

Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет

НЕСТЕРЧУК Д.М., ВОВК О.Ю.

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ
ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Мелітополь

**Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет**

НЕСТЕРЧУК Д.М., ВОБК О.Ю.

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

*Рекомендовано Вченою радою
Таврійського державного агротехнологічного університету
як навчальне видання для підготовки здобувачів
ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 133
«Галузеве машинобудування»*

Мелітополь

2018

УДК 621.3 (078)

Н55

*Гриф надано Вченою радою
Таврійського державного агротехнологічного університету
(протокол № 3 від «30» жовтня 2018 р.)*

Укладачі: **Нестерчук Д.М.**, доцент Таврійського ДАТУ,
Вовк О.Ю., доцент Таврійського ДАТУ,

Рецензенти:

Яковлев Валерій Федорович, к.т.н., професор, завідувач кафедри електротехнічних систем, Сумський національний аграрний університет

Назаренко Ігор Петрович, д.т.н., професор, завідувач кафедри електротехнологій і теплових процесів, Таврійський державний агротехнологічний університет

Попова Ірина Олексіївна, доцент кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В.В. Овчарова, Таврійський державний агротехнологічний університет

Нестерчук Д.М.

Н55 Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: методичні вказівки для виконання лабораторних робіт / Д.М.Нестерчук, В.О. Вовк. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2018. - 189 с.

ISBN

У методичних вказівках для виконання лабораторних робіт зібраний, систематизований та наочно викладений теоретичний і методичний матеріал, який охоплює практичні питання методології при вивченні дисципліни «Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка». Структура кожної лабораторної роботи, їх зміст та наочна ілюстрація теоретичного матеріалу схемами вимірювання електричних та магнітних величин є методично обґрунтованими та роблять методичні вказівки зручними для самостійного опрацювання матеріалу студентами, як денної, так й заочної (дистанційної) форм навчання.

Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт призначені для викладачів при підготовці до лабораторних робіт з дисципліни «Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка», а також для студентів вищих навчальних закладів при підготовці здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

© Нестерчук Д.М.

© Вовк О.Ю.

© «Таврійський державний
агротехнологічний університет», 2018

ЗМІСТ

Передмова	6
Правила з охорони праці при виконанні лабораторних робіт	7
Лабораторна робота 1	
Дослідження лінійного нерозгалуженого електричного кола постійного струму	11
<i>Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лабораторної роботи 1.....</i>	19
<i>Задачі для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 1.....</i>	22
Лабораторна робота 2	
Дослідження лінійного розгалуженого електричного кола постійного струму...	24
<i>Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лабораторної роботи 2....</i>	33
<i>Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 2</i>	35
Лабораторна робота 3	
Дослідження нерозгалуженого електричного кола синусоїдного струму з резистором	38
<i>Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лабораторної роботи 3....</i>	44
<i>Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 3</i>	47
Лабораторна робота 4	
Дослідження нерозгалужених електричних кіл змінного синусоїдного струму з реальною котушкою та з резистором і конденсатором	48
<i>Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лабораторної роботи 4....</i>	59
<i>Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 4</i>	61
Лабораторна робота 5	
Дослідження трифазних симетричних кіл змінного синусоїдного струму при з'єднанні фаз навантаження за схемами «зірка» та «трикутник»	63
<i>Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лабораторної роботи 5....</i>	71
<i>Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 5</i>	75

Лабораторна робота 6	
Дослідження магнітного кола з котушкою	78
<i>Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лабораторної роботи 6....</i>	83
<i>Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 6</i>	85
Лабораторна робота 7	
Дослідження метрологічних характеристик електровимірювальних приладів	87
<i>Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лабораторної роботи 7....</i>	97
<i>Задачі для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 7.....</i>	100
Лабораторна робота 8	
Метрологічна перевірка вольтметра	103
Лабораторна робота 9	
Дослідження та застосування однофазного трансформатора	110
<i>Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лабораторної роботи 9....</i>	115
<i>Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 9</i>	118
Лабораторна робота 10	
Дослідження та застосування вимірювальних трансформаторів струму та напруги	119
<i>Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лабораторної роботи 10...</i>	128
<i>Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 10</i>	129
Лабораторна робота 11	
Дослідження та застосування двигуна постійного струму	130
<i>Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лабораторної роботи 11..</i>	138
<i>Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 11</i>	139
Лабораторна робота 12	
Дослідження та застосування трифазного асинхронного електродвигуна	141
<i>Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лабораторної роботи 12...</i>	149
<i>Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 12</i>	152

Лабораторна робота 13	
Дослідження та застосування електричних апаратів	153
<i>Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лабораторної роботи 13...</i>	162
<i>Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 13</i>	164
Лабораторна робота 14	
Дослідження випрямлячів однофазного змінного струму	165
<i>Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 14</i>	172
Лабораторна робота 15	
Дослідження електронних схем з тиристорами та триністорами	173
Лабораторна робота 16	
Дослідження підсилювача на біполярному транзисторі	179
<i>Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лабораторних робіт 14,</i>	
<i>15,16 за темою «Електроніка та мікросхемотехніка»</i>	186
Список літератури	189

ПЕРЕДМОВА

Метою вивчення дисципліни «Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка» є засвоєння основних понять та законів, які пов'язані з практичним використанням електричних та магнітних явищ та вивчення будови та принципу дії електричних машин, апаратів керування та захисту, електровимірювальних та електронних приладів, що дозволить оволодіти методами аналізу електричних кіл однофазного та трифазного синусоїдного струму, принципами вибору апаратів керування та захисту, методами вимірювання електричних та магнітних величин та основами розрахунку електронних приладів, а також аналізувати роботу електричних машин та апаратів. Знання умовних графічних та літерних позначень елементів в електричних колах дозволить студентам читати схеми розрахункові та електричні принципові однофазних та трифазних кіл.

У методичних вказівках для виконання лабораторних робіт зібраний, систематизований та наочно викладений теоретичний і методичний матеріал, який охоплює практичні питання методології при вивченні дисципліни «Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка».

Структура кожної лабораторної роботи, їх зміст та наочна ілюстрація теоретичного матеріалу схемами вимірювання електричних й магнітних величин є методично обґрунтованими та зручними для самостійного опрацювання матеріалу студентами, як денної, так й заочної (дистанційної) форм навчання. Рівень наведеного матеріалу практичного спрямування ґрунтується на знаннях та вміннях з фізики, вищої математики в обсязі навчальних програм названих дисциплін.

Під час підготовки методичних вказівок для виконання лабораторних робіт максимально враховані та використані, як традиції й багаторічний досвід викладання дисципліни «Електротехніка» на кафедрі «Електротехніка і електромеханіка імені професора В.В.Овчарова» в ТДАТУ, так і тенденції досягнень й розвитку сучасної електротехніки, як науки, в Україні.

ПРАВИЛА З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Вимоги безпеки праці перед початком робіт:

- студентам забороняється знаходитися в лабораторії у верхньому одязі;
- студенти повинні привести в належний стан свій одяг та робоче місце;
- студенти повинні використовувати тільки необхідне електрообладнання

згідно вимог тематичних вказівок до роботи;

- універсальні стенди для збирання електричних схем повинні бути справними та укомплектовані діючими технічними засобами вимірювань;

- виконання робіт повинно здійснюватись у відповідності з порядком виконання робіт, який наведений у тематичних вказівках;

- перед збиранням принципів електричних схем викладач, лаборант та студенти повинні переконатися, що комутаційний апарат (автоматичний вимикач), встановлений на кожному робочому місці, розімкнений;

- викладач, лаборант та студенти повинні переконатися, що лабораторний автотрансформатор, встановлений на робочому місці, знаходиться у вимкненому положенні, а його повзунок розташований на позначці «0»;

- при збиранні схем слід спочатку переконатись у справності клем електрообладнання, а потім надійно приєднувати з'єднувальні проводи до клем електричних машин, вимірювальних приладів та до іншого електрообладнання, яке використовується у лабораторній роботі. У випадку несправності клем повідомити про цей факт викладачу або лаборанту;

- при збиранні схем з'єднувальні проводи не повинні перетинатися та знаходитись у розтягнутому стані, а також не повинні знаходитись на шкалах вимірювальних приладів, обмотках реостатів та іншого електрообладнання, яке використовується у лабораторній роботі;

- забороняється розмикати вторинну обмотку вимірювальних трансформаторів струму, якщо первинні обмотки вимірювальних трансформаторів приєднані до мережі живлення та знаходяться під напругою;

- у випадку використання конденсаторної батареї студенти повинні переконатися, що конденсатори батареї розряджені;
- у випадку використання котушки індуктивності студенти повинні переконатися, що індуктивна котушка не має електрорушійної сили самоіндукції;
- у випадку використання реостатів регулювання струмів необхідно встановити повзуни реостатів в необхідні положення;
- за вказівкою викладача студенти повинні встановити перемикачі номінальних меж вимірювання на вимірювальних приладах, враховуючи номінальні струми навантаження;
- комутація та робота електричних кіл, які зібрані на універсальних стендах, без заземлення не допускається;
- універсальний стенд, який знаходиться під напругою, не можна залишати без нагляду, студенту забороняється без дозволу викладача залишати робоче місце;
- у випадку виникнення будь-яких несправностей у роботі універсального стенду, вимірювальних приладів, електричного навантаження студентам необхідно терміново відключити стенд від джерела живлення та повідомити лаборанта та викладача.

Вимоги безпеки праці при виконанні робіт:

- студенти повинні при проведенні лабораторних робіт здійснювати постійний нагляд за порядком на робочому місці;
- студенту забороняється без дозволу викладача залишати робоче місце, а лаборанту та викладачеві – приміщення аудиторії;
- студентам забороняється без дозволу викладача або лаборанта користуватись іншим електрообладнанням та виконувати перемикання тумблерів при роботі електричних схем на стендах;
- студентам забороняється торкатися комутаційних апаратів та захисних кожухів на електроосвітлювальному навантаженні, реостатах;

- студентам забороняється залишати робоче місце без нагляду без попередження викладача або лаборанта, якщо на універсальних стенд подана напруга;

- студентам забороняється торкатися неізольованих ділянок електричних кіл, які знаходяться під напругою;

- студенти повинні контролювати, щоб параметри електрообладнання, яке використовується в лабораторній роботі, не перевищували номінальних або заданих викладачем значень;

- студенти повинні у випадку закінчення лабораторної роботи або перерви у лабораторній роботі встановити повзунок лабораторного автотрансформатора на позначку «0», відключити автоматичний вимикач, який встановлений на універсальному стенду та повідомити викладача або лаборанта.

Вимоги безпеки при закінченні робіт:

- студенти повинні після закінчення лабораторної роботи привести робоче місце у належний стан;

- студенти повинні довести до відома викладача або лаборанта про будь-які несправності електрообладнання та електровимірювальних приладів, що були помічені при виконанні лабораторної роботи;

- аудиторія повинна вентилуватися після проведення кожної лабораторної роботи.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях:

- у випадку різкого руху стрілки електровимірювального приладу до кінця його шкали при виконанні лабораторної роботи студенти повинні розімкнути автоматичний вимикач, встановлений на робочому місці, знеструмити універсальний стенд та повідомити про це викладача або лаборанта;

- у випадку появи диму при виконанні лабораторної роботи студенти повинні негайно повідомити про це викладача та лаборанта та відійти на відповідну відстань від місця задимлення;

- студенти повинні довести до відома викладача або лаборанта про погіршення власного стану при виконанні лабораторної роботи;

- у випадку потрапляння частин тіла або одягу будь-кого в аудиторії у ділянку електричного кола, яка обертається, студенти повинні розімкнути автоматичний вимикач, встановлений на робочому місці, та повідомити викладача та лаборанта, які повинні при необхідності знеструмити аудиторію та надати первинну допомогу доки не приїде швидка медична допомога, повідомити про це завідувача лабораторіями або завідувача кафедрою та викликати швидку медичну допомогу;

- у випадку пожежі всім присутнім в аудиторії студентам необхідно негайно її залишити згідно плану евакуації під керівництвом лаборанта, а викладачу негайно розімкнути автоматичний вимикач, який встановлений на робочому місці, знеструмити лабораторію та повідомити про це завідувача лабораторіями або завідувача кафедрою та викликати пожежну охорону.

Лабораторна робота 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙНОГО НЕРОЗГАЛУЖЕНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи:

Придбання практичних навичок при визначенні електричних величин - сили струму, напруги та активної потужності, в лінійному нерозгалуженому електричному колі постійного струму.

1 Основні теоретичні відомості

Сила електричного струму, I , A – це фізична величина, що дорівнює відношенню кількості заряду, що пройшов за деякий час через поперечний переріз провідника Δq , до величини цього проміжку часу Δt

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}. \quad (1)$$

Для того щоб електричний струм мав змогу протікати необхідне замкнуте електричне коло. *Електричне коло* – це сукупність пристроїв, які забезпечують можливість створення електричного струму.

Основні елементи електричного кола – джерело, приймач і проводи, які їх з'єднують. *Допоміжні елементи кола* – вимикачі, рубильники, вимірювальні прилади. Електричне коло, в якому в усіх його елементах протікає один і той самий електричний струм, є *нерозгалуженим електричним колом*. Елементи, у яких вольт-амперна характеристика є прямою лінією, мають назву *лінійні*. Електричні кола, які складаються з лінійних елементів – це *лінійні електричні кола*.

Негативні заряди, які прийшли до позитивно зарядженого полюса провідника в наслідок електричного струму, з часом нейтралізують позитивні заряди і електричний струм припиниться. Щоб цього не сталося, сторонні сили джерела електричної енергії постійно переносять негативні заряди, що прийшли, на негативно заряджений полюс, здійснюючи роботу.

Енергетичною характеристикою джерела живлення є фізична величина, яка має назву *електрорушійна сила (е.р.с.)*, E , V – це відношення роботи, яку

здійснюють сторонні сили джерела з перенесення зарядів проти сил електричного поля, до значення цих зарядів, тобто

$$E = \frac{A}{q}, \quad (2)$$

де E – електрорушійна сила, B ;

A – робота сторонній сил, $Дж$;

q – заряд, $Кл$.

Заряди, рухаючись в електричному колі створюють, електричний струм. Електричне поле виконує певну роботу, або витрачає енергію, щоб перемістити заряд між двома точками в колі, наприклад, з точки a в точку b .

Фізична величина, що визначається роботою, яка виконується електричним полем при переміщенні одиничного позитивного заряду на даній ділянці кола, має назву **напруга**. Поняття «напруга» є узагальненим поняттям різниці потенціалів: напруга на кінцях ділянки кола дорівнює різниці потенціалів в тому випадку, якщо на цій ділянці не прикладена електрорушійна сила

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2, \quad (3)$$

де U_{12} – напруга між двома точками кола, B ;

φ_1, φ_2 – потенціали відповідно точок 1 та 2 електричного кола, B .

Напруга, як і електрорушійна сила, в системі СІ вимірюється в Вольтах.

При протіканні електричного струму через провідник він стикається з певним опором, який обумовлюється зіштовхуванням вільних електронів під час свого руху з атомами кристалічної решітки.

Для характеристики існує фізична величина, яка має назву - **опір провідника електричному струму**, R , $Ом$, який залежить від матеріалу провідника, довжини і площі поперечного перерізу провідника згідно аналітичного виразу

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}, \quad (4)$$

де R – опір провідника, Ом;

ρ – питомий опір провідника, величина, яка характеризує матеріал з якого виготовлений провідник, Ом·мм²/м;

l – довжина провідника, м;

S – площа поперечного перерізу провідника, мм².

Приклад. Алюмінієвий провідник з питомим опором $\rho = 0,027$ Ом·мм²/м має довжину $l = 1000$ м та площу поперечного перерізу $S = 2,5$ мм². Визначити опір провідника.

Розв'язання. За виразом (4) визначається опір провідника

$$R = 0,027 \cdot \frac{1000}{2,5} = 10,8 \text{ Ом.}$$

Фізичний закон, що визначає зв'язок між напругою, силою струму і опором провідника в електричному колі, має назву **закон Ома**, на честь його першовідкривача Георга Ома. Закон Ома твердить, що *сила струму в однорідній ділянці кола прямо пропорційна напрузі, що прикладена до ділянки, і обернено пропорційна електричному опору цієї ділянки.*

Математичний запис закону Ома має вигляд

$$I = \frac{U}{R}, \quad (5)$$

де I – сила електричного струму в провіднику, А;

U – напруга на ділянці, В;

R – опір провідника, Ом.

Потужність електричного струму, P , Вт - це кількість електричної енергії, що виділяється в провіднику в одиницю часу, тобто

$$P = \frac{W}{t}, \quad (6)$$

де P – потужність, Вт;

W – енергія, Дж;

t – час, с.

В електричному колі діє *закон збереження енергії*, відповідно до якого *енергія нізвідки не береться і нікуди не зникає, а переходить з одного виду в інший*. Джерело виробляє електричну енергію, перетворюючи, наприклад, механічну енергію. потужність (кількість виробленої енергії за одиницю часу) джерела

$$P = E \cdot I, \quad (7)$$

де E - е.р.с. джерела, V ;

I - сила струму, A ;

P - потужність джерела, $Вт$.

Аналітичний вираз для розрахунку потужності електричного кола має вигляд

$$P = R \cdot I^2. \quad (8)$$

У проводах та резисторах електрична енергія перетворюється в теплову енергію.

2 Завдання для домашньої підготовки

2.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 1 «Лінійні електричні кола постійного струму» [1, с.11-21, 2, с.8-30, 3, с.9-13, 5, с.8-10, 6, с.22-67, 7, с. 7-29, с.40-47];

2.2 Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в методичних вказівках на с. 19-22. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи в таблиці 1.

2.3 Виконати задачу для самостійного опрацювання, яка наведена в методичних вказівках на с. 22-23. Вибір варіанту задачі здійснити за останньою цифрою залікової книжки студента.

3 Порядок виконання роботи

3.1 Візуально ознайомитися з електровимірювальними приладами та обладнанням, що використовуються в роботі згідно схеми електричної принципової експериментальної установки.

3.2 Зібрати схему електричну принципову експериментальної установки для дослідження нерозгалуженого електричного кола постійного струму – рисунок 1.

3.3 Здійснити вимірювання електричних величин – сили струму та напруги за показаннями приладів в режимі холостого ходу та в режимі навантаження.

3.4 Результати вимірювань навести в таблиці 2.

3.5 Визначити за результатами вимірювань розрахунковим методом величини:

- е.р.с. генератора;
- опір лінії електропередачі;
- опір освітлювального навантаження;
- внутрішній опір генератора;
- потужність, що розвиває генератор при навантаженні;
- потужність, що віддає генератор при навантаженні в лінію електропередачі;
- потужність, яка споживає навантаження;
- потужність, що втрачається в генераторі при навантаженні;
- потужність, що втрачається в лінії електропередачі при навантаженні;
- коефіцієнт корисної дії (ккд) лінії електропередачі;
- ккд генератора при навантаженні.

3.6 Результати розрахунків навести в таблиці 3.

3.7 Скласти баланс потужностей лінійного нерозгалуженого електричного кола постійного струму.

3.8 Підтвердити за допомогою експериментальних даних дію закону Ома для замкненого електричного кола постійного струму.

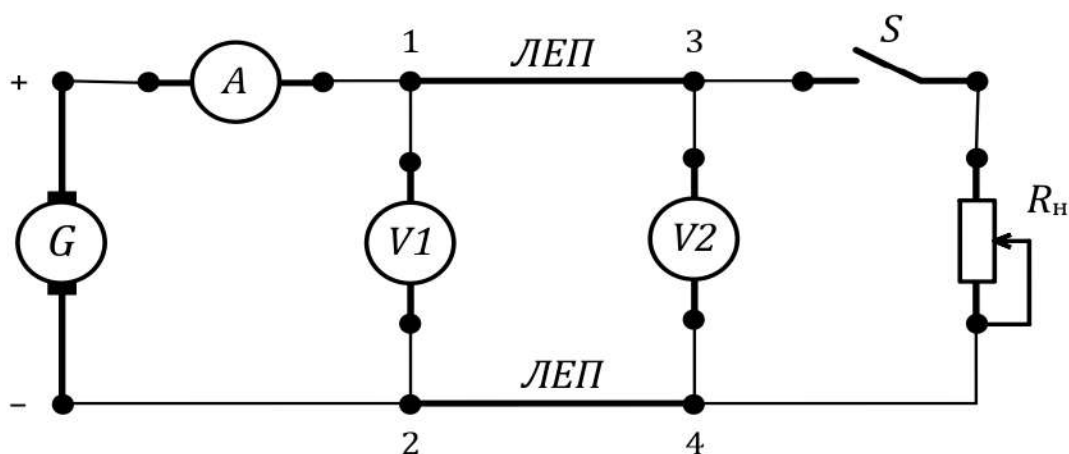
3.9 За результатами роботи зробити висновок щодо отриманих результатів дослідження лінійного нерозгалуженого електричного кола постійного струму.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		7		13	
2		8		14	
3		9		15	
4		10		16	
5		11		17	
6		12		18	



G – генератор постійного струму; ЛЕП – лінія електропередачі;

$R_{нав}$ – реостат навантаження; S – вимикач;

A – амперметр; $V1$ і $V2$ – два вольтметри

3. Рисунок 1 – Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження лінійного нерозгалуженого електричного кола постійного струму

4. Таблица 2 – Результати вимірювань

Умови проведення експерименту	Показання приладів		
	I, A	U_1, B	U_2, B
Режим холостого ходу – вимикач S в розімкненому стані	$I_{x.x} =$	$U_{1x.x} =$	$U_{2x.x} =$
Режим навантаження – вимикач S в замкненому стані	$I_{нав} =$	$U_{1нав} =$	$U_{2нав} =$

5. Таблица 3 – Результати розрахунків величин, що характеризують лінійне нерозгалужене електричне коло постійного струму

Найменування величини	Літерне позначення, одиниця вимірювання величини	Розрахункова формула	Значення
е.р.с. генератора	E, B	$E = U_{1x.x}$	$E =$
Внутрішній опір генератора	$R_B, Ом$	$R_B = \frac{E - U_{1нав}}{I}$	$R_B =$
Опір лінії електропередачі	$R_L, Ом$	$R_L = \frac{U_{1нав} - U_{2нав}}{I}$	$R_L =$
Опір освітлювального пристрою	$R_{нав}, Ом$	$R_{нав} = \frac{U_{2нав}}{I}$	$R_{нав} =$
Потужність, що розвиває генератор при навантаженні	$P_E, Вт$	$P_{\Sigma} = E \cdot I$	$P_E =$
Потужність, що віддає генератор при навантаженні в лінію електропередачі	$P_G, Вт$	$P_G = U_{1нав} \cdot I$	$P_G =$
Потужність, яку споживає навантаження	$P_{нав}, Вт$	$P_{нав} = U_{2нав} \cdot I$	$P_{нав} =$

Продовження таблиці 3

Найменування величини	Літерне позначення, одиниця вимірювання величини	Розрахункова формула	Значення
Потужність, що втрачається в генераторі при навантаженні	P_{ϵ} , Вт	$P_{\epsilon} = (E - U_{1нав}) \cdot I$	$P_{\epsilon} =$
Потужність, що втрачається в лінії електропередачі при навантаженні	$P_{Л}$, Вт	$P_{Л} = (U_{1нав} - U_{2нав}) \cdot I$	$P_{Л} =$
Коефіцієнт корисної дії (ккд) лінії електропередачі	$\eta_{Л}$, %	$\eta_{Л} = \frac{P_{нав}}{P_{Г}} \cdot 100\%$	$\eta_{Л} =$
Ккд генератора при навантаженні	$\eta_{Г}$, %	$\eta_{Г} = \frac{P_{Г}}{P_{E}} \cdot 100\%$	$\eta_{Г} =$

6. Складання балансу потужностей нерозгалуженого електричного кола постійного струму за формулою

$$P_{\Sigma} = P_{\epsilon} + P_{Л} + P_{нав} =$$

7. Підтвердження за допомогою експериментальних даних закону Ома для замкненого електричного кола постійного струму за виразом

$$I = \frac{E}{R_{\epsilon} + R_{нав} + R_{Л}} =$$

8. Висновок щодо отриманих результатів дослідження лінійного нерозгалуженого електричного кола постійного струму.

Контрольні запитання

1. Що таке електричне коло?
2. Що таке принципова схема електричного кола?

3. Що таке розрахункова схема електричного кола?
4. Як формулюється перший закон Кірхгофа?
5. Що таке електрорушійна сила напруга?
6. Як формулюється другий закон Кірхгофа?
7. Як формулюється закон Ома?
8. Що таке потужність?
9. Як формулюється закон Джоуля-Ленца?
10. Чому дорівнює еквівалентний опір послідовно з'єднаних резисторів?

Тестові контрольні завдання

для самоаналізу до лабораторної роботи 1

1. В чому полягає суть явища електризації тіл?
 - 1 придбання тілом електричного заряду
 - 2 не придбання тілом електричного заряду
 - 3 притягнення та відштовхування зарядів
 - 4 упорядкований спрямований рух вільних зарядів під дією сил електричного поля

2. Що таке електричний струм провідності?
 - 1 це придбання тілом електричного заряду
 - 2 це притягнення та відштовхування зарядів
 - 3 це упорядкований спрямований рух вільних зарядів під дією сил електричного поля
 - 4 це не упорядкований спрямований рух не вільних зарядів під дією сил електричного поля

3. Що таке сила електричного струму?
 - 1 це фізична величина, що дорівнює відношенню кількості заряду, що пройшов за деякий час через поперечний переріз провідника, до величини цього проміжку часу
 - 2 це упорядкований спрямований рух вільних зарядів під дією сил електричного поля
 - 3 це не упорядкований спрямований рух не вільних зарядів під дією сил електричного поля
 - 4 це фізична величина, чисельно рівна відношенню потенційної енергії, яку має пробний заряд, поміщений у дану точку поля, до значення цього заряду

4. Визначте силу струму, A , в провіднику, якщо за 10 с через поперечний переріз провідника проходить заряд величиною 150 Кл .

- | | | | |
|---|----|---|-----|
| 1 | 15 | 3 | 12 |
| 2 | 10 | 4 | 150 |

5. Від ідеального генератора постійного струму з е.р.с 100 В по лінії електропередачі з опором 5 Ом живиться освітлювальна установка опором 15 Ом . Визначте потужність кола, $Вт$, в електричному колі.

- | | | | |
|---|-----------------|---|-----------------|
| 1 | $5,5\text{ А}$ | 3 | 500 Вт |
| 2 | $5,0\text{ Вт}$ | 4 | 200 Вт |

6. Що таке електричне коло?

- 1 це графічне зображення за допомогою умовних графічних і літерно-цифрових позначень окремих елементів кола та зв'язків між ними
- 2 це сукупність пристроїв, які забезпечують можливість створення електричного струму
- 3 це один чи декілька послідовно з'єднаних елементів, кожний з яких має два виводи
- 4 це джерело, приймач і проводи, які їх з'єднують

7. Що таке принципова електрична схема кола?

- 1 це сукупність пристроїв, які забезпечують можливість створення електричного струму
- 2 це джерело, приймач і проводи, які їх з'єднують
- 3 це один чи декілька послідовно з'єднаних елементів, кожний з яких має два виводи
- 4 це графічне зображення за допомогою умовних графічних і літерно-цифрових позначень окремих елементів кола та зв'язків між ними

8. Від ідеального генератора постійного струму з е.р.с 60 В по лінії електропередачі з опором 2 Ом живиться освітлювальна установка опором 10 Ом . Визначте силу струму, A , в електричному колі.

- | | | | |
|---|-----|---|-----|
| 1 | 5,5 | 3 | 6,0 |
| 2 | 5,0 | 4 | 6,5 |

9. Від акумулятора живляться включені послідовно дві лампи зі струмами $1,5\text{ А}$ і $2,0\text{ А}$ та програвач зі струмом $2,5\text{ А}$. Визначте струм, A , що протікає через акумулятор.

- | | | | |
|---|----------------|---|----------------|
| 1 | $4,0\text{ А}$ | 3 | $6,0\text{ А}$ |
| 2 | $5,5\text{ А}$ | 4 | $6,5\text{ А}$ |

10. Що таке електрорушійна сила?

- 1 це робота, яка виконується електричним полем при переміщенні одиничного позитивного заряду на даній ділянці кола
- 2 це кількість електричної енергії, що виділяється в провіднику в одиницю часу
- 3 це сукупність пристроїв, які забезпечують можливість створення електричного струму
- 4 це відношення роботи, яку здійснюють сторонні сили джерела з перенесення зарядів проти сил електричного поля, до значення цих зарядів

11. Як формулюється закон Ома?

- 1 сила струму в ділянці кола прямо пропорційна напрузі, що прикладена до ділянки, і обернено пропорційна електричному опору цієї ділянки
- 2 сумарна потужність, що генерується джерелами електричної енергії, дорівнює сумарній потужності, яка споживається колом
- 3 алгебраїчна сума струмів у кожному вузлі електричного кола дорівнює нулю
- 4 алгебраїчна сума е.р.с., що діють уздовж будь-якого замкнутого контуру електричного кола дорівнює алгебраїчній сумі падінь напруг на ділянках цього ж контуру

12. Від ідеального генератора постійного струму з е.р.с 72 В по лінії електропередачі з опором 2 Ом живиться освітлювальна установка опором 10 Ом . Визначте напругу, V , на затискачах освітлювальної установки.

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1 20 В | 3 50 В |
| 2 40 В | 4 60 В |

13. Що таке розрахункова схема електричного кола?

- 1 це сукупність пристроїв, які забезпечують можливість створення електричного струму
- 2 це джерело, приймач і проводи, які їх з'єднують
- 3 це графічне та літерне позначення фізичних явищ, які спостерігаються в окремих елементах кола
- 4 це один чи декілька послідовно з'єднаних елементів, кожний з яких має два виводи

14. Що таке напруга?

- 1 це відношення роботи, яку здійснюють сторонні сили джерела з перенесення зарядів проти сил електричного поля, до значення цих зарядів
- 2 це сукупність пристроїв, які забезпечують можливість створення електричного струму

3 це вимикачі, рубильники, вимірювальні прилади, що не впливають на режим роботи кола

4 це робота, яка виконується електричним полем при переміщенні одиничного позитивного заряду на даній ділянці кола

15. Як формулюється закон Джоуля-Ленца?

1 алгебраїчна сума струмів у кожному вузлі електричного кола дорівнює нулю

2 кількість теплоти, що виділяється в одиницю часу в даній ділянці кола, пропорційно добутку квадрата сили струму на цій ділянці і опору ділянки

3 сила струму в ділянці кола прямо пропорційна напрузі, що прикладена до ділянки, і обернено пропорційна електричному опору цієї ділянки

4 алгебраїчна сума е.р.с., що діють уздовж будь-якого замкнутого контуру електричного кола дорівнює алгебраїчній сумі падінь напруг на ділянках цього ж контуру

16. Чому дорівнює еквівалентний опір послідовно з'єднаних резисторів?

1 сумі опорів цих резисторів

2 зворотній величині суми провідностей резисторів

3 сумарній потужності, яка споживається колом

4 електричній енергії, що виділяється в провіднику в одиницю часу

17. Чому дорівнює еквівалентний опір паралельно з'єднаних резисторів?

1 сумарній потужності, яка споживається колом

2 сумі опорів цих резисторів

3 зворотній величині суми провідностей резисторів

4 нулю

18. У джерелі електричної енергії сторонні сили переносять 20 Кл негативного заряду, при цьому виконується робота, величина якої дорівнює 3000 Дж. Визначити величину е.р.с., V , яку розвиває джерело електричної енергії.

1 20 3 150

2 15 4 200

Задачі для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 1

1. Який заряд придбало тіло, якщо воно втратило 40 Кл негативного заряду?

2. Який результуючий заряд придбало тіло, якщо воно придбало 10 Кл негативного заряду і 20 Кл позитивного заряду?

3. В середовище, відносна діелектрична проникність якого дорівнює 8, знаходиться точковий заряд величиною $+4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-11} \text{ Кл}$. Необхідно визначити потенціал точки електричного поля, якщо точка знаходиться від заряду на відстані 0,02 м.

4. Сторонні сили джерела переносять заряд величиною 150 Кл проти сил електричного поля, при цьому здійснюється робота величиною 35000 Дж. Розрахуйте величину е.р.с., яку розвиває джерело.

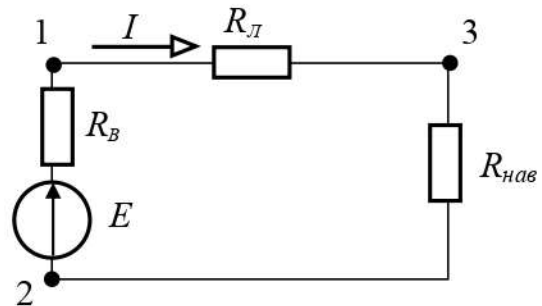
5. Через поперечний переріз провідника за 25 с проходить заряд величиною 175 Кл. Визначити силу електричного струму.

6. Визначити опір провідника з площею поперечного перерізу $2,5 \text{ мм}^2$, питомий опір якого становить $0,017 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, а довжина дорівнює 2000 м.

7. Необхідно розрахувати величину енергії, яка виділяється в провіднику, при проходженні по ньому струму силою в 7 А протягом 2 хвилин. Слід зазначити, що провідник має опір 300 Ом.

8. За наведеною розрахунковою схемою складіть алгоритм розрахунку таких величин:

- сила струму кола;
- потенціал точки 1;
- напруга на затискачах джерела;
- спадання напруги в лінії;
- напруга на затискачах навантаження;
- потужність, яку розвиває джерело;
- потужність, яку віддає джерело в лінію;
- к.к.д. джерела та кількість енергії, яка втрачається в лінії за 100 с.



Лабораторна робота 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙНОГО РОЗГАЛУЖЕНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи:

Придбання практичних навичок при вимірюванні та визначенні електричних величин: сили струму, напруги та активної потужності в лінійному розгалуженому електричному колі постійного струму.

1 Основні теоретичні відомості

Електричний струм провідності – це упорядкований спрямований рух вільних зарядів під дією сил електричного поля. *Сила електричного струму* – це фізична величина, що дорівнює відношенню кількості заряду, що пройшов за деякий час через поперечний переріз провідника Δq , до величини цього проміжку часу Δt . Для того щоб електричний струм мав змогу протікати необхідне замкнуте електричне коло.

Як було зазначено вище, *електричне коло* – це сукупність пристроїв, які забезпечують можливість створення електричного струму.

Основні елементи електричного кола – джерело, приймач і дроти, які їх з'єднують.

Допоміжні елементи кола – вимикачі, рубильники, вимірювальні прилади.

Принципова електрична схема кола – графічне зображення за допомогою умовних графічних і літерно-цифрових позначень окремих елементів кола та зв'язків між ними.

Розрахункова схема електричного кола – це графічне та літерне позначення фізичних явищ, які спостерігаються в окремих елементах кола.

На рисунку 1 представлено лінійне розгалужене електричне коло постійного струму.

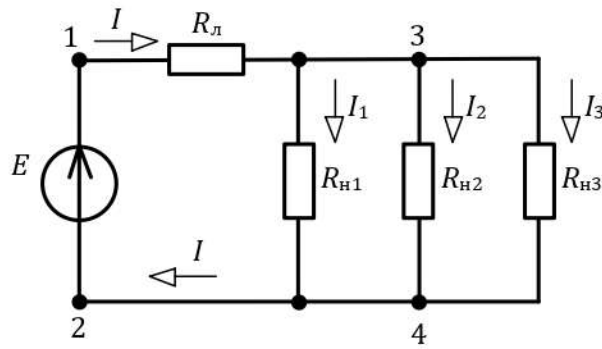


Рисунок 1 – Лінійне розгалужене електричне коло постійного струму

Конфігурація розрахункової схеми електричного кола визначається наступними поняттями: *вітка*, *вузол*, *контур*. Кожна вітка складається з одного чи декількох послідовно з'єднаних елементів, кожний з яких має два виводи (початок і кінець), причому кінець кожного попереднього елемента з'єднано з початком наступного. *Вузол* – це місце з'єднання трьох або більшої кількості віток. *Контур* – це замкнений шлях, що проходить по декількох вітках так, що жодна вітка та жоден вузол не зустрічається більше одного разу. *Розгалуження* – це ділянка кола, яка складається з послідовно з'єднаних елементів включених між двома вузлами.

Суть першого закону Кірхгофа: алгебраїчна сума струмів у кожному вузлі електричного кола дорівнює нулю

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0. \quad (1)$$

Умовно приймають, що сили струмів, які входять до вузла, враховуються зі знаком «+», а сили струмів, які виходять з вузла, враховуються зі знаком «-».

Суть другого закону Кірхгофа: алгебраїчна сума е.р.с., $\sum_{i=1}^n E_i$, що діють уздовж будь-якого замкнутого контуру електричного кола, дорівнює алгебраїчній сумі падінь напруг $\sum_{k=1}^m U_k$ на ділянках цього ж контуру

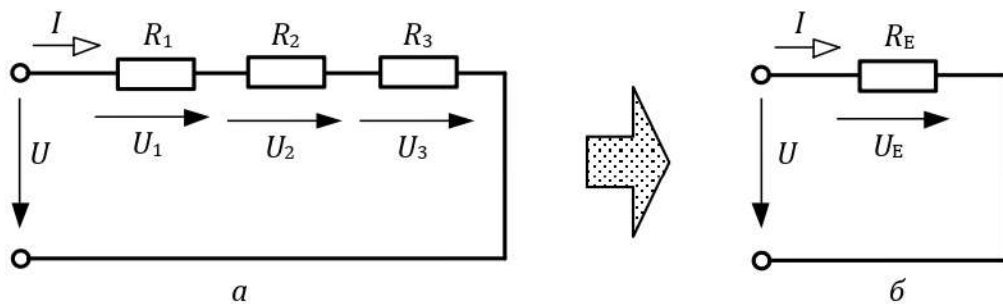
$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{k=1}^m U_k. \quad (2)$$

Умовно приймається, що е.р.с. і напруги, напрямом яких співпадає з обраним напрямом обходу контуру, записуються зі знаком «+», а інші – зі знаком «-».

Для спрощення аналізу розгалужених електричних кіл окремі їх ділянки, що не містять е.р.с., цілком можна замінити одним еквівалентним опором.

Еквівалентний опір – це опір, який може бути включеним в коло замість замінної групи опорів та який не змінює розподіл струмів і напруг в іншій частині електричного кола.

На рисунку 2.а наведена схема послідовного з'єднання опорів (початковий варіант), а на рисунку 2.б – схема кола з еквівалентним опором.



a – початковий варіант схеми; *б* – схема кола з еквівалентним опором

Рисунок 2 – Схема послідовного з'єднання опорів

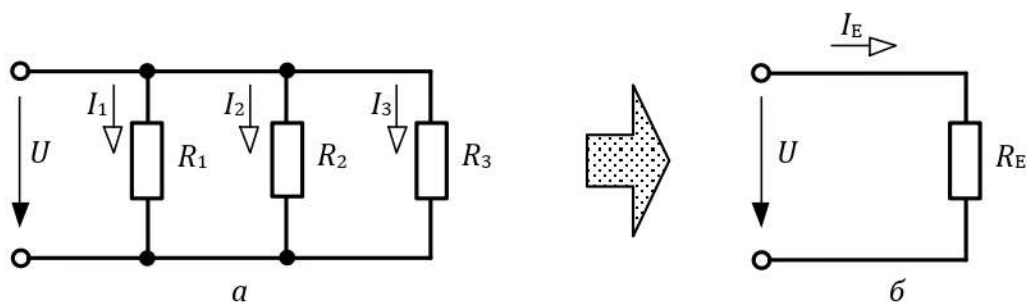
При послідовному з'єднанні опорів по кожному з них протікає один й той самий струм, а падіння напруги на еквівалентному опорі має дорівнювати сумі падінь напруг на вихідних опорах

$$R_{\Sigma} \cdot I = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_3 \cdot I, \quad (3)$$

отже, еквівалентний опір дорівнює

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + R_3. \quad (4)$$

На рисунку 3.а наведена схема паралельного з'єднання опорів (початковий варіант), а на рисунку 3.б – схема кола з еквівалентним опором.



a – початковий варіант схеми; *б* – схема кола з еквівалентним опором

Рисунок 3 – Схема паралельного з’єднання опорів

Якщо група опорів, що замінюються еквівалентним опором, з’єднана паралельно, то напруги на кожному з них і на еквівалентному опорі однакові. Умови еквівалентності будуть виконані, якщо струм через результуючий опір буде дорівнює сумі струмів через окремі паралельні опори

$$I_{\Sigma} = I_1 + I_2 + I_3. \quad (5)$$

Згідно закону Ома для окремого опору, можливо записати, що

$$\frac{U}{R_{\Sigma}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}, \quad (6)$$

остаточно

$$\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}. \quad (7)$$

Провідність елемента електричного кола – це фізична величина, яка характеризує здатність елемента кола проводити електричний струм, та яка обернено пропорційна опору елемента кола згідно виразу

$$g = \frac{1}{R}. \quad (8)$$

Одиницею вимірювання провідності є *См* (сіменс).

Отже, можна зробити висновок, що еквівалентна провідність для з’єднаних паралельно віток кола дорівнює сумі їх провідностей за формулою

$$g_{\Sigma} = g_1 + g_2 + g_i. \quad (9)$$

2 Завдання для домашньої підготовки

2.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 1 «Лінійні електричні кола постійного струму» [1, с.11-21, 2, с.8-30, 3, с.9-13, 5, с.8-10, 6, с.22-67, 7, с. 7-29, с.40-47];

2.2 Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в методичних вказівках на с. 33-35. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи в таблиці 1.

2.3 Виконати задачу для самостійного опрацювання, яка наведена в методичних вказівках на с. 35-37. Вибір варіанту задачі здійснити за останньою цифрою залікової книжки студента.

3 Порядок виконання роботи

3.1 Візуально ознайомитися з електровимірювальними приладами та обладнанням, що використовуються в роботі згідно схеми електричної принципової експериментальної установки.

3.2 Зібрати схему електричну принципову експериментальної установки для дослідження розгалуженого електричного кола постійного струму – рисунок 1.

3.3 Здійснити вимірювання електричних величин – сили струму та напруги за показаннями приладів в режимі холостого ходу та в режимі навантаження.

3.4 Результати вимірювань навести в таблицю 2.

3.5 Визначити за результатами вимірювань розрахунковим методом величини:

- е.р.с. генератора;
- еквівалентний опір всього кола;
- опір першого резистора, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола;
- опір другого резистора, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола;

- опір третього резистора, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола;
- потужність, що розвиває генератор при навантаженні;
- потужність, що споживається першим резистором;
- потужність, що споживається другим резистором;
- потужність, що споживається третім резистором;

3.6 Результати розрахунків навести в таблицю 3.

