

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ**

**Харківський національний університет внутрішніх справ**

**Навчально-науковий інститут підготовки фахівців для підрозділів  
кримінальної міліції**

**Кафедра інформаційної та економічної безпеки**

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ  
ДО СЕМІНАРСЬКИХ (ПРАКТИЧНИХ, ЛАБОРАТОРНИХ)  
ЗАНЯТЬ**

**з дисципліни «Компонентна база засобів технічного захисту інформації»**

**Галузь знань**

**1701 – „Інформаційна безпека”**

**Напрямок підготовки**

**6.170102 – „Системи технічного захисту  
інформації”**

**Ступень вищої освіти**

**бакалавр**

**Харків 2015**

Тексти лекцій призначені для використання при вивченні курсу „Основи теорії кіл, сигналів та процесів в системах технічного захисту інформації” в рамках підготовки бакалаврів за напрямом підготовки 6.170102 – „Системи технічного захисту інформації ” в Харківському національному університеті внутрішніх справ.

#### **СХВАЛЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
\_25.08.2015 Протокол № 8  
(дата, місяць, рік)

#### **ЗАТВЕРДЖЕНО**

Вченою радою навчально-наукового  
інституту кримінальної міліції  
\_21.08.2015 Протокол № 1/15-16\_  
(дата, місяць, рік)  
\_\_\_\_\_  
(підпис) Корнієнко Д.М.  
(П.І.Б.)

#### **ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
\_25.08.2015 Протокол № 8  
(дата, місяць, рік)  
\_\_\_\_\_  
(підпис) \_ Сезонова І.К. \_\_\_\_\_  
(П.І.Б.)

#### **ЗАТВЕРДЖЕНО**

На засіданні кафедри інформаційної та  
економічної безпеки  
20.08.2015 Протокол № \_12\_  
(дата, місяць, рік)  
\_\_\_\_\_  
(підпис) Сезонова І.К.  
(П.І.Б.)

#### **Рецензент:**

Горелов Ю.П., доцент кафедри інформаційних технологій та захисту  
інформації ФПМК ХНУВС, к.т.н., доцент

#### **Розробник:**

Мордвинцев М.В.. – Харків: Харківський національний університет  
внутрішніх справ, 2015.

### 1. Загальні методичні вказівки

Дисципліна має на меті: навчити курсанта фізичним основам радіоматеріалів, що застосовуються в сучасній радіоелектронній апаратурі, дати знання основ теорії, побудови, принципів роботи, навчити характеристикам, параметрам і застосуванню радіокомпонентів (активних та пасивних, дискретних та інтегральних електронних приладів і радіокомпонентів) сучасної електронної техніки в обсязі, необхідному для глибокого засвоєння професійно-орієнтованих, військово-технічних дисциплін.

Заняття проводиться в формі практичних занять – 12 годин, та лабораторних робіт – 16 годин. Особливістю виконання лабораторних робіт: роботи виконуються в комп'ютерному класі за допомогою програмного забезпечення MULTISIM.

### 2. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами

Номер та назва змістового модулю, номер та найменування теми	Кількість годин відведених на вивчення навчальної дисципліни						Література, сторінки	Вид контролю
	Всього	з них:						
		Лекції	Семінарські заняття	Практичні заняття	Лабораторні заняття	Самостійна робота		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр № 4								
Тема № 1: Пасивні компоненти електронної техніки	12	4		2		6	1,2	
Тема № 2: Напівпровідникові прилади	44	8		6	8	22	1,2, 3	
Тема № 3: Функціональні компоненти електронної техніки	28	6		4	4	14	1,2, 3	
Тема № 4: Аналогові інтегральні мікросхеми	12	4			2	6	3,4,	
Тема № 5 Цифрові інтегральні мікросхеми	12	4			2	6	3,4	
Всього за семестр № 4:	108	26		12	16	54		екзам

## Практичне заняття №1

### Тема №1 Будова, характеристики, параметри та використання напівпровідникових діодів.

#### Мета роботи:

- поглибити і закріпити знання, отримані курсантами у процесі лекційних занять і самостійної роботи з питань властивостей напівпровідникових структур, електронно-діркового переходу, будови і вольт-амперних характеристик напівпровідникових діодів;
- придбати уміння розраховувати параметри вольт-амперних характеристик напівпровідникових діодів;
- розглянути приклади застосування напівпровідникових діодів;
- виробити уміння брати участь в обговоренні технічних питань.

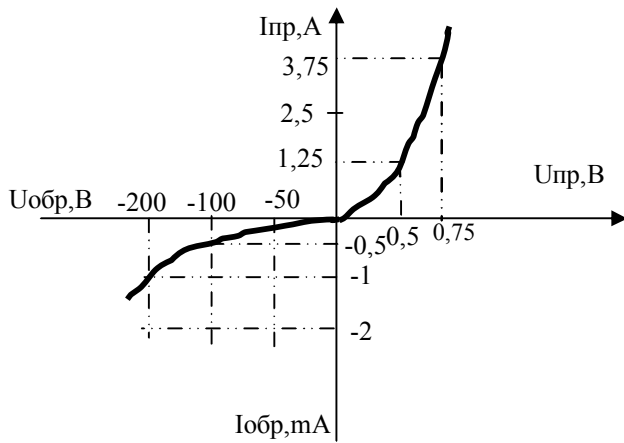
#### Навчальні питання

Вступ.....	5 хв.
1. Робота діодів з навантаженням та розрахунок їх параметрів.....	30 хв.
2. Використання напівпровідникових діодів, їх різновиди, приклади застосування.....	50 хв.
Підведення підсумків заняття, відповіді на питання.....	5 хв.

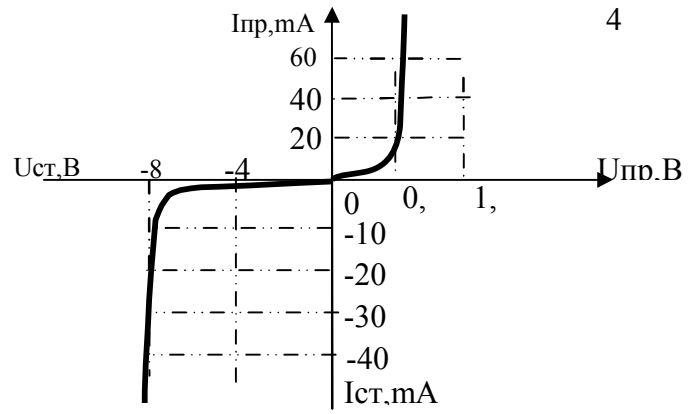
#### Навчально-матеріальне забезпечення:

Зразки напівпровідникових діодів, довідники, бланки ВАХ.

