

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ  
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

**Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до лабораторних і самостійних робіт  
з дисципліни**

***«ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА»***

**Частина 1**

**Харків – 2019**

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до

друку на засіданні кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем 25 лютого 2019 р., протокол № 9.

У методичних вказівках викладено основні питання про параметри і характеристики напівпровідникових приладів і транзисторних ключів, необхідних для набуття навичок їхнього дослідження.

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 273 «Залізничний транспорт», які вивчають дисципліну «Електроніка та мікросхемотехніка», денної та заочної форм навчання.

Укладачі:

доценти В. М. Бутенко,  
Л. А. Клименко,  
викл. Б. В. Іщенко (БКТІ)

Рецензент

доц. І. В. Ковтун

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторних та самостійних робіт  
з дисципліни  
«ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА»

Частина 1

Відповідальний за випуск Бутенко В. М.

Редактор Ібрагімова Н. В.

---

Підписано до друку 18.03.19 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 3,75. Тираж 35. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет  
залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота 1. Ознайомлення з Electronics Work Bench (E.W.B) або OrCAD.....	5
Лабораторна робота 2. Дослідження вольт-амперних характеристик напівпровідникових діодів.....	17
Лабораторна робота 3. Дослідження вольт-амперних характеристик напівпровідникових стабілітронів.....	25
Лабораторна робота 4. Дослідження вольт-амперних характеристик біполярних транзисторів зі спільною базою.....	29
Лабораторна робота 5. Дослідження вольт-амперних характеристик біполярних транзисторів зі спільним емітером..	36
Лабораторна робота 6. Дослідження вольт-амперних характеристик польових транзисторів з керуючим р-п-переходом.....	42
Лабораторна робота 7. Дослідження характеристик операційних підсилювачів.....	48
Лабораторна робота 8. Дослідження транзисторних ключів....	53
Завдання для самостійної роботи студентів у 1 семестрі вивчення дисципліни .....	62
Список літератури.....	63

## ВСТУП

Лабораторні роботи з дисципліни «Електроніка та мікросхемотехніка» призначені для закріплення студентами знань, одержаних на лекційних і практичних заняттях, а також набуття навичок експериментального дослідження параметрів і характеристик напівпровідникових приладів, транзисторних ключів, логічних елементів.

До виконання лабораторних робіт допускаються студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки і контрольне опитування. Звіт з лабораторної роботи складається кожним студентом окремо. Захист виконаної роботи відбувається під час поточного заняття. Під час перебування в лабораторії студенти повинні суворо дотримуватися вимог техніки безпеки щодо роботи з комп'ютерною технікою. Інструктаж з техніки безпеки проводить викладач на початку лабораторних занять, про що кожен студент засвідчує в лабораторному журналі.

Лабораторні роботи виконуються в комп'ютерних класах з використанням програми для моделювання електронних схем Multisim Education Edition (Electronics Workbench) або OrCAD.

У кінці кожної роботи наведено контрольні питання та завдання, відповіді на які дозволяють визначити ступінь готовності студентів до виконання лабораторної роботи.

# Лабораторна робота 1

## ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ELECTRONICS WORK BENCH (E.W.B) АБО ORCAD

### 1.1 Мета роботи

Ознайомлення з програмним забезпеченням промислового стандарту, що підтримує SPICE (англ. Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) — симулятор електронних схем загального призначення з відкритим вихідним кодом.

До найбільш розповсюджених комплексів промислового стандарту SPICE належать EWB (повне найменування Multisim Education Edition (Electronics Workbench) та OrCAD – використовуються для машинного моделювання електронних схем.

### 1.2 Лабораторні дії на прикладі EWB

Після запуску програми на екрані монітора з'являються зображення основного і додаткових вікон. Основне вікно містить редактор схем і бібліотеку елементів (Parts). Над вікном редактора схем розміщені піктограми панелі компонентів (рисунок 1.1).

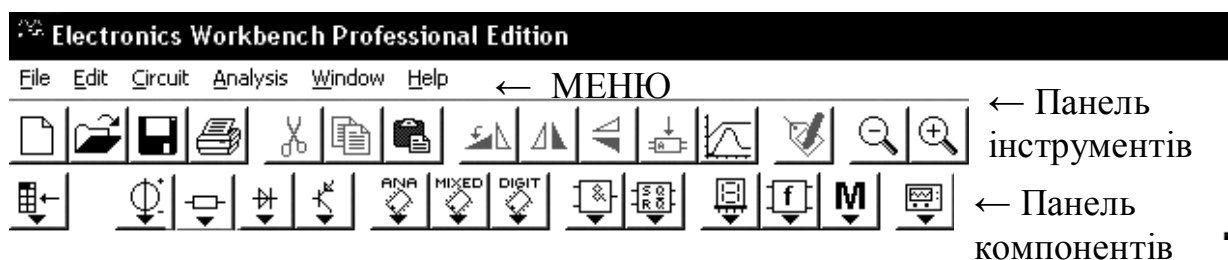


Рисунок 1.1 – Панелі компонентів та інструментів, пункти Меню програми EWB

Під заголовком основного вікна наведений рядок головного меню, що містить пункти File, Edit, Circuit, Analysis, Window, Help.

**Меню File** призначено для завантаження і запису файлів, отримання твердої копії складової частини схеми, яку вибрано для друкування, а також для імпорту/експорту файлів у форматах

інших систем моделювання і програм розроблення друкованих плат. Схемні файли програми EWB мають розширення *ewb*.

**Меню Edit** дозволяє виконувати такі команди редагування схем і копіювання екрана:

1 **Cut (CTRL+X)** — стирання (вирізання) виділеної частини схеми зі збереженням її в буфері обміну (Clipboard). Виділення одного компонента проводиться натисненням мишки на його зображенні. Для виділення частини схеми або декількох компонентів необхідно поставити курсор мишки в лівий кут уявного прямокутника, що охоплює частину, яка виділяється, натиснути ліву кнопку мишки і, не відпускаючи її, протягнути курсор по діагоналі цього прямокутника, контури якого з'являються вже на початку руху мишки, а потім відпустити кнопку. Виділені компоненти забарвлюються в червоний колір.

2 **Copy (CTRL+ C)** — копіювання виділеної частини схеми в буфер обміну.

3 **Paste (CTRL+ V)** — вставлення вмісту буфера обміну на робоче поле програми.

4 **Delete (Del)** — стирання виділеної частини схеми.

5 **Select All (CTRL+ A)** — виділення всієї схеми.

6 **Copy as Bitmap** або **Copybits (CTRL+ I)** — команда перетворює курсор мишки на хрестик, яким, за правилом прямокутника, можна виділити потрібну частину екрана, після відпускання лівої кнопки мишки виділена частина копіюється в буфер обміну, після чого його вміст можна імпортувати в будь-яку програму Windows.

7 **Show Clipboard** — показати вміст буфера обміну.

**Меню Circuit** використовується при підготовці схем і містить такі основні команди.

Команди керування розташуванням графічного зображення компонентів: **Flip Horizontal** — дзеркальне відображення компонента по горизонталі і **Flip Vertical** — те саме, але по вертикалі. **Rotate (CTRL+ R)** — обертання виділеного компонента. Ці команди можна виконати також натисненням відповідних кнопок (рисунок 1.2).

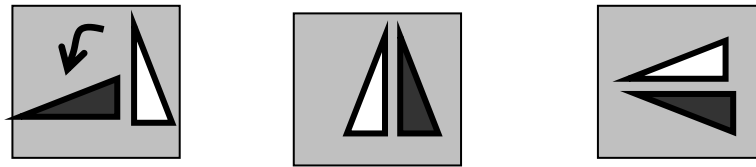


Рисунок 1.2 – Кнопки команд керування поворотом зображення компонентів

**Component Properties** (властивості компонента). Команда виконується також після подвійного натиснення лівої кнопки (або одного натиснення правої кнопки) мишки по зображенню компонента.

При виконанні команди відкривається діалогове вікно такого змісту:

- **Label...** (**CTRL+L**) — введення позиційного позначення виділеного компонента (наприклад, R1 — для резистора, C5 — для конденсатора і т. д.);

- **Value...** (**CTRL+U**) — зміна номінального значення параметра компонента. Команда виконується також подвійним натисненням по компоненту. Номінальне значення параметра вводиться на клавіатурі, натисненням курсором мишки на кнопку вгору-вниз вибирається множник, кратний 1000. Наприклад, для конденсатора задається його ємність у пікофарадах (пФ), нанофарадах (нФ), мікрофарадах (мкФ) або міліфарадах (мФ);

- **Fault** (**CTRL+ F**) — імітація пошкодження виділеного компонента шляхом введення: Leakage — опір витoku; Short — короткого замикання; Open — обриву; None — несправність відсутня (ввімкнено за замовчуванням);

- **Display** — за його допомогою задається характер виведення на екран позначень компонента. При виборі опції Use Schematic Options global setting використовуються установки, прийняті для всієї схеми, інакше використовується індивідуальне налаштування виведення на екран позиційного позначення і номінального значення для кожного компонента.

**Analysis Setup** дозволяє встановити температуру для кожного компонента індивідуально або використовувати її номінальне значення, прийняте для всієї схеми (Use global temperature).

Для активних компонентів меню команди **Component Properties** містить підменю **Models (CTRL+ M)** — вибір моделі компонента (напівпровідникового приладу, операційного підсилювача, трансформатора та ін.). Команда виконується також подвійним натисненням по компоненту.

Основні функції цієї команди:

- **Model** — перелік моделей компонентів вибраної бібліотеки;

- **New Library** — створення нової бібліотеки; після внесення її імені в діалоговому вікні і натиснення клавіші Ассерт (прийняти) це ім'я з'явиться в колонці **Library**.

**Edit** — після натиснення цієї кнопки на екрані з'являється діалогове вікно з параметрами вибраної моделі. У разі необхідності редагування параметрів доцільно за командою **New Library** створити окрему бібліотеку (щоб не псувати параметри бібліотечного компонента), куди необхідно перенести компонент для редагування за допомогою команд **Copy** — копіювання компонента в буфер обміну, який виділено в колонці **Model**; **Paste** — вставлення моделі компонента, яку скопійовано в буфер обміну, у бібліотеку, яку вибрано в колонці **Library** (у тому числі і знов створену) з подальшим редагуванням її параметрів без зміни характеристик компонента основної бібліотеки; **Rename** — перейменування моделі компонента, яку виділено. Робота з меню, як і у всіх інших подібних випадках, закінчується натисненням кнопок **Ассерт** або **Cancel** — із збереженням або без збереження запроваджених змін.

**Меню Analysis** містить такі підпункти: **Activate (CTRL+G)** — запуск моделювання, **Stop (CTRL+T)** — зупинка моделювання, **Pause (F9)** — переривання моделювання. Ці команди можна виконати натисненням кнопок, які розташовано в правому верхньому кутку екрана (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Зображення кнопок меню **Analysis**

EWB має велику бібліотеку компонентів. До бібліотеки компонентів програми входять пасивні елементи, транзистори,



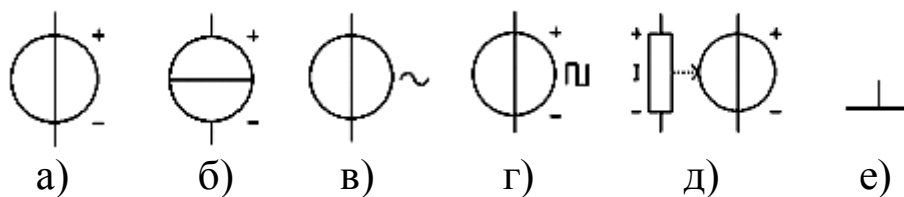
керовані джерела, керовані ключі, гібридні елементи, індикатори, логічні елементи. Панель компонентів складається з піктограм полів компонентів, поле компонентів — з умовних зображень компонентів. Натисненням мишкою на одній з піктограм полів компонентів, які розташовано на панелі, можна відкрити відповідне поле, на якому вибрати необхідний схемний елемент.

Для редагування параметрів елементів потрібно підвести курсор до піктограми об'єкта, що редагується, двічі натиснути лівою кнопкою мишки, задати параметри. Схемний елемент, який у даний момент редагує користувач, виділяється червоним кольором. Для відміни виділення потрібно один раз натиснути правою клавішею мишки на піктограмі елемента. У кінці процедури редагування необхідно натиснути мишкою на кнопці Ассерт (прийняти).

Усі схемні елементи розбито на групи, кожна група має піктограму, яка розташована в полі компонентів. Нижче дається перелік, короткий опис і умовні графічні позначення (УГП) основних елементів, які використовуються в лабораторних роботах. Компоненти, які використовуються лише в окремих лабораторних роботах, будуть розглянуті конкретно в цих роботах.

**Sources** — джерела сигналів (джерела живлення і керовані джерела). З цієї групи для виконання лабораторних робіт

знадобляться такі компоненти як  (рисунок 1.4).



- а) джерело постійної напруги; б) джерело постійного струму; в) джерело змінної напруги; г) тактовий генератор; д) джерело напруги, кероване струмом; е) заземлення

Рисунок 1.4 – Піктограма поля **Sources** і його компоненти

Джерело постійної напруги (**Battery**) зображено на рисунку 1.4, а. ЕДС джерела постійної напруги або батареї вимірюється у вольтах і задається похідними величинами (від мікрвольт до кіловольт).

Джерело постійного струму (**DC current source**) зображено на рисунку 1.4, б. Струм джерела постійного струму (direct current) вимірюється в амперах і задається похідними величинами (від мікроамперів до кілоамперів).


Джерело змінної напруги (**AC voltage source**) зображено на рисунку 1.4, в. Діюче значення (root-mean-square – RMS) напруги джерела вимірюється у вольтах і задається похідними величинами (від мікрвольт до кіловольт). Є можливість установлення частоти і початкової фази.

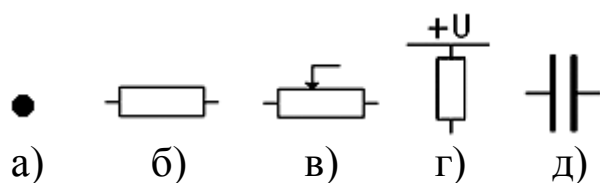
Тактовий генератор (**Clock**) зображено на рисунку 1.4, г. Він виробляє послідовність прямокутних імпульсів. Можна регулювати амплітуду імпульсів, коефіцієнт заповнення і частоту імпульсів.

Джерело напруги, кероване струмом (**Current-Controlled Voltage Source**) зображено на рисунку 1.4, д. Величина вихідної напруги залежить від струму, що протікає через джерело. Напруга і струм зв'язані параметром transresistance, який є відношенням вихідної напруги до струму, що протікає через джерело. Цей параметр може мати будь-яке значення від міліомів до кілоомів.

Компонент «заземлення» (**Ground**) на рисунку 1.4, е має нульову напругу і таким чином забезпечує початкову точку для відліку потенціалів.

Усі джерела в Electronics Workbench ідеальні. Внутрішній опір ідеального джерела напруги дорівнює нулю, тому його вихідна напруга не залежить від навантаження. Ідеальне джерело струму має нескінченно великий внутрішній опір, тому його струм не залежить від опору навантаження.

**Basic.** У цій групі є такі основні компоненти як  (рисунок 1.5).



а) з'єднувач; б) резистор; в) змінний резистор;  
 г) резистор, підключений до плюсового виводу  
 джерела напруги; д) конденсатор

Рисунок 1.5 – Піктограма поля Basic і його  
 компоненти

**Connector** (з'єднувач) зображено на рисунку 1.5, а. Вузол застосовується для з'єднання провідників і створення контрольних точок. До кожного вузла може підключатися не більше чотирьох провідників. Після того як схему зібрано, можна вставити додаткові вузли для підключення приладів.

**Resistor** (резистор) зображено на рисунку 1.5, б. Опір резистора вимірюється в омах і задається похідними величинами (від омів до мегаомів).

**Potentiometer** (змінний резистор) зображено на рисунку 1.5, в. Положення движка змінного резистора встановлюється за допомогою спеціального елемента — стрілки-регулятора. У діалоговому вікні можна встановити опір, початкове положення движка (у відсотках) і крок приросту (також у відсотках). Є можливість змінювати положення движка за допомогою клавіш-ключів.

В EWB використовуються такі клавіші-ключі: літери від A до Z, цифри від 0 до 9, клавіша Enter на клавіатурі, клавіша пропуск [Space]. Для зміни положення движка необхідно натиснути клавішу-ключ. Для збільшення значення положення движка необхідно одночасно натиснути [Shift] і клавішу-ключ, для зменшення – клавішу-ключ.

**Pull-Up resistor** – резистор, підключений до плюсового виводу джерела напруги (рисунок 1.5, г). Змінює величину опору і напруги.

Конденсатор (**Capacitor**) зображено на рисунку 1.5, д. Вибір розмірності проводиться з ряду pF, nF,  $\mu$ F, mF, тобто в діапазоні від пікофарад до міліфарад.

Програма EWB дозволяє при моделюванні схем вимірювати напруги, струми, опори, а також візуально контролювати форму сигналів і т. п. Для цього існує бібліотека груп контрольно-вимірювальних приладів, піктограми яких розташовані на панелі компонентів справа.

Розглянемо деякі контрольно-вимірювальні прилади, які застосовуватимуться під час виконання лабораторних робіт.

Прилади групи **Indicators**  (рисунок 1.6).

