

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів і систем орієнтації і навігації

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Надія БУРАУ

«__» _____ 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно - інтегровані технології
та системи навігації і керування»**

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

**на тему: «Методичне та алгоритмічне забезпечення для виконання
лабораторних робіт з дисципліни «Електроніка»»**

Виконав:

студент III курсу, групи ПГ-п71

Білорусець Іван Вікторович _____

Керівник:

Доцент кафедри ПСОН, к.т.н., доц. Півторак Д.О. _____

Рецензент:

Ст. викл., к.т.н. Таранов В.В. _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

Пояснювальна записка до дипломної роботи

на тему: Методичне та алгоритмічне забезпечення для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електроніка»

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів і систем орієнтації і навігації

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітньо-професійна програма - Комп'ютерно - інтегровані технології та системи навігації і керування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Надія БУРАУ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Білорусцю Івану Вікторовичу

1. Тема роботи «Методичне та алгоритмічне забезпечення для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електроніка»», керівник роботи Півторак Діана Олександрівна, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. №1180-с.

2. Термін подання студентом роботи 8 червня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи Тематика лабораторних робіт: 1. Демонстрація основних можливостей програми microsarp. 2. Схеми на діодах. 3. Демонстрація основних можливостей microsarp (продовження). 4. Перехідна, інтегруюча та диференціююча RC і RL – ланка. 4. Перехідна, інтегруюча, та диференціююча RC і RL – ланка. 5. Схеми на транзисторах. 6. Схеми на транзисторах (продовження). 7. Операційний підсилювач. 8. Підсилювач потужності.

4. Зміст роботи Кожна лабораторна робота повинна містити: 1. Мета роботи. 2. Теоретичні відомості. 3. Завдання до виконання лабораторної роботи. 4. Контрольні запитання. Література.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) презентація _____

6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 2 квітня 2020 року _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Демонстрація основних можливостей програми мігросар.	13.04.2020 р.	
2.	Схеми на діодах.	20.04.2020 р.	
3.	Демонстрація основних можливостей мігросар (продовження).	27.04.2020 р.	
4.	Перехідна, інтегруюча та диференціююча RC і RL – ланка.	05.05.2020 р.	
5.	Схеми на транзисторах	12.05.2020 р.	
6.	Схеми на транзисторах (продовження)	19.05.2020 р.	
7.	Операційний підсилювач	26.05.2020 р.	
8.	Підсилювач потужності	02.06.2020 р.	
9.	Оформлення пояснювальної записки. Підготовка до захисту	08.06.2020 р.	

Студент

Іван БІЛОРУСЕЦЬ

Керівник

Діана ПІВТОРАК

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

АНОТАЦІЇ

Дипломна робота присвячена розробці методичного та алгоритмічного забезпечення для виконання лабораторних робіт для дисципліни «Електроніка» для студентів приладобудівного факультету, спеціальності: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Лабораторний практикум складається з 8 лабораторних робіт.

Тематика робіт присвячена таким питанням як, побудова принципів схем діодів, транзисторів, підсилювачів та RC і RL-ланках, часових та частотних графіків в програмі Micro-Cap 12.

Кожна лабораторна робота містить короткі теоретичні відомості, варіанти завдань та контрольні питання.

Ключові слова: принципова схема, часові діаграми, частотний аналіз, принцип роботи, характеристика.

ANNOTATION

This thesis is devoted to the development of methodological and algorithmic support for laboratory work for the discipline "Electronics" for students of the Faculty of Instrumentation, specialty: 151 - Automation and computer-integrated technologies.

The laboratory workshop consists of 8 laboratory works.

The subject of the works is devoted to such issues as the construction of schematic diagrams of diodes, transistors, amplifiers and RC and RL-links, time and frequency graphs in the program Micro-Cap 12.

Each laboratory work contains brief theoretical information, task options and control questions.

Key words: schematic diagram, time diagrams, frequency analysis, working principle, characteristic.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень та скорочень	9
Вступ.....	11
Лабораторна робота №1. Демонстрація основних можливостей MICRO-CAP 12	12
1.1 Теоретичні відомості	12
1.1.1. Основні можливості Micro-Cap 12.....	12
1.1.2. Введення принципової схеми	13
1.2. Завдання до виконання лабораторної роботи	15
1.3. Контрольні питання	15
Лабораторна робота №2. Схеми на діодах	17
2.1. Теоретичні відомості	17
2.2. Завдання до виконання лабораторної роботи	21
2.3. Контрольні питання	23
Лабораторна Робота №3. Демонстрація основних можливостей MICRO-CAP 12 (Продовження).....	24
3.1. Теоретичні відомості	24
3.1.1. Основні види аналізу електронних схем	24
3.1.2. Аналіз перехідних процесів (Transient Analysis).....	25
3.1.3. Аналіз частотних характеристик (AC)	27
3.1.4. Аналіз передавальних функцій по постійному струму (DC)	28
3.1.5. Аналіз який розраховує режим по постійному струму (Dynamic DC). 29	
3.1.6. Аналіз розрахунку режиму по змінному струму (Dynamic AC).....	30
3.1.7. Розрахунок малосигнальних передавальних функцій (Transfer Function)	31
3.1.8. Аналіз розрахунку нелінійних спотворень (Harmonic Distortion)	31
3.2. Завдання до виконання лабораторної роботи	32
3.3. Контрольні питання.....	33
Лабораторна Робота №4. Перехідна, інтегруюча та диференціююча RC і RL – ланка	34

4.1. Теоретичні відомості	34
4.1.1. RL – ланка	34
4.1.2. RC – ланка.....	34
4.2. Завдання до виконання лабораторної роботи	35
4.3. Контрольні питання	38
Лабораторна Робота №5. Схеми на транзисторах	39
5.1. Теоретичні відомості	39
5.2. Завдання до виконання лабораторної роботи	42
5.3. Контрольні питання	45
Лабораторна Робота №6. Схеми на транзисторах (Продовження).....	47
6.1. Теоретичні відомості	47
6.1.1. Переваги та недоліки польових транзисторів.....	48
6.2. Завдання до виконання лабораторної роботи	49
6.3. Контрольні питання	53
Лабораторна Робота №7. Операційний підсилювач.....	54
7.1. Теоретичні відомості	54
7.2. Завдання до виконання лабораторної роботи	56
7.3. Контрольні питання	58
Лабораторна Робота №8. Підсилювач потужності.....	60
8.1. Теоретичні відомості	60
8.2. Завдання до виконання лабораторної роботи	60
8.3. Контрольні питання	64
Висновок	65
Список використаних літературних джерел	66

Перелік умовних позначень та скорочень

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика;

ФЧХ – фазо-частотна характеристика;

Schematic File (.cir) – схематичний файл (.cir);

Component – компоненти;

Windows – вікна;

Options – параметри;

Analysis – аналіз;

Design – дизайн;

Analog Primitives – аналогові примітиви;

Active Devices – активний пристрій;

Passive Components – пасивні компоненти;

Waveform Sources – джерела сигналу;

Waveform Source

Wire Mode – діагональні з'єднання;

Node Numbers – відображати номери вузлів;

Ground – заземлення;

VAX – вольт-амперна характеристика;

Transient Analysis – аналіз перехідних процесів;

AC – аналіз частотних характеристик. змінний струм;

DC – аналіз передавальних функцій по постійному струму;

Dynamic DC – аналіз який розраховує режим по постійному струму;

Dynamic AC – веде розрахунок режиму по змінному струму;

Sensitivity – розраховує чутливість схеми по постійному струму

Transfer Function – розрахунок малосигнальних передавальних функцій по постійному струму;

Harmonic Distortion – аналіз, який веде розрахунок нелінійних спотворень;

Probe Transient – це аналіз перехідних процесів та відображення результатів;

- Probe AC** – це аналіз частотних характеристик та відображення результатів;
- Probe DC** – включає в себе аналіз передатних функцій по постійному струму і відображає результати;
- СЕ** – біполярний транзистор із загальним емітером;
- СК** – біполярний транзистор із загальним колектором;
- СБ** – біполярний транзистор із загальною базою;
- СВ** – польовий транзистор із загальним витоком;
- СЗ** – польовий транзистор із загальним затвором;
- СС** – польовий транзистор із загальним стоком;
- ОП** – операційний підсилювач;
- ПП** – Підсилювач потужності;
- ККД** – коефіцієнт корисної дії.

ВСТУП

Дана дипломна робота містить лабораторні роботи, які були складені відповідно до робочої навчальної програми кредитного модуля «Електроніка» для студентів приладобудівного факультету, спеціальності: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Для кожної лабораторної роботи були написані теоретичні відомості та розроблені завдання і питання для перевірки розуміння матеріалу. В лабораторних роботах №1 та №3 були описані основні можливості програми Micro-Cap 12, які будуть використовуватись протягом всіх лабораторних роботах. В лабораторних роботах №1 та №3 були зроблені завдання для набуття практичних навичок у використанні програми. В лабораторній роботі №2 були написані теоретичні відомості про діоди та показані схеми увімкнення діодів, також написані завдання для перевірки розуміння даної лабораторної. В лабораторній роботі №4 описані перехідна, інтегруюча та диференціююча RC і RL – ланки, та показані схеми цих ланок. Для даної лабораторної роботи були зроблені завдання для перевірки знань по даній лабораторній. В Лабораторних роботах №5 та №6 були написані теоретичні відомості про транзистори. Були описані два види транзисторів: біполярний транзистор та польовий транзистор. Також були розроблені завдання для перевірки знань про транзистори. В лабораторних роботах №7 та №8 були описані операційний підсилювач та підсилювач потужності та показані схеми. Були написані завдання для перевірки знань про операційний підсилювач та підсилювач потужності.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ДЕМОНСТРАЦІЯ ОСНОВНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ MICRO-CAP 12

Мета роботи: Ознайомитись з основними режимами роботи програми (графічним введенням схем, схемотехнічного моделювання електронних схем).

1.1 Теоретичні відомості

1.1.1. Основні можливості Micro-Cap 12

Основні можливості **Micro-Cap 12**. Програма дозволяє аналізувати електричні режими роботи приладу по принциповій схемі, дає змогу синтезувати схеми фільтрів з заданими характеристиками [1].

Micro-Cap може аналізувати режими роботи аналогових, цифрових і змішаних приладів. Роботу схем, які мають мікропроцесори, надійність та проводити розрахунок теплових режимів [1].

Для аналогових схем програма розраховує вузлові потенціали, потужності, показує стан напівпровідникових приладів. **Micro-Cap** може будувати амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) і фазо-частотну характеристику (ФЧХ), графіки складних залежностей. Програма дозволяє виконувати математичні розрахунки по формулам, які записаний в текстовому вікні. Для цифрових схем **Micro-Cap** розраховує цифрові стани у вузлах схеми і часові затримки [1].

Результати розрахунків виводяться в вигляді графіків в одному або в декількох графічних вікнах. Можна зробити вивід розрахункових точок в спеціальний файл. Програму можна використовувати для створення принципових схем. **Micro-Cap** дозволяє створювати і редагувати графічні позначення компонентів.

1.1.2. Введення принципової схеми

Коли запускається програма відкривається робоче поле (головне вікно), в якому зображується схема моделювання електронного ланцюга (закладка **Main**). Щоб створити нову схему треба виконати команду **File** → **New** і в меню вибрати пункт **Schematic File (.cir)** (файл схеми) [2]. У головному вікні, зверху якого поміщений рядок системного меню, де розміщені такі режими **File, Edit, Component, Windows, Options, Analysis, Design, Help** (рис. 1.1) [3].

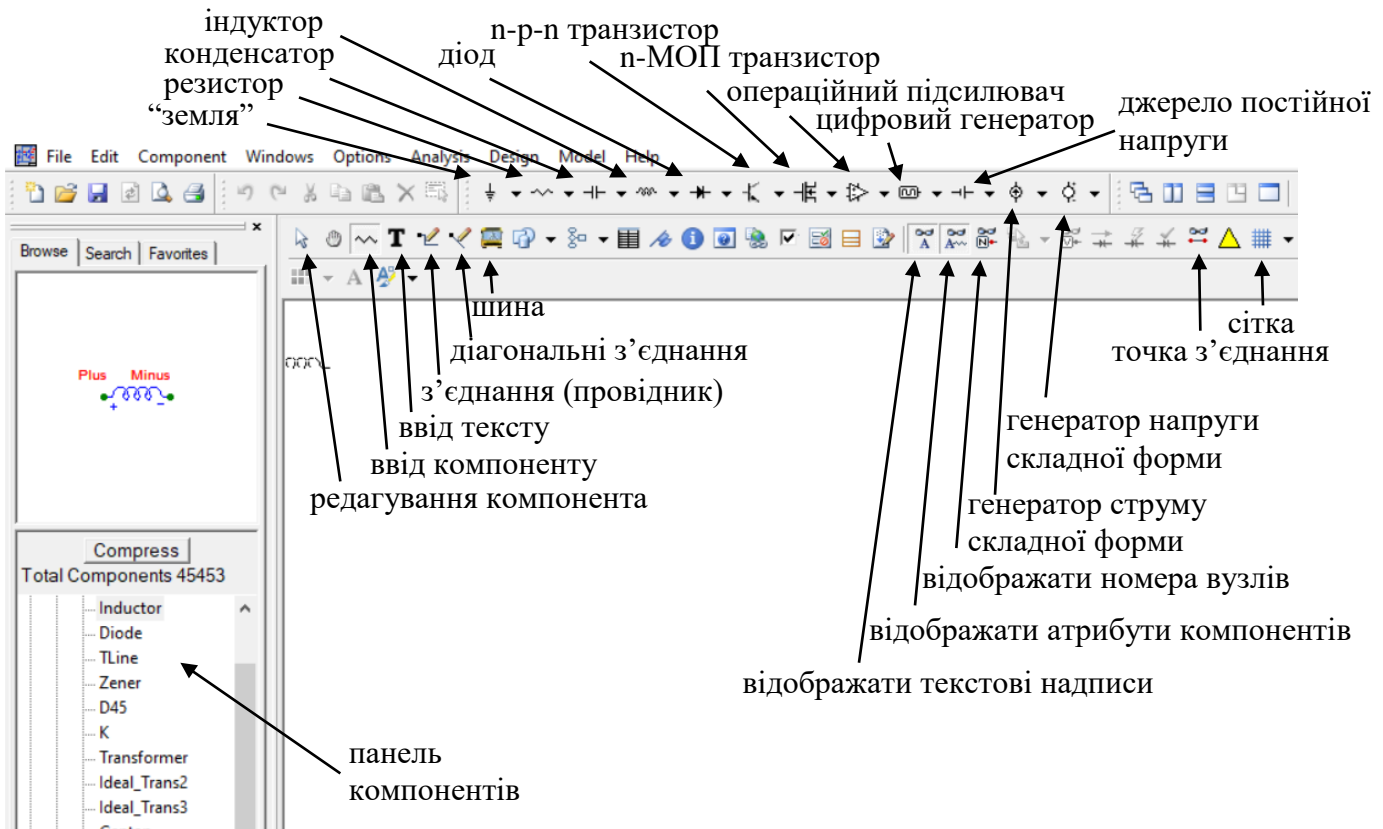


Рис. 1.1. Призначення елементів головного вікна

Компоненти розміщуються на схемі таким чином. В меню **Component** з розділу **Analog Primitives** вибирається компонент. Резистори (**Resistor**) і конденсатори (**Capacitor**) знаходяться в **Passive Components**, напівпровідникові прилади знаходяться в **Active Devices**, джерела сигналів - в **Waveform Sources**. після вибору компонента натиснувши ліву кнопку миші його умовне зображення з'являється в головному вікні. Зображення компонента

встановлюється в потрібну точку схеми при натиснутій лівій кнопці миші. Якщо потрібно змінити орієнтацію компонента на схемі, то треба затиснути ліву кнопку миші і натискаючи праву кнопку миші змінюється орієнтація компонента. Кожне таке натискання повертає зображення на 90° за годинниковою стрілкою. Відпускання лівої кнопки миші фіксує компонент в точці, про яку йдеться курсором, і на екран виводиться вікно для введення значення атрибутів компонента [2].

В системі **Micro-Cap** використовуються позначення часткових і кратних одиниць, наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1.

