

**Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного**

БОВК О.Ю., ПОПОВА І.О.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ частина 1

**Практикум для самостійної роботи
здобувачів вищої освіти**

Запоріжжя, 2025

УДК 621.3
В-61

*Рекомендовано Вченою радою
факультету енергетики і комп'ютерних технологій
Таврійського державного агротехнологічного університету
імені Дмитра Моторного
(Протокол № 8 від 15 травня 2025 р.)*

Рецензенти:

Лисенко О.В., д.т.н., проф., професор кафедри електроенергетики і електротехнологій Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

Діордієв В.Т., д.т.н., проф., професор кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В.В.Овчарова Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

Вовк О.Ю., Попова І.О.

В-61 Теоретичні основи електротехніки, частина 1: практикум для самостійної роботи здобувачів ступеня вищої освіти. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. 254 с.

Практикум призначений для здобувачів ступеня вищої освіти «бакалавр» зі спеціальності G3 «Електрична інженерія» і спрямований на вивчення та закріплення матеріалу з кіл постійного струму та однофазних кіл змінного синусоїдного струму. У практикумі після вивчення теоретичного матеріалу пропонується виконання навчаючо-контролюючих завдань інформаційно-репродуктивного і практично-стереотипного характеру, які виконані у вигляді тестів табличної форми. Для самоперевірки виконаних тестових завдань наведено ключі. У практикумі через виконання певної самостійної роботи розглянуто основні поняття і закони електротехніки, а також методи розрахунку і аналізу електричних кіл постійного струму та однофазних кіл синусоїдного струму в ustalених режимах.

УДК 621.3

© Вовк О.Ю., Попова І.О.
© Таврійський державний
агротехнологічний університет,
імені Дмитра Моторного, 2025 рік

ЗМІСТ

ВСТУП	6
Тема 1	
ЛІНІЙНІ НЕРОЗГАЛУЖЕНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА	
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	8
1.1 Явище електризації тіл і закон збереження заряду	8
1.2 Явище взаємодії заряджених тіл і закон Кулона	8
1.3 Явище електричного струму і закон Ома	15
1.4 Явище теплової дії електричного струму і закон Джоуля – Ленца	15
1.5 Електричне коло і його елементи	21
1.6 Принципова електрична схема кола	21
1.7 Розрахункова схема електричного кола	21
1.8 Розрахунок нерозгалуженого електричного	21
1.9 Закон Ома для замкненого електричного кола з декількома електрорушійними силами	29
1.10 Узагальнений закон Ома	29
1.11 Баланс потужностей	29
1.12 Лінія електропередачі	29
Тема 2	
ЛІНІЙНІ РОЗГАЛУЖЕНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА	
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	37
2.1 Закони Кірхгофа	37
2.2 Застосування законів Кірхгофа для розрахунку розгалужених кіл	37
2.3 Метод контурних струмів	43
2.4 Метод вузлових потенціалів	46
2.5 Еквівалентні перетворення схем з'єднань опорів	49
2.6 Метод двох вузлів	54
2.7 Метод активного двополюсника	57
2.8 Принцип суперпозиції і його застосування для розрахунку кіл ..	59
Тема 3	
НЕРОЗГАЛУЖЕНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА	
ЗМІННОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ	63
3.1 Основні фізичні поняття	63
3.2 Коло змінного синусоїдного струму з резистором	70

3.3 Коло змінного синусоїдного струму з ідеальною котушкою	74
3.4 Коло змінного синусоїдного струму з ідеальним конденсатором	78
3.5 Реальна котушка в колі змінного синусоїдного струму	83
3.6 Коло змінного синусоїдного струму з резистором і конденсатором	90
3.7 Коло змінного синусоїдного струму з послідовно з'єднаними котушкою і конденсатором	97
3.8 Резонанс напруг	104
3.9 Загальний випадок кола змінного синусоїдного струму	107
3.10 Лінія електропередачі	112
Тема 4	
РОЗГАЛУЖЕНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ЗМІННОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ	117
4.1 Електричне коло змінного синусоїдного струму з паралельно з'єднаними резистором та ідеальною котушкою	117
4.2 Електричне коло змінного синусоїдного струму з паралельно з'єднаними резистором та ідеальним конденсатором	123
4.3 Електричне коло змінного синусоїдного струму з паралельно з'єднаними резистором, ідеальною котушкою та ідеальним конденсатором	129
4.4 Еквівалентні розрахункові схеми	135
4.5 Розрахунок розгалужених кіл методом провідностей	141
Тема 5	
СИМВОЛІЧНИЙ (КОМПЛЕКСНИЙ) МЕТОД РОЗРАХУНКУ КІЛ ЗМІННОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ	148
5.1 Символічне зображення синусоїдних функцій	148
5.2 Додавання і віднімання комплексних величин	152
5.3 Добуток та ділення комплексних величин	155
5.4 Добуток вектора на j та на $-j$	155
5.5 Зображення похідних та інтегралів синусоїдних струмів	155
5.6 Закон Ома в комплексній формі	159
5.7 Комплексна провідність	164
5.8 Комплексні напруги	168
5.9 Комплексні струми	168
5.10 Комплексна потужність	168

5.11 Закони Кірхгофа в комплексній формі	178
5.12 Методи розрахунку кіл змінного синусоїдного струму в комплексній формі	181
Тема 6	
АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ	188
6.1 Передача електричної енергії по лінії змінного струму	188
6.2 Кругова діаграма струму нерозгалуженого кола	198
6.3 Аналіз кола з послідовно з'єднаними котушкою та конденсатором змінної ємності	202
6.4 Аналіз кола з паралельно з'єднаними котушкою та конденсатором змінної ємності	204
6.5 Компенсація реактивної потужності	212
6.6 Топографічні діаграми	217
Тема 7	
КОЛА СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ ІЗ ВЗАЄМНОЮ ІНДУКТИВНІСТЮ	220
7.1 Індуктивно зв'язані елементи кола	220
7.2 Послідовне з'єднання індуктивно зв'язаних елементів	223
7.3 Еквівалентна схема індуктивно зв'язаних елементів із загальною точкою	231
7.4 Повітряний трансформатор	237
7.5 Схема заміщення повітряного трансформатора	237
ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ.....	241
КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ	253
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	254

ВСТУП

Дисципліна «Теоретичні основи електротехніки», частина 1 є базовою у підготовці фахівців зі спеціальності G3 «Електрична інженерія» ступеня вищої освіти «Бакалавр», а навчальні заняття з цієї дисципліни, які проводяться в спеціалізованих аудиторіях кафедри електротехніки і електромеханіки, є одним з основних видів навчальних занять студентів при її вивченні.

Метою самостійної роботи з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки», частина 1 є навчання здобувачів вищої освіти методам розрахунку електромагнітних процесів і відповідних перетворень енергії, засвоєння основних понять та законів, пов'язаних з практичним використанням електричних та магнітних явищ, оволодіння методами аналізу електричних кіл постійного та змінного струмів.

Після виконання завдань самостійної роботи з вказаної дисципліни студент повинен знати: суть фізичних явищ електротехніки, основні закони електротехніки; математичні записи законів електротехніки, одиниці електричних та магнітних величин і співвідношення між цими величинами; сутність фізичних процесів, які відбуваються в електричних і магнітних колах постійного і змінного струмів, методи аналізу електричних кіл, умовні графічні позначення в електричних колах, фізичні явища електротехніки, які протікають в електротехнічних пристроях; уміти розрахувати лінійні електричні кола та мати навички застосування фізичних явищ при аналізі фізичних процесів в електричному колі та застосування законів електротехніки при розрахунку електричних кіл, струму, напруги, потужності, електричної енергії.

Самостійна робота студентів з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки», частина 1 полягає у виконанні певних тестових завдань після вивчення теоретичного матеріалу, на закріплення якого вона спрямовані. Завдання складені на двох рівнях: інформаційно-репродуктивному та практично-стереотипному. Вони мають табличну форму, яка поділена на дві частини: таблиці з запитаннями або завданнями та таблиці з вірними відповідями на них. Наприклад, таблиця 1.1 містить запитання, а у таблиці 1.1а містяться вірні відповіді на них.

Завдання наводяться до кожного пункту теми навчальної дисципліни. Наприкінці практикуму наведені запитання і завдання для підготовки до підсумкового контролю.

Виконання табличних тестових завдань полягає у наступному: спочатку студент читає запитання або завдання у відповідній таблиці, а потім шукає відповідь на нього у наступній таблиці. Після знаходження відповіді він проставляє її номер у таблицю напроти відповідного запитання або завдання, і так виконує до кінця таблиці. Якщо у таблиці містяться завдання у вигляді певної задачі, то перед тим, як шукати вірні відповіді цю задачу потрібно розв'язати.

Для перевірки правильності виконання тестових завдань під кожною таблицею є ключ, для знаходження якого потрібно додати номери наданих відповідей на непарні запитання (завдання), потім додати номери наданих відповідей на парні запитання (завдання), після чого відняти від суми номерів відповідей на непарні запитання (завдання) суму номерів відповідей на парні запитання (завдання) і отримати наведене число. Якщо в результаті отримане вказане число, то завдання виконані вірно, якщо ні, то потрібно знайти помилку.

Таким чином, виконуючи наведені завдання, здобувач вищої освіти набуває певних знань, умінь і навичок та опановує матеріал дисципліни.

Тема 1

ЛІНІЙНІ НЕРОЗГАЛУЖЕНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

1.1 Явище електризації тіл і закон збереження заряду

1.2 Явище взаємодії заряджених тіл і закон Кулона

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пунктів 1.1, 1.2 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 1.1 – 1.4.
3. Виконати тести до пунктів 1.1, 1.2 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

У звичайному стані всі тіла електрично нейтральні, тобто кількість електронів у будь-якому тілі дорівнює кількості протонів у ньому, тому сума всіх негативних зарядів у тілі дорівнює сумі всіх позитивних зарядів. При певних умовах електрони, що входять до складу атомів одного тіла, можуть переходити до атомів іншого тіла. У результаті одне тіло втрачає деяку кількість електронів і набуває позитивний заряд, а інше тіло отримує ці електрони і набуває негативний заряд. Отже, **явище електризації тіла** полягає у віддачі або приєднанні тілом деякої кількості електронів.

Закон збереження електричного заряду полягає в тому, що алгебраїчна сума зарядів замкненої системи з часом не змінюється.

Математичний запис закону наступний:

$$\sum_{i=1}^n q_i = \text{const} , \quad (1.1)$$

де q_i – заряд i -го тіла, Кл.

Для описання взаємодії між зарядженими тілами застосовують **точковий заряд**, під яким розуміють заряджене тіло, розмірами якого в даних умовах можна знехтувати.

Явище взаємодії заряджених тіл полягає в тому, що між зарядженими тілами існують сили притягання або відштовхування: тіла, що мають заряд одного знаку, відштовхуються; а тіла, що мають заряд різного знаку, притягуються.

Закон взаємодії заряджених тіл експериментально відкрив французький фізик Шарль Кулон у 1785 році, і він має його ім'я. Формулюється він так: два нерухомих точкових електричних заряди взаємодіють із си-

лою, прямо пропорційною добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційною квадрату відстані між ними і діелектричній проникності середовища та спрямованою уздовж лінії, яка з'єднує ці заряди.

Математичний запис закону Кулона у скалярній формі:

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2}, \quad (1.2)$$

де F – сила взаємодії між точковими зарядами, H ;
 q_1, q_2 – модулі точкових зарядів, $Кл$;
 r – відстань між точковими зарядами, $м$;
 ε_0 – електрична стала, $Ф/м$;
 ε – відносна діелектрична проникність середовища, у якому знаходяться заряди.

$$[F] = \frac{\frac{Кл \cdot Кл}{\frac{Ф}{м} \cdot м^2}}{\frac{Кл}{В} \cdot м} = \frac{Кл \cdot Кл}{\frac{Кл}{В} \cdot м} = \frac{А \cdot с \cdot А \cdot с}{\frac{А \cdot с}{В} \cdot м} = \frac{В \cdot А \cdot с}{м} = \frac{Вт \cdot с}{м} = \frac{Дж}{м} = \frac{Н \cdot м}{м} = Н.$$

Електрична стала – це абсолютна діелектрична проникність вакууму. Вона дорівнює $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$. Відносна діелектрична проникність середовища показує, у скільки разів сила взаємодії нерухомих точкових зарядів у певному середовищу менша у порівнянні із вакуумом.

Заряджені тіла взаємодіють за допомогою електричного поля, що існує навколо них і є особливою формою матерії. Для описання властивостей електричного поля застосовують поняття **пробного заряду**, під яким розуміють позитивний заряд малої величини $q_{пр}$, який не створює власного електричного поля.

Для силової характеристики електричного поля уведена **напруженість** електричного поля у певній точці, під якою розуміється фізична величина, яка чисельно дорівнює відношенню сили, з якою поле діє на пробний заряд, поміщений у певну його точку, до значення цього заряду, тобто

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{пр}}, \quad (1.3)$$

де E – напруженість, $В/м$;
 F – сила, $Н$;
 $q_{пр}$ – пробний заряд, $Кл$.

$$[E] = \frac{Н}{Кл} = \frac{Н}{А \cdot с} = \frac{Дж}{м \cdot А \cdot с} = \frac{Вт \cdot с}{м \cdot А \cdot с} = \frac{В \cdot А}{А \cdot м} = \frac{В}{м}.$$

Для енергетичної характеристики електричного поля введений **потенціал** електричного поля у певній його точці, під яким розуміється фізична величина, що чисельно дорівнює відношенню потенціальної енергії, якою володіє пробний заряд, поміщений у певну точку поля, до значення цього заряду, тобто

$$\varphi = \frac{W_n}{q_{np}}, \quad (1.4)$$

де φ – потенціал, В;

W_n – потенціальна енергія, Дж;

q_{np} – пробний заряд, Кл.

$$[\varphi] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А}}{\text{А}} = \text{В}.$$

Для енергетичної характеристики електричного поля введена також **напруга** електричного поля, під якою розуміється фізична величина, яка чисельно дорівнює відношенню роботи, яку виконують сили електричного поля з перенесення пробного заряду з однієї точки електричного поля в іншу, до значення цього заряду, тобто

$$U_{12} = \frac{A_{12}}{q_{np}}, \quad (1.5)$$

де U_{12} – напруга між точками електричного поля (точками 1 і 2), В;

A_{12} – робота сил електричного поля з перенесення пробного заряду з однієї точки поля в іншу (з точки 1 в точку 2), Дж.

$$[U] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А}}{\text{А}} = \text{В}.$$

Крім того, **напруга** електричного поля – це фізична величина, яка дорівнює різниці потенціалів точок електричного поля, тобто

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2, \quad (1.6)$$

де φ_1, φ_2 – потенціали точок електричного поля (точок 1 і 2), В.

Графічно напруга електричного поля зображується стрілкою, спрямованою від точки з більшим потенціалом до точки з меншим потенціалом.

Електричне поле точкового заряду графічно зображують за допомогою силових ліній і еквіпотенціальних поверхонь. **Силова лінія електричного поля** – це траєкторія руху пробного заряду у цьому полі. **Еквіпотенціальна поверхня** – це поверхня, у всіх точках якої потенціал електричного поля має однакове значення.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу розподілені на дві групи: завдання інформаційно-репродуктивного характеру і завдання практично-стереотипного характеру.

Перед виконанням завдань здобувач вищої освіти у звичайному зошиті, який він завів, має записати назву теми, яку він вивчає, а потім приступати до виконання завдань.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру спрямовані на розвинення розуміння і запам'ятовування головних моментів теоретичного матеріалу (понять, формул, визначень тощо). Вони виконані у табличній формі (у вигляді парних таблиць). Наприклад, у таблиці 1.1 наводяться запитання, а у таблиці 1.1а наводяться відповіді на них.

При виконанні завдань інформаційно-репродуктивного характеру здобувач вищої освіти у заведеному зошиті записує «Т.1.1», а нижче пропоставляє номери запитань з таблиці 1.1. Потім читає запитання у таблиці 1.1 і шукає на нього вірну відповідь у таблиці 1.1а. Знайшовши відповідь, записує її номер біля номеру запитання. Наприклад, у такій формі: «1 – 5». І так поступає зі всіма запитаннями і відповідями двох парних таблиць. По завершенні виконання завдань інформаційно-репродуктивного характеру з однієї пари таблиць здобувач вищої освіти виконує самоперевірку. Для цього спочатку додає між собою номери відповідей на непарні запитання, а потім додає між собою номери відповідей на парні запитання. Після цього віднімає від першої суми другу. Отримане число порівнюється з тим, що приведено під таблицею з запитаннями (тобто з тим, що вказано після $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = \dots$). Якщо числа збіглися, то відповіді надані вірно.

Завдання практично-стереотипного характеру спрямовані на розвинення вмінь із застосування головних моментів теоретичного матеріалу для розв'язання задач. Вони виконані у табличній формі (у вигляді парних таблиць). Наприклад, у таблиці 1.2 наводяться задачі, а у таблиці 1.2а наводяться відповіді на них.

При виконанні завдань практично-стереотипного характеру здобувач вищої освіти у заведеному зошиті записує «Т.1.2», нижче записує номер задачі. Поруч з ним – стисло умову задачі (наприклад, $q = \dots$ Кл і так далі), потім записує формулу для розрахунку шуканої величини, підставляє у неї відомі значення і знаходить результат. Після цього порівнює отримане значення з відповідями у таблиці 1.2а. Знайшовши вірну відповідь, поруч з отриманим значенням записує у дужках її номер. І так поступає зі всіма задачами двох парних таблиць. По завершенні виконання завдань практично-стереотипного характеру з однієї пари таблиць здобувач вищої освіти виконує самоперевірку. Для цього спочатку додає між собою номери відповідей на непарні задачі, а потім додає між собою номери відповідей на парні задачі. Після цього віднімає від першої суми другу. Отримане число

порівнюється з тим, що приведено під таблицею з задачами (тобто з тим, що вказано після $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = \dots$). Якщо числа збіглись, то відповіді знайдені вірно.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 1.1

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	У чому суть явища електризації тіл?	
2.	Сформулюйте закон збереження заряду.	
3.	Виконайте математичний запис закону збереження заряду.	
4.	Дайте визначення точкового заряду.	
5.	У чому суть явища взаємодії заряджених тіл?	
6.	За допомогою чого взаємодіють заряди?	
7.	Сформулюйте закон взаємодії заряджених тіл.	
8.	Виконайте математичний запис закону Кулона.	
9.	Вкажіть одиниці фізичних величин, що описують закон Кулона.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 5$.

Таблиця 1.1а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2}.$
2.	За допомогою електричного поля, яке існує навколо них і являє собою особливу форму матерії.
3.	$[F] = H; [q] = Кл; [r] = м; [\varepsilon_0] = Ф/м.$
4.	Між зарядженими тілами існують сили притягання або відштовхування: тіла, що мають заряд одного знаку, відштовхуються, а тіла, що мають заряд різного знаку, притягуються.
5.	$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const}.$
6.	Два нерухомих точкових електричних заряди взаємодіють з силою прямо пропорційною добутку цих зарядів і обернено пропорційною квадрату відстані між ними та діелектричній проникності середовища.

Номер відповіді	Відповіді
7.	У втраті або придбанні тілом деякої кількості електронів.
8.	Заряджене тіло, розмірами якого в даних умовах можна знехтувати.
9.	Алгебраїчна сума зарядів замкненої системи з часом не змінюється.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 1.2

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Тіло втратило 20 Кл позитивного заряду. Який заряд у кулонах придбало це тіло?	
2.	Тіло придбало 10 Кл негативного заряду і 10 Кл позитивного заряду. Який результуючий заряд у кулонах придбало це тіло?	
3.	В електричне поле позитивного точкового заряду $q_1 = 40 \text{ Кл}$ внесли малий пробний заряд $q_2 = 4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}$. Середовище, в якому знаходяться заряди, має відносну діелектричну проникність $\epsilon = 20$. Заряди знаходяться на відстані 0,1 м . Визначте силу в ньютонках, що діє на пробний заряд.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 0$.

Таблиця 1.2а

Номер відповіді	Відповіді
1.	200.
2.	-20.
3.	0.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 1.3

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Що таке електрична стала? Укажіть її значення.	
2.	Дайте визначення пробного заряду.	
3.	Дайте визначення напруженості електричного поля.	
4.	Дайте визначення потенціалу електричного поля.	
5.	Що таке силова лінія електричного поля?	
6.	Що таке еквіпотенціальна лінія електричного поля?	
7.	Як графічно зображується електричне поле?	
8.	Дайте визначення напруги електричного поля.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 4$.

Таблиця 1.3а

Номер відповіді	Відповіді
1.	Лінія, що з'єднує точки електричного поля з однаковими потенціалами.
2.	Діелектрична проникність вакууму; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.
3.	Фізична величина, яка чисельно дорівнює різниці потенціалів точок електричного поля.
4.	Позитивний заряд малої величини.
5.	Траєкторія руху вільного пробного заряду у електричному полі.
6.	За допомогою силових і еквіпотенціальних ліній.
7.	Фізична величина, яка чисельно дорівнює відношенню сили, з якою поле діє на пробний заряд, поміщений у дану точку поля, до значення цього заряду.
8.	Фізична величина, яка чисельно дорівнює відношенню потенціальної енергії, якою володіє пробний заряд, поміщений у дану точку поля, до значення цього заряду.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 1.4

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Негативний точковий заряд $q_3 = 4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}$ створює електричне поле в середовищі з відносною діелектричною проникністю $\epsilon = 20$. Визначте напруженість електричного поля на відстані 0,01 м від заряду в вольтах, поділених на метр.	
2.	Визначте потенціал у точці поля, зазначеної в завданні 1, в вольтах.	
3.	Потенціали точок 1 і 2 електричного поля відповідно дорівнюють 20 В і 5 В . Визначте напругу електричного поля в вольтах між зазначеними точками.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 4$.

Таблиця 1.4а

Номер відповіді	Відповіді
1.	5.
2.	15.
3.	500.

1.3 Явище електричного струму і закон Ома

1.4 Явище теплової дії електричного струму і закон Джоуля–Ленца

Завдання самостійної роботи

- Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пунктів 1.3, 1.4 [1].
- Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 1.5, 1.6.
- Виконати тести до пунктів 1.3, 1.4 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

У природі є тіла, які мають вільні заряди (такі, що можуть переміщуватись між граничними точками тіла): у металах – вільні електрони (такі, що втратили зв'язок із ядром атома), в електролітах – іони (атоми, у яких різна кількість протонів і електронів), у газах – вільні електрони та іони; такі тіла називаються **провідниками**.

Упорядкований (спрямований) рух вільних зарядів під дією сил електричного поля назвали **електричним струмом провідності**. Для виникнення цього явища необхідно наступне: 1) мати провідник (речовину, у якій є вільні заряди); 2) провідник повинен перебувати у електричному полі, яке створене зарядами різного знаку; 3) провідник має бути замкненим (тобто цілісним, не розірваним).

Заряди різного знаку, які створюють електричне поле, виникають у джерелі електричної енергії. Для енергетичної характеристики джерела електричної енергії уведена фізична величина – **електрорушійна сила (е.р.с.)**, під якою розуміється відношення роботи, яку виконують сторонні сили джерела з перенесення зарядів проти сил електричного поля, до значення цих зарядів, тобто

$$E = \frac{A}{q}, \quad (1.7)$$

де E – електрорушійна сила, B ;
 A – робота сторонніх сил, $Дж$;
 q – заряд, $Кл$.

$$[E] = \frac{Дж}{Кл} = \frac{Вт \cdot с}{А \cdot с} = \frac{В \cdot А}{А} = В.$$

Для характеристики інтенсивності руху вільних зарядів під дією сил електричного поля уведена фізична величина – **сила електричного струму**, під якою розуміється заряд, що проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу, тобто

$$I = \frac{q}{t}, \quad (1.8)$$

де I – сила електричного струму, $А$;
 q – заряд, $Кл$;
 t – час, $с$.

$$[I] = \frac{Кл}{с} = \frac{А \cdot с}{с} = А.$$

При русі вільних зарядів по провіднику під дією сил електричного поля вони зіштовхуються з його молекулами (атомами) і отримують опір своєму руху. Для характеристики цього факту введений **опір провідника електричному струму**, який залежить від матеріалу провідника, його довжини і площі поперечного перерізу, тобто

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1.9)$$

де R – опір провідника, $Ом$;

ρ – питомий опір провідника, $Ом \cdot мм^2/м$ ($Ом \cdot м$);

l – довжина провідника, $м$;

S – площа поперечного перерізу провідника, $мм^2$.

$$[R] = Ом \cdot \frac{мм^2}{м} \cdot \frac{м}{мм^2} = Ом.$$

Закон електричного струму для окремого провідника формулюється так: сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на затискачах провідника і обернено пропорційна опору провідника.

Математичний запис закону Ома:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (1.10)$$

де I – сила струму в провіднику, A ;

U – напруга на затискачах провідника, B ;

R – опір провідника, $Ом$.

$$[I] = \frac{B}{Ом} = A.$$

При протіканні електричного струму у провіднику відбувається зіткнення вільних зарядів з молекулами (атомами) провідника, під час якого вільні заряди віддають їм частину своєї енергії, збільшуючи швидкість теплового руху молекул (атомів), що призводить до нагрівання провідника при проходженні по ньому електричного струму. У цьому полягає **явище теплової дії електричного струму**.

Закон теплової дії струму формулюється так: кількість теплоти, яка виділяється в провіднику при протіканні електричного струму, прямо пропорційна опору провідника, квадрату сили струму і часу його протікання.

Математичний запис закону теплової дії струму:

$$W = R \cdot I^2 \cdot t, \quad (1.11)$$

де W – кількість теплоти, яка виділилася в провіднику, Дж;
 R – опір провідника, Ом;
 I – сила струму в провіднику, А;
 t – час протікання електричного струму в провіднику, с.

$$[W] = \text{Ом} \cdot \text{А}^2 \cdot \text{с} = \text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} = \text{Вт} \cdot \text{с} = \text{Дж}.$$

Для назви енергії, якою володіє електричний струм, в електротехніці застосовують не кількість теплоти, а електричну енергію. У технічній системі одиниць електрична енергія вимірюється в кіловат-годинах ($\text{кВт} \cdot \text{год}$).

Для зручності енергетичної характеристики джерел і приймачів електричної енергії ввели **потужність електричного струму**, під якою розуміється фізична величина, яка дорівнює кількості електричної енергії, яка виділяється в провіднику у вигляді тепла за одиницю часу, тобто

$$P = \frac{W}{t}, \quad (1.12)$$

де P – потужність, Вт;
 W – електрична енергія, Дж;
 t – час, с.

$$[P] = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}.$$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 1.5

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	У чому суть явища електричного струму?	
2.	Дайте визначення електрорушійної сили.	
3.	Дайте визначення сили електричного струму.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
4.	Як розрахувати опір провідника електричному струму?	
5.	Сформулюйте закон Ома для ділянки кола.	
6.	Виконайте математичний запис закону Ома для ділянки кола.	
7.	У чому суть явища теплової дії електричного струму?	
8.	Сформулюйте закон теплової дії електричного струму.	
9.	Виконайте математичний запис закону Джоуля–Ленца.	
10.	Дайте визначення потужності електричного струму.	
11.	Вкажіть одиниці фізичних величин, що характеризують явище теплової дії електричного струму.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 6$.

Таблиця 1.5а

Номер відповіді	Відповіді
1.	Кількість теплоти, що виділяється у провіднику, прямо пропорційна опору провідника, квадрату сили електричного струму і часу його дії.
2.	Величина заряду, що проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу.
3.	$I = \frac{U}{R}.$
4.	При зіткненні рухомих зарядів з молекулами (атомами) провідника вони віддають їм частину своєї кінетичної енергії, збільшуючи швидкість теплового руху молекул (атомів), що приводить до нагрівання провідника.
5.	$[W] = Дж; [R] = Ом; [I] = А; [t] = с.$
6.	В упорядкованому спрямованому русі вільних заряджених частинок під дією сил електричного поля.
7.	Питомий опір провідника помножити на його довжину і поділити на площу поперечного перерізу провідника.

Номер відповіді	Відповіді
8.	$W = R \cdot I^2 \cdot t.$
9.	Кількість електричної енергії, що виділяється в провіднику за одиницю часу.
10.	Фізична величина, що чисельно дорівнює відношенню роботи, що виконують сторонні сили джерела по перенесенню заряджених частинок проти сил електричного поля, до значення зарядів цих частинок.
11.	Сила струму у провіднику прямо пропорційна напрузі (різниці потенціалів) на затискачах провідника і обернено пропорційна опору провідника.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 1.6

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Сторонні сили джерела переносять заряд величиною 220 Кл проти сил електричного поля. При цьому виконується робота, яка дорівнює 44000 Дж . Визначте значення електрорушійної сили в вольтах, яку розвиває джерело.	
2.	За 120 секунд через поперечний переріз провідника проходить заряд величиною 240 Кл . Визначте силу електричного струму в амперах.	
3.	Провідник з питомим опором, який дорівнює 0,017 Ом·мм²/м , має довжину 2000 м і переріз 3,4 мм² . Визначте опір провідника в омах.	
4.	По провіднику, що має опір 300 Ом , проходить електричний струм силою 20 А на протязі 1 хвилини . Визначте кількість теплоти в джоулях, що виділиться в провіднику за цей час.	
5.	Визначте потужність електричного струму в завданні 4, в ватах.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 5$.

Таблиця 1.6а

Номер відповіді	Відповіді
1.	10.
2.	7 200 000.
3.	2.
4.	120 000.
5.	200.

1.5 Електричне коло і його елементи

1.6 Принципова електрична схема кола

1.7 Розрахункова схема електричного кола

1.8 Розрахунок нерозгалуженого електричного кола

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пунктів 1.5–1.8 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 1.7–1.10.
3. Виконати тести до пунктів 1.5–1.8 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Електричний коло – це сукупність пристроїв (елементів кола), що забезпечують можливість створення електричного струму. Розрізняють основні елементи електричного кола, які безпосередньо створюють електричний струм, і допоміжні елементи електричного кола, які допомагають основним елементам створювати електричний струм.

Основні елементи електричного кола – це джерело, приймач і проводи, що їх з'єднують. **Джерело електричної енергії** – це пристрій, у якому енергія хімічна, теплова, промениста або механічна перетворюється в електричну енергію. **Приймач електричної енергії** – це пристрій, у якому електрична енергія перетворюється в інший вид.

Принципова електрична схема кола – графічне і літерне позначення окремих елементів кола, з'єднаних між собою. **Розрахункова схема електричного кола** – графічне і літерне позначення фізичних явищ, які спостерігаються в окремих елементах кола при його роботі.

Закон Ома для ділянки електричного кола без електрорушійної сили формулюється так: сила струму на ділянці електричного кола без е.р.с. прямо пропорційна напрузі (спаданню напруги) на цій ділянці і обернено пропорційна опору ділянки.

Математичний запис цього закону такий:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (1.13)$$

де U – напруга (спадання напруги) на ділянці кола, В;
 R – опір ділянки кола, Ом.

Закон Ома для замкненого кола з однією електрорушійною силою формулюється так: сила струму в замкненому колі, у якому діє одна е.р.с., прямо пропорційна значенню цієї е.р.с. і обернено пропорційна сумарному опору кола.

Математичний запис даного закону такий:

$$I = \frac{E}{\sum R}, \quad (1.14)$$

де E – електрорушійна сила, що діє у колі, В;
 $\sum R$ – сума опорів кола, Ом.

Розрахунок електричного кола виконують у такій послідовності:

- 1) складають розрахункову схему електричного кола;
- 2) встановлюють значення параметрів електричного кола (е.р.с. та усіх опорів);
- 3) розраховують силу електричного струму у колі;
- 4) розраховують напруги (спадання напруг) на ділянках електричного кола;
- 5) розраховують потужності елементів електричного кола;
- 6) розраховують коефіцієнти корисної дії окремих елементів кола та кола (електроустановки) в цілому;
- 7) розраховують кількості електроенергії, які виробляють або споживають елементи електричного кола.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 1.7

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Дайте визначення електричного кола.	
2.	Які елементи електричного кола є основними?	
3.	Які елементи електричного кола є допоміжними?	
4.	Що таке вольт-амперна характеристика елемента електричного кола?	
5.	Які елементи електричного кола називаються лінійними?	
6.	Що таке лінійне електричне коло?	
7.	Дайте визначення принципової електричної схеми кола.	
8.	Дайте визначення розрахункової схеми електричного кола.	
9.	Що таке потенціал точки розрахункової схеми електричного кола?	
10.	Що таке напруга (спадання напруги) на ділянці кола?	
11.	Сформулюйте закон Ома для замкнутого кола.	
12.	Сформулюйте закон Ома для ділянки кола без електрорушійної сили.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 24$.

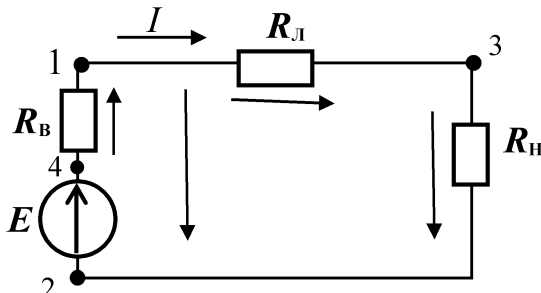
Таблиця 1.7а

Номер відповіді	Відповіді
1.	Графічне і літерне позначення окремих елементів кола, з'єднаних між собою.
2.	Залежність між силою струму і напругою на елементі кола.
3.	Графічне і літерне позначення фізичних явищ і процесів, які спостерігаються в окремих елементах кола.
4.	Сила електричного струму прямо пропорційна напрузі (різниці потенціалів) на ділянці електричного кола і обернено пропорційна опорі на ділянці кола.
5.	Електричне коло, що складається з лінійних елементів.
6.	Джерело, приймач і проводи, що їх з'єднують.
7.	Різниця потенціалів на ділянці електричного кола.
8.	Вимикачі, рубильники, електровимірювальні прилади та інше.

Номер відповіді	Відповіді
9.	Відношення потенціальної енергії, якою володіють заряджені частинки, що рухаються у даній точці кола, до величини зарядів цих частинок.
10.	Сукупність пристроїв, що забезпечують можливість створення електричного струму.
11.	Сила електричного струму у колі прямо пропорційна алгебраїчній сумі електрорушійних сил, що діють у колі, і обернено пропорційна сумарному опору кола.
12.	Елементи, у яких вольт-амперна характеристика є прямою лінією.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 1.8

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми електричного кола відомо: е.р.с. джерела $E = 200 \text{ В}$; внутрішній опір джерела $R_{\text{в}} = 5 \text{ Ом}$; опір з'єднувальних проводів $R_{\text{л}} = 15 \text{ Ом}$; опір навантаження $R_{\text{н}} = 30 \text{ Ом}$; потенціал точки 2 дорівнює нулю ($\varphi_2 = 0$). 		
1.	Визначте силу електричного струму в колі в амперах.	
2.	Визначте потенціал точки 4 в вольтах.	
3.	Визначте потенціал точки 1.	
4.	Визначте потенціал точки 3.	
5.	Визначте напругу на ділянці 4-1 в вольтах.	
6.	Визначте напругу на ділянці 1-2 в вольтах.	
7.	Визначте напругу на ділянці 1-3 в вольтах.	
8.	Визначте напругу на ділянці 3-2 в вольтах.	

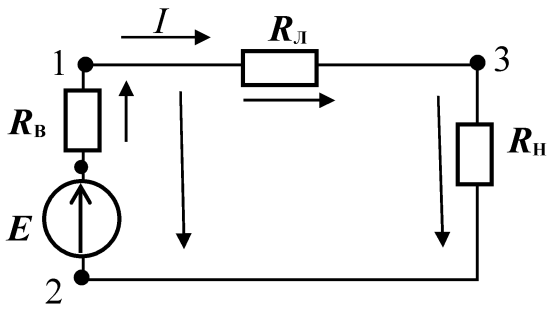
У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 10$.

Таблиця 1.8а

Номер відповіді	Відповіді
1.	200.
2.	120.
3.	20.
4.	180.
5.	4.
6.	120 В.
7.	180 В.
8.	60.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 1.9

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
На розрахунковій схемі електричного кола наведено: е.р.с. джерела E; внутрішній опір джерела R_B; опір лінії електропередачі R_L; опір навантаження R_H, сила електричного струму I, напруга на затискачах джерела U_G, спадання напруги в лінії електропередачі U_L, напруга на затискачах навантаження U_H. 		
1.	Запишіть розрахунковий вираз для напруги на затискачах джерела.	
2.	Як розрахувати спадання напруги в лінії електропередачі?	
3.	Як розрахувати напругу на навантаженні?	
4.	Як розрахувати потужність, яку розвиває джерело?	
5.	Як розрахувати втрати потужності в джерелі?	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
6.	Як розрахувати втрати потужності в лінії електропередачі?	
7.	Як розрахувати потужність приймача?	
8.	Як скласти баланс потужностей?	
9.	Як розрахувати коефіцієнт корисної дії лінії електропередачі?	
10.	Як розрахувати коефіцієнт корисної дії джерела?	
11.	Як розрахувати коефіцієнт корисної дії електроустановки?	
12.	Запишіть формулу для розрахунку енергії, що споживає навантаження.	
13.	За якої умови по лінії можна передати навантаження максимальну потужність? Чому буде дорівнювати к.к.д. лінії у цьому випадку?	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 37$.

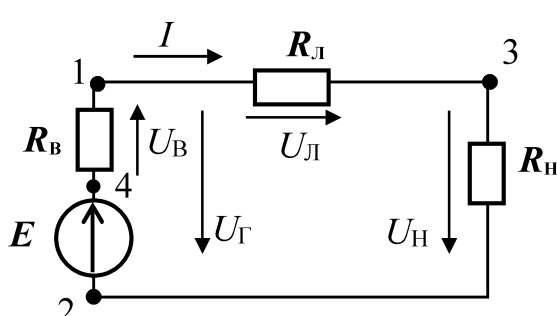
Таблиця 1.9а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$W_H = R_H \cdot I^2 \cdot t$.
2.	За умови, що опір лінії дорівнює опору навантаження. Коефіцієнт корисної дії при цьому буде дорівнювати 50 %.
3.	Відношення потужності, що віддається генератором у лінію, до потужності, що розвивається ним.
4.	Добуток опору лінії електропередачі на квадрат сили електричного струму в лінії.
5.	Добуток опору лінії електропередачі на силу електричного струму в лінії.
6.	Добуток електрорушійної сили джерела на силу електричного струму в ньому.
7.	Добуток опору навантаження на силу електричного струму в ньому.
8.	Потужність, що розвивається джерелом, дорівнює сумі потужностей на окремих ділянках електричного кола.
9.	Добуток внутрішнього опору джерела на квадрат сили електричного струму в ньому.

