

## 1. Статичні характеристики транзистора

Статичним режимом роботи транзистора називається такий режим, при якому зміна вхідного струму чи напруги не викликає зміни вихідної напруги.

Статичні характеристики транзисторів бувають двох видів:

а) вхідна – це залежність вхідного струму від вхідної напруги при постійній вихідній напрузі:  $I_{вх} = f U_{вх}$  при  $U_{вих} = const$ ;

б) вихідна – залежність вихідного струму від вихідної напруги при постійному вхідному струмі:  $I_{вих} = f U_{вих}$  при  $I_{вх} = const$ .

### *Статичні характеристики транзистора по схемі із загальною базою*

Статичні характеристики каскаду, включеного по схемі із ЗБ, вимірюються по загальній схемі, показаній на рис. 6.1.

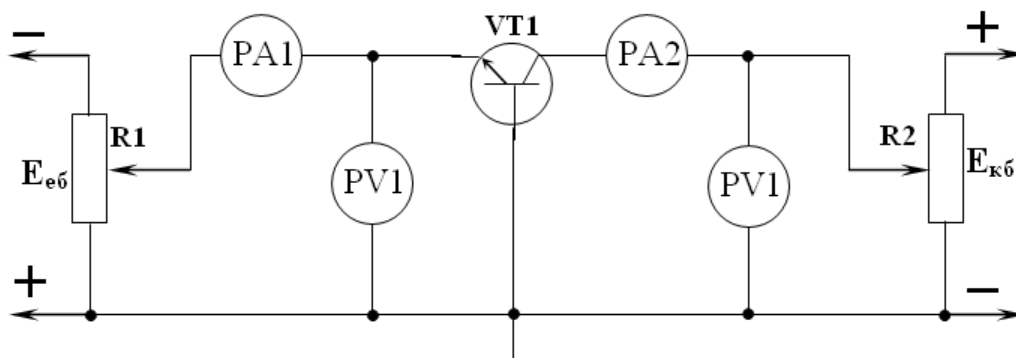


Рис. 6.1. Схема для отримання статичних характеристик транзистора, увімкненого по схемі із ЗБ.

### **Вхідна характеристика.**

Математичний вираз для вхідної характеристики для схеми із ЗБ має вигляд

$$I_e = f U_{еб} \text{ при } U_{кб} = const.$$

Вхідна характеристика при відсутності напруги на колекторному переході ( $U_{кб} = 0$ ) являє собою пряму вітку відкритого  $p-n$ -переходу (рис. 6.2). При поданні додатної напруги колектору відносно бази струм емітера збільшується при незмінній напрузі  $U_{еб}$  відносно бази (перехід від точки 1 до точки 2 на

рис. 6.2). Це пов'язано з тим, що при поданні додатної колекторної напруги зростає екстракція електронів з бази, тому їх концентрація біля колекторного переходу різко зменшується – градієнт концентрації в області бази зростає в напрямку емітера.

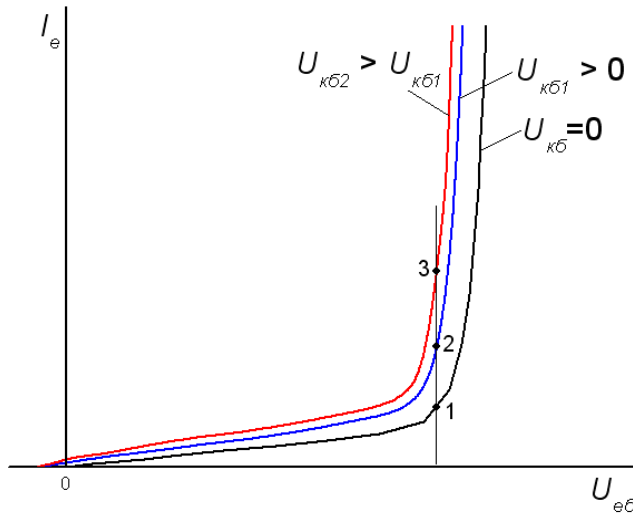


Рис. 6.2. Вхідна характеристика транзистора у схемі із ЗБ.