Позначення часткових і кратних одиниць

10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9	10^{12}
фемпто	піко	нано	мікро	мілі	кіло	мега	гіга	тера
F (f)	P (p)	N (n)	U (u)	M (m)	K (k)	MEG (meg)	G (g)	T (t)



Для того, щоб почати будувати принципову схему треба вибрати елемент компоненту. Після перенесення елемента на поле принципової схеми необхідно з'єднати його з іншими елементами схеми. Перехід в цей режим здійснюється натисканням на піктограму  (**Wire Mode**). Номери вузлів ставлять на схемі натисканням на піктограму , в подальшому вони будуть потрібні при побудові графіків частотних характеристик ланцюга і перехідних процесів. При побудові схеми необхідно, щоб хоча б один вузол схеми був заземлений. Елемент заземлення (**Ground**) вибирається в меню **Component** в розділі **Analog Primitives** в підрозділі **Connectors**. Елемент заземлення можна вибрати набагато швидше зображено на рис. 1.2 [2].



Рис. 1.2 Зображення елемента заземлення

Заземлений вузол завжди має нульовий номер, який на схемі не відображається. До складу моделі входять різні джерела струмів і напруг. Для їх задання необхідно виконати команду **Component** → **Analog Primitives** → **Waveform Sources** і вибрати необхідне джерело.

1.2. Завдання до виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитись з теоретичними відомостями і головним вікном програми **Micro-Cap**.
2. Побудувати принципову схему (рис. 1.3).

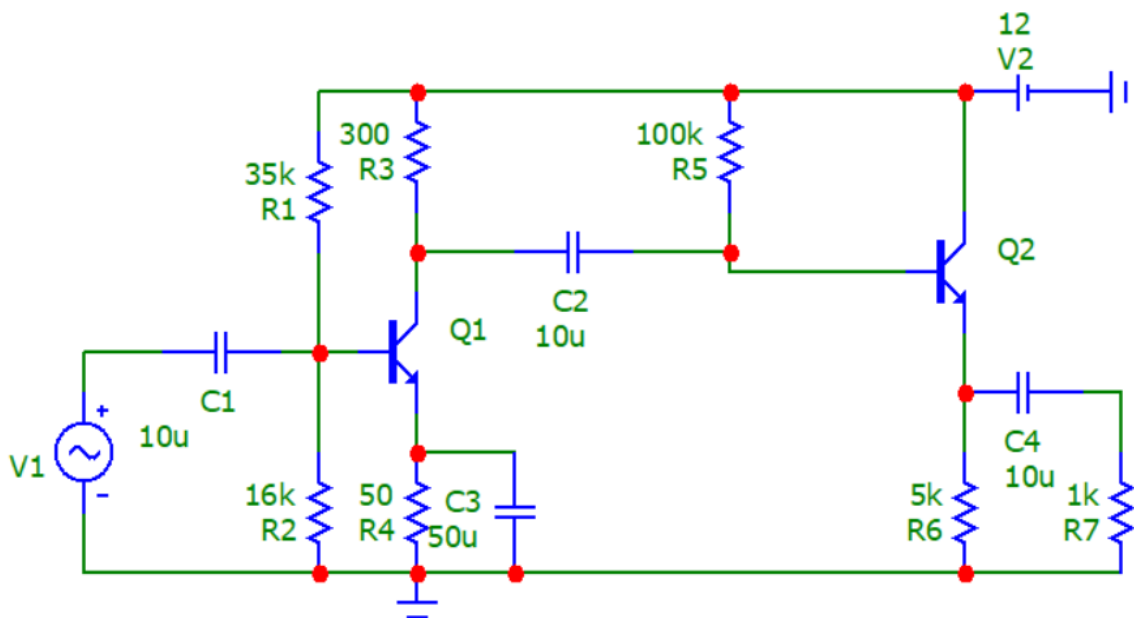


Рис. 1.3 Принципова схема.

3. Проаналізувати виконану роботу і зробити висновки.

1.3. Контрольні питання

1. Основні можливості Micro-Cap 12.
2. Якими елементами користувались будуючи принципову схему?
3. Де знаходиться панель компонентів?
4. Як додати або прибрати панель компонентів?

5. Які елементи знаходяться на рис. 1.4?



Рис. 1.4. Панель швидкого доступу до основних елементів

6. Для чого потрібні піктограми зображенні на рис. 1.5?



Рис. 1.5 Піктограми для будівництва схем

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

СХЕМИ НА ДІОДАХ

Мета роботи: Ознайомитися з принципом роботи, характеристиками, різновидами діодів і схемами їх включення. Вміти будувати часові діаграми входу і виходу системи.

2.1. Теоретичні відомості

Діод – це електронний прилад з двома електродами анодом та катодом і один р-п перехід, що має однобічну провідність. Електрод, підключений до позитивного полюса приладу, називають анодом, до негативного - катодом. Якщо прикладається пряма напруга на прилад, то він знаходиться у відкритому стані, де опір малий, а струм протікає безперешкодно. І навпаки, коли прикладена зворотна напруга, прилад, який має високий опір, є закритим. Зворотний струм присутній, але він настільки малий, що умовно приймається рівним нулю [4]. Умовне позначення діоду зображене на рис. 2.1.

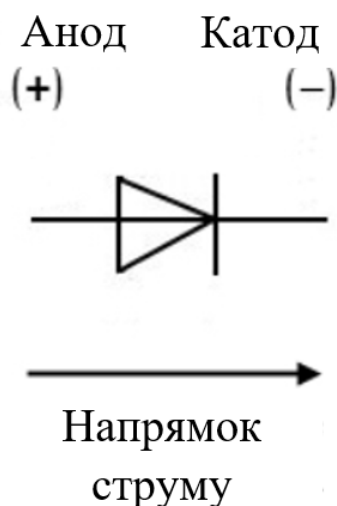


Рис. 2.1 Позначення діода на схемі

Характеристика діодів є вольт-амперна характеристика (ВАХ), яка представлена рис. 2.2.

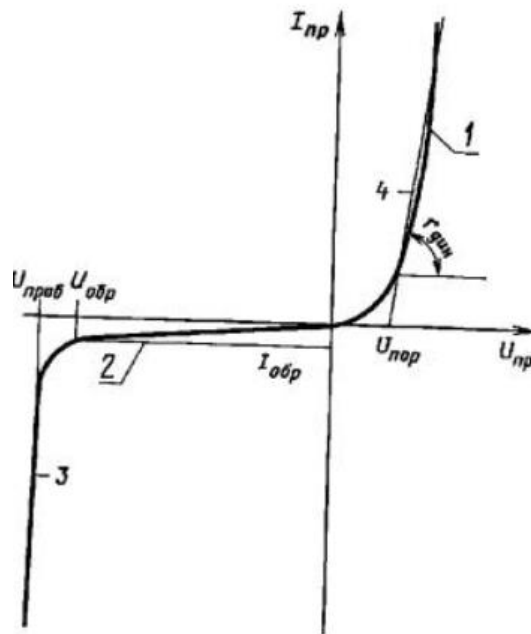


Рис. 2.2 Вольт-амперна характеристика діода [6]:

1 – пряма вольт-амперна характеристика; 2 – зворотна вольт-амперна характеристика; 3 – область пробою; 4 – прямолінійна апроксимація прямий вольт-амперної характеристики; $U_{пор}$ – порогова напруга; $r_{дин}$ – динамічний опір; $U_{проб}$ - пробивна напруга.

Вольт-амперна характеристика – це крива, яка має залежність струму, що проходить через p-n перехід, від величини і полярності прикладеної до нього напруги.

На рис.2.2 по горизонтальній осі в правій частині позначені значення прямого напруги $U_{пр}$, а в лівій частині – зворотної напруги ($U_{обр}$), по вертикальній осі у верхній частині позначені значення прямого струму ($I_{пр}$), а в нижній частині – зворотного струму ($I_{обр}$) [5]. Вольт-амперні характеристики діодів проходять через нуль, але досить помітний струм з'являється лише при пороговій напрузі ($U_{пор}$). В області мінусових значень напруги на діоді, при вже порівняно невеликих напругах ($U_{обр}$) виникає зворотний струм ($I_{обр}$). Цей струм

створюється електронами р-області і дірками n-області. З ростом зворотної напруги збільшення струму не відбувається, так як кількість неосновних носіїв, що виявляються в одиницю часу на межі переходу. Подальше збільшення зворотної напруги до напруги пробою ($U_{\text{проб}}$) призводить до того, що електрони з валентної зони переходять в зону провідності, зворотний струм різко збільшується, що викликає нагрівання діода і збільшення струму може призвести до руйнування р-n-переходу [6].

Діоди поділяються на такі види:

1. Випрямні діоди.
2. Високочастотні діоди.
3. Імпульсні діоди.
4. Стабілітрони.
5. Варикапи.
6. Динистри.
7. Тиристри.
8. Симістри.
9. Випромінюючі діоди.

1. **Випрямні діоди** по своїй конструкції діляться на площинні і точкові, а за технологією виготовлення на сплавних, дифузійних і епітаксіальних. Площинні діоди використовують для випрямлення великих струмів через велику площу р-n-переходу. Точкові діоди мають малу площу переходу і призначені для випрямлення малих струмів [6].

2. **Високочастотні діоди** мають універсальне призначення. використовуються для випрямлення, детектування та інших нелінійних перетворень електричних сигналів.

3. **Імпульсні діоди** – це напівпровідниковий діод, який використовується в імпульсних режимах роботи і має малу тривалість перехідних процесів. Імпульсні діоди призначені для роботи в якості пристроїв, що можуть

знаходиться в одному з двох станів: «ввімкнено» (опір приладу дуже малий) та «вимкнено» (опір приладу дуже великий). Імпульсні діоди широко використовують в радіоелектроніці для детектування високо частотних сигналів. Є два фактори , які визначають інерційність діодів: бар'єрна ємність та накопичений заряд носіїв поблизу р-п переходу. Основними ознаками, що вирізняють імпульсні діоди, є мала площа електричного переходу та тривалість життя нерівноважних носіїв заряду в базі [7].

4. **Напівпровідниковий стабілітрон** – це діод, напруга в області електричного пробою якого слабо залежить від струму і який використовується для стабілізації напруги. Стабілітрони застосовуються у вторинних джерелах живлення, обмежниках, джерелах опорного напруги [8]. Всі стабілітрони підрозділяються на малопотужні, середній потужності і потужні.

5. **Варикапи** змінюють свій опір залежно від поданого на них напруги, застосування в якості елемента з електрично керованою ємністю.

6. **Диністор** – це тиристор, який має два виходи, через які проходить основний струм і струм управління. Прилад містить чотири напівпровідникові області: р-п-р-п. Р-область називається анодом, а п-область – катодом показано на рис.2.3. Між двома областями з різними типами електропровідності утворюється електронно-дірковий перехід, то в диністорі таких переходів три. Коли диністор підключений до джерела напруги так, що «мінус» подається на анод, а «плюс» - на катод, то крайні р-п-переходи увімкнені в зворотному напрямку і через диністор протікає невеликий зворотний струм [9].

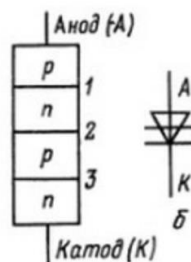


Рис. 2.3 Диністор [9]

7. **Тиристори** – це напівпровідникові прилади з трьома і більше р-п-переходами, мають два стійких стани: відкритий чи закритий. Тиристори призначені для регулювання і комутації великих струмів. Застосовуються в керованих випрямлячах змінного струму і в різних приладах автоматики.

8. **Симетричний тріодний тиристор (симістор)** є одним з видів тиристора і володіє великою кількістю переходів р-п-типу. Даний елемент ланцюга має три вихода: один є керуючим, а два інших силовими. Симістор має можливість проводити струм в обидва боки, його доцільно застосовувати в ланцюгах змінного струму для електронного управління. Даний елемент ланцюга має три вихода: один є керуючим, а два інших силовими.

9. **Випромінюючий діод (світлодіод)** – це прилад з одним або кількома електричними переходами, призначений для безпосереднього перетворення електричної енергії в енергію світлового випромінювання [10].

2.2. Завдання до виконання лабораторної роботи

1. Побудувати принципову схему діодного випрямляча (рис.2.4) і часові діаграми на вході виході схеми.

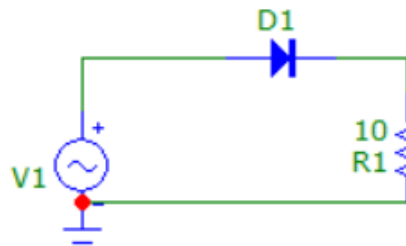


Рис. 2.4 Схема діодного випрямляча

2. Побудувати принципову схему діодного моста (рис.2.5) і часові діаграми на вході виході схеми.

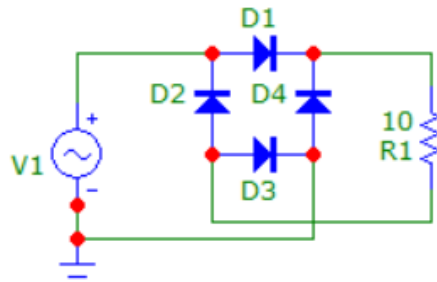


Рис. 2.5 Схема діодного моста.

3. Варіанти значень до завдань 1 та 2 зображені на табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Варіанти індивідуальних завдань

1. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 2 \text{ мОм}$.	14. $V1 = 127 \text{ В}/60\text{Гц}$, $R1 = 1 \text{ кОм}$.
2. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 1,5 \text{ кОм}$.	15. $V1 = 127 \text{ В}/60\text{Гц}$, $R1 = 0,5 \text{ кОм}$.
3. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 0,5 \text{ кОм}$.	16. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 1 \text{ кОм}$.
4. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 1 \text{ мОм}$.	17. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 2 \text{ мОм}$.
5. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 1 \text{ кОм}$.	18. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 1 \text{ кОм}$.
6. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 0,5 \text{ кОм}$.	19. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 1 \text{ мОм}$.
7. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 0,3 \text{ мОм}$.	20. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 1,5 \text{ мОм}$.
8. $V1 = 127 \text{ В}/60\text{Гц}$, $R1 = 1,5 \text{ мОм}$.	21. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 2,5 \text{ мОм}$.
9. $V1 = 127 \text{ В}/60\text{Гц}$, $R1 = 2 \text{ кОм}$.	22. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 5 \text{ мОм}$.
10. $V1 = 127 \text{ В}/60\text{Гц}$, $R1 = 1 \text{ кОм}$.	23. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 3 \text{ мОм}$.
11. $V1 = 127 \text{ В}/60\text{Гц}$, $R1 = 1,5 \text{ кОм}$.	24. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 2,5 \text{ мОм}$.
12. $V1 = 127 \text{ В}/60\text{Гц}$, $R1 = 0,5 \text{ кОм}$.	25. $V1 = 220 \text{ В}/50\text{Гц}$, $R1 = 3 \text{ мОм}$.
13. $V1 = 127 \text{ В}/60\text{Гц}$, $R1 = 0,5 \text{ мОм}$.	

4. Провести аналіз роботи.

2.3. Контрольні питання

1. Що таке діод? Пояснити принцип роботи діода.
2. Які є види діодів?
3. Що таке випрямні діоди, високочастотні діоди, імпульсні діоди і для чого призначені?
4. Що таке стабілітрони, варикапи, диністори і для чого призначені?
5. Що таке тиристори, симістори, випромінюючі діоди і для чого призначені?
6. Намалювати і пояснити мостову схему діодів.
7. Намалювати і пояснити ВАХ діодів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ДЕМОНСТРАЦІЯ ОСНОВНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ MICRO-CAP 12 (ПРОДОВЖЕННЯ)

Мета роботи: Ознайомитися з основними видами аналізу електронних схем. Знайомство з обробками графіків такими, як: автоматичним і ручним масштабуванням, нанесенням текстових написів.