**ВАХ ДИОДА Д242**

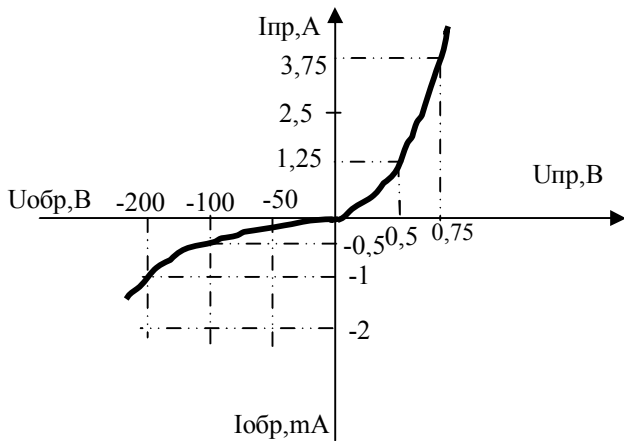


**ВАХ СТАБИЛИТРОНА Д814А**

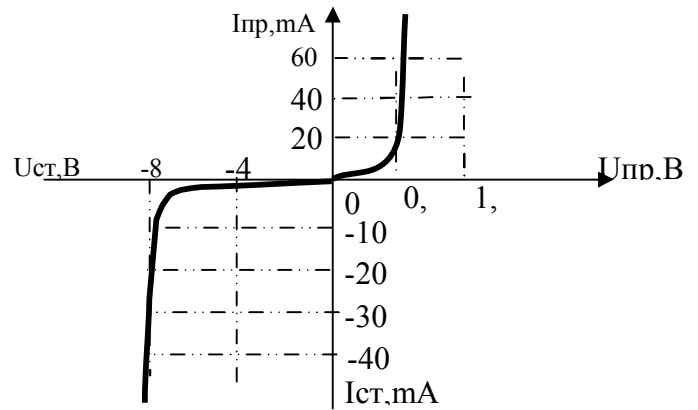


4

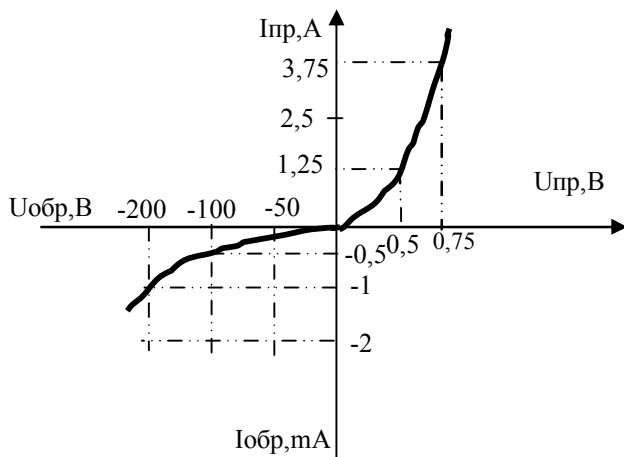
**ВАХ ДИОДА Д242**



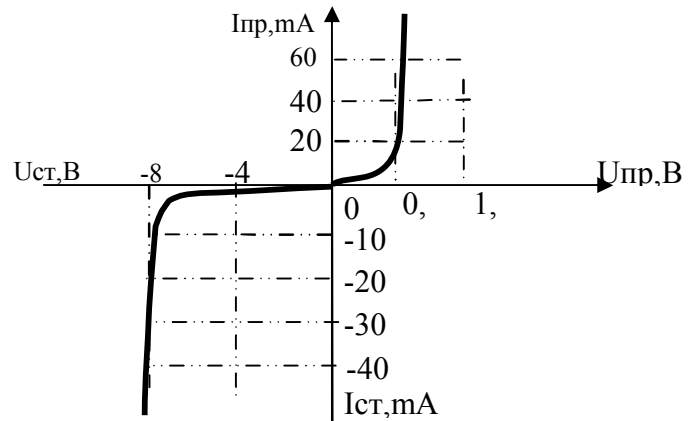
**ВАХ СТАБИЛИТРОНА Д814А**



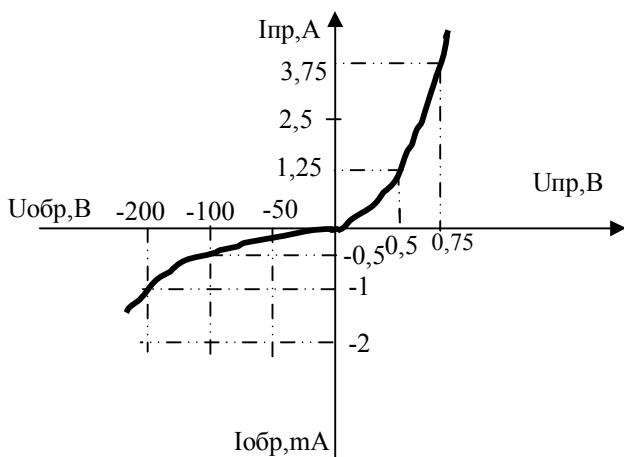
**ВАХ ДИОДА Д242**



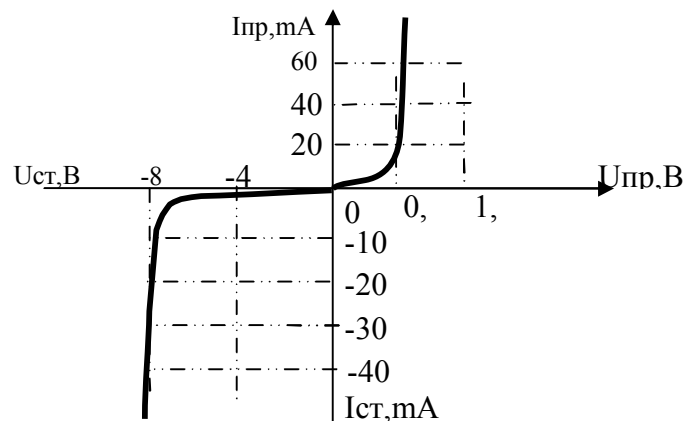
**ВАХ СТАБИЛИТРОНА Д814А**



**ВАХ ДИОДА Д242**



**ВАХ СТАБИЛИТРОНА Д814А**



## Лабораторна робота № 1

### Дослідження характеристик напівпровідникових діодів

#### Мета роботи:

1. Вивчення принципу дії напівпровідникових діодів.
2. Побудова вольтамперної характеристики діода.
3. Визначення параметрів діодів.

#### 1.1. Теоретичні відомості

**Напівпровідниковий діод** це монокристалом, в якому створені області різної провідності, : діркової ( $p$ -типу) і електронної ( $n$ -типу).

Межа між цими областями називається  $p$ - $n$  переходом (рис. 1.1, а). Якщо до кристала прикласти напругу так, що до  $p$  -області прикладений негативний потенціал, а до  $n$  -області - позитивний, то носії, притягуючись до різнойменних полюсів, створюють біля  $p$ - $n$  переходу область, позбавлену носіїв.

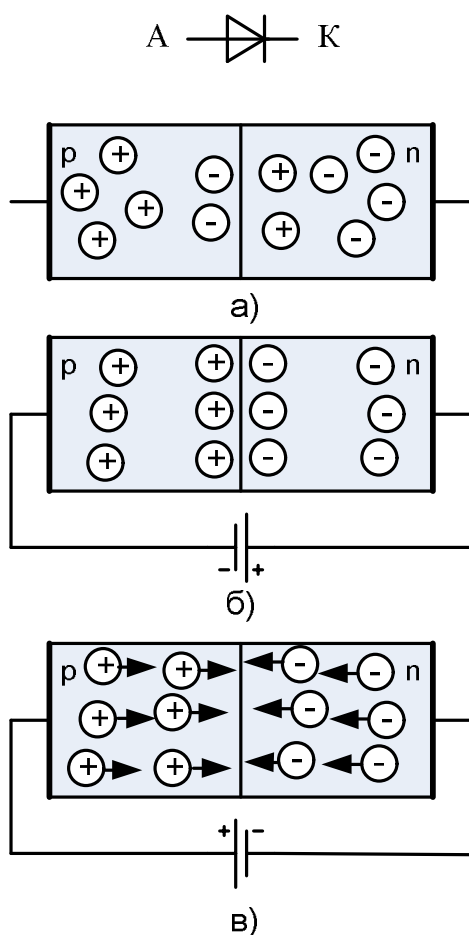


Рис. 1.1.

Ця область як би розриває ланцюг, і струм в цьому ланцюзі відсутній. Така полярність напруги називається замикаючою або зворотною і відповідає закритому стану діода (рис. 1.1, б).

Протилежна полярність напруги переміщає носії один назустріч одному, і відбувається перехід (інжекція) носіїв в "чужу" область. В результаті в зовнішньому ланцюзі з'являється струм. Така полярність напруги називається прямою або відмикаючою і відповідає відкритому діоду (рис. 1.1, в). Типова вольтамперная характеристика напівпровідникового діода зображена на рис. 1.2.

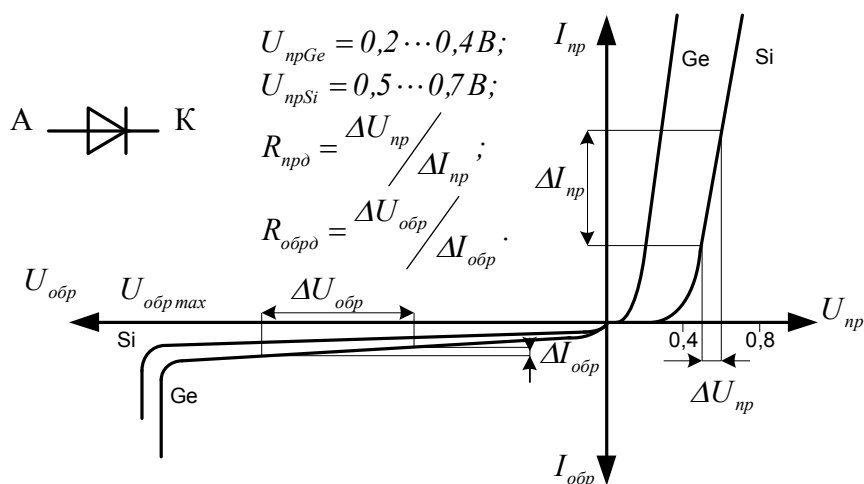


Рис. 1.2 Вольтамперная діода.

При подачі на  $p-n$  -переход прямої напруги  $U_{np}$  опір переходу  $R_{np}$  знижується, а струм  $I_{np}$  зростає. При подачі зворотної напруги  $U_{обр}$  зворотний струм  $I_{обр}$  неосновних носіїв заряду виявляється в багато сотень або тисяч разів менше прямого струму. При напрузі  $U > U_{обр max}$  починається лавиноподібний процес наростання зворотного струму  $I_{обр}$  відповідний електричному пробою  $p-n$  - переходу, переходить (якщо не обмежити струм) в безповоротний тепловий пробій.

Кремнієві діоди мають істотно менше значення зворотного струму в порівнянні з германієвими, внаслідок нижчої концентрації неосновних носіїв заряду. Зворотна гілка ВАХ у кремнієвих діодів при цьому масштабі практично зливається з віссю абсцис. Пряма гілка ВАХ у кремнієвих діодів розташована значно правіше, ніж у германієвих.

## 1.2. Порядок проведення роботи

### 1.2.1. Зняття вольтамперной характеристики діода

Зберіть схему рис. 1.3 для зняття прямої гілки ВАХ кремнієвого діода 1N4001. Послідовно встановлюючи значення ЕДС джерела від 0 до 6 В, запишіть значення напруги  $U_{np}$  і струму  $I_{np}$  діода в таблицю 1.1. Встановіть значення температури довкілля рівне  $57^{\circ}\text{C}$  і повторіть виміри.

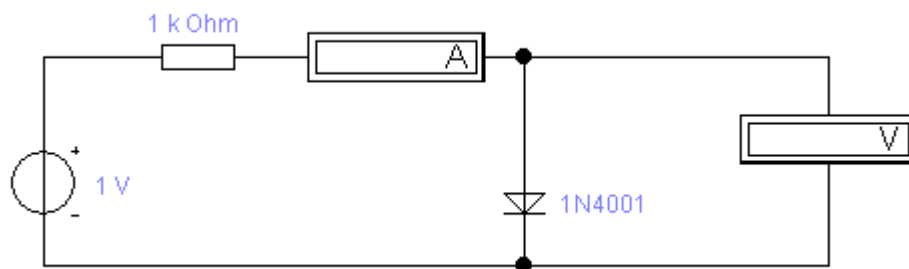


Рис. 1.3.

Таблиця 1.1 - Пряма гілка ВАХ діода.