3.7 Скласти баланс потужностей розгалуженого електричного кола постійного струму.

3.8 Підтвердити за допомогою експериментальних даних перший закон Кірхгофа.

3.9 Підтвердити за допомогою експериментальних даних другий закон Кірхгофа.

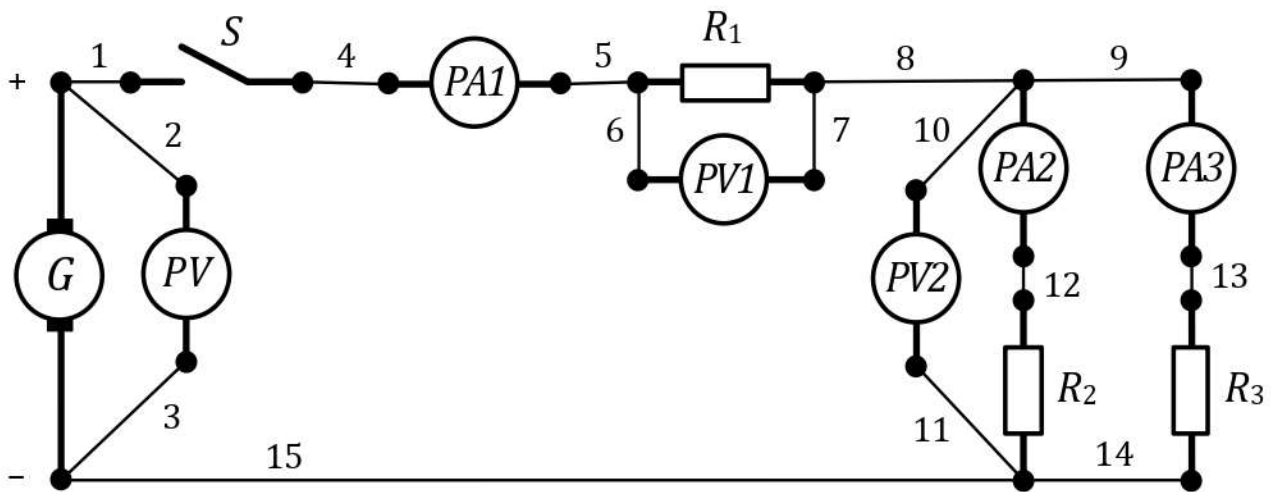
3.10 За результатами роботи зробити висновок щодо отриманих результатів дослідження розгалуженого електричного кола постійного струму.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		5		9	
2		6		10	
3		7		11	
4		8		12	



G - генератор постійного струму; S – вимикач; $A1, A2, A3$ – три амперметри;
 $V, V1$ і $V2$ – три вольтметра; $R1, R2$ і $R3$ – три резистора

3. Рисунок 1 – Схема електрична принципова експериментальної установки
 для дослідження лінійного розгалуженого
 електричного кола постійного струму

4. Таблица 2 – Результати вимірювань

Умови проведення експерименту	Показання приладів					
	I, A	I_1, A	I_2, A	U, B	U_1, B	U_2, B
Режим холостого ходу - вимикач S розімкнений	$I_{x.x} =$			$U_{x.x} =$		
Режим навантаження - вимикач S замкнений	$I_{нав} =$					

5. Таблиця 3 – Результати розрахунків величин, що характеризують лінійне розгалужене електричне коло постійного струму

Найменування величини	Літерне позначення, одиниця вимірювання величини	Розрахункова формула	Значення
е.р.с. генератора	$E, В$	$E = U_{x.x}$	$E =$
Еквівалентний опір всього кола	$R_{\Sigma}, Ом$	$R_{\Sigma} = \frac{U}{I_1}$	$R_{\Sigma} =$
Опір першого резистора	$R_1, Ом$	$R_1 = \frac{U_1}{I_1}$	$R_1 =$
Опір другого резистора	$R_2, Ом$	$R_2 = \frac{U_2}{I_2}$	$R_2 =$
Опір третього резистора	$R_3, Ом$	$R_3 = \frac{U_2}{I_3}$	$R_3 =$
Потужність, що розвиває генератор при навантаженні	$P_E, Вт$	$P_{\Sigma} = E \cdot I_1$	$P_E =$
Потужність, що споживається першим резистором	$P_1, Вт$	$P_1 = U_1 \cdot I_1$	$P_1 =$
Потужність, що споживається другим резистором	$P_2, Вт$	$P_2 = U_2 \cdot I_2$	$P_2 =$
Потужність, що споживається третім резистором	$P_3, Вт$	$P_3 = U_2 \cdot I_3$	$P_3 =$

6. Складання балансу потужностей розгалуженого електричного кола постійного струму

$$P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3 =$$

7. Підтвердження за допомогою експериментальних даних першого закону Кірхгофа за виразом

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0,$$

де $I_1 = \underline{\hspace{2cm}} A$; $I_2 = \underline{\hspace{2cm}} A$; $I_3 = \underline{\hspace{2cm}} A$.

8. Підтвердження за допомогою експериментальних даних другого закону Кірхгофа за виразом

$$U = U_1 + U_2,$$

де $U_1 = \underline{\hspace{2cm}} B$; $U_2 = \underline{\hspace{2cm}} B$.

9. Висновок щодо отриманих результатів дослідження лінійного розгалуженого електричного кола постійного струму.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення електричного кола.
2. Які елементи електричного кола є основними?
3. Які елементи електричного кола є допоміжними?
4. Дайте визначення принципової електричної схеми.
5. Дайте визначення розрахункової електричної схеми.
6. Що таке вітка електричного кола?
7. Що таке вузол електричного кола?
8. Що таке контур електричного кола?
9. Сформулюйте перший закон Кірхгофа та наведіть його математичний запис.
10. Сформулюйте другий закон Кірхгофа та наведіть його математичний запис.
11. Як розрахувати еквівалентний опір паралельно з'єднаних резисторів?
12. Як розрахувати еквівалентний опір послідовно з'єднаних резисторів?
13. Обґрунтуйте, як скласти баланс потужностей?

*Тестові контрольні завдання
для самоаналізу до лабораторної роботи 2*

1. Місце на розрахунковій схемі кола, в якій з'єднуються не менше трьох розгалужень, має назву

- 1 вітка
- 2 контур
- 3 вузол
- 4 вершина

2. Як формулюється перший закон Кірхгофа?

- 1 алгебраїчна сума е.р.с., що діють уздовж будь-якого замкнутого контуру електричного кола дорівнює алгебраїчній сумі падінь напруг на ділянках цього ж контуру
- 2 алгебраїчна сума струмів у кожному вузлі електричного кола дорівнює нулю
- 3 сила струму в ділянці кола прямо пропорційна напрузі, що прикладена до ділянки, і обернено пропорційна електричному опору цієї ділянки
- 4 відношення роботи, яку здійснюють сторонні сили джерела з перенесення зарядів проти сил електричного поля, до значення цих зарядів

3. Замкнений шлях на розрахунковій схемі, що проходить по декількох вітках так, що жодна вітка та жоден вузол не зустрічається більше одного разу, має назву

- | | |
|----------|-----------|
| 1 вузол | 3 вітка |
| 2 контур | 4 вершина |

4. Як формулюється другий закон Кірхгофа?

- 1 алгебраїчна сума струмів у кожному вузлі електричного кола дорівнює нулю
- 2 алгебраїчна сума е.р.с., що діють уздовж будь-якого замкнутого контуру електричного кола дорівнює алгебраїчній сумі падінь напруг на ділянках цього ж контуру
- 3 сумарна потужність, що генерується джерелами електричної енергії, дорівнює сумарній потужності, яка споживається колом
- 4 алгебраїчна сума струмів у кожному вузлі електричного кола не дорівнює нулю

4. Що таке ділянка електричного кола, яка складається з послідовного з'єднаних елементів кола, що включені між двома вузлами?

- 1 вітка
- 2 розгалуження
- 3 контур
- 4 вузол

5. Оберіть вірний математичний запис другого закону Кірхгофа.

1 $I_1 - I_2 - I_3 = 0$	3 $\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{k=1}^m U_k$
2 $g_{\Sigma} = g_1 + g_2 + g_i$	4 $R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + R_i$

6. Яка фізична величина характеризує здатність елемента кола проводити електричний струм?

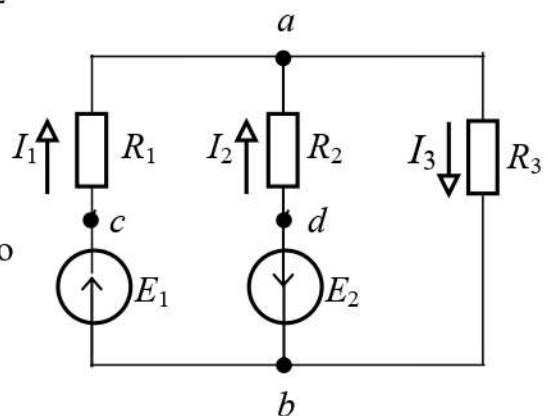
- 1 напруга
- 2 провідність
- 3 опір
- 4 потужність

7. Оберіть вірний математичний запис першого закону Кірхгофа.

1 $g_{\Sigma} = g_1 + g_2 + g_i$	3 $R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + R_i$
2 $\sum_{i=1}^n I_i = 0$	4 $U = U_1 + U_2$

8. Яке електричне коло наведено на рисунку?

- 1 лінійне розгалужене коло постійного струму
- 2 лінійне нерозгалужене коло постійного струму
- 3 однофазне коло синусоїдного струму
- 4 трифазне коло змінного струму



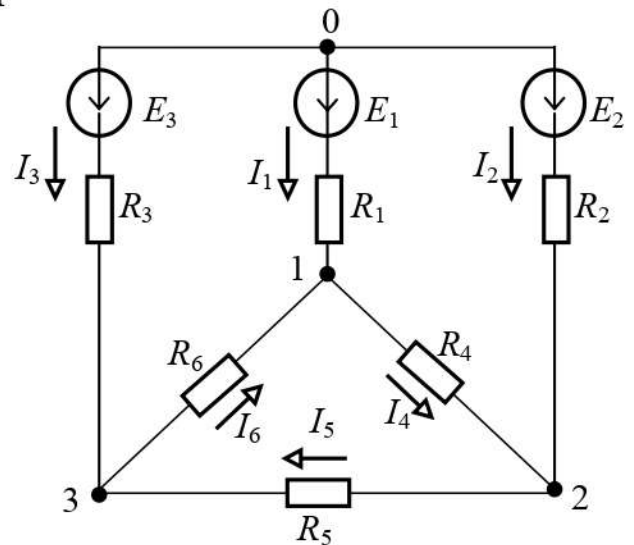
9. Чи вірне твердження?

Закони Кірхгофа призначені для аналізу та розрахунку розгалужених електричних кіл.

- 1 верне
- 2 не вірне

10. Для наведеної розрахункової схеми розгалуженого електричного кола складіть логічні пари: «вузол – 1 закон Кірхгофа»

- | | |
|------------|--------------------------|
| 1. вузол 1 | 4. $I_2 + I_4 - I_5 = 0$ |
| 2. вузол 2 | 5. $I_1 + I_6 - I_4 = 0$ |
| 3. вузол 3 | 6. $I_3 + I_5 - I_6 = 0$ |



11. Для наведеної розрахункової схеми розгалуженого електричного кола (див. рисунок для питання 10) складіть логічні пари: «контур – 2 закон Кірхгофа»

- | | |
|-------------------|--|
| 1. контур 0–1–3–0 | 4. $R_4 \cdot I_4 + R_5 \cdot I_5 + R_6 \cdot I_6 = 0$ |
| 2. контур 0–1–2–0 | 5. $R_1 \cdot I_1 - R_6 \cdot I_6 - R_3 \cdot I_3 = E_1 - E_3$ |
| 3. контур 1–2–3–1 | 6. $R_2 \cdot I_2 - R_4 \cdot I_4 - R_1 \cdot I_1 = E_2 - E_1$ |

12. Освітлювальна установка, опором 6 Ом, підключена до електричного кола паралельно з нагрівальною установкою, опір якої 4 Ом. Необхідно визначити еквівалентний опір кола.

- | | |
|---------|----------|
| 1 12 Ом | 3 2,4 Ом |
| 2 4 Ом | 4 6 Ом |

Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 2

Умова: Два реальних машинних генератори підключені до мережі на паралельну роботу. Технічна характеристика першого генератора: електрорушійна сила, що розвивається, E_1 , В, внутрішній опір R_{B1} , Ом. Технічна характеристика другого генератора: електрорушійна сила, що розвивається, E_2 , В, внутрішній опір R_{B2} , Ом. Лінія електропередачі має опір $R_{ЛЛ}$, Ом. Наприкінці лінії електропередачі підключене навантаження, опір якого $R_{навл}$, Ом. Далі підклю-

чена наступна лінія електропередачі, опір якої $R_{Л2}$, Ом. Наприкінці другої лінії електропередачі підключене навантаження, опір якого $R_{нав2}$, Ом.

Завдання:

1.Скласти розрахункову схему електричного кола, прийнявши наступні допущення: опори прямого і зворотного проводів лінії електропередачі зосередити в одному місці; опорами проводів, які з'єднують елементи кола, знехтувати;

2.Виконати розрахунок електричного кола за таким алгоритмом:

- визначити еквівалентний опір кола, R_E ;
- скласти рівняння за першим і другим законами Кірхгофа для розрахунку сил електричних струмів еквівалентної схеми і розрахувати їх;
- визначити напругу на затискачах генератора;
- визначити силу електричного струму в першій лінії електропередачі;
- визначити напругу на затискачах першого навантаження;
- визначити силу електричного струму в другій лінії електропередачі;
- визначити напругу на затискачах другого навантаження;
- визначити сумарну потужність, яка розвивається генераторами;
- визначити сумарні втрати потужності в лініях електропередачі;
- визначити потужності, які споживає кожне навантаження;
- визначити коефіцієнт корисної дії першої лінії електропередачі;
- визначити коефіцієнт корисної дії другої лінії електропередачі;
- визначити коефіцієнт корисної дії першого генератора;
- визначити коефіцієнт корисної дії другого генератора.

Варіанти вихідних даних до виконання задачі наведені в таблиці.

Таблиця - Варіанти вихідних даних до виконання задачі

для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 2

Варіант	Вихідні дані							
	$E_1,$ B	$R_{B1},$ OM	$E_2,$ B	$R_{B2},$ OM	$R_{Л1},$ OM	$R_{Л2},$ OM	$R_{нав1},$ OM	$R_{нав2},$ OM
1	60	1	80	1	1	1,5	2	0,5
2	60	1	80	1	0,5	2	3	1
3	120	1	160	1	1	1,5	2	0,5
4	120	1	160	2	0,5	2	3	1
5	180	1	189	1	1	0,5	5	7
6	180	1	189	1	1	1	6	5
7	110	1	120	2	1,25	1	6	9
8	110	1	120	2	2,5	1,5	5	3,5
9	110	1	120	1	0,5	2	3	1
10	90	1,5	120	1,5	1,5	1	3	2

Лабораторна робота 3

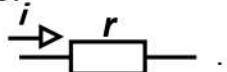
ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРОЗГАЛУЖЕНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ЗМІННОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ З РЕЗИСТОРОМ

Мета роботи:

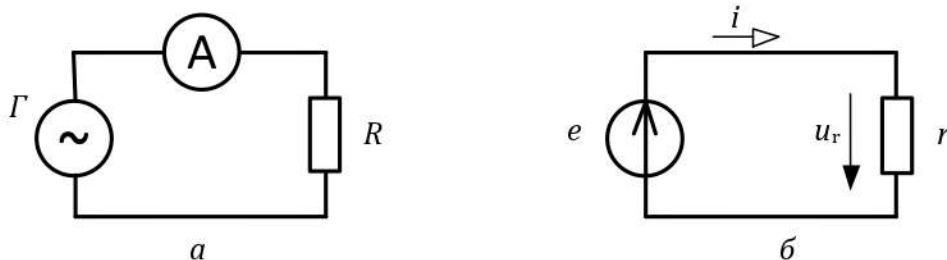
Придбання практичних навичок при вимірюванні електричних величин: сили струму, напруги та активної потужності в нерозгалуженому електричному колі змінного синусоїдного струму та навичок при розрахунку величин, що характеризують коло з резистором.

2 Основні теоретичні положення

При проходженні по провіднику змінного синусоїдного струму активний опір провідника залежить від частоти струму. При цьому, в результаті витиснення струму на поверхню провідника переріз провідника як би зменшується, що приводить до збільшення його опору в порівнянні з постійним струмом. Процес витиснення струму на поверхню провідника виникає внаслідок явища електромагнітної індукції та має назву *поверхневий ефект*. Змінне магнітне поле навколо провідника, створене змінним струмом у провіднику, наводить е.р.с. самоіндукції. Якщо уявити провідник у вигляді безлічі паралельних ниток, по яких проходять свої струми, то найбільша кількість магнітних силових ліній буде зчеплено з центральними нитками і там буде наводитися найбільша е.р.с., яка перешкоджає струму і витісняє його на поверхню.

На розрахункових схемах активний опір зображується так .

На рисунку 1.а, наведене електричне коло синусоїдного струму, яке складається з генератора синусоїдного струму G та ідеального резистора R . На рисунку 1.б, наведена схема електрична розрахункова електричного кола синусоїдного струму з резистором. Генератор не має активного опору й індуктивності, тому то є *ідеальним*, опором амперметра і з'єднувальних проводів можна знехтувати. У генераторі індукується е.р.с., як, наслідок, у колі протікає струм, а в резисторі спостерігається теплова дія струму.



a – схема електрична принципова; *б* – схема електрична розрахункова

Рисунок 1 – Електричне коло синусоїдного струму з резистором

Елемент *r* на рисунку має назву **активний опір**. Закон Ома для миттєвих значень описується виразом

$$u_r = r \cdot i. \quad (1)$$

Так як напруга, яка прикладена до резистора, синусоїдна, струм теж є синусоїдним, тоді

$$u_r = U_{rm} \sin(\omega t + \psi_u); \quad (2)$$

$$i = \frac{U_{rm}}{r} \sin(\omega t + \psi_i); \quad (3)$$

$$I_m = \frac{U_{rm}}{r}. \quad (4)$$

При діленні правої і лівої частини виразу (4) на $\sqrt{2}$ запис закону Ома для діючих значень напруг та струмів резистора має вигляд

$$I = \frac{U_r}{r}. \quad (5)$$

На рисунку 2 графічно представлені напруга та струм у колі з резистором.

Кут зсуву фаз – це абсолютне значення різниці початкових фаз напруги і струму згідно виразу

$$\varphi = |\psi_u - \psi_i|, \quad (6)$$

де φ – кут зсуву фаз, град.;

ψ_u – початкова фаза напруги, град.;

ψ_i – початкова фаза струму, град.

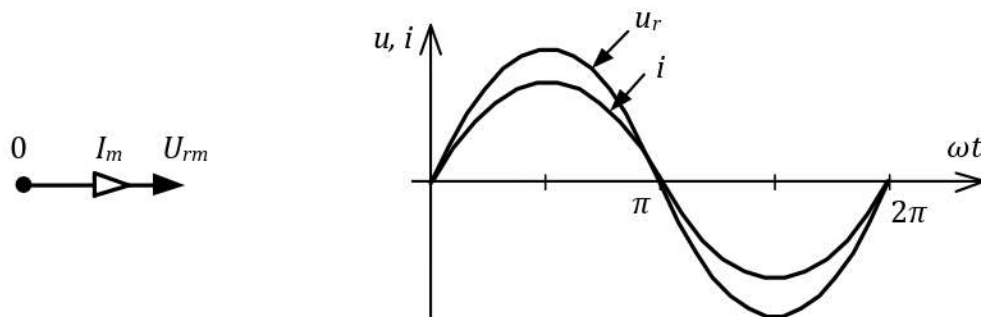


Рисунок 2 – Електричний струм і напруга у колі з резистором

Слід зазначити, що для електричного кола з активним опором кут зсуву фаз дорівнює нулю: $\varphi = 0$, тобто *напруга і струм на ділянці кола з активним опором співпадають за фазою.*

Активна потужність у колі з резистором – це середнє значення потужності за період, яке дорівнює

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T r i^2 dt; \quad (5)$$

$$P = r \cdot I^2. \quad (6)$$

Енергія, що виділяється в резисторі за період, дорівнює

$$W = \int_0^T p dt = P \cdot t = r \cdot I^2 \cdot t, \quad (7)$$

де t – час роботи установки, s .

Таким чином, активна потужність – це енергія, яка виділяється в активному опорі за одиницю часу.

2 Завдання для домашньої підготовки

2.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 2 [1, с.36-54, 2, с.128-214, 3, с.30-45, 5, с.35-41, 7, с.55-65];

2.2 Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в методичних вказівках на с. 44-46. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи в таблиці 1.

2.3 Виконати задачу для самостійного опрацювання, яка наведена в методичних вказівках на с. 47. Вибір варіанту задачі здійснити за останньою цифрою залікової книжки студента.

3 Порядок виконання роботи

3.1 Візуально ознайомитися з електровимірювальними приладами та обладнанням, що використовуються в роботі.

3.2 Зібрати схему електричну принципову експериментальної установки для дослідження нерозгалуженого електричного кола змінного синусоїдного струму з резистором – рисунок 1.

3.3 Здійснити вимірювання електричних величин – сили струму, напруги та активної потужності за показаннями приладів в електричному колі змінного синусоїдного струму з резистором.

3.4 Результати вимірювань навести в таблиці 2.

3.5 Розрахувати величини, що характеризують електричне коло змінного синусоїдного струму з резистором. Результати навести в таблиці 3.

3.6 Побудувати векторну діаграму струму та напруги кола за умовою, що $\psi_u = 0$ - рисунок 2.

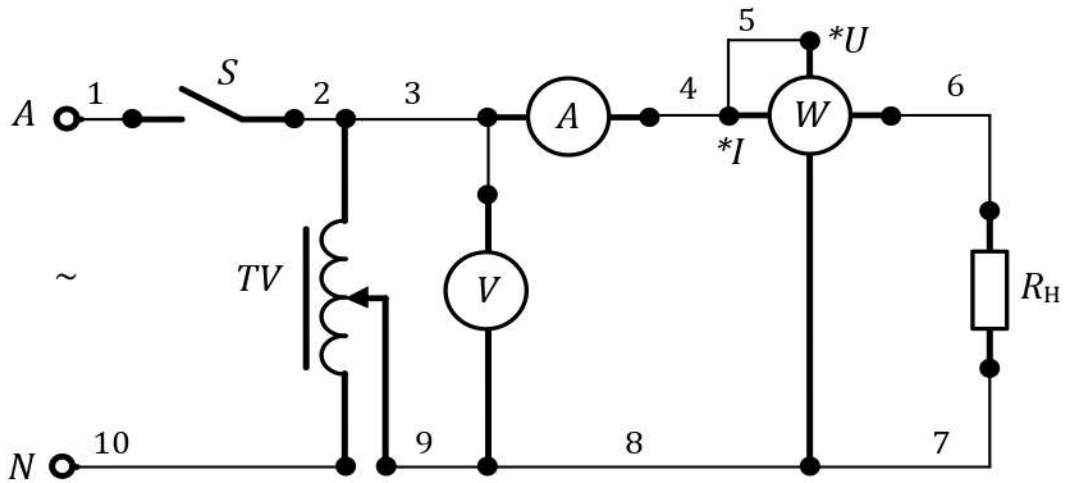
3.7 За результатами роботи зробити висновок щодо отриманих результатів дослідження нерозгалуженого електричного кола змінного синусоїдного струму з резистором.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		6		11	
2		7		12	
3		8		13	
4		9			
5		10			



TV – лабораторний автотрансформатор; *V* – вольтметр; *A* – амперметр;
W – ватметр; *R_H* – резистор навантаження; *S* – вимикач

3. Рисунок 1 – Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження нерозгалуженого електричного кола змінного синусоїдного струму з резистором

4. Таблиця 2 – Результати вимірювань

Показання приладів		
амперметр, I, A	вольтметр, U, B	ватметр, $P, Вт$

5. Таблиця 3 – Величини, що характеризують електричне коло змінного синусоїдного струму з резистором

Найменування величини	Літерне позначення, одиниця вимірювання величини	Розрахункова формула	Значення
Активний опір резистора	$R, Ом$	$R = \frac{P}{I^2}$	$R =$
Напруга на резисторі	U_r, B	$U_r = r \cdot I$	$U_r =$
Фазовий кут	$\varphi, град$	$\varphi = \psi_{u_r} - \psi_i$	$\varphi =$

Масштаб діаграми:

$$m_U = \quad B/cm;$$

$$m_I = \quad A/cm.$$

6. Рисунок 2 – Векторна діаграма струму та напруги кола

7. Висновок щодо отриманих результатів дослідження нерозгалуженого електричного кола змінного синусоїдного струму з резистором.

Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте фізичні явища, які спостерігаються в резисторі в колі змінного синусоїдного струму.
2. Складіть розрахункову схему кола з ідеальним генератором і резистором.
3. Запишіть математичний зв'язок між величинами миттєвої напруги, миттєвого струму і активного опору.
4. Сформулюйте і математично запишіть закон Ома для максимальних і діючих значень напруги і струму на ділянці кола з резистором.
5. Чому дорівнює величина миттєвої напруги на активному опорі, якщо початкова фаза дорівнює нулю?

6. Запишіть математичний вираз миттєвого струму в колі з резистором для зазначеної вище напруги.

7. Побудуйте графічно оригінали миттєвої напруги і миттєвого струму на ділянці кола з резистором. Зобразіть напругу і струм за допомогою векторів.

8. Що таке кут зсуву фаз? Чому він дорівнює на ділянці кола з резистором?

Тестові контрольні завдання

для самоаналізу до лабораторної роботи 3

1. Що таке період синусоїдного струму?

1 коефіцієнт пропорційності, який дорівнює відношенню заряду конденсатора до величини прикладеної до нього напруги

2 коефіцієнт пропорційності, що вказує який потік магнітного поля створить котушка при протіканні через неї струму силою 1 А

3 величина еквівалентного постійного струму, при якому за період виділиться така ж кількість тепла в тому ж провіднику, що й при протіканні змінного синусоїдного струму

4 найменший проміжок часу за який рамка генератора виконує одне повне обертання

2. Що таке частота синусоїдного струму?

1 найменший проміжок часу за який рамка генератора виконує одне повне обертання

2 величина, яка зворотна періоду

3 коефіцієнт пропорційності, який дорівнює відношенню заряду конденсатора до величини прикладеної до нього напруги

4 коефіцієнт пропорційності, що вказує який потік магнітного поля створить котушка при протіканні через неї струму силою 1 А

3. В однофазному електричному колі протікає струм $i = 14,1 \sin(\omega t - 30^\circ), A$.

Визначте діюче значення сили струму, А.

1 10 А 3 12 А

2 15 А 4 11 А

4. В однофазному електричному колі протікає струм $i = 28,2 \sin(\omega t + 60^\circ), A$.

Назвіть початкову фазу сили струму.

- 1 45° 3 60°
 2 30° 4 10°

5. Складіть логічні пари.

Якими буквами позначаються наступні фізичні величини?

- | | |
|---------------|-----|
| 1 сила струму | 5 U |
| 2 напруга | 6 R |
| 3 опір | 7 P |
| 4 потужність | 8 I |

6. Складіть логічні пари.

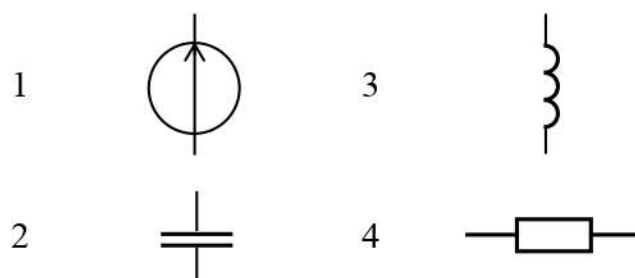
Якими буквами позначаються одиниці вимірювань фізичних величин?

- | | |
|------------------------|-------|
| 1 сила струму | 6 Вт |
| 2 напруга | 7 А |
| 3 опір | 8 ВАр |
| 4 активна потужність | 9 Ом |
| 5 реактивна потужність | 10 В |

7. Доповніть вислів. На ділянці кола з активним резистором струм ...

- 1 співпадає за фазою з напругою
- 2 струм відстає від напруги за фазою на кут 90°
- 3 струм випереджає напругу за фазою на кут 90°
- 4 дорівнює нулю

8. Як на розрахункових схемах графічно зображується активний резистор?



9. Як аналітично визначається кут зсуву фаз для ділянки кола з активним резистором?

- | | |
|--|---|
| 1 $\varphi = \psi_{u_L} - \psi_i = 0 - (-90^\circ) = 90^\circ$ | 3 $\varphi = \psi_{u_r} - \psi_i = 0^\circ$ |
| 2 $\varphi = \psi_{u_C} - \psi_i = 0 - 90^\circ = 90^\circ$ | 4 $\varphi = 45^\circ$ |

10. До однофазного змінного кола підключений резистор ($r = 5 \text{ Ом}$) на напругу $u = 141\sin(\omega t - 60^\circ), \text{В}$.

Визначте діюче значення напруги, В .

- 1 5
- 2 30
- 3 141
- 4 100

11. До однофазного змінного кола підключений резистор ($r = 10 \text{ Ом}$) на напругу $u = 282\sin(\omega t + 75^\circ), \text{В}$.

Визначте діюче значення струму, А .

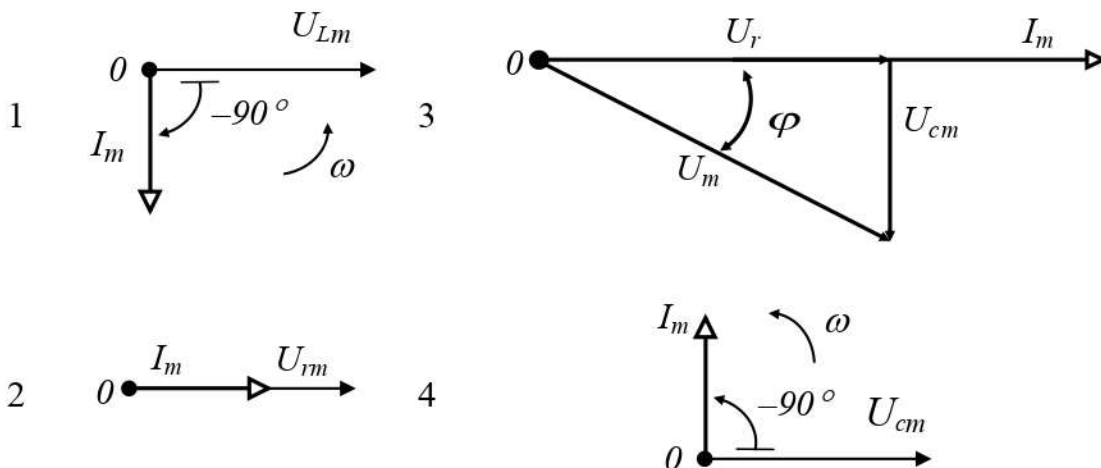
- 1 20
- 2 10
- 3 5
- 4 15

12. До однофазного змінного кола підключений резистор ($r = 20 \text{ Ом}$) на напругу $u = 282\sin(\omega t + 75^\circ), \text{В}$.

Визначте величину діючої активної потужності кола, Вт .

- 1 282
- 2 2000
- 3 20
- 4 200

13. З наведених векторних діаграм оберіть вірну, яка характеризує коло змінного синусоїдного кола з резистором.



Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 3

Варіанти вихідних даних до виконання задачі наведені в таблиці.

Таблиця - Варіанти вихідних даних до виконання задачі для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 3

Варіант	Вихідні дані	Завдання
1	$u_r = 141 \sin(\omega t - 30^\circ), B;$ $r = 10 \text{ Ом}$	1. Визначити діюче значення напруги. 2. Визначити діюче значення струму. 3. Визначити активну потужність, яка споживається резистором. 4. Визначити початкову фазу струму. 5. Визначити амплітудне значення сили струму. 6. Записати вираз миттєвого струму. 7. Зобразити графічно діючі напругу та струм у векторній формі.
2	$u_r = 282 \sin(\omega t + 60^\circ), B;$ $r = 5 \text{ Ом}$	
3	$u_r = 70,5 \sin(\omega t - 45^\circ), B;$ $r = 2 \text{ Ом}$	
4	$u_r = 134 \sin(\omega t + 15^\circ), B;$ $r = 7 \text{ Ом}$	
5	$u_r = 211,5 \sin(\omega t - 70^\circ), B;$ $r = 10 \text{ Ом}$	
6	$i = 70,7 \sin(\omega t + 25^\circ), A;$ $r = 5 \text{ Ом}$	1. Визначити діюче значення струму. 2. Визначити діюче значення напруги. 3. Визначити активну потужність, яка споживається резистором. 4. Визначити початкову фазу напруги. 5. Визначити амплітудне значення напруги. 6. Записати вираз миттєвої напруги. 7. Зобразити графічно діючі напругу та струм у векторній формі.
7	$i = 35,3 \sin(\omega t - 45^\circ), A;$ $r = 25 \text{ Ом}$	
8	$i = 14,1 \sin(\omega t + 55^\circ), A;$ $r = 2 \text{ Ом}$	
9	$i = 7,05 \sin(\omega t - 105^\circ), A;$ $r = 1 \text{ Ом}$	
10	$i = 3,5 \sin(\omega t + 45^\circ), A;$ $r = 5 \text{ Ом}$	

Лабораторна робота 4

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРОЗГАЛУЖЕНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ЗМІННОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ З РЕАЛЬНОЮ КОТУШКОЮ ТА З РЕЗИСТОРОМ І КОНДЕНСАТОРОМ

Мета роботи:

Придбання практичних навичок при вимірюванні електричних величин: сили струму, напруги та активної потужності в нерозгалужених електричних колах змінного синусоїдного струму та навичок при визначенні величин, що характеризують кола з реальною котушкою індуктивності та з реальним конденсатором.

1 Основні теоретичні положення

При підключенні котушки індуктивності у коло змінного синусоїдного струму спостерігаються такі фізичні явища і процеси:

- під дією синусоїдної е.р.с. джерела в котушці протікає струм i ;
- спостерігається теплова дія струму і котушка нагрівається;
- змінний синусоїдний струм створює змінне магнітне поле, яке пронизує цю ж котушку, спостерігається явище електромагнітної індукції (самоіндукції) і в котушці наводиться е.р.с. самоіндукції e_L .

Розрахункова схема кола реальної котушки наведена на рисунку 1.

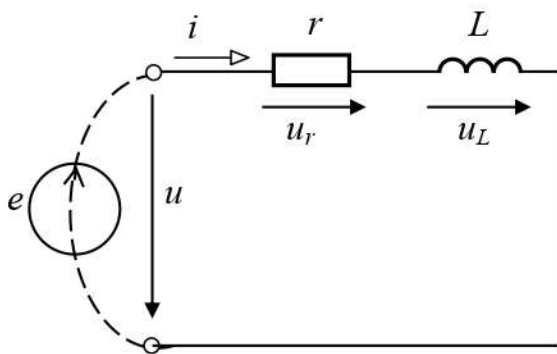


Рисунок 1 - Розрахункова схема кола реальної котушки

Рівняння електричної рівноваги для цього кола має вигляд

$$u = u_r + u_L; \quad (1)$$

$$u = r \cdot i + L \frac{di}{dt}. \quad (2)$$

Струм у колі дорівнює

$$i = I_m \sin \omega t. \quad (3)$$

Напруга u визначається за виразом з урахуванням виразів (1)...(3) і дорівнює

$$u = r \cdot I_m \sin \omega t + L \frac{d}{dt} I_m \sin \omega t = r \cdot I_m \sin \omega t + \omega \cdot L \cdot I_m \sin(\omega t + 90^\circ); \quad (4)$$

$$U_{rm} = r \cdot I_m; \quad (5)$$

$$U_{Lm} = \omega \cdot L \cdot I_m = x_L \cdot I_m; \quad (6)$$

$$u = U_{rm} \sin \omega t + U_{Lm} \sin(\omega t + 90^\circ) = U_m \sin(\omega t + \psi_u). \quad (7)$$

На рисунку 2 наведена векторна діаграма струму і напруги кола з реальною котушкою.

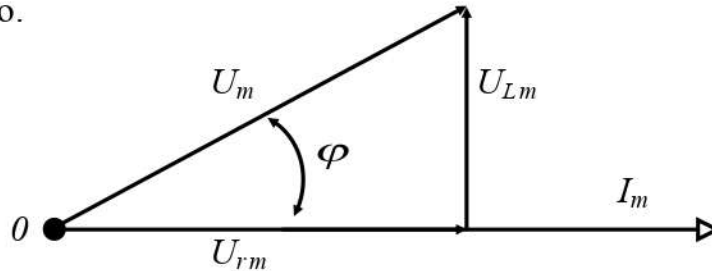


Рисунок 2 - Векторна діаграма струму і напруги кола з реальною котушкою

Так як $\psi_u = \psi_i + \varphi$, отже, миттєва напруга кола буде дорівнювати

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_i + \varphi), \quad (8)$$

як видно з рисунку 2 $\psi_i = 0$, тому то $\psi_u = \varphi$.

Якщо з діаграми струму та напруг (див. рисунок 2) виділити діаграму напруг, то отримаємо трикутник напруг – рисунок 3.

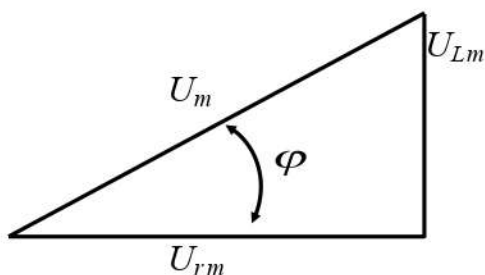


Рисунок 3 – Трикутник напруг

Сторони трикутника дорівнюють

$$U_{rm} = r \cdot I_m; \quad (9)$$

$$U_{Lm} = \omega \cdot L \cdot I_m = x_L \cdot I_m; \quad (10)$$

$$U_m = z \cdot I_m, \quad (11)$$

де r – активний опір котушки, Ом;

x – реактивний опір котушки, Ом;

z – повний опір котушки, Ом.

Якщо поділити сторони трикутника напруг на I_m , то виникає трикутник опорів, який наведений на рисунку 4.

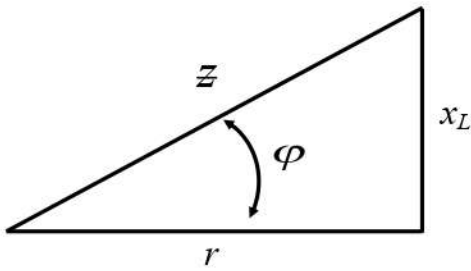


Рисунок 4 – Трикутник опорів

Повний опір кола котушки змінному струму дорівнює

$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2}. \quad (12)$$

Кут зсуву фаз у котушці визначається через параметри котушки (r, x, z) за виразом

$$\varphi = \arccos \frac{r}{z}. \quad (13)$$

Якщо помножити сторони трикутника опорів на квадрат діючого значення струму, то виникає трикутник потужностей, який наведений на рисунку 5.

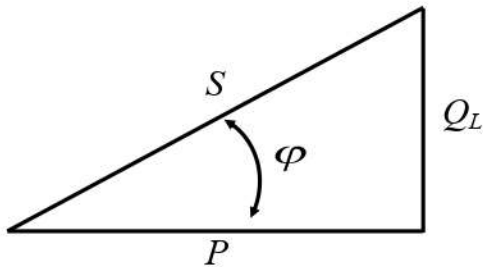


Рисунок 5 – Трикутник потужностей

Сторони такого трикутника – це величини потужності, які визначаються за виразами

$$\text{активна } P = r \cdot I^2, \text{ Вт}; \quad (14)$$

$$\text{реактивна } Q_L = x_L \cdot I^2, \text{ вар}; \quad (15)$$

$$\text{повну } S = z \cdot I^2, \text{ ва}. \quad (16)$$

Коефіцієнт потужності кола, $\cos \varphi$ – це відношення активної потужності до повної.

При підключенні до кола змінного синусоїдного струму послідовно резистора і конденсатора спостерігаються такі фізичні явища і процеси:

- під дією синусоїдної е.р.с. джерела в колі протікає струм i ;
- спостерігається теплова дія струму і резистор нагрівається;
- змінна синусоїдна напруга призводить до постійного перезарядження конденсатора – в колі протікає струм заряду або розряду конденсатора i .

На рисунку 6 наведена розрахункова схема електричного кола з послідовно з'єднаними резистором і конденсатором.

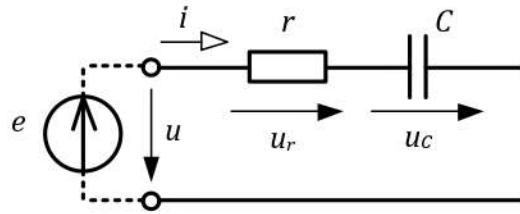


Рисунок 6 – Розрахункова схема електричного кола з послідовно з'єднаними резистором і конденсатором

Згідно другого закону Кірхгофа для схеми (див. рис.6), при обході за годинниковою стрілкою для миттєвих значень напруг отримано, що

$$u = u_r + u_c; \quad (17)$$

$$U_{rm} = r \cdot I_m; \quad (18)$$

$$U_{cm} = \frac{1}{\omega \cdot C} \cdot I_m = X_C \cdot I_m; \quad (19)$$

$$u = U_{rm} \sin \omega t + U_{cm} \sin(\omega t - 90^\circ) = U_m \sin(\omega t + \psi_u). \quad (20)$$

На рисунку 7 наведена векторна діаграма струму і напруги електричного кола з резистором та з конденсатором.

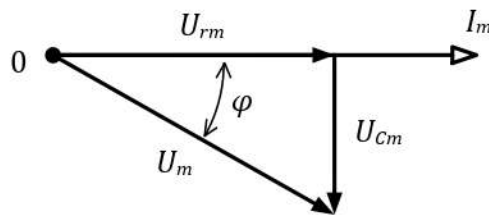


Рисунок 7 – Векторна діаграма струмів і напруг електричного кола з резистором і конденсатором

Так як $\psi_u = \psi_i - \varphi$, отже, миттєва напруга на затискачах кола дорівнює

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_i - \varphi). \quad (21)$$

На рисунку 8 наведений трикутник напруг електричного кола з резистором і конденсатором.