При подальшому збільшенні колекторної напруги струм емітера майже не змінюється, оскільки градієнт концентрації практично не міняється. Незначне зростання струму емітера  $I_e$  (перехід від точки 2 до точки 3) обумовлене зменшенням товщини бази за рахунок розширення колекторного переходу при збільшенні зворотної напруги на ньому, що звужує область бази і зменшує ступінь рекомбінації електронів в ній.

Дане явище отримало назву ефекту Ерлі.

### Вихідна характеристика.

Математичний вираз для вихідної характеристики для схеми із ЗБ має вигляд

$$I_k = f U_{обк} \quad \text{при } I_e = const.$$

Вихідна ВАХ при  $I_e = 0$  подібна до зворотної вітки ВАХ діода (рис. 6.3). Струм колектора при  $I_e = 0$  є зворотним струмом  $I_{к об}$  колекторного переходу. Збільшення струму емітера від 0 до  $I_{e1}$  означає перехід від точки 4 до точки 5. При зростанні колекторної напруги при постійному струмі емітера струм колектора майже не змінюється. Його незначне зростання (наприклад перехід від точки 5 до точки 6) обумовлене ефектом Ерлі – зменшення ступеня рекомбінації викликає незначне збільшення коефіцієнта передачі  $\alpha$  і збільшення колекторного струму.

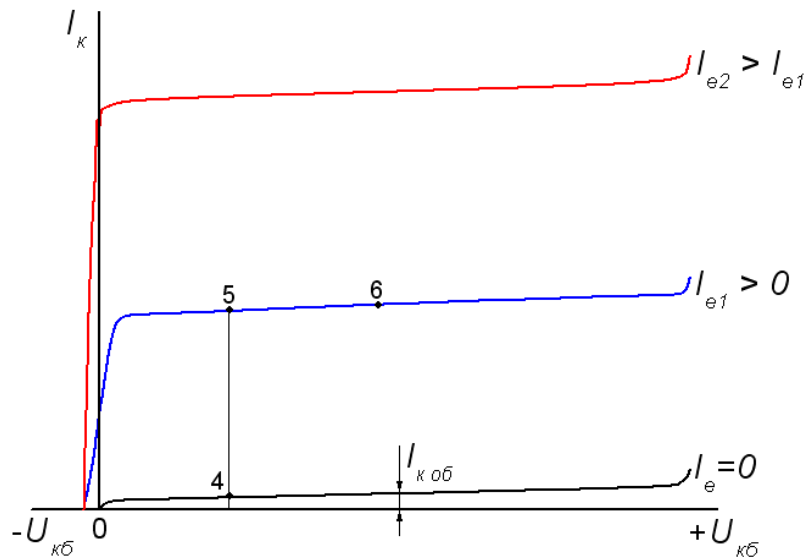


Рис. 6.3. Вихідна характеристика транзистора у схемі із ЗБ.

На пологій ділянці ВАХ (при  $U_{КБ} > 0$ ) транзистор можна розглядати як прилад, що має властивості керованого джерела струму, тобто джерела струму  $I_K$ , значення якого можна змінювати шляхом зміни струму  $I_e$ . Тому полого ділянка ВАХ використовується для підсилення електричних сигналів.

### **Статичні характеристики транзистора по схемі із загальним емітером**

Статичні характеристики каскаду, включеного по схемі із ЗЕ, вимірюються по загальній схемі, показаній на рис. 6.4.

