

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Фізичний факультет

Основи електроніки

## ЗВІТ ПО ЛАБОРАТОРНІЙ РОБОТІ №4

### ТРАНЗИСТОРИ

Роботу виконала

Гордєєва Софія

студентка 2 курсу

5-Б групи

Фізичного факультету

Київського національного університету

імені Тараса Шевченка

Київ 2021

## ЗМІСТ

### ВСТУП

1. Мета роботи
2. Методи вимірювання

### РОЗДІЛ 1. Теоретичні відомості

- 1.1 Означення
- 1.2. Основна теорія

### РОЗДІЛ 2 Практична частина

- 2.1. Біполярний та польовий транзистори. Схеми
- 2.2. Параметри транзисторів

### ВИСНОВКИ

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

## ВСТУП

### 1. Мета роботи

Навчитися одержувати зображення вихідної ВАХ транзисторів на екрані двоканального осцилографа, дослідити властивості транзисторів різних типів

### 2. Методи вимірювання

1) одержання зображення ВАХ транзисторів на екрані двоканального осцилографа, який працює в режимі характеріографа;

2) побудова сімейства ВАХ шляхом вимірювання певної кількості значень сили струму  $I_K$ , що відповідають певним значенням напруги  $U_{KE}$  (для певної сили струму бази  $I_B$  або напруги  $U_{BE}$ ) для біполярного транзистора та певної кількості значень сили струму стоку  $I_C$ , що відповідають певним значенням напруги  $U_{CB}$  (для певних значень напруги між затвором і витоком  $U_{ЗВ}$ ), для польового транзистора і представлення результатів вимірів у вигляді графіків.

## РОЗДІЛ 1.

### Теоретичні відомості

#### 1.1 Означення

**Біполярний транзистор** – це напівпровідниковий прилад з двома взаємодіючими випрямлювальними електричними р-п-переходами і трьома виводами, підсилювальні властивості якого зумовлені явищами інжекції (введення) та екстракції (вилучення) неосновних носіїв заряду.

**Польовий (уніполярний) транзистор** – це напівпровідниковий прилад, підсилювальні властивості якого зумовлені струмом основних носіїв, що течуть по провідному каналу, провідність якого керується зовнішнім електричним полем.

**Польовий транзистор з керувальним електродом** – це польовий транзистор, керування струмом основних носіїв у якому здійснюється за допомогою випрямлювального електричного р-п-переходу, зміщеного у зворотному напрямі.

**Вихідна вольт-амперна характеристика (ВАХ) біполярного транзистора** – це залежність сили струму колектора  $I_K$  від напруги між колектором та емітером  $U_{KE}$  при певному значенні струму бази  $I_B$  (або напруги між базою та емітером  $U_{BE}$ ).

**Вихідна вольт-амперна характеристика (ВАХ) польового транзистора** – це залежність сили струму стоку  $I_C$  від напруги між стоком та витокom  $U_{CB}$  при певному значенні напруги між затвором та витокom  $U_{3B}$

#### 1.2. Основна теорія

##### 1. Будова, типи та умовні позначення біполярних транзисторів.

Біполярний транзистор являє собою два р-п-переходи складених з двох п- і одної р-області (структура типу п-р-п) або з двох р- і одної п-області (структура типу р-п-р). Одна з крайніх областей носить назву емітера, інша – колектора, середню область називають базою. Для реалізації поставленої вище

задачі база-емітерний р-п-перехід включають в прямому напрямку, а база-колекторний р-п-перехід – у зворотному.

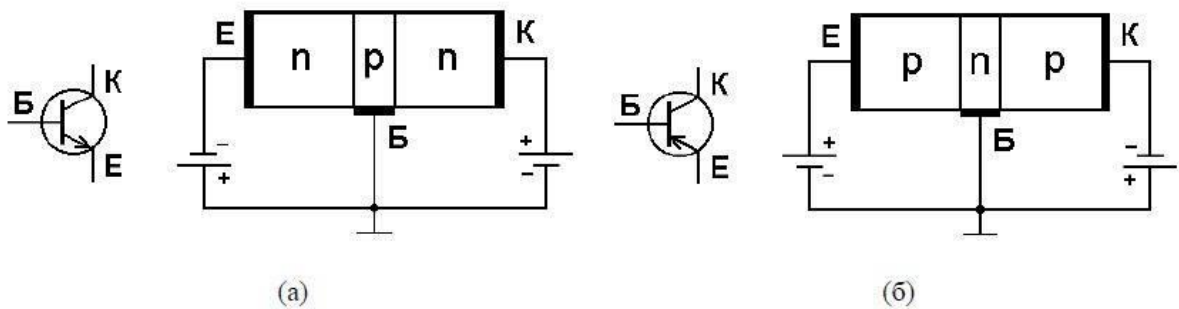


Рис. 1. Умовні позначення і схеми підключення джерел живлення для біполярних транзисторів типу *n-p-n* (а) і типу *p-n-p* (б).

