ЕТ – 1

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
"Дніпровська політехніка"

Кафедра електротехніки

Д.В. Ципленков, О.В. Бобров, С.І. Федоров, Т.В. Лябагова

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до виконання лабораторних робіт з дисциплін: «Електротехніка», «Електротехніка та електроніка» (розділи «Електричні кола» та «Основи електроніки») для студентів неелектротехнічних спеціальностей

Дніпро
2021

ЕТ-1

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
"Дніпровська політехніка"

Кафедра електротехніки

Д.В. Ципленков, О.В. Бобров, С.І. Федоров, Т.В. Лябагова

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до виконання лабораторних робіт з дисциплін: «Електротехніка», «Електротехніка та електроніка» (розділи «Електричні кола» та «Основи електроніки») для студентів неелектротехнічних спеціальностей

Дніпро
2021

Рекомендовано до видання навчально-методичним відділом (протокол № від за поданням науково-методичної комісфії зі спеціальності 132 «Матеріалознавство» (протокол № від)

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисциплін: «Електротехніка», «Електротехніка та електроніка» (розділи «Електричні кола» та «Основи електроніки») для студентів неелектротехнічних спеціальностей / Д.В. Ципленков, О.В. Бобров, С.І. Федоров, Т.В. Лябагова; Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Д.: НТУ "ДП", 2021. – 49 с.

Автори:

Ципленков Д.В., канд. техн. наук, доц. (роботи 1, 2, 3)
Бобров О.В. канд. техн. наук, доц. (роботи 2, 3, 4)
Федоров С.І., старший викладач (роботи 1, 4, 5)
Лябагова Т.В., ас. (роботи 4, 5)

Методичні вказівки призначено для виконання лабораторних робіт з дисциплін «Електротехніка», «Електротехніка та електроніка» (розділи «Електричні кола» та «Основи електроніки») студентами неелектротехнічних спеціальностей вузу.

З розділу «Електричні кола» розглянуто питання підключення електровимірювальних приладів та дослідження лінійного розгалуженого електричного кола постійного струму, дослідження лінійного нерозгалуженого кола синусоїдального струму та дослідження режимів роботи трифазних схем. З розділу «Основи електроніки» розглянуто дослідження транзисторного підсилювача низької частоти та дослідження однофазних напівпровідникових випрямлячів.

Вступ

У програму лабораторних робіт входять деякі контрольні, а також інші випробування, що дозволяють досліджувати різні режими роботи електричних кіл постійного та синусоїдального струму при різних схемах з'єднання, різних умовах навантаження та електричних машин і т.п.

Перед складанням схеми при проведенні лабораторних випробувань необхідно підрахувати очікувані граничні значення вимірюваних величин струму, напруги і потужності та підібрати прилади (амперметри, вольтметри і ватметри та інші прилади) з найближчими найбільшими межами вимірів.

Неправильний вибір меж виміру приладів може привести до зниження точності вимірів, якщо обрані прилади з надмірно великими межами, або до ушкодження приладів, якщо обрані межі вимірів недостатні.

Деякі прилади можуть мати кілька меж виміру на різних затискачах або положеннях перемикача. Наприклад, ватметри, що застосовуються в лабораторії можуть мати на послідовній обмотці дві межі, наприклад, 5 А та 10А, а на паралельній обмотці кілька меж, наприклад, 30; 75; 150; 300 В. Вольтметри можуть мати межі 75; 150; 300; 600 В. Для таких приладів рекомендується перед ввімкненням схеми встановити найбільші можливі межі, а після ввімкнення перейти на межі виміру більш близькі вимірюваним величинам. При ввімкненні схеми рекомендується також, якщо це можливо, зашунтувати амперметри, послідовні обмотки ватметрів і первинні обмотки трансформаторів струму.

В лабораторних роботах **розрахунок виконується наступним чином**: записується формула, потім виконується підстановка усіх значень та вказується результат рішення. Після нього вказуються одиниці виміру. Наприклад:

$$a = \frac{b+c}{d} = \frac{5+7}{3} = 4H.$$

ПРАВИЛА БЕЗПЕЧНОЇ РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЯХ КАФЕДРИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

При роботі в лабораторіях кафедри електротехніки необхідно дотримуватись наступних правил, що забезпечують безпеку від поразки електричним струмом:

- Працювати тільки на тому стенді, що зазначений викладачем і не торкатися схем, зібраних на інших стендах.
- Вмикати зібрану схему під напругу **тільки після перевірки схеми і з дозволу викладача**, що веде заняття в групі (підгрупі).
- Перед ввімкненням схеми під напругу переконатися в тому, що немає людей, які знаходяться в небезпечній близькості від схеми, що вмикається.
- Під час виконання досліду не торкатися відкритих струмоведучих частин схеми, що знаходиться під напругою.
- **Усі необхідні роз'єднання та наступні з'єднання робити тільки після вимкнення схеми від мережі (вимкнено автоматичний вимикач та знято запобіжники)**.
- При виявленні будь-яких несправностей чи ненормальної роботи схеми (перегоряння запобіжників, поява іскор, спалахів і т.п.) негайно відімкнути схему від мережі і доповісти про це викладачу, що проводить заняття.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № ЕТ 1/1

ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙНОГО РОЗГАЛУЖЕНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

***Мета роботи*:**

Ознайомлення з електровимірювальними приладами, вивчення методів вимірювання основних електричних величин приладами, що використовуються при виконанні лабораторних робіт та дослідити електричний стан лінійного розгалуженого електричного кола постійного струму.

Програма роботи

1. Вивчення умовних графічних позначень елементів електричних кіл та електровимірювальних приладів.

2. Ознайомлення з електровимірювальними приладами та вивчення схем їх вмикання.

3. Вивчення способів розширення меж вимірювання приладів.

4. Попередній розрахунок параметрів електричного кола.

5. Вибір приладів, складання електричного кола та експериментальне дослідження кола зі змішаним з'єднанням опорів на постійному струмі.

6. Складання звіту.

Порядок виконання роботи

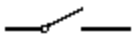
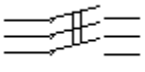
Етап 1. *Вивчення умовних графічних позначень елементів електричних кіл та електровимірювальних приладів.*

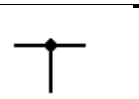
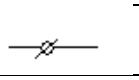
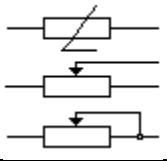
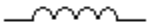
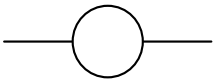
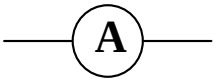
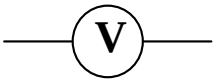
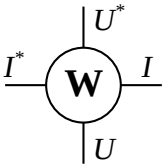
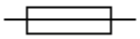
Користуючись літературою та наведеними таблицями 1.1, 1.2, 1.3 та 1.4 вивчити:

– ***графічне позначення елементів електричних кіл і електро-вимірювальних приладів.***

Таблиця 1.1

Графічне позначення елементів електричних кіл і електровимірювальних приладів

Найменування	***Умовне позначення***
Вимикач однополюсний	
Вимикач трьохполюсний	
Провід	

Найменування	***Умовне позначення***
З'єднання дротів електричне	
Роз'ємне електричне з'єднання	
Лампа розжарювання	
Резистор регульований: а) загальне позначення; б) з розривом кола; в) без розриву кола	
Конденсатор	
Котушка індуктивності	
Вимірювальний прилад	
Амперметр	
Вольтметр	
Ваттметр	
Запобіжник плавкий	

– ***умовне позначення одиниці вимірювання, або вимірюваної величини, або початкові букви найменування приладу.***

Таблиця 1.2

Умовне позначення одиниці вимірювання або вимірюваної величини

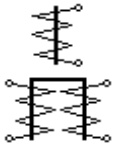
Величина що вимірюється	***Назва приладу***	***Умовне позначення***	***Назва вимірюваної величини***
Струм	Амперметр Міліамперметр Мікроамперметр	*A* *mA* *μA*	*Ампер* *Міліампер* *Мікроампер*
Напруга	Вольтметр Мілівольтметр	*V* *mV*	*Вольт* *Мілівольт*
Електрична потужність	Ватметр Кіловатметр	*W* *кW*	*Ват* *Кіловат*

Величина що вимірюється	***Назва приладу***	***Умовне позначення***	***Назва вимірюваної величини***
Електрична енергія	Лічильник кіловат-годин	*кWh*	*Кіловат-година*
Зсув фаз	Фазометр	*φ*	*Градус*
Частота	Частотомір	*Hz*	*Герц*
Електричний опір	Омметр Мегоомметр	*Ω* *MΩ*	*Ом* *Мегоом*

– ***умовні позначення систем приладів:***

Таблиця 1.3

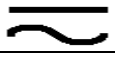
Умовні позначення систем приладів

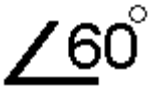
Система приладу	***Умовне позначення***
Магнітоелектрична: – з рухомою рамою і механічною протидіючою силою: – з рухомою рамою без механічної протидіючої сили (логометр)	
Електромагнітна: – з механічною протидіючою силою – без механічної протидіючої сили (логометр)	
Електродинамічна: – з механічною протидіючою силою – без механічної протидіючої сили	

– ***умовні позначення на шкалі приладів:*** род струму, число фаз, клас точності приладу, випробувальна напруга ізоляції, робоче положення приладу, виконання приладу залежно від умов експлуатації, категорії приладу по ступеню захисту від зовнішніх магнітних полів.

Таблиця 1.4

Інші умовні позначення

Розшифровка умовного позначення	***Умовне позначення***
Прилад постійного струму	
Прилад постійного і змінного струму	
Прилад змінного струму	
Прилад трифазного струму	
Прилад класу точності 1,5	**1,5**

Розшифровка умовного позначення	*Умовне позначення*
Вимірювальне коло ізольоване від корпусу і випробуване напругою 2 кВ	
Обережно! Міцність ізоляції вимірювального кола не відповідає нормам	
Робоче положення шкали горизонтальне	
Робоче положення шкали вертикальне	
Робоче положення шкали похиле, під кутом 60° до горизонту	
Виконання приладу залежно від умов експлуатації (властивостей навколишнього середовища)	А Б В
Категорія приладу по ступеню захищеності від зовнішніх магнітних полів	

Етап 2. *Ознайомлення з електровимірювальними приладами та вивчення схем їх вмикання*

За літературою та методичними вказівками ознайомитися з будовою і принципом дії приладів для вимірювання струму, напруги і потужності.

Накреслити схеми вмикання приладів (рисунок 1.2), використовуючи умовні графічні позначення. Звернути увагу на те, що коло струму ватметра вмикається аналогічно амперметру, а коло напруги – аналогічно вольтметру.

Етап 3. *Вивчення способів розширення меж вимірювання приладів.*

Ознайомитися з будовою, областю застосування перетворювачів для розширення меж вимірювання приладів по струму (шунти, трансформатори струму) і по напрузі (додаткові опори, трансформатори напруги).

Накреслити схеми вмикання амперметрів, вольтметрів і ватметрів з вимірювальними перетворювачами (рисунок 1.3).

Записати формули для визначення ціни поділок приладів, увімкнених через вимірювальні перетворювачі.

Етап 4. *Попередній розрахунок параметрів електричного кола*

За заданими значеннями опорів реостатів R_1, R_2, R_3 розрахувати значення струмів та напруг на ділянках електричного кола, наведеного на рис. 1.1.

Порівняти знайдені значення струму з допустимими струмами реостатів, що є на робочому місці. Розраховані величини записати в табл. 1.5.

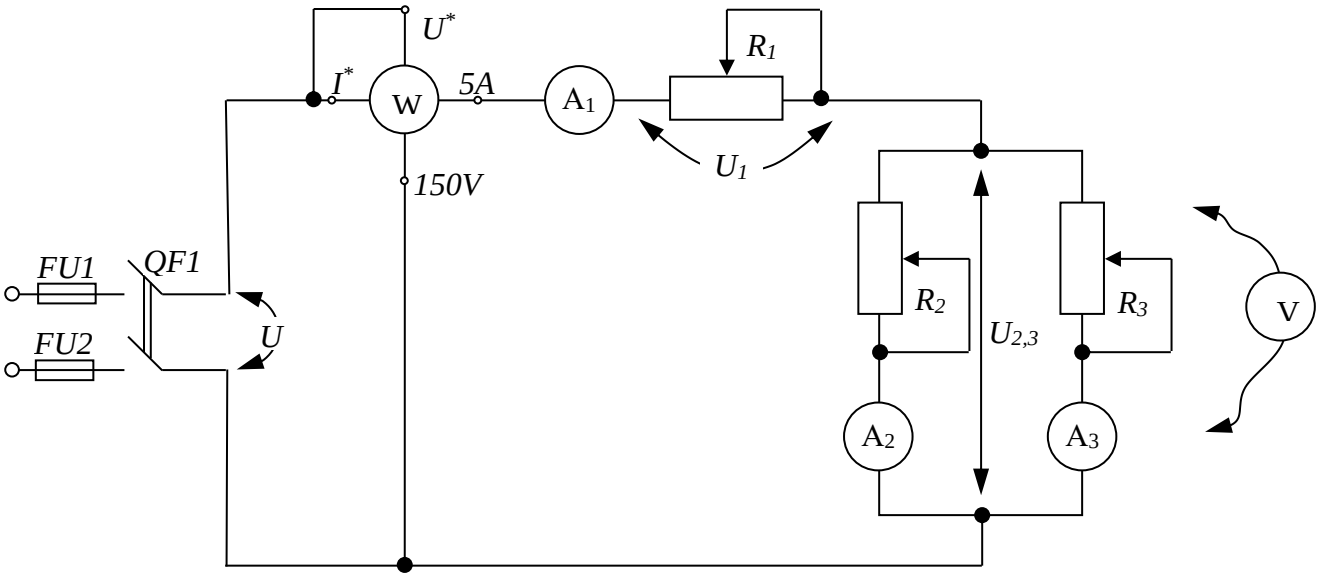


Рисунок 1.1 – Принципова схема з'єднань розгалуженого електричного кола

Таблиця 1.5

Результати вимірювання напруг і струмів.