Номер відповіді	Відповіді
10.	Добуток опору навантаження на квадрат сили електричного струму в ньому.
11.	Відношення потужності приймача до потужності, що розвивається генератором.
12.	$U_{\Gamma} = E - R_B \cdot I$.
13.	Відношення потужності навантаження до потужності, що віддається генератором у лінію електропередачі.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 1.10

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми електричного кола відомо: е.р.с. генератора $E = 150 \text{ В}$; внутрішній опір генератора $R_B = 5 \text{ Ом}$; опір лінії електропередачі $R_L = 10 \text{ Ом}$; опір навантаження $R_H = 35 \text{ Ом}$. 		
1.	Визначте силу електричного струму в колі в амперах.	
2.	Визначте напругу на затискачах генератора в вольтах.	
3.	Визначте спадання напруги в лінії електропередачі в вольтах.	
4.	Визначте напругу на затискачах навантаження в вольтах.	
5.	Визначте потужність, яку розвиває генератор, в ватах.	
6.	Визначте втрати потужності в генераторі в ватах.	
7.	Визначте потужність, що віддає генератор, в ватах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
8.	Визначте втрати потужності в лінії електропередачі в ватах.	
9.	Визначте потужність, яку споживає навантаження, в ватах.	
10.	Визначте коефіцієнт корисної дії лінії електропередачі в відносних одиницях.	
11.	Визначте коефіцієнт корисної дії генератора в відносних одиницях.	
12.	Визначте коефіцієнт корисної дії всієї електроустановки в відносних одиницях.	
13.	Визначте кількість електричної енергії, яку споживе навантаження за 2000 <i>годин</i> роботи в кіловат-годинах.	
14.	Визначте вартість електричної енергії у гривнях, яку споживе навантаження за 2000 <i>годин</i> при вартості 1 <i>кВт·год.</i> електричної енергії 0,2 <i>грн.</i>	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 47$.

Таблиця 1.10а

Номер відповіді	Відповіді
1.	0,78.
2.	90.
3.	0,7.
4.	45.
5.	126.
6.	105.
7.	630.
8.	135.
9.	405.
10.	3.
11.	0,9.
12.	30.
13.	315.
14.	450.

**1.9 Закон Ома для замкненого електричного кола
з декількома електрорушійними силами
1.10 Узагальнений закон Ома
1.11 Баланс потужностей
1.12 Лінія електропередачі**

Завдання самотійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пунктів 1.9–1.12 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 1.7–1.10.
3. Виконати тести до пунктів 1.11–1.13 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Закон Ома для замкненого кола формулюється так: сила струму у замкненому колі прямо пропорційна алгебраїчній сумі е.р.с., що діють у колі, і обернено пропорційна сумарному опору кола.

Математичний запис цього закону такий:

$$I = \frac{\sum E}{\sum R}, \quad (1.14)$$

де $\sum E$ – алгебраїчна сума е.р.с., що діють у колі, В;
 $\sum R$ – сума опорів кола, Ом.

У загальному випадку ділянка електричного кола може містити будь-яку кількість опорів і е.р.с., тому **узагальнений закон Ома** записується так:

$$I = \frac{U + \sum E}{\sum R}, \quad (1.15)$$

де I – сила струму на ділянці кола, А;
 U – напруга на ділянці кола, В;
 $\sum E$ – алгебраїчна сума е.р.с. на ділянці кола, В;
 $\sum R$ – сума опорів на ділянці кола, Ом.

Баланс потужностей електричного кола – рівняння витрати потужності, яку розвиває джерело. Наприклад, якщо електричне коло складається з генератора, лінії електропередачі і навантаження, то баланс потужностей буде таким: потужність, що розвиває генератор (P), втрачається в самому генераторі у вигляді тепла (P_{ϵ}), втрачається в лінії електропередачі

у вигляді тепла ($P_{\text{л}}$) і споживається навантаженням ($P_{\text{н}}$). Тобто рівняння балансу потужностей матиме вигляд:

$$P = P_{\text{в}} + P_{\text{л}} + P_{\text{н}}. \quad (1.16)$$

Максимальну потужність навантаженню можна передати за умови, якщо опір лінії електропередачі буде дорівнювати опору навантаження. Коефіцієнт корисної дії електроустановки при цьому буде дорівнювати 50 %, тому що половина потужності, яку розвиває джерело, буде втрачатися в лінії електропередачі.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 1.11

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Сформулюйте закон Ома для замкненого кола.	
2.	Виконайте математичний запис закону Ома для замкненого кола.	
3.	Виконайте математичний запис узагальненого закону Ома для ділянки кола з е.р.с.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 4$.

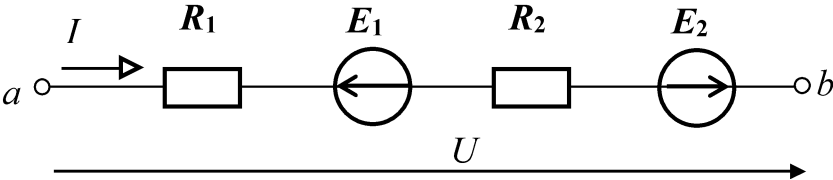
Таблиця 1.11а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$I = \frac{\sum E}{\sum R}.$
2.	$I = \frac{U + \sum E}{\sum R}.$
3.	Сила електричного струму у колі прямо пропорційна алгебраїчній сумі електрорушійних сил, що діють у колі, і обернено пропорційна сумарному опору кола.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 1.12

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
	Для розрахункової схеми електричного кола зарядки акумулятора відомо: е.р.с. генератора $E_1 = 140 \text{ В}$, внутрішній опір генератора $R_1 = 3 \text{ Ом}$, опір регулюючого реостата $R = 5 \text{ Ом}$, внутрішній опір акумулятора $R_2 = 2 \text{ Ом}$, е.р.с. акумулятора $E_2 = 40 \text{ В}$.	
1.	Визначте силу електричного струму в колі в початковий момент зарядки акумулятора в амперах.	
2.	Визначте спадання напруги на внутрішньому опорі генератора в початковий момент зарядки акумулятора в вольтах.	
3.	Визначте напругу на затискачах генератора в початковий момент зарядки акумулятора в вольтах.	
4.	Визначте спадання напруги на опорі регулювального реостата в початковий момент зарядки акумулятора в вольтах.	
5.	Визначте напругу на затискачах акумулятора в початковий момент його зарядки в вольтах.	
6.	Визначте спадання напруги на внутрішньому опорі акумулятора в початковий момент його зарядки.	
7.	Визначте потужність, що розвиває генератор в початковий момент зарядки акумулятора, в ватах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
8.	Визначте втрати потужності в генераторі в початковий момент зарядки акумулятора в ватах.	
9.	Визначте потужність, що віддає генератор в початковий момент зарядки акумулятора, в ватах.	
10.	Визначте втрати потужності в регулювальному реостаті в початковий момент зарядки акумулятора в ватах.	
11.	Визначте потужність, що споживає акумулятор в початковий момент його зарядки, в ватах.	
12.	Визначте втрати потужності в акумуляторі в початковий момент його зарядки в ватах.	
13.	Визначте потужність, що накопичується в акумуляторі в початковий момент його зарядки, в ватах.	
Для розрахункової схеми ділянки електричного кола відомо: е.р.с. першого джерела $E_1 = 25 \text{ В}$, е.р.с. другого джерела $E_2 = 50 \text{ В}$, опори: $R_1 = 20 \text{ Ом}$, $R_2 = 30 \text{ Ом}$, напруга на затискачах $a-b$ $U = 75 \text{ В}$. 		
14.	Визначте силу електричного струму в амперах.	
15.	Визначте спадання напруги на першому резисторі в вольтах.	
16.	Визначте спадання напруги на другому резисторі.	
17.	Визначте потужність, що виділяється у вигляді тепла на ділянці кола.	

$$U_1 \quad U_{\text{л}} \quad U_2$$

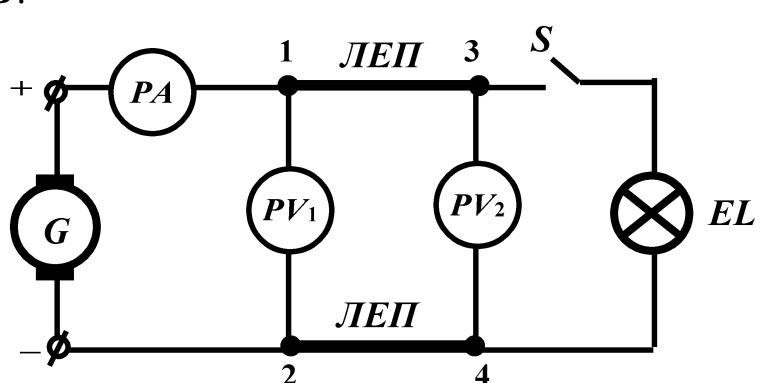
у разі вірного виконання завдань $\angle_{\text{непарних}} - \angle_{\text{парних}} = 10$.

Таблиця 1.12а

Номер відповіді	Відповіді
1.	1200.
2.	1100.
3.	30.
4.	500.
5.	110.
6.	600.
7.	60.
8.	200.
9.	10.
10.	400.
11.	50.
12.	2.

Номер відповіді	Відповіді
13.	20.
14.	40.
15.	60 В.
16.	200 Вт.
17.	300.
18.	1400.
19.	20 В.
20.	$R_H = R_L = 3 \text{ Ом.}$

Таблиця 1.13

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Дана принципова електрична схема кола, для якого відомі показання електровимірювальних приладів при проведенні експериментів: при замкненому вимикачу S амперметр PA показав 10 А; вольтметр PV_1 показав 240 В; вольтметр PV_2 показав 220 В; при розімкненому вимикачу SA вольтметр PV_1 показав 250 В. 		
1.	Запишіть значення силу струму в колі при замкненому вимикачу в амперах.	
2.	Запишіть значення напруги на затискачах генератора при замкненому вимикачу в вольтах.	
3.	Запишіть значення напруги на затискачах навантаження при замкненому вимикачу в вольтах.	
4.	Визначте спадання напруги в лінії в вольтах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
5.	Визначте опір лінії в омах.	
6.	Визначте втрати потужності в лінії в ватах.	
7.	Визначте потужність, що віддається генератором, в ватах.	
8.	Визначте потужність навантаження в ватах.	
9.	Визначте опір навантаження в омах.	
10.	Визначте показання амперметра при розімкненому вимикачу в амперах.	
11.	Визначте показання другого вольтметра при розімкненому вимикачу в вольтах.	
12.	Визначте електрорушійну силу генератора.	
13.	Визначте спадання напруги на внутрішньому опорі генератора.	
14.	Визначте внутрішній опір генератора в омах.	
15.	Визначте втрати потужності в генераторі в ватах.	
16.	Визначте потужність, що розвивається генератором, в ватах.	
17.	Визначте коефіцієнт корисної дії лінії електропередачі.	
18.	Визначте коефіцієнт корисної дії генератора.	
19.	Визначте коефіцієнт корисної дії електроустановки.	
20.	Що таке зовнішня характеристика джерела?	
21.	Запишіть рівняння зовнішньої характеристики джерела.	
22.	Запишіть рівняння зовнішньої характеристики генератора з коефіцієнтами при невідомих.	
23.	Коли напруга на затискачах працюючого генератора буде найбільшою?	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 46$.

Таблиця 1.13а

Номер відповіді	Відповіді
1.	250 В.
2.	2.
3.	10 В.
4.	200.
5.	1.
6.	240.
7.	100.
8.	20.
9.	2500.
10.	220.
11.	0,92.
12.	10.
13.	0,96.
14.	2200.
15.	0,88.
16.	0.
17.	Залежність напруги на затискачах джерела від сили струму в колі.
18.	22.
19.	$U = E - R_B \cdot I$.
20.	2400.
21.	При розімкненому вимикачу.
22.	250.
23.	$U = 250 - 1 \cdot I$.

Тема 2

ЛІНІЙНІ РОЗГАЛУЖЕНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

2.1 Закони Кірхгофа

2.2 Застосування законів Кірхгофа для розрахунку розгалужених кіл

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пунктів 2.1–2.2 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 2.1–2.2.
3. Виконати тести до пунктів 2.1–2.2 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Електричні кола містять ділянки, у всіх елементах яких проходить струм однакової сили. Ці ділянки називають вітками, а їх кінцеві точки – вузлами. Отже, **вітка** – це ділянка кола між двома вузлами, по якій проходить струм однакової сили, а **вузол** – це точка, у якій сходяться не менше трьох віток. Замкнена частина кола, яка утворюється при обході по віткам (при цьому обхід крізь вузол здійснюється один раз), називається **контуром**.

Електричні кола, які мають у своєму складі вітки, називають **розгалуженими**. Такі кола розраховуються різними методами, в основу яких, окрім законів Ома і Джоуля–Ленца, покладені закони Кірхгофа.

Перший закон Кірхгофа застосовується для вузла електричного кола і встановлює взаємозв'язок між силами струмів, які протікають крізь вузол. Формулюється він так: у вузлу електричного кола алгебраїчна сума сил струмів дорівнює нулю. Математичний запис цього закону:

$$\sum I = 0. \quad (2.1)$$

Прийнято сили струмів, спрямованих до вузла, записувати зі знаком «+», а сили струмів, спрямованих від вузла, записувати зі знаком «–».

Другий закон Кірхгофа застосовується для контуру електричного кола і встановлює взаємозв'язок між спаданнями напруг на опорах контуру і е.р.с., що діють у контурі. Формулюється він так: у замкненому контурі електричного кола алгебраїчна сума спадань напруг на опорах, що входять до цього контуру, дорівнює алгебраїчній сумі електрорушійних сил, що діють у контурі. Математичний запис цього закону:

$$\sum RI = \sum E. \quad (2.2)$$

Прийнято, що спадання напруг на опорах та е.р.с. записують зі знаком «+», якщо напрями струмів в опорах та напрями е.р.с. збігаються з довільно обраним напрямом обходу контуру; якщо не збігаються – зі знаком «-».

Послідовність розрахунку сил струмів у розгалуженому електричному колі за законами Кірхгофа наступна:

- 1) складають розрахункову схему електричного кола, на якій позначають умовно позитивні напрями струмів;
- 2) визначають кількість вузлів, віток і незалежних контурів розрахункової схеми електричного кола;
- 3) складають рівняння за першим законом Кірхгофа (кількість рівнянь повинна бути на одне менше, ніж вузлів у схемі);
- 4) довільно обирають напрями обходів незалежних контурів схеми кола та складають рівняння за другим законом Кірхгофа (кількість рівнянь повинна дорівнювати кількості незалежних контурів);
- 5) записують складені рівняння у вигляді системи рівнянь з коефіцієнтами при невідомих (підставляють значення е.р.с. та опорів);
- 6) розв'язують отриману систему рівнянь і знаходять сили струмів;
- 7) перевіряють отримані значення сил струмів (шляхом підстановки у систему рівнянь або складанням балансу потужностей).

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 2.1

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Що розуміють під нерозгалуженим електричним колом?	
2.	Що розуміють під розгалуженим електричним колом?	
3.	Що таке вузол розгалуженого електричного кола?	
4.	Що таке вітка розгалуженого електричного кола?	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
5.	Що таке контур розгалуженого електричного кола?	
6.	Сформулюйте 1-й закон Кірхгофа.	
7.	Запишіть математично 1-й закон Кірхгофа.	
8.	У якому випадку сила струму береться зі знаком «+»?	
9.	У якому випадку сила струму береться зі знаком «-»?	
10.	Сформулюйте 2-й закон Кірхгофа.	
11.	Запишіть математично 2-й закон Кірхгофа.	
12.	У якому випадку електрорушійна сила береться зі знаком «+»?	
13.	У якому випадку електрорушійна сила береться зі знаком «-»?	
14.	У якому випадку напруга (спадання напруги) на ділянці кола береться зі знаком «+»?	
15.	У якому випадку напруга (спадання напруги) на ділянці кола береться зі знаком «-»?	
16.	Наведіть послідовність аналізу розгалуженого електричного кола за допомогою законів Кірхгофа.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 18$.

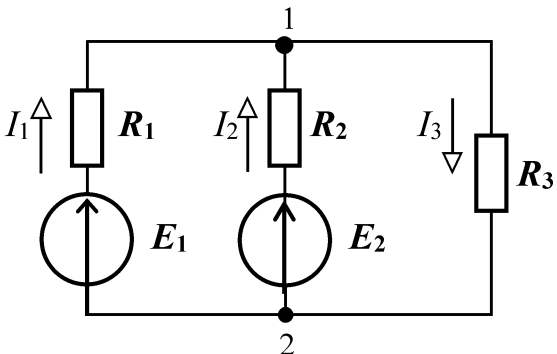
Таблиця 2.1а

Номер відповіді	Відповіді
1.	У замкненому контурі електричного кола алгебраїчна сума електрорушійних сил дорівнює алгебраїчній сумі спадів напруг на опорах, що входять у цей контур.
2.	Якщо напрями е.р.с. збігаються з довільно обраним напрямом обходу контуру.
3.	Якщо напрями е.р.с. не збігаються з довільно обраним напрямом обходу контуру.
4.	Алгебраїчна сума сил струмів у вузлі дорівнює нулю.

Номер відповіді	Відповіді
5.	Замкнений обрис, що утворює нерозгалужене коло, який можна отримати при обході по віткам електричного кола.
6.	Якщо напрям сили стуму не збігається з довільно обраним напрямом обходу контуру.
7.	Якщо напрям сили стуму збігається з довільно обраним напрямом обходу контуру.
8.	- визначити число вузлів електричного кола; - визначити число віток електричного кола; - визначити число незалежних контурів електричного кола; - вибрати довільно напрями струмів у всіх вітках схеми електричного кола; - скласти рівняння за 1-м законом Кірхгофа для вузлів схеми кола (кількість аналізованих вузлів повинна бути на один вузол менше, ніж сумарна кількість вузлів схеми кола); - вибрати напрями обходів усіх незалежних контурів схеми кола; - скласти рівняння за 2-м законом Кірхгофа для всіх незалежних контурів схеми кола; - вирішити отриману систему рівнянь.
9.	Електричне коло, що складається з послідовно з'єднаних елементів.
10.	Електричне коло, що складається з послідовно і паралельно з'єднаних елементів
11.	Точка, у якій сходяться не менше трьох віток.
12.	Сили струмів, які входять у вузол.
13.	$\sum_1^n I_i = 0.$
14.	$\sum_1^n E_i = \sum_1^n R_i I_i.$
15.	Ділянка кола, яка складається з послідовно з'єднаних елементів, включених між двома вузлами.
16.	Сили струмів, які виходять з вузла.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 2.2

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
На розрахунковій схемі електричного кола наведено: електрорушійна сила першого джерела $E_1 = 150 \text{ В}$; електрорушійна сила другого джерела $E_2 = 100 \text{ В}$; опори віток електричного кола $R_1 = 1 \text{ Ом}$; $R_2 = 2 \text{ Ом}$, $R_3 = 1 \text{ Ом}$. 		
1.	Запишіть рівняння за 1-м законом Кірхгофа для вузла 1 наведеної розрахункової схеми.	
2.	Запишіть рівняння за 2-м законом Кірхгофа для двох незалежних контурів наведеної розрахункової схеми.	
3.	Запишіть систему рівнянь з коефіцієнтами при невідомих.	
4.	Складіть матрицю для знаходження головного визначника і знайдіть його значення.	
5.	Складіть матрицю для знаходження часткового визначника струму I_1 і знайдіть його значення.	
6.	Визначте силу електричного струму в першій вітці розрахункової схеми в амперах.	
7.	Складіть матрицю для знаходження часткового визначника струму I_2 і знайдіть його значення.	
8.	Визначте силу електричного струму в другій вітці розрахункової схеми в амперах.	
9.	Складіть матрицю для знаходження часткового визначника струму I_3 і знайдіть його значення.	
10.	Визначте силу електричного струму в третій вітці розрахункової схеми в амперах.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 13$.

Таблиця 2.2а

Номер відповіді	Відповіді
1.	80.
2.	10.
3.	$\begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 50 & 0 \\ 0 & 100 & 1 \end{vmatrix} = -50.$
4.	$\begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & -2 & 50 \\ 0 & 2 & 100 \end{vmatrix} = -400.$
5.	$R_1 I_1 - R_2 I_2 = E_1 - E_2.$ $R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_2.$
6.	70.
7.	$\begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{vmatrix} = -5.$
8.	$I_1 + I_2 - I_3 = 0.$
9.	$I_1 + I_2 - I_3 = 0;$ $1 I_1 - 2 I_2 + 0 = 50;$ $0 + 2 I_2 + 1 I_3 = 100;$
10.	$\begin{vmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 50 & -2 & 0 \\ 100 & 2 & 1 \end{vmatrix} = -350.$

2.3 Метод контурних струмів

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 2.3 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблиці 2.3.
3. Виконати тести до пункту 2.3 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Послідовність розрахунку сил струмів у розгалуженому електричному колі за методом контурних струмів наступна:

- 1) складають розрахункову схему електричного кола, на якій у кожному незалежному контурі додатково позначають умовні контурні струми, спрямовуючи їх довільним чином (за годинникової стрілкою або проти неї);
- 2) якщо до складу контуру входять джерела струму, то визначають контурний струм цього контуру як алгебраїчну суму сил струмів цих джерел (зі знаком «+» записують сили струмів джерел, напрями яких збігаються із напрямом контурного струму, у протилежному випадку їх записують зі знаком «-»);
- 3) складають систему рівнянь за методом контурних струмів (кількість рівнянь дорівнює кількості невідомих контурних струмів):
 - у лівій частині кожного рівняння записують добуток повного (власного) опору контуру і контурного струму цього контуру, до якого додають добутки спільних опорів контурів і контурних струмів;
 - у правій частині кожного рівняння записують контурні е.р.с.;
- 4) визначають складові рівнянь, записаних за методом контурних струмів:
 - повні (власні) опори контурів як суму опорів, що входять до контуру;
 - спільні опори контурів як суму опорів вітки, що належить обом контурам (якщо напрями контурних струмів у вітці збігаються, то опори віток записують зі знаком «+», у протилежному випадку їх записують зі знаком «-»);
 - контурні е.р.с. як алгебраїчну суму е.р.с., що діють у відповідному контурі (якщо напрям е.р.с. збігається з напрямом обходу контуру, то її записують зі знаком «+», у протилежному випадку її записують зі знаком «-»);
- 5) переписують систему рівнянь, складену за методом контурних струмів, з коефіцієнтами при невідомих (підставляють значення опорів та е.р.с.) і розв'язують її (визначають сили контурних струмів);
- 6) визначають дійсні струми у вітках, як алгебраїчну суму контурних струмів, які проходять у цій вітці (якщо контурний струм збігається за

напрямом з дійсним струмом, то його записують зі знаком «+», у протилежному випадку його записують зі знаком «-»);

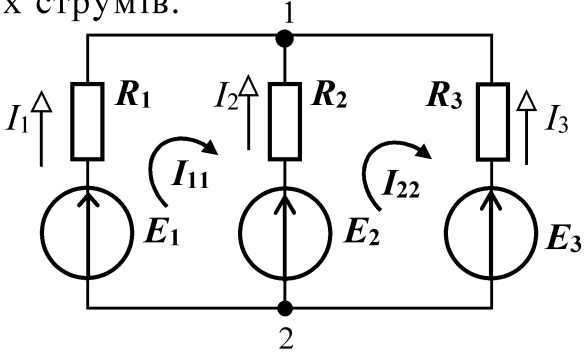
- 7) перевіряють розрахунок реальних струмів за законами Кірхгофа або складанням балансу потужностей кола.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 2.3

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
На розрахунковій схемі електричного кола наведено: електрорушійна сила першого джерела $E_1 = 100 \text{ В}$; електрорушійна сила другого джерела $E_2 = 200 \text{ В}$; електрорушійна сила третього джерела $E_3 = 400 \text{ В}$; опори віток електричного кола: $R_1 = 3 \text{ Ом}$; $R_2 = 4 \text{ Ом}$, $R_3 = 4 \text{ Ом}$. Визначте сили електричних струмів у вітках за допомогою методу контурних струмів. 		
1.	Запишіть рівняння для розрахунку контурних струмів за методом контурних струмів.	
2.	Запишіть систему рівнянь з коефіцієнтами при невідомих, попередньо розрахувавши всі опори та контурні електрорушійні сили, що входять в ці рівняння.	
3.	Складіть матрицю для знаходження головного визначника і знайдіть його значення.	
4.	Складіть матрицю для знаходження часткового визначника контурного струму I_{11} і знайдіть його значення.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
5.	Визначте значення контурного струму в першому контурі розрахункової схеми в амперах.	
6.	Складіть матрицю для знаходження часткового визначника контурного струму I_{22} і знайдіть його значення.	
7.	Визначте значення контурного струму в другому контурі розрахункової схеми в амперах.	
8.	Складіть математичний вираз для визначення сили електричного струму в першій вітці розрахункової схеми і знайдіть її значення.	
9.	Складіть математичний вираз для визначення сили електричного струму в другій вітці розрахункової схеми і знайдіть її значення в амперах.	
10.	Складіть математичний вираз для визначення сили електричного струму в третій вітці розрахункової схеми і знайдіть її значення в амперах.	
11.	Запишіть рівняння за 2-м законом Кірхгофа для двох незалежних контурів наведеної розрахункової схеми.	
12.	Перевірте правильність рішення завдання, підставивши значення всіх величин в отриману систему рівнянь.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 24$.

Таблиця 2.3а

Номер відповіді	Відповіді
1.	45.
2.	40.
3.	$7 I_{11} - 4 I_{22} = -100;$ $-4 I_{11} + 8 I_{22} = -200.$
4.	-1800.
5.	$3 \cdot (-40) - 4 \cdot (-5) = -100;$ $4 \cdot (-5) - 4 \cdot 45 = -200.$
6.	-1600.
7.	-45.
8.	-40 А.
9.	-5.

Номер відповіді	Відповіді
10.	$(R_1 + R_2)I_{11} - R_2I_{22} = E_1 - E_2 ;$ $-R_2I_{11} + (R_2 + R_3)I_{22} = E_2 - E_3 .$
11.	$R_1I_1 - R_2I_2 = E_1 - E_2 .$ $R_2I_2 - R_3I_3 = E_2 - E_3 .$
12.	–40.

2.4 Метод вузових потенціалів

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 2.4 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблиці 2.4.
3. Виконати тести до пункту 2.4 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Послідовність розрахунку сил струмів у розгалуженому електричному колі за методом вузових потенціалів наступна:

- 1) складають розрахункову схему електричного кола;
- 2) приймають, що потенціал одного з вузлів розрахункової схеми дорівнює нулю, а для всіх інших вузлів складають вузові рівняння:
 - у лівій частині кожного рівняння записують з додатним знаком добуток потенціалу вузла, що розглядають, на власну вузову провідність та з від’ємними знаками добутки потенціалів сусідніх вузлів (по відношенню до вузла, що розглядають) на спільні вузові провідності;
 - у правій частині кожного рівняння записують вузовий струм вузла, що розглядають;
- 3) визначають коефіцієнти при невідомих вузових рівнянь:
 - власну вузову провідність як суму провідностей віток, приєднаних до вузла (якщо вітки, приєднані до вузла, не містять опорів, то власна вузова провідність дорівнює нулю);
 - спільну вузову провідність як суму провідностей вітки, яка розташована між двома вузлами (якщо вітка не містить опору, то спільна вузова провідність дорівнює нулю);
 - вузовий струм як алгебраїчну суму струмів короткого замикання віток з джерелами е.р.с. та струму, приєднаних до вузла (якщо у вітці, приєднаній до вузла, є тільки е.р.с., то її переносять за вузол);

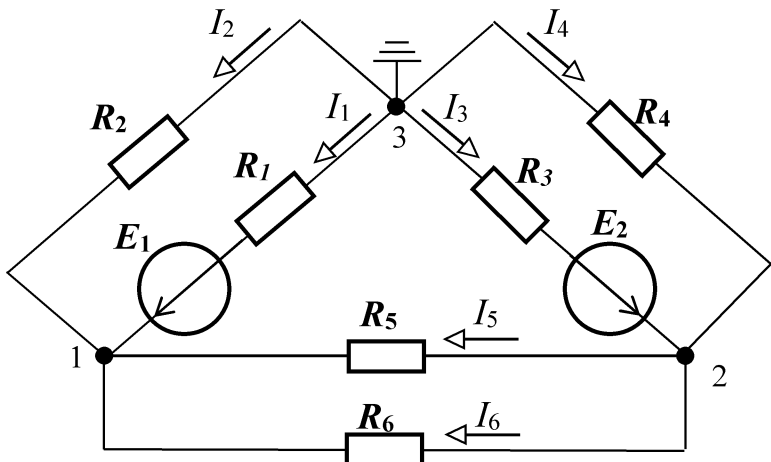
- струм короткого замикання вітки з джерелом е.р.с. дорівнює добутку е.р.с. джерела на провідність вітки;
 - струм короткого замикання джерела струму дорівнює струму джерела;
 - при визначенні струму короткого замикання е.р.с. або струм джерела записують зі знаком «+» у разі спрямування до вузла, у протилежному випадку їх записують зі знаком «-»;
- 4) записують вузлові рівняння у вигляді системи, підставляючи коефіцієнти при невідомих;
 - 5) розв'язують отриману систему рівнянь і визначають потенціали вузлів;
 - 6) визначають сили струмів за знайденими потенціалами вузлів на підставі законів Ома для ділянки кола;
 - 7) перевіряють розрахунок сил струмів за законами Кірхгофа або складанням балансу потужностей кола.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 2.4

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
	На розрахунковій схемі електричного кола наведено: електрорушійна сила першого джерела $E_1 = 50 \text{ В}$; електрорушійна сила другого джерела $E_2 = 200 \text{ В}$; опори віток електричного кола $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 4 \text{ Ом}$. Визначте сили електричних струмів у вітках за допомогою методу вузлових потенціалів. 	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Запишіть рівняння для розрахунку потенціалів вузлів розрахункової схеми за допомогою метода вузлових потенціалів.	
2.	Запишіть систему рівнянь з коефіцієнтами при невідомих, попередньо розрахувавши провідності віток та добутки е.р.с джерела на відповідні провідності віток.	
3.	Складіть матрицю для знаходження головного визначника і знайдіть його значення.	
4.	Складіть матрицю для знаходження часткового визначника потенціалу першого вузла і знайдіть його значення.	
5.	Визначте потенціал першого вузла розрахункової схеми φ_1 в вольтах.	
6.	Складіть матрицю для знаходження часткового визначника потенціалу другого вузла і знайдіть його значення.	
7.	Визначте потенціал другого вузла розрахункової схеми φ_2 в вольтах.	
8.	Визначте силу електричного струму в першій вітці розрахункової схеми I_1 в амперах.	
9.	Визначте силу електричного струму в другій вітці розрахункової схеми I_2 амперах.	
10.	Визначте силу електричного струму в третій вітці розрахункової схеми I_3 в амперах.	
11.	Визначте силу електричного струму в четвертій вітці розрахункової схеми I_4 в амперах.	
12.	Визначте силу електричного струму в п'ятій вітці розрахункової схеми I_5 в амперах.	
13.	Визначте силу електричного струму в шостій вітці розрахункової схеми I_6 .	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 35$.

Таблиця 2.4а

Номер відповіді	Відповіді
1.	-18,75.
2.	$1 \varphi_1 - 0,5 \varphi_2 = 12,5;$ $-0,5 \varphi_1 + 1 \varphi_2 = 50.$

Номер відповіді	Відповіді
3.	6,25 А.
4.	56,25.
5.	31,25.
6.	37,5.
7.	6,25.
8.	0.
9.	-12,5.
10.	50.
11.	$(g_1 + g_2 + g_5 + g_6)\varphi_1 - (g_5 + g_6)\varphi_2 = E_1 g_1;$ $-(g_5 + g_6)\varphi_1 + (g_3 + g_4 + g_5 + g_6)\varphi_2 = E_2 g_3.$
12.	0,75.
13.	75.

2.5 Еквівалентні перетворення схем з'єднань опорів

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 2.5 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 2.5–2.6.
3. Виконати тести до пункту 2.5 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Еквівалентний опір послідовно з'єднаних елементів дорівнює сумі опорів цих елементів, тобто

$$R_e = \sum R. \quad (2.3)$$

Еквівалентна провідність паралельно з'єднаних елементів дорівнює сумі провідностей цих елементів, тобто

$$g_e = \sum g. \quad (2.4)$$

Еквівалентний опір паралельно з'єднаних елементів розраховується так:

$$R_e = \frac{1}{\sum \frac{1}{R}}. \quad (2.5)$$

У разі змішаного з'єднання опорів у розгалуженому колі виконують їх еквівалентні перетворення з метою отримання нерозгалуженого кола або максимального його спрощення. Еквівалентні перетворення виконують на ділянках, які містять однотипово з'єднані опори (паралельно, послідовно тощо). При цьому враховують умову еквівалентних перетворень – напруги і сили струмів на ділянках, де не виконують еквівалентне перетворення, не повинні змінюватись.

Схемою з'єднання «зірка» називають таку, у якій однойменні вивідні затискачі трьох елементів поєднуються у загальний вузол. Схемою з'єднання «трикутник» називають таку, у якій початковий вивідний затискач першого елемента поєднується з кінцевим вивідним затискачем другого елемента, початковий вивідний затискач другого елемента поєднується з кінцевим вивідним затискачем третього елемента, початковий вивідний затискач третього елемента поєднується з кінцевим вивідним затискачем першого елемента, утворюючи замкнений контур.

При еквівалентному перетворенні схеми з'єднання опорів трикутником на схему з'єднання зіркою користуються наступними виразами:

$$R_a = \frac{R_{ab} \cdot R_{ca}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}. \quad (2.6)$$

$$R_b = \frac{R_{ab} \cdot R_{bc}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}. \quad (2.7)$$

$$R_c = \frac{R_{bc} \cdot R_{ca}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}. \quad (2.8)$$

де R_a, R_b, R_c – опори, з'єднані зіркою, Ом;
 R_{ab}, R_{bc}, R_{ca} – опори, з'єднані трикутником, Ом.

При еквівалентному перетворенні схеми з'єднання опорів зіркою на схему з'єднання трикутником користуються наступними виразами:

$$R_{ab} = R_a + R_b + \frac{R_a \cdot R_b}{R_c}. \quad (2.9)$$

$$R_{bc} = R_b + R_c + \frac{R_b \cdot R_c}{R_a}. \quad (2.10)$$

$$R_{ca} = R_a + R_c + \frac{R_a \cdot R_c}{R_b}. \quad (2.11)$$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 2.5

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Запишіть рівняння для розрахунку еквівалентного опору послідовно з'єднаних резисторів.	
2.	Дайте визначення провідності елемента кола.	
3.	Запишіть визначальну формулу провідності елемента кола.	
4.	Запишіть рівняння для розрахунку еквівалентного опору паралельно з'єднаних резисторів.	

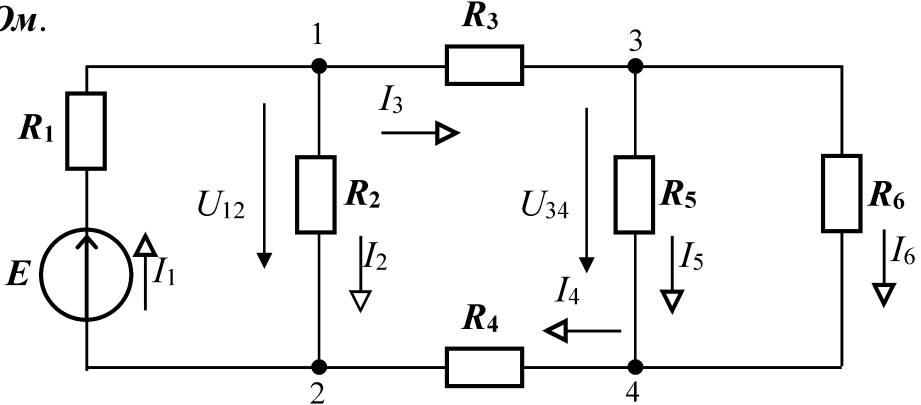
У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 2$.

Таблиця 2.5а

Номер відповіді	Відповіді
1.	Фізична величина, яка обернено пропорційна опору.
2.	$R_E = R_1 + R_2 + R_3$.
3.	$R_E = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}}$.
4.	$g = \frac{1}{R}$.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 2.6

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Три резистора, с опорами $R_1 = 20 \text{ Ом}$; $R_2 = 30 \text{ Ом}$; $R_3 = 60 \text{ Ом}$, з'єднані послідовно. Визначте еквівалентний опір цих резисторів в омах.	
2.	Три резистора, с опорами $R_1 = 20 \text{ Ом}$; $R_2 = 30 \text{ Ом}$; $R_3 = 60 \text{ Ом}$, з'єднані паралельно. Визначте еквівалентний опір цих резисторів в омах.	
3.	Визначте еквівалентний опір резисторів в омах при змішаному з'єднанні (другий та третій резистори включені паралельно, а перший резистор включено послідовно з ними), якщо опори резисторів $R_1 = 20 \text{ Ом}$; $R_2 = 30 \text{ Ом}$; $R_3 = 60 \text{ Ом}$.	
Для наведеної розрахункової схеми кола відомо: $E = 200 \text{ В}$; $R_1 = 2,5 \text{ Ом}$; $R_2 = 10 \text{ Ом}$; $R_3 = 3 \text{ Ом}$; $R_4 = 3 \text{ Ом}$; $R_5 = 40 \text{ Ом}$; $R_6 = 60 \text{ Ом}$. 		
4.	Замініть паралельно включені опори R_5 , R_6 одним еквівалентним опором R_{56} , розрахуйте величину еквівалентного опору в омах.	
5.	Замініть послідовно включені резистори з опором R_3 , R_{56} , R_4 одним еквівалентним резистором з опором R_{3456} , розрахуйте величину еквівалентного опору в омах.	
6.	Замініть паралельно включені опори R_2 , R_{3456} одним еквівалентним резистором з опором R_{23456} , розрахуйте величину еквівалентного опору в омах.	
7.	Визначте силу струму I_1 в амперах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
8.	Визначте напругу U_{12} в вольтах.	
9.	Визначте силу струму I_2 в амперах.	
10.	Визначте сили струмів I_3 і I_4 в амперах.	
15.	Визначте напругу U_{34} в вольтах.	
16.	Визначте силу струму I_5 в амперах.	
17.	Визначте силу струму I_6 в амперах.	
18.	Виконайте перевірку, записавши рівняння за 1-м законом Кірхгофа для вузла 2.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 8$.

Таблиця 2.6а

Номер відповіді	Відповіді
1.	30.
2.	110.
3.	150.
4.	40.
5.	10.
6.	7,5.
7.	24.
8.	5.
9.	$I_1 = I_2 + I_4$.
10.	3.
11.	2.
12.	20.
13.	120.
14.	15.