$E, B$	$U_{np}, мВ$	$U_{np}, мВ$ ( $57^0C$ )	$I_{np}, мА$	$I_{np}, мА$ ( $57^0C$ )

Повторите виміри для германієвого діода SB040 (general2)  
Для зняття зворотної гілки ВАХ зберіть схему рис. 1.4.

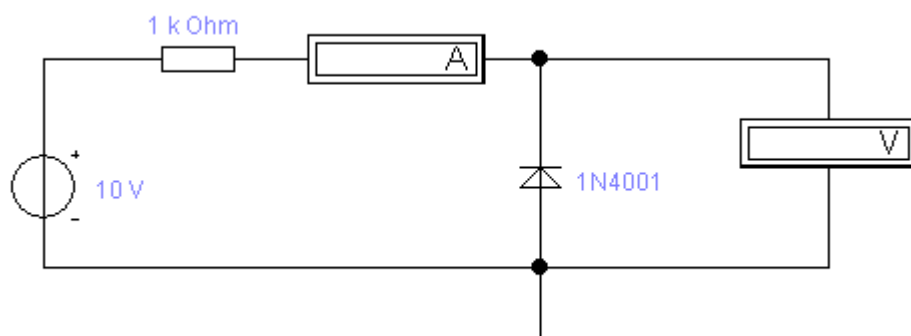


Рис. 1.4.

Послідовно встановлюючи значення ЕДС джерела від 0 до 20 В, запишіть значення напруги  $U_{обр}$  і струму  $I_{обр}$  діода в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 - Зворотна гілка ВАХ діода

$E, B$	$U_{об}, мВ$	$U_{об}, мВ$ ( $57^0C$ )	$I_{об}, мА$	$I_{об}, мА$ ( $57^0C$ )

Повторите виміри для діода SB040 (general2)

З використанням Excel за отриманими даними побудувати графіки  $I_{np}=f(U_{np})$ ,  $I_{об}=f(U_{об})$ .



### 1.2.2. Визначення параметрів діода

Визначите прямий диференціальний опір кремнієвого і германієвого діодів  $R_d = \Delta U_{np} / \Delta I_{np}$  при прямому струмі, рівному  $0,5 I_{np.дон.}$  Для визначення  $R_d$  побудувати на графіці прямої гілки ВАХ характеристичний трикутник, вершини якого повинні співпадати зі значеннями в таблиці 1.1, опір визначити для нормальної і підвищеної температур.

Визначите прямий статичний опір діода  $R_{np} = U_{np} / I_{np}$  при прямому струмі, рівному  $0,5 I_{np.дон.}$ , опір визначити для нормальної і підвищеної температур.

Визначите зворотний опір діода при  $U_{обр} = 0,5 U_{обр. max}$  для нормальної і підвищеної температур.

### 1.2.3. Зняття ВАХ діода з використанням осцилографа

#### 1.2.3.1 Зняття ВАХ в режимі малого сигналу

Зберіть схему рис. 1.5. Осцилограф поставте в режим В/А. При такому підключенні координата точки променя по горизонтальній осі осцилографа буде пропорційна напрузі, що подається на А-вход, а по вертикальній - струму через діод. Оскільки напруга у вольтах на резисторі 1 Ом чисельно дорівнює струму через діод в амперах ( $I = U/R = U/1 = U$ ), по вертикальній осі можна безпосередньо прочитувати значення струму. Це і дозволить отримати вольтамперну характеристику безпосередньо на екрані осцилографа. Отримаєте на екрані осцилографа зображення ВАХ. Для цього: на виході генератора встановити трикутний сигнал з амплітудою 10В, частотою 10Гц і шпаруватістю 50%.

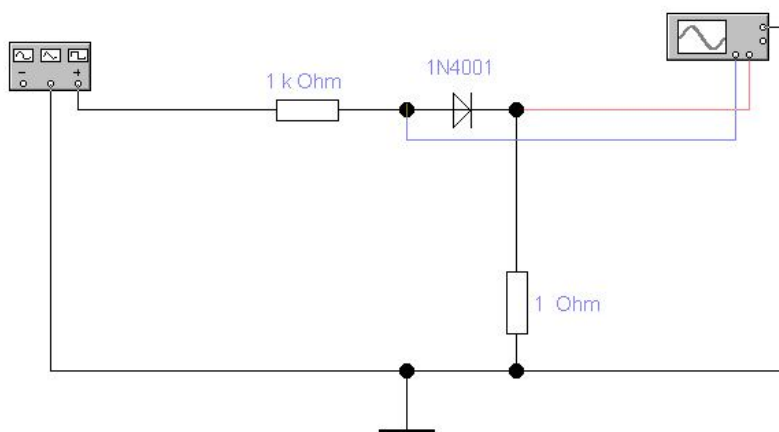
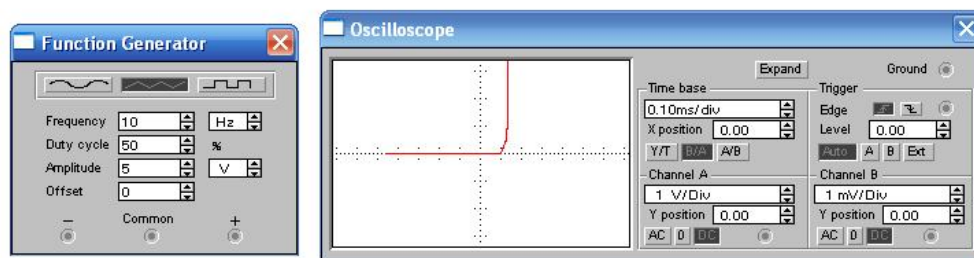


Рис. 1.5.

Визначите величину напруги вигину ВАХ для діода на основі кремнію і германію ( $U_{уз2.Si}$ ,  $U_{уз2.Ge}$ ). Напруга вигину визначається з вольтамперної характеристики діода, зміщеного в прямому напрямі, для точки, де характеристика зазнає різкий злам. Порівняйте значення цієї напруги.

Визначите величини зворотних струмів  $I_{обр. Ge}$ ,  $I_{обр. Si}$ . Порівняйте ці значення.

### 1.2.3.2 Зняття ВАХ в режимі великого сигналу

Зніміть статичну ВАХ діода в режимі великого сигналу, коли амплітуда сигналу перевищує максимальну допустиму зворотну напругу тобто  $U_m > |U_{обрmax}|$ .

Встановите на виході генератора трикутний сигнал з амплітудою 65В, зміщенням - 15, частотою 5Гц і отримаєте на екрані осцилографа зображення ВАХ (рис. 1.6).

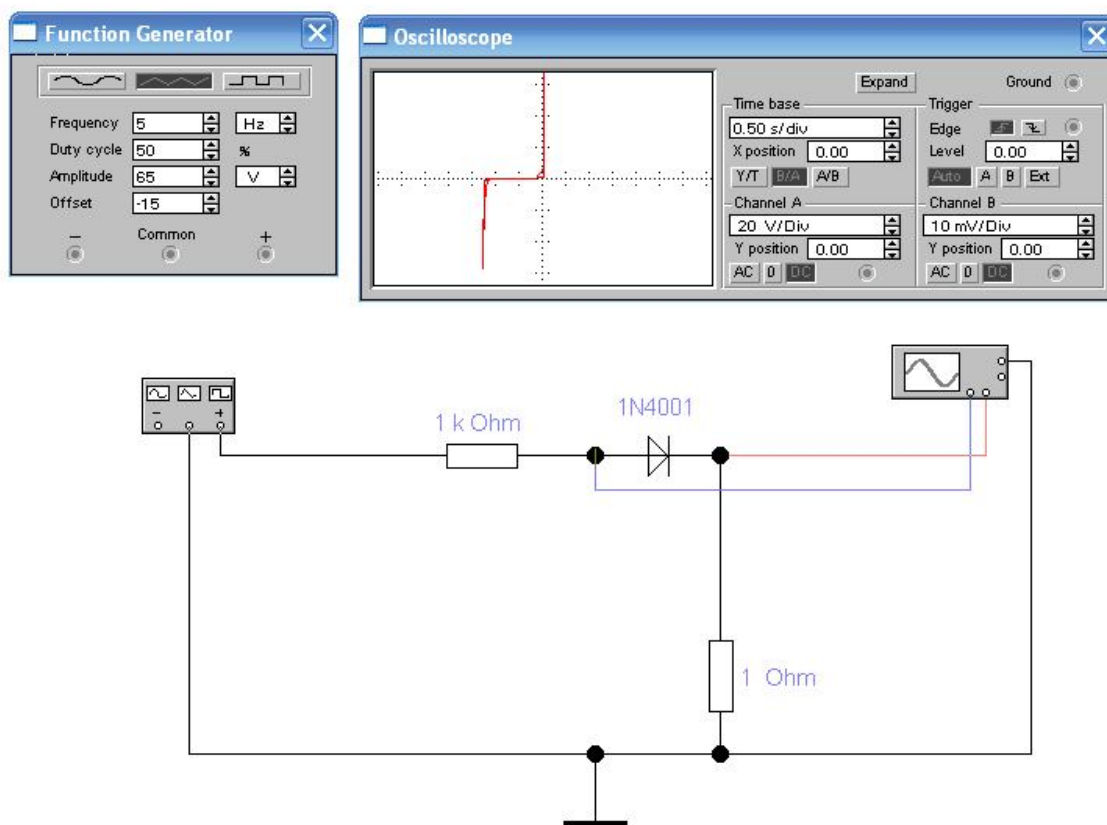


Рис 1.6.

Визначите максимальну допустиму зворотну напругу  $U_{обрmax}$ .

### 1.3 Контрольні питання

1. Порівняйте напругу на діоді при прямому і зворотному зміщенні по порядку величин. Чому вони різні?
2. Чому дорівнюють опори діода в прямому і зворотному напрямках?
3. Порівняйте струми через діод при прямому і зворотному зміщенні по порядку величин. Чому вони різні?
4. З яких матеріалів виготовляються діоди?

