

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсової роботи

з дисципліни

«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ»

Харків – 2023

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки 25 жовтня 2023 р., протокол № 2.

Рекомендовано для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 152 «Метрологія та вимірювальна техніка» та спеціальності 175 «Інформаційно-вимірювальні технології» механіко-енергетичного факультету денної форми навчання.

Укладач

доц. М. Г. Давиденко

Рецензент

доц. О. Є. Зінченко

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Теоретичні основи розрахунку кіл символічним методом.....	6
1.1 Основні відомості про комплексні числа та дії з ними.....	6
1.2 Розрахунок типових електричних кіл.....	9
1.2.1 Загальні відомості.....	9
1.2.2 Ідеальний резистор: комплексні опір, напруга та струм.....	10
1.2.3 Ідеальна котушка індуктивності: комплексний опір, напруга та струм.....	12
1.2.4 Ідеальний конденсатор: комплексний опір, напруга та струм....	14
1.2.5 Коло зі змішаним з'єднанням елементів.....	16
2 Завдання до виконання роботи та варіанти вихідних даних.....	19
2.1 Розрахункові схеми.....	19
2.2 Варіанти числових даних.....	20
2.3 Зміст завдання.....	20
Список літератури.....	26

ВСТУП

Значна частина вимірювальної роботи полягає у вимірюванні змінних електричних напруг та струмів або неелектричних величин з використанням електричних компонентів вимірювальних установок. Окрім того, самі вимірювальні пристрої можуть складатися з блоків, що живляться від мережі змінного синусоїдного струму. Визначення очікуваних величин напруг і струмів і відповідних їм режимів роботи вимірювальних приладів або всередині вимірювальних приладів при їхньому обслуговуванні вимагають від персоналу вміння та навичок розрахунку таких електричних величин. Вимірювання в колах періодичного несинусоїдного струму в деяких випадках можуть бути зведені до визначення амплітуд і початкових фаз гармонічних складових струмів і напруг. Отже, в основі багатьох практично важливих вимірювальних та електротехнічних розрахунків лежить саме розрахунок кіл синусоїдного струму.

Метою виконання курсової роботи є розвинення та закріплення навичок застосування методів розрахунку електричних кіл шляхом багаторазового повторення типових розрахунків в обміркованій і теоретично обґрунтованій послідовності. У результаті виконання курсової роботи у її виконавця має встановитися стійке вміння розрахунку амплітудних та фазових співвідношень між струмами та напругами послідовно-паралельних кіл синусоїдного струму символічним методом, а також навички розрахунку потужностей, які генеруються та споживаються в таких колах.

Завдання до виконання курсової роботи наведено в розділі 3. Там же містяться варіанти вихідних даних для розрахунку.

Виконана курсова робота має бути оформлена у вигляді пояснювальної записки відповідно з вимогами до студентської навчальної звітності [1].

Пояснювальна записка має бути складена з таких розділів:

- титульний аркуш;
- принципова електрична схема кола, яке підлягає розрахунку, та вихідні числові дані до розрахунку згідно з номером варіанту, виданим викладачем-керівником цієї курсової роботи;
- опис ходу розрахунку включно з письмовим поясненням виконуваних дій, з розрахунковими формулами як у загальному вигляді («в літерах»), так і після підстановки до них відповідних числових даних;
- графічні побудови, відповідні до завдання з цієї курсової роботи;
- список використаної літератури.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ СИМВОЛІЧНИМ МЕТОДОМ

1.1 Основні відомості про комплексні числа та дії з ними

Уявна одиниця – це квадратний корінь з мінус одиниці. Її позначають як $j = \sqrt{-1}$ (у вищій математиці цю величину позначають як i).

Комплексне число \underline{A} – це сума дійсного числа a та уявного числа $j \cdot b$:

$$\underline{A} = a + j \cdot b . \quad (1.1)$$

Величину a називають дійсною частиною комплексного числа \underline{A} , величину b – уявною частиною комплексного числа \underline{A} . Саме комплексне число позначають підкресленою літерою. Вираз (1.1) називають алгебраїчною формою запису комплексного числа. Як a , так і b можуть бути додатним або від’ємним числом або нулем. В багатьох випадках зручніше користуватися показниковою (експоненціальною) формою запису комплексного числа

$$\underline{A} = |\underline{A}| \cdot e^{j \cdot \alpha} , \quad (1.2)$$

де $|\underline{A}|$ – модуль (абсолютна величина) комплексного числа; α – аргумент комплексного числа; $e \approx 2,71828$ – основа натуральних логарифмів.

Для графічного зображення комплексного числа використовують так звану комплексну площину. Її задають двома взаємно перпендикулярними осями: горизонтальною віссю (вісь дійсних чисел) відкладають величину

a , вертикальною віссю (вісь уявних чисел) відкладають величину b (рисунок 1.1).

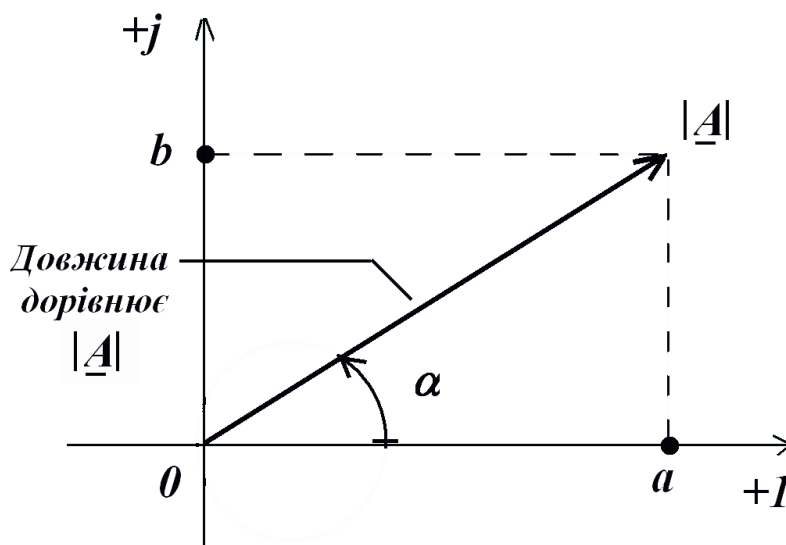


Рисунок 1.1 – Приклад для випадку, коли $a \geq 0$, $b \geq 0$

Перерахунок числа, записаного в показниковій формі, в число в алгебраїчній формі виконують на основі формули Ейлера

$$e^{j \cdot \alpha} = \cos \alpha + j \cdot \sin \alpha . \quad (1.3)$$

Підставивши $e^{j \cdot \alpha}$ в формулу (1.2) отримуємо, що

$$\underline{A} = |\underline{A}| \cdot \cos \alpha + j \cdot |\underline{A}| \cdot \sin \alpha , \quad (1.4)$$

