

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до лабораторних робіт

з навчальної дисципліни

«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ»

(для студентів усіх форм навчання

спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2018

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Електротехніка та електропостачання» (для студентів усіх форм навчання спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Н. О. Сабалаєва, Я. Б. Форкун. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 45 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. Н. О. Сабалаєва,
канд. техн. наук, доц. Я. Б. Форкун

Рецензент

Д. В. Тугай, доктор технічних наук, доцент кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою альтернативної електроенергетики та електротехніки, протокол № 11 від 27 травня 2018 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Лабораторна робота № 1 Дослідження електричних кіл постійного струму: експериментальна перевірка законів Ома та Кірхгофа	7
2 Лабораторна робота № 2 Дослідження нерозгалуженого електричного кола змінного синусоїдного струму.....	13
3 Лабораторна робота № 3 Дослідження лінії передачі постійного струму.....	19
4 Лабораторна робота № 4 Дослідження однофазних випрямлячів, що працюють на активне навантаження.....	24
5 Лабораторна робота № 5 Дослідження метрологічних характеристик вимірювальних приладів. Обробка результатів вимірювань.....	32
Список джерел.....	43
Додатки.....	44

ВСТУП

Електротехніка – це сукупність технічних наук, що вивчають отримання, розподіл, перетворення та використання електричної енергії, або, інакше кажучи, електротехнікою називають галузь практичного застосування електромагнітних явищ. Широке використання електротехнічних пристроїв у промисловості робить необхідним приділити увагу вивченню основних засобів їх застосування інженерами не тільки електричних спеціальностей.

Студентам спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології варто вміти використовувати головні досягнення електротехніки для забезпечення в майбутньому в практичних умовах разом із колегами електриками високоекономічної й продуктивної роботи різноманітних технічних об'єктів. Здобути під час вивчення курсу «Електротехніка та електропостачання» знання мають допомогти студентам цієї спеціальностей грамотно вибирати й експлуатувати електротехнічне обладнання, яке застосовують у нафтогазовій галузі, та використовувати досягнення електрифікації для її подальшого розвитку.

Ці методичні рекомендації складені відповідно до програми курсу «Електротехніка та електропостачання» для студентів усіх форм навчання спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології та призначені для виконання лабораторних робіт, тематика яких охоплює головні положення, зазначені в робочій і навчальній програмах положення цього курсу. У лабораторних роботах досліджують електричні кола постійного та однофазного синусоїдного струму, лінію передачі електроенергії постійного струму, метрологічні характеристики електровимірювальних приладів та однофазні схеми випрямлячів. Розгорнутий огляд теоретичного матеріалу, що наводиться в методичних вказівках, дасть змогу студентам підготуватися до виконання лабораторних робіт, а також отримати чітку уяву про фізичні основи досліджуваних електромагнітних явищ.

Усі лабораторні роботи студенти виконують на універсальних навчально-дослідницьких лабораторних стендах НДЛС-1. Кожна робота має кілька етапів, а саме: підготовка, виконання експерименту, обробка даних, оформлення звіту та захист роботи. У підрозділі «Загальні відомості» кожної лабораторної роботи студенти знайдуть необхідні положення з теорії за відповідною тематикою роботи. Під час виконання лабораторних робіт використовують елементи набір-ного поля стенду.

Правила безпеки в лабораторії

До виконання лабораторних робіт допускають студентів, які пройшли інструктаж з питань техніки безпеки з подальшим записом про це в спеціальному

журналі. Значення напруг, із якими студент має справу під час аналізу кіл на стендах НДЛС-1, не становлять загрози життю людини. Усі джерела живлення забезпечені захистом від перевантажень. Тому монтаж, перевірку та вмикання електричних кіл студенти проводять самостійно. Однак з огляду на те, що все обладнання лабораторії, зокрема стенди й вимірювальні прилади, під'єднанні до мережі 127/220 В, варто дотримуватися певних правил безпеки.

Під час роботи в лабораторії забороняється:

- торкатися елементів опалювальної системи під час проведення експериментів;
- самостійно включати вилки вимірювальних приладів у мережу;
- вимикати заземлення вимірювальних приладів;
- виймати блоки зі стенду;
- залишати без нагляду включений стенд і вимірювальні прилади.

У разі пошкодження блоків стенда, елементів або вимірювальних приладів, слід негайно вимкнути їх від мережі живлення та сповістити про це викладача.

Після закінчення роботи на стенді, необхідно вимкнути живлення всіх активних блоків стенда та вимірювальних приладів.

Порядок виконання лабораторних робіт

Роботу в лабораторії проводять відповідно до планів аудиторних занять. Звичайно робота триває дві аудиторні години. За цей час студент має виконати роботу, оформити звіт з неї та скласти залік за темою роботи.

Під час першого заняття студенти формують бригади у кількості 3–4 особи. За бригадою закріплюють робочий стенд, номер якого і є номером варіанта за цими методичними вказівками.

Перед тим, як приступити до виконання роботи, студент отримує допуск, який свідчить про те, що він підготовлений до занять (ознайомився з теоретичним матеріалом, за необхідністю заздалегідь підготував таблиці для даних та зробив попередні розрахунки). Під час проведення експерименту студент не повинен залишати своє робоче місце та виходити з лабораторії без дозволу викладача. Після закінчення кожного досліду одержані експериментальні дані для контролю показують викладачеві. У разі некоректних результатів експеримент потрібно повторити.

Під час виконання лабораторних досліджень необхідно дотримуватись таких правил:

- кола за схемами складають із використанням набору елементів;
- кола складають за відімкнутах джерел напруги;

- джерела вмикають після перевірки викладачем складеного кола;
- після закінчення кожного експерименту джерела живлення вимикають.

До захисту роботи допускається студент, який виконав і оформив звіт із лабораторної роботи. Під час захисту студенту пропонується для розв'язання задача та контрольні запитання за темою лабораторної роботи (перелік теоретичних питань наведений наприкінці кожної роботи в даних методичних вказівках).

Порядок оформлення звіту про виконану лабораторну роботу

Звіт виконується у зошитах або на аркушах паперу формату А4. Електричні схеми та графічна частина роботи (графіки залежності та діаграми, що є результатами дослідів або обчислень) виконуються згідно з державними стандартами. Звіт із кожної роботи починається з нової сторінки. Після закінчення вивчення курсу звіти залишаються у викладача.

Зразок титульного аркуша зошита, що містить звіти з лабораторних робіт, наведений у додатку А.

Звіт про лабораторну роботу має містити:

- назву роботи;
- мету роботи;
- перелік приладів, обладнання та елементів;
- повинні бути послідовно викладені назва, принципова схема досліджуваного кола, результати дослідження (таблиці, графіки, розрахункові формули й обчислення) за всіма дослідями;
- висновки.

Літерні позначення основних електричних величин і їхніх одиниць, наведені в додатку Б.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ: ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЗАКОНІВ ОМА ТА КІРХГОФА

1.1 Мета роботи

Метою роботи є таке:

- одержання навичок моделювання електричних схем;
- одержання навичок використання електровимірювального обладнання;
- експериментальна перевірка законів Ома та Кірхгофа.

1.2 Обладнання та прилади

Під час виконання роботи необхідно використовувати таке обладнання та прилади:

- універсальний навчально-дослідницький лабораторний стенд НДЛС-1;
- елементи набірної плати;
- амперметр Щ4300, Щ4313;
- мультиметр ВР-11.

1.3 Підготовчий етап лабораторної роботи

Підготовчий етап включає вивчення теоретичного матеріалу [1, С. 22–60]; [2, С. 4–17, 37–57].

Результатом підготовчого етапу є таке:

- набуття навичок визначення за експериментальними даними величини опору резисторів;
- набуття навичок із проведення розрахунку кіл постійного струму за законами Кірхгофа, складання балансу та побудова потенціальної діаграми

1.4 Загальні відомості

Експериментальним аналізом електричних кіл (на відміну від теоретичного) називають визначення струмів у вітках або напруг на його ділянках експериментальним шляхом за допомогою вимірювальних пристроїв, зокрема амперметрів та вольтметрів. Експериментальні значення струмів та напруг необхідно перевірити шляхом розрахунку схеми електричного кола, яка є його моделлю та складається з ідеалізованих активних та пасивних елементів, що відображають головні фізичні явища в реальних електричних колах.

Отже, *електричне коло* – сукупність пристроїв, призначених для передачі, розподілу й взаємного перетворення електромагнітної та інших видів енергії та інформації. Головними елементами електричного кола є джерела та споживачі електромагнітної енергії. У джерелах (генератор, акумуляторна батарея) – ме-

ханічна, тепла, хімічна та інші види енергії перетворюються на електромагнітну, а в споживаючих пристроях (двигуни, лампи розжарювання, резистори) навпаки – електромагнітна енергія перетворюється на інші види енергій.

До пасивних елементів схеми електричного кола належать (рис. 1.1):

- активний опір R , у якому відбувається перетворення електричної енергії в теплову;
- ємність C , у якій накопичується енергія електричного поля;
- індуктивність L , у якій накопичується енергія магнітного поля.

Одиницями вимірювання опору, ємності та індуктивності є Оми [Ом], Фаради [Ф], Генрі [Гн], а умовні позначення цих елементів на схемах зображені на рисунку 1.1, а.

До активних елементів (аналог джерел електромагнітної енергії) належать джерела електрорушійної сили (EPC) і джерела струму, які є причинами виникнення струмів у вітках кола. Умовні позначення джерела струму та на схемах зображені на рисунку 1.1, б.

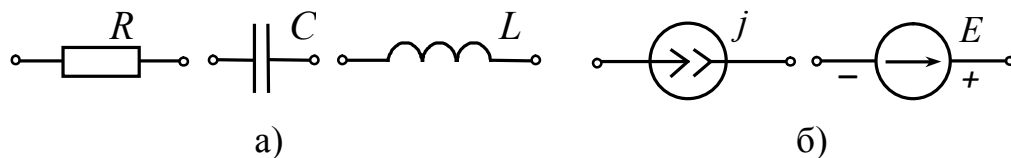


Рисунок 1.1 – Умовні позначення пасивних (а) та активних (б) елементів

Під час розрахунків електричних схем часто виникає потреба проведення еквівалентних перетворень, тобто замінити декілька пасивних елементів одним, що спрощує подальший розрахунок кола. У таблиці 1.1 наведено різновиди з'єднань пасивних елементів схеми та формули їх еквівалентної заміни, тобто отримання $R_{екв}$.

Розрахунок електричних схем базується на фундаментальних законах, а саме на законі Ома та двох законах Кірхгофа.

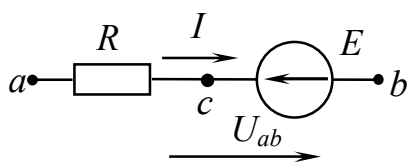


Рисунок 1.2 – Ділянка електричної схеми

Закон Ома в узагальненій формі пов'язує між собою напругу, струм, опір, джерело EPC (якщо є) ділянки електричної схеми. Для ділянки, зображеної на рисунку 1.2, закон Ома:

$$I = \frac{U_{ab} - E}{R} \quad (1.1)$$

У формулі (1.1) напругу $U_{ав}$ беремо зі знаком «+» (співпадає зі струмом I), а EPC E беремо зі знаком «-» (не співпадає зі струмом I).

Перший закон Кірхгофа формулюється для вузла (точка на схемі, де з'єднуються три й більше вітки): алгебраїчна сума струмів у вузлі електричної схеми в будь-який момент часу дорівнює нулю:

$$\sum_{k=1}^h I_k = 0, \quad (1.2)$$

де k – номер вітки (ділянка електричної схеми від одного вузла до іншого), яка зв'язана з вузлом;

h – кількість віток, які приєднані до вузла.