5. Чим обмежується найбільший прямий струм через діод?
6. Чим відрізняються діоди, виготовлені з різних матеріалів?

## Лабораторна робота №2

### Дослідження характеристик стабілітрона

#### Мета роботи:

1. Побудова зворотної гілки вольтамперної характеристики стабілітрона і визначення напруги стабілізації.
2. Обчислення струму і потужності, що розсіюється стабілітроном.
3. Визначення диференціального опору стабілітрона за вольтамперною характеристикою.
4. Дослідження зміни напруги стабілітрона в схемі параметричного стабілізатора.
5. Побудова прямої навантаження стабілітрона.

#### 2.1 Теоретичні відомості

Стабілітрони - це напівпровідникові діоди призначені для стабілізації рівня напруги на навантаженні при зміні напруги живлення або опору навантаження, для фіксації рівня напруги і т. д. Для стабілітронів робочою є ділянка лавинного пробою вольтамперної характеристики в області зворотної напруги (рис. 2.1). На цій ділянці напруга на діоді залишається практично постійною при зміні струму через діод. Напруга стабілізації сучасних стабілітронів лежить в діапазоні від 3 до 180 В. На характеристиці точками *A* і *B* відмічені межі робочої ділянки. Положення точки *A* відповідає напрузі пробою *p-n* переходу, яке залежить від питомого опору початкового матеріалу. Точка *B* відповідає граничному режиму, в якому на стабілітроні розсіюється максимально допустима потужність.

Основні параметри стабілітрона :

**номінальна напруга стабілізації  $U_{cm}$**  - напруга на стабілітроні в робочому режимі (при заданому струмі стабілізації);

**мінімальний струм стабілізації  $I_{cm.min}$**  - найменше значення струму стабілізації, при якому режим пробою стійкий;

**максимально допустимий струм стабілізації  $I_{cm.max}$**  - найбільший струм стабілізації, при якому нагрів стабілітронів не виходить за допустимі межі.

**Диференціальний опір  $R_{dif}$**  - відношення приросту напруги стабілізації до зухвалого його приросту струму стабілізації :  $R_{dif} = \Delta U_{cm} / \Delta I_{cm}$ .

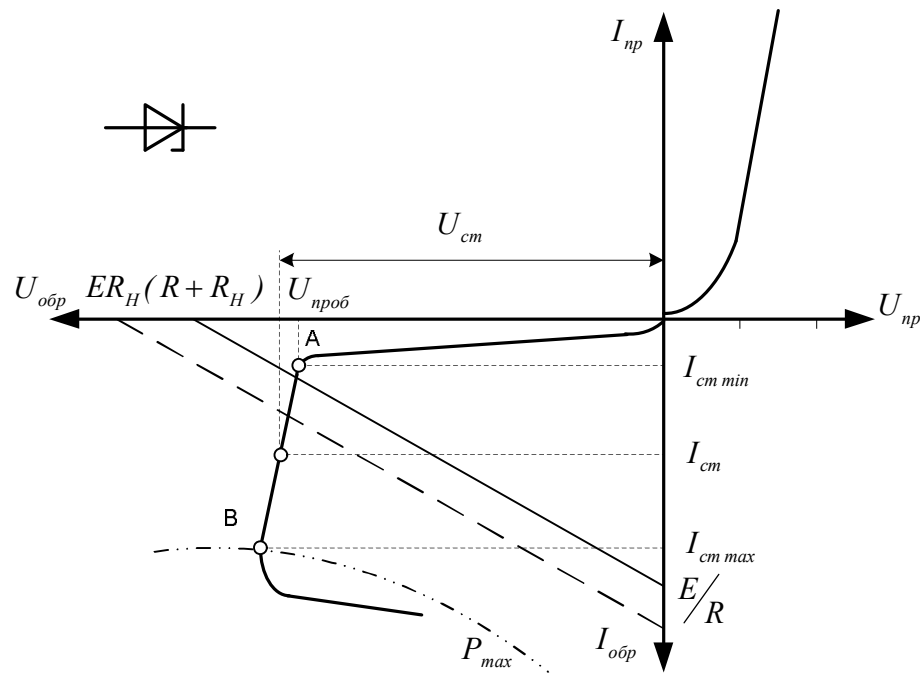


Рис. 2.1 Вольтамперная характеристика стабілітрона

При підключенні стабілітрона до джерела постійної напруги через резистор виходить схема для дослідження стабілітрона (Рис. 2.2).

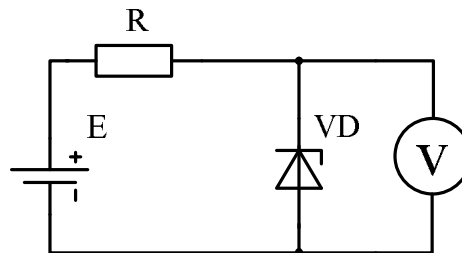


Рис. 2.2 Схема для дослідження стабілітрона

Струм стабілізації стабілітрона  $I_{см}$  може бути визначений обчисленням падіння напруги на резисторі  $R$

$$I_{см} = (E - U_{см}) / R$$

Напруга стабілізації стабілітрона  $U_{см}$  визначається точкою на вольтамперной характеристиці, в якій струм стабілітрона різко збільшується. Потужність розсіювання стабілітрона  $P_{см}$  обчислюється як множення струму  $I_{см}$  на напругу  $U_{см}$ :  $P_{см} = I_{см} U_{см}$ . Диференціальний опір стабілітрона обчислюється так само, як для діода, по нахилу вольтамперной характеристики:  $R_{диф} = \Delta U_{см} / \Delta I_{см}$ .

У реальних схемах, стабілізатора напруги містить опір навантаження, приєднаний паралельно стабілітрону (рис. 2.3).

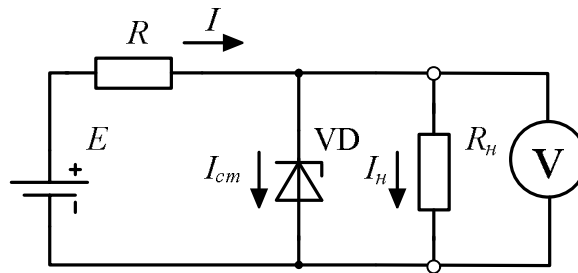


Рис. 2.3 Схема параметричного стабілізатора напруги

Для цієї схеми справедливе рівняння

$$E = (I_{cm} + I_H) R + U_{cm} = (I_{cm} + U_{cm}/R_H) R + U_{cm}.$$

З цього рівняння отримаємо вираження для струму стабілізації

$$I_{cm} = E/R - U_{cm}/(RR_H).$$

На підставі цього рівняння може бути побудована пряма навантаження, точка перетину якої з вольтамперною характеристикою є робочою (рис. 2.1).

При зміні напруги джерела живлення  $E$  пряма навантаження переміщається паралельно самій собі (пунктирна лінія на рис. 2.1), а при зміні опору навантаження змінюється її нахил.

## 2.2. Порядок проведення роботи

### 2.2.1 Вимір напруги і обчислення струму через стабілітрон

Побудуйте схему по рис. 2.4. Виміріть значення напруги  $U_{cm}$  на стабілітроні при значеннях ЕРС джерела  $E$ , приведених в таблиці 2.1 і занесіть результати вимірів.

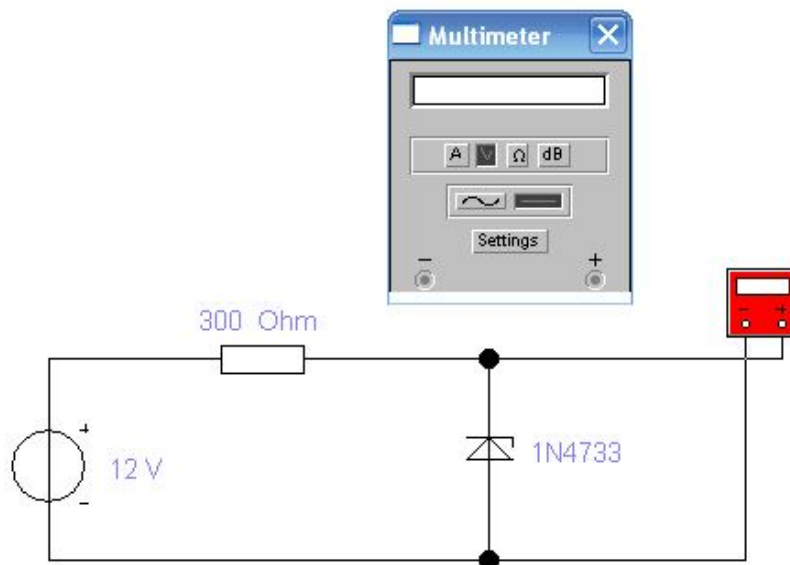


Рис 2.4.

Таблиця 2.1.

$E, B$	$U_{cm}, B$	$I_{cm}, mA$
0		
4		
6		
10		
15		
20		
25		
30		
35		

Вчислите струм  $I_{cm}$  стабілітрона для кожного значення напруги  $U_{cm}$ . За даними таблиці 2.1 з використанням Excel побудуйте вольтамперну характеристику стабілітрона.

Оцініть за вольтамперною характеристикою стабілітрона напругу стабілізації. Вчислите потужність  $P_{cm}$ , що розсіюється на стабілітроні при ЕРС джерела  $E=20$  В. Вимірьте нахил ВАХ в області стабілізації напруги і оцініть диференціальний опір стабілітрона в цій області.

### 2.2.2 Отримання характеристики навантаження параметричного стабілізатора.

Зберіть схему рис. 2.5.