тобто $a = |\underline{A}| \cdot \cos \alpha$, $b = |\underline{A}| \cdot \sin \alpha$.

Перерахунок числа, записаного в алгебраїчній формі, в число у показниковій формі впливає з розгляду прямокутного трикутника $0-|\underline{A}|-a$ (рисунок 1.1). Цей перерахунок здійснюють за формулами:

$$|\underline{A}| = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (1.5)$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{b}{a} \quad \text{при} \quad a \geq 0 \quad (1.6)$$

та

$$\alpha = 180^\circ + \operatorname{arctg} \frac{b}{a} \quad \text{при} \quad a < 0. \quad (1.7)$$

З формули Ейлера (1.3) випливає, що $1 = e^{j0^\circ}$, $j = e^{j90^\circ}$, $(-j) = e^{-j90^\circ}$, $(-1) = e^{j180^\circ}$.

Число \underline{A}'' називають комплексно спряженим числу \underline{A} , якщо \underline{A}'' утворене шляхом зміни знаку перед уявною частиною в формулі (1.1) та перед показником степеня в формулі (1.2)

$$\underline{A}'' = a - j \cdot b = |\underline{A}| \cdot e^{-j\alpha}. \quad (1.8)$$

Додавати та віднімати комплексні числа зручніше, якщо обидва вони записані в алгебраїчній формі

$$\underline{A} = a + j \cdot b, \quad \underline{B} = d + j \cdot g,$$

$$\underline{A} + \underline{B} = (a + d) + j \cdot (b + g), \quad \underline{A} - \underline{B} = (a - d) + j \cdot (b - g).$$

Перемножувати та ділити комплексні числа зручніше, якщо обидва вони записані в показниковій формі

$$\underline{A} = |\underline{A}| \cdot e^{j \cdot \alpha}, \quad \underline{B} = |\underline{B}| \cdot e^{j \cdot \beta},$$

$$\underline{A} \cdot \underline{B} = |\underline{A}| \cdot |\underline{B}| \cdot e^{j \cdot (\alpha + \beta)}, \quad \frac{\underline{A}}{\underline{B}} = \frac{|\underline{A}|}{|\underline{B}|} \cdot e^{j \cdot (\alpha - \beta)}.$$

У підручнику [2] наведено більш детальні відомості про комплексні числа та їхнє використання в електротехнічних розрахунках.

1.2 Розрахунок типових електричних кіл

1.2.1 Загальні відомості

Електричне коло однофазного синусоїдного струму – це коло, яке живиться від одиночного джерела синусоїдної напруги чи синусоїдного струму. Така напруга змінюється в часі за законом

$$\begin{aligned} u(t) &= U_m \cdot \sin(2\pi f t + \varphi_U) = \\ &= \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(2\pi f t + \varphi_U), \end{aligned} \quad (1.2.1)$$

де U_m – амплітуда напруги;

U – діюче значення напруги;

φ_U – початкова фаза напруги;

f – частота, Гц.

Величину $u(t)$ називають миттєвим значенням напруги.

В теоретичному розділі навчального курсу вводять символічний метод розрахунку кіл синусоїдного струму. Згідно з ним за відомої частоти слід користуватися комплексною амплітудою напруги $\underline{U}_m = U_m \cdot e^{j\varphi_U}$ або комплексом діючого значення напруги $\underline{U} = U \cdot e^{j\varphi_U}$. Тоді в ході розрахунку струму будуть отримані комплексна амплітуда струму $\underline{I}_m = I_m \cdot e^{j\varphi_I}$ або комплекс діючого значення струму $\underline{I} = I \cdot e^{j\varphi_I}$. При обчисленнях символічним методом придатні ті ж методи, способи та

формули, що й для кіл постійного струму. Але використовувати в цих формулах слід комплексні струми, напруги, електрорушійні сили та опори. Виконання таких розрахунків детально описане в підручнику [2] та посібниках [3, 4].

1.2.2 Ідеальний резистор: комплексні опір, напруга та струм

Ідеальним резистором (або ж активним опором) називають елемент електричного кола, який має одну-єдину властивість – він безповоротно перетворює енергію електромагнітного поля в інші види енергії, наприклад, в тепло. Як кажуть, ідеальний резистор чинить активний опір струмові.

Комплексний опір ідеального резистора та його активний («звичайний») опір співпадають

$$\underline{Z}_R = R . \quad (1.2.2)$$

Напруга на ідеальному резисторі та струм в ньому мають однакову початкову фазу (тобто співпадають за фазою)

$$\underline{U}_R = \underline{I} \cdot R = I \cdot R \cdot e^{j\varphi_I} = U_R \cdot e^{j\varphi_I} , \quad (1.2.3)$$

де $U_R = I \cdot R$.

Оскільки за визначенням комплексної напруги $\underline{U}_R = U_R \cdot e^{j\varphi_U}$, то з порівняння цієї формули з формулою (1.2.3) випливає, що для резистора $\varphi_U = \varphi_I$. При цьому напруга та струм націлені так, як показано на рисунку 1.2.1.

Векторні діаграми напруги на ідеальному резисторі та струму в ньому показані на рисунку 1.2.2 для конкретного випадку, коли φ_I лежить в межах від 0° до 90° .