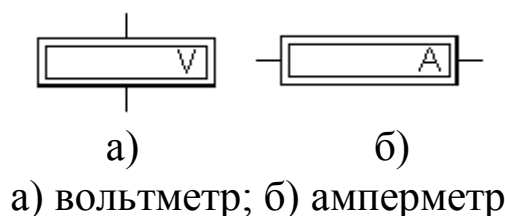


Рисунок 1.6 – Прилади групи Indicators

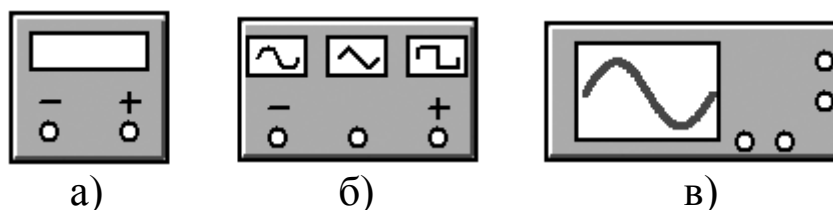
**Вольтметр (Voltmeter)** – прилад для вимірювання напруги в колах постійного і змінного струмів (рисунок 1.6, а). Режим задається в полі Mode: DC (Direct Current) – постійний струм, AC (Alternating Current) – змінний струм. Користувач може задати величину внутрішнього опору вольтметра в рядку Resistance (опір). Вивід вольтметра, який виділено більшою товщиною лінії, має в режимі DC підключатися до виводу схеми з меншим потенціалом.

**Амперметр (Ammeter)** служить для вимірювання сили струму в режимах DC та AC. Редагування моделі амперметра здійснюється аналогічно редагуванню моделі вольтметра. Мінусова клемма на піктограмі виділена у вигляді потовщеної бокової сторони прямокутника (рисунок 1.6, б). Щоб зменшити похибку вимірювання, внутрішній опір амперметра має бути в сотні раз менший за опір у вимірюваному колі.

**Мультиметр (Multimeter)** – багатофункціональний вимірювальний прилад, входи якого позначені на піктограмі знаками «-» і «+», (рисунок 1.7, а). Після подвійного натиснення мишки на піктограмі приладу на полі схемного редактора

відкривається передня панель приладу з кнопками керування. Необхідно вибрати один із чотирьох можливих режимів вимірювання: сили струму (режим A), напруги (режим V), опору (режим  $\Omega$ ), втрати напруги в децибелах (режим db), а також вид струму (постійний DC або змінний AC). Внутрішній опір та інші параметри мультиметра в кожному з режимів редагуються після натиснення на кнопку Setting (налаштування).

Прилади групи **Instruments**  (рисунок 1.7)



а) мультиметр; б) функціональний генератор; в) осцилограф

Рисунок 1.7 – Прилади групи Instruments

Перехід від розгорнутого зображення контрольно-вимірювального приладу до піктограми виконується таким чином. Спочатку необхідно за допомогою мишки перемістити курсор на кнопку системного меню, яка розміщена в лівому верхньому куті приладу і має вигляд горизонтальної планки всередині квадрата. Далі потрібно натиснути і не відпускати ліву клавішу мишки. При цьому відкривається вікно меню, у якому необхідно виділити команду Close (закрити), після чого відпустити клавішу мишки.

**Функціональний генератор (Function Generator)** забезпечує генерацію гармонічних коливань, а також імпульсних послідовностей прямокутної і трикутної форми з регулюванням за амплітудою, частотою і частково за фазою. Генератор має три клеми для підключення: «+», «-», «загальний» (com) (рисунок 1.7, б). Типове підключення передбачає використання, як правило, двох клем (виводів): вивід com підключається до заземлювача, а другою вихідною клемою може бути як ліва («-»), так і права («+») клема, причому якщо сигнал знімається з виводу «+», то спочатку формується додатна хвиля напруги синусоїдальної або трикутної форми, а також імпульс додатної полярності. Використання як вихідної клеми «-» дає протилежний ефект.

Подвійне натиснення лівої клавіші мишки на піктограмі відкриває панель керування функціонального генератора. Установлення частоти генерації здійснюється в рядку Frequency шляхом задавання номінального значення частоти (числове значення в діапазоні від 1 до 999) і її розмірності (з ряду Гц (Hz), кГц (kHz), МГц (MHz)). Встановлення здійснюється шляхом «прокручування».

Величина амплітуди та її розмірність ( $\mu\text{V}$ ,  $\text{mV}$ ,  $\text{V}$ ) встановлюються аналогічно.

У полі OFFSET задається постійний зсув додатного або від'ємного знака.

**Осцилограф (Oscilloscope)** з двома каналами А і В використовує два вхідних сигнали як для відображення тимчасових функцій, так і побудови передатних характеристик «вхід-вихід» і «вихід-вхід» (рисунок 1.7, в).

На піктограмі приладу зображені чотири вхідних клеми. Ліва з двох горизонтально розташованих клем є входом каналу А, сусідня з нею права клема – входом каналу В. Дві вертикально розташовані клеми, як правило, підключаються до заземлювача і зовнішнього джерела синхронізації.

Настроювання осцилографа на потрібний режим роботи здійснюється після розкриття піктограми (подвійне натиснення лівої клавіші мишки). Праворуч від екрана знаходяться органи керування двох типів: одні керують кожним з каналів (А або В), інші керують розгорткою і є загальними для обох каналів.

У полі TIME BASE встановлюють швидкість розгортки по осі Х, а точніше масштаб часу у вигляді відношення тривалості розгортки до великої поділки шкали. Нижче поля TIME BASE розташовується поле Х POS (позиція Х), за допомогою якого можна зсунути початок розгортки ліворуч (для від'ємних значень) або праворуч (для додатних значень). При нульовому зсуві розгортка починається з лівого кута екрана.

Для одержання на екрані осцилографа тимчасових діаграм необхідно увімкнути режим Y/T, при якому змінною по осі абсцис є час, а змінною по осі ординат – напруга. Якщо переключити прилад у режим В/А, то на екрані побудується пряма передатна характеристика, у якій абсцисою є вхідна напруга каналу А, а ординатою – вхідна напруга каналу В.

Переключення в режим А/В дозволяє будувати зворотну передатну характеристику.

Декілька регулювань на панелі керування пов'язані з умовами запуску розгортки (TRIGGER). Рекомендується користуватися автоматичним запуском розгортки (режим AUTO). Для варіантів, коли запуск розгортки не є автоматичним, можна вибрати для запуску позитивний або негативний перепад імпульсу запуску, а також встановити рівень (LEVEL) сигналу, за досягненням якого здійснюється запуск розгортки.

Установлення масштабу по осі Y для кожного з каналів здійснюється окремо шляхом «прокручування». Передбачається також зсув зображення по осі Y угору або вниз за допомогою поля Y POS (позиція Y).

### **1.3 Порядок виконання робіт зі складання схем**

Перемістити курсор за допомогою мишки на піктограму або умовну графічну позначку структурного елемента. Після того як курсор набуде форми кисті руки, необхідно натиснути ліву клавішу мишки і, не відпускаючи її, перемістити структурний елемент у потрібну область операційного поля, після чого клавішу мишки можна відпустити. При цьому елемент залишається виділеним червоним кольором, тому можна обробити його схемним редактором. Для включення останнього в роботу слід перемістити курсор до пункту Circuit (схема) головного меню і натиснути ліву клавішу мишки. Відкривається меню, пункти якого показують, які дії можна виконувати з виділеним елементом.

Програма за замовчуванням надає певні номінальні значення резисторам, конденсаторам, джерелам живлення. Можна відразу відредагувати номінал виділеного елемента, якщо у вищезазначеному меню активізувати команду Value (величина). Встановіть у полі номіналів вікна, що відкрилося, величину і розмірність номіналу, після чого натисніть Асепт. Тепер новий номінал негайно з'явиться на схемі замість старого.

Кожний елемент принципової електричної схеми має своє літерно-цифрове позначення. У програмі це відповідає задаванню мітки структурним елементам у складі схеми: резисторам (R1,

R2), конденсаторам (C1, C2), і т. д. Виділіть у складі меню Circuit пункт Label (мітка), щоб з'явилося вікно з відповідним заголовком. Впишіть у символному полі літерно-цифрове позначення виділеного елемента і натисніть ОК (прийняти).

Для з'єднання структурних елементів, які розміщено на операційному полі, необхідно підвести курсор до виводу елемента так, щоб на місці розташування виводу утворився контактний майданчик, і натиснути ліву клавішу мишки. Після цього, не відпускаючи клавішу мишки, необхідно перемістити курсор до виводу наступного елемента таким чином, щоб з'явився контактний майданчик цього виводу. Далі необхідно відпустити ліву клавішу, і програма сама виконає трасування провідника.

Перед початком роботи в меню Circuit слід виділити пункт Analysis Options... (умови аналізу), після чого відкривається вікно з відповідним заголовком. Тепер натиснемо на ліву клавішу мишки і виберемо один з двох типів аналізу. Тип Transient використовується для аналізу перехідних процесів у колах постійного і змінного струмів. Аналіз типу Steady-state передбачає дослідження режимів, що встановилися, коли фактор часу до уваги не береться. Не забудьте при виході з вікна натиснути кнопку Accept.

Для вмикання напруги живлення необхідно за допомогою мишки натиснути перемикач у правому верхньому куті екрана.

## **Контрольні питання**

- 1 Чим відрізняються ВАХ реальної схеми від модельованої?
- 2 Опишіть процеси в електричних колах.
- 3 Визначте величину струму в заданому електричному колі.
- 4 Які види приладів існують і в чому їхня відмінність?
- 5 Назвіть основні параметри електротехнічних елементів.
- 6 Чим характеризуються моделі вимірювальних пристроїв?

## **1.4 Зміст звіту**

Звіт з лабораторної роботи повинен містити назву, мету, електричні схеми, що підлягають дослідженню, з зазначеними



параметрами елементів у відповідності з варіантом; дані, які отримано експериментальним шляхом (вольт-амперні характеристики, таблиці й т. п.); розрахункові величини; висновки з виконаної роботи.

## **Лабораторна робота 2**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДІОДІВ**

#### **2.1 Мета роботи**

Вивчення основ роботи з програмним комплексом EWB. Дослідження напруги і струму різних типів діодів при прямому та зворотному зміщенні р-п-переходу. Побудова та дослідження вольт-амперної характеристики (ВАХ) діода. Дослідження опору діода при прямому та зворотному зміщенні за вольт-амперною характеристикою.

#### **2.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи**

Вивчити розділи дисципліни, пов'язані з принципом роботи напівпровідникових діодів [1, 2, 3, 5].

**Напівпровідниковий діод** – це напівпровідниковий прилад, як правило, з одним електричним переходом і двома виводами. Розглянемо діод з електронно-дірчастим р-п-переходом, що розділяє р- і п- області кристала напівпровідника.

**Вольт-амперна характеристика (ВАХ)** діода описується виразом

$$I = I_0 \cdot \left( e^{\frac{U_D}{\varphi_T}} - 1 \right), \quad (2.1)$$

де  $U_D$  – напруга на р-п-переході;

$\varphi_T = kT/q$  – тепловий потенціал, що дорівнює контактній різниці потенціалів  $\varphi_K$  на межі р-п-переходу в разі відсутності зовнішньої напруги (при  $T=300\text{ K}$ ,  $\varphi_T=0.025\text{ В}$ );

$k$  – постійна Больцмана;  
 $T$  – абсолютна температура;  
 $q$  – заряд електрона;  
 $I_0$  – зворотний струм р-п-переходу, утворений за рахунок неосновних носіїв.

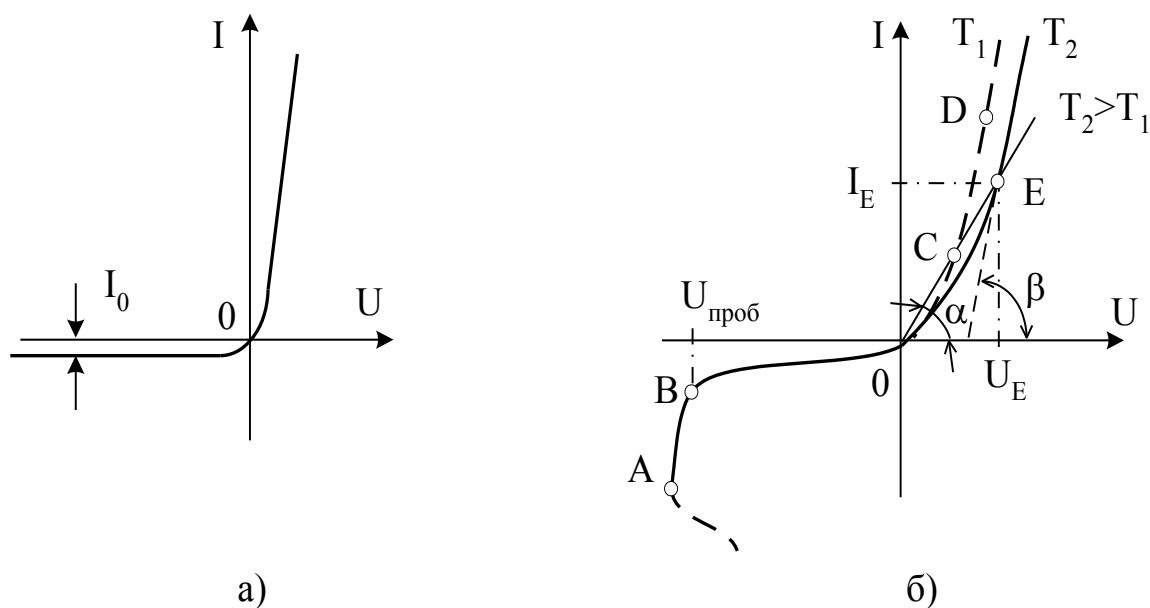
Температурна зміна  $I_0$  визначається залежністю

$$I_0(T) = I_0 \cdot 2^{\frac{T-T_0}{\delta T}}, \quad (2.2)$$

де  $I_0$  – значення теплового струму при кімнатній температурі  $T_0=300$  К;

$\delta T$  – значення збільшення температури, що відповідає подвоюванню значення теплового струму. Значення  $\delta T$  залежить від матеріалу напівпровідника і складає приблизно 10 К для германію і 7 К для кремнію.

При негативній напрузі порядку 0.1 ... 0.2 В у формулі (2.2) експонентною складовою можна знехтувати ( $e^{-4} \approx 0,02$ ); при позитивній напрузі, що перевищує 0.1 В, можна знехтувати одиницею ( $e^4 \approx 54,6$ ), тому ВАХ, описувана цими співвідношеннями, матиме вигляд, наведений на рисунку 2.1, а.



а) ідеального, б) реального

Рисунок 2.1 – Вольт-амперна характеристика діода

Вольт-амперна характеристика реального діода має вигляд, який наведено на рисунку 2.1, б (суцільна лінія). З неї видно, що при визначеному значенні зворотної напруги  $U_{звор}=U_{проб}$  починається лавиноподібний процес наростання струму  $I_{звор}$ , що відповідає електричному пробію р-n-переходу (відрізок АВ на рисунку 2.1, б). Якщо в цей момент струм не обмежити, то електричний пробій переходить у тепловий (ділянка ВАХ після точки А). Тепловий пробій необоротний, оскільки руйнує р-n-перехід.

Напівпровідниковий діод характеризується статичним і диференціальним (динамічним) опором, що легко визначаються за ВАХ.

**Диференціальний опір**  $r_d$  чисельно дорівнює відношенню нескінченно малого збільшення напруги до відповідного збільшення струму в заданому режимі роботи діода і може визначатися графічно як котангенс кута між дотичною в розглянутій робочій точці ВАХ діода і віссю абсцис (штрихова лінія на рисунку 2.1, б з кутом нахилу  $\beta$ ):

$$r_d = dU/dI \approx \Delta U/\Delta I = (m_U/m_I) \operatorname{ctg} \beta, \quad (2.3)$$

де  $\Delta U$  і  $\Delta I$  – кінцеві прирости напруги і струму поблизу робочої точки Е;

$m_U$  і  $m_I$  – масштаби осей напруги і струму.

**Статичний опір**  $R_{ст}$  чисельно дорівнює відношенню напруги на діоді  $U_E$  до струму, що протікає через нього,  $I_E$  (рисунок 2.1, б). Цей опір дорівнює котангенсу кута нахилу прямої, проведеної з початку координат через задану робочу точку ВАХ до осі абсцис:

$$R_{ст} = U_E/I_E = (m_U/m_I) \operatorname{ctg} \alpha. \quad (2.4)$$

Залежно від того, на якій ділянці ВАХ розташована задана робоча точка, значення  $R_{ст}$  може бути меншим або більшим значення  $r_d$ .

## Деякі типи напівпровідникових діодів

**Випрямні діоди.** Застосовуються в пристроях перетворення змінного струму в постійний. Випрямні діоди розрізняють за матеріалом, який використовується для р-n-переходу (германій, кремній та ін.), а також за припустимим значенням прямого струму (діоди малої, середньої і великої потужності).

**Діоди Шоткі.** У цих діодах використовується контакт метал-напівпровідник. Відрізняються від діодів на р-n-переходах відсутністю інжекції неосновних носіїв, внаслідок чого у них відсутня дифузійна ємність, що суттєво підвищує їхню швидкодію.

Діод, що підлягає дослідженню в ході виконання лабораторної роботи, вибирають в полі компонентів **Діоди (Diodes)** на панелі компонентів основного вікна програми Electronics Work Bench (рисунок 2.2).