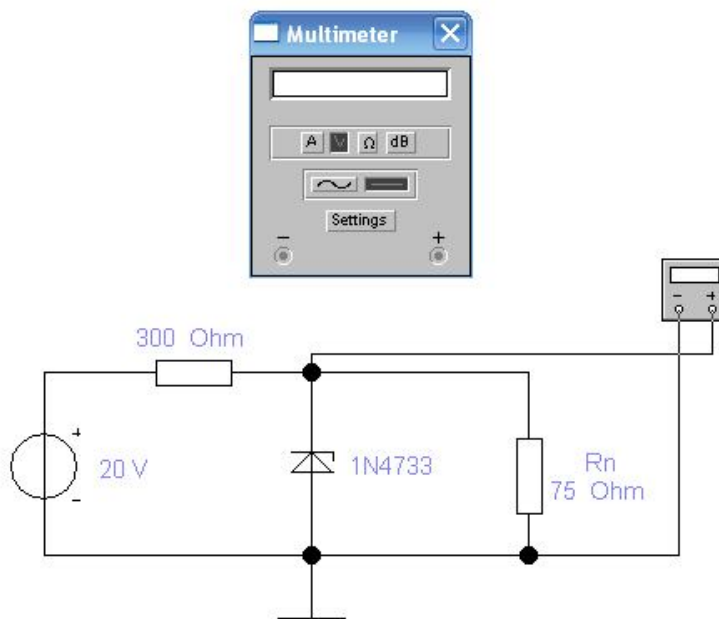


рис. 2.5.

Значення ЕРС джерела  $E$  встановити рівним 20 В.

Для значень опору резистора  $R_H$  - 75 Ом, 100 Ом, 200 Ом, 300 Ом, 600 Ом, 1 кОм, 0 Ом (коротке замикання) виміряйте значення напруги  $U_{cm}$  на стабілітроні. Результати занесіть в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2

$R_H, \text{Ом}$	$U_{cm}, \text{В}$	$I_R, \text{мА}$	$I_H, \text{мА}$	$I_{cm}, \text{мА}$
75				
100				
200				
300				
600				
1000				
0 (кз)				

Розрахуйте струм  $I_R$  через резистор  $R$ , включений послідовно з джерелом, струм  $I_H$  через резистор  $R_H$ , і струм стабілітрона  $I_{cm}$  для кожного значення  $R_H$ . Визначите інтервал значень опорів  $R_H$  при яких схема успішно стабілізує вихідну напругу.

### 2.2.3. Отримання ВАХ стабілітрона на екрані осцилографа.

Побудуйте схему рис. 2.6. Встановити на виході генератор трикутний сигнал з амплітудою 15 В, частотою 1 Гц і отримати на екрані осцилографа зображення ВАХ. На підставі графіка на екрані осцилографа запишіть експериментально отримане значення напруги стабілізації.

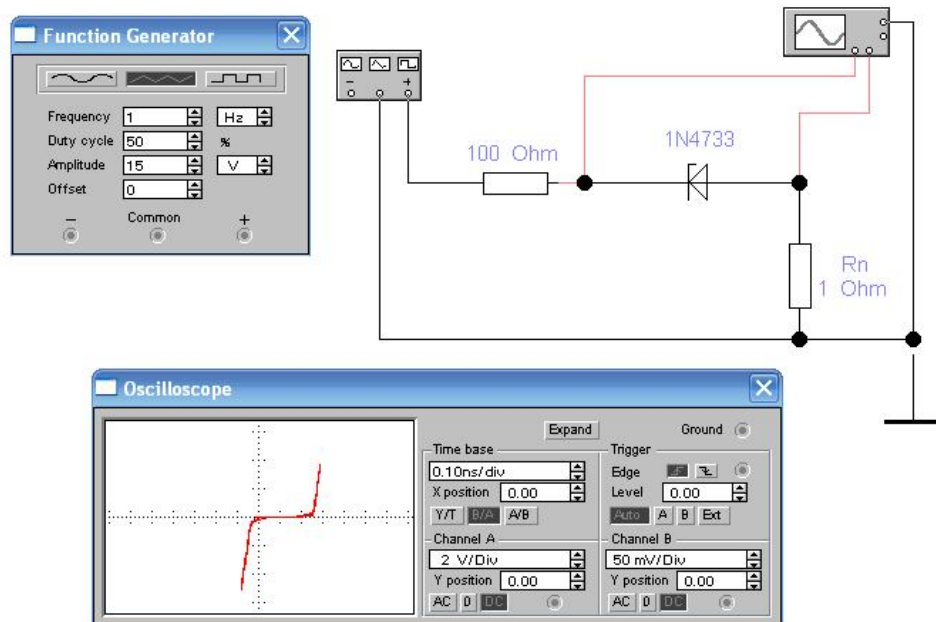


Рис. 2.4 Схема для отримання ВАХ стабілітрона

### 2.2.4 Побудова прямої навантаження стабілітрона.

На вольтамперной характеристиці стабілітрона, отриманій в результаті виконання пункту 2.2.1, побудувати прямі навантажень для наступних значень: а)  $E=20\text{ В}$ ;  $R=300\text{ Ом}$ ;  $R_H=200\text{ Ом}$ ; б)  $E=20\text{ В}$ ;  $R=300\text{ Ом}$ ;  $R_H=1\text{ кОм}$ ; в)  $E=35\text{ В}$ ;  $R=300\text{ Ом}$ ;  $R_H=200\text{ Ом}$ . Для кожного випадку визначити робочу точку.

### 2.3 Контрольні питання

1. У чому полягає основна особливість ВАХ стабілітрона?
2. Для яких цілей застосовуються стабілітрони?
3. Як по ВАХ стабілітрона визначити напругу стабілізації?
4. Поясніть принцип роботи параметричного стабілізатора напруги.
5. Як побудувати пряму навантаження і визначити струм стабілізації стабілітрона?



## Лабораторна робота № 3

### Дослідження статичних характеристик і параметрів біполярного транзистора

#### Мета роботи:

1. Вивчити принцип роботи біполярного транзистора включеного за схемою із спільним емітером в статичному режимі.
2. Отримати вхідну і вихідну статичні характеристики біполярного транзистора включеного за схемою із спільним емітером.
3. Визначити параметри біполярного транзистора.

#### 3.1 Теоретичні відомості

**Біполярним транзистором** називається напівпровідниковий прилад з двома взаємодіючими  $p$ - $n$  переходами. В залежності від структури біполярні транзистори можуть бути  $p$ - $n$ - $p$  та  $n$ - $p$ - $n$  типів.

На рис.3.1 дані умовні позначення транзисторів різних типів, а також позначені їх виводи: колектор, база, емітер. Емітерна та колекторна області відрізняються тим, що в емітерній області концентрація домішу значно більша ніж у колекторній області. Вона призначена для інжекції (вприскування) носіїв заряду. Колекторна область призначена для екстракції (втягування) носіїв, її розміри зазвичай значно більше розмірів емітера. Проміжна область називається базою, вона виконується у виді тонкого слою, тому носії заряду проходять крізь неї від емітера до колектора. Перехід між емітером і базою називається емітерним, а між колектором і базою колекторним.

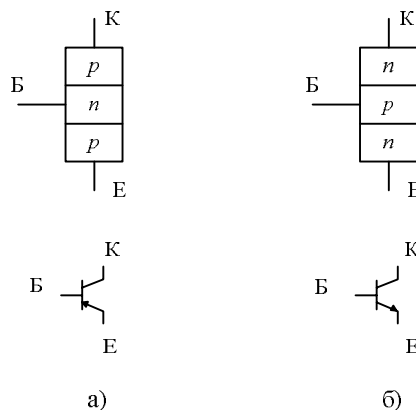


Рис. 3.1 Біполярні транзистори  $p$ - $n$ - $p$  (а) та  $n$ - $p$ - $n$  (б) типів.

В залежності від зміщення, створеного на емітером і колекторних переходах, розрізняють чотири режими роботи біполярного транзистору: активний режим, інверсний режим, режим насичення, режим відсічі.

**Активний режим** - відкритий (зміщений в прямому напрямі) емітерний перехід, а колекторний закритий (зміщений в зворотному напрямі).

**Інверсний режим** - відкритий колекторний перехід і закритий емітерний перехід.

**Режим насичення** - обидва  $p-n$  переходи відкриті і через них протікає струм.

**Режим відсічки** - обидва  $p-n$  переходи закриті, суттєвого струму через транзистор немає.

Основні властивості транзистора визначаються процесами в базі. У активному режимі включення транзистора (рис 3.2) на емітерний перехід діє пряма напруга зміщення, а на колекторний - зворотна. При цьому дірки інжектують з емітера в базу. Оскільки база в транзисторі виконується у вигляді тонкого шару, то тільки незначна частина дірок рекомбінує з електронами бази, а основна їх частина досягає колекторного переходу. Ці дірки захоплюються електричним полем колекторного переходу, що є прискорюючим для дірок. Колекторний перехід відкритий для дірок, інжекттованих до бази, і вони безперешкодно проходять в колектор. Таким чином, при нормальному включенні колектор збирає неосновні носії заряду, що поступили в базу.

