

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ

Частина I

Методичні вказівки

до виконання лабораторних робіт

з навчальних дисциплін:

«Електронні компоненти телекомунікаційних систем»

за спеціальністю

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

та

«Основи комп'ютерної схемотехніки»

за спеціальностями

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»;

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

для студентів денної та заочної форм навчання

**Затверджено на засіданні кафедри
автоматизації виробничих процесів,
протокол № 7 від 16.12.2020 р.**

Електронні компоненти. Частина I. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальних дисциплін: *«Електронні компоненти телекомунікаційних систем»* за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» та *«Основи комп'ютерної схемотехніки»* за спеціальностями 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»; 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» для студентів денної та заочної форм навчання. / Р. В. Жесан, О. П. Голик. – Кропивницький: ЦНТУ – 2021. – 30 с.

Укладачі: Жесан Р. В., кандидат технічних наук, доцент;

Голик О. П., кандидат технічних наук, доцент;

Рецензент: Каліч В. М., кандидат технічних наук, професор.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 ЗНАЙОМСТВО ІЗ ПРОГРАМНИМ ПАКЕТОМ «ELECTRONICS WORKBENCH» ТА НАБУТТЯ НАВИЧОК ІЗ СТВОРЕННЯ ФРАГМЕНТІВ СХЕМ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	6
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДІОДІВ.....	18
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРІВ.....	23
ЛІТЕРАТУРА ДО ЛАБОРАТОРНОГО КУРСУ.....	28

ВСТУП

Сучасні телекомунікаційні системи являють собою величезне поле для діяльності інженерів-радіотехніків у промисловості, зв'язку, освіті, підприємстві, менеджменті та багатьох інших сферах життєдіяльності суспільства. Це потребує постійного оновлення і вдосконалення теоретичних знань, у поєднанні з набуттям стійких практичних навичок.

«Електронні компоненти телекомунікаційних систем» – це вибіркова навчальна дисципліна, предметом вивчення якої є пасивні та активні радіоелектронні компоненти, на основі яких будуються комунікаційні й радіотехнічні системи. У ній викладається суть фізичних процесів, що відбуваються в електронних компонентах, з урахуванням впливу технологічних параметрів і відхилень; інформаційні, арифметичні, логічні та схемотехнічні основи побудови телекомунікаційних систем, мереж і засобів зв'язку. Розглядаються елементи, типові функціональні вузли й основні пристрої; методи їх розрахунку та особливості застосування; системи умовних позначень.

Повсюдний розвиток все більш сучасних телекомунікаційних технологій дозволить людству в перспективі перейти до нового рівня цивілізації – інформаційного суспільства.

Метою лабораторного практикуму є закріплення та поглиблення у здобувачів вищої освіти загальних базових знань із впровадження і застосування пасивних та активних радіоелектронних компонентів у сучасних технологіях телекомунікацій і радіотехніки та отримання навичок з їх практичного професійного застосування.

Для виконання лабораторних робіт використовується комп'ютерна програма *Electronics Workbench* (електронний конструктор), яка дозволяє реалізувати технологію інтерактивної (тобто модельованої безпосередньо на екрані) побудови електричних схем.

Лабораторні установки з фіксованим набором схемних елементів і певним набором вимірювальних приладів суттєво обмежують можливості навчального процесу. При використанні комп'ютерної програми конструювання електронних схем реалізується принципово новий підхід в розв'язанні навчальних задач. На екрані монітора може бути побудована електрична принципова схема пристрою будь-якої складності, параметри елементів якої можуть задаватися і змінюватися в широкому діапазоні значень. При цьому вимірювання основних електричних параметрів можливе одночасно в необмеженій кількості точок.

Згідно із робочою навчальною програмою дисципліни та планом організації навчального процесу, протягом навчального семестру студент повинен виконати та захистити 9 лабораторних робіт. Вчасно захищеною вважається робота, захист якої студентом відбувся в межах часу передбаченого для цієї роботи в робочій навчальній програмі та згідно із розкладом занять.

Контроль знань і умінь студентів (поточний і підсумковий) з дисципліни «Електронні компоненти телекомунікаційних систем» здійснюється згідно з кредитно-модульною накопичувальною системою організації навчального процесу. Рейтинг здобувача вищої освіти із засвоєння дисципліни визначається за 100-бальною шкалою. Кожен з видів роботи (завдань), виконаних студентом

протягом семестру, оцінюється визначеною кількістю балів. Семестровий підсумковий рейтинг складається з рейтингу з навчальної роботи і рейтингу з підсумкової атестації (екзамену). На кожному з двох рубіжних (модульних) контролів з навчальної роботи може бути набрано до 30 балів. На підсумковій атестації може бути набрано до 40 балів.

Очікується, що студенти будуть дотримуватися принципів академічної доброчесності, усвідомлюючи наслідки її порушення.

Неприпустимими є запізнення на заняття, списування та плагіат, несвоєчасне виконання поставлених завдань.

При організації освітнього процесу в Центральноукраїнському національному технічному університеті студенти, викладачі та адміністрація діють, відповідно до: «Положення про організацію освітнього процесу у ЦНТУ»; «Положення про організацію вивчення вибіркових навчальних дисциплін у ЦНТУ»; «Положення про систему забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти у ЦНТУ»; «Положення про рубіжний контроль успішності та сесійну атестацію здобувачів вищої освіти ЦНТУ»; «Правил внутрішнього розпорядку ЦНТУ»; «Кодексу академічної доброчесності ЦНТУ»; «Положення про дотримання академічної доброчесності науково-педагогічними працівниками та здобувачами вищої освіти ЦНТУ»; «Антикорупційної програми ЦНТУ».

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ЗНАЙОМСТВО ІЗ ПРОГРАМНИМ ПАКЕТОМ «*ELECTRONICS WORKBENCH*» ТА НАБУТТЯ НАВИЧОК ІЗ СТВОРЕННЯ ФРАГМЕНТІВ СХЕМ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Мета роботи: вивчити основні функції, елементи керування та набори елементів та інструментів програмного пакету *Electronics Workbench (EWB)*; виконати практичні дії з вибору досліджуваних елементів, їх розташування в полі робочого вікна, з'єднання та підключення до елементів живлення, задавачів, індикаторів та контрольно-вимірювальних приладів; встановлювати й змінювати параметри елементів, час дослідження, запуск та зупинку; виводити початкові данні та результати моделювання.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Система моделювання схемотехніки *EWB* призначена для моделювання і аналізу електричних схем. Програма дозволяє моделювати аналогові, цифрові і цифро-аналогові схеми великого ступеня складності. Наявні в програмі бібліотеки включають великий набір поширених електронних компонентів. Модель обирається із списку бібліотек компонентів, параметри моделі також можуть бути змінені користувачем. Широкий набір приладів дозволяє проводити вимірювання різних величин, задавати вхідні дії, будувати графіки. Всі прилади зображуються у вигляді, максимально наближеному до реального, тому працювати з ними просто і зручно. Результати моделювання можна вивести на принтер або імпортувати в текстовий або графічний редактор для їх подальшої обробки.

Для роботи з *EWB* необхідно:

- мати елементарні навички роботи на персональному комп'ютері з основними програмами користувача, а, головне, з операційною системою *MS Windows*;
- навички роботи в середовищі *Windows* з ручним маніпулятором «миша»;
- базові знання з електроніки та мікросхемотехніки, метрології та імпульсної техніки;
- базове розуміння англійської мови.

Вікно програмного пакета *Electronics Workbench 5.12* наведено на **рис 1.1**.

Вікно програми *EWB 5.12* містить:

- 1 – поле меню;
- 2 – лінійку бібліотек компонентів;
- 3 – бібліотека контрольно-вимірювальних приладів;
- 4 – робоче поле програми, в якому розташовується модельована схема з підключеними до неї іконками контрольно-вимірювальних приладів і короткий опис схеми (англійською мовою, на рисунку не показаний);
- 5 – вимикач, що вмикає та вимикає роботу модельованої схеми.

При потребі кожен з приладів може бути розгорнутий для встановлення параметрів його роботи і спостереження результатів. Лінійки прокручування використовуються лише для переміщення схеми.