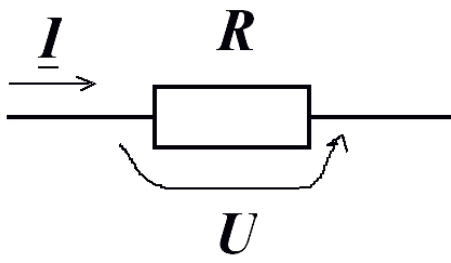


Рисунок 1.2.1

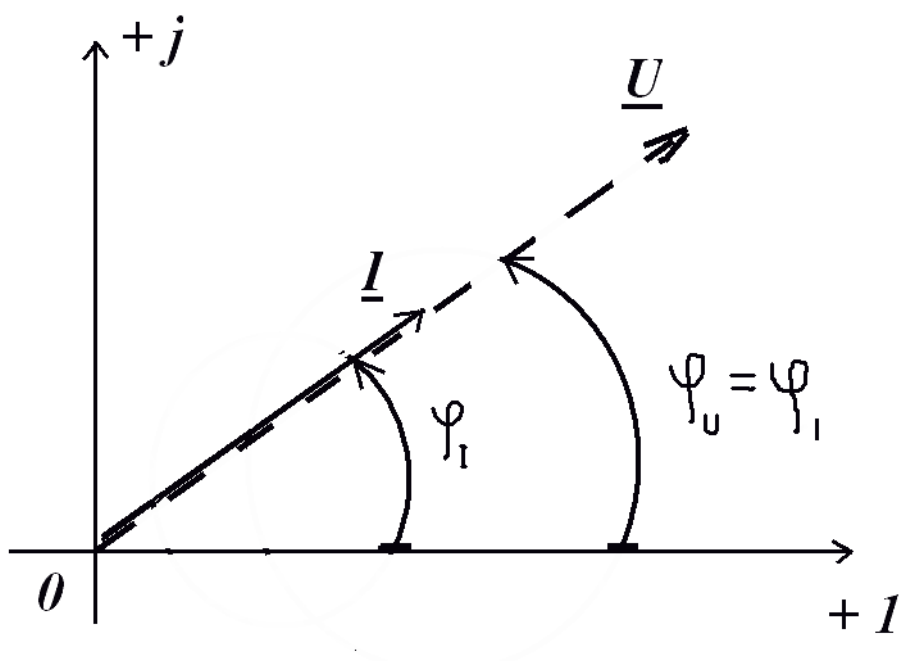


Рисунок 1.2.2

1.2.3 Ідеальна котушка індуктивності: комплексний опір, напруга та струм

Ідеальною котушкою індуктивності називають елемент електричного кола, що має одну-єдину властивість – він накопичує і без залишку повертає в коло енергію магнітного поля.

За відомої індуктивності котушки L і частоти f синусоїдного струму крізь ідеальну котушку її комплексний опір складає

$$\underline{Z}_L = j 2 \pi f L .$$

Через кутову частоту $\omega = 2 \pi f$ цей опір записується як

$$\underline{Z}_L = j \omega L .$$

Отже,

$$\underline{Z}_L = j X_L , \tag{1.2.4}$$

де $X_L = \omega L$ – реактивний опір ідеальної котушки індуктивності.

Напрями напруги на котушці та струму в ній показані на рисунку 1.2.3. Напруга на ідеальній котушці індуктивності має початкову фазу, на 90° більшу аніж у струму. Прийнято казати, що ця напруга випереджає цей струм на 90° .

$$\begin{aligned} \underline{U}_L &= \underline{I} \cdot \underline{Z}_L = I \cdot e^{j\varphi_I} \cdot j \cdot X_L = \\ &= I \cdot X_L \cdot e^{j(\varphi_I + 90^\circ)} , \end{aligned} \tag{1.2.5}$$

оскільки $j = e^{j90^\circ}$.

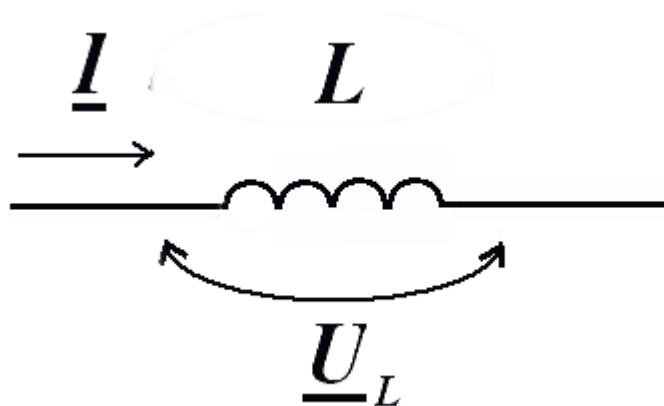


Рисунок 1.2.3

За визначенням комплексної напруги $\underline{U}_L = U_L \cdot e^{j\varphi_U}$. З порівняння цієї формули з формулою (1.2.5) бачимо, що для ідеальної котушки індуктивності $\varphi_U = \varphi_I + 90^\circ$.

Векторні діаграми напруги на ідеальній котушці індуктивності та струму в ній подані на рис.1.2.4 для конкретного випадку, коли φ_I лежить в межах від 0° до 90° .