## 2. Принцип роботи біполярного транзистора. Зв'язок між величинами струмів емітера, бази та колектора.

Для *n-p-n*-транзистора внаслідок того, що до ділянки емітер-база прикладена напруга в прямому напрямку, опір емітерного р-п-переходу зменшується і крізь нього проходить струм, зумовлений переміщенням електронів з емітера в базу і дірок з бази в емітер. Якби концентрація дірок і електронів в базі та емітері була б однаковою, то прямий струм крізь емітерний перехід створювався б переміщенням однакового числа дірок і електронів в протилежних напрямках. Однак, в транзисторах концентрація основних носіїв у базі (в даному випадку, дірок) значно менша, ніж електронів в емітері. Отже, майже увесь струм крізь емітерний р-п-перехід зумовлений електронами.

Електрони, діставшись бази, для якої вони є неосновними носіями заряду, починають рекомбінувати з дірками. Оскільки концентрація дірок в базі мала, то довжина вільного пробігу електронів велика, і, якщо шар бази зробити досить тонким, тобто меншим за довжину вільного пробігу електрона в області бази, то практично всі електрони встигнуть дістатися колекторного р-п-переходу раніше, ніж відбудеться рекомбінація.

Наблизившись до колектора, електрони починають відчувати дію електричного поля, яке створюється джерелом напруги, що включене між колектором і базою. Це поле для електронів є прискорювальним і тому вони

швидко втягуються з бази в колектор і беруть участь у створення колекторного струму. струм крізь емітерний перехід створювався б переміщенням однакового числа дірок і електронів в протилежних напрямках. Однак, в транзисторах концентрація основних носіїв у базі (в даному випадку, дірок) значно менша, ніж електронів в емітері. Отже, майже увесь струм крізь емітерний р-п-перехід зумовлений електронами.

3. Схеми включення біполярних транзисторів зі спільною базою та зі спільним емітером. Яка з цих схем забезпечує підсилення струму? Статичний та диференціальний коефіцієнти підсилення транзистора за струмом.

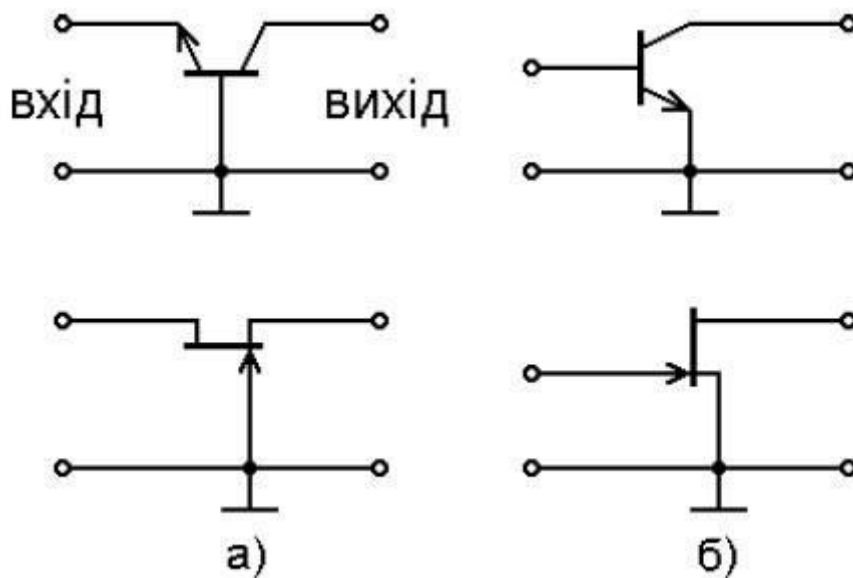


Рис. Еквівалентні схеми включення транзисторів: а) зі спільною базою (затвором), б) зі спільним емітером (витоком).