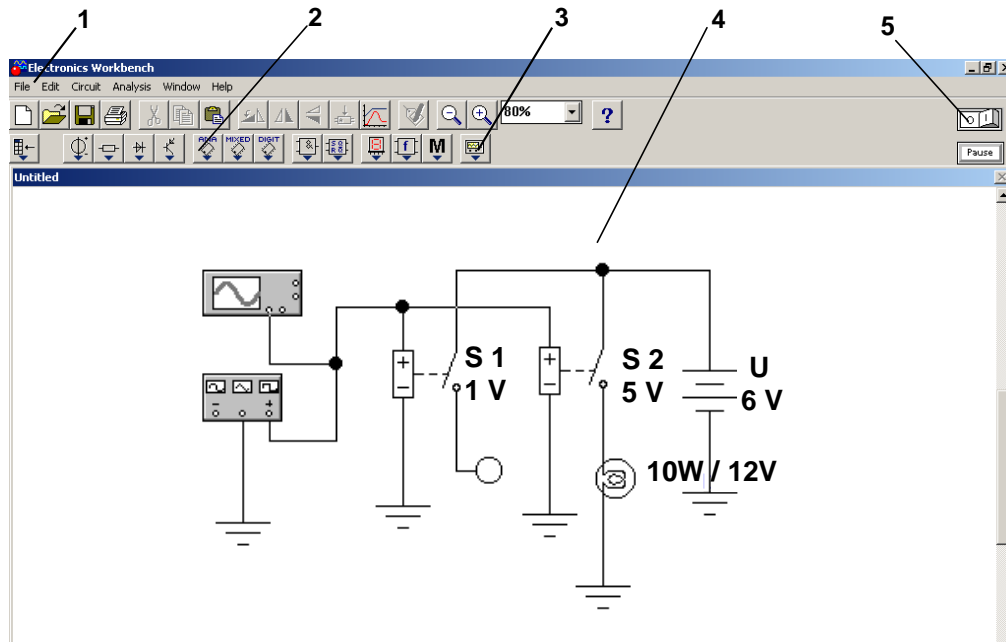


Рисунок 1.1 – Вікно програмного пакета *Electronics Workbench 5.12*

Поле меню містить такі складові:

File – меню файлів. Містить в собі всі команди на тематику пов'язану з файлами (команди, які обслуговують роботу з файлами):

New – спорожнює вікно редагування схеми, зберігаючи її вміст у файлі, при умові, що в цьому вікні вже були зроблені зміни;

Save – зберігає поточне вікно редагування схеми в файл на жорсткий диск, або в будь-якій інший, вказаний користувачем;

Save as – зберігає вікно редагування схеми в файл, додатково вказаний користувачем;

Revert to Saved – виконує процедуру, зворотну запису (зчитування того файлу, який був збережений останнім);

Print – дозволяє надрукувати на папері електричну схему що редагується (при наявності принтера);

Print Setup – друк параметрів – установок даної програми;

Exit – вихід з *EWB*.

(Все інші команди в даному розділі недієздатні оскільки додатки *SPICE* та *PCB* відсутні).

Edit – меню редагування. Містить в собі набір команд редагування електронної схеми, розташованої в вікні набору електронної схеми.

Cut – дозволяє вирізати ділянку електронної схеми, вибраної за допомогою блока;

Copy – копіює обрану ділянку схеми в буфер обміну;

Paste – вставляє раніше скопійований блок із буфера обміну на місце розташування указника миші (якщо він знаходиться в вікні редагування);

Delete – вилучає обраний елемент або блок схеми, що редагується;

Select All – обирає всі елементи схеми (відмічає їх червоним кольором);

Copy Bits – копіює бітовий образ екрану в буфер обміну;

Примітка. Буфер обміну (в даному випадку) – це спеціальна область пам'яті, призначена для обміну інформацією між різними Windows-додатками.

Show Clipboard – завантажує додаток *Clipboard*, якщо такій є у наявності. За допомогою нього можна проглянути вміст буфера обміну, а також виконати деякі зміни в ньому.

Circuit – меню побудови. Містить всі команди, пов'язані з побудовою електричних кіл.

Activate – запускає процес моделювання роботи електричного кола;

Stop – зупиняє процес моделювання;

Pause – призупиняє процес моделювання;

Label... – дозволяє встановити мітку вибраного елемента схеми (приклад: для конденсатора $C1...Cn$, для резистора $R1...Rn,...$, або будь-яку іншу);

Model... – за допомогою цієї команди можна обрати модель виділеного електронного елемента з бібліотеки елементів, що знаходиться в складі цієї прикладної програми;

Value... – дозволяє встановити розмірність обраного електронного елемента (для резистора – опір в Ом, кОм та МОм; для конденсатора – ємність в мкФ, пФ, нФ і т. д.);

Zoom – розгортає обраний електронний прилад із схематичного зображення на схемі в повне вікно;

Rotate – обертає відмічений електронний елемент або групу елементів навколо центральної точки (на кут кратний 90°);

Fault – за допомогою цієї команди можна встановити похибку розрахунку кожного елемента, опір кожного з його виводів.

Subcircuit... – організовує функціональний блок схеми;

Wire Color... – встановлює колір з'єднувальних проводів;

Preferences... – підменю установки конфігурації робочого вікна. Містить у собі такі команди:

Show grid – показує сітку набірного поля;

Use grid – використовує в роботі сітку набірного поля;

Show labels – показує мітки елементів схеми;

Show models – показує моделі елементів схеми;

Show values – показує кількісні параметри елементів схеми (тобто для резисторів – опір, для конденсаторів – ємність тощо);

Analysis Options – аналітичні опції, за допомогою яких встановлюються параметри, пов'язані з точністю розрахунку (моделювання). Точність моделювання можна встановити в межах 110%...10%.

Window – меню вікон. Містить всі команди, які обслуговують роботу з вікнами.

Arrange (Ctrl+W) – впорядковує вікна на екрані монітора, встановлює їх в призначений порядок;

Circuit – перехід у вікно редагування;

Description (Ctrl+D) – перехід у вікно опису (для кожної побудованої схеми в цьому вікні можна зробити опис її принципу дії або зробити будь-які примітки, але тільки англійською мовою);

Custom – перехід у вікно функціональних блоків;

Passive – перехід у вікно, яке містить «пасивні» електронні елементи;

Active – перехід у вікно з активними елементами;

Field Effect Transistors – перехід у вікно, яке містить польові транзистори;

Control – перехід у вікно з електронними ключами та реле;

Hybrid – перехід у вікно з гібридними мікросхемами;

Indicators – перехід у вікно з індикаторами;

Gates – перехід у вікно логічних елементів;

Combinational – перехід у вікно комбінованих логічних елементів;

Sequential – перехід до набору тригерів;

Integrated Circuits – перехід до інтегральних мікросхем;

Help – меню допомоги. Містить в собі команди допомоги користувачеві.

Help (F1) – відкриває вікно допомоги (на англійській мові). Це вікно містить всю необхідну інформацію (підказки) для користування програмою, в короткому викладі.

Help index – видає зміст «книги» допомоги.

Панель контрольно-вимірювальних приладів *Instruments* знаходиться під полем меню робочого вікна програми. В середовищі *EWB* задіяні такі прилади:

- 1) цифровий мультиметр;
- 2) функціональний генератор;
- 3) 2-канальний осцилограф;
- 4) вимірювач амплітудно-частотних та фазо-частотних характеристик;
- 5) генератор слів (кодовий генератор);
- 6) 8-канальний логічний аналізатор;
- 7) логічний перетворювач (конвертер).

Кожний електронний прилад має своє умовне графічне позначення.

Білі точки на приладах означають функціональні виводи. За допомогою цих виводів прилади підключаються до елементів схеми. Окрім графічного позначення кожний прилад може бути наданий в розгорнутому вигляді, як діюча модель на екрані комп'ютера.

Для того, щоб розгорнути прилад в діючу модель необхідно: навести указник маніпулятора на його умовне позначення і зробити подвійне натискання його лівої кнопки (подвійне «клікання»).

