

УДК 0053.08 (002.21)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. ТАРАСА ГРИГОРОВИЧА  
ШЕВЧЕНКА  
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

# ЗВІТ

до лабораторної роботи №4:  
«Дослідження ВАХ транзисторів»

Лінчаковський С. М.

Київ, 2021

## РЕФЕРАТ

Звіт про дослідження ВАХ транзисторів: 13 с., 5 рис.

Мета роботи – дослідити вихідні характеристики транзисторів різних типів.

Об'єкт дослідження – транзистори: біполярний, польовий.

Предмет дослідження – теоретичні основи, принципи роботи, фізичний зміст і застосування діодів.

Методи дослідження – 1) одержання зображення ВАХ транзисторів на екрані двоканального осцилографа, що працює в режимі характериографа, 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  $I_s$ , що відповідають певним значенням напруги  $U_{sv}$  (для певних значень напруги між затвором і витокom  $U_{zv}$ ) для польового транзистора, подання результатів вимірів у вигляді графіків.

ТРАНЗИСТОРИ, P-N ПЕРЕХІД, БІПОЛЯРНИЙ ТРАНЗИСТОР, ПОЛЬОВИЙ ТРАНЗИСТОР, ВАХ ТРАНЗИСТОРІВ, LTSPICE. 3

## ЗМІСТ

Частина 1. Теоретичні відомості.	с.
I. Основні означення.....	4
Частина 2. Виконання роботи.	
I. Схема.....	6
II. ВАХ біполярного транзистора .....	6
III. Схема .....	6
IV. ВАХ Мосфета .....	6
Висновки.....	7
Джерела. ....	13

## Розділ I. Теоретичні відомості

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

**Вихідна вольт-амперна характеристика (ВАХ) біполярного транзистора** – це залежність сили струму колектора  $I_k$  від напруги між колектором та емітером  $U_{ке}$  при певному значенні струму бази  $I_b$  (або напруги між базою та емітером  $U_{бе}$ ) в схемі зі спільним емітером.

**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 р-п-переходу, зміщеного у зворотному напрямі.

**Вихідна вольт-амперна характеристика (ВАХ) польового транзистора** – це залежність сили струму стоку  $I_c$  від напруги між стоком та витоком  $U_{св}$  при певному значенні напруги між затвором та витоком  $U_{зв}$ . Основна функція, яку виконує транзистор (від англ. transfer – переносити і resistor – опір), подібна до функції звичайного водогінного крана: невеликим зусиллям руки керувати сильним напором води у трубі. Існує два найпоширеніших різновиди транзисторів – біполярні та уніполярні (або польові) транзистори. Роботу біполярного транзистора (наприклад, типу р-п-р) зручно розглядати при включенні його за так званою схемою зі спільною базою (Рис. 1а), коли вивід бази є спільним для вхідного струму (вхідної напруги) та вихідного струму (вихідної напруги). Вихідним струмом транзистора в такій схемі є струм колектора  $I_k$ . Цей струм є нічим іншим як струмом неосновних носіїв, що протікає через р-п-перехід, увімкнений у зворотному напрямку (для транзистора типу р-п-р це струм дірок). При нульовій різниці потенціалів між емітером і базою (закороченому вході транзистора) вихідна ВАХ збігається з ВАХ напівпровідникового діода, до якого прикладено напругу у зворотному напрямку. Характерною є слабка залежність струму колектора  $I_k$  від різниці потенціалів  $U_{кб}$ .

При цьому в базу підтягуються електрони зі спільного вивода бази, тобто з бази витікає струм бази  $I_b$  (нагадаємо, що напрямок струму протилежний напрямку руху електронів). Таким чином, величина струму бази  $I_b$  є показником темпу рекомбінації в базовій області. Конструкція польових транзисторів з р-п-переходом і схеми їх включення. Тонкий шар напівпровідника n-типу (або р-типу), обмежений з двох боків р-п-переходами, називають каналом (англ. channel). Канал включають в електричне коло за допомогою двох електродів,

один з яких називають виток (рос. исток, англ. source), а другий – стоком (англ. drain).