2.6 Метод двох вузлів

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 2.6 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблиці 2.7.
3. Виконати тести до пункту 2.6 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Метод застосовують для електричних кіл, які містять тільки два вузли. Послідовність розрахунку сил струмів у розгалуженому електричному колі за методом двох вузлів наступна:

- 1) складають розрахункову схему електричного кола, на якій приймають, що потенціал одного з вузлів дорівнює нулю;
- 2) визначають провідності віток електричного кола;
- 3) визначають напругу між вузлами розрахункової схеми за методом двох вузлів, використовуючи рівняння:

$$U_{12} = \frac{\sum E g + \sum J}{\sum g}; \quad (2.12)$$

де U_{12} – напруга між двома вузлами, В;
 E – е.р.с. джерела е.р.с. вітки, В;
 g – провідність вітки, См;
 J – сила струму джерела струму вітки, А;

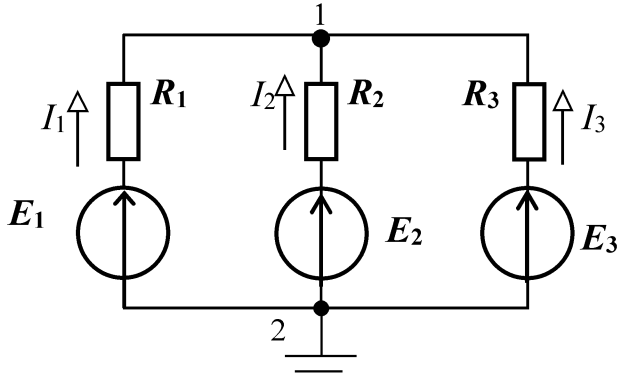
при записуванні рівняння (2.12) враховують наступне:

- якщо е.р.с., яка діє у вітці, або струм джерела струму спрямовані до вузла, потенціал якого не дорівнює нулю, то їх записують зі знаком «+», у протилежному випадку їх записують зі знаком «-»;
 - якщо джерело е.р.с. у вітці відсутнє, то значення у цій вітці $E = 0$;
 - якщо джерело струму. у вітці відсутнє, то значення у цій вітці $J = 0$;
- 4) визначають сили струмів за законами Ома;
 - 5) перевіряють розрахунок сил струмів за законами Кірхгофа або складанням балансу потужностей кола.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Таблиця 2.7

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
	На розрахунковій схемі електричного кола наведено: електрорушійна сила першого джерела $E_1 = 150 \text{ В}$; електрорушійна сила другого джерела $E_2 = 200 \text{ В}$; електрорушійна сила третього джерела $E_3 = 250 \text{ В}$; опори віток електричного кола $R_1 = 2 \text{ Ом}$; $R_2 = 4 \text{ Ом}$; $R_3 = 4 \text{ Ом}$. Визначте сили електричних струмів у вітках за допомогою методу двох вузлів. 	
1.	Запишіть рівняння для розрахунку напруги між вузлами 1 і 2 U_{12} за допомогою методу двох вузлів.	
2.	Визначте провідності віток розрахункової схеми в сіменсах.	
3.	Визначте напругу між вузлами 1 і 2 U_{12} в вольтах.	
4.	Складіть математичний вираз для визначення сили електричного струму в першій вітці розрахункової схеми I_1 .	
5.	Визначте силу електричного струму в першій вітці розрахункової схеми в амперах.	
6.	Складіть математичний вираз для визначення сили електричного струму в другій вітці розрахункової схеми I_2 .	
7.	Визначте силу електричного струму в другій вітці розрахункової схеми в амперах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
8.	Складіть математичний вираз для визначення сили електричного струму в третій вітці розрахункової схеми I_3 .	
9.	Визначте силу електричного струму в третій вітці розрахункової схеми в амперах.	
10.	Запишіть систему рівнянь за 2-м законом Кірхгофа та перевірте правильність рішення завдання, підставивши значення всіх величин в отриману систему рівнянь.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 21$.

Таблиця 2.7а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$I_3 = \frac{-U_{12} + E_3}{R_3}.$
2.	$I_2 = \frac{-U_{12} + E_2}{R_2}.$
3.	$\begin{aligned} R_1 I_1 - R_2 I_2 &= E_1 - E_2; \\ R_2 I_2 - R_3 I_3 &= E_2 - E_3. \end{aligned}$
4.	-18,75.
5.	$I_1 = \frac{-U_{12} + E_1}{R_1}.$
6.	$g_1 = 0,5; \quad g_2 = 0,25; \quad g_3 = 0,25.$
7.	15,625.
8.	$U_{12} = \frac{E_1 \cdot g_1 + E_2 \cdot g_2 + E_3 \cdot g_3}{g_1 + g_2 + g_3}.$
9.	3,125.
10.	187,5.

2.7 Метод активного двополюсника

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 2.7 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблиці 2.8.
3. Виконати тести до пункту 2.7 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

При дослідженні процесів у складних електричних колах в деяких випадках необхідно визначити силу струму, напругу і потужність тільки в одній вітці. При розв'язанні таких задач частина електричного кола щодо виділеної вітки замінюється прямокутником і називається **двополюсником**. Двополюсники, до складу яких входять джерела електроенергії, називаються **активними** (у середині прямокутника ставиться літера А). Двополюсники, до складу яких не входять джерела електроенергії, називаються **пасивними** (у середині прямокутника ставиться літера П).

Послідовність розрахунку сили струму у вітці розгалуженого електричного кола за методом активного двополюсника (еквівалентного генератора) наступна:

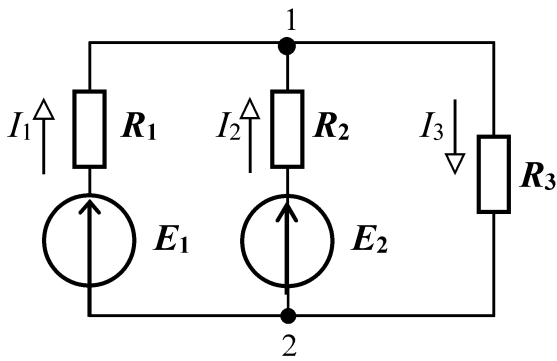
- 1) складають розрахункову схему електричного кола, на якій виділяють прямокутником із двома вивідними затискачами (двополюсником) частину кола щодо вітки, у якій необхідно розрахувати силу струму;
- 2) складають розрахункову схему двополюсника в режимі холостого ходу (з розімкненою віткою, у якій необхідно розрахувати силу струму) і визначають його напругу холостого ходу;
- 3) складають розрахункову схему двополюсника в режимі короткого замикання (з вилученими джерелами е.р.с. і струму двополюсника та замкненими накоротко вивідними затискачами двополюсника) і визначають його вхідний опір щодо вітки, у якій необхідно розрахувати силу струму; вхідний опір є еквівалентним опором двополюсника;
- 4) складають розрахункову схему електричного кола, на якій активний двополюсник представляють еквівалентним генератором, е.р.с. якого дорівнює напрузі холостого ходу двополюсника, а внутрішній опір – вхідному опору двополюсника; користуючись цією схемою, визначають силу струму у потрібній вітці.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

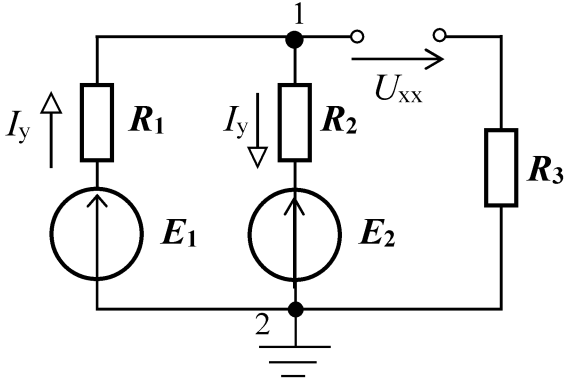
Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 2.8

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
На розрахунковій схемі електричного кола наведено: електрорушійна сила першого джерела $E_1 = 100 \text{ В}$; електрорушійна сила другого джерела $E_2 = 50 \text{ В}$; опори віток електричного кола $R_1 = 5 \text{ Ом}$; $R_2 = 5 \text{ Ом}$, $R_3 = 4 \text{ Ом}$. 		
1.	Складіть еквівалентну розрахункову схему заданого електричного кола для розрахунку сили електричного струму I_3 за допомогою методу активного двополюсника.	
2.	Складіть математичний вираз для визначення сили зрівнювального струму еквівалентної розрахункової схеми.	
3.	Визначте силу зрівнювального струму еквівалентної розрахункової схеми в амперах.	
4.	Визначте потенціал на затискачу «1» в вольтах.	
5.	Визначте потенціал на затискачу «2» в вольтах.	
6.	Визначте напругу між затискачами еквівалентного активного двополюсника U_{xx} .	
7.	Складіть математичний вираз для розрахунку струму в третій вітці заданої розрахункової схеми.	
8.	Визначте внутрішній опір еквівалентного активного двополюсника в омах.	
9.	Визначте силу електричного струму в третій вітці розрахункової схеми в амперах.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 17$.

Таблиця 2.8а

Номер відповіді	Відповіді
1.	75 В.
2.	11,54.
3.	2,5.
4.	$I_y = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}.$
5.	
6.	75.
7.	$I_3 = \frac{U_{xx}}{R_B + R_3}.$
8.	5.
9.	0.

2.8 Принцип суперпозиції і його застосування для розрахунку кіл

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 2.8 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблиці 2.9.
3. Виконати тести до пункту 2.8 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Принцип суперпозиції (накладання) лінійних електричних кіл полягає у тому, що сила струму в будь-якій вітці розгалуженого електричного

кола дорівнює алгебраїчній сумі складових сил струмів, створених окремо дією кожного з джерел е.р.с. і струму.

Послідовність розрахунку сил струмів у розгалуженому електричному колі за принципом суперпозиції (накладання) наступна:

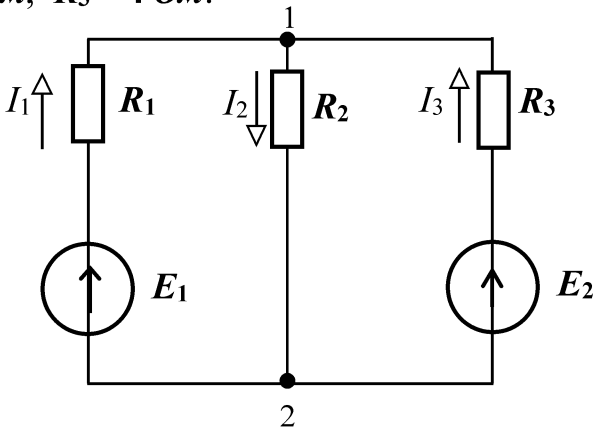
- 1) складають розрахункову схему електричного кола;
- 2) складають розрахункові схеми кола, на кожній з яких залишають одне з джерел е.р.с. або струму, інші джерела е.р.с. закорочують, а джерела струму розмикають (при цьому конфігурацію розрахункової схеми з п.1 не змінюють);
- 3) користуючись розрахунковими схемами з п.2 визначають складові сил струмів кола, які виникають окремо від дії кожного з джерел;
- 4) визначають сили струмів кола як алгебраїчну суму їх складових (складову сили струму від дії певного джерела записують зі знаком «+», якщо вона співпадає за напрямом зі струмом, у протилежному випадку її записують зі знаком «-»);
- 5) перевіряють розрахунок сил струмів за законами Кірхгофа або складанням балансу потужностей кола.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання практично-стереотипного характеру

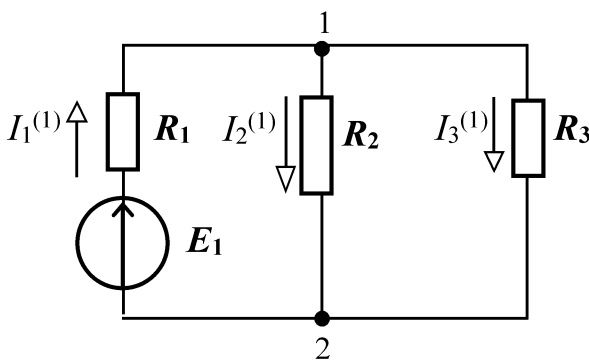
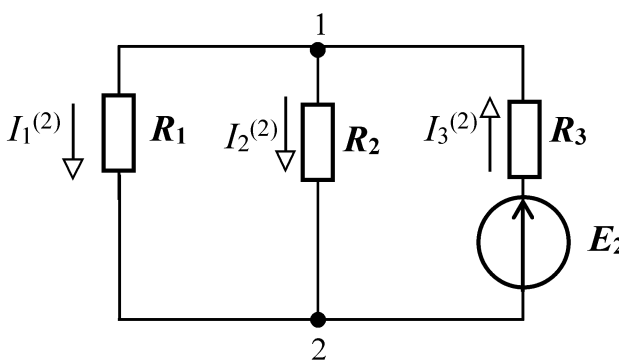
Таблиця 2.9

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
	На розрахунковій схемі електричного кола наведено: електрорушійна сила першого джерела $E_1 = 100 \text{ В}$; електрорушійна сила другого джерела $E_2 = 50 \text{ В}$; опори віток електричного кола $R_1 = 3 \text{ Ом}$; $R_2 = 4 \text{ Ом}$, $R_3 = 4 \text{ Ом}$. 	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Складіть еквівалентну розрахункову схему заданого електричного кола для розрахунку часткових сил електричних струмів які виникають під дією електрорушійної сила джерела E_1 .	
2.	Запишіть рівняння для розрахунку часткової сили струму в першій вітці еквівалентної розрахункової схеми $I_1^{(1)}$ і визначте її в амперах.	
3.	Запишіть рівняння для розрахунку часткової сили струму в другій вітці еквівалентної розрахункової схеми $I_2^{(1)}$ і визначте її в амперах.	
4.	Запишіть рівняння для розрахунку часткової сили струму в третій вітці еквівалентної розрахункової схеми $I_3^{(1)}$ і визначте її в амперах.	
5.	Складіть еквівалентну розрахункову схему заданого електричного кола для розрахунку часткових сил електричних струмів, які виникають під дією електрорушійної сила джерела E_2 .	
6.	Запишіть рівняння для розрахунку часткової сили струму в третій вітці еквівалентної розрахункової схеми $I_3^{(2)}$ і визначте її в амперах.	
7.	Запишіть рівняння для розрахунку часткової сили струму в другій вітці еквівалентної розрахункової схеми $I_2^{(2)}$ і визначте її в амперах.	
8.	Запишіть рівняння для розрахунку часткової сили струму в першій вітці еквівалентної розрахункової схеми $I_1^{(2)}$ і визначте її в амперах.	
9.	Визначте силу електричного струму в першій вітці розрахункової схеми в амперах.	
10.	Визначте силу електричного струму в другій вітці розрахункової схеми в амперах.	
11.	Визначте силу електричного струму в третій вітці розрахункової схеми в амперах.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 20$.

Таблиця 2.9а

Номер відповіді	Відповіді
1.	
2.	8,75.
3.	13,75.
4.	5.
5.	
6.	20.
7.	15.
8.	10 A.
9.	3,75.
10.	10.
11.	-1,25.

Тема 3

НЕРОЗГАЛУЖЕНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ЗМІННОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ

3.1 Основні фізичні поняття

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 3.1 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 3.1–3.4.
3. Виконати тести до пункту 3.1 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Явище електромагнетизму полягає у тому, що навколо електричного струму завжди утворюється магнітне поле (рис.3.1). **Закон електромагнетизму** формулюється так: добуток кількості витків котушки (провідного контуру) на магнітний потік дорівнює добутку індуктивності котушки на силу струму, що у ній протікає. Математичний запис цього закону такий:

$$w \cdot \Phi = L \cdot I, \quad (3.1)$$

де w – кількість витків котушки (провідного контуру);

Φ – магнітний потік одного витка котушки, Вб;

L – індуктивність котушки, Гн;

I – сила струму, що протікає у котушці, А.

Явище електромагнітної індукції полягає у наступному: якщо котушка (провідний контур) пронизується змінним магнітним потоком, то у котушці (провідному контурі) наводиться е.р.с. (рис.3.2). **Закон електромагнітної індукції** формулюється так: значення е.р.с., яка наводиться в контурі, прямо пропорційно кількості витків контуру і швидкості зміни магнітного потоку. Математичний запис цього закону такий:

$$e = -w \cdot \frac{d\Phi}{dt}, \quad (3.2)$$

де e – е.р.с., що наводиться у котушці (провідному контурі), В;

w – кількість витків котушки (провідного контуру);

Φ – магнітний потік, що пронизує один виток котушки, Вб;

t – час, с.

$$[e] = \frac{B\delta}{c} = \frac{B \cdot c}{c} = B.$$

Фізична суть знака «мінус» полягає в наступному: якщо в даний момент часу магнітний потік, що пронизує контур, збільшується, то він наводить е.р.с., яка створить електричний струм, а останній свій магнітний потік, який буде спрямований проти основного потоку і навпаки.

Якщо рамку, у якій виникла змінна синусоїдна е.р.с., за допомогою щіток замкнути на навантаження (наприклад, на резистор, тощо), то утвориться замкнений контур, у якому під дією е.р.с. вільні електрони будуть здійснювати коливання. Такі коливання вільних електронів називають **змінним синусоїдним струмом** і описують рівнянням:

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i), \quad (3.3)$$

де i – миттєве значення сили струму (значення в даний момент часу), A ;

I_m – амплітуда (максимальне значення) сили струму, A ;

ψ_i – початкова фаза струму, *рад. (градус)*;

$(\omega t + \psi_i)$ – поточна фаза струму, *рад. (градус)*.

Початкова фаза струму характеризує значення сили струму по відношенню до нуля у початковий момент часу (у момент початку спостереження), а **поточна фаза струму** – у даний (поточний) час.

Час, за який відбувається повне коливання струму, називають **періодом струму**. Він дорівнює часу, за який рамка генератора виконує один повний оберт. Одиницею періоду є секунда.

Кількість повних коливань електричного струму за секунду називають **частотою струму**. Вона дорівнює кількості обертів рамки генератора за секунду. Між частотою і періодом струму є такий взаємозв'язок:

$$f = \frac{1}{T}, \quad (3.4)$$

де f – частота струму, $Гц$;

T – період струму, $с$;

$$[f] = \frac{1}{с} = Гц.$$

Величину, яка у 2π раз більша за частоту струму, назвали **кутовою (циклічною) частотою струму**:

$$\omega = 2\pi \cdot f; \quad (3.5)$$

$$[\omega] = \frac{рад.}{с};$$

Вираз (3.5) з урахуванням (3.4) може бути записаний так:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (3.6)$$

Змінний синусоїдний струм, проходячи по провіднику, супроводжується тепловою дією незалежно від напрямлення струму. Силу постійного струму, який, протікаючи по тому ж самому проводу, що і змінний струм, виділяє таку ж кількість теплоти за період змінного струму, назвали **діючим значенням змінного струму**. Співвідношення між амплітудою та діючим значенням змінного синусоїдного струму таке:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (3.7)$$

За аналогією використовують діючі значення е.р.с. і напруги:

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}; \quad (3.8)$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (3.9)$$

Електровимірювальні прилади (амперметри, вольтметри), що включені у коло змінного синусоїдного струму, показують діючі значення вимірюваних величин (сили струму, напруги).

Синусоїдні величини (струми, напруги, е.р.с., потенціали) зображують на площині за допомогою оригіналів (синусоїд) та радіус-векторів. **Радіус-вектор** являє собою спрямований відрізок прямої, який рівномірно обертається з кутовою швидкістю ω навколо початку координат. Довжина радіус-вектора дорівнює в обраному масштабі амплітуді синусоїдної величини. У подальшому будемо називати його просто вектором, а побудову, на якій зображено декілька векторів – **векторною діаграмою**.

Для початкового моменту часу (для $t = 0$) вектор відкладають під кутом до осі відліку, який дорівнює початковій фазі зображуваної величини. Якщо початкова фаза додатна, то кут відкладається проти годинникової стрілки, якщо від'ємна – за годинниковою стрілкою. У будь-який інший момент часу вектор зображують під кутом поточної фази синусоїдної величини до осі відліку.

Миттєве значення синусоїдної величини в будь-який момент часу (для будь-якої фази) є проекція вектора на вертикальну вісь.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 3.1

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	У чому суть явища електромагнетизму?	
2.	Сформулюйте закон електромагнетизму.	
3.	Виконайте математичний запис закону електромагнетизму.	
4.	У чому суть явища електромагнітної індукції?	
5.	Сформулюйте закон електромагнітної індукції.	
6.	Виконайте математичний запис закону електромагнітної індукції.	
7.	Приведіть приклад використання явища електромагнітної індукції в техніці.	
8.	Виконайте математичний запис виразу миттєвої синусоїдної електрорушійної сили.	
9.	Виконайте математичний запис виразу миттєвої напруги на затискачах ідеального генератора.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 11$.

Таблиця 3.1а

Номер відповіді	Відповіді
1.	Якщо провідний контур пронизується змінним магнітним потоком, то в контурі індуктується (наводиться) електрорушійна сила.
2.	При конструюванні генераторів, трансформаторів, електричних двигунів, електромагнітних реле.
3.	$e = -w \frac{d\Phi}{dt}.$
4.	Потокозчеплення електричної котушки прямо пропорційно силі електричного струму й індуктивності котушки.

Номер відповіді	Відповіді
5.	$u = U_m \cdot \sin \omega t.$
6.	$\psi = w \cdot \Phi = L \cdot i.$
7.	Значення електрорушійної сили, яка наводиться в контурі, прямо пропорційно кількості витків контуру і швидкості зміни магнітного потоку.
8.	При протіканні по провіднику електричного струму навколо останнього утворюється магнітне поле.
9.	$e = E_m \cdot \sin \omega t.$

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 3.2

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Котушка, яка складається зі 200 витків , має індуктивність 0,2 Гн , по котушці протікає електричний струм $i = 10 \cdot \sin \omega t$ А . Визначити магнітний потік усередині котушки в веберах.	
2.	Котушка, яка має 500 витків , пронизується магнітним потоком $\Phi = 0,004 \cdot \sin \omega t$ Вб , $\omega = 314$ с⁻¹ . Визначити електрорушійну силу, яка наводиться в котушці, в вольтах.	

У разі вірного виконання завдань $\sum_{\text{непар}} - \sum_{\text{пар}} = 1$.

Таблиця 3.2а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$628 \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$.
2.	$0,01 \cdot \sin \omega t$.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 3.3

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Що розуміється під синусоїдним електричним струмом?	
2.	Виконайте математичний запис виразу миттєвого синусоїдного електричного струму.	
3.	Що таке амплітуда синусоїдного електричного струму?	
4.	Що таке частота синусоїдного електричного струму?	
5.	Що таке період синусоїдного електричного струму?	
6.	Запишіть вираз для розрахунку кругової частоти синусоїдного електричного струму.	
7.	Що таке початкова фаза синусоїдного електричного струму?	
8.	Як зобразити синусоїдний електричний струм за допомогою радіус-вектора?	
9.	Що таке діюче значення синусоїдного електричного струму?	
10.	Запишіть вираз для розрахунку діючого значення синусоїдного електричного струму.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 17$.

Таблиця 3.3а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$
2.	Кількість періодів синусоїдного електричного струму за одиницю часу.
3.	Амплітудне значення синусоїдного електричного струму в обраному масштабі відкладається у вигляді відрізка прямої під кутом до осі відліку, який дорівнює початковій фазі.
4.	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f.$

Номер відповіді	Відповіді
5.	Час одного повного коливання синусоїдного електричного струму.
6.	Еквівалентний постійний струм, при дії якого в провіднику за період виділиться така ж кількість тепла, як і при дії синусоїдного електричного струму.
7.	Електричний струм, який змінюється в часі за синусоїдним законом.
8.	Максимальне значення синусоїдного електричного струму.
9.	$i = I_m \cdot \sin \omega t.$
10.	Кут відхилення рамки з синусоїдним електричним струмом в початковий момент часу (при $t = 0$).

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 3.4

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
У колі протікає синусоїдний електричний струм $i = 14,1 \cdot \sin(\omega t + 50^\circ)$ А. Частота струму дорівнює $f = 50$ Гц.		
1.	Визначте період синусоїдного електричного струму в секундах.	
2.	Визначте кругову частоту синусоїдного електричного струму в радіанах поділених на секунду.	
3.	Запишіть амплітудне значення синусоїдного електричного струму в амперах.	
4.	Запишіть миттєву фазу синусоїдного електричного струму.	
5.	Запишіть початкову фазу синусоїдного електричного струму.	
6.	Визначте діюче значення синусоїдного електричного струму в амперах.	
7.	Визначте миттєве значення синусоїдного електричного струму в амперах при $t = \frac{3 \cdot T}{12}.$	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 8.$

Таблиця 3.4а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$(\omega t + 50^\circ)$.
2.	314.
3.	9,08.
4.	0,02.
5.	14,1.
6.	50° .
7.	10.

3.2 Коло змінного синусоїдного електричного струму з резистором

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 3.2 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 3.5–3.6.
3. Виконати тести до пункту 3.2 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

При протіканні у резисторі змінного синусоїдного струму i буде спостерігатись теплова дія цього струму (тому резистор характеризується активним опором r), а на затискачах резистора буде встановлюватись змінна синусоїдна напруга u_r . Взаємозв'язок між ними такий:

$$u_r = r \cdot i. \quad (3.10)$$

Якщо струм буде описуватись таким рівнянням:

$$i = I_m \cdot \sin \omega t, \quad (3.11)$$

то після підстановки (3.11) у (3.10) і перетворень, отримаємо рівняння напруги на резисторі:

$$u_r = U_{rm} \cdot \sin \omega t . \quad (3.12)$$

Взаємозв'язок між амплітудами напруги і струму такий:

$$U_{rm} = r \cdot I_m . \quad (3.13)$$

Аналогічно (3.13) для діючих значень напруги і струму:

$$U_r = r \cdot I . \quad (3.14)$$

З (3.11) і (3.10) видно, що амплітуди напруги і струму будуть спостерігатись одночасно, тобто напруга і струм збігаються за фазою:

$$\psi_{ur} = \psi_i . \quad (3.15)$$

Величина, яка дорівнює абсолютній різниці початкових фаз напруги і струму, називається **кутом зсуву фаз** і позначається φ . У цьому випадку кут зсуву фаз між напругою і струмом визначається так:

$$\varphi = |\psi_{ur} - \psi_i| , \quad (3.16)$$

і дорівнює нулю.

Добуток миттєвих значень напруги і струму є миттєвою потужністю. Якщо перемножити (3.11) і (3.10), то отримаємо рівняння миттєвої потужності у активному опорі:

$$p_r = r \cdot I^2 \cdot (1 - \cos 2\omega t) . \quad (3.17)$$

Середнє значення миттєвої потужності за період називається **активною потужністю**. Вона визначається так:

$$P = r \cdot I^2 . \quad (3.18)$$

Одиницею активної потужності є ват ($Вт$), вона вимірюється ватметром.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

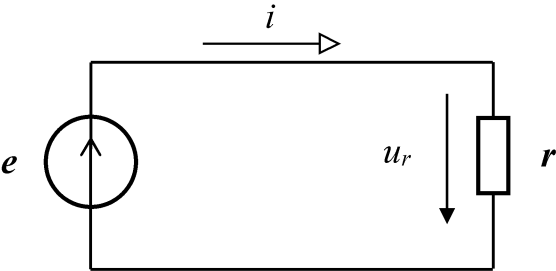
Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 3.5

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в резисторі в колі змінного синусоїдного струму.	
2.	Наведіть розрахункову схему кола змінного синусоїдного струму з ідеальним генератором і резистором.	
3.	Запишіть математичний зв'язок між миттєвою напругою, миттєвим струмом та активним опором.	
4.	Виконайте математичний запис закону Ома для максимальних значень напруги і струму на ділянці кола з резистором.	
5.	Виконайте математичний запис закону Ома для діючих значень напруги і струму на ділянці кола з резистором.	
6.	Запишіть математичний вираз миттєвої напруги на активному опорі, прийнявши, що початкова фаза дорівнює нулю.	
7.	Запишіть математичний вираз миттєвого струму в активному опорі для зазначеної вище напруги.	
8.	Що розуміється під кутом зсуву фаз?	
9.	Чому дорівнює кут зсуву фаз на ділянці кола з резистором?	
10.	Запишіть математичний вираз миттєвої потужності в резисторі.	
11.	Що розуміється під активною потужністю?	
12.	Запишіть математичний вираз для визначення активної потужності ділянки кола з резистором.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 24$.

Таблиця 3.5а

Номер відповіді	Відповіді
1.	
2.	$u_r = U_{rm} \cdot \sin \omega t.$
3.	$I_m = \frac{U_{rm}}{r}.$
4.	Середнє значення миттєвої потужності за період.
5.	$P = r \cdot I^2.$
6.	Абсолютне значення різниці початкових фаз напруги і струму.
7.	$\varphi = \psi_{ur} - \psi_i = 0.$
8.	$i = I_m \cdot \sin \omega t.$
9.	явище електричного струму; явище теплової дії електричного струму.
10.	$p_r = r \cdot I^2 \cdot (1 - \cos 2\omega t).$
11.	$I = \frac{U_r}{r}.$
12.	$i = \frac{u_r}{r}.$

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 3.6

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
До резистора підведена напруга $u_r = 537,4 \cdot \sin(\omega t + 40^\circ)$ В. Активний опір резистора $r = 76$ Ом.		
1.	Визначте максимальне значення синусоїдного електричного струму в амперах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
2.	Визначте початкову фазу синусоїдного електричного струму.	
3.	Запишіть математичний вираз миттєвого струму в активному опорі.	
4.	Визначте діюче значення синусоїдного електричного струму в амперах.	
5.	Визначте активну потужність ділянки кола з резистором у ватах.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 7$.

Таблиця 3.6a

Номер відповіді	Відповіді
1.	40°.
2.	1900.
3.	5.
4.	7,05.
5.	7,05·sin($\omega t + 40^\circ$).

3.3 Коло змінного синусоїдного струму з ідеальною котушкою

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 3.3 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 3.7–3.8.
3. Виконати тести до пункту 3.3 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Під ідеальною котушкою будемо розуміти таку, у якій не спостерігається теплова дія електричного струму при його протіканні. У такій котушці при протіканні змінного синусоїдного струму i буде спостерігатись явище електромагнетизму (тому котушка характеризується індуктивністю

L), а на затискачах ідеальної котушки буде встановлюватись змінна синусоїдна напруга u_L . Взаємозв'язок між ними такий:

$$u_L = L \frac{di}{dt}. \quad (3.19)$$

Якщо струм буде описуватись таким рівнянням:

$$i = I_m \cdot \sin \omega t, \quad (3.20)$$

то після підстановки (3.20) у (3.19) і перетворень, отримаємо рівняння напруги на ідеальній котушці:

$$u_L = U_{Lm} \cdot \sin(\omega t + 90^\circ). \quad (3.21)$$

Взаємозв'язок між амплітудами напруги і струму такий:

$$U_{Lm} = x_L \cdot I_m, \quad (3.22)$$

де x_L – індуктивний опір ідеальної котушки, Ом .

Індуктивний опір виникає внаслідок наступних фізичних явищ. При протіканні змінного синусоїдного струму у ідеальній котушці навколо неї виникає змінне магнітне поле. Воно пронизує котушку і наводить у ній е.р.с. самоіндукції, яка перешкоджає змінам електричного струму, створюючи опір для його протікання. Індуктивний опір дорівнює:

$$x_L = \omega \cdot L; \quad (3.23)$$

$$[x_L] = \frac{1}{c} \cdot \Gamma_H = \frac{1}{c} \cdot \text{Ом} \cdot c = \text{Ом}.$$

Аналогічно (3.22) для діючих значень напруги і струму:

$$U_L = x_L \cdot I. \quad (3.24)$$

З (3.21) і (3.20) видно, що амплітуда напруги буде спостерігатись раніше за амплітуду струму на чверть періоду (або на 90°), тобто

$$\psi_{uL} = \psi_i + 90^\circ. \quad (3.25)$$

У цьому випадку кут зсуву фаз між напругою і струмом визначається так:

$$\varphi = |\psi_{uL} - \psi_i|, \quad (3.26)$$

і дорівнює 90° (тобто напруга випереджає струм на 90°).

Якщо перемножити (3.21) і (3.20), то отримаємо рівняння миттєвої потужності у індуктивності:

$$p_L = x_L \cdot I^2 \cdot \sin 2\omega t. \quad (3.27)$$

Потужність, що йде на створення магнітного поля, називається **реактивною потужністю індуктивності** або **індуктивною потужністю**. Вона визначається так:

$$Q_L = x_L \cdot I^2. \quad (3.28)$$

Одиницею індуктивної потужності є вольт-ампер реактивний (*вар*).

Як видно з (3.27) індуктивна потужність у першу чверть періоду струму (коли сила струму зростає) споживається з мережі і накопичується у магнітному полі котушки, а у другу чверть періоду струму (коли сила струму спадає) вона віддається у мережу, далі все повторюється.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

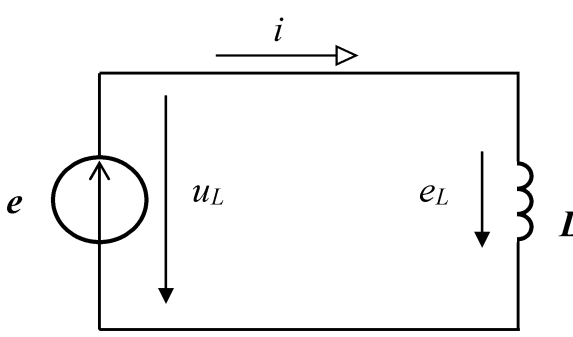
Таблиця 3.7

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в ідеальній котушці в колі синусоїдного струму.	
2.	Складіть розрахункову схему кола з ідеальним генератором і ідеальною котушкою.	
3.	Запишіть математичний зв'язок між миттєвою напругою, миттєвим струмом і індуктивністю в ідеальній котушці.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
4.	Запишіть математичний вираз для визначення індуктивного опору ідеальної котушки.	
5.	Виконайте математичний запис закону Ома для максимальних значень напруги і струму на ділянці кола з індуктивністю.	
6.	Виконайте математичний запис закону Ома для діючих значень напруги і струму на ділянці кола з індуктивністю.	
7.	Запишіть математичний вираз миттєвого струму в індуктивності, прийнявши, що його початкова фаза дорівнює нулю.	
8.	Запишіть математичний вираз миттєвої напруги на індуктивності для зазначеного вище струму.	
9.	Чому дорівнює кут зсуву фаз в індуктивності?	
10.	Запишіть математичний вираз миттєвої потужності в індуктивності.	
11.	Чому дорівнює активна потужність в індуктивності?	
12.	Запишіть математичний вираз для визначення реактивної потужності в індуктивності.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 26$.

Таблиця 3.7а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$Q_L = x_L \cdot I^2$.
2.	$p_L = x_L \cdot I^2 \cdot \sin 2\omega t$.
3.	
4.	$u_L = U_{Lm} \cdot \sin(\omega t + 90^\circ)$.
5.	$x_L = \omega \cdot L$.

Номер відповіді	Відповіді
6.	$I = \frac{U_L}{x_L}.$
7.	$P = \frac{1}{T} \int_0^T p_L dt = 0.$
8.	– явище електричного струму; – явище електромагнетизму; – явище електромагнітної індукції.
9.	$u_L = L \cdot \frac{di}{dt}.$
10.	$i = I_m \sin \omega t.$
11.	$I_m = \frac{U_{Lm}}{x_L}.$
12.	90°.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 3.8

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
До ідеальної котушки підведена напруга $u_L = 282 \cdot \sin(\omega t + 40^\circ) \text{ В}$. Індуктивність котушки дорівнює 127,4 мГн . Частота струму в колі $f = 50 \text{ Гц}$.		
1.	Визначте реактивний опір ідеальної котушки в омах.	
2.	Визначте максимальне значення синусоїдного електричного струму в амперах.	
3.	Визначте початкову фазу синусоїдного електричного струму.	
4.	Запишіть математичний вираз миттєвого струму в ідеальній котушці.	
5.	Визначте діюче значення синусоїдного електричного струму в амперах.	
6.	Визначте реактивну потужність ідеальної котушки в вольт-амперах реактивних.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 7$.

Таблиця 3.8а

Номер відповіді	Відповіді
1.	7,05.
2.	$7,05 \cdot \sin(\omega t - 50^\circ)$.
3.	-50° .
4.	1000.
5.	40.
6.	5.

3.4 Коло змінного синусоїдного струму з ідеальним конденсатором

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 3.4 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 3.9–3.10.
3. Виконати тести до пункту 3.4 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Під ідеальним конденсатором будемо розуміти такий, у якому не спостерігається теплова дія електричного струму при його протіканні. У такому конденсаторі при протіканні змінного синусоїдного струму i буде спостерігатись явище перезарядження його обкладинок і утворення електричного поля (тому конденсатор характеризується ємністю C), а на затискачах ідеального конденсатора буде встановлюватись змінна синусоїдна напруга u_c . Взаємозв'язок між ними такий:

$$u_c = \frac{1}{C} \int i dt. \quad (3.29)$$

Якщо струм буде описуватись таким рівнянням:

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + 90^\circ), \quad (3.30)$$

то після підстановки (3.30) у (3.29) і перетворень, отримаємо рівняння напруги на ідеальному конденсаторі:

$$u_c = U_{cm} \cdot \sin \omega t . \quad (3.31)$$

Взаємозв'язок між амплітудами напруги і струму такий:

$$U_{cm} = x_c \cdot I_m , \quad (3.32)$$

де x_c – ємнісний опір ідеального конденсатора, Ом.
Ємнісний опір дорівнює:

$$x_c = \frac{1}{\omega \cdot C} ; \quad (3.33)$$

$$[x_c] = \frac{1}{\frac{1}{c} \cdot \Phi} = \frac{c}{\frac{K\lambda}{B}} = \frac{B \cdot c}{K\lambda} = \frac{B \cdot c}{A \cdot c} = \text{Ом} .$$

Аналогічно (3.32) для діючих значень напруги і струму:

$$U_c = x_c \cdot I . \quad (3.34)$$

З (3.31) і (3.30) видно, що амплітуда напруги буде спостерігатись пізніше за амплітуду струму на чверть періоду (або на 90°), тобто

$$\psi_{uc} = \psi_i - 90^\circ . \quad (3.35)$$

У цьому випадку кут зсуву фаз між напругою і струмом визначається так:

$$\varphi = |\psi_{uc} - \psi_i| , \quad (3.36)$$

і дорівнює 90° (тобто напруга відстає від струму на 90°).

Якщо перемножити (3.31) і (3.30), то отримаємо рівняння миттєвої потужності у індуктивності:

$$p_c = x_c \cdot I^2 \cdot \sin 2\omega t . \quad (3.37)$$

Потужність, що йде на створення електричного поля, називається **реактивною потужністю ємності** або **ємнісною потужністю**. Вона визначається так:

$$Q_c = x_c \cdot I^2. \quad (3.38)$$

Одиницею індуктивної потужності є вольт-ампер реактивний (*вар*).