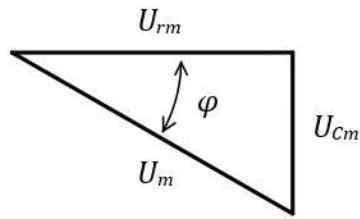


Рисунок 8 – Трикутник напруг електричного кола з резистором і конденсатором

Сторони трикутника напруг дорівнюють

$$U_{rm} = r \cdot I_m; \quad (22)$$

$$U_{cm} = \frac{1}{\omega C} \cdot I_m = X_C \cdot I_m; \quad (23)$$

$$U_m = z \cdot I_m; \quad (24)$$

де r – активний опір кола, Ом;

x_L – реактивний опір кола, Ом;

z – повний опір кола, Ом.

На рисунку 9 наведений трикутник опорів електричного кола з резистором і конденсатором.

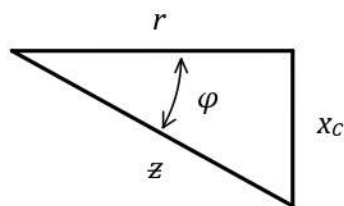


Рисунок 9 – Трикутник опорів електричного кола з резистором і конденсатором

Повний опір кола з резистором та конденсатором дорівнює

$$z = \sqrt{r^2 + X_C^2}. \quad (25)$$

Кут зсуву фаз такого кола дорівнює

$$\varphi = \arccos \frac{r}{z}. \quad (26)$$

На рисунку 10 наведений трикутник потужностей електричного кола з резистором і конденсатором.

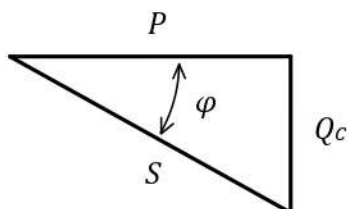


Рисунок 10 – Трикутник потужностей електричного кола з резистором і конденсатором

Сторони трикутника такого трикутника – це потужності, які визначаються за виразами:

активна: $P = r \cdot I^2;$ Вт; (27)

реактивна: $Q_c = X_c \cdot I^2;$ Вар; (28)

повна: $S = z \cdot I^2;$ ва. (29)

Коефіцієнт потужності кола чисельно дорівнює косинусу кута зсуву фаз, тобто

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (30)$$

2 Завдання для домашньої підготовки

2.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 2 [1, с.36-54, 2, с.128-214, 3, с.30-45, 5, с.35-41, 7, с. 75-79, 80-84].

2.2 Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в методичних вказівках на с. 59-61. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи в таблиці 1.

2.3 Виконати задачу для самостійного опрацювання, яка наведена в методичних вказівках на с. 61-62. Вибір варіанту задачі здійснити за останньою цифрою залікової книжки студента.

3 Порядок виконання роботи

3.1 Візуально ознайомитися з електровимірювальними приладами та обладнанням, що використовуються в роботі згідно схем електричних принципових експериментальних установок.

3.2 Зібрати схему електричну принципову експериментальної установки для дослідження нерозгалуженого електричного кола змінного синусоїдного струму з реальною котушкою індуктивності – рисунок 1.

3.3 Здійснити вимірювання електричних величин: сили струму, напруги та напруги за показаннями приладів в електричному колі змінного синусоїдного струму з реальною котушкою індуктивності .

3.4 Результати вимірювань навести в таблиці 2.

3.5 Визначити за результатами вимірювань розрахунковим методом величини: $z, r, x_L, U_r, U_L, Q_L, S, \cos \varphi$.

3.6 Результати розрахунків навести в таблиці 3.

3.7 Побудувати векторну діаграму струму та напруг кола за умовою, що $\psi_i = 0$ - рисунок 2.

3.8 Зібрати схему електричну принципову експериментальної установки для дослідження нерозгалуженого електричного кола змінного синусоїдного струму з послідовно з'єднаними резистором та конденсатором – рисунок 3.

3.9 Здійснити вимірювання електричних величин – сили струму, напруги та активної потужності за показаннями приладів в електричному колі синусоїдного струму з послідовно з'єднаними резистором та конденсатором.

3.10 Результати вимірювань навести в таблиці 4.

3.11 Визначити за результатами вимірювань розрахунковим методом величини: $z, r, x_C, U_r, U_C, Q_C, S, \cos \varphi$.

3.12 Результати розрахунків навести в таблиці 5.

3.13 Побудувати векторну діаграму струму та напруг кола за умовою, що $\psi_i = 0$ - рисунок 3.

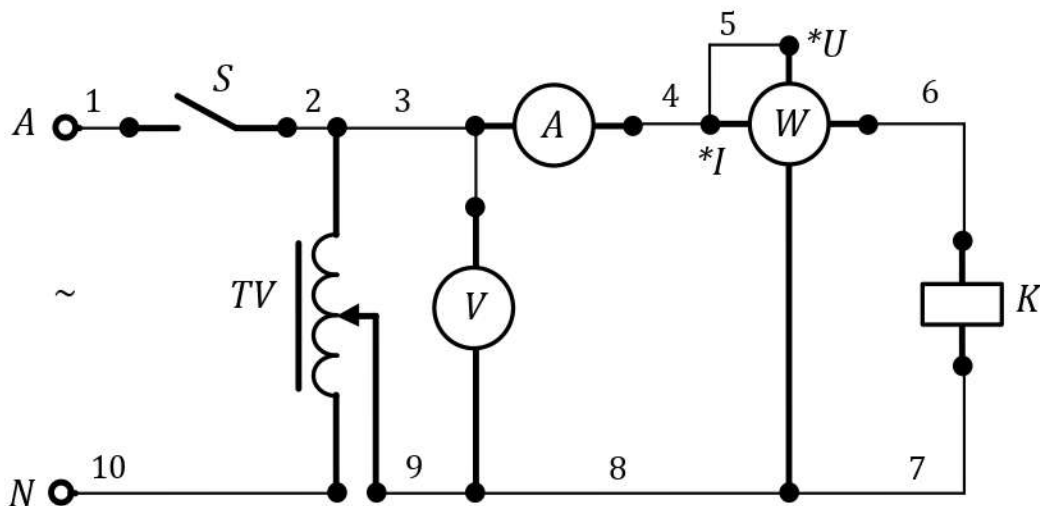
3.14 За результатами роботи зробити висновок щодо отриманих результатів дослідження нерозгалужених електричних кіл синусоїдного струму.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	



TV – лабораторний автотрансформатор; *V* – вольтметр; *A* – амперметр;

K – котушка індуктивності; *W* – ватметр; *S* – вимикач

3. Рисунок 1 – Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження нерозгалуженого електричного кола змінного синусоїдного струму з реальною котушкою індуктивності

4. Таблиця 2 – Результати вимірювань

Показання приладів		
амперметр, I, A	вольтметр, U, B	ватметр, $P, Вт$

5. Таблиця 3 – Величини, що характеризують електричне коло синусоїдного струму з реальною котушкою індуктивності

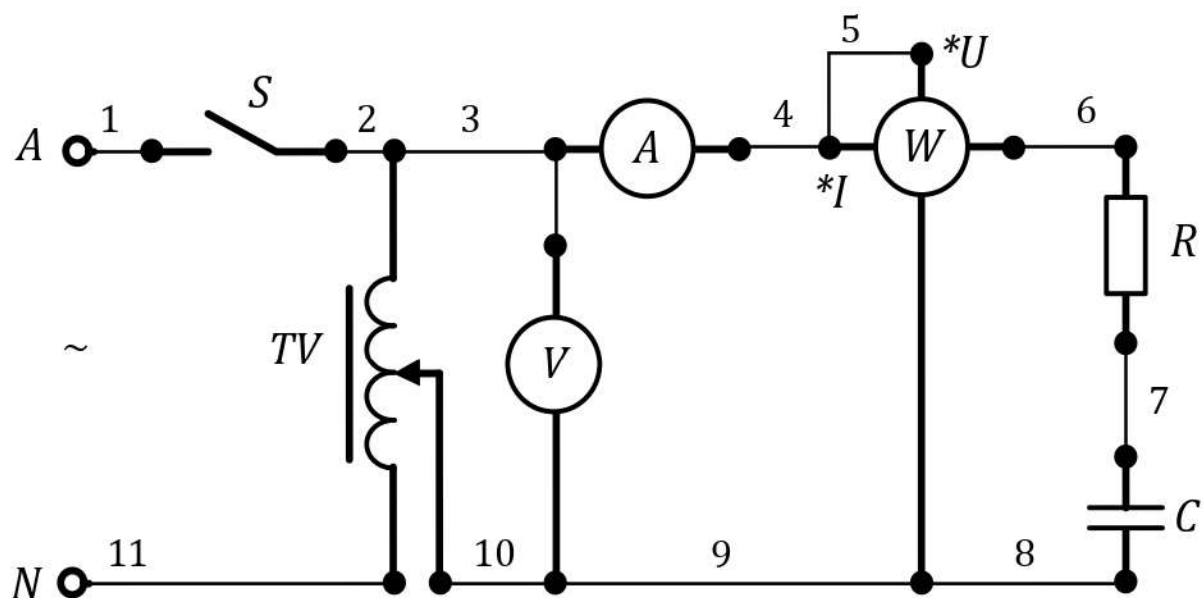
Найменування величини	Літерне позначення, одиниця вимірювання величини	Розрахункова формула	Значення
Активний опір кола	$R, Ом$	$R = \frac{P}{I^2}$	$R =$
Повний опір кола	$z, Ом$	$z = \frac{U}{I}$	$z =$
Індуктивний опір кола	$x_L, Ом$	$x_L = \sqrt{z^2 - r^2}$	$x_L =$
Напруга на активному резисторі	U_r, B	$U_r = r \cdot I$	$U_r =$
Напруга на індуктивності	U_L, B	$U_L = x_L \cdot I$	$U_L =$
Реактивна потужність кола	$Q_L, Вар$	$Q_L = x_L^2 \cdot I$	$Q_L =$
Повна потужність кола	$S, ва$	$S = z \cdot I$	$S =$
Коефіцієнт потужності кола	$\cos \varphi$	$\cos \varphi = \frac{r}{z}$	$\cos \varphi =$

Масштаб діаграми:

$$m_U = \quad B/cm;$$

$$m_I = \quad A/cm.$$

6. Рисунок 2 – Векторна діаграму струму та напруг кола з реальною котушкою індуктивності



TV – лабораторний автотрансформатор; *V* – вольтметр; *A* – амперметр;

R – резистор; *C* – конденсатор; *W* – ватметр; *S* – вимикач

7. Рисунок 3 – Принципова електрична схема експериментальної установки для дослідження нерозгалуженого електричного кола змінного синусоїдного струму з резистором та конденсатором

8. Таблица 4 – Результати вимірювань

Показання приладів		
амперметр, I, A	вольтметр, U, B	ватметр, $P, Вт$

9. Таблиця 5 – Величини, що характеризують електричне коло
 синусоїдного струму з послідовно з'єднаними резистором
 та конденсатором

Найменування величини	Літерне позначення, одиниця вимірювання величини	Розрахункова формула	Значення
Активний опір кола	$R, \text{ Ом}$	$R = \frac{P}{I^2}$	$R =$
Повний опір кола	$z, \text{ Ом}$	$z = \frac{U}{I}$	$z =$
Ємнісний опір кола	$x_C, \text{ Ом}$	$x_C = \sqrt{z^2 - r^2}$	$x_C =$
Напруга на активному резисторі	$U_r, \text{ В}$	$U_r = r \cdot I$	$U_r =$
Напруга на ємності	$U_C, \text{ В}$	$U_C = x_C \cdot I$	$U_C =$
Реактивна потужність кола	$Q_C, \text{ Вар}$	$Q_C = x_C^2 \cdot I$	$Q_C =$
Повна потужність кола	$S, \text{ ва}$	$S = z \cdot I$	$S =$
Коефіцієнт потужності кола	$\cos \varphi$	$\cos \varphi = \frac{r}{z}$	$\cos \varphi =$

Масштаб діаграми: $m_U = \quad \text{В/см};$ $m_I = \quad \text{А/см}.$

10. Рисунок 3 – Векторна діаграма струму та напруг кола з послідовно з'єднаними резистором та конденсатором

11. Висновок щодо отриманих результатів дослідження нерозгалужених електричних кіл синусоїдного струму.

Контрольні запитання

1. Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в реальній котушці в колі змінного синусоїдного струму.

2. Наведіть векторну діаграму струму і напруг кола (для діючих значень) синусоїдного струму з реальною котушкою індуктивності.

3. Складіть алгоритм розрахунку величин, які характеризують коло змінного синусоїдного струму з реальною котушкою індуктивності.

4. Охарактеризуйте трикутник діючих значень напруг, трикутник опорів та трикутник потужностей кола синусоїдного струму з реальною котушкою індуктивності.

5. Що таке кут зсуву фаз кола з реальною котушкою індуктивності?

6. Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в колі змінного синусоїдного струму з послідовно з'єднаними резистором і конденсатором.

7. Складіть алгоритм розрахунку величин, які характеризують коло змінного синусоїдного струму з послідовно з'єднаними резистором і конденсатором.

8. Наведіть векторну діаграму струму і напруг кола (для діючих значень) синусоїдного струму з послідовно з'єднаними резистором і конденсатором.

9. Охарактеризуйте трикутник діючих значень напруг, трикутник опорів та трикутник потужностей кола синусоїдного струму кола з послідовно з'єднаними резистором і конденсатором.

Тестові контрольні завдання

для самоаналізу до лабораторної роботи 4

1. Як визначається реактивний індуктивний опір котушки?

1 $\frac{1}{\omega \cdot C}$

3 $\frac{U}{I}$

2 $\frac{U}{I}$

4 $\omega \cdot L$

2. Як визначається реактивний ємнісний опір конденсатора?

1	$\sqrt{r^2 + x^2}$	3	$\frac{1}{\omega \cdot C}$
2	$\frac{U}{I}$	4	$\omega \cdot L$

3. Оберіть 3 вірні відповіді.

Які фізичні явища і процеси спостерігаються в реальній котушці індуктивності підключенні до ідеального генератора змінного синусоїдного струму?

- 1 явище електричного струму; явище теплової дії електричного струму; постійна перезарядка конденсатора
- 2 явище електричного струму
- 3 постійна перезарядка конденсатора; явище електромагнітної індукції
- 4 явище електричного струму; явище теплової дії електричного струму; явище електромагнітної індукції

4. Як визначити повний опір кола змінному струму?

1	$\frac{1}{\omega \cdot C}$	3	$\sqrt{r^2 + x^2}$
2	$\omega \cdot L$	4	$\frac{U}{I}$

5. До ідеальної котушки підведена напруга $u = 282 \sin(\omega t + 40^\circ), B$. Активний опір котушки дорівнює 4 Ом , реактивний опір котушки дорівнює 3 Ом .

Визначте діюче значення синусоїдного електричного струму, A .

- | | | | |
|---|--------|---|----------------|
| 1 | $25 A$ | 3 | 5 Ом |
| 2 | $20 A$ | 4 | $15 A$ |

6. До ідеальної котушки підведена напруга $u = 282 \sin(\omega t + 40^\circ), B$. Індуктивний опір котушки дорівнює 40 Ом . Визначте реактивну потужність, var , ідеальної котушки.

- | | | | |
|---|--------|---|------|
| 1 | 1000 | 3 | 40 |
| 2 | 1988 | 4 | 5 |

7. Які фізичні явища і процеси спостерігаються в конденсаторі з резистором, підключених до ідеального генератора змінного синусоїдного струму?

- 1 явище теплової дії електричного струму
- 2 явище електричного струму; явище теплової дії електричного струму; постійна перезарядка конденсатора

- 3 явище електричного струму; явище теплової дії електричного струму;
 явище електромагнітної індукції
 4 явище електромагнітної індукції

8. До реальної котушки підведена напруга $u = 141 \sin(\omega t + 25^\circ), B$. Активний опір котушки дорівнює 4 Ом , реактивний опір котушки дорівнює 3 Ом .
 Визначте повну потужність котушки, $B \cdot A$.

- 1 1410 3 200
 2 2000 4 141

9. Коефіцієнт потужності – це відношення активної та повної потужностей, а також активного опору до повного опору?

- 1 вірно
 2 невірно

10. До ідеального конденсатора підведена напруга $u = 141 \sin(\omega t - 60^\circ), B$. Ємнісний опір конденсатора дорівнює $31,2 \text{ Ом}$. Визначте амплітудне значення синусоїдного електричного струму.

- 1 4,52 A 3 4,0 A
 2 4,5 A 4 141 B

Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 4

Варіанти вихідних даних до виконання задачі наведені в таблиці.

Таблиця - Варіанти вихідних даних до виконання задачі для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 4

Варіант	Вихідні дані	Завдання
1	$u_r = 141 \sin(\omega t - 30^\circ), B$; $r = 10 \text{ Ом}; x_C = 8 \text{ Ом}$	1. Визначити повний опір кола. 2. Визначити кут зсуву фаз кола.
2	$u_r = 282 \sin(\omega t + 60^\circ), B$; $r = 5 \text{ Ом}; L = 12,7 \text{ мГн}$	3. Визначити амплітудне значення струму в колі.
3	$u_r = 70,5 \sin(\omega t - 45^\circ), B$; $r = 2 \text{ Ом}; x_C = 4 \text{ Ом}$	4. Визначити амплітудне значення напруги в колі.
4	$u_r = 134 \sin(\omega t + 15^\circ), B$; $r = 7 \text{ Ом}; L = 7,5 \text{ мГн}$	5. Записати миттєве значення струму (напруги) в колі. 6. Визначити амплітуду напруги на активному опорі.

Продовження таблиці

Варіант	Вихідні дані	Завдання
5	$u_r = 211,5 \sin(\omega t - 70^\circ), B;$ $r = 4 \text{ Ом}; x_C = 5 \text{ Ом}$	7. Записати миттєве значення напруги на активному опорі.
6	$i = 70,7 \sin(\omega t + 25^\circ), A;$ $r = 5 \text{ Ом}; L = 9,5 \text{ мГн}$	8. Визначити амплітудне значення напруги на ємності (індуктивності).
7	$i = 35,3 \sin(\omega t - 45^\circ), A;$ $r = 6 \text{ Ом}; x_C = 7 \text{ Ом}$	9. Записати миттєве значення напруги на ємності (індуктивності).
8	$i = 14,1 \sin(\omega t + 55^\circ), A;$ $r = 2 \text{ Ом}; L = 11,3 \text{ мГн}$	10. Визначити величину активної потужності кола.
9	$i = 7,05 \sin(\omega t - 105^\circ), A;$ $r = 1 \text{ Ом}; x_C = 3 \text{ Ом}$	11. Визначити величину реактивної потужності кола.
10	$i = 3,5 \sin(\omega t + 45^\circ), A;$ $r = 5 \text{ Ом}; L = 16,5 \text{ мГн}$	12. Визначити величину повної потужності кола.
		13. Визначити величину коефіцієнту потужності кола.

Лабораторна робота 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНИХ СИМЕТРИЧНИХ КІЛ ЗМІННОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ ПРИ З'ЄДНАННІ ФАЗ НАВАНТАЖЕННЯ ЗА СХЕМАМИ «ЗІРКА» ТА «ТРИКУТНИК»

Мета роботи:

Придбання практичних навичок при вимірюванні електричних величин: сили струму, напруги в трифазних електричних колах синусоїдного струму при з'єднанні фаз навантаження за схемами «зірка» та «трикутник».

1 Основні теоретичні положення

Трифазна система – це електрична система, в якій діють три синусоїдні е.р.с., які індуковані в одному джерелі електроенергії і мають однакову частоту, але відрізняються одна від одної за фазою на $1/3$ періоду T . Джерелом, що виробляє таку систему е.р.с., є трифазний синхронний генератор, який містить дві основні частини: статор і індуктор (ротор). На статорі розміщуються три самостійні обмотки, які складаються із трьох фаз: це три котушки або фазні обмотки А-х, В-у, С-з, які зсунуті за кутом на 120° одна відносно іншої. Індуктор, який містить осердя і обмотку збудження, обертається з кутовою швидкістю ω . По обмотці збудження пропускають постійний струм і вона створює магнітне поле. Магнітне поле індуктора індукує у фазних обмотках нерухомого статора е.р.с. e_A, e_B, e_C згідно закону електромагнітної індукції. Такі е.р.с. змінюються за синусоїдним законом. Оскільки е.р.с. сягають максимального значення, коли осі обмоток статора і полюсів ротора збігаються, то зсув за фазою між трьома е.р.с. становить 120° . Обмотки генератора мають назву *фаза*, а сам генератор за кількістю фаз називається *трифазним*.

Розрахункова схема фази генератора (наприклад, фази А) має вигляд, зображений на рисунку 1, а. Але частіше її показують так, як зображено на рисунку 1, б. На цих схемах r_A, x_A, z_A – відповідно активний, реактивний і повний опори обмотки.

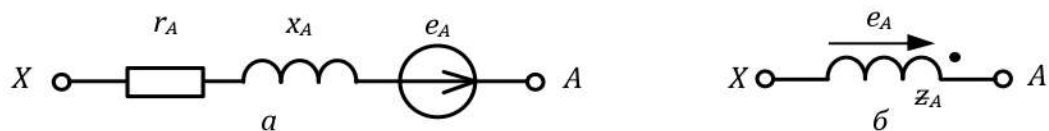


Рисунок 1 – Розрахункова схема фази генератора

Часові функції трифазної системи е.р.с. зображені графічно на рисунку 2.а, а на рисунку 2.б наведена векторна діаграма цієї системи е.р.с.

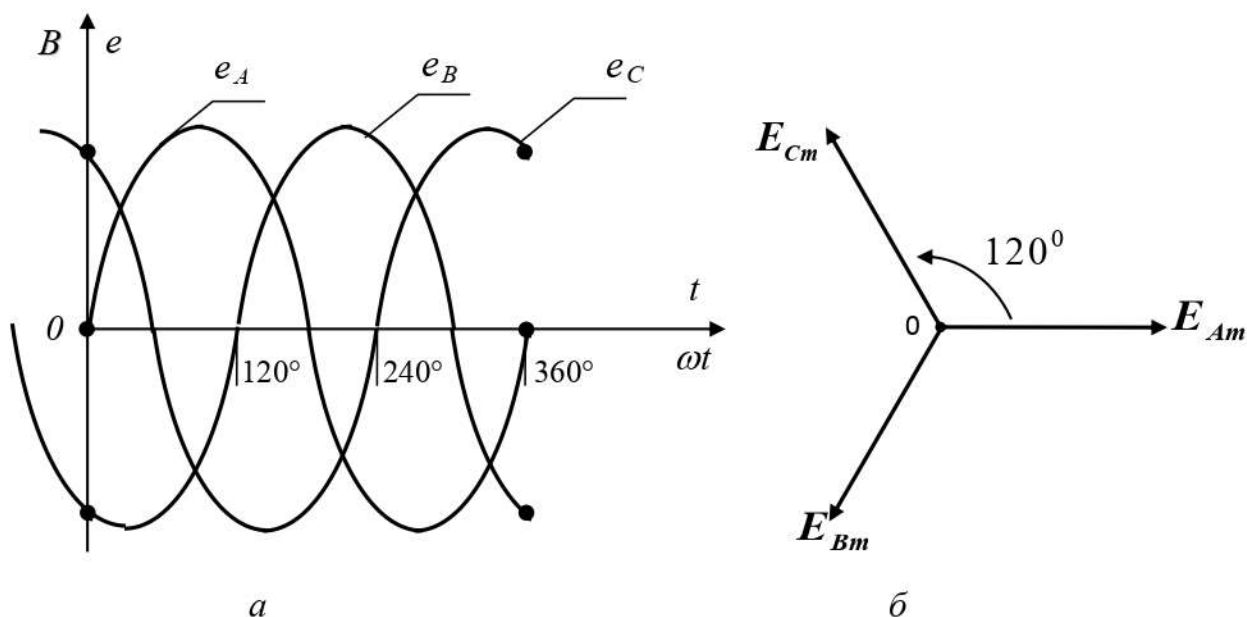


Рисунок 2 – Часові функції (а) та векторна діаграма е.р.с. (б) трифазної системи

Аналітичні вирази, які описують миттєві значення е.р.с. окремих фаз, мають вигляд

$$e_A = E_{Am} \sin \omega t ; \quad (1)$$

$$e_B = E_{Bm} \sin(\omega t - 120^\circ); \quad (2)$$

$$e_C = E_{Cm} \sin(\omega t + 120^\circ). \quad (3)$$

Трифазна система змінного струму – це основа всіх електроенергетичних систем, тобто практично вся електроенергія країни виробляється на електростанціях трифазними синхронними генераторами, передається на відстань по трифазним лініям електропередачі та перетворюється трифазними трансформаторами. Електричні мережі побутового та виробничого призначення можуть

бути однофазними, але практично вони є тільки частиною трифазної системи. Приймачі електроенергії можуть бути одно- і трифазними. Основним трифазним приймачем електроенергії є трифазний асинхронний електродвигун.

Три фази обмотки статора генератора або три фази навантаження можуть бути з'єднані двома основними способами: «зірка» та «трикутник».

Розглянемо ці варіанти з'єднання фаз генератора. **Схема з'єднання «зірка»** - така схема, в якій кінці фаз x, y, z з'єднуються в один вузол N - нейтральну точку. З початків фаз A, B, C виходять проводи, які мають назву **лінійні**, а провід, який виходить з вузла N – це **нейтральний провід**. На рисунку 3 наведена схема з'єднання «зірка» фаз генератора (див. рис.3.а) та навантаження (див. рис.3.б).

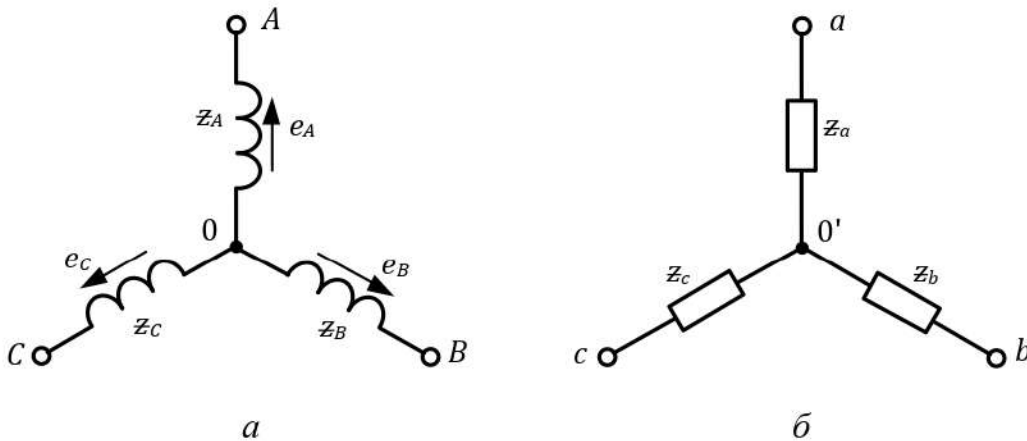


Рисунок 3 – З'єднання фаз генератора (а) та навантаження (б) за схемою «зірка»

Відповідно струм, що проходить по лінійному проводу, є **лінійним струмом**, а по нульовому (нейтральному) проводу проходить **нульовий (нейтральний) струм**. Схема з'єднання «зірка» має дві модифікації: «зірка» без нейтрального проводу (позначення Y) – це три провідна лінія електропередачі (ЛЕП), та «зірка» з нейтральним проводом (позначення Y -) – це чотирипровідна ЛЕП.

При з'єднанні фаз генератора або фаз навантаження за схемою «зірка» лінійна напруга та фазна напруга співвідносяться за класичним виразом

$$U_l = \sqrt{3} \cdot U_\phi. \quad (4)$$

Існує номінальний ряд напруг фазних та лінійних відповідно: 127 В та 220 В; 220 В та 380 В; 380 В та 660 В; 660 В та 1147 В.

При цьому фазний струм, струм який проходить по фазі генератора або навантаження, співвідноситься з лінійним струмом за виразом

$$I_{л} = I_{\phi}. \quad (5)$$

Три фази генератора або три фази навантаження можна з'єднати за схемою «трикутника», при цьому кінець першої фази x з'єднується з початком другої фази B , кінець другої фази y з'єднується з початком третьої фази C , а кінець третьої фази z – з початком першої фази A . На рисунку 4 наведена схема з'єднання «трикутник» фаз генератора (див. рис.4.а) та навантаження (див. рис.4.б).

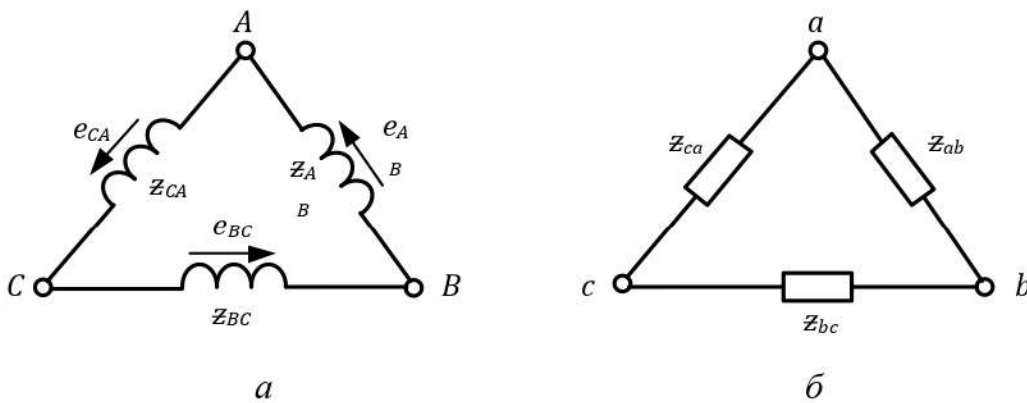


Рисунок 4 – З'єднання фаз генератора (а) та навантаження (б) за схемою «трикутник»

У цьому випадку від джерела йде три провідна ЛЕП з лінійними проводами A, B, C і існує тільки система лінійних напруг. При з'єднанні фаз генератора або фаз навантаження за схемою «трикутник» лінійна напруга та фазна напруга співвідносяться за класичним виразом

$$U_{л} = U_{\phi}. \quad (6)$$

При цьому фазний струм співвідноситься з лінійним струмом за виразом

$$I_{л} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi}. \quad (7)$$

2 Завдання для домашньої підготовки

2.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 3 [1,с.65-75,3,с.52-60,5,с.55-62, 7, с.139-143].

2.2 Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в методичних вказівках на с. 71-75. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи в таблиці 1.

2.3 Виконати задачу для самостійного опрацювання, яка наведена в методичних вказівках на с. 75-77. Вибір варіанту задачі здійснити за останньою цифрою залікової книжки студента.

3 Порядок виконання роботи

3.1 Візуально ознайомитися з електровимірювальними приладами та обладнанням, що використовуються в роботі згідно схем електричних принципових експериментальних установок.

3.2 Зібрати схему електричну принципову експериментальної установки для дослідження трифазного симетричного кола змінного синусоїдного струму при з'єднанні фаз навантаження за схемою «зірка» – рисунок 1.

3.3 Здійснити вимірювання електричних величин – фазний струм, лінійний струм, фазна напруга, лінійна напруга за показаннями приладів в трифазному електричному колі синусоїдного струму при з'єднанні фаз навантаження за схемою «зірка». Результати вимірювань навести в таблиці 2.

3.4 Зібрати схему електричну принципову експериментальної установки для дослідження трифазного симетричного кола змінного синусоїдного струму при з'єднанні фаз навантаження за схемою «трикутник» – рисунок 2.

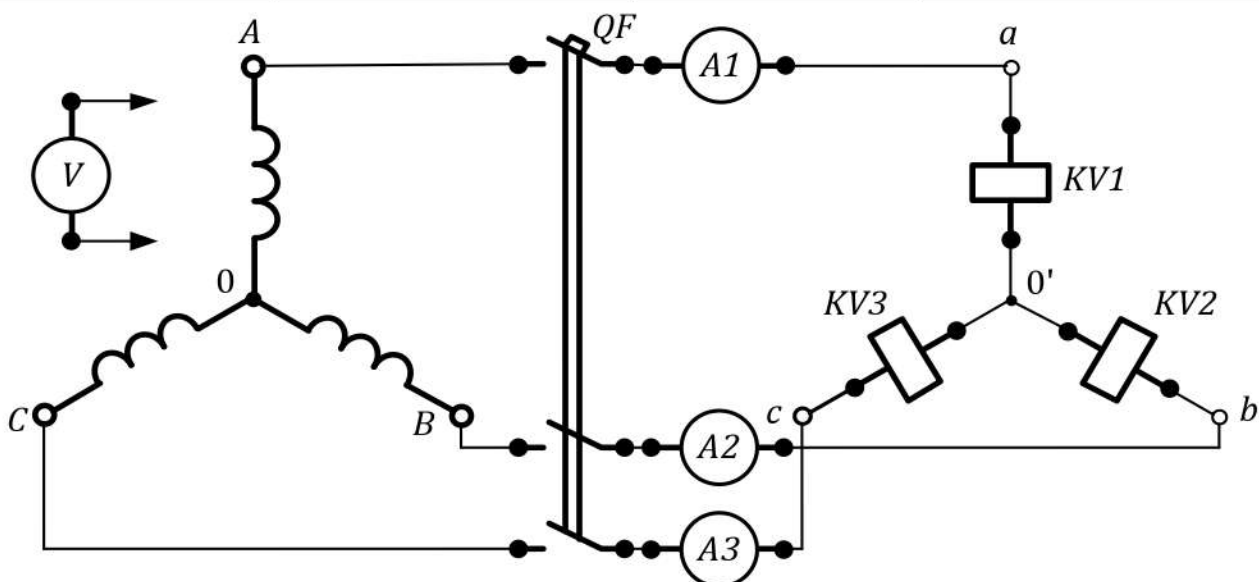
3.5 Здійснити вимірювання електричних величин – фазний струм, лінійний струм, фазна напруга, лінійна напруга за показаннями приладів в трифазному електричному колі синусоїдного струму при з'єднанні фаз навантаження за схемою «трикутник». Результати вимірювань навести в таблиці 3.

3.6 За результатами роботи зробити висновок щодо отриманих результатів дослідження трифазних електричних кіл синусоїдного струму при різних схемах з'єднання фаз навантаження.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.
2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		13	
2		14	
3		15	
4		16	
5		17	
6		18	
7		19	
8		20	
9		21	
10		22	
11		23	
12		24	



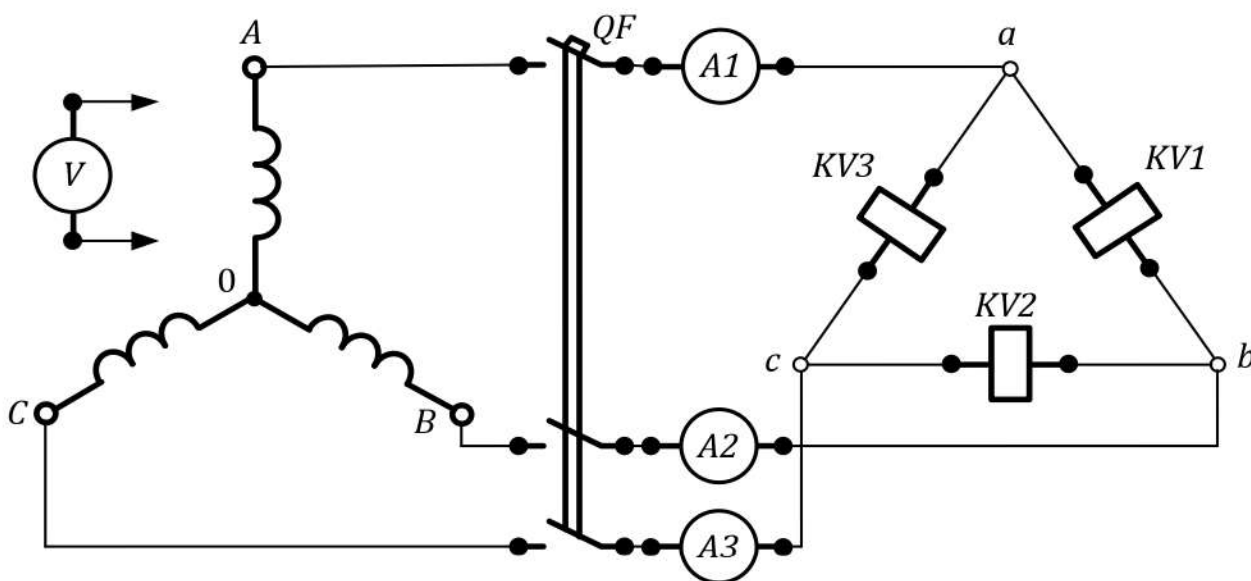
QF - трифазний автоматичний вимикач; A1...A3 – амперметри;

V – вольтметр зі щупами; KV1...KV3 - котушки індуктивності

3. Рисунок 1 – Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження трифазного симетричного кола змінного синусоїдного струму при з'єднанні фаз навантаження за схемою «зірка»

4. Таблица 2 – Результати вимірювань

Величина, що вимірювалась														
U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_A	U_B	U_C	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	U_a	U_b	U_c	I_A	I_B	I_C
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A



QF - трифазний автоматичний вимикач; A1 ... A3 – амперметри;

V – вольтметр зі щупами; KV1 ... KV3 - котушки індуктивності

5. Рисунок 2 – Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження трифазного симетричного кола змінного синусоїдного струму при з'єднанні фаз навантаження за схемою «трикутник»

6. Таблица 3 – Результати вимірювань

Величина, що вимірювалась											
U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	I_A	I_B	I_C	I_{ab}	I_{bc}	I_{ca}
B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A

7. Висновок:

- при з'єднанні фаз навантаження за схемою «зірка» лінійна напруга та фазна напруга співвідносяться за виразом

$$U_l = \sqrt{3} \cdot U_\phi = \underline{\hspace{4cm}} \text{ (вірне/не вірне);}$$

- фазний струм навантаження співвідноситься з лінійним струмом за виразом

$$I_l = I_\phi = \underline{\hspace{4cm}} \text{ (вірне/не вірне)}$$

- при з'єднанні фаз навантаження за схемою «трикутник» лінійна напруга та фазна напруга співвідносяться за виразом

$$U_l = U_\phi = \underline{\hspace{4cm}} \text{ (вірне/не вірне);}$$

- фазний струм співвідноситься з лінійним струмом за виразом

$$I_l = \sqrt{3} \cdot I_\phi = \underline{\hspace{4cm}} \text{ (вірне/не вірне)}$$

Контрольні запитання

1. Складіть розрахункову схему фази А генератора для миттєвих значень.
2. Складіть спрощену розрахункову схему фази А генератора для миттєвих значень.
3. Що таке лінійний провід?
4. Що таке нульовий (нейтральний) провід?
5. Як з'єднуються фази генератора за схемою «зірка»? Наведіть схему.
6. Що таке фазна напруга генератора?
7. Що таке лінійна напруга генератора?
8. Яке співвідношення між значеннями фазних і лінійних напруг генератора при з'єднанні його фаз «зірка»?
9. Яке співвідношення між значеннями сил фазних і лінійних струмів генератора при з'єднанні його фаз за схемою «зірка»?
10. Як з'єднують фази навантаження за схемою «трикутник»?
11. Складіть розрахункову схему навантаження при з'єднанні його фаз «трикутник» для миттєвих значень.
12. Яке співвідношення між значеннями фазних і лінійних напруг навантаження при з'єднанні його фаз за схемою «трикутник»?

13. Яке співвідношення між значеннями сил фазних і лінійних струмів при з'єднанні навантаження за схемою «трикутник»?

Тестові контрольні завдання

для самоаналізу до лабораторної роботи 5

1. Що таке фаза генератора?

- 1 це три обмотки генератора
- 2 це окрема обмотка генератора
- 3 це провід, який з'єднує спільний вузол генератора і спільний вузол навантаження
- 4 це три проводи, що з'єднують початки фаз генератора і навантаження

2. Під яким кутом розташовані одна відносно іншої обмотки генератора?

- 1 на 120°
- 2 на 180°
- 3 на 90°
- 4 на 0°

3. Лінійні проводи – це три проводи, що з'єднують початки фаз генератора і навантаження?

- 1 вірно
- 2 не вірно

4. Який провід є нульовим?

- 1 це фазний провід
- 2 це окрема обмотка генератора
- 3 це проводи, що з'єднують початки фаз генератора і навантаження
- 4 Це провід, який з'єднує спільний вузол генератора і спільний вузол навантаження

5. Що таке фазна напруга?

- 1 це різниця потенціалів на затискачах фази генератора
- 2 це сума потенціалів на затискачах фази генератора
- 3 це добуток потенціалів на затискачах фази генератора
- 4 це добуток повного опору лінії на діюче значення струму, що у ній протікає

6. Напруга між початком та кінцем фази трифазного навантаження, що з'єднано зіркою, дорівнює 160 В. Сила струму в фазі навантаження дорівнює 2 А. Визначте фазну напругу навантаження, В.

- | | |
|---------|-----------|
| 1 160 В | 3 273,6 В |
| 2 2 А | 4 380 В |

7. Напруга між початком та кінцем фази трифазного навантаження, що з'єднано зіркою, дорівнює 127 В. Сила струму в фазі навантаження дорівнює 2 А. Визначте лінійну напругу навантаження, В.

- | | |
|---------|---------|
| 1 380 В | 3 220 В |
| 2 127 В | 4 2 А |

8. Напруга між початком та кінцем фази трифазного навантаження, що з'єднано зіркою, дорівнює 110 В. Сила струму в фазі навантаження дорівнює 2 А. Визначте величину лінійного струму навантаження, А.

- | | |
|----------|-------|
| 1 2 А | 3 4 А |
| 2 2,82 А | 4 6 А |

9. Напруга між початком та кінцем фази трифазного навантаження, що з'єднано трикутником, дорівнює 127 В. Струм в фазі навантаження – 3 А. Визначте фазну напругу навантаження, В.

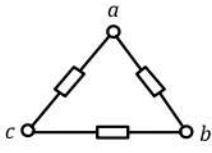
- | | |
|---------|---------|
| 1 220 В | 3 110 В |
| 2 380 В | 4 127 В |

10. Напруга між початком та кінцем фази трифазного навантаження, що з'єднано трикутником, дорівнює 127 В. Струм в фазі навантаження – 3 А. Визначте лінійну напругу навантаження, В.

- | | |
|---------|---------|
| 1 220 В | 3 110 В |
| 2 380 В | 4 127 В |

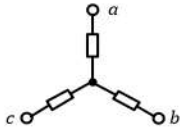
11. Напруга між початком та кінцем фази трифазного навантаження, що з'єднано трикутником, дорівнює 220 В. Струм в фазі навантаження – 4 А. Визначте величину лінійного струму навантаження, А.

