

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРІВ

Мета роботи: вивчити принцип дії і характеристики біполярних транзисторів. Ознайомитися з методикою зняття вольтамперних характеристик біполярних транзисторів.

Основні теоретичні відомості

Біполярними транзисторами називають напівпровідникові прилади з двома або більше взаємодіючими електричними $p-n$ переходами і трьома або більше виводами. Підсилювальні властивості біполярних транзисторів обумовлені явищами інжекції і екстракції неосновних носіїв заряду обох полярностей.

Інжекція – нагнітання носіїв заряду через $p-n$ перехід, зміщений в прямому напрямку, в область, де вони є неосновними.

Екстракція – вилучення неосновних носіїв заряду через $p-n$ перехід при його зворотному зміщенні.

1. Принцип дії біполярного транзистора

Залежно від порядку чергування електропровідності областей розрізняють транзистори $p-n-p$ і $n-p-n$ типу. Умовні позначення біполярних транзисторів показані на рис.4.1.



Рисунок 4.1 – Схематичне зображення транзисторів

При підключенні напруги до транзистора один $p-n$ перехід включають в прямому зміщенні, інший – в зворотному. Перехід, зміщений в прямому напрямку, називають емітерним, а відповідний зовнішній шар напівпровідника і вивід з нього – *емітером*.

Перехід, зміщений у зворотному напрямку, називають колекторним, а відповідний зовнішній шар напівпровідника і вивід з нього – *колектором*.

Середній шар напівпровідника називають *базою*.

Для розгляду принципу роботи біполярного транзистора на рис.4.2 приведена функціональна схема транзистора $p-n-p$ типу.

При підключенні до транзистора напруг U_{EB} і U_{KB} , причому, як правило $U_{EB} \ll U_{KB}$, через емітерний перехід буде здійснюватися інжекція дірок з емітера в область бази. Одночасно електрони бази будуть проходити в область емітера. В емітерному колі потече струм I_E по шляху $+U_{EB} \rightarrow R_E \rightarrow E \rightarrow B \rightarrow -U_{EB}$.

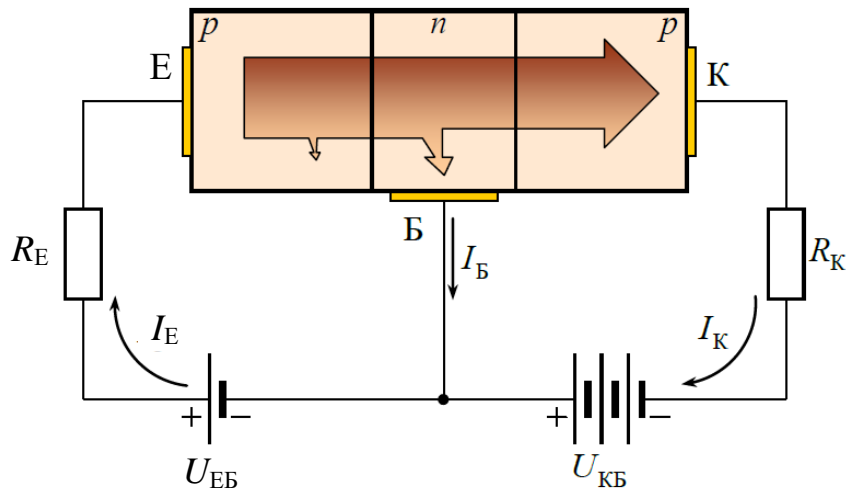


Рисунок 4.2 – Функціональна схема біполярного транзистора

Оскільки концентрація носіїв заряду в базі значно менша, ніж в емітері число дірок, інжектованих з емітера в базу, у багато разів перевищує число електронів, що рухаються в протилежному напрямку, тому струм через емітерний перехід в основному обумовлений дірками.

Інжектвані через емітерний перехід дірки проникають всередину бази, деякі дірки рекомбінують з електронами, однак, через невелику концентрацію вільних електронів в базі і невелику ширину бази абсолютна більшість дірок досягає колекторного $p-n$ переходу.