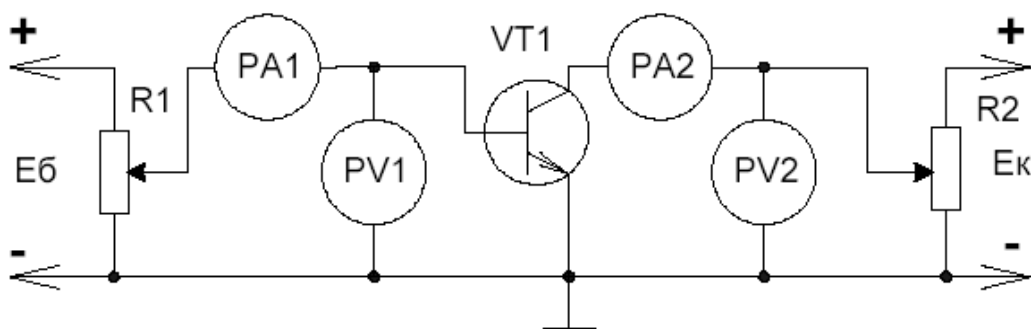


Рис. 6.4. Схема для отримання статичних характеристик транзистора, увімкненого по схемі із ЗЕ.

### **Вхідна характеристика.**

Математичний вираз для вхідної характеристики для схеми із ЗБ має вигляд

$$I_b = f U_{еб} \text{ при } U_{ке} = const.$$

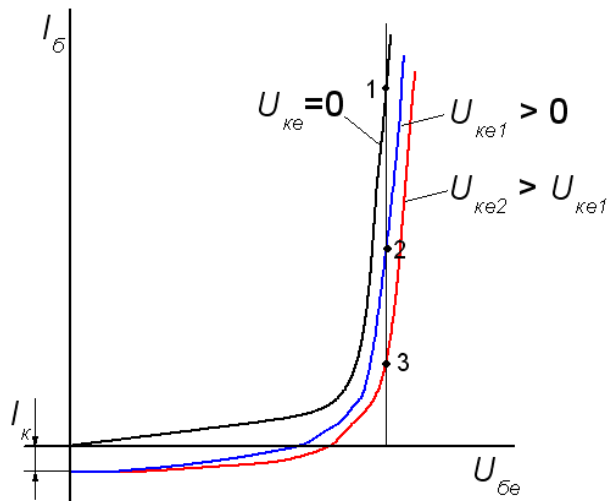


Рис. 6.5. Вхідна характеристика транзистора у схемі із ЗЕ.

від'ємний потенціал відносно бази. Потенціал колектора відносно бази також від'ємний, оскільки він дорівнює потенціалу емітера, тобто обидва діоди зміщені в прямому напрямку. Тому вхідна характеристика у цьому випадку є ВАХ двох  $p-n$ -переходів, увімкнених паралельно.

При збільшенні колекторної напруги  $U_{ке}$  на колекторному переході з'являється зворотна напруга, а на емітерному зберігається пряма напруга. Струм бази у цьому режимі, обумовлений процесом рекомбінації неосновних носіїв заряду в базі, дорівнює різниці емітерного і колекторного струмів.

### Вихідна характеристика.

Математичний вираз для вихідної характеристики для схеми із ЗЕ має вигляд

$$I_{\kappa} = f U_{\kappa e} \quad \text{при} \quad I_{\sigma} = \text{const}.$$

Вигляд цієї характеристики поданий на рис. 6.6. На більшій частині ВАХ при  $U_{\kappa e} > U_{\kappa e \text{ нас}}$  струм колектора незначно залежить від напруги  $U_{\kappa e}$  (полога ділянка ВАХ). Як і в схемі із ЗБ на цій ділянці транзистор можна вважати керованим джерелом струму, тобто джерелом струму  $I_{\kappa}$ , значення якого можна змінювати шляхом зміни струму  $I_{\sigma}$ . Невеликий нахил пологої ділянки ВАХ (але більший ніж у схемі із ЗБ) обумовлений ефектом Ерлі.

