

## Лабораторна робота №5

# ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЬОВИХ ТРАНЗИСТОРОВ

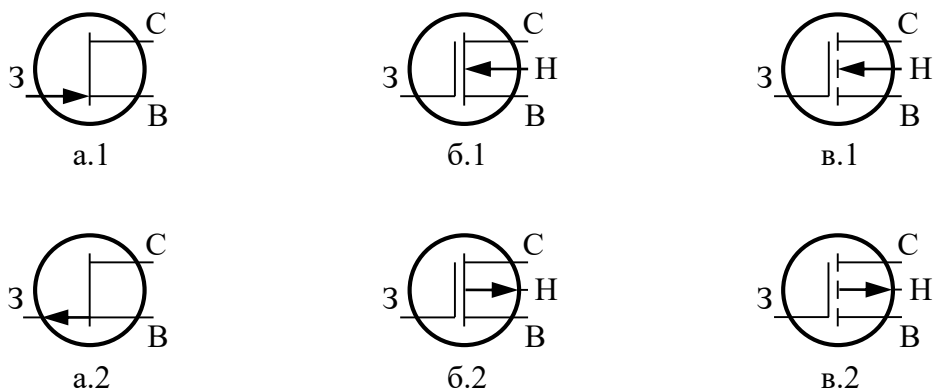
*Мета роботи:* вивчити принцип дії і характеристики польових транзисторів різних типів. Ознайомитися з методикою зняття вольтамперних характеристик і розрахунку основних параметрів польових транзисторів.

### Основні теоретичні відомості

*Польовим транзистором* називається транзистор, в якому між двома електродами утворюється провідний канал, по якому протікає струм. Управління цим струмом здійснюється електричним полем, створюваним третім електродом.

Польові транзистори ще називають *уніполярними*, оскільки при їх роботі використовуються носії заряду лише одного типу провідності – або електрони, або дірки.

Польові транзистори (рис.5.1) в залежності від способу виготовлення поділяються на дві групи: транзистори з керуючим *pn*-переходом і транзистори з ізольованим затвором (МДН транзистори).



а.1 – з керуючим *p-n* переходом і каналом *n* типу; а.2 – з керуючим *p-n* переходом і каналом *p* типу; б.1 – МДН з вбудованим каналом *n* типу; б.2 – МДН з вбудованим каналом *p* типу; в.1 – МДН з індукованим каналом *n* типу; в.2 – МДН з індукованим каналом *p* типу.

Рисунок 5.1 – Схематичне зображення польових транзисторів

Електрод, з якого починається рух носіїв заряду, називається *витіком*, а електрод, до якого вони рухаються – *стоком*. Електрод, що створює керуюче електричне поле називається *затвором*.

### 1. Пільові транзистори з керуючим *p-n* переходом

Пільовий транзистор з керуючим *p-n* переходом складається з напівпровідникової пластини з омичними виводами від кожного кінця, в якому методом дифузії утворено канал – тонкий шар з провідністю іншого типу (рис.5.2,а).