- | | |
|----------|-------|
| 1 6,92 А | 3 5 А |
| 2 4 А | 4 3 А |



12. Наведена схема є схемою з'єднання фаз навантаження зіркою?

- 1 вірно
- 2 не вірно



13. Наведена схема є схемою з'єднання фаз навантаження зіркою?

- 1 вірно
- 2 не вірно

14. Оберіть вірне співвідношення між фазною та лінійною напругою при з'єднанні фаз зіркою?

- 1 $U_l = U_\phi$
- 2 $U_l = \sqrt{3} \cdot U_\phi$
- 3 $I_l = \sqrt{3} \cdot I_\phi$
- 4 $I_l = I_\phi$

15. Оберіть вірне співвідношення між фазним та лінійним струмом при з'єднанні фаз зіркою?

- 1 $U_l = U_\phi$
- 2 $U_l = \sqrt{3} \cdot U_\phi$
- 3 $I_l = \sqrt{3} \cdot I_\phi$
- 4 $I_l = I_\phi$

16. Оберіть вірне співвідношення між фазною та лінійною напругою при з'єднанні фаз трикутником?

- 1 $U_l = U_\phi$
- 2 $U_l = \sqrt{3} \cdot U_\phi$
- 3 $I_l = \sqrt{3} \cdot I_\phi$
- 4 $I_l = I_\phi$

17. Оберіть вірне співвідношення між фазним та лінійним струмом при з'єднанні фаз трикутником?

- 1 $U_l = U_\phi$
- 2 $U_l = \sqrt{3} \cdot U_\phi$
- 3 $I_l = \sqrt{3} \cdot I_\phi$
- 4 $I_l = I_\phi$

18. Трифазне симетричне навантаження отримує живлення від ідеального трифазного симетричного генератора за допомогою ідеальної лінії електропередачі. Схема з'єднання фаз генератора та навантаження з'єднане «зірка». Вольт-

метр, включений між початками фаз А і В генератора, показав 220 В. Визначте діючі значення лінійних напруг, В, генератора.

- | | | | |
|---|-------|---|-------|
| 1 | 220 В | 3 | 127 В |
| 2 | 380 В | 4 | 110 В |

19. Трифазне симетричне навантаження отримує живлення від ідеального трифазного симетричного генератора за допомогою ідеальної лінії електропередачі. Схема з'єднання фаз генератора та навантаження з'єднане «зірка». Вольтметр, включений між початками фаз А і В генератора, показав 220 В. Визначте діючі значення фазних напруг, В, генератора.

- | | | | |
|---|-------|---|-------|
| 1 | 220 В | 3 | 127 В |
| 2 | 380 В | 4 | 110 В |

20. Трифазне симетричне навантаження отримує живлення від ідеального трифазного симетричного генератора за допомогою ідеальної лінії електропередачі. Схема з'єднання фаз генератора та навантаження з'єднане «зірка». Активний опір фази навантаження дорівнює 9 Ом, індуктивний опір фази навантаження дорівнює 12 Ом. Визначте повні опори, Ом, фаз навантаження.

- | | | | |
|---|-------|---|-------|
| 1 | 16 Ом | 3 | 10 Ом |
| 2 | 9 Ом | 4 | 15 Ом |

21. Трифазне симетричне навантаження отримує живлення від ідеального трифазного симетричного генератора за допомогою ідеальної лінії електропередачі. Схема з'єднання фаз генератора та навантаження з'єднане «зірка». Активний опір фази навантаження дорівнює 30 Ом, індуктивний опір фази навантаження дорівнює 40 Ом. Вольтметр, включений до фази А генератора, показав 220 В. Визначте діючі значення сил фазних струмів навантаження.

- | | | | |
|---|--------|---|-------|
| 1 | 4,35 А | 3 | 5,5 А |
| 2 | 5,35 А | 4 | 5,0 А |

22. Трифазне симетричне навантаження, з'єднане зіркою, отримує живлення від ідеального трифазного симетричного генератора, з'єданого зіркою, за допомогою ідеальної лінії електропередачі. Вольтметр, включений до фази А генератора, показав 220 В. За даними амперметра діюче значення сили фазного струму навантаження дорівнює 4,5. Активна потужність навантаження дорівнює 590 Вт. Визначте коефіцієнт потужності навантаження.

- | | | | |
|---|------|---|------|
| 1 | 0,59 | 3 | 0,1 |
| 2 | 1,0 | 4 | 0,25 |

23. Що таке лінійний струм?

- 1 це струм, що проходить по нульовому (нейтральному) проводу
- 2 це струм, що проходить по фазі генератора
- 3 це різниця потенціалів на затискачах фази генератора
- 4 це струм, що проходить по лінійному проводу

24. Оберіть вірний аналітичний вираз, за яким визначається активна потужність, яку споживає трифазне навантаження?

- 1 $S = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n$
- 2 $P = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot \cos \varphi$
- 3 $U_n = \sqrt{3} \cdot U_\phi$
- 4 $Q = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot \sin \varphi$

Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 5

Умова задачі для варіантів 1...7

Від симетричного трифазного генератора, фази якого з'єднані за схемою «зірка» по ідеальній три провідній лінії електропередачі отримують живлення три однакові котушки індуктивності, схема з'єднань яких «зірка». Для вимірювання сили струму у фазі *a* навантаження використовується амперметр, для вимірювання напруги у фазі *a* - вольтметр, а для вимірювання активної потужності у фазі *a* – ватметр.

Умова задачі для варіантів 8...15

Від симетричного трифазного генератора, фази якого з'єднані за схемою «зірка» по ідеальній три провідній лінії електропередачі отримують живлення три однакові котушки індуктивності, схема з'єднань яких «трикутник». Для вимірювання сили струму у фазі *ab* навантаження використовується амперметр, для вимірювання напруги у фазі *ab* - вольтметр, а для вимірювання активної потужності у фазі *ab* – ватметр.

Варіанти вихідних даних до виконання задачі наведені в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1- Варіанти вихідних даних до виконання задачі для самостійного
опрацювання до лабораторної роботи 5 (варіанти 1...7)

Варіант	Вихідні дані			Завдання
	$I_{a\phi}$ A	$U_{a\phi}$ B	$P_{a\phi}$ Bm	
1	20	200	2400	1. Визначити активні опори котушок (r). 2. Визначити повні опори котушок (Z). 3. Визначити індуктивні опори котушок (x). 4. Визначити коефіцієнти потужності котушок ($\cos \varphi$). 5. Визначити фазні (лінійні) струми трифазного навантаження. 6. Визначити фазні напруги навантаження. 7. Визначити лінійні напруги навантаження. 8. Визначити лінійні напруги генератора. 9. Визначити активну потужність, яку споживає навантаження. 10. Визначити реактивну потужність, яку споживає навантаження. 11. Визначити повну потужність, яку споживає навантаження.
2	10	400	3200	
3	5	100	300	
4	22	220	3872	
5	10	370	3500	
6	6	120	432	
7	2	100	160	

Таблиця 2 - Варіанти вихідних даних до виконання задачі для самостійного
опрацювання до лабораторної роботи 5 (варіанти 8...15)

Варіант	Вихідні дані			Завдання
	I_{ab} A	U_{ab} B	P_{ab} Bm	
8	4	148	192	1. Визначити активні опори котушок (r). 2. Визначити повні опори котушок (Z). 3. Визначити індуктивні опори котушок (x). 4. Визначити коефіцієнти потужності котушок ($\cos \varphi$). 5. Визначити фазні та лінійні струми трифазного навантаження. 6. Визначити фазні та лінійні напруги навантаження. 7. Визначити фазні та лінійні напруги генератора.
9	2	200	240	
10	15	150	1350	
11	25	375	7500	
12	15	225	2700	

Продовження таблиці 2

Варіант	Вихідні дані			Завдання
	$I_{ab},$ A	$U_{ab},$ B	$P_{ab},$ $Вт$	
13	19	380	4332	8. Визначити активну потужність, яку споживає навантаження.
14	8	160	768	10. Визначити реактивну потужність, яку споживає навантаження.
15	17	85	1156	11. Визначити повну потужність, яку споживає навантаження.

Лабораторна робота 6

ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНОГО КОЛА З КОТУШКОЮ

Мета роботи:

Придбання практичних навичок при вимірюванні та при розрахунку магнітних величин, які характеризують магнітне поле при постійних намагнічуючих силах.

1 Основні теоретичні положення

Принцип дії багатьох електротехнічних пристроїв, а саме, трансформаторів, електричних апаратів і машин, електровимірювальних приладів, побудований на взаємодії електричних струмів і магнітних полів або на взаємодії різних магнітних полів. Для електротехнічних пристроїв необхідне існування двох складових частин – електричного кола та магнітного кола. **Магнітне коло** – це одне або сукупність феромагнітних осердь, які мають назву *магнітопроводи*, та які призначені для проведення магнітного поля, його підсилення і концентрації у визначених робочих зонах пристроїв. Для магнітних полів та магнітних кіл використовують *магнітні величини*:

- **магнітна індукція**, B , $Tл$, є силовою характеристикою магнітного поля, а її вектор у просторі орієнтований по дотичній до силової лінії. За модулем магнітна індукція дорівнює відношенню обертаючого моменту рамки зі струмом, яка розташована в даній точці поля) до добутку площі рамки на силу струму в ній

$$B = \frac{M}{I \cdot S}, \quad (1)$$

де M – обертаючий момент, $H \cdot m$;

I – сила струму, A ;

S – площа рамки, m^2 .

- **напруженість магнітного поля**, A/m – магнітна величина, вектор якої орієнтований так само, як і вектор магнітної індукції. Між індукцією і напруженістю магнітного поля існує взаємозв'язок, який описується виразом

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H, \quad (2)$$

де μ_0 – магнітна стала, Гн/м;

μ_r – відносна магнітна проникність;

- **магнітний потік**, Φ , Вб – це інтегральна величина магнітного поля. Якщо магнітне поле є *однорідним*, а саме, таким, у якого магнітна індукція в будь-якій точці поля однакова, то магнітний потік визначається за виразом

$$\Phi = B \cdot S, \quad (3)$$

де Φ – магнітний потік, Вб;

B – магнітна індукція, Тл;

S – площа поверхні, через яку проходить магнітне поле, м²;

- **потокозчеплення**, ψ , Вб – магнітна величина, яка характеризує зв'язок між магнітним потоком, який створюється котушкою зі струмом та силою електричного струму, згідно виразу

$$\psi = w \cdot \Phi = L \cdot I, \quad (4)$$

де w – кількість витків котушки;

Φ – магнітний потік, Вб;

L – індуктивність котушки, Гн;

I – сила електричного струму, А.

2 Завдання для домашньої підготовки

2.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 4 [6, с.186-233, 7, с. 165-172].

2.2 Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в методичних вказівках на с. 83-84. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи в таблиці 1.

2.3 Виконати задачу для самостійного опрацювання, яка наведена в методичних вказівках на с. 85-86. Вибір варіанту задачі здійснити за останньою цифрою залікової книжки студента.

3 Порядок виконання роботи

3.1 Візуально ознайомитися з електровимірювальними приладами та обладнанням, що використовуються в роботі згідно схеми електричної принципової експериментальної установки.

3.2 Зібрати схему електричну принципову експериментальної установки для дослідження магнітного кола з котушкою – рисунок 1.

3.3 Здійснити вимірювання електричної величини – сили струму. Результати вимірювань навести в таблиці 2.

3.4 Здійснити розрахунки щодо магнітних величин, а саме, магнітного потоку та потокозчеплення котушки, намагнічуючої сили котушки та енергії магнітного поля котушки за виразами (1)...(4), які наведені у звіті до лабораторної роботи.

3.5 Результати вимірювань навести в таблиці 3.

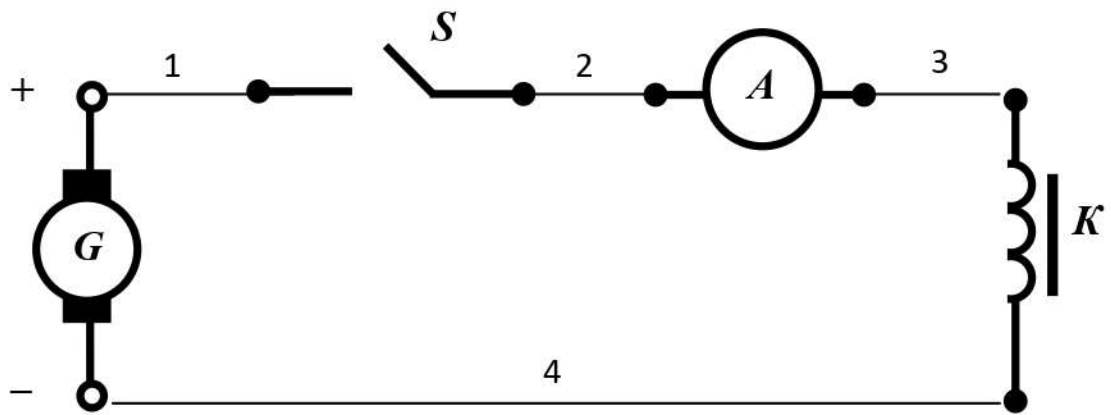
3.6 За результатами роботи зробити висновок щодо отриманих результатів при дослідженні магнітного кола з котушкою.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		7	
2		8	
3		9	
4		10	
5		11	
6		12	



G - ідеальний генератор постійного струму; A – амперметр;

1 – 4 - з'єднувальні проводи; S – вимикач;

K - котушка індуктивності з феромагнітним осердяем

3. Рисунок 1 - Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження магнітного кола з котушкою

4. Таблиця 2 – Результати вимірювань

Стан вимикача S	Параметри котушки		Показання амперметра
	кількість витків w	індуктивність $L, Гн$	I, A
Вимикач замкнений			

5. Таблиця 3 – Результати розрахунків

Магнітні величини, що характеризують магнітне коло з котушкою			
магнітний потік, $\Phi, Вб$	потокозчеплення, $\psi, Вб$	намагнічуюча силу, F, A	енергія магнітного поля $W, Дж$

Примітка до таблиці:

- вираз для визначення магнітного потоку

$$\Phi = \frac{L \cdot I}{w}; \quad (1)$$

- вираз для визначення потокозчеплення

$$\psi = w \cdot \Phi; \quad (2)$$

- вираз для визначення намагнічуючої сили

$$F = w \cdot I; \quad (3)$$

- вираз для визначення намагнічуючої сили

$$W = \frac{L \cdot I^2}{2}. \quad (4)$$

6. Висновок щодо отриманих результатів дослідження магнітного кола з котушкою.

Контрольні запитання

1. Яка фізична величина є силовою характеристикою магнітного поля?
2. Що таке магнітна індукція?
3. Запишіть формулу для визначення магнітної індукції.
4. Що таке однорідне магнітне поле?
5. Дайте визначення магнітного потоку для однорідного магнітного поля.
6. Запишіть формулу для визначення магнітного потоку для однорідного магнітного поля.
7. Сформулюйте закон електромагнетизму. Запишіть математично і розшифруйте закон електромагнетизму.
8. Що таке напруженість магнітного поля?
9. Запишіть формулу для визначення напруженості магнітного поля.
10. Що таке магнітна постійна? Чому вона дорівнює?
11. Що таке відносна магнітна проникність середовища?

Тестові контрольні завдання

для самоаналізу до лабораторної роботи 6

1. Явище, при якому навколо провідника зі струмом утворюється магнітне поле, має назву

- 1 явище електричного струму
- 2 явище теплової дії струму
- 3 явище взаємодії заряджених тіл
- 4 явище електромагнетизму

2. Магнітна індукція – це силова характеристика поля.

- 1 електричного
- 2 магнітного
- 3 теплового
- 4 однорідного магнітного

3. За яким аналітичним виразом визначається магнітна індукція?

- | | | | |
|---|---------------------------|---|-----------------------------|
| 1 | $B = \frac{M}{I \cdot S}$ | 3 | $W = \frac{L \cdot I^2}{2}$ |
| 2 | $\Phi = B \cdot S$ | 4 | $\psi = w \cdot \Phi$ |

4. За яким аналітичним виразом визначається магнітний потік?

- | | | | |
|---|---------------------------|---|-----------------------------|
| 1 | $B = \frac{M}{I \cdot S}$ | 3 | $W = \frac{L \cdot I^2}{2}$ |
| 2 | $\Phi = B \cdot S$ | 4 | $\psi = w \cdot \Phi$ |

5. Який закон встановлює зв'язок між магнітним потоком, який створюється катушкою зі струмом, та силою електричного струму?

- 1 закон електромагнітної індукції
- 2 закон Ома
- 3 закон електромагнетизму
- 4 закон теплової дії струму

6. За яким аналітичним виразом визначається напруженість магнітного поля?

- | | | | |
|---|---------------------------|---|-----------------------|
| 1 | $B = \frac{M}{I \cdot S}$ | 3 | $H = \frac{B}{\mu_c}$ |
| 2 | $\Phi = B \cdot S$ | 4 | $\psi = w \cdot \Phi$ |

7. З наведених літер оберіть одиницю магнітної індукції.

- 1 Гн/м
- 2 Тл
- 3 Вб
- 4 А/м

8. Сукупність пристроїв, які забезпечують можливість створення магнітного потоку та магнітного поля, має назву

- 1 розгалужене електричне коло
- 2 магнітне коло
- 3 електричне коло
- 4 лінійне електричне коло

9. Оберіть дві вірні відповіді.

До основних елементів магнітного поля належать

- 1 джерело електричної енергії
- 2 магнітопровід
- 3 котушка з кількістю витків
- 4 приймач
- 5 проводи

10. Залежність магнітної індукції від напруженості магнітного поля має назву ...

- 1 петля гістерезису
- 2 вольт-амперна характеристика
- 3 крива намагнічування
- 4 світлова характеристика

11. Який аналітичний вираз описує закон повного струму?

- | | | | |
|---|-----------------------------------|---|---------------------------|
| 1 | $F = w \cdot I = H \cdot l$ | 3 | $I = \frac{U}{R}$ |
| 2 | $\psi = w \cdot \Phi = L \cdot I$ | 4 | $W = R \cdot I^2 \cdot t$ |

12. Визначити індуктивність котушки з феромагнітним осердям, яка має 200 витків, протікає електричний струм силою 10 А. Магнітний потік у феромагнітному осерді дорівнює 0,04 Вб.

- | | | | |
|---|--------|---|---------|
| 1 | 0,8 Гн | 3 | 1,5 Гн |
| 2 | 8,0 Гн | 4 | 0,04 Гн |

Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 6

Загальна умова задачі

Магнітне коло складається з котушки, яка має w витків, з феромагнітного осердя, поперечний переріз якого s , а довжина середньої силової лінії якого l . Котушка споживає струм силою I . Крива намагнічування матеріалу осердя показана на рисунку.

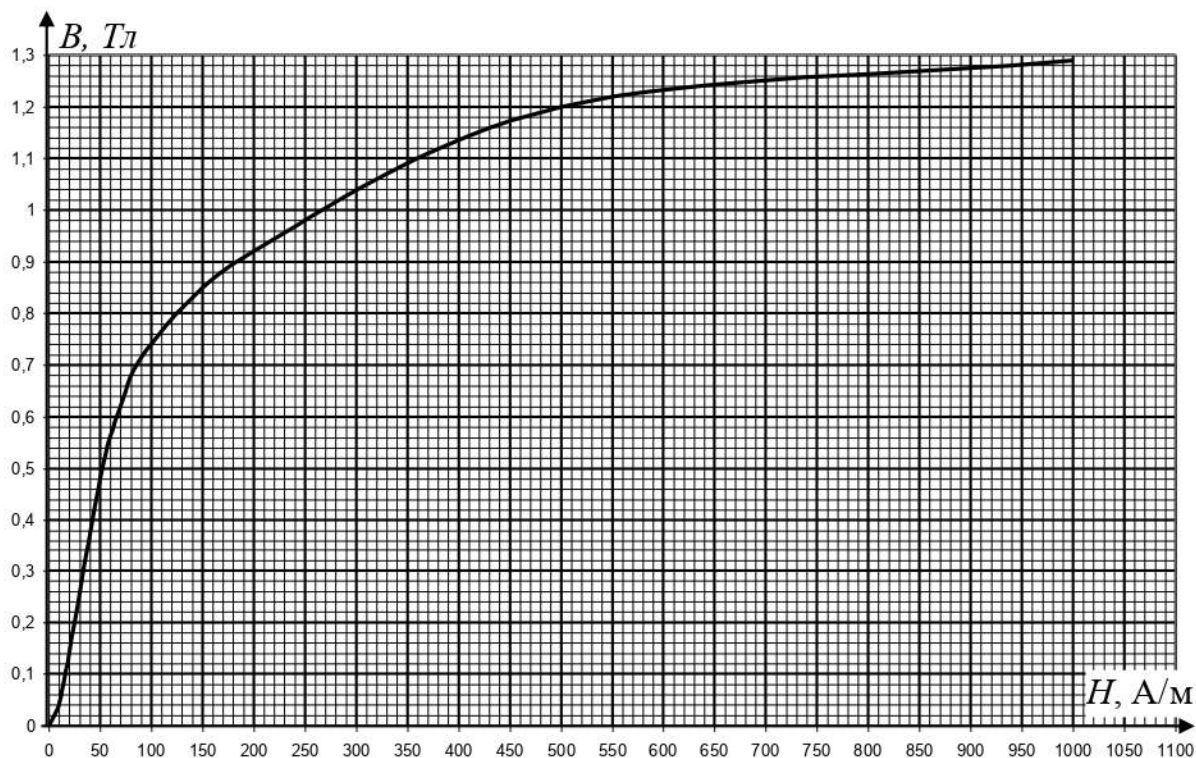


Рисунок - Крива намагнічування матеріалу осердя (сталь марки 1572)

Завдання

1. Для заданого значення сили струму визначити напруженість магнітного поля та намагнічуючу силу.
2. За кривою намагнічування визначити магнітну індукцію в магнітопроводі.
3. Визначити магнітний потік у магнітопроводі.
4. Визначити магнітну проникність матеріалу магнітопроводу для заданого значення сили струму.

Варіанти вихідних даних до виконання задачі наведені в таблиці.

Таблиця - Варіанти вихідних даних до виконання задачі для самостійного
опрацювання до лабораторної роботи 6

Варіанти	Вихідні дані			
	I, A	w	$l, см$	$s, см^2$
1	5	200	200	80
2	5	500	500	50
3	5	200	320	80
4	10	150	200	40
5	3	350	280	120
6	1,5	600	100	20
7	2	570	120	60
8	1,2	1000	120	80
9	10	210	240	80
10	14	135	360	100
11	10	342	360	200
12	7	476	340	200
13	10	187	340	200
14	3	884	340	500
15	3,2	884	320	500

Лабораторна робота 7

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Мета роботи:

Ознайомлення з будовою, принципом дії та з областю застосування електровимірювальних приладів різних систем, а також набуття практичних навичок при описі метрологічних характеристик приладів.

1 Основні теоретичні відомості

Метрологічними є ті характеристики засобів вимірювальної техніки, які впливають на результат та точність вимірювання. *Нормованими метрологічними характеристиками* аналогових вимірювальних приладів є: діапазон вимірювань, клас точності, чутливість та поріг чутливості, стала та ціна поділки шкали, а також умови застосування. Складовою частиною приладу є його *шкала* - це частина пристрою відліку у вигляді впорядкованої сукупності позначок разом з пов'язаною з нею певною послідовністю чисел. Позначкою шкали може бути риска або інший знак на шкалі, що відповідає одному або декільком значенням вимірюваної величини. На рисунку 1 наведена структура шкали ватметра, яка наочно пояснює такі характеристики аналогового приладу, як діапазон показів, межі (границі) та діапазон вимірювань.

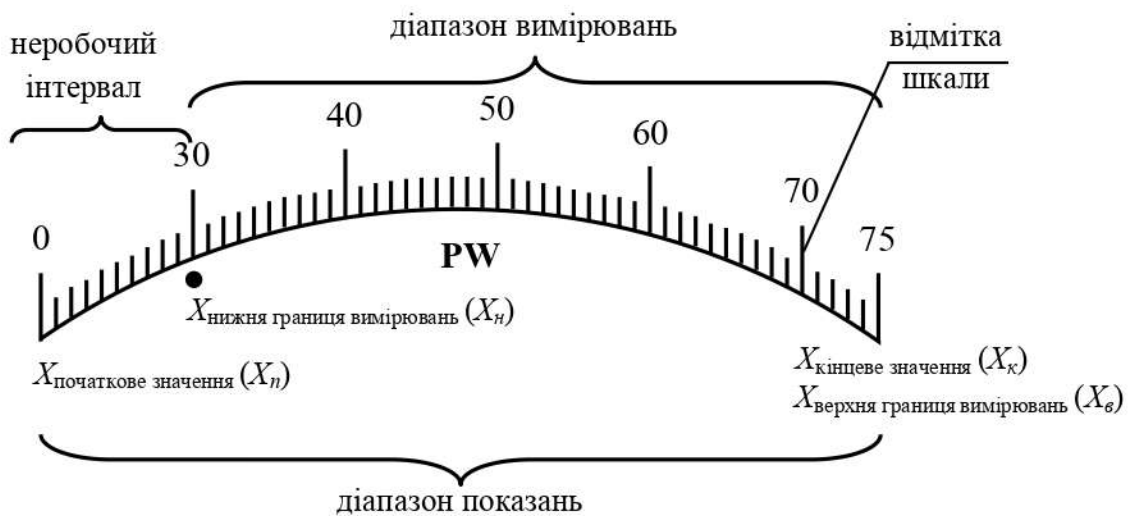


Рисунок 1 - Структура шкали ватметра

Вказане на шкалі *початкове значення шкали* X_n є найменшим значенням вимірюваної величини X , а вказане на шкалі *кінцеве значення шкали* X_k є найбільшим значенням вимірюваної величини X . **Діапазон показань** – це інтервал значень вимірюваної величини, який обмежений найменшим у діапазоні показів та найбільшим її значенням. Частина діапазону показів засобу вимірювань, для якої границі допустимих похибок є нормованими, називається **діапазоном вимірювань**. Найменше і найбільше значення діапазону вимірювань називають **нижньою X_n і верхньою X_e границею вимірювань**.

Верхня границя вимірювання X_e практично завжди збігається з верхньою границею показів X_k ЗВ, тобто $X_e = X_k$, а нижня границя вимірювання X_n не завжди збігається з початковим значенням шкали X_n , як видно з рисунку. Інтервал показів між позначками шкали X_n та X_n є *неробочим* і не входить в діапазон вимірювань засобу вимірювання. У таких випадках нижню границю вимірювання X_n засобу позначають спеціальною точкою на шкалі біля цифри.

Враховуючи усе вище наведене, визначаємо згідно рисунку 1:

- початкове значення шкали X_n дорівнює 0 Вт;
- нижня границя вимірювання X_n дорівнює 30 Вт;
- верхня границя вимірювання X_e дорівнює верхній границі показів X_k та дорівнюють 75 В;
- діапазон показів становить 0...75 Вт;
- діапазон вимірювань становить 30...75 Вт.

Показ вимірювального приладу (x) – це значення вимірюваної величини, яке відтворене шкалою вимірювального приладу і подане сигналом вимірювальної інформації. Найбільше число, яке можна зчитати з пристрою відліку, має назву **максимальний показ**.

Відлік (N_0) – це неіменоване абстрактне число, яке зчитане з пристрою відліку або одержане підрахунком послідовних позначок чи сигналів. Найбільше число, яке можна зчитати з пристрою відліку, має назву **максимальний відлік ($N_{B.max}$)**.

Ціна поділки шкали ($C_{под}$) – це різниця значень вимірюваної величини, що відповідає відстані між двома найближчими позначками шкали.

Стала приладу (C) – це відношення границі вимірювання приладу (X_k) або максимального значення багатозначної міри до максимального показу і є іменованим числом в одиницях величини x .

Сталу приладу визначають за виразом

$$C = \frac{X_k}{N_{B,max}}. \quad (1)$$

Показ x , відлік N_{ϵ} , стала приладу C і ціна поділки шкали $C_{под}$ пов'язані між собою співвідношенням

$$x = N_{\epsilon} \cdot C = N_{под} \cdot C_{под}. \quad (2)$$

Приклад 1 Визначити сталу вольтметра з границею вимірювання 600 В і з максимальним відліком 150.

Розв'язання. Так як границя вимірювання приладу $U_k = 600$ В, максимальний відлік $N_{B,max} = 150$, тоді за виразом (1) визначається стала вольтметра

$$C_{PV} = \frac{U_k}{N_{B,max}} = \frac{600B}{150} = 4B.$$

Приклад 2 Визначити сталу ватметра з границею вимірювання напруги 150 В та границею вимірювання струму 5 А та з максимальним відліком 75.

Розв'язання. Так як границя вимірювання активної потужності ватметра дорівнює $P_k = U_k \cdot I_k = 150B \cdot 5A = 750Bm$, отже, стала ватметра дорівнює

$$C_{PW} = \frac{U_k \cdot I_k}{N_{B,max}} = \frac{750}{75} = 10Bm / под.$$

Показником точності є **клас точності засобу вимірювань** – це узагальнена характеристика засобу, яка визначається границями його допустимих основної і додаткових похибок, а також регламентованими характеристиками, що впливають на його точність.

Залежно від принципу дії вимірювального механізму, а саме, від принципу перетворення електромагнітної енергії вимірювального сигналу в механічну енергію рухомої частини і виду функції перетворення, елект-

ромеханічні аналогові вимірювальні прилади поділяються на такі *системи*: магнітоелектричну, електромагнітну, електродинамічну, феродинамічну, електростатичну та індукційну.

Типи, структури та основні метрологічні характеристики електромеханічних аналогових вимірювальних приладів різних систем наведені в таблиці 1 та на рисунку 2.

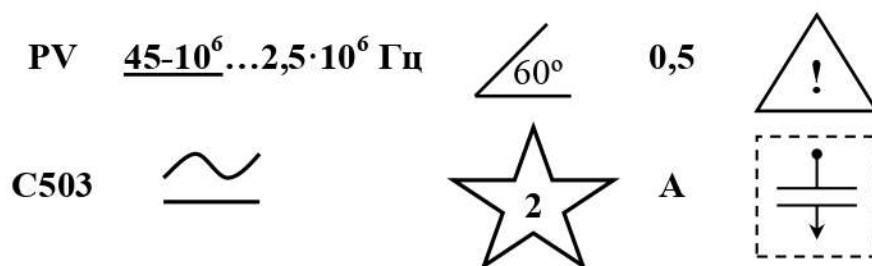


Рисунок 2 – Приклад умовних позначень на шкалі аналогового приладу


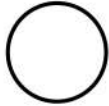
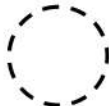







Таблиця 1 - Основні умовні позначення на шкалах аналогових приладів

Назва	Умовне позначення
1. Позначення системи вимірювального механізму приладу:	
- магнітоелектричний механізм звичайний	
- магнітоелектричний механізм логометричний	
- електромагнітний механізм звичайний	
- електромагнітний механізм логометричний	
- електродинамічний механізм звичайний	
- електродинамічний механізм логометричний	


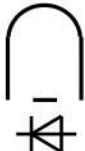
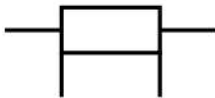
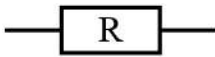



Продовження таблиці 1

Назва	Умовне позначення
- феродинамічний механізм звичайний	
- феродинамічний механізм логометричний	
- електростатичний механізм	
- індукційний механізм	
2. Позначення роду струму:	
- постійний струм	
- змінний однофазний струм	
- постійний і змінний струм	
- трифазний змінний струм	
- трифазний змінний струм з асиметричним навантаженням	
3. Позначення нормального положення шкали приладу:	
- горизонтальне	
- вертикальне	

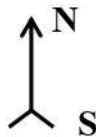

Продовження таблиці 1

Назва	Умовне позначення
- установка шкали приладу під кутом (45...60...75°)	
4. Екранування та захист:	
- електростатичний екран	
- магнітний екран	
- захист від зовнішніх магнітних полів	
- захист від зовнішніх електричних полів	
5. Позначення класу точності:	
- клас точності, який виражений у формі зведеної похибки	0,5
- клас точності, який виражений у формі відносної похибки	
- клас точності, який виражений у формі зведеної похибки (у відсотках від довжини шкали)	
- клас точності, який виражений у формі зведеної похибки (у відсотках від інтервалу вимірювань)	
6. Міцність ізоляції вимірювального кола приладу:	
- вимірювальне коло приладу ізольоване від корпусу і випробуване під напругою 2,0 кВ	
- вимірювальне коло приладу ізольоване від корпусу і випробуване під напругою 0,5 кВ	

Продовження таблиці 1

Назва	Умовне позначення
- прилад випробуванню ізоляції не підлягає	
7. Прилади з перетворювачами струму:	
- магнітоелектричний прилад з випрямлячем	
8. Додаткові елементи вимірювального кола:	
- шунт	
- додатковий резистор	
- додаткова індуктивність	
- затискач для заземлення	
9. Умови експлуатації приладу:	
- робота в сухих приміщеннях, що обігріваються	A
- робота в закритих приміщеннях при температурі повітря від мінус 20 °С до плюс 50 °С та при вологості до 80 %	Б
- робота в закритих приміщеннях при температурі повітря від мінус 40 °С до плюс 60 °С та при вологості до 98 %, морські та польові умови	В
- робота в сухому і вологому тропічному кліматі	Г
10. Частотний діапазон:	
- розширений діапазон частоти струму	<u>35 – 55 – 1500 Hz</u>
- нормальний діапазон частоти струму	<u>35 – 55</u>
- робочий діапазон частоти струму	35 - 1500 Hz
Увага! Прилад без інструкції не вмикати	

Продовження таблиці 1

Назва	Умовне позначення
Орієнтація приладу в земному магнітному полі	
Обережно! Міцність ізоляції вимірювального кола не відповідає нормам!	

2 Завдання для домашньої підготовки

2.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 5 [1, с.145-169, 3, с.218-242, 5, с.172-188, 6, с.259-300, 7, с. 275-289]

2.2 Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в методичних вказівках на с. 97-100. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи – таблиця 1.

2.3 Виконати задачу для самостійного опрацювання, яка наведена в методичних вказівках на с. 100-102. Вибір варіанту задачі здійснити за останньою цифрою залікової книжки студента.

3 Порядок виконання роботи

3.1 Візуально ознайомитись з електровимірювальними приладами різних систем, які використовуються в роботі, та охарактеризувати їх область застосування - таблиця 2.

3.2 За умовними графічними позначеннями, які нанесені на шкали приладів, заповнити таблицю 3 звіту роботи.

3.3 В таблиці 3 представити інформацію щодо основних метрологічних характеристик електровимірювальних приладів різних систем, які застосовуються в роботі.

3.4 Сформулювати висновок стосовно значущості метрологічних характеристик та умовних графічних позначень на шкалах електровимірювальних приладів різних систем.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		7	
2		8	
3		9	
4		10	
5		11	
6		12	

3. Таблиця 2 – Область застосування електровимірювальних приладів

Найменування та система приладу	Літерне позн. приладу	Тип	Область застосування
Мілівольтметр магнітоелектричної системи			
Ампермілівольтметр магнітоелектричної системи			
Амперметр електромагнітної системи			
Вольтметр електромагнітної системи			
Вольтметр електростатичної системи			
Ватметр електродинамічної системи			
Частотомір феродинамічної системи			
Фазометр електромагнітної системи			
Омметр магнітоелектричний з випрямлячем			
Вольтметр електромагнітної системи з астатуванням			
Мегомметр магнітоелектричної системи			
Фазометр феродинамічної системи			
Амперметр електромагнітної системи з астатуванням			

4. Таблиця 3 - Умовні графічні позначення та метрологічні характеристики електровимірювальних приладів

Найменування позначення	Літерне позначення електровимірювального приладу												
Тип приладу													
Система (умовне позначення)													
Верхня границя вимірювання													
Клас точності													
Рід струму													
Спосіб установки шкали приладу													
Умови експлуатації													
Напряга випробування, <i>кВ</i>													
Номінальна частота чи розширений діапазон частот, <i>Гц</i>													
Початкове значення шкали													
Нижня границя вимірювання													
Діапазон показів													
Стала (постійна) приладу													
Чутливість приладу													
Максимальний відлік, <i>поділок</i>													
Заводський номер, рік випуску													

5. Висновок щодо значущості метрологічних характеристик та умовних графічних позначень на шкалах електровимірювальних приладів різних систем.

Контрольні запитання

1. Що таке метрологічні та неметрологічні характеристики приладів?

2. Охарактеризуйте такі поняття, як «шкала приладу», «діапазон показань та діапазон вимірювань», «показ вимірювального приладу», «ціна поділки» та «стала приладу».

3. Як аналітично пов'язані між собою показ, стала приладу та ціна поділки?

4. Що таке чутливість ЗВТ та його поріг чутливості?

5. Як класифікують засоби вимірювань за метрологічними характеристиками?

6. Сформулюйте сутність фізичного ефекту, який покладено в основу роботи магнітоелектричних вимірювальних приладів.

7. Сформулюйте сутність фізичного ефекту, який покладено в основу роботи електромагнітних вимірювальних приладів.

8. Сформулюйте сутність фізичного ефекту, який покладено в основу роботи електродинамічних вимірювальних приладів.

9. Сформулюйте сутність фізичного ефекту, який покладено в основу роботи електростатичних вимірювальних приладів.

Тестові контрольні завдання

для самоаналізу до лабораторної роботи 7

1. Які характеристики засобів вимірювальної техніки є метрологічними?

1 характеристики, які впливають на результат та точність вимірювання

2 характеристики, які відображають властивості та функціонування засобів вимірювальної техніки

3 характеристики, які описують функціональний взаємозв'язок між вихідною та вхідною фізичними величинами

4 характеристики, за якими оцінюють точність засобів вимірювальної техніки

2. Що таке стала вимірювального приладу?

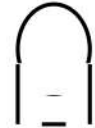
1 це різниця значень вимірюваної величини, що відповідає відстані між двома найближчими позначками шкали

2 це інтервал значень вимірюваної величини, який обмежений початковим і кінцевим значеннями шкали приладу

3 це найбільше число, яке можна зчитати з пристрою відліку

4 це відношення границі вимірювання приладу або максимального значення багатозначної міри до максимального показу приладу

3. Оберіть вірне найменування умовного позначення на шкалі приладу



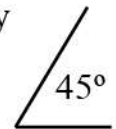
1 електродинамічний прилад

2 електромагнітний прилад

3 магнітоелектричний прилад

4 феродинамічний прилад

4. Оберіть вірне найменування умовного позначення на шкалі приладу



1 вертикальна установка шкали приладу

2 положення шкали під кутом

3 горизонтальна установка шкали приладу

4 орієнтація приладу в земному магнітному полі

5. Визначити сталу вольтметра, $V/\text{поділку}$, з границею вимірювання 600 В і з максимальним відліком 150.

1 4 В/поділку

2 $4,5\text{ В/поділку}$

3 $3,5\text{ В/поділку}$

4 $0,4\text{ поділки/В}$

6. Визначити величину чутливості амперметра, поділка/А , з границею вимірювання 10 А і з максимальним відліком 100.

1 10 А/поділку

2 1 А/поділку

3 10 поділок/А

4 $0,1\text{ А/поділку}$

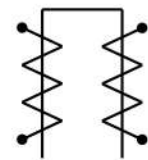
7. Визначити показ ватметра, $Вт$, стала якого дорівнює $5 Вт/поділку$, якщо за положенням стрілочного покажчика на шкалі встановлено, що відлік дорівнює 70.

- | | | | |
|---|----------|---|----------|
| 1 | 300 $Вт$ | 3 | 400 $Вт$ |
| 2 | 350 $Вт$ | 4 | 250 $Вт$ |

8. Визначити сталу електродинамічного ватметра, $Вт/поділку$, у якого границя вимірювання за напругою дорівнює $300 В$, границя вимірювання за струмом - $5 А$, максимальний відлік 150.

- 1 2 $В/поділку$
- 2 0,33 $А/поділку$
- 3 10 $Вт/поділку$
- 4 3 $поділку/А$

9. Оберіть вірне найменування умовного позначення на шкалі приладу



- 1 феродинамічний логометр
- 2 електромагнітний логометр
- 3 магнітоелектричний логометр
- 4 індукційний прилад

10. Принцип дії вимірювального механізму приладу магнітоелектричної системи заснований ...

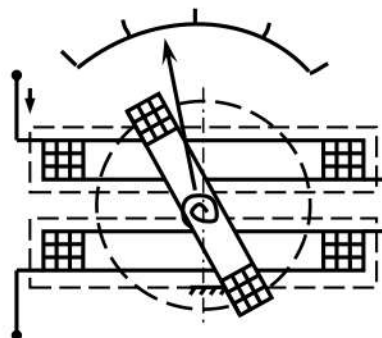
- 1 на взаємодії магнітного поля нерухомої котушки зі струмом з одним або декількома феромагнітними осердям
- 2 на взаємодії двох чи декількох заряджених провідників
- 3 на взаємодії магнітних полів рухомої та нерухомої котушок зі струмами
- 4 на взаємодії магнітного потоку постійного магніту та поля котушки зі струмом

11. Принцип дії вимірювального механізму приладу електромагнітної системи заснований ...

- 1 на взаємодії двох чи декількох заряджених провідників
- 2 на взаємодії магнітного поля нерухомої котушки зі струмом з одним або декількома феромагнітними осердям
- 3 на взаємодії двох або декількох магнітних потоків з індукованими ними струмами в рухомій частині механізму
- 4 на взаємодії магнітного потоку постійного магніту та поля котушки зі струмом

12. Схема якого приладу наведена на рисунку?

- 1 схема магнітоелектричного логометра
- 2 схема приладу феродинамічної системи
- 3 схема електромагнітного логометра
- 4 схема приладу електромагнітної системи



Задачі для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 7

Варіант 1

1.1 Знайти сталу амперметра з границею вимірювання $2,5\text{ A}$ і з максимальним відліком 100.

1.2 Визначити сталу та показ вольтметра з границею вимірювання $7,5\text{ B}$ і максимальним відліком 150, якщо його покажчик зупинився на позначці шкали «105».

Варіант 2

2.1 Визначити сталу омметра та його показ з границею вимірювання 30 Ом і шкалою на 30 поділок, якщо усталене розташування покажчика на шкалі – на позначці «20».

2.2 Встановити границю вимірювання і сталу міліамперметра з максимальним відліком 100, якщо при відхиленні покажчика на позначку шкали «90» експериментатор зафіксував показ 45 mA .