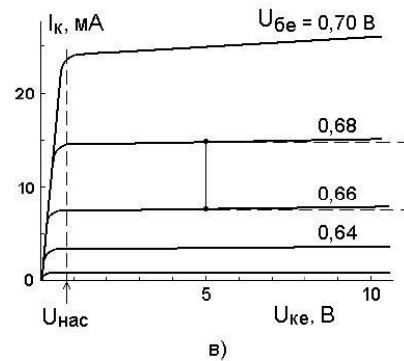
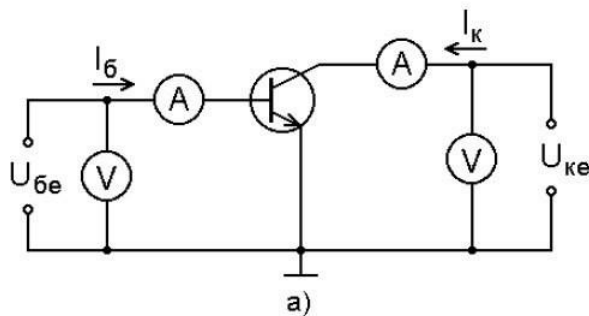
Невеликий вхідний струм в колі бази дозволяє керувати в 100 разів більшим струмом в колі колектора. Диференціальний коефіцієнт підсилення за струмом в робочій точці визначається виразом:

$$\beta = dI_k / dI_b \text{ при } U_{ke} = \text{const.}$$

Статичний коефіцієнт підсилення за струмом:

$$B = I_k / I_b$$

4. Вхідні та вихідні характеристики біполярного транзистора в схемі зі спільним емітером. Пояснити форму вихідних характеристик транзистора для такої схеми.



Одною з особливостей біполярного транзистора є той факт, що колекторний струм на вихідній характеристиці мало змінюється після досягнення певного значення. Напруга, при котрій характеристика має вигин, називають напругою насичення  $U_{нас}$ .

5. Будова, типи та умовні позначення польових транзисторів.

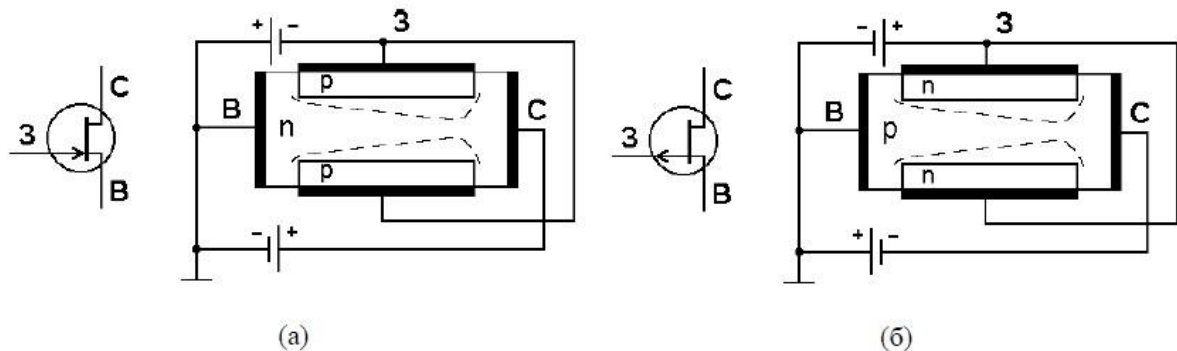


Рис. Умовні позначення і схеми підключення джерел живлення для польових транзисторів з р-п-переходом: а) канал n-типу, б) канал p-типу.

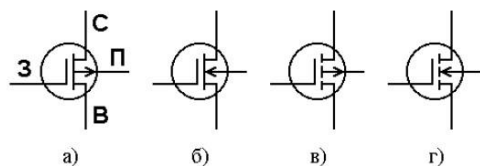


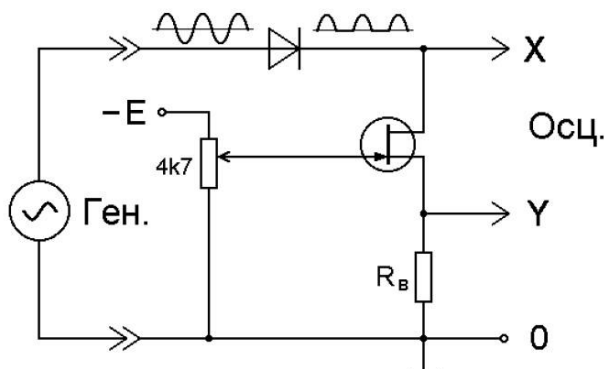
Рис. 4. Умовні позначення польових транзисторів з ізолюваним затвором:  
зі збагаченням і каналом p-типу (а) і n-типу (б) – вбудований канал;  
зі збідненням і каналом p-типу (в) і n-типу (г) – індукований канал.

Тонкий шар напівпровідника типу n-(або p-), обмежений з двох боків p-n-переходами, називають каналом. Канал включають в електричне коло за допомогою двох омичних електродів, один з яких називають виток, а

другий – стоком.

6. Схема включення та принцип дії польового транзистора з р-п переходом.