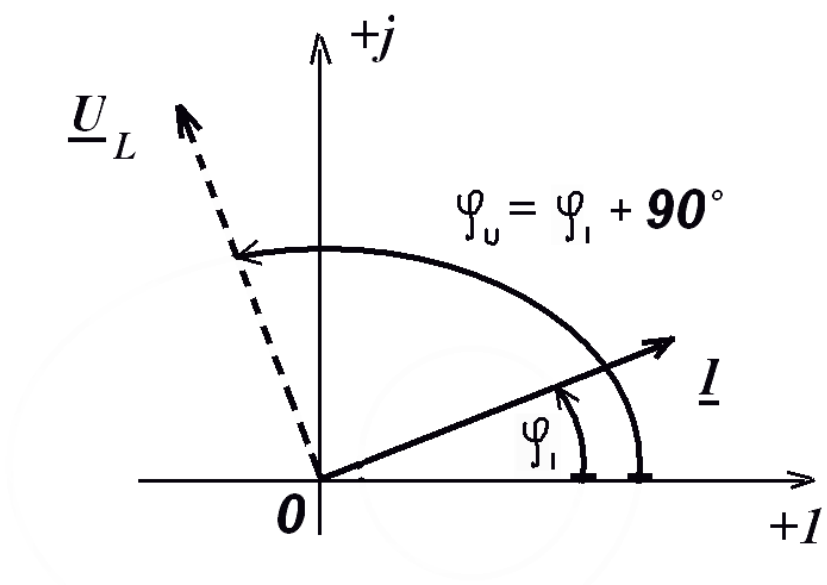


Рисунок 1.2.4

1.2.4 Ідеальний конденсатор: комплексний опір, напруга та струм

Ідеальним конденсатором (ємнісним елементом) називають елемент електричного кола, який має одну-єдину властивість – він накопичує і без залишку повертає в коло енергію електричного поля.

За відомої ємності C конденсатора і частоти f синусоїдного струму крізь цей конденсатор його комплексний опір складає

$$\underline{Z}_C = \frac{1}{j2\pi f C}$$

або

$$\underline{Z}_C = \frac{1}{j} \cdot X_C = -j X_C, \quad (1.2.6)$$

де $X_C = \frac{1}{\omega C}$ – реактивний опір ідеального конденсатора.

Напрями напруги на конденсаторі та струму в ньому показані на рисунку 1.2.5. Напруга на ідеальному конденсаторі має початкову фазу на 90° меншу ніж у струму в ньому. Прийнято казати, що ця напруга відстає від струму в ньому на 90°

$$\underline{U}_C = \underline{I} \cdot \underline{Z}_C = I \cdot e^{j\varphi_I} \cdot (-j) \cdot X_C = I \cdot X_C \cdot e^{j(\varphi_I - 90^\circ)}, \quad (1.2.7)$$

оскільки $(-j) = e^{-j90^\circ}$.

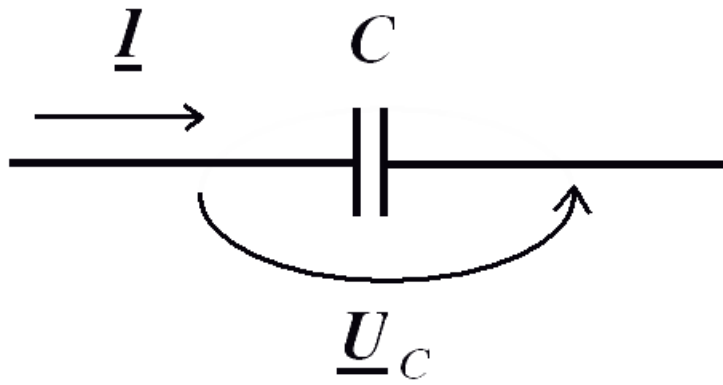


Рисунок 1.2.5

За визначенням комплексної напруги маємо $\underline{U}_C = U_C \cdot e^{j\varphi_U}$. З порівняння цієї формули з формулою (1.2.7) випливає, що для ідеального конденсатора $\varphi_U = \varphi_I - 90^\circ$.

Векторні діаграми напруги на ідеальному конденсаторі та струму в ньому подані на рис.1.2.6 для конкретного випадку, коли φ_I лежить в межах від 0° до 90° .

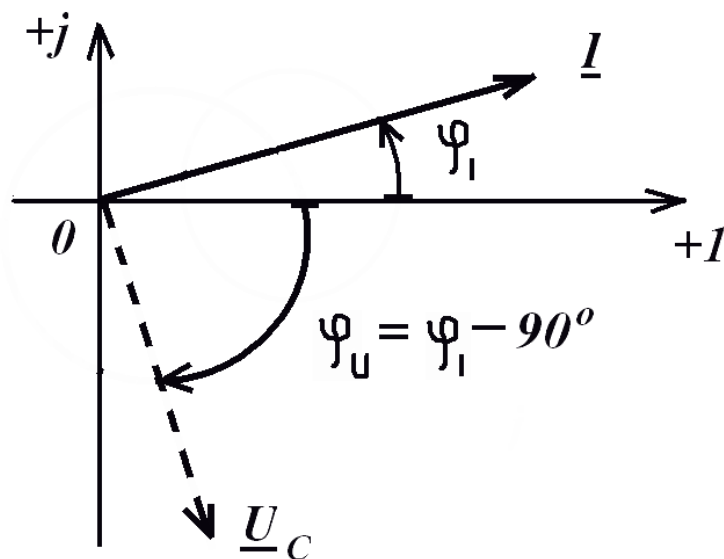


Рисунок 1.2.6

1.2.5 Коло зі змішаним з'єднанням елементів

Нехай треба розрахувати струми, напруги та потужності кола, в якому дві вітки з'єднані паралельно, і ця паралельна ділянка з'єднана послідовно зі ще однією віткою. Кожна вітка може містити і резистор, і котушку, і конденсатор (рисунок 1.2.7). **Задані:** комплекс діючого значення \underline{U} вхідної напруги та активні і реактивні опори всіх елементів кола. **Знайти:** струми в усіх вітках кола та напруги на всіх елементах кола. Перевірити виконання балансу потужностей.