Таблиця 1.1 – Різновиди з'єднань пасивних елементів схеми

Вид з'єднання	Графічне зображення на схемі	Еквівалентний опір
Послідовне		 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}; R_{екв} = R_{ab} = \sum_{i=1}^n R_i$
Паралельне		 $I_{заг} = \sum_{i=1}^n I_i; G_{екв} = G_{ab} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$
Змішане		 $R_{екв} = R_{ab} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$

Якщо струм вітки спрямований до вузла, то він входить у рівняння (1.2) зі знаком «+» і навпаки.

Другий закон Кірхгофа складають для контуру схеми: алгебраїчна сума падінь напруг уздовж контуру дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС уздовж цього самого контуру (знаки ЕРС або падінь напруг залежать від їхніх напрямків і обраних напрямків обходу контурів):

$$\sum I \cdot R = \sum E. \quad (1.3)$$

Якщо позначити n – кількість вузлів, а m – кількість віток у схемі з невідомими струмами, то за першим законом Кірхгофа потрібно складати « $n-1$ » рівнянь, а за другим законом – « $m - n + 1$ » рівнянь. Отже, система рівнянь за законами Кірхгофа повинна мати стільки рівнянь, скільки невідомих струмів (віток).

Після проведення розрахунків струмів необхідно здійснити перевірку шляхом складання балансу потужностей, який для схеми з джерелами ЕРС (напруги) стисло можна сформулювати так: потужність джерел енергії дорівнює потужності, що споживається опорами схеми:

$$\sum_{i=1}^b (\pm E_i \cdot I_i) = \sum_{i=1}^l I_i^2 \cdot R_i, \quad (1.4)$$

де b – кількість ЕРС у схемі;

l – кількість опорів у схемі.

Правило складання балансу: якщо напрямок джерела ЕРС E_i і напрямок струму I_i , що протікає через нього, збігаються, то добуток $E_i \cdot I_i$ беремо зі знаком «+», навпаки – зі знаком «-».

1.5 Порядок виконання роботи

1.5.1 Скласти на набірному полі стенду електричне коло, схема якого зображена на рисунку 1.3. Під час складання кола врахувати те, що буде потрібно проводити вимірювання електричних величин – струму та напруги.

Як джерело живлення застосувати нерегульоване джерело з блоку постійної напруги, резистори взяти з елементів набірного поля за вказівкою викладача.

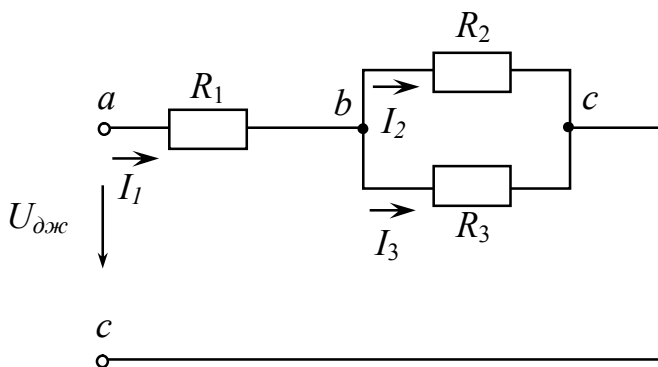


Рисунок 1.3 – Досліджувана електрична схема

об'єкта (або ділянці кола), напругу на якому вимірюють.

Занести результати до таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Вихідні дані для проведення експерименту.

$U_{дж} = U_{ac}, \text{ В}$	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$

1.5.2 Провести вимірювання вихідних параметрів схеми мультиметром ВР-11 – вхідної напруги (режим вимірювання постійної напруги) та опорів R_1, R_2, R_3 (режим вимірювання опору). Звернути увагу на те, що вольтметр вмикається паралельно до

1.5.3 Провести вимірювання напруг і струмів на різних ділянках розгалуженого кола. Звернути увагу на те, що амперметр (або міліамперметр) вмикається послідовно у вітку. Занести результати в перший рядок таблиці 1.3

Таблиця 1.3 – Результати розрахунку та експерименту

	$U_{ab}, \text{В}$	$U_{bc}, \text{В}$	$I_1, \text{мА}$	$I_2, \text{мА}$	$I_3, \text{мА}$
Експеримент					
Розрахунок					

1.6 Обробка експериментальних даних

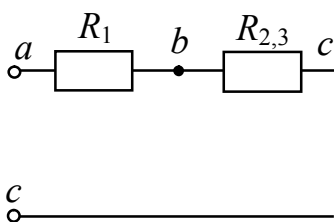
1.6.1 Користуючись еквівалентними перетворюваннями з'єднань пасивних елементів, законом Ома та законами Кірхгофа за вихідними даними (табл. 1.1) розрахувати електричні величини для досліджуваного кола – $U_{ab}, U_{bc}, I_1, I_2, I_3$.

Важливо порівняти отримані струми й напруги розрахунковим й експериментальним шляхами, та зробити висновки про достовірність законів Ома та Кірхгофа.

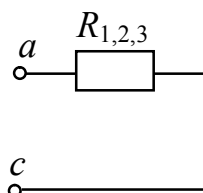
Порядок розрахунку

1. Визначити опір R_{23} на ділянці «bc» за формулою $R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$ (паралельне з'єднання резисторів) – рисунок 1.4, а.

2. Визначити еквівалентний опір всього кола на ділянці «ac» (послідовне з'єднання резисторів R_1 та R_{23}) за формулою $R_{\text{екв}} = R_{123} = R_1 + R_{23}$ – рисунок 1.4, б.



а)



б)

Рисунок 1.4 – Еквівалентні перетворення

3. Визначити струм I_1 за законом Ома – $I_1 = \frac{U_{\text{дж}}}{R_{\text{екв}}}$.

4. Визначити напругу на паралельних вітках за формулою $U_{bc} = I_1 \cdot R_{23}$.

5. Визначити за законом Ома струми в паралельних вітках – $I_2 = \frac{U_{bc}}{R_2}$; $I_3 = \frac{U_{bc}}{R_3}$.

Перевести значення розрахованих струмів з ампер у міліампери та занести всі розраховані величини в другий рядок таблиці 1.3

1.6.2 Перевірити виконання першого закону Кірхгофа за формулою:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0. \quad (1.5)$$

Для перевірки застосовуємо значення струмів, отримані експерименталь-

ним шляхом. Якщо результати експерименту задовольняють першому закону, можна зробити висновок про його виконання.

1.6.3 Перевірити виконання другого закону Кірхгофа за формулами:

$$U_{ab} + U_{bc} - U_{ac} = 0 \quad \text{або} \quad (1.6)$$

$$U_{ac} = U_{ab} + U_{bc}. \quad (1.7)$$

Для перевірки застосовуємо значення напруг, отримані експериментальним шляхом, і, якщо результати експерименту задовольняють другому закону, можна зробити висновок про його виконання.

1.6.4 У разі, коли виміряні та розраховані за законом Ома напруги та струми співпадають (із деякою похибкою), можна зробити висновок і про виконання закону Ома.

1.6.5 Провести баланс потужностей, тобто показати відповідність між потужністю, що споживається навантаженням (резисторами) та потужністю джерела, тобто $P_{дж} = P_{спож}$,

де $P_{дж} = \sum_1^k U_{дж} \cdot I_{дж}$ – сумарна потужність джерел живлення (k – кількість джерел напруги), для досліджуваного кола $P_{дж} = U_{дж} \cdot I_1$;

$$P_{спож} = \sum_1^m I_i^2 \cdot R_i \quad \text{– сумарна потужність споживачів енергії (} m \text{ – кількість ві-}$$

ток), для досліджуваного кола $P_{спож} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3$.

Отже, значення потужностей джерела та споживачів розраховуються окремо, а для їх порівняння обчислюється відносна похибка виконання балансу:

$$\delta = \frac{|P_{дж} - P_{спож}| \cdot 100\%}{P_{\min}},$$

де P_{\min} – мінімальне значення з двох отриманих значень потужності.

1.7 Висновки

За результатами виконаних досліджень зробити висновки щодо виконання законів Ома та Кірхгофа, а також про причини, які призводять до появи похибок та відхилень експериментальних даних від теоретичних.

1.8 Контрольні запитання

1. Що називають електричним колом та схемою електричного кола?
2. Сформулюйте закони Ома та Кірхгофа. Поясніть, як у роботі експериментальним шляхом перевірялось виконання законів Кірхгофа та Ома.
3. Охарактеризуйте різновиди з'єднань пасивних елементів схеми та наведіть формули їх еквівалентної заміни, тобто отримання $R_{\text{екв}}$.
4. Наведіть порядок проведення балансу потужностей.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРОЗГАЛУЖЕНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ЗМІННОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ

2.1 Мета роботи

Метою роботи є таке:

- одержання навичок експериментального визначення параметрів елементів в електричному колі синусоїдного струму;
- проведення аналізу нерозгалуженого кола синусоїдного струму.

2.2 Обладнання та прилади

Під час виконання роботи необхідно використовувати таке обладнання та прилади:

- універсальний навчально-дослідницький лабораторний стенд НДЛС-1;
- елементи набірної поля стенду;
- амперметр Щ4300, Щ4313;
- мультиметр ВР-11.

2.3 Підготовчий етап лабораторної роботи

Підготовчий етап включає вивчення теоретичного матеріалу [1, С. 68–97], [2, С. 37–80].

У результаті підготовки необхідно знати:

- мету, зміст, порядок виконання роботи;
- головні величини, що характеризують синусоїдний струм (напругу), а саме поняття миттєвого значення, амплітуди, фази, частоти, періоду гармонійної функції;
- методи аналізу нерозгалуженого кола синусоїдного струму;
- правила побудови векторних діаграм.
- визначення миттєвої, активної, реактивної, повної потужності.

2.4 Пояснення до роботи

Розглянемо електричне коло (рис. 2.1), що складене з послідовного з'єднання активного опору R_1 , котушки з параметрами R_k і L_k та конденсатора з ємністю C .

Якщо по колу проходить синусоїдний струм $i = I_m \cdot \sin \omega t$, то для миттєвих значень напруг за другим законом Кірхгофа можна записати:

$$u_{\text{ex}} = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi) = u_R + u_{L_k} + u_C, \quad (2.1)$$

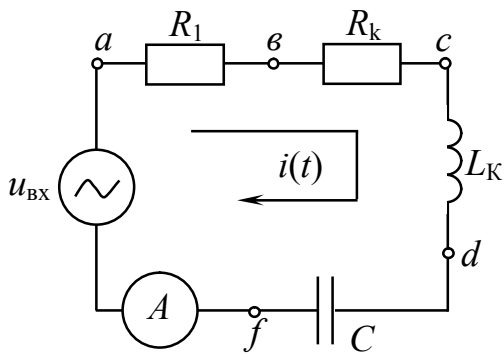


Рисунок 2.1 – Послідовне з'єднання опору, котушки, конденсатора

де u_{ex} – вхідна синусоїдна напруга;

U_m – амплітудне значення напруги;

$$u_R = u_{ac} = i \cdot \left(\overbrace{R_1 + R_k}^R \right) = I_m \cdot R \cdot \sin \omega t \text{ – си-}$$

нусоїдна напруга на активному опорі,

$$u_{Lk} = u_{cd} = L_k \frac{di}{dt} = I_m \cdot \overbrace{\omega \cdot L_k}^{X_{Lk}} \cdot \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \text{ – си-}$$

нусоїдна напруга на індуктивності;

$$u_C = u_{df} = \frac{1}{C} \cdot \int i(t) dt = I_m \cdot \frac{\overbrace{1}{X_C}}{\omega C} \cdot \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \text{ – синусоїдна напруга на ємності;}$$

I_m – амплітудне значення струму;

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – кутова частота;

$f = \frac{1}{T}$ – частота мережі;

T – період синусоїдного струму.