Поблизу колектора дірки починають взаємодіяти з електричним полем колекторного переходу. Це поле для дірок є пришвидшувачем, тому вони в результаті екстракції швидко втягуються в колектор і беруть участь в створенні струму колектора $+U_{KB} \rightarrow -U_{EB} \rightarrow +U_{EB} \rightarrow R_E \rightarrow E \rightarrow B \rightarrow K \rightarrow R_K \rightarrow -U_{KB}$. Ті дірки, які все ж рекомбінують з електронами в області бази, беруть участь у створенні струму бази, що проходить по колу $+U_{EB} \rightarrow R_E \rightarrow E \rightarrow B \rightarrow -U_{EB}$. Таким чином, $I_E = I_B + I_K$

Зв'язок між збільшенням емітерного (вхідного) і колекторного (вихідного) струмів характеризується *коефіцієнтом передачі струму емітера*.

$$\alpha = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E} \quad (\text{Зазвичай } \alpha = 0,95 \dots 0,99).$$

У розглянутому випадку база є загальним електродом для емітерного та колекторного кіл. Така схема включення транзисторів називається схемою із загальною базою (ЗБ). Однак схему ЗБ застосовують рідко через низький коефіцієнт передачі струму.

Найбільш поширеною схемою включення транзистора є схема із загальним емітером (ЗЕ) (рис.4.3), в якій вхідним струмом є струм бази, а вихідним – струм колектора.

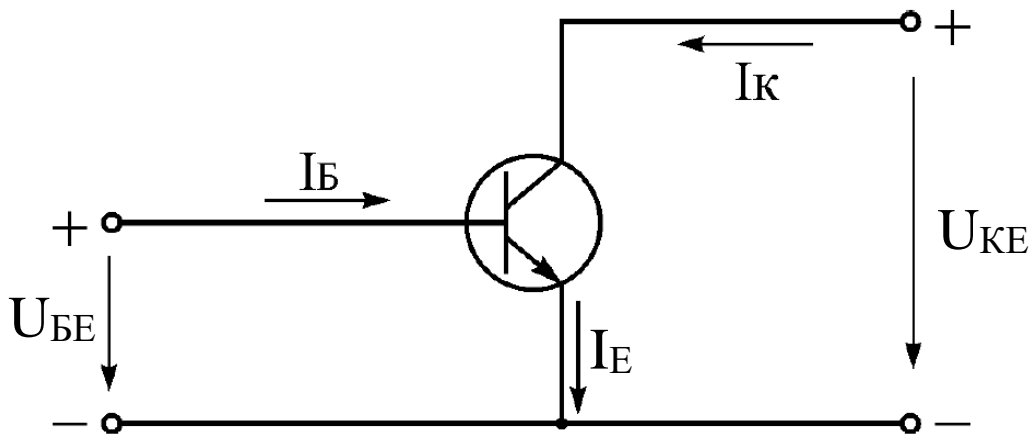


Рисунок 4.3 – Включення біполярного транзистора по схемі з ЗЕ

Коефіцієнт передачі струму для цієї схеми

$$\beta = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \quad (\text{Зазвичай } \beta = 10 \dots 1000).$$

Основні параметри транзистора визначаються за його вольтамперними характеристиками. Залежність $I_B = f(U_{BE})$ при постійній напрузі U_{CE} називають *вхідною характеристикою*, а залежність струму $I_K = f(U_{CE})$ при постійному струмі I_B називають *вихідною характеристикою* (рис.4.4).