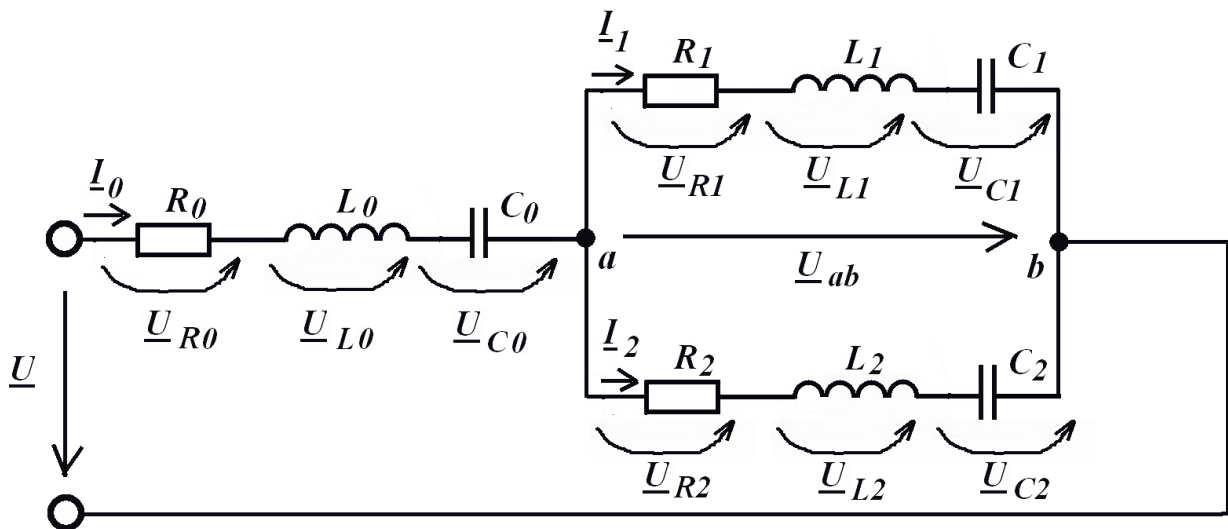


Рисунок 1.2.7

УВАГА! Якщо опір якогось елемента не заданий у початкових даних, то цей елемент відсутній у колі і на схемі (рисунок 1.2.7), замість нього слід зобразити звичайний з'єднувальний провідник.

Хід розв'язування

Спочатку слід обчислити комплексні опори всіх віток кола:

$$\underline{Z}_0 = R_0 + j \cdot (X_{L0} - X_{C0}), \quad \underline{Z}_1 = R_1 + j \cdot (X_{L1} - X_{C1}), \quad \underline{Z}_2 = R_2 + j \cdot (X_{L2} - X_{C2}).$$

Далі слід обчислити еквівалентний опір всього кола $\underline{Z}_{екв} = \underline{Z}_0 + \underline{Z}_{ab}$,

де опір паралельної ділянки **ab** такий: $\underline{Z}_{ab} = \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}$.

УВАГА! Якщо при Ваших початкових даних в знаменнику останньої формули виявиться $\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 = 0$ (тобто $\underline{Z}_{ab} = \infty$), то це означає, що крізь ділянку **ab** струму не протікає. Інакше кажучи, вона в даному випадку працює як розрив кола, так що $\underline{I}_0 = 0$. При цьому вся вхідна напруга приходить на цю ділянку, тобто $\underline{U}_{ab} = \underline{U}$.

Продовжуючи загальний хід розрахунку, обчислюємо вхідний струм $\underline{I}_0 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_{екв}}$.

Після цього знаходимо величину напруги між точками **a** та **b** $\underline{U}_{ab} = \underline{I}_0 \cdot \underline{Z}_{ab}$ (якщо тільки у нас не той випадок, який розглянуто в останньому зауваженні, виділеному жирним курсивом).

Обчислюємо струми в паралельних вітках:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_1}, \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_2}.$$

Тепер можемо обчислити комплексні напруги всіх елементів кола за такими формулами:

$$\underline{U}_{C0} = \underline{I}_0 \cdot (-j \cdot X_{C0}); \underline{U}_{L0} = \underline{I}_0 \cdot j X_{L0}; \underline{U}_{R0} = \underline{I}_0 \cdot R_0;$$

$$\underline{U}_{C1} = \underline{I}_1 \cdot (-j \cdot X_{C1}); \underline{U}_{L1} = \underline{I}_1 \cdot j X_{L1}; \underline{U}_{R1} = \underline{I}_1 \cdot R_1;$$

$$\underline{U}_{C2} = \underline{I}_2 \cdot (-j \cdot X_{C2}); \underline{U}_{L2} = \underline{I}_2 \cdot j X_{L2}; \underline{U}_{R2} = \underline{I}_2 \cdot R_2.$$

Для перевірки правильності виконання розрахунків слід обчислити, чи виконується другий закон Кірхгофа для контурів нашого кола, тобто чи дорівнюють одна одній ліва та права частини рівностей

$$\underline{U}_{ab} = \underline{U}_{R1} + \underline{U}_{L1} + \underline{U}_{C1} = \underline{U}_{R2} + \underline{U}_{L2} + \underline{U}_{C2};$$

$$\underline{U} = \underline{U}_{R0} + \underline{U}_{L0} + \underline{U}_{C0} + \underline{U}_{ab}.$$

Далі обчислюємо комплексну потужність, яка надходить на вхід кола:

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}_0'' = U \cdot I_0 \cdot e^{j \cdot (\varphi_U - \varphi_{I0})}.$$

Нагадаємо, що запис із двома штрихами \underline{I}_0'' означає величину, яка комплексно спряжена величині струму \underline{I}_0 (формула (1.8)).

Далі обчислюють повну потужність на вході як $S = U \cdot I_0$, активну потужність на вході як $P = S \cdot \cos(\varphi_U - \varphi_{I0})$, реактивну потужність на вході як $Q = S \cdot \sin(\varphi_U - \varphi_{I0})$.

Потім слід обчислити активну P та реактивну Q потужності, які спожиті відповідно активними та реактивними опорами кола:

$$P_{\text{спож}} = I_0^2 \cdot R_0 + I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2;$$

$$Q_{\text{спож}} = I_0^2 \cdot (X_{L0} - X_{C0}) + I_1^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + I_2^2 \cdot (X_{L2} - X_{C2}).$$

При правильно виконаному розрахунку мають з високою точністю (не гірше 10 %) виконуватись рівності $P_{\text{спож}} = P$ та $Q_{\text{спож}} = Q$.