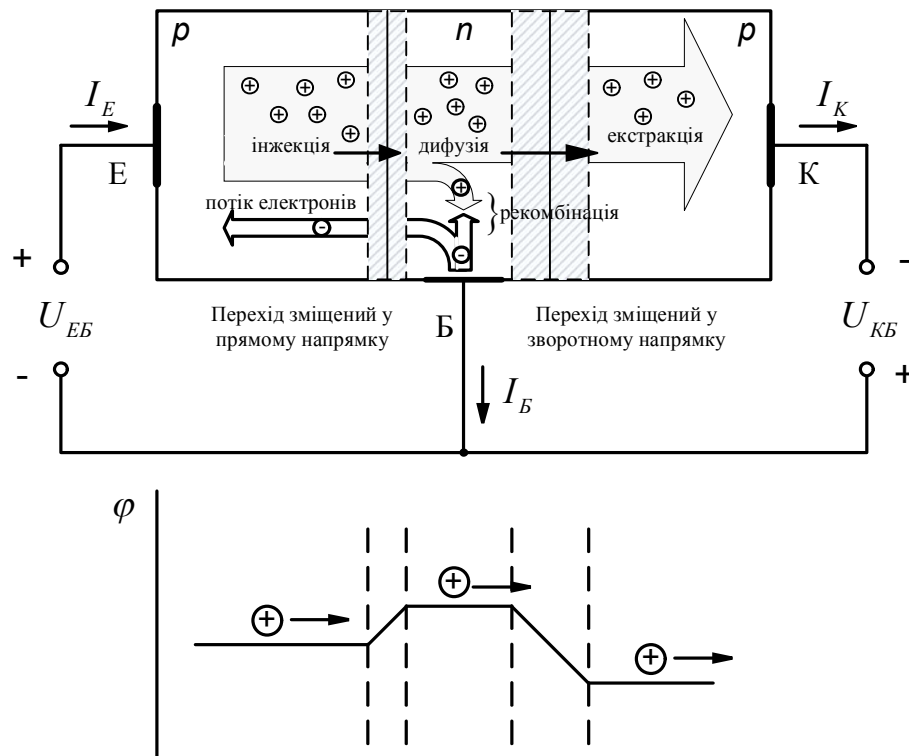


Рис. 3.2 Принцип дії транзистора

При включенні транзистору в схему один з його виводів роблять спільним для вхідного і вихідного ланцюгів. Тому бувають наступні схеми включення транзистору:

- з спільною базою (СБ) рис. 3.3 (а);
- з спільним емітером (СЕ) рис. 3.3 (б);
- з спільним колектором (СК) рис. 3.3 (в).

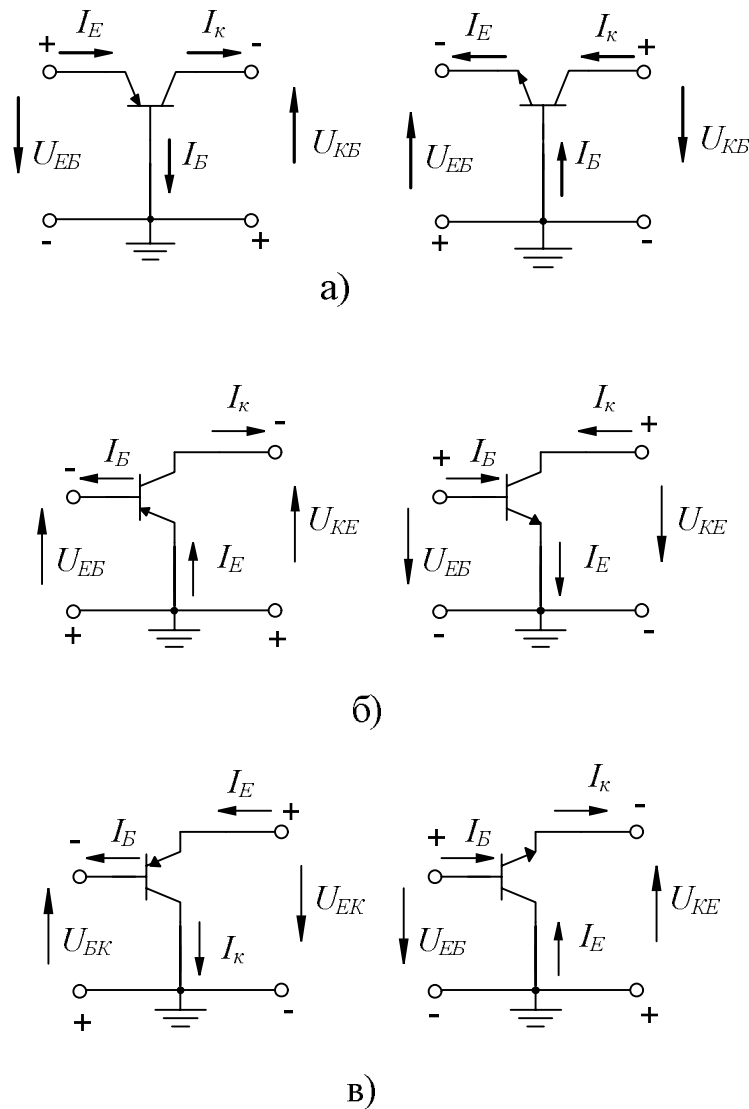


Рис. 3.3. Схеми включення біполярного транзистора:  
з спільною базою (а), спільним емітером (б), спільним колектором (в).

Кожній схемі включення транзистора відповідають свої статистичні характеристики. Вони уявляють собою залежність струмів через транзистор від прикладеної напруги. Через нелінійну залежність їх представляють у графічній формі. Відповідні характеристики наведені у довідковій літературі по транзисторам та використовуються при розрахунках схем.

Транзистор характеризується вхідною та вихідною статистичними вольт-амперними характеристиками (ВАХ).

Вхідною характеристикою транзистора в схемі з СЕ є залежність струму бази  $I_B$  від напруги база-емітер  $U_{BE}$  ( $I_B = f(U_{BE}), U_{KE} = const$ ), а вихідною – залежність струму колектора  $I_K$  від напруги колектор - емітер  $U_{KE}$  ( $I_K = f(U_{KE}), I_B = const$ ).

Вхідні характеристик  $I_B(U_{BE})$  при  $U_{KE} = const$  представлені на рис. 3.4 (а). Вихідні характеристики  $I_K(U_{KE})$  при  $I_B = const$  зображені на рис. 3.4 (б).

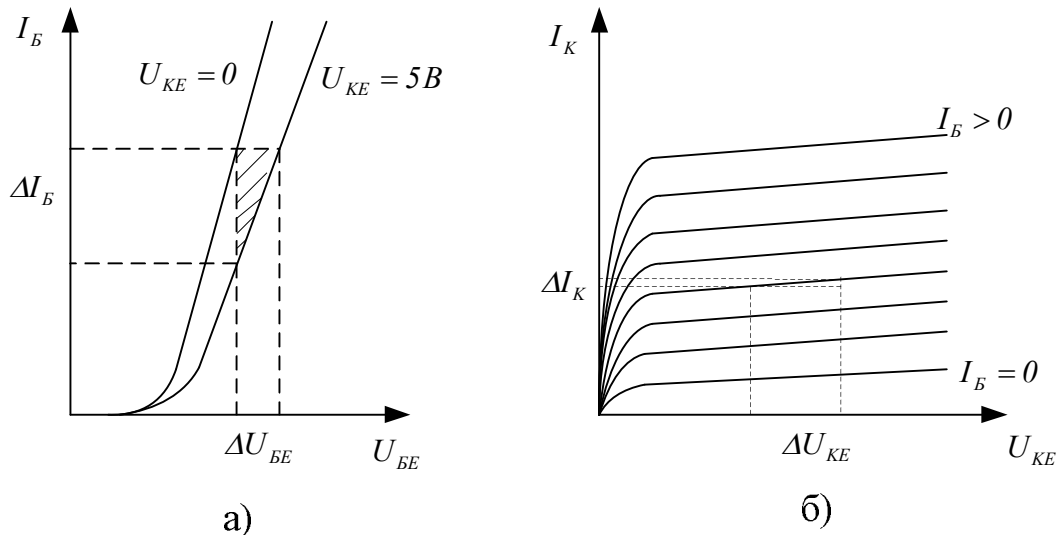


Рис. 3.4

Важливими параметрами транзистору є так звані малосигнальні ***h*-параметри**. Вони характеризують роботу транзистора в основних режимах його роботи - при малих змінах струмів та напруг. Прийнято визначати *h* - параметри виходячи з уявлення транзистора як чотириполюсника (рис. 3.5 а). Усередині чотириполюсника знаходиться транзистор включений по одній з схем СБ, СЕ, СК.

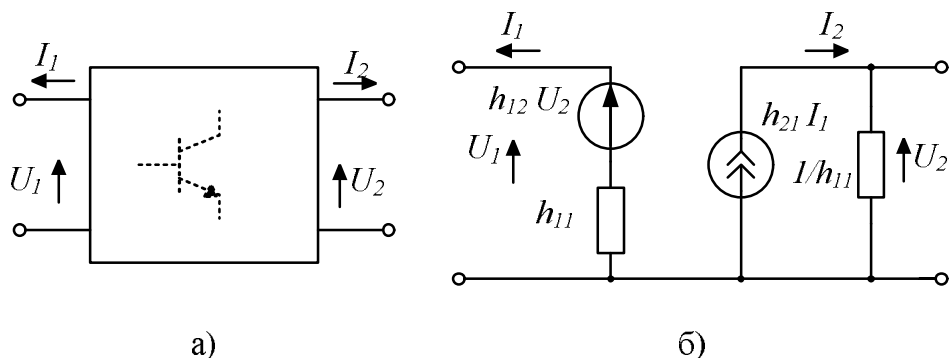


Рис. 3.5. Транзистор у виді чотириполюсника (а) та його еквівалентна схема (б).