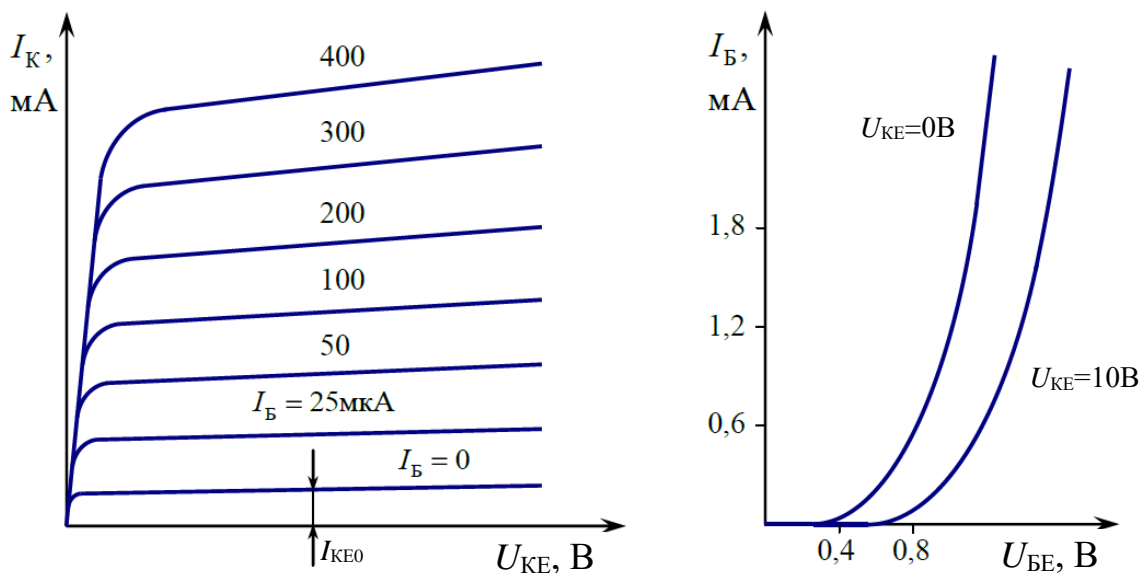


Рисунок 4.4 – ВАХ транзистора для схеми включення з ЗЕ

2. Транзистор, як активний лінійний чотиріполіусник

Транзистор можна представити у вигляді активного лінійного чотиріполіусника, на вході якого діє напруга U_1 і струм I_1 , а на виході – напруга U_2 і ток I_2 (рис.4.5).

Якщо в якості незалежних змінних прийняти I_1 і U_2 , а в якості залежних I_2 і U_1 , то можна записати

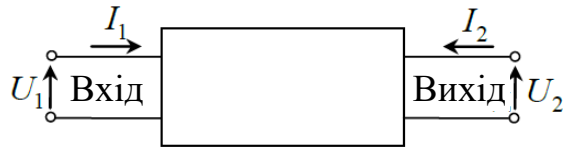


Рисунок 4.5 – Транзистор, як активний чотиріполюсник

$$\begin{cases} U_1 = f(I_1, U_2); \\ I_2 = f(I_1, U_2). \end{cases}$$

Після диференціювання виразу для I_1 і U_2 , по змінним I_2 і U_1 і введення позначень $h_{11} = \frac{\partial U_1}{\partial I_1}$; $h_{12} = \frac{\partial U_1}{\partial U_2}$; $h_{21} = \frac{\partial I_2}{\partial I_1}$; $h_{22} = \frac{\partial I_2}{\partial U_2}$ система набуде вигляду

$$\begin{cases} u_1 = h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot u_2; \\ i_2 = h_{21} \cdot i_1 + h_{22} \cdot u_2. \end{cases}$$

Коефіцієнти h_{11} , h_{12} , h_{21} і h_{22} називаються h -параметрами транзистора, кожен з яких має певний фізичний зміст:

$h_{11} = \frac{u_1}{i_1}$ – вхідний опір транзистора при короткому замкненні на виході для змінної складової струму (тобто при $U_2 = \text{const}$);

$h_{12} = \frac{u_1}{u_2}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку по напрузі при розімкненому вході для змінної складової струму (тобто при $I_1 = \text{const}$);

$h_{21} = \frac{i_2}{i_1}$ – коефіцієнт передачі струму при короткозамкненому виходу за змінним струмом (тобто при $U_2 = \text{const}$);

