

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт з дисципліни

«Основи електроніки та мікросхемотехніки» частина 1 «Електронні  
прилади та базові вузли»

для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка  
та електромеханіка всіх форм навчання

2024

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Основи електроніки та мікросхемотехніки» частина 1 «Електронні прилади та базові вузли» для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка всіх форм навчання. /Укл.: М.О. Поляков, Л.С. Скрупська – Запоріжжя: Національний університет «Запорізька політехніка», 2024.– 38с.

Укладачі:

М.О. Поляков, проф., д. т. н.  
Л.С. Скрупська, ст. викл.

Рецензент:

В.В. Василевський, доцент, к. т. н.

Відповідальний  
за випуск:

П.Д. Андрієнко, проф., д. т. н.

Затверджено  
на засіданні кафедри  
«Електричні та  
електронні апарати»  
Протокол № 7  
від 26.12. 2023

Затверджено НМК ЕТФ  
Протокол № 7  
від 21.03. 2024 р.

**ЗМІСТ**

Вступ.....	4
Лабораторна робота № 1.....	5
Лабораторна робота № 2.....	7
Лабораторна робота № 3.....	10
Лабораторна робота № 4.....	14
Лабораторна робота № 5.....	19
Лабораторна робота № 6.....	24
Лабораторна робота № 7.....	28
Лабораторна робота № 8.....	31
Рекомендована література.....	37

## ВСТУП

Метою лабораторних робіт є закріплення теоретичного матеріалу з дисципліни «Основи електроніки та мікросхемотехніки» частина 1 «Електронні прилади та базові вузли». на практиці. Для дослідження електронних пристроїв, вузлів і блоків можна використовувати будь-яке програмне забезпечення для схемотехнічного проектування: Electronics Workbench (EWB), Multisim, Tinkercad or або Circuit Simulate.

Перевагою комп'ютерного моделювання є велика різноманітність електронних елементів і вимірювальних засобів для створення електронної схеми, неможливість її пошкодження та високий рівень електробезпеки.

Методичні вказівки містять опис 8 лабораторних робіт за темами вивчення інтерфейсу користувача Electronics Workbench, або іншої системи схемотехнічного моделювання, напівпровідникових діодів, біполярних транзисторів, тиристорів, електронних підсилювачів, операційних підсилювачів, логічних елементів, фільтрів.

Студент зобов'язаний вивчити теоретичний матеріал, виконати практичні завдання, зробити звіт з лабораторної роботи, який матиме основні розділи:

1. Назва лабораторної роботи.
2. Призначення.
3. Схеми дослідів, таблиці, графіки, розрахунки, висновки.

Звіт має бути складений згідно з ДСТУ 3008 – 2015 та захищений.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

**Мета:** вивчити інтерфейс програми Electronics Workbench, отримати навички будовання електричних схем та використання осцилографа.

**Короткі теоретичні дані:** Electronics Workbench (EWB) – розробка фірми Interactive Image Technologies. Особливістю програми Electronics Workbench є наявність контрольно-вимірювальних приладів, які за виглядом, органам керування та характеристикам, максимально наближені до їх промислових аналогів, що дає змогу отримати практичні навички в роботі з найбільш розповсюдженими приладами: мультиметром, осцилографом, генераторами та ін. Програма легко вивчається та досить зручна в роботі. Після складання схеми, моделювання починається кліком миші по вимикачу на екрані програми.

Основні навички, які потрібно отримати: як знайти потрібний компонент схеми, як змінити його орієнтацію на схемі та параметри моделі, як з'єднати компоненти у ланцюги, як розпочати моделювання, як знайти та завантажити вбудований приклад схеми. Методи виконання цих типових завдань досить схожі для різних пакетів моделювання

### Хід роботи

#### Експеримент №1

1 Скласти схему резистивного дільника напруги, зображеного на рис. 1.1.

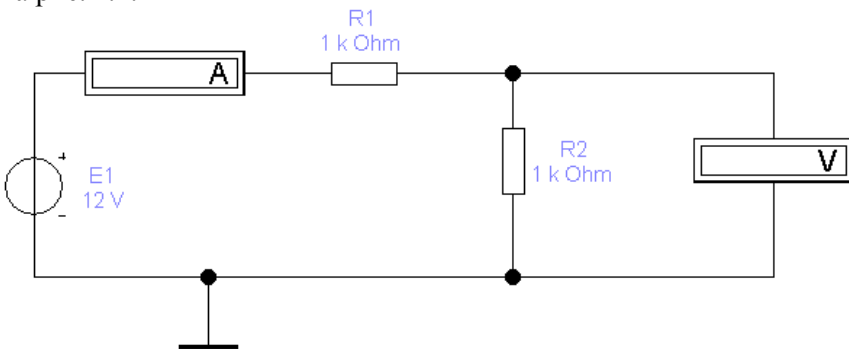


Рисунок 1.1 – Схеми резистивного дільника напруги

2 Визначити струм, що протікає через резистор R1, та напругу на резисторі R2, занести їх до табл. 1.1. Зняти показання приладів для декількох значень напруги джерела живлення E1. Побудувати графік залежності струму від напруги.

Таблиця 1.1 – Покази приладів

I, mA								
U, V								

### Експеримент №2

3 Скласти схему однофазного мостового випрямляча, що працює на активне навантаження, зображеного на рис. 1.2.

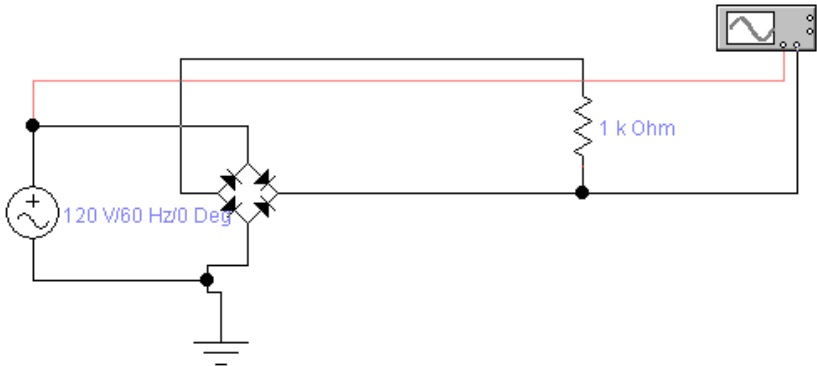


Рисунок 1.2 – Схема однофазного мостового випрямляча, що працює на активне навантаження

4 Зняти осцилограму.

### Контрольні питання

1. Можливості та призначення програм схемотехнічного моделювання.
2. Як роздрукувати схему на принтері?
3. Якою командою можна скопіювати схему у звіт?
4. Як змінити колір провідника та коли це потрібно робити?

5. Якою командою можна призначити компоненту схеми позиційне значення та яке правило при цьому використовується?
6. Яким чином можна задати параметри компонентів схеми (наприклад модель, номінал, температуру, наявність поломки і т. і.)?
7. Для чого використовується компонент схеми «вузол»?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

**Мета:** отримати навички моделювання діодних схем, дослідити пряму та зворотну гілки ВАХ діоду.

**Короткі теоретичні дані:** Напівпровідниковий діод це електронний прилад з нелінійною вольтамперною характеристикою (ВАХ) [1]. За допомогою Electronics Workbench легко моделювати та вимірювати напругу на діоді та струм діода, підключив до нього через резистор джерела напруги різного номіналу. У залежності від полярності ввімкнення діода, кожний результат вимірювань струму та напруги відповідає крапці на прямій чи зворотній гілці ВАХ діода. На результати вимірювань впливає опір вимірюваних приладів. Тому схеми вимірювання прямої та зворотної гілок ВАХ дещо відрізняються.

### Хід роботи

Експеримент №1

1 Скласти схему, зображену на рис. 2.1.