Елементна база *EWB* складається з: джерел струму; індикаторних приладів; комутаційних пристроїв; конденсаторів, елементів індуктивності, напівпровідникових діодів, біполярних транзисторів, польових транзисторів; операційних підсилювачів, цифрових мікросхем.

При побудові електронної схеми більшість дій виконується за допомогою маніпулятора «миша» (надалі миша). Указник маніпулятора, на екрані монітора, має вигляд стрілки білого кольору. Для побудови схеми необхідно: вибираючи потрібні групи елементів (за допомогою кнопок, або за допомогою меню *Windows*),

перемістити їх із вікна груп в вікно редагування та поєднати між собою, згідно з правилами і принципами електроніки.

Для з'єднання елементів необхідно: встановити указник миші на вивід одного з елементів (при цьому на виводі з'явиться точка чорного кольору «●»), потім треба натиснувши на ліву кнопку миші та утримуючи її, перемістити указник до потрібного виводу іншого елемента, до появи аналогічної точки «●» на ньому; тільки після цього можна відпустити кнопку маніпулятора (таким чином між виводами з'явиться з'єднувальна лінія, що означає з'єднання виводів провідником).

Кожний елемент можна переміщувати по вікну редагування (для найкращого сприйняття картини), навіть якщо він з'єднаний з іншими елементами.

Колір з'єднувальних ліній для зручності сприйняття можна змінювати. Для цього необхідно навести указник маніпулятора на потрібну з'єднувальну лінію і зробити подвійне натискання з коротким проміжком часу між натисканнями (двічі «клікнути») лівої кнопки. У вікні, що з'явиться після цього, потрібно вибрати квадрат необхідного кольору (колір квадрата означає колір з'єднувальних провідів). Далі, при моделюванні роботи схеми, сигнал, який проходить через кольоровий провідник, буде відображатися на осцилографі або на аналізаторі логіки кольором, аналогічним кольору провідника.

Після закінчення набору або редагування електронної схеми - можна приступити до моделювання її роботи.

Активізація процесу моделювання відбувається за допомогою натискання кнопки старту моделювання (поз. 5 на, *рис. 1.1*) або за допомогою вибору в меню команд **Circuit** команди **Activate**. Після запуску процесу, *EWB* починає моделювати роботу схеми в перерахунку на реальний час. Значення рахунку часу моделювання видається у вікні, яке розташовується, після активізації моделювання, ліворуч від кнопки **Activate**. В процесі моделювання можуть з'являтися повідомлення про помилки.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Запустіть *EWB*.

2. Підготуйте новий файл для роботи. Для цього необхідно виконати наступні операції з меню: File/New і File/Save as. При виконанні операції Save as буде необхідно вказати ім'я файлу і каталог, в якому зберігатиметься схема. Зберегти файл можна і пізніше, в процесі створення моделі схеми.

3. З'єднайте контакти елементів і розташуйте елементи в робочій області для отримання необхідної вам схеми. Спосіб з'єднання провідників був описаний раніше у теоретичних відомостях. У разі потреби можна додати додаткові вузли (розгалуження). Для цього треба просто перетягнути елемент Connector (Вузол ланцюга) з панелі Basic на місце провідника, де треба його розгалузити. Connector має 4 точки підключень. 2 з них підуть на провідник, що розгалужується, 2 будуть вільними. Натисненням на елементі правою кнопкою миші можна дістати швидкий доступ до простих операцій над положенням елемента, таким як обертання (Rotate), розворот (Flip), копіювання/вирізання (Copy/Cut), вставка (Paste), а також до його довідкової інформації (Help).

4. Проставте необхідні номінали і властивості кожному елементу. Для цього потрібно двічі клацнути мишею на елементі. Якщо числа, що набираються, є дробовими, то в якості роздільника цілої і дробової частин десяткового числа необхідно використовувати крапку. Звертайте також увагу на одиниці вимірювання і при необхідності переходите до кратних, наприклад kW (кВт), mV (мВ) і т. п.

5. Коли схема зібрана і готова до запуску, натисніть кнопку вмикання живлення на панелі інструментів.


Як уже відзначалось раніше, до бібліотеки елементів програми *EWB* входять аналогові, цифрові і цифро-аналогові компоненти. Всі компоненти розбиті на наступні групи:


- базові компоненти;
- джерела;
- лінійні компоненти;
- ключі;
- нелінійні компоненти;
- індикатори;
- логічні компоненти;
- вузли комбінаційного типу;
- вузли послідовного типу;
- гібридні компоненти.


Розглянемо найбільш вживані з компонентів *Sources* – джерела (рис. 1.2).




Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд поля компонентів *Sources* (джерела)


 – компонент **Ground** (заземлення). Компонент «заземлення» має нульову напругу і, таким чином, забезпечує початкову точку для відліку потенціалів. Не всі схеми потребують заземлення для моделювання, проте будь-яка схема, що містить: операційний підсилювач, трансформатор, кероване джерело, осцилограф, повинна бути обов'язково заземлена, інакше прилади не проводитимуть вимірювання або їх покази виявляться неправильними.

 – компонент **Battery** (батарея) – ЕРС джерела постійної напруги або батареї, вимірюється у вольтах і задається похідними величинами (від мкВ до кВ). Короткою жирною лінією в зображенні батареї позначається вивід, що має негативний потенціал по відношенню до іншого виводу. Батарея в *EWB* має внутрішній опір, рівний нулю. Тому, якщо необхідно використовувати дві паралельно підключені батареї, то слід включити послідовно між ними невеликий опір (наприклад, в 1 Ом).

 – компонент **Vcc** – джерело постійної напруги. Він зручніший, ніж символ батареї. Дає напругу 5 В, що відповідає рівню логічної «1» або логічній умові «істина».

 – компонент **Vdd** – те ж, що і Vcc, але дає напругу 15 В.

У групі **Basic** – базові компоненти (*рис. 1.3*) найбільш часто використовуватимемо наступні.

•  – компонент **Connector** застосовується для з'єднання провідників і створення контрольних точок. До кожного вузла може під'єднуватися не більше чотирьох провідників. Після того, як схема зібрана, можна вставити додаткові вузли для підключення приладів.

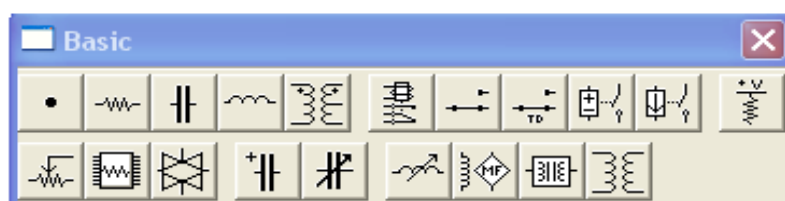



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд поля компонентів Basic (базові компоненти)

 – компонент **Switch** (ключ), ключі можуть бути замкнені або розімкнені за допомогою клавіш керування на клавіатурі. Ім'я клавіші керування можна ввести з клавіатури в діалоговому вікні, яке з'являється після подвійного клацання мишею на зображенні ключа.

Зовнішній вигляд поля компонентів **Diodes** – діоди наведений на *рис. 1.4*.



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд поля компонентів Diodes (діоди)

Напівпровідниковим діодом називається прилад з двома виводами і одним *p-n*-переходом. Принцип роботи напівпровідникового діода заснований на використанні односторонньої провідності, електричного пробою і інших властивостей *p-n*-переходу. Діоди розрізняють за призначенням, матеріалом, в залежності від технології конструктивного виконання, потужності і інших ознак.

За функціональним призначенням діоди поділяються на випрямні, універсальні, імпульсні, змішувачі, НВЧ, стабілітрони, варикапи, диністри, тиристри, симістри, фотодіоди, світлодіоди та ін.

За використанням матеріалом – кремнієві, германієві, арсенід-галієві. Діоди володіють односторонньою провідністю і служать: для випрямлення змінного

струму, стабілізації струму і напруги, формування імпульсів, для регулювання потужностей тощо.



– Діод випрямний.

Випрямні діоди застосовуються для перетворення змінного струму в постійний. Вони діляться на: малопотужні (до 0,3 А), середньої потужності (до 10 А), потужні (понад 100 А), низькочастотні (до 1 кГц) і високочастотні (до 100 кГц).