$h_{22} = \frac{i_2}{i_1}$ – вихідна провідність при розімкнутому вході для змінної складової струму (тобто при $I_1 = \text{const}$).

h – параметри можна визначити за статистичними характеристикам транзистора. Визначення параметра h_{11} здійснюється по вхідній характеристиці (рис.4.6).

$$h_{11} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{U_{BE}^B - U_{BE}^A}{I_{BE}^B - I_{BE}^A} + \frac{U_{BE}^A - U_{BE}^C}{I_{BE}^A - I_{BE}^C} \right), \text{ при } U_{KE} = \text{const}$$

Для визначення коефіцієнта зворотного зв'язку по напрузі h_{12} необхідно мати кілька вхідних характеристик (рис.4.7).

Для визначення h_{21} і h_{22} використовують вихідні характеристиками транзистора $I_K = f(U_{KE})$.

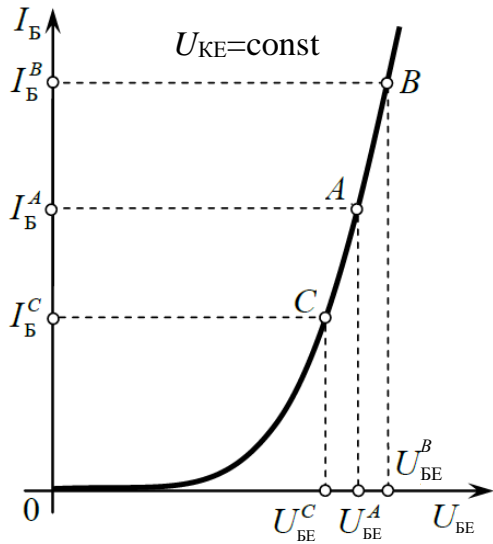


Рисунок 4.6 – визначення параметра h_{11}

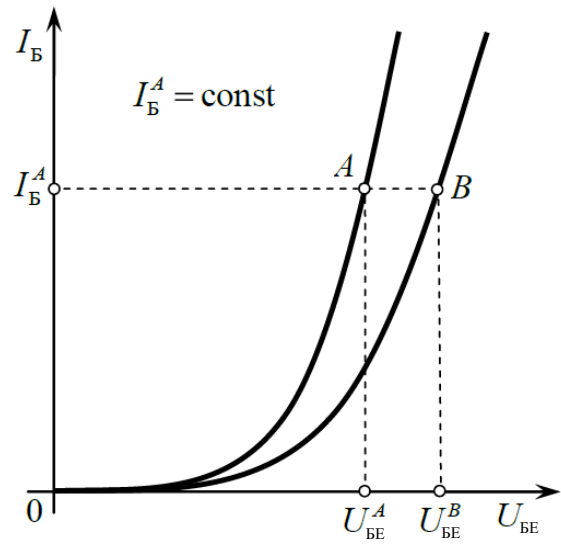


Рисунок 4.7 – визначення параметра h_{12}

Для визначення коефіцієнта передачі струму бази h_{21} задають позитивне і негативне зміщення струму бази при постійному значенні U_{KE} (рис.4.8), таким чином

$$h_{21} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{I_K^B - I_K^A}{I_B^B - I_B^A} + \frac{I_K^A - I_K^C}{I_B^A - I_B^C} \right), \text{ при } U_{KE} = \text{const}$$

Для визначення вихідної провідності h_{22} в схемі з загальним емітером задають позитивне і негативне прирощення колекторної напруги при постійному значенні I_B (рис.4.9). Параметр h_{22} може бути отриманий з виразу

$$h_{22} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{I_K^B - I_K^A}{U_{KE}^B - U_{KE}^A} + \frac{I_K^A - I_K^C}{U_{KE}^A - U_{KE}^C} \right), \text{ при } I_B = \text{const}$$