Варіант 3

3.1 Мілівольтметр має рівномірну шкалу з нульової відміткою в її середній зоні та розподілену на 50 поділок. Нижня межа вимірювання мілівольтмет-

ра $U_H = -150 \text{ мВ}$, а верхня межа $U_B = +150 \text{ мВ}$. Навести графічне зображення шкали та визначити ціну поділки. Визначити величину чутливості приладу.

3.2 Визначити сталу ватметра, у якого верхня межа вимірювання за напругою дорівнює 450 В , а верхня межа вимірювання за струмом дорівнює 5 А , максимальний відлік - 150.

Варіант 4

4.1 Визначити значення частоти струму, якщо верхня межа вимірювання частотоміра дорівнює 55 Гц , а максимальний відлік дорівнює 55. Стрілочний показчик приладу зупинився при вимірюванні на позначці шкали «49».

4.2 Межа вимірювання магнітоелектричного вольтметра дорівнює $3,0 \text{ мВ}$, максимальний відлік складає 100. Визначити показ приладу, якщо світловий показчик приладу при вимірюванні зупинився на позначці шкали «85». Чому дорівнює чутливість приладу?

Варіант 5

5.1 Визначити сталі ватметра та його чутливості для всіх можливих варіантів включення приладу, у якого верхня межа вимірювання за струмом дорівнює $2,5 \text{ А}$ та 5 А , а верхня межа вимірювання за напругою дорівнює 75 В , 150 В , 300 В , 450 В , 600 В . Максимальний відлік дорівнює 75.

5.2 Визначити межу вимірювання міліамперметра, якщо чутливість приладу дорівнює 3 поділ/А , а максимальний відлік дорівнює 150.

Варіант 6

6.1 Визначити величини напруги та сили струму, якщо стала за напругою ампервольтметра дорівнює 1 В/поділ. , а стала за струмом ампервольтметра дорівнює $0,2 \text{ А/поділ.}$ Стрілочний показчик приладу при вимірюванні напруги зупинився на позначці «30», а при вимірюванні сили струму на позначці «25».

6.2 Визначити межу вимірювання і чутливість вольтметра зі шкалою на 150 поділок і сталою приладу, яка дорівнює $0,3 \text{ В/поділ.}$

Варіант 7

7.1 Вольтметр має такі межі вимірювання напруги: 75 В, 150 В, 300 В, 150, максимальний відлік на шкалі – 150. Визначити сталі приладу та його чутливості для усіх можливих варіантів.

7.2 Визначте величину опору постійному струму, яка вимірюється омметром, якщо межа вимірювання приладу дорівнює 100 Ом, максимальний відлік на шкалі - 50, а показ підчас вимірювань дорівнює 30 поділок.

Варіант 8

8.1 Визначити межу вимірювання і чутливість омметра зі шкалою на 50 поділок і сталою приладу 1,0 Ом/поділ.

8.2 Амперметр має такі межі вимірювання сили струму 5 А та 10 А, максимальний відлік на шкалі - 100. Визначити сталі приладу та його чутливості для усіх можливих варіантів.

Варіант 9

9.1 Визначити величину частоти струму, що вимірюється частотоміром, якщо діапазон вимірювання приладу дорівнює 45...55 Гц, кількість поділок на шкалі 10. Стрілочний покажчик при вимірюваннях зупинився на позначці шкали «8».

9.2 Визначити величини сили струму, що вимірюється амперметром, якщо чутливості приладу дорівнюють 20 поділ./А та 40 поділ./А, покази приладу при двох вимірюваннях дорівнюють відповідно 120 поділок та 85 поділок.

Лабораторна робота 8

МЕТРОЛОГІЧНА ПОВІРКА ВОЛЬТМЕТРА

Мета роботи

Вивчення методики метрологічної повірки вольтметра та визначення його придатності для подальшої експлуатації за результатами повірки

1 Основні теоретичні положення

Повірка засобів вимірювальної техніки – це визначення похибок цих засобів та встановлення їх придатності для застосування за призначенням.

Існують такі види повірки: первинна, періодична, позачергова, інспекційна та експертна.

При підготовці до повірки обираються метод повірки, схема повірки та зразкові ЗВТ. При виборі системи зразкового приладу керуються такими вимогами: повірка здійснюється на тому роді струму, для якого вони призначені; зразковий прилад повинен бути призначений для вимірювання тієї ж самої фізичної величини, що й прилад, що повіряється; діапазони вимірювань і частот зразкових приладів повинні включати відповідні діапазони приладу, що повіряється; при повірці приладу на постійному струмі слід обирати такий зразковий прилад, який реагує на зміну кривої сигналу так само, як і прилад, що повіряється.

Співвідношення між основними похибками зразкових приладів та приладів, що повіряється, повинно бути не більш, ніж 1:3 при повірці приладів класів точності 0,05...0,5 і не більш, ніж 1:4 – для приладів класів точності 1,0...5,0.

Під час повірки виконуються такі операції: зовнішній огляд приладу; перевірка роботоздатності; визначення впливу нахилу на показання приладу; перевірка електричної міцності ізоляції і визначення опору ізоляції; визначення основної похибки та варіації показів; встановлення величини «неповернення» вказівника на нульову позначку шкали; визначення часу заспокоєння рухомої частини приладу; розрахунок похибки спрацювання контактного пристрою; визначення похибки реєстрації показів.

Результати повірки оформлюються протоколом, до якого вносять формальні дані (назва, тип, завод-виробник, рік випуску та номер) і фактичні характеристики засобу вимірювальної техніки, умови виконання повірки (температура, тиск, вологість), результати вимірювань під час повірки, висновки про придатність чи непридатність засобу вимірювань для застосування за призначенням.

Основна приведена похибка приладу, що повіряється, за результатами повірки визначається за формулою

$$\gamma_{\text{приладу}} \leq \pm \frac{\Delta}{x_{\text{Нзразк.приладу}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де Δ – абсолютна похибка вимірювань;

$x_{\text{Нзразк.приладу}}$ – межа вимірювання зразкового приладу

2 Завдання для домашньої підготовки

2.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 5 [1, с.145-169, 3, с.218-242, 5, с.172-188, 6, с.259-300, 7, с. 275-289].

3 Порядок виконання роботи

3.1 Візуально ознайомитися з електровимірювальними приладами та обладнанням, що використовуються в роботі згідно схеми електричної принципової експериментальної установки.

3.2 Записати паспортні дані приладу, що повіряється в таблицю 2.

3.3 Здійснити зовнішній огляд приладу, що повіряється.

3.4 Під керівництвом викладача обрати зразковий прилад та записати його паспортні дані в таблицю 2.

3.5 Зібрати схему електричну принципову експериментальної установки для метрологічної повірки вольтметра – рисунок 1.

3.6 Здійснити метрологічну повірку вольтметра.

3.7 За результатами повірки визначити величини похибок, поправок та варіації показань вольтметра, що повіряється, за виразами (1)...(6) звіту до роботи. Результати розрахунків навести в таблиці 3.

3.8 За результатами розрахунків під керівництвом викладача визначити клас точності вольтметра, що повіряється.

3.9 Побудувати криву поправок у залежності від показань вольтметра, що повіряється – рисунок 2.

3.10 Сформулювати висновок стосовно придатності вольтметра, що повіряється, для подальшого застосування.

Зміст звіту

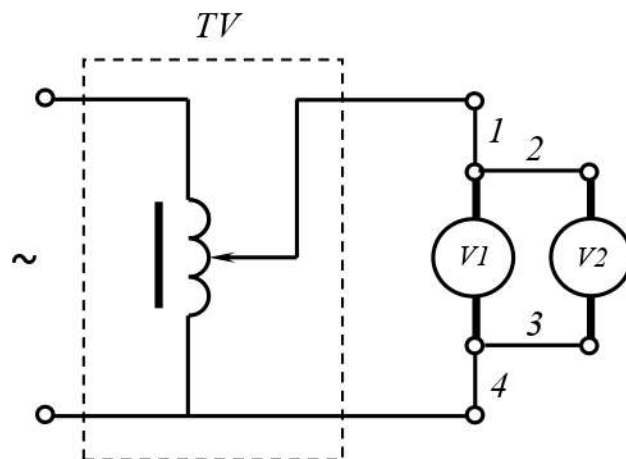
1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

3. Таблица 2 – Паспортні дані приладів

Найменування позначення	Електровимірювальний прилад - вольтметр	
	зразковий	що повіряється
Тип		
Система		
Межа вимірювання		
Рід струму		
Клас точності		
Спосіб установки		
Умови експлуатації		
Напруга випробування, кВ		
Номінальна частота чи розширений діапазон частот, Гц		
Захист від зовнішніх полів		
Постійна приладу, В/поділ.		
Чутливість приладу, поділ./В		
Результат зовнішнього огляду приладу		



$V1$ – зразковий вольтметр; $V2$ – вольтметр, що повіряється

4. Рисунок 1 – Схема електрична принципова експериментальної установки для метрологічної повірки вольтметра

5. Таблица 3 – Результати повірки вольтметра

№ спостереження	Показання приладів			Обчислено						
	вольтметра, що повіряється, U_x, B	зразкового			похибки			варіація, $\delta U, \%$	поправка, $-\Delta U, B$	стандартний клас точності вольтметра, що повіряється
		хід уверх, $U_{зраз} \uparrow, B$	хід униз, $U_{зраз} \downarrow, B$	середнє значення, $U_{сер.зраз}, B$	абсолютна, $\Delta U, B$	відносна, $\delta U, \%$	приведена, $\gamma, \%$			
1										
2										
3										
4										
5										

Примітка до таблиці:

- вираз для визначення середнього значення напруги, що вимірюється

$$U_{сер.зраз} = \frac{U_{зраз} \uparrow + U_{зраз} \downarrow}{2}; \quad (1)$$

- вираз для визначення абсолютної похибки

$$\Delta U = U_x - U_{сер.зраз}; \quad (2)$$

- вираз для визначення відносної похибки

$$\delta U = \frac{\Delta U}{U_{сер.зраз}} \cdot 100\%; \quad (3)$$

- вираз для визначення поправки до показань приладу

$$\text{поправка} = -\Delta U; \quad (4)$$

- вираз для визначення варіації

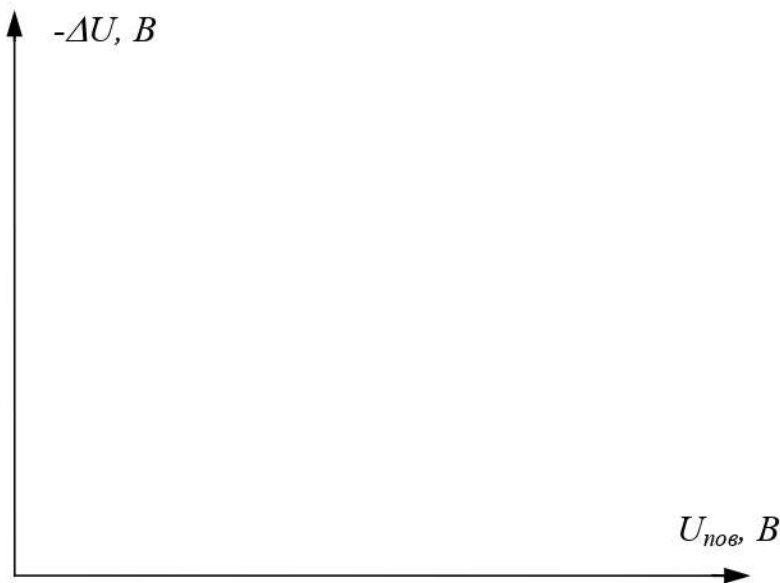
$$\nu_u = \frac{U_{\text{зраз}} \uparrow - U_{\text{зраз}} \downarrow}{U_{\text{н.зраз}}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

де $U_{\text{зраз}} \uparrow$ - показання зразкового вольтметра при значеннях напруги, що збільшується, В;

$U_{\text{зраз}} \downarrow$ - показання зразкового вольтметра при значеннях напруги, що зменшується, В.

- вираз для визначення приведеної похибки

$$\gamma = \frac{\Delta U}{U_{\text{н.зраз}}} \cdot 100\%. \quad (6)$$



6. Рисунок 2 – Крива поправок до показань вольтметра, що повіряється

7. Висновок щодо придатності вольтметра, що повіряється, для подальшого застосування.

Контрольні запитання

1. Що таке похибка приладу?
2. Що таке абсолютна похибка приладу? Одиниця вимірювання абсолютної похибки.
3. Що таке відносна похибка приладу?
4. Що таке приведена похибка приладу?
5. Що таке клас точності приладу та що він характеризує?
6. Що таке повірка засобу вимірювань? Яка мета повірки засобу вимірювань?
7. Які види повірок Вам відомі?
8. За якою математичними формулами визначаються величини абсолютної, відносної та приведеної похибок приладу, що повіряється, за результатами повірки?
9. За якою похибкою визначається клас точності приладу, що повіряється, за результатами повірки?

Лабораторна робота 9

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Мета роботи:

Придбання практичних навичок при роботі з однофазним трансформатором в режимі «холостого ходу» та в режимі навантаження.

1 Основні теоретичні положення

Трансформатор – це пристрій, призначений для перетворення електричної енергії змінного струму однієї напруги в електричну енергію змінного струму іншої напруги при збереженні частоти струму. *Однофазний трансформатор* містить (див. рисунок 1) магнітопровід, який виготовлений із електротехнічної сталі, дві обмотки – первинна та вторинна, які виготовлені з міді та які розміщуються на магнітопроводі, ізольовані від магнітопроводу та одна від одної.

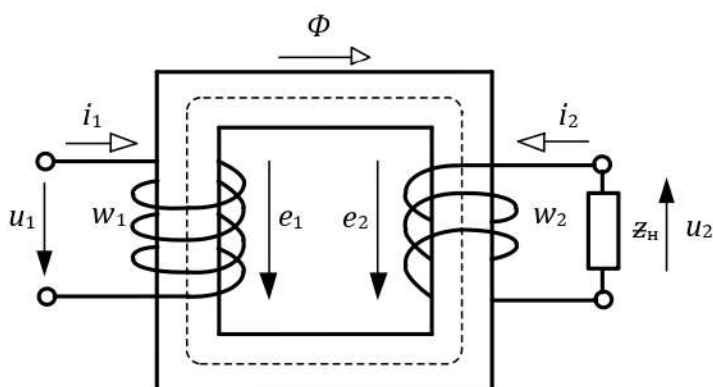


Рисунок 1 – Однофазний трансформатор

Обмотка трансформатора, яка підключається до джерела електроенергії, має назву *первинна*. Обмотка, до якої підключаються споживачі електроенергії або лінії електропередачі, які ведуть до споживачів, має назву *вторинна*.

Частини магнітопроводу, на яких розміщуються обмотки, мають назву *стрижні*, а частини, що замикають стрижні - *ярма*. Магнітопроводи трансформаторів виконуються двох видів: стрижневі та броньові. У стрижневому однофазному трансформаторі первинна і вторинна обмотки розміщуються на двох стрижнях, зв'язаних ярами. В однофазному броньовому трансформаторі первинна і вторинна обмотки розміщуються на одному стрижні, а магнітопровід охоплює обмотки з двох сторін (як би створюється «броня»).

Трансформатор, який має одну первинну та одну вторинну обмотки має назву *двохобмотковим*, якщо трансформатор містить одну первинну та дві вторинні обмотки, то він є *триобмотковим*, є також існують *багатообмоткові* трансформатор. Крім активних частин (магнітопроводу та обмоток) конструкція трансформатора містить у собі ряд частин, призначених для ізоляції, охолодження, кріплення активних частин та інших цілей: корпус або бак із трансформаторним маслом, вводи, ізоляція обмоток і магнітопроводу.

Принцип дії трансформатора наступний: до первинної обмотки підводиться змінна напруга u_1 , в обмотці протікає змінний струм i_1 . Цей струм створює змінний магнітний потік Φ_1 , який замикається по магнітопроводу та пронизує витки первинної і вторинної обмоток. В результаті в цих обмотках наводяться змінні е.р.с. e_1 і e_2

$$e_1 = -w_1 \cdot \frac{d\Phi_1}{dt}; \quad (1)$$

$$e_2 = -w_2 \cdot \frac{d\Phi_2}{dt}, \quad (2)$$

де w_1 – кількість витків первинної обмотки;

w_2 - кількість витків вторинної обмотки.

При підключенні навантаження у вторинній обмотці буде протікати змінний струм i_2 , а на її затисках встановлюється змінна напруга u_2 . Змінний струм i_2 , в свою чергу, створює змінний магнітний потік Φ_2 , який також замикається по магнітопроводу та, згідно з правилом Ленца, направлений протилежно магнітному потоку Φ_1 . В такому разі результуючий магнітний потік Φ в магнітопроводі буде дорівнювати

$$\Phi = \Phi_1 - \Phi_2, \quad (3)$$

що призводить до зменшення е.р.с. e_1 . Проте величина е.р.с. e_1 не може бути менше певного значення, що визначається другим законом Кірхгофа для первинного кола трансформатора згідно виразу

$$u_1 = -e_1 - e_{\sigma 1} + u_{r1}, \quad (4)$$

де $e_{\sigma 1}$ – е.р.с. що наводиться в первинній обмотці потоком розсіяння, B ;
 u_{r1} – падіння напруги на резистивному опорі обмотки трансформатора, B .

Таким чином, струм у первинній обмотці зростає до такого рівня, при якому результуючий магнітний потік Φ створює необхідне значення e_1 , що відповідає рівнянню (4) і заданому навантаженню z_H . Відношення е.р.с., які наводяться в обмотках, дорівнює відношенню кількостей витків цих обмоток

$$k_T = \frac{e_1}{e_2} = \frac{w_1}{w_2}, \quad (5)$$

де k_T – коефіцієнт трансформації трансформатора.

Вираз (5) справедливий не тільки для миттєвих значень, але і для амплітудних та діючих значень. Тому коефіцієнт трансформації трансформатора можна визначити приблизно дослідним шляхом: підключити до затисків обмоток трансформатора вольтметри та здійснити операцію ділення показань вольтметра в первинній обмотці та показань вольтметра у вторинній обмотці.

Режим роботи трансформатора, при якому його вторинна обмотка розімкнута, а на затиски первинної обмотки подана номінальна напруга, має назву *холостий хід* трансформатора. Струм, який протікає в первинній обмотці трансформатора в цьому режимі - це *струм холостого ходу*. Якщо до затисків вторинної обмотки підключити споживачів електроенергії, то трансформатор працює в *режимі навантаження*.

2 Завдання для домашньої підготовки

2.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 6 [1, с.173 - 196,3, с.94 - 96, 114 - 118, 5, с.100 - 102,107 - 110, 7, с.249-255]

2.2 Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в методичних вказівках на с. 115-117. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи в таблиці 1.

2.3 Виконати задачу для самостійного опрацювання, яка наведена в методичних вказівках на с. 118. Вибір варіанту задачі здійснити за останньою цифрою залікової книжки студента.

3 Порядок виконання роботи

3.1 Візуально ознайомитися з однофазним трансформатором та електровимірювальними приладами, які застосовуються в роботі.

3.2 Зібрати схему електричну принципову експериментальної установки для дослідження однофазного трансформатора – рисунок 1.

3.3 Включити однофазний трансформатор на холостий хід – встановити вимикач SF в замкнене положення, а вимикач SA – в розімкнене положення.

3.4 Здійснити вимірювання напруги вольтметром V на затисках первинної і вторинної обмоток однофазного трансформатора в режимі холостого ходу (U_{1xx} , U_{2xx}).

3.5 Результати вимірювань занести в таблицю 2.

3.6 Виключити однофазний трансформатор - встановити вимикач SF в розімкнене положення.

3.7 Підключити до однофазного трансформатора електричне навантаження - встановити вимикач SA в замкнене положення, а реостат PH виставити у середнє положення.

3.8 Включити однофазний трансформатор в режим навантаження - встановити вимикач SQ в замкнене положення.

3.9 Здійснити вимірювання напруги вольтметром V на затисках первинної і вторинної обмоток однофазного трансформатора в режимі навантаження ($U_{1НАВ}$, $U_{2НАВ}$).

3.10 Результати вимірювань занести в таблицю 2.

3.11 Відключити однофазний трансформатор – встановити вимикач SF в розімкнене положення.

3.12 Розрахувати коефіцієнт трансформації однофазного трансформатора. Результати розрахунків занести в таблицю 2.

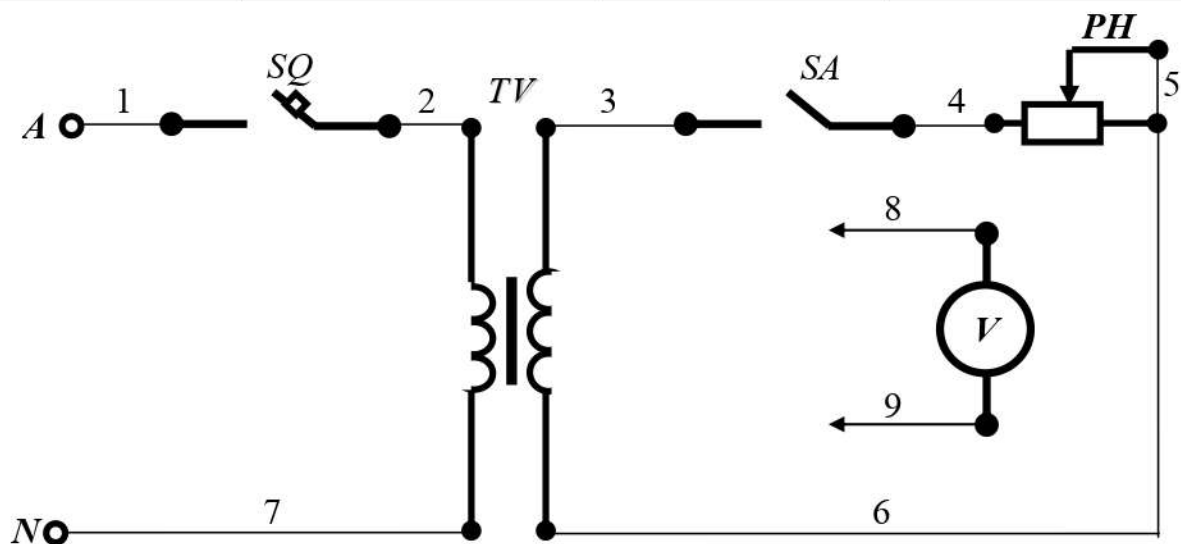
3.13 Розрахувати втрату напруги у вторинній обмотці ΔU_2 трансформатора в режимі навантаження, як різницю між напругою на затисках вторинної обмотки в режимі холостого ходу $U_{2хх}$ та напругою на затисках вторинної обмотки в режимі навантаження $U_{2НАВ}$

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	



TV - однофазний трансформатор; SA – вимикач;

SQ - однофазний автоматичний вимикач; RH - реостат навантаження;

V - вольтметр зі щупами

3. Рисунок 1 – Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження однофазного трансформатора

4. Таблиця 2 – Результати вимірювань та розрахунків

Фізичні величини, що характеризують установку						
w_1	w_2	$U_{1xx} B$	$U_{2xx} B$	$U_{1HAB} B$	$U_{2HAB} B$	k_T

Контрольні запитання

1. Поясніть призначення силового однофазного трансформатора.
2. Складіть і опишіть конструктивну схему однофазного трансформатора.
3. Опишіть принцип дії однофазного трансформатора.
4. Що таке коефіцієнт трансформації однофазного трансформатора?
5. Як визначити коефіцієнт трансформації однофазного трансформатора дослідним шляхом?
6. Які режими роботи однофазного трансформатора Вам відомі? Охарактеризуйте кожен режим роботи.

Тестові контрольні завдання

для самоаналізу до лабораторної роботи 9

1. Яку назву має пристрій, призначений для перетворення електроенергії змінного електричного струму *однієї напруги* в електроенергію змінного струму *іншої напруги* при збереженні частоти струму?
 - 1 асинхронний електродвигун
 - 2 автоматичний вимикач
 - 3 частотомір
 - 4 трансформатор
2. За яким аналітичним виразом визначається коефіцієнт потужності однофазного трансформатора?

$$1 \quad k_T = \frac{e_1}{e_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad 3 \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P_\Sigma}{P_1}$$

$$2 \quad \cos \varphi = \frac{P_1}{S_1} \quad 4 \quad e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

3. В якому елементі трансформатора спостерігаються такі фізичні процеси та явища: явище електромагнітної індукції; явище вихрових струмів; явище теплової дії вихрових струмів; явище гістерезису; явище теплової дії гістерезису; процес нагрівання?

- 1 в магнітопроводі
- 2 в первинній обмотці
- 3 у вторинній обмотці
- 4 в трансформаторному маслі

4. Яка обмотка трансформатора є первинною?

- 1 обмотка, до якої підключаються споживачі електроенергії або лінії електропередачі, які ведуть до споживачів
- 2 обмотка, яка підключається до джерела електроенергії
- 3 обмотка, яка є короткозамкненою
- 4 обмотка, яка має малу кількість витків

5. Режим роботи трансформатора, при якому його вторинна обмотка розімкнута, а на затискачі первинної обмотки подана номінальна напруга, має назву

- 1 режим короткого замикання
- 2 режим холостого ходу
- 3 режим навантаження
- 4 незвичайний режим

6. Визначити кількість витків вторинної обмотки однофазного трансформатора, якщо первинна має 2200 витків ($U_1 = 220 \text{ В}$), при цьому $U_{2\text{наб}} = 22 \text{ В}$.

- 1 220 витків
- 2 10 витків
- 3 22 витка
- 4 5 витків

7. В якому елементі трансформатора спостерігаються такі фізичні процеси та явища: явище електромагнітної індукції (взаємної індукції); явище електричного струму; явище електромагнетизму; явище теплової дії струму; процес нагрівання обмотки?

- 1 в трансформаторному маслі
- 2 в магнітопроводі
- 3 у вторинній обмотці
- 4 в первинній обмотці

8. Чи вірне твердження? Причиною виникнення втрат активної потужності в первинній обмотці однофазного трансформатора є тепла дії струму, який протікає в ній?

- 1 не вірне
- 2 вірне

9. Оберіть дві причини виникнення втрат активної потужності в магнітопроводі трансформатора

- 1 від дії теплової дії вихрових струмів
- 2 від теплової дії струму, який протікає в обмотці
- 3 від гістерезису
- 4 від дії електричного струму

10. За яким аналітичним виразом визначається коефіцієнт корисної дії однофазного трансформатора?

$$\begin{array}{ll} 1 & k_T = \frac{e_1}{e_2} = \frac{w_1}{w_2} \\ 2 & \cos \varphi = \frac{P_1}{S_1} \end{array} \quad \begin{array}{ll} 3 & \eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P_\Sigma}{P_1} \\ 4 & e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} \end{array}$$

Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 9

Варіанти вихідних даних до виконання задачі наведені в таблиці.

Таблиця - Варіанти вихідних даних до виконання задачі для самостійного
опрацювання до лабораторної роботи 9

Варіанти	Вихідні дані						Завдання
	$U_1,$ B	$I_{навань}$ A	w_1	w_2	$Q_1,$ Var	$\kappa. \kappa. \delta.,$ $\%$	
1	220	7	500	50	120	90	1. Визначити коефіцієнт трансформації трансформатора. 2. Визначити напругу на затисках вторинної обмотки трансформатора. 3. Визначити активну потужність, яку споживає навантаження. 4. Визначити активну потужність, яку споживає трансформатор. 5. Визначити повну потужність, яку споживає трансформатор. 6. Визначити силу струму, який споживає трансформатор з мережі живлення.
2	220	6	880	40	250	85	
3	220	9	750	60	170	92	
4	220	5	500	30	160	88	
5	220	8	850	65	110	80	
6	220	9,5	880	48	200	90	
7	220	5,5	650	35	170	80	
8	220	7,5	520	45	150	91	
9	220	4	810	67	140	89	

Лабораторна робота 10

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ ТА НАПРУГИ

Мета роботи:

Придбання практичних навичок при застосуванні вимірювальних трансформаторів струму та напруги.

1 Основні теоретичні положення

Вимірювальний трансформатор напруги призначений для розширення меж вимірювання вольтметрів, ватметрів, а також для включення у високовольтних мережах пристроїв захисту та автоматики. Будова такого трансформатора не відрізняється від побудови силового трансформатора.

Вимірювальні трансформатори напруги виконуються як в однофазному, так і в трифазному виконанні. Принцип дії вимірювального трансформатора напруги аналогічний силовому трансформатору. Номінальна напруга на затискачах вторинної обмотки, як правило, становить 100 В.

Коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора напруги дорівнює

$$k_{T.H} = \frac{U_{1H}}{U_{2H}}, \quad (1)$$

де U_{1H} – номінальна напруга первинної обмотки, В;

U_{2H} – номінальна напруга вторинної обмотки, В.

Для безпечного обслуговування вторинна обмотка і корпус вимірювального трансформатора напруги заземлюються, щоб забезпечити захист персоналу при пробі ізоляції первинної обмотки (обмотки високої напруги). Вимірювальні трансформатори напруги підключаються до високовольтної мережі через запобіжники.

Схема електрична принципова включення вольтметра у високовольтну мережу

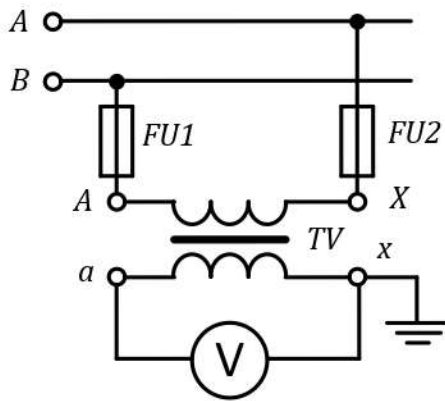


Рисунок 1 –
Схема включення
вольтметра через
вимірювальний
трансформатор напруги

за допомогою вимірювального трансформатора напруги показана на рисунку 1.

Показання вимірювальних приладів, включених у вторинне коло трансформатора, необхідно помножити на коефіцієнт трансформації. При підключенні цих приладів треба враховувати, що їх сумарна потужність не повинна перевищувати номінальної потужності трансформатора.

У протилежному випадку виникають похибки вимірів за рахунок збільшення падіння напруги у вторинній обмотці трансформатора і змі-

ни фази напруги, тому вимірювальні трансформатори напруги мають похибку за напругою і кутову похибку. Номінальні потужності вимірювальних трансформаторів напруги – від $200 \text{ В}\cdot\text{А}$ до $2000 \text{ В}\cdot\text{А}$.

Вимірювальний трансформатор струму призначений для розширення меж вимірювання амперметрів, ватметрів, а також для підключення до високовольтних мереж пристроїв захисту та автоматики.

Трансформатор струму містить магнітопровід, первинну і вторинну обмотки. Кількість витків первинної обмотки трансформатора струму набагато менша, ніж кількість витків вторинної обмотки. Первинна обмотка виконується на струми від 5 А до 15 кА , а вторинна обмотка – на струм 5 А , тобто у вторинній обмотці завжди протікає струм силою 5 А . Первинна обмотка трансформатора включається послідовно в коло, у якому протікає вимірюваний струм, а до вторинної обмотки підключаються вимірювальні прилади.

Отже, трансформатор струму працює фактично в режимі короткого замикання, тому що струмові обмотки вимірювальних приладів мають незначні опори.

Коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора струму дорівнює

$$k_{T.C} = \frac{I_{1H}}{I_{2H}}, \quad (2)$$

де I_{1H} – номінальний струм первинної обмотки, А;

I_{2H} – номінальний струм вторинної обмотки, А.

Показання вимірювальних приладів, які включені у вторинне коло трансформатора, необхідно помножити на коефіцієнт трансформації. Схема електрична принципова включення амперметра до мережі живлення через вимірювальний трансформатор струму показана на рисунку 2.

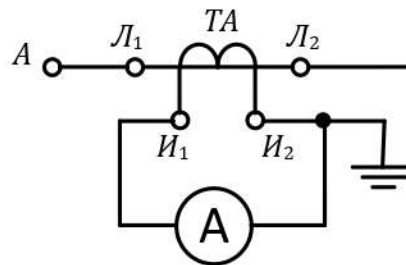


Рисунок 2 – Схема електрична принципова включення амперметра через вимірювальний трансформатор струму

Позначення на принциповій електричній схемі: затискачі первинної обмотки $L1 - L2$, затискачі вторинної обмотки: $III - II2$. Магнітопровід трансформатора струму розрахований на незначний магнітний потік, тому велике збільшення потоку призведе до перегріву магнітопроводу і виходу його з ладу. При холостому ході трансформатора (тобто при розмиканні вторинної обмотки) магнітопровід буде неприпустимо перегріватися, крім того, збільшений (у порівнянні з номінальним) магнітний потік буде наводити у вторинній обмотці трансформатора е.р.с., яка дорівнює 500 В – 1000 В.

Отже, *режим холостого ходу є для вимірювального трансформатора струму аварійним, тому вторинна обмотка повинна бути замкнена коротко при протіканні електричного струму в первинній обмотці.* Для захисту персоналу корпус і вторинна обмотка трансформатора заземлюються.

Приклад. Однофазний лічильник активної енергії вимірює витрату активної електроенергії за поточний період та включений через вимірювальні трансформатори напруги і струму. Коефіцієнт трансформації трансформатора напруги дорівнює 600/100, а трансформатора струму дорівнює 50/5. Показання лічильника наприкінці місяця склали 1000 *кВт·год.*, а на початку місяця - 500 *кВт·год.* Визначити дійсну витрату активної електроенергії за поточний період.

Розв'язання: Дійсна витрата активної електроенергії за поточний місяць дорівнює

$$\begin{aligned}\Delta W &= k_{T.C} \cdot k_{T.H} \cdot (W_{\text{кінець}} - W_{\text{початок}}) \\ &= 600/100 \cdot 50/5 \cdot (1000 - 500) = 30 \text{кВт} \cdot \text{год.}\end{aligned}$$

2 Завдання для домашньої підготовки

2.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 6 [1, с.173 - 196,3, с.94 - 96, 114 - 118, 5, с.100 - 102,107 - 110, 7, с.227-260] .

2.2 Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в методичних вказівках на с. 126-128. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи в таблиці 1.

2.3 Виконати задачу для самостійного опрацювання, яка наведена в методичних вказівках на с. 128-129. Вибір варіанту задачі здійснити за останньою цифрою залікової книжки студента.

3 Порядок виконання роботи

3.1 Візуально ознайомитися з вимірювальними трансформаторами напруги та струму та з електровимірювальними приладами, які застосовуються в роботі.

3.2 Зібрати схему електричну принципову експериментальної установки для дослідження роботи вимірювальних трансформаторів струму та напруги – рисунок 1.

3.3 Визначити сталі амперметра, вольтметра та ватметра з урахуванням коефіцієнтів трансформації вимірювальних трансформаторів струму та напруги за формулами (1)...(3) звіту роботи.

3.4 Результати розрахунків навести в таблиці 2.

3.5 Здійснити вимірювання величин вторинних величин струму, напруги та активної потужності за показаннями амперметра, вольтметра та ватметра відповідно.

3.6 Результати вимірювань навести в таблиці 3.

3.7 Розрахувати величини первинного струму, первинної напруги та первинної активної потужності в однофазному колі змінного струму.

3.8 Результати розрахунків навести в таблиці 3.

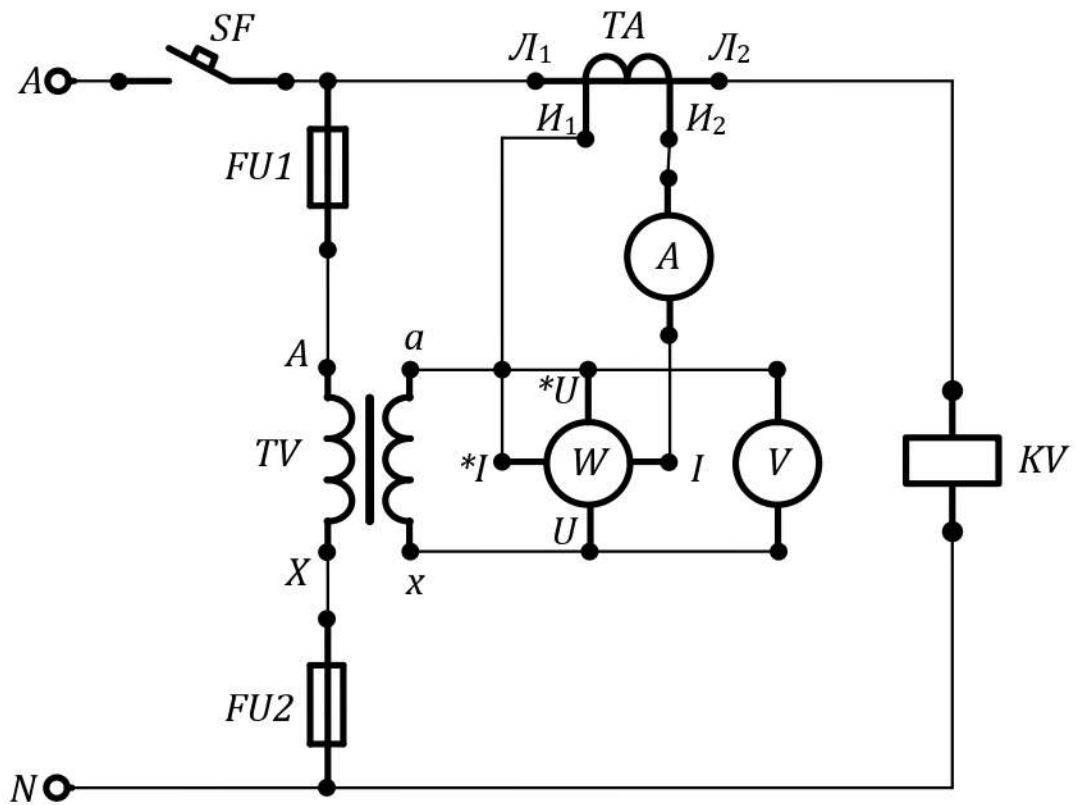
3.9 За результатами досліджень сформулювати висновок щодо значущості вимірювальних трансформаторів струму та напруги при роботі з електровимірювальними приладами.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	



KV - котушка індуктивності; SF – автоматичний вимикач;

V - вольтметр; A – амперметр; W – ватметр;

TA - вимірювальний трансформатор струму;

TV - вимірювальний трансформатор напруги

3. Рисунок 1- Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження роботи вимірювальних трансформаторів струму та напруги

4. Таблиця 2 - Результати розрахунків сталих приладів

Прилад	Сталі приладів		
	$C_A, A / \text{поділ}$	$C_V, B / \text{поділ}$	$C_P, Вт / \text{поділ}$
Амперметр		-	-
Вольтметр	-		-
Ватметр	-	-	

Примітка до таблиці: Визначення сталих приладів з урахуванням коефіцієнтів трансформації вимірювальних трансформаторів:

- для амперметра

$$C_A = k_{T.C} \cdot \frac{I_{H.A}}{K}, \quad (1)$$

де $I_{H.A}$ – верхня межа вимірювання амперметра, A ;

K – максимальний показ амперметра, *поділ*.

$k_{T.C}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора струму;

- для вольтметра

$$C_U = k_{T.H} \cdot \frac{U_{H.V}}{K}, \quad (2)$$

де $U_{H.V}$ – верхня межа вимірювання вольтметра, A ;

K – максимальний показ вольтметра, *поділ*.

$k_{T.H}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора напруги;

- для ватметра

$$C_P = k_{T.H} \cdot k_{T.A} \cdot \frac{U_{H.V} \cdot I_{H.A}}{K}, \quad (3)$$

де $I_{H.A}$ – верхня межа вимірювання ватметра за струмом, A ;

$U_{H.V}$ – верхня межа вимірювання ватметра за напругою, B ;

K – максимальний показ ватметра.

5. Таблиця 3 - Результати вимірювань та розрахунків

Прилад	Виміряні вторинні величини			Розраховані первинні величини		
	U_2, B	I_2, A	P_2, Bm	U_1, B	I_1, A	P_1, Bm
Амперметр	-		-	-		-
Вольтметр		-	-		-	-
Ватметр	-	-		-	-	

6. Висновок щодо значущості вимірювальних трансформаторів струму та напруги.

Контрольні запитання

1. Для чого призначений вимірювальний трансформатор напруги?

2. Як визначити коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора напруги?

3. Складіть і опишіть принципову електричну схему включення вольтметра у високовольтну мережу за допомогою вимірювального трансформатора напруги.

4. Для чого призначений вимірювальний трансформатор струму?

5. Як визначити коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора струму?

6. Складіть і опишіть принципову електричну схему включення амперметра до однофазного кола змінного струму через вимірювальний трансформатор струму.

7. Складіть і опишіть принципову електричну схему включення амперметра, вольтметра та ватметра до однофазного кола змінного струму через вимірювальні трансформатори струму та напруги.

Тестові контрольні завдання

для самоаналізу до лабораторної роботи 10

1. Для чого призначений вимірювальний трансформатор напруги?

1 для розширення меж вимірювання амперметрів

2 для збільшення напруги

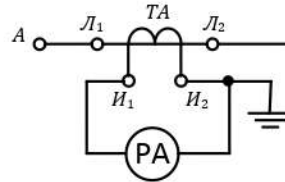
3 для зменшення напруги

4 для розширення меж вимірювання вольтметрів, обмоток напруги ватметрів та лічильників

2. Для чого призначений вимірювальний трансформатор струму?

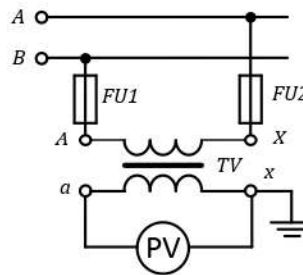
- 1 для розширення меж вимірювання амперметрів, струмових обмоток ватметрів та лічильників
- 2 для збільшення струму
- 3 для зменшення струму
- 4 для розширення меж вимірювання вольтметрів

3. Яке призначення наведеної схеми?



- 1 схема включення вольтметра через вимірювальний трансформатор напруги
- 2 схема включення однофазного лічильника через вимірювальний трансформатор струму
- 3 схема включення ватметра через вимірювальні трансформатори напруги та струму
- 4 схема включення амперметра через вимірювальний трансформатор струму

4. Яке призначення наведеної схеми?



- 1 схема включення вольтметра через вимірювальний трансформатор напруги
- 2 схема включення однофазного лічильника через вимірювальний трансформатор напруги
- 3 схема включення ватметра через вимірювальні трансформатори напруги та струму
- 4 схема включення амперметра через вимірювальний трансформатор струму

5. В яких умовах працює вимірювальний трансформатор струму?