– Стабілітрон двосторонній.

Стабілітрони – це різновид діодів, призначених для стабілізації напруги. Всі стабілітрони поділяються на малопотужні, середньої потужності і потужні. Напівпровідникові стабілітрони використовуються, перш за все, для регулювання напруги.

Випромінюючими діодами є напівпровідникові діоди, які випромінюють з області *p-n*-переходу кванти енергії. Випромінювання відбувається через прозору скляну пластину, розміщену в корпусі діода. За характеристиками випромінювання діоди поділяються на дві групи: діоди з випромінюванням у видимій області спектру, що отримали назву *світлодіоди* і діоди з випромінюванням в інфрачервоній області спектру, отримали назву *ІЧ-діоди*.



– Світлодіод.

Світлодіоди застосовуються як світлові індикатори, а *ІЧ-діоди* – у якості джерела випромінювання в оптоелектронних приладах і як первинні перетворювачі інформації.



– Діодний міст.

Разом з випрямними діодами для випрямлення змінного струму використовуються *діодні мости* і *діодні стовпи*. Випрямні мости складаються з чотирьох діодів, розміщених в одному корпусі.

Зовнішній вигляд поля компонентів *Transistors* – транзистори наведений на *рис. 1.5*.

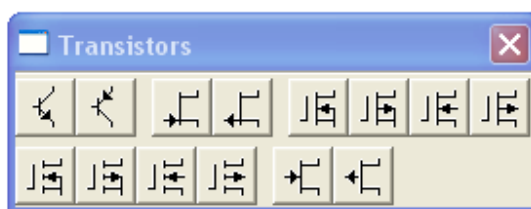


Рисунок 1.5– Зовнішній вигляд поля компонентів *Transistors* (транзистори)

Біполярним транзистором називається напівпровідниковий прилад з двома взаємодіючими *p-n*-переходами. Біполярні транзистори розрізняються за структурою. Залежно від чергування *p* та *n* областей розрізняють біполярні транзистори типу «*p-n-p*» і «*n-p-n*». Транзистори також поділяються за потужністю, частотою та іншими ознаками. Принцип дії біполярного транзистора заснований на використанні фізичних процесів, що відбуваються при перенесенні основних носіїв

електричних зарядів з емітерної області в колекторну через базу. Зазвичай транзистори включаються в електричну схему так, щоб один з його електродів був вхідним, другий вихідним, а третій загальний.



– Транзистор типа *n-p-n*.



– Транзистор типа *p-n-p*.

Польовим транзистором називається транзистор, в якому між двома електродами утворюється провідний канал, по якому протікає струм. Керування цим струмом здійснюється електричним полем, створюваним третім електродом. Електрод, з якого починається рух носіїв заряду, називається виток, а електрод, до якого вони рухаються, – сток. Електрод, що створює керуюче електричне поле, називається затвором. Відмінною властивістю польових транзисторів є те, що керуючим сигналом є не струм, а напруга. Це робить їх схожими на лампи. Польові транзистори успішно застосовуються в різних підсилювальних та перемикальних пристроях. Вони часто використовуються у поєднанні з біполярними транзисторами. На базі польових транзисторів побудовано багато інтегральних мікросхем.

Розрізняють польові транзистори із каналом *p*-типу та *n*-типу.



– Транзистор польовий з каналом *p*-типу.



– Транзистор польовий з каналом *n*-типу.

Зовнішній вигляд поля аналогових компонентів *Analog ICs* наведений на *рис. 1.6*.

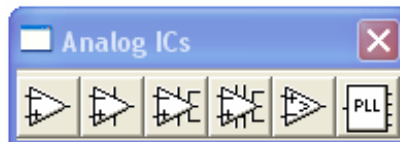


Рисунок 1.6– Зовнішній вигляд поля компонентів *Analog ICs* (аналогові компоненти)

Операційний підсилювач (ОП) – це багатокаскадний підсилювач постійного струму з великим коефіцієнтом посилення. ОП має два або три каскади. Першим каскадом є диференціальний підсилювач, другим – підсилювач напруги і останнім – підсилювач потужності. Живлення ОП здійснюється від двох різнополярних джерел живлення. ОП має два входи (прямий і інверсний) і один вихід, а також ряд додаткових виводів для балансування і для корекції АЧХ.



– Операційний підсилювач.




– Операційний підсилювач з керуючими входами.


Поле компонентів *Logic Gates* – логічні елементи (ЛЕ) містить повний набір логічних елементів (див. *рис. 1.7*) і дозволяє задавати їх основні характеристики, зокрема, тип елемента: ТТЛ або КМОП. Кількість входів ЛЕ можна встановити в


межах від 2 до 8 (крім елемента «НЕ», у якого завжди 1 вхід), а вихід може бути тільки 1.





Рисунок 1.7– Зовнішній вигляд поля компонентів Logic Gates (логічні елементи)


 – Логічне «І». ЛЕ «І» реалізує функцію логічного множення. Рівень логічної «1» на його виході з'являється у разі, коли на всі входи подається рівень логічної «1».


 – логічне «АБО». ЛЕ «АБО» реалізує функцію логічного додавання. Рівень логічної «1» на його виході з'являється у разі, коли хоча б на один вхід подається рівень логічної «1».


 – логічне «НЕ». ЛЕ «НЕ» або інвертор змінює стан вхідного сигналу на протилежний. Як уже відзначалося раніше, це єдиний ЛЕ, що завжди має лише 1 вхід і 1 вихід. Рівень логічної «1» з'являється на його виході тоді, коли на вході логічний «0», і навпаки.

 – ЛЕ «АБО-НЕ» реалізує функцію логічного додавання з подальшою інверсією результату. Він представляється моделлю з послідовно ввімкнених елементів «АБО» та «НЕ». Його таблиця істинності виходить з таблиці істинності ЛЕ «АБО» шляхом інверсії результатів.

 – ЛЕ «І-НЕ» реалізує функцію логічного множення з подальшою інверсією результату. Він представляється моделлю з послідовно ввімкнених елементів «І» та «НЕ». Таблиця істинності елемента виходить з таблиці істинності ЛЕ «І» шляхом інверсії результатів.

 – «ВИКЛЮЧНЕ АБО». Двійкове число на виході ЛЕ «ВИКЛЮЧНЕ АБО» є молодшим розрядом суми двійкових чисел на його входах.

 – «ВИКЛЮЧНЕ АБО-НЕ». Даний ЛЕ реалізує функцію що «ВИКЛЮЧНЕ АБО» з подальшою інверсією результату. Він представляється моделлю з двох послідовно сполучених елементів: «ВИКЛЮЧНЕ АБО» і «НЕ».

 – буфер з трьома станами, має додатковий дозвільний вхід (*enable input*). Якщо на дозвільному вході високий потенціал, то елемент функціонує по таблиці істинності звичайного буфера, якщо низький, то, незалежно від сигналу на вході, вихід перейде в стан з високим імпедансом. У цьому стані буфер не пропускає сигнали, що надходять на вхід. Буфер служить для подачі великих струмів в навантаження.

Зовнішній вигляд поля індикаторів *Indicators* наведений на *рис. 1.8*.



Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд поля компонентів Indicators (індикатори)



– лампа розжарювання. Елемент резистивного типу, що перетворює електроенергію в світлову енергію. Вона характеризується двома параметрами: максимальною потужністю P_{max} і максимальною напругою V_{max} . Максимальна потужність може мати величину в діапазоні від мВт до кВт, максимальна напруга – в діапазоні від мВ до кВ. При напрузі на лампі більшому V_{max} (у цей момент потужність, що виділяється в лампі, перевищує P_{max}) вона перегорає. При цьому змінюється зображення лампи (обривається нитка) і провідність її стає рівною нулю.



– логічний пробник. Цей елемент може підключатися до будь-якої точки схеми, для того, щоб показувати наявність логічної «1» або «0». Зручний тим, що його не потрібно підключати до елемента *Ground*.

Зовнішній вигляд поля компонентів *Instruments* – інструменти наведений на *рис. 1.9*.