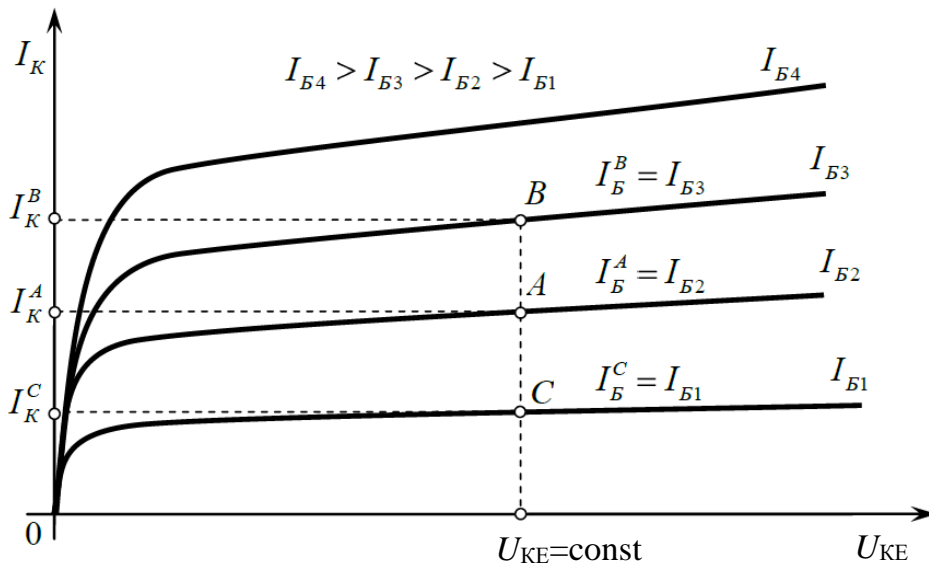


Рисунок 4.8 – Визначення параметра h_{21}

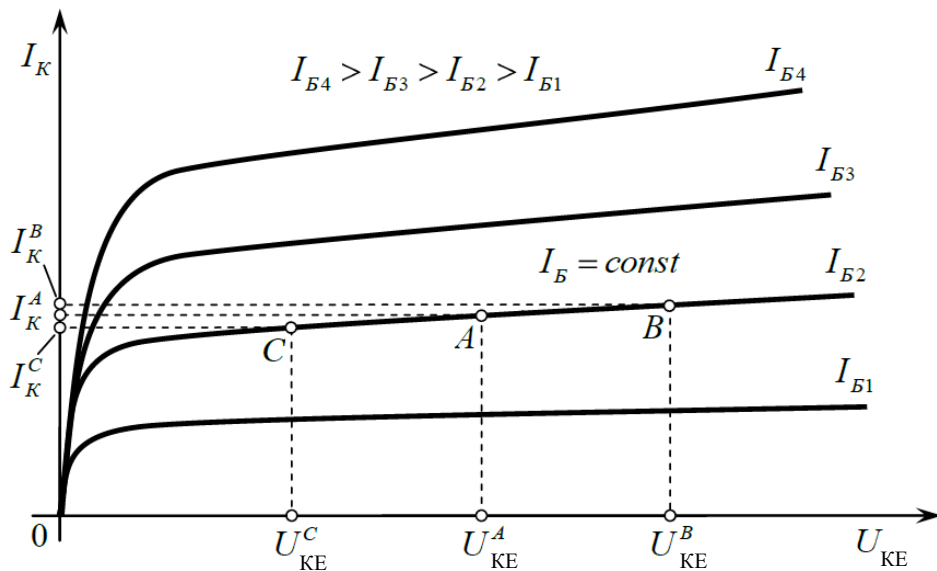


Рисунок 4.9 – Визначення параметра h_{22}

Точки B і C вибираються в кожному конкретному випадку з урахуванням наявних статичних характеристик даного транзистора виходячи зі зручності побудов і розрахунків.

Порядок виконання роботи

Перелік приладів:

- модуль для дослідження характеристик транзисторів;
- модуль дільника напруги;
- універсальне джерело живлення;
- комбінований вимірювальний прилад – 2 шт.