На рисунку 2.2 зображені часові діаграми струму та напруг u_R , u_{Lk} , u_C , з яких бачимо, що напруга u_R і струм $i(t)$ однакові за фазою ($\varphi = 0$), напруга u_{Lk} випереджає струм на кут $\varphi = \frac{\pi}{2}$ (чверть періоду синусоїди), напруга u_C відстає від струму за фазою на кут $\varphi = -\frac{\pi}{2}$.

Діючі значення вищезазначених напруг u_R , u_{Lk} , u_C :

$$- U_R = I \cdot (R_1 + R_k) = I \cdot R \text{ – напруга на активному опорі;} \quad (2.2)$$

$$- U_L = I \cdot \omega \cdot L_k = I \cdot X_{Lk} \text{ – напруга на індуктивності;} \quad (2.3)$$

$$- U_C = \frac{I}{\omega \cdot C} = I \cdot X_C \text{ – напруга на ємності.} \quad (2.4)$$

Другий закон Кірхгофа в комплексній та скалярній формах для схеми рисунку 2.1 має вигляд:

$$\underline{U}_{ex} = \underline{U}_R + \underline{U}_K + \underline{U}_C, \text{ – комплексна форма;} \quad (2.5)$$

$$U_{ex} = \sqrt{U_R^2 + U_K^2 + U_C^2} \text{ – скалярна форма.} \quad (2.6)$$

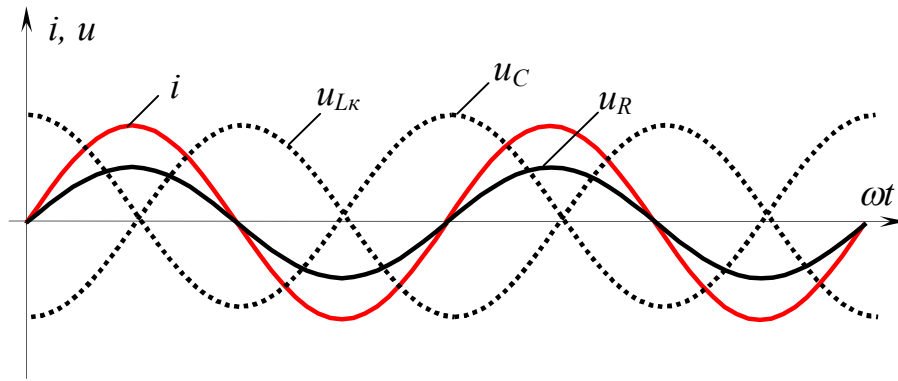


Рисунок 2.2 – Часові діаграми напруг u_R, u_{Lk}, u_C

У колі з послідовним з'єднанням вказаних елементів R, L_k, C може бути три варіанти співвідношень індуктивного X_{Lk} та ємнісного опорів X_C та відповідно три можливі характери електричного кола (векторні діаграми – див. рис. 2.3):

- $X_{Lk} > X_C$ – активно-індуктивний характер;
- $X_{Lk} < X_C$ – активно-ємнісний характер;
- $X_{Lk} = X_C$ – виключно активний характер (резонанс напруг – режим, при

якому частота джерела напруги $\omega = \sqrt{\frac{1}{L_k \cdot C}}$, реактивний опір кола $X = X_{Lk} - X_C = 0$, кут зсуву φ між напругою джерела та струмом i дорівнює нулю).

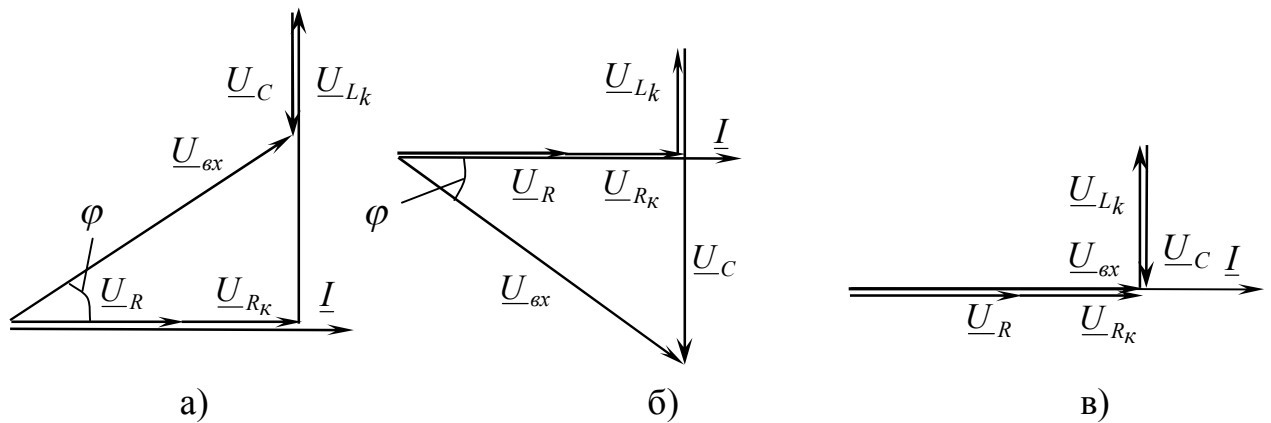


Рисунок 2.3 – Векторні діаграми для схеми рисунка 2.1:

для таких характерів опору навантаження: а) $X_{Lk} > X_C, \varphi > 0$, б) $X_{Lk} < X_C, \varphi < 0$, в) $X_{Lk} = X_C, \varphi = 0$

Пряма задача аналізу нерозгалуженого кола – це визначення струму (або напруги) за відомими значеннями напруги (або струму) та параметрам елементів схеми за такими формулами:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L_k - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + (X_{Lk} - X_C)^2} \text{ – повний опір схеми (рис. 2.1);} \quad (2.5)$$

$$I = \frac{U_{\text{ex}}}{Z} - \text{діюче значення струму (закон Ома);} \quad (2.6)$$

$$\varphi = \arctg \frac{\omega L_k - \frac{1}{\omega C}}{R_1 + R_k} - \text{кут зсуву за фазою між струмом } i \text{ та напругою } u_{\text{ex}}, \quad (2.7)$$

де U_{ex} – діюче значення вхідної напруги ($U = U_m / \sqrt{2}$);

I – діюче значення струму ($I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$).

Напругу на окремих елементах R , L_k , C визначають за формулами (2.2), (2.3), (2.4).

Зворотна задача аналізу нерозгалуженого кола – це визначення параметрів елементів схеми струму за відомими значеннями напруги, струму, активної потужності. Наприклад, для визначення параметрів котушки необхідно знати напругу на котушці, струм кола та споживану активну потужність P_k :

$$Z_k = \frac{U_k}{I} - \text{повний опір котушки;} \quad (2.8)$$

$$R_k = \frac{P_k}{I^2} - \text{активний опір котушки;} \quad (2.9)$$

$$X_{Lk} = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} - \text{індуктивний опір котушки;} \quad (2.10)$$

$$L_k = \frac{X_{Lk}}{2 \cdot \pi \cdot f} - \text{індуктивність котушки.} \quad (2.11)$$

За значеннями R_1 , R_k , X_{Lk} та розрахованим за показами вольтметра та амперметра значенням повного опору електричного кола ($Z = \frac{U_{\text{ex}}}{I}$), можна визначити ємнісний опір X_C та ємність конденсатора:

$$X_C = X_{Lk} - \sqrt{Z^2 - R^2} = X_{Lk} - \sqrt{\left(\frac{U_{\text{ex}}}{I}\right)^2 - R^2}; \quad (2.12)$$

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C}. \quad (2.13)$$

2.5 Порядок виконання роботи

2.5.1 Скласти на набірному полі стенду електричне коло, схема якого зображена на рисунку 2.4. Елементи набірного поля – резистор R_1 , конденсатор C , котушку (на схемі позначена пунктиром) із параметрами L_k і R_k взяти з елементів набірного поля за вказівкою викладача. Як джерело напруги використати джерело змінної напруги. Діюче значення вхідної напруги (у діапазоні від 20 В до 24 В) та його частота задається викладачем.

2.5.2 Виміряти за допомогою амперметра Щ4300 (або Щ4313) діюче значення струму у колі, а за допомогою мультиметра – діючі значення вхідної напруги та напруг на резисторі, конденсаторі, котушці. За допомогою ватметра W виміряти активну потужність котушки P_k .

Значення струму, напруг, потужності котушки занести до таблиці 2.1.

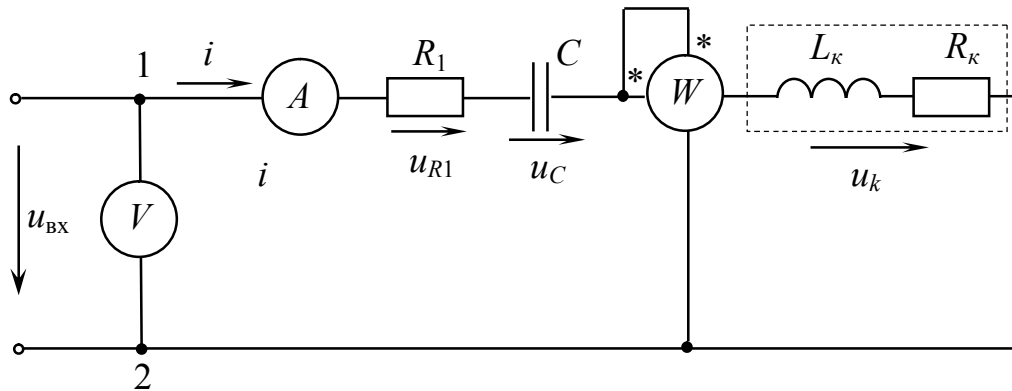


Рисунок 2.4 – Схема досліджуваного кола

Таблиця 2.1 – Результати експерименту та розрахунків

Виміряні величини						Розраховані величини							
$U_{\text{вх}}$	I	U_{R_1}	U_k	U_C	P_k	R	Z	Z_k	R_k	X_{L_k}	L_k	X_C	C
В	А	В	В	В	Вт	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Гн	Ом	мкФ

2.6 Обробка експериментальних даних

2.6.1 Користуючись формулами (2.9) – (2.13) розрахувати значення Z , Z_k , R_k , R , X_{L_k} , L_k , X_C , C .

2.6.2 Перевірити розраховане значення R_k вимірюванням цього параметра за допомогою мультиметра ВР-11 (режим вимірювання опору).

2.6.3 Перевірити значення X_C за формулою $X_C = \frac{U_C}{I}$.

2.6.4 Розрахувати повний реактивний опір електричного кола $X = X_{Lk} - X_C$.

2.6.5 Розрахувати активну, реактивну, повну потужності електричного кола за формулами:

$$P = R \cdot I^2 \text{ – активна потужність, Вт;} \quad (2.14)$$

$$Q = X \cdot I^2 \text{ – реактивна потужність, ВАр;} \quad (2.15)$$

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ – повна потужність, ВА.} \quad (2.16)$$

2.7 Висновки

За результатами роботи зробити висновки:

- про вплив характеру кола на кут зсуву фаз між струмом і напругою на її вході;
- про неможливість застосування законів Кірхгофа для діючих значень струмів і напруг синусоїдного струму;
- проаналізувати причини можливих похибок при визначенні параметрів котушки R_k , і L_k , ємності C експериментальним та розрахунковим шляхом.

2.8 Контрольні запитання

1. Що називають миттєвим значенням синусоїдної величини? Якими параметрами ця величина характеризується?
2. Наведіть формули для визначення індуктивного X_L та ємнісного X_C опорів через параметри L , C і f .
3. Як визначають модуль повного опору Z ділянки кола з послідовно з'єднаними активним опором R , індуктивністю L та ємністю C ?
4. Який порядок побудови векторної діаграми напруг послідовного контуру (рисунок. 2.1)?
5. Як визначають активну, реактивну та повну провідності ділянки кола з послідовно з'єднаними активним опором R , індуктивністю L та ємністю C ?
6. Як визначають активну, реактивну та повну потужності в колах синусоїдного струму?