3.1. Теоретичні відомості

3.1.1. Основні види аналізу електронних схем

Для аналогових схем в **Micro-Cap 12** є такі види аналізу:

1. **Transient Analysis** – аналіз перехідних процесів. Дає можливість будувати залежність від часу змінних схеми і бачити їх в графічному вікні.
2. **AC** – аналіз частотних характеристик. Будує залежність частоти змінних схеми при подачі на вхід гармонійного впливу зі змінною частотою і постійної амплітуди.
3. **DC** – аналіз передавальних функцій по постійному струму.
4. **Dynamic DC** – аналіз який розраховує режим по постійному струму з відображенням на схемі вузлових потенціалів, струмів гілок і потужності.
5. **Dynamic AC** – веде розрахунок режиму по змінному струму при заданих значеннях частот і відображення на вузлах схеми при зміні значень.
6. **Sensitivity** - розраховує чутливість схеми по постійному струму. В **Sensitivity** розраховується чутливість одної або декількох змінних до зміни вхідних параметрів.
7. **Transfer Function** - розрахунок малосигнальних передавальних функцій по постійному струму. Цей аналіз дозволяє розраховувати зміну вихідного виразу, який задається користувачем до викликаному цю зміну

при малому збудженні, який задається користувачем вхідного джерела постійного струму чи напруги.

8. **Harmonic Distortion** – аналіз, який веде розрахунок нелінійних спотворень. Можна сказати, що в Distortion запускається аналіз перехідних процесів при гармонійному впливі на вході схеми і використовуються функції спектрального аналізу.
9. **Probe Transient** – це аналіз перехідних процесів та відображення результатів. Результати аналізу перехідних процесів можна записувати на диск.
10. **Probe AC** – це аналіз частотних характеристик та відображення результатів аналізу.
11. **Probe DC** – включає в себе аналіз передатних функцій по постійному струму і відображає результати.

Коли запускається будь-який режим **Probe** у верхній частині екрану з'являться нові пункти меню: **Probe, Vertical, Horizontal** завдяки яким можна керувати режимами **Probe** [11].

Результати моделювання можна представляти в табличній формі чи у вигляді графіків. Багато вимірювальних інструментів, які у вигляді рядка піктограм представлені в вікнах аналізу. Використовуючи інструменти можна швидко і точно виміряти і вивести на екран значення амплітудних, часових і частотних параметрів аналізованих графіків, визначити максимальні і мінімальні значення функцій це ще не весь список можливостей використовуючи інструменти [12].

3.1.2. Аналіз перехідних процесів (Transient Analysis)

Цей вид аналізу часто використовується. За допомогою цього аналізу ми можемо бачити зміни основних електричних параметрів схеми під електричним впливом протягом заданого часу. Для того щоб провести цей аналіз, до

принципової схеми повинен бути увімкнене джерело сигналу. Для розрахунку перехідних процесів треба лише увімкнути пристрій так, як зовнішня взаємодія це подача напруги живлення. Вихідними графіками являються залежності струмів і напруг схеми від часу, але можливі залежності різних компонентів в схемі. Аналіз перехідних процесів є основним режимом аналізу для різних генераторів і перетворювачів сигналів, лінійних і імпульсних джерелом живлення [13].

Для того щоб запустити цей режим аналізу треба виконати команду **Analysis/Transient Analysis** або натиснувши комбінацію клавіш **(Alt+1)**. Автоматично складається система рівнянь, що описує поведінку схеми та проводиться аналіз схеми в статичному режимі з метою визначення робочих точок нелінійних елементів. Меню завдання параметрів в **Transient Analysis** зображено на рис. 3.1.

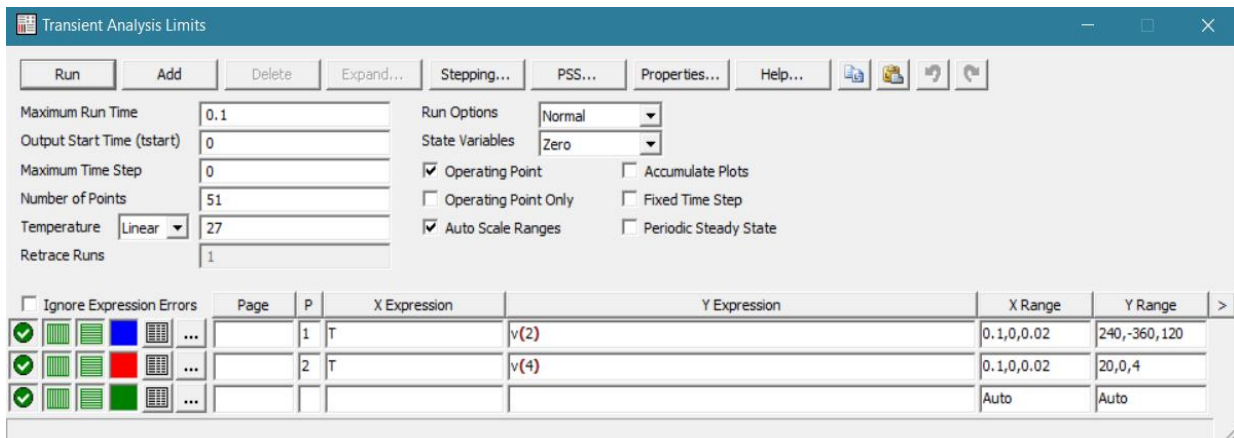


Рис. 3.1 Вікно задання параметрів **Transient Analysis**

У графі **Maximum Run Time** вказується кінцевий час аналізу. У графі **Output Start Time (tstart)** записується початковий час аналізу. Зазвичай він дорівнює нулю. У графі **Maximum Time Step** записується максимальне значення кроку інтегрування, значення кроку вибирається автоматично. У графі **Number of Points** вказується кількість точок на інтервалі інтегрування. За замовчуванням установлюється 51 точка, але можна поставити таку кількість точок яка потрібна. Опція **Operating Point** указує на необхідність перед

розрахунком перехідних процесів виконати розрахунок режиму по постійному струмі, для лінійних схем у цьому немає необхідності. Опція **Operating Point Only** обчислює тільки режим по постійному струмі. У графі **P** можна вибирати чи всі графіки будуть зображенні разом, чи кожен буде окремо. У графі **X Expression** вказується **T** тобто по осі **X** відкладається час. У графі **Y Expression** вказуються імена аналогових і цифрових змінних. Приклади: $V(1)$ - потенціал вузла 1; $V(2,3)$ - різниця потенціалів між вузлами 2 і 3; $V_{BE}(VT1)$ - напруга база - емітер транзистора $VT1$; $I(V1)$ - струм через джерело сигналу $V1$; $I(V1)*V(V1)$ - миттєва потужність джерела сигналу $V1$; $CBC(Q1)$ - ємність переходу колектор-база-колектор транзистора $Q1$; $Q(C1)$ - заряд конденсатора $C1$; $FFT(V(6))$ - спектр напруги у вузлі 6 (при цьому по осі **X** потрібно відкладати частоту F); $D(QA)$ - логічний рівень сигналу в цифровому вузлі QA [14].

3.1.3. Аналіз частотних характеристик (АС)

За допомогою цього методу можна побудувати **амплітудо-частотної характеристики (АЧХ)** та **фазо-частотну характеристики (ФЧХ)**. Ще можна побудувати залежність комплексного коефіцієнта підсилення від частоти. Часто цей метод використовується для аналізу роботи фільтрів, підсилювачів. Для проведення частотного аналізу в принциповій схемі повинно бути хоч одне джерело з нульовою комплексною амплітудою [13]. Щоб перейти в **АС** аналіз треба скористатись командою **Analysis/АС** або натиснувши комбінацію клавіш **(Alt+2)**. Коли користувач переходить в **АС** аналіз, то програма перевіряє чи правильно побудована схема, після перевірки при відсутності помилок виконує підготовку до чисельного рішення рівнянь і відкриває вікно завдання параметрів **АС Analysis Limits** зображеного на рис. 3.2.

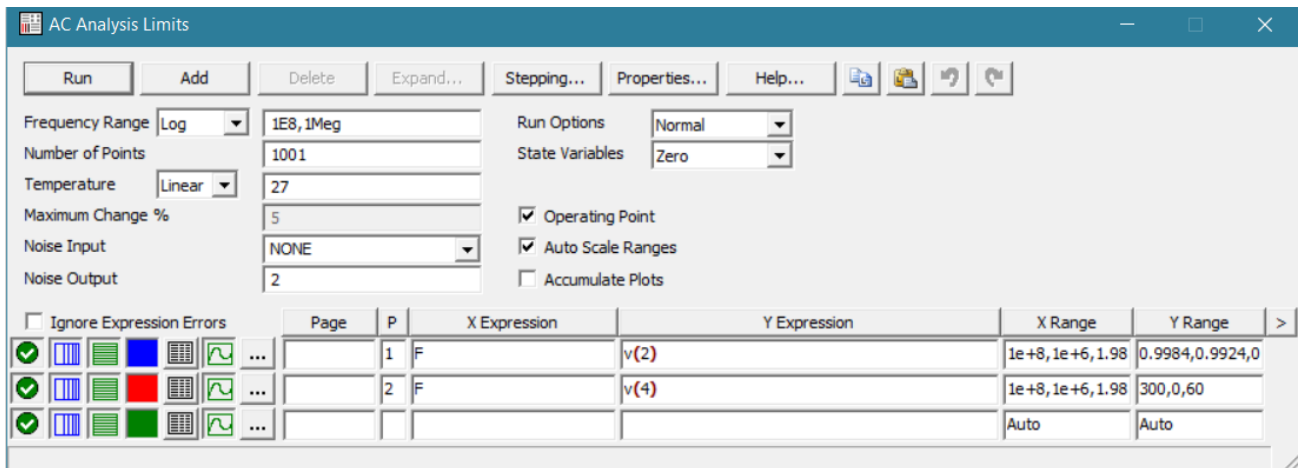


Рис. 3.2 Задання параметрів розрахунку в режимі АС

Frequency range поле визначає діапазон частот. Також можна вибрати в якому масштабі буде графік. **Number of Points** число точок графіку. За замовчуванням число точок дорівнює 51 так, як і в **Transient Analysis**. **Maximum change** за допомогою цього поля можна визначити межу зміни по частоті. Цей параметр можна використати для створення плавних кривих. **Noise Input** це поле використовується, для визначення найменування джерела вхідного шуму. **Noise Output** поле яке використовується, щоб визначити вузол, для якого розраховується шум виходу. У графах **X Expression**, **Y Expression** вказується все так само, як і в **Transient Analysis**. У графі **P** записується **F** тобто частота [14].

3.1.4. Аналіз передавальних функцій по постійному струму (DC)

Цей метод використовується для будовання вольтамперних характеристик. До входу ланцюга підключається один або два джерела постійного струму чи напруги. На виходах дивляться різницю вузлових потенціалів чи струм де увімкнений резистор. Коли виконується розрахунок програма будує схему заміщення де не вказує конденсатори і закорачує індуктивність потім розраховує по постійному струмі при значеннях вхідних сигналів[3]. Щоб перейти в **DC** аналіз треба скористатись командою

Analysis/DC або натиснувши комбінацію клавіш (**Alt+3**). Вікно завдання параметрів зображено на рис.3.3.

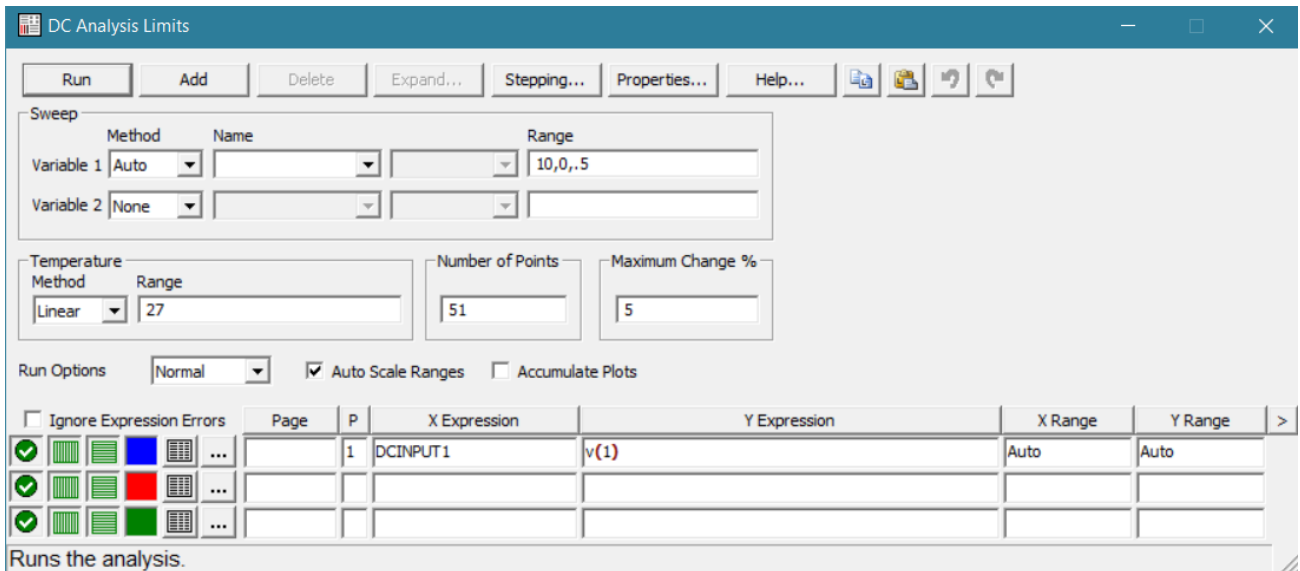


Рис. 3.3 Вікно завдання параметрів DC

У рядках **Variable1** та **Variable2** вказують — у стовпці **Method** вказують **Auto, Linear, Log, List** (авто, лінійна, логарифмічний, зміна по заданому списку) — у стовпці **Name** вказується ім'я змінної — у стовпці **Range** вказується верхня межа варіації, потім нижня межа і крок варіації. У розділі **Temperature** у стовпці **Method** вибирається вид варіації температури **Linear** або **List**. При виборі **List** у віконці стовпця **Range** перераховуються значення температури. При виборі **Linear** вказується верхній рівень, а потім можна вказати нижній рівень і крок варіації. Все інше таке саме, як і в попередніх аналізах [14].

3.1.5. Аналіз який розраховує режим по постійному струму (Dynamic DC)

Для того щоб перейти в **Dynamic DC** аналіз треба скористатись командою **Analysis/ Dynamic DC** або натиснувши комбінацію клавіш (**Alt+4**). Вікно завдання параметрів зображено на (рис.3.3).Коли використовують цей

метод напруга, струми компонентів і стан приладів виводиться на головний екран там де знаходиться схема, графіків для даного аналізу немає. При зміні схеми проводиться розрахунок і одразу показується результат. В цьому аналізі розраховуються які величини струмів і напруг завантажаться в схему і коли всі перехідні процеси закінчуються. Можливе підключення до схеми віртуальних вимірювальних приладів [13].

3.1.6. Аналіз розрахунку режиму по змінному струму (Dynamic AC)

Цей метод дозволяє розраховувати передатні функції при різних значеннях частот і зміні параметрів схеми. Цей аналіз аналогічний **Dynamic DC** за винятком того, що при зміні значень схеми в її вузлах відображаються малосигнальні коефіцієнти передачі по напрузі в децибелах по відношенню до вхідному вузлу. Ще може бути заданий ряд частот та температур. Для того щоб перейти в **Dynamic AC** аналіз треба скористатись командою **Analysis/ Dynamic AC** або натиснувши комбінацію клавіш (**Alt+5**). Вікно завантаження чи зміну умов аналізу. У графі **Frequency List** задаються значення частот для моделювання. Цей метод завжди використовує завантажений список дискретних частот, а не лінійних, логарифмічних частотних діапазонів. В графі **Temperature** записують температуру по якому виконується аналіз. В графі **Slider Percentage Step Size** зміна для кожного натиску клавіші, збільшення чи зменшення значення компонента. У графі **Complex Value Display** вибирають відображення комплексного числа за допомогою двох чисел. У графі **First Value** показується, що можна вибрати в першому числі. **Magnitude** - модуль комплексного числа. **Magnitude in db** - модуль комплексного числа в децибелах. **Real Part** - дійсну частину ком- комплексний числа. У графі **Second Value** вибирається, що відобразити другому числі. **Phase in Degrees** - фаза в градусах. **Phase in Radians** - фаза в радіанах. **Imaginary Part** – мінімальна частина. **None** - нічого не відображає [15].