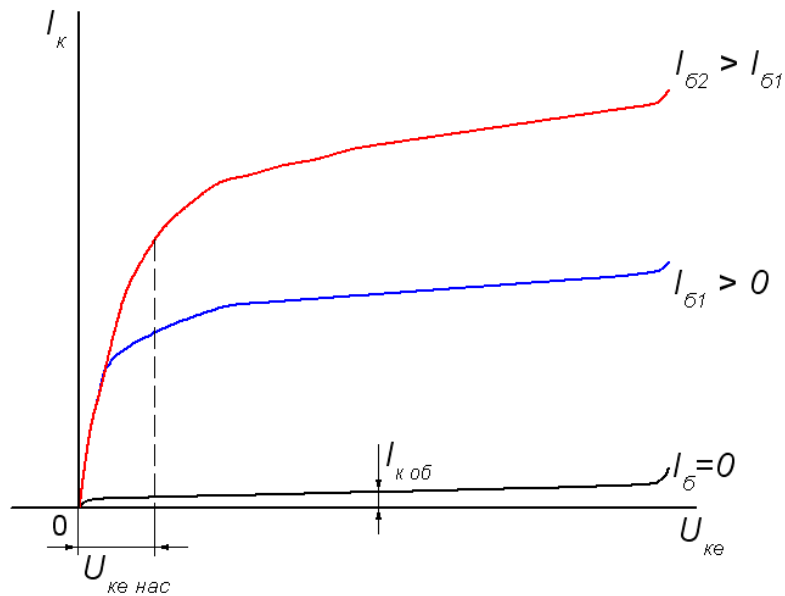


Рис. 6.6. Вихідна характеристика транзистора у схемі із ЗЕ.

На крутій ділянці ВАХ ( $U_{ке} < U_{ке\text{ нас}}$ ) між колектором і базою діє мала напруга і при  $U_{ке} = U_{ке\text{ нас}} = U_{бе}$  напруга  $U_{кб} = U_{ке} - U_{бе}$  змінює свій знак. При подальшому зменшенні напруги  $U_{ке}$  до нуля колекторний перехід буде під прямою напругою. Назустріч потоку електронів з емітера в базу рухається потік електронів із колектора в базу. У результаті колекторний струм різко зменшується. На цій ділянці ВАХ транзистор втрачає підсилювальні властивості. Ця частина ВАХ використовується при реалізації ключового режиму роботи.

## 2. Поняття про динамічний режим. Динамічні характеристики і поняття робочої точки

Динамічним режимом роботи транзистора називається такий режим, при якому у вихідному колі стоїть резистор навантаження, за рахунок якого зміна вхідного струму чи напруги буде викликати зміну вихідної напруги.

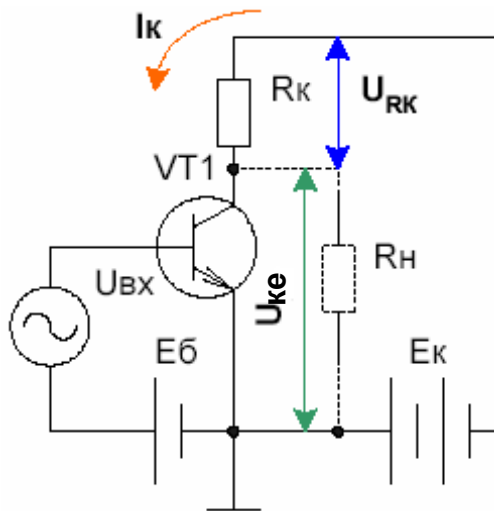


Рис. 6.7. Схема із 3Е, що забезпечує динамічний режим роботи.

На рис. 6.7 резистор  $R_k$  – це колекторне навантаження для транзистора, увімкненого по схемі із 3Е, яка забезпечує динамічний режим роботи транзистора.

З рисунка видно, що

$$E_k = U_{Rk} + U_{ke}, \quad U_{Rk} = I_k \cdot R_k,$$

$$E_k = U_{ke} + I_k \cdot R_k,$$

$$U_{ke} = E_k - I_k \cdot R_k.$$

Останнє рівняння являє собою рівняння динамічного режиму роботи транзистора.

Рівняння динамічного режиму є рівнянням вихідної динамічної характеристики. Оскільки це рівняння лінійне, то вихідна динамічна характеристика представляє собою пряму лінію і будується на вихідних статичних характеристиках (рис. 6.8).

Дві точки для побудови прямої знаходяться із початкових умов. Перша точка береться за умови  $U_{ke} = 0$  і відповідає струму колектора  $I_{kn}$ , який називається струмом насичення колектора. Друга точка отримується за умови  $I_k \rightarrow 0$ , тоді  $U_{ke} \rightarrow E_k$ .