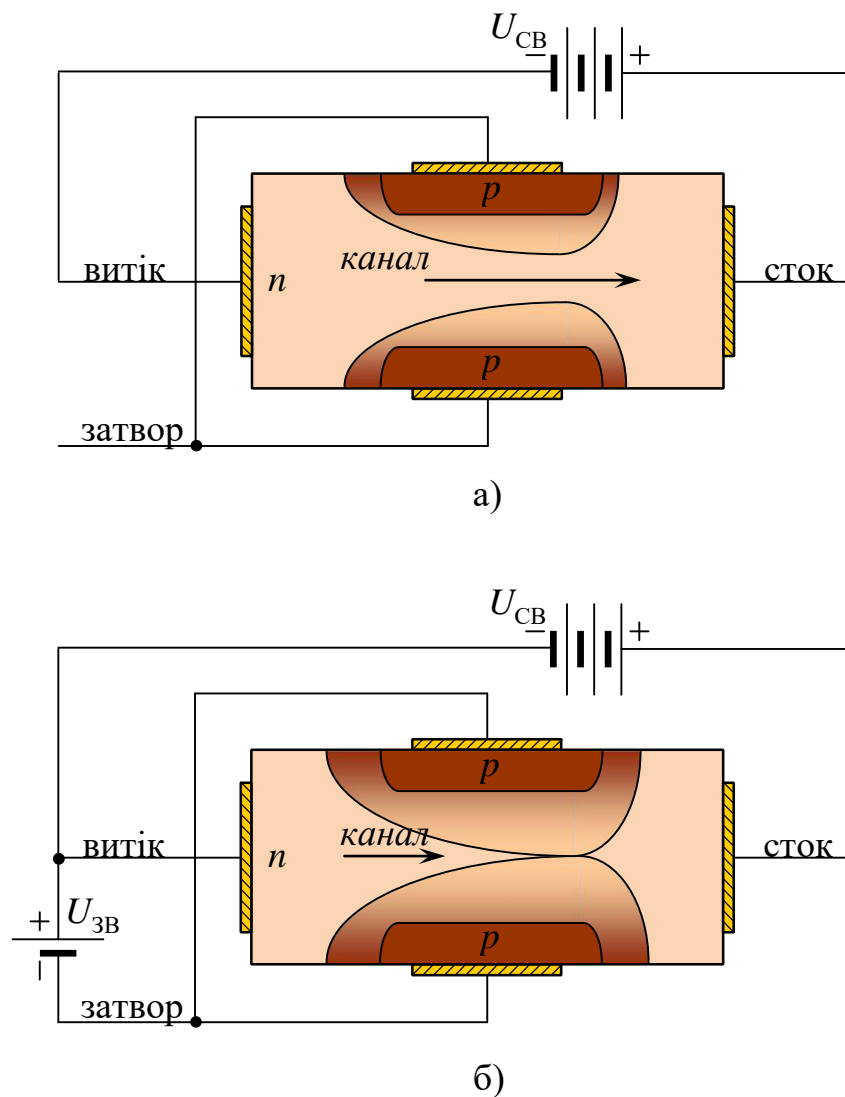


Рисунок 5.2 – Робота польового транзистора з керуючим *p-n* переходом і каналом *n* типу

На поверхні каналу з протилежних сторін формується  $p-n$  перехід, розташований паралельно напрямку струму. Залежно від провідності напівпровідника канал може бути двох типів –  $n$  або  $p$ .

Якщо до витoku польового транзистора з каналом  $n$ -типу і керуючим  $p-n$  переходом підключити негативний, а до стоку – позитивний потенціал напруги  $U_{CB}$ , то в каналі виникне струм, створюваний рухом електронів від витoku до стоку, тобто основними носіями заряду. При підключенні до затвору негативної напруги відносно витoku (рис.5.2, б), між затвором і каналом виникає електричне поле. Збільшення зворотної напруги  $U_{ЗВ}$  призводить до збільшення ширини шару, що запирає  $p-n$  переходу, при цьому щільність носіїв заряду в каналі знижується, і величина струму, що протікає зменшується.

Оскільки управління відбувається через зміщений в зворотному напрямку  $p-n$  перехід, опір між каналом і затвором великий і струм управління ( $I_3$ ) малий.

Для аналізу польових транзисторів зазвичай використовують два сімейства статичних ВАХ (рис.5.3): сток-затворні (перехідні) і стокові (вихідні).