3.1.7. Розрахунок малосигнальних передавальних функцій (**Transfer Function**)

За допомогою цього аналізу розраховують передатну функцію для вказаного виходу до входу джерела. Розраховуються такі параметри: коефіцієнт передачі по напрузі, по струму, передатну провідність та передатний опір за рахунок вхідного джерела та вихідного вираження. Для розрахунку передатних функцій програма дає маленький приріст величині струму чи напрузі вхідного джерела і вимірює змін вихідного вираження [13]. Щоб перейти в **Transfer Function** аналіз треба скористатись командою **Analysis/ Transfer Function** або натиснувши комбінацію клавіш (**Alt+7**).

3.1.8. Аналіз розрахунку нелінійних спотворень (**Harmonic Distortion**)

Один із різновидів перехідних процесів. Даний вид аналізу розраховується для однієї частоти синусоїдального сигналу вхідного джерела і вимірює результат спотворення за допомогою функцій спектрального аналізу. Якщо схема лінійна і до входу схеми прикладається синусоїдальний сигнал однієї частоти, то вихідний сигнал буде з такою самою частотою різниця може бути в амплітуді і фазі. Якщо схема нелінійна, то крім вхідної частоти будуть ще сигнали гармонік. Для того щоб виконався аналіз спотворень треба синусоїдальне джерело напруги чи струму увімкнути до входу схеми. Щоб перейти в **Harmonic Distortion** аналіз треба скористатись командою **Analysis/ Harmonic Distortion** або натиснувши комбінацію клавіш (**Alt+ 8**). Меню завдання параметрів в **Harmonic Distortion** зображено на рис. 3.4.

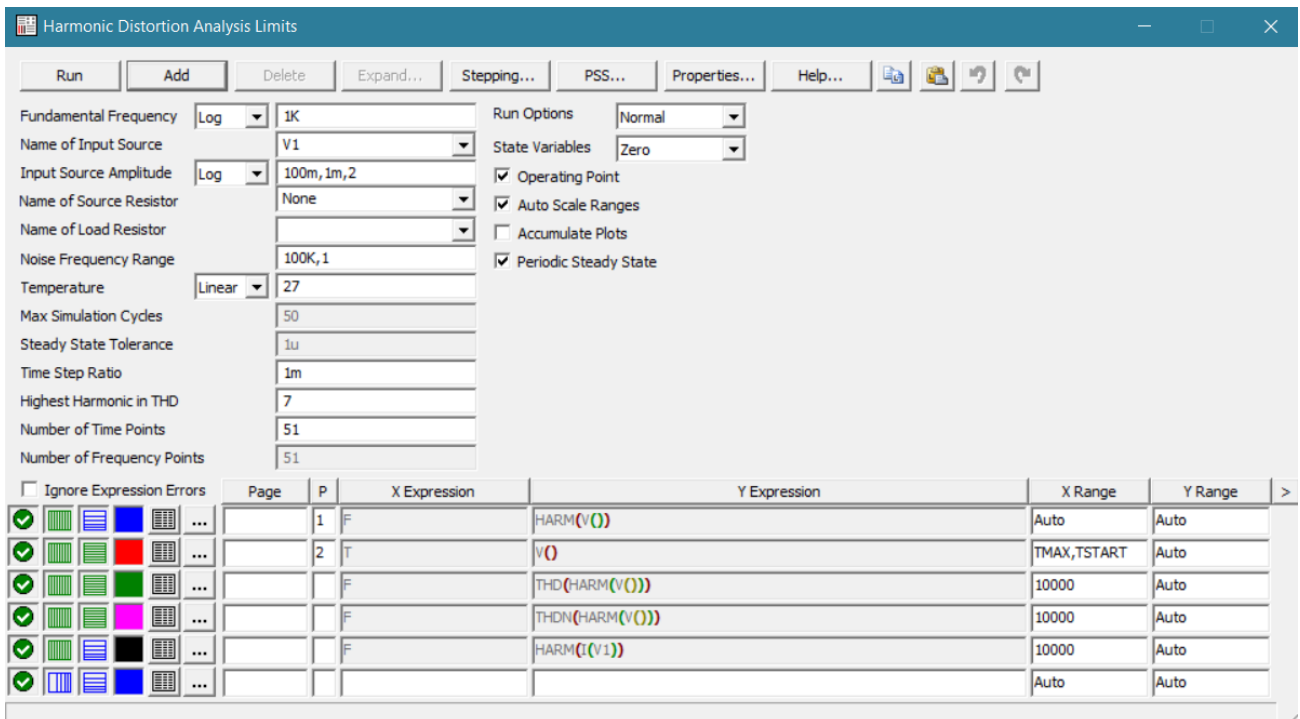


Рис. 3.4 Вікно завдання параметрів **Harmonic Distortion**

У графі **Fundamental Frequency** основна частота, яка використовується в аналізі. У графі **Input Source Name** ім'я вхідного джерела. У графі **Input Source Amplitude** амплітуда вхідного сигналу. Ще можна вибрати формати: **List**, **Linear**, **Log**. У графі **Output Expression** вихідне вираження для розрахунку спотворень. У графі **Temperature** робоча температура. У графі **Simulation Cycles** число періодів основної частоти. В результаті будується три графіки: **HARM(V(OUT))**, **THD(HARM(V(OUT))), 1000**, **V(OUT)**. **HARM(V(OUT))** – це графік амплітуд гармонік від частоти для вихідної напруги **V(OUT)**. **THD(HARM(V(OUT))), 1000** – це графік спотворень від частоти для вираження вихідної напруги **V(OUT)**. **V(OUT)** – це графік вихідної напруги від часу [15].

3.2. Завдання до виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитись з теоретичними відомостями і всіма видами аналізу програми **Micro-Cap**.
2. Побудувати принципову схему зображену на рис. 3.5.

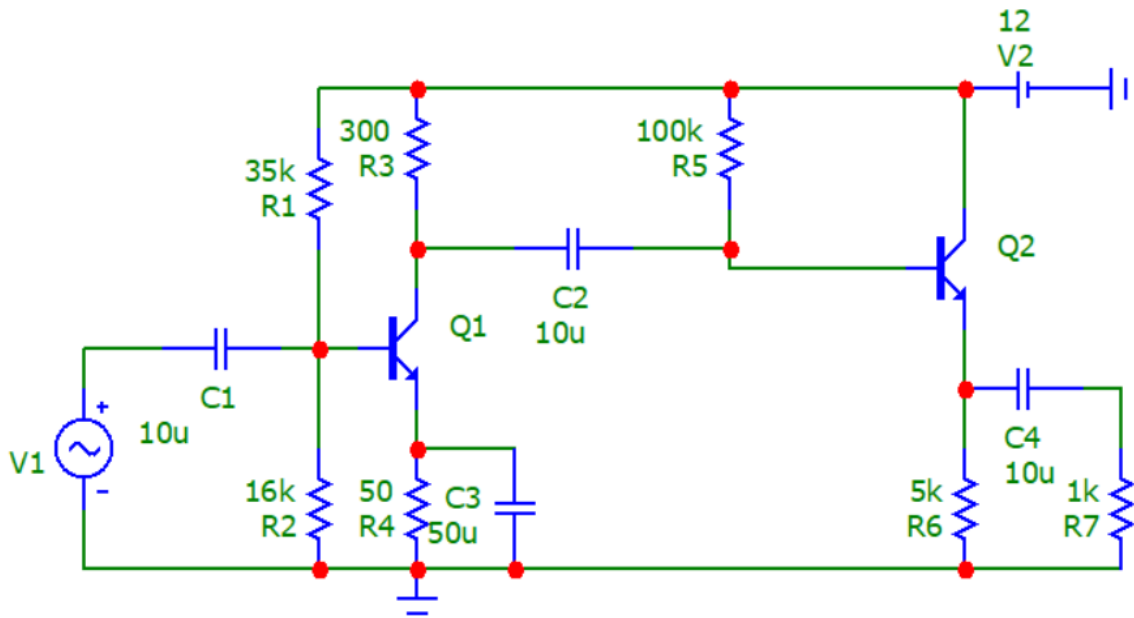


Рис. 3.5 Принципова схема

3. Використовуючи аналізи: аналіз перехідних процесів та аналіз частотних характеристик, побудувати графіки залежностей від часу та від частоти.

3.3. Контрольні питання

1. Які є види аналізу аналогових схем?
2. Transient Analysis. Що це за аналіз і для чого він потрібен?
3. Пояснити вікно задання параметрів Transient Analysis.
4. AC і DC. Що за аналізи і для чого потрібні?
5. Пояснити вікна задання параметрів AC і DC видів аналізів.
6. Що розраховують Dynamic DC та Dynamic AC аналізи?
7. Що розраховує Sensitivity аналіз?
8. Які параметри розраховуються в Transfer Function аналізі?
9. Harmonic Distortion. Що це за аналіз і для чого потрібен?
10. Пояснити вікна задання параметрів Harmonic Distortion.
11. Probe Transient, Probe AC, Probe DC. Що це за аналізи?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ПЕРЕХІДНА, ІНТЕГРУЮЧА ТА ДИФЕРЕНЦІЮЮЧА RC І RL –ЛАНКА

Мета роботи: Ознайомитися з перехідною, інтегруючою та диференціюючою RC і RL - ланками

4.1. Теоретичні відомості

4.1.1. RL – ланка

RL-ланка – це ланка, яка складається з резистора та котушки індуктивності. Якщо паралельно до виходу ланки увімкнена котушка індуктивності, то така ланка називається диференціюючою (рис. 4.1). Диференціююча RL ланка є фільтром верхніх частот. Струм через індуктивність стрибками змінюватись не може і тому напруга на резисторі не має стрибків [16]. Інтегруюча ланка – це ланка де до виходу увімкнений резистор (рис. 4.2).

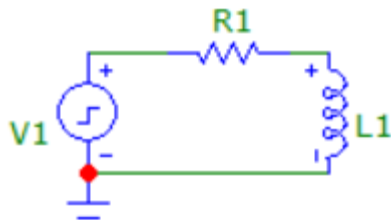


Рис. 4.1 Диференціююча RL-ланка

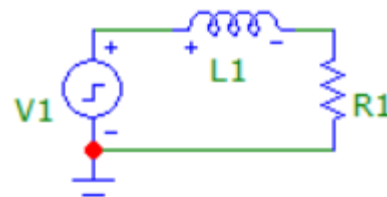


Рис. 4.2 Інтегруюча RL-ланка

4.1.2. RC – ланка

RC-ланка – це ланка, яка складається з резистора та конденсатора. Ця ланка може змінювати вхідну форму сигналів так, що вона не буде схожа на вихідну. Якщо паралельно до виходу увімкнути резистор, то така ланка в RC-ланці називається диференціюючою (рис. 4.3). Диференціююча ланка використовується в ланках синхронізації для отримання перемикаючих і вузьких прямокутних імпульсів. Якщо до виходу увімкнений конденсатор, то

така ланка називається інтегруючою (рис. 4.4). Інтегруючу ланку використовують в формуванні сигналів в радіо, в телебаченні, в комп'ютерах. [17].

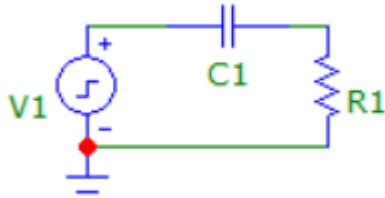


Рис. 4.3 Диференціююча RC-ланка

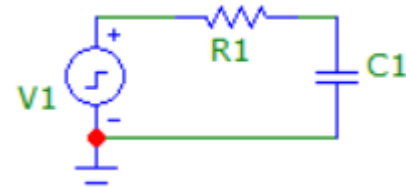


Рис. 4.4 Інтегруюча RC-ланка

Коли на вхід ланцюга подається імпульс відбувається зарядка і розрядка котушки індуктивності чи конденсатора. Це визначається постійною часу (τ). У диференціюючій ланці зарядка і розрядка конденсатора або котушки індуктивності відбувається дуже швидко і постійна часу набагато менша від тривалості імпульсу ($\tau \ll t_u$). У перехідній ланці зарядка котушки індуктивності чи конденсатора закінчується в момент закінчення вхідного процесу ($\tau = t_u$). У інтегруючій ланці конденсатор і котушка індуктивності не встигають зарядитися ($\tau \gg t_u$).

4.2. Завдання до виконання лабораторної роботи

1. Побудувати перехідну, інтегруючу, та диференціюючу RC- чи RL- ланки згідно з варіанту завдання.
2. Побудувати часові (Т) діаграми перехідної, інтегруючої та диференціюючої RC- чи RL-ланки використовуючи **Transient Analysis**.
3. Варіанти до індивідуальних завдань представлені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Варіанти індивідуальних завдань

№ варіанту	RC чи RL – ланки	Види ланок	Данні
1	2	3	4
1	RL	Інтегруюча	$V_1 = 10 \text{ В. } R_1 = 15 \text{ Ом. } L_1 = 1 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 10 \text{ В. } R_1 = 11 \text{ Ом. } L_1 = 2 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 10 \text{ В. } R_1 = 8 \text{ Ом. } L_1 = 1 \text{ мГн.}$
2	RC	Інтегруюча	$V_1 = 15 \text{ В. } R_1 = 15 \text{ Ом. } C_1 = 4 \text{ нФ.}$
		Диференціююча	$V_1 = 15 \text{ В. } R_1 = 5 \text{ кОм. } C_1 = 1 \text{ нФ.}$
		Перехідна	$V_1 = 15 \text{ В. } R_1 = 25 \text{ Ом. } C_1 = 7 \text{ нФ.}$
3	RC	Інтегруюча	$V_1 = 5 \text{ В. } R_1 = 5 \text{ кОм. } C_1 = 2 \text{ нФ.}$
		Диференціююча	$V_1 = 5 \text{ В. } R_1 = 20 \text{ Ом. } C_1 = 8 \text{ нФ.}$
		Перехідна	$V_1 = 5 \text{ В. } R_1 = 10 \text{ Ом. } C_1 = 6 \text{ нФ.}$
4	RL	Інтегруюча	$V_1 = 20 \text{ В. } R_1 = 15 \text{ кОм. } L_1 = 2 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 20 \text{ В. } R_1 = 5 \text{ Ом. } L_1 = 6 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 20 \text{ В. } R_1 = 20 \text{ Ом. } L_1 = 4 \text{ мГн.}$
5	RL	Інтегруюча	$V_1 = 10 \text{ В. } R_1 = 5 \text{ кОм. } L_1 = 7 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 10 \text{ В. } R_1 = 10 \text{ Ом. } L_1 = 2 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 10 \text{ В. } R_1 = 1 \text{ кОм. } L_1 = 5 \text{ мГн.}$
6	RC	Інтегруюча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 5 \text{ Ом. } C_1 = 1 \text{ нФ.}$
		Диференціююча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 20 \text{ кОм. } C_1 = 9 \text{ нФ.}$
		Перехідна	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 15 \text{ Ом. } C_1 = 6 \text{ нФ.}$
7	RC	Інтегруюча	$V_1 = 5 \text{ В. } R_1 = 5 \text{ Ом. } C_1 = 4 \text{ нФ.}$
		Диференціююча	$V_1 = 5 \text{ В. } R_1 = 15 \text{ Ом. } C_1 = 8 \text{ нФ.}$
		Перехідна	$V_1 = 5 \text{ В. } R_1 = 10 \text{ кОм. } C_1 = 6 \text{ нФ.}$
8	RL	Інтегруюча	$V_1 = 10 \text{ В. } R_1 = 5 \text{ кОм. } L_1 = 1 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 10 \text{ В. } R_1 = 15 \text{ Ом. } L_1 = 3 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 10 \text{ В. } R_1 = 2 \text{ кОм. } L_1 = 5 \text{ мГн.}$
9	RC	Інтегруюча	$V_1 = 15 \text{ В. } R_1 = 10 \text{ Ом. } C_1 = 1 \text{ нФ.}$
		Диференціююча	$V_1 = 15 \text{ В. } R_1 = 15 \text{ кОм. } C_1 = 7 \text{ нФ.}$
		Перехідна	$V_1 = 15 \text{ В. } R_1 = 1 \text{ кОм. } C_1 = 4 \text{ нФ.}$
10	RL	Інтегруюча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 5 \text{ кОм. } L_1 = 1 \text{ мГн.}$