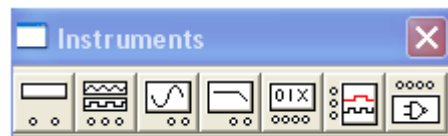


Рисунок 1.9 – Зовнішній вигляд поля компонентів Instruments (інструменти)



– Цифровий мультиметр.



– Функціональний генератор.



– Вимірювач амплітудно-частотних та фазо-частотних характеристик.



– Генератор слів (кодовий генератор).



– 8-канальний логічний аналізатор.



– Логічний перетворювач (конвертер).



– Осцилограф.

Осцилограф, імітований програмою *EWB*, є аналогом двопроменевого осцилографа з пам'яттю. Він має 2 модифікації: просту і розширену. Розширена модифікація за своїми можливостями наближається до кращих цифрових осцилографів із пам'яттю. Через те, що розширена модель займає багато місця на

робочому полі, рекомендується починати дослідження простою моделлю, і тільки для поглибленого докладного дослідження процесів використовувати модель розширену.

Є можливість під'єднання осцилографа до вже ввімкненої схеми або під час роботи схеми переставити виводи до інших точок дослідження – зображення на екрані осцилографа зміниться автоматично.

В ході аналізу роботи схеми нерідко виникає необхідність уповільнити процес моделювання, щоб на екрані осцилографа було зручно візуально сприймати інформацію. Це необхідно, наприклад, при дослідженні перехідних процесів або, коли в ході експерименту потрібно перемкнути ключ в певний момент. Для цього потрібно збільшити кількість розрахункових точок на цикл. Це можна зробити, вибравши пункт **Analysis Options** в меню **Circuit** і встановивши в рядку **Time domain points per cycle** необхідне значення (зазвичай достатньо 5000 точок). За умовчанням кількість точок дорівнює 100. Полегшити аналіз осцилограм може включення режиму **Pause after each screen** (Пауза після кожного екрану). У цьому режимі розрахунок схеми зупиняється після того, як промінь осцилографа проходить весь екран. Це часто буває необхідним при ускладненнях з синхронізацією зображення на екрані осцилографа. Щоб продовжити розрахунок схеми, виберіть пункт **Resume** (Продовжити) меню **Circuit** або натисніть клавішу F9 на клавіатурі. Зупинити процес розрахунку схеми у будь-який момент часу можна натисненням клавіші F9 або вибором пункту **Pause** (Пауза) в меню **Circuit**. Продовжити розрахунок можна повторним натисканням клавіші F9 або вибором пункту **Resume** меню **Circuit**. Натиснення кнопки «Пуск» в правому верхньому кутку екрану припиняє розрахунок схеми. На схему виводиться зменшене зображення осцилографа, загальне для обох модифікацій. На цьому зображенні є чотири вхідні затискачі: верхній правий затискач – загальний; нижній правий – вхід синхронізації, його призначення буде розглянуте в подальшому; лівий і правий нижні затискачі є, відповідно, входом каналу А (*channel A*) і входом каналу В (*channel B*).

СКЛАД ЗВІТУ

1. Назва роботи.
2. Мета.
3. Результати роботи, що демонструють здобуті навички з вибору досліджуваних елементів, їх розташування в полі робочого вікна, з'єднання та підключення до елементів живлення, задавачів, індикаторів та контрольно-вимірювальних приладів; початкові данні та результати моделювання.
4. Висновок.

Звіт з лабораторної роботи повинен бути виконаний на аркушах формату А4 (297×210 мм).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДІОДІВ

Мета роботи: вивчити схеми вмикання і зняти вольт-амперні характеристики для прямого і зворотного зсуву діода; дослідити опори діода при прямому і зворотному зсуві по вольт-амперній характеристиці. Всі дослідження провести на прикладі випрямного діода та стабілітрона.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Напівпровідниковим діодом називається прилад з двома выводами і одним *p-n*-переходом. Принцип роботи напівпровідникового діода заснований на використанні односторонньої провідності, електричного пробоя і інших властивостей *p-n*-переходу. Діоди розрізняють за призначенням, матеріалом, в залежності від технології конструктивного виконання, потужності і інших ознак.

За способом виготовлення розрізняють точкові діоди, сплавні, мікросплавні, епітаксialні та ін.

За функціональним призначенням діоди поділяються на випрямні, універсальні, імпульсні, змішувачі, НВЧ, стабілітрони, варикапи, диністори, тиристори, симістори, фотодіоди, світлодіоди та ін.

За конструктивним виконанням діоди бувають площинні і точкові.

За використовуваним матеріалом – кремнієві, германієві, арсенід-галієві. Діоди володіють односторонньою провідністю і служать: для випрямлення змінного струму, стабілізації струму і напруги, формування імпульсів, для регулювання потужностей тощо.

Комбінація двох напівпровідникових шарів з різним типом провідності (*p* – дірковою і *n* – електронною) володіє випрямляючими властивостями: вона набагато краще пропускає струм в одному напрямі, ніж в іншому. Полярність напруги, що відповідає великим струмам, називається прямою, а меншим – зворотною. Зазвичай користуються термінами пряма і зворотна напруга, прямий і зворотний струм. Поверхня, по якій контактують *p*- та *n*-шари, називається металургійною межею, а прилегла до неї область об'ємних зарядів – електронно-дірковим переходом. Електронно-діркові переходи класифікують за різкістю металургійної межі і співвідношенням питомих опорів шарів. Ступінчастими переходами (коефіцієнт плавності переходу $\tau = 0,5$, в *EWB* має позначення *M*) називають переходи з ідеальною межею, по один бік якої знаходяться дірки, а по інший – електрони. Такі переходи найбільш прості для аналізу і тому всі реальні переходи намагаються, якщо це можливо, розглядати як ступінчасті. Плавними переходами ($\tau = 0,333$) називають такі, у яких в області металургійної межі концентрація одного типу домішок поступово зменшується, а іншого типу – зростає. Сама металургійна межа в цьому випадку відповідає рівності концентрацій домішок. Все реальні *p-n*-переходи – плавні, ступінь їх наближення до ступінчастих залежить від градієнта ефективної концентрації в районі металургійної межі. По співвідношенню концентрацій домішок в *p*- і *n*-шарах переходи поділяються на симетричні,

несиметричні і односторонні. Симетричні переходи є не типовими для напівпровідникової техніки. Основне розповсюдження мають несиметричні переходи, у яких концентрації не однакові. У разі різкої асиметрії, коли концентрації домішок (а значить, і основних носіїв) розрізняються на один-два порядки і більше, переходи називають односторонніми.

$$I = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{U}{U_i}\right) - 1 \right], \quad (2.1)$$

де I – струм крізь перехід при напрузі U ; I_0 – зворотний струм; U_i – температурний потенціал переходу (при кімнатній температурі дорівнює 26 мВ).

Якщо до переходу під'єднати зворотну напругу, то при певному її значенні перехід пробивається. Розрізняють три види пробою: тунельний, лавинний і тепловий. Перші два пов'язані із збільшенням напруженості електричного поля в переході, а третій – із збільшенням розсіюваної потужності і, відповідно, температури.

Поняття «Напівпровідниковий діод» об'єднує різні прилади з відмінними принципами дії, що мають різноманітне призначення. У найбільш поширеному класі електроперетворювальних напівпровідникових діодів, розрізняють: випрямні діоди, імпульсні діоди, стабілітрони, діоди НВЧ (в т. ч. відеодетектори, змішувачі, параметричні, підсилювальні і генераторні, множилні, перемикачі). Серед оптоелектронних напівпровідникових діодів, виділяють фотодіоди, світловипромінювальні діоди і напівпровідникові квантові генератори.

Найбільш численні напівпровідникові діоди, дія яких заснована на використанні властивостей електронно-діркового переходу (p - n -переходу). Якщо до p - n -переходу діода прикласти напругу в прямому напрямку (прямий зсув), тобто подати на його p -область позитивний потенціал, то потенційний бар'єр, що відповідає переходу, знижується і починається інтенсивна інжекція дірок з p -області в n -область, а електронів з n -області в p -область – протікає великий прямий струм. Якщо прикласти напругу у зворотному напрямі (зворотний зсув), то потенційний бар'єр підвищується і через p - n -перехід протікає лише дуже малий струм неосновних носіїв заряду (зворотний струм).