Миттєві значення напруг і струмів у вітках кола записують за формулами, аналогічними формулі (1.2.1):

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega t + \varphi_U);$$

$$i_0(t) = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi_{I_0});$$

$$i_1(t) = \sqrt{2} \cdot I_1 \cdot \sin(\omega t + \varphi_{I_1});$$

$$i_2(t) = \sqrt{2} \cdot I_2 \cdot \sin(\omega t + \varphi_{I_2}).$$

У цих формулах всі величини крім кутової частоти ω обчислені раніше. Тому перший доданок у дужках за невідомої (і в нашому розрахунку неважливої) величини ω залишають у вигляді ωt .

2 ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ВАРІАНТИ ЧИСЛОВИХ ДАНИХ

2.1 Розрахункові схеми

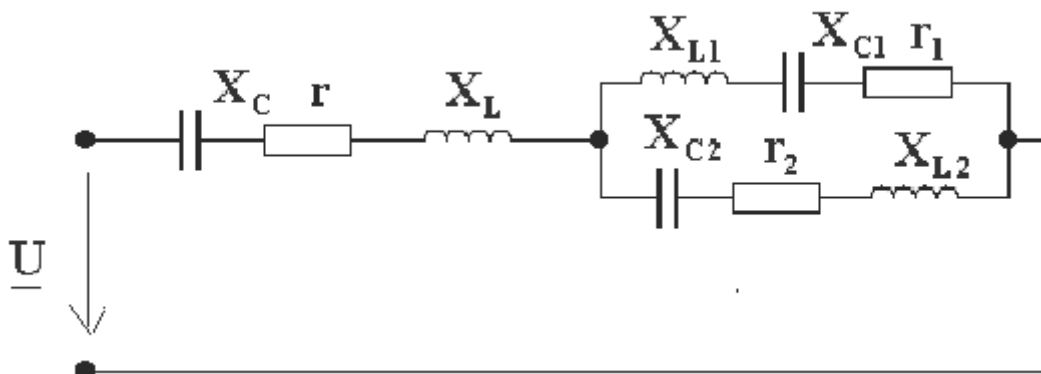


Рисунок 2.1

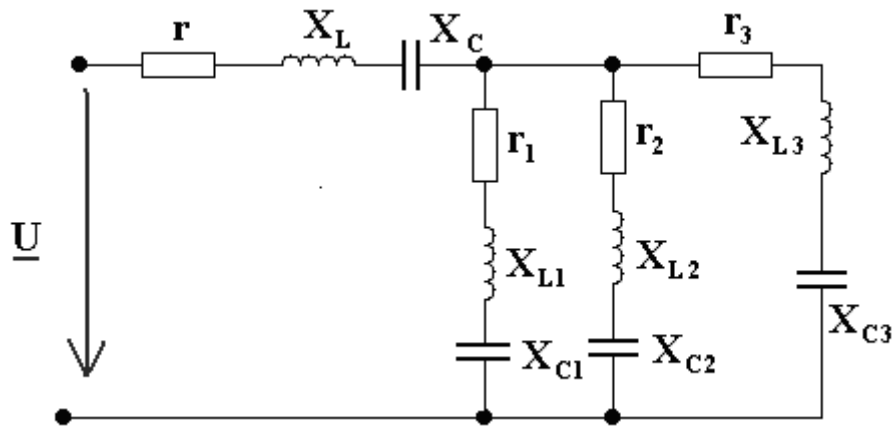


Рисунок 2.2

2.2 Варіанти числових даних

Варіанти числових даних з 1 по 75 відносяться до схеми, зображеної на рисунку 2.1. Вони наведені в таблиці 2.1.

Варіанти числових даних з 76 по 150 відносяться до схеми, зображеної на рисунку 2.2. Вони наведені в таблиці 2.2.

2.3 Зміст завдання

2.3.1 Скласти розрахункову схему кола в комплексних опорах.

2.3.2 Розрахувати комплексні опори віток і еквівалентний комплексний опір кола.

2.3.3 Розрахувати струм на вході кола і струми у вітках. При двох паралельних вітках (рисунок 2.1) струми можна визначити за формулами розгалуження. При трьох паралельних вітках (рисунок 2.2) для визначення струмів необхідно спочатку обчислити напругу на цих вітках.

2.3.4 Обчислити комплексну, повну, активну і реактивну потужності всього кола на основі прикладеної напруги та струму на вході кола.

Продовження завдання міститься після таблиці 2.2.

Таблиця 2.1

Вари- ант	\underline{U}	r	X_L	X_C	r_1	X_{L1}	X_{C1}	r_2	X_{L2}	X_{C2}
	B	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	$120e^{j35^\circ}$	5	4	8	3	12	4	8	5	8
2	$80e^{j20^\circ}$	-	8	6	4	2	10	4	8	4
3	$135e^{j30^\circ}$	5	-	3	7	10	4	6	4	12
4	$150e^{j40^\circ}$	15	12	-	10	12	6	12	1	12
5	150	10	6	20	-	12	6	4	10	6
6	$110e^{j30^\circ}$	15	10	3	10	-	6	4	4	1
7	$220e^{j30^\circ}$	10	10	20	16	12	-	8	6	10
8	$60e^{j35^\circ}$	5	6	10	3	15	7	-	2	12
9	100	5	5	3	2	4	8	4	-	4
10	$120e^{-j35^\circ}$	5	7	3	10	16	10	9	7	-
11	$50e^{j70^\circ}$	-	8	16	16	10	-	6	24	8
12	$45e^{-j90^\circ}$	-	4	5	5	3	9	-	10	5
13	$70e^{j60^\circ}$	-	50	2	8	6	4	-	10	7
14	$40e^{-j90^\circ}$	4	3	6	-	10	6	-	9	1
15	$60e^{j90^\circ}$	-	-	4	6	12	4	10	4	15
16	100	-	10	-	3	8	4	6	2	10
17	$100e^{j45^\circ}$	-	5	10	4	-	3	8	12	4
18	$60e^{j45^\circ}$	-	4	2	5	10	3	-	10	2
19	$100e^{j30^\circ}$	5	-	10	-	20	8	4	12	4
20	50	8	-	6	4	7	10	-	10	3
21	80	3	4	-	7	-	7	4	15	10
22	$40e^{-j90^\circ}$	6	8	-	3	10	6	4	-	3
23	$50e^{-j90^\circ}$	3	3	-	5	7	-	7	7	10
24	127	4	4	-	8	13	7	6	8	-
25	75	6	6	-	10	2	4	-	14	4
26	$100e^{j45^\circ}$	2	-	2	5	-	5	8	3	9
27	40	3	-	4	6	14	6	4	-	3
28	$30e^{j90^\circ}$	1	-	-	7	10	4	8	-	6
29	$50e^{-j90^\circ}$	8	8	2	-	-	5	3	3	7
30	100	5	10	5	6	10	6	10	-	-
31	70	2	4	-	8	-	-	5	11	5
32	$40e^{-j90^\circ}$	1	3	-	-	10	4	3	4	8