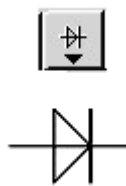


Рисунок 2.2 – Піктограма поля компонентів **Діоди** і умовне позначення випрямного діода

Подвійне натиснення лівої кнопки мишки на зображенні діода викликає появу вікна з властивостями діода (Diode Properties). Вибір типу діода для моделювання проводиться з підменю **Models** (рисунок 2.3).

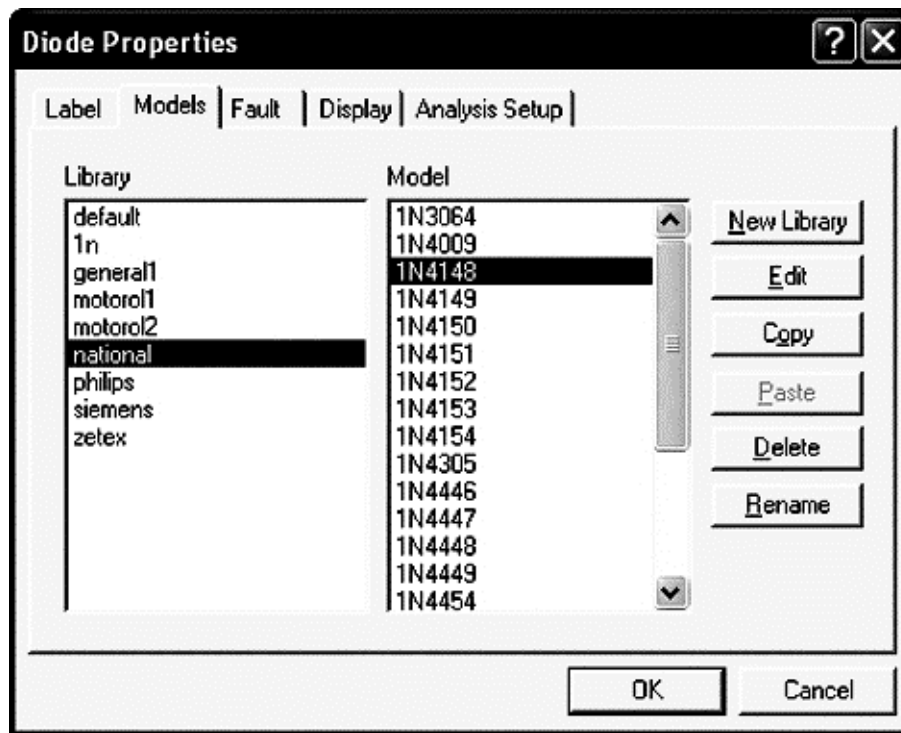


Рисунок 2.3 – Процедура вибору типу діода

Підменю **Edit** дозволяє проглянути параметри вибраної моделі і в разі необхідності внести до неї зміни.

**Деякі з основних параметрів напівпровідникових діодів в EWB:**

**Saturation current (IS), A** — зворотний струм при температурі 27 °C;

**Ohmic resistance (RS), Ом** — об'ємний опір (від десятків до десятих часток омів);

**Zero-bias junction capacitance (CJO), Ф** — бар'єрна ємність переходу при нульовій напрузі;

**Junction potential (VJ), В** — контактна різниця потенціалів (0,75 В);

**Transit time (TT), с** — час перенесення заряду;

**Grading coefficient (M)** — конструктивний параметр, що визначає плавність p-n-переходу;

**Reverse breakdown voltage (BV), В** — максимальна зворотна напруга, задається зі знаком мінус. Для стабілітронів замість цього параметра використовується параметр VZT — напруга

стабілізації при номінальному струмі стабілізації;

**Emission coefficient (N)** – коефіцієнт інжекції;

**Activation energy (EG), eV** – ширина забороненої зони;

**Temperature exponent for effect on IS (XTI)** – температурний коефіцієнт струму насичення;

**Flicker noise coefficient (KF)** – коефіцієнт флікер-шуму;

**Flicker noise exponent (AF)** – показник ступеня у формулі для флікер-шуму;

**Coefficient for forward-bias depletion capacitance formula (FC)** – коефіцієнт нелінійності бар'єрної ємності прямо зміщеного переходу;

**Current at reverse breakdown voltage (IBV), A** – початковий струм пробою при напрузі BV (додатна величина); для стабілітронів замість цього параметра використовується параметр IZT – номінальний струм стабілізації;

**Parameter measurement temperature (TNOM)** – температура діода, °C.

### 2.3 Порядок виконання роботи

Згідно з варіантом оберіть тип діода з таблиці 2.1.

Для дослідження прямої гілки ВАХ діода зберіть схему згідно з рисунком 2.4. Увімкніть схему. Послідовно встановіть значення напруги джерела живлення E1 та запишіть значення напруги  $U_{пр}$  й струму  $I_{пр}$  діода в таблицю 2.2.

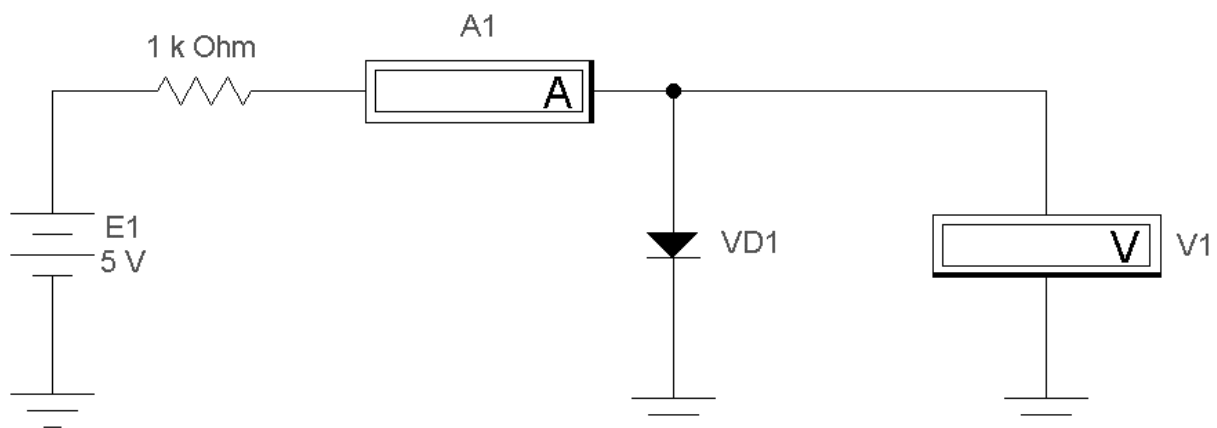


Рисунок 2.4 – Схема для дослідження прямої гілки ВАХ діода

Таблиця 2.1 – Типи діодів

Варіант	Бібліотека	Тип діода	E1(B) для зворотної гілки ВАХ	E1(B) для прямої гілки ВАХ
1	general1	BYM10-100	0...-120	0...10
2	general1	D1N3611GP	0...-240	0...10
3	general1	D1N4001GP	0...-60	0...10
4	general1	D1N4245GP	0...-240	0...10
5	general1	D1N4383GP	0...-240	0...10
6	general1	D1N4933GP	0...-60	0...10
7	general1	D1N5059GP	0...-240	0...10
8	general1	D1N5391GP	0...-60	0...10
9	general1	D1N5615GP	0...-240	0...10
10	general1	D1N6478	0...-60	0...10
11	general1	GF1A	0...-60	0...10
12	general1	GL34A	0...-60	0...10
13	general1	GP10A	0...-60	0...10
14	general1	GP15A	0...-60	0...10
15	general1	GP20A	0...-60	0...10
16	general1	GP30A	0...-60	0...10
17	general1	RGF1A	0...-60	0...10
18	general1	RGF1D	0...-240	0...10
19	general1	RGP10A	0...-60	0...10
20	general1	RGP20A	0...-60	0...10
21	Philips	BY228	0...-100	0...10
22	Philips	BY328	0...-100	0...10
23	Philips	BY438	0...-100	0...10
24	Philips	BY448	0...-100	0...10
25	Philips	BYV95A	0...-300	0...10
26	Philips	BYV95B	0...-500	0...10
27	Philips	BYV95C	0...-700	0...10
28	Philips	BYV95D	0...-900	0...10
29	Philips	BYV95E	0...-1100	0...10
30	National	1N3064	0...-100	0...10

Таблиця 2.2 – Точки прямої гілки ВАХ діода

E1, В	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I <sub>пр</sub> , А																
U <sub>пр</sub> , мВ																

Для дослідження зворотної гілки ВАХ діода зберіть схему згідно з рисунком 2.5. Увімкніть схему. Послідовно встановіть значення напруги джерела живлення E1 (у діапазоні, який вказано в таблиці 2.5 для зворотної гілки ВАХ) і запишіть значення напруги U<sub>зв</sub> й струму I<sub>зв</sub> діода у таблицю 2.3.

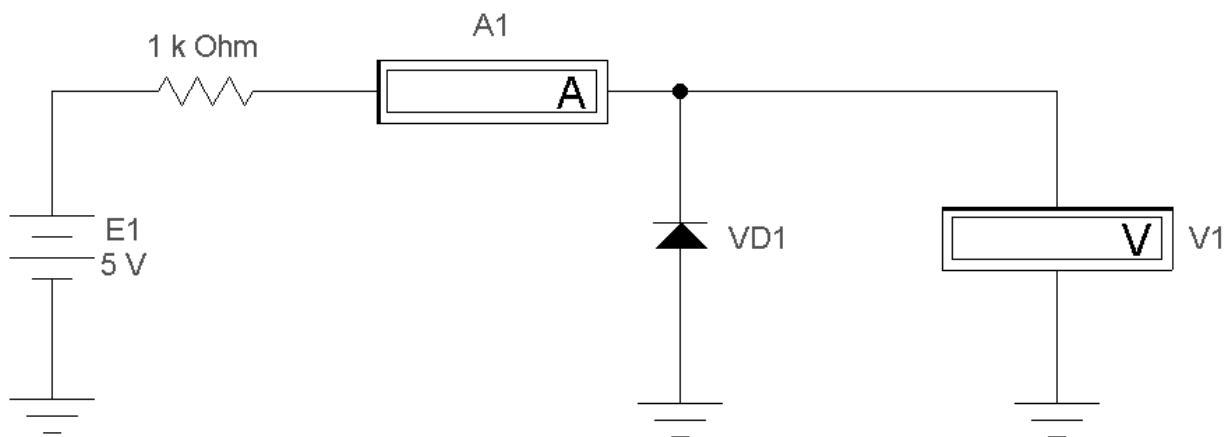


Рисунок 2.5 – Схема для дослідження зворотної гілки ВАХ діода

Таблиця 2.3 – Точки для зворотної гілки ВАХ діода (приклад)

E1, В	15	30	45	60	75	90	100	105
I <sub>зв</sub> , мА								
U <sub>зв</sub> , мВ								

За даними з таблиць 2.2, 2.3 побудуйте графіки  $I_{пр} = f(U_{пр})$  та  $I_{зв} = f(U_{зв})$ .

### Контрольні питання

1 Чим відрізняються ВАХ р-п-переходу реального та ідеального діода?

2 Опишіть процеси в р-п-переході за відсутності зовнішньої напруги, при його прямому і зворотному вмиканні.



3 Визначте величину струму через р-п-перехід при 20 °С, якщо напруга на переході 0,6 В, а зворотний струм 1 мкА.

4 Які види пробою р-п-переходу існують і в чому їхня відмінність?

5 Назвіть основні параметри напівпровідникових діодів.

6 Чим характеризуються випрямні властивості діода?

7 Поясніть процес виникнення бар'єрної ємності.

8 Поясніть процес виникнення дифузійної ємності.

9 Опишіть особливості діодів Шотткі.

10 Яка відмінна риса імпульсних діодів?

## **2.4 Зміст звіту**

Звіт з лабораторної роботи повинен містити електричні схеми, що підлягають дослідженню, з зазначеними параметрами радіоелементів у відповідності з варіантом; дані, які отримано експериментальним шляхом (вольт-амперні характеристики, таблиці й т. п.); розрахункові величини; висновки з виконаної роботи.

## **Лабораторна робота 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СТАБІЛІТРОНІВ**

### **3.1 Мета роботи**

Дослідження напруги і струму стабілітрона при прямому та зворотному зміщенні р-п-переходу. Побудова та дослідження вольт-амперної характеристики (ВАХ) стабілітрона. Дослідження опору стабілітрона при прямому та зворотному зміщенні за вольт-амперною характеристикою.

### **3.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи**

Вивчити розділи дисципліни, пов'язані з принципом роботи напівпровідникових стабілітронів [1, 2, 3, 5].

**Напівпровідниковий стабілітрон** – це діод, напруга на якому в області електричного пробою мало залежить від струму. Робочою ділянкою ВАХ стабілітрона є область пробою р-n-переходу при його зворотному вмиканні. Стабілітрони використовуються для стабілізації, фіксації рівнів напруги.

Діод, що підлягає дослідженню у ході виконання лабораторної роботи, вибирають у полі компонентів **Діоди (Diodes)** на панелі компонентів основного вікна програми Electronics Work Bench (рисунок 3.1).

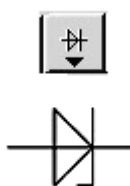


Рисунок 3.1 – Піктограма поля компонентів **Діоди** і умовне позначення стабілітрона

### 3.3 Дослідження стабілітрона

Згідно з варіантом оберіть тип стабілітрона з таблиці 3.1.

Для дослідження прямої гілки ВАХ стабілітрона зберіть схему згідно з рисунком 3.2. Увімкніть схему. Послідовно встановіть значення напруги джерела живлення E1 для прямої гілки ВАХ стабілітрона (таблиця 3.2) та запишіть значення напруги  $U_{пр}$  і струму  $I_{пр}$  стабілітрона.

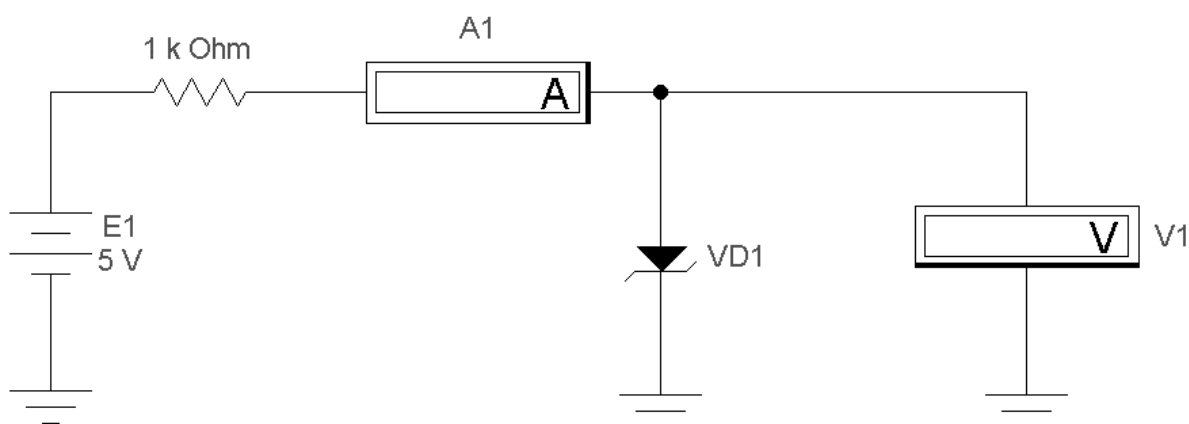


Рисунок 3.2 – Схема для дослідження прямої гілки ВАХ стабілітрона

Таблиця 3.1 – Типи стабілітронів

Варіант	Бібліотека	Тип стабілітрона	E1(V) для зворотної гілки ВАХ	E1(V) для прямої гілки ВАХ
1	General	GLL4735	0...-16	0...10
2	General	GLL4743	0...-25	0...10
3	General	GLL4751	0...-40	0...10
4	General	SML4735	0...-16	0...10
5	General	SML4740	0...-20	0...10
6	General	SML4750	0...-37	0...10
7	General	Z4KE100	0...-110	0...10
8	General	Z4KE140	0...-150	0...10
9	General	ZGL41-100	0...-110	0...10
10	General	Z4KE160	0...-170	0...10
11	General	Z4KE180	0...-190	0...10
12	General	Z4KE200	0...-210	0...10
13	General	ZGL41-200	0...-210	0...10
14	Motor_1n	1N4370A	0...-14	0...10
15	Motor_1n	1N4729A	0...-15	0...10
16	Motor_bzx	BZX85C16	0...-26	0...10
17	Motor_bzx	BZX85C36	0...-46	0...10
18	Motor_bzx	BZX85C5V6	0...-15	0...10
19	Motor_bzx	BZX85C8V2	0...-18	0...10
20	Philips1	BZV37	0...-16	0...10
21	Philips1	BZV49-C10	0...-20	0...10
22	Philips1	BZV49-C20	0...-30	0...10
23	Philips1	BZV49-C30	0...-40	0...10
24	Philips1	BZV49-C56	0...-66	0...10
25	Philips1	BZV49-C68	0...-78	0...10
26	Philips1	BZV49-C9V1	0...-20	0...10
27	Philips1	BZV55-B10	0...-20	0...10
28	Philips1	BZV55-B20	0...-30	0...10
29	Philips1	BZV55-B30	0...-40	0...10
30	Philips1	BZV55-B47	0...-57	0...10

Таблиця 3.2 – Точки прямої гілки ВАХ стабілітрона

E1, В	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10
I <sub>пр</sub> , А																		
U <sub>пр</sub> , мВ																		

Для дослідження зворотної гілки ВАХ стабілітрона зберіть схему згідно з рисунком 3.3. Увімкніть схему. Послідовно встановіть значення напруги джерела живлення E1 в діапазоні, вказаному в таблиці 3.1 для зворотної гілки ВАХ стабілітрона, запишіть значення напруги U<sub>зв</sub> й струму I<sub>зв</sub> стабілітрона в таблицю 3.3.