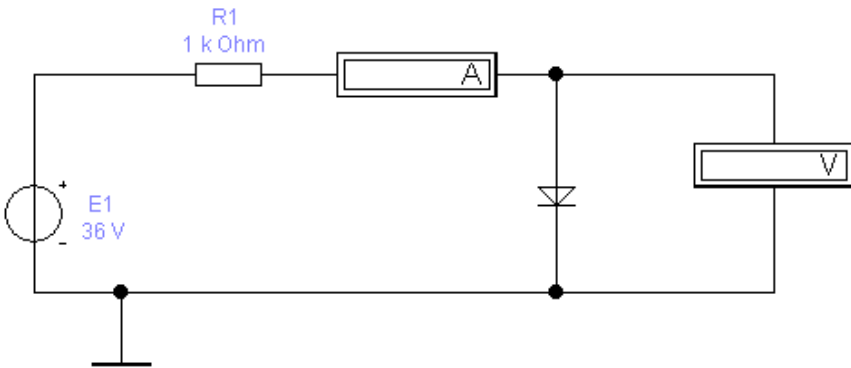


Рисунок 2.1 – Схема дослідження прямої гілки ВАХ діода

2 Змінюючи напругу  $E_1$  або опір  $R_1$ , зняти покази вимірювальних приладів та занести їх до табл. 2.1.

3 За даними таблиці 2.1 побудувати графік прямої гілки ВАХ.

4 За даними таблиці 2.1 розрахувати опір  $R_d$  діода за постійним струмом та побудувати графік залежності опору від напруги на діоді.

Таблиця 2.1 – Покази вимірюваних приладів

U1, V							
I1, mA							
$R_d, \Omega$							

Експеримент №2

5 Згідно номера варіанту вибрати діод з табл. 2.2.

6 Зібрати схему, що наведено на рис. 2.2.

Таблиця 2.2 – Варіанти діодів

Діод	№ варіанту
1N4148	1
1N4149	2
1N4150	3
1N4151	4
1N4152	5
1N4153	6
1N4154	7
1N4305	8
1N4446	9
1N4447	10
1N4448	11
1N4449	12

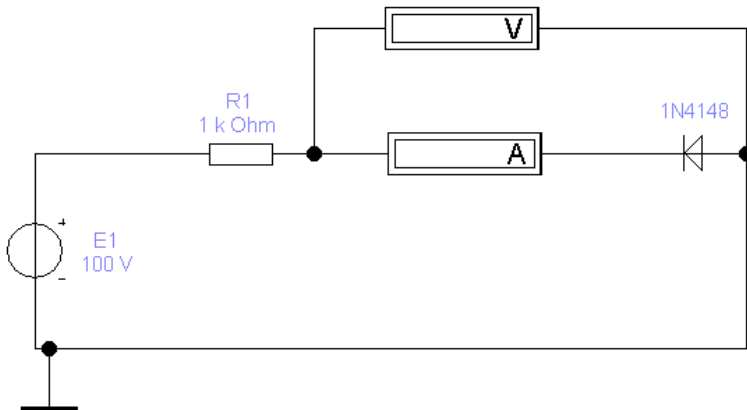


Рисунок 2.2 – Схема дослідження зворотної гілки ВАХ діода

7 Змінюючи напругу  $E1$  отримати точки ВАХ та занести їх до табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Покази вимірюваних приладів

$E1, V$				
$I1, mA$				
$U1, V$				
$R, k\Omega$				

8 Побудувати графік ВАХ діода.

9 Визначати напругу пробою.

10 Виписати параметри діода у звіт.

### Контрольні питання

1. Як визначити струм через діод?
2. Чому для дослідження прямої та зворотної гілки ВАХ використовуються різні схеми?
3. Як визначити опір діода для постійного струму, диференційний опір?
4. Коли виникає екстракція та інжекція носіїв струму у діоді?
5. Явище пробою діода: визначення, механізми, ділянка на ВАХ?
6. Чим відрізняється реальний діод від ідеального?

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

**Мета:** дослідити ВАХ біполярного транзистора за схемою з загальним емітером.

**Короткі теоретичні дані:** біполярний транзистор це напівпровідниковий прилад, що використовується для підсилення струму та(або) напруги у електронних підсилювачах [1]. Сімейство вихідних характеристик транзистора за схемою з загальним емітером (ЗЕ) описується залежністю  $I_C = f(U_{CE})$  при  $I_B = const$ . В свою чергу, сімейство вхідних характеристик транзистора за схемою з ЗЕ описується залежністю  $I_B = f(U_{BE})$  при  $U_{CE} = const$ .

Статичний коефіцієнт передачі струму бази визначається як відношення струму колектора  $I_C$  до струму бази  $I_B$ :

$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B}.$$

Диференційний коефіцієнт передачі струму бази  $\beta_{AC}$  визначається за вихідними ВАХ як відношення приросту  $\Delta I_C$  колекторного струму до викликаючого його приросту  $\Delta I_B$  базового струму при фіксованому значенні напруги колектор-емітер:

$$\beta_{AC} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}.$$

Диференційний вхідний опір  $r_{IN}$  транзистора у схемі з ЗЕ визначається за вхідними ВАХ при фіксованому значенні напруги колектор-емітер. Він може бути знайдений як відношення приросту напруги  $\Delta U_{BE}$  база-емітер до викликаного їм приросту  $\Delta I_B$  струму бази:

$$r_{IN} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B}$$

Аналогічно за вихідними ВАХ визначається вихідний опір  $r_{OUT}$  транзистора у схемі з загальним емітером:

$$r_{OUT} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C}$$

## Хід роботи

### Експеримент №1

1 Скласти схему рис. 3.1. Транзистор для схеми вибрати згідно номеру варіанта з табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Варіанти транзисторів для схеми

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Транзистор	BC107BP	BC108BP	BC109BP	BC182BP	BC183BP	BC184BP	BC237BP	BC238BP	BC239BP	BC413BP	BC414BP	BC546BP

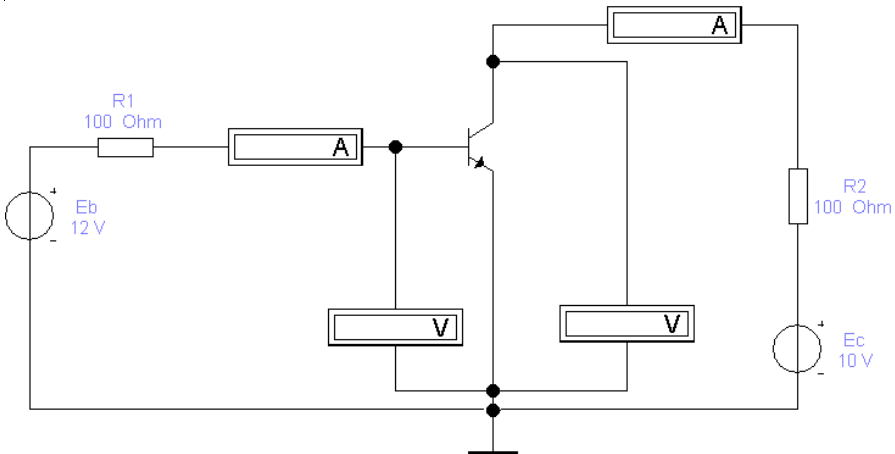


Рисунок 3.1 – Схема для дослідження ВАХ транзистора із загальним емітером

2 Виміряти  $I_C$  та  $U_{CE}$  задаючи  $I_B$  таким як показано в табл. 3.2.

3 Побудувати графік сімейства вихідних характеристик. За графіком визначити коефіцієнт підсилення транзистора та вихідний опір.

4 Виписати у звіт параметри моделі транзистора з вікна властивостей компонента.

Таблиця 3.2 – Результати експерименту

$I_B=0$ mA	$I_C$ , mA									
	$U_{CE}$ , V									
$I_B=0,01$ mA	$I_C$ , mA									
	$U_{CE}$ , V									
$I_B=0,02$ mA	$I_C$ , mA									
	$U_{CE}$ , V									
$I_B=0,1$ mA	$I_C$ , mA									
	$U_{CE}$ , V									

## Експеримент №2

5 Задати напругу  $U_{CE}$  рівною (0;10) вольт змінюючи  $E_C$ .