Як видно з (3.37) ємнісна потужність у першу чверть періоду напруги (коли значення напруги зростає) споживається з мережі і накопичується у електричному полі конденсатора, а у другу чверть періоду напруги (коли значення напруги спадає) вона віддається у мережу, далі все повторюється.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

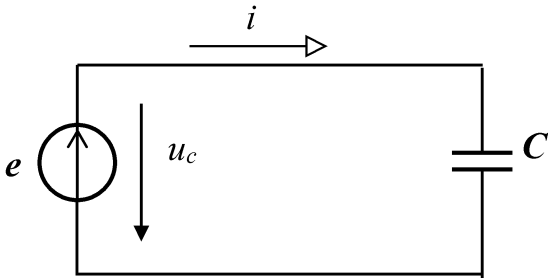
Таблиця 3.9

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в ідеальному конденсаторі в колі синусоїдного струму.	
2.	Складіть розрахункову схему кола з ідеальним генератором і ідеальним конденсатором.	
3.	Запишіть математичний зв'язок між миттєвою напругою, миттєвим струмом і ємністю в ідеальному конденсаторі.	
4.	Запишіть математичний вираз для визначення ємнісного опору.	
5.	Виконайте математичний запис закону Ома для максимальних значень напруги і струму на ділянці кола з ємністю.	
6.	Виконайте математичний запис закону Ома для діючих значень напруги і струму на ділянці кола з ємністю.	
7.	Запишіть математичний вираз миттєвого струму в ємності, прийнявши, що його початкова фаза дорівнює нулю.	
8.	Запишіть математичний вираз миттєвої напруги на ємності для зазначеного вище струму.	
9.	Чому дорівнює кут зсуву фаз у ємності?	
10.	Запишіть миттєву потужність у ємності.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
11.	Чому дорівнює активна потужність у ємності?	
12.	Запишіть математичний вираз для визначення реактивної потужності у ємності.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 2$.

Таблиця 3.9а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$i = I_m \sin \omega t$.
2.	$P = \frac{1}{T} \int_0^T p_c dt = 0$.
3.	$p_c = x_c \cdot I^2 \cdot \sin 2\omega \cdot t$.
4.	$u_c = U_{cm} \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$.
5.	$Q_c = x_c \cdot I^2$.
6.	$x_c = \frac{1}{\omega \cdot C}$.
7.	
8.	$I = \frac{U_c}{x_c}$.
9.	– явище електричного струму; – явище перезарядки обкладинок конденсатора.
10.	$u_c = \frac{1}{C} \cdot \int i dt$.
11.	$I_m = \frac{U_{cm}}{x_c}$.
12.	90° .

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 3.10

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
До ідеального конденсатора підведена напруга $u_c = 282 \cdot \sin(\omega t + 40^\circ)$ В. Ємність конденсатора дорівнює $79,62 \text{ мкФ}$. Частота струму в колі $f = 50 \text{ Гц}$.		
1.	Визначте ємнісний опір конденсатора в омах.	
2.	Визначте максимальне значення синусоїдного електричного струму в амперах.	
3.	Визначте початкову фазу синусоїдного електричного струму.	
4.	Запишіть математичний вираз миттєвого струму в ідеальному конденсаторі.	
5.	Визначте діюче значення синусоїдного електричного струму в амперах.	
6.	Визначте реактивну потужність ідеального конденсатора у вольт-амперах реактивних.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 7$.

Таблиця 3.10а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$7,05 \cdot \sin(\omega t + 130^\circ)$.
2.	7,05.
3.	130° .
4.	1000.
5.	40.
6.	5.

3.5 Реальна котушка в колі змінного синусоїдного струму

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 3.5 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 3.11–3.12.
3. Виконати тести до пункту 3.5 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

При протіканні у котушці змінного синусоїдного струму у ній будуть спостерігатись явища теплової дії струму, електромагнетизму і самоіндукції, внаслідок чого котушка характеризується активним r і індуктивним x_L опорами. Повний опір котушки визначається так:

$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2} . \quad (3.39)$$

При протіканні у котушці змінного синусоїдного струму i на її затискачах буде встановлюватись змінна синусоїдна напруга u , а на активному і індуктивному опорах будуть виникати спадання напруги відповідно u_r і u_L , Взаємозв'язок між ними такий:

$$u = u_r + u_L , \quad (3.40)$$

або

$$u = r \cdot i + L \frac{di}{dt} . \quad (3.41)$$

Якщо струм буде описуватись таким рівнянням:

$$i = I_m \cdot \sin \omega t , \quad (3.42)$$

то після підстановки (3.42) у (3.41) і перетворень, отримаємо рівняння напруги на котушці:

$$u = U_{rm} \cdot \sin \omega t + U_{Lm} \cdot \sin (\omega t + 90^\circ) . \quad (3.43)$$

З (3.43) випливає, що напруга на затискачах котушки випереджає струм у ній на кут зсуву фаз φ , тобто рівняння напруги на котушці у загальному вигляді наступне:

$$u = U_m \cdot \sin (\omega t + \varphi) , \quad (3.44)$$

де U_m – амплітуда напруги на затискачах котушки, В.
Кут зсуву фаз дорівнює:

$$\varphi = \arctg \frac{x_L}{r} . \quad (3.45)$$

Взаємозв'язок між амплітудами напруги і струму такий:

$$U_m = z \cdot I_m . \quad (3.46)$$

З (3.46) випливає:

$$I_m = \frac{U_m}{z} . \quad (3.47)$$

Аналогічно (3.47) для діючих значень напруги і струму:

$$I = \frac{U}{z} . \quad (3.48)$$

При протіканні у котушці змінного синусоїдного струму вона споживає з мережі активну потужність P і обмінюється з мережею індуктивною потужністю Q_L . Повна потужність котушки дорівнює:

$$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2} . \quad (3.49)$$

Одиницею повної потужності є вольт-ампер (BA).

Фізичну величину, значення якої дорівнює відношенню активної потужності до повної, назвали **коефіцієнтом потужності**, тобто

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} . \quad (3.50)$$

Повна потужність котушки також визначається так:

$$S = U \cdot I , \quad (3.51)$$

або

$$S = z \cdot I^2 . \quad (3.52)$$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

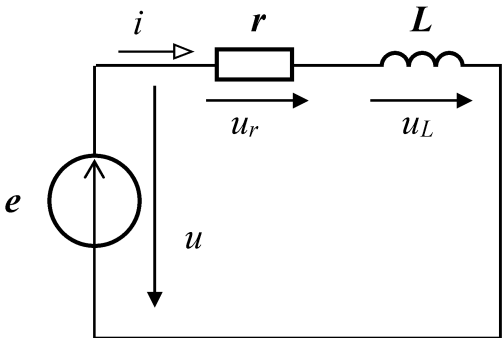
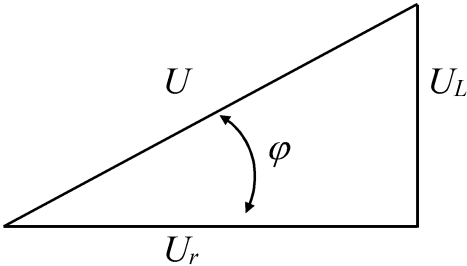
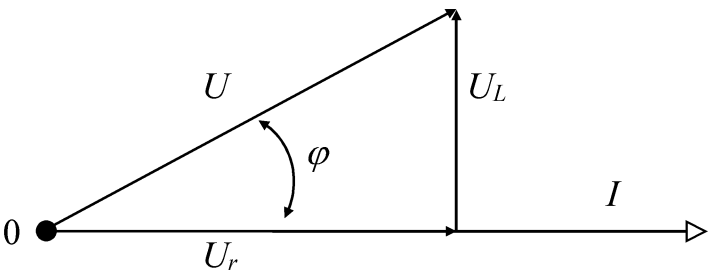
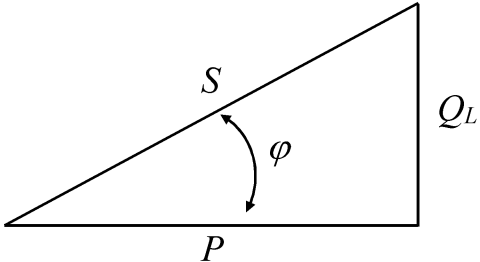
Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

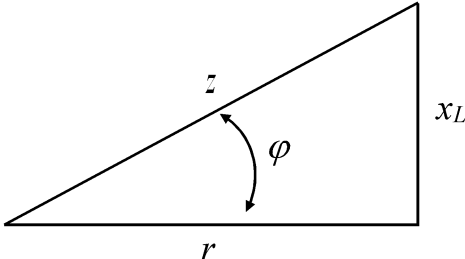
Таблиця 3.11

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в реальній котушці в колі змінного синусоїдного струму.	
2.	Складіть розрахункову схему кола з ідеальним генератором і реальною котушкою.	
3.	Складіть рівняння електричної рівноваги кола синусоїдного струму з реальною котушкою.	
4.	Запишіть вираз миттєвого струму в колі, прийнявши, що його початкова фаза дорівнює нулю.	
5.	Отримайте вираз миттєвої напруги на затискачах кола, підставивши в рівняння електричної рівноваги вираз миттєвого струму в колі.	
6.	Побудуйте векторну діаграму струму і напруг кола (для діючих значень).	
7.	Запишіть вираз миттєвої напруги на затискачах кола, використовуючи векторну діаграму, з урахуванням кута зсуву фаз.	
8.	Побудуйте трикутник діючих значень напруг реальної котушки.	
9.	Перетворіть трикутник напруг у трикутник опорів, використовуючи закон Ома.	
10.	Установіть зв'язок між параметрами реальної котушки, використовуючи трикутник опорів.	
11.	Запишіть математичний вираз для визначення кута зсуву фаз реальної котушки за допомогою її параметрів.	
12.	Отримайте з трикутника опорів трикутник потужностей і побудуйте його.	
13.	Установіть зв'язок між потужностями реальної котушки, використовуючи трикутник потужностей.	
14.	Дайте визначення коефіцієнта потужності реальної котушки.	
15.	Запишіть визначальну формулу коефіцієнта потужності реальної котушки.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 32$.

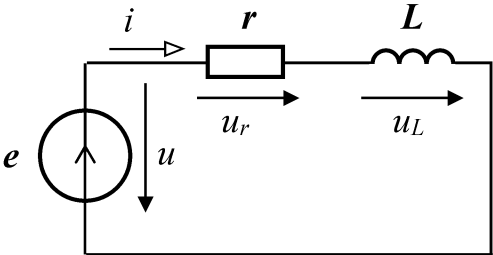
Таблиця 3.11а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$z = \sqrt{r^2 + x_L^2}.$
2.	
3.	$\cos \varphi = \frac{P}{S}.$
4.	 $\begin{aligned} U_r &= r \cdot I; \\ U_L &= x_L \cdot I; \\ U &= z \cdot I. \end{aligned}$
5.	$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2}.$
6.	
7.	$\varphi = \arctg \frac{x_L}{r}$
8.	$i = I_m \sin \omega t.$
9.	 $\begin{aligned} P &= r \cdot I^2; \\ Q_L &= x_L \cdot I^2; \\ S &= z \cdot I^2. \end{aligned}$

Номер відповіді	Відповіді
10.	– явище електричного струму; – явище теплової дії електричного струму – явище електромагнетизму; – явище електромагнітної індукції.
11.	$u = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_i + \varphi).$
12.	
13.	$u = r \cdot I_m \cdot \sin \omega t + \omega \cdot L \cdot I_m \cdot \sin(\omega t + 90^\circ).$
14.	Відношення активної потужності до повної.
15.	$u = r \cdot i + L \frac{di}{dt}.$

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 3.12

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми електричного кола відомо: напруга на затискачах ідеального генератора $u = 282,8 \cdot \sin(\omega t + 60^\circ) \text{ В}$; параметри реальної котушки наступні: активний опір $r = 12 \text{ Ом}$ та індуктивність $L = 50,96 \text{ мГн}$. Частота струму в колі $f = 50 \text{ Гц}$. 		
1.	Визначте індуктивний опір котушки в омах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
2.	Визначте повний опір котушки в омах.	
3.	Визначте кут зсуву фаз котушки.	
4.	Запишіть математичний вираз для визначення початкової фази синусоїдного електричного струму і визначте її.	
5.	Визначте амплітуду синусоїдного електричного струму в котушці в амперах.	
6.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в колі.	
7.	Розрахуйте амплітудне значення напруги на активному опорі в вольтах.	
8.	Визначте початкову фазу напруги на активному опорі.	
9.	Запишіть математичний вираз миттєвої напруги на активному опорі.	
10.	Розрахуйте амплітудне значення напруги на індуктивному опорі в вольтах.	
11.	Визначте початкову фазу напруги на індуктивному опорі.	
12.	Запишіть математичний вираз миттєвої напруги на індуктивному опорі.	
13.	Розрахуйте діюче значення синусоїдного електричного струму в амперах.	
14.	Розрахуйте активну потужність реальної котушки у ватах.	
15.	Розрахуйте реактивну потужність реальної котушки в вольт-амперах реактивних.	
16.	Розрахуйте повну потужність реальної котушки в вольт-амперах.	
17.	Визначте коефіцієнт потужності реальної котушки.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 23$.

Таблиця 3.12а

Номер відповіді	Відповіді
1.	10.
2.	169,68.

Номер відповіді	Відповіді
3.	1200.
4.	7°.
5.	97°.
6.	$226,24 \cdot \sin(\omega t + 97^\circ)$.
7.	2000.
8.	7°.
9.	226,24.
10.	$169,68 \cdot \sin(\omega t + 7^\circ)$.
11.	14,14.
12.	$14,14 \cdot \sin(\omega t + 7^\circ)$.
13.	16.
14.	53°.
15.	0,6.
16.	20.
17.	1600.

3.6 Коло змінного синусоїдного струму з резистором і конденсатором

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 3.6 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 3.13–3.14.
3. Виконати тести до пункту 3.6 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

При протіканні змінного синусоїдного струму у колі з послідовно з'єднаних резистора і конденсатора будуть спостерігатись теплова дія струму, перезарядження обкладинок конденсатора і утворення електричного поля, внаслідок чого коло характеризується активним r і ємнісним x_c опорами. Повний опір такого кола визначається так:

$$z = \sqrt{r^2 + x_c^2} . \quad (3.53)$$

При протіканні у колі з послідовно з'єднаних резистора і конденсатора змінного синусоїдного струму i на затискачах цього кола буде встановлюватись змінна синусоїдна напруга u , а на активному і ємнісному опорах будуть виникати спадання напруги відповідно u_r і u_c , Взаємозв'язок між ними такий:

$$u = u_r + u_c . \quad (3.54)$$

або

$$u = r \cdot i + \frac{1}{C} \int i dt . \quad (3.55)$$

Якщо струм буде описуватись таким рівнянням:

$$i = I_m \cdot \sin \omega t , \quad (3.56)$$

то після підстановки (3.56) у (3.55) і перетворень, отримаємо рівняння напруги на затискачах кола з послідовно з'єднаних резистора і конденсатора:

$$u = U_{rm} \cdot \sin \omega t + U_{cm} \cdot \sin (\omega t - 90^\circ) . \quad (3.57)$$

З (3.57) випливає, що напруга на затискачах кола з послідовно з'єднаних резистора і конденсатора відстає від струму на кут зсуву фаз φ , тобто рівняння напруги у такому колі у загальному вигляді наступне:

$$u = U_m \cdot \sin (\omega t - \varphi) , \quad (3.58)$$

де U_m – амплітуда напруги на затискачах кола з послідовно з'єднаних резистора і конденсатора, B .

Кут зсуву фаз дорівнює:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{x_c}{r} . \quad (3.59)$$

Взаємозв'язок між амплітудами напруги і струму такий:

$$U_m = z \cdot I_m . \quad (3.60)$$

З (3.60) випливає:

$$I_m = \frac{U_m}{z}. \quad (3.61)$$

Аналогічно (3.61) для діючих значень напруги і струму:

$$I = \frac{U}{z}. \quad (3.62)$$

При протіканні змінного синусоїдного струму у колі з послідовно з'єднаних резистора і конденсатора воно споживає з мережі активну потужність P і обмінюється з мережею ємнісною потужністю Q_c . Повна потужність такого кола дорівнює:

$$S = \sqrt{P^2 + Q_c^2}. \quad (3.63)$$

Одиницею повної потужності є вольт-ампер (BA).

Відношення активної потужності до повної є коефіцієнтом потужності, тобто

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (3.64)$$

Повна потужність колі з послідовно з'єднаних резистора і конденсатора також визначається так:

$$S = U \cdot I, \quad (3.65)$$

або

$$S = z \cdot I^2. \quad (3.66)$$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 3.13

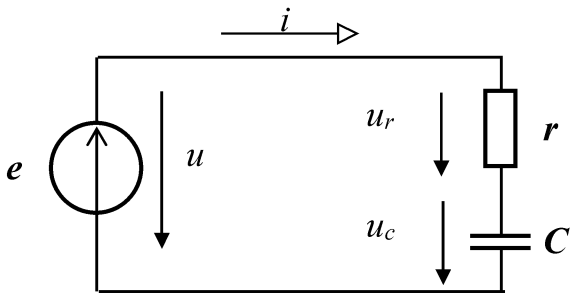
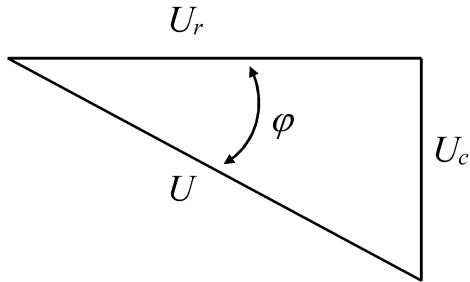
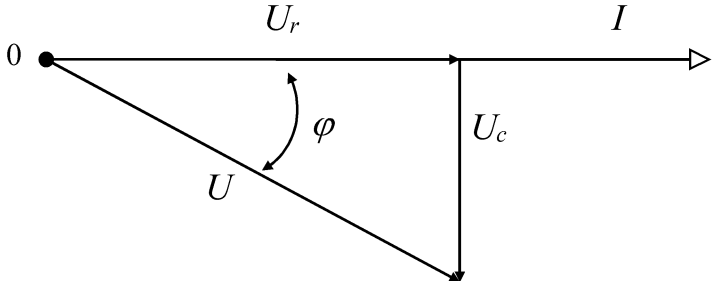
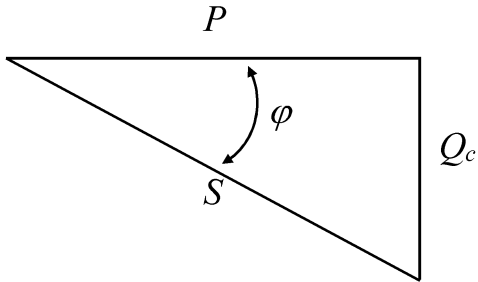
Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Наведіть розрахункову схему кола змінного струму з ідеальним генератором і послідовно з'єднаними резистором та ідеальним конденсатором.	

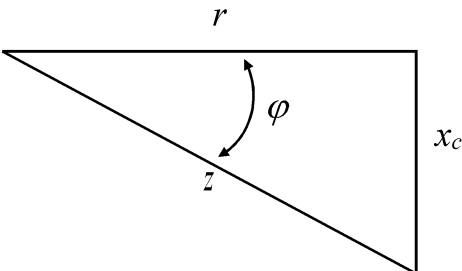
Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
2.	Складіть рівняння електричного рівноваги для цього кола електричного струму.	
3.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в колі, прийнявши, що його початкова фаза дорівнює нулю.	
4.	Отримайте вираз миттєвої напруги на затискачах кола, підставивши в рівняння електричної рівноваги вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в колі.	
5.	Побудуйте векторну діаграму струму і напруг кола (для діючих значень).	
6.	Запишіть вираз миттєвої напруги на затискачах кола, використовуючи векторну діаграму, з урахуванням кута зсуву фаз.	
7.	Побудуйте трикутник діючих значень напруг для даного кола.	
8.	Перетворіть трикутник напруг у трикутник опорів, використовуючи закон Ома.	
9.	Установіть зв'язок між параметрами кола, використовуючи трикутник опорів.	
10.	Запишіть математичний вираз для визначення кута зсуву фаз за допомогою параметрів кола.	
11.	Отримайте з трикутника опорів трикутник потужностей і побудуйте його.	
12.	Встановіть математичний зв'язок між активною потужністю, реактивною потужністю і повною потужністю, використовуючи трикутник потужностей.	
13.	Дайте визначення коефіцієнта потужності.	
14.	Запишіть визначальну формулу коефіцієнта потужності.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 1$.

Таблиця 3.13а

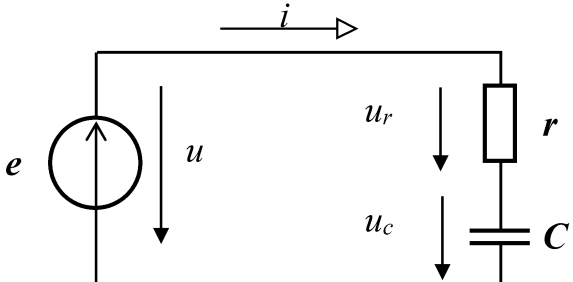
Номер відповіді	Відповіді
1.	$u = r \cdot i + \frac{1}{C} \cdot \int i dt .$

Номер відповіді	Відповіді
2.	
3.	$\cos \varphi = \frac{P}{S}.$
4.	 $\begin{aligned} U_r &= r \cdot I; \\ U_c &= x_c \cdot I; \\ U &= z \cdot I. \end{aligned}$
5.	$S = \sqrt{P^2 + Q_c^2}.$
6.	
7.	$\varphi = \arctg \frac{x_c}{r}.$
8.	$i = I_m \sin \omega \cdot t.$
9.	 $\begin{aligned} P &= r \cdot I^2; \\ Q_c &= x_c \cdot I^2; \\ S &= z \cdot I^2. \end{aligned}$
10.	$u = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i - \varphi).$

Номер відповіді	Відповіді
11.	$z = \sqrt{r^2 + x_c^2}.$
12.	$u = r \cdot I_m \cdot \sin \omega t + \frac{1}{\omega \cdot C} \cdot I_m \cdot \sin(\omega t - 90^\circ).$
13.	Відношення активної потужності до повної.
14.	

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 3.14

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми електричного кола відомо: напруга на затискачах ідеального генератора $u = 282,8 \cdot \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ В}$, активний опір резистора $r = 12 \text{ Ом}$ та ємність конденсатора $C = 199,04 \text{ мкФ}$. Частота струму в колі $f = 50 \text{ Гц}$. 		
1.	Визначте ємнісний опір конденсатора в омах.	
2.	Визначте повний опір кола в омах.	
3.	Визначте кут зсуву фаз кола.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
4.	Запишіть математичний вираз для визначення початкової фази синусоїдного електричного струму і визначте її.	
5.	Розрахуйте амплітудне значення синусоїдного електричного струму в амперах.	
6.	Запишіть миттєве значення синусоїдного електричного струму в колі.	
7.	Розрахуйте амплітудне значення напруги на активному опорі в вольтах.	
8.	Визначте початкову фазу напруги на активному опорі.	
9.	Запишіть математичне вираз миттєвого напруги на активному опорі.	
10.	Розрахуйте амплітудне значення напруги на ємності в вольтах.	
11.	Визначте початкову фазу напруги на ємності.	
12.	Запишіть математичне вираз миттєвої напруги на ємності.	
13.	Розрахуйте діюче значення синусоїдного електричного струму в амперах.	
14.	Розрахуйте активну потужність електричного кола у ватах.	
15.	Розрахуйте реактивну потужність електричного кола в вольт-амперах реактивних.	
16.	Розрахуйте повну потужність електричного кола в вольт-амперах.	
17.	Визначте коефіцієнт потужності електричного кола.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 41$.

Таблиця 3.14а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$14,14 \cdot \sin(\omega t + 83^\circ)$.
2.	169,68.
3.	1600.
4.	83°.

Номер відповіді	Відповіді
5.	1200.
6.	$226,24 \cdot \sin(\omega t - 7^\circ)$.
7.	2000.
8.	83° .
9.	226,24.
10.	$169,68 \cdot \sin(\omega t + 83^\circ)$.
11.	14,14.
12.	-7° .
13.	16.
14.	53° .
15.	0,6.
16.	20.
17.	10.

3.7 Коло змінного синусоїдного струму з послідовно з'єднаними котушкою і конденсатором

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 3.7 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 3.15–3.16.
3. Виконати тести до пункту 3.7 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

При протіканні змінного синусоїдного струму у колі з послідовно з'єднаними котушкою і конденсатором будуть спостерігатись теплова дія струму, електромагнетизм, самоіндукція, перезарядження обкладинок конденсатора, утворення електричного поля, внаслідок чого коло характеризується активним r , індуктивним x_L і ємнісним x_C опорами. Повний опір такого кола визначається так:

$$z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_c)^2}. \quad (3.67)$$

Фізичну величину, яка дорівнює різниці індуктивного і ємнісного опорів, назвали **реактивним опором**, тобто

$$x = x_L - x_c. \quad (3.68)$$

Якщо $x_L > x_c$, то реактивний опір кола має індуктивний характер і всі взаємозв'язки між фізичними величинами кола аналогічні викладеному у п.3.5. Якщо $x_L < x_c$, то реактивний опір кола має ємнісний характер і всі взаємозв'язки між фізичними величинами кола аналогічні викладеному у п.3.6.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 3.15

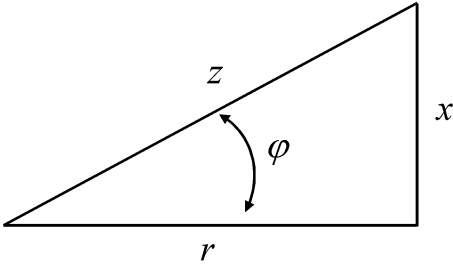
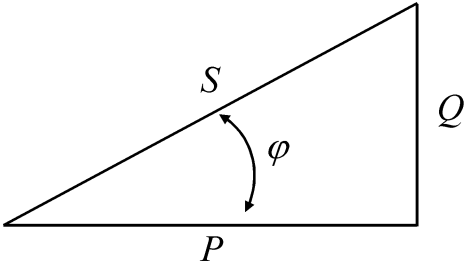
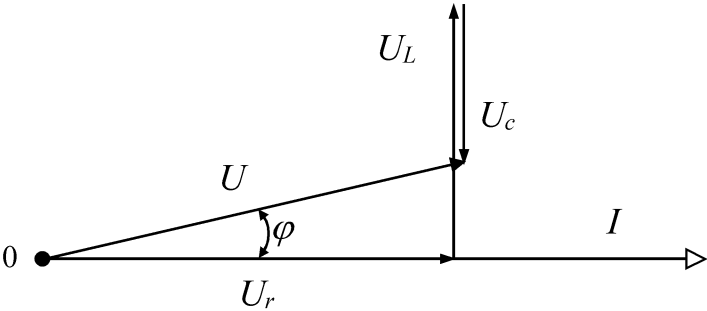
Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Складіть розрахункову схему кола з ідеальним генератором, реальною котушкою й ідеальним конденсатором.	
2.	Складіть рівняння електричної рівноваги кола синусоїдного струму з реальною котушкою й ідеальним конденсатором.	
3.	Запишіть вираз миттєвого струму в колі, прийнявши, що його початкова фаза дорівнює нулю.	
4.	Запишіть вираз миттєвої напруги на затискачах кола, підставивши в рівняння електричної рівноваги вираз миттєвого струму в колі.	
5.	Побудуйте векторну діаграму струму і напруг кола (для діючих значень).	
6.	Запишіть вираз миттєвої напруги на затискачах кола, використовуючи векторну діаграму, з урахуванням кута зсуву фаз.	

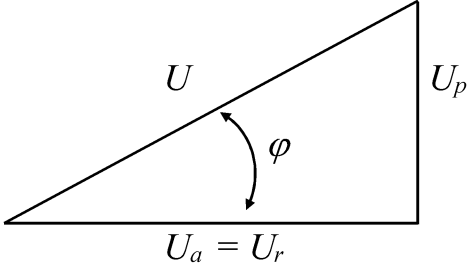
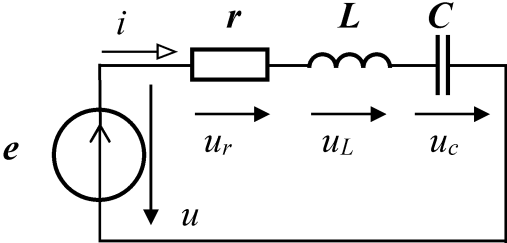
Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
7.	Побудуйте трикутник діючих значень напруг кола.	
8.	Запишіть визначальну формулу реактивної складової напруги даного кола.	
9.	Перетворіть трикутник напруг у трикутник опорів, використовуючи закон Ома.	
10.	Запишіть визначальну формулу реактивної складової опору даного кола.	
11.	Встановіть математичний зв'язок між активним опором, реактивним опором і повним опором даного кола, використовуючи трикутник опорів.	
12.	Запишіть визначальну формулу кута зсуву фаз за допомогою параметрів даного кола.	
13.	Одержіть з трикутника опорів трикутник потужностей і побудуйте його.	
14.	Запишіть визначальну формулу реактивної складової потужності даного кола.	
15.	Встановіть математичний зв'язок між активною потужністю, реактивною потужністю і повною потужністю даного кола, використовуючи трикутник потужностей.	
16.	Дайте визначення коефіцієнта потужності кола.	
17.	Запишіть визначальну формулу коефіцієнта потужності кола.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 26$.

Таблиця 3.15а

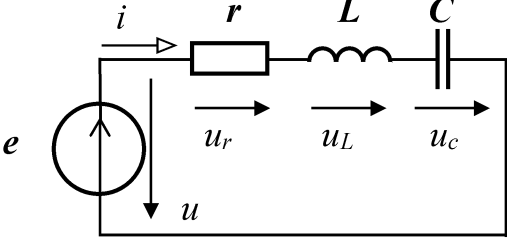
Номер відповіді	Відповіді
1.	Відношення активної потужності електричного кола до його повної потужності.
2.	$u = r \cdot I_m \cdot \sin \omega t + \omega \cdot L \cdot I_m \cdot \sin(\omega t + 90^\circ) + \frac{1}{\omega \cdot C} \cdot I_m \cdot \sin(\omega t - 90^\circ).$
3.	$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_c)^2}.$

Номер відповіді	Відповіді
4.	$u = r \cdot i + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \cdot \int i dt .$
5.	
6.	$U_p = U_L - U_c .$
7.	 $P = r \cdot I^2 ;$ $Q = x \cdot I^2 ;$ $S = z \cdot I^2 .$
8.	$u = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i + \varphi) .$
9.	
10.	$x = x_L - x_c .$
11.	$\cos \varphi = \frac{P}{S} .$
12.	$Q = Q_L - Q_c .$

Номер відповіді	Відповіді
13.	 $U_r = r \cdot I;$ $U_p = x_p \cdot I;$ $U = z \cdot I.$
14.	$\varphi = \arctg \frac{x}{r}.$
15.	$i = I_m \sin \omega t.$
16.	
17.	$z = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{r^2 + (x_L - x_c)^2}.$

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 3.16

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми електричного кола відомо: напруга на затискачах ідеального генератора $u = 141,4 \cdot \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ В}$, активний опір котушки $r = 16 \text{ Ом}$, індуктивність котушки $L = 79,62 \text{ мГн}$, ємність конденсатора $C = 244,98 \text{ мкФ}$. Частота струму у колі $f = 50 \text{ Гц}$. 		
1.	Визначте індуктивний опір котушки в омах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
2.	Визначте ємнісний опір конденсатора в омах.	
3.	Визначте реактивний опір електричного кола в омах.	
4.	Визначте повний опір електричного кола в омах.	
5.	Визначте кут зсуву фаз електричного кола.	
6.	Запишіть математичний вираз для визначення початкової фази синусоїдного електричного струму і визначте її.	
7.	Розрахуйте амплітудне значення синусоїдного електричного струму в амперах.	
8.	Запишіть миттєве значення синусоїдного електричного струму в електричному колі.	
9.	Розрахуйте амплітудне значення напруги на активному опорі в вольтах.	
10.	Визначте початкову фазу напруги на активному опорі.	
11.	Запишіть математичний вираз миттєвої напруги на активному опорі.	
12.	Розрахуйте амплітудне значення напруги на індуктивності електричного кола в вольтах.	
13.	Визначте початкову фазу напруги на індуктивності електричного кола.	
14.	Запишіть математичний вираз миттєвої напруги на індуктивності електричного кола.	
15.	Розрахуйте амплітудне значення напруги на ємності кола в вольтах.	
16.	Визначте початкову фазу напруги на ємності електричного кола.	
17.	Запишіть математичний вираз миттєвої напруги на ємності кола.	
18.	Розрахуйте діюче значення синусоїдного електричного струму в амперах.	
19.	Розрахуйте активну потужність електричного кола у ватах.	
20.	Розрахуйте реактивну потужність індуктивності електричного кола в вольт-амперах реактивних.	
21.	Розрахуйте реактивну потужність ємності електричного кола в вольт-амперах реактивних.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
22.	Розрахуйте реактивну потужність електричного кола в вольт-амперах реактивних.	
23.	Розрахуйте повну потужність електричного кола в вольт-амперах.	
24.	Визначте коефіцієнт потужності електричного кола.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 58$.

Таблиця 3.16а

Номер відповіді	Відповіді
1.	176,75.
2.	20.
3.	-7°.
4.	13.
5.	$7,07 \cdot \sin(\omega t - 7^\circ)$.
6.	-7°.
7.	$113,12 \cdot \sin(\omega t - 7^\circ)$.
8.	37 °.
9.	83°.
10.	12.
11.	7,07.
12.	25.
13.	113,12.
14.	-97 °.
15.	0,8.
16.	$176,75 \cdot \sin(\omega t + 83^\circ)$.
17.	300.
18.	625.
19.	325.
20.	5.
21.	400.
22.	$91,9 \cdot \sin(\omega t - 97^\circ)$.
23.	500.
24.	91,9.

3.8 Резонанс напруг

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 3.8 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 3.17–3.18.
3. Виконати тести до пункту 3.8 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Режим роботи нерозгалуженого кола змінного синусоїдного струму з параметрами r , L , C , у якому напруга на індуктивності дорівнює напрузі на ємності, називається **резонансом напруг**.

Резонанс напруг виникає за умови, коли індуктивний опір нерозгалуженого кола дорівнює ємнісному опору, тобто

$$x_L = x_C, \quad (3.69)$$

або

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}. \quad (3.70)$$

З (3.70) випливає, що резонансу напруг можна досягти, змінюючи значення індуктивності L або ємності C , або змінюючи частоту струму ω .

Частоту, за якої настає резонанс напруг при заданих параметрах кола L і C , називають **резонансною частотою**. З (3.70) випливає, що вона дорівнює:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad (3.71)$$

$$[\omega] = \frac{1}{\sqrt{G_H \cdot \Phi}} = \frac{1}{\sqrt{O_M \cdot c \cdot \frac{A \cdot c}{B}}} = \frac{1}{\sqrt{c^2}} = \frac{1}{c}.$$

Резонанс напруг характеризується наступним:

- 1) еквівалентний повний опір кола дорівнює активному опору;
- 2) кут зсуву фаз кола дорівнює нулю;
- 3) коло споживає тільки активну потужність і не споживає реактивної потужності;

- 4) прикладена напруга врівноважується напругою на активному опорі;
- 5) напруга на індуктивності та ємності дорівнюють одна одній і можуть значно перевищувати прикладену напругу;
- 6) між індуктивністю і ємністю йде безперервний обмін енергією: енергія електричного поля конденсатора переходить в енергію магнітного поля котушки і навпаки; при цьому сума миттєвих значень енергій у ємності й індуктивності залишається завжди постійною.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 3.17

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Що розуміється під резонансом напруг?	
2.	Запишіть умови виникнення резонансу напруг.	
3.	Запишіть математичний вираз для розрахунку резонансної частоти.	
4.	Дайте характеристику режиму резонанса напруг.	
5.	Укажіть негативні наслідки резонансу напруг.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 3$.

Таблиця 3.17а

Номер відповіді	Відповіді
1.	Індуктивний опір кола дорівнює ємнісному опорі кола $x_L = x_C$ або $\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}$.
2.	$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$.
3.	Режим, при якому в нерозгалуженому колі з параметрами r, L, C напруга на індуктивності дорівнює напрузі на ємності.
4.	Напруга на котушці індуктивності і на ємності може в декілька разів перевищити робочу напругу установки і викликати пробій ізоляції.

Номер відповіді	Відповіді
5.	– еквівалентний повний опір кола дорівнює активному опору; – кут зсуву фаз кола дорівнює нулю; – коло споживає тільки активну потужність і не споживає реактивної потужності; – прикладена напруга врівноважується напругою на активному опорі; – напруги на індуктивності та ємності рівні між собою; – між індуктивністю і ємністю йде безперервний обмін енергією: енергія електричного поля конденсатора переходить в енергію магнітного поля котушки і навпаки; при цьому сума миттєвих значень енергій в ємності та індуктивності залишається завжди постійною.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 3.18

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
До джерела синусоїдної напруги підключені послідовно з'єднані реальна котушка та ідеальний конденсатор. Активний опір кола дорівнює 20 Ом , індуктивність котушки дорівнює 25,4 мГн , ємність конденсатора дорівнює 244,98 мкФ .		
1.	Визначте резонансну частоту для цього кола в радіанах за секунду.	
2.	Розрахуйте реактивний опір кола в омах.	
3.	Розрахуйте повний опір кола в омах.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 0$.

Таблиця 3.18а

Номер відповіді	Відповіді
1.	20.
2.	400,88.
3.	0.

3.9 Загальний випадок кола змінного синусоїдного струму

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 3.9 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 3.19–3.20.
3. Виконати тести до пункту 3.9 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Загальний активний опір нерозгалуженого кола змінного синусоїдного струму дорівнює сумі активних опорів окремих елементів кола, тобто

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n. \quad (3.72)$$

Загальний індуктивний опір нерозгалуженого кола змінного синусоїдного струму дорівнює сумі індуктивних опорів окремих елементів кола, тобто

$$x_L = x_{L1} + x_{L2} + x_{L3} + \dots + x_{Ln}. \quad (3.73)$$

Загальний ємнісний опір нерозгалуженого кола змінного синусоїдного струму дорівнює сумі ємнісних опорів окремих елементів кола, тобто

$$x_c = x_{c1} + x_{c2} + x_{c3} + \dots + x_{cn}. \quad (3.74)$$

Якщо $x_L > x_c$, то реактивний опір кола має індуктивний характер і всі взаємозв'язки між фізичними величинами кола аналогічні викладеному у п.3.5. Якщо $x_L < x_c$, то реактивний опір кола має ємнісний характер і всі взаємозв'язки між фізичними величинами кола аналогічні викладеному у п.3.6.