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

3.1 Мета роботи

Метою роботи є таке:

- визначення втрати напруги;
- визначення потужності і ККД лінії передачі при різному навантаженні;
- дослідження лінії передачі при різному навантаженні;
- визначення за даними експерименту техніко-економічних показників роботи лінії.

3.2 Обладнання та прилади

Під час виконання роботи необхідно використовувати таке обладнання та прилади:

- універсальний навчально-дослідницький лабораторний стенд НДЛС-1;
- елементи набірної поля стенда;
- амперметр Щ4300, Щ4313;
- мультиметр ВР-11.

3.3 Підготовчий етап лабораторної роботи

Підготовчий етап включає вивчення теоретичного матеріалу [3, с. 21-23].

У результаті підготовки необхідно знати:

- мету, зміст, порядок виконання роботи;
- методи зменшення втрат у лініях передачі;
- умови, що визначають вибір номінальної напруги лінії передачі при її проектуванні.

3.4 Загальні відомості

Під час розгляду ліній передачі електричної енергії невеликої довжини опором з'єднувальних проводів зазвичай нехтують. Але в разі значної довжини лінії, як у лініях електропередачі в колах міського електропостачання, опори проводів враховують, оскільки спостерігається втрата (спад) напруги та енергії у проводах лінії передачі, а різниця в напрузі на початку та на кінці лінії стає досить помітною.

Спрощена схема двопровідної лінії зображена на рисунку 3.1.

Втратою напруги ΔU називається різниця між напругою U_1 на початку лінії та напругою U_2 наприкінці лінії (на затискачах приймача R_H):

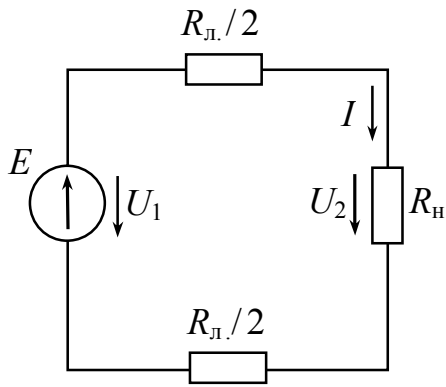


Рисунок 3.1 – Спрощена схема двопровідної лінії

$$\Delta U = U_1 - U_2 \quad (3.1)$$

З іншого боку, втрата напруги в лінії визначається падінням напруги на опори проводів лінії, тобто пропорційна струму I та опору проводів $R_{л.}$:

$$\Delta U = I \cdot R_{л.} \quad (3.2)$$

Струм лінії залежить від навантаження, тобто від опору приймача енергії $R_{н.}$:

$$I = \frac{U_1}{R_{л.} + R_{н.}} = \frac{U_2}{R_{н.}} \quad (3.3)$$

Потужність втрат у проводах лінії дорівнює:

$$\Delta P = I^2 \cdot R_{л.} \quad (3.4)$$

Потужність на початку лінії визначають за формулою:

$$P_1 = U_1 \cdot I = \frac{U_1^2}{R_{л.} + R_{н.}} = I^2 \cdot (R_{л.} + R_{н.}) \quad (3.5)$$

Корисна потужність, тобто потужність приймача енергії у разі зміни опору $R_{н.}$ також змінюється:

$$P_2 = U_2 \cdot I = I^2 \cdot R_{н.} = \frac{U_1^2 \cdot R_{н.}}{(R_{л.} + R_{н.})^2} = U_1 \cdot I - I^2 \cdot R_{л.} = U_1 \cdot I - \Delta U \cdot I \quad (3.5)$$

Зрозуміло, що з підвищенням напруги U_2 можна зменшити значення струму I і втрати у проводах P_{np} . Це дає змогу зменшити переріз проводів:

$$\Delta P = I^2 \cdot R_{л.} = \left(\frac{P_2}{U_2} \right)^2 \cdot \rho \cdot \frac{l_{np}}{S_{np}}, \quad (3.6)$$

де l_{np} , S_{np} – відповідно довжина та переріз проводів.

ККД лінії передачі:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I \cdot U_2}{I \cdot U_1} = \frac{U_1 - \Delta U}{U_1} = 1 - \frac{\Delta U}{U_1} = 1 - \frac{R_{л.} \cdot I}{U_1} \quad (3.7)$$

У разі короткого замикання в кінці лінії струм у лінії сягатиме максимального значення:

$$I = I_k = \frac{U_1}{R_{л.}} \quad (3.8)$$

Напруга U_2 на затискачах приймача та потужність приймача P_2 у разі короткого замикання дорівнюватимуть нулю. У неробочому режимі, коли $R_H = \infty$, струм у лінії дорівнює нулю, отже, потужність P_2 також дорівнює нулю. Якщо значення опору навантаження змінюється в діапазоні $0 \leq R_H \leq \infty$, то струм I змінюється від 0 до I_k , втрата напруги ΔU збільшуватиметься пропорційно до зростання I , а потужність P_2 спочатку зростатиме, а потім почне зменшуватися.

Потужність P_2 сягне максимального значення $P_{2\max}$ за умови виконання співвідношення $R_{\text{л}} = R_H$:

$$P_{2\max} = \frac{U_1^2}{4 \cdot R_H}. \quad (3.9)$$

ККД лінії передачі при цьому:

$$\eta = \frac{P_{2\max}}{P_1} = \frac{I^2 \cdot R_H}{(R_{\text{л}} + R_H) \cdot I^2} = \frac{R_H}{R_{\text{л}} + R_H} = \frac{R_H}{2 \cdot R_H} = 0,5. \quad (3.10)$$

Зрозуміло, якщо потужність P_H значна, то працювати з таким низьким ККД неприпустимо. Зазвичай лінії передачі працюють із ККД в діапазоні 0,94–0,96.

Залежності P_1 , P_H , U_2 , η від струму в лінії зображенні на рисунку 3.2.

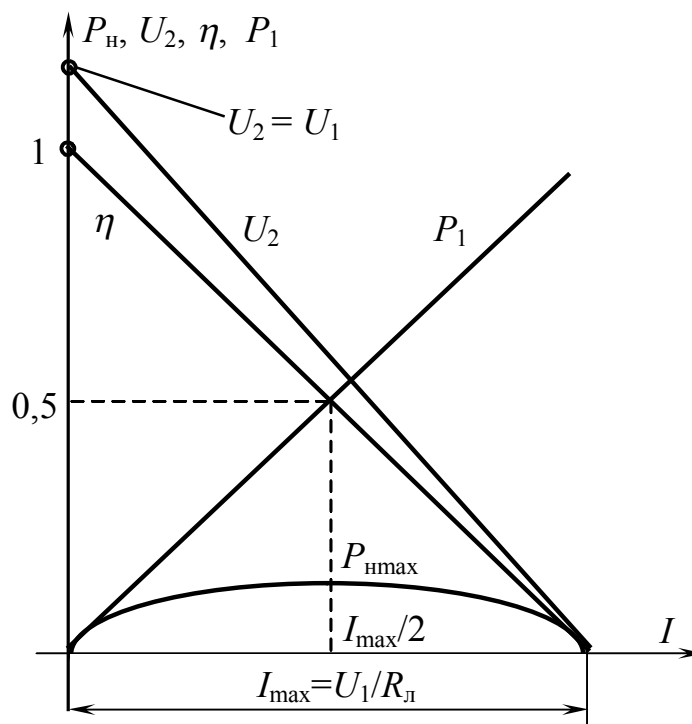


Рисунок 3.2 – Графіки $U_H(I)$, $P_H(I)$, $\eta(I)$, $U_2(I)$

3.5 Порядок виконання роботи

3.5.1 Зібрати схему електричних з'єднань (рис. 3.3). У схемі резистори $R_{л1}$ та $R_{л2}$ заміщають опір проводів лінії передачі. Встановити задану викладачем напругу U_1 . Надалі значення U_1 необхідно підтримувати незмінним за допомогою потенціометра $R_{рег}$.

3.5.2 Виміряти за допомогою амперметра Щ4300 або Щ4313 (на схемі A_1) значення струму I у колі, а за допомогою мультиметра, підключаючи його по чергово до точок «1–2» та «2–3» – значення напруги U_1 та U_2 при неробочому ході (тумблери B_1, B_2, B_3, K_3 розімкнуті). Значення струму та напруг занести до таблиці 3.1.

3.5.3 Послідовно під'єднувати навантаження $R_{н1}, R_{н2}, R_{н3}$ шляхом вмикання тумблерів B_1, B_2, B_3 . При цьому замикаючи кожен наступний тумблер не потрібно вимикати попередні. На кожному етапі виміряти I, U_1, U_2 . Значення струму та напруг занести до таблиці 3.1.

3.5.4 Здійснити режим короткого замикання шляхом замикання ключа K_4 . Виміряти I, U_1, U_2 . Значення струму та напруг занести до таблиці 3.1.

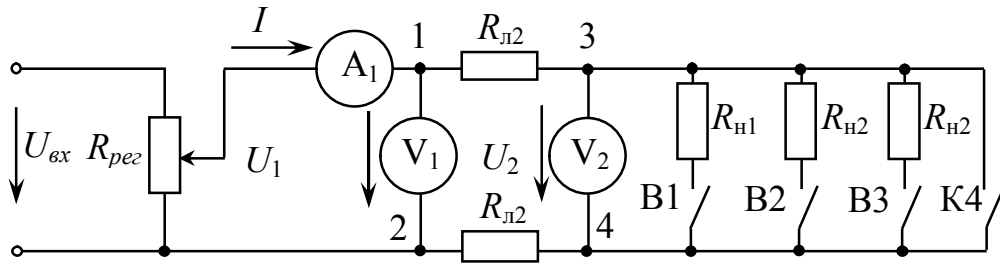


Рисунок 3.3 – Схема дослідження лінії передачі постійного струму

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку та експерименту

Режим роботи лінії передачі	Експеримент					Розрахунок				
	$U_1,$ В	$I,$ мА	$U_2,$ В	$\Delta U,$ В	$P_1,$ Вт	$R_{л},$ Ом	$\Delta U,$ В	$R_{н},$ Ом	$P_2,$ Вт	$\eta,$ %
Неробочий хід								∞		
B1										
B1 та B2										
B1, B2 та B3										
Коротке замик.								0		

3.6 Обробка експериментальних даних

3.6.1 Розрахувати технічні показники роботи лінії за формулами:

$$R_{\text{л}} = R_{\text{л1}} + R_{\text{л2}} = \frac{U_{\text{лкз}}}{I_{\text{кз}}}; \quad \Delta U = I \cdot R_{\text{л}}; \quad R_{\text{н}} = \frac{U_2}{I}, \quad P_2 = U_2 \cdot I = I^2 \cdot R_{\text{н}};$$

$$\eta = 1 - \frac{R_{\text{л}} \cdot I}{U_1}.$$

Результати розрахунків занести до таблиці 3.1.

3.6.2 За даними експериментів і розрахунків побудувати залежності

$$U_2 = f(I), \quad P_1 = f(I), \quad P_2 = f(I), \quad \eta = f(I).$$

3.7 Висновки

За результатами виконаних досліджень зробити висновки, щодо умови передачі максимальної потужності споживачу від джерела у разі ненульового опору лінії, а також висновки щодо причин, які призводять до відхилення отриманих експериментальним шляхом залежностей $U_2 = f(I)$, $P_1 = f(I)$, $P_2 = f(I)$, $\eta = f(I)$ від цих самих залежностей, отриманих теоретичним шляхом.