1	2	3	4
		Диференціююча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 15 \text{ Ом. } L_1 = 5 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 2 \text{ кОм. } L_1 = 3 \text{ м Гн.}$
11	RL	Інтегруюча	$V_1 = 5 \text{ В. } R_1 = 5 \text{ Ом. } L_1 = 3 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 5 \text{ В. } R_1 = 1 \text{ кОм. } L_1 = 7 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 5 \text{ В. } R_1 = 20 \text{ Ом. } L_1 = 1 \text{ м Гн.}$
12	RC	Інтегруюча	$V_1 = 15 \text{ В. } R_1 = 10 \text{ кОм. } C_1 = 5 \text{ нФ.}$
		Диференціююча	$V_1 = 15 \text{ В. } R_1 = 15 \text{ Ом. } C_1 = 2 \text{ нФ.}$
		Перехідна	$V_1 = 15 \text{ В. } R_1 = 1 \text{ кОм. } C_1 = 4 \text{ нФ.}$
13	RL	Інтегруюча	$V_1 = 10 \text{ В. } R_1 = 5 \text{ кОм. } L_1 = 5 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 10 \text{ В. } R_1 = 1 \text{ Ом. } L_1 = 3 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 10 \text{ В. } R_1 = 10 \text{ Ом. } L_1 = 2 \text{ м Гн.}$
14	RC	Інтегруюча	$V_1 = 5 \text{ В. } R_1 = 10 \text{ кОм. } C_1 = 7 \text{ нФ.}$
		Диференціююча	$V_1 = 5 \text{ В. } R_1 = 20 \text{ Ом. } C_1 = 4 \text{ нФ.}$
		Перехідна	$V_1 = 5 \text{ В. } R_1 = 5 \text{ Ом. } C_1 = 2 \text{ нФ.}$
15	RL	Інтегруюча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 5 \text{ Ом. } L_1 = 3 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 1 \text{ кОм. } L_1 = 6 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 20 \text{ Ом. } L_1 = 1 \text{ м Гн.}$
16	RL	Інтегруюча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 10 \text{ Ом. } L_1 = 3 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 1 \text{ кОм. } L_1 = 4 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 25 \text{ Ом. } L_1 = 2 \text{ м Гн.}$
17	RL	Інтегруюча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 10 \text{ Ом. } L_1 = 3 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 1 \text{ кОм. } L_1 = 6 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 20 \text{ Ом. } L_1 = 1 \text{ м Гн.}$
18	RL	Інтегруюча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 15 \text{ Ом. } L_1 = 3 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 1 \text{ кОм. } L_1 = 5 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 1 \text{ кОм. } L_1 = 1 \text{ м Гн.}$
19	RL	Інтегруюча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 10 \text{ Ом. } L_1 = 4 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 1.5 \text{ кОм. } L_1 = 3 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 20 \text{ Ом. } L_1 = 1 \text{ м Гн.}$
20	RL	Інтегруюча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 5 \text{ кОм. } L_1 = 6 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 1 \text{ кОм. } L_1 = 2 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 2 \text{ кОм. } L_1 = 4 \text{ м Гн.}$

1	2	3	4
21	RL	Інтегруюча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 5 \text{ Ом. } L_1 = 1 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 1 \text{ кОм. } L_1 = 6 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 15 \text{ Ом. } L_1 = 1 \text{ м Гн.}$
22	RL	Інтегруюча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 3 \text{ кОм. } L_1 = 3 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 2 \text{ кОм. } L_1 = 6 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 10 \text{ Ом. } L_1 = 2 \text{ м Гн.}$
23	RL	Інтегруюча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 2 \text{ кОм. } L_1 = 6 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 3 \text{ кОм. } L_1 = 9 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 25 \text{ Ом. } L_1 = 1 \text{ м Гн.}$
24	RL	Інтегруюча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 15 \text{ Ом. } L_1 = 3 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 1 \text{ кОм. } L_1 = 6 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 3 \text{ кОм. } L_1 = 8 \text{ м Гн.}$
25	RL	Інтегруюча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 10 \text{ Ом. } L_1 = 1 \text{ мГн.}$
		Диференціююча	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 2 \text{ кОм. } L_1 = 8 \text{ мГн.}$
		Перехідна	$V_1 = 25 \text{ В. } R_1 = 20 \text{ Ом. } L_1 = 3 \text{ м Гн.}$

4.3. Контрольні питання

1. Пояснити, що таке RL-ланка.
2. Пояснити, що таке RC-ланка.
3. Намалювати і пояснити диференціюючу RC-ланку.
4. Намалювати і пояснити інтегруючу RC-ланку.
5. Намалювати і пояснити диференціюючу RL-ланку.
6. Намалювати і пояснити інтегруючу RL-ланку.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

СХЕМИ НА ТРАНЗИСТОРАХ

Мета роботи: Ознайомитись з одним із видів транзисторів. Вивчити принцип роботи, характеристики та схеми включення біполярного транзистора.

5.1. Теоретичні відомості

Додаючи до діоду третій шар напівпровідника, утворюється прилад, який може підсилювати потужність або напругу. Транзистор чи біполярний транзистор – прилад, в якому струм в ланцюзі двох електродів управляється третім електродом. Вигляд транзистора зображено на рис. 5.1 та рис.5.2 [17].

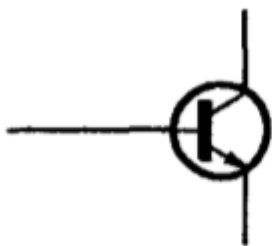


Схема позначення n-p-n транзистора

Рис. 5.1 n-p-n транзистор [17]

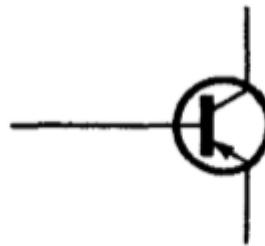


Схема позначення p-n-p транзистора

Рис. 5.2 p-n-p транзистор [17]

На рис. 5.1 та рис. 5.2 матеріал p-типу міститься між двома шарами матеріалів n-типу, таким чином утворюється n-p-n транзистор. Так само, якщо матеріал n-типу міститься між двома шарами матеріалів p-типу утворюється p-n-p транзистор. Тип провідності зовнішніх шарів n-p-n транзисторів однаковий, але розміри і щільність носіїв різні. Тому верхній шар називають емітер, середній називають базою, а нижній – колектором. В p-n-p транзисторах всі

шари так само називаються відмінність тільки в тому, що тип провідності шарів протилежний, отже всі напруги і струми мають протилежний знак [18].

Існують три схеми підключення біполярного транзистора: із спільним емітером (СЕ), із спільним колектором (СК) та спільною базою (СБ).

В схемі із ЗЕ зображеного на рис. 5.3 при підсиленні вхідної напруги відбувається поворот фази вихідної напруги на півперіод, тому додатній приріст вхідної напруги показує від'ємний приріст вихідної і навпаки [19]. ЗЕ схема посилює напругу і струм найбільше, тому такий вид схеми використовують часто. Емітер-база увімкнена прямо, а база-колектор увімкнена назад. Так, як на емітер та базу подають напругу одного знаку, то можна схему живити одним джерелом. Така схема має один недолік. При зростанні температури та частоти погіршуються властивості підсилення транзистора, тому при високих частотах краще використовувати інші види схем [20].

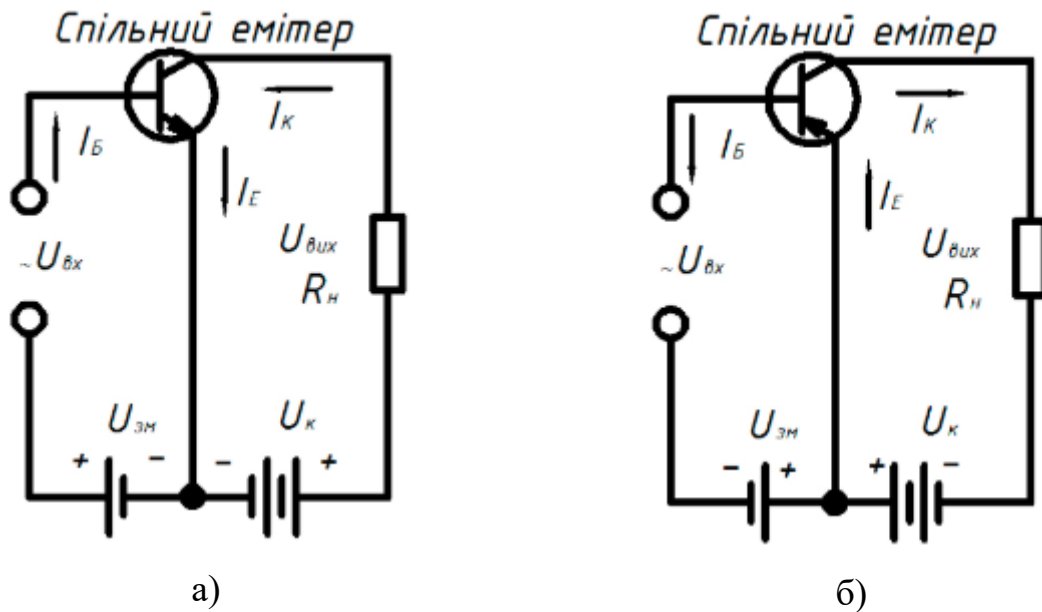


Рис. 5.3 Схема із спільним емітером. а) Підключення n-p-n транзистора. б) Підключення p-n-p транзистора [19].

В схемі ЗК, яка зображена на рис. 5.4 вхідна напруга йде через базу, джерело живлення та опір через емітер. Струм бази є вхідним, а струм емітера –

вихідним [19]. В схемі з СК підсилення майже таке саме, як і в схемі з СЕ, тільки підсилення по напрузі маленьке. Маленьке підсилення по напрузі є недоліком цієї схеми. Так, як коефіцієнт підсилення майже дорівнює одиниці фаза і амплітуда вихідної напруги збігається з вхідною. Емітерним повторювачем називають таку схему із-за того, що вихідна напруга збігається з вхідною. З емітера вихідна напруга знімається загальним проводом. Зазвичай схему з СК використовують коли є великий вхідний опір [20].

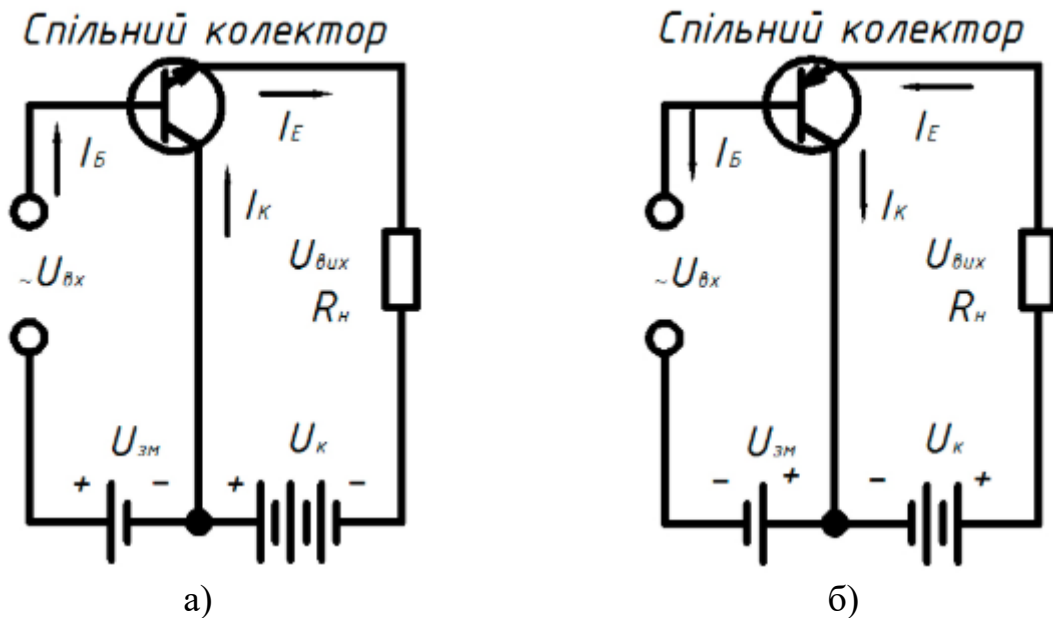


Рис.5.4 Схема із спільним колектором. а) Підключення n-p-n транзистора. б) Підключення p-n-p транзистора [19].

Схема з СБ зображена на рис. 5.5. При збільшенні напруги на вході збільшується струм і напруга в емітері та колекторі, також збільшується вихідний струм, який буде набагато більше вхідного. Схема з СБ не дає такого підсилення, як схема з СЕ, але цю схему можна використовувати при високих частотах і схема з СБ не має такого недоліку при високих частотах, як схема з ЗЕ. Так, як емітерний перехід увімкнений у прямому напрямку вхідний опір малий, а колектор увімкнений в зворотному напрямку, тому опір на виході буде високим. Малий вхідний опір є єдиним недоліком цієї схеми і звужує застосування схеми зі СБ у підсилювачах. Так, як вхідний сигнал проходить

через струм емітера, то підсилення по струму не буде. Підсилення буде відбуватись по напрузі та за потужністю, яка досягає кілька сотень.

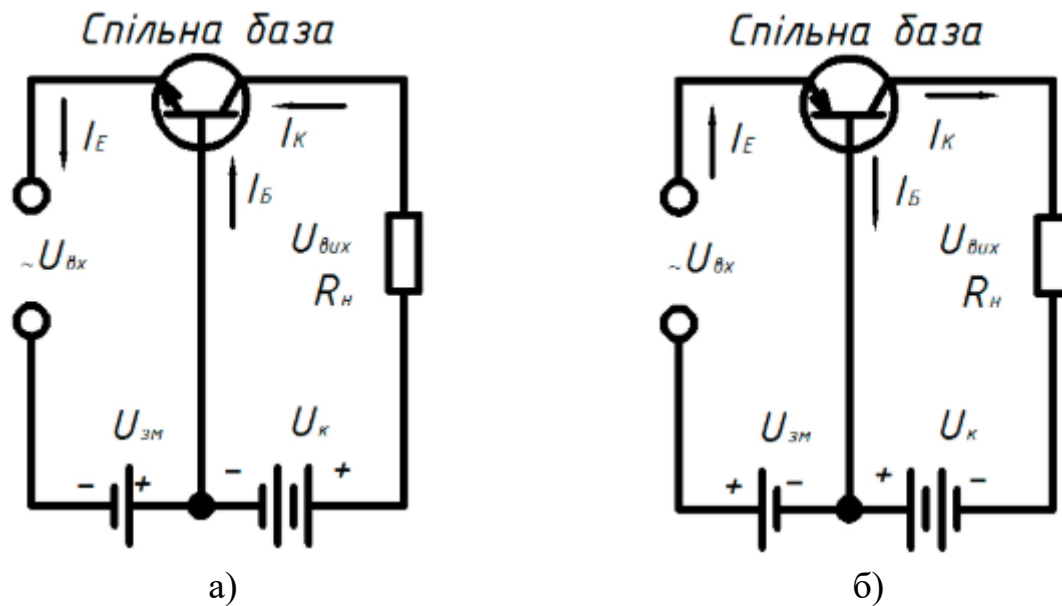


Рис.5.5 Схеми із спільною базою. а) Підключення n-p-n транзистора. б) Підключення p-n-p транзистора [19].

5.2. Завдання до виконання лабораторної роботи

1. Побудувати принципові схеми підсилювача з СЕ, СК, СБ транзистором згідно з варіантом завдань.
2. Побудувати часові діаграми принципівих схем відповідно за допомогою програми **Micro-Cap 12**.
3. Варіанти до індивідуальних завдань зображено на табл. 5.1

Таблиця 5.1

Варіанти індивідуальних завдань

№ варіанту	Тип підключення	Данні. V – синусоїдальний сигнал. R – резистор навантаження. Q – модель транзистора.
1	2	3
1	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 3 \text{ кОм}$. $Q = \text{BC847C}$.
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 3 \text{ кОм}$. $Q = \text{BC847C}$.

1	2	3
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
2	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 4 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
3	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
4	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
5	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 4.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
6	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 6 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 8 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
7	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
8	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 4 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
9	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
10	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 4 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$

1	2	3
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
11	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
12	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 7 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 4.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
13	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
14	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
15	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 4 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
16	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
17	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
18	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$

1	2	3
19	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 6 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 4.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
20	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
21	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
22	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 4 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
23	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 6 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 4.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
24	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
25	із спільним емітером	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільним колектором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$
	із спільною базою	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1.5 \text{ kОм. } Q = \text{BC847C.}$

4. Зробити висновки по роботі.