Електрод, який приєднується в поперечному напрямку до областей р-типу (або п-типу), відповідно, є керувальним і носить назву затвора (англ. gate). Величина струму в каналі (за відсутності керувальної дії затвора) залежить від напруги, прикладеної між стоком і витком, та від опору напівпровідникової пластинки між цими виводами. Якщо для транзистора з р-каналом до затвора прикласти позитивну відносно витока 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 витком, що призводить до зменшення величини струму крізь канал. Таким чином, керування струмом каналу здійснюється напругою на затворі, яка відповідає зворотній напрузі 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. Польові транзистори з ізолюваним затвором мають структуру метал-діелектрик-напівпровідник (МДН-транзистори, англ. MIS transistors).

Як діелектрик може використовуватись плівка двоокису кремнію  $\text{SiO}_2$  і тому такі транзистори ще називають транзисторами зі структурою метал-оксид-напівпровідник (МОН-транзистори, англ. MOS transistors). Основою приладу є пластинка (підкладка) з монокристалічного кремнію р-типу. Області стоку та витоку являють собою ділянки кремнію, сильнолеговані домішками п-типу (такі області позначають символом  $n^+$ ). Відстань між стоком та витком – близько 1 мкм.

## Частина 2. Виконання роботи.

### I. Біполярний транзистор

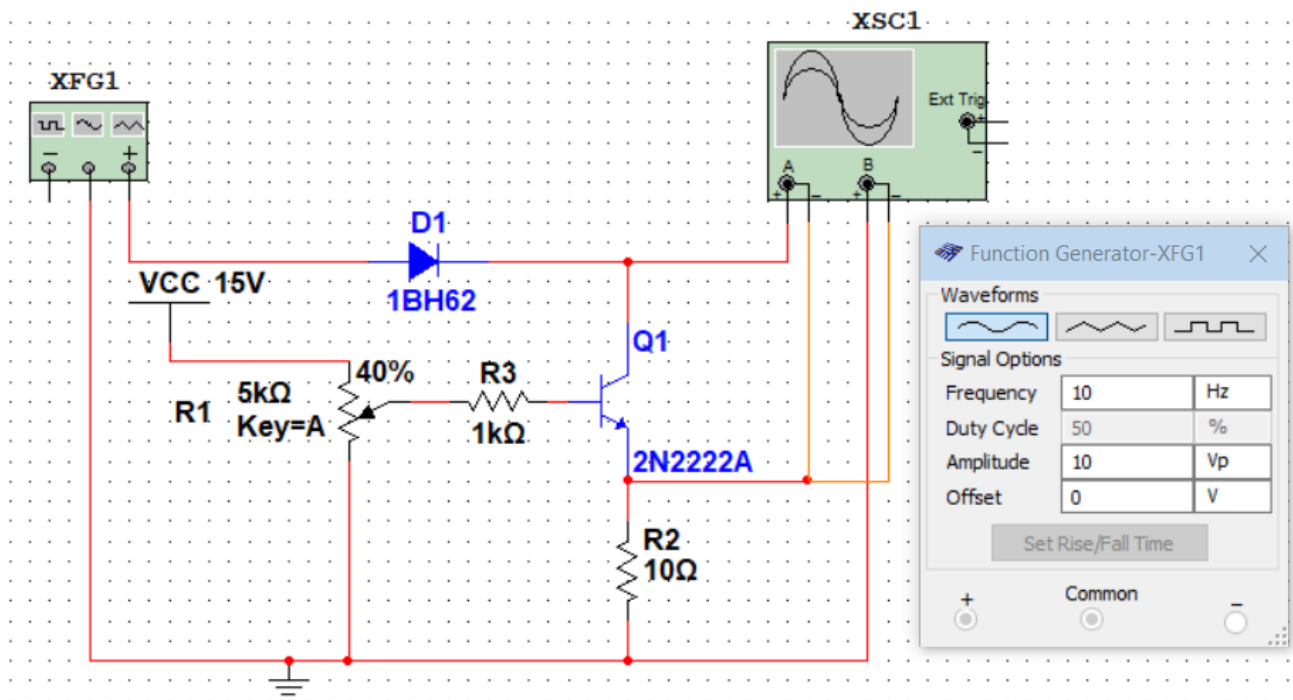


Рис. 1. Схема та хар-ки джерелам