3.8 Контрольні запитання

1. Від чого залежать втрати напруги та втрати потужності в лінії?
2. Як зменшують на практиці втрати потужності в лінії передачі?
3. Пояснити отримані під час проведення експерименту залежності.
4. Вивести умови передачі максимальної потужності від джерела до навантаження у разі ненульового та ненульового опору лінії.
5. Від яких величин залежить вибір номінальної напруги лінії передачі електричної енергії при її проектуванні?

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА АКТИВНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

4.1 Мета роботи

Метою роботи є таке:

- дослідження однофазного однопівперіодного випрямляча, що працює на активне навантаження;
- дослідження однофазного мостового випрямляча, що працює на активне навантаження;

4.2 Обладнання та прилади

Під час виконання роботи необхідно використовувати такі обладнання та прилади:

- універсальний навчально-дослідницький лабораторний стенд НДЛС-1;
- амперметр Э537 або Щ4300, Щ4313;
- вольтметр Э59;
- аналоговий осцилограф С1-68, або цифровий осцилограф SDS 1022 DL;
- мультиметр ВР-11.

4.3 Підготовчий етап лабораторної роботи

Підготовчий етап включає вивчення теоретичного матеріалу [1, С. 473–488, 514–526]; [2, С. 4–17, 37–57].

Результатом підготовчого етапу є таке:

- набуття навичок експериментального дослідження однофазних випрямлячів, підключених до активного навантаження;
- дослідження згладжувальних фільтрів.

4.4 Пояснення до роботи

Найрозповсюдженішими є джерела, що виробляють енергію змінного струму. Тому виникає необхідність у перетворенні енергії змінного струму в енергію постійного струму, але існують навантаження, які споживають енергію тільки постійного струму (пристрої обчислювальної та електронної техніки, електричний транспорт, пристрої електрохімічної промисловості тощо.). Пристрої, які забезпечують таке перетворення називають випрямлячами.

Основою будь-яких випрямлячів є напівпровідниковий прилад діод. Діод має два електроди – анод (А) і катод (К). В електричних колах діод позначається, як зображено на рисунку 4.1.

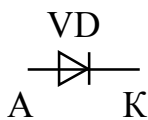


Рисунок 4.1 – Умовне позначення діода

Діод може бути в провідному стані (опір діода $R_d \approx 0$), якщо електричний потенціал анода вищий за потенціал катода, та в непровідному стані ($R_d \rightarrow \infty$), коли навпаки потенціал катода вищий за потенціал анода.

Розглянемо принцип роботи однопівперіодного випрямляча у разі підключення діода VD послідовно з активним опором R_H до джерела синусоїдної напруги $u_2(t) = U_m \sin \omega t$ (рис. 4.2, а). У позитивний півперіод діод буде відкритим і якщо вважати діод ідеальним ($R_d \approx 0$), то в цей півперіод напруга джерела повністю прикладена до навантаження. Миттєве значення струму в колі при цьому:

$$i(t) = \frac{U_m}{R_H} \cdot \sin \omega t \quad (4.1)$$

У негативний півперіод напруги джерела діод VD закритий ($R_d \rightarrow \infty$) і якщо знехтувати зворотнім струмом, то негативна півхвиля напруги буде прикладена тільки до діода, і струм дорівнюватиме нулю. Амплітуда негативної півхвилі напруги джерела буде максимальною зворотною напругою діода:

$$U_{d36.max} = \sqrt{2} \cdot U_2, \quad (4.2)$$

де U_2 – діюче значення напруги джерела.

Розглянуті процеси періодично повторюються з частотою джерела напруги. У такому випрямлячі навантаженням використовується тільки позитивний півперіод напруги джерела, а струм і напруга на навантаженні R_H є пульсуючими. Напруга змінюється від нуля до амплітуди вторинної напруги трансформатора U_m . Часові діаграми роботи такого випрямляча зображені на рисунку 4.2, б.

Середнє значення напруги на навантаженні буде:

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} u_2(\omega t) d\omega t = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{\pi} U_m \sin \omega t d\omega t = \frac{U_m}{2\pi} \cdot (-\cos \omega t) = \frac{U_m}{\pi}. \quad (4.3)$$

Середнє значення випрямленого струму навантаження:

$$I_d = \frac{U_d}{R_H}. \quad (4.4)$$

Амплітуда струму навантаження:

$$I_m = \frac{U_m}{R_H}. \quad (4.5)$$

Діюче значення напруги на навантаженні:

$$U_H = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} u_2^2(\omega t) d\omega t} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{\pi} U_m^2 \cdot \sin^2 \omega t d\omega t} = 0,707 \cdot U_2. \quad (4.6)$$

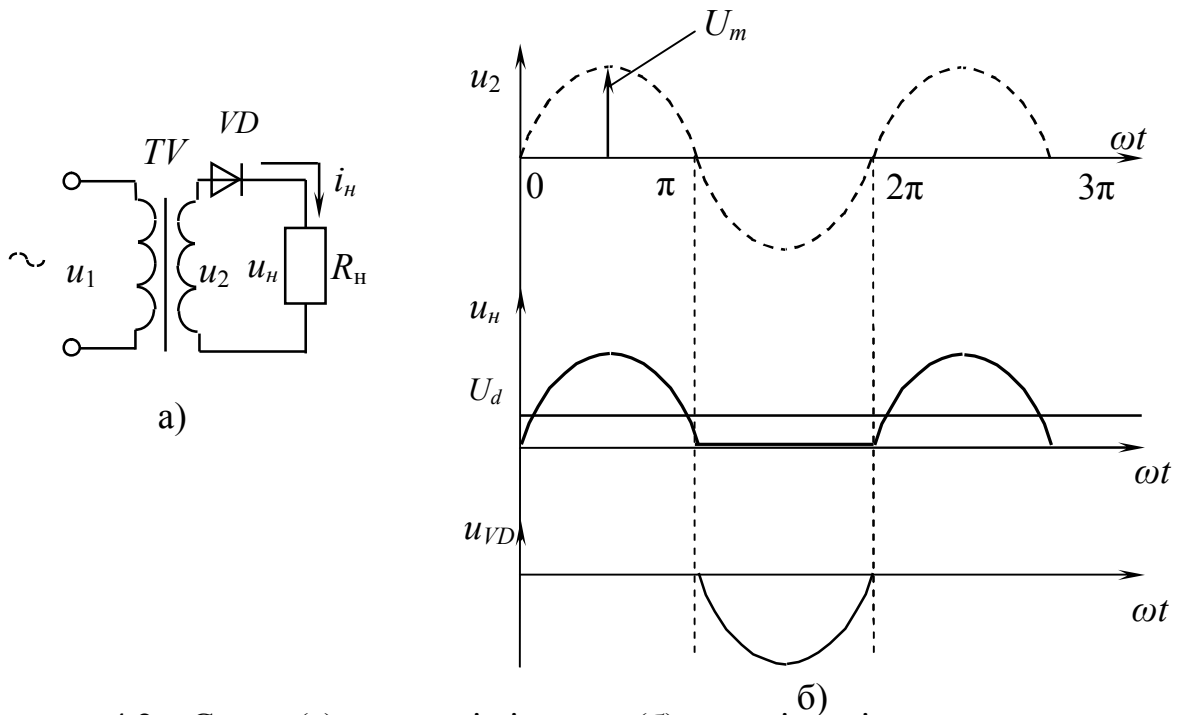


Рисунок. 4.2 – Схема (а) та часові діаграми (б) однопівперіодного випрямляча

Важливим недоліком роботи цього випрямляча є те, що випрямлена напруга пульсуюча та переривчаста. Кількість пульсацій цієї напруги за період вторинної напруги трансформатора $p = 1$.

Більш досконалим випрямлячем є однофазний двопівперіодний мостовий випрямляч, схема якого наведена на рисунку 4.3, а.

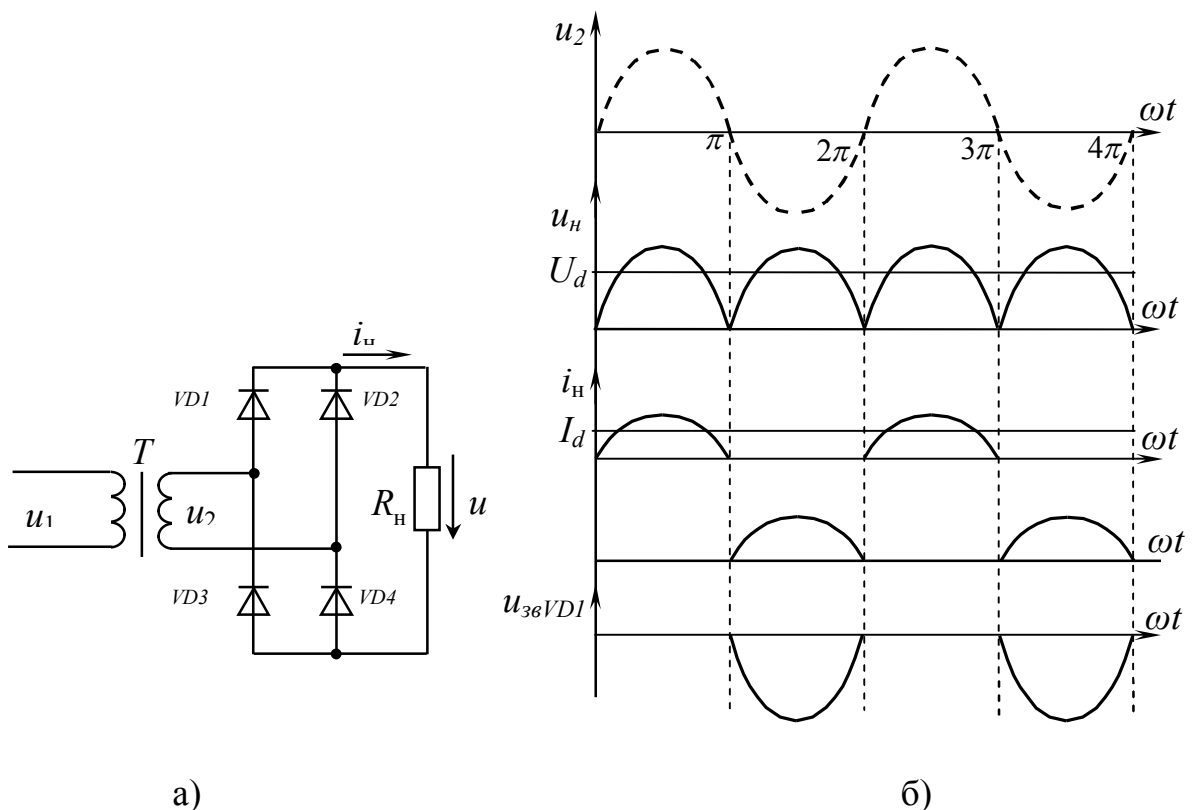


Рисунок. 4.3 – Схема (а) та часові діаграми (б) роботи мостового випрямляча

Цей випрямляч має дві групи діодів – анодну (діоди $VD1$ та $VD2$) та катодну (діоди $VD3$ та $VD4$).

На інтервалі $0 \leq \omega t \leq \pi$ (у позитивну півхвилю напруги джерела) діоди $VD1$ та $VD4$ будуть у відкритому стані, а діоди $VD2$ і $VD3$ в закритому, через навантаження проходить струм. На інтервалі $\pi \leq \omega t \leq 2\pi$ (у негативний півперіод) у відкритому стані перебувають діоди $VD2$ і $VD3$, а в закритому $VD1$ та $VD4$, але через навантаження в цьому разі проходить струм, причому напрямок струму в навантаженні у разі позитивної та негативної півхвиль однаковий.