Вивід, який приєднується в поперечному напрямку до областей р- (або п-) типу, є керувальним і носить назву затвора. Величина струму в каналі (за відсутності керувальної дії затвора) залежить від напруги, прикладеної між стоком і витокom, та опору напівпровідникової пластинки між цими виводами.



7. Вихідні (стокові) та стокозатворна характеристики польового транзистора з р-п переходом. Напруга насичення, напруга відсічки. Крутизна характеристики.

Якщо для транзистора з n-каналом до затвора прикласти негативну відносно витоку напругу, то це призведе до збільшення товщини р-п-переходу і, відповідно, до зменшення площі перерізу каналу. Зі зменшенням перерізу каналу збільшується опір між стоком та витокom, що призводить до зменшення величини струму крізь канал. Таким чином, керування струмом каналу здійснюється напругою на затворі, яка відповідає зворотній на керувальному р-п-переході. Оскільки керувальний струм дуже малий, то потужність керування буде мізерною. В той же час струм каналу може бути досить великим, а керувальний вплив може знижувати його до нуля. Напруга на затворі, при якій струм крізь канал припиняється, називають напругою відсічки.

8. Принцип роботи польового транзистора з ізольованим затвором. Стокові та стокозатворні характеристики такого транзистора.



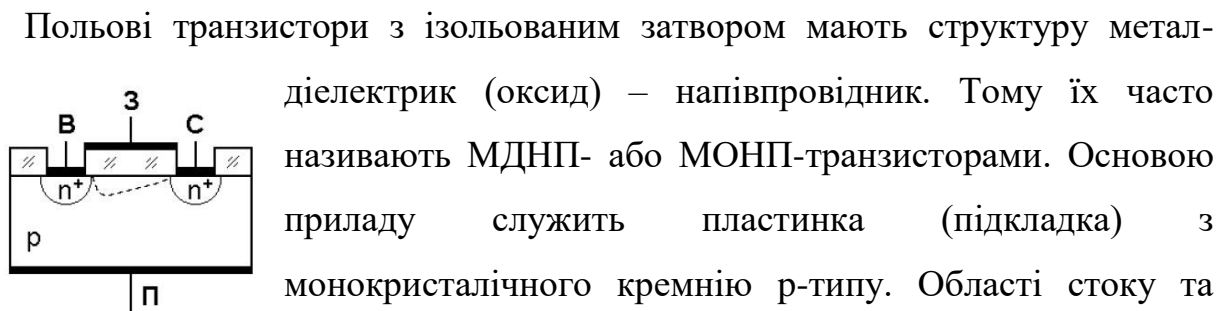


Рис. 3. Будова польового транзистора з ізолюваним затвором.

діелектрик (оксид) – напівпровідник. Тому їх часто називають МДНП- або МОНП-транзисторами. Основою приладу служить пластинка (підкладка) з монокристалічного кремнію р-типу. Області стоку та витоків являють собою ділянки кремнію, сильнолеговані домішками n-типу. Відстань між стоком та витком – приблизно 1 мкм. Як діелектрик може використовуватись плівка двохокису кремнію, яка вирощується при високій температурі.

В залежності від полярності напруги, яка прикладається до затвора (відносно витоків), канал може збіднюватися або збагачуватися носіями заряду (електронами). При негативній напрузі на затворі електрони провідності виштовхуються з області каналу в об'єм напівпровідника підкладки. При цьому канал збіднюється носіями заряду, що призводить до зменшенню струму в каналі. Позитивна напруга на затворі сприяє втягненню електронів з підкладки в канал. В цьому режимі, що отримав назву режиму збагачення, струм каналу зростає.