Використовуючи теорію чотириполюсників встановлюють зв'язок між вхідними та вихідними струмами та напругами на транзисторі через *h* – параметри. Якщо на статистичних характеристиках розглядати невеликі

області, то зв'язок між постійним струмом і напругою можливо вважати лінійним, а транзистор лінійним чотириполюсником. У цьому випадку для схеми з СЕ зв'язок між вхідними ( $U_B$ ,  $I_B$ ) та вихідними ( $U_K$ ,  $I_K$ ) напругами та струмами можливо визначити системою двох рівнянь:

$$\Delta U_B = h_{11E} \Delta I_B + h_{12E} \Delta U_K;$$

$$\Delta I_K = h_{21E} \Delta I_B + h_{22E} \Delta U_K.$$

де  $h_{11E} = \left. \frac{\Delta U_B}{\Delta I_B} \right|_{U_K = \text{const}}$  ( $\Delta U_K = 0$ ) – вхідний динамічний опір транзистора,

( $h_{11E} = R_{exE} = 100 \dots 1000 \text{ Ом}$ );  $h_{12E} = \left. \frac{\Delta U_B}{\Delta U_K} \right|_{I_B = \text{const}}$  ( $\Delta I_B = 0$ ) – безрозмірний

коефіцієнт внутрішнього зворотного зв'язку за напругою, значення якого лежить у межах  $0,002 \dots 0,0002$  (при розрахунках зазвичай їм зневажають, т. ч.

$\approx 0$ );  $h_{21E} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \right|_{U_K = \text{const}}$  ( $\Delta U_K = 0$ ) – коефіцієнт передачі (підсилення) струму

при постійній напрузі на колекторі, постійному напруженні на колекторі, його також позначають  $K_i$  або  $\beta = 10 \dots 200$ ;

$h_{22E} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta U_K} \right|_{I_B = \text{const}}$  ( $\Delta I_B = 0$ ) – вихідна провідність транзистора при постійному

струмі бази ( $h_{22E} = 1/R_K = 10^{-4} \dots 10^{-6} \text{ См}$ ).

$h$ -параметри транзистора включеного по схемі СЕ визначають по його вхідним та вихідним характеристикам.

### 3.2. Порядок проведення роботи

#### 3.2.1. Побудова вхідних статичних характеристик транзистора

Зібрати схему (рис. 3.6). Амперметр А1 вимірює струм бази  $I_B$ , вольтметр V1 – напругу база-емітер  $U_{BE}$ , вольтметр V2 – напругу  $U_{KE}$ , а амперметр А2 – струм колектора  $I_K$  транзистора.

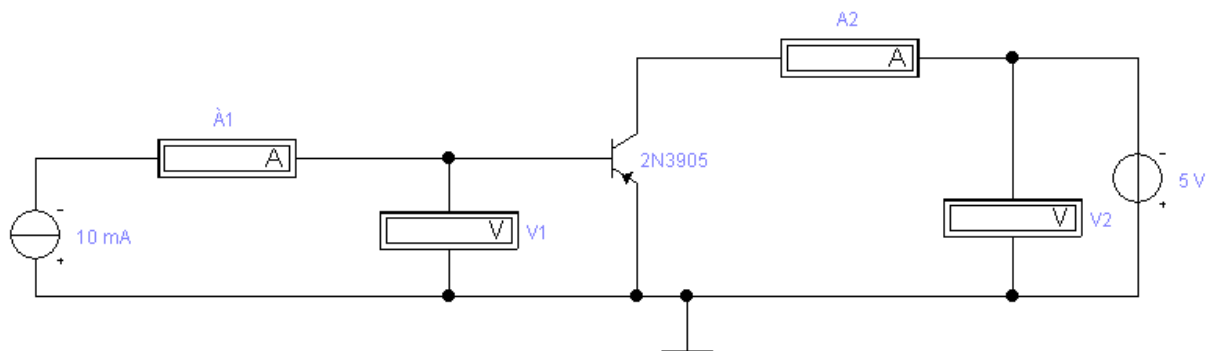


Рис 3.6.



### 3.2.3. Розрахунок параметрів транзистора

Визначити  $h$  - параметри транзистора, користуючись вхідними та вихідними характеристиками транзистора.

Для визначення  $h_{11}$  на середині лінійної ділянки вхідної характеристики, яка відповідає напрузі  $U_{KE}=5\text{В}$ , побудувати характеристичний трикутник  $h_{11} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} | U_{KE} = 5\text{В}$ , рис. 3.4 а). Вершини

трикутника повинні співпадати з значеннями таблиці 1. На лінійній ділянці вихідної характеристики (рис. 3.4 б), яка відповідає струму бази  $I_B = 3\Delta I_B$ , побудувати характеристичний трикутник і визначити  $h_{22} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_K} | I_B = \text{const}$ .

Вершини трикутника повинні відповідати значенням в таблиці 2. (рекомендується взяти значення  $U_{KE}$  3 та 5 В або 5 та 10 В). При напрузі на колекторі  $U_{KE}=5\text{В}$  визначити параметр  $h_{21} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} | U_{KE} = \text{const}$ .

Знайти вхідний і вихідний опір транзистора:

$$R_{вхЕ} = h_{11} \quad R_{вихК} = \frac{1}{h_{22}}$$

Визначити коефіцієнт передачі по струму транзистора:

$$\beta = h_{21}.$$

### 3.3 Контрольні питання

1. Які основні фізичні процеси лежать в основі принципу дії біполярного транзистора?
2. Які існують режими роботи біполярного транзистора? Як при цьому зміщені переходи транзистора?
3. Які залежності називаються статичними характеристиками транзисторів?
4. Що таке  $h$  - параметри транзистора і що вони характеризують?
5. Як за вхідною вольтамперною характеристикою транзистора в схемі із спільним емітером визначити його статичний і диференціальний вхідні опори?
6. Як за вихідною вольтамперною характеристикою транзистора в схемі із спільним емітером визначити диференціальний коефіцієнт посилення по струму?

## Лабораторна робота № 4

### Дослідження характеристик польових транзисторів

#### Мета роботи:

1. Дослідження принципів роботи польових транзисторів управляючим  $p$ - $n$  переходом.
2. Отримання статичних характеристик польових транзисторів управляючим  $p$ - $n$  переходом.
- 3.

#### 4.1 Теоретичні відомості

**Польовими (уніполярними)** називається транзистори, в яких між двома електродами створюються провідний канал, а регулювання струму здійснюється шляхом зміни провідності за допомогою електричного поля. Їх основною особливістю є те, що проходження струму в каналі здійснюється завдяки тільки одного типу зарядів, а управління струмом каналу здійснюється електричним полем.

Електрод, з якого починається рух носіїв заряду, називається витоком, а електрод до якого вони рухаються – стоком. Електрод, який створює електричне поле – затвором. Розрізняють два типи польових транзисторів: з управляючими  $p$ - $n$ -переходом та ізольованим затвором. По типу електропровідності вони діляться на транзистори з каналами " $p$ " та " $n$ " типів. Польові транзистори з ізольованим затвором за метод ізоляції затвору називають МДН (метал - діелектрик - напівпровідник) транзисторами або МОН (метал – оксид - напівпровідник) транзисторами.

На рис. 4.1 а приведена структура транзистора, який називається транзистором з управляючим  $p$ - $n$  переходом. Основу його представляє  $n$ -канал з невисокою концентрацією основних носіїв, зверху і знизу якого приєднані електроди. З обох боків  $n$ -каналу створюється напівпровідник  $p^+$ -типу з високою концентрацією основних носіїв.



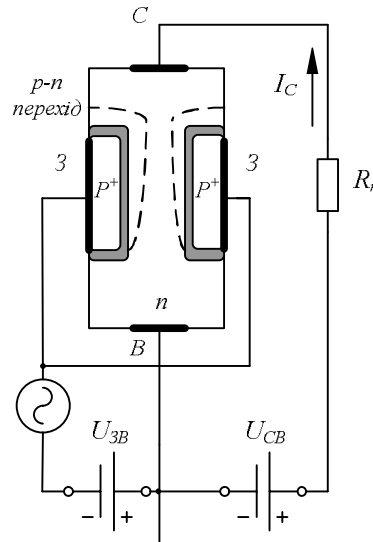


Рис. 4.1. Структурна схема польового транзистора з управляючим  $p$ - $n$  переходом

При підключенні виходів стоку  $C$  і витoku  $B$  до джерела живлення  $U_{CB}$  по каналу  $n$ -типу протікає початковий струм  $I_C$ , оскільки  $p$ - $n$ -перехід не перекриває переріз каналу. При цьому електрод, з якого в канал входять носії заряду, називають витком, а електрод, через який з каналу йдуть основні носії заряду, називають стоком. Електрод, що служить для регулювання поперечного перерізу каналу, називають затвором. Із збільшенням зворотної напруги  $-U_3$  зменшується переріз каналу, його опір збільшується і зменшується струм стоку  $I_C$ .

Отже, управління струмом стоку  $I_C$  відбувається при подачі зворотної напруги на  $p$  -  $n$  -перехід затвору 3. У зв'язку з крихтою зворотних струмів в ланцюзі затвор-витік, потужність, необхідна для управління струмом стоку, виявляється нікчемно малою.

При напрузі  $-U_3 = -U_{30}$ , напруги відсічення, переріз каналу повністю перекривається збідненим носіями заряду бар'єрним шаром, і струм стоку  $I_{C0}$  (струм відсічення) визначається неосновними носіями заряду  $p$ - $n$  -переходу.

Умовні графічне позначення польового транзистора з управляючим  $p$ - $n$  переходом з  $n$  каналом та  $p$  каналом представлена на рис.4.2.

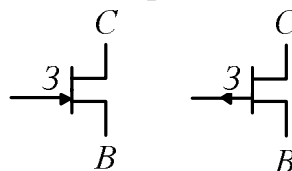


Рис 4.2.

За аналогією з біполярними транзисторами розрізняють три схеми увімкнення польових транзисторів із спільним затвором (СЗ), із спільним витком (СВ), і з спільним стоком (СС).

Основними статистичними характеристиками транзистора з управляючим  $p-n$  переходом є вихідні (стокові) характеристики та характеристики прямої передачі (стокозатворні).