Середнє значення напруги на навантаженні:

$$U_d = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} \sqrt{2} \cdot U_2 \cdot \sin \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_2 \cdot (-\cos \omega t) \Big|_0^{\pi} = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot U_2. \quad (4.7)$$

Середнє значення струму в навантаженні:

$$I_d = \frac{U_d}{R_H} = 0,9 \cdot \frac{U_2}{R_H}. \quad (4.8)$$

Максимальне значення струму через діод:

$$I_{d\max} = \frac{\pi}{2} \cdot I_d. \quad (4.9)$$

Діюче значення струму в навантаженні:

$$I_H = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T i_2^2 \cdot dt} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_0^{\pi} I_m^2 \cdot \sin^2 \omega t d\omega t} = \frac{\pi}{4} \cdot I_d. \quad (4.10)$$

Амплітудне значення зворотної напруги на закритому діоді:

$$U_{dзв.\max} = \sqrt{2} \cdot U_2. \quad (4.11)$$

Мостові випрямлячі забезпечують значно менші пульсації випрямленого струму, крім того, ефективніше використовують енергію джерела. Кількість пульсацій випрямленої напруги за період напруги мережі $p = 2$.

Часові діаграми роботи такого випрямляча зображені на рисунку 4.3, б.

У тому разі, коли необхідним є споживання значної потужності навантаженням (понад 2 кВт) і воно підключено до трифазної мережі, застосовують трифазні випрямлячі – так звані схеми Міткевича та Ларіонова, які в цій роботі не досліджуються.

З точки зору споживача будь-який випрямляч є джерелом енергії, і тому, як і для кожного джерела, однією з головних характеристик випрямляча є його

зовнішня характеристика $U_d = f(I_d)$ – залежність середнього значення випрямленої напруги від середнього значення випрямленого струму навантаження.

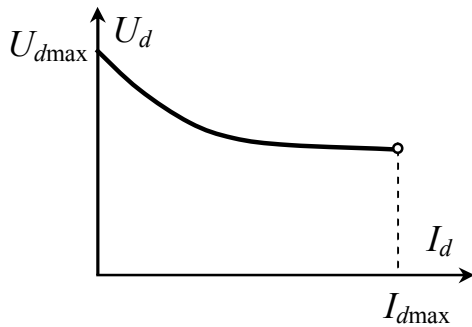


Рисунок 4.4 – Зовнішня характеристика випрямляча

Найбільшим значення U_d буде при $I_d = 0$ (режим без навантаження) і зменшується у разі збільшення струму навантаження.

Зменшення U_d зі зростанням струму I_d зумовлено впливом величини реактивного та активного опорів фазних обмоток трансформатора, опорів з'єднувальних провідників і діодів у відкритому стані.

Приблизний вигляд зовнішньої характеристики зображений на рисунку 4.4.

4.5 Порядок виконання роботи

4.5.1 Дослідження вольт-амперної характеристики напівпровідникового діода

Ознайомитись із вимірювальними приладами та технічними характеристиками випрямного елемента діода КД202В.

Головними параметрами діода КД202В є такі:

- середнє значення випрямленого струму $I_{np} = 3,5$ А;
- пряме падіння напруги $U_{np} = 1$ В, тобто напруга на діоді при граничному прямому струмі I_{np} , для діодів із кремнію становить $(0,6 \div 0,8)$ В;
- максимально допустима зворотна напруга $U_{звmax} = 100$ В, що дорівнює максимально допустимому амплітудному значенню зворотної напруги, яке не призводить до виходу з ладу приладу за визначених умов охолодження.

На набірному полі стенда НДЛС-1 зібрати схему, наведену на рисунку 4.5. Як джерело $U_{дж}$ використати регульоване джерело з блоку постійних напруг стенда НДЛС-1, підключити його з полярністю, вказаною без дужок. Як обмежуючий струм резистор R_1 використати відповідний резистор із блоку змінного опору.

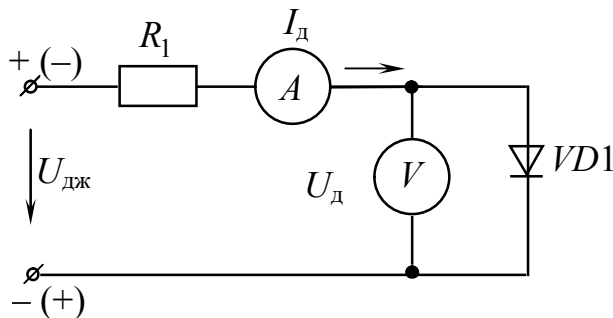


Рисунок 4.5 – Досліджувана схема для зняття ВАХ діода КД202В

Вимірювальні прилади перевести в режим вимірювання постійного струму, встановити

межі вимірювання для амперметра Э537 – 0,5 А (200 мА для Щ4300, 500 мА для Щ4313) та 2 В для мультиметра ВР-11. Діод $VD1$ взяти з набору елементів стенда НДЛС-1.

Для побудови прямої гілки вольт-амперної характеристики регулятором напруги за допомогою амперметра встановлювати значення струмів через діод I_d , що вказані в таблиці 4.1. Результати вимірювання мультиметром напруги на діоді U_d занести до таблиці 4.1. Під час виконання цього експерименту звернути увагу на правильність підключення мультиметра.

Таблиця 4.1 – Результати експерименту п. 4.5.1

I_d, A	0	0,005	0,01	0,015	0,03	0,09	0,12	0,2
U_d, B								

4.5.2 Для побудови зворотної гілки вольт-амперної характеристики діода змінити полярність джерела постійної напруги та мультиметра (на рисунку 4.5 полярність вказана у дужках), інші елементи залишити без змін.

Регулятором напруги за мультиметром, що працює в режимі вольтметра, встановлювати значення напруги на діоді, вказані в таблиці 4.2. Покази амперметра занести до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати експерименту п. 4.5.2

U_d, B	0	2	5	10	15	20	25
I_d, A							

4.5.3 Дослідження однофазного мостового випрямляча

Зібрати схему однофазного мостового випрямляча, що наведена на рисунку 4.6. Як джерело змінної напруги $u_{дж}$ використати блок трифазних напруг

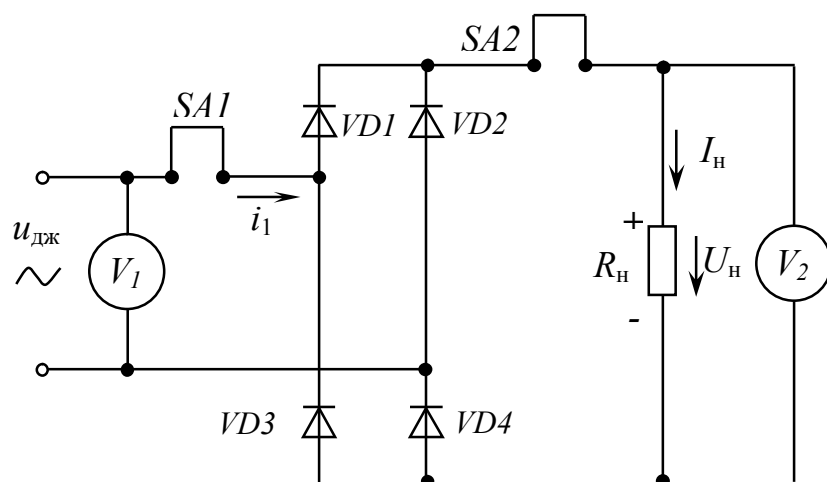


Рисунок. 4.6 – Схема однофазного мостового випрямляча

(фаза А). Як резистор R_n взяти резистор R_1 із блоку змінних опорів. Елементи схеми $SA1$ та $SA2$ – це перемички, що входять до складу набірних елементів стенда НДЛС-1.

Встановити в режимі вимірювання змінної напруги межу вимірювання для вольтметра Э59 (V_1) – 50 В, для амперметра Э537 – 0,5 А; для мультиметра (V_2) – 200 В у режимі вимірювання постійної напруги.

Регулятором напруги встановлювати діючі значення напруги $u_{дж}$ за таблицею 4.3. Виміряти діюче значення струму на вході випрямляча I_1 (амперметр у режимі вимірювання змінного струму, включений на місце $SA1$), напругу U_n на навантаженні R_n , та струм I_n на виході випрямляча (амперметр у режимі вимірювання постійного струму, включений на місце $SA2$).

Таблиця 4.3 – Результати експерименту п. 4.5.3

$U_{дж}, В$	10	12	15	20	24
$I_1, А$					
$I_n, А$					
$U_n, В$					

4.5.4. Замінити резистор R_1 із блоку змінних опорів на резистор R_4 із того самого блоку (схема рисунку 4.6). За допомогою регулятора напруги джерела встановити $U_{дж}$ на рівні 15 В. Змінюючи опір навантаження R_4 , встановлювати струм I_n відповідно до таблиці 4.4 та виміряти значення $I_1, U_n, U_{дж}$.

Таблиця 4.4 – Результати експерименту п. 4.5.3

$I_n = I_d, А$	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
$I_1, А$						
$U_n = U_d, В$						
$U_{дж}, В$						

4.5.5. Зняти осцилограми напруги на навантаженні та діоді випрямляча, вказуючи масштаби за напругою та часом, для чого паралельно до резистора $R_n(R_4)$ та діода підключати осцилограф.

4.6 Обробка експериментальних даних

4.6.1 За результатами експериментальних даних п. 4.5.1 та п. 4.5.2 (табл. 4.1, 4.2) побудувати вольт-амперну характеристику діода – залежність між струмом та напругою діода $I_d = f(U_d)$.

4.6.2 За результатами експериментальних даних (п. 4.5.3, табл. 4.3) побудувати передатні характеристики – графіки залежності напруги на навантаженні та струму навантаження мостового випрямляча від напруги джерела, тобто $U_n = f(U_{дж})$ та $I_n = f(U_{дж})$.

4.6.3 За результатами експериментальних даних (п. 4.5.4, табл. 4.4) побудувати зовнішню характеристику мостового випрямляча $U_d = f(I_d)$.

4.7 Висновки

За результатами проведеної лабораторної роботи зробити висновки про властивості випрямних діодів, методи дослідження випрямлячів та їхніх головних характеристик.

4.8 Контрольні запитання

1. Наведіть головні властивості та характеристики випрямного діода.
2. Поясніть, що таке випрямляч і для чого він застосовується.
3. Наведіть схему та поясніть принцип дії однофазного однопівперіодного випрямляча.
4. Поясніть, як визначити середнє та діюче значення випрямленого струму в схемі однопівперіодного випрямляча, який працює на активне навантаження.
5. Поясніть, як визначити амплітуду зворотної напруги на закритому діоді в схемі однопівперіодного випрямляча.
6. Наведіть схему та поясніть принцип дії однофазного мостового випрямляча.
7. Поясніть, як визначити середнє та діюче значення випрямленого струму в схемі однофазного мостового випрямляча, який працює на активне навантаження.
8. Поясніть, як визначити амплітуду зворотної напруги на закритому діоді в схемі однофазного мостового випрямляча.
9. Назвіть пристрої, у яких використовуються випрямлячі.

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ.
ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

5.1 Мета роботи

Метою роботи є таке:

- виконання повірки амперметра електромагнітної системи;
- виконання повірки вольтметра електромагнітної системи;
- засвоєння методики обробки результатів непрямих вимірювань активного опору.

5.2 Обладнання та прилади

Під час виконання роботи необхідно використовувати таке обладнання та прилади:

- універсальний навчально-дослідницький лабораторний стенд НДЛС-1;
- прилад комбінований цифровий Щ4300 або Щ4313;
- мультиметр ВР-11;
- вольтметр електромагнітної системи Э59;
- амперметр електромагнітної системи Э525.

5.3 Підготовчий етап лабораторної роботи

Підготовчий етап включає вивчення теоретичного матеріалу [1, С. 259 – 275].