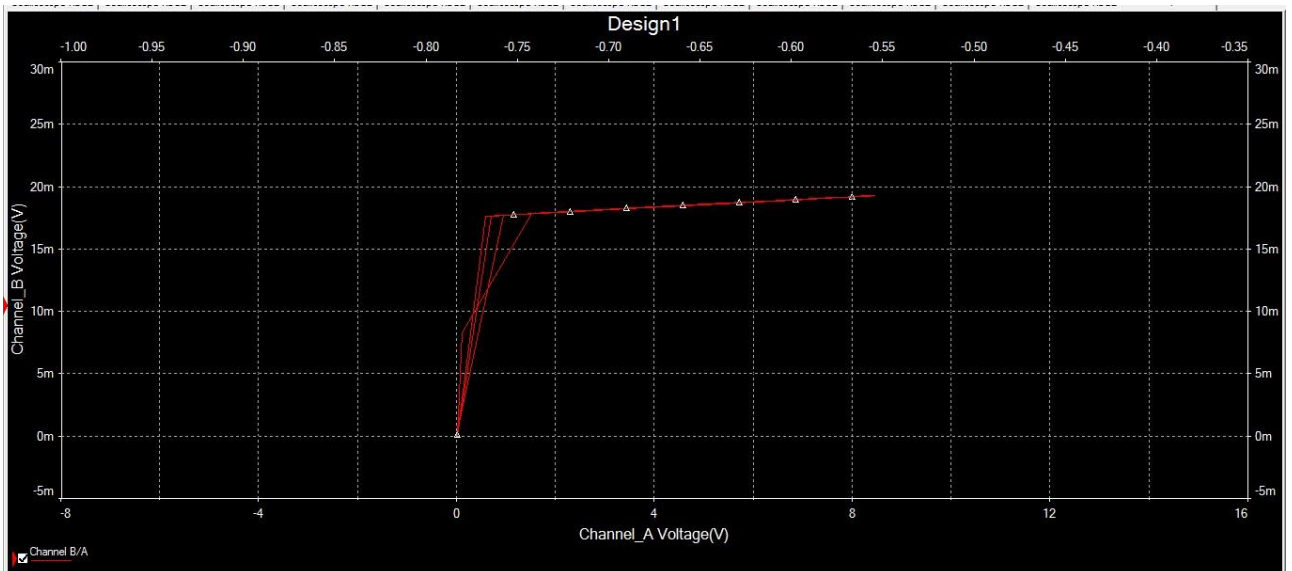
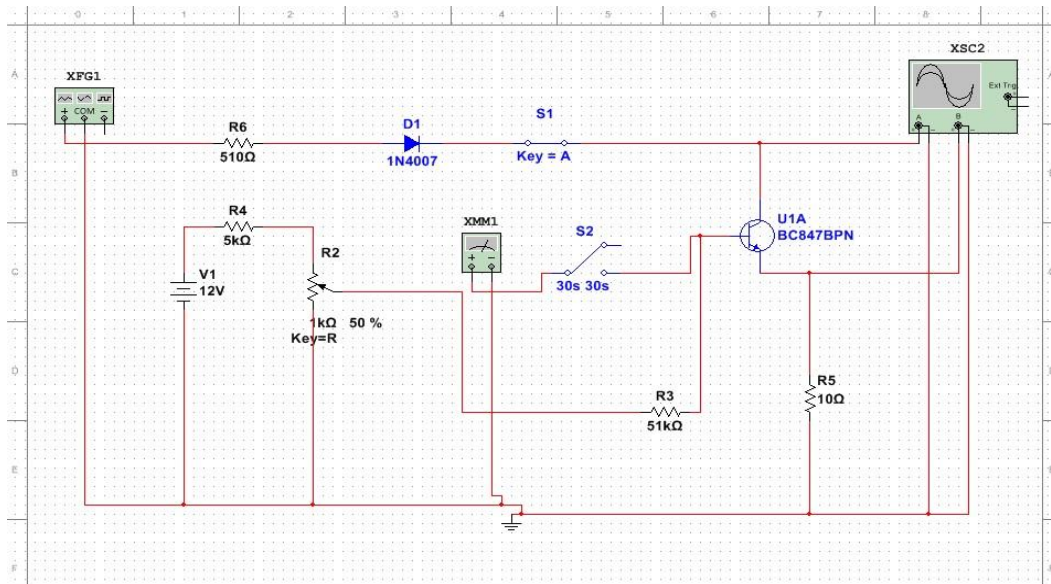
## РОЗДІЛ 2