Параметри електричного кола	U, *В*	R_1, *Ом*	R_2, *Ом*	R_3, *Ом*	I_1, *А*	I_2, *А*	I_3, *А*	U_1, *В*	$U_{2,3}$, *В*	P, *Вт*
Задано	127									
Розраховано										
Виміряно										
Відхилення, %										

Етап 5. *Вибір приладів, складання електричного кола та експериментальне дослідження кола зі змішаним з'єднанням опорів на постійному струмі*

5.1 В залежності з отриманими значеннями струмів та напруг обрати межі вимірів електричних приладів та зібрати електричне коло за схемою, наведеною на рисунку 1.1. Встановити двіжки реостатів у положення, яке відповідає максимальному опору.

Після **перевірки** правильності складання електричного кола викладачем ввімкнути його до мережі (вставити запобіжники *FU*1, *FU*2 та ввімкнути автоматичний вимикач *QF*1) й виміряти значення струмів, напруг та потужності. Результати вимірювань записати в таблицю 1.5.

5.2 Розрахувати відхилення виміряної величини від розрахованої у відсотках за виразами:

$$\Delta U = \frac{U_{вим} - U_{розр}}{U_{вим}}; \quad \Delta I = \frac{I_{вим} - I_{розр}}{I_{вим}}; \qquad \Delta P = \frac{P_{вим} - P_{розр}}{P_{вим}}.$$

Результати розрахунків занести до табл. 1.5.

5.3 Використовуючи умовні позначки записати характеристики приладів в табл. 1.6.

Таблиця 1.6

Характеристики приладів

Характеристика приладів	*Вольтметр*				*Амперметр*		*Ватметр*	
Тип приладу								
Заводський №								
Межа вимірювання								
Ціна поділку								
Внутрішній опір								
Клас точності								
Рід струму								
Робоче положення								

5.4 Вважаючи, що значення опору одного з реостатів зменшується, при незмінному опорі інших двох реостатів, у відповідності з таблицею 1.7, визначити напрямок зміни струму і напруги в елементах електричного кола. Напрямок зміни вказати стрілками. Якщо параметр залишається незмінним ставити знак "=".

Таблиця 1.7.

Результати дослідження кола зі змішаним з'єднанням опорів на постійному струмі

$R_1 \downarrow$	$R_{2=}$	$R_{3=}$	I_1	I_2	I_3	$U_{1,2}$	U_3
$R_{1=}$	$R_2 \downarrow$	$R_{3=}$	I_1	I_2	I_3	$U_{1,2}$	U_3
$R_{1=}$	$R_{2=}$	$R_3 \downarrow$	I_1	I_2	I_3	$U_{1,2}$	U_3

Етап 6. *Складання звіту*

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, програму роботи та її мету.
2. Схеми та рисунки 1.1, 1.2, 1.3.
3. Таблиці 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7.
4. Розрахункові формули та обчислення всіх величин, що входять в таблиці 1.5 та 1.6
5. Розрахунок зміни параметрів схеми відповідно до таблиці 1.7.

Методичні рекомендації

До етапу 2

Прилади для вимірювання струму називаються амперметрами, напруги – вольтметрами, електричної потужності – ватметрами. Дія цих приладів заснована на електромагнітних і електричних явищах (силова дія електромагнітного поля на провідники зі струмами, взаємодія феромагнітних сердечників з магнітним полем, взаємодія електрично заряджених тіл).

При дії на прилад вимірюваної величини x в його механізмі виникає залежне від значення цієї величини переміщення стрілки (покажчика). По величині переміщення покажчика судять про шукане значення вимірюваної величини.

Залежно від принципу дії і конструкції прилади можуть бути призначені для вимірювання тільки на постійному, тільки на змінному або на змінному і постійному струмі. Це позначається на шкалі відповідними значками. На шкалі приладу показується номінальне робоче положення його шкали.

Точність приладу характеризується його *класом точності*. Він позначається на шкалі цифрою: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; або 4,0.

Клас точності вказує найбільше для даного приладу значення приведеної відносної погрішності у відсотках за нормальних умов.

Приведена відносна погрішність дорівнює

$$\beta = \frac{\Delta}{x_m} \cdot 100\%,$$

де Δ – абсолютна погрішність вимірювання; x_m – нормуюче значення, яке для приладів з односторонньою шкалою дорівнює межі вимірювання приладу.

Відносна погрішність приладу при вимірюванні дорівнює

$$\beta = \frac{\Delta}{x} = \beta_m \frac{x_m}{x},$$

де x – значення вимірюваної величини.

Шкала приладу розбита на поділки. Переміщення покажчика на один поділок шкали обумовлене зміною параметра x на певну величину, яка має назву – *ціна поділки приладу*.

Ціна поділки приладу позначається C_x і визначається в одиницях вимірюваної величини x на поділок.

Ціну поділки приладу можна визначити до початку вимірювання за формулою

$$C_x = \frac{x_m}{N_{max}},$$

де x_m – межа вимірювань даного приладу; N_{max} – повне число поділок його шкали.

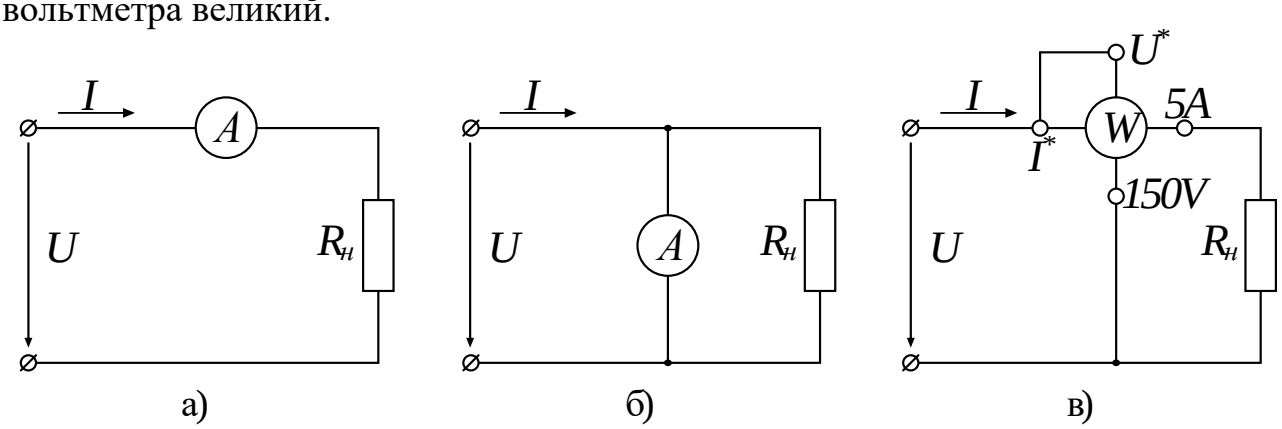
Згідно цьому для амперметра, вольтметра і ватметра ціна поділки буде дорівнювати відповідно:

$$C_I = \frac{I_m}{N_{max}};\quad C_U = \frac{U_m}{N_{max}};\quad C_p = \frac{P_m}{N_{max}} = \frac{U_m I_m}{N_{max}}.$$

Для ватметра завжди відомі граничні значення напруги U_m та струму I_m.

Амперметр має два затискачі, за допомогою яких вмикається послідовно в коло вимірюваного струму (рис. 1.2, *а*). Внутрішнє коло амперметра має невеликий опір.

Вольтметр має також два затискачі за допомогою яких підключається до двох точок кола, напруга між якими вимірюється (рис. 1.2, *б*). Внутрішній опір вольтметра великий.



а) б) в)

Рисунок 1.2 – Схеми вмикання приладів:

а – амперметра; *б* – вольтметра; *в* – ватметра

Механізм ватметра забезпечений двома котушками: котушкою струму, що має малий опір і вмикається послідовно в коло струму, і котушкою напруги, що має великий опір і кола, що включається на напругу. Тому ватметр має чотири затискачі. Затискачі ватметра, позначені зірочками, називають генераторними. Вони вмикаються з боку джерела (рис. 1.2, *в*).

Ватметр забезпечено перемикачем, що дозволяє змінювати напрям відхилення стрілки. Він використовується при вимірюваннях в трифазних колах, а також в однофазних колах змінного струму при зміні напряму передачі енергії. Кожному положенню перемикача відповідає певний знак показань ватметра (+ або –).

До етапу 3

Іноді необхідно виміряти електричну величину, значення якої перевищує межу вимірювання даного приладу. У таких випадках застосовують електричні перетворювачі, що дозволяють розширити (збільшити) межу вимірювання приладу.

Для розширення меж вимірювання амперметрів на *постійному струмі* застосовуються шунти (рис. 1.2, *а*). Шунт є малим опором, забезпечений чотирма затискачами. На *змінному струмі* для цієї мети застосовуються трансформатори струму (рис. 1.2, *г*).

При вмиканні амперметра з шунтом його межа вимірювання і ціна поділку збільшуються в

$$n = 1 + \frac{R_a}{R_ш} \text{ разів,}$$

де R_a – внутрішній опір амперметра; $R_ш$– опір шунта.

Ціна поділку амперметра із зовнішнім шунтом

$$C_I' = C_I n.$$

Для розширення межі вимірювання амперметра в n разів потрібен шунт з опором

$$R_ш = \frac{R_a}{n-1}, \text{ Ом.}$$

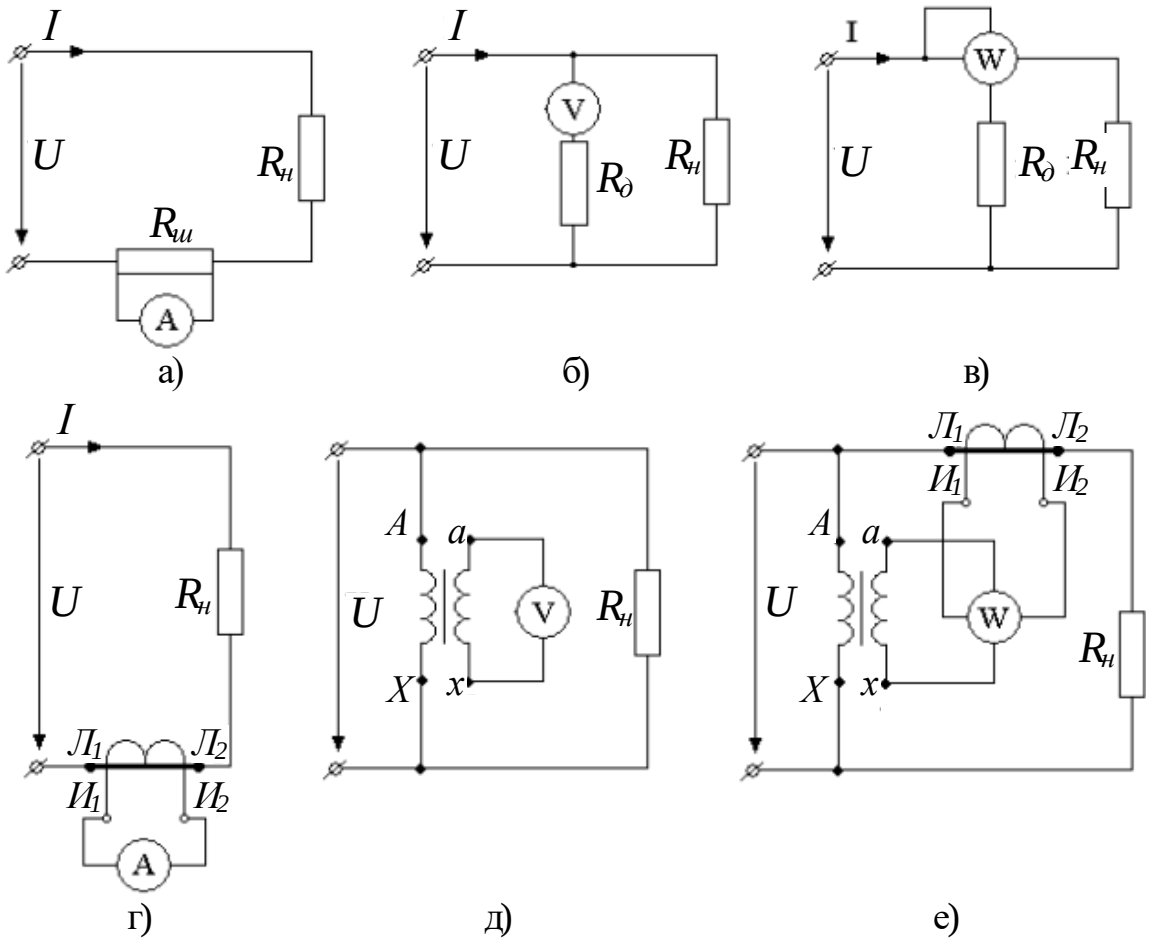


Рисунок 1.2 – Схеми вмикання приладів з вимірювальними перетворювачами

Для вмикання амперметра з трансформатором струму (рис. 1.2, *г*) його ціна поділку дорівнює

$$C_I' = C_I K_I,$$

де $K_I = \frac{I_{1н}}{I_{2н}}$ – коефіцієнт трансформації; $I_{1н}$, $I_{2н}$ – номінальні струми первинної і вторинної обмотки трансформатора струму, вказані на його щитку.

Так само вимірюється і межа вимірювання амперметра:

$$I_m' = I_m K_I.$$

По міркуваннях безпеки при роботі трансформатора струму не можна розмикати коло його вторинної обмотки, які позначаються буквами *И1* та *И2*.

Розширення межі вимірювання вольтметра на постійному і змінному струмі може бути досягнуте за допомогою додаткового опору, що вмикається послідовно з вольтметром (рис. 1.2, *в*).

Ціна поділку і межа вимірювання вольтметра при вмиканні додаткового опору збільшується в

$$m = 1 + \frac{R_д}{R_U}, \text{ разів,}$$

де R_U – внутрішній опір вольтметра; $R_д$– величина додаткового опору.

Для розширення межі вимірювання вольтметра в m раз необхідно включити додатковий опір

$$R_д = R_U (m - 1).$$

При вмиканні вольтметра з трансформатором напруги (рис 1.2, *д*) його ціна поділку дорівнює

$$C_U' = C_U K_U,$$

де $K_U = \frac{U_{1н}}{U_{2н}}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора напруги; $U_{1н}$, $U_{2н}$ – номінальна первинна і вторинна напруги, вказані на щитку трансформатора.

Для розширення меж виміру ватметра необхідно застосовувати додаткові опори, шунти та трансформатори струму та напруги, що вмикаються відповідно у кола струму та напруги приладу (рис. 1.2, *в*, *е*).