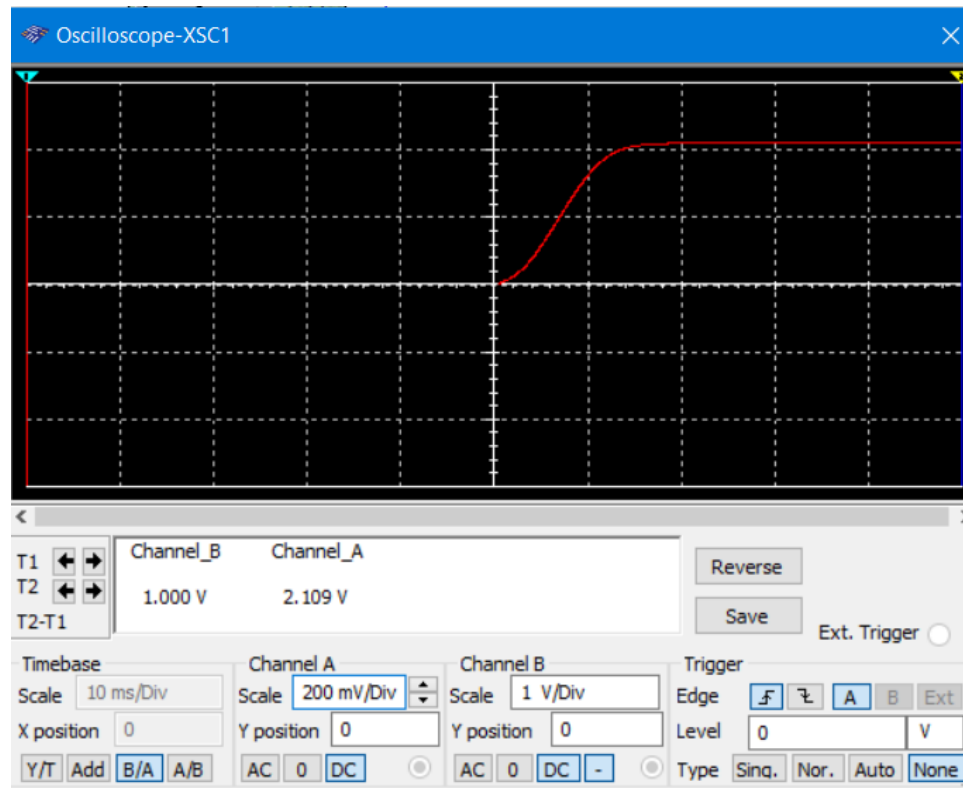


Рис. 3. ВАХ біполярного транзистора

## II. Мосфет

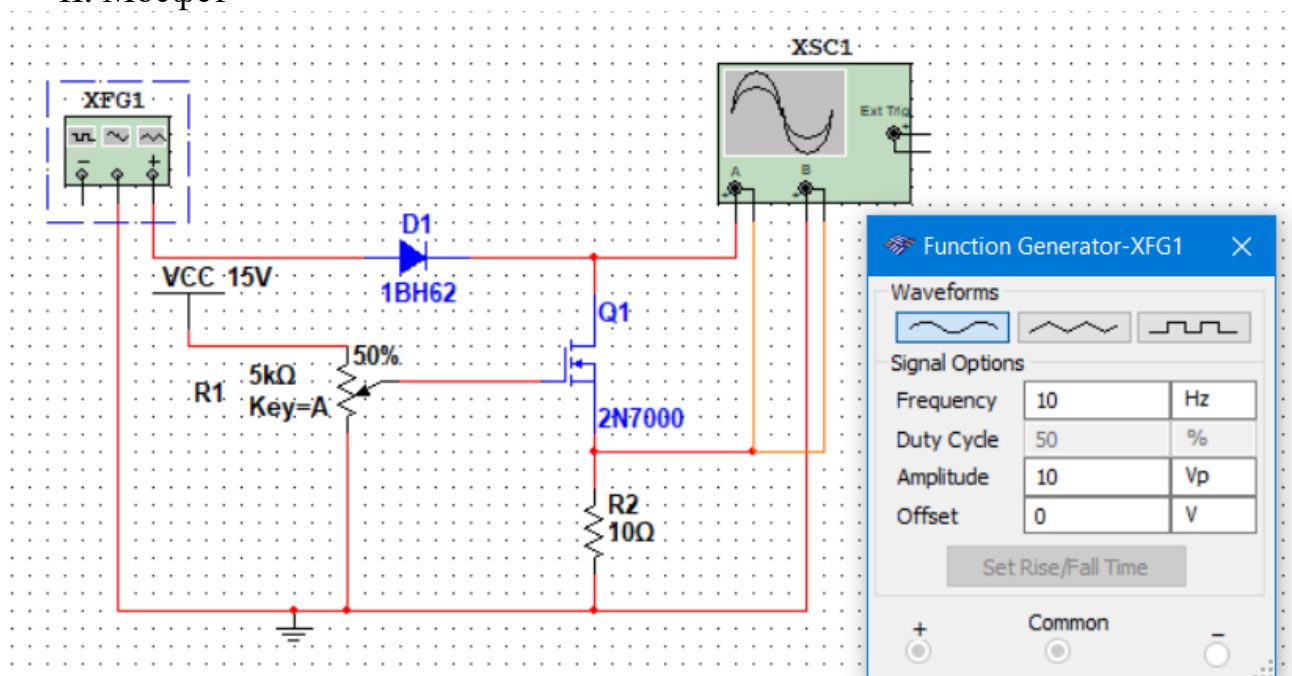


Рис. 4. Схема та хар-ки джерелам

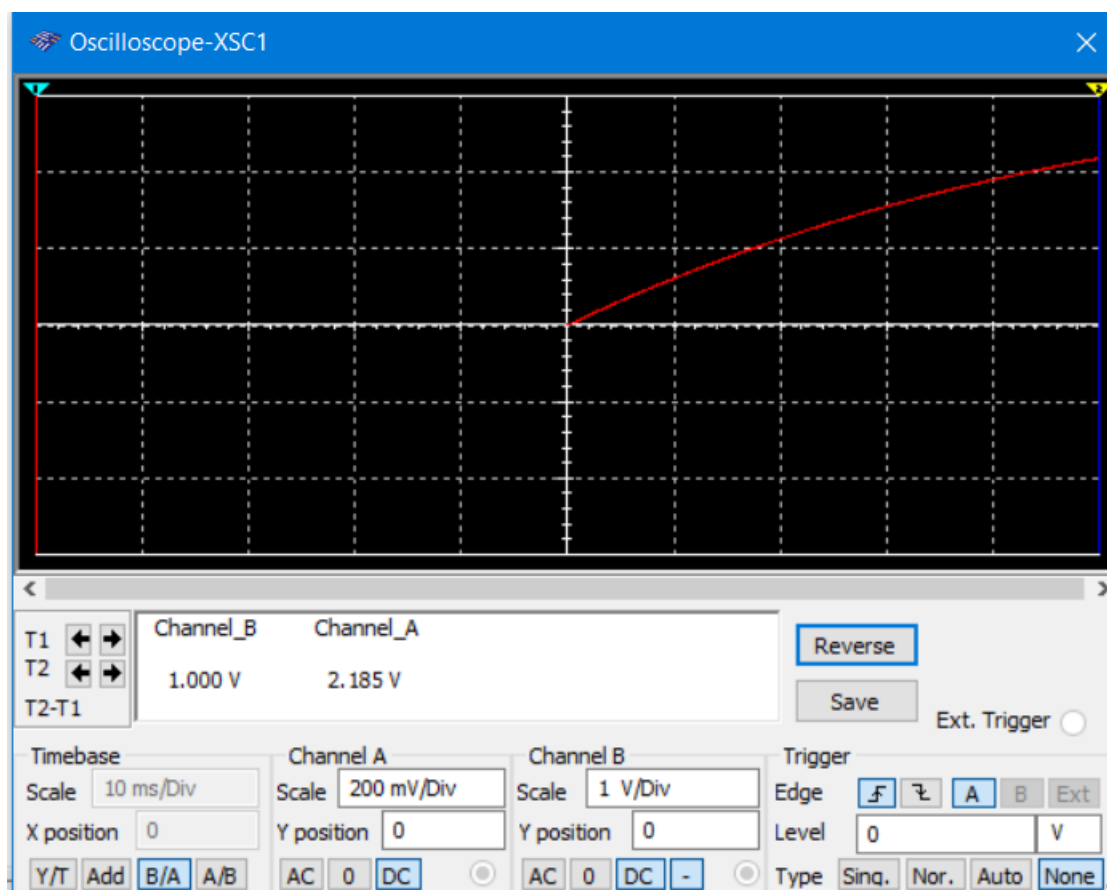


Рис. 5. ВAX мосфета

### **Частина 3. Висновки.**

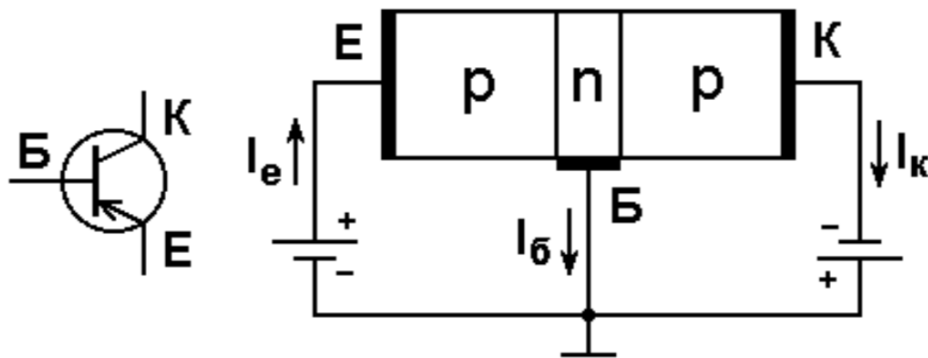
У ході даної лабораторної роботи ми дослідити вихідні характеристики транзисторів різних типів. Ми одержали зображення ВАХ транзисторів на екрані двоканального осцилографа, який працює в режимі характериографа, а також на екрані вольтметра, що дає уявлення про їх властивості та можливе застосування



#### Частина 4. Відповіді на контрольні питання.

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