6 Змінюючи  $E_C$  отримати напругу  $U_{BE}$  в діапазоні від 0 до 0,75 вольт (не менш ніж 10 значень). Для кожного  $U_{BE}$  фіксувати  $I_B$ , результати записати до табл. 3.3.

7 Побудувати графік вхідних характеристик  $I_B=f(U_{BE})$ , при  $U_{CE}=\text{const}$ . За графіком визначити вхідний опір транзистора.

Таблиця 3.3 - Результати експерименту

$U_{CE}=0, V$	$E_C$ , V									
	$U_{BE}$ , V									
	$I_B$ , mA									
$U_{CE}=10, V$	$E_C$ , V									
	$U_{BE}$ , V									
	$I_B$ , mA									

## Контрольні питання

1. Принцип дії, різновиди, режими роботи, схеми ввімкнення, характеристики та моделі біполярного транзистора.

2. Від чого залежить струм колектора транзистора?

3. Яким виразом описується вихідна характеристика транзистора, та при якій умові він дійсний?

4. Яким виразом описується вхідна характеристика транзистора, та при якій умові він дійсний?

5. Чи залежить коефіцієнт  $\beta_{DC}$  від струму колектора? Якщо так, то в якому ступені?

6. Що можна сказати по вихідним характеристикам про залежність струму колектора від струму бази та напруги колектор-емітер?

7. Які параметри транзистора можна визначити за його вхідними та вихідними ВАХ?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

**Мета:** дослідити транзисторний підсилювач.

**Короткі теоретичні дані:** у цій роботі досліджується принцип розрахунку однокаскадного підсилювача з ЗЕ. При розрахунку каскаду транзистор замінюють на його спрощену еквівалентну схему. Розрахунок каскаду виконують у два етапи. Розрахунок постійних складових дозволяє знайти параметри робочої точки транзисторного каскаду. Розрахунок змінних складових – підсилюючі властивості каскаду в цій точці.

За допомогою еквівалентної схеми знаходять постійні складові струму бази  $I_{BP}$ , струму колектора  $I_{CP}$  та напругу на колекторі  $U_{CP}$ . Вони визначаються наступними виразами:

$$I_{BP} = \frac{E_{ECV} - U_{BE0}}{R_B}$$

$$I_{CP} = \beta \cdot I_{BP}$$

$$U_{CP} = E_C - I_{CP} \cdot R_C$$

Схема на змінному струмі дозволяє визначити амплітуди змінних складових струму бази  $I_{B-M}$ , струму колектора  $I_{C-M}$ , напруги на колекторі. При відомому значенні амплітуди напруги генератора  $E_{GM}$ , амплітуди струмів та напруг можна визначити за допомогою наступних виразів (значок  $M$  означає амплітуду змінної величини):

$$I_{B-M} = \frac{E_{GM}}{R_{IN}}$$

$$I_{C-M} = \beta \cdot I_{B-M}$$

$$U_{C-M} = I_{C-M} \cdot R_{ECV}$$

Отримані вирази дозволяють визначити коефіцієнт підсилення по напрузі ( $K$ ) як відношення амплітуди вихідної напруги до вхідної:

$$K = \frac{U_{B-M}}{E_{GM}} = \beta \cdot \frac{R_{ECV}}{R_{IN}}$$

Миттєві значення струмів та напруг є сумою постійних та змінних складових. Відповідні осцилограми наведені на рис. 4.1.

Осцилограми змінних складових струму бази  $I_B$  та струму колектора  $I_C$  мають однакову форму, тому що відповідні миттєві значення пропорційні:

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

Максимальне значення струму колектора не може перевищувати значення струму насичення:

$$I_{CM} = E_C / R_C$$

Цьому струму відповідає насичуючий струм бази:

$$I_{BN} = \frac{I_{CN}}{\beta} = \frac{E_C}{\beta \cdot R_C}$$

Миттєве значення напруги на колекторі визначається виразом:

$$U_C = E_C - I_C \cdot R_C$$

Осцилограми, показані на рис. 4.1, отримані для режиму  $U_{CP} = E_C/2$ . В цьому випадку можна отримати максимальну величину неспотвореної вихідної напруги, максимальне значення амплітуди якого дорівнює половині напруги джерела живлення  $E_C$ .

Розглянуті осцилограми (рис. 4.1) відповідають лінійному режиму роботи підсилювача.

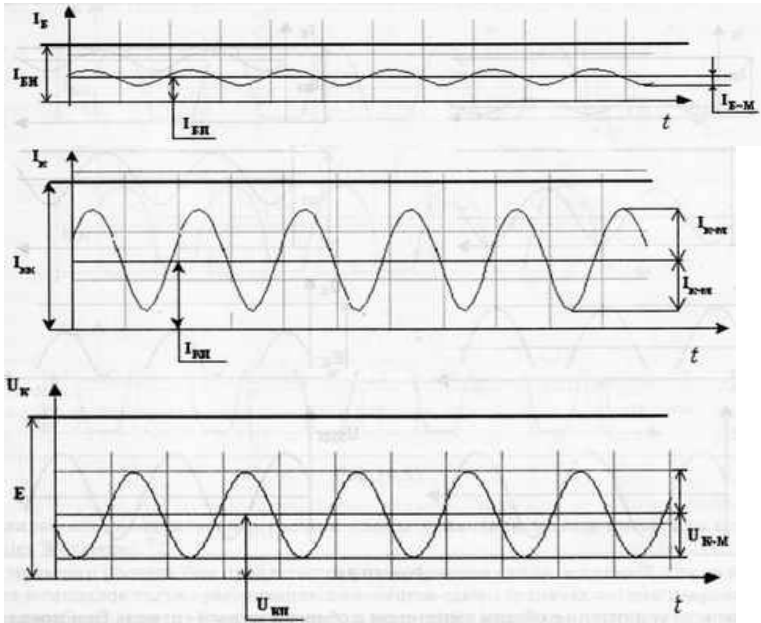


Рисунок 4.1 – Осцилограми роботи підсилювача у лінійному режимі

### Хід роботи

#### Експеримент №1

#### Задавання робочої точки

1 Зібрати схему, показану на рис. 4.2. У схемі використати транзистор, вибраний з табл. 4.1 згідно варіанту.

2 Змінюючи R1 отримати  $U_{сп}$  (увага, вимикачі S1, S2 мають знаходитися у положенні, показаному на рис. 4.2; S1 – розімкнений, а S2 – замкнений).

3 Розрахувати струм колектора для точки спокою.

Таблиця 4.1 – Моделі транзисторів та дані для експерименту №1

№ варіанту	Транзистор (zetex)	Е, В	U <sub>сп</sub> , В
1	BC107BP	10	5
2	BC108BP	11	5
3	BC109BP	12	6
4	BC182BP	13	6
5	BC183BP	14	7
6	BC184BP	16	8
7	BC237BP	17	8
8	BC238BP	18	9
9	BC239BP	19	9
10	BC413BP	20	10
11	BC414BP	21	11
12	BC546BP	22	11

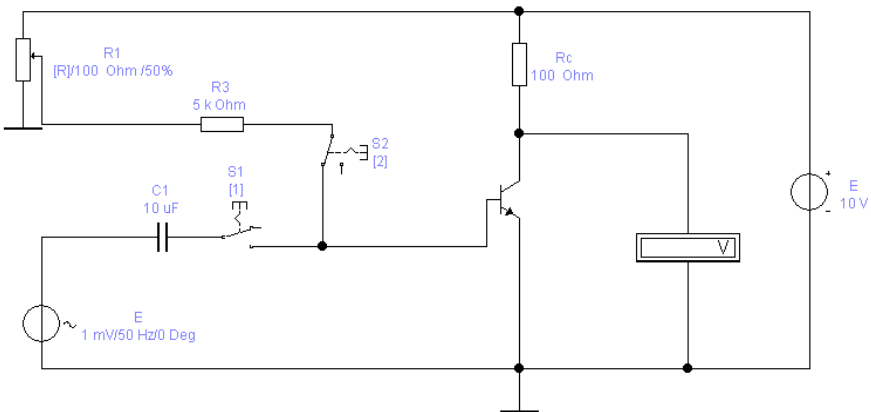


Рисунок 4.2 – Схема транзисторного підсилювача

## Експеримент №2

Дослідження підсилювача у режимі малого сигналу

4 Задати параметри джерела Е згідно варіанту. Параметри подані у табл. 4.2.