5.3. Контрольні питання

1. Що таке біполярний транзистор? Пояснити принцип роботи.
2. Що таке n-p-n транзистор?

3. Що таке р-п-р транзистор?
4. Чим п-р-п транзистор відрізняється від р-п-р транзистора?
5. Які є схеми включення транзистора?
6. Намалювати та пояснити схему із загальним емітером.
7. Намалювати та пояснити схему із загальним колектором.
8. Намалювати та пояснити схему із загальною базою.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

СХЕМИ НА ТРАНЗИСТОРАХ (ПРОДОВЖЕННЯ)

Мета роботи: Ознайомитись з одним із видів транзисторів. Вивчити принцип роботи, характеристики та схеми включення польового транзистора.

6.1. Теоретичні відомості

Польовий транзистор або уніполярний – це прилад, який має три виводи, де за допомогою напругою електричного поля керують вихідним струмом. Відмінність польового транзистора від біполярного полягає в тому, що в польовому транзисторі вихідний струм керується за допомогою електричного, а в біполярному транзисторі вихідний струм керується вхідним. Уніполярним називають польовий транзистор в тому, що при протіканні струму бере участь один вид носіїв заряду [21]. Є два види польових транзисторів: транзистор з керуючим переходом і транзистор з ізольованим затвором. Польові транзистори мають три електрода так, як і біполярні транзистори, але називаються вони по іншому. Витік – джерело носія струму, затвор – вивід польового транзистора та стік – електрод в який стікають носії [22]. Польовий транзистор зображений на рис. 6.1.

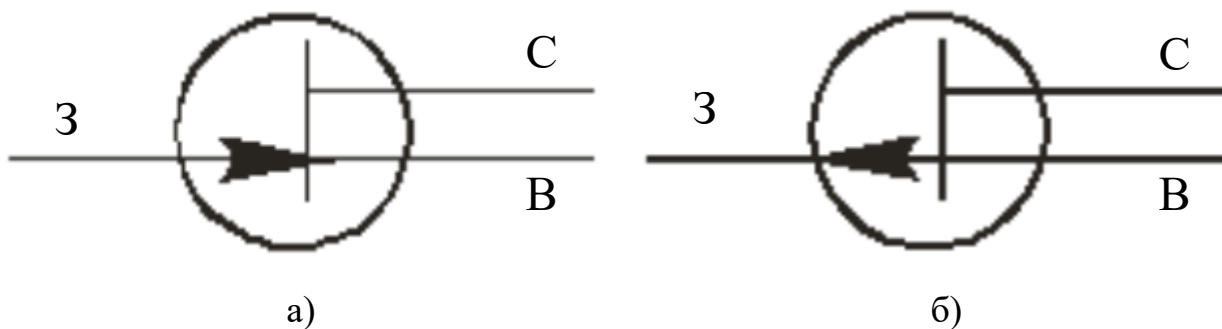


Рис. 6.1 а) польовий транзистор n – типу. б) польовий транзистор p – типу [24].

Схеми включення польового транзистора розділяються на три типи так, як і у біполярного транзистора. Із спільним витоком (СВ). Ця схема дає велике підсилення вхідного сигналу, тому використовується найчастіше. Із спільним затвором (СЗ). В цій схемі пропускання набагато більше ніж в інших схемах, тому схему з спільним затвором використовують при високочастотних підсилювачах. Із спільним стоком (СС). В цій схемі вхідні та вихідні сигнали однакові по фазі і підсилення невелике, тому використовують схему з загальним стоком в приладах узгодження [23]. Схеми з СВ, СС та СЗ зображено на рис. 6.2.

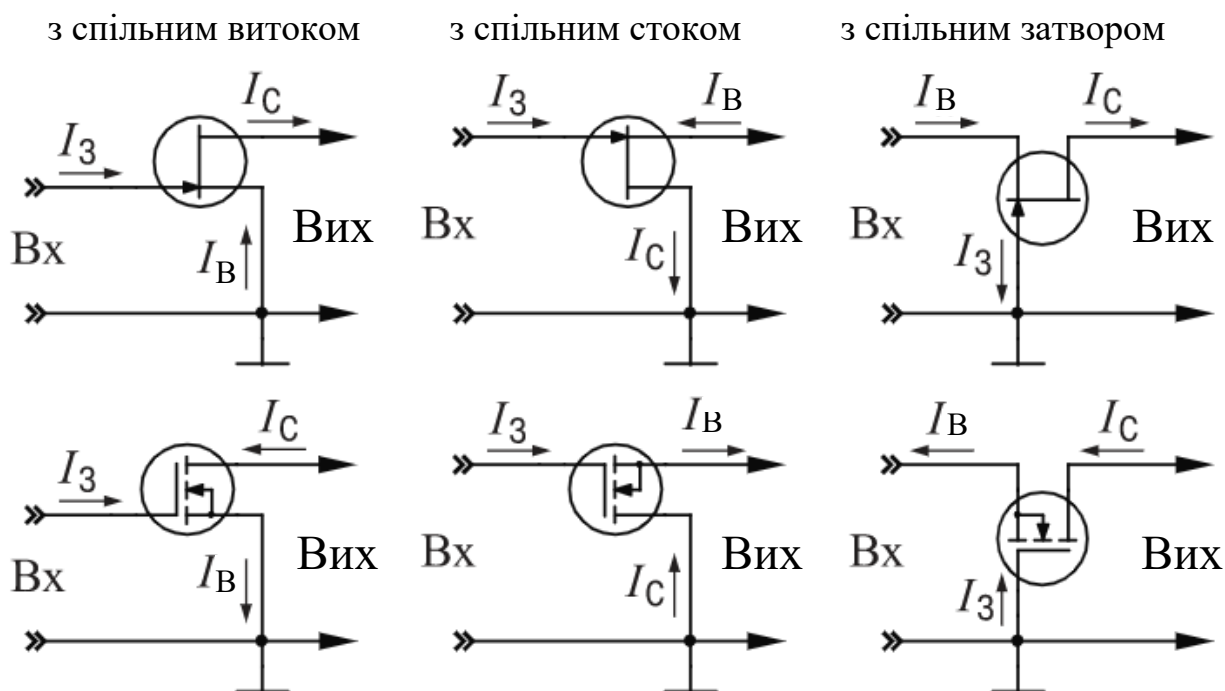


Рис. 6.2 Схеми підключення польових транзисторів [25]

6.1.1. Переваги та недоліки польових транзисторів

Переваги:

1. Принцип роботи польового транзистора полягає в управлінні електричним полем, яке з'являється при подачі напруги, тобто транзистор

керується напругою, тому перевагою польового транзистора є великий вхідний опір [24].

2. Другою перевагою є те, що в польових транзисторах йде зниження спотворень сигналу, втрати управління за рахунок того, що польовий транзистор майже не потребує струму керування [24].
3. Якщо порівнювати з біполярним транзистором, то польові транзистори будуть краще при середніх частотах.
4. Мала кількість шумів в польовому транзисторі так, як в них немає процесу інжекції, тобто підвищення концентрації носіїв заряду, це є тільки в біполярних транзисторах [24].
5. Висока стабільність при зміні температури.
6. Споживання потужності досить мале.

Недоліки:

1. Більш низька температура руйнування.
2. Енергія живлення починає збільшуватися при частоті 1.5 ГГц [26].
3. Польовий транзистор чутливий до статичної електрики і це є його головним недоліком.

6.2. Завдання до виконання лабораторної роботи

5. Побудувати принципові схеми підсилювача з СВ, СЗ, СС транзистором згідно з варіантом завдань.
6. Побудувати часові діаграми принципівих схем відповідно за допомогою програми **Micro-Cap 12**.
7. Варіанти до індивідуальних завдань зображено на табл. 6.1

Таблиця 6.1

Варіанти індивідуальних завдань

№ варіанту	Тип підключення	Данні. V – синусоїдальний сигнал. R – резистор навантаження. Q – модель транзистора.
1	2	3
1	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 3 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 3 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 1 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
2	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 1.5 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 5 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 4 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
3	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 2 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 1 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 2.5 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
4	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 1 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 3.5 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 5 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
5	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 2 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 4.5 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 1 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
6	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 6 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 2 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 8 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
7	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 1 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 5.5 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 3 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.
8	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 1 \text{ kOm}$. $Q = \text{DMN601K}$.

1	2	3
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 4 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1.5 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
9	із спільним виотоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2.5 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K}$
10	із спільним виотоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 4 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
11	із спільним виотоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2.5 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3.5 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
12	із спільним виотоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2.5 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 7 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
13	із спільним виотоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 4.5 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
14	із спільним виотоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3.5 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
15	із спільним виотоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1.5 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2.5 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 4 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
16	із спільним виотоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5.5 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kOm. } Q = \text{DMN601K.}$

1	2	3
17	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1.5 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
18	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3.5 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
19	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 6 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
20	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 4.5 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3.5 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
21	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1.5 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 3 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
22	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2.5 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
23	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 4 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1.5 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 6 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
24	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 4.5 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 2 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
25	із спільним витоком	$V = 60 \text{ HZ. } R = 1 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$
	із спільним затвором	$V = 60 \text{ HZ. } R = 5 \text{ kОм. } Q = \text{DMN601K.}$

1	2	3
	із спільним стоком	$V = 60 \text{ HZ}$. $R = 2.5 \text{ k}\Omega$. $Q = \text{DMN601K}$.

6.3. Контрольні питання

1. Що таке польовий транзистор?
2. Які є види польових транзисторів?
3. Які є схеми включення польових транзисторів?
4. Намалювати та пояснити схему з загальним витоком.
5. Намалювати та пояснити схему з загальним стоком.
6. Намалювати та пояснити схему з загальним затвором.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ

Мета роботи: Ознайомитись з операційним підсилювачем. Вивчити принцип роботи, характеристики та розібратися зі схемою операційного підсилювача.

7.1. Теоретичні відомості

Операційний підсилювач (ОП) – це прилад, для підсилення напруги і струму маючи достатньо великий коефіцієнт підсилення, низький вихідний опір, великий вхідний опір та низький рівень шумів. ОП зазвичай має два входи і один вихід і виготовляється у вигляді мікросхеми [27]. ОП зображено на рис.7.1.

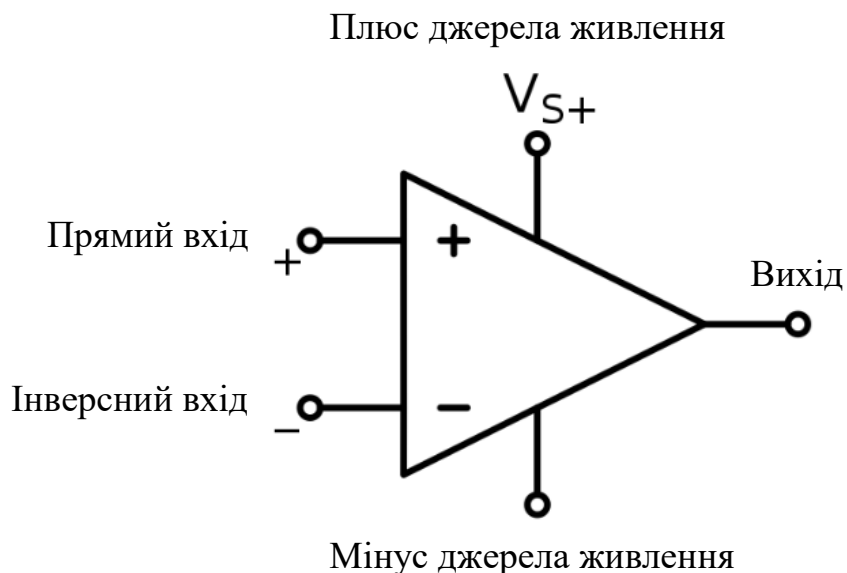


Рис.7.1 Операційний підсилювач [28]

У ОП є два входи: прямий (неінверсний) та інверсний, ці входи називають диференціальним. Із-за того, що входи ОП диференціальні, вихідна напруга залежить від різниці напруг в цих входів і підсилюється на виході ОП різниця напруг прямого і інверсного входів [29]. На рис.7.2 зображено схему неінверсного підсилювача. На прямий вхід ОП подається вхідний сигнал, а на

інверсний вхід подається сигнал з виходу через розподілювач на резисторах R_1 та R_2 . За допомогою R_1 та R_2 можна задавати коефіцієнт підсилення схеми [30].

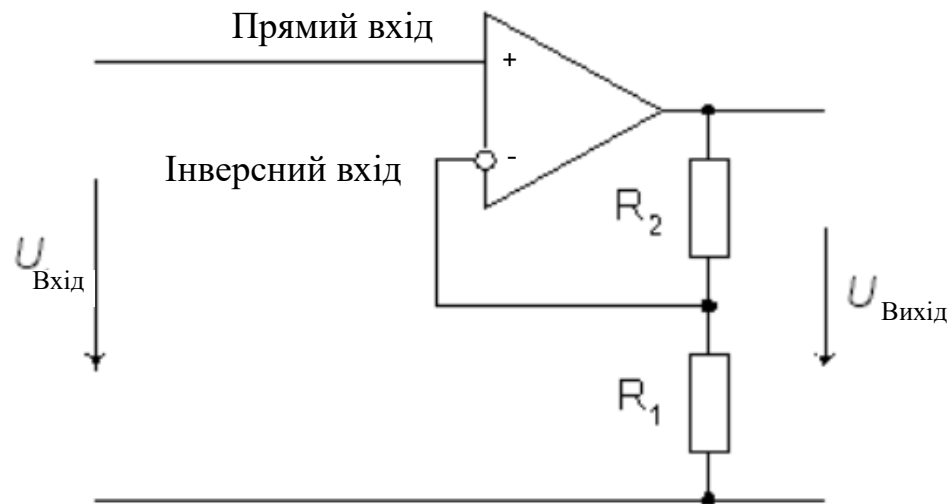


Рис.7.2 Схема неінверсного підсилювача [30]

На рис.7.3 зображено схему ОП інверсного включення. Прямий вхід ОП в такій схемі заземлений і різниця напруг між входами ОП дорівнює нулю. Через це при інверсному включенні вихідна напруга знаходиться в протифазі до вхідної, тому коефіцієнт підсилення залежить від співвідношення опорів резисторів R_1 та R_2 [31].

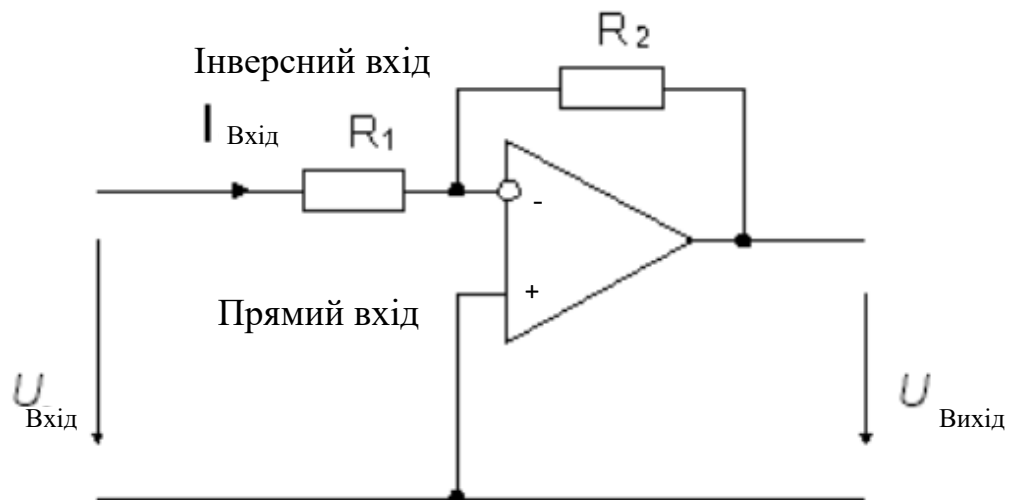


Рис.7.3 Схема інверсного підсилювача [30]

На рис.7.4 зображено ОП із схемою диференційного підключення. Така схема дає підсилення з кожного диференційного входу і в такому випадку вихідна напруга буде дорівнювати різниці напруг між вхідними сигналами [31].