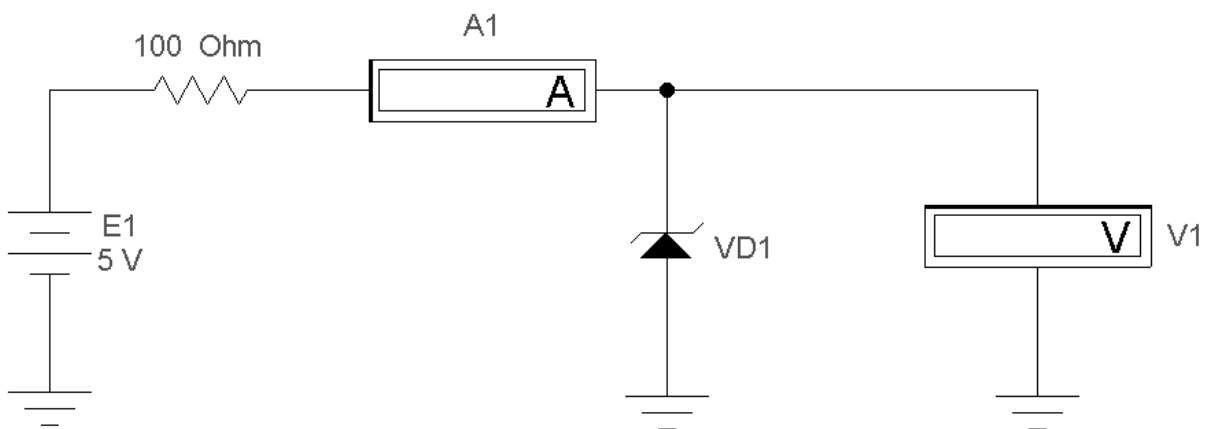


Рисунок 3.3 – Схема для дослідження зворотної гілки ВАХ стабілітрона

Таблиця 3.3 – Зворотна гілка ВАХ стабілітрона

E1, В	- 2,5	- 5	- 7,5	- 10	- 11	- 11,25	- 11,5	- 16
I <sub>зв</sub> , мА								
U <sub>зв</sub> , мВ								

Оцініть за вольт-амперною характеристикою стабілітрона напругу стабілізації. Обчисліть потужність  $P_{ст}$ , що розсіюється на стабілітроні  $P_{ст} = U_{ст} \cdot I_{ст}$  при напрузі  $U_{ст}$ .

## **Контрольні питання і завдання**

- 1 Опишіть принцип дії стабілітрона.
- 2 Основні параметри стабілітронів.
- 3 Наведіть умовні графічні позначення діодів різних типів.
- 4 Які види пробою р-п-переходу існують і в чому їхня відмінність?
- 5 Як можна зменшити температурну залежність напруги стабілізації?
- 6 Нарисуйте ВАХ стабілітрона і вкажіть його робочу ділянку (зону стабілізації).
- 7 У яких пристроях використовують стабілітрон на практиці?

### **3.4 Зміст звіту**

Звіт з лабораторної роботи повинен містити електричні схеми, що підлягають дослідженню, з зазначеними параметрами радіоелементів у відповідності з варіантом; дані, які отримано експериментальним шляхом (вольт-амперні характеристики, таблиці й т. п.); розрахункові величини; висновки з виконаної роботи.

## **Лабораторна робота 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРІВ ЗІ СПІЛЬНОЮ БАЗОЮ**

### **4.1 Мета роботи**

Дослідження вхідної та вихідної характеристик біполярних транзисторів зі спільною базою, які отримано експериментальним шляхом.

## 4.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи

Під час підготовки до роботи слід повторити теоретичний матеріал про будову, принцип роботи, параметри і характеристики біполярних транзисторів зі спільною базою [1, 2, 3, 5].

**Біполярний транзистор (БПТ)** – напівпровідниковий прилад з електронно-дірчастими переходами і трьома (або більше) виводами, підсилювальні властивості якого обумовлені явищами інжекції і екстракції неосновних носіїв заряду. Звичайний біполярний транзистор має два р-п-переходи, утворених трьома областями з типами провідності, що чергуються. Залежно від порядку чергування цих областей розрізняють транзистори р-п-р- і п-р-п-типу. Внутрішня область, що розділяє р-п-переходи, називається базою. Зовнішня область, яка інжектує носії заряду в базу, називається емітером, а перехід, що примикає до нього, називається емітерним. Область, яка екстрактує носії з бази, називається колектором, а перехід, що примикає до неї, колекторним.

Переходи біполярного транзистора можуть зміщуватися в прямому або зворотному напрямках. Залежно від цього розрізняють чотири режими роботи біполярних транзисторів:

а) активний режим (на емітерний перехід подана пряма напруга, на колекторний – зворотна);

б) інверсний режим (на емітерний перехід подана зворотна напруга, на колекторний – пряма);

в) режим насичення (на емітерний і колекторний переходи подана пряма напруга);

г) режим відсічення (до обох переходів подані зворотні напруги).

В електричне коло БПТ включають так, щоб один з його електродів був вхідним, другий – вихідним, а третій – спільним для вхідних і вихідних кіл. Залежно від того, який електрод є спільним, розрізняють три схеми приєднання транзистора: із спільною базою (СБ), із спільним емітером (СЕ), із спільним колектором (СК).

Під час роботи в активному режимі вхідні і вихідні струми пов'язані співвідношенням для схеми зі спільною базою (СБ)

$$I_K = \alpha \cdot I_E + I_{K0}, \quad (4.1)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт передачі струмів емітера;

$I_{K0}$  – зворотний струм через колекторний перехід при розімкненому виводі емітера.

Для кожної з трьох схем вмикання існує сімейство характеристик, що відображують зв'язок між струмами і напругою в транзисторі (рисунок 4.1, транзистор n-p-n).

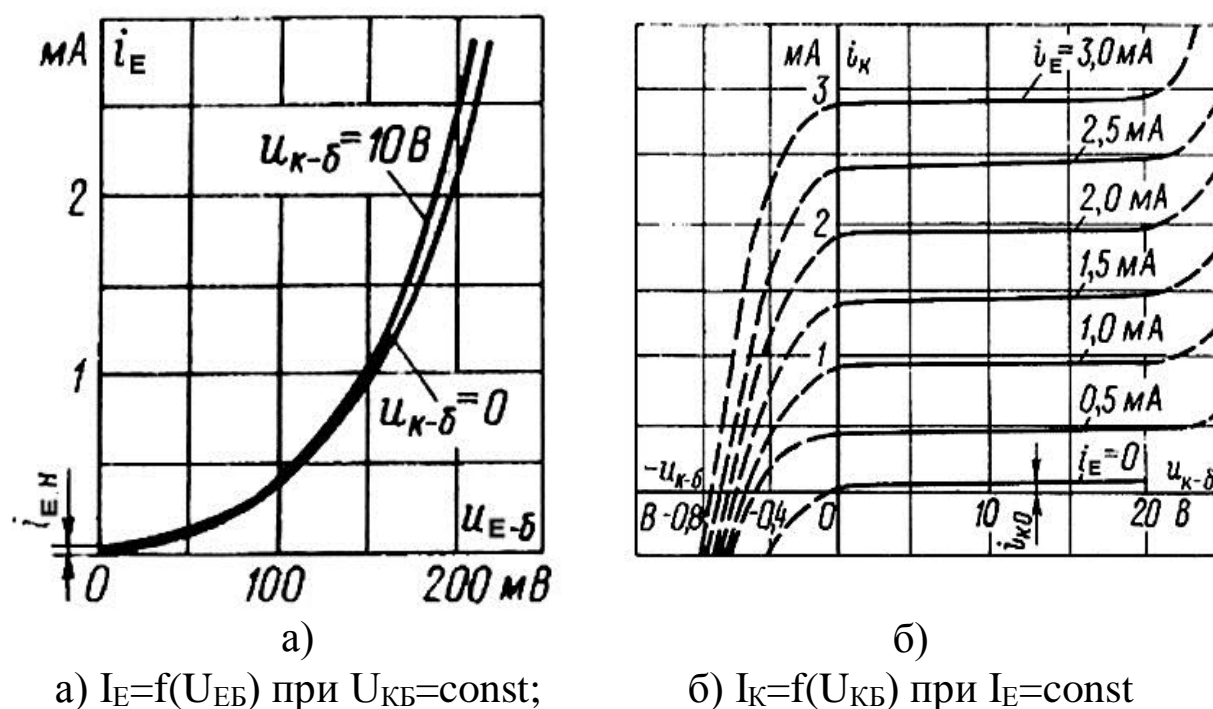
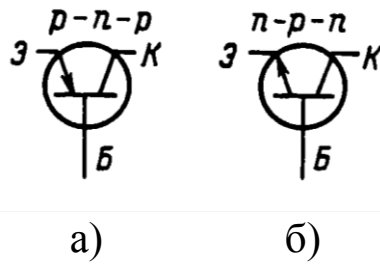


Рисунок 4.1 – Вхідна (а) і вихідна (б) характеристики для схеми з СБ

В EWB транзистори вибираються в полі компонентів **Транзистори (Transistors)** на панелі компонентів основного вікна програми EWB (рисунок 4.2). Схему вмикання біполярного транзистора зі СБ наведено на рисунку 4.3.



а) р-п-р-транзистор, б) п-р-п-транзистор

Рисунок 4.2 – Умовні позначення біполярних транзисторів зі спільною базою

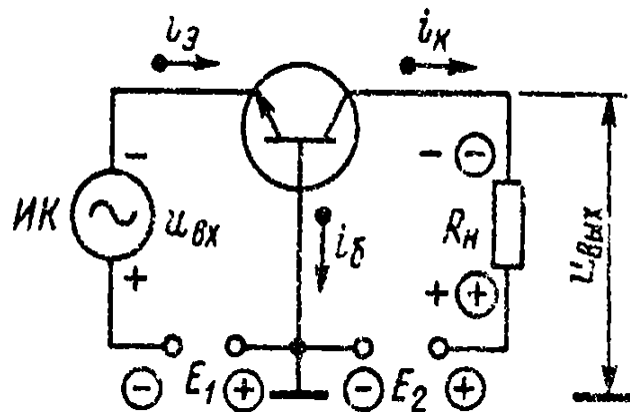


Рисунок 4.3 – Схема включення біполярного транзистора зі СБ

Вибір транзистора для моделювання проводиться з підміною **Models**.

Деякі з основних параметрів біполярних транзисторів в **EWB**:

**Saturation current [IS]** – зворотний струм колекторного переходу, А;

**Forward current gain coefficient [F]** – коефіцієнт посилення струму у схемі з СЕ;

**Base ohmic resistance [RB]** – об'ємний опір бази, Ом ;

**Emitter ohmic resistance [RE]** – об'ємний опір емітера, Ом



**Collector ohmic resistance [RC]** – об’ємний опір колектора, Ом;

**Zero-bias B-E junction capacitance [CE]** – ємність емітерного переходу при нульовій напрузі, Ф;

**Zero-bias C-E junction capacitance [CC]** – ємність колекторного переходу при нульовій напрузі, Ф;

**B-E junction potential [E]** – контактна різниця потенціалів переходу база-емітер;

**B-C junction potential [C]** – контактна різниця потенціалів переходу база-колектор, В;

**Base-Emitter Leakage Saturation current [ISE]** – зворотний струм емітерного переходу;

**B-C leakage saturation current [ISC]** – зворотний струм колекторного переходу.

### 4.3 Порядок виконання роботи

У відповідності з отриманим від викладача варіантом (таблиця 4.1) вибрати транзистор з бібліотеки елементів. Зібрати схеми, які наведено на рисунках 4.4 та 4.5, і внести отримані значення в таблиці 4.2 и 4.3.

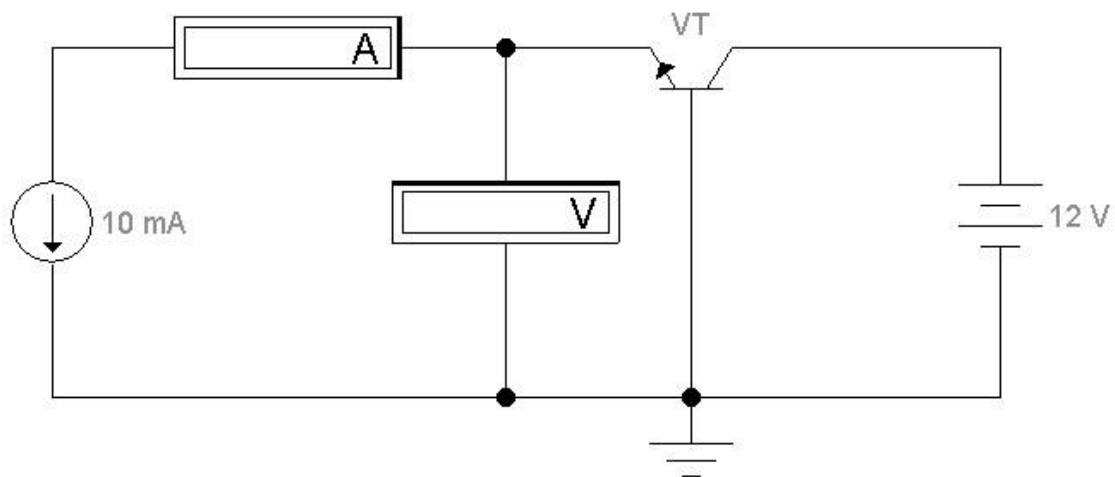


Рисунок 4.4 – Схема для дослідження вхідної ВАХ n-p-n-транзистора у схемі з СБ

Таблиця 4.1 – Типи транзисторів

Варіант	Бібліотека	Транзистор	Варіант	Бібліотека	Транзистор
1	Seimens	T504	16	Zetex	BC856A
2	Nationl3	2N3702	17	Rf_sieme	BFS17P
3	Zetex	BC107BP	18	Zetex	ZTX213
4	Zetex	BCW69	19	Nationl2	2N3707
5	Nationl2	MPS6565	20	Nationl3	ST571-1
6	Nationl3	MPSL51	21	Zetex	ZTX657
7	Rf_sieme	BFP93A	22	Nationl3	TIS93
8	Zetex	FMMTA70	23	Nationl2	2N2923
9	2n	2N2218	24	Zetex	Q2N6727
10	Zetex	BC177AP	25	Zetex	BCV72
11	Nationl2	PN4141	26	Nationl3	MPS3638A
12	Nationl3	TN4036	27	Rf_sieme	BFP420
13	Nationl2	PN4274	28	Zetex	BCX71G
14	Nationl3	PN4354	29	Nationl2	2N3858A
15	Zetex	BFS60	30	Zetex	ZTX796A

Таблиця 4.2 – Відповідність струму емітера  $I_E$  напрузі база-емітер  $U_{BE}$  при фіксованому значенні напруги колектор-база  $U_{KB}$ 

$U_{KB}, V$	$I_E, mA$	0	5	10	15	20	25
0	$U_{BE}, V$						
10	$U_{BE}, V$						

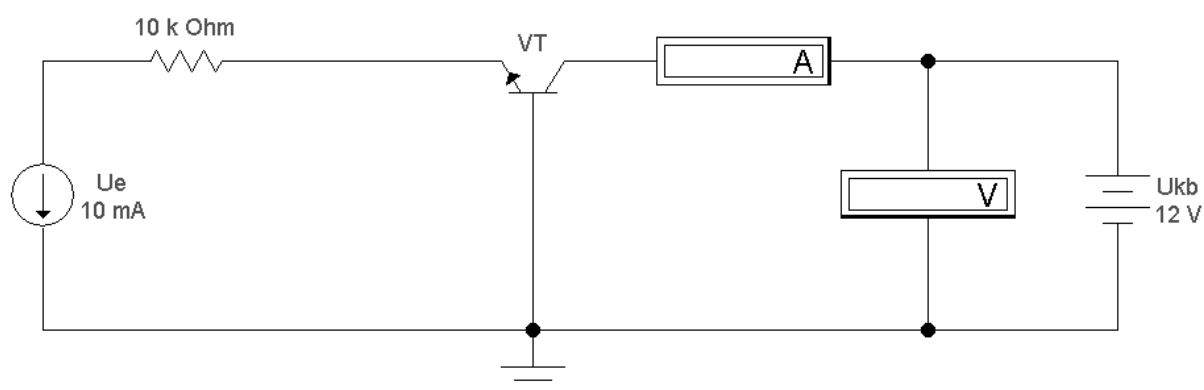


Рисунок 4.5 – Схема для дослідження вихідної ВАХ n-p-n-транзистора в схемі з СБ

Таблиця 4.3 – Відповідність струму колектора  $I_K$  напрузі колектор-база  $U_{KB}$  при фіксованому значенні струму емітера

$I_E$ , мА	$U_{KB}$ , В	0	0,2	0,5	1	5	10	15	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	$I_K$ , мА								
20	$I_K$ , мА								
30	$I_K$ , мА								
40	$I_K$ , мА								
50	$I_K$ , мА								

Ввімкнути схему. Записати показання приборів у таблиці 4.2 та 4.3. За формулою  $\beta = \Delta I_K / \Delta I_B$  обчислити значення коефіцієнта  $\beta$  та порівняти його з коефіцієнтом, який вказано в параметрах транзистора (параметр **Forward current gain coefficient**). Побудувати графіки вхідної ВАХ та сімейство вихідних ВАХ.