5 Підключити осцилограф до джерела вхідного сигналу та до колектора транзистора. Підключити джерело вхідного сигналу до бази транзистора за допомогою вимикача S1.

6 Зняти осцилограму, по ній визначити максимальну та мінімальну напругу на колекторі та коефіцієнт підсилення каскаду по напрузі. Визначити максимальну напругу джерела вхідного сигналу, при якій вихідний сигнал має неспотворену форму.

Таблиця 4.2 – Параметри джерела напруги

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$E, \text{В}$	5	6	7	8	9	10	5	6	7	8	9	10
$f, \text{Гц}$	100	200	250	300	400	450	500	600	80	850	900	1000

### Контрольні питання

1. Визначення, класифікація, структурна схема, характеристика та параметри електронного підсилювача.
2. Різновиди та елементи підсилювальних каскадів.
3. Точка спокою підсилювального каскаду: визначення, способи завдання
4. Яка різниця фаз між вхідним та вихідним синусоїдальними сигналами у підсилювачі з ЗЕ та ЗК?
5. Як впливає вхідний опір на коефіцієнт підсилення по напрузі?
6. Різновиди спотворень вихідних сигналів підсилювача
7. Чи велике значення вихідного опору підсилювача з ЗК?
8. У чому головна перевага схеми підсилювача з ЗК?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

**Мета:** дослідити типові вузли на операційних підсилювачах – інвертуючий, неінвертуючий, сумуючий, диференціюючий та інтегруючий підсилювачі.

**Короткі теоретичні дані:** операційним підсилювачем називають високоякісний інтегральний підсилювач постійного струму з диференційним входом та однотактним виходом. ОП використовують для підсилення, обмеження, сумування, фільтрації, генерації, стабілізації сигналів в аналогових пристроях [1].

Коефіцієнт підсилення схеми неінвертуючого підсилювача на ОП (рис.5.1) визначається за формулою:

$$K_s = 1 + R_1/R_2$$

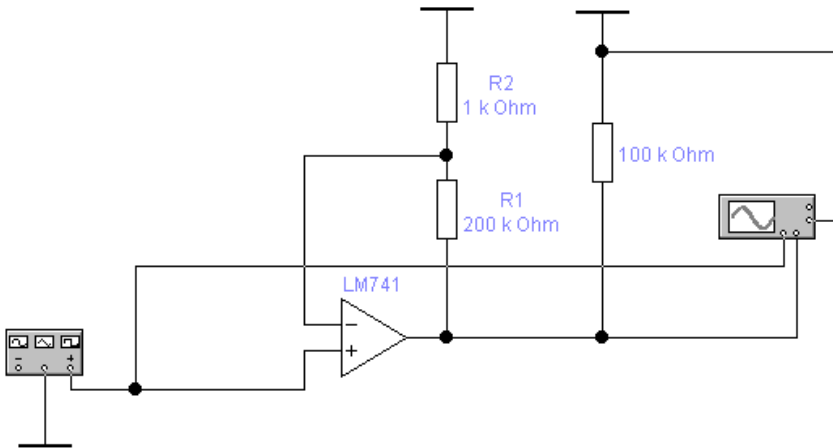


Рисунок 5.1 - Схема неінвертуючого підсилювача

Коефіцієнт підсилення схеми інвертуючого підсилювача на ОП (рис. 5.2) визначається за формулою:

$$K_s = - R_2/R_1.$$

Знак “мінус” у формулі значить, що вихідна напруга інвертуючого підсилювача знаходиться у протифазі з вхідною напругою.

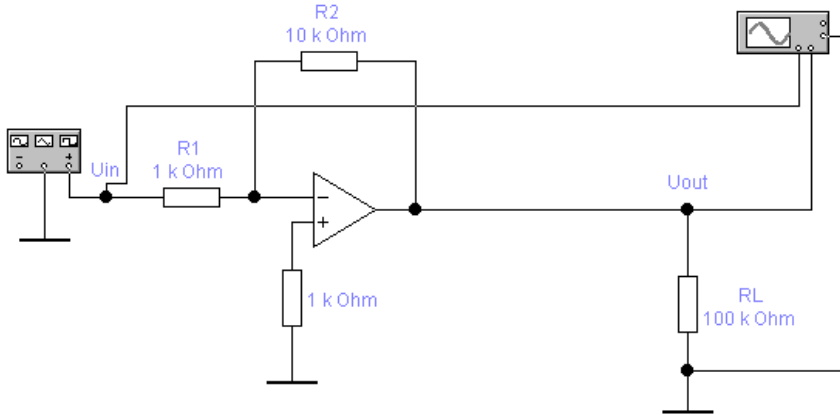


Рисунок 5.2 - Схема інвертуючого підсилювача

В сумуючому підсилювачі рис. 5.3, якщо входні струми та напруги зміщення рівні нулю, тоді виконуються наступні співвідношення:

$$I_1 = U_1/R_1;$$

$$I_2 = U_2/R_2, I = I_1 + I_2;$$

$$I_{oc} = I_1 + I_2 = - U_{OUT}/R_{oc}.$$

З цих співвідношень отримаємо вираз для вихідної напруги:

$$U_{OUT} = - (I_1 + I_2) \cdot R_{oc} = - (U_1/R_1 + U_2/R_2) \cdot R_{oc}.$$

Якщо  $R_{oc} = R_1 = R_2$ , тоді маємо  $U_{OUT} = U_1 + U_2$ .

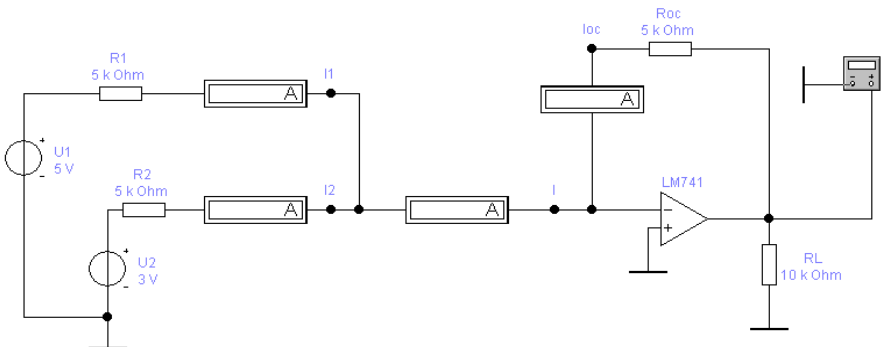


Рисунок 5.3 - Схема сумуючого підсилювача

На основі ОП можна побудувати інтегратори. На рис.5.4 показана схема, що виконує цю функцію. Для цієї схеми дійсні наступні співвідношення:

$$U_{IN}/R = -C \cdot dU_{OUT}/dt,$$

$$U_{OUT} = -1/RC \cdot \int_0^t U_{IN} \cdot dt + const$$

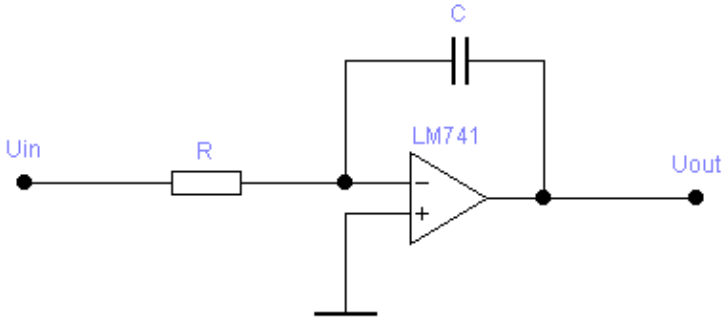


Рисунок 5.4 - Схема інтегратора

Для схеми диференціатора (рис.5.5) вихідна напруга  $U_{out}$  пропорційна швидкості змінення вхідного сигналу та визначається за формулою:

$$U_{OUT} = -R2 \cdot C \cdot \frac{dU_{IN}}{dt}$$

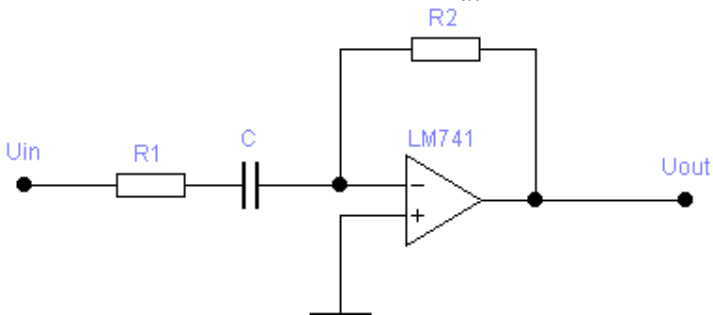


Рисунок 5.5 - Схема диференціатора

### Хід роботи

Експеримент №1

Неінвертуючий підсилювач

- 1 Скласти схему рис. 5.1.
- 2 Під'єднати осцилограф та генератор імпульсів.
- 3 Зняти осцилограми, визначити коефіцієнт підсилення та порівняти з розрахунковим.