- 1 в умовах, які наближені до холостого ходу
- 2 в умовах перевантаження
- 3 в умовах, які наближені до короткого замикання
- 4 в звичайних умовах

6. Чому повинна дорівнювати величина сили струму в однофазному колі змінного струму, якщо амперметр до кола включений через вимірювальний транс-

форматор струму з коефіцієнтом трансформації 10/5, а показ приладу дорівнює 4,0 А?

- | | | | |
|---|-------|---|-------|
| 1 | 4,0 А | 3 | 3,0 А |
| 2 | 8,0 А | 4 | 5 А |

7. Однофазний індукційний лічильник активної енергії включений до однофазного кола змінного струму через вимірювальні трансформатори струму 50/5 та напруги 500/200. Показання індукційного лічильника дорівнюють: на початку місяця 50 $\text{kVt}\cdot\text{год.}$, а наприкінці місяця – 160 $\text{kVt}\cdot\text{год.}$. Визначити дійсну витрату активної енергії, $\text{kVt}\cdot\text{год.}$, за поточний період.

- | | | | |
|---|----------------------------------|---|---------------------------------|
| 1 | 2750 $\text{kVt}\cdot\text{год}$ | 3 | 160 $\text{kVt}\cdot\text{год}$ |
| 2 | 110 $\text{kVt}\cdot\text{год}$ | 4 | 50 $\text{kVt}\cdot\text{год}$ |

8. До однофазного кола змінного струму включений феродинамічний ватметр з границею вимірювання за струмом 5 А та з границею вимірювання за напругою 300 В, зі шкалою на 150 поділок через вимірювальні трансформатори струму 10/5 і напруги 500/100. Визначити активну потужність, kVt , однофазного кола змінного струму, якщо показ приладу дорівнює «70».

- | | | | |
|---|------------------|---|------------------|
| 1 | 3,5 kVt | 3 | 5,0 kVt |
| 2 | 1,0 kVt | 4 | 7,0 kVt |

Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 10

Умова: Для вимірювання електричних величин в однофазному колі змінного струму: сили струму, напруги та активної потужності, в розпорядженні оператора є три електровимірювальні прилади: амперметр А, вольтметр V, ватметр W відповідно. Електровимірювальні прилади до електричного кола включені через вимірювальні трансформатори струму та напруги.

Завдання:

1. Визначити сталі амперметра, вольтметра, ватметра.
2. Визначити показання електровимірювальних приладів при вимірюванні електричних величин згідно завданню – вторинні величини.

3. Визначити силу струму, напругу та активну потужність в електричному колі – первинні величини.

4. Розробити схему електричну принципову однофазного електричного кола включення електровимірювальних приладів через вимірювальні трансформатори струми на напруги для вимірюванні електричних величин: сили струму, напруги, активної потужності.

Варіанти вихідних даних до виконання задачі наведені в таблиці.

Таблиця - Варіанти вихідних даних до виконання задачі для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 10

Варіант	Вихідні дані				
	амперметр	вольтметр	ватметр	вимірювальний трансформатор	
				струму IA	напруги TV
1	$I_H = 5 \text{ A};$ $K = 100;$ $K_i = 90$	$U_H = 75 \text{ B};$ $K = 150;$ $K_i = 145$	$I_H = 5 \text{ A};$ $U_H = 75 \text{ B};$ $K = 75; K_i = 40$	$k_{T.C} = 20/5$	$k_{T.H} =$ $380/100$
2	$I_H = 2,5 \text{ A};$ $K = 100;$ $K_i = 95$	$U_H = 150 \text{ B};$ $K = 150;$ $K_i = 140$	$I_H = 2,5 \text{ A};$ $U_H = 150 \text{ B};$ $K = 150; K_i = 105$	$k_{T.C} = 10/5$	$k_{T.H} =$ $500/100$
3	$I_H = 5 \text{ A};$ $K = 100;$ $K_i = 75$	$U_H = 300 \text{ B}$ $K = 150;$ $K_i = 140$	$I_H = 5 \text{ A};$ $U_H = 300 \text{ B};$ $K = 150; K_i = 90$	$k_{T.C} = 40/5$	$k_{T.H} =$ $600/100$
4	$I_H = 5 \text{ A};$ $K = 100;$ $K_i = 93$	$U_H = 75 \text{ B};$ $K = 150;$ $K_i = 60$	$I_H = 5 \text{ A};$ $U_H = 150 \text{ B};$ $K = 150; K_i = 35$	$k_{T.C} = 80/5$	$k_{T.H} =$ 500 $\frac{380}{\sqrt{3}}$
5	$I_H = 5 \text{ A};$ $K = 100;$ $K_i = 53$	$U_H = 150 \text{ B};$ $K = 75;$ $K_i = 70$	$I_H = 5 \text{ A};$ $U_H = 150 \text{ B};$ $K = 150; K_i = 70$	$k_{T.C} = 20/5$	$k_{T.H} =$ $500/100$
6	$I_H = 5 \text{ A};$ $K = 100;$ $K_i = 86$	$U_H = 450 \text{ B};$ $K = 150;$ $K_i = 70$	$I_H = 5 \text{ A};$ $U_H = 300 \text{ B};$ $K = 150; K_i = 85$	$k_{T.C} = 50/5$	$k_{T.H} =$ $600/380$
7	$I_H = 5 \text{ A};$ $K = 100;$ $K_i = 98$	$U_H = 600 \text{ B};$ $K = 150;$ $K_i = 50$	$I_H = 2,5 \text{ A};$ $U_H = 450 \text{ B};$ $K = 150; K_i = 90$	$k_{T.C} = 100/5$	$k_{T.H} =$ $1000/100$
8	$I_H = 10 \text{ A};$ $K = 100;$ $K_i = 91$	$U_H = 75 \text{ B};$ $K = 150;$ $K_i = 140$	$I_H = 10 \text{ A};$ $U_H = 300 \text{ B};$ $K = 150;$ $K_i = 110$	$k_{T.C} = 75/5$	$k_{T.H} = \frac{500}{380/3}$

Лабораторна робота 11
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи:

Придбання практичних навичок при роботі з двигуном постійного струму паралельного збудження.

1 Основні теоретичні положення

Машина постійного струму містить статор і якір. Нерухома частина машини має назву *статор (індуктор)*, а обертова частина називається *якорем*, в ній виникає е.р.с. *Статор* – це станина, всередині якої встановлені полюси. Осердя полюса набирається з листів електротехнічної сталі. *Обмотка полюсів* – це обмотка збудження. Статор створює основний магнітний потік. Затискачі обмотки збудження виводяться на клемну коробку машини і позначаються буквами **Ш1** і **Ш2**. Осердя якоря набирається з кілець електротехнічної сталі. У пази осердя вкладається обмотка якоря. Окремі секції обмотки якоря з'єднуються з пластинами колектора, кожна пластина якого ізольована. На колекторні пластини накладаються *щітки*, затискачі яких виводять на клемну коробку і позначають буквами **Я1** і **Я2**. Сукупність таких колекторних пластин, які дозволяють при наявності змінної е.р.с. у якірній обмотці отримувати постійну полярність щіток, називають *колектором*. Напруга з колектора знімається за допомогою *щіткового механізму*.

Отже, призначення колектора і щіткового механізму в генераторі - це спрямлення електрорушійної сили (тобто перетворення змінної е.р.с. у постійну е.р.с.). Статор та якір машини відділені один від одного мінімальним *повітряним зазором*.

Якщо машина постійного струму працює як двигун, то за допомогою щіток на пластини колектора подається напруга. Двигун постійного струму (ДПС) перетворює електричну енергію на механічну. ЕРС якоря протидіє зовнішній напрузі, що переборює і падіння напруги в обмотці якоря.

Основне рівняння ДПС має вигляд

$$U = E + I \sum R_{я}. \quad (1)$$

Будова двигуна постійного струму аналогічна побудові генератора постійного струму. Властивість електричних машин працювати як генератором, так і електродвигуном має назву *оборотність*. Відмінністю двигуна від генератора постійного струму є призначення колектора і щіткового механізму. В електродвигуні – це зміна напрямку струму в провідниках обмотки якоря, тобто збереження напрямку обертання якоря електродвигуна.

Принцип дії двигуна наступний: в обмотці збудження статора створюється основне магнітне поле. До обмотки якоря підводиться постійна напруга й у ній протікає електричний струм. При протіканні струму в обмотці якоря спостерігається явище електромагнітної сили. Сили, які діють на провідники обмотки якоря, створюють обертаючий момент і якорь двигуна обертається. При обертанні якоря обмотка якоря перетинає магнітне поле, тобто провідний контур (обмотка якоря) пронизується змінним магнітним полем. Тому в ній виникає явище електромагнітної індукції і наводиться е.р.с., протилежна напрямку струму (противо-е.р.с.). У кожному з елементів конструкції електродвигуна протікають такі ж самі фізичні явища та процеси, як і в генераторі, за винятком, явища електромагнітної сили, яка діє на провідник зі струмом та замість гальмівної стає рушійною.

Енергетична діаграма електродвигуна аналогічна енергетичній діаграмі генератора, але представлена в зворотному порядку – рисунок 1.

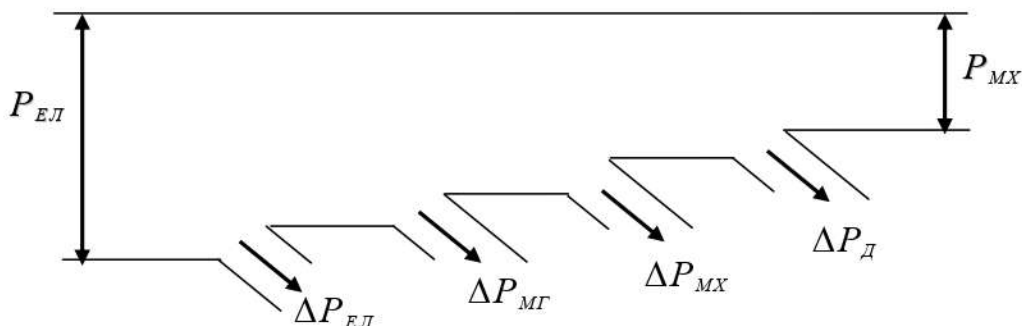


Рисунок 1 - Енергетична діаграма ДПС

Обертаючий момент на валу двигуна (M) дорівнює моменту опору механічного навантаження (M_{HAB}) згідно виразу

$$M = M_{HAB} . \quad (2)$$

Момент, який розвивається на валу електродвигуна, дорівнює

$$M = k\Phi I_{я} . \quad (3)$$

Механічна потужність на валу електродвигуна дорівнює

$$P_{MX} = M \omega , \quad (4)$$

де ω – кутова швидкість обертання вала електродвигуна, рад/с.

Електрична потужність, яка споживається електродвигуном з мережі, дорівнює

$$P_{EL} = P_{MX} + \Delta P_{\Sigma} . \quad (5)$$

Коефіцієнт корисної дії електродвигуна дорівнює

$$\eta = \frac{P_{MX}}{P_{EL}} = \frac{P_{EL} - \Delta P_{\Sigma}}{P_{EL}} = 1 - \frac{\Delta P_{\Sigma}}{P_{EL}} . \quad (6)$$

Приклад

Якір електродвигуна обертається зі швидкістю 1000 об/хв. До електродвигуна підведена напруга 200 В. Електродвигун споживає струм силою 5 А. Коефіцієнт корисної дії електродвигуна дорівнює 89 %. Визначити потужність на валу та обертаючий момент електродвигуна.

Розв'язання:

1. Потужність на валу електродвигуна дорівнює

$$P_{MX} = U \cdot I \cdot \eta = 200 \cdot 5 \cdot 0,89 = 890 \text{ Вт} .$$

2. Кутова швидкість обертання вала електродвигуна дорівнює

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1000}{60} = 105 \text{ рад/с} .$$

3. Обертаючий момент електродвигуна дорівнює

$$M = \frac{P_{MX}}{\omega} = \frac{890}{105} = 8,5 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

2 Завдання для домашньої підготовки

2.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 7 [1, с.199 - 228, 3, с.166 - 185, 5, с.203 - 216, 7, с. 192]

2.2 Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в методичних вказівках на с. 138-139. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи в таблиці 1.

2.3 Виконати задачу для самостійного опрацювання, яка наведена в методичних вказівках на с. 139-140. Вибір варіанту задачі здійснити за останньою цифрою залікової книжки студента.

3 Порядок виконання роботи

3.1 Візуально ознайомитися з двигуном постійного струму паралельного збудження та електровимірювальними приладами, які застосовуються в роботі.

3.2 Паспортні дані двигуна постійного струму паралельного збудження навести в таблиці 2.

3.3 Паспортні дані електровимірювальних приладів навести в таблиці 3.

3.4 Зібрати схему електричну принципову експериментальної установки для дослідження роботи двигуна постійного струму паралельного збудження – рисунок 1.

3.5 Згідно схеми електричної принципової експериментальної установки скласти розрахункову схему електричного кола з двигуном постійного струму – рисунок 2.

3.6 Визначити номінальне значення сили струму у колі якоря та номінальне значення опору пускового реостата.

3.7 Здійснити вимірювання сили струму, який споживає двигун та сили струму збудження, також здійснити вимірювання напруги на затискачах двигуна, при цьому слід опір пускового реостата необхідно встановити в положення відповідно до значення, яке визначене в пункті 3.6.

3.8 Результати вимірювань занести в таблицю 4.

3.9 За результатами експериментальних досліджень та розрахунків визначити величини:

- величину номінальної кутової швидкості обертання двигуна;
- величину робочої кутової швидкості обертання двигуна;
- величину магнітного потоку двигуна;
- величину опору реостата, який необхідно ввести в коло якоря, щоб досягти робочої частоти обертання;
- величину потужності, яку споживає двигун з мережі живлення в номінальному режимі;
- кількість електроенергії, яку споживає двигун за певний час роботи.

3.10 Результати розрахунків занести в таблицю 4.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

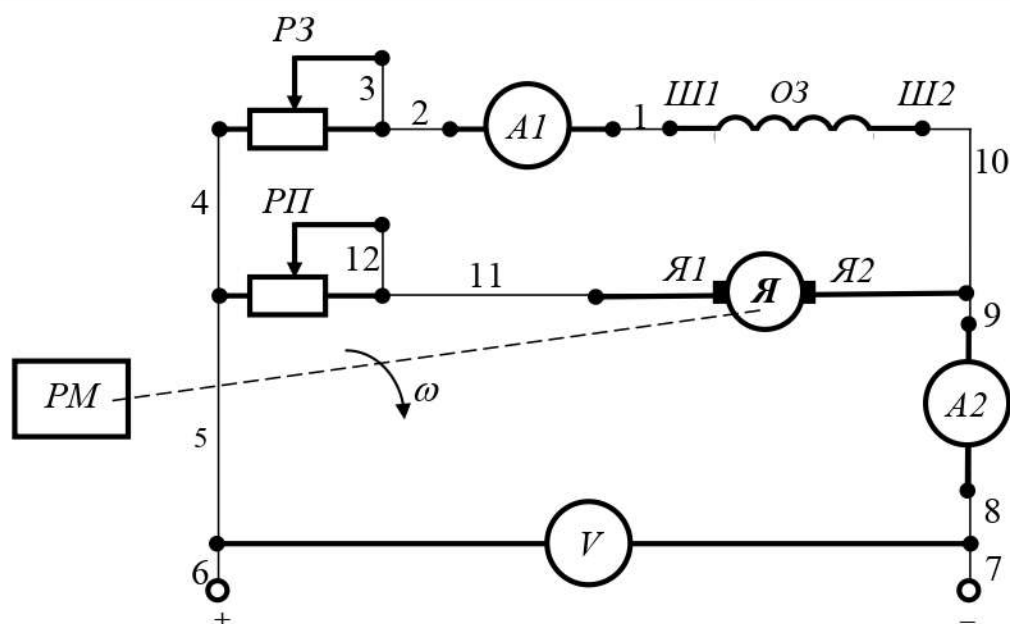
Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

3. Таблиця 2 - Паспортні дані ДПС паралельного збудження

Найменування	Величина
Тип двигуна	
Номінальна потужність, P_H , кВт	
Номінальна напруга, U_H , В	
Номінальний коефіцієнт корисної дії, η_H , %	
Номінальна частота обертання, n_H , об/хв	
Робоча частота обертання, n , об/хв	
Номінальний струм двигуна, I_H , А	
Номінальний струм збудження двигуна, $I_{зб}$, А	
Опір обмотки якоря двигуна, R_j , Ом	

4. Таблиця 3 - Паспортні дані приладів

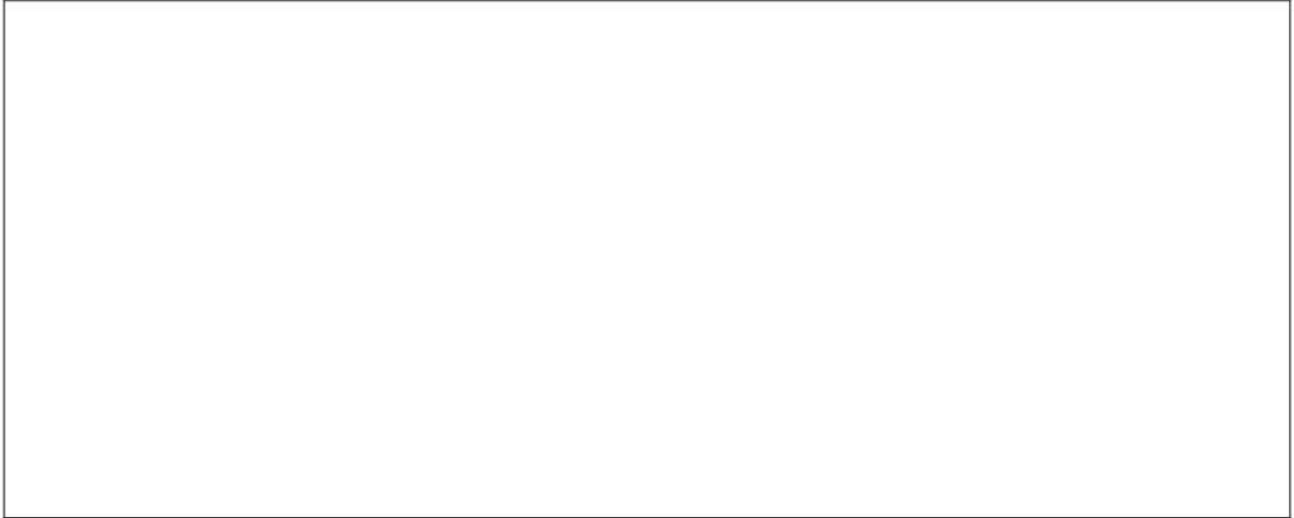
Найменування позначення	Електровимірювальний прилад		
	PV	PA1	PA2
Тип			
Система			
Межа вимірювання, В			
Рід струму			
Клас точності			
Спосіб установки			
Умови експлуатації			
Напруга випробування, кВ			
Номінальна частота чи розширений діапазон частот, Гц			
Захист від зовнішніх полів			
Стала приладу			



5. Рисунок 1 – Схема експериментальної установки

для дослідження роботи двигуна постійного струму паралельного збудження

Примітка до рисунку 1: *PM* – робоча машина; *OЗ* – обмотка збудження; *PЗ* - регулювальний реостат; *РП* - пусковий реостат; *A1* – амперметр для вимірювання сили струму збудження; *A2* – амперметр для вимірювання сили струму двигуна; *V* - вольтметр зі щупами.



6. Рисунок 2 – Розрахункова схема електричного кола з двигуном постійного струму паралельного збудження

7. Визначення згідно розрахункової схеми номінального значення сили струму у колі якоря $I_{ЯН}$, А, з виразу

$$I_H - I_{зб} - I_{ЯН} = 0; \quad I_{ЯН} = \quad (1)$$

8. Визначення згідно розрахункової схеми номінального значення опору пускового реостата $R_{РП}$, Ом, з виразу

$$U_H - R_{я} \cdot I_{ЯН} - R_{РП} \cdot I_{ЯН} = 0; \quad R_{РП} = \quad (2)$$

9. Таблиця 4 – Результати вимірювань

Фізичні величини, що характеризують роботу двигуна постійного струму		
I_H, A	U_H, B	$I_{зб}, A$

10. Алгоритм визначення величин за результатами досліджень ДПС:

- номінальна кутова швидкість обертання двигуна

$$\omega_H = \frac{2\pi \cdot n_H}{60}; \quad (3)$$

- робоча кутова швидкість обертання двигуна

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}; \quad (4)$$

- магнітний потік двигуна

$$\omega_H = \frac{U_H - R_{Я} \cdot I_{Я}}{k\Phi}; \quad (5)$$

- опір реостата, який необхідно ввести в коло якоря, щоб досягти робочої частоти обертання

$$\omega_H = \frac{U_H - (R_{Я} + R'_{РП}) \cdot I_{Я}}{k\Phi}; \quad (6)$$

- потужність, яку споживає двигун з мережі живлення в номінальному режимі

$$P_{1H} = \frac{P_H}{\eta_H}; \quad (7)$$

- кількість електроенергії, яку споживає двигун за певний час роботи

$$W_H = P_{1H} \cdot t. \quad (8)$$

11. Таблиця 5 – Результати розрахунків

$I_{Я}, A$	$R_{РП}, Ом$	$\omega, рад/с$	$k\Phi, Вб$	$R'_{РП}, Ом$	$P_{1H}, Вт$	$W_H,$ $кВт \cdot год$

Контрольні запитання

1. Яка електрична машина має назву двигун постійного струму?
2. Що таке оборотність електричної машини постійного струму?
3. Які Ви знаєте види збудження двигуна постійного струму?

4. Опишіть конструктивну схему двигуна постійного струму паралельного збудження.
5. Опишіть принцип дії двигуна постійного струму паралельного збудження.
6. Яке призначення колектора та щіткового механізму в двигуні постійного струму?
7. Складіть енергетичну діаграму двигуна постійного струму з розшифрованою літерних позначень.
8. Запишіть і розшифруйте вираз моменту, який розвивається електродвигуном постійного струму.
9. Запишіть і розшифруйте вираз механічної потужності на валу електродвигуна постійного струму.
10. Запишіть і розшифруйте вираз електричної потужності, яку споживає електродвигун постійного струму.
11. Як визначити коефіцієнт корисної дії двигуна постійного струму?

Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лабораторної роботи 11

1. Що таке двигун постійного струму?

- 1 електрична машина, яка призначена для перетворення електричної енергії в механічну енергію
- 2 електрична машина, яка призначена для перетворення механічної енергії обертового вала в електричну енергію
- 3 електрична машина, яка призначена для перетворення механічної енергії обертового вала в теплову енергію
- 4 асинхронний електродвигун з фазним ротором

2. Яка частина машини постійного струму є нерухомою?

- 1 статор (індуктор)
- 2 якір
- 3 колектор
- 4 щітки

3. Що таке якір машини постійного струму?

- 1 це нерухома частина машини
- 2 це полюс машини
- 3 це обертова частина машини
- 4 це обмотка машини

4. Яке явище є основою принципу дії двигуна постійного струму?
- 1 явище електромагнітної індукції
 - 2 явище електричного струму в обмотці якоря
 - 3 явище тертя між колектором та щітками
 - 4 явище теплової дії струму в обмотці якоря
5. Яка властивість електричних машин характеризує їх здатність працювати як генератором, так і електродвигуном?
- 1 узгодженість
 - 2 не оборотність
 - 3 збіжність
 - 4 оборотність
6. Оберіть аналітичний вираз для визначення коефіцієнту корисної дії двигуна постійного струму?
- 1 $P_{ЕЛ} = P_{МХ} - P_{\Sigma}$
 - 2 $\eta = \frac{P_{ЕЛ}}{P_{МХ}} = \frac{P_{МХ} - \Delta P_{\Sigma}}{P_{МХ}} = 1 - \frac{\Delta P_{\Sigma}}{P_{МХ}}$
 - 3 $\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{МХ} + \Delta P_{ЕЛ} + \Delta P_{МГ} + \Delta P_{Д}$
 - 4 $\eta = \frac{P_{МХ}}{P_{ЕЛ}} = \frac{P_{ЕЛ} - \Delta P_{\Sigma}}{P_{ЕЛ}} = 1 - \frac{\Delta P_{\Sigma}}{P_{ЕЛ}}$
7. Енергетична діаграма двигуна постійного струму – це графічне зображення перетворення в електричної енергії в механічну енергію?
- 1 вірно
 - 2 не вірно
8. Що таке незалежне збудження машини постійного струму?
- 1 таке збудження машини, коли її обмотка збудження живиться струмом від якоря самої машини
 - 2 таке збудження машини, коли її обмотка збудження живиться постійним струмом від стороннього джерела
 - 3 таке збудження машини, коли її обмотку збудження підключають послідовно до затискачів якоря
 - 4 таке збудження машини, коли її обмотку збудження підключають до затискачів якоря

Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 11

Умова: Двигун постійного струму (ДПС) паралельного збудження приводить в обертання робочу машину. Паспортні дані наведені у вигляді: номінальна потужність, P_H , кВт; номінальна напруга, U_H , В; номінальний коефіцієнт

корисної дії, η_H ; номінальна частота обертання, n_H , об/хв.; номінальний струм двигуна, I_H , А; номінальний струм збудження, $I_{з.н}$, А; опір якірного кола, R_J , Ом.

Варіанти вихідних даних до виконання задачі наведені в таблиці.

Таблиця - Варіанти вихідних даних до виконання задачі для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 11

Варіанти	Вихідні дані							Завдання
	P_H , кВт	U_H , В	η_H	n_H , об/хв	I_H , А	$I_{з.н}$, А	R_J , Ом	
1	0,95	110	0,67	2820	12,8	1	1	Визначити: - кутову швидкість обертання вала робочої машини при номінальному режимі роботи; - момент опору робочої машини; - потужність, яку споживає електродвигун з мережі; - втрати потужності на нагрівання електродвигуна й віддачу в навколишнє середовище; - силу струму в обмотці якоря; - втрати потужності в обмотці якоря; - втрати потужності в обмотці збудження при номінальному режимі роботи
2	0,37	110	0,64	1420	5,21	2	1	
3	0,95	220	0,68	2820	6,35	1,5	1,2	
4	0,37	220	0,64	1420	2,61	1	1,2	
5	2,2	110	0,67	2860	29,6	3	1	
6	0,85	110	0,64	1430	12,0	2	1	
7	2,2	220	0,68	2860	14,7	2	1,2	
8	0,85	220	0,64	1430	6,0	1,5	1,2	
9	3,1	110	0,67	2860	41,7	1	1	
10	1,3	110	0,64	1430	26,2	1	1	

Лабораторна робота 12

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Мета роботи:

Придбання практичних навичок при роботі з трифазним асинхронним електродвигуном з короткозамкненим ротором.

1 Основні теоретичні положення

Трифазний асинхронний електродвигун (АД) з короткозамкненим ротором (к.з) має дві основні частини – статор і ротор, які відділені одна від одної мінімальним повітряним зазором.

Статор (нерухома частина) АД – це порожній коаксіальний циліндр, набраний з листів електротехнічної сталі. В його пази укладені три обмотки, виконані з мідного проводу одного перетину й зсунуті в просторі на кут 120° . Вони мають назву фазні обмотки або фазами АД. Початки ($U1$, $V1$, $W1$) та кінці ($U2$, $V2$, $W2$) фаз електродвигуна (тобто обмотки статора) виводять на клемну коробку (в машинах розроблених до 1987 р. виводи фазних обмоток статора позначали літерами $C1-C4$, $C2-C5$, $C3-C6$). Статор призначений для створення магнітного поля в АД.

Ротор (обертова частина) АД – це циліндр, набраний з листів електротехнічної сталі, у пази якого залита обмотка. Провідники (стрижні) обмотки ротора мають однаковий перетин, виконані з алюмінієвого матеріалу та замкнені накоротко за допомогою кілець. Магнітопровід ротора кріпиться на валу з вентилятором (для охолодження) та підшипниками, які запресовують у підшипникові щити, які кріпляться до корпусу електродвигуна. Ротор призначений для надавання руху робочій машині.

Принцип дії АД: обертове магнітне поле створюють три обмотки статора. Для одержання обертового магнітного поля необхідно, щоб ці обмотки на колі статора були розташовані під кутом 120° по відношенню одна до одної та одержували живлення від симетричного трифазного джерела. В АД така умова виконується, в результаті чого при підключенні його до джерела виникає обертове

магнітне поле. Це поле наводить в обмотках ротора е.р.с., під дією яких у них протікають струми. На провідники обмотки ротора зі струмом, які знаходяться в магнітному полі, діє механічна сила, в результаті чого виникає обертаючий момент і ротор починає рухатися.

Швидкість обертання магнітного поля є синхронною і залежить від частоти струму в обмотці статора та кількості пар магнітних полюсів статора за законом

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p}, \quad (1)$$

де n_0 – швидкість обертання магнітного поля, *об/хв*;

f – частота струму в обмотці статора електродвигуна, *Гц*;

p – кількість пар полюсів асинхронного електродвигуна.

При частоті струму 50 Гц можливі наступні синхронні швидкості обертання: 3000 об/хв; 1500 об/хв; 1000 об/хв; 750 об/хв; 600 об/хв; 500 об/хв; 375 об/хв.

Ротор АД обертається повільніше магнітного поля, тобто магнітне поле як би «ковзає» відносно ротора. Відносну різницю між швидкостями магнітного поля і ротора називають ковзанням, величина якого визначається за виразом

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}, \quad (2)$$

де n_0 – швидкість обертання магнітного поля, *об/хв*;

n – швидкість обертання ротора, *об/хв*.

Ковзання можна виразити через кутові швидкості за виразом

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, \quad (3)$$

де ω_0 – кутова швидкість обертання магнітного поля, *об/хв*;

ω – кутова швидкість обертання ротора, *об/хв*.

При роботі АД споживає з мережі електричну енергію, а віддає робочій машині механічну енергію. При роботі електродвигуна відбуваються втрати

енергії у вигляді тепла в елементах конструкції електродвигуна: втрати в обмотках, втрати в магнітопроводі, втрати в механічній системі та додаткові втрати.

На рисунку 1 наведена енергетична діаграма, яка показує процес перетворення електричної енергії в механічну.

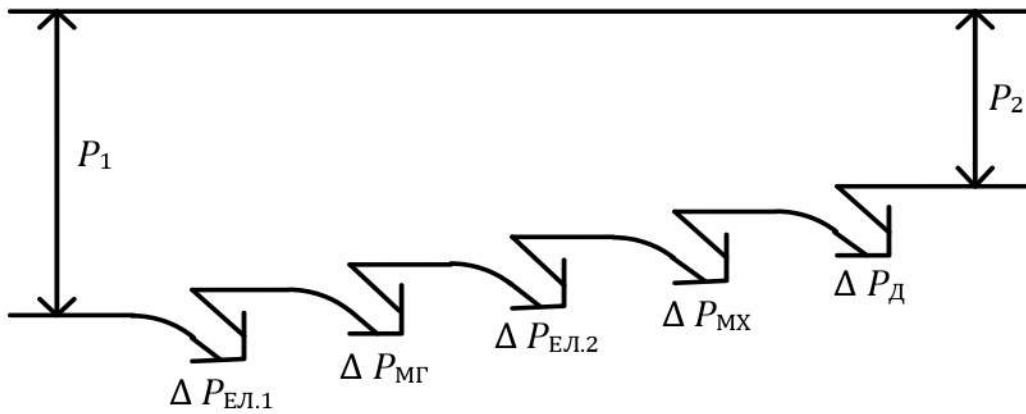


Рисунок 1 – Енергетична діаграма асинхронного електродвигуна

Енергетична діаграма складається з таких складових: P_1 – електрична потужність, яку споживає електродвигун, $Вт$; $\Delta P_{EЛ.1}$ – електричні втрати в обмотці статора, $Вт$; $\Delta P_{MГ}$ – втрати в магнітопроводі електродвигуна, $Вт$; $\Delta P_{EЛ.2}$ – електричні втрати в обмотці ротора, $Вт$; $\Delta P_{MХ}$ – механічні втрати, $Вт$; $\Delta P_Д$ – додаткові втрати, $Вт$; P_2 – механічна потужність, яка віддається електродвигуном робочій машині, $Вт$.

Суми втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні дорівнюють:

- постійним втратам в АД

$$\Delta P_{const} = \Delta P_{MГ} + \Delta P_{MХ}; \quad (4)$$

- змінним втратам в АД

$$\Delta P_{var} = \Delta P_{EЛ.1} + \Delta P_{EЛ.2} + \Delta P_Д. \quad (5)$$

Коефіцієнт корисної дії АД з короткозамкненим ротором дорівнює

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = 1 - \frac{\Delta P_{\Sigma}}{P_1} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Коефіцієнт потужності АД дорівнює

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1}. \quad (7)$$

Механічна характеристика АД з короткозамкненим ротором – це залежність кутової швидкості обертання ротора електродвигуна від моменту на його валу $\omega = f(M)$ – рисунок 2.

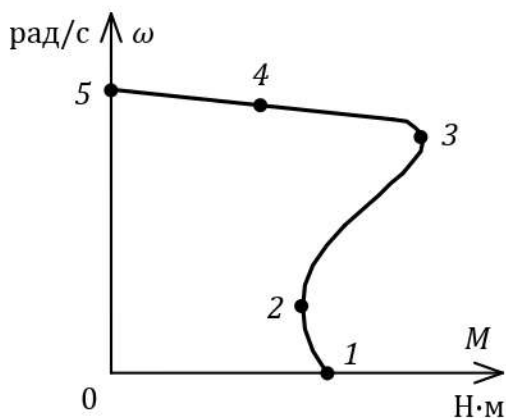


Рисунок 2 –
Основні точки механічної
характеристики АД

Розглянемо основні точки механічної характеристики АД - рисунок 2:

1) точка пуску електродвигуна:

$$\omega = 0 ; \quad M = M_{II};$$

2) точка мінімального моменту при пуску електродвигуна:

$$\omega = \omega_{MN}; \quad M = M_{MN};$$

3) точка критичної роботи електродвигуна:

$$\omega = \omega_{KP}; \quad M = M_{KP};$$

4) точка номінальної роботи електродвигуна:

$$\omega = \omega_H; \quad M = M_H;$$

5) точка ідеального холостого ходу електродвигуна:

$$\omega = \omega_0 ; \quad M = 0 .$$

Ці точки механічної характеристики можна розрахувати за паспортними та каталожними даними електродвигуна, для чого необхідні: номінальна потужність (P_{2H}); кількість пар полюсів (p); частота струму в живильній мережі (f); номінальна швидкість обертання (n_H); критичне ковзання (s_{KP}); мінімальне ковзання (s_{MN}); кратність критичного моменту (m_{KP}); кратність мінімального моменту (m_{MN}); кратність пускового моменту (m_{II}).

Кратності критичного, мінімального і пускового моментів – це відношення зазначених моментів до номінального моменту.

Алгоритм розрахунку величин для побудови механічної характеристики складається з наступних етапів:

- визначення синхронної кутової швидкості обертання за виразом

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot n_0}{60}; \quad (8)$$

- визначення номінальної кутової швидкості обертання за виразом

$$\omega_H = \omega_0 \cdot (1 - S_H); \quad (9)$$

- визначення критичної кутової швидкості обертання за виразом

$$\omega_{KP} = \omega_0 \cdot (1 - S_{KP}); \quad (11)$$

- визначення мінімальної кутової швидкості обертання за виразом

$$\omega_{MIN} = \omega_0 \cdot (1 - S_{MIN}); \quad (12)$$

- визначення номінального моменту за виразом

$$M_H = \frac{P_{2H}}{\omega_H}; \quad (13)$$

- визначення критичного моменту за виразом

$$M_{KP} = m_{KP} \cdot M_H; \quad (14)$$

- визначення мінімального моменту

$$M_{MIN} = m_{MIN} \cdot M_H; \quad (15)$$

- визначення пускового моменту

$$M_{II} = m_{II} \cdot M_H; \quad (16)$$

2 Завдання для домашньої підготовки

2.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 7 [1, с.233 - 255, 3, с.120 - 122, 5, с. 216 - 220].

2.2 Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в методичних вказівках на с. 149-151. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи в таблиці 1.

2.3 Виконати задачу для самостійного опрацювання, яка наведена в методичних вказівках на с. 152. Вибір варіанту задачі здійснити за останньою цифрою залікової книжки студента.

3 Порядок виконання роботи

3.1 Візуально ознайомитися з трифазним асинхронним електродвигуном, який застосовується в роботі.

3.2 Записати паспортні дані АД в таблицю 2.

3.3 Зібрати схему електричну принципову експериментальної установки для дослідження роботи трифазного АД з короткозамкненим ротором – рисунок 1.

3.4 Подати напругу живлення на схему та ознайомитися з роботою трифазного АД в номінальному режимі. Відключити схему триполюсним автоматичним вимикачем.

3.5 Розрахувати величини для побудови механічної характеристики трифазного АД:

- синхронну кутову швидкість обертання ω_0 ;
- номінальну кутову швидкість обертання ω_H ;
- критичну кутову швидкість обертання ω_{KP} ;
- мінімальну кутову швидкість обертання ω_{MIN} ;
- номінальний момент M_H ;
- критичний момент M_{KP} ;
- мінімальний момент M_{MIN} ;
- пусковий момент M_{II} .

3.6 Результати розрахунків навести в таблиці 3.

3.7 Побудувати в масштабі механічну характеристику електродвигуна – рисунок 2.

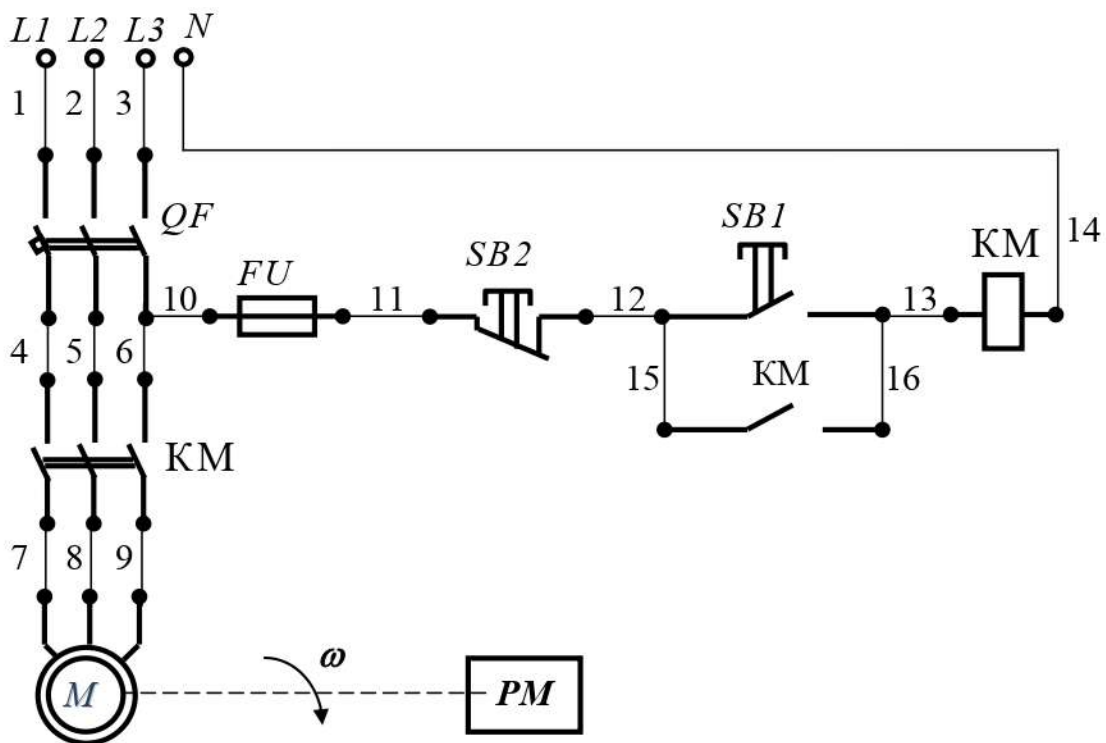
Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.
2. Таблица 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

3. Таблица 2 – Паспортні дані трифазного АД

$P_{\text{н}}$ Вт	$U_{\text{н}}$ В	$\eta_{\text{н}}$ %	$\cos \varphi_{\text{н}}$	$n_{\text{н}}$ об/хв	$m_{\text{кр}}$	$m_{\text{мін}}$	$m_{\text{п}}$	$\kappa_{\text{п}}$	маса, кг



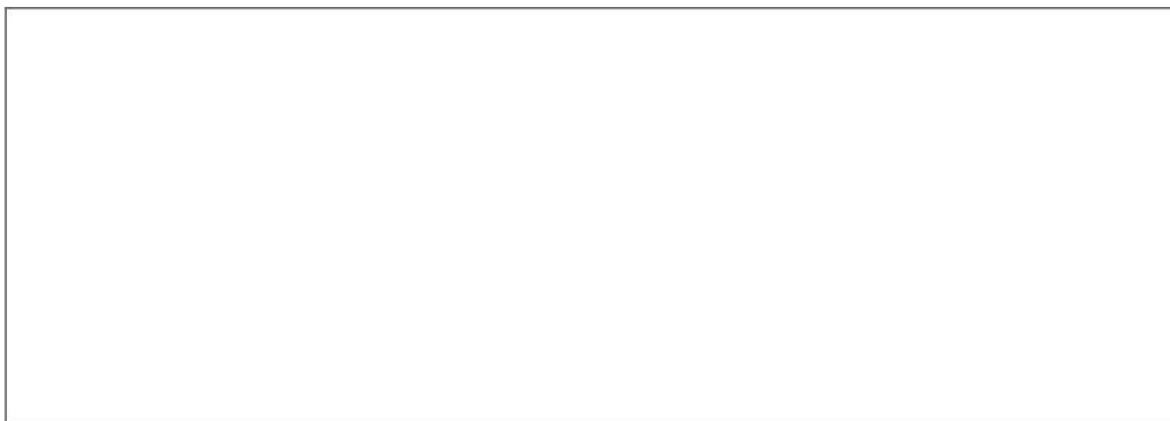
M – трифазний асинхронний електродвигун; PM – робоча машина;
 QF - трифазний автоматичний вимикач; KM - магнітний пускач;
 FU - плавкий запобіжник; $SB1$ – кнопка «Пуск»; $SB2$ - кнопка «Стоп»

4. Рисунок 1 - Схема експериментальної установки

для дослідження роботи трифазного асинхронного електродвигуна

5. Таблиця 2 – Результати розрахунків величин для побудови механічної-характеристики

$n_0,$ об/хв	$\omega_0,$ рад/с	$\omega_H,$ рад/с	s_H	$\omega_{KP},$ рад/с	$\omega_{MIN},$ рад/с	$M_H,$ Н·м	$M_{KP},$ Н·м	$M_{MIN},$ Н·м	$M_{П},$ Н·м



6. Рисунок 2 – Механічна характеристика трифазного АД: $\omega = f(M)$

Контрольні запитання

1. Поясніть призначення трифазного асинхронного електродвигуна.
2. Яке явище є основою принципу дії трифазного асинхронного електродвигуна з к.з. ротором?
3. Опишіть будову трифазного асинхронного електродвигуна з к.з. ротором.
4. Опишіть принцип дії трифазного асинхронного електродвигуна з к.з. ротором.
5. Як аналітично визначається кутова швидкість обертання магнітного поля АД?
6. Що таке ковзання трифазного асинхронного електродвигуна?
7. Як аналітично визначається ковзання трифазного асинхронного електродвигуна?