При вмиканні ватметра з додатковим опором в колі напруги (рис. 1.2, *в*) його ціна поділку дорівнює

$$C_P = C_P m,$$

де C_P – ціна поділку ватметра; $m = 1 + \frac{R_д}{R_{WU}}$ – коефіцієнт розширення межі вимірювання ватметра по напрузі; R_{WU} – опір кола напруги ватметра.

При вмиканні ватметра з вимірювальними трансформаторами струму і напруги (рис. 1.2, *е*) його ціна поділку дорівнює

$$C_P = C_P K_U K_I,$$

де K_U, K_I – коефіцієнти трансформації вимірювальних трансформаторів.

До етапу 4

Виконати розрахунок розгалуженого електричного кола шляхом перетворень:

– Еквівалентний опір всього кола.

$$R_{екв} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}.$$

– Струми і напруги віток:

$$I_1 = \frac{U}{R_{екв}}; \qquad I_2 = \frac{U_{23}}{R_2}; \qquad I_3 = \frac{U_{23}}{R_3};$$

$$U_1 = R_1 I_1; \qquad U_{23} = U - U_1 = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} I_1.$$

– Потужність кола

$$P = I_1^2 R_{екв} = U I_1.$$

До етапу 5

Вибір приладів для вимірювання електричних величин здійснюється з врахуванням: роду струму; частоти; необхідної точності вимірювання; значення вимірюваної величини; опору кола і інших умов.

Для підвищення точності вимірювання прилад вибирають таким, щоб його межа перевищувала значення вимірюваного параметра що очікується вимірювання на 30...50 відсотків. Такий само принцип вибору приладів застосовується і для вимірювання неелектричних параметрів, наприклад: тиску, швидкості, тощо.

Для ватметра цю умову необхідно виконувати окремо для кожної з обмоток. Інакше струм або напруга в одній з його обмоток може перевищити його граничні-припустимі значення, що призведе до перегріву обмотки та виходу з ладу приладу.

Для ватметра необхідно, щоб межа приладу:

– по напрузі дорівнювала $U_m = (1{,}1 \ldots 1{,}6)U$;
– по струму дорівнювала $I_m = (1{,}5 \ldots 1{,}8)I$.

Тоді $P_m = (1{,}65\ldots2{,}9)P$. *U, I, P* – значення напруги, струму та потужності, що очікуються, у колі.

Якщо є прилад з декількома межами вимірювання, то залежно від значення вимірюваної величини вибирають ту або іншу межу відповідно до приведених рекомендацій.

Щоб внутрішній опір приладів не здійснював помітного впливу на опір кола і її режим роботи, слід виконувати умови:

$$R_A = (0{,}001\ldots0{,}005)R; R_U = (1000\ldots500)R,$$

де R – опір кола, в якій ввімкнені прилади.

Такі ж вимоги пред'являються до опорів кіл струму і напруги ватметра.

Результати вимірювання знаходять за формулою

$$x = C_x\alpha,$$

де α – відхилення покажчика приладу в поділках.

Так $U = C_U\alpha$, $I = C_I\alpha$, $P = C_P\alpha$.

Контрольні запитання

1. Які фізичні явища використовуються в електровимірювальних приладах?
2. Як вмикається в коло вольтметр, амперметр, ватметр? Чому?
3. Що називається ціною поділку приладу?
4. Як визначається ціна поділку приладу?
5. Що називають класом точності приладів?
6. Дайте пояснення умовним позначкам, що наносяться на шкалу приладів.
7. Як визначають шукане значення вимірюваної величини при вимірюванні?
8. Які способи розширення меж вимірювання приладів застосовуються при постійному і змінному струмі?
9. Як визначити ціну поділку приладу, що вмикається з вимірювальними електричними перетворювачами?
10. Які умовні графічні позначення застосовуються для позначення елементів електричного кола на схемах?
11. Як умикаються генераторні затискачі ватметра?
12. Чому дорівнює електричних вимірювальних перетворювачів, що використовуються для розширення меж вимірювання приладів?
13. Як вибираються межі вимірювання приладів?
14. Для чого служить перемикач напряму відхилення стрілки ватметра?
15. Скласти схему з послідовним з'єднанням опорів R_1, R_2, R_3 і визначити еквівалентний опір кола і струм.

16. Скласти схему з паралельним з'єднанням опорів R_1, R_2, R_3 і визначити еквівалентний опір і струм в вітках.

17. Що називається віткою, вузлом, незалежним контуром. Визначити число віток, вузлів та незалежних контурів в досліджуваній схемі (рис. 2.1).

18. Як розподіляються струми в паралельних вітках?

19. Сформулюйте узагальнений закон Ома і запишіть його для ділянки кола, що містить джерело ЕРС.

20. Сформулюйте закони Кирхгофа і запишіть їх. Для законів Кирхгофа дайте по два формулювання.

21. Як вибирають позитивні напрямки для струмів віток і як зв'язані з ними позитивні напрямки напруг на опорах.

22. Як зміняться струми в вітках схеми рис. 1.1 при збільшенні опору: а) R_1; б) R_2; в) R_3?

23. Як зміняться струми в вітках схеми рис. 1.1 при зменшенні опору: а) R_1; б) R_2; в) R_3?

24. Як зміняться струми в колі (рис. 1.1) при збільшенні числа паралельно ввімкнених приймачів до опорів R_3 або R_2?

25. Як зміняться струми в колі (рис. 1.1) при збільшенні послідовно ввімкнених приймачів до опорів: а) R_1; б) R_2; в) R_3?

Література

1. Шкрабець Ф.П., Ципленков Д.В., Куваєв Ю.В. та ін. Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки: Навчальний посібник – Дніпропетровськ, Національний гірничий університет, 2004. – 515 с. **(§§ 1.1-1.3 стор. 8 – 16; 20-32; §§ 5.1 – 5.18, стор. 96-131).**

2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Вісшая школа. 2002. – 542 с. (**§§ 1.1-1.8, стор. 4-17; §§ 12.1-12.7, стор. 338-358**).

3. Электрические измерения. Р.М. Демидова-Панферова, В.Н. Малиновский, В.С. Попов и др.. – М.: Энергоиздат, 1983. – 392 с. (**§§ 1.2 – 1.4, стор. 16 – 28; §§ 2.1-2.3 стор. 31-45; § 5 – стор. 72-117; §10-12**).

4. Бессонов Л.А. Теоретические основі электротехники. Электрические цепи. – 10-е изд. М.: УИЦ "Гардарики", 2001. – 638 с. (§§ 2.1-2.8, стор. 28-37).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № ЕТ 1/2.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙНОГО НЕРОЗГАЛУЖЕНОГО КОЛА СИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ

***Мета роботи*:** Дослідити електричний стан лінійного нерозгалуженого кола синусоїдального струму в області резонансу. Розрахувати параметри

окремих елементів електричного кола. Побудувати за дослідними даними векторні діаграми напруги і струму.

Програма роботи

1. Складання електричного кола.
2. Випробування електричного кола.
3. Обчислення параметрів електричного кола.
4. Побудова векторних діаграм і резонансної кривої $I = f(X_C)$.

Порядок виконання роботи.

Етап 1. *Складання електричного кола.*

Ознайомитися з приладами і устаткуванням експериментальної установки. Скласти електричне коло за схемою, яка зображена на рис. 2.1.

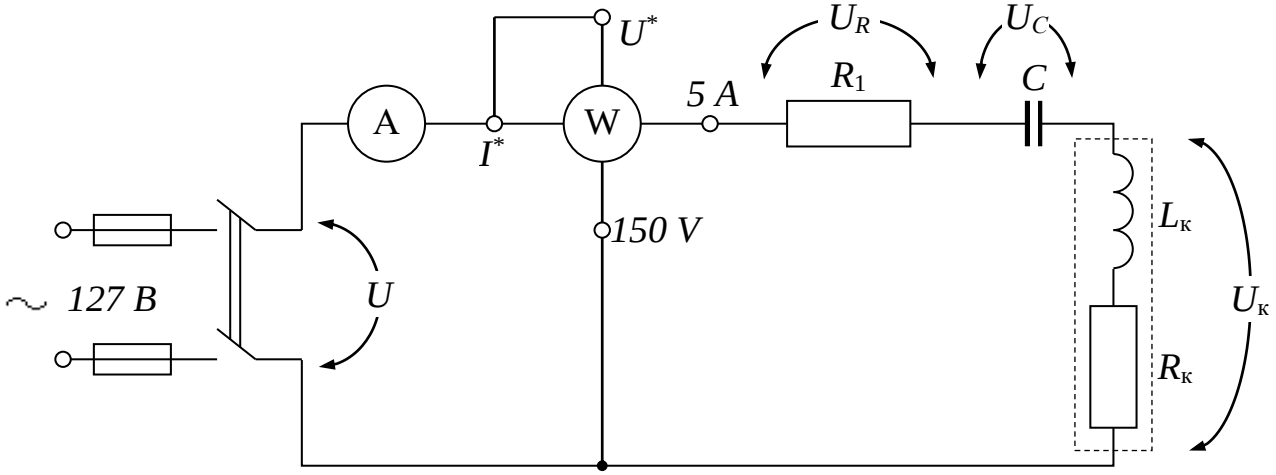


Рисунок 2.1 – Принципова схема з'єднань нерозгалуженого електричного кола

Етап 2. *Дослідження електричного кола.*

Після перевірки керівником правильності з'єднань увімкнути автоматичний вимикач. Змінюючи ємність електричного кола за допомогою магазина конденсаторів, встановити стан резонансу в колі (струм та потужність при цьому повинні мати максимальне значення). Визначити параметри електричного кола та результати вимірювань записати у другу строчку таблиці 2.1.

Встановити значення ємності менше (перша строчка) та більше (третя строчка) резонансної таким чином, що значення струму у колі відрізнялось від значення при резонансі та дослідити коло у обох випадках.

Таблиця 2.1.

Результати дослідів та розрахунків

№ вимірювання	*C, мкФ*	Вміряно						Обчислено											
		U, В	U_R, *В*	U_C, *В*	$U_к$, *В*	*I, А*	*P, Вт*	*Z, Ом*	*R, Ом*	R_1, *Ом*	$R_к$, *Ом*	$Z_к$, *Ом*	$X_к$, *Ом*	X_C, *Ом*	*L, Гн*	$U_{к,а}$, *В*	$U_{к,р}$, *В*	*cosφ*	*Q*

1																			
2																			
3																			

Етап 3. *Обчислення параметрів електричного кола*

За даними вимірювань для трьох значень ємності обчислити і записати в табл. 2.1 наступні величини:

Z – модуль повного активного опору всього кола;

R – повний активний опір всього кола;

R_1 – опір резистора;

$R_к$ – активний опір котушки індуктивності;

$Z_к$ – модуль повного опору котушки індуктивності;

X_L – індуктивний опір котушки;

X_C – опір ємності кола;

L – індуктивність котушки;

$U_{к,\,а}$ – активна складова напруги на котушці;

$U_{к,\,р}$ – реактивна складова напруги на котушці;

$cos\varphi$ – коефіцієнт потужності всього кола;

Q – добротність електричного кола при резонансі.

Етап 4. *Побудова векторних діаграм і резонансної кривої*

За даними з таблиці побудувати три векторні діаграми:

- для випадку переважно індуктивного навантаження ($X_к > X_C$);
- для режиму резонансу ($X_к = X_C$).
- для випадку переважно ємнісного навантаження ($X_к < X_C$);

На кожній діаграмі показати вектори $\underline{I}$, $\underline{U}$, $\underline{U}_R$, $\underline{U}_C$, $\underline{U}_к$.

Побудувати резонансну криву $I = f(X_C)$.

Етап 5. *Складання звіту*

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, її програму та мету.
2. Схему досліду (рис. 2.1).
3. Таблицю з результатами вимірювань та розрахунків (табл. 2.1).
4. Розрахункові формули та обчислення всіх величин, що входять до таблиці 2.1.
5. Таблицю для побудови векторної діаграми (табл. 2.2), векторні діаграми для трьох випадків ($X_к > X_C$; $X_к = X_C$; $X_к < X_C$) та резонансну криву $I = f(X_C)$.

Методичні вказівки

До етапу 2

Випробування схеми рекомендується почати з режиму резонансу. Для цього вибирають ємність магазину конденсаторів так, щоб одержати максимальний струм в колі, після чого знімають показання приладів. При високій добротності контуру в режимі резонансу напруг $U_к \approx U_C$. Потім знімають показання всіх приладів при значенні ємності, меншої резонансної, і при значенні ємності, більшої за резонансну (через 5…10 мкФ).

До етапу 3

Обчислення параметрів електричного кола виконується за формулами:

– Модуль повного опору всього кола

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2},$$

де $\omega = 2\pi f$ – кутова частота; $f = 50$ *Гц*– частота синусоїдальної напруги.

– Модуль повного опору котушки індуктивності

$$Z_к = \frac{U_к}{I}.$$

– Коефіцієнт потужності всього кола

$$\cos\varphi = \frac{P}{UI}.$$

– Активний опір всього кола

$$R = \frac{P}{I^2}.$$

– Опір резистора

$$R_1 = \frac{U_R}{I}.$$

– Активний опір котушки індуктивності

$$R_к = R - R_1.$$

– Індуктивний опір котушки

$$X_к = \sqrt{Z_к^2 - R_к^2} = \omega L = 2\pi f L.$$

– Опір ємності

$$X_C = Z_C = \frac{U_C}{I} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}.$$

– Індуктивність котушки

$$L_к = \frac{X_к}{2\pi f}.$$

– Активна і реактивна складові падіння напруги на котушці

$$U_{к,а} = R_к I;\ U_{к,р} = X_к I = \sqrt{U_к^2 - U_{к,а}^2}.$$

– Добротність електричного кола при резонансі

$$Q = \frac{X_C}{R} = \frac{X_к}{R}.$$

До етапу 4

Для побудови векторних діаграм напруг і струму скористаємося результатами розрахунків, зведених в табл. 2.1.

Для побудови діаграм вибираємо окремо масштаб для векторів струму та масштаб для векторів напруг, наприклад $m_I = 1\frac{\text{А}}{\text{см}};\ m_U = 10\frac{\text{В}}{\text{см}}$.

Всі вектори будуються у масштабі. Довжина векторів визначається виходячи з обраного масштабу, наприклад:

$$\underline{I} = \frac{I}{m_I};\quad \underline{U} = \frac{U}{m_U}.$$

Для спрощення побудови векторної діаграми визначаємо довжину всіх векторів та записуємо результати розрахунку в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2.