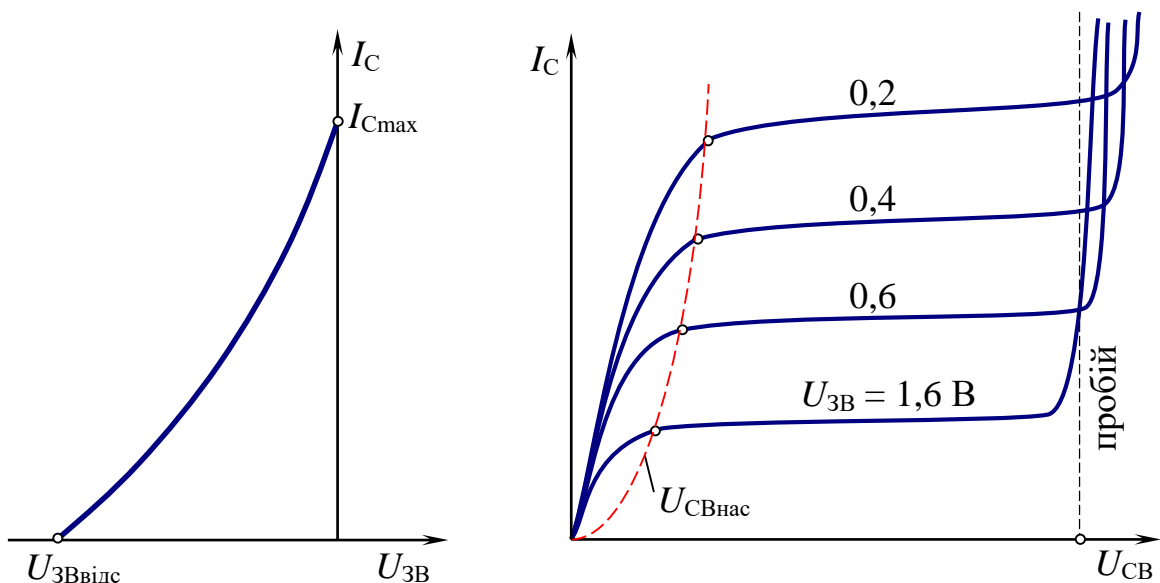


Рисунок 5.3 – Перехідна та вихідні ВАХ польового транзистора з керуючим  $p-n$  переходом і каналом  $n$  типу

Максимальний струм стоку в транзисторі спостерігається, коли напруга  $U_{ЗВ}=0$ . Напруга на затворі, при якій  $p-n$  перехід перекриває канал, і струм стоку припиняється, називають напругою *відсічки*  $U_{ЗВвідс}$ .

Одним з основних параметрів польового транзистора є крутизна

$$S = \frac{dI_C}{dU_{ЗВ}}, \left[ \frac{\text{мА}}{\text{В}} \right]$$

Для польового транзистора з  $p-n$  переходом крутизну можна розрахувати за формулою

$$S = S_{\max} \left( 1 - \frac{U_{ЗВ}}{U_{ЗВвідс}} \right)$$

де  $S_{\max} = \frac{2I_{C\max}}{U_{ЗВвідс}}$  – максимальна крутизна при  $U_{ЗВ} = 0$ .

## 2. Польові транзистори з ізолюваним затвором

У польових транзисторах з ізолюваним затвором затвор відділено від каналу тонким ізолюючим шаром оксиду (металдіелектрик-напівпровідник МДН). При дуже тонкому ізолюючому шарі проникнення поля в канал не ускладнене, при цьому струм затвора значно зменшується і не залежить від полярності прикладеної до затвора напруги.

Канали польових транзисторів з МДН-структурою за фізичними властивостями поділяються на вбудовані (збіднений тип) і індуковані (збагачений тип).

Якщо прикласти напругу між стоком і витком  $U_{СВ}$ , то по вбудованому каналу за відсутності напруги на затворі потече струм (рис.5.4, а). Це початковий струм стоку  $I_0$ . Опір вбудованого каналу можна зменшити, прикладаючи напругу між затвором транзистора і підкладкою.

