_{\kappa n}}{I_{en}}. \quad (4.2)$$

Добуток коефіцієнта інжекції на коефіцієнт переходу

$$\delta \cdot \gamma = \frac{I_{\kappa n}}{I_{en}} \frac{I_{en}}{I_e} = \frac{I_{\kappa n}}{I_e} = \alpha \quad (4.3)$$

визначає коефіцієнт передачі струму транзистора чи коефіцієнт підсилення α за струмом.

З останньої рівності слідує, що $I_{\kappa n} = \alpha I_e$.

Коефіцієнт α є одним із основних параметрів транзистора і показує, яку частину емітерного струму I_e складає колекторний струм I_{κ} :

$$\alpha = \frac{I_{\kappa}}{I_e} = 0,90 \div 0,995. \quad (4.4)$$

Дірки з колектора, як неосновні носії зарядів, будуть переходити в базу, утворюючи оборотний струм колектора $I_{\kappa об}$:

$$I_{\kappa} = \alpha I_e + I_{\kappa об}. \quad (4.5)$$

Струм $I_{\kappa об}$ є уже малий, тому можна з достатньою для практики точністю вважати, що $I_{\kappa} = \alpha I_e$.

Крім струмів I_e і I_{κ} в транзисторі також необхідно враховувати бази I_{δ} , обумовлений рекомбінацією дірок з електронами бази. Оскільки за рахунок рекомбінації порушується електронейтральність бази, то для її відновлення, як уже зазначалося вище, від зовнішнього джерела $E_{eб}$ в базу надходять електрони, створюючи базовий струм I_{δ} .

Отже, емітерний I_e розгадується на дві складові – колекторний струм I_k і базовий струм $I_{\bar{o}}$, тобто:

$$I_e = I_k + I_{\bar{o}}. \quad (4.6)$$

Із (4.4) і (4.6) випливає, що

$$I_{\bar{o}} = (1 - \alpha) I_e. \quad (4.7)$$

Враховуючи, що через базу протікає також і струм оборотно зміщеного колекторного переходу, можна записати:

$$I_{\bar{o}} = (1 - \alpha) I_e - I_{\text{коб}}. \quad (4.8)$$

Вирази (4.5) і (4.6) показують, що струми в транзисторі пов'язані лінійними співвідношеннями.

Перетворимо ці вирази так, щоб встановити залежність між струмом колектора I_k і струмом бази $I_{\bar{o}}$. Для цього підставимо (4.6) в (4.5):

$$I_k = \alpha I_k + I_{\bar{o}} + I_{\text{коб}},$$

звідки слідує:

$$I_k = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_{\bar{o}} + \frac{I_{\text{коб}}}{1 - \alpha}. \quad (4.9)$$

Позначимо коефіцієнт передавання базового струму β :

$$\beta = \frac{I_k}{I_{\bar{o}}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}. \quad (4.10)$$

Тоді з виразу (4.9) маємо:

$$I_k = \beta I_{\bar{o}} + \frac{1 + \beta}{1} I_{\text{коб}} = \beta I_{\bar{o}} + I_{\text{коб}}, \quad (4.11)$$

де $I_{\text{коб}} = \frac{1}{1 + \beta} I_{\text{коб}}$.

Враховуючи, що $I_{\text{коб}}$ є малим порівняно з $\beta I_{\bar{o}}$, залежність струму колектора від струму бази може бути записана у вигляді: $I_k = \beta I_{\bar{o}}$. Коефіцієнт підсилення становить $\beta = 10 \div 300$ і більше. Його називають також коефіцієнтом підсилення транзистора.