#### Експеримент №2

##### Інвертуючий підсилювач

- 4 Скласти схему рис. 5.2.
- 5 Під'єднати осцилограф та генератор імпульсів.
- 6 Зняти осцилограми, визначити коефіцієнт підсилення та порівняти з розрахунковим.

#### Експеримент №3

##### Сумуючий підсилювач

- 7 Скласти схему рис. 5.3.
- 8 Під'єднати мультиметр.
- 9 Визначити вихідну напругу та порівняти з розрахунковою.

#### Експеримент №4

##### Інтегратор

- 10 Скласти схему рис. 5.6.
- 11 Зняти осцилограми вхідної та вихідної напруги при подачі на вхід напруги у вигляді послідовних прямокутних імпульсів.

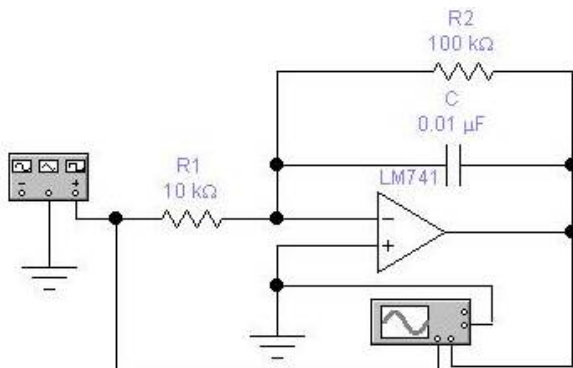


Рисунок 5.6 - Схема інтегратора

#### Експеримент №5

##### Диференціатор

12 Скласти схему рис. 5.7.

13 Зняти осцилограми вхідної та вихідної напруги при подачі на вхід напруги у вигляді послідовних прямокутних імпульсів.

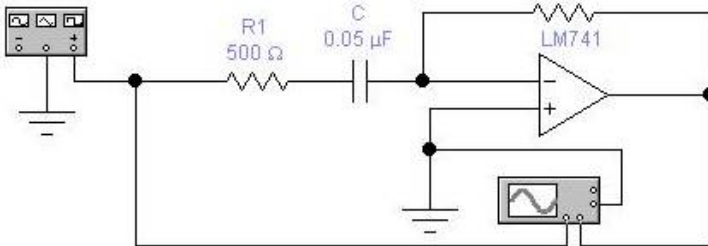


Рисунок 5.7 - Схема диференціатора

### Контрольні питання

1. Що таке операційний підсилювач?
2. Чим відрізняється інвертуючий підсилювач від неінвертуючого?
3. Передаточна характеристика ОП для інвертуючого та неінвертуючого включення.
4. Назвіть типові вузли на ОП?
5. Напишіть формули коефіцієнта передачі для типових вузлів на ОП?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

**Мета:** дослідити логічні елементи та функції.

**Короткі теоретичні дані:** змінні, що розглядаються у алгебрі логіки, можуть приймати тільки два значення – «0» або «1». У алгебрі логіки визначені: відношення еквівалентності (позначається знаком  $\equiv$ ); операція додавання (диз'юнкція), що позначається знаком  $\vee$  або  $+$ ; операція множення (кон'юнкція), позначається знаком  $\wedge$  або  $\&$ , або точкою; операція інверсії, що позначається знаком надкреслення або апострофом [1,2].

Алгебра логіки визначається системою аксіом:

$$\begin{cases} x = 0, \text{ if } x \neq 1; \\ x = 1, \text{ if } x \neq 0; \end{cases} \quad \begin{cases} \bar{0} = 1; \\ \bar{1} = 0; \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1 \vee 1 = 1; \\ 0 \vee 0 = 0; \\ 0 \vee 1 = 1 \vee 0 = 1; \end{cases} \quad \begin{cases} 1 \wedge 1 = 1; \\ 0 \wedge 0 = 0; \\ 0 \wedge 1 = 1 \wedge 0 = 0; \end{cases}$$

Запис логічних виразів зазвичай виконують у кон'юнктивній або диз'юнктивній нормальних формах. В диз'юнктивній формі логічні вирази записується як логічна сума логічних мнoжин, в кон'юнктивній формі - логічне множення логічних сум. Порядок дій такий самий, як і в звичайних алгебраїчних виразах.

Будь-який логічний вираз, складений з  $n$  змінних  $x_n, x_{n-1} \dots x_1$  за допомогою кінцевого числа операцій алгебри логіки, можна розглядати як деяку функцію  $n$  змінних. Таку функцію називають логічною.

Основну цікавість представляють наступні функції двох змінних  $x$  та  $y$ :

$f_1(x,y) = x \wedge y$  - логічне множення (кон'юнкція),

$f_2(x,y) = x \vee y$  - логічне додавання (диз'юнкція),

$f_3(x,y) = \overline{x \cdot y}$  - логічне множення з інверсією,

$f_4(x,y) = \overline{x \vee y}$  - логічне додавання з інверсією,

$f5(x,y) = x\bar{y} \vee \bar{x}y$  - сумування по модулю «2»,

$f6(x,y) = xy \vee \bar{xy}$  - рівнобичність.

Фізичний пристрій, що реалізує одну з операцій алгебри логіки або простішу логічну функцію, називається логічним елементом. Схема, складена з кінцевого числа логічних елементів, що працюють за визначеними правилами, називається логічною схемою.

Оскільки область визначення будь-якої функції  $n$  змінних кінцева, така функція може бути задана таблицею значень  $f(V_i)$ , котрі вона приймає в точках  $V_i$ , де  $i=0,1,\dots,2^n-1$ . Такі таблиці називають таблицями істинності.

### Хід роботи

#### Експеримент №1

#### Дослідження логічної функції «І»

- 1 Скласти схему рис 6.1.
- 2 Включити схему, встановити перемикач «В» у нижнє а потім у верхнє положення, виміряти вольтметром напругу на вході «В» та визначити за допомогою логічного пробника рівень логічного сигналу).
- 3 Подати на входи схеми усі можливі комбінації рівней логічного сигналу «А» і «В» та для кожної комбінації зафіксувати рівень вихідного сигналу «Y».
- 4 Записати таблицю істинності логічної схеми «І».