1. Дослідження вхідних характеристик транзистора

1.1 Підготувати джерело живлення до роботи:

- ручки регуляторів напруги і струму 1 і 2 каналу повернути проти годинникової стрілки до упору;
- кнопки «СИНХРОНИЗАЦІЯ» встановити в режим «НЕЗАВИСИМО»;
- включити джерело живлення (кнопка «POWER»);
- налаштувати обмежувач струму 1 каналу джерела живлення:
- з'єднати клеми «+» і «-» 1-го каналу провідником;
- повернути ручку «НАПРЯЖЕНИЕ» за годинниковою стрілкою приблизно на 90° ;
- перемикач індикатора встановити в положення «АМР»;
- ручкою «ТОК» виставити обмеження струму 0,1 А;
- зняти провідник і повернути перемикач індикатора в положення «VOLT»;
- ручкою «НАПРЯЖЕНИЕ» встановити напругу 1-го каналу джерела живлення 3В.
- аналогічним чином налаштувати обмежувач струму 2 каналу джерела живлення на значення 0,25А.
- ручкою «НАПРЯЖЕНИЕ» встановити напругу 2-го каналу джерела живлення 0В.

1.2 Зібрати схему, згідно рис.4.10. При цьому ручка потенціометра R_{d2} в початковому стані повинна бути викручена проти годинникової стрілки до упору.

1.3 Плавно обертаючи ручку потенціометра R_{d2} , фіксувати напругу U_{BE} (V1), згідно з таблицею 4.1. Відповідні значення струму бази I_B занести в таблицю 4.1.

1.4 Повернути ручку потенціометра $R_{\partial 2}$ в початкове положення. Ручкою «НАПРЯЖЕНИЕ» встановити напругу 2-го каналу джерела живлення 5 В.

1.5 Повторити досвід для $U_{KE} = 5\text{В}$, відповідно до пункту 1.3.

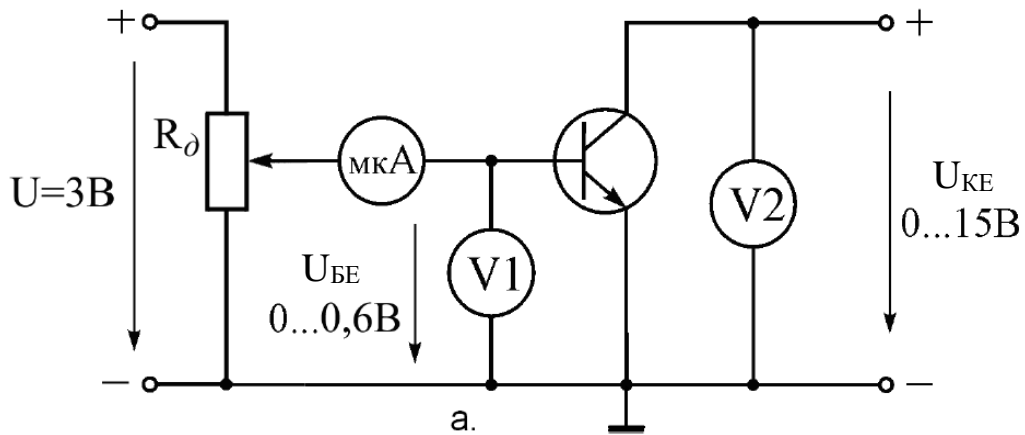


Рисунок 4.10 – Схема для зняття вхідних характеристик біполярного транзистора

Таблиця 4.1

Результати вимірювань вхідних характеристик транзистора

$U_{BE}, \text{В}$	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	$U_{KE}, \text{В}$
$I_{B1}, \text{мкА}$							0
$I_{B2}, \text{мкА}$							5В

1.6 Повернути ручку потенціометра $R_{\partial 2}$ в початкове положення. Ручкою «НАПРЯЖЕНИЕ» встановити напругу 2-го каналу джерела живлення 0 В.