Вихідна динамічна характеристика отримала назву навантажувальної прямої. За навантажувальною прямою можна побудувати вхідну динамічну характеристику. Але оскільки вона дуже близька до вхідної статичної характеристики при  $U_{ke} > 0$ , то на практиці користуються вхідною статичною

характеристикою. Точка перетину навантажувальної прямої з однією із віток вихідної статичної характеристики для заданого струму бази називається робочою точкою транзистора. Робоча точка дає можливість визначати струми і напруги, які реально існують в схемі.

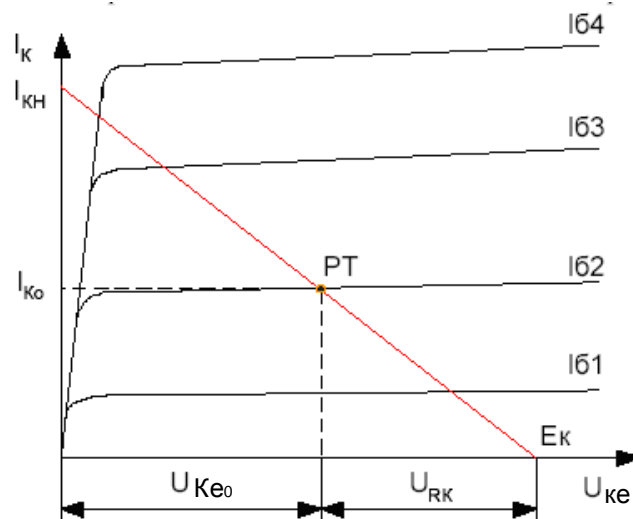


Рис. 6.8. Навантажувальна пряма транзистора.

### 3. Ключовий режим роботи транзистора

У залежності від стану  $p-n$ -переходів транзисторів розрізняють такі види його роботи:

- **Режим відсічки (область I)** – це режим, при якому обидва його переходи закриті. Струм бази в цьому випадку рівний нулю, струм колектора буде рівний оборотному струму. Рівняння динамічного режиму буде мати вигляд  $U_{ке} = E_k - I_k \cdot R_k$ . Добуток  $I_k \cdot R_k = 0$ . Отже,  $U_{ке} \rightarrow E_k$  (рис. 6.9).

- **Режим насичення (область II)** – це режим, коли обидва переходи відкриті, в транзисторі відбувається вільний перехід носіїв зарядів. Струм бази буде максимальним, струм колектора буде рівний струму колектора насичення.

$$I_{\bar{o}} = I_{\bar{o} \max}, I_k = I_{кн}, U_{ке} = E_k - I_{кн} \cdot R_k.$$

Добуток  $I_{кн} \cdot R_k \rightarrow E_k$ , тому  $U_{ке} \rightarrow 0$  (рис. 6.9).

- **Лінійний режим (область III)** – це режим, при якому емітерний перехід відкритий, а колекторний закритий:

$$I_{\bar{o} \max} > I_{\bar{o}} > 0, I_{кн} > I_k > I_{кбо}, E_k > U_{ке} > U_{ке \text{ нас}}.$$