Загальна індуктивність нерозгалуженого кола змінного синусоїдного струму дорівнює сумі індуктивностей окремих елементів кола, тобто

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n. \quad (3.75)$$

Загальна ємність нерозгалуженого кола змінного синусоїдного струму визначається з наступного виразу:

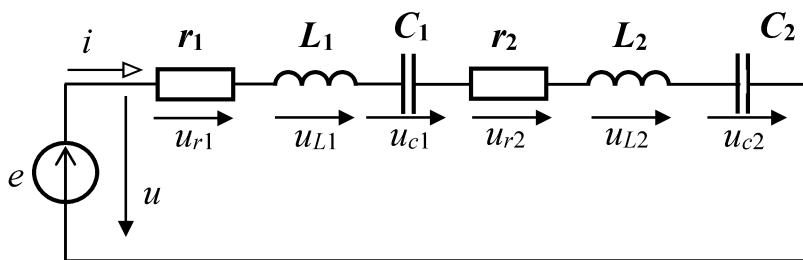
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}. \quad (3.76)$$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

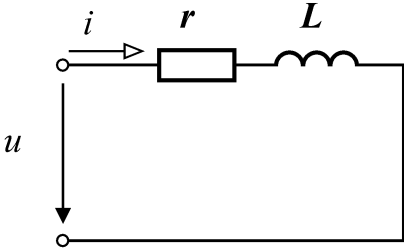
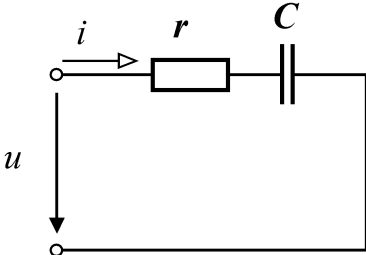
Таблиця 3.19

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
На розрахунковій схемі електричного кола наведено: е.р.с. ідеального синусоїдного джерела e; активні опори r_1, r_2, r_3; індуктивності L_1, L_2; ємності C_1, C_2; сила синусоїдного електричного струму i; напруга на затискачах джерела u; падіння напруги на відповідних елементах електричного кола u_{r1}, u_{r2}, u_{L1}, u_{L2}, u_{c1}, u_{c2}. 		
1.	Запишіть математичний вираз для розрахунку еквівалентного активного опору електричного кола.	
2.	Запишіть математичний вираз для розрахунку еквівалентного індуктивного опору електричного кола.	
3.	Запишіть математичний вираз для розрахунку еквівалентного ємнісного опору електричного кола.	
4.	Запишіть математичний вираз для розрахунку еквівалентного реактивного опору електричного кола.	
5.	Який характер має реактивний опір кола при $x_L > x_c$?	
6.	Складіть еквівалентну розрахункову схему електричного кола при $x_L > x_c$.	
7.	Який характер має реактивний опір кола при $x_L < x_c$?	
8.	Складіть еквівалентну розрахункову схему електричного кола при $x_L < x_c$.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
9.	Запишіть математичний вираз для визначення кута зсуву фаз електричного кола.	

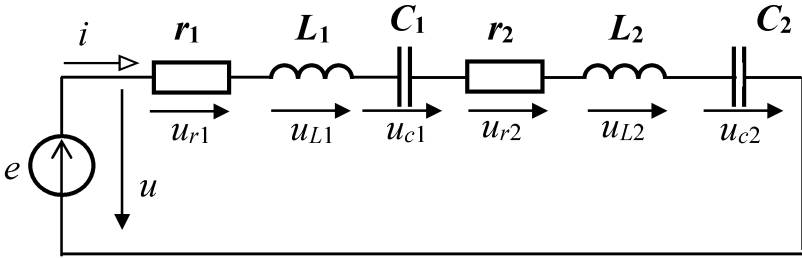
У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 13$.

Таблиця 3.19а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$x = x_L - x_c$.
2.	$\varphi = \arctg \frac{x}{r}$.
3.	$x_L = x_{L1} + x_{L2}$.
4.	
5.	Реактивний опір носить індуктивних характер, синусоїдний електричний струм кола відстає по фазі від напруги на затискачах кола.
6.	Реактивний опір носить ємнісний характер, синусоїдний електричний струм кола випереджає по фазі напругу на затискачах кола.
7.	$x_C = x_{C1} + x_{C2}$.
8.	
9.	$r = r_1 + r_2$.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 3.20

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
	Для розрахункової схеми електричного кола відома напруга на затискачах ідеального генератора $u = 282,8 \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ В}$. Задані значення: активних опорів кола $r_1 = 2 \text{ Ом}$, $r_2 = 4 \text{ Ом}$; індуктивних опорів кола $x_{L1} = 15 \text{ Ом}$, $x_{L2} = 10 \text{ Ом}$; ємнісних опорів кола $x_{C1} = 9 \text{ Ом}$, $x_{C2} = 8 \text{ Ом}$. Частота струму у колі $f = 50 \text{ Гц}$. 	
1.	Визначте еквівалентний активний опір електричного кола в омах.	
2.	Визначте еквівалентний індуктивний опір електричного кола в омах.	
3.	Визначте еквівалентний ємнісний опір електричного кола в омах.	
4.	Визначте реактивний опір даного електричного кола в омах.	
5.	Який характер має реактивний опір даного електричного кола?	
6.	Визначте повний опір даного електричного кола в омах.	
7.	Визначте кут зсуву фаз електричного кола.	
8.	Розрахуйте амплітудне значення синусоїдного електричного струму в колі в амперах.	
9.	Запишіть математичний вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в колі.	
10.	Розрахуйте діюче значення синусоїдного електричного струму в колі в амперах.	
11.	Розрахуйте активну потужність, яку споживає електричне коло в ватах.	
12.	Розрахуйте реактивну потужність індуктивності в електричному колі в вольт-амперах реактивних.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
13.	Розрахуйте реактивну потужність ємності в електричному колі в вольт-амперах реактивних.	
14.	Розрахуйте реактивну потужність даного електричного кола в вольт-амперах реактивних.	
15.	Розрахуйте повну потужність, яку споживає електричне коло в вольт-амперах.	
16.	Визначте коефіцієнт потужності електричного кола.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 40$.

Таблиця 3.20а

Номер відповіді	Відповіді
1.	20.
2.	10.
3.	3200.
4.	28,28.
5.	6800.
6.	25.
7.	2400.
8.	8.
9.	0,6.
10.	6.
11.	53 °.
12.	4000.
13.	Індуктивний.
14.	17.
15.	10000.
16.	$28,28 \cdot \sin(\omega t - 23^\circ)$.

3.10 Лінія електропередачі

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 3.10 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 3.21–3.22.
3. Виконати тести до пункту 3.10 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Розрахунок електричного кола, яке у своєму складі містить лінію електропередачі, здійснюється аналогічно загальному випадку кола (див. п.3.9). При цьому додатково розраховують фізичні величини, які характеризують роботу лінії; а саме: втрату напруги в лінії, спадання напруги в лінії, абсолютне і відносне відхилення напруги на затискачах приймача (навантаження).

Втрата напруги в лінії – це різниця між напругами на початку і наприкінці лінії, тобто

$$\Delta U_{\text{л}} = U - U_{\text{н}}, \quad (3.77)$$

де U – діюче значення напруги на початку лінії електропередачі (діюче значення напруги на затискачах джерела), B ;

$U_{\text{н}}$ – діюче значення напруги наприкінці лінії електропередачі (діюче значення напруги на затискачах навантаження), B .

Спадання напруги в лінії – це добуток повного опору лінії на діюче значення струму, що у ній протікає, тобто

$$U_{\text{л}} = z_{\text{л}} \cdot I, \quad (3.78)$$

де $z_{\text{л}}$ – повний опір лінії електропередачі, $Ом$;

I – діюче значення сили струму у лінії електропередачі, A .

Абсолютне відхилення напруги на затискачах навантаження – це різниця між поточним значенням напруги навантаження і номінальним значенням напруги навантаження, під яким розуміється напруга, зазначена у його технічному паспорті (на яку він розрахований при виготовленні), тобто

$$\delta U_{\text{н}} = U_{\text{н}} - U_{\text{н(ном)}}, \quad (3.79)$$

де $U_{\text{н(ном)}}$ – номінальне значення напруги навантаження, B .

Відносне відхилення напруги на затискачах навантаження – це відношення абсолютного відхилення напруги на затискачах навантаження до номінального значення напруги навантаження, виражене у відсотках, тобто

$$\delta U_{n\%} = \frac{\delta U_n}{U_{n(\text{ном})}} \cdot 100. \quad (3.80)$$

У технічному паспорті кожного навантаження вказується допустиме значення його відносного відхилення напруги.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

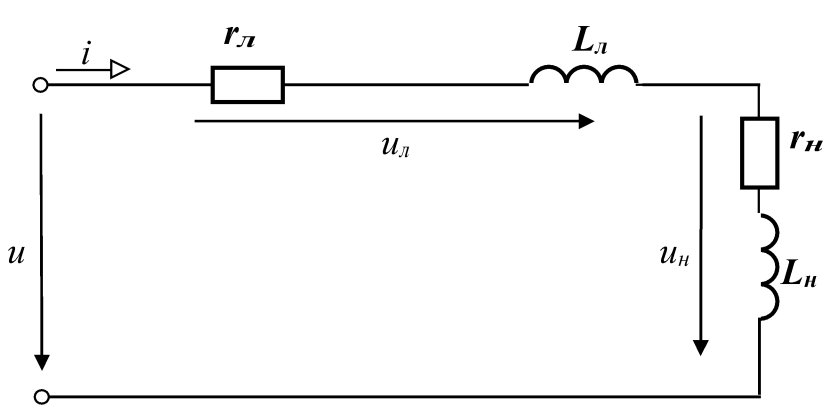
Таблиця 3.21

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в лінії електропередачі і навантаженні при живленні від джерела змінного синусоїдного струму.	
2.	Складіть розрахункову схему кола з лінією електропередачі і навантаженням.	
3.	Запишіть математичний вираз для розрахунку повного опору лінії електропередачі.	
4.	Запишіть математичний вираз для розрахунку еквівалентного активного опору електричного кола.	
5.	Запишіть математичний вираз для розрахунку еквівалентного реактивного опору електричного кола.	
6.	Запишіть математичний вираз для розрахунку повного опору електричного кола.	
7.	Як розрахувати діюче значення сили електричного струму у колі з лінією електропередачі і навантаженням?	
8.	Як розрахувати втрату напруги в лінії електропередачі?	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
9.	Запишіть математичний вираз для розрахунку втрати напруги в лінії електропередачі.	
10.	Як розрахувати спадання напруги в лінії електропередачі?	
11.	Запишіть математичний вираз для розрахунку спадання напруги в лінії електропередачі.	
12.	Як розрахувати відхилення напруги на затискачах навантаження?	
13.	Запишіть математичний вираз для розрахунку відхилення напруги на затискачах навантаження.	
14.	Як розрахувати втрати активної потужності в лінії електропередачі?	
15.	Як розрахувати реактивну потужність, яку споживає лінія електропередачі?	
16.	Як розрахувати повну потужність, яку споживає лінія електропередачі?	
17.	Запишіть математичний вираз для розрахунку кута зсуву фаз лінії електропередачі.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 71$.

Таблиця 3.21а

Номер відповіді	Відповіді
1.	Добуток повного опору лінії електропередачі на діюче значення сили електричного струму в ній.
2.	
3.	Різниця між діючим значенням напруги на навантаженні і діючим значенням номінальної напруги навантаження, під якою розуміється напруга, зазначена у його паспорті.

Номер відповіді	Відповіді
4.	$z = \sqrt{r^2 + x^2}.$
5.	Добуток активного опору лінії електропередачі на квадрат діючого значення сили електричного струму в ній.
6.	$r = r_l + r_n.$
7.	$\varphi_l = \arctg \frac{x_l}{r_l}.$
8.	$\Delta U_l = U - U_n.$
9.	Різниця між діючими значеннями напруг на початку і в кінці лінії електропередачі.
10.	– явище електричного струму; – явище теплової дії електричного струму – явище електромагнетизму; – явище електромагнітної індукції.
11.	Добуток повного опору лінії електропередачі на квадрат діючого значення сили електричного струму в ній.
12.	$z_l = \sqrt{r_l^2 + x_l^2}.$
13.	$x = x_l + x_n.$
14.	Добуток реактивного опору лінії електропередачі на квадрат діючого значення сили електричного струму в ній.
15.	$U_l = z_l \cdot I.$
16.	$\delta U_n = U_n - U_{ном}.$
17.	Відношення діючого значення напруги на затискачах електричного кола до повного опору цього кола.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 3.22

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Навантаження з параметрами $r_n = 5 \text{ Ом}$, $x_n = 5 \text{ Ом}$ підключене до джерела змінної синусоїдної напруги, діюче значення якої дорівнює 220 В , за допомогою лінії електропередачі з параметрами $r_l = 1 \text{ Ом}$, $x_l = 3 \text{ Ом}$.		
1.	Визначте повний опір навантаження в омах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
2.	Визначте кут зсуву фаз навантаження.	
3.	Визначте повний опір лінії електропередачі в омах.	
4.	Визначте кут зсуву фаз лінії електропередачі.	
5.	Визначте активний опір електричного кола в омах.	
6.	Визначте реактивний опір електричного кола в омах.	
7.	Визначте повний опір електричного кола в омах.	
8.	Визначте кут зсуву фаз електричного кола.	
9.	Знайдіть діюче значення електричного струму в колі в амперах.	
10.	Знайдіть діюче значення напруги на затискачах навантаження в вольтах.	
11.	Визначте спадання напруги в лінії електропередачі в вольтах.	
12.	Визначте втрату напруги в лінії електропередачі в вольтах.	
13.	Визначте відхилення напруги на затискачах навантаження, якщо номінальне діюче значення його напруги дорівнює 210 В .	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 43$.

Таблиця 3.22а

Номер відповіді	Відповіді
1.	155,5.
2.	72°.
3.	53°.
4.	45°.
5.	64,5.
6.	22.
7.	-54,5.
8.	3,2.
9.	8.
10.	7,07.
11.	70,4.
12.	6.
13.	10.

Тема 4

РОЗГАЛУЖЕНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ЗМІННОГО СИНУСОЇНОГО СТРУМУ

4.1 Електричне коло змінного синусоїдного струму з паралельно з'єднаними резистором та ідеальною котушкою

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 4.1 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 4.1–4.2.
3. Виконати тести до пункту 4.1 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

При подачі змінної синусоїдної напруги на затискачі розгалуженого кола, яке складається з паралельно з'єднаних резистора і ідеальної котушки, у загальній частині кола і його елементах будуть протікати змінні синусоїдні струми. Внаслідок цього у резисторі буде спостерігатись теплова дія струму, у ідеальній котушці буде спостерігатись електромагнетизм і самоіндукція. Через це резистор характеризується активним опором r (або активною провідністю g), ідеальна котушка – індуктивним опором x_L (або індуктивною провідністю b_L). У цьому випадку взаємозв'язок між зазначеними опорами і провідностями такий:

$$g = \frac{1}{r}; \quad b_L = \frac{1}{x_L}. \quad (4.1)$$

Повна провідність вказаного кола визначається так:

$$y = \sqrt{g^2 + b_L^2}. \quad (4.2)$$

Взаємозв'язок між повною провідністю кола і його повним опором такий:

$$y = \frac{1}{z}. \quad (4.3)$$

Взаємозв'язок між миттєвими значеннями сил струмів кола такий:

$$i = i_r + i_L, \quad (4.4)$$

де i, i_r, i_L – миттєві значення сил струмів відповідно у загальній частині кола, резисторі та ідеальній котушці, A .

Нехай напруга на затискачах кола описується таким рівнянням:

$$u = U_m \cdot \sin \omega t, \quad (4.5)$$

де U_m – амплітуда напруги на затискачах кола, B .
Тоді рівняння струму у резисторі буде таким:

$$i_r = I_{rm} \cdot \sin \omega t, \quad (4.6)$$

де I_{rm} – амплітуда струму у резисторі, A ;

$$I_{rm} = g \cdot U_m, \quad (4.7)$$

а рівняння струму у ідеальній котушці буде таким:

$$i_L = I_{Lm} \cdot \sin(\omega t - 90^\circ), \quad (4.8)$$

де I_{Lm} – амплітуда струму у ідеальній котушці, A ;

$$I_{Lm} = b_L \cdot U_m. \quad (4.9)$$

З (4.4), (4.5) і (4.9) випливає, що струм у загальній частині кола відстає від прикладеної напруги на кут зсуву фаз φ , тобто рівняння струму у загальній частині кола у загальному вигляді наступне:

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t - \varphi), \quad (4.10)$$

де I_m – амплітуда струму у загальній частині кола, A ;

$$I_m = y \cdot U_m. \quad (4.11)$$

Кут зсуву фаз дорівнює:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{b_L}{g}. \quad (4.12)$$

При протіканні у колі змінних синусоїдних струмів резистор споживає з мережі активну потужність P , ідеальна котушка обмінюється з мережею індуктивною потужністю Q_L , внаслідок чого коло має повну потужність S . Ці потужності дорівнюють:

$$P = g \cdot U^2; \quad Q_L = b_L \cdot U^2; \quad S = y \cdot U^2, \quad (4.13)$$

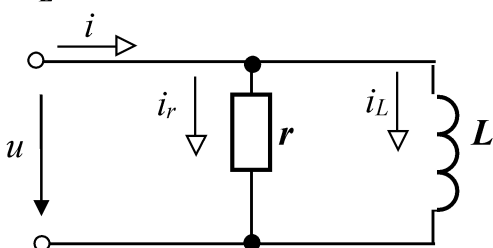
де U – діюче значення напруги на затискачах кола, B .

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 4.1

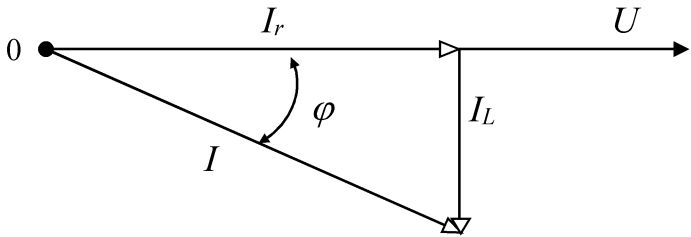
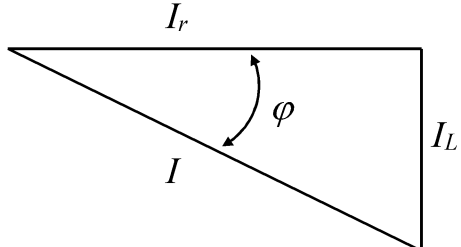
Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
На розрахунковій схемі електричного кола наведено: активний опір резистора r; індуктивність ідеальної котушки L; напруга на затискачах ідеального генератора $u = U_m \cdot \sin \omega \cdot t$; сила електричного струму джерела i; сила електричного струму у вітці з активним опором i_r; сила електричного струму у вітці з індуктивністю i_L. 		
1.	Що таке активна провідність?	
2.	Запишіть математичний вираз для визначення активної провідності кола з паралельним з'єднанням активного опору та ідеальної котушки.	
3.	Що таке індуктивна провідність?	

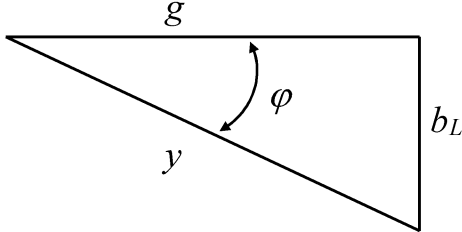
Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
4.	Запишіть математичний вираз для визначення індуктивної провідності кола з паралельним з'єднанням активного опору та ідеальної котушки.	
5.	Що таке повна провідність?	
6.	Запишіть математичний вираз для визначення повної провідності кола з паралельним з'єднанням активного опору та ідеальної котушки.	
7.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму у вітці з активним опором.	
8.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму у вітці з індуктивністю.	
9.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в загальній вітці.	
10.	Побудуйте векторну діаграму напруги і струмів у колі (для діючих значень).	
11.	Побудуйте трикутник діючих значень струмів для даного кола.	
12.	Перетворіть трикутник струмів у трикутник провідностей, поділивши діючі значення сил струмів на діюче значення напруги.	
13.	Установіть зв'язок між активною, індуктивною та повною провідностями, використовуючи трикутник провідностей.	
14.	Запишіть математичний вираз для визначення кута зсуву фаз за допомогою провідностей даного кола.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 21$.

Таблиця 4.1а

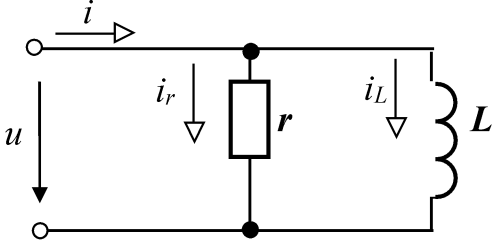
Номер відповіді	Відповіді
1.	$i_L = b_L \cdot U_m \sin(\omega t - 90^\circ)$.
2.	$y = \frac{1}{z}$.
3.	$y = \sqrt{g^2 + b_L^2}$.

Номер відповіді	Відповіді	
4.		
5.	$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{b_L}{g}.$	
6.	$g = \frac{1}{r}.$	
7.		$I_r = g \cdot U ;$ $I_L = b_L \cdot U ;$ $I = y \cdot U .$
8.	Фізична величина, яка обернено пропорційна активному опору .	
9.	$i = y \cdot U_m \sin(\omega t - \varphi) .$	
10.	$b_L = \frac{1}{x_L} .$	
11.	$i_r = g \cdot U_m \sin \omega t .$	
12.	Фізична величина, яка обернено пропорційна повному опору кола.	
13.	Фізична величина, яка обернено пропорційна індуктивному опору.	

Номер відповіді	Відповіді
14.	

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 4.2

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми електричного кола відомо: активний опір резистора $r = 5 \text{ Ом}$, індуктивність ідеальної котушки $L = 12,74 \text{ мГн}$, напруга на затискачах джерела $u = 282 \cdot \sin \omega t \text{ В}$. Частота струму у колі $f = 50 \text{ Гц}$. 		
1.	Визначте активну провідність кола в сіменсах.	
2.	Визначте індуктивний опір котушки в омах.	
3.	Визначте індуктивну провідність кола в сіменсах.	
4.	Визначте повну провідність кола в сіменсах.	
5.	Визначте кут зсуву фаз.	
6.	Розрахуйте амплітудне значення синусоїдного електричного струму в резисторі в амперах.	
7.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в резисторі.	
8.	Розрахуйте амплітудне значення синусоїдного електричного струму в ідеальній котушці в амперах.	
9.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в ідеальній котушці.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
10.	Розрахуйте амплітудне значення синусоїдного електричного струму в загальній вітці в амперах.	
11.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в загальній вітці.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -16$.

Таблиця 4.2а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$70,5 \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$.
2.	51° .
3.	$90,24 \cdot \sin(\omega t - 51^\circ)$.
4.	0,25.
5.	90,24.
6.	70,5.
7.	$56,4 \cdot \sin \omega t$.
8.	0,2.
9.	56,4.
10.	0,32.
11.	4.

4.2 Електричне коло змінного синусоїдного струму з паралельно з'єднаними резистором та ідеальним конденсатором

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 4.2 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 4.3–4.4.
3. Виконати тести до пункту 4.2 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

При подачі змінної синусоїдної напруги на затискачі розгалуженого кола, яке складається з паралельно з'єднаних резистора і ідеального конденсатора, у загальній частині кола і його елементах будуть протікати змінні синусоїдні струми. Внаслідок цього у резисторі буде спостерігатись теплова дія струму, у ідеальному конденсаторі буде спостерігатись перезарядження його обкладинок і утворення електричного поля. Через це резистор характеризується активним опором r (або активною провідністю g), ідеальний конденсатор – ємнісним опором x_c (або ємнісною провідністю b_c). У цьому випадку взаємозв'язок між зазначеними опорами і провідностями такий:

$$g = \frac{1}{r}; \quad b_c = \frac{1}{x_c}. \quad (4.14)$$

Повна провідність вказаного кола визначається так:

$$y = \sqrt{g^2 + b_c^2}. \quad (4.15)$$

Взаємозв'язок між повною провідністю кола і його повним опором такий:

$$y = \frac{1}{z}. \quad (4.16)$$

Взаємозв'язок між миттєвими значеннями сил струмів кола такий:

$$i = i_r + i_c, \quad (4.17)$$

де i, i_r, i_c – миттєві значення сил струмів відповідно у загальній частині кола, резисторі та ідеальному конденсаторі, A .

Нехай напруга на затискачах кола описується таким рівнянням:

$$u = U_m \cdot \sin \omega t, \quad (4.18)$$

де U_m – амплітуда напруги на затискачах кола, B .
Тоді рівняння струму у резисторі буде таким:

$$i_r = I_{rm} \cdot \sin \omega t, \quad (4.19)$$

де I_{rm} – амплітуда струму у резисторі, A ;

$$I_{rm} = g \cdot U_m, \quad (4.20)$$

а рівняння струму у ідеальному конденсаторі буде таким:

$$i_c = I_{cm} \cdot \sin(\omega t + 90^\circ), \quad (4.21)$$

де I_{cm} – амплітуда струму у ідеальному конденсаторі, A ;

$$I_{cm} = b_c \cdot U_m. \quad (4.22)$$

З (4.17), (4.19) і (4.21) випливає, що струм у загальній частині кола випереджає прикладену напругу на кут зсуву фаз φ , тобто рівняння струму у загальній частині кола у загальному вигляді наступне:

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi), \quad (4.23)$$

де I_m – амплітуда струму у загальній частині кола, A ;

$$I_m = y \cdot U_m. \quad (4.24)$$

Кут зсуву фаз дорівнює:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{b_c}{g}. \quad (4.25)$$

При протіканні у колі змінних синусоїдних струмів резистор споживає з мережі активну потужність P , ідеальний конденсатор обмінюється з мережею ємнісною потужністю Q_c , внаслідок чого коло має повну потужність S . Ці потужності дорівнюють:

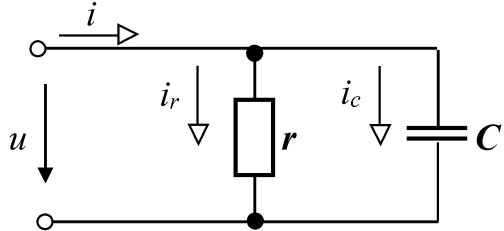
$$P = g \cdot U^2; \quad Q_c = b_c \cdot U^2; \quad S = y \cdot U^2, \quad (4.26)$$

де U – діюче значення напруги на затискачах кола, B .

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

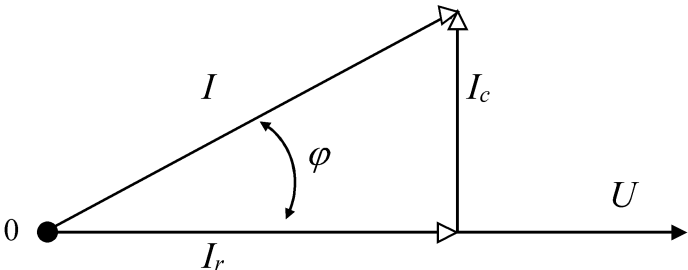
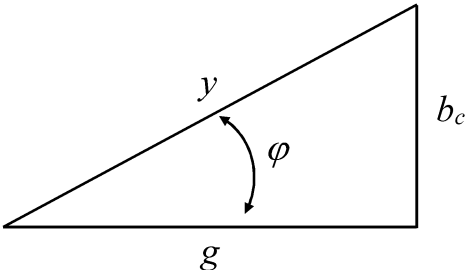
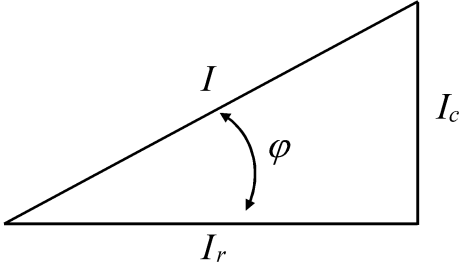
Таблиця 4.3

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
	На розрахунковій схемі електричного кола наведено: активний опір резистора r, ємність ідеального конденсатора C, напруга на затискачах ідеального генератора $u = U_m \cdot \sin \omega t$, сила електричного струму джерела i, сила електричного струму у вітці з активним опором i_r, сила електричного струму у вітці з ємністю i_c. 	
1.	Запишіть математичний вираз для визначення активної провідності кола з паралельним з'єднанням активного опору та ідеального конденсатора.	
2.	Що таке ємнісна провідність?	
3.	Запишіть математичний вираз для визначення ємнісної провідності кола з паралельним з'єднанням активного опору та ідеального конденсатора.	
4.	Запишіть математичний вираз для визначення повної провідності кола з паралельним з'єднанням активного опору та ідеального конденсатора.	
5.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в вітці з активним опором.	
6.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в вітці з ємністю.	
7.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в загальній вітці.	
8.	Побудуйте векторну діаграму напруги і струмів у колі (для діючих значень).	
9.	Побудуйте трикутник діючих значень струмів для даного кола.	
10.	Перетворіть трикутник струмів у трикутник провідностей, поділивши діючі значення сил струмів на діюче значення напруги.	
11.	Установіть зв'язок між активною, ємнісною та повною провідностями, використовуючи трикутник провідностей.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
12.	Запишіть математичний вираз для визначення кута зсуву фаз за допомогою провідностей даного кола.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 34$.

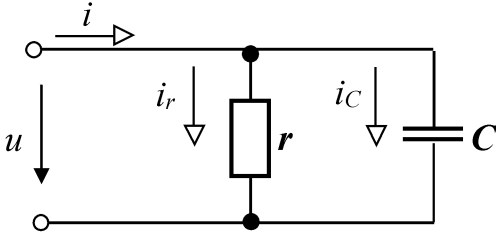
Таблиця 4.3а

Номер відповіді	Відповіді
1.	
2.	$y = \frac{1}{z}$.
3.	$\varphi = \arctg \frac{b_c}{g}$.
4.	Фізична величина, яка обернено пропорційна ємнісному опору.
5.	
6.	$i = y \cdot U_m \sin(\omega t + \varphi)$.
7.	$i_c = b_c \cdot U_m \sin(\omega t + 90^\circ)$.
8.	$g = \frac{1}{r}$.
9.	 $I_r = g \cdot U;$ $I_c = b_c \cdot U;$ $I = y \cdot U.$
10.	$i_r = g \cdot U_m \sin \omega t$.

Номер відповіді	Відповіді
11.	$y = \sqrt{g^2 + b_c^2}$.
12.	$b_c = \frac{1}{x_c}$.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 4.4

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми електричного кола відомо: активний опір резистора $r = 4 \text{ Ом}$, ємність ідеального конденсатора $C = 636,94 \text{ мкФ}$, напруга на затискачах джерела $u = 282 \sin(\omega t - 20^\circ) \text{ В}$. Частота струму у колі $f = 50 \text{ Гц}$. 		
1.	Визначте активну провідність кола в сіменсах.	
2.	Визначте ємнісний опір конденсатора в омах.	
3.	Визначте ємнісну провідність кола в сіменсах.	
4.	Визначте повну провідність кола в сіменсах.	
5.	Визначте кут зсуву фаз.	
6.	Розрахуйте амплітудне значення синусоїдного електричного струму в резисторі в амперах.	
7.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в резисторі.	
8.	Розрахуйте амплітудне значення синусоїдного електричного струму в ідеальному конденсаторі в амперах.	
9.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в ідеальному конденсаторі.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
10.	Розрахуйте амплітудне значення синусоїдного електричного струму в загальній вітці в амперах.	
11.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в загальній вітці.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -6$.

Таблиця 4.4а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$70,5 \cdot \sin(\omega t - 20^\circ)$.
2.	0,32.
3.	0,2.
4.	56,4.
5.	$90,24 \cdot \sin(\omega t + 19^\circ)$.
6.	0,25.
7.	39° .
8.	$56,4 \cdot \sin(\omega t + 70^\circ)$.
9.	90,24.
10.	70,5.
11.	5.

4.3 Електричне коло змінного синусоїдного струму з паралельно з'єднаними резистором, ідеальною котушкою та ідеальним конденсатором

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 4.3 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 4.5–4.6.
3. Виконати тести до пункту 4.3 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

При протіканні змінного синусоїдного струму у колі з паралельно з'єднаними резистором, ідеальною котушкою і ідеальним конденсатором у резисторі буде спостерігатись теплова дія струму, у котушці – електромагнетизм і самоіндукція, у конденсаторі – перезарядження його обкладинок і утворення електричного поля, внаслідок чого резистор характеризується

активною провідністю r , ідеальна котушка – індуктивною провідністю b_L , ідеальний конденсатор – ємнісною провідністю b_c . Повна провідність такого кола визначається так:

$$y = \sqrt{g^2 + (b_L - b_c)^2} . \quad (4.27)$$

Фізичну величину, яка дорівнює різниці індуктивної і ємнісної провідностей, назвали **реактивною провідністю**, тобто

$$b = b_L - b_c . \quad (4.28)$$

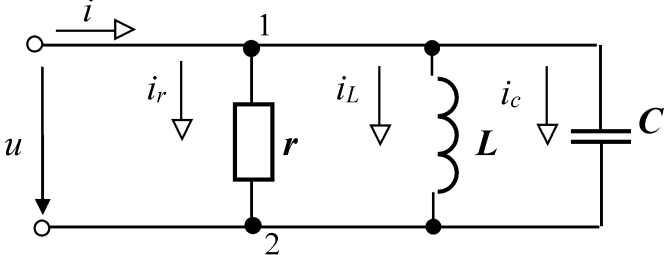
Якщо $b_L > b_c$, то реактивна провідність кола має індуктивний характер і всі взаємозв'язки між фізичними величинами кола аналогічні викладеному у п.4.1. Якщо $b_L < b_c$, то реактивна провідність кола має ємнісний характер і всі взаємозв'язки між фізичними величинами кола аналогічні викладеному у п.4.2.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

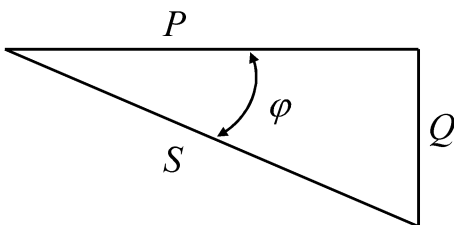
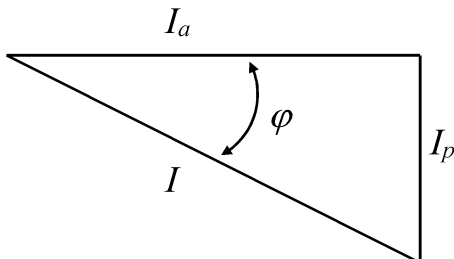
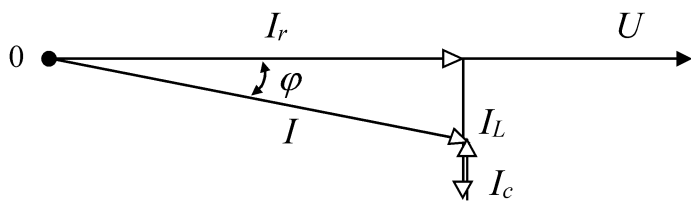
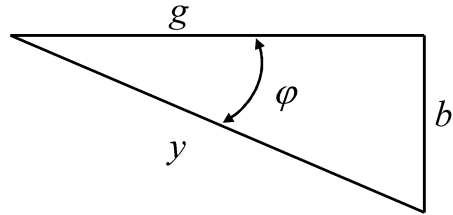
Таблиця 4.5

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
На розрахунковій схемі електричного кола наведено: активний опір резистора r, індуктивність ідеальної котушки L, ємність ідеального конденсатора C, напруга на затискачах генератора $u = U_m \cdot \sin \omega t$, сила електричного струму джерела i, сила електричного струму у вітці з активним опором i_r, сила електричного струму у вітці з індуктивністю i_L, сила електричного струму у вітці з ємністю i_c. 		

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Запишіть рівняння за 1-м законом Кірхгофа для вузла <i>I</i> наведеної розрахункової схеми (для миттєвих значень).	
2.	Запишіть вираз миттєвого струму в загальному електричному колі, підставивши в рівняння Кірхгофа миттєві сили струмів у вітках даного кола.	
3.	Побудуйте векторну діаграму напруги і струмів у колі (для діючих значень).	
4.	Запишіть вираз миттєвої сили струму в загальному електричному колі, використовуючи векторну діаграму, з урахуванням кута зсуву фаз.	
5.	Побудуйте трикутник діючих значень струмів для даного кола.	
6.	Запишіть розрахункову формулу реактивної складової сили струму даного кола, використовуючи трикутник струмів.	
7.	Перетворіть трикутник струмів у трикутник провідностей, поділивши діючі значення сил струмів на діюче значення напруги.	
8.	Запишіть розрахункову формулу реактивної провідності даного кола.	
9.	Установіть зв'язок між активною, індуктивною, ємнісною та повною провідностями, використовуючи трикутник провідностей.	
10.	Запишіть математичний вираз для визначення кута зсуву фаз за допомогою провідностей даного кола.	
11.	Отримайте з трикутника провідності трикутник потужностей і побудуйте його.	
12.	Запишіть розрахункову формулу реактивної потужності даного кола.	
13.	Установіть зв'язок між активною, індуктивною, ємнісною та повною потужностями, використовуючи трикутник потужностей.	
14.	Запишіть розрахункову формулу коефіцієнта потужності електричного кола.	

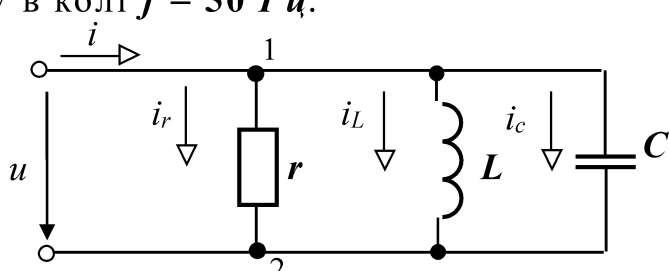
У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 29$.

Таблиця 4.5а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$Q = Q_L - Q_c.$
2.	$i = I_m \sin(\omega t - \varphi).$
3.	 $\begin{aligned} P &= g \cdot U^2; \\ Q &= b \cdot U^2; \\ S &= y \cdot U^2. \end{aligned}$
4.	$i = g \cdot U_m \sin \omega t + b_L \cdot U_m \sin(\omega t - 90^\circ) + b_c \cdot U_m \sin(\omega t + 90^\circ).$
5.	 $\begin{aligned} I_a &= g \cdot U; \\ I_p &= b \cdot U; \\ I &= y \cdot U. \end{aligned}$
6.	$b = b_L - b_c.$
7.	$\cos \varphi = P / S.$
8.	$I_p = I_L - I_c.$
9.	$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_c)^2}.$
10.	$\varphi = \arctg \frac{b}{g}.$
11.	
12.	$i = i_r + i_L + i_c.$
13.	$y = \sqrt{g^2 + b^2} = \sqrt{g^2 + (b_L - b_c)^2}.$
14.	