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
33	55	4	6	4	5	-	10	10	-	5
34	$75e^{j90^\circ}$	3	4	6	8	6	-	6	8	-
35	$100e^{j45^\circ}$	-	7	2	-	-	10	7	14	8
36	100	10	-	-	-	15	5	4	8	11
37	$90e^{j30^\circ}$	-	4	3	6	6	14	-	10	-
38	$100e^{-j30^\circ}$	7	8	10	8	-	-	-	4	12
39	30	5	-	2	-	3	7	-	9	5
40	80	-	6	12	6	13	5	8	-	-
41	$80e^{-j60^\circ}$	-	5	5	12	5	10	10	7	13
42	60	4	-	3	-	-	7	11	6	3
43	$60e^{j90^\circ}$	8	-	6	6	-	8	8	-	6
44	35	2	-	2	4	3	-	5	5	-
45	120	6	-	-	-	-	4	4	4	-
46	130	4	5	8	6	4	-	-	-	8
47	$100e^{j90^\circ}$	9	-	-	6	-	-	6	6	-
48	$80e^{-j90^\circ}$	-	10	8	10	-	-	10	-	5
49	$60e^{-j30^\circ}$	7	-	-	-	12	5	-	5	12
50	45	-	7	2	-	-	2	3	-	4
51	$120e^{j30^\circ}$	4	4	8	3	5	2	2	5	7
52	$80e^{j90^\circ}$	-	-	4	6	12	4	10	4	15
53	$135e^{j45^\circ}$	-	10	-	3	8	4	6	2	10
54	$150e^{-j45^\circ}$	-	5	10	4	-	3	8	12	4
55	$150e^{j35^\circ}$	-	4	2	5	10	3	-	10	2
56	110	5	-	10	-	20	8	4	12	4
57	220	8	-	6	4	7	10	-	10	3
58	$60e^{j35^\circ}$	3	4	-	7	-	7	4	15	10
59	100	6	8	-	3	10	6	4	-	3
60	$120e^{-j35^\circ}$	3	3	-	5	7	-	7	7	10
61	$50e^{-j50^\circ}$	4	4	-	8	13	7	6	8	-
62	$45e^{-j90^\circ}$	6	6	-	10	2	4	-	14	4
63	$70e^{j60^\circ}$	2	-	2	5	-	5	8	3	9
64	$40e^{-j90^\circ}$	3	-	4	6	14	6	4	-	3
65	$60e^{j90^\circ}$	1	-	-	7	10	4	8	-	6
66	100	8	8	2	-	-	5	3	3	7

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
67	$100e^{j45^\circ}$	5	10	5	6	10	6	10	-	-
68	$60e^{j45^\circ}$	2	4	-	8	-	-	5	11	5
69	$100e^{j30^\circ}$	1	3	-	-	10	4	3	4	8
70	50	4	6	4	5	-	10	10	-	5
71	80	3	4	6	8	6	-	6	8	-
72	$40e^{-j90^\circ}$	-	7	2	-	-	10	7	14	8
73	$50e^{-j90^\circ}$	10	-	-	-	15	5	4	8	11
74	127	-	4	3	6	6	14	-	10	-
75	75	7	8	10	8	-	-	-	4	12

Таблиця 2.2

Вари- ант	\underline{U}	r	X_L	X_C	r_1	X_{L1}	X_{C1}	r_2	X_{L2}	X_{C2}	r_3	X_{L3}	X_{C3}
	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
76	$100e^{-j90^\circ}$	-	4	8	3	12	4	8	5	8	5	7	4
77	$100e^{j30^\circ}$	5	-	3	7	10	4	6	4	12	3	3	10
78	50	15	12	-	10	12	6	12	2	12	6	8	4
79	$75e^{j90^\circ}$	10	6	20	-	12	6	4	10	6	8	12	6
80	55	15	10	3	10	-	6	4	4	1	4	3	8
81	100	10	10	20	16	12	-	8	6	10	8	10	4
82	80	5	6	10	3	15	7	-	2	12	10	3	10
83	$80e^{j60^\circ}$	5	5	3	2	4	8	4	-	4	7	5	8
84	60	5	7	3	10	16	10	9	7	-	4	7	4
85	75	5	4	8	3	12	4	8	5	8	-	3	9
86	$75e^{-j60^\circ}$	8	10	6	4	8	5	6	24	8	16	-	10
87	$75e^{j90^\circ}$	5	7	3	10	16	10	9	7	11	6	5	-
88	$60e^{-j90^\circ}$	-	-	4	6	12	4	10	4	15	2	4	12
89	70	-	10	-	3	8	4	6	2	10	5	10	5
90	$50e^{j90^\circ}$	-	2	7	-	9	5	5	5	3	8	12	8
91	$100e^{j45^\circ}$	-	5	100	4	-	3	8	12	4	7	4	9
92	85	-	8	3	5	5	-	6	4	12	10	4	15
93	65	-	6	12	6	13	5	-	15	8	6	11	3
94	$100e^{-j90^\circ}$	-	8	3	12	5	10	7	-	7	10	7	13