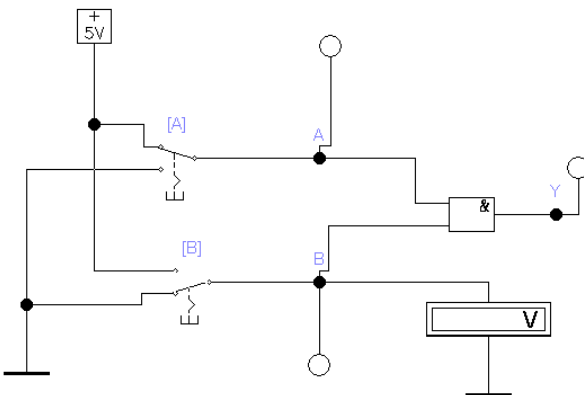


Рисунок 6.1 - Схема для дослідження логічної функції «І»

## Експеримент №2

Дослідження логічних схем за допомогою генератора слів

- 5 Скласти схему рис 6.2.
- 6 Увімкнути схему.
- 7 Вказати, до яких виводів мікросхеми «7400» підключається джерело живлення, скільки елементів «2І-НІ» у цій мікросхемі, скільки елементів використовується у цьому експерименті та як позначені на схемі використані входи і виходи.
- 8 Встановити генератор в режим покрокової роботи натисканням кнопки “Step” на збільшеному зображенні генератора. Кожне натискання кнопки “Step” викликає перехід до наступного слова заданої послідовності, котра подається з виходу генератора. Послідовно подаючи на мікросхему слова заданої послідовності, заповнити таблицю істинності елемента «2І-НІ».

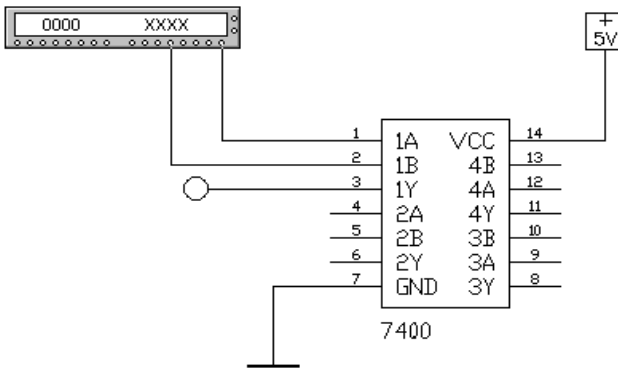


Рисунок 6.2 - Мікросхема 7400

## Експеримент №3

Реалізація логічної функції 3-х змінних

Реалізувати функцію  $f = ab \bar{b}c$  на елементах «2І-НІ». Для цього необхідно виконати наступні дії:

- 1 Викликати логічний перетворювач.
- 2 Увести у нижнє вікно панелі перетворювача логічний вираз з клавіатури (операції «АБО» відповідає знак +, інверсія позначається апострофом).

- 3 Натиснути клавішу A|B→NAND на панелі логічного перетворювача та перемалювати синтезовану схему.
- 4 До схеми підключити генератор слів (рис.6.3), запрограмований на формування 7 слів, відповідаючи числам від 0 до 7: 0=000; 1=001; 2=010; 3=011; 4=100; 5=101; 6=110; 7=111.
- 5 Перевести генератор слів у покроковий режим.
- 6 Включити схему.
- 7 Послідовно подавати на входи схеми указані слова та визначити рівень сигналу на виході схеми логічним пробником, заповнити таблицю істинності.

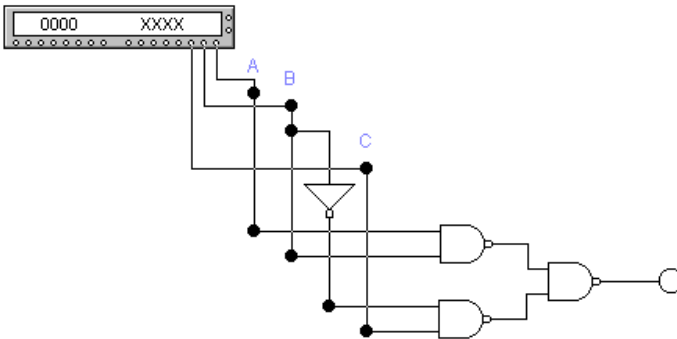


Рисунок 6.3 – Схема підключення генератора слів

### Контрольні питання

1. Що таке логічна змінна та логічний сигнал? Які значення вони можуть приймати?
2. Що таке логічна функція та які з них ви знаєте?
3. Що таке таблиця істинності?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

**Мета:** вивчити принцип дії тиристора та способів його увімкнення.

**Короткі теоретичні дані:** тиристор це напівпровідниковий прилад з трьома або більше р-n переходами що використовується у потужних схемах[1]. Для переведення тиристора у увімкнений стан на його анод подають пряму напругу, яка перебільшує напругу увімкнення тиристора. Іншим шляхом увімкнення тиристора є увімкнення за допомогою струму через керуючий електрод тиристора. Симистор – це різновид тиристора, який може переходити в увімкнений стан як при прямої так і при зворотної напрузі на аноді.

### Хід роботи

#### Експеримент №1

Дослідження тиристора, коли  $U_E < U_{VDRM}$

- 1 Скласти схему рис 7.1.
- 2 Значення амплітуди джерела вхідної напруги встановити меншим, ніж значення параметра forward breakover voltage ( $V_{DRM}$ ) моделі тиристора.
- 3 Підключити осцилограф, зняти осцилограми.
- 4 Визначити режим роботи тиристора.

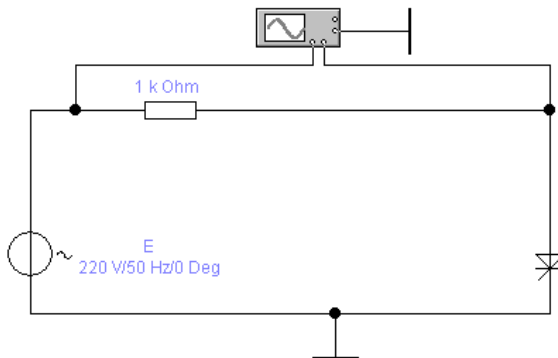


Рисунок 7.1 - Увімкнення тиристора по анодному ланцюгу

#### Експеримент №2

Дослідження тиристора, коли  $U_E > U_{VDRM}$

- 5 Повторити експеримент №1, але значення амплітуди джерела вхідної напруги встановити більшим, ніж значення параметра VDRM моделі тиристора.
- 6 Підключити осцилограф, зняти осцилограми.
- 7 Визначити режим роботи тиристора.

### Експеримент №3

Ввімкнення тиристора по ланцюгу керування

- 8 Скласти схему рис 7.2.
- 9 Значення амплітуди джерела вхідної напруги встановити меншим, ніж значення параметра VDRM моделі тиристора.
- 10 Підключити осцилограф, зняти осцилограми.
- 11 Визначити режим роботи тиристора та кут затримки ввімкнення тиристора.

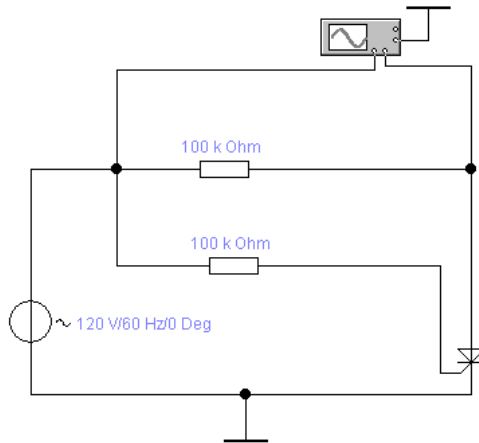


Рисунок 7.2 - Увімкнення тиристора по ланцюгу керування

### Експеримент №4

Дослідження симистора

- 12 Скласти схему рис 7.3.
- 13 Значення амплітуди джерела вхідної напруги встановити меншим, ніж значення параметра VDRM моделі тиристора.
- 14 Підключити осцилограф, зняти осцилограми.

- 15 Визначити режим роботи симистора та кут затримки ввімкнення симистора.