### Контрольні запитання і завдання

1 Що являє собою біполярний транзистор? Охарактеризуйте його шари (функції бази, емітера і колектора) і переходи.

2 Наведіть формули, що показують співвідношення струмів у біполярному транзисторі.

3 Перелічіть режими роботи біполярного транзистора й поясніть їх.

4 Що таке h-параметри біполярного транзистора? Наведіть приклади.

5 Які схеми вмикання транзисторів ви знаєте? Поясніть переваги й недоліки схеми з СБ.

6 Опишіть схему вмикання транзистора зі спільною базою, його параметри і недоліки.

7 Поясніть статичні характеристики біполярних транзисторів і їхню залежність від температури.

8 Чим визначаються частотні властивості біполярних транзисторів?

## **4.4 Зміст звіту**

Звіт з лабораторної роботи має містити електричні схеми, що підлягають дослідженню, з зазначенням параметрів радіоелементів у відповідності з отриманим варіантом; дані, отримані експериментальним шляхом (вольт-амперні характеристики, таблиці й т. п.); розрахункові величини; висновки з виконаної роботи.

## **Лабораторна робота 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРІВ ЗІ СПІЛЬНИМ ЕМІТЕРОМ**

### **5.1 Мета роботи**

Дослідження вхідної та вихідної характеристик біполярних транзисторів зі спільним емітером, які отримано експериментальним шляхом.

### **5.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи**

Під час підготовки до роботи слід повторити теоретичний матеріал про будову, принцип роботи, параметри і характеристики біполярних транзисторів [1, 2, 3, 5].

Переходи біполярного транзистора можуть зміщуватися в прямому або зворотному напрямках. Залежно від цього розрізняють чотири режими роботи біполярних транзисторів:

а) активний режим (на емітерний перехід подана пряма напруга, на колекторний – зворотна);

б) інверсний режим (на емітерний перехід подана зворотна напруга, на колекторний – пряма);

в) режим насичення (на емітерний і колекторний переходи подана пряма напруга);

г) режим відсічення (до обох переходів подані зворотні напруги).

В електричне коло БПТ вмикають так, щоб один з його електродів був вхідним, другий – вихідним, а третій – спільним для вхідних і вихідних кіл. Залежно від того, який електрод є спільним, розрізняють три схеми приєднання транзистора: із спільною базою (СБ), спільним емітером (СЕ), спільним колектором (СК).

Під час роботи в активному режимі вхідні і вихідні струми пов'язані співвідношенням для схеми зі спільним емітером (СЕ)

$$I_K = \beta \cdot I_B + I_{K0} \cdot (1 + \beta), \quad (5.1)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт передачі струмів бази;

$I_{K0}$  – зворотний струм через колекторний перехід при розімкненому виводі емітера.

Для кожної з трьох схем вмикання існує сімейство характеристик, що відображують зв'язок між струмами і напругою в транзисторі (рисунок 5.1, транзистор n-p-n).

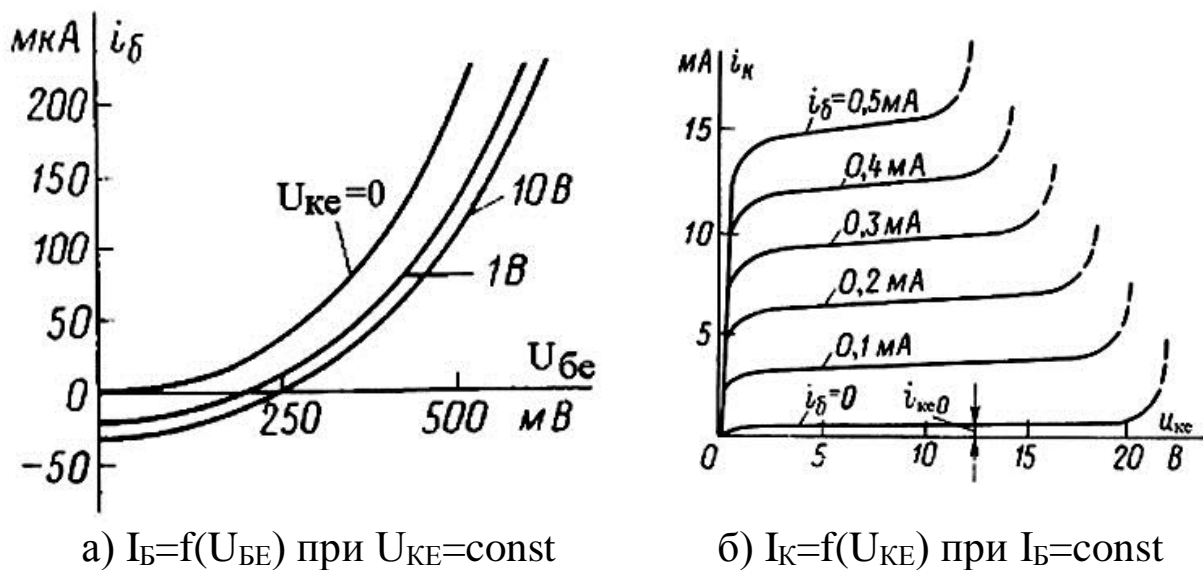


Рисунок 5.1 – Вхідна (а) і вихідна (б) характеристики для схеми з СЕ

В EWB транзистори вибираються в полі компонентів **Транзистори (Transistors)** на панелі компонентів основного вікна програми EWB (рисунок 5.2). Схема підключення біполярного транзистора зі СЕ наведена на рисунку 5.3.

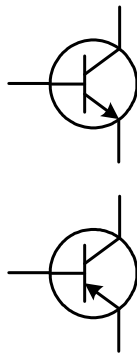


Рисунок 5.2 – Умовні позначення біполярних транзисторів зі спільним емітером n-p-n- та p-n-p-типів

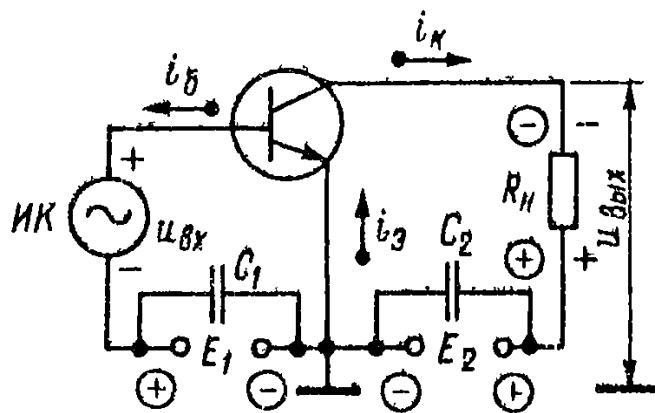


Рисунок 5.3 – Схема підключення біполярного транзистора зі СЕ

Вибір транзистора для моделювання проводиться з підменю **Models**.

**Деякі з основних параметрів біполярних транзисторів в EWB:**

**Saturation current [IS]** – зворотний струм колекторного переходу, А;

**Forward current gain coefficient [F]** – коефіцієнт посилення струму у схемі з СЕ;

**Base ohmic resistance [RB]** – об'ємний опір бази, Ом;

**Emitter ohmic resistance [RE]** – об'ємний опір емітера, Ом;

**Collector ohmic resistance [RC]** – об'ємний опір колектора, Ом;

**Zero-bias B-E junction capacitance [CE]** – ємність емітерного переходу при нульовій напрузі, Ф;

**Zero-bias C-E junction capacitance [CC]** – ємність колекторного переходу при нульовій напрузі, Ф;

**B-E junction potential [E]** – контактна різниця потенціалів переходу база-емітер;

**B-C junction potential [C]** – контактна різниця потенціалів переходу база-колектор, В;

**Base-Emitter Leakage Saturation current [ISE]** – зворотний струм емітерного переходу;

**B-C leakage saturation current [ISC]** – зворотний струм колекторного переходу.

### 5.3 Порядок виконання роботи

У відповідності з отриманим від викладача варіантом за таблицею 5.1 вибрати транзистор з бібліотеки елементів. Зібрати схеми, які наведено на рисунках 5.4, 5.5. Виконати моделювання та заповнити таблиці 5.2, 5.3.

Таблиця 5.1 – Типи транзисторів

Варіант	Бібліотека	Транзистор	Варіант	Бібліотека	Транзистор
1	Seimens	T504	16	Zetex	BC856A
2	Nationl3	2N3702	17	Rf_sieme	BFS17P
3	Zetex	BC107BP	18	Zetex	ZTX213
4	Zetex	BCW69	19	Nationl2	2N3707
5	Nationl2	MPS6565	20	Nationl3	ST571-1
6	Nationl3	MPSL51	21	Zetex	ZTX657
7	Rf_sieme	BFP93A	22	Nationl3	TIS93
8	Zetex	FMMTA70	23	Nationl2	2N2923
9	2n	2N2218	24	Zetex	Q2N6727
10	Zetex	BC177AP	25	Zetex	BCV72
11	Nationl2	PN4141	26	Nationl3	MPS3638A
12	Nationl3	TN4036	27	Rf_sieme	BFP420
13	Nationl2	PN4274	28	Zetex	BCX71G
14	Nationl3	PN4354	29	Nationl2	2N3858A
15	Zetex	BFS60	30	Zetex	ZTX796A

Примітка – парні номери за списком – транзистори з каналом n-типу, непарні – з каналом p-типу

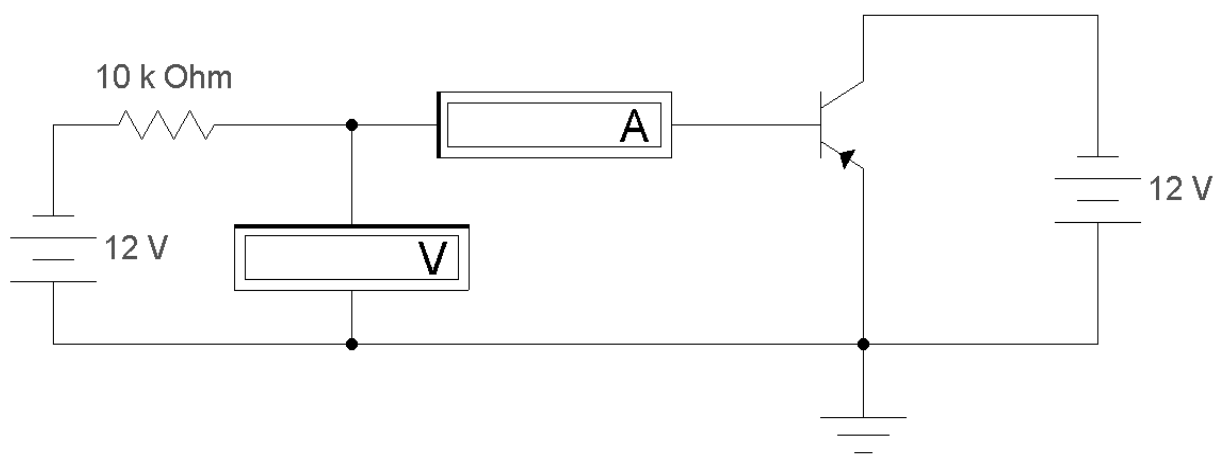


Рисунок 5.4 – Схема для дослідження вхідної ВАХ р-п-р-транзистора у схемі з СЕ

Таблиця 5.2 – Схема для дослідження вихідної ВАХ р-п-р-транзистора у схемі з СЕ

$U_{KE}, В$	$U_{BE}, В$	0	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
0	$I_B, мА$						
5	$I_B, мА$						
10	$I_B, мА$						

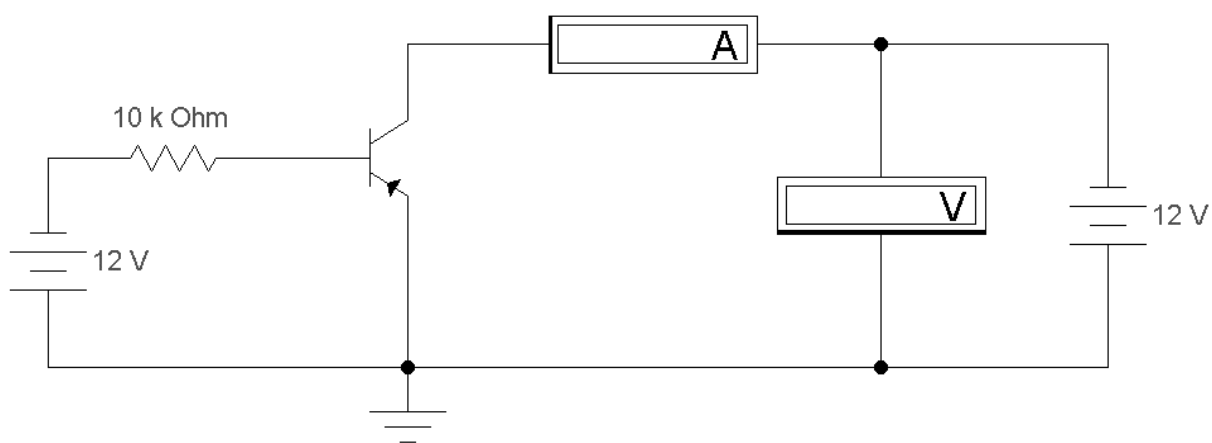


Рисунок 5.5 – Схема для дослідження вихідної ВАХ р-п-р-транзистора у схемі з СЕ



Таблиця 5.3 – Відповідність струму колектора  $I_K$  напрузі колектор-емітер  $U_{KE}$  при фіксованому струмі бази

$I_B$ , мА	$U_{KE}$ , В	0	0,2	0,5	1	5	10	15	20
1	$I_K$ , мА								
2	$I_K$ , мА								
4	$I_K$ , мА								
8	$I_K$ , мА								
10	$I_K$ , мА								

Ввімкнути схему. Записати показання приладів. За формулою  $\beta = \Delta I_K / \Delta I_B$  обчислити значення коефіцієнта  $\beta$  та порівняти його з коефіцієнтом, який вказано в параметрах транзистора (параметр **Forward current gain coefficient**).

### Контрольні питання і завдання

- 1 У чому полягає принцип дії біполярного транзистора?
- 2 Наведіть формули, що показують співвідношення струмів у біполярному транзисторі.
- 3 Назвіть режими роботи біполярного транзистора й поясніть їх.
- 4 Що таке  $h$ -параметри біполярного транзистора? Наведіть приклади.
- 5 Які схеми вмикання транзисторів ви знаєте? Поясніть переваги й недоліки схеми з СЕ.
- 6 Перелічіть основні параметри біполярних транзисторів.
- 7 Поясніть статичні характеристики біполярних транзисторів і їхню залежність від температури.
- 8 Чим визначаються частотні властивості біполярних транзисторів?

### 5.4 Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи має містити електричні схеми, що підлягають дослідженню, з зазначенням параметрів радіоелементів у відповідності з отриманим варіантом; дані, отримані експериментальним шляхом (вольт-амперні характеристики, таблиці й т. п.); розрахункові величини; висновки з виконаної роботи.

# Лабораторна робота 6

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЬОВИХ ТРАНЗИСТОРІВ З КЕРУЮЧИМ P-N-ПЕРЕХОДОМ

### 6.1 Мета роботи

Побудова вольт-амперних характеристик польових транзисторів з керуючим р-n-переходом і вивчення принципів їхньої роботи.

### 6.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи

Під час підготовки до роботи слід повторити розділи теорії, що стосуються принципів роботи польових транзисторів з керуючим р-n-переходом [1, 2, 3, 5].

**Польовий транзистор** – напівпровідниковий прилад, підсилювальні властивості якого обумовлені керуванням електричним полем потоком основних носіїв заряду, що протікають через провідний канал. Робота польового транзистора заснована на використанні носіїв заряду тільки одного виду. Провідний шар, у якому створюється робочий струм польового транзистора, називається каналом.

**Польовий транзистор з керуючим р-n-переходом і каналом n-типу** (рисунок 6.1)

Пластинка з напівпровідника n-типу має на протилежних кінцях електроди, за допомогою яких вона ввімкнена в коло навантаження. До області з іншим типом електропровідності підключений третій електрод – затвор. Зміна зворотної напруги на затворі призводить до зміни площі поперечного перерізу каналу, а отже, і струму через канал. Електрод, з якого носії заряду потрапляють у канал, називається витком (В), а електрод, до якого проходять носії з каналу, – стоком (С). Вихідні характеристики транзистора  $I_C=f(U_{CB})$  при  $U_{ЗВ}=\text{const}$  показані на рисунках 6.2, 6.3.