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
95	45	-	2	7	4	9	4	5	7	-	8	9	5
96	$60e^{-j60^\circ}$	-	7	3	3	5	9	6	4	11	-	6	11
97	$90e^{j30^\circ}$	-	5	10	7	6	3	4	3	10	5	-	8
98	50	2	-	-	6	10	4	3	4	10	4	3	9
99	$50e^{j60^\circ}$	2	-	2	-	8	3	5	3	4	7	2	4
100	35	4	-	3	3	-	6	2	9	12	6	3	5
101	40	8	-	6	6	8	-	4	9	3	9	10	6
102	$60e^{-j30^\circ}$	3	-	3	4	3	8	-	3	8	3	8	2
103	30	7	-	7	5	4	3	3	-	6	6	4	3
104	$50e^{-j90^\circ}$	5	-	5	8	7	4	4	6	-	6	8	5
105	$45e^{j90^\circ}$	1	-	2	4	5	10	7	2	4	-	14	6
106	$80e^{j45^\circ}$	3	-	2	9	3	5	8	4	2	2	-	8
107	100	10	-	5	3	5	9	4	5	7	6	6	-
108	55	1	1	-	-	10	2	6	7	15	8	13	7
109	60	3	3	-	5	-	7	7	12	5	4	5	9
110	100	6	8	-	10	5	-	9	8	3	7	7	3
111	$75e^{j60^\circ}$	5	5	-	9	3	4	-	10	1	10	3	6
112	50	2	1	-	12	6	4	10	-	2	5	11	4
113	25	4	6	-	4	6	10	5	3	-	4	1	2
114	$30e^{-j60^\circ}$	2	2	-	8	2	8	6	4	6	-	4	10
115	30	2	4	-	5	7	12	3	8	4	5	-	5
116	40	3	4	-	6	2	5	8	13	7	6	6	-
117	$80e^{j45^\circ}$	1	2	8	-	-	7	3	6	11	10	3	5
118	$25e^{j90^\circ}$	2.5	2.5	3	-	5	-	3	4	8	4	2	3
119	35	1	2	-	-	10	5	-	12	7	3	8	4
120	70	1	3	4	-	15	5	10	-	2	9	4	2
121	60	1	4	4	-	10	3	6	8	-	7	5	5
122	$70e^{j90^\circ}$	3	7	3	-	2	11	5	4	12	-	2	10
123	50	3	2	6	-	8	4	4	4	8	5	-	5
124	70	4	6	4	-	6	12	10	6	3	7	4	-
125	$75e^{j60^\circ}$	2	13	8	6	-	-	8	12	6	6	11	3
126	$100e^{j30^\circ}$	-	2	7	-	9	5	5	5	3	8	12	8
127	$100e^{-j30^\circ}$	-	5	100	4	-	3	8	12	4	7	4	9
128	50	-	8	3	5	5	-	6	4	12	10	4	15
129	$75e^{j90^\circ}$	-	6	12	6	13	5	-	15	8	6	11	3

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
130	55	-	8	3	12	5	10	7	-	7	10	7	13
131	100	-	2	7	4	9	4	5	7	-	8	9	5
132	80	-	7	3	3	5	9	6	4	11	-	6	11
133	$80e^{j60^\circ}$	-	5	10	7	6	3	4	3	10	5	-	8
134	60	2	-	-	6	10	4	3	4	10	4	3	9
135	75	2	-	2	-	8	3	5	3	4	7	2	4
136	$75e^{j60^\circ}$	4	-	3	3	-	6	2	9	12	6	3	5
137	$75e^{j90^\circ}$	8	-	6	6	8	-	4	9	3	9	10	6
138	$60e^{j90^\circ}$	3	-	3	4	3	8	-	3	8	3	8	2
139	70	7	-	7	5	4	3	3	-	6	6	4	3
140	$50e^{j90^\circ}$	5	-	5	8	7	4	4	6	-	6	8	5
141	$100e^{j45^\circ}$	1	-	2	4	5	10	7	2	4	-	14	6
142	85	3	-	2	9	3	5	8	4	2	2	-	8
143	65	10	-	5	3	5	9	4	5	7	6	6	-
144	$100e^{-j90^\circ}$	1	1	-	-	10	2	6	7	15	8	13	7
145	45	3	3	-	5	-	7	7	12	5	4	5	9
146	$60e^{-j60^\circ}$	6	8	-	10	5	-	9	8	3	7	7	3
147	$90e^{j30^\circ}$	5	5	-	9	3	4	-	10	1	10	3	6
148	50	2	1	-	12	6	4	10	-	2	5	11	4
149	80	4	6	-	4	6	10	5	3	-	4	1	2
150	100	2	2	-	8	2	8	6	4	6	-	4	10

2.3.5 Обчислити сумарну комплексну потужність приймачів енергії.
Перевірити баланс потужності.

2.3.6 Записати миттєві значення прикладеної напруги та усіх струмів кола.

2.3.7 Обчислити комплексні напруги віток та напруги на всіх елементах кола.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). Загальні вимоги до побудови, викладення та оформлення: метод. посіб. з додержання вимог нормоконтролю в студ. навч. звітності / Л. М. Козар, Є. В. Коновалов, А. О. Лапко та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2014. 46 с. URL: <http://lib/kart.edu.ua/handle/123456789/3454>.

2 Теорія електричних і магнітних кіл / С. В. Панченко, О. М. Ананьєва, М. М. Бабаєв та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2020. 246 с. URL: <http://lib/kart.edu.ua/handle/123456789/5408>.

3 Приклади розрахунку кіл постійного та змінного струму. URL: https://youtu.be/lx34G_nekig?si=b315I2EFK2DMO58c.

4 Fiore J. M. AC Electrical Circuit Analysis. A Practical Approach. Mohawk Valley Community College. URL: <https://www2.mvcc.edu>jfiore>.

ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи

з дисципліни
«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ»

Відповідальний за випуск Давиденко М. Г.

Підписано до друку 04.12.2023 р.
Умовн. друк. арк. 1,75. Тираж . Замовлення № .
Видавець та виготовлювач Український державний університет залізничного
транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха,7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.