На різкій несиметричній вольт-амперній характеристиці (ВАХ) заснована робота випрямних (силових) діодів. Для випрямних пристроїв та ін. сильнострумівих електричних кіл випускаються випрямні діоди, що мають допустимий випрямлений струм I_{ϕ} до 300 А і максимальну допустиму зворотну напругу $U_{зв}$ від 20-30 В до 1-2 кВ. Напівпровідникові діоди, аналогічного застосування для слабкострумівих кіл мають $I_{\phi} < 0,1$ А і називаються універсальними. При напрузі, $U_{зв}$, що перевищують припустимі межі, струм різко зростає, і виникає необоротний (тепловий) пробій p - n -переходу, що призводить до виходу діода з ладу. З метою підвищення $U_{зв}$ до декількох десятків кВ використовують випрямні стовпи, в яких декілька однакових випрямних діодів сполучено послідовно і змонтовано в спільному пластмасовому корпусі.

Використання спеціальних технологічних прийомів (головним чином легування германію і кремнію золотом) дозволило понизити час перемикання і створити

швидкодіючі імпульсні напівпровідникові діоди, використовувані, головним чином, в слабкострумових сигнальних колах ЕОМ та іншої цифрової техніки.

При невисокій пробивній напрузі зазвичай розвивається не тепловий, а оборотний лавинний пробій $p-n$ -переходу – різке наростання струму при майже незмінній напрузі, називається напругою стабілізації $U_{ст}$. На використанні такої пробою заснована робота напівпровідникових стабілітронів. Стабілітрони загального призначення з $U_{ст}$ від 3-5 В до 100-150 В застосовують головним чином в стабілізаторах і обмежувачах постійної і імпульсної напруги; прецизійні стабілітрони, у яких вбудовуванням компенсуючих елементів досягається виключно висока температурна стабільність використовуються як джерела еталонної і опорної напруги.

У передпробійній області зворотний струм діода схильний до дуже значних флуктуацій; це властивість $p-n$ -переходу використовують для створення генераторів шуму. Інерційність розвитку лавинної пробою в $p-n$ -переході обумовлює зрушення фаз між струмом і напругою в діоді, викликаючи (при відповідній схемі включення його в електричне коло) генерування НВЧ коливань. Цю властивість успішно використовують в лавинно-пролітних напівпровідникових діодах, що дозволяють здійснювати генератори з частотами до 150 ГГц.

При подачі на $p-n$ -перехід зворотного зсуву $U_{зв}$, що не перевищує гранично припустимих значень, він поводить себе як високодобротний конденсатор, у якого ємність $C_в$ залежить від величини прикладеної напруги. Цю властивість використовують у варикапах, вживаних переважно для електронної перебудови резонансної частоти коливальних контурів, в параметричних напівпровідникових діодах, що служать для посилення НВЧ коливань, у варакторах і множилних діодах. У цих напівпровідникових діодах прагнуть зменшити величину опору $R_в$ (основне джерело активних втрат енергії) і підсилити залежність ємності $C_в$ від напруги $U_{зв}$.

У $p-n$ -переході на основі дуже низькоомного (виродженого) напівпровідника, область, збіднена носіями заряду, виявляється дуже тонкою, і для неї стає істотним тунельний механізм переходу електронів та дірок через потенційний бар'єр. На цій властивості заснована робота тунельного діода, вживаного в надшвидкодіючих імпульсних пристроях (наприклад, мультівібраторах, тригерах), в підсилювачах і генераторах коливань НВЧ, а також оберненого діода, вживаного як детектор слабких сигналів і змішувач НВЧ коливань. Їх ВАХ істотно відрізняються від ВАХ інших напівпровідникових діодів, як наявністю ділянки з «негативною провідністю», яскраво вираженою у тунельного діода, так і високою провідністю при нульовій напрузі.

До напівпровідникових діодів відносять також напівпровідникові (НП) прилади з двома виводами, що мають некеровану чотиришарову $p-n-p-n$ -структуру і називають диністорами (тиристорами), а також прилади, що використовують об'ємний ефект доменної нестійкості в НП структурах без $p-n$ -переходу – діоди Ганна. У напівпровідникових діодах, використовують й ін. різновиди НП структур: контакт метал – напівпровідник (діод Шоткі) і $p-i-n$ -структуру, характеристики яких багато в чому схожі з характеристиками $p-n$ -переходу. Властивість $p-i-n$ -структури змінювати свої електричні характеристики під дією випромінювання використовують, зокрема, у фотодіодах і детекторах ядерних випромінювань,

4. Самостійно, по аналогії з **рис. 2.1**, зібрати схему дослідження випрямного діода – зняття ВАХ при прямому зсуві *p-n*-переходу.
5. Зняти для діода значення прямої напруги U_{np} та прямого струму I_{np} , що відповідають ладанним значенням напруги живлення $U_{жив}$.
6. Результати вимірювань занести до таблиці **табл. 2.2**.

Таблиця 2.2 – ВАХ діода при прямому зсуві *p-n*-переходу

$U_{жив}, B$	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12
U_{np}, B										
I_{np}, mA										

7. За даними таблиць **табл. 2.1** та **табл. 2.2** побудувати ВАХ діода і визначити опір діода при прямому і зворотному зсуві *p-n*-переходу.
8. Самостійно зібрати схеми дослідження для зняття ВАХ стабілітрона при прямому і зворотному зсуві *p-n*-переходу, аналогічно схемам у двох попередніх дослідках.
9. Зняти для стабілітрона значення прямої напруги U_{np} та прямого струму I_{np} , (зворотної напруги $U_{зв}$ та зворотного струму $I_{зв}$), що відповідають ладанним значенням напруги живлення $U_{жив}$.
10. Результати вимірювань занести в таблиць, аналогічних таблицям **табл. 2.1** і **табл. 2.2**, позначивши їх **табл. 2.3** і **табл. 2.4**.
11. За даними таблиць **табл. 2.3** та **табл. 2.4** побудувати ВАХ стабілітрона і визначити диференціальний опір.
12. Зробити висновки по роботі.

СКЛАД ЗВІТУ

1. Назва роботи.
2. Мета.
3. 2 схеми дослідження випрямного діода (для зняття ВАХ при прямому та зворотному зсуві *p-n*-переходу).
4. Результати вимірювань, у вигляді таблиць та ВАХ випрямного діода.
5. 2 схеми дослідження стабілітрона (для зняття ВАХ при прямому та зворотному зсуві *p-n*-переходу).
6. Результати вимірювань, у вигляді таблиць та ВАХ стабілітрона.
7. Розрахунки.
8. Висновки.

Звіт з лабораторної роботи повинен бути виконаний на аркушах формату A4 (297×210 мм).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРІВ

Мета роботи: вивчити властивості і схеми вмикання біполярного транзистора; зняти і проаналізувати вхідні і вихідні характеристики транзистора, ввімкненого по схемі із спільним емітером (СЕ).

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Біполярний транзистор – це напівпровідниковий прилад, що містить у собі два p - n -переходи, і є тришаровою напівпровідниковою структурою, створеною в одному кристалі шляхом введення донорної або акцепторної домішки. Залежно від електропровідності початкового напівпровідника, розрізняють p - n - p - і n - p - n -транзистори (*рис 3.1*). Одна з крайніх областей транзистора (наприклад, ліва) називається емітером, а прилеглий до неї p - n -перехід j_1 – емітерним. Права область називається колектором, а прилеглий до неї p - n -перехід j_2 – колекторним. Центральна область, названа базою, має значно меншу, в порівнянні з емітером і колектором, концентрацію домішкових атомів.