Результатом підготовчого етапу є таке:

- набуття навичок з виконання повірки амперметра та вольтметра електро-магнітної системи;
- набуття навичок із визначення середньої поправки вимірювань, приведеної похибки вимірювань (клас точності приладів), варіації показань приладів.

5.4 Пояснення до роботи

Вимірюванням називається одержання значень фізичних величин шляхом зіставлення з визначеною мірою цієї величини, що відповідає прийнятій системі одиниць (наприклад, СВ (система вимірювань)). Найпоширенішими технічними засобами вимірювання електричних величин є електровимірювальні прилади.

Електровимірювальними приладами називають засоби електричних вимірювань, призначені для вироблення сигналів вимірювальної інформації, тобто

інформації про значення вимірюваної величини, у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем (наприклад, амперметр, вольтметр, ватметр, фазометр). Загалом електровимірювальний прилад перетворює електромагнітну енергію вхідного сигналу в механічну, електричну, світлову або в інші види енергії, що дають змогу спостерігачеві одержати інформацію про поточне значення вимірюваної величини.

Умовно всі види електровимірювальних приладів можна розподілити на три групи: аналогові, електронні й цифрові.

Аналогові електровимірювальні прилади перетворюють вхідну вимірювану електричну величину в кутове переміщення покажчика. Показання таких приладів є неперервною функцією змін вимірюваної величини. У всіх аналогових електровимірювальних приладів є відліковий пристрій, що складається зі шкали, розташованої на циферблаті приладу, і покажчика.

Перетворення вхідної електричної величини в кутове відхилення покажчика здійснюється за допомогою вимірювального механізму аналогового приладу, що працює на використанні одного з електромагнітних явищ. Залежно від типу явища, що використовується в вимірювальному механізмі аналогового приладу, розрізняють магнітоелектричну, електромагнітну, електродинамічну, феродинамічну, індукційну, електростатичну системи електромеханічних вимірювальних приладів. Кожна з цих систем має свої переваги й недоліки, що визначають галузь її використання. У таблиці 5.1 наведена інформація про застосування систем електромеханічних приладів у різних типах цих приладів з урахуванням роду струму.

Таблиця 5.1 – Застосування систем електромеханічних приладів

Система приладу	Графічне позначення	Тип струму	Прилади, де застосовується
Магнітоелектрична		—	Амперметр, вольтметр, омметр
Електромагнітна		— ~	Амперметр, вольтметр, фазометр, частотомір
Електродинамічна		— ~	Амперметр, вольтметр, ватметр, фазометр, частотомір
Феродинамічна		— ~	Амперметр, вольтметр, ватметр
Індукційна		~	Лічильник електричної енергії
Електростатична		— ~	Вольтметр

Електронні вимірювальні прилади в складі своєї конструкції містять електронні блоки вхідних пристроїв, до яких належать підсилювач постійного або змінного струму, і випрямляч, що здійснює перетворення змінного струму на постійний. Сигнал, перетворений вхідним пристроєм, надходить на вимірювальний механізм, функції якого зазвичай виконує механізм магнітоелектричної системи. Зазвичай у метрологічній практиці застосовуються електронні амперметри й вольтметри, а також електронно-променеві осцилографи.

Цифрові вимірювальні прилади (ЦВП) – це прилади, в яких безперервний вхідний сигнал перетворюється на дискретний вихідний сигнал, наведений у цифровій формі. Під дискретним сигналом розуміють переривчастий сигнал, у якому інформація міститься не в інтенсивності носія сигналу (наприклад, у значенні напруги, струму), а в кількості елементів сигналу (наприклад, у кількості імпульсів напруги) та їх взаємному розташуванні в часі та просторі. Систему таких сигналів для подання інформації називають кодом. Процес перетворення аналогової величини в цифрову називається аналогово-цифровим перетворенням, а перетворювач, що здійснює це перетворення – аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП). Інформація про значення вимірюваної електричної величини надходить на графічний екран приладу.

За видом вимірюваних величин ЦВП поділяють на такі:

- вольтметри постійного та змінного струму;
- омметри й мости постійного та змінного струму;
- комбіновані прилади;
- вимірювачі частоти й інтервалів часу;
- спеціалізовані ЦВП, призначені для вимірювань температури, маси, швидкостей тощо.

Розглянемо характеристики електровимірювальних приладів, а саме їхні похибки, варіація показників, чутливість до вимірюваної величини, споживана потужність, час встановлення показників і надійність.

Похибка електровимірювального приладу обумовлена класом точності цього приладу. *Клас точності* – це узагальнена характеристика приладу, обумовлена межами допустимих основних і додаткових похибок. Клас точності може бути наведений у вигляді одного числа або дробу. У приладів, клас точності яких подано одним числом, яке вказане на циферблаті приладу, основна приведена похибка (у відсотках) у робочому діапазоні шкали не перевищує значення, що відповідає класу точності. До таких приладів належить більшість стрілочних і самописних приладів.

Варіація показників приладу – це найбільша різниця показників приладу

при вимірюванні того самого значення вимірюваної величини. Вона визначається при повільному наблизенні стрілки до певної позначки шкали приладу при русі спочатку від початкової ($\uparrow X$), а потім у зворотному напрямку від кінцевої позначки шкали ($\downarrow X$):

$$B = \frac{|\uparrow X - \downarrow X|}{X_H} \cdot 100\% . \quad (5.1)$$

де X_H – верхня границя вимірювання приладу (нормувальне значення).

Варіація показників характеризує ступінь стійкості показників приладу за однакових умов вимірювання тієї самої величини.

Чутливістю електровимірювального приладу до вимірюваної величини x називається похідна від переміщення покажчика α по вимірюваній величині x :

$$S = \frac{d\alpha}{dx} = F(x) . \quad (5.2)$$

Переміщення покажчика α , що виражений у поділках або міліметрах шкали, для великої групи приладів визначається, насамперед, кутом відхилення рухомої частини α вимірювального механізму. Крім того, воно залежить від типу відлікового пристрою та його характеристик (стрілочний або світловий покажчик, довжини шкали, кількості поділок шкали тощо).

Величина, зворотна чутливості, називається *ціною поділки* (постійною) приладу. Вона дорівнює кількості одиниць вимірюваної величини, що міститься в одній поділці шкали. Ціну поділки приладу можна визначити, якщо поділити верхню границю вимірювання на кількість поділок у шкалі:

$$C = \frac{1}{S} = \frac{X_H}{N} . \quad (5.3)$$

Результат будь-якого вимірювання завжди буде відрізнятися від дійсного значення вимірюваної величини. Це розходження становить похибку вимірювань. Залежно від числового виразу розрізняють абсолютні, відносні й приведені похибки.

Абсолютна похибка:

$$\Delta = X - X_{\partial} , \quad (5.4)$$

де X – показання приладу або результат вимірювання;

X_{∂} – дійсне значення вимірюваної величини.

Абсолютну похибку вимірювання, яку взято зі зворотнім знаком, називають поправкою:

$$\beta = -\Delta . \quad (5.5)$$

$$\Delta = X - X_{\partial}. \quad (5.4)$$

Відносна похибка – це відношення абсолютної похибки вимірювання до дійсного значення вимірюваної величини, виражене у відсотках:

$$\delta = \frac{100 \cdot \Delta}{X_{\partial}}, (\%). \quad (5.5)$$

Приведена похибка є виражене у відсотках відношення абсолютної похибки Δ до значення величини, що нормується X_H :

$$\gamma = \frac{100 \cdot \Delta}{X_H}, (\%). \quad (5.6)$$

Для того, щоб визначити діапазон ймовірних похибок вимірювань застосовують методику розрахунку середнє квадратичного відхилення результатів вимірювання. При цьому, чим більше вимірювань величини було зроблено, тим точніше отримано кінцевий результат.

За даними вимірювань визначають середнє квадратичне результатів спостережень:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_i + \dots + X_n}{n}, \quad (5.7)$$

де n – кількість вимірювань величини X .

Далі обчислюють середнє квадратичне відхилення результатів окремих спостережень σ і визначають середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань $\sigma_{\bar{X}}$:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}, \quad (5.8)$$

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (5.9)$$

Шуканий довірчий інтервал, у який із заданою ймовірністю p попадає дійсне значення вимірюваної величини, визначають за формулою

$$\Delta X = \pm t_{p,n-1} \cdot \sigma_{\bar{X}}, \quad (5.10)$$

де $t_{p,n-1}$ – коефіцієнт Стюдента, який знаходять з відповідних таблиць залежно від довірчої ймовірності p і числа ступенів свободи $(n-1)$.

Результат вимірювання величини записують у вигляді

$$X = \bar{X} \pm \Delta X. \quad (5.11)$$

Під повіркою електровимірювальних приладів розуміють метрологічну операцію, що полягає в порівнянні мір і показів електровимірювальних прила-

дів зі зразковими мірами або показами зразкових вимірювальних приладів для визначення їхніх похибок.

У процесі експлуатації електровимірювальних приладів відбувається знос їхніх конструктивних елементів, що обумовлює появу похибок, тому через визначений проміжок часу електровимірювальні прилади повинні проходити перевірку на відповідність їхньому класу точності нормувальному значенню.

При виборі зразкових приладів потрібно виконувати такі вимоги:

- клас точності зразкового приладу повинен бути в п'ять разів вищим за клас точності приладу, що повіряється;
- верхні границі вимірювання зразкового та повірюваного приладів повинні бути однаковими або відрізнятись не більше ніж на 25 %;
- варіація показів зразкового приладу не повинна перевищувати допустимої похибки;
- під час перевірки приладів, що вимірюють постійний струм, як зразковий треба застосовувати магнітоелектричні прилади.

Певірка стрілочних електровимірювальних приладів завжди здійснюється методом звіряння на змінному струмі й компенсаційним методом на постійному струмі.

Метод звіряння полягає в одночасному вимірюванні величин приладом, що повіряється, і зразковим та порівнянні їх показів. За дійсні значення вимірюваної величини приймають покази зразкового приладу. Якщо отримана в результаті досліду перевірки приведена похибка не перевищує значення класу точності приладу, що повіряється, то такий прилад визнається робочим.

5.5 Порядок виконання роботи

5.5.1 Певірка амперметра електромагнітної системи

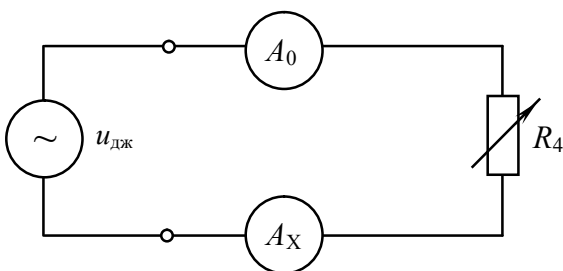


Рисунок 5.1 – Схема певірки амперметра електромагнітної системи

На набірному полі скласти електричне коло за схемою рисунка 5.1. Як джерело живлення використати фазу А блока трифазних напруг. Значення напруг джерела живлення $U_{дж}$ встановити відповідно до номера робочого місця за таблицею 5.1. Як зразковий амперметр A_0 використати комбінований цифровий вимірювальний прилад Щ4313 або

Щ 4300, як амперметр, що повіряється A_x – амперметр електромагнітної системи Э525. Резистор R_4 – це резистор із блоку змінних активних опорів стенда НДЛС-1.