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 4.6

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми електричного кола відомо: напруга на затискачах генератора $u = 141,4 \cdot \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ В}$, активний опір резистора $r = 10 \text{ Ом}$, індуктивність ідеальної котушки $L = 38,2 \text{ мГн}$, ємність ідеального конденсатора $C = 127,39 \text{ мкФ}$. Частота струму в колі $f = 50 \text{ Гц}$. 		
1.	Визначте індуктивний опір котушки в омах.	
2.	Визначте ємнісний опір конденсатора в омах.	
3.	Визначте активну провідність резистора в сіменсах.	
4.	Визначте індуктивну провідність ідеальної котушки в сіменсах.	
5.	Визначте ємнісну провідність ідеального конденсатора в сіменсах.	
6.	Визначте реактивну провідність даного електричного кола в сіменсах.	
7.	Визначте повну провідність даного електричного кола в сіменсах.	
8.	Визначте кут зсуву фаз даного електричного кола.	
9.	Розрахуйте амплітудне значення синусоїдного електричного струму в резисторі в амперах.	
10.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в резисторі.	
11.	Розрахуйте амплітудне значення синусоїдного електричного струму в ідеальній котушці в амперах.	
12.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в ідеальній котушці.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
13.	Розрахуйте амплітудне значення синусоїдного електричного струму в ідеальному конденсаторі в амперах.	
14.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в ідеальному конденсаторі.	
15.	Розрахуйте амплітудне значення синусоїдного електричного струму в електричному колі в амперах.	
16.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в електричному колі.	
17.	Розрахуйте активну потужність, яку споживає електричне коло в ватах.	
18.	Розрахуйте реактивну потужність індуктивності в вольт-амперах реактивних.	
19.	Розрахуйте реактивну потужність ємності в вольт-амперах реактивних.	
20.	Розрахуйте реактивну потужність даного електричного кола в вольт-амперах реактивних.	
21.	Розрахуйте повну потужність, яку споживає електричне коло в вольт-амперах.	
22.	Визначте коефіцієнт потужності електричного кола.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 29$.

Таблиця 4.6а

Номер відповіді	Відповіді
1.	5,65.
2.	0,1.
3.	25.
4.	0,043.
5.	$11,74 \cdot \sin(\omega t - 60^\circ)$.
6.	0,083.
7.	$14,14 \cdot \sin(\omega t + 30^\circ)$.
8.	14,14.
9.	23°.
10.	0,109.
11.	$5,65 \cdot \sin(\omega t + 120^\circ)$.

Номер відповіді	Відповіді
12.	0,04.
13.	12.
14.	11,74.
15.	830.
16.	$15,41 \cdot \sin(\omega t + 7^\circ)$.
17.	0,917.
18.	15,41.
19.	430.
20.	400.
21.	1000.
22.	1090.

4.4 Еквівалентні розрахункові схеми

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 4.4 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 4.7–4.10.
3. Виконати тести до пункту 4.4 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

При виконанні розрахунку розгалужених електричних кіл виникає необхідність перетворювати послідовне з'єднання активного і реактивного опорів у паралельне з'єднання активної і реактивної провідностей і навпаки.

Якщо потрібно перетворити послідовне з'єднання активного r і реактивного x опорів у паралельне з'єднання активної g і реактивної b провідностей, то розрахунок здійснюють так:

$$g = \frac{r}{r^2 + x^2} ; \quad b = \frac{x}{r^2 + x^2} . \quad (4.29)$$

Якщо потрібно перетворити паралельне з'єднання активної g і реактивної b провідностей у послідовне з'єднання активного r і реактивного x опорів, то розрахунок здійснюють так:

$$r = \frac{g}{g^2 + b^2}; \quad x = \frac{b}{g^2 + b^2}. \quad (4.30)$$

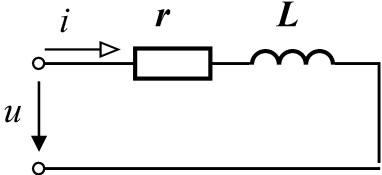
Усі інші розрахунки здійснюють аналогічно п.4.1–4.3.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 4.7

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми електричного кола відомо: напруга на затискачах ідеального генератора $u = U_m \cdot \sin \omega t$, активний опір кола r, індуктивний опір кола x_L. 		
1.	Переліchte умови еквівалентного перетворення електричного кола.	
2.	Перетворіть розрахункову схему електричного кола з послідовним з'єднанням активного опору й ідеальної котушки в еквівалентну розрахункову схему з паралельним з'єднанням цих елементів.	
3.	Запишіть математичний вираз для визначення активної провідності еквівалентної розрахункової схеми з паралельним з'єднанням елементів кола.	
4.	Запишіть математичний вираз для визначення індуктивної провідності еквівалентної розрахункової схеми з паралельним з'єднанням елементів кола.	
5.	Запишіть математичний вираз для визначення повної провідності еквівалентної розрахункової схеми з паралельним з'єднанням елементів кола.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 9$.

Таблиця 4.7а

Номер відповіді	Відповіді
1.	
2.	$b_L = \frac{x_L}{z^2} = \frac{x_L}{r^2 + x_L^2}.$
3.	- напруга на затискачах електричного кола не змінюється; - сила електричного струму у загальній вітці не змінюється.
4.	$g = \frac{r}{z^2} = \frac{r}{r^2 + x_L^2}.$
5.	$y = \frac{1}{z} = \frac{1}{\sqrt{r^2 + x_L^2}}.$

Завдання практично-стереотипного характеру

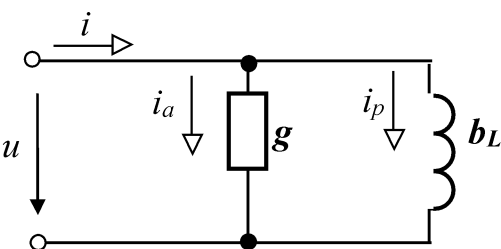
Таблиця 4.8

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми електричного кола відомо: напруга на затискачах ідеального генератора $u = 141,4 \cdot \sin \omega t$ В, активний опір кола $r = 3$ Ом, індуктивний опір кола $x_L = 4$ Ом.		
1.	Перетворіть розрахункову схему електричного кола з послідовним з'єднанням активного опору й ідеальної котушки в еквівалентну розрахункову схему з паралельним з'єднанням цих елементів.	
2.	Визначте активну провідність еквівалентної розрахункової схеми в сіменсах.	
3.	Визначте індуктивну провідність еквівалентної розрахункової схеми в сіменсах.	

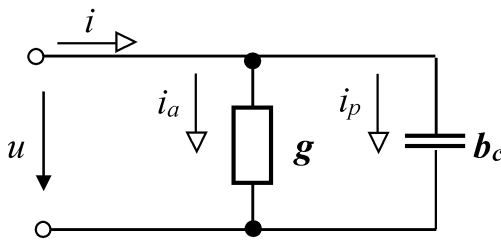
Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
4.	Визначте повну провідність еквівалентної розрахункової схеми в сіменсах.	
5.	Визначте кут зсуву фаз у колі.	
6.	Розрахуйте діюче значення сили електричного струму в загальній вітці в амперах.	
7.	Розрахуйте діюче значення активної складової сили електричного струму в колі в амперах.	
8.	Розрахуйте діюче значення реактивної складової сили електричного струму в колі в амперах.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 2$.

Таблиця 4.8а

Номер відповіді	Відповіді
1.	20.
2.	
3.	12.
4.	0,12.
5.	16.
6.	53°.
7.	0,2.
8.	0,16.

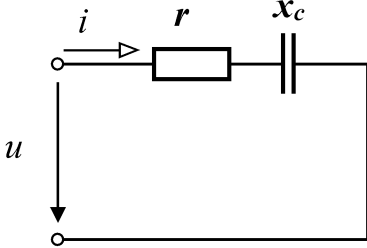
Таблиця 4.9

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
	Для розрахункової схеми електричного кола відомо: напруга на затискачах генератора $u = U_m \cdot \sin \omega t$, активна провідність резистора g, ємнісна провідність ідеального конденсатора b_c. 	
1.	Перетворіть розрахункову схему електричного кола з паралельним з'єднанням активного опору й ідеального конденсатора в еквівалентну розрахункову схему з послідовним з'єднанням цих елементів.	
2.	Запишіть математичний вираз для визначення активного опору еквівалентної розрахункової схеми з послідовним з'єднанням елементів кола.	
3.	Запишіть математичний вираз для визначення ємнісного опору еквівалентної розрахункової схеми з послідовним з'єднанням елементів кола.	
4.	Запишіть математичний вираз для визначення повного опору еквівалентної розрахункової схеми з послідовним з'єднанням елементів кола.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 3$.

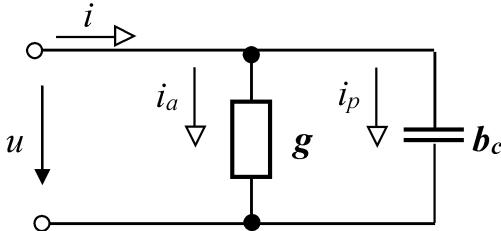
Таблиця 4.9a

Номер відповіді	Відповіді
1.	$r = \frac{g}{y^2} = \frac{g}{g^2 + b_c^2}.$
2.	$z = \frac{1}{y} = \frac{1}{\sqrt{g^2 + b_c^2}}.$

Номер відповіді	Відповіді
3.	
4.	$x_c = \frac{b_c}{y^2} = \frac{b_c}{g^2 + b_c^2}.$

Завдання практично-стереотипного характеру

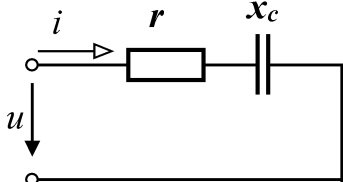
Таблиця 4.10

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми електричного кола відомо: напруга на затискачах генератора $u = 141,4 \cdot \sin \omega t$ В, активна провідність резистора $g = 0,03$ См, ємнісна провідність ідеального конденсатора $b_c = 0,04$ См. 		
1.	Розрахуйте діюче значення активної складової сили електричного струму в колі в амперах.	
2.	Розрахуйте діюче значення реактивної складової сили електричного струму в колі в амперах	
3.	Розрахуйте діюче значення сили електричного струму в загальній вітці в амперах.	
4.	Перетворіть розрахункову схему електричного кола з паралельним з'єднанням активного опору й ідеального конденсатора в еквівалентну розрахункову схему з послідовним з'єднанням цих елементів.	
5.	Визначте активний опір еквівалентної розрахункової схеми в омах.	
6.	Визначте ємнісний опір еквівалентної розрахункової схеми в омах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
7.	Визначте повний опір еквівалентної розрахункової схеми в омах.	
8.	Визначте кут зсуву фаз у колі.	
9.	Розрахуйте діюче значення сили електричного струму в загальній вітці в амперах, використовуючи закон Ома. Порівняйте отримане значення з п.3.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 15$.

Таблиця 4.10а

Номер відповіді	Відповіді
1.	16.
2.	5 = 5.
3.	
4.	5.
5.	53°.
6.	4.
7.	12.
8.	20.
9.	3.

4.5 Розрахунок розгалужених кіл методом провідностей

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 4.5 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 4.11–4.13.
3. Виконати тести до пункту 4.5 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

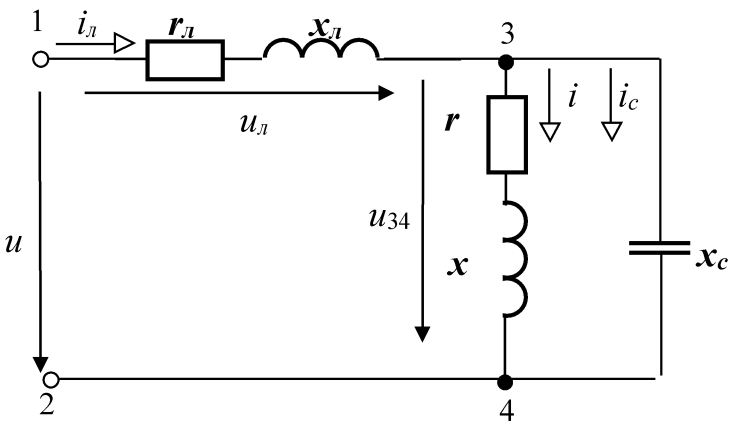
Метод провідностей при розрахунку розгалужених електричних кіл полягає у тому, що на ділянках електричного кола виконують перетворення послідовного з'єднання активного і реактивного опорів у паралельне з'єднання активної і реактивної провідностей і навпаки. При цьому користуються виразами, викладеними у п.4.1–4.4.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 4.11

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми електричного кола відомо: напруга на затискачах генератора $u = 282 \cdot \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ В}$; параметри лінії електропередачі $r_l = 1,5 \text{ Ом}$, $x_l = 2 \text{ Ом}$; параметри котушки $r = 12 \text{ Ом}$, $x = 16 \text{ Ом}$; параметр ідеального конденсатора $x_c = 5 \text{ Ом}$. 		
1.	Розрахуйте ємнісну провідність конденсатора в сіменсах.	
2.	Розрахуйте активну провідність котушки в сіменсах.	
3.	Розрахуйте індуктивну провідність котушки в сіменсах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
4.	Складіть розрахункову схему ділянки кола між вузлами 3 і 4, показавши привідності та струми.	
5.	Розрахуйте еквівалентну реактивну провідність між вузлами 3 і 4 в сіменсах.	
6.	Складіть розрахункову схему кола між вузлами 3 і 4, показавши привідності g , b та струми.	
7.	Розрахуйте еквівалентну повну провідність між вузлами 3 і 4 в сіменсах.	
8.	Розрахуйте еквівалентний активний опір ділянки кола між вузлами 3 і 4 (r_{34}) в омах.	
9.	Розрахуйте еквівалентний реактивний опір ділянки кола між вузлами 3 і 4 (x_{34}) в омах.	
10.	Розрахуйте еквівалентний повний опір ділянки кола між вузлами 3 і 4 (z_{34}) в омах.	
11.	Визначте еквівалентний кут зсуву фаз на ділянці кола між вузлами 3 і 4 (φ_{34}).	
12.	Замініть паралельну ділянку кола між вузлами 3 і 4 на еквівалентну послідовну з опорами r_{34} і x_{34} та складіть розрахункову схему.	
13.	Визначте еквівалентний активний опір всього кола (r_e) в омах.	
14.	Визначте еквівалентний реактивний опір всього кола (x_e) в омах.	
15.	Визначте еквівалентний повний опір всього кола (z_e) в омах.	
16.	Визначте еквівалентний кут зсуву фаз всього кола (φ_e).	
17.	Розрахуйте діюче значення сили електричного струму в лінії електропередачі (I_n) в амперах.	
18.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в лінії електропередачі.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 33$.

Таблиця 4.11а

Номер відповіді	Відповіді
1.	–6,02.

Номер відповіді	Відповіді
2.	
3.	6,13.
4.	0,03.
5.	0,163.
6.	1,13.
7.	
8.	0,2.
9.	2,63.
10.	0,04.
11.	-4,02.
12.	-0,16.
13.	57°.
14.	4,82.
15.	79°.
16.	
17.	41,5.
18.	$58,7 \cdot \sin(\omega t + 87^\circ)$.

Продовження завдання
(умову дивись в табл. 4.11)

Таблиця 4.12

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Розрахуйте діюче значення напруги на затискачах 3 і 4 (U_{34}) в вольтах.	
2.	Запишіть вираз миттєвої напруги на затискачах 3 і 4.	
3.	Розрахуйте діюче значення сили електричного струму в конденсаторі (I_c) в амперах.	
4.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в конденсаторі.	
5.	Розрахуйте повний опір котушки в омах.	
6.	Визначте кут зсуву фаз котушки.	
7.	Розрахуйте діюче значення сили електричного струму в котушці (I) в амперах.	
8.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в котушці.	
9.	Розрахуйте діюче значення активної складової сили електричного струму в котушці (I_r) в амперах.	
10.	Запишіть вираз миттєвої активної складової сили електричного струму в котушці.	
11.	Розрахуйте діюче значення реактивної складової сили електричного струму в котушці (I_L) в амперах.	
12.	Запишіть вираз миттєвої реактивної складової сили електричного струму в котушці.	
13.	Розрахуйте діюче значення напруги на активному опорі котушки (U_r) в вольтах.	
14.	Запишіть вираз миттєвої напруги на активному опорі котушки.	
15.	Розрахуйте діюче значення напруги на реактивному опорі котушки (U_L) в вольтах.	
16.	Запишіть вираз миттєвої напруги на реактивному опорі котушки.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 34$.

Таблиця 4.12а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$18 \cdot \sin(\omega t - 45^\circ)$.
2.	$215,8 \cdot \sin(\omega t - 45^\circ)$.

Номер відповіді	Відповіді
3.	53°.
4.	20.
5.	$71,4 \cdot \sin(\omega t + 98^\circ)$.
6.	50,88.
7.	$287,8 \cdot \sin(\omega t + 45^\circ)$.
8.	254,4.
9.	$14,38 \cdot \sin(\omega t - 82^\circ)$.
10.	$10,8 \cdot \sin(\omega t + 8^\circ)$.
11.	203,52.
12.	7,63.
13.	152,64.
14.	$358,7 \cdot \sin(\omega t + 8^\circ)$.
15.	10,17.
16.	12,72.

Продовження завдання
(умову дивись в табл. 4.11)

Таблиця 4.13

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Визначте повний опір лінії електропередачі (z_l) в омах.	
2.	Визначте кут зсуву фаз в лінії електропередачі.	
3.	Розрахуйте діюче значення напруги на активному опорі лінії електропередачі (U_{rl}) в вольтах.	
4.	Запишіть вираз миттєвої напруги на активному опорі лінії електропередачі.	
5.	Розрахуйте діюче значення напруги на індуктивному опорі лінії електропередачі (U_{Ll}) в вольтах.	
6.	Запишіть вираз миттєвої напруги на індуктивному опорі лінії електропередачі.	
7.	Розрахуйте діюче значення спадання напруги в лінії електропередачі (U_l) в вольтах.	
8.	Запишіть вираз миттєвого спадання напруги в лінії електропередачі.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
9.	Визначте втрати активної потужності в лінії електропередачі в ватах.	
10.	Визначте реактивну потужність, яку споживає лінія електропередачі в вольт-амперах реактивних.	
11.	Визначте повну потужність, яку споживає лінія електропередачі в вольт-амперах.	
12.	Визначте коефіцієнт потужності лінії електропередачі.	
13.	Визначте активну потужність, яку споживає все коло, в ватах.	
14.	Визначте реактивну потужність, яку споживає все коло, в вольт-амперах реактивних.	
15.	Визначте повну потужність, яку споживає все коло, в вольт-амперах.	
16.	Визначте коефіцієнт потужності всього кола.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 28$.

Таблиця 4.13а

Номер відповіді	Відповіді
1.	0,6.
2.	4529,5.
3.	3444,5.
4.	0,54.
5.	2,5.
6.	53°.
7.	$146,72 \cdot \sin(\omega t + 140^\circ)$.
8.	$117 \cdot \sin(\omega t + 177^\circ)$.
9.	2583,4.
10.	$88 \cdot \sin(\omega t + 87^\circ)$.
11.	103,75.
12.	62,25.
13.	83.
14.	8301,25.
15.	6923,45.
16.	4305,6.

Тема 5

СИМВОЛІЧНИЙ (КОМПЛЕКСНИЙ) МЕТОД РОЗРАХУНКУ КІЛ ЗМІННОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ

5.1 Символічне зображення синусоїдних функцій

Завдання самотійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 5.1 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 5.1–5.2.
3. Виконати тести до пункту 5.1 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

При виконанні розрахунків електричних кіл змінного синусоїдного струму зручніше користуватись символічними (комплексними) формами запису струмів і напруг. Розглянемо, як здійснити перехід від оригіналу струму, до його комплексних форм запису. Оригінал струму описується таким рівнянням:

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i), \quad (5.1)$$

де i – миттєве значення сили струму, A ;
 I_m – амплітуда сили струму, A ;
 ψ_i – початкова фаза струму, *градус (рад.)*;
 $(\omega t + \psi_i)$ – поточна фаза струму, *градус (рад.)*.
Показова форма комплексної амплітуди струму:

$$\dot{I}_m = I_m \cdot e^{j\psi_i}. \quad (5.2)$$

де $\dot{I}_m$ – комплексна амплітуда струму, A ;
 I_m – модуль комплексної амплітуди струму (амплітуда сили струму), A ;
 ψ_i – аргумент комплексу амплітуди струму (початкова фаза струму), *градус (рад.)*;
Тригонометрична форма комплексної амплітуди струму:

$$\dot{I}_m = I_m \cdot \cos \psi_i + jI_m \cdot \sin \psi_i. \quad (5.3)$$

Алгебраїчна форма комплексу амплітуди струму:

$$\dot{I}_m = I'_m + jI''_m, \quad (5.4)$$

де I'_m – дійсна частина комплексу амплітуди струму, A ;
 jI''_m – уявна частина комплексу амплітуди струму, A ;

$$I'_m = I_m \cdot \cos \psi_i; \quad I''_m = I_m \cdot \sin \psi_i. \quad (5.5)$$

У (5.1) початкова фаза струму може бути як додатною, так і від'ємною, тому усі розрахунки і записи за (5.2) – (5.5) виконуються з урахуванням знаків чисел.

Якщо є алгебраїчна форма комплексної амплітуди струму, а потрібно записати комплексну амплітуду струму у показовій формі, то для цього розраховують модуль комплексної амплітуди струму:

$$I_m = \sqrt{(I'_m)^2 + (I''_m)^2}, \quad (5.6)$$

і аргумент комплексної амплітуди струму:

$$\psi_i = \arctg \frac{I''_m}{I'_m}. \quad (5.7)$$

а потім за знайденими значеннями записують комплексну амплітуду струму у показовій формі за (5.2).

Якщо I'_m від'ємна, то до значення, отриманого за (5.7) необхідно додати 180° (або відняти від нього 180°).

Якщо у правих частинах (5.2) – (5.7) модуль комплексної амплітуди струму поділити на $\sqrt{2}$, то отримаємо вирази для комплексного діючого значення струму.

Показова форма:

$$\dot{I} = I \cdot e^{j\psi_i}, \quad (5.8)$$

де

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (5.9)$$

Тригонометрична форма:

$$\dot{I} = I \cdot \cos \psi_i + jI \cdot \sin \psi_i. \quad (5.10)$$

Алгебраїчна форма:

$$\dot{I} = I' + jI''. \quad (5.11)$$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання інформаційно-репродуктивного характеру

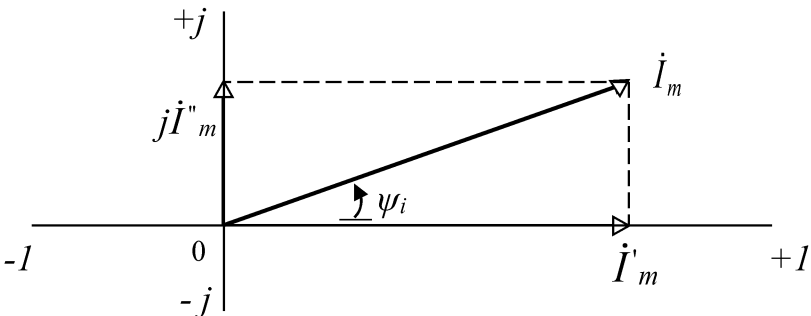
Таблиця 5.1

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Запишіть формулу Ейлера.	
2.	Що розуміється під уявним числом j ?	
3.	Як зображується комплексне число e^{ja} на комплексній площині?	
4.	Чому дорівнює модуль функції e^{ja} ?	
5.	Запишіть комплексну амплітудну струму в показовій формі.	
6.	Зобразіть комплексну амплітудну струму на комплексній площині і покажіть проекції струму на дійсну та уявну осі.	
7.	Запишіть комплексну амплітудну струму в тригонометричній формі.	
8.	Запишіть комплексну амплітудну струму в алгебраїчній формі.	
9.	Запишіть комплексне діюче значення струму в показовій формі.	
10.	Запишіть комплексне діюче значення електрорушійної сили в показовій формі.	
11.	Запишіть комплексне діюче значення напруги в показовій формі.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 12$.

Таблиця 5.1а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$\dot{U} = U \cdot e^{j\psi_u}$.
2.	Одиниці.
3.	Уявна одиниця: $j = \sqrt{-1}$.
4.	$\dot{I} = I \cdot e^{j\psi_i}$.
5.	$e^{j\alpha} = \cos \alpha + j \sin \alpha$.

Номер відповіді	Відповіді
6.	$\dot{I}_m = I'_m + jI''_m$.
7.	
8.	$\dot{I}_m = I_m \cdot e^{j\psi_i}$.
9.	$\dot{E} = E \cdot e^{j\psi_e}$.
10.	$\dot{I}_m = I_m \cdot \cos \psi_i + jI_m \cdot \sin \psi_i$.
11.	Відкладається вектор, який дорівнює одиниці та утворює кут α з віссю дійсних значень (віссю +1), позитивний кут відраховується проти годинникової стрілки від цієї осі.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 5.2

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Задано вираз миттєвого синусоїдного електричного струму: $i = 14,1 \cdot \sin(\omega t + 50^\circ) \text{ A}$.		
1.	Запишіть комплексне діюче значення струму в показовій формі.	
2.	Запишіть комплексне діюче значення струму в тригонометричній формі.	
3.	Запишіть комплексне діюче значення струму в алгебраїчній формі.	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 4$.

Таблиця 5.2а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$10 \cdot \cos 50^\circ + j10 \cdot \sin 50^\circ$.
2.	$6,43 + j7,66$.
3.	$10 \cdot e^{j50^\circ}$.

5.2 Додавання і віднімання комплексних величин

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 5.2 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблиці 5.3.
3. Виконати тести до пункту 5.2 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

При виконанні розрахунків електричних кіл змінного синусоїдного струму потрібно виконувати додавання і віднімання комплексних чисел.

Не хай відомі оригінали двох струмів:

$$i_1 = I_{1m} \cdot \sin(\omega t + \psi_{i1}), \quad (5.12)$$

$$i_2 = I_{2m} \cdot \sin(\omega t + \psi_{i2}), \quad (5.13)$$

де i_1, i_2 – миттєві значення сил струмів, A ;

I_{1m}, I_{2m} – амплітуди сил струмів, A ;

ψ_{i1}, ψ_{i2} – початкові фази струмів, $рад.$ ($градус$);

$(\omega t + \psi_{i1}), (\omega t + \psi_{i2})$ – поточні фази струмів, $рад.$ ($градус$).

Потрібно визначити $i_3 = i_1 + i_2$. Для цього комплексні амплітуди струмів спочатку записують у показовій формі:

$$\dot{I}_{1m} = I_{1m} \cdot e^{j\psi_{i1}}; \quad (5.14)$$

$$\dot{I}_{2m} = I_{2m} \cdot e^{j\psi_{i2}}, \quad (5.15)$$

а потім у алгебраїчній формі:

$$\dot{I}_{1m} = I'_{1m} + jI''_{1m}, \quad (5.16)$$

де

$$I'_{1m} = I_{1m} \cdot \cos \psi_{i1}; \quad I''_{1m} = I_{1m} \cdot \sin \psi_{i1}; \quad (5.17)$$

$$\dot{I}_{2m} = I'_{2m} + jI''_{2m}, \quad (5.18)$$

де

$$I'_{2m} = I_{2m} \cdot \cos \psi_{i2}; \quad I''_{2m} = I_{2m} \cdot \sin \psi_{i2}. \quad (5.19)$$

Користуючись алгебраїчною формою, виконують додавання комплексних амплітуд заданих струмів і отримують алгебраїчну форму комплексної амплітуди шуканого струму, тобто

$$\dot{I}_{3m} = I'_{3m} + jI''_{3m}, \quad (5.20)$$

де

$$I'_{3m} = I'_{1m} + I'_{2m}; \quad I''_{3m} = I''_{1m} + I''_{2m}. \quad (5.21)$$

Після цього переходять від алгебраїчної форми до показової, для чого розраховують модуль комплексної амплітуди шуканого струму:

$$I_{3m} = \sqrt{(I'_{3m})^2 + (I''_{3m})^2}, \quad (5.22)$$

і аргумент комплексної амплітуди шуканого струму:

$$\psi_{i3} = \operatorname{arctg} \frac{I''_{3m}}{I'_{3m}}. \quad (5.23)$$

Використовуючи знайдені значення модуля і аргументу, записують комплексну амплітуду шуканого струму у показовій формі:

$$\dot{I}_{3m} = I_{3m} \cdot e^{j\psi_{i3}}. \quad (5.25)$$

Потім записують оригінал шуканого струму:

$$i_3 = I_{3m} \cdot \sin(\omega t + \psi_{i3}). \quad (5.26)$$

Якщо потрібно визначити $i_4 = i_1 - i_2$, то алгоритм дій буде аналогічний наведеному вище, тільки у (5.21) знак «+» замінюють на знак «-».

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Завдання практично-стереотипного характеру

Таблиця 5.3

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Відомі вирази двох миттєвих сил електричних струмів: $i_1 = 14,14\sin(\omega \cdot t + 60^\circ)$ А, $i_2 = 7,07\sin(\omega \cdot t - 50^\circ)$ А.		
1.	Запишіть комплексну амплітудну першого струму в показовій формі в амперах.	
2.	Запишіть комплексну амплітудну першого струму в тригонометричній формі в амперах.	
3.	Запишіть комплексну амплітудну першого струму в алгебраїчній формі в амперах.	
4.	Запишіть комплексну амплітудну другого струму в показовій формі в амперах.	
5.	Запишіть комплексну амплітудну другого струму в тригонометричній формі в амперах.	
6.	Запишіть комплексну амплітудну другого струму в алгебраїчній формі в амперах.	
7.	Визначте комплексну амплітуду струму $\dot{I}_{3m}$ в алгебраїчній формі в амперах як суму заданих сил струмів.	
8.	Запишіть комплексну амплітуду струму $\dot{I}_{3m}$ в показовій формі в амперах.	
9.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного струму i_3 .	
10.	Визначте комплексну амплітуду струму $\dot{I}_{4m}$ в алгебраїчній формі в амперах як різницю заданих сил струмів ($i_1 - i_2$).	
11.	Запишіть комплексну амплітуду струму $\dot{I}_{4m}$ в показовій формі в амперах.	
12.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного струму i_4 .	

У разі вірного виконання завдань $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 4$.

Таблиця 5.3а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$7,07 + j12,25$.
2.	$4,54 - j5,42$.
3.	$7,07 \cdot \cos 50^\circ - j7,07 \cdot \sin \cdot 50^\circ$.

Номер відповіді	Відповіді
4.	$7,07 \cdot e^{-j50^\circ}$.
5.	$14,14 \cdot e^{j60^\circ}$.
6.	$14,14 \cdot \cos 60^\circ + j14,14 \cdot \sin 60^\circ$.
7.	$17,85 \sin(\omega \cdot t + 82^\circ)$.
8.	$2,53 + j17,67$.
9.	$17,85 \cdot e^{j82^\circ}$.
10.	$13,47 \cdot e^{j30,5^\circ}$.
11.	$13,47 \sin(\omega \cdot t + 30,5^\circ)$.
12.	$11,61 + j6,83$.

5.3 Добуток та ділення комплексних величин

5.4 Добуток вектора на j та на $-j$

5.5 Зображення похідних та інтегралів синусоїдних струмів

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пунктів 5.3–5.5 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 5.4–5.5.
3. Виконати тести до пунктів 5.3–5.5 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

При виконанні розрахунків електричних кіл змінного синусоїдного струму потрібно знаходити добуток комплексних величин (наприклад, комплексних повних опорів і діючих значень струмів), тому розглянемо, як виконати цю дію. Нехай відомі дві комплексні величини:

$$\dot{B} = B \cdot e^{j\psi_B}; \quad \dot{C} = C \cdot e^{j\psi_C}, \quad (5.27)$$

потрібно знайти їх добуток $\dot{B} \cdot \dot{C}$.

Добутком (5.27) буде така комплексна величина:

$$\dot{K} = K \cdot e^{j\psi_K}, \quad (5.28)$$

де

$$K = B \cdot C; \quad \psi_K = \psi_B + \psi_C. \quad (5.29)$$

При виконанні розрахунків електричних кіл змінного синусоїдного струму потрібно знаходити відношення комплексних величин (наприклад, комплексних напруг і повних опорів), тому розглянемо, як виконати цю дію. Нехай відомі дві комплексні величини (5.27), потрібно знайти відношення $\dot{B}/\dot{C}$.

Цим відношенням буде така комплексна величина:

$$\dot{M} = M \cdot e^{j\psi_M}, \quad (5.30)$$

де

$$M = \frac{B}{C}; \quad \psi_M = \psi_B - \psi_C. \quad (5.31)$$

При виконанні розрахунків електричних кіл змінного синусоїдного струму потрібно знаходити добуток комплексних величин на j , $-j$ та -1 . Нехай відомо комплексна величина $\dot{B}$ (5.27), тоді

$$j \cdot \dot{B} = B \cdot e^{j(\psi_B + 90^\circ)}; \quad (5.32)$$

$$-j \cdot \dot{B} = B \cdot e^{j(\psi_B - 90^\circ)}; \quad (5.33)$$

$$-1 \cdot \dot{B} = B \cdot e^{j(\psi_B \pm 180^\circ)}. \quad (5.34)$$

При аналізі електричних кіл синусоїдного струму за допомогою символічного (комплексного) методу потрібно не тільки переходити від оригіналів струмів до їх комплексів, а й від похідних оригіналів струмів до комплексів. Для того, щоб зобразити похідну оригіналу струму комплексом потрібно комплекс амплітуди сили струму помножити на $j\omega$, тобто

$$\frac{di}{dt} \rightarrow j\omega \dot{I}_m. \quad (5.35)$$

При аналізі електричних кіл синусоїдного струму за допомогою символічного (комплексного) методу потрібно не тільки переходити від оригіналів струмів до їх комплексів, а й від інтегралів оригіналів струмів до комплексів. Для того, щоб зобразити інтеграл оригіналу струму комплексом потрібно комплекс амплітуди сили струму поділити на $j\omega$, тобто

$$\int i dt \rightarrow \frac{I_m}{j\omega}. \quad (5.36)$$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Тести інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 5.4

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Чому дорівнює модуль комплексу, який отримується при множенні двох комплексних чисел?	
2.	Чому дорівнює аргумент комплексу, який отримується в результаті множення двох комплексних чисел?	
3.	Чому дорівнює модуль комплексу, який отримується в результаті ділення двох комплексних чисел?	
4.	Чому дорівнює аргумент комплексу, який отримується в результаті ділення двох комплексних чисел?	
5.	Що дає множення будь-якого вектора на комплексній площині на j ?	
6.	Що дає множення будь-якого вектора на комплексній площині на $-j$?	
7.	Як зобразити похідну сили струму комплексом?	
8.	Як зобразити інтеграл сили струму комплексом?	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 14$.

Таблиця 5.4а

Номер відповіді	Відповіді
1.	Вектор, що дорівнює за величиною попередньому, але повернений за годинниковою стрілкою щодо положення попереднього вектора на кут 90° .
2.	Комплекс амплітудного значення сили струму поділений на $j\omega$.
3.	Алгебраїчний сумі аргументів двох перемножених комплексів.
4.	Комплекс амплітудного значення сили струму помножений на $j\omega$.

Номер відповіді	Відповіді
5.	Алгебраїчній різниці аргументів комплексних чисел діленого і дільника.
6.	Добутку модулів двох комплексних чисел.
7.	Частці від ділення модулю одного комплексу на модуль другого.
8.	Вектор, що дорівнює за величиною попередньому, але повернений проти годинникової стрілки щодо положення попереднього вектора на кут 90° .

Тести практично-стереотипного характеру

Таблиця 5.5

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Задано два комплексних числа: $\dot{A} = 200 \cdot e^{j33^\circ}$, $\dot{B} = 40 \cdot e^{j73^\circ}$.		
1.	Розрахуйте комплекс числа $\dot{C}$ як добуток заданих комплексних чисел.	
2.	Запишіть комплекс $j \cdot \dot{C}$ в показовій формі.	
3.	Запишіть комплекс $-j \cdot \dot{C}$ в показовій формі.	
4.	Розрахуйте комплекс числа $\dot{D}$ як частку від ділення $\dot{A}$ на $\dot{B}$.	
Задано вираз миттєвого синусоїдного електричного струму $i = 17,85 \sin(\omega \cdot t + 82^\circ)$ А.		
5.	Запишіть комплекс похідної сили струму.	
6.	Запишіть комплекс інтегралу сили струму.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 9$.

Таблиця 5.5а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$5e^{-j40^\circ}$.
2.	$8000 \cdot e^{j196^\circ}$.
3.	$\frac{17,85 \cdot e^{j82^\circ}}{j \cdot \omega}$.
4.	$8000 \cdot e^{j16^\circ}$.
5.	$8000 \cdot e^{j106^\circ}$.
6.	$j \cdot \omega \cdot 17,85 \cdot e^{j82^\circ}$.

5.6 Закон Ома в комплексній формі

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 5.6 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 5.6–5.7.
3. Виконати тести до пункту 5.6 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Якщо до затискачів кола прикласти змінну синусоїдну напругу

$$u = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u), \quad (5.37)$$

то у колі виникне змінний синусоїдний струм

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i). \quad (5.38)$$

Перейдемо від оригіналів напруги і струму до їх комплексів. Покажемо форма комплексних амплітуд напруги і струм:

$$\dot{U}_m = U_m \cdot e^{j\psi_u}; \quad (5.39)$$

$$\dot{I}_m = I_m \cdot e^{j\psi_i}. \quad (5.40)$$

Взаємозв'язок між комплексами амплітуд напруги і струму встановлюється через **закон Ома у комплексній формі**. Він формулюється так: *комплексна амплітуда струму у колі прямо пропорційна комплексній амплітуді напруги, прикладеної до затискачів кола, і обернено пропорційні комплексному опору кола*. Математичний запис цього закону для такий:

$$\dot{I}_m = \frac{\dot{U}_m}{Z}, \quad (5.41)$$

де Z – комплексний опір кола, Ом.

З (5.41) випливає, що комплексний опір кола дорівнює:

$$Z = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m}. \quad (5.42)$$

Якщо підставити (5.39) і (5.40) у (5.42), то після перетворень отримаємо показову форму комплексного опору кола:

$$Z = z \cdot e^{j\varphi}; \quad (5.43)$$

де z – модуль комплексного опору кола (повний опір кола), $Ом$;
 φ – аргумент комплексного опору кола
 (кут зсуву фаз кола), *градус (рад.)*;

$$z = \frac{U_m}{I_m}; \quad (5.44)$$

$$\varphi = \psi_u - \psi_i. \quad (5.45)$$

З (5.45) випливає, що при записуванні комплексного опору кола значення φ може бути як додатним (коли $\psi_u > \psi_i$), так і від'ємним (коли $\psi_u < \psi_i$).