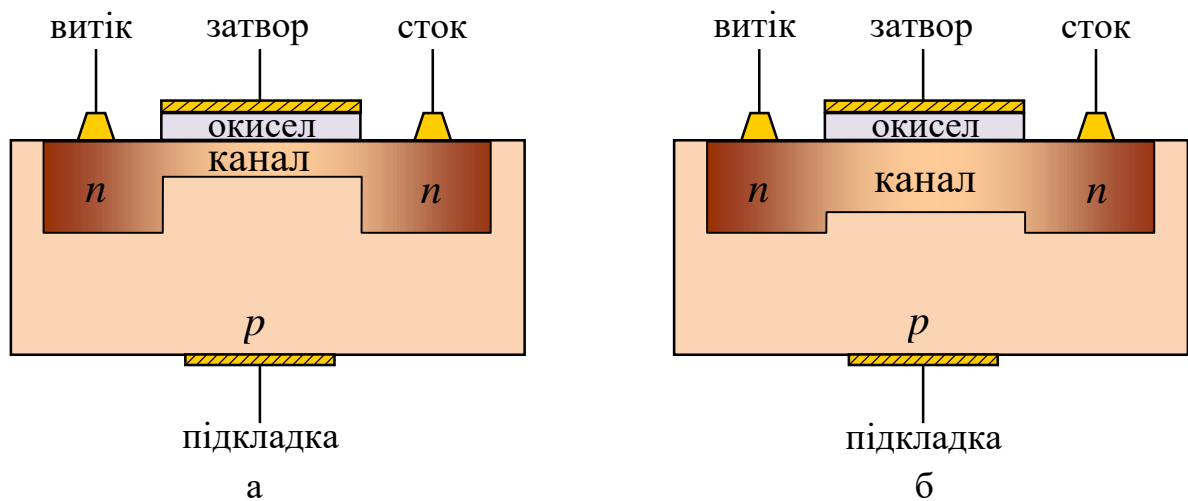


Рисунок 5.4 – Польовий транзистор з вбудованим каналом  $n$ -типу

Якщо до затвору МДН-транзистора з вбудованим  $n$ -каналом прикласти позитивну напругу відносно підкладки, то електрони (неосновні носії заряду) з підкладки  $p$ -типу, будуть притягатися до діелектрика. При цьому канал МДН-транзистора насичується основними носіями заряду, збільшуючи провідність каналу (рис.5.4, б). Цей процес називається режимом збагачення. ВАХ МДН-транзистора з вбудованим  $n$ -каналом наведено на рис.5.5.

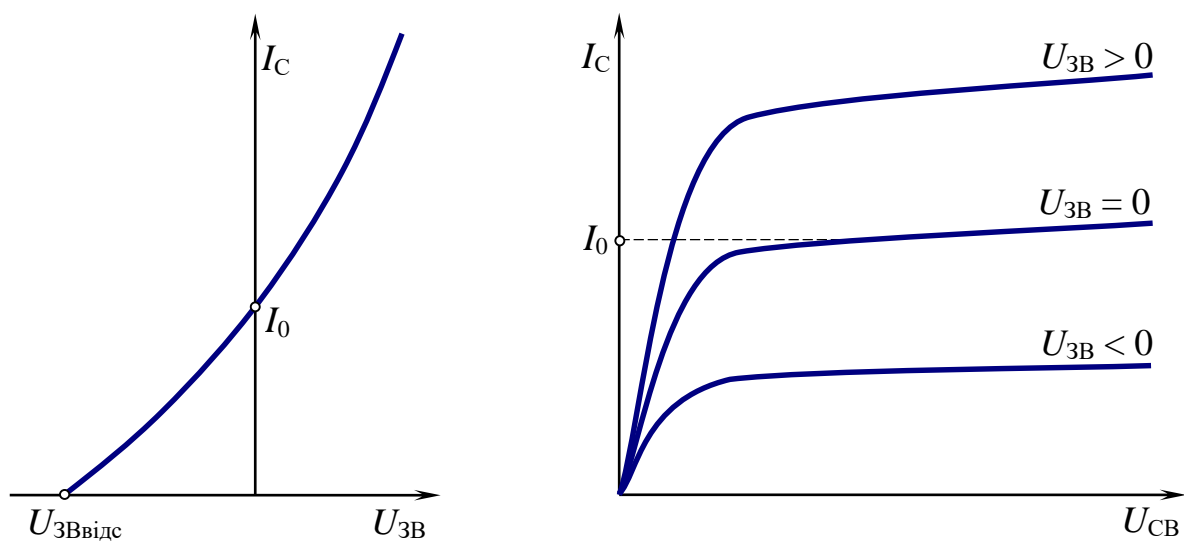


Рисунок 5.5 – Перехідна та вихідні ВАХ польового транзистора з вбудованим каналом  $n$ -типу

Якщо до затвору такого транзистора прикласти негативну напругу по відношенню до підкладки, то під дією електричного поля електрони будуть виштовхувати з каналу в підкладку. Такий режим прийнято називати збідненням каналу. В результаті, опір каналу збільшується, а струм стоку зменшується. При певній напрузі на затворі струм стоку припиниться. Цю напругу називають напругою відсічення  $U_{зв\text{відс}}$ .

У МДН-транзисторі з індукованим каналом при напрузі на затворі  $U_{зв}=0$  канал відсутній (рис.5.6, а), і, відповідно, при прикладеній напрузі між стоком і витіком струм протікати не буде.