Визначення довжини векторів для побудови векторної діаграми

		$\underline{U}$	$\underline{U}_R$	$\underline{U}_C$	$\underline{U}_к$	$\underline{U}_{к,а}$	$\underline{U}_{к,р}$	$\underline{I}$
$X_к > X_C$	Значення параметру							
	Довжина вектора							
$X_к = X_C$	Значення параметру							
	Довжина вектора							
$X_к < X_C$	Значення параметру							
	Довжина вектора							

Порядок побудови векторної діаграми:

З точки "0" відкладаємо вектор струму $\underline{I}$.

Також з точки "0" відкладаємо вектор падіння напруги $\underline{U}_R$, співпадаючий по фазі із струмом I (має тій саме напрям що і вектор струму).

З кінця вектора $\underline{U}_R$ відкладаємо вектор падіння напруги U_C на ємності С, який відстає від вектора струму I на 90^0.

З кінця вектора $\underline{U}_C$ паралельно вектору струму $\underline{I}$ відкладаємо відрізок, пропорційний вектору активного спаду напруги $\underline{U}_{к,а}$ котушки індуктивності. Він співпадає за фазою з вектором струму.

З кінця вектора $\underline{U}_{к,а}$ відкладаємо вектор реактивного падіння напруги $\underline{U}_{к,р}$ Вектор реактивного падіння напруги випереджає струм I на 90^0.

Вектор повного спаду напруги на котушці індуктивності $U_к$ є геометричною сумою векторів $\underline{U}_{к,а}$ та $\underline{U}_{к,р}$. Його проводимо з кінця вектора $\underline{U}_C$ до кінця вектора відкладемо вектор $\underline{U}_{к,а}$.

З'єднавши точку 0 з кінцем вектора $\underline{U}_к$, одержимо вектор підведеної напруги $\underline{U}$.

Зразки векторних діаграм напруг і струму приведені на рис. 2.2:

- при переважно індуктивному характері навантаження ($X_к > X_C$) – рис. 2.2, *а*;
- при резонансі напруг ($X_к = X_C$) – рис. 2.2, *б*;
- при переважно ємнісному характері навантаження ($X_к < X_C$) – рис. 2.2, *в*.

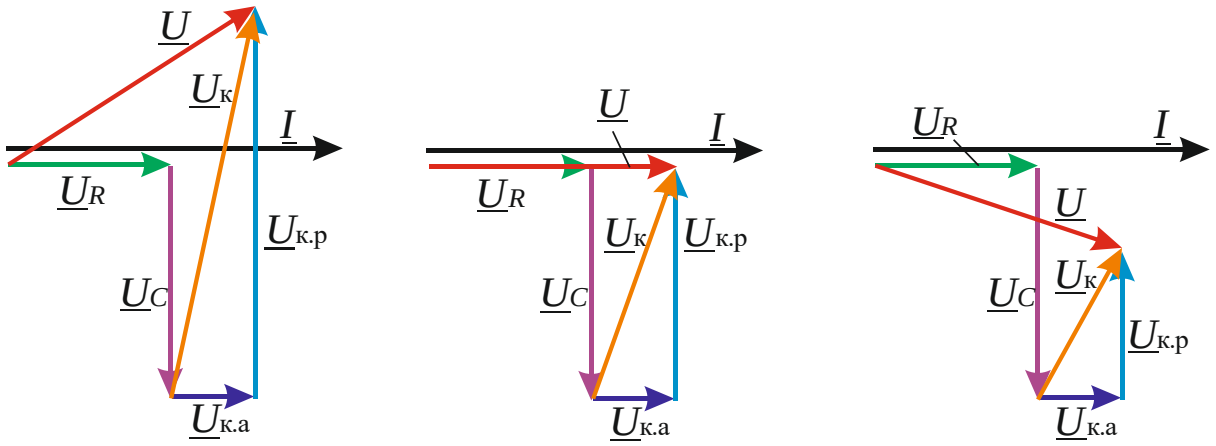


Рисунок 2.2 – Зразки векторних діаграм струму та напруг:
а – при переважно індуктивному характері навантаження ($X_к > X_C$);
б – при резонансі напруг ($X_к = X_C$);
в - при переважно ємнісному характері навантаження ($X_к < X_C$)

Для побудови резонансної кривої $I = f(X_C)$ визначаємо опір ємності для трьох значень ємності (табл. 2.1) за формулою

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}.$$

За результатами розрахунку будуємо залежність $I = f(X_C)$.

Контрольні запитання

1. Від яких величин залежить зсув за фазою між напругою і струмом?
2. Яке явище називають резонансом напруг? Які умови його винекнення?
3. Що називають індуктивним і ємністю опором?
4. Як впливає зміна частоти синусоїдального струму на реактивний опір електричного кола? На ємнісний опір? На індуктивний опір?
5. Як розрахувати діючий струм лінійного нерозгалуженого електричного кола синусоїдального струму з приймачами, що характеризуються параметрами R, L і C?
6. Від яких величин залежить повний опір електричного кола?
7. За яких умов діюча напруга на котушці індуктивності та на конденсаторі перевищує діючу напругу на затискачах лінійного нерозгалуженого електричного кола при резонансі напруг?
8. Яким способом можна визначити індуктивність і ємність реактивних елементів?
9. Як визначити коефіцієнт потужності всього кола?
10. Як визначити коефіцієнт потужності котушки?
11. Чому дорівнює $cos\varphi$ у колі з чисто реактивним і чисто активним опором?
12. Що таке добротність контуру і що вона характеризує?
13. Як розрахувати активну, реактивну і повну потужність лінійного нерозгалуженого електричного кола?

Література

1. Шкрабець Ф.П., Ципленков Д.В., Куваєв Ю.В. та ін. Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки: Навчальний посібник – Дніпропетровськ, Національний гірничий університет, 2004. – 515 с. **(§§ 2.1-2.8, стор. 36– 57).**

2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Вісшая школа. 2002. – 542 с. (**§§ 2.1-2.13, стор. 37-74**).

3. Бессонов Л.А. Теоретические основі электротехники. Электрические цепи. – 10-е изд. М.: УИЦ "Гардарики", 2001. – 638 с. (**§§ 3.1-3.5, 3.28, стор. 81-86, 110**).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3.

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТРИФАЗНИХ СХЕМ

***Мета роботи*:** Дослідити режими роботи трифазних схем при сполученні приймачів зіркою і трикутником при симетричному і несиметричному навантаженнях.

Програма роботи

1. Дослідження режимів роботи трифазної схеми при сполученні приймачів зіркою.

2. Дослідження режимів роботи трифазної схеми при з'єднанні приймачів трикутником.

3. Побудова векторних діаграм.

Порядок виконання роботи

Етап 1. *Дослідження режимів роботи трифазної схеми при сполученні приймачів зіркою*

1. Ознайомитися з приладами, апаратами, і іншим устаткуванням експериментальної установки. Скласти електричне коло по схемі рис. 3.1.

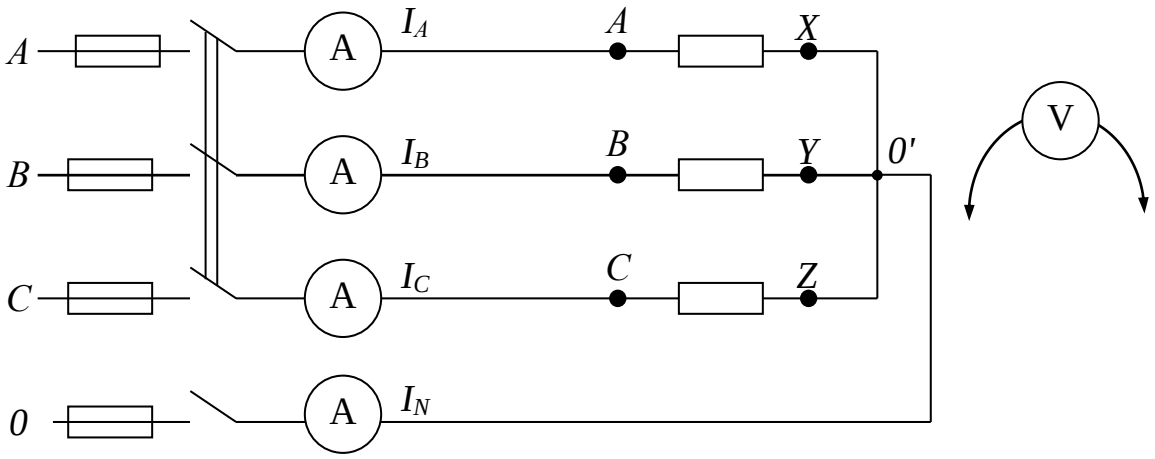


Рис. 1. Принципова схема вмикання навантаження зіркою

2. Після перевірки керівником правильності з'єднань створити симетричне навантаження фаз. Зміряти і записати величини, вказані в табл. 3.1 при:

– трипровідній системі з'єднань;

– чотирипровідній системі з'єднань.

3. Створити несиметричне навантаження фаз. Зміряти і записати величини, вказані в таблиці 3.1 при:

– трипровідній системі з'єднань;

– чотирипровідній системі з'єднань.

Таблиця 3.1.

Результати дослідження режимів роботи трифазної схеми при вмиканні приймачів зіркою

Режим навантаження	*Лінія*	*Виміряно*											*Розраховано*	
		Напруга						*Струм*				*Зсув нейтралі*		
		Лінійні значення			*Фазні значення*			*Лінійні значення*			*нейтралі*			
		U_{AB}, *В*	U_{BC}, *В*	U_{CA}, *В*	U_A, *В*	U_B, *В*	U_C, *В*	I_A, *А*	I_B, *А*	I_C, *А*	I_N, *А*	$U_{00'}$, *В*	I_N, *А*	$U_{00'}$, *В*
Симетричне	3-провідна													

	4-про-відна													
Несимет-ричне	3-про-відна													
	4-про-відна													

4. Проаналізувати одержані дані і зробити висновок про необхідність і призначення нейтрального проводу при з'єднанні навантаження зіркою.

Етап 2. *Дослідження режимів роботи трифазної схеми при з'єднанні приймачів трикутником.*

1. Скласти електричну схему за рис. 3.2.

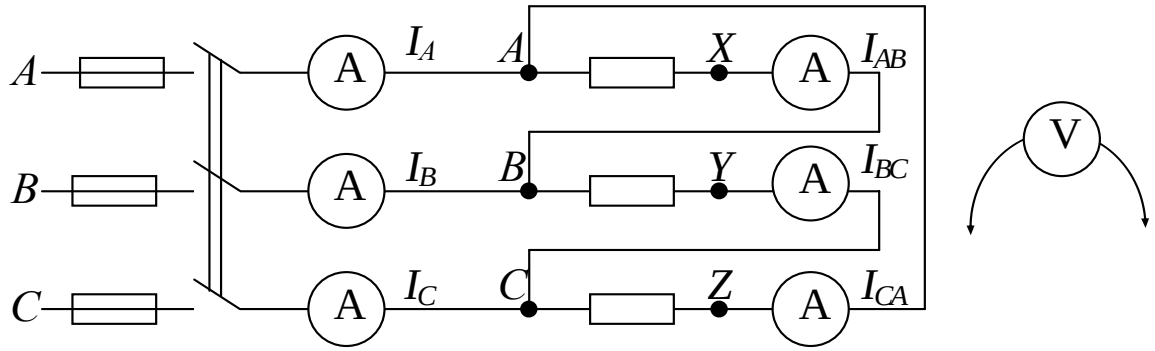


Рисунок 3.2 – Принципова схема вмикання навантаження трикутником

Після перевірки викладачем правильності з'єднань зміряти напруги і струми (лінійні і фазні) у випадку:

– симетричного навантаження;

– несиметричного навантаження.

Результати вимірювань записати в табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

Результати дослідження режимів роботи трифазної схеми при вмиканні приймачів трикутником

Режим навантаження	*В и м і р я н о*									Розраховано		
	Напруга			*Струм*						*Струм*		
	Лінійні значення			*Лінійні значення*			*Фазні значення*			*Лінійні значення*		
	U_{AB}, *В*	U_{BC}, *В*	U_{CA}, *В*	I_A, *А*	I_B, *А*	I_C, *А*	I_{AB}, *А*	I_{BC}, *А*	I_{CA}, *А*	I_A, *А*	I_B, *А*	I_C, *А*
Симетричний												
Несиметричний												

Етап 3. *Побудова векторних діаграм*

1. За даними таблиць 3.1 та 3.2 побудувати в зручному масштабі векторні діаграми напруг і струмів для випадків:

– з'єднання зіркою, навантаження активне, симетричне, трипровідна система;

– з'єднання зіркою, навантаження активне, несиметричне, трипровідна система;

– з'єднання зіркою, навантаження активне, несиметричне, чотирипровідна система;

– з'єднання трикутником, навантаження активне, симетричне;

– з'єднання трикутником, навантаження активне, несиметричне.

2. Визначити з векторних діаграм струм в нейтральному проводі I_N і напругу зсуву нейтралі $U_{00'}$ і порівняти їх із виміряними величинами.

3. Визначити з векторної діаграми значення лінійних струмів (для з'єднання трикутником) і порівняти їх із виміряними.

***Етап 4**. Складання звіту*

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, її програму та мету.
2. Схема вмикання навантаження за схемою зірка (рис. 3.1) та трикутник (рис. 3.2).
3. Заповнені таблиці 3.1 та 3.2.
4. Векторні діаграми для вказаних у п. 3 випадків.

Методичні вказівки

До етапів 1 та 2

Симетричне навантаження означає, що опори фаз однакові по величині і роду (активна, реактивна і т. п.).

Симетричним (рівномірним) навантаженням називають навантаження, яке ввімкнене в кожну з фаз, і яке рівне по величині $Z_\text{ф}$ і характеру $\varphi_\text{ф}$, тобто $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C$. Прикладом симетричного навантаження може бути трифазний асинхронний двигун або трифазний трансформатор.