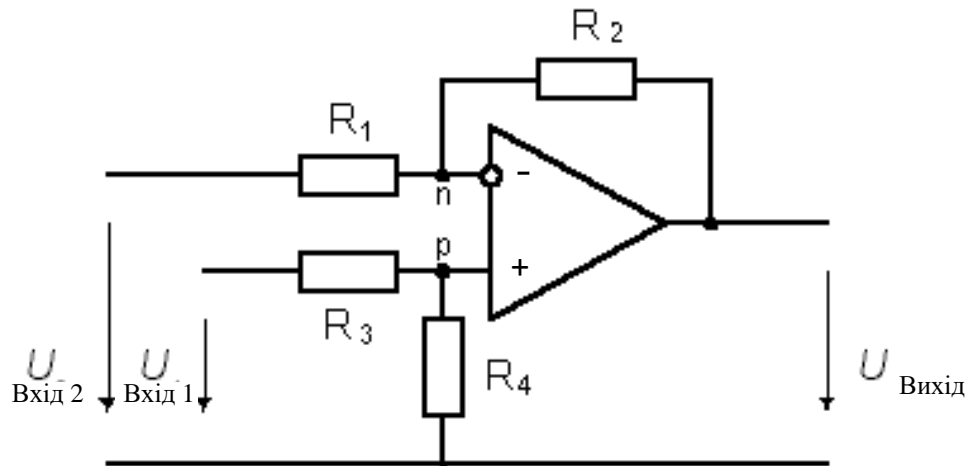


Рис.7.3 Схема диференційного підсилювача [30]

7.2. Завдання до виконання лабораторної роботи

1. Побудувати принципову схему інверсного підсилювача, побудувати часові діаграми інверсного підсилювача, зняти залежність коефіцієнта підсилення напруги від зворотного зв'язку та розрахувати його. Порівняти значення коефіцієнта підсилення.
2. Побудувати принципову схему неінверсного (прямого) підсилювача, побудувати часові діаграми інверсного підсилювача, зняти залежність коефіцієнта підсилення напруги від зворотного зв'язку та розрахувати його. Порівняти значення коефіцієнта підсилення.
3. Варіанти до індивідуальних завдань зображено на табл. 7.1

Таблиця 7.1

Варіанти індивідуальних завдань

№ варіанту	Вид схеми ОП	Данні. V1– синусоїдальний (вхідний) сигнал, V2– джерело живлення, R1 та R2 – резистори.
1	2	3
1	Інверсний	$V1 = 1 \text{ мВ}$. $V2 = 10 \text{ В}$, $R1 = 5 \text{ кОм}$, $R2 = 10 \text{ кОм}$.
	Неінверсний	$V1 = 2 \text{ мВ}$. $V2 = 12 \text{ В}$, $R1 = 5 \text{ кОм}$, $R2 = 20 \text{ кОм}$.
2	Інверсний	$V1 = 4 \text{ мВ}$. $V2 = 20 \text{ В}$, $R1 = 2 \text{ кОм}$, $R2 = 18 \text{ кОм}$.
	Неінверсний	$V1 = 7 \text{ мВ}$. $V2 = 15 \text{ В}$, $R1 = 4 \text{ кОм}$, $R2 = 12 \text{ кОм}$.
3	Інверсний	$V1 = 3 \text{ мВ}$. $V2 = 20 \text{ В}$, $R1 = 3 \text{ кОм}$, $R2 = 18 \text{ кОм}$.
	Неінверсний	$V1 = 5 \text{ мВ}$. $V2 = 20 \text{ В}$, $R1 = 2 \text{ кОм}$, $R2 = 20 \text{ кОм}$.
4	Інверсний	$V1 = 1 \text{ мВ}$. $V2 = 15 \text{ В}$, $R1 = 4 \text{ кОм}$, $R2 = 24 \text{ кОм}$.
	Неінверсний	$V1 = 3 \text{ мВ}$. $V2 = 25 \text{ В}$, $R1 = 2 \text{ кОм}$, $R2 = 12 \text{ кОм}$.
5	Інверсний	$V1 = 1 \text{ мВ}$. $V2 = 10 \text{ В}$, $R1 = 5 \text{ кОм}$, $R2 = 20 \text{ кОм}$.
	Неінверсний	$V1 = 1 \text{ мВ}$. $V2 = 15 \text{ В}$, $R1 = 3 \text{ кОм}$, $R2 = 15 \text{ кОм}$.
6	Інверсний	$V1 = 3 \text{ мВ}$. $V2 = 30 \text{ В}$, $R1 = 2 \text{ кОм}$, $R2 = 26 \text{ кОм}$.
	Неінверсний	$V1 = 3 \text{ мВ}$. $V2 = 20 \text{ В}$, $R1 = 1 \text{ кОм}$, $R2 = 15 \text{ кОм}$.
7	Інверсний	$V1 = 7 \text{ мВ}$. $V2 = 15 \text{ В}$, $R1 = 4 \text{ кОм}$, $R2 = 20 \text{ кОм}$.
	Неінверсний	$V1 = 2 \text{ мВ}$. $V2 = 20 \text{ В}$, $R1 = 5 \text{ кОм}$, $R2 = 25 \text{ кОм}$.
8	Інверсний	$V1 = 2 \text{ мВ}$. $V2 = 25 \text{ В}$, $R1 = 5 \text{ кОм}$, $R2 = 10 \text{ кОм}$.
	Неінверсний	$V1 = 4 \text{ мВ}$. $V2 = 10 \text{ В}$, $R1 = 3 \text{ кОм}$, $R2 = 15 \text{ кОм}$.
9	Інверсний	$V1 = 3 \text{ мВ}$. $V2 = 15 \text{ В}$, $R1 = 4 \text{ кОм}$, $R2 = 24 \text{ кОм}$.
	Неінверсний	$V1 = 2 \text{ мВ}$. $V2 = 20 \text{ В}$, $R1 = 3 \text{ кОм}$, $R2 = 10 \text{ кОм}$.
10	Інверсний	$V1 = 2 \text{ мВ}$. $V2 = 30 \text{ В}$, $R1 = 5 \text{ кОм}$, $R2 = 25 \text{ кОм}$.
	Неінверсний	$V1 = 4 \text{ мВ}$. $V2 = 20 \text{ В}$, $R1 = 2 \text{ кОм}$, $R2 = 18 \text{ кОм}$.
11	Інверсний	$V1 = 1 \text{ мВ}$. $V2 = 10 \text{ В}$, $R1 = 5 \text{ кОм}$, $R2 = 15 \text{ кОм}$.
	Неінверсний	$V1 = 3 \text{ мВ}$. $V2 = 15 \text{ В}$, $R1 = 4 \text{ кОм}$, $R2 = 28 \text{ кОм}$.
12	Інверсний	$V1 = 4 \text{ мВ}$. $V2 = 28 \text{ В}$, $R1 = 2 \text{ кОм}$, $R2 = 10 \text{ кОм}$.
	Неінверсний	$V1 = 1 \text{ мВ}$. $V2 = 15 \text{ В}$, $R1 = 4 \text{ кОм}$, $R2 = 10 \text{ кОм}$.
13	Інверсний	$V1 = 4 \text{ мВ}$. $V2 = 22 \text{ В}$, $R1 = 1 \text{ кОм}$, $R2 = 14 \text{ кОм}$.
	Неінверсний	$V1 = 2 \text{ мВ}$. $V2 = 16 \text{ В}$, $R1 = 3 \text{ кОм}$, $R2 = 18 \text{ кОм}$.

1	2	3
14	Інверсний	$V_1 = 2 \text{ мВ. } V_2 = 20 \text{ В, } R_1 = 5 \text{ кОм, } R_2 = 15 \text{ кОм.}$
	Неінверсний	$V_1 = 2 \text{ мВ. } V_2 = 16 \text{ В, } R_1 = 3 \text{ кОм, } R_2 = 18 \text{ кОм.}$
15	Інверсний	$V_1 = 3 \text{ мВ. } V_2 = 24 \text{ В, } R_1 = 1 \text{ кОм, } R_2 = 10 \text{ кОм.}$
	Неінверсний	$V_1 = 1 \text{ мВ. } V_2 = 10 \text{ В, } R_1 = 3 \text{ кОм, } R_2 = 15 \text{ кОм.}$
16	Інверсний	$V_1 = 2 \text{ мВ. } V_2 = 20 \text{ В, } R_1 = 1 \text{ кОм, } R_2 = 15 \text{ кОм.}$
	Неінверсний	$V_1 = 5 \text{ мВ. } V_2 = 25 \text{ В, } R_1 = 2 \text{ кОм, } R_2 = 18 \text{ кОм.}$
17	Інверсний	$V_1 = 1 \text{ мВ. } V_2 = 10 \text{ В, } R_1 = 4 \text{ кОм, } R_2 = 20 \text{ кОм.}$
	Неінверсний	$V_1 = 1 \text{ мВ. } V_2 = 15 \text{ В, } R_1 = 1 \text{ кОм, } R_2 = 13 \text{ кОм.}$
18	Інверсний	$V_1 = 2 \text{ мВ. } V_2 = 25 \text{ В, } R_1 = 4 \text{ кОм, } R_2 = 20 \text{ кОм.}$
	Неінверсний	$V_1 = 3 \text{ мВ. } V_2 = 15 \text{ В, } R_1 = 3 \text{ кОм, } R_2 = 21 \text{ кОм.}$
19	Інверсний	$V_1 = 2 \text{ мВ. } V_2 = 10 \text{ В, } R_1 = 2 \text{ кОм, } R_2 = 20 \text{ кОм.}$
	Неінверсний	$V_1 = 1 \text{ мВ. } V_2 = 15 \text{ В, } R_1 = 3 \text{ кОм, } R_2 = 15 \text{ кОм.}$
20	Інверсний	$V_1 = 1 \text{ мВ. } V_2 = 15 \text{ В, } R_1 = 4 \text{ кОм, } R_2 = 10 \text{ кОм.}$
	Неінверсний	$V_1 = 1 \text{ мВ. } V_2 = 20 \text{ В, } R_1 = 3 \text{ кОм, } R_2 = 10 \text{ кОм.}$
21	Інверсний	$V_1 = 4 \text{ мВ. } V_2 = 15 \text{ В, } R_1 = 3 \text{ кОм, } R_2 = 10 \text{ кОм.}$
	Неінверсний	$V_1 = 1 \text{ мВ. } V_2 = 20 \text{ В, } R_1 = 3 \text{ кОм, } R_2 = 150 \text{ кОм.}$
22	Інверсний	$V_1 = 2 \text{ мВ. } V_2 = 15 \text{ В, } R_1 = 2 \text{ кОм, } R_2 = 10 \text{ кОм.}$
	Неінверсний	$V_1 = 3 \text{ мВ. } V_2 = 15 \text{ В, } R_1 = 5 \text{ кОм, } R_2 = 10 \text{ кОм.}$
23	Інверсний	$V_1 = 4 \text{ мВ. } V_2 = 20 \text{ В, } R_1 = 3 \text{ кОм, } R_2 = 10 \text{ кОм.}$
	Неінверсний	$V_1 = 1 \text{ мВ. } V_2 = 15 \text{ В, } R_1 = 3 \text{ кОм, } R_2 = 10 \text{ кОм.}$
24	Інверсний	$V_1 = 4 \text{ мВ. } V_2 = 24 \text{ В, } R_1 = 2 \text{ кОм, } R_2 = 12 \text{ кОм.}$
	Неінверсний	$V_1 = 1 \text{ мВ. } V_2 = 20 \text{ В, } R_1 = 2 \text{ кОм, } R_2 = 10 \text{ кОм.}$
25	Інверсний	$V_1 = 3 \text{ мВ. } V_2 = 15 \text{ В, } R_1 = 4 \text{ кОм, } R_2 = 16 \text{ кОм.}$
	Неінверсний	$V_1 = 1 \text{ мВ. } V_2 = 15 \text{ В, } R_1 = 2 \text{ кОм, } R_2 = 20 \text{ кОм.}$

7.3. Контрольні питання

1. Що таке операційний підсилювач?
2. Намалювати ОП та пояснити принцип дії.

3. Що таке диференційний сигнал?
4. Намалювати та пояснити схему неінверсного підсилювача.
5. Намалювати та пояснити схему інверсного підсилювача.
6. Намалювати та пояснити схему диференційного підсилювача.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

ПІДСИЛЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ

Мета роботи: Ознайомитись з теоретичними відомостями про підсилювачі потужності, побудувати часові діаграми.

8.1. Теоретичні відомості

Підсилювач потужності (ПП) – це прилад, який передає задану чи максимально можливу потужність при максимальному коефіцієнту корисної дії (ККД) і мінімальних спотвореннях [32]. Основним елементом підсилювача тобто на чому вони будуються є транзистори. Використовуються транзистори великої і середньої потужностей, які у свою чергу працюють при великих струмах і напругах [33]. ПП працюють в лінійному режимі. Дуже важливим для ПП є його діапазон частот, які він може підсилювати так, як в транзисторах на яких будуються ПП при високих частотах погіршується підсилення [34]. Є декілька класів підсилення ПП. Клас А – це коли транзистору задають зміщення і вибирають робочу точку. Клас Б – це коли працюють два транзистори, які обернені один до одного це означає, що один працює коли є позитивний сигнал, а другій працює коли негативний. Так, як в класі А малі спотворення, але низький ККД, а в класі Б високий ККД, але є спотворення, то є комбінований клас АБ при якому в якому використовують А і Б класи [35]. ПП по побудові схеми розділяють на одноктактні та двотактні. Найчастіше використовують двотактні схеми так, як така схема зменшує нелінійні спотворення сигналу.

8.2. Завдання до виконання лабораторної роботи

1. Побудувати принципову схему ПП зображену на рис. 8.1.

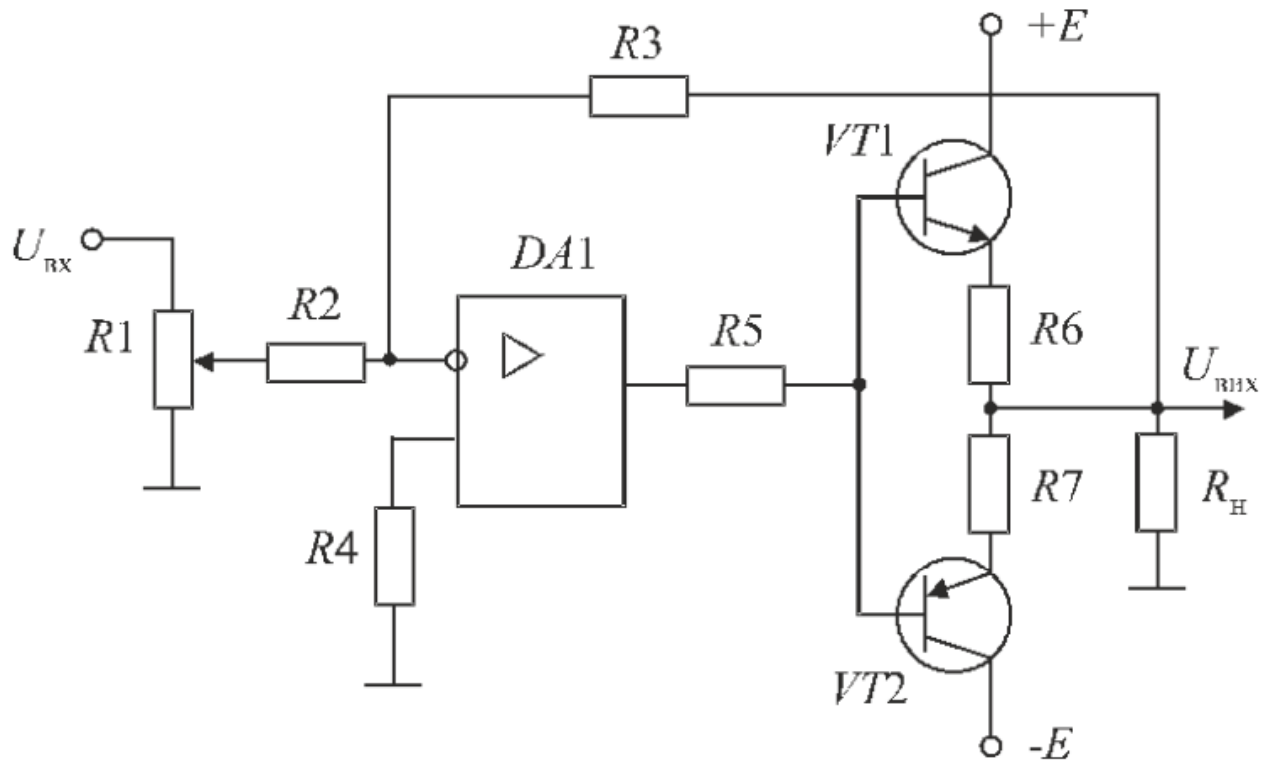


Рис. 8.1 Принципова схема ПП [36]