### Практична частина

#### 2.1. Біполярний та польовий транзистори. Схеми

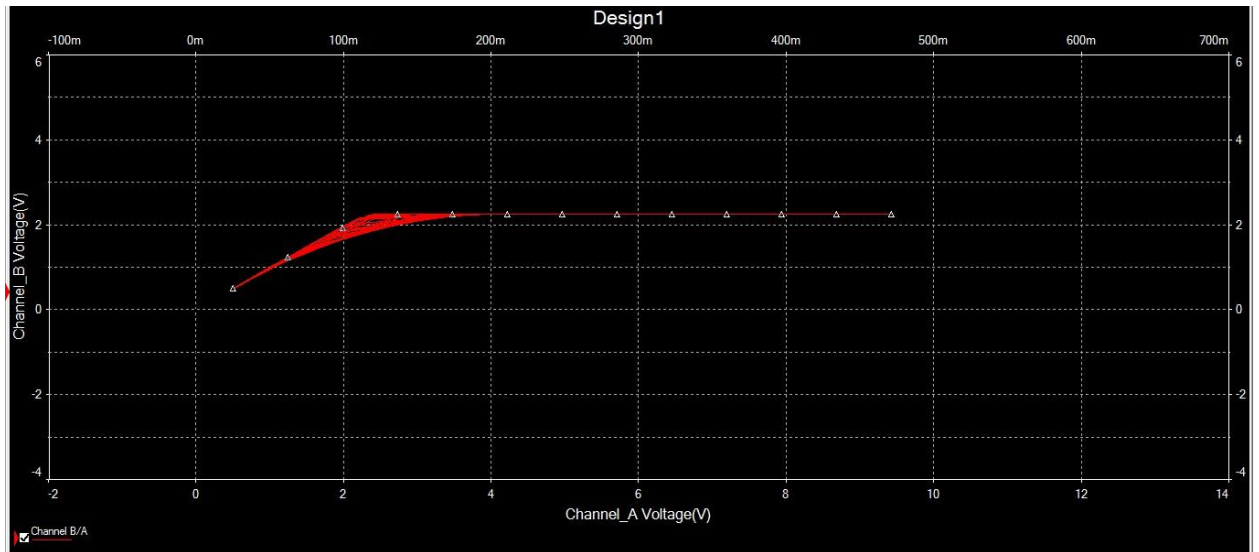
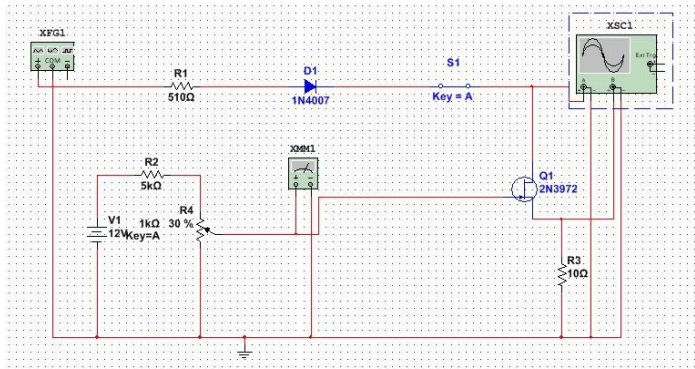
Схеми для досліджень властивостей біполярного та польового транзисторів та зображення на екрані осцилографа.

##### а) біполярний транзистор



(Рис.1)

## б) польовий транзистор



(Рис.2)

### 2.2. Параметри транзисторів

Параметри біполярних транзисторів:

1. Коефіцієнт підсилення за струмом для різних значень  $I_k$ .

$$I_k=4,81A \Rightarrow B=61$$

$$I_k=4,5A \Rightarrow B=60$$

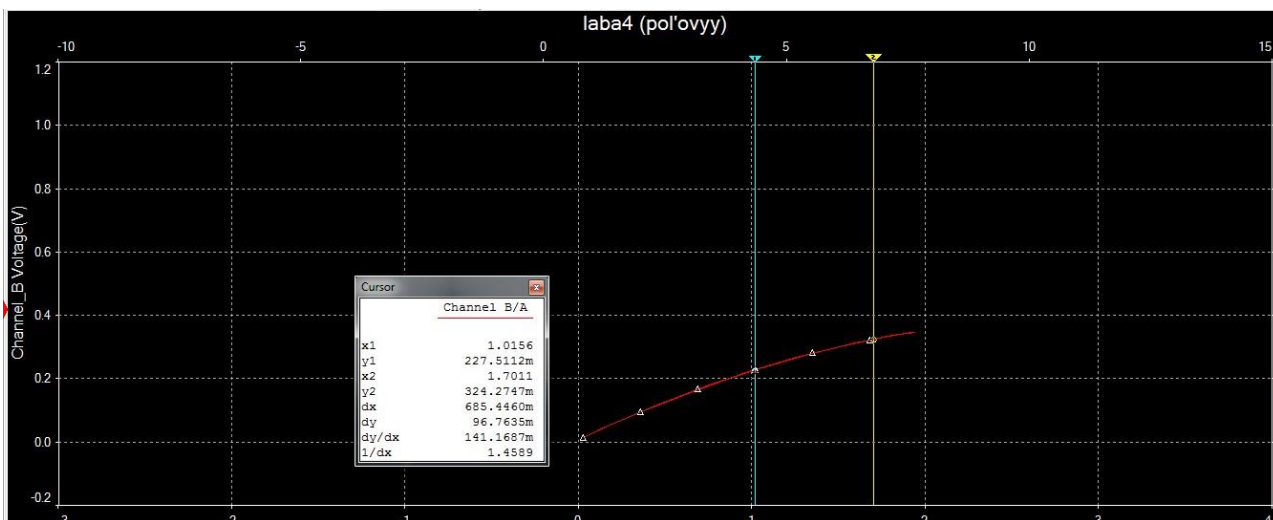
$$I_k=6,2A \Rightarrow B=64,5$$

2. Диференціальний вихідний опір.