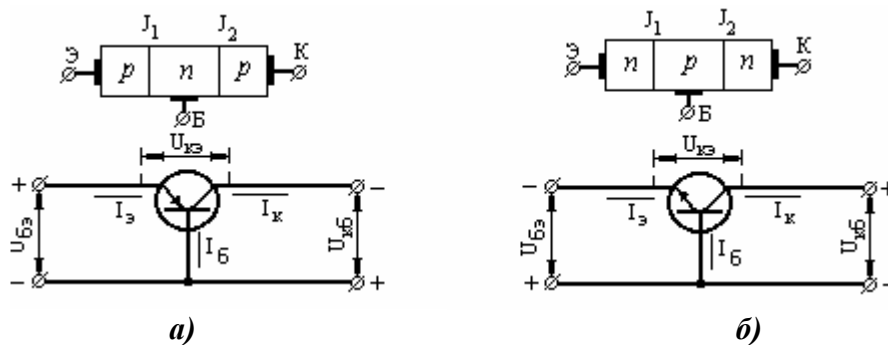


Рисунок 3.1 – Схематична будова і напрямки струмів біполярного транзистора: а) p - n - p -типу; б) n - p - n -типу

Транзистор – прилад оборотний, тобто емітер і колектор можна міняти місцями. Проте властивості транзистора при прямому (нормальному) і зворотному (інверсному) вмиканні різні, оскільки області емітера і колектора відрізняються розмірами і електрофізичними властивостями. Полярності напруги на електродах транзистора, відповідні нормальному ввімкненню, показані на *рис 3.1*. При інверсному вмиканні полярність напруги на електродах транзистора протилежна.

Розрізняють чотири види статичних ВАХ транзистора:

- вихідні характеристики

$$I_{\text{вих}} = f(U_{\text{вих}}) \Big|_{I_{\text{вх}}=\text{const}} ;$$

- керування (характеристики прямої передачі)

$$I_{\text{вих}} = f(I_{\text{вх}}) \Big|_{U_{\text{вих}}=\text{const}} ;$$

- вхідні характеристики

$$I_{ex} = f(U_{ex}) \Big|_{U_{aux}=const};$$

– перехідні (характеристики зворотної передачі)

$$U_{ex} = f(I_{ex}) \Big|_{I_{aux}=const}.$$

З наведених характеристик лише дві є незалежними. Зазвичай використовують вихідні і вхідні ВАХ транзистора.

Транзистор вмикається в електричне коло таким чином, що один з його електродів є вхідним, другий – вихідним, а третій – спільним щодо входу і виходу. Залежно від цього, розрізняють три способи вмикання транзисторів (*рис 3.2*):

- із спільною базою (СБ);
- із спільним емітером (СЕ);
- із спільним колектором (СК).

При будь-якому способі вмикання, в коло вхідного електроду включають джерело вхідного сигналу, а в коло вихідного електроду – навантаження.

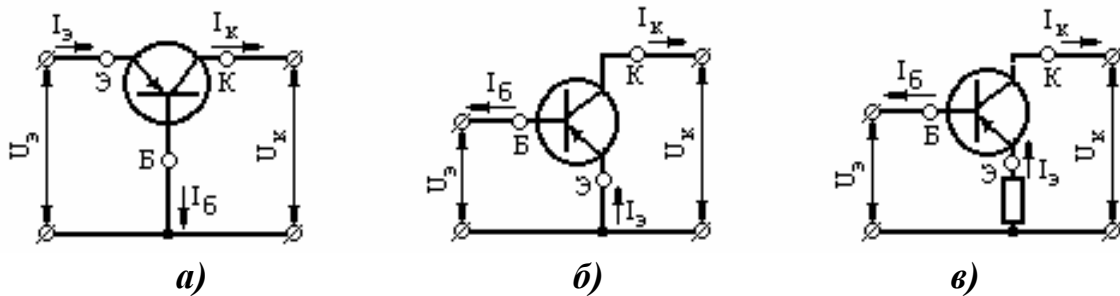


Рисунок 3.2 – Схеми вмикання транзисторів:
а) із спільною базою (СБ); б) із спільним емітером (СЕ);
в) із спільним колектором (СК)

У режимі малого сигналу транзистор можна представити як активний лінійний чотириполюсник, основні властивості якого відповідають загальній теорії електричних кіл. При цьому транзистор вважається лінійним підсилювальним елементом.

Зв'язок між вхідними (U_1, I_1) і вихідними (U_2, I_2) змінними чотириполюсника можна описати шістьма системами рівнянь першого порядку. Найширше застосовується система рівнянь, в якій незалежними величинами є вхідний струм I_1 і вихідна напруга U_2 .

$$\begin{cases} U_1 = f_1(I_1, U_2) \\ I_2 = f_2(I_1, U_2) \end{cases} \quad (3.1)$$

Якщо, при малих змінах незалежних величин, прирости залежних величин розкласти в ряд Тейлора і нехтувати членами другого і вищих порядків, то рівняння (3.1) можна представити в наступному вигляді:

$$\begin{cases} \Delta U_1 = \frac{dU_1}{dI_1} \cdot \Delta I_1 + \frac{dU_1}{dI_2} \cdot \Delta I_2 \\ \Delta I_2 = \frac{dI_2}{dI_1} \cdot \Delta I_1 + \frac{dI_2}{dU_2} \cdot \Delta U_2 \end{cases} \quad (3.2)$$

При заміні приростів амплітудними значеннями струмів і напруги та введенні нових позначень для частинних похідних система рівнянь (3.2) перетвориться у наступну форму:

$$\begin{cases} U_1 = h_{11} \cdot I_1 + h_{12} \cdot U_2 \\ I_2 = h_{21} \cdot I_1 + h_{22} \cdot U_2 \end{cases} \quad (3.3)$$

Характеристичні коефіцієнти h при незалежних змінних у системі рівнянь (3.3) мають певний фізичний зміст:

$h_{11} = \left. \frac{dU_1}{dI_1} \right|_{U_2=0}$ – вхідний опір у режимі малого сигналу при короткому замиканні на виході чотириполюсника;

$h_{12} = \left. \frac{dU_1}{dU_2} \right|_{I_1=0}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку по напрузі в режимі малого сигналу при холостому ході на вході чотириполюсника;

$h_{21} = \left. \frac{dI_2}{dI_1} \right|_{U_2=0}$ – коефіцієнт передачі струму в режимі малого сигналу при короткому замиканні на виході чотириполюсника;

$h_{22} = \left. \frac{dI_2}{dU_2} \right|_{I_1=0}$ – вихідна провідність у режимі малого сигналу при холостому ході на вході чотириполюсника.

Система рівнянь (3.3) зветься системою h -параметрів. Іноді в літературі її називають гібридною системою, оскільки незалежними змінними є струм і напруга. Перевагою системи h -параметрів є порівняна простота безпосереднього виміру характеристичних коефіцієнтів h . У паспортних даних транзисторів зазвичай наводять значення h -параметрів, виміряних на частоті 1 кГц.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Зібрати схему для зняття вхідних і вихідних характеристик транзистора, яка наведена на **рис. 3.3**.

2. Зняти вхідні характеристики транзистора.

Вхідна характеристика біполярного транзистора, ввімкненого за схемою із СЕ, – це залежність струму бази від напруги на переході база-емітер при постійній напрузі на переході колектор-емітер.

3. Результати занести до таблиці **табл. 3.1**.

4. Зняти вихідні характеристики транзистора.

Вихідна характеристика біполярного транзистора, ввімкненого за схемою із СЕ, – це залежність струму колектора від напруги на переході колектор-емітер при постійному струмі бази.

5. Результати занести до таблиці **табл. 3.2**.