Перевести вимірювальні прилади в режим вимірювання змінного струму та встановити такі границі вимірювання: амперметр Э525 – 0,5А, Щ4313 (Щ4300) – 500 (2000) мА. Визначити ціну поділки амперметру Э525. Величину опору R_4 встановити рівним 100 Ом.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для п. 5.5.1

Номер робочого місця	1	2	3	4	5	6
$U_{дж}, В$	15	17	20	22	25	27

Виконати вимірювання струмів зразкового амперметра (I_0) та амперметра, що повіряється (I_x), змінюючи струм у колі з резистором R_4 , спочатку зменшуючи його опір від 100 Ом до 60 Ом (вимірюється $\downarrow I_0$ і $\downarrow I_x$), а потім збільшуючи його в зворотному порядку від 60 до 100 (вимірюється $\uparrow I_0$ і $\uparrow I_x$). Результати вимірювань занести до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати виконання експерименту п. 5.5.1

$R_4, Ом$	Вимірювання				Обчислення				
	$\uparrow I_0, А$	$\uparrow I_x, А$	$\downarrow I_0, А$	$\downarrow I_x, А$	$\uparrow \Delta I, А$	$\downarrow \Delta I, А$	$\beta_{сер}, А$	$\gamma, \%$	$\beta, \%$
100									
90									
80									
70									
60									

5.5.2 Повірка вольтметра електромагнітної системи

На набірному полі скласти електричне коло за схемою рисунка 5.2. Як джерело живлення використати фазу А з блоку трифазних напруг. Значення напруг джерела живлення $U_{дж}$ встановити відповідно до номера робочого місця за таблицею 5.2. Як зразковий вольтметр V_0 використати мультиметр ВР-11, а як вольтметр V_x , що повіряється, – вольтметр

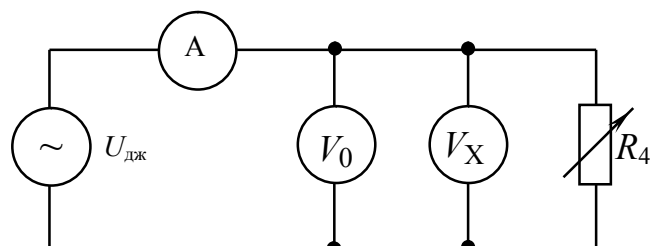


Рисунок 5.2

електромагнітної системи Э59. Резистор R_4 – це резистор блоку змінних активних опорів стенду НДІС-1. Амперметр A – комбінований цифровий прилад Щ4313 або Щ4300.

Перевести мультиметр ВР-11 і вольтметр Э59 у режим вимірювання змінної напруги з такими границями: ВР-11 – 200 В, верхня границя вимірювання вольтметра Э59 – 75 В, Щ4313 (Щ4300) – залишити такою, як в п. 5.5.1. Розрахувати ціну поділки вольтметра Э59. Значення опору R_4 встановити відповідно до номера робочого місця за таблицею 5.3.

Таблиця 5.3 – Вихідні дані для п. 5.5.2

Номер робочого місця	1	2	3	4	5	6
R_4 , Ом	100	90	80	70	60	100

Виконати вимірювання напруги джерела за допомогою зразкового вольтметра V_0 і вольтметра V_x , що повіряється, змінюючи напругу джерела живлення $U_{дж}$ перший раз від 17 В до 27 В ($\uparrow U_0$ і $\uparrow U_x$), а другий раз у зворотному напрямку від 27 В до 17 В ($\downarrow U_0$ і $\downarrow U_x$). Також виміряти значення струму кола I за умови збільшення та зменшення напруги джерела живлення $U_{дж}$ ($\uparrow I$ і $\downarrow I$). Результати вимірювань занести до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Результати виконання експерименту п. 5.5.2

$U_{дж}$ В	Вимірювання						Обчислення					
	$\uparrow U_0$, В	$\uparrow U_x$, В	$\uparrow I$, А	$\downarrow U_0$, В	$\downarrow U_x$, В	$\downarrow I$, А	$\uparrow \Delta U$, В	$\downarrow \Delta U$, В	$\beta_{сер}$, В	γ , %	В, %	R_4 , Ом
17												
18												
....												
26												
27												

5.6 Обробка експериментальних даних

5.6.1 За результатами експериментальних даних п. 5.5.1 (табл. 5.2):

– обчислити абсолютну похибку вимірювання струму у прямому $\uparrow \Delta I = \uparrow I_x - \uparrow I_0$ та зворотному $\downarrow \Delta I = \downarrow I_x - \downarrow I_0$ напрямках;

– обчислити середню поправку $\beta_{сер} = \frac{\uparrow \beta + \downarrow \beta}{2}$ вимірювання струму з

урахуванням того що $\uparrow \beta = -\uparrow \Delta I$; $\downarrow \beta = -\downarrow \Delta I$, тобто $\beta_{сер} = -\left(\frac{\uparrow \Delta I + \downarrow \Delta I}{2}\right)$;

– обчислити приведену похибку вимірювання струму

$$\gamma = \frac{100 \cdot \Delta I_{сер}}{I_H};$$

$$\Delta I_{сер} = \frac{\uparrow \Delta I + \downarrow \Delta I}{2},$$

I_H – нормувальне значення або верхня границя вимірювання амперметра, що повіряється;

– обчислити варіацію показників амперметра, що повіряється

$$B = \frac{|\uparrow I_x - \downarrow I_x|}{I_H} \cdot 100\%$$

Результати усіх обчислень занести до таблиці 5.2.

5.6.2. За результатами експериментальних даних п. 5.5.2 (табл. 5.4):

– обчислити абсолютну похибку вимірювання напруги в прямому $\uparrow \Delta U = \uparrow U_x - \uparrow U_0$ та зворотному $\downarrow \Delta U = \downarrow U_x - \downarrow U_0$ напрямках;

– обчислити середню поправку вимірювання напруги

$$\beta_{сер} = -\left(\frac{\uparrow \Delta U + \downarrow \Delta U}{2}\right);$$

– обчислити приведену похибку вимірювання напруги $\gamma = \frac{100 \cdot \Delta U_{сер}}{U_H}$;

$$\text{де } U_{сер} = \frac{\uparrow \Delta U + \downarrow \Delta U}{2},$$

U_H – нормувальне значення або верхня границя вимірювання вольтметра, що повіряється.

Результати усіх обчислень занести до таблиці 5.4;

5.6.3 За результатами вимірювань п. 5.5.2 (табл. 5.4):

– розрахувати опір резистора R_4 (схема рис. 5.2) для кожного зі значень $U_{дж}$ за формулою

$$R_i = \frac{U_{сер}}{I_{сер}} = \frac{(\uparrow U_0 + \downarrow U_0)/2}{(\uparrow I + \downarrow I)/2} = \frac{\uparrow U_0 + \downarrow U_0}{\uparrow I + \downarrow I} \quad (i=1, 2 \dots n, n=11);$$

– обчислити середнє арифметичне значення опору резистора $\bar{R} = \frac{\sum R}{n}$;

– обчислити середні статистичні значення опору резистора та квадрат цих

значень: $R_i - \bar{R}$ та $(R_i - \bar{R})^2$,

– обчислити суму $\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2$;

– обчислити середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань

опору $\sigma_{\bar{R}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}$.

Шуканий довірчий інтервал, у який із заданою ймовірністю p попадає дійсне значення активного опору резистора, визначити за формулою

$$\Delta R = \pm t_{p,n-1} \cdot \sigma_{\bar{R}},$$

де $t_{p,n-1}$ – коефіцієнт Стюдента, який знаходять з таблиці 5.6 залежно

від довірчої ймовірності p і числа ступенів свободи $(n-1)$.

Результати усіх обчислень занести до таблиць 5.4 і 5.5.

Кінцевий результат вимірювання опору записати у вигляді $R = \bar{R} \pm \Delta R$.

Таблиця 5.5 – Обробка результатів вимірювань R

№	R , Ом	$(R - \bar{R})$, Ом	$(R - \bar{R})^2$, Ом
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

Таблиця 5.6 – Значення коефіцієнту Стюдента

$n-1$	$p=0,95$	$p=0,99$	$n-1$	$p=0,95$	$p=0,99$
3	3,18	5,84	10	2,23	3,17
4	2,78	4,60	11	2,20	3,11
5	2,57	4,03	12	2,18	3,05
6	2,45	3,71	13	2,16	3,01
7	2,36	3,50	14	2,14	2,98
8	2,306	3,25	15	2,13	2,95
9	2,26	3,25	16	2,12	2,92
17	2,11	2,90	20	2,08	2,84

5.7 Висновки

За результатами роботи зробити висновки про відповідність приладів, що проходять перевірку, їхнім класам точності; а також охарактеризувати методику, що дає змогу встановити значення вимірюваної величини у межах довірчого інтервалу розкиду її значень.

5.8 Контрольні запитання

1. Дайте визначення абсолютній, відносній та приведеній похибкам.
2. Наведіть порядок обробки результатів вимірювань.
3. Назвіть головні характеристики показових (стрілочних) приладів і дайте їхні визначення.
4. Назвіть основні й додаткові похибки вимірювальних приладів, дайте визначення варіації показань приладу.
5. Наведіть методи перевірки електровимірювальних приладів.
6. Назвіть вимоги, які висувають до показових електровимірювальних приладів.
7. Наведіть порядок перевірки електровимірювальних приладів.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Електротехніка, електромеханіка, електроніка та мікропроцесорна техніка : підручник / [В. І. Мілих, О. О. Шавьолкін]; за заг. ред. В. І. Мілих. – Київ: Каравела, 2015. – 688 с.
2. Электротехника : учеб. пособие для вузов / [А. С. Касаткин, М. В. Немцов] ; за заг. ред. А. С. Касаткина. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 240 с.
3. Теоретичні основи електротехніки : Лінійні електричні кола : підручник. – Донецьк : Новий Світ, 2003. – 513 с.

ДОДАТОК А
Зразок оформлення титульного аркуша зошита,
що містить усі звіти лабораторних робіт

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Кафедра альтернативної електроенергетики
та електротехніки

ЗВІТИ
про лабораторні роботи
з дисципліни «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ»

Виконала

студентка групи НІТ 2016-1

Олійник А. І.

Перевірила

доц. кафедри АЕЕ

Сабалаєва Н. О.

Харків
2018

ДОДАТОК Б

Таблиця Б. 1 – Позначення головних електричних величин і їхніх одиниць

Найменування фізичної величини	Позначення		Найменування фізичної величини	Позначення	
	величина	одиниця		величина	одиниця
Ємність	C	Ф	Частота: • коливаний; • кутова	f ω	Гц рад/с
Заряд	q	Кл	Струм	I, i	А
Індукція	B	Тл	Потенціал	V, φ	В
Індуктивність • власна; • взаємна	L M	Гн Гн	Потокозчеплення	ψ	Вб
Коефіцієнт потужності в синусоїдальному режимі	$\cos\varphi$	–	Проникливість (діелектрична) • вакууму • абсолютна • відносна	ϵ_0 ϵ_a ϵ	Ф/м Ф/м –
Коефіцієнт трансформації	n	–	Проникливість (магнітна) • порожності; • абсолютна; • відносна	μ_0 μ_a μ	Гн/м Гн/м –
Магнітний потік	Φ	Вб	Провідність: • повна; • активна; • реактивна	Y G X	См См См
Потужність: • повна • активна • реактивна	S P Q	ВА Вт ВАР	Сила електрорушійна	E, e	В
Напруга	u, U	В	Зсув фаз між напругою та струмом	φ	рад(°)
Напруженість поля: • електричного • магнітного	E H	В/м А/м	Опір • повний • активний • реактивний	Z R X	Ом Ом Ом
Початкова фаза	ψ	рад(°)	Кількість фаз багатофазної системи	m	–
Період	T	с	Кількість витків	n	–
Постійна часу	τ	с	Енергія електромагнітна	W	Дж

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до лабораторних робіт
з навчальної дисципліни

«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ»

*(для студентів усіх форм навчання спеціальності
185 – Нафтогазова інженерія та технології)*

Укладачі : **САБАЛАЄВА** Наталія Олегівна,
ФОРКУН Яна Борисівна

Відповідальний за випуск *Я. Б. Форкун*

Редактор *В. І. Шалда*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2018, поз. 275 М

Підп. до друку 21.08.2018. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 2,0.

Тираж 50 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.