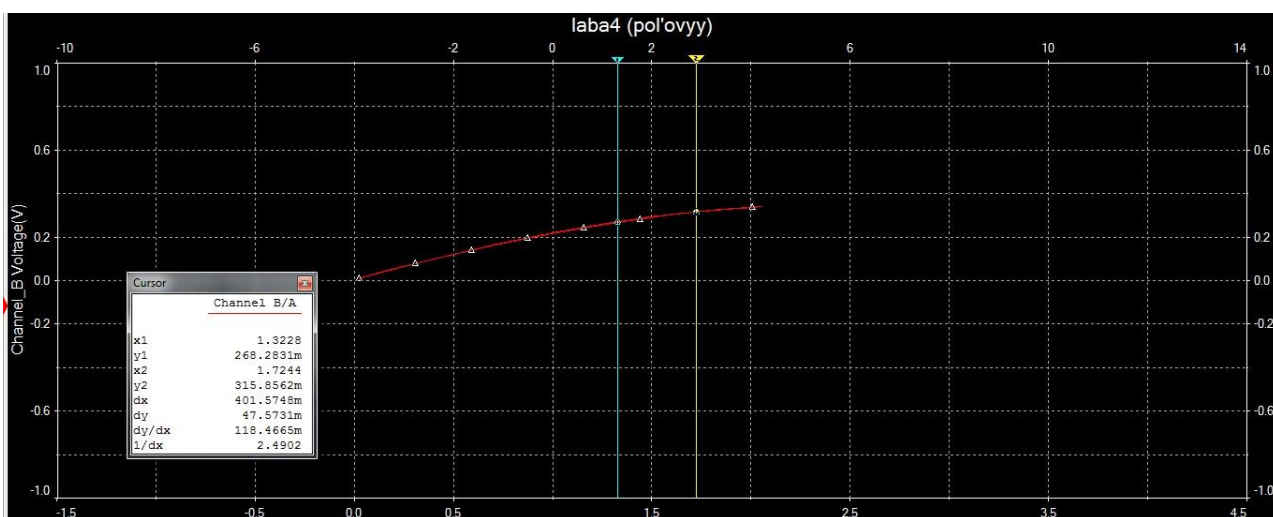
$$R_{\text{вих}} = \frac{dU_{3B}}{dI_c} = 0,1\text{k}\Omega$$