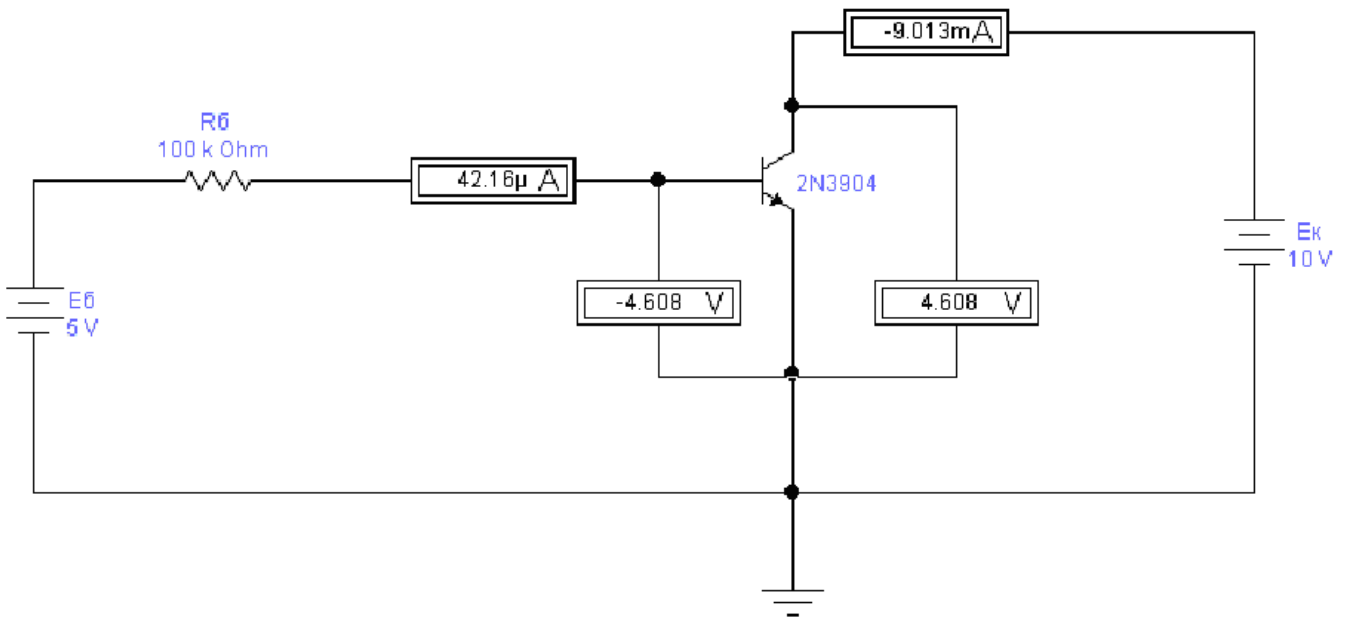


Рисунок 3.3 – Схема вмикання транзистора із СЕ

Таблиця 3.1 – Вхідні характеристики біполярного транзистора, ввімкненого за схемою із СЕ

$U_{ке}, В$	Вхідні параметри	$E_б, В$					
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	5,0
0	$U_{бе}, мВ$						
	$I_б, мкА$						
5,0	$U_{бе}, мВ$						
	$I_б, мкА$						

Таблиця 3.2 – Вихідні характеристики біполярного транзистора, ввімкненого за схемою із СЕ

$E_б, В$	$I_б, мкА$	$E_к = U_{ке}, В$					
		0,1	0,5	1,0	5,0	10,0	20,0
		$I_к, мА$					
1,0							
3,0							
5,0							

6. За результатами таблиць **табл. 3.1** і **табл. 3.2** побудувати характеристики й визначити h -параметри транзистора.

7. Зробити висновки по роботі.

СКЛАД ЗВІТУ

1. Назва роботи.
2. Мета.
3. Схема для зняття вхідних і вихідних характеристик біполярного транзистора, ввімкненого по схемі із СЕ.
4. Результати вимірювань, у вигляді таблиць та вхідних і вихідних характеристики транзистора.
5. Розрахунки.
6. Висновки.

Звіт з лабораторної роботи повинен бути виконаний на аркушах формату А4 (297×210 мм).

ЛІТЕРАТУРА ДО ЛАБОРАТОРНОГО КУРСУ

1. Бабич М. П. Комп'ютерна схемотехніка: Навч. посібник. / М. П. Бабич, І. А. Жуков. – К.: «МК-Прес», 2004. – 412 с.
2. Бубнов А. В. Аналоговая и цифровая схемотехника: учеб. пособие. / А. В. Бубнов, К. Н. Гвозденко, М. В. Гокова. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – 80 с.
3. Волгов Д. В. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Д. В. Волгов. – М.: Энергия, 1977. – 656 с.
4. Гершунский Б. С. Основы электроники и микроэлектроники. 4-е изд. перераб. и дополн. / Б. С. Гершунский. – К.: Выща школа, 1989. – 442 с.
5. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник. У 4-х т. Том 1. Елементна база електронних пристроїв. / [Сенько В. І., Панасенко М. В., Сенько Є. В., Юрченко М. М., Сенько Л. І., Ясінський В. В.]. За ред. В. І. Сенька. – К.: Обереги, 2000. – 300 с.
6. Жеребцов И. П. Основы электроники. – 5-е изд. перераб. и доп. / И. П. Жеребцов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 352 с.
7. Каган Б. М. Электронные вычислительные машины и системы. / Б. М. Каган. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 592 с.
8. Калабеков Б. А. Цифровые устройства и микропроцессорные системы. / Б. А. Калабеков. – М.: Телеком, 2000. – 336 с.
9. Каплан Д. Практические основы аналоговых и цифровых схем. / Д. Каплан, К. Уайт; пер. с англ. А. А. Кузьмичевой; под ред. А. А. Лапина. – М.: Техносфера. 2006. – 176 с.
10. Кардашев Г. А. Виртуальная электроника. Компьютерное моделирование аналоговых устройств. / Г. А. Кардашев. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 260 с.
11. Каяцкас А. А. Основы радиоэлектроники. / А. А. Каяцкас. – М.: Высшая школа, 1988. – 464 с.
12. Кочубей О. О. Прикладна теорія цифрових автоматів. Логічні основи: навч. посіб. / О. О. Кочубей, О. В. Сопільник. – Дніпропетровськ: РВВ ДНУ; Вид-во ДНУ, 2009. – 264 с.
13. Кравчук А. Ф. Основы дискретной математики. / А. Ф. Кравчук. – К.: УМК ВО, 1992. – 196 с.
14. Марченко А. Л. Основы электроники. Учеб. пособие для вузов. / А. Л. Марченко. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 296 с.
15. Нефедов В. И. Основы радиоэлектроники и связи: учеб. пособие. / В. И. Нефедов, А. С. Сигов; Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2009. – 735 с.

16. Партала О. Н. Цифровая электроника. / О. Н. Партала. – СПб.: Наука и техника, 2000. – 208 с.
17. Першин В. Т. Основы современной радиоэлектроники: учеб. пособие. / В. Т. Першин. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 541 с.
18. Потёмкин И. С. Функциональные узлы цифровой автоматики. / И. С. Потёмкин. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 320 с.
19. Рычина Т. А. Электрорадиоэлементы. Учебник. / Т. А. Рычина. – М.: Сов. Радио, 1976. – 336 с.
20. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники. 2-е изд. перераб. и доп. / И. П. Степаненко. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 488 с.
21. Трушкин Н. С. Основы аналоговой электроники: учеб. пособие. / Н. С. Трушкин. – М.: МИФИ, 2008. – 76 с.
22. Тули М. Справочное пособие по цифровой электронике. / М. Тули. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 176 с.
23. Уилкинсон Б. Основы проектирования цифровых схем. / Б. Уилкинсон. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 320 с.
24. Фрике К. Вводный курс цифровой электроники. / К. Фрике. – М.: Техносфера, 2003. – 432 с.
25. Чернышова Т. И. Моделирование электронных схем: Учебное пособие. / Т. И. Чернышова, Н. Г. Чернышов. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 80 с.
26. Шкурко А. И. Компьютерная схемотехника в примерах и задачах. / Шкурко А. И., Процюк Р. О., Корнейчук В. И. – К.: «Корнійчук», 2003. – 144 с.
27. Электрические и электронные компоненты устройств и систем: учеб.-метод. пособие. / В. В. Баранов [и др.]. – Минск: БГУИР, 2019. – 136 с.
28. Электроника. Энциклопедический словарь. / [под ред. В. Г. Колесникова]. – М.: Сов. энциклопедия, 1991. – 695 с.

Навчально-методичне видання

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ

Частина I

Методичні вказівки

до виконання лабораторних робіт з навчальних дисциплін:

«Електронні компоненти телекомунікаційних систем»

за спеціальністю

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

та

«Основи комп'ютерної схемотехніки»

за спеціальностями

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»;

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

для студентів денної та заочної форм навчання

Укладачі: *Р. В. Жесан*

О. П. Голик