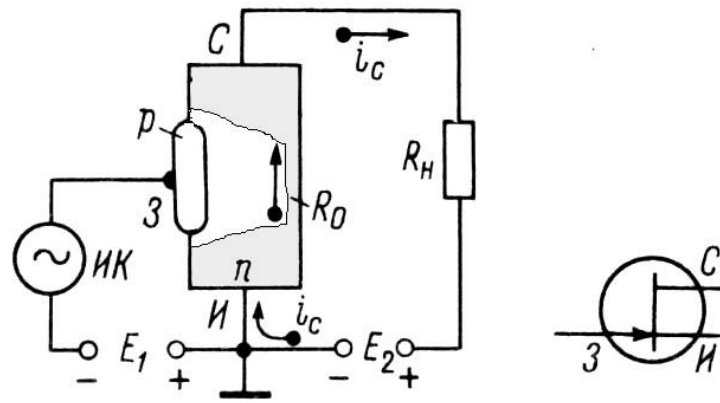


Рисунок 6.1 – Схема ввімкнення і умовне графічне позначення польового транзистора з керуючим р-п-переходом і каналом п-типу

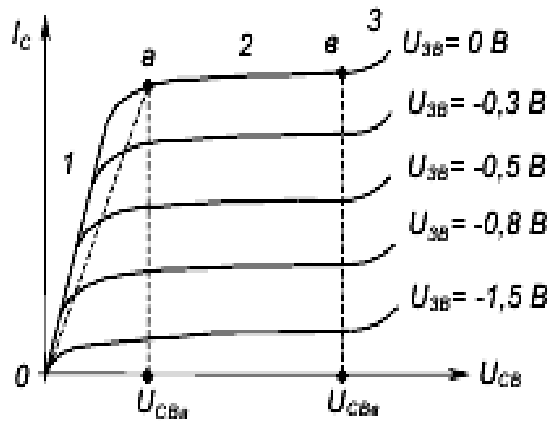


Рисунок 6.2 – Сімейство стокових вольт-амперних характеристик

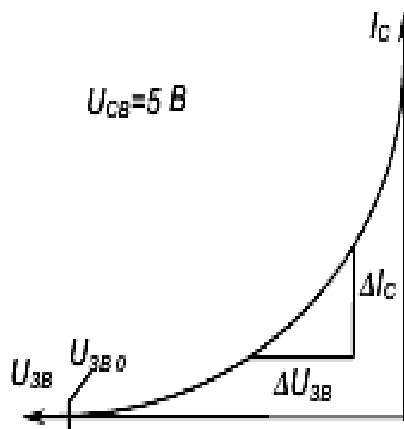


Рисунок 6.3 – Стоко-затворна (передаточна) вольт-амперна характеристика

В EWB польові транзистори вибираються в полі компонентів **Транзистори (Transistors)** на панелі компонентів основного вікна програми Electronics Work Bench. Вибір транзистора для моделювання проводиться з підменю **Models**.

**Деякі з основних параметрів польових транзисторів в EWB:**

**Threshold voltage [VTO]** – напруга відсічки, В. Напруга між затвором і витокком польового транзистора з р-п-переходом або з ізольованим затвором, що працюють у режимі збіднення, при якому струм стоку досягає заданої низької напруги. Для транзисторів з ізольованим затвором, що працюють у режимі збагачення, цей параметр називається пороговою напругою;

**Drain ohmic resistance [RD]** – об’ємний опір області стоку, Ом;

**Source ohmic resistance [RS]** – об’ємний опір області витоку, Ом;

**Gate-junction saturation current [IS]** – струм насичення р-п-переходу, А (тільки для польових транзисторів з р-п-переходом);

**Zero-bias gate-drain junction capacitance [CGD]** – ємність між затвором і стоком при нульовому зміщенні, Ф;

**Zero-bias gate-source junction capacitance [CGS]** – ємність між затвором і витокком при нульовому зміщенні, Ф;

**Bulk-threshold parameter [GAMMA]** – коефіцієнт впливу потенціалу підкладки на порогову напругу;

**Bulk-junction saturation current [IS]** – зворотний струм підкладки;

**Zero-bias bulk-drain junction capacitance [CBD]** – ємність частини переходу сток-підкладка при нульовому зміщенні, Ф;

**Zero-bias bulk-source junction capacitance [CBS]** – ємність донної частини переходу виток-підкладка при нульовому зміщенні, Ф;

**Drain and source diffusion sheet resistance [RSH]** – питомий опір дифузійних областей витоку і стоку, Ом;

**Gate-bulk capacitance Cgb [CGB]** – ємність між затвором і підкладкою, Ф.

## 6.3 Порядок виконання роботи

### 6.3.1 Дослідження стокової характеристики польового транзистора з керуючим р-п-переходом

У відповідності з отриманим від викладача варіантом (таблиця 6.1) вибрати транзистор з бібліотеки елементів. Зібрати схему, яку наведено на рисунку 6.4.

Таблиця 6.1 – Польові транзистори з р-п переходом

Варіант	Транзистор	Значення напруги			
		Вихідна характеристика		Передавальна характеристика	
		$U_{ЗВ}(В)$	$U_{СВ}(В)$	$U_{ЗВ}(В)$	$U_{СВ}(В)$
1	2	3	4	5	6
1	Motorola J1RFD9120	0...3.0	0...-10	0...3.0	-10, -20
2	Motorola J300	0...-2.5	0...10	0...-2.5	10, 20
3	Motorola J1RFD9123	0...2.5	0...-10	0...2.5	-10, -20
4	Motorola J304	0...-2.5	0...10	0...-2.5	10, 20
5	Motorola J2N5461	0...2.5	0...-10	0...2.6	-10, -20
6	Motorola J309	0...-2.0	0...10	0...-2.5	10, 20
7	Motorola J2N5462	0...2.5	0...-10	0...2.5	-10, -20
8	Motorola J310	0...-4.0	0...10	0...-4.1	10, 20
9	Motorola MPF970	0...8	0...-10	0...8	-10, -20
10	Motorola MMBF17	0...-2.0	0...10	0...-2.0	10, 20
11	Motorola MPF971	0...3.5	0...-10	0...3.6	-10, -20
12	Motorola BF244B	0...-1.5	0...10	0...-1.5	10, 20
13	Philips J174	0...7.0	0...-10	0...7.15	-10, -20
14	Motorola MMBF4391	0...-4.5	0...10	0...-4.6	10, 20
15	Philips J175	0...3.5	0...-10	0...3.6	-10, -20
16	Motorola MMBF4392	0...-3.5	0...10	0...-3.5	10, 20
17	Philips J176	0...2.0	0...-10	0...2.3	-10, -20
18	Motorola MMBF4416	0...-5.0	0...10	0...-5.5	10, 20
19	Philips J177	0...1.5	0...-10	0...1.8	-10, -20
20	Motorola MMBF4856	0...-3.5	0...10	0...-3.5	10, 20
21	National1 J2N2608	0...2.5	0...-10	0..2.5	-10, -20
22	Motorola MPF3822	0...-2.5	0...10	0...-2.6	10, 20
23	National1 J2N2609	0...2.5	0...-10	0..2.5	-10, -20

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5	6
24	Motorola MMBF5457	0...-3.5	0...10	0...-3.5	10, 20
25	National1 J2N3329	0...2.5	0...-10	0...2.75	-10, -20
26	Motorola MMBF5486LT1	0...-1.5	0...10	0...-1.5	10, 20
27	National1 J2N3330	0...4	0...-10	0...3.0	-10, -20
28	Motorola MPF102	0...-3.0	0...10	0...-3.0	10, 20
29	National1 J2N3331	0...5	0...-10	0...5.2	-10, -20
30	Motorola MPF4393	0...-4.5	0...10	0...-4.5	10, 20

Примітка – парні номери за списком – транзистори з каналом n-типу, непарні – з каналом p-типу

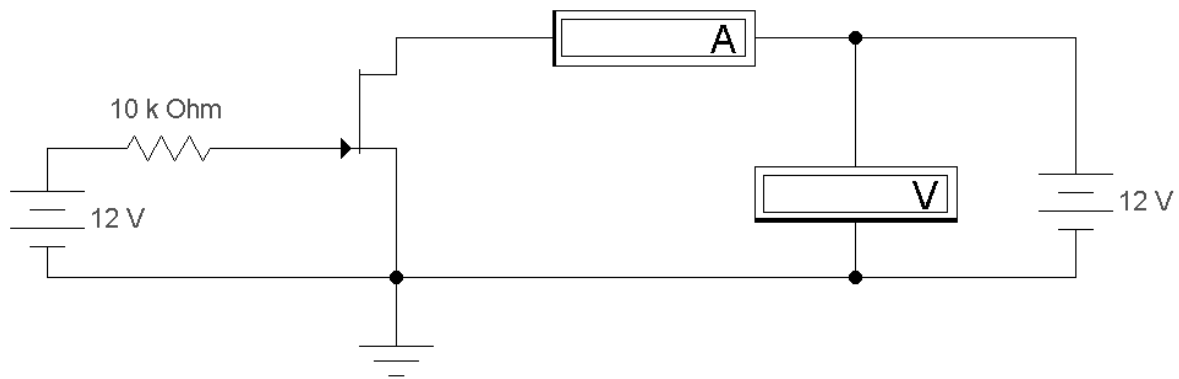


Рисунок 6.4 – Схема для дослідження стокової ВАХ p-n-p-транзистора з керуючим p-n-переходом

Скласти таблицю відповідності струму стоку  $I_C$  напрузі сток-виток  $U_{CB}$  при фіксованих значеннях напруги затвор-виток (таблиця 6.2). За отриманими даними побудувати сімейство вихідних характеристик  $I_C=f(U_{CB})$  при  $U_{ЗВ}=\text{const}$ .

Таблиця 6.2 – Відповідність струму стоку  $I_C$  напрузі  $U_{CB}$  при фіксованому значенні напруги затвор-виток  $U_{ЗВ}$  для транзистора з каналом n-типу

$U_{ЗВ}, \text{В}$	$U_{CB}, \text{В}$	0	0,5	1	2	4	8
0	$I_C, \text{мА}$						
-0,5	$I_C, \text{мА}$						
-1	$I_C, \text{мА}$						
-1,5	$I_C, \text{мА}$						

Примітка – для транзисторів з каналом p-типу полярність напруг змінюється на протилежну

### 6.3.2 Дослідження стоко-затворної (передавальної) характеристики польового транзистора з керуючим р-п-переходом

Скласти таблицю відповідності струму стоку  $I_C$  напрузі затвор-виток  $U_{ЗВ}$  при фіксованих значеннях напруги сток-виток (таблиця 6.3).

За отриманими даними побудувати сімейство передавальних характеристик польового транзистора з п-р-переходом  $I_C=f(U_{ЗВ})$  при  $U_{СВ}=\text{const}$ .

Таблиця 6.3 – Відповідність струму стоку  $I_C$  напрузі затвор-виток  $U_{ЗВ}$  при фіксованому значенні напруги сток-виток  $U_{СВ}$  для транзистора з каналом п-типу

$U_{СВ}$ , В	$U_{ЗВ}$ , В	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3
10	$I_C$ , мА							
20	$I_C$ , мА							

Примітка – для транзисторів з каналом р-типу полярність напруг змінюється на протилежну

#### Контрольні питання і завдання

1 Назвіть відмінності польового транзистора від біполярного.

2 Нарисуйте ВАХ польового транзистора з р-п-переходом і поясніть його роботу.

3 Як влаштований польовий транзистор з р-п-переходом? Опишіть принцип його роботи.

4 Назвіть принцип дії польових транзисторів, класифікацію та переваги польових транзисторів перед біполярними.

5 Опишіть принцип дії польових транзисторів з керованим р-п-переходом.

6 Назвіть основні параметри і важливі переваги польових транзисторів.

## 6.4 Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити електричні схеми з зазначенням параметрів радіоелементів відповідно до одержаного варіанта; дані, отримані експериментальним шляхом (вольт-амперні характеристики, таблиці і т. п.); розрахункові величини; висновки з виконаної роботи.

## Лабораторна робота 7 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

### 7.1 Мета роботи

Побудова основних характеристик операційного підсилювача, вивчення принципів його роботи і досягнення різних коефіцієнтів підсилення при позитивному та негативному зворотних зв'язках.

### 7.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи

**Операційний підсилювач ОП** (англ. *operational amplifier*) — підсилювач постійного струму з диференційним входом, що має високий коефіцієнт підсилення. Призначений для виконання різноманітних операцій над аналоговими сигналами, переважно у схемах з негативним зворотним зв'язком (НЗЗ). Операційні підсилювачі застосовуються в різноманітних схемах радіотехніки, автоматики, інформаційно-вимірювальної техніки, — там, де необхідно підсилювати сигнали, у яких є постійна складова.

У наш час ОП отримали широке застосування як у вигляді окремих мікросхем, так і у вигляді функціональних блоків — у складі складніших мікросхем. Така популярність обумовлена тим, що ОП є універсальним блоком з характеристиками, близькими до ідеальних, на основі якого можна побудувати безліч різноманітних електронних вузлів. Зображення операційного підсилювача на електричних принципових схемах наведено на рисунку 7.1. На цьому зображенні наведені:



- $V_-$  — інвертуючий вхід;
- $V_+$  — неінвертуючий вхід;
- $V_{S+}$  — плюс джерела живлення (також може позначатися як  $V_{DD}$ ,  $V_{CC}$  або  $V_{CC+}$ )
- $V_{S-}$  — мінус джерела живлення (також може позначатися як  $V_{SS}$ ,  $V_{EE}$  або  $V_{CC-}$ )
- $V_{out}$  — вихід.

Зазначені на рисунку п'ять виводів має будь-який ОП, вони абсолютно необхідні для його функціонування. Окрім вказаних, деякі ОП можуть мати додаткові виводи, призначені:

- для встановлення струму спокою;
- частотної корекції;
- балансування (корекції зсуву) нуля і ряду інших функцій.

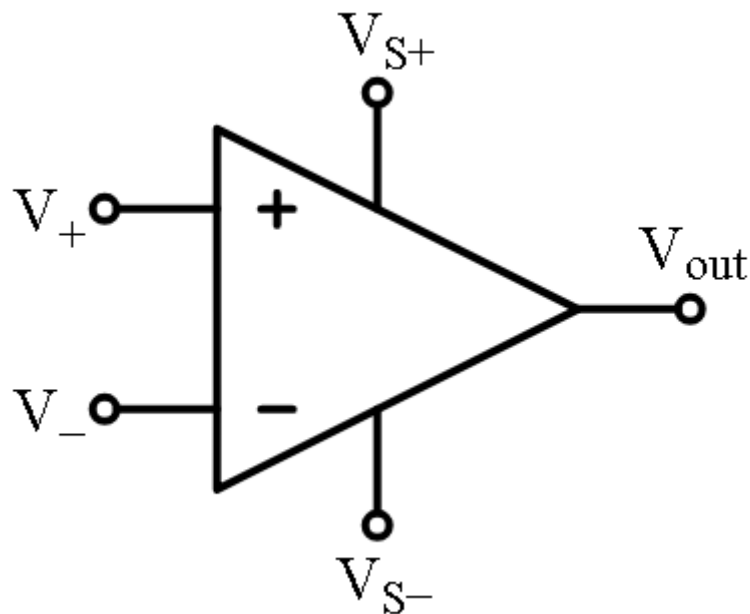


Рисунок 7.1 – Операційний підсилювач

Виводи живлення ( $V_{S+}$  і  $V_{S-}$ ) можуть бути позначені по-різному, але, незалежно від позначень, призначення їхнє залишається одним і тим самим. Часто виводи живлення не зображують на схемі, щоб не перевантажувати її неістотними деталями, при цьому, спосіб підключення цих виводів явно не вказується або навіть вважається очевидним (особливо часто це відбувається, при зображенні одного ОП з мікросхеми, що містить чотири ОП в одному корпусі і має загальні виводи

живлення для всіх чотирьох ОП). При позначенні ОП на схемах можна міняти місцями інвертуючий і неінвертуючий входи, якщо це зручно; виводи живлення, як правило, завжди розміщують однаково (позитивний вгорі).

### 7.3 Порядок виконання роботи

#### 7.3.1 Дослідження підсилювальної характеристики операційного підсилювача з позитивним зворотним зв'язком

У відповідності з отриманим від викладача варіантом (таблиця 7.1) вибрати операційний підсилювач з бібліотеки елементів і визначити коефіцієнт підсилення. Після розрахунку параметрів і варіантів підключення елементів необхідно зібрати схему, наведену на рисунку 7.2.

Отримані графіки матимуть вигляд як на рисунку 7.3.