8. Асинхронний електродвигун підключений до три фазного три провідного кола змінного струму (частота 50 Гц) з однією парою полюсів працює в номінальному режимі з ковзанням 0,051. Визначити синхронну та номінальну швидкості обертання електродвигуна.

9. Наведіть енергетичну діаграму трифазного асинхронного електродвигуна з к.з. ротором та розшифруйте її літерні позначення.

10. Поясніть, що таке постійні втрати потужності в трифазному асинхронному електродвигуні?

11. Поясніть, що таке змінні втрати потужності в трифазному асинхронному електродвигуні?

12. Як аналітично визначається коефіцієнт корисної дії АД?

13. Як аналітично визначається коефіцієнт потужності АД?

14. Що таке механічна характеристика АД?

15. Що таке робоча точка механічної характеристики АД? Зобразіть якісно механічну характеристику трифазного асинхронного електродвигуна, покажіть на ній п'ять основних точок та вкажіть їх координати.

16. Які Ви знаєте кратності моментів АД?

17. Приведіть алгоритм розрахунку механічної характеристики АД за паспортними і каталожними даними.

Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лабораторної роботи 12

1. Яке призначення статора асинхронного електродвигуна?

- 1 перетворення змінної е.р.с. у постійну е.р.с.
- 2 створення магнітного поля
- 3 надавання руху робочій машині
- 4 створення електричного поля

2. Яке призначення ротора асинхронного електродвигуна?

- 1 перетворення змінної е.р.с. у постійну е.р.с.
- 2 створення магнітного поля
- 3 надавання руху робочій машині
- 4 створення електричного поля

3. Чому асинхронний електродвигун має назву «асинхронний»?

- 1 механічна характеристика електродвигуна є параболічною
- 2 можливе регулювання швидкості обертання
- 3 ротор і магнітне поле статора обертаються з однаковими швидкостями
- 4 ротор і магнітне поле статора обертаються з різними швидкостями

4. Оберіть аналітичний вираз для визначення ковзання асинхронного електродвигуна.

$$1 \quad n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} \quad 3 \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%$$

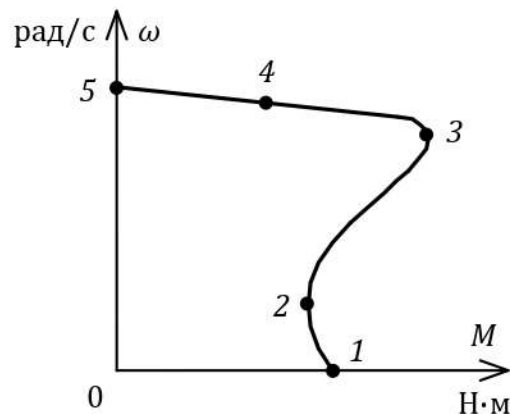
$$2 \quad \cos \varphi = \frac{P_1}{S_1} \quad 4 \quad s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_H}$$

5. Оберіть аналітичний вираз для визначення коефіцієнта корисної дії асинхронного електродвигуна.

$$1 \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% \quad 3 \quad \omega = f(M)$$

$$2 \quad \cos \varphi = \frac{P_1}{S_1} \quad 4 \quad s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_H}$$

6. Оберіть вірну назву наведеній графічній залежності



- 1 механічна характеристика асинхронного електродвигуна з основними точками
- 2 механічна характеристика асинхронного електродвигуна з фазним ротором
- 3 механічна характеристика синхронного електродвигуна
- 4 лінійно-зростаюча характеристика робочої машини

7. Для реверсування асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором необхідно змінити місцями два будь-яких проводи з трьох, якими до обмоток статора підводиться напруга?

- 1 не вірно
- 2 вірно

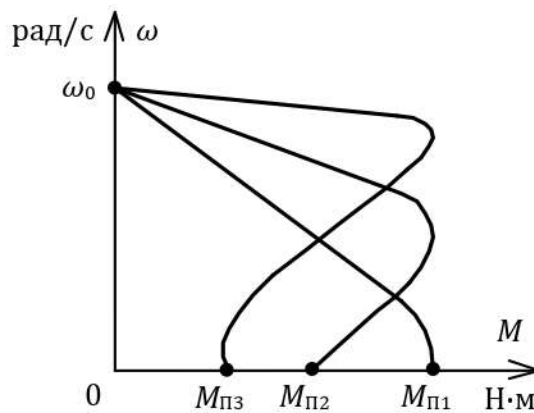
8. Визначте номінальну силу струму, A , асинхронного електродвигуна, якщо номінальна потужність дорівнює $2,2 \text{ кВт}$, номінальна лінійна напруга живлення 380 В , номінальний коефіцієнт корисної дії 82% , номінальний коефіцієнт потужності $0,81$.

- 1 $5,03 \text{ А}$
- 2 $4,5 \text{ А}$
- 3 $3,5 \text{ А}$
- 4 $2,75 \text{ А}$

9. Визначте пускову силу струму, A , асинхронного електродвигуна, якщо номінальна потужність дорівнює $1,5 \text{ кВт}$, номінальна лінійна напруга живлення 380 В , номінальний коефіцієнт корисної дії 80% , номінальний коефіцієнт потужності $0,78$, а кратність пускового струму дорівнює $5,5$.

- | | |
|---------------------|--------------------|
| 1 $5,03 \text{ А}$ | 3 $2,5 \text{ А}$ |
| 2 $20,11 \text{ А}$ | 4 $19,5 \text{ А}$ |

10. Оберіть вірну назву наведеній графічній залежності



- 1 механічна характеристика асинхронного електродвигуна з основними точками
- 2 механічна характеристика асинхронного електродвигуна з фазним ротором
- 3 механічна характеристика синхронного електродвигуна
- 4 лінійно-зростаюча характеристика робочої машини

Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 12

Умова: Асинхронний електродвигун має такі технічні характеристики: номінальна потужність, P_{2H} , кВт, номінальна частота обертання, n_H , об/хв., номінальна сила струму, I_H , А, коефіцієнт корисної дії, η_H , %, коефіцієнт корисної дії, $\cos \varphi_H$, кратність пускового моменту m_P , кратність мінімального моменту m_{MIN} , кратність максимального моменту m_{KP} , кратність пускового струму k_P .

Варіанти вихідних даних до виконання задачі наведені в таблиці.

Таблиця - Варіанти вихідних даних до виконання задачі для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 12

Варіант	Тип АД	Завдання
1	АИР90L2У3	1. Визначити:
2	АИР100S4У3	- синхронну швидкість обертання АД;
3	АИР80В6У3	- синхронну кутову швидкість обертання АД;
4	АИР132М6У3	- номінальну кутову швидкість обертання АД;
5	АИР100L8У3	- номінальне ковзання;
6	АИР63В2У3	- критичне ковзання;
7	АИР160S8У2	- номінальний момент АД;
8	АИР112М2У3	- пусковий момент АД;
9	АИР160S4У3	- мінімальний момент АД;
10	АИР112М4У3	- критичний момент АД.
		2. Побудувати механічну характеристику АД для заданого АД.

Лабораторна робота 13

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

Мета роботи: Придбання практичних навичок при роботі з електричними апаратами – електромагнітними пускачами та тепловими реле, та дослідження їх основних параметрів та властивостей.

1 Основні теоретичні положення

Електричні апарати (ЕА) – це технічні засоби, які призначені для керування електричним струмом і пов'язаними з ним величинами. ЕА виконують такі функції: комутація (вмикання і вимикання) ЛЕП, розподільчих електричних мереж і електротехнічних пристроїв; захист електротехнічного обладнання від аварійних режимів; автоматичне і неавтоматичне регулювання та зміна електричного струму; контроль параметрів струму для подачі інформації на вихідні органи апаратів захисту і керування.

Комутаційні апарати призначені для керування електричними колами і різними електротехнічними пристроями. До таких апаратів належать:

- **апарати ручного керування** – рубильники, вимикачі-роз'єднувачі;
- **апарати автоматичного керування** здійснюють комутацію сильно струмових контактів за допомогою силового електромагнітного механізму – **контактори і автоматичні вимикачі**.

Запобіжники належать до засобів захисту споживачів і кіл їх живлення від струмів короткого замикання і струмів перевантаження – **плавкі запобіжники і термобіметалеві запобіжники**.

Реле – це слабкострумовий електричний апарат, в якому при плавній зміні керуючого параметра відбувається стрибкоподібна зміна керованого параметра. Широко впроваджені струмові реле, електромагнітні реле струму миттєвої дії, теплові реле, реле часу.

Розглянемо більш детально такі електричні апарати, які будуть досліджуватись у роботі:

- **електромагнітний пускач** – це низьковольтний електромагнітний пристрій призначений для дистанційного керування АД, який у комплекті з тепловим ре-

ле виконує захист електродвигунів від перевантажень і від струмів, що виникають при обриві однієї з фаз.

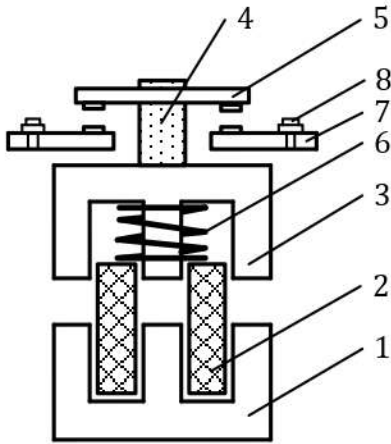


Рисунок 1 –
Схема конструкції
електромагнітного пускача

Всередині електромагнітного пускача – рисунок 1, розміщена електромагнітна система, що містить нерухому Ш-образну частину осердя 1 і обмотку 2, намотану на котушку. Осердя набране з ізольованих друг від друга (для зменшення втрат від вихрових струмів) листів електротехнічної сталі. Рухлива частина осердя 3 (якір) з'єднано із пластмасовою траверсою 4, на якій змонтовані контактні містки 5 з рухливими контактами.

Повернення контактів у вихідне положення забезпечується пружиною 6. Нерухомі контакти припаяно до контактних пластин 7, що мають гвинтові затискачі 8 для приєднання проводів зовнішніх кіл. Крім головних контактів, пускачі мають додаткові (блокувальні) контакти, розташовані на бічних поверхнях апарата. Головні контакти закриті кришкою, що захищає їх від забруднення, випадкових доторкань і міжфазних замикань.

Принцип дії електромагнітного пускача: при подачі напруги живлення по котушці проходить електричний струм, осердя намагнічується й притягує якір, головні контакти замикаються, й по головному колу протікає струм. При відключенні пускача котушка знеструмлюється, під дією зворотної пружини якір вертається у вихідне положення, головні контакти розмикаються;

- **теплові реле** призначені для захисту електродвигунів у комплекті з електромагнітними пускачами від перевантажень неприпустимої тривалості та від струмів, що виникають при обриві однієї з фаз. Принцип дії теплового реле: струм по реле протікає через спеціальні біметалічні пластини, які нагріваються і вигинаються. Величина вигину залежить від величини струму, що протікає крізь реле. При перевищенні струму неспрацьовування більше, ніж на 5% біме-

талічні пластини через рейку надавлюють на контакт, що розмикається, який й розмикає коло живлення котушки пускача й відключає навантаження. Час спрацювання теплового реле залежить від величини перевищення струму неспрацювання реле;

2 Завдання для домашньої підготовки

2.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 8 [6, с.301-323, 7, с. 301-322, 9, с.185-237].

2.2 Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в методичних вказівках на с. 162-163. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи в таблиці 1.

2.3 Виконати задачу для самостійного опрацювання, яка наведена в методичних вказівках на с. 164. Вибір варіанту задачі здійснити за останньою цифрою залікової книжки студента.

3 Порядок виконання роботи

3.1 Візуально ознайомитись з конструкцією електромагнітного пускача та теплового реле.

3.2 Записати технічні характеристики електромагнітного пускача та теплового реле в таблиці 2 та 3 відповідно.

3.3 Зібрати схему експериментальної установки для дослідження властивостей електромагнітного пускача – рисунок 1.

3.4 Омметром здійснити вимірювання електричного опору котушки електромагнітного пускача, стенд при такому вимірюванні повинен бути знеструмлений.

3.5 Здійснити вимірювання напруги та сили струму на котушці при плавному збільшенні напруги живлення, яка подається на стенд лабораторним автотрансформатором. Значення напруги та струму на котушці необхідно фіксувати безпосередньо перед та після спрацювання пускача. Дослідження слід виконати з трикратною повторністю, пауза між дослідженнями повинна бути 3...5 хвилин. Результати вимірювань занести в таблицю 4.

3.6 Здійснити вимірювання напруги та сили струму на котушці при напрузі живлення, яка подається на стенд лабораторним автотрансформатором, та яка дорівнює 220 В. Значення напруги та струму на котушці необхідно фіксувати безпосередньо перед та після спрацювання пускача. Дослідження слід виконати з трикратною повторністю, пауза між дослідями повинна бути 3...5 хвилин. Результати вимірювань занести в таблицю 4.

3.7 Через 3...5 хвилин здійснити вимірювання напруги та сили струму на котушці при плавному зменшенні напруги живлення. Значення напруги та струму на котушці необхідно фіксувати безпосередньо перед та після спрацювання пускача. Дослідження слід виконати з трикратною повторністю, пауза між дослідями повинна бути 3...5 хвилин. Результати вимірювань занести в таблицю 4.

3.8 За результатами досліджень розрахувати параметри електромагнітного пускача: коефіцієнт повернення за струмом та за напругою; кратність пускового струму до номінального; номінальна активна потужність котушки; номінальна повна потужність котушки; пускова повна потужність котушки, індуктивний опір котушки; індуктивність котушки. Результати розрахунків навести в таблиці 4.

3.9 Зібрати схему електричну принципову експериментальної установки для дослідження теплового реле – рисунок 2.

3.10 При різних струмах навантаження здійснити вимірювання часу до моментів спрацювання теплового реле. Слід відзначити, щоб реле не перегрівалося, після кожного дослідження лабораторний автотрансформатор слід відключати від мережі живлення.

3.11 Результати вимірювань навести в таблиці 5. За результатами досліджень побудувати часо-струмову характеристику теплового реле – рисунок 3.

3.12 За результатами досліджень зробити узагальнений висновок щодо значущості апаратів керування – електромагнітного пускача та теплового реле в електричних мережах.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

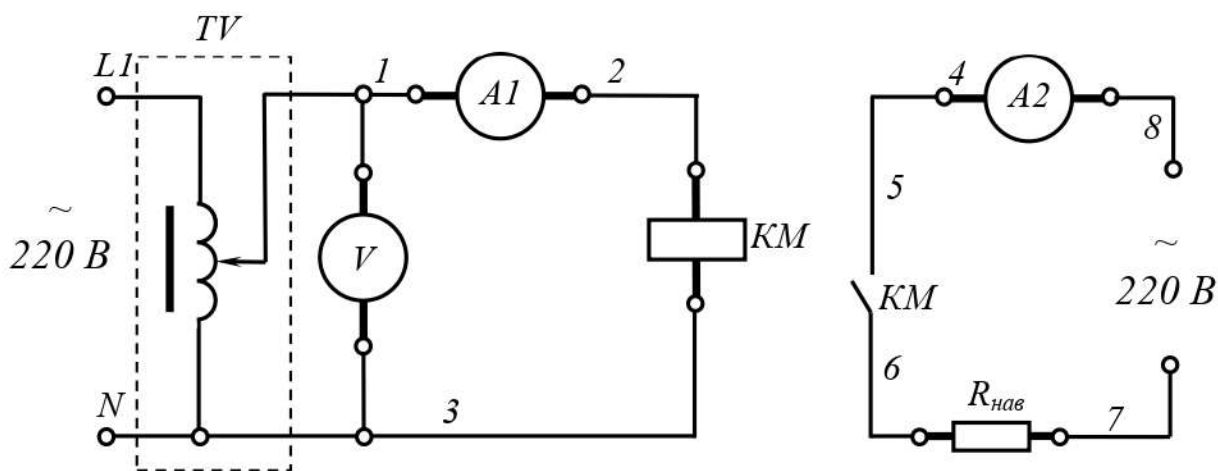
Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	

3. Таблиця 2 – Технічні характеристики електромагнітного пускача

Найменування	Величина
Тип	
Номінальний струм, A	
Номінальна напруга головного кола, B	
Напруга котушки керування, B	
Кліматичне виконання, категорія розміщення	
Ступінь захисту	
Комплектація з тепловим реле	

4. Таблиця 3 – Технічні характеристики теплового реле

Найменування	Величина
Тип	
Номінальна напруга, V	
Максимальний робочий струм, A	
Границя регулювання номінального струму не спрацювання, A	
Потужність, що споживається одним полюсом реле, $Вт$, не більш	
Ступінь захисту	
Спосіб монтажу	



TV – лабораторний автотрансформатор; $A1, A2$ – амперметри; V – вольтметр;
 KM – котушка електромагнітного пускача з нормально розімкненим контактом;

$R_{нав}$ – реостат навантаження

5. Рисунок 1 – Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження властивостей електромагнітного пускача

6. Таблица 4 – Результати вимірювань та розрахунків

Стан магнітного пускача	№ дослідю	Величини, що вимірювались			Величини, що обчислювались								
		$U,$ B	$I,$ A	$R_K = r_K,$ $Ом$	$U_{сер},$ B	$I_{сер},$ A	$Z_K,$ $Ом$	$X_K,$ $Ом$	$L_K,$ $Гн$	$S_{Л},$ $B \cdot A$	K_{100U}	K_{100I}	$K_{Л}$
При плавному збільшенні напруги живлення безпосередньо перед спрацюванням (стан 1)	1												
	2												
	3												
При плавному збільшенні напруги живлення безпосередньо після спрацювання (стан 2)	1												
	2												
	3												
При напрузі 220 В (стан 3)	1												
	2												
	3												
При плавному зменшенні напруги живлення безпосередньо перед спрацюванням (стан 4)	1												
	2												
	3												
При плавному зменшенні напруги живлення безпосередньо після спрацювання (стан 5)	1												
	2												
	3												

Примітка до таблиці. Визначення параметрів електромагнітного пускача:

- номінальна активна потужність котушки

$$P_H = r_k \cdot I_{H.M.n}^2, \quad (1)$$

де $I_{H.M.n}$ - номінальний струм магнітного пускача, A ;

- номінальна повна потужність котушки

$$S_H = U_{H.M.n} \cdot I_{H.M.n}, \quad (2)$$

де $U_{H.M.n}$ - номінальна напруга магнітного пускача, B ;

- повний опір котушки

$$Z_k = \frac{U_{сер}}{I_{сер}}; \quad (3)$$

- індуктивний опір котушки

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}; \quad (4)$$

- індуктивність котушки

$$L_k = \frac{X_k}{\omega} = \frac{X_k}{2\pi \cdot f}, \quad (5)$$

- коефіцієнт повернення за напругою

$$K_{повU} = \frac{U_{стан4}}{U_{стан1}}; \quad (6)$$

- коефіцієнт повернення за струмом

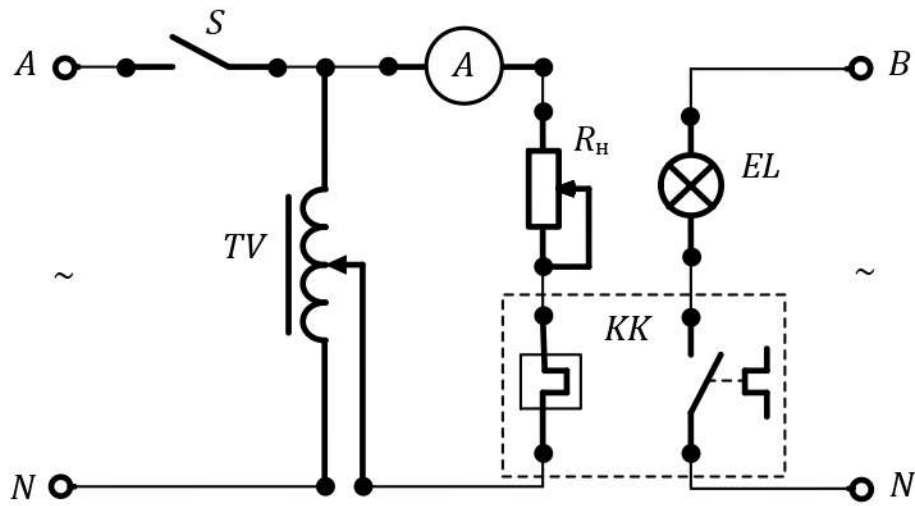
$$K_{повI} = \frac{I_{стан4}}{I_{стан1}}; \quad (7)$$

- кратність пускового струму до номінального струму пускача

$$K_{\Pi} = \frac{I_{стан1}}{I_{H.M.n}}; \quad (8)$$

- пускова повна потужність котушки

$$S_{\Pi} = I_{стан1} \cdot U_{H.M.n}. \quad (9)$$



S – вимикач; TV – лабораторний автотрансформатор;

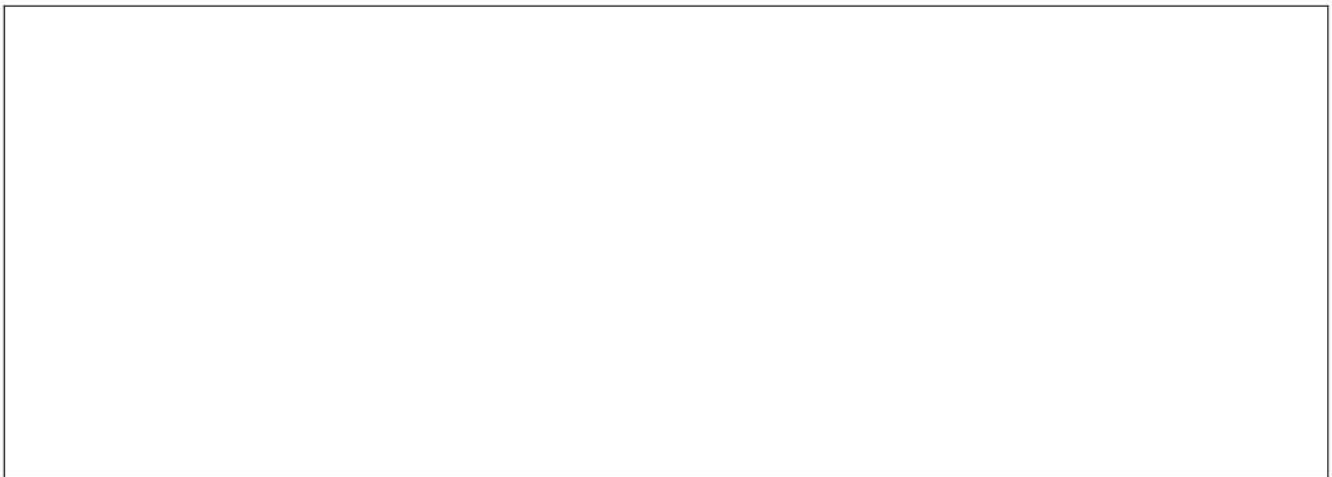
R_H – реостат навантаження; EL – світловий індикатор;

KK – теплового реле з контактом, що нормально замкнений

7. Рисунок 2 – Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження теплового реле

8. Таблиця 5 – Результати вимірювань

$\kappa_I = I_{нав} / I_H$	1,1	1,3	1,5	1,7
$t_{справ} \text{ с}$				



9. Рисунок 3 - Часо-струмова характеристику теплового реле

10. Висновок щодо значущості апаратів керування в електричних мережах.

Контрольні запитання

1. Яке призначення електромагнітного пускача?
2. Охарактеризуйте конструкцію електромагнітного пускача.
3. Опишіть принцип дії електромагнітного пускача.
4. За якими умовами обирається електромагнітний пускач?
5. Яке призначення теплового реле?
6. Охарактеризуйте конструкцію теплового реле.
7. Опишіть принцип дії теплового реле.
8. За якими умовами обирається теплове реле?

Тестові контрольні завдання

для самоаналізу до лабораторної роботи 13

1. Низьковольтний електромагнітний пристрій, який призначений для дистанційного керування асинхронними електродвигунами та для захисту від перевантажень і від струмів, що виникають при обриві однієї з фаз, має назву ...

- 1 електротеплове реле
- 2 запобіжник
- 3 електромагнітний пускач
- 4 автоматичний вимикач

2. Принцип дії якого апарату керування описаний нижче?

При включенні апарату в коло живлення по котушці проходить електричний струм, сердечник намагнічується, якір притягується, головні контакти замикаються, по головному колу апарату протікає струм. При відключенні апарату котушка знеструмлюється, під дією зворотної пружини якір повертається у вихідне положення, а його головні контакти розмикаються.

- 1 електротеплового реле
- 2 запобіжника
- 3 електромагнітного пускача
- 4 автоматичного вимикача

3. Складіть логічні пари.

Якими цифрами позначаються величини електромагнітного пускача за номінальним струмом?

- | | | | |
|---|------|---|------------|
| 1 | 10 А | 3 | 3 величина |
| 2 | 25 А | 4 | 4 величина |
| 3 | 40 А | 5 | 2 величина |
| 4 | 63 А | 6 | 1 величина |

4. Оберіть номінальну силу струму електромагнітного пускача, якщо номінальна сила струму асинхронного електродвигуна дорівнює 11 А.

- 1 10 А
- 2 25 А
- 3 40 А
- 4 63 А

5. Апарат, який призначений для захисту електродвигунів від перевантажень неприпустимої тривалості та від струмів, що виникають при обриві однієї з фаз, має назву

- 1 електротеплове реле
- 2 запобіжник
- 3 електромагнітний пускач
- 4 автоматичний вимикач

6. Чутливим елементом в електротепловому реле є ...

- 1 котушка
- 2 електромагнітний роз'єднувач
- 3 плавка вставка
- 4 біметалева пластина

7. Автоматичні вимикачі призначені для захисту електричних кіл змінного струму від перевантаження й струмів короткого замикання, а також для нечасних оперативних включень і відключень електричних кіл.

- 1 вірно
- 2 не вірно

8. Оберіть номінальну силу струму теплового роз'єднувача автоматичного вимикача, якщо номінальна сила струму асинхронного електродвигуна дорівнює 11 А.

- | | | | |
|---|------|---|------|
| 1 | 16 А | 3 | 20 А |
| 2 | 10 А | 4 | 25 А |

9. Чутливим елементом запобіжника є ...

- 1 котушка
- 2 електромагнітний роз'єднувач
- 3 плавка вставка
- 4 біметалева пластина

10. Оберіть номінальну силу струму плавкої вставки запобіжника, якщо розрахункова сила струму електроприймача дорівнює 27 А.

- | | | | |
|---|------|---|------|
| 1 | 20 А | 3 | 40 А |
| 2 | 25 А | 4 | 32 А |

Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 13

Варіанти вихідних даних до виконання задачі наведені в таблиці.

Таблиця - Варіанти вихідних даних до виконання задачі для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 13

Варіант	Тип АД	Завдання
1	АИР90L2У3	1.Обрати електромагнітний пускач для заданого електродвигуна. 2. Обрати теплове реле для заданого електродвигуна.
2	АИР100S4У3	
3	АИР80В6У3	
4	АИР132М6У3	
5	АИР100L8У3	
6	АИР63В2У3	
7	АИР160S8У2	
8	АИР112М2У3	
9	АИР160S4У3	
10	АИР112М4У3	

Лабораторна робота 14
ДОСЛІДЖЕННЯ ВИПРЯМЛЯЧІВ ОДНОФАЗНОГО
ЗМІННОГО СТРУМУ

Мета роботи:

Придбання практичних навичок при дослідженні схем однофазних випрямлячів, дослідження впливу ємності конденсатора згладжуючого фільтра на форму і величину випрямленої напруги.

1 Основні теоретичні положення

Випрямляч – це пристрій, який призначений для перетворення електричної енергії джерела змінного струму в електричну енергію постійного струму. Таке перетворення існує, коли первинним джерелом електроенергії є однофазна (трифазна) мережа або автономний генератор змінного струму, а споживач електроенергії працює на постійному струмі. Принцип дії випрямляча заснований на одnobічній провідності діодів, що перетворюють змінний струм у пульсуючий струм постійного напрямку. Випрямляч містить один діод VD , включений у коло вторинної обмотки трансформатора T послідовно з навантаженням R_H – рисунку 1, *а*). Часові діаграми напруг і струмів, що пояснюють роботу випрямляча на активне навантаження, представлені на рисунку 1, *б*.

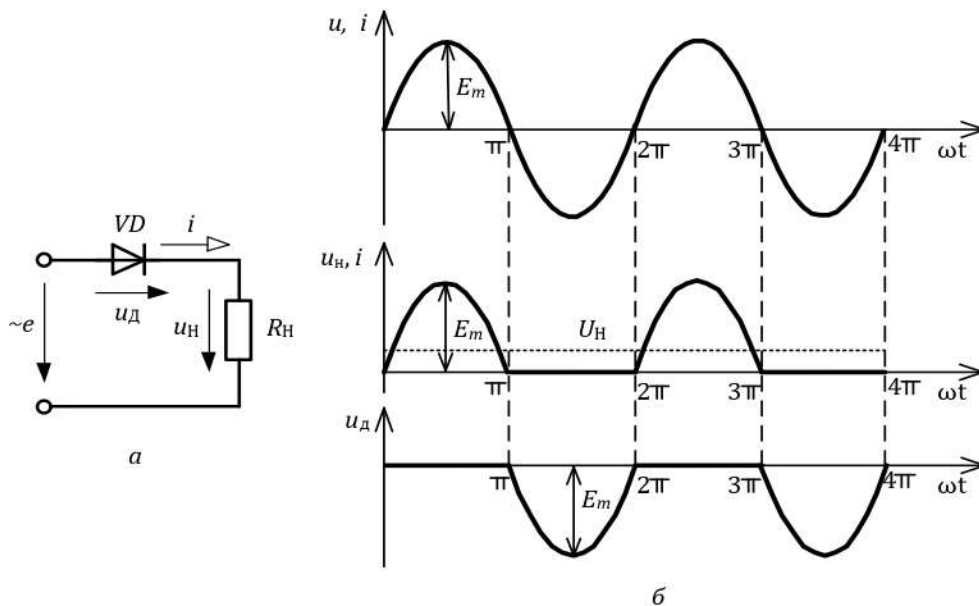


Рисунок 1 – Однопівперіодна схема випрямляча (а) та часові діаграми (б)

У перший півперіод напруги на вході $u = U_m \sin \omega t$, коли вона позитивна, діод VD відкритий, тому що на його аноді діє позитивний потенціал. На цьому інтервалі часу $(0 - T/2)$ через навантаження буде протікати струм $i = \frac{U_m}{R_H} \sin \omega t$, що є для діода прямим струмом. При цьому $u_D = 0, u_H = u = U_m \sin \omega t$. На другому півперіоді напруга стає негативною, та діод закривається під дією негативного потенціалу на аноді діода. На цьому інтервалі часу $(T/2 - T)$ $i_H = 0, u_H = 0$, напруга на діоді $u_D = u = U_m \sin \omega t$ буде зворотною напругою діода.

У результаті такої роботи випрямляча струм через навантаження буде протікати протягом тільки одного півперіоду змінної напруги u і викликати на навантаженні періодичну несинусоїдну напругу u_H , середнє значення якої може бути визначене за (1):

$$U_H = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (U_H \sin \omega t) dt = \frac{U_m}{\pi} = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{\pi} = 0,45U. \quad (1)$$

Середній струм через діод I_{IP} дорівнює середньому струму навантаження

$$I_{IP} = I_H = \frac{U_H}{R_H}. \quad (2)$$

Недоліками однопівперіодного випрямляча є великий рівень пульсацій випрямленої напруги, змушене намагнічування сердечника трансформатора за рахунок постійної складової струму вторинної обмотки, погане використання трансформатора, низькі коефіцієнти використання діодів, малий к.к.д. випрямляча. Однопівперіодні випрямлячі застосовуються для живлення малопотужних підсилювачів, електронно-променевих трубок і у високовольтних установках для випробування ізоляції.

Однофазний двонапівперіодний мостовий випрямляч складається із чотирьох діодів, включених за мостовою схемою - рис.2, а).

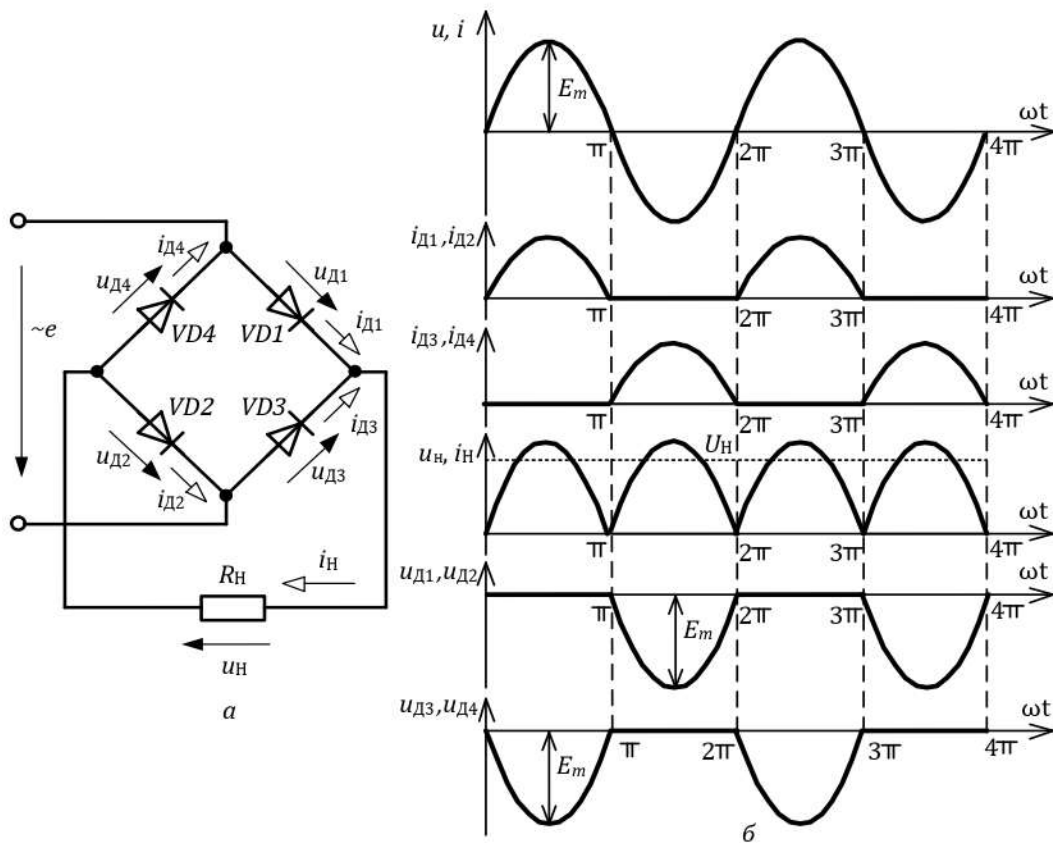


Рисунок 2 – Двонапівперіодна мостова схема випрямляча (а)
та часові діаграми (б)

До однієї діагоналі моста подана змінна напруга $u = U_m \sin \omega t$, до іншої – підключене навантаження R_H . Часові діаграми напруг та струмів представлені на рис.2,б. У перший півперіод напруги u , коли потенціал на аноді $VD1$ позитивний, діоди $VD1$ та $VD2$ відкриті, та струм навантаження протікає через $VD1$, R_H і $VD2$. У цьому інтервалі часу $u_H = u = U_m \sin \omega t$, діоди $VD3$ і $VD4$ закриті та перебувають під зворотною напругою. На другому півперіоді напруга u стає негативною, та діоди $VD1$ і $VD2$ будуть тепер у закритому стані перебувати під зворотною напругою, а діоди $VD3$ і $VD4$ – відкриті. Струм i_H буде протікати через $VD2$, $VD4$ та через навантаження R_H у тому ж напрямку, що й у попередній півперіод. У результаті такої попарної роботи діодів струм у навантаженні буде протікати протягом двох півперіодів і викликати напругу U_H , середнє значення якої буде у два рази більше, ніж при однопівперіодному випрямленні

$$U_H = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} (U_H \sin \omega t) dt = \frac{2U_m}{\pi} = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot U}{\pi} = 0,9 \cdot U. \quad (3)$$

Тому що пари діодів проводять струм навантаження по черзі по півперіоду, то прямий струм діодів буде дорівнювати

$$I_{IP} = \frac{I_H}{2} = \frac{U_H}{2 \cdot R_H}. \quad (4)$$

Двопівперіодний випрямляч у порівнянні з однопівперіодним має наступні переваги: випрямлені струм та напруга вдвічі більші, значно менший рівень пульсацій напруги, діоди вибираються по половині струму навантаження, добре використовується трансформатор і відсутнє змушене підмагнічування його сердечника. Мостова схема має переважне застосування у випрямлячах невеликої та середньої потужності.

2 Завдання для домашньої підготовки

2.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 9 [1, с.271-411, 3, с.242-266, 5, с.123-132,158-170, 6, с.473-681, 7, с. 611-681].

2.2 Виконати задачу для самостійного опрацювання, яка наведена в методичних вказівках на с. 172. Вибір варіанту задачі здійснити за останньою цифрою залікової книжки студента.

3 Порядок виконання роботи

3.1 Скласти схеми електричних принципів однофазних випрямлячів: однофазного однопівперіодного, однофазного двопівперіодного з виводом середньої точки вторинної обмотки трансформатора, однофазного двопівперіодного мостового.

3.2 Запустити комп'ютерну програму для моделювання електронних схем Electronic Workbench 5.12. Обрати схему для дослідження однофазного однопівперіодного випрямляча – рисунок 1, а.

3.3 Згідно варіанту індивідуального завдання студента встановити задане значення напруги джерела ЕРС (U_2) і опору резистора навантаження R_H .

3.4 Лінію, що з'єднує вхід «В» віртуального осцилографа з контрольною точкою схеми встановити кольоровою.

3.5 Включити схему. Записати показання приладів: вольтметра V (середнє значення випрямленої напруги U_d) і амперметра PA (середнє значення випрямленого струму I_d).

3.6 На віртуальному осцилографі за допомогою візирних ліній визначити амплітудні значення вхідної і вихідної напруги випрямляча. Визначити величину падіння напруги на діоді.

3.7 Привести осцилограми вхідної і вихідної напруги випрямляча.

3.8 Обрати схему для дослідження однофазного двопівперіодного випрямляча з виводом середньої точки – рисунок 1, б.

3.9 Виконати пункти 3.4...3.7 для дослідження однофазного двопівперіодного випрямляча з виводом середньої точки.

3.10 Обрати схему для дослідження однофазного двопівперіодного мостового випрямляча – рисунок 1, в.

3.11 Включити схему. При відключеному конденсаторі C згладжуючого фільтра записати показання приладів: вольтметра PV (середнє значення випрямленої напруги U_d) і амперметра PA (середнє значення випрямленого струму I_d) і привести осцилограми напруги на виході випрямляча.

3.12 За допомогою перемикача підключити конденсатор C згладжуючого фільтра і, змінюючи величину ємності конденсатора згідно таблиці 1, записати показання приладів (вольтметра PV , амперметра PA) і привести осцилограми вихідної напруги випрямляча.

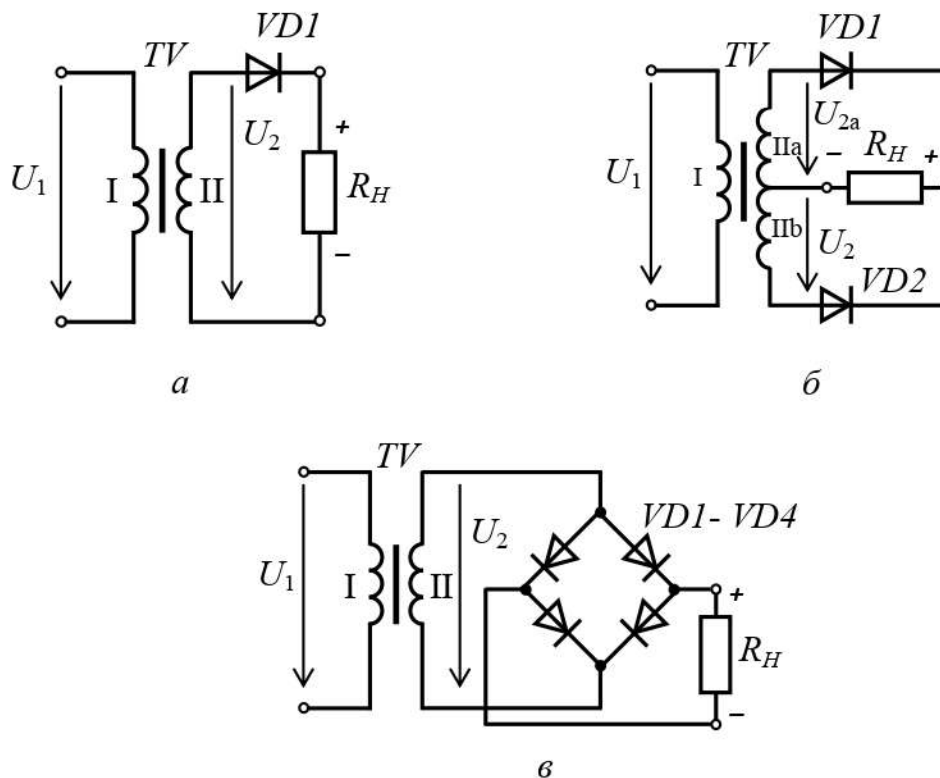
3.13 За даними таблиці 1 побудувати графік залежності вихідної напруги мостового випрямляча від величини ємності конденсатора згладжуючого фільтра: $U_d = f(C)$ – рисунок 2.