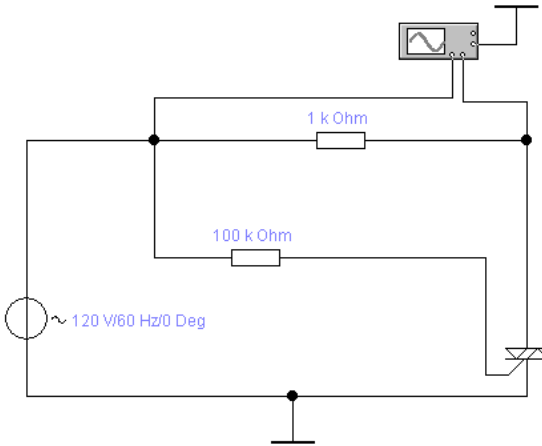


Рисунок 7.3 - Дослідження симистора

### Контрольні питання

1. Що називають тиристором?
2. Які види тиристорів ви знаєте?
3. Намалуйте структурну схему тиристора.
4. Намалуйте та поясніть ВАХ тиристора.
5. Відмінності симистора від тиристора.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

**Мета:** дослідити пасивні фільтри електронних пристроїв на базі RC- та LC-ланцюгів.

**Короткі теоретичні дані:** в електроніці часто необхідно виділити сигнал заданої частоти з усієї сукупності інформації і паразитних сигналів, які поступають на вхід приладу. Для цієї мети використовують різні частотно-вибіркові схеми, які прийнято називати фільтрами [1,3]. Основою будь-якого фільтра є **RC** – або **LC** – ланцюг, який являє собою пасивну частину усього електронного пристрою, тобто є пасивним фільтром. Саме пасивний фільтр виділяє сигнали заданих частот з усього їх спектра, а інша частина приладу виконує аналогову операцію по підсиленню або генерації цього сигналу.

Прийнято виділяти чотири основні різновиди фільтрів: нижніх частот (ФНЧ) – рис. 8.1, які пропускають сигнали з частотою нижче деякого значення (сигнали більш високої частоти подавляє); верхніх частот (ФВЧ), котрі пропускають сигнали з частотою вище деякого значення; смугозагороджуючі (СЗФ), які подавляють тільки сигнали визначеного діапазону частот (сигнали більш високої частоти та нижчої частоти пропускає); смугопропускаючі (СПФ), які пропускають тільки сигнали заданого діапазону частот.

Основними характеристиками фільтрів є амплітудно-частотна (АЧХ) – рис. 8.2 та фазочастотна (ФЧХ) – рис. 8.3. АЧХ - це залежність коефіцієнта передачі фільтра від частоти. ФЧХ - це залежність фазового зсуву вихідного сигналу по відношенню до вхідного. Коефіцієнт передачі фільтра частоти виражають у децибелах.

$$K [\text{дБ}] = 20 \lg K,$$

де:  $K [\text{дБ}]$ - коефіцієнт підсилення у децибелах;

$K$ - коефіцієнт підсилення у відносних одиницях.

$$K = U_{\text{out}} / U_{\text{in}};$$

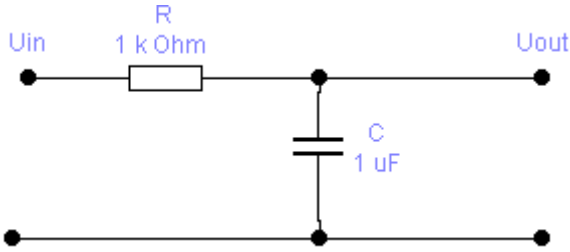


Рисунок 8.1 - Фільтр низьких частот (ФНЧ)

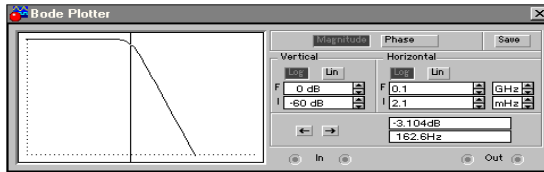


Рисунок 8.2 - Графічне зображення АЧХ ФНЧ у Бодє плотері

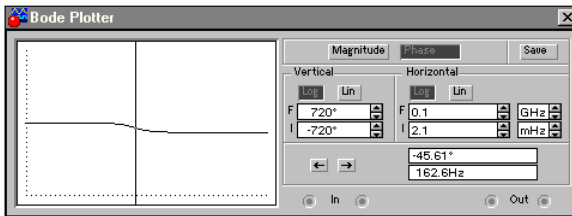


Рисунок 8.3 - Графічне зображення ФЧХ ФНЧ у Бодє плотері

Основним параметром ФНЧ є частота зрізу:

$$f_0 = 1 / 2\pi RC$$

При частоті сигналу рівній  $f_0$  максимальне значення  $U_{OUT}$  зменшується у  $\sqrt{2}$  раз. При  $f > f_0$  вихідна напруга зменшується зі зростанням частоти зі швидкістю 20 дБ/дек, тобто при збільшенні частоти у 10 разів (на декаду)  $U_{OUT}$  зменшується у 10 разів. Діапазон частот від 0 до  $f_0$  називається полозою пропускання ФНЧ.

Фільтри верхніх частот (ФВЧ) характеризуються тими ж самими параметрами, що і ФНЧ.

Основним параметром для СЗФ є частота квазірезонансу  $f_0$  :

$$f_0 = 1 / 2\pi R_1 C_1$$

Смуга пропускання Т-образного моста  $\Delta f$  визначається як різниця частот, при яких вихідна напруга фільтра (при заданому  $U_{IN}$ ) складає 0,707 від максимального значення  $U_{OUT}$  на схилах ФНЧ та ФВЧ. Знаючи  $\Delta f$ , можна визначити добротність фільтра  $Q$ , як:

$$Q = f_0 / \Delta f$$

Розрахунок параметрів схеми для СПФ є аналогічним, що і для СЗФ.

### Хід роботи

#### Експеримент №1

#### Дослідження ФНЧ

- 1 Скласти схему рис. 8.4.
- 2 Підключити Боде плотер.
- 3 Зняти АЧХ та ФЧХ.
- 4 Визначити  $f_0$  по АЧХ і порівняти з розрахунковими даними.
- 5 Визначити по ФЧХ кут зсуву для  $f_0$ .
- 6 Визначити швидкість зміни коефіцієнта передачі фільтра.

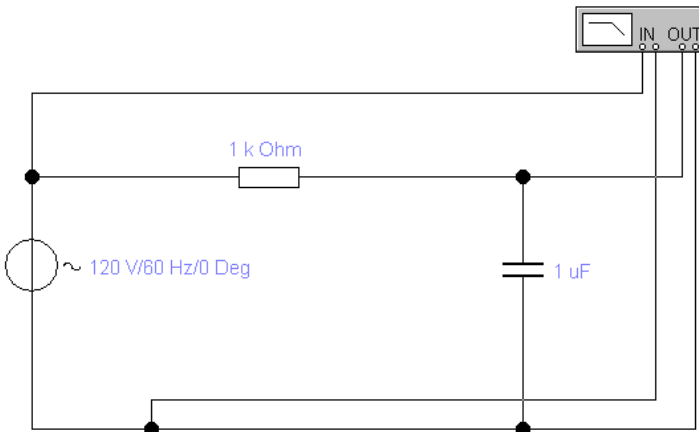


Рисунок 8.4 - Фільтр низьких частот (ФНЧ)

## Експеримент №2

## Дослідження багатоланкового RC-фільтра (ФНЧ)

- 7 Скласти схему рис. 8.5.
- 8 Підключити Бодє плотер.
- 9 Зняти АЧХ та ФЧХ.
- 10 Визначити  $f_0$  по АЧХ і порівняти з розрахунковими даними.
- 11 Визначити по ФЧХ кут зсуву для  $f_0$ .
- 12 Визначити швидкість зміни коефіцієнта передачі фільтра.

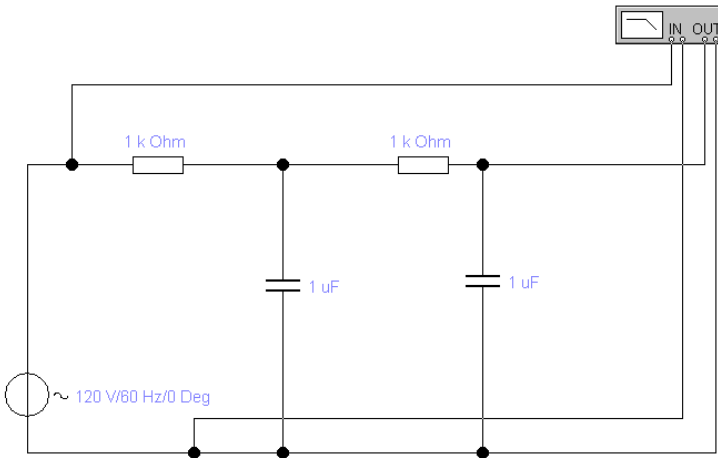


Рисунок 8.5 - Двохланковий ФНЧ

## Експеримент №3

## Дослідження ФВЧ

- 13 Скласти схему рис. 8.6.
- 14 Підключити Бодє плотер.
- 15 Зняти АЧХ та ФЧХ.
- 16 Визначити  $f_0$  по АЧХ і порівняти з розрахунковими даними.
- 17 Визначити по ФЧХ кут зсуву для  $f_0$ .
- 18 Визначити швидкість зміни коефіцієнта передачі фільтра.