2. Дослідження вихідних характеристик транзистора

2.1 Зібрати схему, згідно з рис.4.11. При цьому ручка потенціометра $R_{\partial 2}$ в початковому стані повинна бути викручена проти годинникової стрілки до упору.

2.2 Плавно обертаючи ручку потенціометра $R_{\partial 2}$, встановити струм бази $I_B = 200 \text{ мкА}$.

2.3 Плавно обертаючи ручку «НАПРЯЖЕНИЕ» 2-го каналу джерела живлення, фіксувати напругу U_{KE} (V) згідно з таблицею 4.2., При цьому кожен раз необхідно підтримувати струм I_B в заданому значенні за допомогою потенціометра $R_{\partial 2}$. Відповідні значення струму колектора I_K занести в таблицю 4.2.

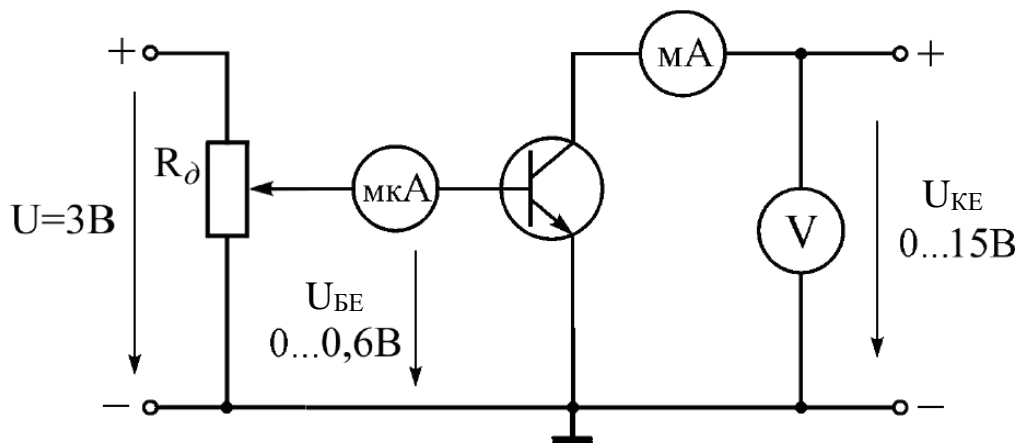


Рисунок 4.11 – Схема для зняття вихідних характеристик біполярного транзистора

- 2.4 Ручкою «НАПРЯЖЕНИЕ» скинути напругу 2-го каналу джерела живлення в 0.
 2.5 Повторити досвід для струму бази 300 мкА і 400 мкА відповідно до пунктів 2.2-2.3.

Таблиця 4.2

Результати вимірювань вихідних характеристик транзистора

$U_{KE}, В$	0,1	0,2	0,3	0,5	1	3	5	10	$I_B, мкА$
$I_{K1}, мА$									200
$I_{K2}, мА$									300
$I_{K3}, мА$									400

3. Визначення h -параметрів біполярного транзистора

- 3.1 Використовуючи дані таблиці 4.1 і таблиці 4.2, побудувати вхідні $I_B = f(U_{BE})$ і вихідні $I_K = f(U_{KE})$ характеристики досліджуваного транзистора.
 3.2 Для отриманої ВАХ визначити параметри h_{11} , h_{12} , h_{21} і h_{22} , використовуючи розрахункові залежності, наведені в теоретичних відомостях. Положення робочої точки А вибрати на середині лінійної ділянки характеристики.

Контрольні питання до роботи

1. Пояснити принцип дії біполярного транзистора.
2. Що таке інжекція?
2. Що таке екстракція?
4. Скільки областей напівпровідника і скільки $p-n$ переходів містить біполярний транзистор і як вони називаються?
5. Які існують основні схеми включення біполярного транзистора. Їх переваги і недоліки?
6. Який фізичний зміст h -параметрів транзистора?
7. Що характеризують коефіцієнти α і β , який між ними взаємозв'язок?