Зміст звіту

1. Найменування роботи.
2. Виконання задачі для самостійного опрацювання згідно варіанту.

Таблиця 1 - Результати розрахунків величин та параметрів,
що характеризують однофазні випрямлячі

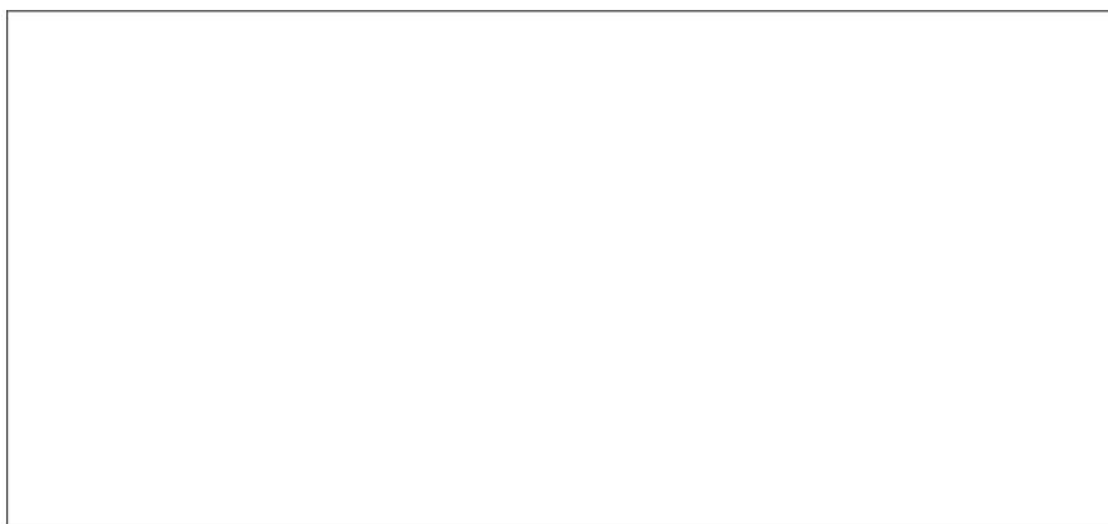
Найменування	Величина
Середнє значення випрямленої напруги, U_d, B	
Середнє значення випрямленого струму, I_d, A	
Коефіцієнт пульсацій, q	
Зворотня напруга діодів $U_{ЗВ}$ при заданих значеннях напруги на вторинній обмотці трансформатора, U_2, B	
Опір резистора навантаження, $R_H, Ом$	



3. Рисунок 1 – Схеми для дослідження випрямлячів

4. Таблиця 1 - Результати експериментальних досліджень
ємнісного згладжуючого фільтра

$C, \text{мкФ}$	0	10	50	100	200	500	1000
$U_d, \text{В}$							
$I_d, \text{А}$							



5. Рисунок - Графік залежності вихідної напруги мостового випрямляча від величини ємності конденсатора згладжуючого фільтра: $U_d = f(C)$

Контрольні запитання

1. Що таке напівпровідник n -типу?
2. Що таке напівпровідник p -типу?
3. Що таке p - n перехід?
4. Поясніть пряме та зворотне вмикання p - n переходу?
5. Яка напруга є прямою та зворотною? Який струм є прямим та зворотнім?
6. Яке призначення має напівпровідниковий випрямний діод?
7. Назвіть основні параметри випрямного діода.
8. Що таке випрямляч? Наведіть схеми однофазних випрямлячів.
9. Охарактеризуйте згладжуючий фільтр?

Задача для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 14

Варіанти вихідних даних до виконання задачі наведені в таблиці.

Таблиця - Варіанти вихідних даних до виконання задачі для самостійного опрацювання до лабораторної роботи 14

Варіант	Вихідні дані		Завдання
	U_2, B	$R_H, Ом$	
1	10	20	1. Для схем однофазних випрямлячів визначити: - середнє значення випрямленої напруги U_d ; - середнє значення випрямленого струму I_d ; - коефіцієнт пульсацій q і зворотну напругу діодів $U_{зв}$ при заданих значеннях напруги на вторинній обмотці трансформатора U_2 і опору резистора навантаження R_H . 2. Для схем однофазних випрямлячів побудувати графіки зміни в часі напруг на діодах і резисторі навантаження при синусоїдальній вхідній напрузі
2	15	25	
3	20	30	
4	25	35	
5	30	40	
6	35	45	
7	40	50	
8	45	55	
9	50	60	
10	55	65	

Лабораторна робота 15

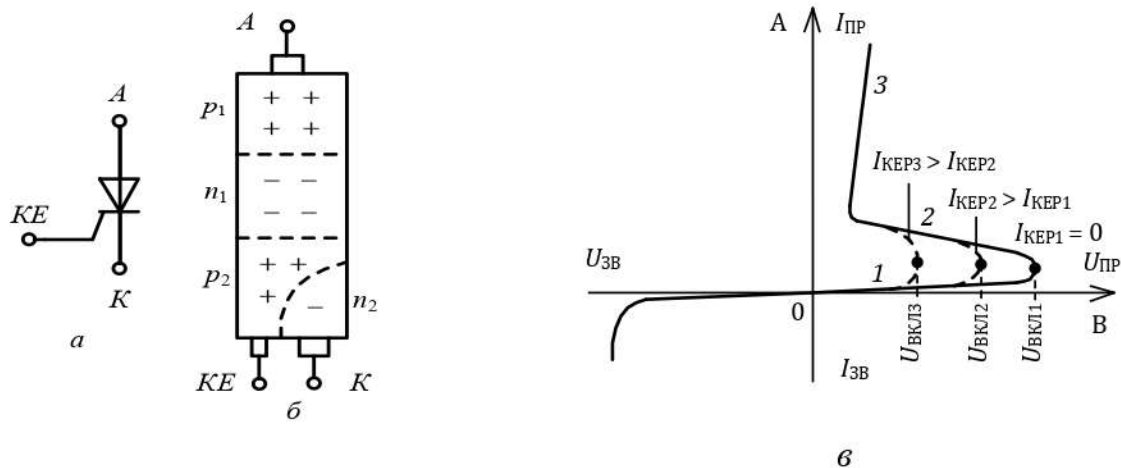
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ З ТИРИСТОРАМИ ТА ТРИНІСТОРАМИ

Мета роботи:

Придбання практичних навичок при дослідженні схем з тиристорами та триністорами.

1 Основні теоретичні положення

Тиристор – це напівпровідниковий прилад, що має в прямому напрямку два стійких стани – стан низької провідності (тиристор замкнений) і стан високої провідності (тиристор відкритий). Керування станом приладу здійснюється проводиться по ланцюгу керуючого електрода. Тиристор має структуру $p_1-n_1-p_2-n_2$ з трьома $p-n$ -переходами. Умовне позначення, структура та вольт-амперна характеристика тиристора з керуючим електродом показана на рисунку 1.



a - умовне позначення; *б* – структура; *в* - вольт-амперна характеристика

Рисунок 1 – Тиристор

Розглянемо принцип дії тиристора за його вольт-амперної характеристикою – рисунок 1.в. При подачі до тиристора прямої напруги (ділянка 1: закритий стан) струм через діод практично відсутній, вся напруга прикладена до кола втрачається на тиристорі. При досягненні напруги на тиристорі значення напруги включення $U_{ВКЛ}$ тиристор відкривається, через нього починає протікати струм, падіння напруги зменшується. Після повного відкриття (ділянка 3) тири-

стор працює як звичайний діод при прямому включенні. Закривається тиристор при знятті струму через нього. При подачі струму на електрод керування тиристора зменшується напруга включення $U_{BKЛ}$. Чим більший струм керування $I_{КЕР}$, тим менше напруга включення $U_{BKЛ}$. Для вибору тиристорів необхідні наступні технічні параметри:

- *прямий струм*, I_{IP} - це максимально припустимий (середній за період) струм, сила якого визначається нагріванням тиристора;
- *середня пряма напруга*, U_{IP} – це падіння напруги на тиристорі у відкритому стані; пряме падіння напруги у тиристорів більше, ніж у діодів внаслідок того, що випрямний елемент має більшу товщину – $U_{IP} = 1,75 \dots 2,3$ В;
- *потужність, що розсіюється тиристором*, P_H – це максимальна потужність, яку здатний розсіювати тиристор;
- *зворотна напруга*, $U_{ЗВ}$ – це зворотна імпульсна максимальна напруга;
- *зворотний струм*, $I_{ЗВ}$ – це сила струму, який протікає при зворотній напрузі;
- *напруга включення*, $U_{BKЛ}$ – це напруга, при якій тиристор переходить у відкритий стан;
- *струм утримання*, $I_{УТР}$ – це анодний струм, при якому тиристор закривається;
- *керуючий струм відмикання*, $I_{КЕР}$ – це струм, який необхідно подати, щоб тиристор відкрився миттєво;
- *час включення*, $t_{BKЛ}$ – це час, протягом якого відкривається тиристор;
- *час відключення*, $t_{ВИКЛ}$ – це час, протягом якого закривається тиристор.

Тиристор застосовується як електричний ключ – рисунок 2, а також для регулювання напруги на затисках трифазних АД.

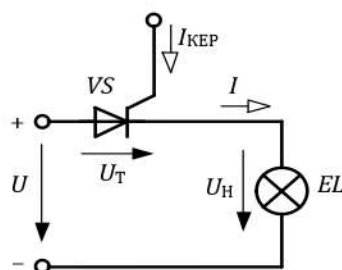


Рисунок 2 – Схема тиристорного ключа

2 Завдання для домашньої підготовки

2.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 9 [1, с.271-411, 3, с.242-266, 5, с.123-132,158-170].

3 Порядок виконання роботи

3.1 Ознайомитись з алгоритмом роботи з комп'ютерною програмою для моделювання електронних схем Electronic Workbench 5.12.

3.2 Запустити комп'ютерну програму для моделювання електронних схем Electronic Workbench 5.12.

3.3 Обрати схему для зняття вольт-амперної характеристики (ВАХ) триністора - рисунок 1.

3.4 Здійснити вимірювання для побудови вольт-амперної характеристики триністора, для цього слід включити схему, змінюючи напругу джерела живлення E_1 , зняти ВАХ тиристора $I_{np} = f(U_{np})$ при струмах у керуючому електроді $I_{кер.1}$; $I_{кер.2}$; $I_{кер.3}$ та визначити напругу вмикання тиристора $U_{вмик}$. Струм керування $I_{кер}$ встановлюється за допомогою змінного резистора $R2$ (при натисканні клавіші $\langle R \rangle$ опір зменшується, при натисканні комбінацій клавіш $\langle shift+R \rangle$ опір збільшується).

3.5 Результати вимірювань занести в таблицю 1.

3.6 Побудувати ВАХ триністора $I_{np} = f(U_{np})$ при значеннях струму у керуючому електроді: $I_{кер.1}$; $I_{кер.2}$; $I_{кер.3}$ - рисунок 2.

3.7 Обрати схему для дослідження однофазного однопівперіодного керуваного випрямляча з використанням триністора – рисунок 3.

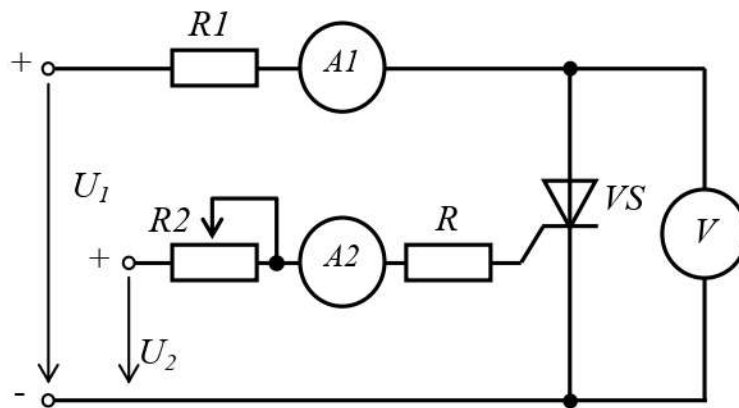
3.8 Встановити параметри елементів схеми згідно таблиці 2.

3.9 Включити схему, змінюючи опір резистора R_1 фазообертача (виконаний на елементах R_1 , R_2 , C) через рівні проміжки, простежити за зміною величини випрямленої напруги U_d (вольтметр PV) залежно від величини кута керування тиристором α , який визначається по осцилографу.

3.10 Привести осцилограми напруги на навантаженні U_d при різних значеннях кута керування тиристором α – рисунок 4.

Зміст звіту

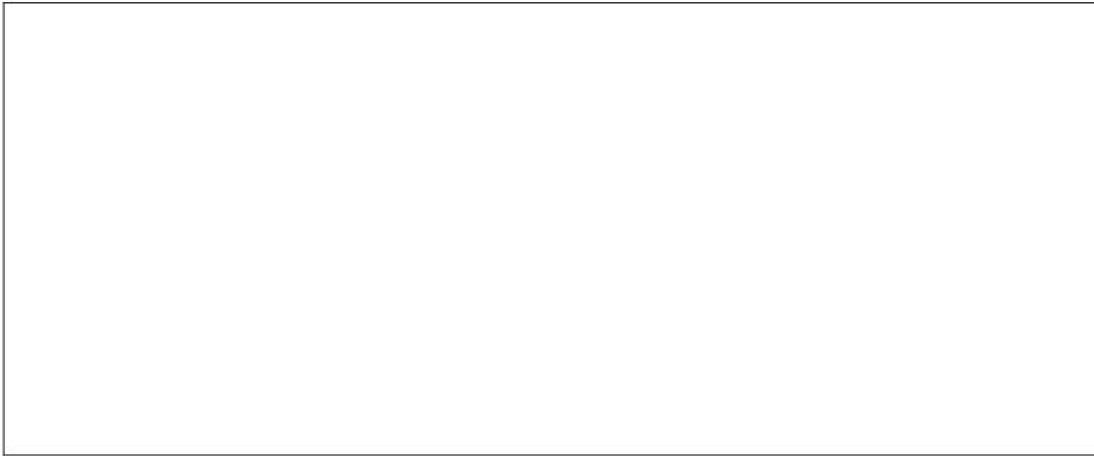
1. Найменування роботи.



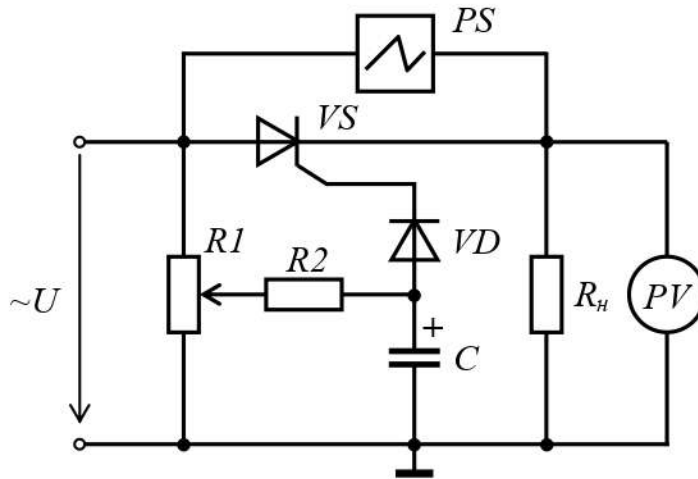
2. Рисунок 1 - Схема для зняття ВАХ триністора

3. Таблиця 1 – Результати вимірювань

$I_{кер.1} = 0,93 \text{ мА}, U_{вмик.1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В}$							
$E_1, \text{ В}$							
$U_{np}, \text{ В}$							
$I_{np}, \text{ мА}$							
$I_{кер.2} = 0,95 \text{ мА}, U_{вмик.2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В}$							
$E_1, \text{ В}$							
$U_{np}, \text{ В}$							
$I_{np}, \text{ мА}$							
$I_{кер.3} = 1,0 \text{ мА}, U_{вмик.3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В}$							
$E_1, \text{ В}$							
$U_{np}, \text{ В}$							
$I_{np}, \text{ мА}$							



4. Рисунок 2 - ВАХ триністора $I_{np} = f(U_{np})$ при значеннях струму у керуючому електроді



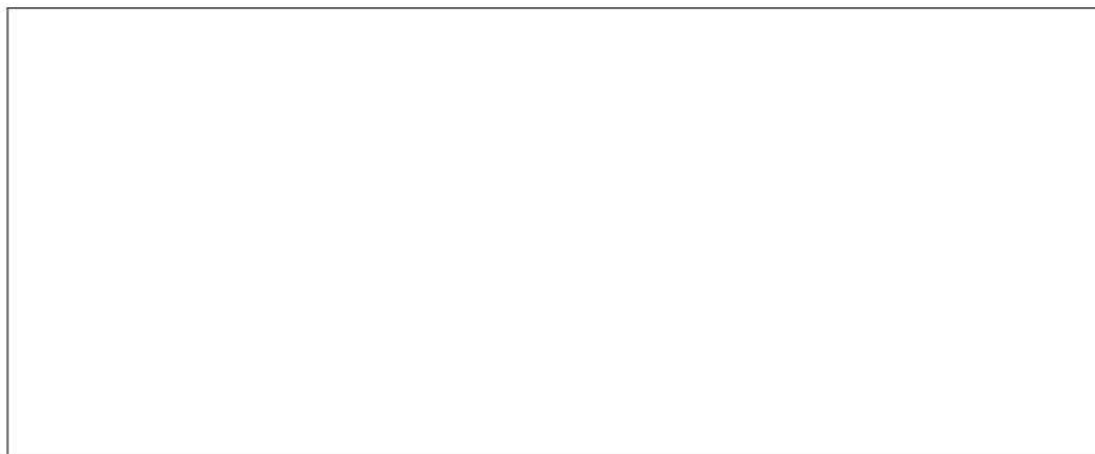
5. Рисунок 3 – Схема для дослідження однофазного однопівперіодного керованого випрямляча з використанням триністора

6. Таблиця 2 – Вихідні дані для дослідження однофазного однопівперіодного керованого випрямляча з використанням триністора

Варіант	Вихідні дані				
	$U_{мер}, B$	$\alpha, град$	$R_2, Ом$	$C, мкФ$	$R_n, Ом$
1	20	10	50	6,0	20
2	40	30	70	5,5	30
3	60	50	90	5,0	40

Продовження таблиці 2

Варіант	Вихідні дані				
	$U_{мер}, B$	$\alpha, град$	$R_2, Ом$	$C, мкФ$	$R_H, Ом$
4	80	70	110	4,5	50
5	100	90	130	4,0	60
6	120	110	150	3,5	70
7	140	130	170	3,0	80
8	160	150	190	2,5	90
9	180	170	210	2,0	100



7. Рисунок 4 - Осцилограми напруги на навантаженні U_d при різних значеннях кута керування тиристором α

Контрольні запитання

1. Що таке перемикаючий прилад?
2. Що таке диністор, триністор та симістором?
3. Наведіть умовне графічне позначення диністора, триністора з керуванням по катоду, керованого симістора та некерованого симістора.
4. Наведіть ВАХ диністора, триністора та некерованого симістора.
5. Наведіть та охарактеризуйте напівпровідникові структури диністора, триністора та симістора.

Лабораторна робота 16

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСИЛЮВАЧА НА БІПОЛЯРНОМУ ТРАНЗИСТОРІ

Мета роботи:

Придбання практичних навичок при дослідженні схем підсилювача на біполярному транзисторі.

1 Основні теоретичні положення

Біполярний транзистор – це напівпровідниковий прилад, із трьома електродами, один з яких служить для керування струмом між двома іншими. Умовні графічні позначення біполярних транзисторів $p-n-p$ - та $n-p-n$ -типів відповідно наведені на рисунку 1, б, з.

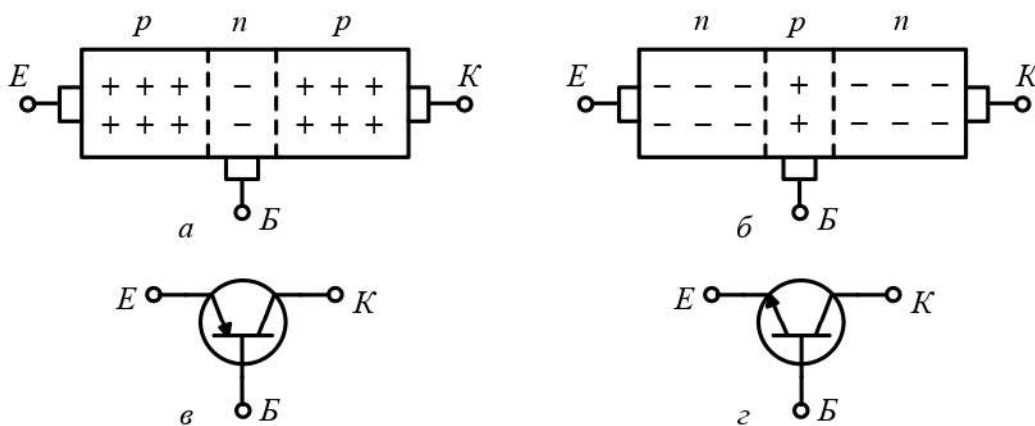


Рисунок 1 – Структури (а, в) та умовні графічні позначення (б, з) біполярних транзисторів $p-n-p$ - та $n-p-n$ -типів відповідно

Зовнішній шар, що є джерелом носіїв зарядів (електронів і дірок), який головним чином створює струм приладу, називається емітером (E). Шар, що приймає носії заряду, що надходять від емітера, називається колектором (K). Середній шар називається базою (B). Стрілками на схемах умовних позначок транзисторів (рис.1, б, з) показані напрямки емітерних струмів. Принцип дії транзисторів $n-p-n$ -типу та $p-n-p$ -типу та фізичні процеси, що відбуваються в них ідентичні.

Для визначеності розглянемо $n-p-n$ -транзистор, усі міркування повторюються абсолютно аналогічно для випадку $p-n-p$ -транзистора, із заміною слова

«електрони» на «дірки», і навпаки, а також із заміною всіх напруг на протилежні за знаком. Розглянемо ситуацію, при якій на переходи транзистора від зовнішніх джерел живлення подаються постійні напруги U_{EB} та U_{KB} - рисунок 2. Напруги $U_{EB} < 0$ та $U_{KB} > 0$ забезпечують відкритий стан емітерного переходу Π_E та закритий стан колекторного переходу Π_K , що відповідає активному режиму роботи транзистора.

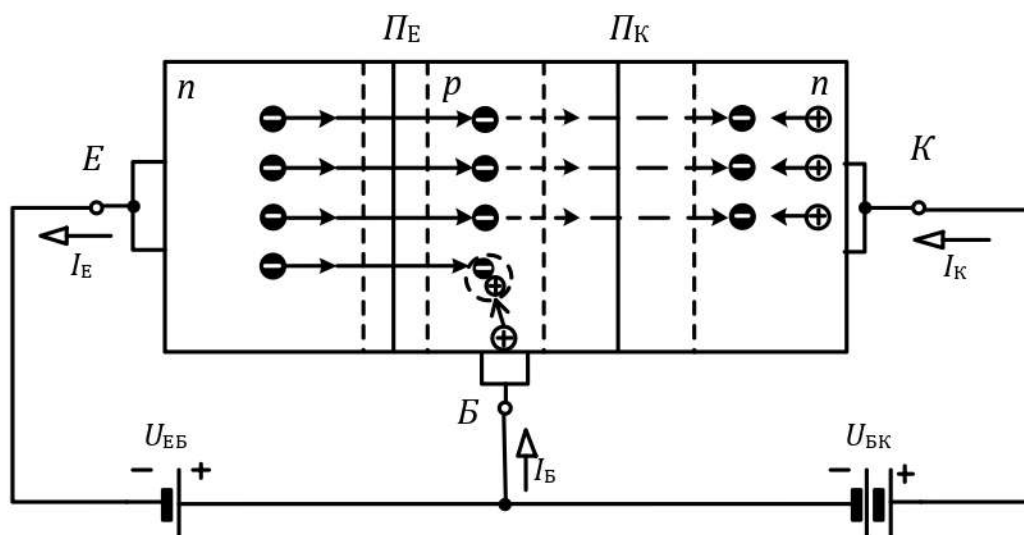


Рисунок 2 – Принцип дії біполярного транзистора (*n-p-n*-типу)

Через відкритий емітерний перехід Π_E протікають основні носії заряду - електрони. Потрапивши в базу, електрони частково рекомбінуються з її дірками, але внаслідок того що база виконується слабо легованою (містить невелику кількість домішок) переважна більшість електронів залишаються неврівноваженими та надлишковими. Електрони нагромаджуються в досить тонкій базі та виштовхуються до колекторного переходу Π_K . Електрони є неосновними носіями заряду в базі, тому прикладена до колекторного переходу Π_K напруга не перешкоджає проходу електронів через нього, а навпаки втягує електрони до колектора. Таким чином, в активному режимі всю структуру транзистора від емітера до колектора пронизує наскрізний потік електронів, що створює в зовнішніх колах емітера та колектора струми I_E та I_K , спрямовані назустріч руху електронів. Важливо підкреслити, що цей потік електронів і, відповідно, струм колек-

ктора I_K , що є вихідним струмом транзистора, дуже ефективно управляються вхідною напругою U_{EB} та не залежать від вихідної напруги U_{KB} .

Струм колектора I_K практично дорівнює струму емітера I_E , за винятком невеликої втрати на рекомбінацію в базі, яка й утворює струм бази I_B

$$I_E = I_B + I_K. \quad (1)$$

Таким чином, біполярний транзистор можна розглядати як пристрій, що керує електричним струмом, що протікає через емітер до колектора за допомогою струму бази. Ця властивість транзистора використовується для підсилення електричного сигналу. Відношення зміни сили струму, яка протікає в колекторі (ΔI_K), до зміни сили струму, яка протікає в базі (ΔI_B), при незмінній напрузі між емітером і колектором називають коефіцієнтом передачі струму бази

$$\beta = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}. \quad (2)$$

Для транзисторів різних типів $\beta = 15 - 500$, тобто сила електричного струму, яка протікає в колекторі, набагато більше сили струму, яка протікає в базі. Для вибору біполярних транзисторів указують наступні технічні параметри:

- допустима напруга база-колектор, U_{BK} – це максимальна постійна напруга база-колектор транзистора;
- допустима напруга емітер-колектор, U_{EK} – це максимальна постійна напруга емітер-колектор транзистора;
- допустимий струм колектора, I_K – це максимально припустимий (середній за період) струм колектора, сила якого визначається нагріванням транзистора;
- допустимий струм бази, I_B – це максимально припустимий (середній за період) струм бази, сила якого визначається нагріванням транзистора;
- потужність, що розсіюється тиристором, P_H – це максимальна потужність, яку здатний розсіювати тиристор;
- коефіцієнт передачі транзистора в схемі зі спільним емітером, h_{21E} .

Підсилювальний каскад на біполярному транзисторі за схемою зі спільним емітером – це підсилувач, у якому використовується біполярний транзис-

тор включений так, що емітер є загальним для вхідного кола та кола навантаження. Принципова схема підсилювального каскаду зі спільним емітером наведена на рисунку 3, а.

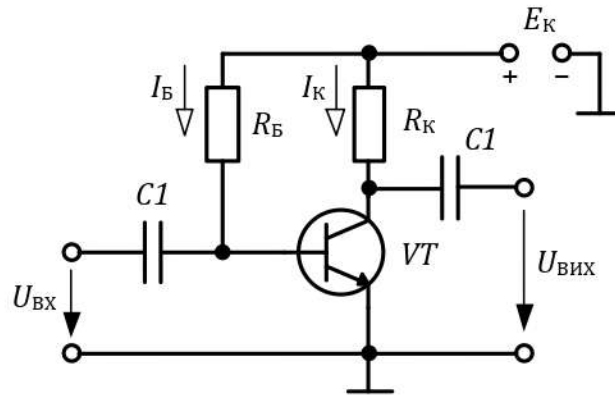


Рисунок 3 – Підсилювальний каскад на біполярному транзисторі

Принцип підсилення сигналу полягає у наступному: вхідний сигнал $U_{ВХ}$ подається до бази транзистора VT і використовується для керування струмом I_K що протікає від джерела живлення E_K через резистор R_K , колектор – емітер транзистора VT до спільної точки; цей струм створює падіння напруги між колектором та емітером транзистора VT , яке і є вихідною напругою каскаду. Так як напруга джерела живлення E_K звичайно набагато більше величини вхідного сигналу $U_{ВХ}$ ($E_K > U_{ВХ}$), то виходить, що вхідний сигнал підсилювального каскаду за допомогою транзистора керує потоком енергії від джерела живлення до виходу таким чином, що вихідний сигнал по формі повторює вхідний, але має більшу амплітуду.

На рисунку 4 показані вхідна ($I_B = f(U_{BE})$) та вихідна ($I_K = f(U_{ЕК})$) вольт-амперні характеристики біполярного транзистора, який включений в каскад за схемою зі спільним емітером, а також на рисунку показане проходження сигналу у вхідному і вихідному колах підсилювального каскаду.

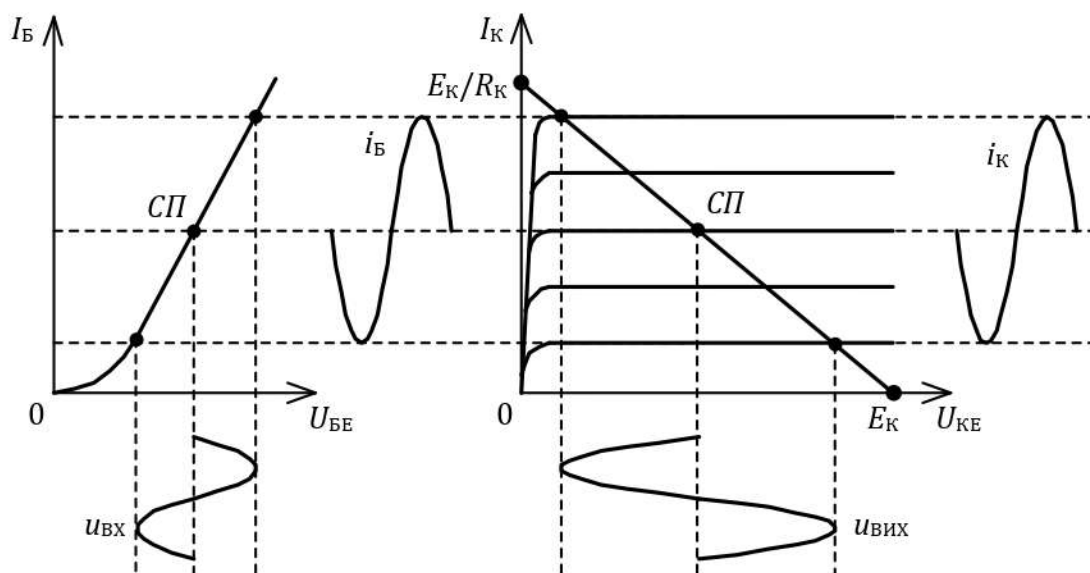


Рисунок 4 – Вольт-амперні характеристики біполярного транзистора, який включений в каскад за схемою зі спільним емітером та проходження сигналу у вхідному та вихідному колах підсилювального каскаду

2 Завдання для домашньої підготовки

2.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 9 [1,с.271-411,3,с.242-266,5,с.123-132,158-170].

2.2 Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в методичних вказівках на с. 186-188. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи в таблиці 1.

3 Порядок виконання роботи

3.1 Ознайомитись з алгоритмом роботи з комп'ютерною програмою для моделювання електронних схем Electronic Workbench 5.12.

3.2 Запустити комп'ютерну програму для моделювання електронних схем Electronic Workbench 5.12. Обрати схему підсилювача на біполярному транзисторі – рисунок 1. Лінію, що з'єднує вхід «В» віртуального осцилографа з контрольною точкою схеми встановити кольоровою.

3.3 Включити схему. Перемикачем S відключити генератор від входу підсилювача. Резистором R_B встановити параметри режиму спокою $U_{KEП} = E_K/2$ (вольтметр $PV2$). Записати показання вимірювальних приладів.

3.4 Перемикачем S підключити генератор до входу підсилювача. Записати показання приладів. За допомогою візирних ліній осцилографа визначити амплітуди напруг на вході $U_{m.BX}$ та виході $U_{m.BIX}$ підсилювального каскаду. Привести осцилограми напруг – рисунок 2.

3.5 За експериментальними даними визначити коефіцієнти підсилення каскаду за напругою K_U , струмом K_I і потужністю K_P .

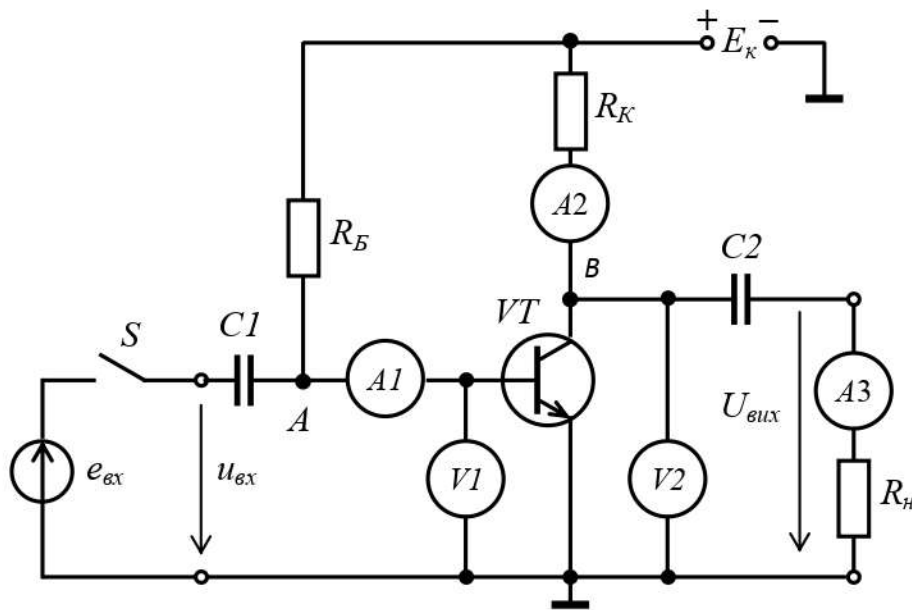
3.6 Збільшити вхідну напругу до $U_{BX} = 0,1$ В. Привести осцилограми напруг – рисунок 3.

3.7 У висновку пояснити причину викривлення вихідної напруги підсилювального каскаду.

Зміст звіту

1. Найменування роботи.
2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	



2. Рисунок 1 - Схема підсилювача на біполярному транзисторі

3. Показання приладів при відключенні генератора від входу підсилювача та при підключенні генератора до входу підсилювача.
4. Осцилограми напруг - рисунок 2.
5. Результати визначення коефіцієнтів підсилення каскаду за напругою K_U , струмом K_I і потужністю K_P .
6. Осцилограми напруг при збільшенні вхідної напруги до $U_{BX} = 0,1 \text{ B}$ – рисунок 3.
7. Висновок з поясненням причин викривлення вихідної напруги підсилювального каскаду.

7 Контрольні запитання

1. Що таке біполярний транзистор (БТ)?
2. Яке призначення має біполярний транзистор?
3. Наведіть умовні графічні позначення БТ $p-n-p$ та $n-p-n$ типів.
4. Які області БТ називають емітером, колектором та базою?
5. Наведіть зв'язок між струмами колектора, емітера і бази БТ.
6. Наведіть схему вмикання БТ з спільним емітером (СЕ).
7. Яке призначення підсилювального каскаду?

8. Наведіть схему підсилювального каскаду на БТ з спільним емітером (СЕ). Поясніть призначення елементів схеми та принцип роботи каскаду.

9. Поясніть методика побудови лінії навантаження каскаду за постійним струмом та визначення параметрів режиму спокою.

10. Поясніть, як зміниться положення робочої точки і параметри режиму спокою підсилювального каскаду при зміні: величини опору резистора R_K ; напруги живлення E_K ; коефіцієнта підсилення β ; струму бази I_B ?

11. Як розраховується коефіцієнт підсилення за струмом?

12. Як розраховується коефіцієнт підсилення за напругою?

13. Як розраховується коефіцієнт підсилення за потужністю?

**Тестові контрольні завдання для самоаналізу до
лабораторних робіт 14, 15, 16 за темою
«Електроніка ті мікросхемотехніка»**

1. Що таке діод?

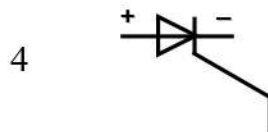
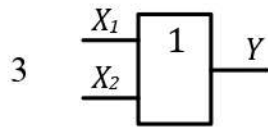
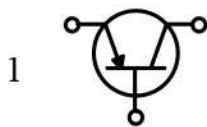
1 напівпровідниковий прилад, із трьома електродами, один з яких призначений для керування струмом між двома іншими електродами

2 напівпровідниковий прилад, що має в прямому напрямку два стійких стани – стан низької провідності (прилад замкнений) і стан високої провідності (прилад відкритий)

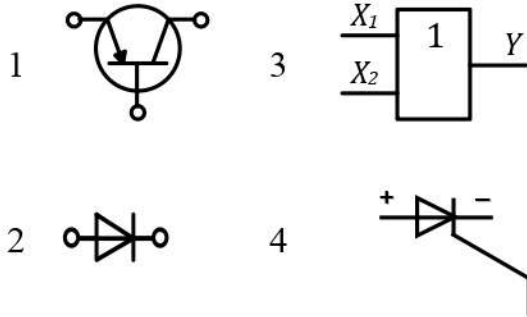
3 двоелектродний електронний прилад, що має різну провідність залежно від напрямку електричного струму

4 пристрій, призначений для обробки інформації у двійковій формі

2. Оберіть вірне умовне графічне позначення діода



3. Оберіть вірне умовне графічне позначення біполярного транзистора.



4. Головна властивість $p-n$ - переходу полягає у здатності бути провідником: при прямій прикладеній напрузі проводити електричний струм в одному напрямку, а при прикладенні зворотної напруги практично не проводити електричний струм: бути ізолятором?

- 1 не вірно
- 2 вірно

5. Що таке біполярний транзистор?

- 1 напівпровідниковий прилад, із трьома електродами, один з яких призначений для керування струмом між двома іншими електродами
- 2 напівпровідниковий прилад, що має в прямому напрямку два стійких стани – стан низької провідності (прилад замкнений) і стан високої провідності (прилад відкритий)
- 3 двоелектродний електронний прилад, що має різну провідність залежно від напрямку електричного струму
- 4 пристрій, призначений для обробки інформації у двійковій формі

6. Інтегральна мікросхема – це мікроелектронний виріб, що виконує певну функцію перетворення й обробки сигналу, що має високу щільність упакування електрично з'єднаних елементів і кристалів та розглядається як єдине ціле?

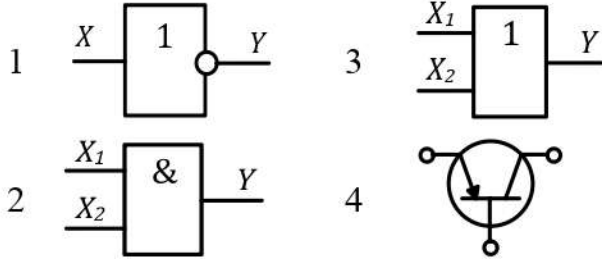
- 1 вірно
- 2 не вірно

7. Що таке логічні елементи?

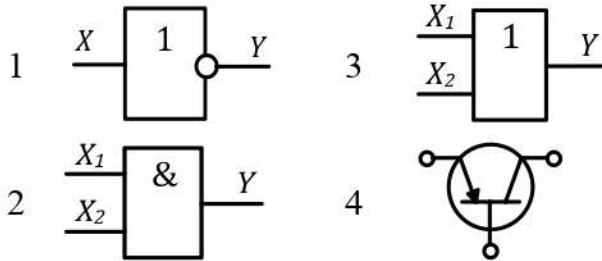
- 1 це пристрої, які призначені для обробки інформації у двійковій формі
- 2 це напівпровідникові прилади, із трьома електродами, один з яких призначений для керування струмом між двома іншими електродами
- 3 це двоелектродні електронні прилади, що мають різну провідність залежно від напрямку електричного струму

4 це напівпровідникові прилади, що мають в прямому напрямку два стійких стани – стан низької провідності (прилад замкнений) і стан високої провідності (прилад відкритий)

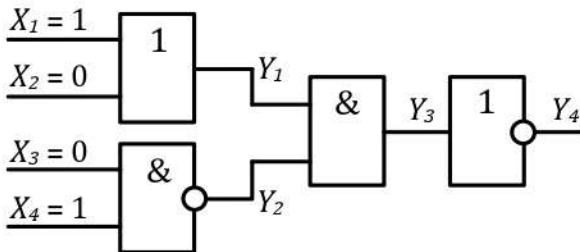
8. Оберіть вірне умовне графічне позначення елементу НІ



9. Оберіть вірне умовне графічне позначення елементу АБО



10. Логічна схема містить чотири елементи. Визначте логічний рівень сигналу на виході Y_4 .



- | | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 3 | 3 |
| 2 | 2 | 4 | 0 |

11. Складіть логічні пари, які описують будову біполярного транзистора

- | | |
|---|------------------------|
| 1 зовнішній шар, що є джерелом носіїв зарядів | 4 емітер транзистора |
| 2 шар, що приймає носії заряду від емітера | 5 колектор транзистора |
| 3 середній шар | 6 база транзистора |

Список літератури

1. Будіщев М.С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: Підручник. / Будіщев М.С. – Львів: Афіша, 2001. – 424 с.
2. Овчаров В.В. Теоретичні основи електротехніки. Ч.1. / Овчаров В.В. – Мелітополь: Люкс, 2007. – 389 с.
3. Паначевний Б.І. Загальна електротехніка: теорія і практикум / Б.І. Паначевний, Ю.Ф. Свєргун. – Київ: Каравела, 2003. – 440 с.
4. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С.Поліщук, М.М.Дорожовець, В.О.Яцук, В.М.Ванько, Т.Г.Бойко; за ред. проф. Є.С.Поліщука. – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2012. – 544 с.
- 5.Справочное пособие по электротехнике и основам электроники / П.В.Ермуратский, А.А. Косякин, В.С. Листвин; Под ред. А.В. Нетушила. – М.: Высш. шк. – 248 с.
6. Міліх В.І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: Підручник. / В.І.Міліх, О.О.Шавьолкін. За ред.. В.І.Міліх. – К.: Каравелла, 2007. – 688 с.
7. Овчаров В.В. Загальна електротехніка: Навчальний посібник для студентів вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом підготовки «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» / В.В.Овчаров, О.Ю.Вовк. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2018. – 310 с.