При з'єднанні симетричного навантаження в зірку фазні і лінійні струми і напруги зв'язані наступними співвідношеннями:

$$I_\text{Л} = I_\text{Ф}; \qquad U_\text{Л} = \sqrt{3}U_\text{Ф}.$$

При з'єднанні симетричного навантаження трикутником співвідношення між фазними і лінійними струмами і напругами такі:

$$I_\text{Л} = \sqrt{3}I_\text{Ф}; \qquad U_\text{Л} = U_\text{Ф}.$$

Несиметричним (нерівномірним) навантаженням називають навантаження ввімкнену в кожну з фаз, що відрізняється або по величині або по характеру, або по величині і характеру, тобто виконується нерівність: $\underline{Z}_A \neq \underline{Z}_B \neq \underline{Z}_C$. Прикладом несиметричного навантаження може бути освітлювальна мережа, коли характер навантаження однаковий, а кількість ламп, тобто опір, розрізняється.

При несиметричному навантаженні вектор лінійного струму можна одержати графічно або аналітично з рівнянь, складених по першому закону Кирхгофа для вузлів схеми.

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{AB} - \underline{I}_{CA}; \qquad \underline{I}_B = \underline{I}_{BC} - \underline{I}_{AB}; \qquad \underline{I}_C = \underline{I}_{CA} - \underline{I}_{BC}\ .$$

Напруга зсуву нейтралі вимірюється між нейтральними (нульовими) точками джерела електроенергії і навантаження схеми застосуванні трипровідної схеми вмикання навантаження.

До етапу 3

Побудова векторних діаграм за дослідними даними виконується в наступній послідовності:

1. Прийняти масштаб для напруг $m_U, {}^{\text{В}}/_{\text{см}}$ та струмів $m_I, {}^{A}/_{\text{см}}$ таким чином, щоб вектори мали прийнятну довжину (наприклад 4-5 см для векторів напруг та 2-3 см для векторів струмів).
2. Для схеми з'єднання навантаження ***зірка:***

2.1 Відповідно з результатами вимірів, що занесені до таблиці 3.1 для схеми з'єднання навантаження «**зірка**» розрахувати довжину векторів лінійних та фазних напруг та лінійних струмів і занести розрахунки до таблиці 3.3. Розрахунки виконати для випадків:

- навантаження симетричне, чотирипровідна схема;
- навантаження несиметричне, трипровідна схема;
- навантаження несиметричне, чотирипровідна схема.

Таблиця 3.3

Результати розрахунку довжини векторів для з'єднання навантаження за схемою «зірка»

$m_U =$ ${}^{\text{В}}/_{\text{см}}$; $m_I =$ ${}^{A}/_{\text{см}}$.

Навантаження, схема	Параметр	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_A,	U_B	U_C	I_A	I_B	I_C
Симетричне, чотирипровідна схема	Значення параметру									
	Довжина вектора, мм									
Несиметричне, трипровідна схема	Значення параметру									
	Довжина									

	вектора, мм									
Несиметричне, чотирипровідна схема	Значення параметру									
	Довжина вектора, мм									

2.2 З точки «0» вгору відкладається вектор $\underline{U}_A$. З точки «0» під кутом 120° до відкладеного вектору $\underline{U}_A$ за годинниковою стрілкою відкладаємо вектор $\underline{U}_B$. Від цього вектора з точки «0» під кутом також 120° за годинниковою стрілкою відкладається вектор $\underline{U}_C$. Побудована векторна діаграма має назву «***зірка векторів фазних напруг***» (рис. 3.2, *а*).

2.3 З'єднуючі кінці векторів $\underline{U}_A$ та $\underline{U}_B$ будуємо вектор лінійної напруги $\underline{U}_{AB}$, таким же чином з'єднуючі кінці векторів $\underline{U}_B$ та $\underline{U}_C$ будується вектор лінійної напруги $\underline{U}_{BC}$, а з'єднуючі вектори $\underline{U}_C$ та $\underline{U}_A$ будується вектор $\underline{U}_{CA}$. Побудований трикутник називається «***трикутник векторів лінійних напруг***» (рис. 3.2, *б*).

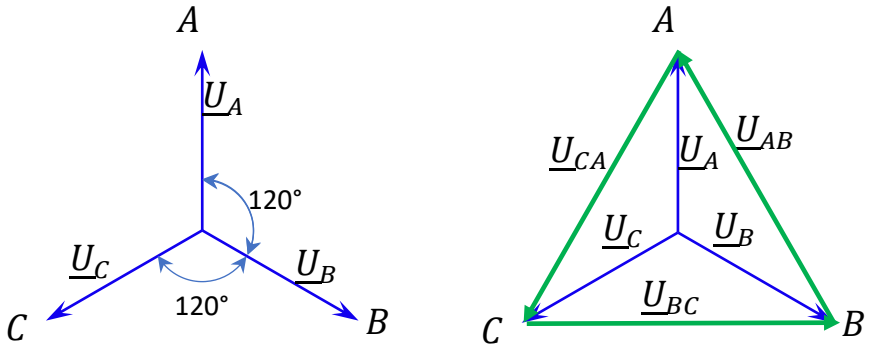


Рисунок 3.3 – Зірка фазних напруг (а) та трикутник лінійних напруг (б)

2.4 Оскільки навантаження, яке вмикається в електричне коло, є *активним*, то кут зсуву фаз між фазною напругою (наприклад $\underline{U}_A$) та фазним струмом (наприклад $\underline{I}_A$) буде дорівнювати «0». Отже, вектор струму $\underline{I}_A$ співпаде з вектором напруги $\underline{U}_A$. Довжина вектора береться з таблиці 3.3 відповідно для симетричного або несиметричного навантаження при чотирипровідній схемі підключення.

2.5 Відкладаємо струми $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ з точки «0» відповідно до пункту 3.3.

2.6 Побудуємо вектор струму $\underline{I}_N$. Відповідно до виразу

$$\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C$$

струм в нейтральному проводі дорівнює геометричній сумі векторів фазних струмів $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$.

Для побудови вектора $\underline{I}_N$, з кінця вектора $\underline{I}_A$ методом паралельного переносу відкладаємо вектор $\underline{I}_B$, а з кінця вектора $\underline{I}_B$ відкладаємо вектор $\underline{I}_C$. Вектор

проведений з точки «0» в кінець вектора $\underline{I}_C$ і є вектором струму в нейтральному проводі $\underline{I}_N$.

2.7 При *симетричному навантаженні* вектори $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ мають однакову довжину і тому вектор $\underline{I}_C$ закінчиться в точці «0» (рис. 3.4, *а*). В цьому випадку довжина вектора $\underline{I}_N$ буде дорівнювати 0.

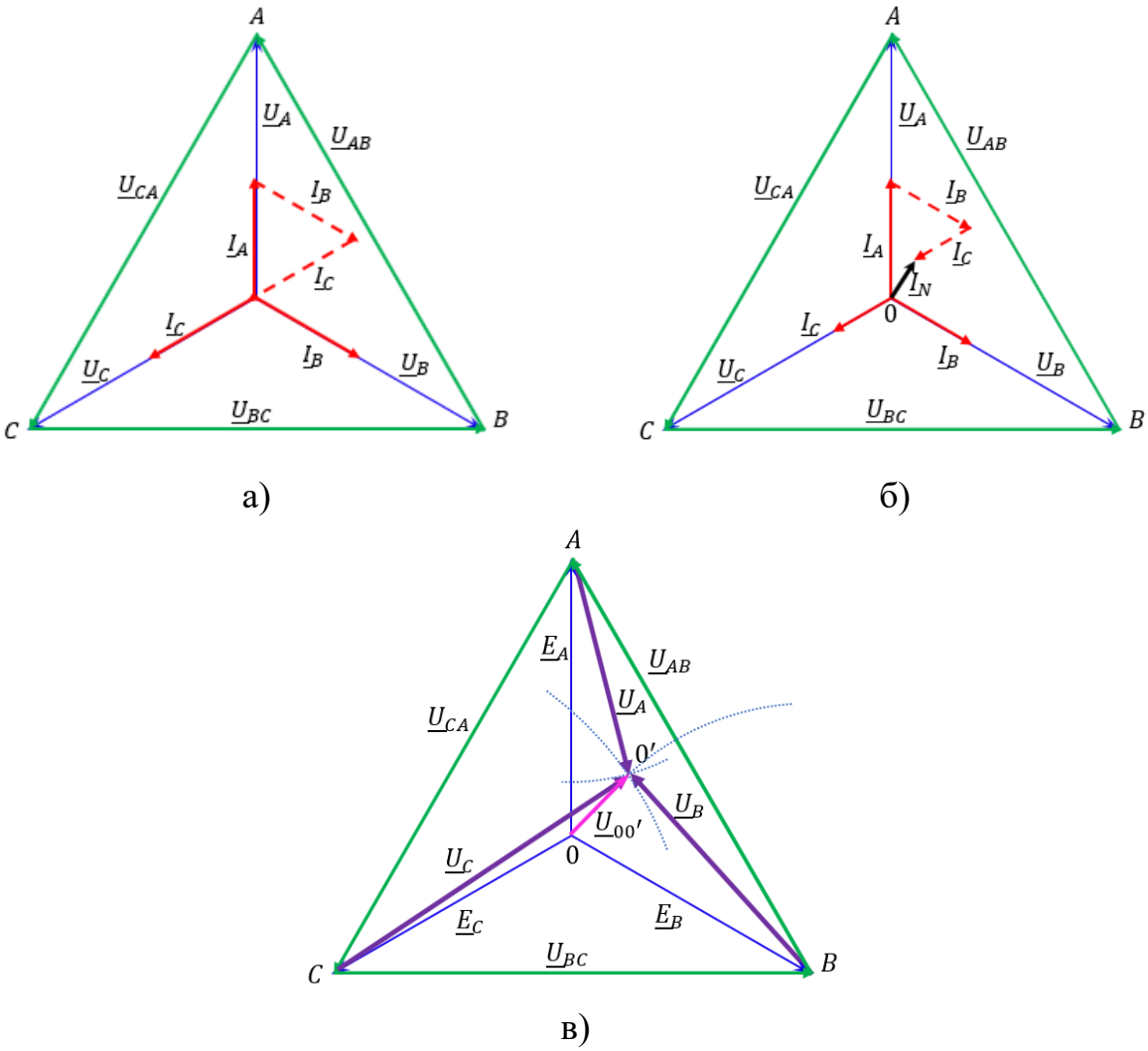


Рисунок 3.4 – векторні діаграми при несиметричному навантаженні:
а – з'єднання зіркою, навантаження активне, симетричне, трипровідна система;
б – з'єднання зіркою, навантаження активне, несиметричне, чотирипровідна система;
в – з'єднання зіркою, навантаження активне, несиметричне, трипровідна система;

2.8 При *несиметричному навантаженні* вектори $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ мають різну довжину і тому вектор $\underline{I}_C$ не буде закінчуватися в точці «0».

2.9 Проводимо вектор $\underline{I}_N$ (рис. 3.4, *а*) Вимірюємо його довжину і множимо на масштаб струмів. Отримане значення заносимо у відповідну клітинку таблиці 3.1.

2.10 При *несиметричному навантаженні* та *трипровідній схемі з'єднання* необхідно визначити значення напруги зсуву нейтралі $U_{00'}$. Для цього:

– будують в масштабі трикутник векторів лінійних напруг трикутник векторів лінійних напруг ($\underline{U}_{AB}$, $\underline{U}_{BC}$, $\underline{U}_{CA}$) та зірку векторів фазних ЕРС ($\underline{E}_A$, $\underline{E}_B$, $\underline{E}_C$);

– з вершин трикутника радіусами, які дорівнюють векторам фазних напруг (табл. 3.3), описують дуги, перетин яких дає нейтральну (нульову) точку навантаження «0'».

– З'єднуємо точку «0» та «0'» та отримуємо вектор зсуву напруг нейтралі $\underline{U}_{00'}$ (рис. 3.4, *в*). Вимірюємо його довжину і множимо на масштаб напруг та заносимо у відповідну клітинку таблиці 3.1.

3. З'єднання навантаження за схемою трикутник.

3.1 Відповідно з результатами вимірів, що занесені до таблиці 3.2 для схеми з'єднання навантаження «трикутник» розрахувати довжину векторів лінійних напруг та лінійних і фазних струмів і занести розрахунки до таблиці 3.4. Розрахунки виконати для випадків:

- навантаження симетричне;
- навантаження несиметричне.

Таблиця 3.4

Результати розрахунку довжини векторів для з'єднання навантаження за схемою «трикутник»

$m_U =$ $^{\text{В}}/_{\text{см}}$; $m_I =$ $^{A}/_{\text{см}}$.

Навантаження	Параметр	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_{AB},	I_{BC}	I_{CA}
Симетричне	Значення параметру						
	Довжина вектора, мм						
Несиметричне	Значення параметру						
	Довжина вектора, мм						

3.2 Будуємо трикутник лінійних напруг, як рівнобічний трикутник зі сторонами, що відповідають векторам $\underline{U}_{AB}$, $\underline{U}_{BC}$, $\underline{U}_{CA}$.

3.3 Враховуючі, що навантаження активне, то вектора фазних струмів ($\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$) будуть співпадати з напрямами векторів $\underline{U}_{AB}$, $\underline{U}_{BC}$, $\underline{U}_{CA}$ (рис. 3.5).

3.4 Кожен з лінійних струмів визначається рівнянням

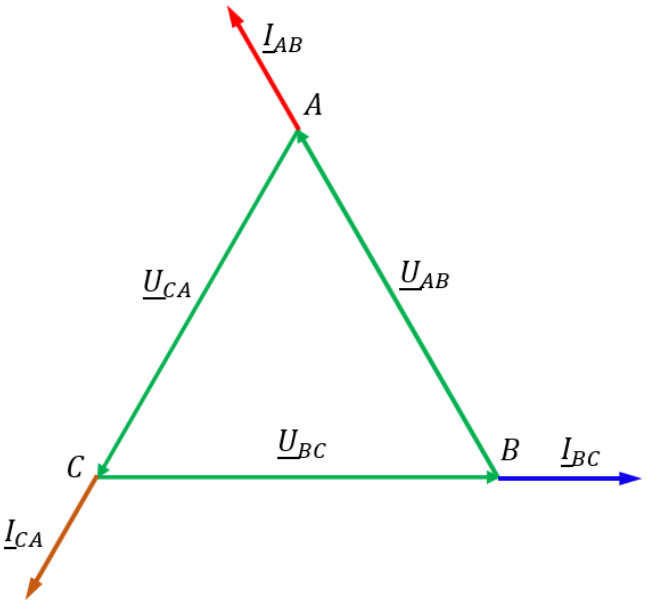
$$\underline{I}_A = \underline{I}_{AB} - \underline{I}_{CA},; \qquad \underline{I}_B = \underline{I}_{BC} - \underline{I}_{AB}; \qquad \underline{I}_C = \underline{I}_{CA} - \underline{I}_{BC}\ .$$

Тобто він є геометричною різницею між відповідними фазними струмами.. Для побудови струму $\underline{I}_A$ необхідно з кінця вектора $\underline{I}_{AB}$ відкласти вектор $\underline{I}_{CA}$ але в протилежному напряму ніж він відкладений з точки «*C*». Провівши вектор з точки

«А» в кінець вектору струму $-\underline{I}_{CA}$ отримаємо вектор лінійного струму $\underline{I}_A$ (рис. 3.6). Вимірявши цей вектор та помноживши його на масштаб струмів визначаємо розраховане значення цього струму.