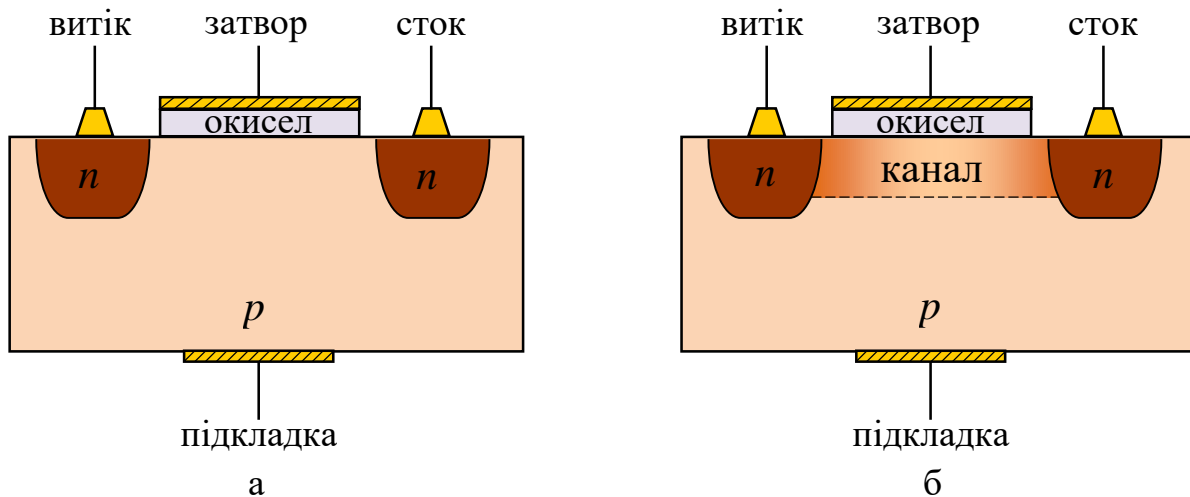


Рисунок 5.6 – Польовий транзистор з індукованим каналом  $n$ -типу

При збільшенні позитивної напруги на затворі відносно підкладки, електрони будуть притягатися до діелектрика та на поверхні напівпровідника  $p$ -типу утворюється тонкий шар з електропровідністю  $n$ -типу (рис.5.6, б).

Цей шар прийнято називати каналом, а такий режим *інверсією електропровідності*. Напругу, при якій відбувається інверсія електропровідності й утворюється канал, прийнято називати *напругою відсічення* або *пороговою напругою*.

При подальшому збільшенні напруги на затворі струм стоку буде збільшуватися, як видно з перехідної ВАХ (рис.5.7).

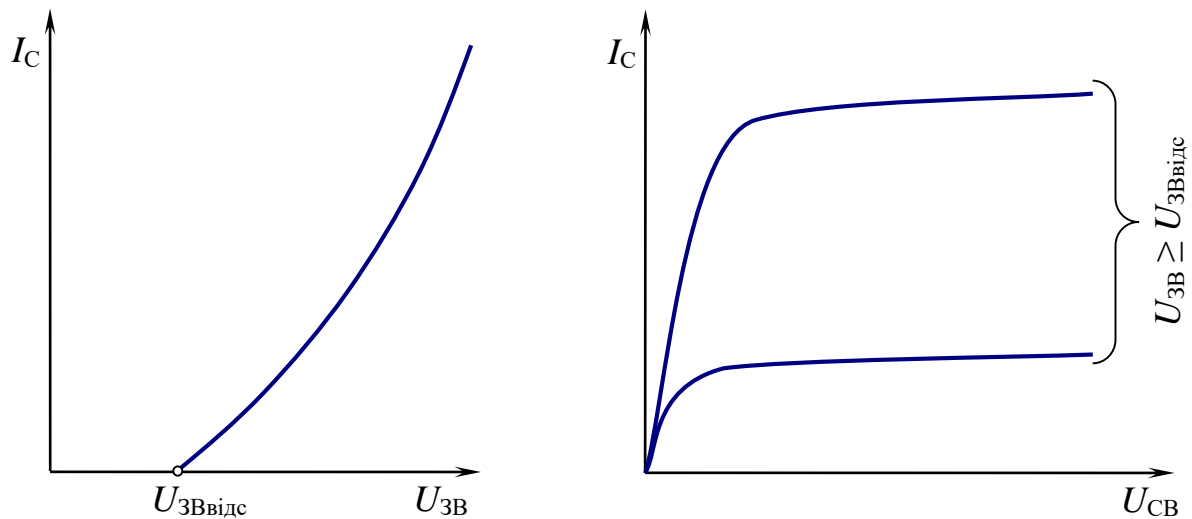


Рисунок 5.7 – Перехідна та вихідні ВАХ польового транзистора з індукованим каналом  $n$ -типу

Для пологої області характеристик крутизну МДН-транзистора можна знайти з виразу

$$S = K(U_{зв} - U_{зв\text{відс}}).$$

де  $K$  – коефіцієнт, що залежить від технології виготовлення транзистора.