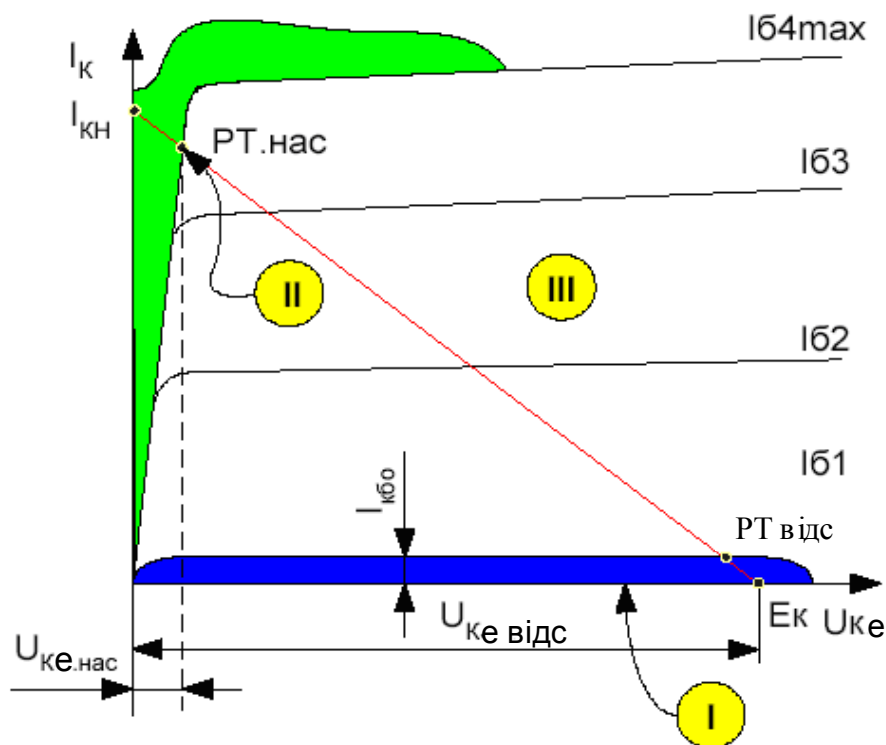


Рис. 6.9. До пояснення режимів роботи транзистора.



Ключовим режимом роботи транзистора називається такий режим, при якому робоча точка транзистора стрибкоподібно переходить від режиму відсічки в режим насичення і навпаки, оминаючи лінійний режим.

Схема ключового режиму роботи транзистора подана на рис. 6.10, а, а його часова характеристика на рис. 6.10, б.

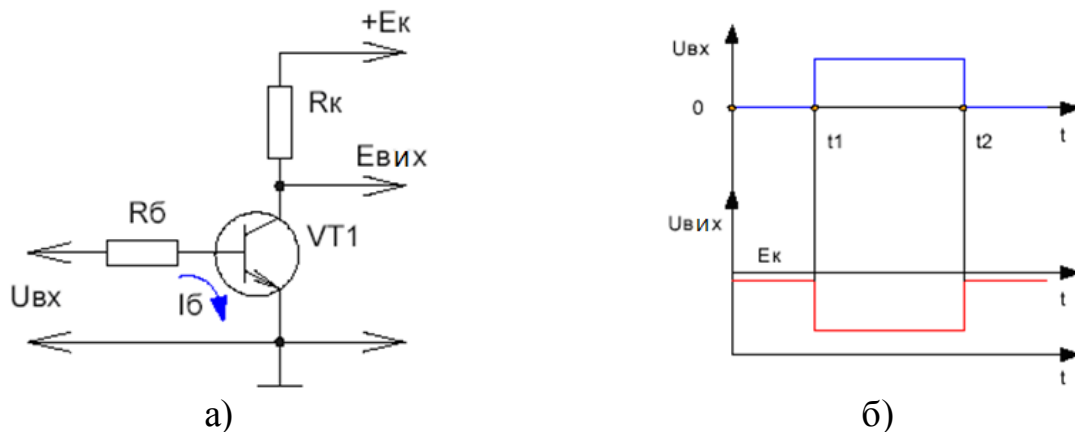


Рис. 6.10. Схема ключового режиму роботи транзистора (а) та його часова характеристика.

Резистор  $R_б$  обмежує струм бази транзистора, щоб він не перевищував максимально допустимого значення. У проміжок часу від 0 до  $t_1$  вхідна напруга і струм бази близькі до нуля, і транзистор знаходиться в режимі відсічки. Напруга  $U_{ке}$  є вихідною і буде близькою до  $E_к$ . У проміжок часу від  $t_1$  до  $t_2$  вхідна напруга і струм бази транзистора стають максимальними, і транзистор перейде в режим насичення. Після моменту часу  $t_2$  резистор знову переходить в режим відсічки. Транзисторний ключ є інвертором, тобто міняє фазу сигналу на  $180^\circ$ .