Таблиця 7.1 – Операційні підсилювачі

Варіант	Операційний підсилювач	Значення напруги			
		Вихідна характеристика $U_{+/-}$		Коефіцієнт підсилення	
		$U_{min}(B)$	$U_{max}(B)$	n+	n–
1	OPA 211	5	36	2	4
2	OPA 281	5	36	3	2
3	OPA 2140	4,5	36	2	5
4	OPA 2111AM	15	40	5	3
5	OPA 4325	2,2	5	5	6
6	OPA 2211	4,5	36	6	4
7	TLV9302	4,5	40	5	2
8	OPA 209	4,5	36	5	7
9	OPA4209	4,5	36	4	3
10	OPA4209AIPW	4,5	36	2	5

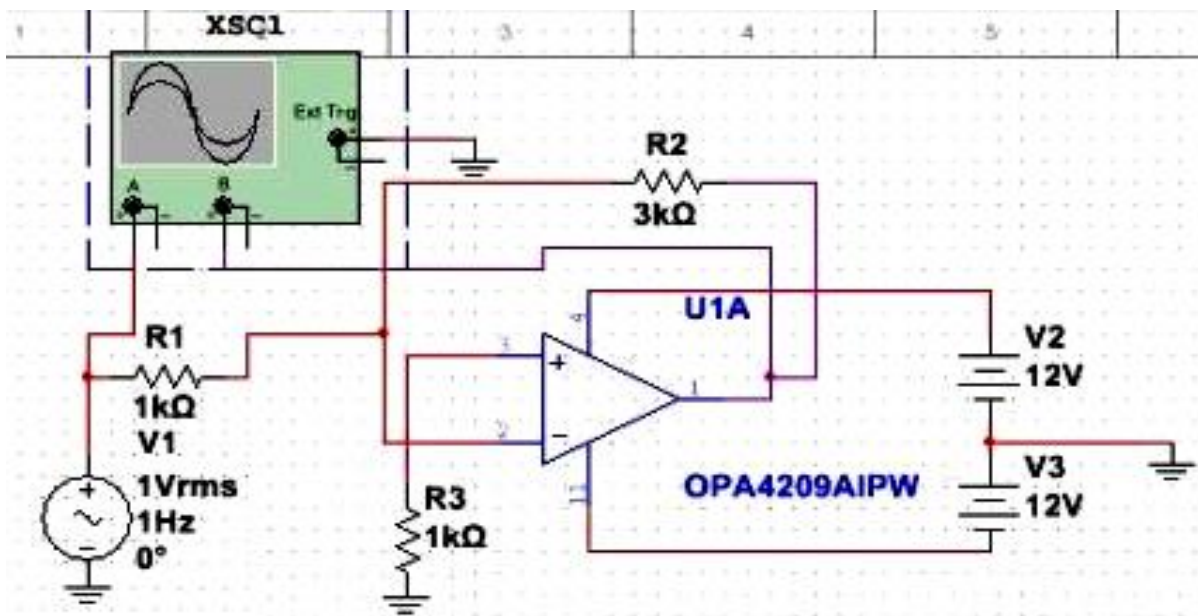


Рисунок 7.2 – Схема підключення операційного підсилювача з позитивним зворотним зв'язком

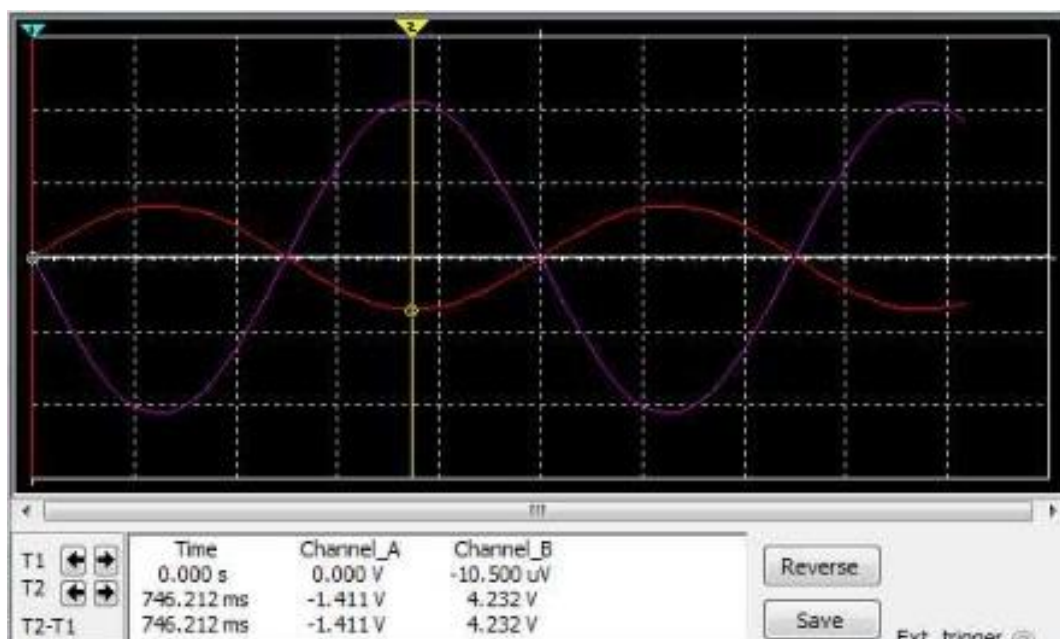


Рисунок 7.3 – Типове зображення вхідної та вихідної характеристик підсилення для зібраної схеми підсилювача з позитивним зворотним зв'язком

### 7.3.2 Дослідження підсилювальної характеристики операційного підсилювача з негативним зворотним зв'язком

У відповідності з отриманим від викладача варіантом (таблиця 7.1) вибрати операційний підсилювач з бібліотеки

елементів і визначити коефіцієнт підсилення. Після розрахунку параметрів і варіантів підключення елементів необхідно зібрати схему, наведену на рисунку 7.4.

Отримані графіки матимуть вигляд як на рисунку 7.5.

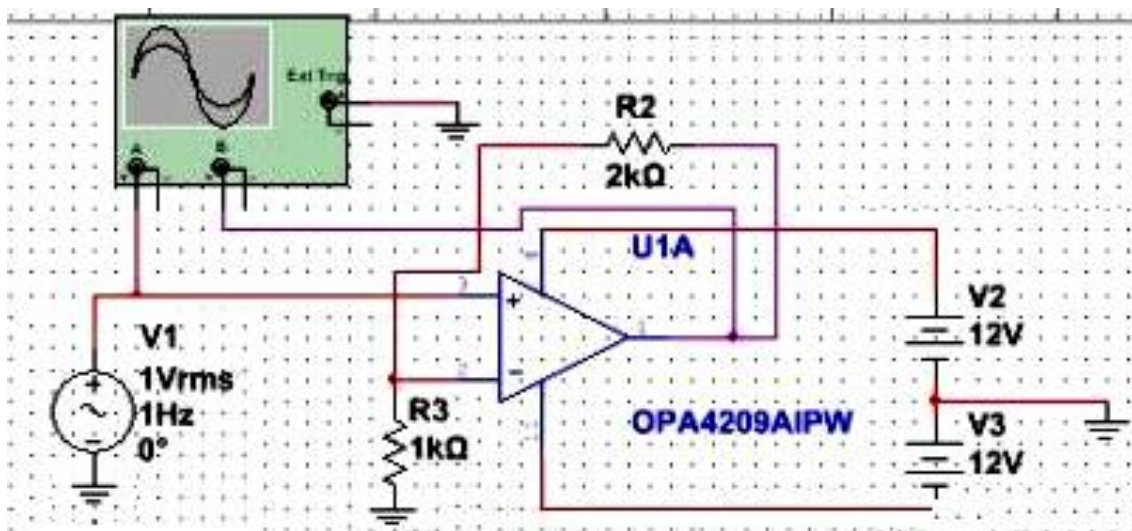


Рисунок 7.4 – Схема підключення операційного підсилювача з негативним зворотним зв'язком

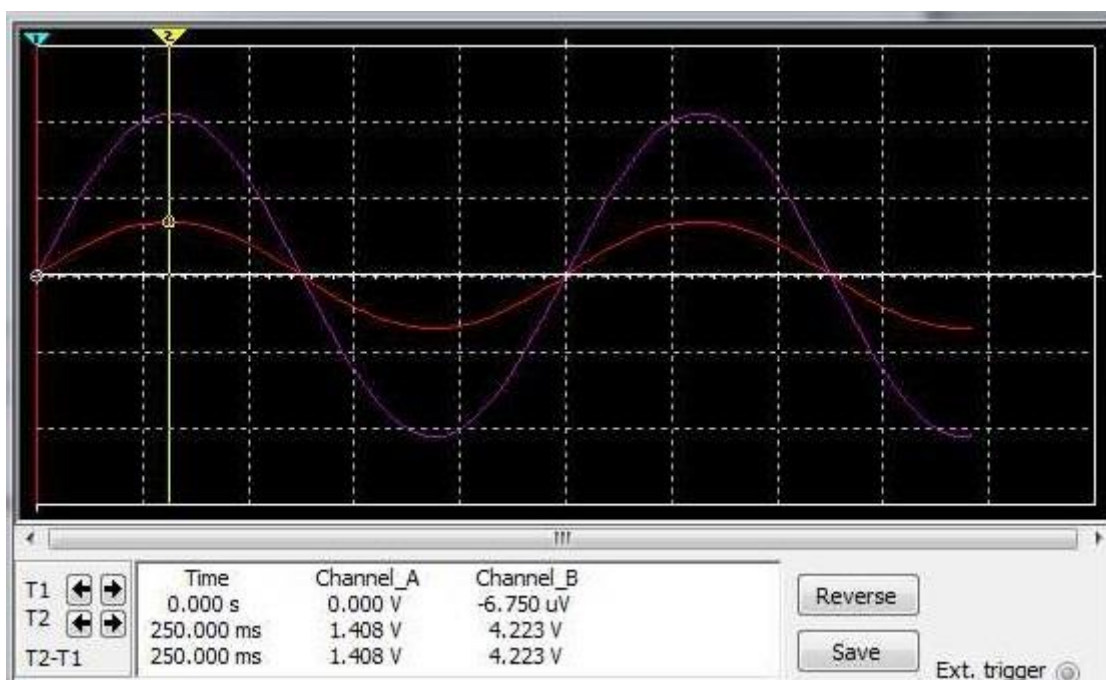


Рисунок 7.5 – Типове зображення вхідної та вихідної характеристик підсилення для зібраної схеми підсилювача з негативним зворотним зв'язком

## **Контрольні питання і завдання**

- 1 Яка будова і принцип роботи операційного підсилювача?
- 2 Що таке «позитивний зворотний зв'язок»?
- 3 Що таке напруга живлення?
- 4 Яку роль відіграє інвертуючий вхід операційного підсилювача?
- 5 У чому перевага операційного підсилювача?
- 6 Що таке «негативний зворотний зв'язок»?
- 7 Нарисуйте амплітудно-часову характеристику операційного підсилювача.
- 8 Назвіть основні параметри і важливі переваги операційного підсилювача.

### **7.4 Зміст звіту**

Звіт з лабораторної роботи повинен містити електричні схеми з зазначенням параметрів радіоелементів відповідно до одержаного варіанта; дані, отримані експериментальним шляхом (амплітудно-часові характеристики, таблиці і т. п.); розрахункові величини; висновки з виконаної роботи.

## **Лабораторна робота 8 ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНЗИСТОРНИХ КЛЮЧІВ**

### **8.1 Мета роботи**

Дослідження режимів роботи ключа на біполярному транзисторі і ключа на КМДН-транзисторах.

### **8.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи**

**Транзисторні ключі** – елементи схемотехніки, які здійснюють різні комутації під впливом сигналів керування: вмикання/вимикання пасивних і підсилювальних елементів, джерел живлення і т. д. [1, 3, 5]. У статичному режимі ключ знаходиться в одному з двох станів: замкненому (ввімкненому)

або розімкненому (вимкненому). Транзисторні ключі є одним з найпоширеніших вузлів комп'ютерної електроніки, оскільки на їхній основі створюються вузли цифрової схемотехніки. Під час підготовки до лабораторної роботи необхідно повторити теоретичний матеріал, пов'язаний зі схемотехнікою ключів на біполярних транзисторах, КМДН-транзисторах, перехідними процесами при перемиканні ключа.

Біполярний транзистор у ключовому каскаді (рисунок 8.1) може знаходитися в трьох режимах.

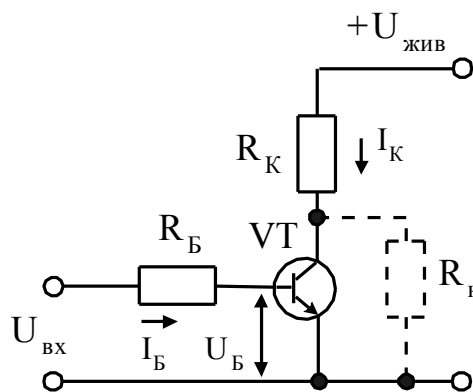


Рисунок 8.1 – Типова схема ключа на біполярному транзисторі

**Активний режим.** Емітерний перехід зміщено у прямому напрямку, колекторний перехід зміщено у зворотному напрямку:

$$I_K = \beta \cdot I_B + I_{K0} \cdot (1 + \beta). \quad (8.1)$$

**Режим насичення.** Емітерний і колекторний переходи транзистора зміщено у прямому напрямку. Умова переходу транзистора в режим насичення:

$$I_B \geq I_{B \text{ нас}} = U_{\text{жив}} / \beta R_K. \quad (8.2)$$

**Режим відсічення.** Емітерний і колекторний переходи транзистора зміщено в зворотному напрямку:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{KE}} = U_{\text{жив}} - I_{K0} \cdot R_K. \quad (8.3)$$

Струм бази транзистора дорівнює струму зворотнозміщеного колекторного переходу  $I_B = -I_{K0}$ . Умова режиму відсічення для n-p-n-транзистора  $U_{BE} < 0$ , для p-n-p-транзистора  $U_{BE} > 0$ .

КМДН-ключ виконано на комплементарній парі МДН-транзисторів, тобто на транзисторах з каналами протилежного типу провідності (рисунок 8.2).

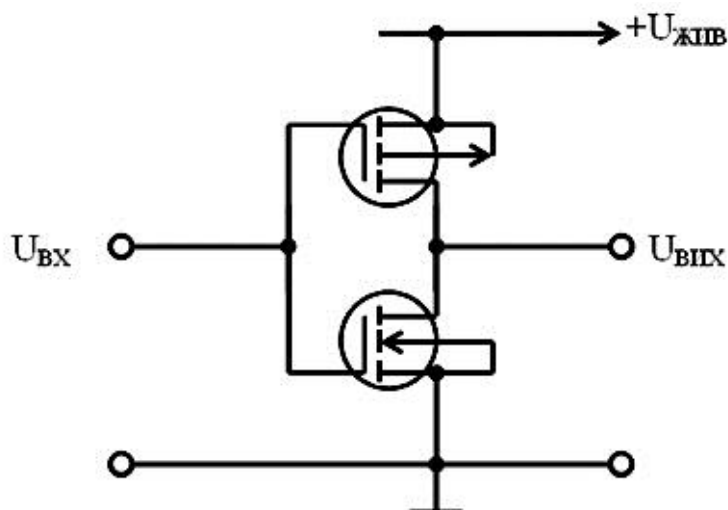


Рисунок 8.2 – Схема ключа на КМДН-транзисторах

Особливістю даного ключа є те, що при виконанні умови

$$U_{\text{ЖИВ}} \leq |U_{\text{ПОР1}}| + |U_{\text{ПОР2}}|, \quad (8.4)$$

як у сталому, так і перехідному режимах відсутні моменти, коли одночасно протікають струми стоку обох транзисторів. Внаслідок цього енергія, яка відбирається ключем від джерела живлення, витрачається виключно на перезарядження вихідної ємності (ємності навантаження) ключа. Отже, ця потужність зведена до мінімально можливої.

Значення високого і низького рівнів вихідної напруги визначаються співвідношенням опору каналів відкритого транзистора  $r_{\text{ВІДКР}}$  і закритого  $r_{\text{ЗАКР}}$ . Оскільки  $r_{\text{ЗАКР}}$  більше  $r_{\text{ВІДКР}}$  в десятки тисяч разів і більше, то вихідна напруга високого рівня практично не відрізняється від напруги живлення (p-канальний

транзистор відкритий, n-канальний закритий), а напруга низького рівня (р-канальний транзистор закритий, n-канальний відкритий) – від нуля.

### 8.3 Порядок виконання роботи

#### 8.3.1 Дослідження ключа на біполярному транзисторі

Відповідно до отриманого від викладача варіанта (таблиця 8.1) вибрати транзистор з бібліотеки елементів.

Таблиця 8.1 – Варіанти завдань для дослідження ключа на біполярному транзисторі

Варіант	Бібліотека	Транзистор	Ужив, В
1	2	3	4
1	2n	2N2218	5
2	2n	2N2222	10
3	2n	2N2222A	15
4	2n	2N4401	5
5	bipolar	MPS3904	10
6	ewba	QNL	15
7	harris	BD239	5
8	harris	BD239A	10
9	harris	BD239B	15
10	harris	BD239C	5
11	harris	BD241	10
12	harris	BD241A	15
13	harris	BD243	5
14	harris	BD501B	10
15	harris	BD550	15
16	harris	BD643	5
17	harris	BD645	10
18	harris	BD647	15
19	zetex	BC846B	10
20	zetex	BCW72	8
21	motorol1	BC107	15
22	motorol1	BC140-10	5
23	motorol2	BC237	10



Продовження таблиці 8.1

1	2	3	4
24	motorol3	BFS17	15
25	motorol3	MMBR571	5
26	nationl1	D40D1	10
27	nationl1	MPQ100	15
28	philips1	BC140	5
29	philips2	JC546	10
30	siemens	T89	15

### Дослідження динамічних параметрів ключа

Зібрати схему, наведену на рисунку 8.3. Параметри функціонального генератора (форма імпульсів – «прямокутні»): Frequency – 100 кГц, Duty cycle – 50 %, Amplitude – 2,5 В, Offset – +2,5В для n-p-n-транзистора або -2,5В – для р-n-р-транзистора.

Настроювання осцилографа: розгортка – 0.10 мкс/д (Y/T), X position=0.00. Чутливість по каналу А – 2 В/д (Y position=0.00), режим DC. Чутливість по каналу В – 2В/д (Y position=-3.00), режим DC. Синхронізувати в режимі AUTO переднім фронтом імпульсу.