### Порядок виконання роботи

Перелік приладів:

- модуль для дослідження характеристик транзисторів;
- універсальне джерело живлення;
- комбінований вимірювальний прилад.

#### 1. Дослідження сток-затворної характеристики польового 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  $90^\circ$ ;
- перемикач індикатора встановити в положення «АМР»;
- ручкою «ТОК» виставити обмеження струму  $0,1 \text{ А}$ ;
- зняти провідник і повернути перемикач індикатора в положення «VOLT»;
- ручкою «НАПРЯЖЕНИЕ» скинути напругу живлення до  $0$ ;

– аналогічним чином налаштувати обмежувач струму 2 каналу на струм 0,1 А.

1.2 Зібрати схему, представлену на рис.5.8. В якості вольтметрів використовуються вбудовані індикатори напруги джерела живлення.

1.3 Ручкою «НАПРЯЖЕНИЕ» джерела живлення встановити  $U_{CB} = 5$  В.

1.4 Фіксуючи напругу  $U_{ЗВ}$  ручкою «НАПРЯЖЕНИЕ» джерела живлення, згідно з таблицею 5.1, вимірювати струм стоку  $I_C$  до повного його зникнення. Відповідні значення струму стоку  $I_C$  занести в таблицю 5.1.

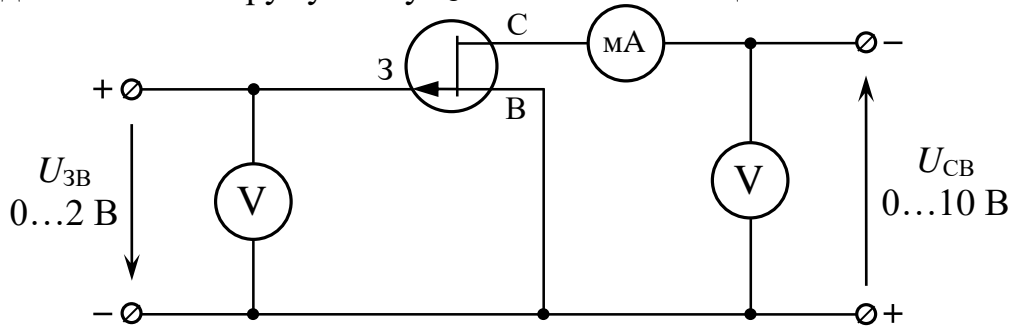


Рисунок 5.8 – Схема для зняття ВАХ польового транзистора

Таблиця 5.1

**Результати вимірювань сток-затворних характеристик польового транзистора**

$U_{ЗВ}$ , В	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	$U_{CB}$ , В
$I_{C1}$ , мА								5

**2. Дослідження вихідних характеристик польового транзистора**

2.1 Ручкою « НАПРЯЖЕНИЕ» джерела живлення встановити  $U_{ЗВ} = 0$  В.

2.2 Фіксуючи напругу  $U_{CB}$  ручкою «НАПРЯЖЕНИЕ» джерела живлення, згідно з таблицею 5.2, вимірювати струм стоку  $I_C$ . Відповідні значення струму стоку  $I_C$  занести в таблицю 5.2.

2.3 Повторити дослідження для  $U_{ЗВ} = 1$  В і  $U_{ЗВ} = 2$  В відповідно до пункту 2.2.

Таблиця 5.2

**Результати вимірювань стокових характеристик польового транзистора**

$U_{CB}$ , В	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1	2	5	10	$U_{ЗВ}$ , В
$I_{C1}$ , мА										0
$I_{C2}$ , мА										1
$I_{C3}$ , мА										2

2.4 За даними таблиць 5.1 і 5.2 побудувати сток-затворну і сімейство стокових характеристик польового транзистора.



2.5 Обчислити крутизну польового транзистора  $S = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{ЗВ}}$  (при

$U_{СВ}=\text{const}$ ) за перехідною і вихідною характеристиками, порівняти отриманий результат.

### **Контрольні питання до роботи**

1. Пояснити принцип дії польового транзистора.
2. У чому полягає переваги і недоліки уніполярного транзистора в порівнянні з біполярним?
3. Дати визначення поняттю інверсія електропровідності.
4. Зобразити схему включення польового транзистора.
5. Показати на ВАХ МДН-транзистора режими збіднення та збагачення.
6. Проаналізувати роботу польового транзистора за ВАХ.