3.5 За аналогією з п. 3.3 будуємо вектори $\underline{I}_B$ та $\underline{I}_C$ і розраховуємо значення відповідних струмів та заносимо результати до табл. 3.2.

3.6 Так само будуємо векторну діаграму для *несиметричного* навантаження, і розраховуємо значення лінійних струмів I_A, I_B, I_C.



4

Рисунок 3.5 – Векторна діаграма лінійних напруг та фазних струмів для схеми з'єднання навантаження «трикутник»

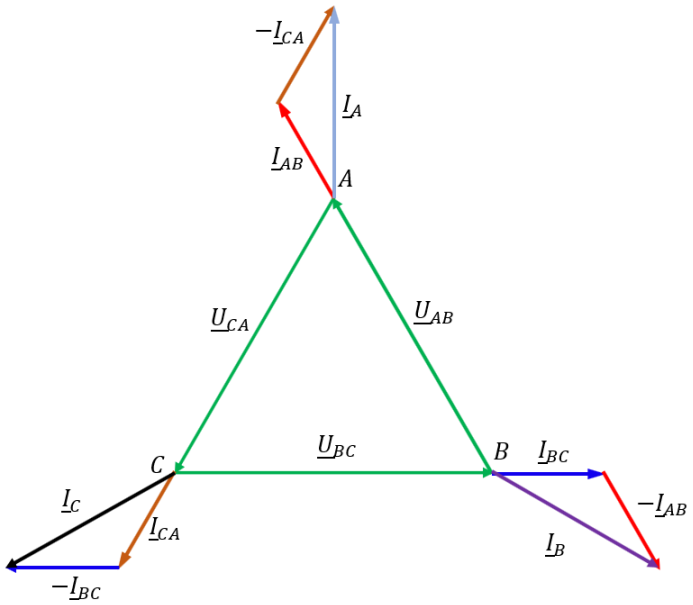


Рисунок 3.6 – Побудова векторів лінійних струмів при з'єднанні навантаження за схемою «трикутник»

Контрольні запитання

1. Нарисуйте схеми з'єднання навантаження зіркою, трикутником.
2. Яке навантаження називається симетричним, несиметричним?
3. Приведіть співвідношення між лінійними і фазними струмами і напругами.
4. У яких випадках використовується трипровідна, а в яких – чотирипровідна система вмикання навантаження?
5. Вкажіть призначення нейтрального проводу.
6. Як обчислити значення струму в нейтральному проводі?
7. Що називається напругою зсуву нейтралі, і як його визначити?
8. У яких випадках напруга зсуву нейтралі дорівнює: а) нулю; б) фазній напрузі джерела?
9. Чому в нейтральний провід не рекомендують ставити запобіжники?
10. Побудуйте векторні діаграми при умиканні приймачів зіркою і трикутником при симетричному і несиметричному навантаженнях.
11. Приведіть приклади трифазних симетричних навантажень.
12. У яких випадках можна обійтися без нейтрального проводу?
13. Як експериментально визначити нейтральний і лінійні проводи?

Література

1. Шкрабець Ф.П., Ципленков Д.В., Куваєв Ю.В. та ін. Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки: Навчальний посібник – Дніпропетровськ, Національний гірничий університет, 2004. – 515 с. **(§§ 3.1-3.3, стор. 61–75).**
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Вісшая школа. 2002. – 542 с. (**§§ 3.1-3.8, стор. 104-122**).
3. Бессонов Л.А. Теоретические основі электротехники. Электрические цепи. – 10-е изд. М.: УИЦ "Гардарики", 2001. – 638 с. (**§§ 6.1-6.11, стор. 184-192**)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНЗИСТОРНОГО ПІДСИЛЮВАЧА НИЗЬКОЇ ЧАСТОТИ

Мета роботи: Дослідити особливості роботи низькочастотного транзисторного підсилювача, виконаного на біполярному транзисторі.

Програма роботи

1. Вивчення основних властивостей та призначення транзисторних підсилювачів.

2. Дослідження низькочастотного транзисторного підсилювача.

3. Складання звіту.

Порядок виконання роботи

Етап 1. Вивчення основних властивостей та призначення транзисторних підсилювачів

Користуючись літературою, що рекомендується, і методичними вказівками, вивчити основні властивості та призначення транзисторних підсилювачів.

Етап 2. *Дослідження низькочастотного транзисторного підсилювача*

2.1. За допомогою стенда, розібратися зі схемою (рис. 4.1), попередньо вивчивши особливості контрольно-вимірювальних приладів, що застосовуються.

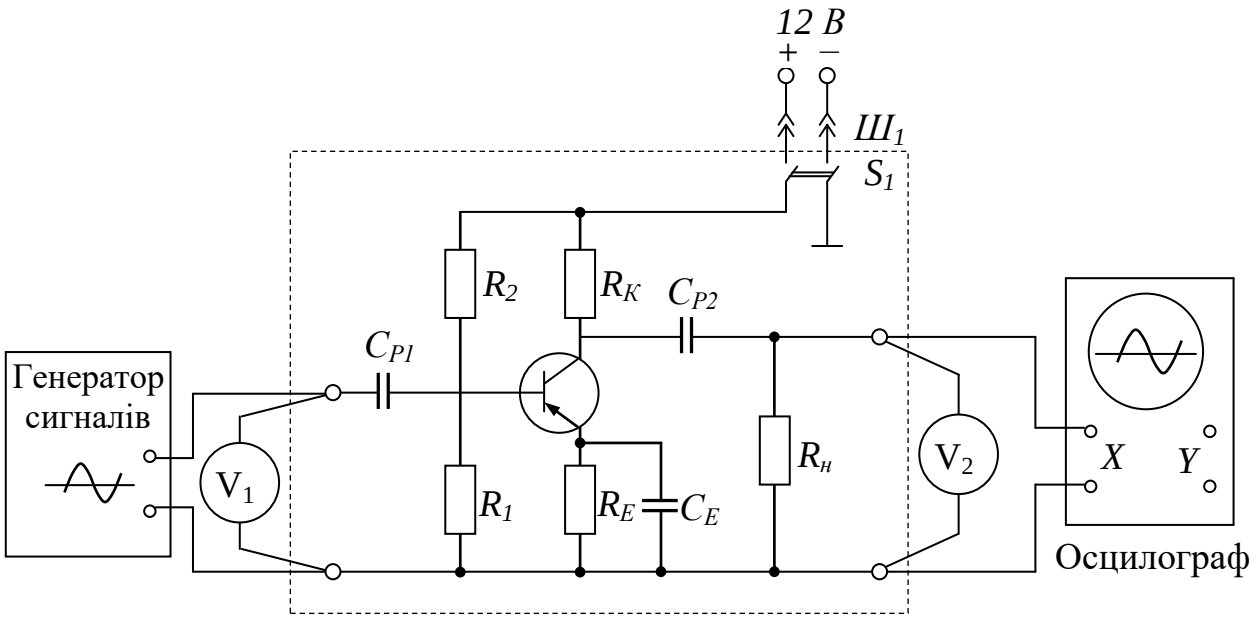


Рисунок 4.1. – Схема для дослідження транзисторного підсилювача низької частоти

2.2. Подати напругу живлення на прибори (генератор сигналів, вольтметри, осцилограф) та увімкнути вимикач S_1. Подати на вхід підсилювача напругу генератора звукової частоти ($f = 1–3$ *кГц*). За допомогою осцилографа та вольтметра V_1 визначити максимальне значення вхідного сигналу $U_{вх}^{max}$, при якому немає помітного перекручування вихідного сигналу підсилювача. Змінюючи значення вхідного сигналу від *0* до

(1,2…1,3)$U_{вх}^{max}$, зняти амплітудну характеристику підсилювача $U_{вих} = f\left(U_{вх}\right)$. Результати вимірів занести в табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Амплітудна характеристика підсилювача при *f* = _____ *кГц*; $U_{вх}^{max}$ = _____ В

$U_{вх}$, В										
$U_{вих}$, В										
$K = \frac{U_{вих}}{U_{вх}}$										

За даними табл. 4.1 побудувати амплітудну характеристику підсилювача $K = f\left(U_{вх}\right)$.

2.3. Встановити на вході підсилювача потужності вхідний сигнал на рівні $U_{вх} = (0,4...0,6)U_{вх}^{max}$. Змінюючи частоту вхідного сигналу від 0 до 100 кГц (відповідно табл. 4.2) та підтримуючи вхідний сигнал на незмінному рівні, зняти залежність коефіцієнта підсилення підсилювача *K* від частоти вхідного сигналу – амплітудно-частотну характеристику підсилювача. Результати вимірів занести в табл. 4.2.

Таблиця 4.2.

Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика підсилювача

$20lg(K) = f\left(lg\left(f\right)\right)$ при $U_{вх} = const$ = _____ В

f, Гц	20	50	100	250	500	1 000	2 500	5 000	10 000	15 000	20 000	50 000	100 000
$U_{вих}$, В													
$K = \frac{U_{вх}}{U_{вих}}$													
$20lgK$													

За даними табл. 4.2 побудувати в логарифмічному масштабі амплітудно-частотну характеристику підсилювача $20lg(K) = f(lg(f))$.

Етап 3. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.
2. Схему експериментальних досліджень (рис. 4.1).
3. Таблиці 4.1 та 4.2 з експериментальними та розрахованими даними.
4. Амплітудну та логарифмічну амплітудно-частотну характеристики підсилювача.

Методичні вказівки

До етапу 1

В теперішній час важко визначити область техніки, де б не знаходили використання підсилювачі електричних сигналів. Це пояснюється, як правило, невідповідністю параметрів електричних сигналів, одержуваних при первинному перетворенні різних неелектричних фізичних величин в електричні параметри, які необхідні для нормальної роботи більшості виконавчих (навантажувальних) пристроїв.

Підсилювачем називають пристрій, призначений для підсилення вхідного електричного сигналу за напругою, струмом або потужністю за рахунок перетворення енергії джерела живлення в енергію вихідного сигналу.

Процес підсилення електричних сигналів полягає в перетворенні енергії джерела живлення підсилювача в енергію вихідного сигналу за законом, який обумовлений вхідним керуючим впливом. Іншими словами, будь-який підсилювач модулює енергію джерела живлення вхідним керуючим сигналом. Цей процес здійснюється за допомогою керованого нелінійного елемента.

Таким чином, для забезпечення підсилення сигналу підсилювач, послідовно з'єднаний з джерелом живлення, повинен містити в собі нелінійний елемент, керований вхідним електричним сигналом. Керовані нелінійні елементи сучасних підсилювачів виконуються, як правило, з використанням біполярних і польових транзисторів. Тому їх часто називають транзисторними підсилювачами.

Найважливішими характеристиками підсилювача є: коефіцієнт підсилення, смуга пропускання (діапазон робочих частот підсилювача), вхідний і вихідний опори, вихідна потужність.

До етапу 2

Для отримання синусоїдального сигналу звукової частоти в роботі використовується ламповий генератор. На рис. 4.2 наведена його передня панель та вказано призначення деяких елементів. Для зміни частоти вихідного сигналу генератора застосовується перемикач множника 2 та регулятор плавної зміни частоти 3.

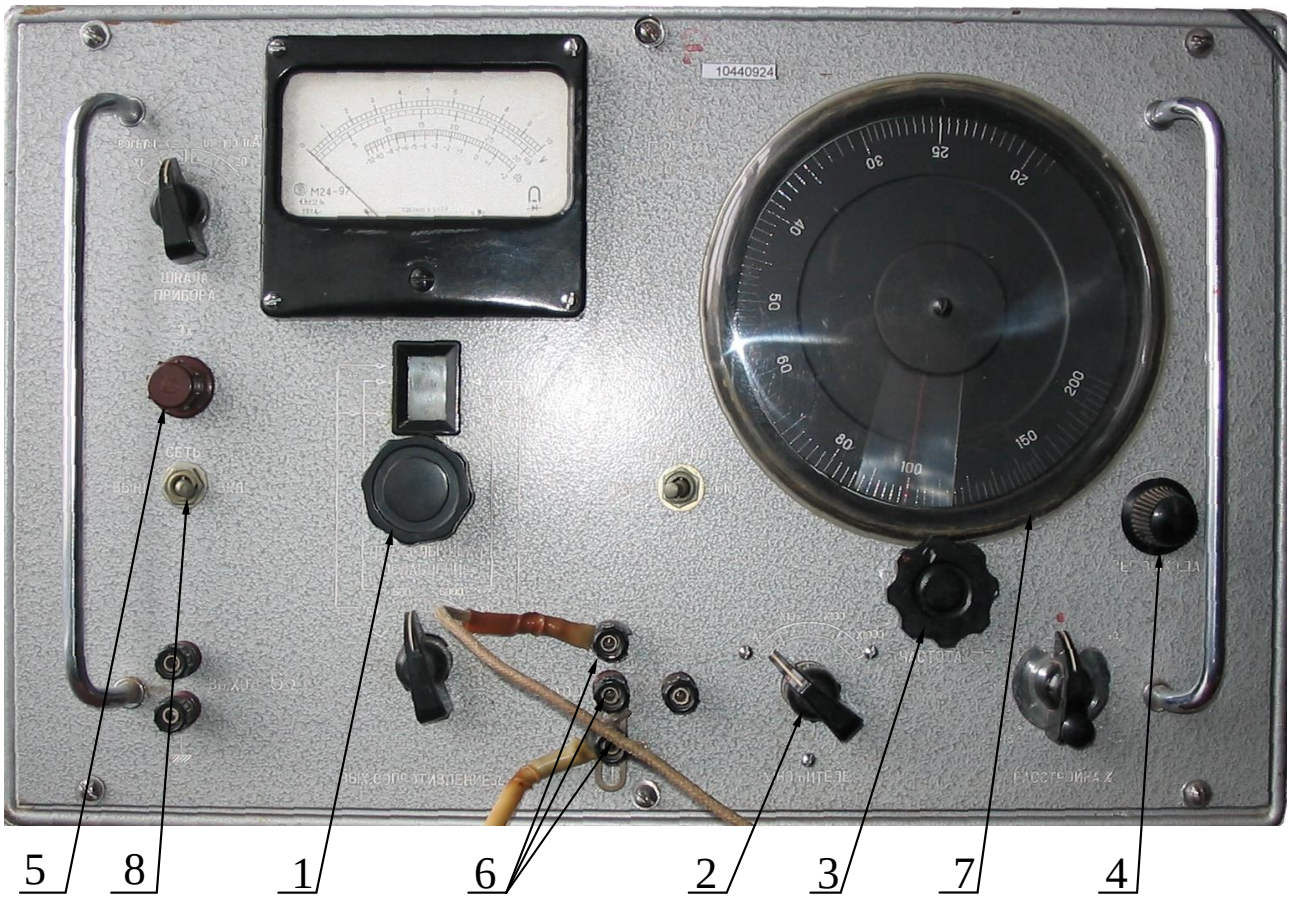


Рисунок 4.2. – Передня панель генератора синусоїдального сигналу звукової частоти: 1 – перемикач режимів роботи; 2 – перемикач множника; 3 – регулятор плавної зміни частоти; 4 – регулятор напруги; 5 – запобіжник; 6 – виводи; 7 – обертовий індикатор; 8 – вимикач напруги живлення

Щоб отримати необхідне значення частоти, необхідно перемножити показання на обертовому індикаторі 7 та перемикача 2, наприклад: 15·100=1500 Гц. Для зміни рівня напруги на виході використовується регулятор 4.