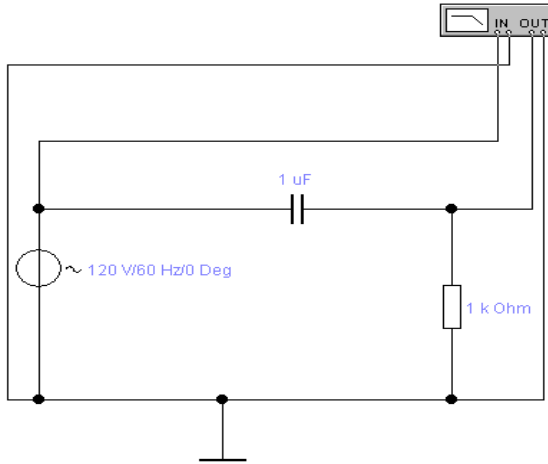


Рисунок 8.6 - Фільтр верхніх частот (ФВЧ)

## Експеримент №4

## Дослідження багатоланкового RC-фільтра (ФВЧ)

- 19 Скласти схему рис. 8.7.
- 20 Підключити Бодє плотер.
- 21 Зняти АЧХ та ФЧХ.
- 22 Визначити  $f_0$  по АЧХ і порівняти з розрахунковими даними.
- 23 Визначити по ФЧХ кут зсуву для  $f_0$ .
- 24 Визначити швидкість зміни коефіцієнта передачі фільтра.

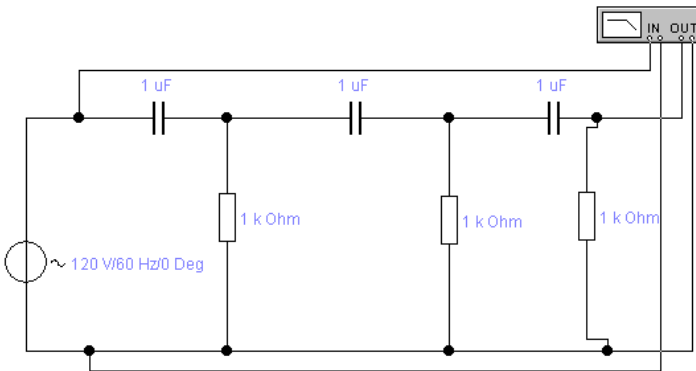


Рисунок 8.7 – Трьохланковий ФВЧ

## Експеримент №5

## Дослідження смугозагороджуючого фільтра

- 25 Скласти схему рис. 8.8 та підключити Бодє плотер.
- 26 Зняти АЧХ та ФЧХ.
- 27 Визначити по АЧХ частоту  $f_0$  та ширину смуги загородження і порівняти з розрахунковими даними.
- 28 Визначити по ФЧХ кут зсуву для  $f_0$ .
- 29 Визначити добротність фільтра.

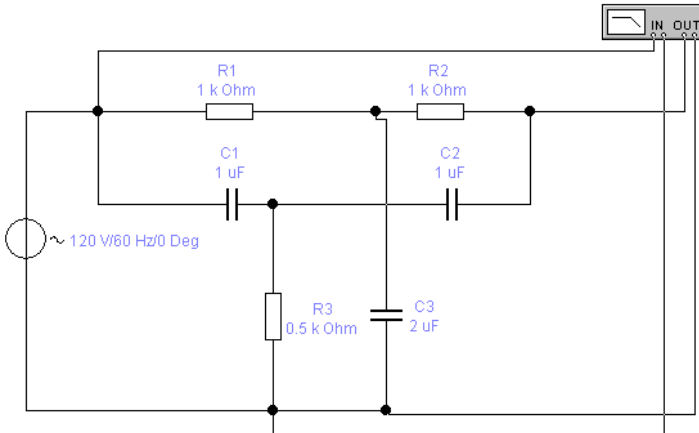


Рисунок 8.8 - Схема подвійного Т-образного моста

## Експеримент №6

## Дослідження смугопропускаючого фільтра

- 30 Скласти схему рис. 8.9 та підключити Бодє плотер.
- 31 Зняти АЧХ, ФЧХ.
- 32 Визначити по АЧХ частоту  $f_0$  ширину смуги пропускання і порівняти з розрахунковими даними.
- 33 Визначити по ФЧХ кут зсуву для  $f_0$ .
- 34 Визначити добротність фільтра.

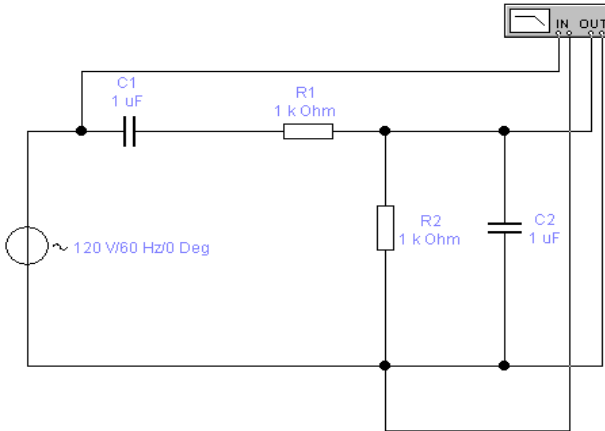


Рисунок 8.9 - Схема моста Віна

### Контрольні питання

1. Що таке фільтр?
2. Які основні різновиди фільтрів ви знаєте?
3. Що таке амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) та (ФЧХ) і від яких параметрів вони залежать?
4. Які основні параметри ФНЧ ви знаєте?
5. Що таке децибел та декада?
6. Опишіть принцип дії СЗФ та СПФ і якими параметрами вони характеризуються.
7. Де використовують фільтри?

### РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1 Бойко В. І. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої / В. І. Бойко та ін. – Київ : Вища шк., 2004.

2 Комп'ютерна електроніка [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізації «Інтегровані інформаційні системи» / А.О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 80.9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 469 с.

3 Бойко В. І. Схемотехніка електронних систем. В 2 Кн. Кн. 2. Цифрова схемотехніка / В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В. Я. Жуйков та ін. – «Вища школа», 2004

4 Гніліцький В. В. Аналогова електроніка : навч. посіб. / В. В. Гніліцький, Є. С. Купкін, А. О. Новацький. – Житомир : ЖДТУ, 2012.

5 Новацький А. О. Імпульсна та цифрова електроніка : навч. посіб. / А. О. Новацький. – Київ : НТУУ «КПІ», 2014.

6 [Learn About Electronics - Home Page \(learnabout-electronics.org\)](https://learnabout-electronics.org/) [Electronic resource] Access mode <https://learnabout-electronics.org/index.php> (дата звернення: 26.12.2023).

7 BASIC ELECTRONICS Student Handbook Class - XI CENTRAL BOARD OF SECONDARY EDUCATION Shiksha Kendra, 2, Community Centre, Preet Vihar, Delhi [Electronic resource] Access mode [http://cbseacademic.nic.in/web\\_material/Curriculum/Vocational/2018/Basic\\_Electronics\\_XI.pdf](http://cbseacademic.nic.in/web_material/Curriculum/Vocational/2018/Basic_Electronics_XI.pdf) (дата звернення: 26.12.2023).

8 Horn, Delton T. Basic electronics Theory -4<sup>th</sup> ed., TAB Books. Division of McGraw-Hill, New York. 692 p.