**Стокові характеристики**, це залежності  $I_C = f(U_{CB})$  при  $U_{3B} = const$  (рис. 4.3). З підвищенням  $U_{CB}$  струм  $I_C$  збільшується майже прямолінійно та при досягненні  $U_{CB} = U_{CBнас}$  ( $U_{CBнас}$  - напруга насичення) зростання  $I_C$  припиняється (точки н). Насичення настає при тим менших значеннях  $U_{CB}$ , чим більше  $|U_{3B}|$ .  $U_{CBнас} = U_{3B} - U_{3Bвід}$ , де  $U_{3Bвід}$  - управляюча напруга при якій  $I_C = 0$  (режим відсічки),  $U_{CB}$  - управляюча напруга, яка відповідає ВАХ транзистора. При подальшому зростанні вихідної напруги струм  $I_C$  залишається незмінним до напруги пробію  $U_{CBпроб}$ .

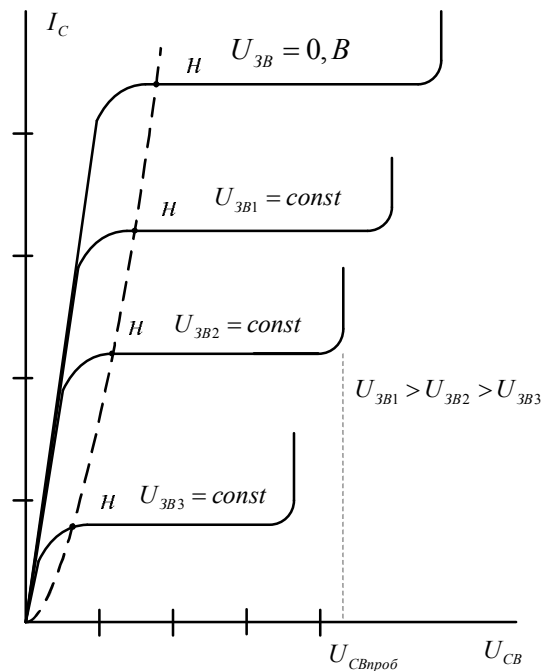


Рис. 4.3. Стокові характеристики.

**Характеристики прямої передачі**, це залежності  $I_C = f(U_{3B})$  при  $U_{CB} = const$  (рис. 4.4).

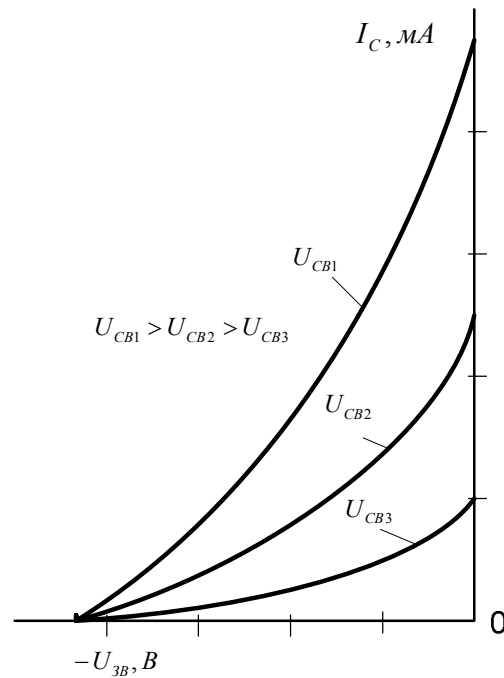


Рис. 4.4. Характеристики прямої передачі.

Основними параметрами польового транзистора з управляючим  $p-n$  переходом є.

**Крутизна стокзатворної характеристики**

$$S = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{3B}} \text{ при } U_{CB} = \text{const}.$$

Крутизна характеризує управляючу дію затвору. Її значення звичайно складає декілька міліампер на вольт. Наприклад,  $S = 3 \text{ мА/В}$  означає, що зміна напруги затвору на 1 В призведе до змін струму стоку на 3 мА.

**Вхідний диференціальний опір**

$$R_{\text{вхдиф}} = \frac{\Delta U_{3B}}{\Delta I_3} \text{ при } U_{CB} = \text{const}.$$

$\Delta I_3$ - струм затвору, який створений рухом неосновних носіїв крізь перехід.

**Вихідний диференціальний опір**

$$R_{\text{вихдиф}} = \frac{\Delta U_{CB}}{\Delta I_C} \text{ при } U_{3B} = \text{const}.$$

**Напруга відсічки**  $U_{3B\text{від}}$  - напруга на затворі при  $I_C = 0, U_{CB} = 0$ .

## 4.2. Порядок проведення роботи

4.2.1. Побудова характеристик прямої передачі польового транзистора  
Зібрати схему (рис. 4.5).

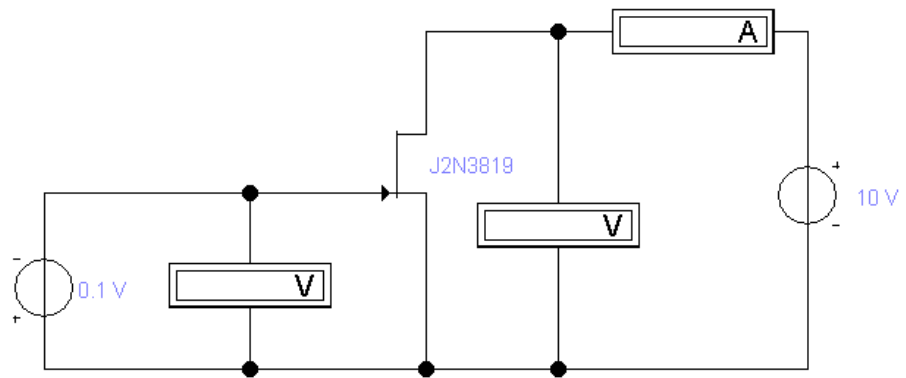


Рис.4.5. Схема для дослідження характеристик польового транзистора

Провести вимірювання напруги і струмів вхідної ВАХ транзистора при фіксованому значенні  $U_{CB}=5$  В та при  $U_{CB}=10$  В. Для цього встановити за допомогою джерела напруги зазначену напругу, здійснюючи його контроль за показниками вольтметра V1. Збільшуючи напругу затвору у діапазоні від 0 до 1,6 В за допомогою джерела напруги, записати показники амперметра A1 та вольтметра V1 в табл. 4.1

Таблиця 4.1. Стокозатворні вольтамперні характеристики

	$U_{CB}=5$ В	$U_{CB}=10$ В
$U_{зБ}$ , В	$I_C$ ,мкА	$I_C$ ,мкА
0		
0,2		
0,4		
0,6		
0,8		
1		
1,2		
1,4		
1,6		

За допомогою програми Excel побудувати стоконатворні характеристики транзистора.

#### 4.2.2. Побудова вихідних (стокових) характеристик транзистора

Провести вимірювання напруги та струму вихідних ВАХ транзистору при різних фіксованих напругах затвору. Для цього встановити за допомогою джерела напруги найнижче із вказаних в табл.4.2. значень напруги затвору, контролюючи його за показниками вольтметра V1. Регулюючи напругу  $U_{CB}$  в діапазоні від 0 до 10 В відповідно табл.4.2. (контролювати його за показниками вольтметра V2), записати показники амперметра A1 в табл.4.2. Повторити вимірювання для всіх інших фіксованих значень напруг затвору, вказаних в табл.4.2.

За допомогою програми Excel побудувати вихідні характеристики транзистора.

Таблиця 4.2. Вихідні ВАХ польового транзистора

	$U_{3B}=0$ В	$U_{3B}=-0,2$ В	$U_{3B}=-0,5$ В	$U_{3B}=-0,8$ В
$U_{CB}$ , В	$I_C$ , мкА	$I_C$ , мкА	$I_C$ , мкА	$I_C$ , мкА
0				
0,5				
1				
1,5				
2				
2,5				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

#### 4.2.3. Розрахунок параметрів транзистора

Користуючись стоковими та характеристиками прямої передачі визначити параметри транзистора:

крутизну стоконатворної характеристики  $S = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{3B}}$  при  $U_{CB} = const$ ;

вхідний диференціальний опір  $R_{вх\text{диф}} = \frac{\Delta U_{3B}}{\Delta I_3}$  при  $U_{CB} = const$ ;

вихідний диференціальний опір  $R_{вих\text{диф}} = \frac{\Delta U_{CB}}{\Delta I_C}$  при  $U_{3B} = const$ .

Визначити напруга відсічки транзистора  $U_{3B\text{від}}$  - напруга на затворі при  $I_C = 0, U_{CB} = 0$ .

### 4.3 Контрольні питання

1. Які основні фізичні процеси лежать в основі принципу дії польового транзистора з управляючим  $p-n$  переходом ?
2. Дайте пояснення терміну польовий трпнзистор
3. Які залежності називаються вхідними і вихідними характеристиками тпольових ранзисторів?
- 4 Як за вхідною вольтамперной характеристикою транзистора в схемі із спільним витоком визначити його диференціальний вхідний опір?
5. Як за вихідною вольтамперной характеристикою польового транзистора в схемі із спільним витоком визначити крутизну стокотворної характеристики?
6. Намалюйте умовне графічне позначення польових транзисторів різних типів.

### Література

1. Кардашев Г.А. Виртуальная электроника. Компьютерное моделирование аналоговых устройств.-М.: Горячая линия- Телеком, 2002.- 260 с.
2. Карлащук В.И., Карлащук С.В. Электронная лаборатория на IBM PC. Инструментальные средства и моделирование элементов практических схем.- М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008.- 144 с.
3. Муханов В.В., Паутов В.И. Электроника. Учебное электронное тестовое задание.- Екатеринбург: ОУ-ВПО УГТУ-УПИ, 2006.- 24 с.
4. Хернитер Марк Е. Multisim 7: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. (Пер. с англ.)/ Пер. с англ. Осипов А.И.- М.: Издательский дом ДМК- пресс, 2006.- 488 с.