Підсилення електричних коливань за допомогою транзистора засновано на залежності струму колектора від струму бази і, отже, від величини напруги, прикладеного до переходу "емітер-база". Досліджуваний у лабораторній роботі підсилювач є низькочастотним підсилювачем напруги із загальним емітером.

Вхідний сигнал, одержуваний за допомогою генератора сигналів у діапазоні частот від 0 до 100 кГц, подається на перехід "база-емітер" через розділовий конденсатор $C_{Р1}$. Цей конденсатор розділяє генератор і транзисторний підсилювач за постійною складовою струму. Під впливом вхідного сигналу змінюється струм колектора $I_К$, що проходить через резистор $R_К$. Підсилена вихідна напруга знімається з переходу "колектор-емітер" через вихідний роздільний конденсатор

C_{P2}, що виключає постійну складову напруги на навантажувальному резисторі R_H. Резистори R_1 і R_2 складають подільник напруги і формують напруги відповідно U_1 і U_2 для живлення емітерного і колекторного *p-n* – переходів. При правильно вибраних опорах резисторів R_1 і R_2 початкова робоча точка при нульовому вхідному сигналі розташовується посередині характеристики транзистора, чим досягається симетричність режиму роботи транзистора при будь-якій полярності вхідного сигналу.

У коло емітера включено стабілізуючий резистор R_E, спадання напруги на якому є зворотним для переходу "емітер-база". Тому в схемі підсилювача існує негативний зворотний зв'язок за струмом, що автоматично стабілізує режим роботи підсилювача. Дійсно, якщо за якоюсь випадковою причиною, наприклад, збільшується струм емітера I_E, то відповідно збільшується спадання напруги на резисторі R_E, що призводить до зменшення струму бази $I_Б$ під впливом згаданого негативного зворотного зв'язку й автоматичного зниження (відновлення) струму I_E. Резистор R_E у більшості випадків, щоб усунути зворотний зв'язок за змінною (корисною) складовою струму емітера і тим самим не допустити зниження коефіцієнта підсилення підсилювача за напругою, шунтують конденсатором C_E досить великої ємності .

Амплітудна характеристика підсилювача являє собою залежність вихідної напруги від вхідної напруги підсилювача $U_{вих} = f\left(U_{вх}\right)$ при деякій сталій частоті *f*. У робочому діапазоні амплітуд вхідного сигналу, коли виконується умова $U_{вх}^{min} < U_{вх} < U_{вх}^{max}$, амплітудна характеристика підсилювача має практично прямолінійний характер. Якщо $U_{вх}^{min} > U_{вх}$, то $U_{вих}$ визначається напругою власних шумів підсилювача, що глушать корисний вихідний сигнал. Якщо $U_{вх} > U_{вх}^{max}$, то порушується пропорційність між вхідним і вихідним сигналами підсилювача через вихід робочої точки на нелінійну ділянку характеристик транзистора.

Амплітудно-частотна характеристика підсилювача являє собою залежність коефіцієнта підсилення підсилювача *K* від частоти *f* коливань вхідного сигналу. В області середніх частот коефіцієнт підсилення *K* практично не залежить від частоти. В області нижніх частот коефіцієнт підсилення *K* знижується через підвищення опору конденсаторів C_{P1}, C_{P2}, C_E. В області вищих частот коефіцієнт підсилення *K* знижується через вплив ємності колекторного *p-n* – переходу транзистора.

Контрольні запитання

1. Яке призначення має транзисторний підсилювач?

2. Наведіть приклади застосування транзисторних підсилювачів.

3. Назвіть основні характеристики транзисторних підсилювачів.

4. Поясніть принцип роботи низькочастотного транзисторного підсилювача.

5. Як забезпечується стабілізація режиму роботи транзисторного підсилювача?

6. У яких режимах може працювати транзисторний підсилювач?

7. Що таке смуга пропускання транзисторного підсилювача?

8. Як впливає ємність роздільних конденсаторів на амплітудно-частотну характеристику підсилювача?

9. Що таке коефіцієнт підсилення підсилювача і від чого він залежить?

10. Чому відбувається перекручування вихідних сигналів при занадто великому вхідному сигналі підсилювача?

11. Чому відбувається зниження коефіцієнта підсилення транзисторного підсилювача в області низьких частот?

12. Чому відбувається зниження коефіцієнта підсилення транзисторного підсилювача в області високих частот?

13. Визначте смугу пропускання підсилювача, який ви досліджували.

Список рекомендованої літератури

1. Шкрабець Ф.П., Ципленков Д.В., Куваєв Ю.В. та ін. Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки. Навчальний посібник. – Дніпропетровськ. НГУ, 2004. – 512 с. (**§ 14.1, стор. 370 – 383**)

2. Горбачев Г.Н., Чаплігин Е.Е. Промішленная электроника. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 320 с. (**§§ 2.1 – 2.5, стор. 49 – 63**)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № ЕТм 1/5

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ

Мета роботи: Дослідити особливості роботи однофазних напівпровідникових випрямлячів з ємнісними згладжуючими фільтрами.

Програма роботи

1. Дослідження однофазного однопівперіодного випрямляча.
2. Дослідження однофазного двопівперіодного випрямляча.
3. Складання звіту.

Порядок виконання роботи

Етап 1. Дослідження однофазного однопівперіодного випрямляча

1.1. Користуючись літературою, що рекомендується, і методичними вказівками, вивчити будову і принцип роботи однофазних напівпровідникових випрямлячів з ємнісними згладжуючими фільтрами та без них.

1.2. Вивчити призначення основних елементів лабораторної установки (рис. 5.1). Для виміру середніх значень напруги U_2 і струму I на виході випрямляча використовуються прилади з магнітоелектричною вимірювальною системою.

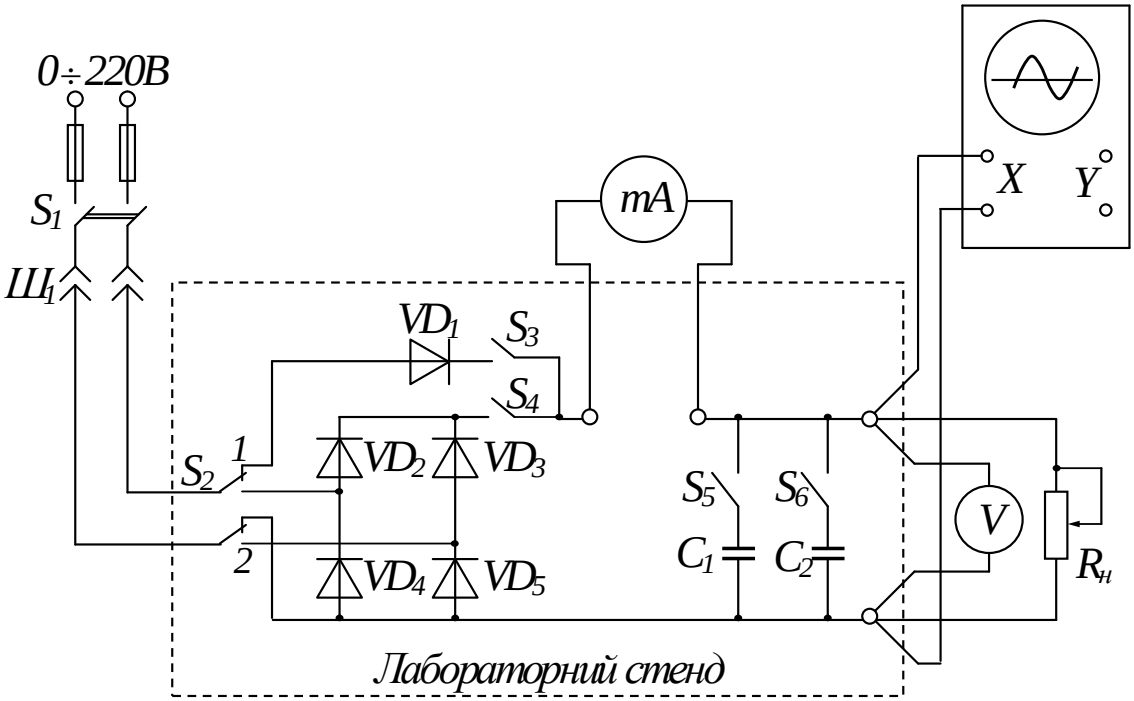


Рисунок 5.1 – Схема лабораторного стенда для дослідження однофазних випрямлячів

Для контролю вихідних напруг випрямляча як функцій часу використовується електронний осцилограф. Посилення осцилографа на вході "Y" необхідно вибрати таким, щоб зображення на його екрані було досить великим.

1.3. Зібрати електричне коло за схемою, як на рис. 5.2. Для цього необхідно ввімкнути вимикач S_3, а вимикач S_2 перевести у положення "1" (рис. 5.1).

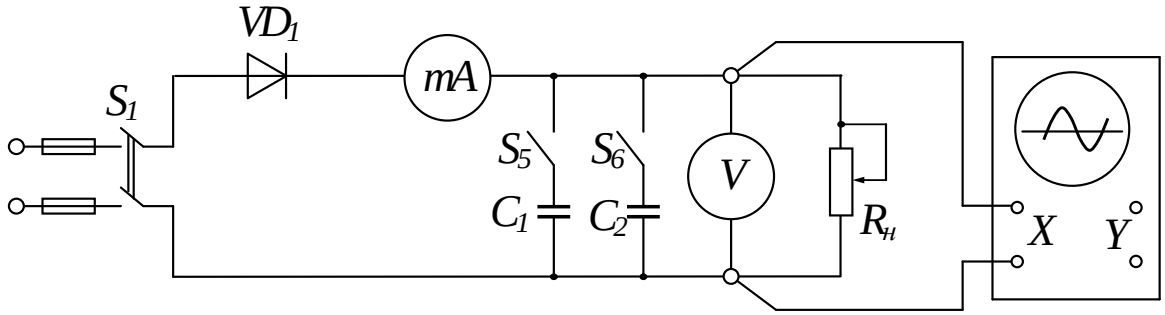


Рисунок 5.2. – Схема для дослідження однофазного однопівперіодного випрямляча

Подати напругу живлення – приєднати лабораторний стенд до живильної мережі – ввімкнути вимикач S_1.

1.4. Виміри проводити при фіксованих значеннях струму навантаження (5 значень в діапазоні від 0 до 300 мА) і трьох значеннях ємності $C_Ф$ конденсатора згладжуючого фільтра ($C_Ф$=0; 20; 70 мкФ) для випадків:

- при розімкнутих вимикачах S_5 та S_6 ($C_Ф$=0 мкФ);
- при замкнутому вимикачі S_5 ($C_Ф$=20 мкФ);
- при замкнутих вимикачах S_5 та S_6 ($C_Ф$=70 мкФ).

Результати вимірів занести в табл. 5.1.

Таблиця 5.1.

Результати дослідження однопівперіодного випрямляча

№ з/п	**Показання приладів**					
	Без фільтра (при $C_Ф$ = 0)		При включенні S_5 ($C_{Ф1}$ = 20 мкФ)		При включенні S_5 та S_6 ($C_{Ф2}$ = 70 мкФ)	
	I, А	U_2, В	*I*, А	U_2, В	*I*, А	U_2, В
1						
2						
3						
4						
5						

1.5. Зняти осцилограми кривих зміни напруги на навантаженні при найменшому значенні струму навантаження. Криві накреслити одна під одною в однаковому масштабі, з'єднавши початок відліку по вертикалі і з огляду на рівень, при якому напруга дорівнює нулю.

1.6. Вимкнути вимикач S_1 та штучно створити режим неробочого ходу, для чого необхідно від'єднати навантаження від дослідного стенда.

1.7. Ввімкнути вимикач S_1 та в режимі неробочого ходу виміряти середнє значення напруги на затискачах однопівперіодного випрямляча при наявності згладжуючого фільтра (вимикачи S_5 та S_6 ввімкнені) та його відсутності (вимикачи S_5 та S_6 вимкнені). Результати занести до табл. 5.2.

1.8. Розрахувати середнє значення напруги на затискачах випрямляча при наявності згладжуючого фільтра та його відсутності (діюче значення напруги у мережі складає 20 В). Результати занести до табл. 5.2.

Таблиця 5.2.

Середні значення напруги на виході випрямляча режимі неробочого ходу

Наявність згладжуючого фільтру	Однопівперіодний випрямляч		Двопівперіодний випрямляч	
	дослідне	розраховане	дослідне	розраховане
Так				
Ні				

1.9. За даними табл. 5.1 побудувати в одній системі координат зовнішні характеристики однопівперіодного випрямляча $U_d = f(I)$ при трьох значеннях ємності конденсатора згладжуючого фільтра.