# Параметри польових транзисторів

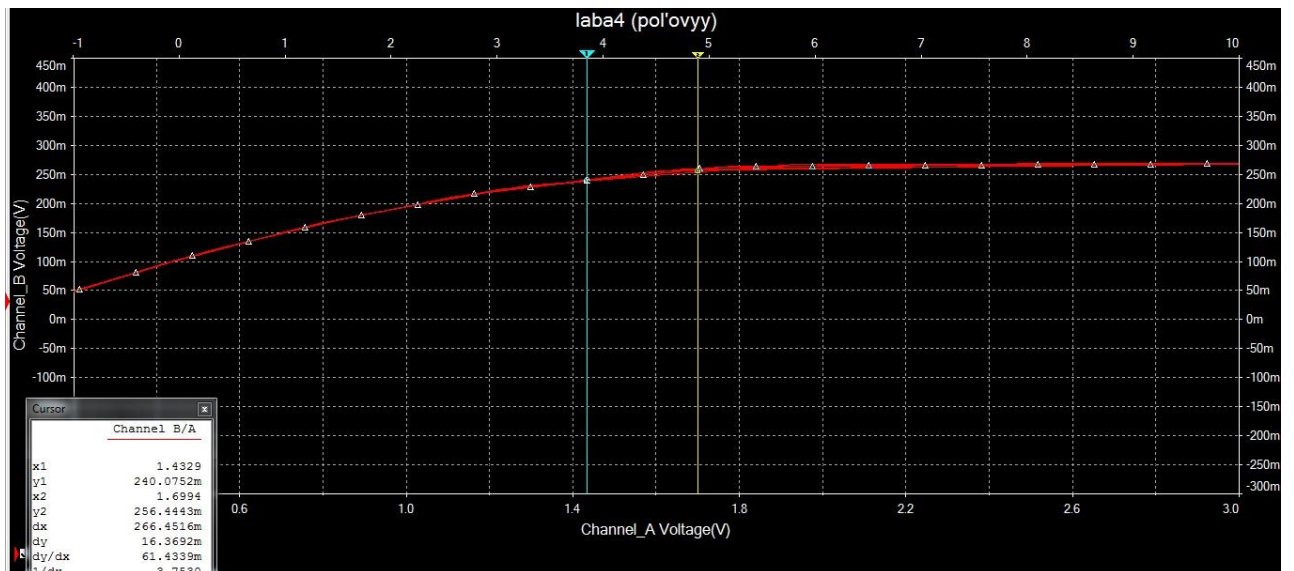
## 1. Крутизна



$$(30\%) S = \frac{dI_c}{dU_{3B}} = 1,6\%$$

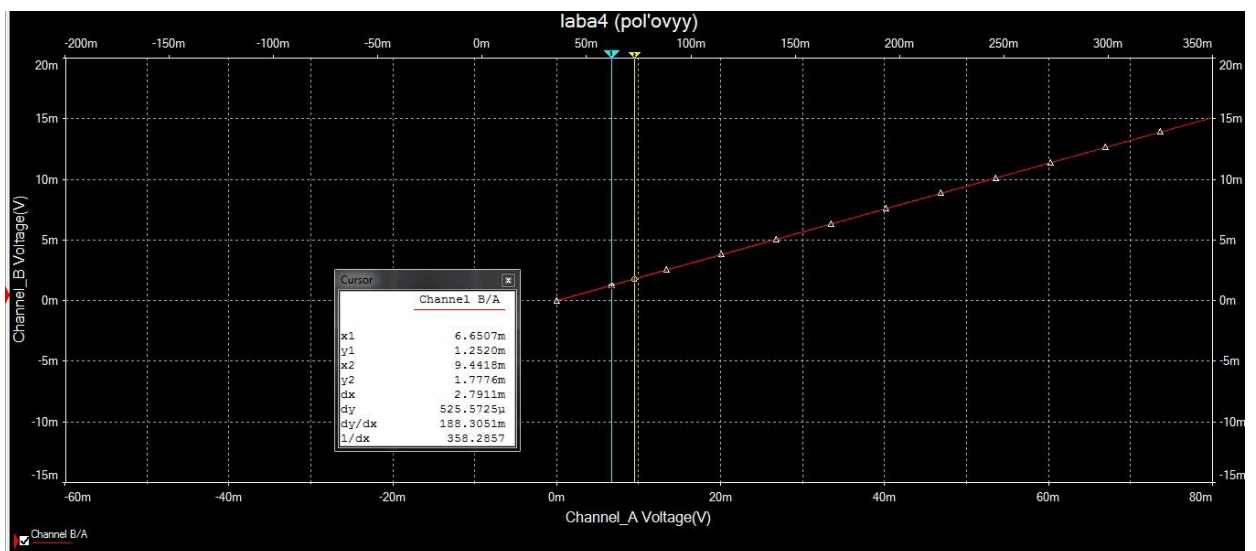


$$(50\%) S = \frac{dI_c}{dU_{3B}} = 1,3\%$$



$$(70\%) S = \frac{dI_c}{dU_{3B}} = 0,6\%$$

## 2. Напруга відсічки.



$$U_{\text{від.}} = 1,25 \text{ V}$$

## 3. Диференціальний вихідний опір.

$$R_{\text{вих}} = \frac{dU_{3B}}{dI_c} = 1,39 \text{ Ом}$$

## ВИСНОВОК

На даній лабораторній роботі ми навчилися одержувати зображення вихідної ВАХ транзисторів на екрані двоканального осцилографа, що можна побачити на рисунках 1 і 2, та досліджувати властивості біполярного транзистора: коефіцієнт підсилення за струмом

для різних значень струму на колекторі

$$I_k=4,81A \Rightarrow V=61;$$

$$I_k=4,5A \Rightarrow V=60;$$

$$I_k=6,2A \Rightarrow V=64,5,$$

$$\text{диференціальний вихідний опір: } R_{\text{вих}} = \frac{dU_{\text{зв}}}{dI_c} = 0,1\text{кОм}$$

Та на польовому транзисторі:

крутизну

$$S = \frac{dI_c}{dU_{\text{зв}}} = 1,6\%$$

$$S = \frac{dI_c}{dU_{\text{зв}}} = 1,3\%$$

$$S = \frac{dI_c}{dU_{\text{зв}}} = 0,6\%$$

диференціальний вихідний опір

$$R_{\text{вих}} = \frac{dU_{\text{зв}}}{dI_c} = 1,39\text{Ом}$$

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ю.О. Мягченко, Ю.М. Дулич, А.В.Хачатрян “Вивчення радіоелектронних схем методом комп’ютерного моделювання”: Методичне видання. – К.: 2006.- с.
2. Методичні вказівки до практикуму «Основи радіоелектроніки» для студентів фізичного факультету / Упоряд. О.В.Слободянюк, Ю.О.Мягченко, В.М.Кравченко.- К.: Поліграфічний центр «Принт лайн», 2007.- 120 с.