Тригонометрична форма комплексного опору:

$$Z = z \cdot \cos \varphi + jz \cdot \sin \varphi. \quad (5.46)$$

Алгебраїчна форма комплексного опору:

$$Z = r + jx, \quad (5.47)$$

де r – дійсна частина комплексного опору (r – активний опір), $Ом$;
 jx – уявна частина комплексного опору (x – реактивний опір), $Ом$;

$$r = z \cdot \cos \varphi; \quad x = z \cdot \sin \varphi. \quad (5.48)$$

Через те, що

$$x = x_L - x_c, \quad (5.49)$$

де x_L – індуктивний опір, $Ом$;
 x_c – ємнісний опір, $Ом$,

то комплексний опір у алгебраїчній формі може записуватись так:

$$Z = r + jx_L - jx_c. \quad (5.50)$$

З (5.49) і (5.50) випливає, якщо реактивний опір кола має індуктивний характер то уявна частина комплексного опору (5.47) буде додатною, у протилежному випадку – від'ємною.

Якщо є алгебраїчна форма запису комплексного опору, а потрібно записати його у показовій формі, то для цього розраховують модуль комплексного опору:

$$z = \sqrt{r^2 + x^2}, \quad (5.51)$$

і аргумент комплексного опору:

$$\varphi = \arctg \frac{x}{r}, \quad (5.52)$$

а потім за знайденими значеннями записують комплексний опір у показовій формі за (5.43).

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Тести інформаційно-репродуктивного характеру

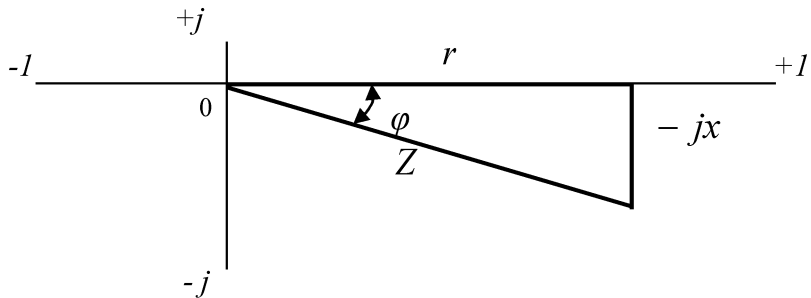
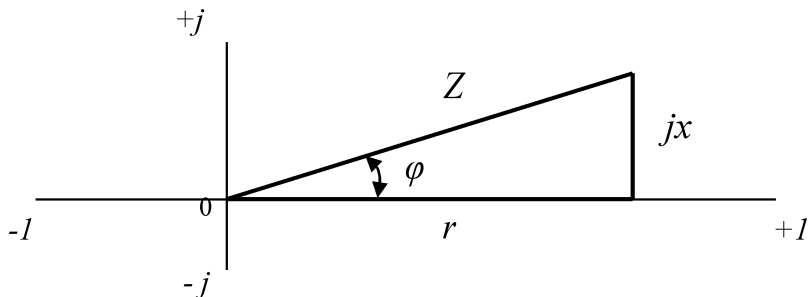
Таблиця 5.6

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми електричного кола відомі вирази миттєвих значень: сили електричного струму $i = I_m \sin(\omega \cdot t + \psi_i)$ та напруги $u = U_m \sin(\omega \cdot t + \psi_u)$.		
1.	Запишіть комплексне діюче значення напруги в показовій формі.	
2.	Запишіть комплексне діюче значення струму в показовій формі.	
3.	Запишіть формулу для визначення комплексного опору даного кола.	
4.	Запишіть комплексний опір кола в показовій формі.	
5.	Запишіть комплексний опір кола в тригонометричній формі.	
6.	Запишіть комплексний опір кола в алгебраїчній формі.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
7.	Зобразіть комплексний опір на комплексній площині (якщо x має індуктивний характер).	
8.	Зобразіть комплексний опір на комплексній площині (якщо x має ємнісний характер).	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 10$.

Таблиця 5.6а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$Z = r + jx$.
2.	$Z = z \cdot e^{j\phi}$.
3.	$\dot{I} = I \cdot e^{j\psi_i}$.
4.	$Z = z \cdot \cos \varphi + j \cdot z \cdot \sin \varphi$.
5.	$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}$.
6.	$\dot{U} = U \cdot e^{j\psi_u}$.
7.	
8.	

Тести практично-стереотипного характеру

Таблиця 5.7

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми відомі вирази миттєвих значень: сили електричного струму $i = 7,07 \sin(\omega \cdot t - 10^\circ)$ А та напруги на затискачах кола $u = 141,4 \sin(\omega \cdot t + 60^\circ)$ В.		
1.	Запишіть комплексне діюче значення напруги в показовій формі в вольтах.	
2.	Запишіть комплексне діюче значення сили електричного струму в показовій формі в амперах.	
3.	Визначте комплексний опір кола в показовій формі в омах.	
4.	Запишіть комплексний опір кола у тригонометричній формі в омах.	
5.	Запишіть комплексний опір кола в алгебраїчній формі в омах.	
6.	Який характер має реактивний опір даного кола?	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 9$.

Таблиця 5.7а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$5 \cdot e^{-j10^\circ}$.
2.	Індуктивний.
3.	$20 \cdot \cos 70^\circ + j20 \cdot \sin 70^\circ$.
4.	$20 \cdot e^{j70^\circ}$.
5.	$100 \cdot e^{j60^\circ}$.
6.	$6,84 + j18,8$.

5.7 Комплексна провідність

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 5.7 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 5.8–5.9.
3. Виконати тести до пункту 5.7 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Величина, яка обернено пропорційна комплексному опору, є комплексною провідністю, тобто

$$Y = \frac{1}{Z}. \quad (5.53)$$

Якщо підставити (5.43) у (5.53), то після перетворень отримаємо комплексну провідність кола у показовій формі:

$$Y = y \cdot e^{-j\varphi}, \quad (5.54)$$

де y – модуль комплексної провідності кола (повна провідність кола), См.
Тригонометрична форма комплексної провідності:

$$Y = y \cdot \cos \varphi - jy \cdot \sin \varphi. \quad (5.55)$$

Алгебраїчна форма комплексної провідності:

$$Y = g - jb. \quad (5.56)$$

де g – дійсна частина комплексної провідності
(g – активна провідність), См;
 jb – уявна частина комплексної провідності
(b – реактивна провідність), См;

$$g = y \cdot \cos \varphi; \quad b = y \cdot \sin \varphi. \quad (5.57)$$

Через те, що

$$b = b_L - b_c, \quad (5.58)$$

де b_L – індуктивна провідність, См; b_c – ємнісна провідність, См,

то комплексна провідність у алгебраїчній формі може записуватись так:

$$Y = g - jb_L + jb_c. \quad (5.59)$$

З (5.58) і (5.59) випливає, якщо реактивна провідність кола має індуктивний характер то уявна частина комплексного опору (5.56) буде від'ємною, у протилежному випадку – додатною.

Якщо є алгебраїчна форма запису комплексної провідності, а потрібно записати її у показовій формі, то для цього розраховують модуль комплексної провідності:

$$y = \sqrt{g^2 + b^2}, \quad (5.60)$$

і аргумент комплексної провідності:

$$\varphi = \arctg \frac{b}{g}, \quad (5.61)$$

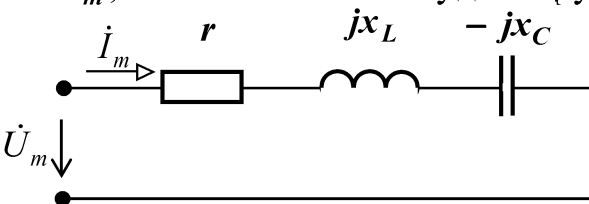
а потім за знайденими значеннями записують комплексну провідність у показовій формі за (5.54).

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Тести інформаційно-репродуктивного характеру

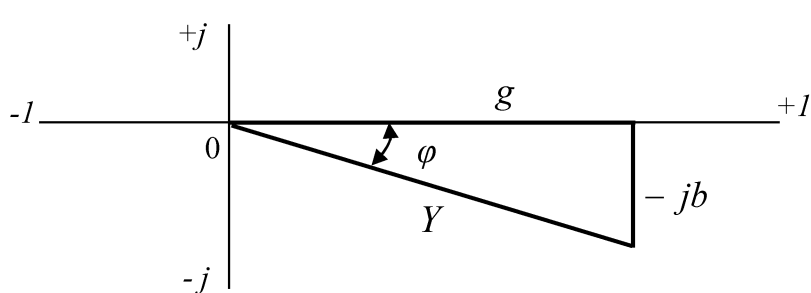
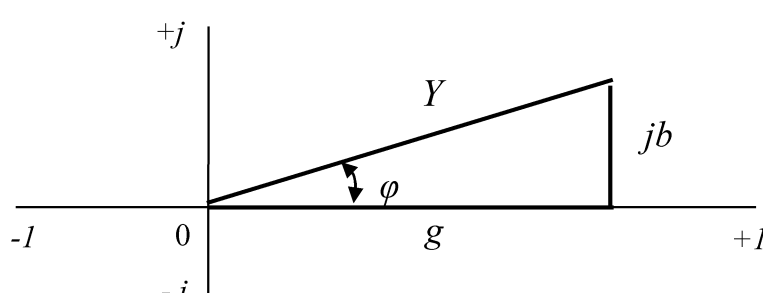
Таблиця 5.8

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
На розрахунковій схемі електричного кола наведено: активний опір r, індуктивний опір x_L, ємнісний опір x_C, комплекс амплітуди напруги $\dot{U}_m$, комплекс амплітуди струму $\dot{I}_m$. 		
1.	Запишіть комплексний опір кола в алгебраїчній формі.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
2.	Запишіть комплексний опір кола в показовій формі.	
3.	Запишіть комплексну провідність кола в показовій формі.	
4.	Запишіть комплексну провідність кола в тригонометричній формі.	
5.	Запишіть комплексну провідність кола в алгебраїчній формі.	
6.	Зобразіть комплексну провідність кола на комплексній площині (якщо b має індуктивний характер).	
7.	Зобразіть комплексну провідність кола на комплексній площині (якщо b має ємнісний характер).	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 10$.

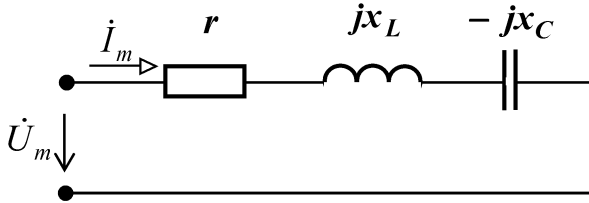
Таблиця 5.8а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$Y = g - j \cdot b$.
2.	
3.	$Z = z \cdot e^{j\varphi}$.
4.	$Y = y \cdot \cos \varphi - jy \cdot \sin \varphi$.
5.	

Номер відповіді	Відповіді
6.	$Y = y \cdot e^{-j\varphi}$.
7.	$Z = r + j\omega \cdot L - j \frac{1}{\omega \cdot C} = r + jx_L - jx_c$.

Тести практично-стереотипного характеру

Таблиця 5.9

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми кола відомо: комплексне діюче значення напруги на затискачах кола $\dot{U} = 100 \cdot e^{j30^\circ} \text{ В}$; активний опір $r = 10 \text{ Ом}$; індуктивний опір $x_L = 12 \text{ Ом}$; ємнісний опір $x_c = 25 \text{ Ом}$. 		
1.	Запишіть комплексний опір кола в алгебраїчній формі в омах.	
2.	Запишіть комплексний опір кола в показовій формі в омах.	
3.	Визначте комплексну провідність даного кола в показовій формі в сіменсах.	
4.	Запишіть комплексну провідність кола в тригонометричній формі в сіменсах.	
5.	Запишіть комплексну провідність кола в алгебраїчній формі в сіменсах.	
6.	Який характер має реактивна провідність даного кола?	
7.	Визначте комплексне діюче значення сили струму в показовій формі в амперах.	
8.	Запишіть комплексне діюче значення сили струму в алгебраїчній формі в амперах.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -5$.

Таблиця 5.9а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$0,061 \cdot \cos 52^\circ + j0,062 \cdot \sin 52^\circ$.
2.	$10 - j13$.
3.	$6,1 \cdot e^{j82^\circ}$.
4.	$0,038 + j0,049$.
5.	$0,061 \cdot e^{j52^\circ}$.
6.	$0,85 + j6,04$.
7.	$16,4 \cdot e^{-j52^\circ}$.
8.	Ємнісний.

5.8 Комплексні напруги**5.9 Комплексні струми****5.10 Комплексна потужність***Завдання самостійної роботи*

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пунктів 5.8–5.10 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 5.10–5.11.
3. Виконати тести до пунктів 5.8–5.10 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Нехай нерозгалужене електричне коло має розрахункову схему для комплексів, наведену на рис.5.1.

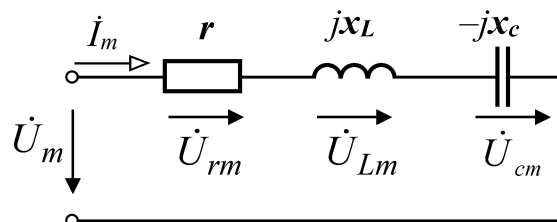


Рис.5.1

Комплексні амплітуди напруг, наведених на рис.5.1, визначаються так, як показано нижче.

Комплексна амплітуда напруги на затискачах кола:

$$\dot{U}_m = Z \cdot \dot{I}_m. \quad (5.62)$$

Після підстановки (5.43), (5.40) у (5.62) і перетворень отримаємо:

$$\dot{U}_m = U_m \cdot e^{j\psi_u}, \quad (5.63)$$

де

$$U_m = z \cdot I_m; \quad \psi_u = \psi_i + \varphi. \quad (5.64)$$

Комплексна амплітуда напруги на активному опорі кола:

$$\dot{U}_{rm} = r \cdot \dot{I}_m. \quad (5.65)$$

Після підстановки (5.40) у (5.65) і перетворень отримаємо:

$$\dot{U}_{rm} = U_{rm} \cdot e^{j\psi_{ur}}, \quad (5.66)$$

де

$$U_{rm} = r \cdot I_m; \quad \psi_{ur} = \psi_i. \quad (5.67)$$

Комплексна амплітуда напруги на індуктивному опорі кола:

$$\dot{U}_{Lm} = jx_L \cdot \dot{I}_m. \quad (5.66)$$

Після підстановки (5.40) у (5.66) і перетворень отримаємо:

$$\dot{U}_{Lm} = U_{Lm} \cdot e^{j\psi_{uL}}, \quad (5.67)$$

де

$$U_{Lm} = x_L \cdot I_m; \quad \psi_{uL} = \psi_i + 90^\circ. \quad (5.68)$$

Комплексна амплітуда напруги на ємнісному опорі кола:

$$\dot{U}_{cm} = -jx_c \cdot \dot{I}_m. \quad (5.69)$$

Після підстановки (5.40) у (5.69) і перетворень отримаємо:

$$\dot{U}_{cm} = U_{cm} \cdot e^{j\psi_{uc}}, \quad (5.70)$$

де

$$U_{cm} = x_c \cdot I_m; \quad \psi_{uc} = \psi_i - 90^\circ. \quad (5.71)$$

Нехай розгалужене електричне коло має розрахункову схему для комплексів, наведену на рис.5.2.

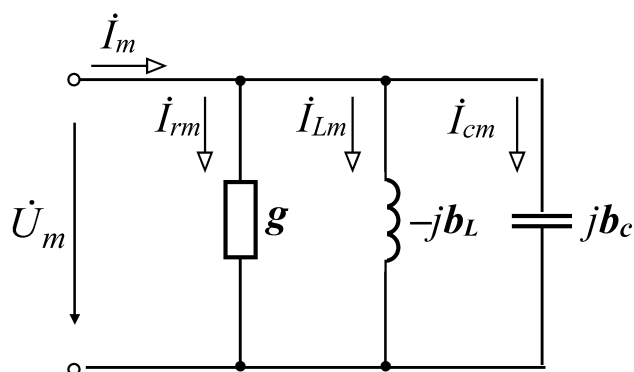


Рис.5.2

Комплексні амплітуди струмів, наведених на рис.5.2, визначаються так, як показано нижче.

Комплексна амплітуда струму у загальній частині кола:

$$\dot{I}_m = Y \cdot \dot{U}_m. \quad (5.72)$$

Після підстановки (5.39), (5.54) у (5.72) і перетворень отримаємо:

$$\dot{I}_m = I_m \cdot e^{j\psi_i}, \quad (5.73)$$

де

$$I_m = y \cdot U_m; \quad \psi_i = \psi_u + \varphi. \quad (5.74)$$

Комплексна амплітуда струму у активній провідності:

$$\dot{I}_{rm} = g \cdot \dot{U}_m. \quad (5.72)$$

Після підстановки (5.39) у (5.72) і перетворень отримаємо:

$$\dot{I}_{rm} = I_{rm} \cdot e^{j\psi_{ir}}, \quad (5.73)$$

де

$$I_{rm} = g \cdot U_m; \quad \psi_{ir} = \psi_u. \quad (5.74)$$

Комплексна амплітуда струму у індуктивній провідності:

$$\dot{I}_{Lm} = -jb_L \cdot \dot{U}_m. \quad (5.75)$$

Після підстановки (5.39) у (5.75) і перетворень отримаємо:

$$\dot{I}_{Lm} = I_{Lm} \cdot e^{j\psi_{iL}}, \quad (5.76)$$

де

$$I_{Lm} = b_L \cdot U_m; \quad \psi_{iL} = \psi_u - 90^\circ. \quad (5.77)$$

Комплексна амплітуда струму у ємнісній провідності:

$$\dot{I}_{cm} = j b_c \cdot \dot{U}_m. \quad (5.78)$$

Після підстановки (5.39) у (5.78) і перетворень отримаємо:

$$\dot{I}_{cm} = I_{cm} \cdot e^{j\psi_{ic}}, \quad (5.79)$$

де

$$I_{cm} = b_c \cdot U_m; \quad \psi_{ic} = \psi_u + 90^\circ. \quad (5.80)$$

Якщо на затискачі електричного кола (рис.5.1) подати змінну синусоїдну напругу, комплексне діюче значення якої дорівнює:

$$\dot{U} = U \cdot e^{j\psi_u}, \quad (5.81)$$

то у колі буде протікати змінний синусоїдний струм, комплексне діюче значення якого дорівнює:

$$\dot{I} = I \cdot e^{j\psi_i}. \quad (5.82)$$

Внаслідок відповідних фізичних явищ, які спостерігаються у колі при протіканні вказаного струму, коло буде мати певну повну потужність. У символічному (комплексному) методі при розрахунку електричних кіл застосовують поняття комплексної потужності. Розглянемо це поняття, для чого застосуємо **спряжений комплекс струму** – комплексне діюче значення струму, взятє з протилежним знаком при аргументі. Тобто, якщо комплекс діючого значення струму описується (5.82), то спряжений комплекс струму

$$\dot{I}^* = I \cdot e^{-j\psi_i}. \quad (5.83)$$

Добуток комплексного діючого значення напруги і спряженого комплексу струму являє собою **комплексну потужність**, тобто

$$\tilde{S} = \dot{U} \cdot \dot{I}^*. \quad (5.84)$$

Якщо підставити (5.81), (5.83) у (5.84), то після перетворень отримаємо комплексну потужність у показовій формі:

$$\tilde{S} = S \cdot e^{j\varphi}, \quad (5.85)$$

де S – модуль комплексної потужності (повна потужність), *ВА*.
 φ – аргумент комплексної потужності (кут зсуву фаз), *градус (рад.)*;

$$S = U \cdot I; \quad (5.86)$$

$$\varphi = \psi_u - \psi_i. \quad (5.87)$$

Тригонометрична форма комплексної потужності:

$$\tilde{S} = S \cdot \cos \varphi - jS \cdot \sin \varphi. \quad (5.88)$$

Алгебраїчна форма комплексної потужності:

$$\tilde{S} = P + jQ. \quad (5.89)$$

де P – дійсна частина комплексної потужності
 (P – активна потужність), *Вт*;
 jQ – уявна частина комплексної потужності
 (Q – реактивна потужність), *вар*;

$$P = S \cdot \cos \varphi; \quad Q = S \cdot \sin \varphi. \quad (5.90)$$

Через те, що

$$Q = Q_L - Q_c, \quad (5.91)$$

де Q_L – індуктивна потужність, *вар*;
 Q_c – ємнісна потужність, *вар*,

то комплексна потужність у алгебраїчній формі може записуватись так:

$$\tilde{S} = P + jQ_L - jQ_c. \quad (5.92)$$

З (5.91) і (5.92) випливає, якщо реактивна потужність кола має індуктивний характер то уявна частина комплексної потужності (5.89) буде додатною, у протилежному випадку – від’ємною.

Якщо є алгебраїчна форма запису комплексної потужності, а потрібно записати її у показовій формі, то для цього розраховують модуль комплексної потужності:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (5.93)$$

і аргумент комплексної потужності:

$$\varphi = \arctg \frac{Q}{P}, \quad (5.94)$$

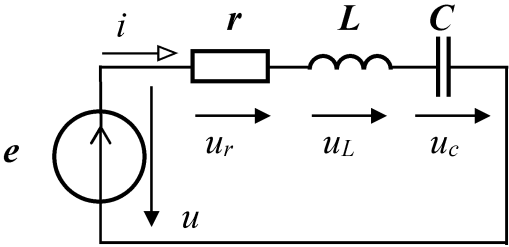
а потім за знайденими значеннями записують комплексну потужність у показовій формі за (5.85).

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Тести інформаційно-репродуктивного характеру

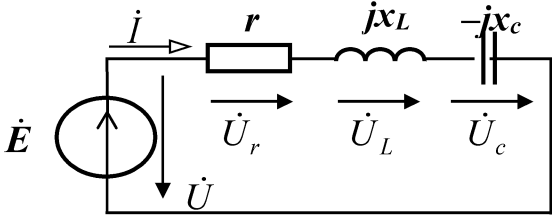
Таблиця 5.10

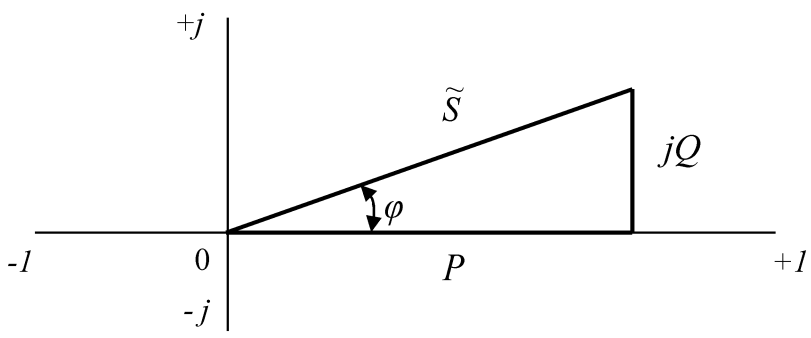
Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
	На розрахунковій схемі електричного кола наведено: е.р.с. ідеального синусоїдного джерела e; активний опір r; індуктивність L; ємність C; сила електричного струму $i = I_m \sin(\omega \cdot t + \psi_i)$; напруга на затискачах джерела $u = U_m \sin(\omega \cdot t + \psi_u)$; спадання напруги на відповідних елементах кола u_r, u_L, u_C. 	
1.	Запишіть комплекс індуктивного опору в алгебраїчній формі.	
2.	Запишіть комплекс ємнісного опору в алгебраїчній формі.	
3.	Запишіть комплексний опір в алгебраїчній формі для даного кола.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
4.	Запишіть комплексне діюче значення напруги на затискачах кола в показовій формі.	
5.	Складіть розрахункову схему даного кола в комплексній формі.	
6.	Складіть рівняння електричної рівноваги даного кола в комплексній формі.	
7.	Запишіть закон Ома в комплексній формі для діючих значень напруги та струму даної розрахункової схеми.	
8.	Запишіть рівняння для визначення комплексного діючого значення напруги на активному опорі.	
9.	Запишіть рівняння для визначення комплексного діючого значення напруги на індуктивному опорі.	
10.	Запишіть рівняння для визначення комплексного діючого значення напруги на ємнісному опорі.	
11.	Запишіть спряжений комплекс струму кола.	
12.	Запишіть рівняння для визначення комплексної потужності даного кола.	
13.	Зобразіть комплексну потужність на комплексній площині (якщо Q має індуктивний характер).	
14.	Запишіть комплексну потужність в алгебраїчній формі.	
15.	Запишіть комплексну потужність в тригонометричній формі.	
16.	Запишіть комплексну потужність в показовій формі.	

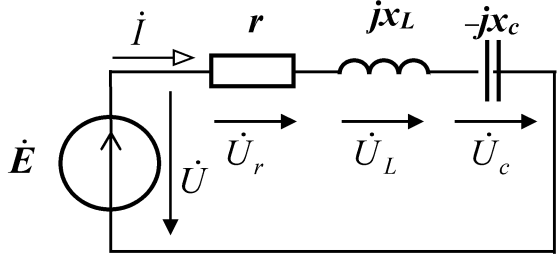
У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -10$.

Таблиця 5.10а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$\dot{U}_L = jx_L \cdot \dot{I}$.
2.	

Номер відповіді	Відповіді
3.	$\dot{U} = U \cdot e^{j\psi_u}.$
4.	$-jx_C = -\frac{1}{j\omega \cdot C}.$
5.	
6.	$\dot{U}_r = r \cdot \dot{I}.$
7.	$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{r + jx_L - jx_C}.$
8.	$jx_L = j\omega \cdot L.$
9.	$\tilde{S} = S \cdot e^{j\varphi}.$
10.	$Z = r + jx_L - jx_C.$
11.	$\tilde{S} = \dot{U} \cdot \dot{I}^*.$
12.	$\dot{U}_m = r \cdot \dot{I}_m + j \cdot \omega \cdot L \cdot \dot{I}_m + \frac{\dot{I}_m}{j \cdot \omega \cdot C}.$
13.	$\tilde{S} = P + jQ_L - jQ_C = P \pm jQ.$
14.	$\tilde{S} = S \cdot \cos \varphi \pm j \cdot S \cdot \sin \varphi.$
15.	$\dot{U}_C = -jx_C \cdot \dot{I}$
16.	$I^* = I \cdot e^{-j\psi_i}.$

Таблиця 5.11

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
	Для наведеної розрахункової схеми кола відомо: напруга на затискачах кола $u = 141,4 \cdot \sin(\omega t + 30^\circ)$ В; активний опір $r = 12$ Ом; індуктивність $L = 79,6$ мГн; ємність $C = 353,86$ мкФ. Частота струму у колі $f = 50$ Гц. 	
1.	Запишіть комплекс індуктивного опору кола в алгебраїчній формі в омах.	
2.	Запишіть комплекс ємнісного опору кола в алгебраїчній формі в омах.	
3.	Визначте комплекс реактивного опору кола в алгебраїчній формі в омах.	
4.	Визначте комплекс повного опору кола в алгебраїчній формі в омах і запишіть його в показовій формі.	
5.	Запишіть комплексне діюче значення напруги на затискачах кола в показовій формі в вольтах.	
6.	Визначте комплексне діюче значення струму у даному колі в показовій формі, запишіть його в алгебраїчній формі в амперах.	
7.	Запишіть вираз миттєвого струму у колі.	
8.	Визначте комплексне діюче значення напруги на активному опорі в показовій формі, запишіть його в алгебраїчній формі в вольтах.	
9.	Запишіть вираз миттєвої напруги на активному опорі.	
10.	Визначте комплексне діюче значення напруги на індуктивному опорі в показовій формі, запишіть його в алгебраїчній формі в вольтах.	
11.	Запишіть вираз миттєвої напруги на індуктивному опорі.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
12.	Визначте комплексне діюче значення напруги на ємнісному опорі в показовій формі, запишіть його в алгебраїчній формі в вольтах.	
13.	Запишіть вираз миттєвої напруги на ємнісному опорі.	
14.	Визначте комплексну потужність в даному колі в показовій формі в вольт-амперах.	
15.	Запишіть комплексну потужність в тригонометричній формі в вольт-амперах.	
16.	Запишіть комплексну потужність в алгебраїчній формі в вольт-амперах.	
17.	Запишіть значення активної потужності кола в ватах.	
18.	Запишіть значення реактивної потужності кола в вольт-амперах реактивних.	
19.	Визначте коефіцієнт потужності кола.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 76$.

Таблиця 5.11а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$45 \cdot e^{-j113^\circ} = -17,58 - j41,42$.
2.	$84,6 \cdot \sin(\omega t - 23^\circ)$.
3.	400.
4.	$60 \cdot e^{-j23^\circ} = 55,2 - j23,4$.
5.	$300 + j400$.
6.	$500 \cdot e^{j53^\circ}$.
7.	$125 \cdot e^{j67^\circ} = 48,8 + j115,1$.
8.	$12 + j16 = 20 \cdot e^{j53^\circ}$.
9.	$-j9$.
10.	$7,07 \cdot \sin(\omega t - 23^\circ)$.

Номер відповіді	Відповіді
11.	0,6.
12.	$j25$.
13.	$63,4 \cdot \sin(\omega t - 113^\circ)$.
14.	$5 \cdot e^{-j23^\circ} = 4,6 - j1,95$.
15.	$500 \cdot \cos 53^\circ + j500 \cdot \sin 53^\circ$.
16.	$100 \cdot e^{j30^\circ}$.
17.	300.
18.	$j16$.
19.	$176,3 \cdot \sin(\omega t + 67^\circ)$.

5.11 Закони Кірхгофа в комплексній формі

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 5.11 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблиці 5.12.
3. Виконати тести до пункту 5.11 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Перший закон Кірхгофа встановлює взаємозв'язок між комплексними струмами у вузлу розгалуженого електричного кола. Він формулюється так: у вузлу електричного кола алгебраїчна сума комплексних сил струмів дорівнює нулю. Математичний запис першого закону Кірхгофа для комплексних діючих значень струмів:

$$\sum_1^n \dot{I}_i = 0. \quad (5.95)$$

Другий закон Кірхгофа встановлює взаємозв'язок між комплексними спаданнями напруг на опорах контуру електричного кола і комплексними електрорушійними силами, що діють у контурі. Він формулюється так: у замкненому контурі електричного кола алгебраїчна сума комплексних спадань напруг на опорах контуру дорівнює алгебраїчній сумі комплексних

електрорушійних сил, що діють у контурі. Математичний запис другого закону Кірхгофа для комплексних діючих значень спадань напруг і е.р.с.:

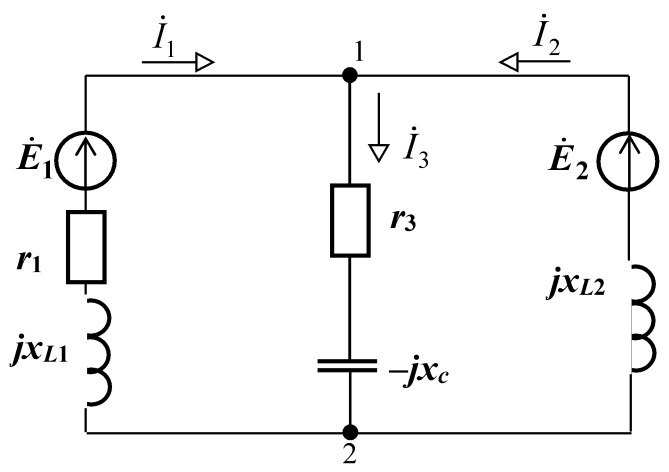
$$\sum_1^n Z_i \dot{I}_i = \sum_1^n \dot{E}_i. \quad (5.96)$$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Тести інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 5.12

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
На розрахунковій схемі електричного кола наведено: комплексні діючі значення електрорушійних сил $\dot{E}_1$ і $\dot{E}_2$; комплексні діючі значення струмів $\dot{I}_1$, $\dot{I}_2$ та $\dot{I}_3$; комплекси опорів r_1, jx_{L1}, jx_{L2}, r_3, $-jx_C$. 		
1.	Сформулюйте 1-й закон Кірхгофа в комплексній формі.	
2.	Запишіть математично 1-й закон Кірхгофа в комплексній формі.	
3.	Сформулюйте 2-й закон Кірхгофа в комплексній формі.	
4.	Запишіть математично 2-й закон Кірхгофа в комплексній формі.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
5.	Запишіть рівняння за 1-м законом Кірхгофа для миттєвих значень сил струмів для вузла I даної схеми.	
6.	Запишіть рівняння за 1-м законом Кірхгофа в комплексній формі для діючих значень сил струмів для вузла I даної схеми.	
7.	Запишіть рівняння за 2-м законом Кірхгофа для миттєвих значень електрорушійних сил і сил струмів для першого незалежного контуру наведеної схеми.	
8.	Запишіть рівняння за 2-м законом Кірхгофа в комплексній формі для діючих значень електрорушійних сил і сил струмів для першого незалежного контуру наведеної схеми.	
9.	Запишіть рівняння за 2-м законом Кірхгофа для миттєвих значень електрорушійних сил і сил струмів для другого незалежного контуру наведеної схеми.	
10.	Запишіть рівняння за 2-м законом Кірхгофа в комплексній формі для діючих значень електрорушійних і сил струмів для другого незалежного контуру наведеної схеми.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 9$.

Таблиця 5.12а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$\sum_1^n Z_i \dot{I}_i = \sum_1^n \dot{E}_i.$
2.	$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0.$
3.	$r_1 \cdot \dot{i}_1 + L_1 \frac{d\dot{i}_1}{dt} + r_3 \cdot \dot{i}_3 + \frac{1}{C} \int \dot{i}_3 dt = e_1.$
4.	У замкненому контурі алгебраїчна сума комплексних спадань напруг на опорах контуру дорівнює алгебраїчній сумі комплексних електрорушійних сил, що діють у цьому контурі.

Номер відповіді	Відповіді
5.	$\sum_1^n \dot{I}_i = 0.$
6.	$jx_{L2} \cdot \dot{I}_2 + (r_3 - jx_C) \cdot \dot{I}_3 = \dot{E}_2.$
7.	Алгебраїчна сума комплексних сил струмів у вузлу дорівнює нулю.
8.	$L_2 \frac{di_2}{dt} + r_3 \cdot i_3 + \frac{1}{C} \int i_3 dt = e_2.$
9.	$(r_1 + jx_{L1}) \cdot \dot{I}_1 + (r_3 - jx_C) \cdot \dot{I}_3 = \dot{E}_1.$
10.	$i_1 + i_2 - i_3 = 0.$

5.12 Методи розрахунку кіл змінного синусоїдного струму в комплексній формі

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 5.12 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 5.13–5.15.
3. Виконати тести до пункту 5.12 на освітньому порталі ТДАТУ.

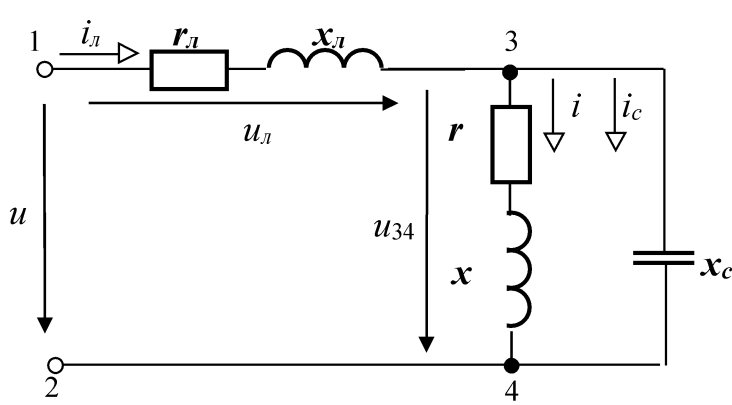
СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

При розрахунку електричних кіл змінного синусоїдного струму застосовують усі викладені у темі 2 методи, які записують у комплексній формі, з урахуванням викладеного у п.5.1–5.11.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

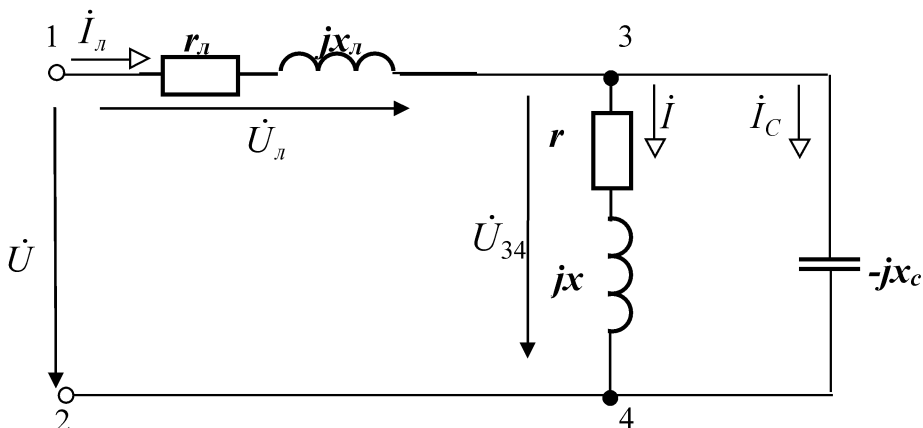
Таблиця 5.13

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
	Для розрахункової схеми електричного кола відомо: напруга на затискачах ідеального генератора $u = 282 \cdot \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ В}$; параметри лінії електропередачі: $r_{\text{л}} = 1,5 \text{ Ом}$, $x_{\text{л}} = 2 \text{ Ом}$; параметри котушки: $r = 12 \text{ Ом}$, $x = 16 \text{ Ом}$; параметр ідеального конденсатора: $x_{\text{с}} = 5 \text{ Ом}$. 	
1.	Складіть розрахункову схему даного кола в комплексній формі.	
2.	Запишіть комплекс повного опору лінії електропередачі в алгебраїчній формі в омах.	
3.	Визначте комплекс повного опору лінії електропередачі в показовій формі в омах.	
4.	Запишіть комплекс повного опору котушки в алгебраїчній формі в омах.	
5.	Визначте комплекс повного опору котушки в показовій формі в омах.	
6.	Запишіть комплекс повного опору ідеального конденсатора в алгебраїчній та показовій формах в омах.	
7.	Розрахуйте комплекс повного опору еквівалентної ділянки кола між вузлами 3 і 4 (Z_{34}) в показовій формі в омах.	
8.	Розрахуйте комплекс повного опору еквівалентної ділянки кола між вузлами 3 і 4 (Z_{34}) в алгебраїчній формі в омах.	
9.	Запишіть комплекс повного опору всього кола (Z_e) в алгебраїчній формі в омах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
10.	Запишіть комплекс повного опору всього кола (Z_e) в показовій формі в омах.	
11.	Запишіть комплекс діючого значення напруги на затисках кола в показовій формі в вольтах.	
12.	Розрахуйте комплекс діючого значення сили електричного струму в лінії електропередачі ($\dot{I}_l$) в показовій формі в амперах.	
13.	Запишіть комплекс діючого значення сили електричного струму в лінії електропередачі ($\dot{I}_l$) в алгебраїчній формі в амперах.	
14.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в лінії електропередачі в амперах.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 44$.