1.10. Зробити висновки, виходячи з впливу ємності конденсатора згладжуючого фільтра на форму кривої напруги на навантаженні. Порівняти значення напруги на затискачах однопівперіодного випрямляча при роботі у режимі неробочого ходу при відсутності та наявності згладжуючого фільтра з відповідними розрахованими даними.

Етап 2. Дослідження однофазного двопівперіодного випрямляча

2.1. Користуючись літературою, що рекомендується, і методичними вказівками, вивчити будову і принцип роботи двофазних напівпровідникових випрямлячів з ємнісними згладжуючими фільтрами та без них.

2.2. Зібрати електричне коло за схемою, як на рис. 5.3. Для цього необхідно увімкнути вимикач S_4, а вимикач S_2 перевести у положення "2" (рис. 5.3). Подати напругу живлення – приєднати лабораторний стенд до живильної мережі (рознімність $Ш_1$) та увімкнути вимикач S_1.

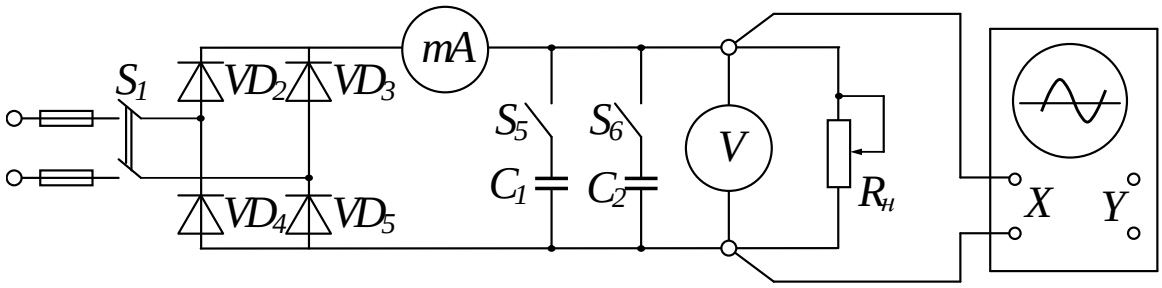


Рисунок 5.3. – Схема для дослідження однофазного двопівперіодного випрямляча

2.3. Виміри проводити при фіксованих значеннях струму навантаження (5 значень в діапазоні від 0 до 300 мА) і трьох значеннях ємності $C_Ф$ конденсатора згладжуючого фільтра ($C_Ф$=0; 20; 70 мкФ):

- при розімкнутих вимикачах S_5 та S_6 ($C_Ф$=0 мкФ);
- при замкнутому вимикачі S_5 ($C_Ф$=20 мкФ);
- при замкнутих вимикачах S_5 та S_6 ($C_Ф$=70 мкФ).

Результати вимірів занести в табл. 5.3.

Таблиця 5.3.

Результати дослідження двопівперіодного випрямляча

№ з/п	**Показання приладів**					
	Без фільтра (при $C_Ф = 0$)		При включенні S_5 ($C_{Ф1} = 20$ мкФ)		При включенні S_5 та S_6 ($C_{Ф2} = 70$ мкФ)	
	I, А	U_2, В	I, А	U_2, В	I, А	U_2, В
1.						

2.						
3.						
4.						
5.						

2.4. Зняти осцилограми кривих зміни напруги на навантаженні при найменшому значенні струму навантаження. Криві намалювати одна під одною в однаковому масштабі, з'єднавши початок відліку по вертикалі і з огляду на рівень, при якому напруга дорівнює нулю.

2.5. Вимкнути вимикач S_1 та штучно створити режим неробочого ходу, для чого необхідно від'єднати навантаження від дослідного стенда.

2.6. Ввімкнути вимикач S_1 та в режимі неробочого ходу виміряти середнє значення напруги на затискачах двопівперіодного випрямляча при наявності згладжуючого фільтра (вимикачи S_5 та S_6 ввімкнені) та його відсутності (вимикачи S_5 та S_6 вимкнені). Результати занести до табл. 5.2.

2.7. Розрахувати середнє значення напруги на затискачах двопівперіодного випрямляча при наявності згладжуючого фільтра та його відсутності (діюче значення напруги у мережі складає 20 В). Результати занести до табл. 5.2.

2.8. За даними табл. 5.3 побудувати в одній системі координат зовнішні характеристики двопівперіодного випрямляча $U_d = f(I)$ при трьох значеннях ємності конденсатора згладжуючого фільтра.

2.9. Зробити висновки, виходячи з впливу ємності конденсатора згладжуючого фільтра на форму кривої напруги на навантаженні. Порівняти значення напруги на затискачах двопівперіодного випрямляча при роботі у режимі неробочого ходу при відсутності та наявності згладжуючого фільтра з відповідними розрахованими даними.

Етап 3. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.

2. Схему лабораторного стенда (рис. 5.1) та схеми експериментальних досліджень (рис. 5.2 та рис. 5.3).

3. Табл. 5.1, 5.2 та 5.3 з експериментальними та розрахованими даними.

4. Осцилограми напруг для однопівперіодного випрямляча:
- $u_2 = f(t)$ при $C_Ф$=0;
- $u_2 = f(t)$ при $C_{Ф1}$ = 20 мкФ;
- $u_2 = f(t)$ при $C_{Ф2}$ = 70 мкФ.

5. Осцилограми напруг для двопівперіодного випрямляча:
- $u_2 = f(t)$ при $C_Ф$=0;
- $u_2 = f(t)$ при $C_{Ф1}$ = 20 мкФ;

– $u_2 = f(t)$ при $C_{Ф2} = 70$ мкФ.

6. Зовнішні характеристики $U_d = f(I)$ однопівперіодного і двопівперіодного випрямлячів при трьох значення ємності конденсатора згладжуючого фільтра.

7. Розрахунок середнього значення напруги у режимі неробочого ходу для одно- та двопівперіодного випрямляча при наявності та відсутності згладжуючого фільтра.

Методичні вказівки

Джерела вторинного електроживлення (ДВЖ) – це електронні пристрої, які призначені для перетворення енергії первинного джерела електроживлення в електричну енергію, значення частоти, рівня і стабільності якої узгоджені з вимогами, пропонованими до цих параметрів конкретними електронними пристроями і системами.

Як первинні джерела електроживлення для електронних пристроїв і систем використовують або промислову мережу змінного струму, або автономні джерела змінного (генератори) чи постійного (акумулятори, хімічні батареї і т.п.) струму.

У загальному випадку ДВЖ складаються з декількох функціонально закінчених блоків, які можна розбити на три основні групи пристроїв:

– узгодження частоти;
– узгодження рівня напруги;
– узгодження стабільності напруги.

До етапів 1 та 2

Основними параметрами випрямлячів є:

1. Середнє значення вихідної напруги

$$U_d = \frac{1}{T}\int_0^T u_{вих} dt .$$

2. Середнє значення вихідного струму

$$I_d = \frac{1}{T}\int_0^T i_{вих} dt .$$

3. Коефіцієнт пульсації вихідної напруги (струму).

$$\varepsilon_U = \frac{U_{m1}}{U_d}; \qquad \varepsilon_I = \frac{I_{m1}}{I_d},$$

де U_{m1}, I_{m1} – амплітуда першої гармоніки відповідно напруги та струму.

Однофазний однопівперіодний випрямляч. Найпростішим випрямлячем є схема однофазного однопівперіодного випрямляча.

При заданій вхідній напрузі $u_{вх} = U_m \sin \omega t$ для непарних його напівперіодів випрямлений струм у навантажувальному резисторі $R_{нав}$ буде створювати на ньому спад напруги.

Середнє значення напруги випрямляча, що навантажений:

– активним опором

$$U_d = \frac{U_m}{\pi} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U \ ,$$

де U_m – амплітуда вхідної напруги; U – діюче значення вхідної напруги;

– тільки ємністю

$$U_d = U_m = \sqrt{2} U .$$

Середній струм у навантажувальному резисторі

$$I_d = \frac{I_m}{\pi} = 0.318 I_m ,$$

де I_m – амплітуда випрямленого струму.

Максимальна зворотна напруга на діоді $U_{d.зв op} = U_m$.

Коефіцієнт пульсації дорівнює відношенню амплітуди основної гармоніки до середнього значення випрямленої напруги в режимі неробочого хода. Для розглянутої схеми

$$\varepsilon_U = \frac{U_{m1}}{U_d} = \frac{\pi}{2} = 1,57 .$$

Однопівперіодне випрямлення через високу пульсацію випрямленої напруги має низьку ефективність і тому знаходить обмежене застосування.

Однофазний мостовий двопівперіодний випрямляч. Параметри вихідної напруги випрямляча можна істотно поліпшити, якщо струм навантаження буде протікати в обидва напівперіоди дії вхідної напруги.

При заданій вхідній напрузі $u_{вх} = U_m \sin \omega t$ для кожного з напівперіодів випрямлений струм у навантажувальному резисторі $R_{нав}$ буде створювати на ньому спад напруги.

Середні значення напруги навантаження будуть у два рази перевищувати напругу однофазної однопівперіодної схеми. Для випрямляча, навантаженого на:

– активний опір

$$U_d = 2\frac{U_m}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U ;$$

– ємність

$$U_d = U_m = \sqrt{2} U .$$

Середній струм у навантажувальному резисторі

$$I_d = 2\frac{I_m}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} I,$$

де U_m і I_m – амплітудні значення вхідної напруги і струму, а U і I – їх діючі значення.

Максимальна зворотна напруга закритого діода $U_{d.\text{звор}} = 2U_m$.

Коефіцієнт пульсацій схеми однофазного двопівперіодного випрямляча

$$\varepsilon_U = \frac{U_{m1}}{U_d} = \frac{2}{n^2 - 1} = \frac{2}{2^2 - 1} = 0,67,$$

де $n = 2$.

Отримані рівняння відображують, що ефективність однофазного двопівперіодного випрямляча значно вище однопівперіодного, що і визначило її широке застосування у схемах ДВЖ.

Стабілізація змінення вихідної напруги здійснюється введенням у коло передачі напруги додаткової ланки, коефіцієнт передачі якої для змінної складової напруги істотно менше постійної складової. У результаті постійна складова напруги проходить у навантаження практично без змін, а його змінна складова послабляється подільником, утвореним уведеною ланкою і навантаженням ДВЖ.

Ємнісний згладжуючий фільтр є найбільш простим і розповсюдженим фільтром. Він складається з конденсатора $C_ф$, що включається паралельно опору навантаження.

Осцилографування кривих зміни напруги необхідно починати з кривої змінної напруги $u_1 = f(t)$ вибравши при цьому такий коефіцієнт підсилення по осі "*Y*" електронного осцилографа, щоб зображення на екрані було достатньо великим. Знаючи величину періодичної напруги (виміряти вольтметром) та амплітуду синусоїди на екрані осцилографа, достатньо легко встановити масштаб по напрузі

$$m_u = \frac{U_m}{n}, \ \frac{B}{см},$$

де n – кількість поділок на масштабній сітці, що є на екрані осцилографа.

Щоб зберегти цей масштаб для інших осцилограм, у подальшому положення ручок керування осцилографом не змінювати.

Якщо необхідно збільшити розворот кривої на екрані осцилографа по осі "*Y*", то зменшують масштаб по напрузі.

Контрольні запитання

1. Поясніть основні властивості напівпровідникових діодів.
2. Поясніть призначення ДВЖ.
3. З яких вузлів складається ДВЖ.

4. Якими електричними параметрами характеризуються джерела вторинного електроживлення?

5. Намалювати схему однопівперіодного випрямляча із згладжуючим фільтром та активним навантаженням.

6. Поясніть принцип дії однопівперіодного випрямляча без згладжуючого фільтра.

7. Поясніть принцип дії однопівперіодного випрямляча із згладжуючим фільтром.

8. Намалювати схему двопівперіодного випрямляча із згладжуючим фільтром та активним навантаженням

9. Поясніть принцип дії двопівперіодного випрямляча без згладжуючого фільтра.

10. Поясніть принцип дії двопівперіодного випрямляча із згладжуючим фільтром.

11. Яке призначення згладжуючих фільтрів?

12. Як впливає ємність конденсатора на зовнішню характеристику випрямляча?

13. Що таке коефіцієнт пульсацій?

14. Що таке коефіцієнт згладжування?

Список рекомендованої літератури

1. Шкрабець Ф.П., Ципленков Д.В., Куваєв Ю.В. та ін. Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки. Навчальний посібник. – Д.: НГУ, 2004. – 512 с. (**§ 14.5, стор. 401 – 417**)

2. Горбачев Г.Н., Чаплігин Е.Е. Промішленная электроника. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 320 с. (**§§ 5.1 – 5.6, стор. 189 – 205)**

Список додаткової літератури

1. Шкрабець Ф.П., Ципленков Д.В. Збірник задач з електротехніки та основ електроніки. – Д.: Національний гірничий університет, 2006. – 258 с.
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Вісш. шк., 2002. – 542 с.
3. Общая электротехника / Под ред. А. Т. Блажкина. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 592 с.
4. Малинівський С.М. Загальна електротехніка: Підручник. – Львів: Видавництво "Бескид Біт", 2003. 640 с.
5. Аналоговая и цифровая электроника. Учебник для вузов. /Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; Под ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2000. – 768 с.
6. Касаткин А.С., Немцов М.В.Электротехника. – М.: Вісшая школа. 2002. – 542с.
7. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство: Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с.

З М І С Т

Лабораторна робота ЕТ 1/1
Електровимірювальні прилади та дослідження лінійного
розгалуженого електричного кола постійного струму 4

Лабораторна робота ЕТ 1/2
Дослідження лінійного нерозгалуженого кола синусоїдального струму. . . 16

Лабораторна робота ЕТ 1/3
Дослідження режимів роботи трифазних схем 22

Лабораторна робота ЕТ 1/4
Дослідження транзисторного підсилювача низької частоти 28

Лабораторна робота ЕТ 1/5
Дослідження однофазних напівпровідникових випрямлячів 33

Список додаткової літератури 42

Упорядники:

Ципленков Дмитро Володимирович
Бобров Олексій Володимирович
Федоров Сергій Іванович
Лябагова Тетяна Валеріївна

Матеріали методичного забезпечення
до виконання лабораторних робіт з дисциплін:
«Електротехніка», «Електротехніка та електроніка»
(розділи «Електричні кола» та «Основи електроніки»)
для студентів неелектротехнічних спеціальностей

Видано
у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка»
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004
49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19