- Побудувати часові діаграми і зняти напругу на вході $U_{ВХ}$ ($v(V1)$), напругу на виході $U_{ВИХ}$ ($v(R8)$), потужність на виході $P_{ВИХ}$ ($pd(R8)$) та струм на виході $I_{ВИХ}$ ($i(R8)$). В даній схемі резистор $R8$ є резистором навантаження.
- Варіанти до індивідуальних завдань зображено на табл. 8.1

Таблиця 8.1

Варіанти індивідуальних завдань

№ варіанту	Дані
1	2
1	$R1 = 10 \text{ k}\Omega$; $R2 = 3 \text{ k}\Omega$; $R3 = 4 \text{ k}\Omega$; $R4 = 7 \text{ k}\Omega$; $R5 = 5 \text{ k}\Omega$; $R6 = 2 \text{ k}\Omega$; $R7 = 3 \text{ k}\Omega$; $R8(R_H) = 4 \text{ k}\Omega$; $VT1 = BC847C$ (MODEL) $VT2 = BC847C$ (MODEL) $DA1 = LM741$ (MODEL)
2	$R1 = 12 \text{ k}\Omega$; $R2 = 4 \text{ k}\Omega$; $R3 = 5 \text{ k}\Omega$; $R4 = 9 \text{ k}\Omega$; $R5 = 6 \text{ k}\Omega$; $R6 = 3 \text{ k}\Omega$; $R7 = 4 \text{ k}\Omega$; $R8(R_H) = 5 \text{ k}\Omega$; $VT1 = BC847C$ (MODEL) $VT2 = BC847C$ (MODEL) $DA1 = LM741$ (MODEL)

1	2
3	R1 = 9 k Ω ; R2 = 2 k Ω ; R3 = 3 k Ω ; R4 = 5 k Ω ; R5 = 4 k Ω ; R6 = 1 k Ω ; R7 = 2 k Ω ; R8(R _H) = 4 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
4	R1 = 11 k Ω ; R2 = 4 k Ω ; R3 = 6 k Ω ; R4 = 10 k Ω ; R5 = 6 k Ω ; R6 = 2 k Ω ; R7 = 4 k Ω ; R8(R _H) = 5 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
5	R1 = 13 k Ω ; R2 = 4 k Ω ; R3 = 7 k Ω ; R4 = 11 k Ω ; R5 = 6 k Ω ; R6 = 3 k Ω ; R7 = 5 k Ω ; R8(R _H) = 7 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
6	R1 = 15 k Ω ; R2 = 6 k Ω ; R3 = 7 k Ω ; R4 = 10 k Ω ; R5 = 8 k Ω ; R6 = 5 k Ω ; R7 = 6 k Ω ; R8(R _H) = 7 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
7	R1 = 12 k Ω ; R2 = 5 k Ω ; R3 = 6 k Ω ; R4 = 9 k Ω ; R5 = 7 k Ω ; R6 = 4 k Ω ; R7 = 5 k Ω ; R8(R _H) = 6 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
8	R1 = 15 k Ω ; R2 = 6 k Ω ; R3 = 7 k Ω ; R4 = 11 k Ω ; R5 = 8 k Ω ; R6 = 5 k Ω ; R7 = 6 k Ω ; R8(R _H) = 7 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
9	R1 = 11 k Ω ; R2 = 5 k Ω ; R3 = 6 k Ω ; R4 = 9 k Ω ; R5 = 7 k Ω ; R6 = 4 k Ω ; R7 = 5 k Ω ; R8(R _H) = 6 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
10	R1 = 12 k Ω ; R2 = 6 k Ω ; R3 = 7 k Ω ; R4 = 10 k Ω ; R5 = 7 k Ω ; R6 = 5 k Ω ; R7 = 6 k Ω ; R8(R _H) = 7 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
11	R1 = 13 k Ω ; R2 = 5 k Ω ; R3 = 6 k Ω ; R4 = 9 k Ω ; R5 = 7 k Ω ; R6 = 2 k Ω ; R7 = 5 k Ω ; R8(R _H) = 6 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
12	R1 = 14 k Ω ; R2 = 6 k Ω ; R3 = 7 k Ω ; R4 = 10 k Ω ; R5 = 8 k Ω ; R6 = 5 k Ω ; R7 = 6 k Ω ; R8(R _H) = 7 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
13	R1 = 12 k Ω ; R2 = 4 k Ω ; R3 = 5 k Ω ; R4 = 8 k Ω ; R5 = 6 k Ω ; R6 = 3 k Ω ; R7 = 4 k Ω ; R8(R _H) = 5 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
14	R1 = 14 k Ω ; R2 = 5 k Ω ; R3 = 6 k Ω ; R4 = 9 k Ω ; R5 = 7 k Ω ; R6 = 4 k Ω ; R7 = 5 k Ω ; R8(R _H) = 6 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)

1	2
15	R1 = 12 k Ω ; R2 = 6 k Ω ; R3 = 7 k Ω ; R4 = 10 k Ω ; R5 = 8 k Ω ; R6 = 5 k Ω ; R7 = 6 k Ω ; R8(R _H) = 7 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
16	R1 = 15 k Ω ; R2 = 7 k Ω ; R3 = 8 k Ω ; R4 = 11 k Ω ; R5 = 9 k Ω ; R6 = 6 k Ω ; R7 = 7 k Ω ; R8(R _H) = 8 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
17	R1 = 15 k Ω ; R2 = 5 k Ω ; R3 = 6 k Ω ; R4 = 9 k Ω ; R5 = 7 k Ω ; R6 = 4 k Ω ; R7 = 5 k Ω ; R8(R _H) = 6 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
18	R1 = 16 k Ω ; R2 = 8 k Ω ; R3 = 9 k Ω ; R4 = 12 k Ω ; R5 = 10 k Ω ; R6 = 7 k Ω ; R7 = 8 k Ω ; R8(R _H) = 9 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
19	R1 = 14 k Ω ; R2 = 5 k Ω ; R3 = 6 k Ω ; R4 = 11 k Ω ; R5 = 9 k Ω ; R6 = 5 k Ω ; R7 = 6 k Ω ; R8(R _H) = 7 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
20	R1 = 10 k Ω ; R2 = 2 k Ω ; R3 = 4 k Ω ; R4 = 6 k Ω ; R5 = 4 k Ω ; R6 = 2 k Ω ; R7 = 4 k Ω ; R8(R _H) = 6 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
21	R1 = 9 k Ω ; R2 = 2 k Ω ; R3 = 3 k Ω ; R4 = 5 k Ω ; R5 = 4 k Ω ; R6 = 2 k Ω ; R7 = 3 k Ω ; R8(R _H) = 4 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
22	R1 = 11 k Ω ; R2 = 3 k Ω ; R3 = 4 k Ω ; R4 = 7 k Ω ; R5 = 4 k Ω ; R6 = 1 k Ω ; R7 = 3 k Ω ; R8(R _H) = 5 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
23	R1 = 13 k Ω ; R2 = 4 k Ω ; R3 = 5 k Ω ; R4 = 9 k Ω ; R5 = 6 k Ω ; R6 = 3 k Ω ; R7 = 4 k Ω ; R8(R _H) = 5 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
24	R1 = 15 k Ω ; R2 = 4 k Ω ; R3 = 6 k Ω ; R4 = 10 k Ω ; R5 = 7 k Ω ; R6 = 4 k Ω ; R7 = 5 k Ω ; R8(R _H) = 6 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)
25	R1 = 13 k Ω ; R2 = 5 k Ω ; R3 = 6 k Ω ; R4 = 11 k Ω ; R5 = 6 k Ω ; R6 = 4 k Ω ; R7 = 5 k Ω ; R8(R _H) = 7 k Ω ; VT1 = BC847C (MODEL) VT2 = BC847C (MODEL) DA1 = LM741 (MODEL)

8.3. Контрольні питання

1. Що таке підсилювач потужності?
2. Які є класи підсилення підсилювача потужності?
3. Пояснити клас А підсилення ПП.
4. Пояснити клас Б підсилення ПП.
5. Пояснити клас АБ підсилення ПП.
6. По побудові схем на, які види поділяють ПП?

ВИСНОВОК

В даній дипломній роботі було розроблено 8 лабораторних робіт. В лабораторних роботах №1 та №3 були описанні основні можливості програми Micro-Cap 12 та розроблені завдання для перевірки знань програми. В лабораторній роботі №2 була написана теорія про види діодів та схем їх увімкнення, завдання були зв'язані із схема увімкнення діодів. В лабораторній роботі №4 була написана коротка теорія про перехідну, інтегруючу та диференціюючу RC і RL –ланки, були розробленні завдання, де потрібно було побудувати перехідну, інтегруючу та диференціюючу RC і RL –ланки відповідно до свого варіанту завдань. В лабораторних роботах №5 та №6 були описанні два види транзисторів, та створенні завдання для перевірки знань даного матеріалу. В лабораторних роботах №7 та №8 були описані операційний підсилювач та підсилювач потужності, та написані завдання та контрольні питання до цих тем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основные возможности Micro-Cap [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://sites.google.com/site/microcaprus/osnovnye-vozmognosti-programmy>
2. Методические указания по работе с программным пакетом Micro-Cap 10 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://mpei.ru/Structure/Universe/ire/radiotechnical/structure/fprs/studentsLib/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%BA%20%D0%9B%D0%A0%20%D1%81%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BC.pdf>
3. Демонстрация основных возможностей программы MICROCAP/ Разевиг В.Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-CAP 7. — М.: Горячая линия-Телеком, 2003. — 368 с., ил..
4. Виды и классификация диодов. 02 Июня 2019 - Анатолий Мельник [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.radioelementy.ru/articles/vidi-diodov/>
5. Принцип работы диода. Вольт-амперная характеристика. Пробои р-п перехода/ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://sesaga.ru/princip-raboty-dioda-volt-ampernaya-xarakteristika-proboi-p-n-perexoda.html>
6. P-N-переход и диод [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.electronicblog.ru/nachinayushhim/p-n-perexod-i-diod.html>
7. Щупляк Н.М. Основи електроніки і мікроелектроніки / Н.М. Щупляк. — Дрогобич: Бескид БІТ, 2014. — 443 с.
8. СТАБІЛІТРОНИ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://stud.com.ua/83088/tovaroznavstvo/stabilitroni>
9. ДИНИСТОРЫ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://stoom.ru/content/view/172/83/>

10. Випромінюючі діоди (світлодіоди) [Електронний ресурс]. — Режим доступа: https://studopedia.ru/19_201566_viprominyuyuchi-diodi-svitlodiodi.html
11. Амелина М.А. Конспект лекций по курсу «Компьютерный анализ и синтез электронных устройств». Пакет программ схемотехнического анализа MicroCAP–8 / Амелина М.А. – Смоленск: Смоленский филиал МЭИ, 2006. – 135 с.
12. Основные сведения о системе Micro-Cap/ Разевиг В.Д. Система сквозного проектирования электронных устройств Design Lab 8.0. - Москва, «Солон», 1999. 004 Р-17 /2003 - 1 аб/ 2000 - 11 аб, 5 чз/ [Електронний ресурс]. — Режим доступа: https://knowledge.allbest.ru/programming/3c0a65635a2ad78a4d43b88521306c37_0.html
13. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схематического моделирования Micro-CAP. Версия 9,10 / М.А.Амелина. С.А. Амелин. – Смоленск: Смоленский филиал МЭИ, 2012. – 617 с.
14. Методичні вказівки до використання системи схемотехнічного моделювання електронних пристроїв в середовищі MicroCap-8 при виконанні практичних робіт з дисципліни «Автоматизоване схемотехнічне проектування» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності 171 Електроніка / Укладач: к.т.н., доц. Трикіло А.І. - Кам'янське, ДДТУ, 2018 – 36 с. [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/3/22/3-22-mzp30.pdf>
15. Златин И.Л. Новые возможности программы схемотехнического моделирования Micro-Cap / Златин И.Л // Компоненты и технологии. - 2007. - №10 – С. 146-152. [Електронний ресурс]. — Режим доступа: https://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2007_10_146.pdf
16. Дифференцирующая RL-цепь [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <https://electrono.ru/3-2-5-differenciruyuschaya-rl-cep-impustr>

17. Эрл Д. Гейтс. Введение в электронику. - Ростов-на-Дону: Феникс, 1998. — 640 с.
18. Гомоюнов К. Трнзисторные цепи. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2002. – 240.
19. Схеми включення транзисторів та їх параметри в залежності від схеми включення [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <http://electrician.pto.org.ua/index.php/item/101-skhemy-vkliuchennia-tranzystoriv-ta-ikh-parametry-v-zalezhnosti-vid-skhemy-vkliuchennia>
20. Транзистори. Визначення та історія. [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <https://beasthackerz.ru/uk/wi-fi-lokalnaya-set/shema-vklyucheniya-bipolyarnogo-tranzistora-s-oe-vhodnye-i-vyhodnye.html>
21. Полевые транзисторы. [AveNat](#) 29 ноября 2011 [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/133493/>
22. Полевые транзисторы. [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <https://electrono.ru/poluprovodnikovye-pribory/polevye-tranzistory>
23. Полевые транзисторы: типы, устройство, принцип и режимы работы, схемы включения, основные параметры, использование [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <https://eandc.ru/news/detail.php?ID=27664>
24. Полевые транзисторы: принцип действия, схемы, режимы работы и моделирование [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <http://elektrik.info/main/praktika/1388-polevye-tranzistory.html>
25. Режимы работы и схемы включения полевых транзисторов [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <http://www.club155.ru/transistors-fet-modes>
26. Принцип работы полевого транзистора для чайников [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <https://instrument.guru/elektronika/printsip-raboty-polevogo-tranzistora-dlya-chajnikov.html>

27. Гулак Н.К., Чунарьова А.В. Основи електроніки та мікросхемотехніки. Конспект лекцій з дисципліни «Електроніка» Укладачі: Гулак Н.К., Чунарьова А.В. Основи електроніки та мікро схемотехніки: Конспект лекцій. – Київ: НАУ, 2010. – 74 с.

28. Полонников Д. Е. Операционные усилители. Принципы построения, теория, схемотехника. - М., Энергоатомиздат, 1983. - 216 с.

29. Операционные усилители [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://zpostbox.ru/operatsionny_usilitel.html

30. Инвертирующее включение [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://studfile.net/preview/1018677/page:4/>

31. Схемы включения операционных усилителей [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.electronicblog.ru/nachinayushhim/sxemy-vklyucheniya-operacionnyr-usilitelej.html>

32. Усилители мощности (УМ) Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. – М.: Альянс, 2008. – 496 с.: ил. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://portal.tpu.ru/SHARED/g/GREBENNIKOVVV/umm_disciplines_electronics_1_2/Tab1/Tab/18_Electronics_12_Power_amplifiers_2018.pdf

33. Підсилювачі потужності [Електронний ресурс]. — Режим доступа: https://studopedia.com.ua/1_142891_pidsilyuvachi-potuzhnosti.html

34. Перетворення сигналів в електронних колах. Підсилення сигналів. Класифікація, основні параметри та характеристики підсилювачів [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <http://org2.knuba.edu.ua/mod/book/tool/print/index.php?id=26209&chapterid=271>

35. Усилители класса А, В, АВ, Н [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://yamaha-petropavlovsk.ru/news/2013-12-04/kakoy-klas-usilitelya-luchshe-a-b-ab-d>

36. Розробка генератора амплітудно-маніпульованого сигналу [Текст]:
Методичні вказівки до виконання курсової роботи / уклад.: К. В. Гончаров;
Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во
Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2012. – 46 с.
[Електронний ресурс]. — Режим доступа:
<https://studfile.net/preview/5411366/page:4/>