Біполярний транзистор являє собою сукупність двох р-n-переходів, складених з двох р-областей і однієї n-області (структура типу р-n-p) або з двох n-областей і однієї р-області (структура типу n-p-n). Одна з крайніх областей носить назву емітера (від англ. emit – випускати, випромінювати), а інша – колектора (від англ. collect – збирати), середню область називають базою. База-емітерний (або просто емітерний) р-n-перехід включають у прямому напрямку, а база-колекторний (або просто колекторний) р-n-перехід – у зворотному. 2.



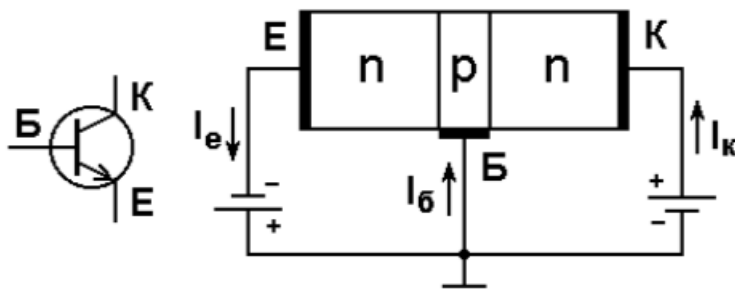
##### 2. Принцип роботи біполярного транзистора. Зв'язок між величинами струмів емітера, бази та колектора.