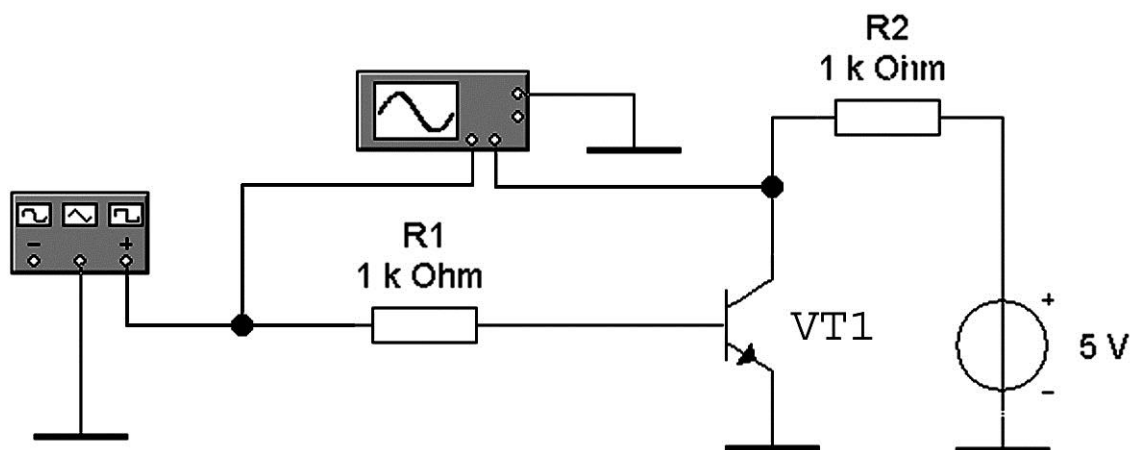


Рисунок 8.3 – Схема для дослідження ключа на біполярному транзисторі

Ввімкнути схему. Отримавши осцилограми (як показано на рисунку 8.4), припинити процес моделювання.

Побудувати осцилограми вхідного і вихідного сигналів ключа і виміряти такі динамічні параметри ключа:

- $t_{зат}$  – час затримки вмикання;
- $t_{\phi}$  – час формування фронту колекторного струму;
- $t_{роз}$  – час розсмоктування надмірного заряду в області бази;
- $t_{сп}$  – час формування спаду колекторного струму.

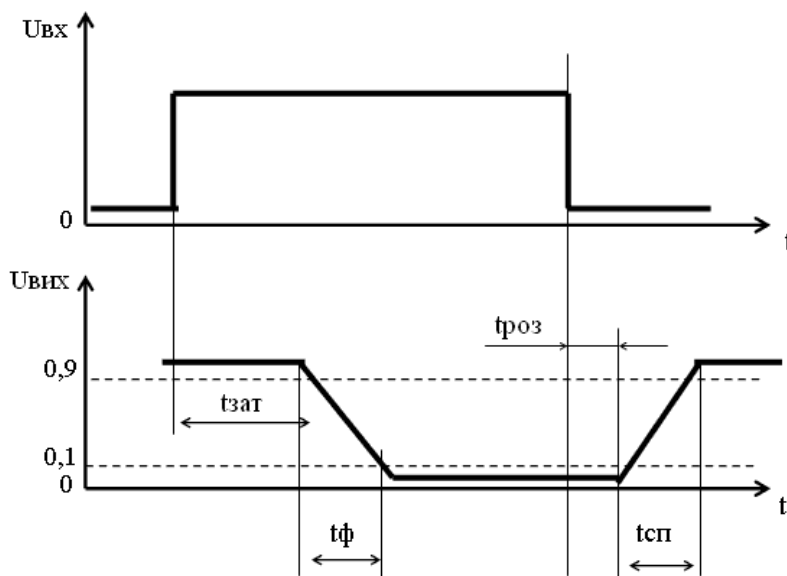


Рисунок 8.4 – Форма вхідного і вихідного сигналів ключа на біполярному транзисторі

### Дослідження передавальної характеристики ключа

У схемі на рисунку 8.3 встановити форму імпульсів – «трикутні». Ввімкнути режим моделювання. Побудувати передавальну характеристику  $U_{вих}=f(U_{вх})$  ключа при  $0 < U_{вх} < U_{жив}$ . Визначити значення вхідної напруги, які відповідають межах високого та низького значень вихідної напруги.

### 8.3.2 Дослідження ключа на біполярному транзисторі з діодом Шоткі

Зібрати схему, показану на рисунку 8.5, використати діод Шоткі FQ із бібліотеки `int_shot` (параметри функціонального генератора, значення опорів резисторів, напруга джерела живлення – як у пункті 8.3.1).

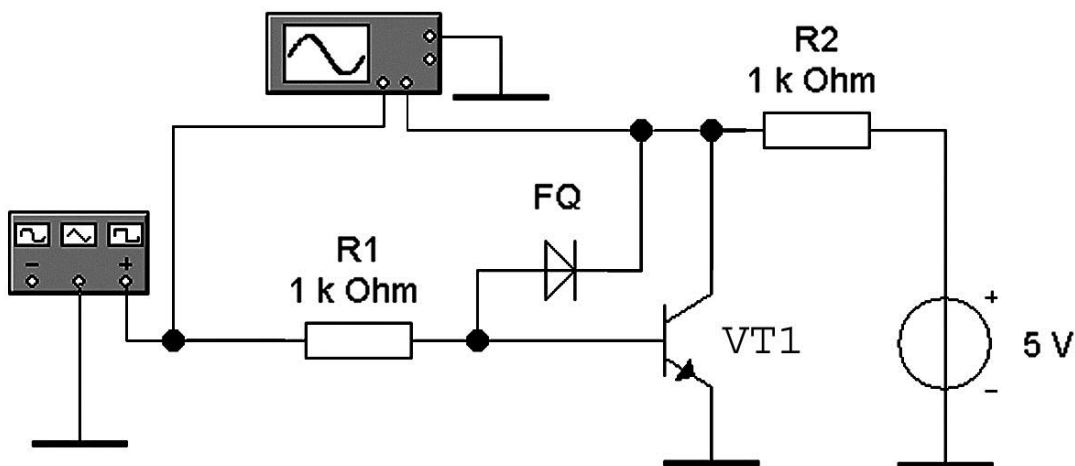


Рисунок 8.5 – Схема для дослідження ключа на біполярному транзисторі з діодом Шоткі

Ввімкнути режим моделювання. Побудувати осцилограми вхідного і вихідного сигналів. Виміряти динамічні параметри ключа аналогічно пункту 8.3.1. Порівняти результати досліджень з результатами пункті 8.3.1.

### 8.3.3 Дослідження КМДН-ключа

Відповідно до отриманого від викладача варіанта (таблиця 8.2) вибрати транзистори з бібліотеки елементів і напругу живлення.

Таблиця 8.2 – Варіанти завдань для дослідження КМДН-ключа

Варіант	Бібліотека	Транзистор 1	Бібліотека	Транзистор 2	U жив, В
1	2	3	4	5	6
1	zetex	ZVP4424A	national	NDB4045B	5
2	zetex	ZVP4424A	zetex	ZVN4310	10
3	zetex	ZVP4424A	zetex	ZVN4306	15
4	zetex	ZVP4424A	zetex	ZPV4210	5
5	zetex	ZVP4424A	zetex	ZPV4106	10
6	zetex	ZVP4424A	zetex	ZVN3310	15
7	zetex	ZVP4424A	zetex	ZVN3306F	5
8	zetex	ZVP4424A	zetex	ZVN3306	10
9	zetex	ZVP4424A	zetex	ZVN2106G	15
10	zetex	ZVP4424A	zetex	ZVN2106	5

Продовження таблиці 8.2

1	2	3	4	5	6
11	zetex	ZVP4424A	zetex	ZVN0124	10
12	zetex	ZVP4424A	zetex	VN10LF	15
13	zetex	ZVP4424A	zetex	BS170	5
14	philips	BSP204	zetex	2N7002	10
15	philips	BSP204	zetex	2N7000	15
16	philips	BSP204	philips	BSS123	5
17	philips	BSP204	toshiba	M2DK1488	10
18	philips	BSP204	toshiba	BSN10	15
19	philips	BSP204	toshiba	BSN10A	5
20	philips	BSP204	toshiba	BSN20	10
21	philips	BSP204	toshiba	BSS100	15
22	philips	BSP204	toshiba	BSS123	5
23	philips	BSP204	national	NDB4050	10
24	philips	BSP204	national	NDB405A	15
25	philips	BSP204	national	NDB405AEL	5
26	philips	BSP204	national	NDB405B	10
27	philips	BSP204	national	NDC631N	15
28	philips	BSP204	national	NDH831N	5
29	philips	BSP204	national	NDP4050	10
30	philips	BSP204	national	NDP7060	15

**Дослідження динамічних параметрів ключа**

Скласти схему, яку показано на рисунку 8.6. Параметри функціонального генератора (форма імпульсів – прямокутні): Frequency – 200 кГц, Duty cycle – 50 %, Amplitude – 10 В, Offset – 10 В. Налаштування осцилографа: розгортка – 0.5 мкс/д (Y/T), X position=0.00, Чутливість по каналу А – 10 В/д (Y position=0.00), режим DC. Чутливість по каналу В – 10В/д (Y position=-2.40), режим DC. Налаштувати синхронізацію в режимі AUTO з переднім фронтом імпульсу.

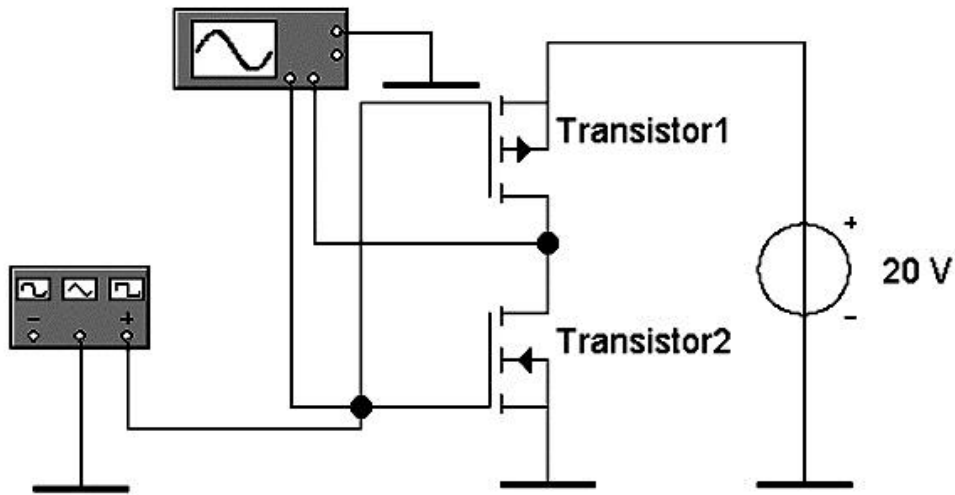


Рисунок 8.6 – Схема для дослідження КМОП-ключа при  $U_{\text{жив}}=20 \text{ В}$

Ввімкнути режим моделювання, а отримавши осцилограми сигналів, вимкнути режим моделювання. Побудувати осцилограми вхідного і вихідного сигналів і провести вимірювання тривалості етапів перемикавання: часу формування фронту і часу формування спаду.

### Дослідження передавальної характеристики ключа

У схемі на рисунку 8.6 встановити форму імпульсів – «трикутні». Ввімкнути режим моделювання. За допомогою візирних ліній побудувати передавальну характеристику  $U_{\text{вих}}=f(U_{\text{вх}})$  ключа при  $0 < U_{\text{вх}} < U_{\text{жив}}$ . Визначити значення вхідної напруги, які відповідають границям високого та низького значень вихідної напруги.

### Контрольні питання і завдання

1 Які параметри характеризують динамічні властивості транзисторних ключів?

2 Доведіть, чому потужність, що розсіюється в транзисторі, який знаходиться в режимі пасивного замикання, більше потужності в режимі глибокого відсічення.

3 У чому причина виникнення перехідних процесів при перемиканні ключа на біполярному транзисторі?

4 Які можна виділити стадії вмикання ключа на біполярному транзисторі?

5 Як впливає час життя неосновних носіїв в області бази на тривалості фронту і спаду колекторного струму біполярного транзистора?

6 Які фази вимкнення ключа на біполярному транзисторі можна виділити?

7 Чим відрізняються процеси перемикання біполярного і польового транзисторів?

## **8.4 Зміст звіту**

Звіт з лабораторної роботи має містити: досліджувані електричні схеми ключів з зазначенням параметрів радіоелементів відповідно до отриманого варіанта; дані, отримані експериментальним шляхом; висновки з виконаної роботи.

## **ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ У 1 СЕМЕСТРІ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ**

1 Скласти схему вмикання чотирьох резисторів (опорів), ідеальних амперметрів, вольтметрів та декількох джерел живлення постійного струму. Розрахувати всі опори та всі струми в зображеній схемі. Змоделювати створену схему в Electronics Work Bench (E.W.B) або OrCAD й перевірити правильність розрахунків.

2 Скласти схему вмикання діода, ідеальних амперметрів, вольтметрів і декількох опорів. Розрахувати всі опори та всі струми в зображеній схемі. Змоделювати створену схему в Electronics Work Bench (E.W.B) або OrCAD й перевірити правильність розрахунків.

3 Скласти схему вмикання стабілітрона, ідеальних амперметрів, вольтметрів і декількох опорів. Розрахувати всі опори та всі струми в зображеній схемі. Змоделювати створену схему в Electronics Work Bench (E.W.B) або OrCAD й перевірити правильність розрахунків.

4 Скласти схему вмикання тиристора, ідеальних амперметрів, вольтметрів і декількох опорів. Розрахувати всі опори та всі струми в зображеній схемі. Змоделювати створену схему в Electronics Work Bench (E.W.B) або OrCAD й перевірити правильність розрахунків.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Будищев М. С. Електротехніка електроніка та мікропроцесорна техніка. Львів : Афіша, 2001. 421 с.

2 Бутенко В. М. Підвищення експлуатаційних характеристик транспорту засобами інформаційно-вимірювальних систем. *Матеріали міжнар. наук.-практ. конф.* (5-7 квітня 2018). Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2018. С. 14 – 15.

3 Бутенко В. М., Павленко Є. П., Головка О. В. Інженерія програмного забезпечення. WEB-програмування : навч. посібник. Харків : УкрДУЗТ, 2019. 139 с.

4 Васильєва Л. Д., Медведенко Б. І., Якименко Ю. І. Напівпровідникові прилади : підручник. Київ : ІВЦ, Вид-во «Політехніка», 2003. 388 с.

5 ДСТУ 2843 – 94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення. URL : [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id\\_doc=60106](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=60106).

6 ДСТУ 2815 – 94. Електричні та магнітні кола та пристрої. URL : [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id\\_doc=60356](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=60356).

7 ДСТУ ІЕС 60027-2:2017. Літерні позначки в електротехніці. Ч. 2. Телекомунікація та електроніка (ІЕС 60027-2:2005, IDT). URL : [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=71589](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71589).

8 Електроніка і мікросхемотехніка : підруч. для студ. вищ. закл. освіти : у 4-х т. за ред. В. І. Сенька. Т. 1. Елементна база електронних пристроїв. Київ : ТОВ Вид-во Обереги, 2000. 300 с.

9 Оксанич А. П., Притчин С. Е., Вашерук О. В. Комп'ютерна електроніка : навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. Харків : Компанія СМІТ, 2006. Ч. 1., Ч. 2.

10 Лістровий С. В., Панченко С. В., Мойсеєнко В. І., Бутенко В. М. Математичне моделювання в розподілених

інформаційно-керуючих системах залізничного транспорту : монографія. Харків : ФОП Бровін О. В., 2017. 220 с.

11 Меркулов В. С., Бутенко В. М. та ін. Основи алгоритмізації базових обчислювальних процесів : навч. посібник. Харків : УкрДАЗТ, 2008. 163 с.

12 Нарожний В. В. Цифрові електронно-обчислювальні машини : конспект лекцій. Харків : УкрДАЗТ, 2010. 105 с.

13 Бойнік А.Б., Бутенко В. М., Головка О. В., Ушаков М.В. Оптимізація алгоритму субекспоненціальної складності для вирішення SAT задачі. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2018. №3 (107). С. 12 – 17.

14 Пат. UA № 116449, МПК<sup>9</sup> H03K 17/60 (2006.01). Комутаційний пристрій – оптоелектронний аналог електромагнітного реле струму / В. М. Бутенко, О. В. Головка, О. Б. Зайченко, В. В. Мелешко, М. А. Мірошник, В. І. Мойсеєнко, І. М. Чуб, С. Г. Чуб; заявн. і власн. Український державний університет залізничного транспорту. № u 2016 11255; Заяв. 07.11.2016; Опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10, 2017 8 с.

15 Listrovoy S. V., Butenko V. M., Bryksin V. O., Golovko O. V. Development of method of definition maximum clique in a non-oriented graph. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 5, № 4 (89). P. 12 – 17.

16 Moiseenko V., Kameniev O., Butenko V., Gaievskiy V. Determination model of the apparatus state for railway automatics with restrictive statistical data. *ICTE in Transportation and Logistics 2018 (ICTE 2018). Procedia Computer Science*. Vol. 149, 2019, P. 185-194. open access – doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.122

17 Listrovoy S. V., Golovko O. V., Butenko V. M., Ushakov M. V. Formulation of the Problem of Maximum Clique Determination in Non-Oriented Graphs. *International Journal of Engineering & Technology* Vol. 7 No 4.3 (2018): Special Issue 3 PP. 293 – 297. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19807

18 Listrovoy S. V., Butenko V. M. Algorithm of Sub Exponential Complexity for the SAT. *International Journal of Computer and Information Technology* (ISSN: 2279-0764) Vol. 02. Issue 05, September 2013. P. 837 – 842.

19 Zaichenko O. B., Butenko V. M., Miroshnyk M. A. Signal flow graph models and alternative gain formula for multiprobe microwave multimeter. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2016. № 12. С. 12 – 17.