Роботу біполярного транзистора (наприклад, типу р-n-p) зручно розглядати при включенні його за так званою схемою зі спільною базою, коли вивід бази є спільним для вхідного струму (вхідної напруги) та вихідного струму (вихідної напруги). Вихідним струмом транзистора в такій схемі є струм колектора  $I_k$ . Цей струм є нічим іншим як струмом неосновних носіїв, що протікає через р-n-перехід, увімкнений у зворотному напрямку (для транзистора типу р-n-p це струм дірок). При нульовій різниці потенціалів між емітером і базою (закороченому вході транзистора) вихідна ВАХ збігається з ВАХ напівпровідникового діода, до якого прикладено напругу у зворотному напрямку. Характерною є слабка залежність струму колектора  $I_k$  від різниці потенціалів  $U_{kb}$ . Оскільки струм  $I_k$  залежить виключно від концентрації неосновних носіїв у базі поблизу колекторного переходу, то змінюючи цю концентрацію можна змінювати струм колектора  $I_k$ . Зміна концентрації неосновних носіїв у базі і, зокрема, біля колекторного переходу досягається їх введенням (емісією) в базу через емітерний перехід. Не всі введені в базу з боку емітерного переходу неосновні носії заряду (дірки) досягають колекторного переходу, оскільки в базовій області вони можуть рекомбінувати з основними

носіями (електронами). При цьому в базу підтягуються електрони зі спільного вивода бази, тобто з бази витікає струм бази  $I_B$ . Таким чином, струм через емітер транзистора  $I_e$  дорівнює  $I_e = I_k + I_B$ . В хороших транзисторах  $I_B \ll I_k$  і тому в багатьох випадках можна вважати, що  $I_k \approx I_e$ . Таким чином, величина струму бази  $I_B$  є показником темпу рекомбінації в базовій області. Для зменшення цієї рекомбінації вживають спеціальних заходів, наприклад, зменшують товщину бази. Збільшення концентрації неосновних носіїв поблизу колекторного переходу призводить до зростання струму колектора  $I_k$ , не змінюючи суттєво характеру його залежності від колекторної напруги  $U_{BK}$ : колекторний струм стає більшим, але в області насичення, як і раніше, слабо залежить від  $U_{BK}$ . Оскільки спад напруги  $U_{BE}$  на переході емітер-база, включеному в прямому напрямку, є незначним (0,2–0,7 В для різних типів транзисторів), а зворотна напруга  $U_{BK}$  на переході база-колектор може становити десятки вольт і струм  $I_k \approx I_e$ , то маємо підсилення електричної потужності в десятки разів.

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

Схема зі спільною базою наведена вище. Схема зі спільним емітером:



У схемі зі спільною базою, оскільки спад напруги  $U_{BE}$  на переході емітер- база, включеному в прямому напрямку, є незначним (0,2–0,7 В для різних типів транзисторів), а зворотна напруга  $U_{BK}$  на переході база-колектор може становити десятки вольт і струм  $I_k \approx I_e$ , то маємо підсилення електричної потужності в десятки разів. Принцип дії транзисторів типу n-p-n не відрізняються від розглянутого вище, лише в область бази вводяться з емітера не дірки, а електрони. Полярність прикладеної до переходів напруги є також протилежною. На рисунку також показані умовні позначення біполярних транзисторів на електричних схемах. Стрілка в позначеннях емітера вказує напрямок прямого струму через база-емітерний перехід. Коефіцієнт

пропорційності  $B = I_k / I_b$  називають статичним коефіцієнтом підсилення за струмом. Однак пропорційність має місце тільки в обмеженій області струму, тому що  $B$  залежить від  $I_k$ . Диференціальний коефіцієнт підсилення за струмом при фіксованій напрузі між колектором і емітером визначається виразом:  $\beta = dI_k / dI_b$  при  $U_{ке} = \text{const}$ .

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

Однією з найпоширеніших схем включення є схема зі спільним емітером (а). Вхідною характеристикою в цьому випадку є функція струму бази від напруги між базою та емітером при постійній напрузі колектор-емітер (б), а вихідною – зв'язок між струмом колектора і напругою між колектором та емітером при фіксованій напрузі база-емітер (в). Вхідна характеристика подібна до ВАХ р-п-переходу, включеного у прямому напрямку. Іноді замість вхідної характеристики користуються так званою передавальною – залежністю струму колектора від база-емітерної напруги при постійній напрузі колектор-емітер – як більш інформативною (г). Однією з особливостей біполярного транзистора є те, що колекторний струм на вихідній характеристиці мало змінюється після досягнення певного значення, яке називають струмом насичення  $I_{нас}$ . Напруга, при якій характеристика має вигин і колекторний струм досягає насичення, називається напругою насичення  $U_{нас}$  (див. Рис. бв).



### **Частина 5. Список використаних джерел.**

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