Таблиця 5.13а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$6,14 \cdot e^{-j79^\circ}$.
2.	$12 + j16$.
3.	$-j5 = 5 \cdot e^{-j90^\circ}$.
4.	$1,17 - j6,03$.
5.	$200 \cdot e^{j30^\circ}$.
6.	$1,5 + j2$.
7.	$2,67 - j4,03$.
8.	

Номер відповіді	Відповіді
9.	$41,4 \cdot e^{j87^\circ}$.
10.	$20 \cdot e^{j53^\circ}$.
11.	$58,4 \cdot \sin(\omega t + 87^\circ)$.
12.	$2,5 \cdot e^{j53^\circ}$.
13.	$4,83 \cdot e^{-j57^\circ}$.
14.	$2,17 + j41,34$.

Продовження завдання
(умову дивись в табл. 5.13)

Таблиця 5.14

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Розрахуйте комплекс діючого значення напруги на затискачах 3 і 4 ($\dot{U}_{34}$) в показовій формі в вольтах.	
2.	Запишіть вираз миттєвої напруги на затискачах 3 і 4.	
3.	Розрахуйте комплекс діючого значення сили електричного струму в котушці ($\dot{I}$) в показовій формі в амперах.	
4.	Запишіть комплекс діючого значення сили електричного струму в котушці ($\dot{I}$) в алгебраїчній формі в амперах.	
5.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в котушці в амперах.	
6.	Розрахуйте комплекс діючого значення сили електричного струму в конденсаторі ($\dot{I}_C$) в показовій формі в амперах.	
7.	Запишіть комплекс діючого значення сили електричного струму в конденсаторі ($\dot{I}_C$) в алгебраїчній формі в амперах.	
8.	Запишіть вираз миттєвого синусоїдного електричного струму в конденсаторі в амперах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
9.	Розрахуйте комплекс діючого значення напруги на активному опорі лінії електропередачі ($\dot{U}_{rl}$) в показовій формі в вольтах.	
10.	Запишіть вираз миттєвої напруги на активному опорі лінії електропередачі.	
11.	Розрахуйте комплекс діючого значення напруги на індуктивному опорі лінії електропередачі ($\dot{U}_{Ll}$) в показовій формі в вольтах.	
12.	Запишіть вираз миттєвої напруги на індуктивному опорі лінії електропередачі в вольтах.	
13.	Розрахуйте комплекс діючого значення спадання напруги в лінії електропередачі ($\dot{U}_l$) в показовій формі в вольтах.	
14.	Запишіть вираз миттєвого спадання напруги в лінії електропередачі в вольтах.	
15.	Розрахуйте комплекс діючого значення напруги на активному опорі котушки ($\dot{U}_r$) в показовій формі в вольтах.	
16.	Запишіть вираз миттєвої напруги на активному опорі котушки в вольтах.	
17.	Розрахуйте комплекс діючого значення напруги на реактивному опорі котушки ($\dot{U}_L$) в показовій формі в вольтах.	
18.	Запишіть вираз миттєвої напруги на реактивному опорі котушки.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 11$.

Таблиця 5.14а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$71,4 \cdot \sin(\omega t + 98^\circ)$.
2.	$103,5 \cdot e^{j140^\circ}$.
3.	$215,2 \cdot \sin(\omega t - 45^\circ)$.
4.	$152,64 \cdot e^{j45^\circ}$.
5.	$88 \cdot \sin(\omega t + 87^\circ)$.
6.	$254,4 \cdot e^{j8^\circ}$.

Номер відповіді	Відповіді
7.	$117 \cdot \sin(\omega t + 177^\circ)$.
8.	$62,2 \cdot e^{j87^\circ}$.
9.	$9 - j9$.
10.	$82,8 \cdot e^{j177^\circ}$.
11.	$358,7 \cdot \sin(\omega t + 8^\circ)$.
12.	$18 \cdot \sin(\omega t - 45^\circ)$.
13.	$146,72 \cdot \sin(\omega t + 140^\circ)$.
14.	$50,88 \cdot e^{j98^\circ}$.
15.	$-7,08 + j50,38$.
16.	$203,5 \cdot e^{j45^\circ}$.
17.	$287 \cdot \sin(\omega t + 45^\circ)$.
18.	$12,72 \cdot e^{-j45^\circ}$.

Продовження завдання
(умову дивись в табл. 5.13)

Таблиця 5.15

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Визначте комплекс повної потужності лінії електропередачі ($\tilde{S}_L$) в вольт-амперах.	
2.	Запишіть комплекс повної потужності лінії електропередачі в тригонометричній формі в вольт-амперах.	
3.	Запишіть комплекс повної потужності лінії електропередачі в алгебраїчній формі в вольт-амперах.	
4.	Запишіть втрати активної потужності в лінії електропередачі в ватах.	
5.	Запишіть реактивну потужність, яку споживає лінія електропередачі в вольт-амперах реактивних.	
6.	Визначте коефіцієнт потужності лінії електропередачі.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
7.	Визначте комплекс повної потужності, яку споживає все коло ($\tilde{S}$), в вольт-амперах.	
8.	Запишіть комплекс повної потужності, яку споживає все коло, в тригонометричній формі в вольт-амперах.	
9.	Запишіть комплекс повної потужності, яку споживає все коло, в алгебраїчній формі в вольт-амперах.	
10.	Запишіть активну потужність, яку споживає все коло, в ватах.	
11.	Запишіть реактивну потужність, яку споживає все коло, в вольт-амперах реактивних.	
12.	Визначте коефіцієнт потужності всього кола.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 18$.

Таблиця 5.15а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$2579 + j3422$.
2.	0,6.
3.	4501.
4.	$8280 \cdot \cos 57^\circ - j8280 \cdot \sin 57^\circ$.
5.	3422.
6.	2579.
7.	0,54.
8.	$4285 \cdot \cos 53^\circ + j4285 \cdot \sin 53^\circ$.
9.	$4501 - j6944$.
10.	$4285 \cdot e^{j53^\circ}$.
11.	6944.
12.	$8280 \cdot e^{-j57^\circ}$.

Тема 6 АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ

6.1 Передача електричної енергії по лінії змінного струму

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 6.1 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 6.1–6.2.
3. Виконати тести до пункту 6.1 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Електричне коло складається з джерела змінної синусоїдної напруги, до якого за допомогою лінії електропередачі підключене навантаження активно-індуктивного характеру. Розрахункова схема такого кола для комплексів показана на рис.6.1

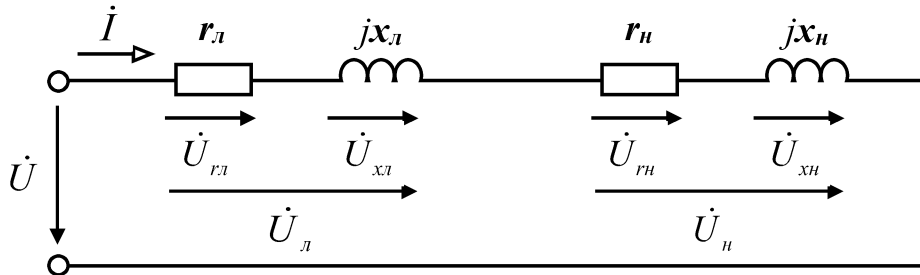


Рис.6.1

На рис.6.1 позначено: $\dot{U}$ – комплексне діюче значення напруги на затискачах джерела, В; $\dot{I}$ – комплексне діюче значення струму кола, А; $\dot{U}_l$ – комплексне діюче значення спадання напруги в лінії електропередачі, В; $\dot{U}_{rl}$, $\dot{U}_{xl}$ – комплексні діючі значення спадань напруг відповідно на активному і індуктивному опорах лінії електропередачі, В; $\dot{U}_n$ – комплексне діюче значення напруги на затискачах навантаження, В; $\dot{U}_{rn}$, $\dot{U}_{xn}$ – комплексні діючі значення спадань напруг відповідно на активному і індуктивному опорах навантаження, В; r_l , x_l – відповідно активний і індуктивний опори лінії електропередачі, Ом; r_n , x_n – відповідно активний і індуктивний опори навантаження, Ом.

Нехай відомо комплексне діюче значення напруги на затискачах джерела:

$$\dot{U} = U \cdot e^{j\psi_u}, \quad (6.1)$$

та значення опорів $r_{\text{л}}$, $x_{\text{л}}$, $r_{\text{н}}$, $x_{\text{н}}$. Аналіз електричного кола зводиться до визначення струму, напруг і потужностей кола та його елементів. Він наведений нижче.

Комплексний опір лінії електропередачі:

$$Z_{\text{л}} = r_{\text{л}} + jx_{\text{л}} ; \quad (6.2)$$

$$Z_{\text{л}} = z_{\text{л}} \cdot e^{j\varphi_{\text{л}}} , \quad (6.3)$$

де

$$z_{\text{л}} = \sqrt{r_{\text{л}}^2 + x_{\text{л}}^2} ; \quad \varphi_{\text{л}} = \arctg \frac{x_{\text{л}}}{r_{\text{л}}} . \quad (6.4)$$

Комплексний опір навантаження:

$$Z_{\text{н}} = r_{\text{н}} + jx_{\text{н}} ; \quad (6.5)$$

$$Z_{\text{н}} = z_{\text{н}} \cdot e^{j\varphi_{\text{н}}} , \quad (6.6)$$

де

$$z_{\text{н}} = \sqrt{r_{\text{н}}^2 + x_{\text{н}}^2} ; \quad \varphi_{\text{н}} = \arctg \frac{x_{\text{н}}}{r_{\text{н}}} . \quad (6.7)$$

Комплексний опір кола:

$$Z = (r_{\text{л}} + r_{\text{н}}) + j(x_{\text{л}} + x_{\text{н}}) ; \quad (6.8)$$

$$Z = z \cdot e^{j\varphi} , \quad (6.9)$$

де

$$z = \sqrt{(r_{\text{л}} + r_{\text{н}})^2 + (x_{\text{л}} + x_{\text{н}})^2} ; \quad \varphi = \arctg \frac{x_{\text{л}} + x_{\text{н}}}{r_{\text{л}} + r_{\text{н}}} . \quad (6.10)$$

Комплексне діюче значення струму кола:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} . \quad (6.11)$$

Після підстановки (6.1) і (6.9) у (6.11) та перетворень отримаємо:

$$\dot{I} = I \cdot e^{j\psi_i} , \quad (6.12)$$

де

$$I = \frac{U}{Z}; \quad \psi_i = \psi_u - \varphi. \quad (6.13)$$

Комплексне діюче значення спадання напруги в лінії електропередачі:

$$\dot{U}_l = Z_l \cdot \dot{I}. \quad (6.14)$$

Після підстановки (6.3) і (6.12) у (6.14) та перетворень отримаємо:

$$\dot{U}_l = U_l \cdot e^{j\psi_{ul}}, \quad (6.15)$$

де

$$U_l = z_l \cdot I; \quad \psi_{ul} = \psi_i + \varphi_l. \quad (6.16)$$

Комплексне діюче значення напруги навантаження:

$$\dot{U}_n = Z_n \cdot \dot{I}. \quad (6.17)$$

Після підстановки (6.3) і (6.12) у (6.14) та перетворень отримаємо:

$$\dot{U}_n = U_n \cdot e^{j\psi_{un}}, \quad (6.18)$$

де

$$U_n = z_n \cdot I; \quad \psi_{un} = \psi_i + \varphi_n. \quad (6.19)$$

Комплексне діюче значення напруги на затискачах кола згідно другого закону Кірхгофа:

$$\dot{U} = \dot{U}_l + \dot{U}_n; \quad (6.20)$$

або

$$\dot{U} = \dot{U}_{rl} + \dot{U}_{xl} + \dot{U}_{rn} + \dot{U}_{xn}; \quad (6.21)$$

або

$$\dot{U} = r_l \cdot \dot{I} + jx_l \cdot \dot{I} + r_n \cdot \dot{I} + jx_n \cdot \dot{I}. \quad (6.22)$$

Комплексна потужність кола:

$$\tilde{S} = \dot{U} \cdot \dot{I}^*. \quad (6.23)$$

Після підстановки (6.1) і (6.12) у (6.23) та перетворень отримаємо:

$$\tilde{S} = S \cdot e^{j\varphi}, \quad (6.24)$$

де

$$S = U \cdot I; \quad \varphi = \psi_u - \psi_i. \quad (6.25)$$

Комплексна потужність лінії електропередачі:

$$\tilde{S}_l = \dot{U}_l \cdot I^*. \quad (6.26)$$

Після підстановки (6.15) і (6.12) у (6.26) та перетворень отримаємо:

$$\tilde{S}_l = S_l \cdot e^{j\varphi_l}, \quad (6.27)$$

де

$$S_l = U_l \cdot I; \quad \varphi_l = \psi_{ul} - \psi_i. \quad (6.28)$$

Комплексна потужність навантаження:

$$\tilde{S}_n = \dot{U}_n \cdot I^*. \quad (6.29)$$

Після підстановки (6.15) і (6.12) у (6.26) та перетворень отримаємо:

$$\tilde{S}_n = S_n \cdot e^{j\varphi_n}, \quad (6.30)$$

де

$$S_n = U_n \cdot I; \quad \varphi_n = \psi_{un} - \psi_i. \quad (6.31)$$

Баланс потужностей кола:

$$\tilde{S} = \tilde{S}_l + \tilde{S}_n; \quad (6.32)$$

або

$$\dot{U} \cdot I^* = \dot{U}_l \cdot I^* + \dot{U}_n \cdot I^*; \quad (6.33)$$

або

$$S \cdot e^{j\varphi} = S_l \cdot e^{j\varphi_l} + S_n \cdot e^{j\varphi_n}; \quad (6.34)$$

або

$$P + jQ = P_l + jQ_l + P_n + jQ_n, \quad (6.35)$$

де

$$P = S \cdot \cos \varphi; \quad Q = S \cdot \sin \varphi; \quad (6.36)$$

$$P_l = S_l \cdot \cos \varphi_l; \quad Q_l = S_l \cdot \sin \varphi_l; \quad (6.37)$$

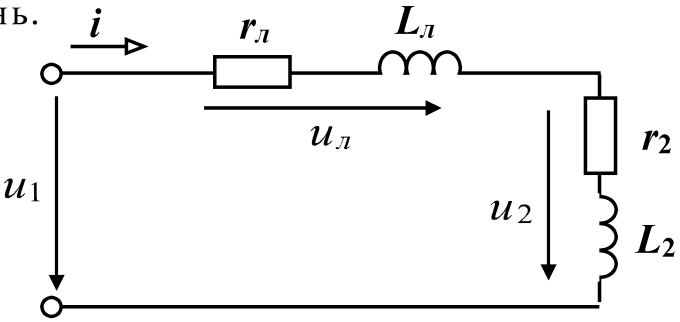
$$P_n = S_n \cdot \cos \varphi_n; \quad Q_n = S_n \cdot \sin \varphi_n. \quad (6.38)$$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Тести інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 6.1

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
	Дана розрахункова схема електричного кола, яке складається з послідовно з'єднаних елементів: лінії електропередачі незначної довжини (із зосередженими параметрами r_l і L_l) та навантаження (із зосередженими параметрами r_2 і L_2), для миттєвих значень. 	
1.	Запишіть рівняння електричної рівноваги кола для миттєвих значень.	
2.	Зобразіть розрахункову схему електричного кола, наведеного в умові, для комплексів.	
3.	Запишіть рівняння електричної рівноваги кола для комплексів.	
4.	Запишіть математичний вираз для визначення комплексного діючого значення сили струму в колі.	
5.	Зобразіть векторну діаграму комплексних діючих значень напруг і струму кола, прийнявши, що початкова фаза струму дорівнює нулю.	
6.	Запишіть вираз для визначення комплексного діючого значення спадання напруги на активному опорі лінії електропередачі.	
7.	Запишіть вираз для визначення комплексного діючого значення спадання напруги на індуктивному опорі лінії електропередачі	
8.	Запишіть вираз для визначення комплексного діючого значення спадання напруги в лінії електропередачі.	

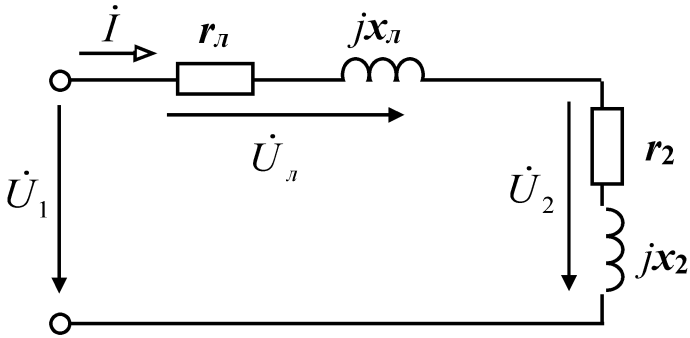
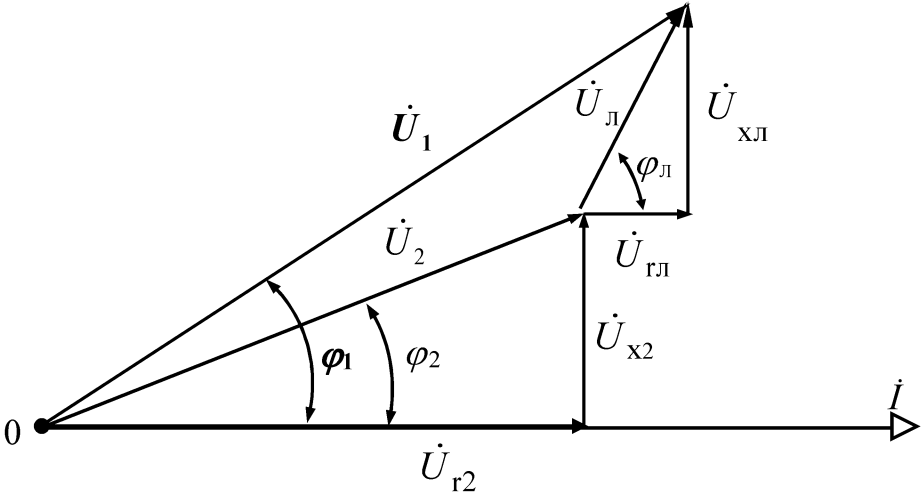
Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
9.	Запишіть вираз для визначення комплексного діючого значення спадання напруги на активному опорі навантаження.	
10.	Запишіть вираз для визначення комплексного діючого значення спадання напруги на індуктивному опорі навантаження.	
11.	Запишіть вираз для визначення комплексного діючого значення напруги на затискачах навантаження.	
12.	Запишіть вираз, який відображає взаємозв'язок між комплексними діючими значеннями напруг кола.	
13.	Що таке спадання напруги в лінії електропередачі?	
14.	Запишіть вираз для визначення спадання напруги в лінії електропередачі.	
15.	Що таке втрата напруги в лінії електропередачі?	
16.	Запишіть вираз для визначення втрати напруги в лінії електропередачі.	
17.	У якому випадку втрата напруги в лінії електропередачі дорівнює спаданню напруги в лінії електропередачі?	
18.	Порівняйте втрату напруги в лінії електропередачі ΔU_L та спадання напруги в лінії електропередачі U_L для випадку, коли кут зсуву фаз навантаження дорівнює куту зсуву фаз лінії електропередачі.	
19.	Порівняйте втрату напруги в лінії електропередачі ΔU_L та спадання напруги в лінії електропередачі U_L для випадку, коли кут зсуву фаз навантаження не дорівнює куту зсуву фаз лінії електропередачі.	
20.	Запишіть вираз для визначення діючого значення сили струму в колі.	
21.	Запишіть вираз для визначення втрат активної потужності в лінії електропередачі.	
22.	Запишіть вираз для визначення реактивної потужності лінії електропередачі.	
23.	Запишіть вираз для визначення повної потужності лінії електропередачі.	
24.	Запишіть вираз для визначення активної потужності навантаження.	
25.	Запишіть вираз для визначення реактивної потужності навантаження.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
26.	Запишіть вираз для визначення повної потужності навантаження.	
27.	Коли активна потужність навантаження буде максимальною при незмінному куті зсуву фаз навантаження?	
28.	Запишіть умову, коли активна потужність навантаження буде максимальною при незмінному куті зсуву фаз навантаження.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 10$.

Таблиця 6.1а

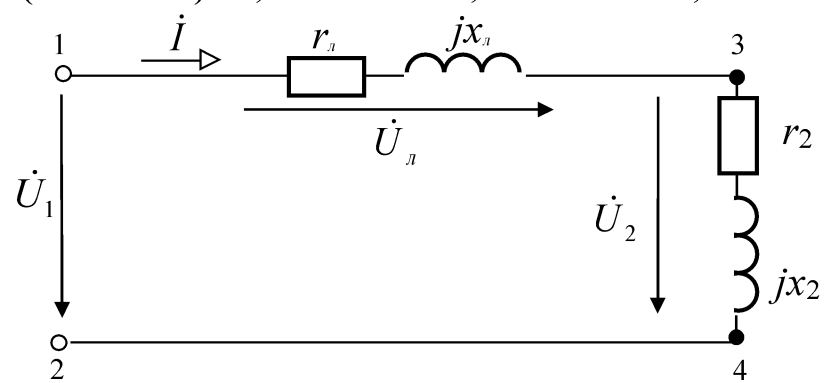
Номер відповіді	Відповіді
1.	$I = \frac{U_1}{\sqrt{(r_{\text{л}} + r_2)^2 + (\omega L_{\text{л}} + \omega L_2)^2}}.$
2.	$P_{\text{л}} = r_{\text{л}} \cdot I^2.$
3.	$U_{r_2} = r_2 \cdot \dot{I}.$
4.	$Q_{\text{л}} = x_{\text{л}} \cdot I^2.$
5.	$u_1 = r_{\text{л}} i + L_{\text{л}} \frac{di}{dt} + r_2 i + L_2 \frac{di}{dt}.$
6.	$S_{\text{л}} = z_{\text{л}} \cdot I^2.$
7.	$\Delta U_{\text{л}} = U_{\text{л}}.$
8.	$P = r_2 \cdot I^2.$
9.	$\dot{U}_{x_2} = jx_2 \cdot \dot{I}.$
10.	$\Delta U_{\text{л}} = U_1 - U_2.$
11.	$Q = x_2 \cdot I^2.$
12.	$\dot{U}_{x_{\text{л}}} = jx_{\text{л}} \cdot \dot{I}.$

Номер відповіді	Відповіді
13.	$S = z_2 \cdot I^2$.
14.	Коли повний опір споживача буде дорівнювати повному опору лінії.
15.	$z_{\text{л}} = z_2$.
16.	
17.	$\dot{U}_1 = r_{\text{л}} \dot{I} + j\omega L_{\text{л}} \dot{I} + r_2 \dot{I} + j\omega L_2 \dot{I}$.
18.	$\dot{U}_2 = r_2 \cdot \dot{I} + j\omega L_2 \cdot \dot{I}$.
19.	$\dot{U}_{\text{л}} = r_{\text{л}} \cdot \dot{I} + j\omega L_{\text{л}} \cdot \dot{I}$.
20.	Алгебраїчна різниця між діючими значеннями напруг на початку і наприкінці лінії.
21.	$\dot{I} = \frac{\dot{U}_1}{r_{\text{л}} + j\omega L_{\text{л}} + r_2 + j\omega L_2}$.
22.	Добуток повного опору лінії електропередачі на діюче значення сили струму в ній.
23.	

Номер відповіді	Відповіді
24.	$\dot{U}_{r_l} = r_l \cdot \dot{I}$.
25.	$\dot{U}_l + \dot{U}_2 = \dot{U}_1$.
26.	$U_l = z_l \cdot I$.
27.	Коли кут зсуву фаз навантаження дорівнює куту зсуву фаз лінії електропередачі.
28.	$\Delta U_l < U_l$.

Тести практично-стереотипного характеру

Таблиця 6.2

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми електричного кола відомо: $u_1 = 211,5 \cdot \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ В}$, $r_l = 3 \text{ Ом}$; $x_l = 5 \text{ Ом}$; $r_2 = 12 \text{ Ом}$; $x_2 = 16 \text{ Ом}$. 		
1.	Визначте комплексний опір лінії електропередачі в алгебраїчній формі в омах.	
2.	Визначте комплексний опір лінії електропередачі в показовій формі в омах.	
3.	Визначте комплексний опір навантаження в алгебраїчній формі в омах.	
4.	Визначте комплексний опір навантаження в показовій формі в омах.	
5.	Визначте комплексний опір кола в алгебраїчній формі в омах.	
6.	Визначте комплексний опір кола в показовій формі в омах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
7.	Визначте комплексне діюче значення напруги на затискачах кола в показовій формі в вольтах.	
8.	Визначте комплексне діюче значення сили струму в колі в показовій формі в амперах.	
9.	Визначте комплексне діюче значення спадання напруги на активному опорі лінії електропередачі в показовій формі в вольтах.	
10.	Визначте комплексне діюче значення спадання напруги на індуктивному опорі лінії електропередачі в показовій формі в вольтах.	
11.	Визначте комплексне діюче значення спадання напруги в лінії електропередачі в показовій формі в вольтах.	
12.	Визначте комплексне діюче значення спадання напруги на активному опорі навантаження в показовій формі в вольтах.	
13.	Визначте комплексне діюче значення спадання напруги на індуктивному опорі навантаження в показовій формі в вольтах.	
14.	Визначте комплексне діюче значення напруги на навантаженні в показовій формі в вольтах.	
15.	Визначте спадання напруги в лінії електропередачі в вольтах.	
16.	Визначте втрату напруги в лінії електропередачі в вольтах.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 5$.

Таблиця 6.2а

Номер відповіді	Відповіді
1.	33,87.
2.	$5,81 \cdot e^{-j25^\circ}$.
3.	$25,81 \cdot e^{j55^\circ}$.
4.	$69,72 \cdot e^{-j25^\circ}$.
5.	$17,44 \cdot e^{-j25^\circ}$.
6.	$150 \cdot e^{j30^\circ}$.
7.	$29,05 \cdot e^{j65^\circ}$.
8.	$3 + j5$.

Номер відповіді	Відповіді
9.	$92,96 \cdot e^{j65^\circ}$.
10.	$116,2 \cdot e^{j28^\circ}$.
11.	$20 \cdot e^{j53^\circ}$.
12.	$15 + j21$.
13.	$5,83 \cdot e^{j59^\circ}$.
14.	$33,87 \cdot e^{j34^\circ}$.
15.	$12 + j16$.
16.	33,8.

6.2 Кругова діаграма струму нерозгалуженого кола

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 6.2 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблиці 6.3.
3. Виконати тести до пункту 6.2 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Для аналізу електричних кіл синусоїдного струму застосовують **кругову діаграму струму** – коло, яке є геометричним місцем вектора струму при зміні модулю одного з комплексних опорів кола і незмінності інших фізичних величин, що характеризують роботу кола. Вона дозволяє аналізувати роботу електричного кола при зміні одного з її комплексних опорів на відміну від векторної діаграми, яка будується для незмінних значень опорів.

Для побудови кругової діаграми струму розглянемо електричне коло, наведене на рис.6.1, у випадку зміни Z_H за умови $\varphi_H = \text{const}$. Рівняння кругової діаграми струму цього кола таке:

$$\dot{I} = \frac{\dot{I}_{К.З}}{1 + \frac{Z_H}{Z_L} e^{j\psi}}, \quad (6.39)$$

де

$$\dot{I}_{К.З} = \frac{\dot{U}}{Z_L}; \quad \psi = \varphi_H - \varphi_L. \quad (6.40)$$

Кругова діаграма струму (рис.6.2) із використанням (6.39) і (6.40) будується так:

- відкладаються на комплексній площині вектори напруги $\dot{U}$ і струму короткого замикання $\dot{I}_{к.з.}$;
- на векторі струму короткого замикання відкладається значення повного опору z_n в обраному масштабі повного опору (відрізок ОА);
- через точку А під кутом $-\psi$ до вектора струму короткого замикання проводиться лінія змінного параметру (пряма АN);
- з точки О перпендикулярно лінії змінного параметру проводиться пряма ОD;
- з середини вектора струму короткого замикання (точки О') проводиться перпендикулярно до нього пряма лінія до перетину з прямою ОD; точка перетину С є центром кругової діаграми; проводиться дуга між точкою О та кінцем вектора $\dot{I}_{к.з.}$ з центром у точці С;
- на лінії змінного параметра відкладається значення повного опору z_n в обраному масштабі повного опору (відрізок АМ);
- з'єднуються прямою лінією точки О і М та знаходиться вектор струму $\dot{I}$, який відповідає значенню опору z_n .

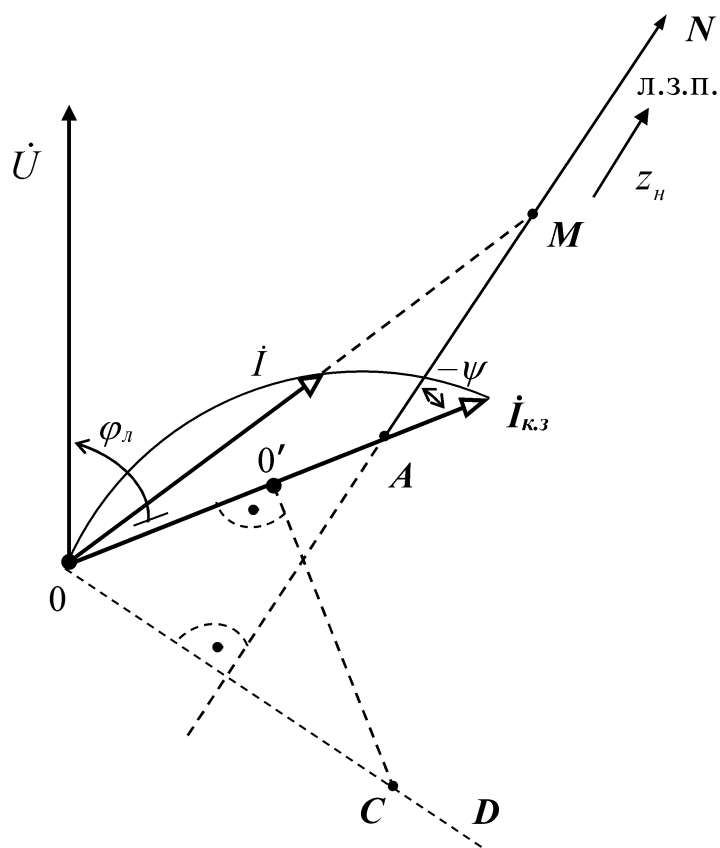


Рис.6.2

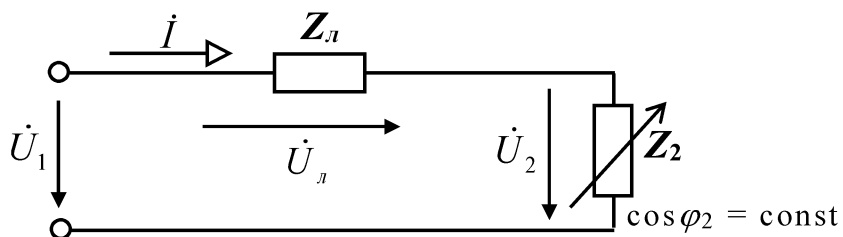
Якщо змінюється повний опір споживача z_n від нуля до нескінченності, то комплексний струму $\dot{I}$ змінюється від $\dot{I}_{к.з.}$ до нуля, при цьому кінець вектора струму описує дугу кола з центром у точці С.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Тести інформаційно-репродуктивного характеру

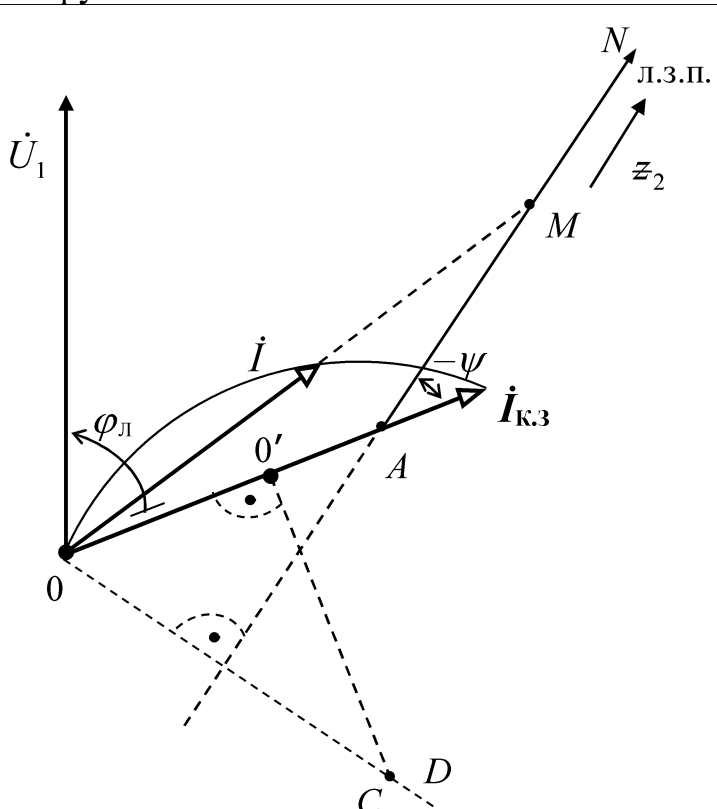
Таблиця 6.3

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Дана розрахункова схема електричного кола, яке складається з послідовно з'єднаних елементів: лінії електропередачі незначної довжини (із постійним значенням комплексного опору Z_L) та навантаження (зі змінним значенням комплексного опору Z_2, та постійним значенням коефіцієнту потужності $\cos\varphi_2$), для комплексів. 		
1.	Запишіть вираз для визначення комплексного діючого значення сили струму в колі.	
2.	Запишіть рівняння годографа вектора струму даного кола (рівняння кругової діаграми струму).	
3.	Запишіть вираз комплексного діючого значення струму короткого замикання у рівнянні кругової діаграми струму.	
4.	Запишіть вираз куту нахилу лінії змінного параметру відносно вектора струму короткого замикання у рівнянні кругової діаграми струму.	
5.	Як визначити масштаб опорів на круговій діаграмі струму?	
6.	Яка перша дію алгоритму побудови кругової діаграми струму кола.	
7.	Яка друга дія алгоритму побудови кругової діаграми струму кола?	
8.	Яка третя дія алгоритму побудови кругової діаграми струму кола?	
9.	Яка четверта дія алгоритму побудови кругової діаграми струму кола?	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
10.	Яка п'ята дія алгоритму побудови кругової діаграми струму кола?	
11.	Яка шоста дія алгоритму побудови кругової діаграми струму кола?	
12.	Яка сьома дія алгоритму побудови кругової діаграми струму кола?	
13.	Яка восьма дія алгоритму побудови кругової діаграми струму кола?	
14.	Зобразіть якісно кругову діаграму струму кола.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -19$.

Таблиця 6.3а

Номер відповіді	Відповіді
1.	З початку координат провести перпендикуляр (лінію OD) до лінії змінного параметра (лінії AN).
2.	$\psi = \varphi_2 - \varphi_1$.
3.	Відкласти значення повного опору z_L (відрізок OA) на векторі струму короткого замикання $\dot{I}_{\text{к.з}}$ в обраному масштабі повного опору.
4.	

Номер відповіді	Відповіді
5.	$\dot{I} = \frac{\dot{U}_1}{Z_L + Z_2}.$
6.	Із точки перетину С провести дугу між початком координат (точкою О) та кінцем вектора струму короткого замикання $\dot{I}_{к.з.}$.
7.	Відкласти на лінії змінного параметру (лінії АН) в обраному масштабі повного опору значення опору z_2 (відрізок АМ).
8.	$\dot{I}_{кз} = \frac{\dot{U}_1}{Z_L}.$
9.	Довільно, виходячи зі зручності побудови.
10.	Відкласти на комплексній площині вектори діючих значень напруги $\dot{U}_1$ і струму короткого замикання $\dot{I}_{к.з.}$ в обраних масштабах напруги та струму.
11.	З'єднати прямою лінією точки О і М та знайти вектор струму $\dot{I}$, який відповідає значенню опору z_2 .
12.	$\dot{I} = \frac{\dot{I}_{к.з.}}{1 + \frac{Z_H}{Z_L} e^{j\psi}}.$
13.	Під кутом $-\psi$ до вектора струму короткого замикання $\dot{I}_{к.з.}$ провести лінію змінного параметра (лінію АН).
14.	Із середини вектора струму короткого замикання $\dot{I}_{к.з.}$ провести перпендикулярно до нього лінію до перетину з лінією ОД (точка перетину С буде центром кругової діаграми).

6.3 Аналіз кола з послідовно з'єднаними котушкою та конденсатором змінної ємності

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 6.3 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблиці 6.4.
3. Виконати тести до пункту 6.3 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Для аналізу електричного кола синусоїдного струму, яке має активний опір r , індуктивний опір x_L і ємнісний опір x_C , застосовують кругову діаграму струму. Якщо з перелічених параметрів кола змінюватись буде тільки x_C , то рівняння кругової діаграми струму буде таким:

$$\dot{I} = \frac{\dot{I}_{к.з}}{1 + \frac{x_c}{z} e^{j\psi}}, \quad (6.41)$$

де

$$\dot{I}_{к.з} = \frac{\dot{U}}{z}; \quad \psi = 90^\circ - \varphi; \quad (6.42)$$

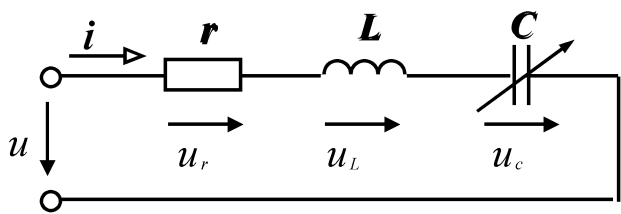
$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2}; \quad \varphi = \arctg \frac{x_L}{r}. \quad (6.43)$$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Тести інформаційно-репродуктивного характеру

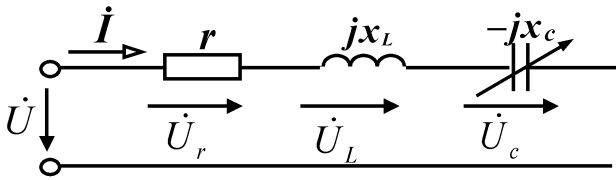
Таблиця 6.4

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
	Дана розрахункову схему електричного кола, яке складається з послідовно з'єднаних елементів: котушки індуктивності (із зосередженими параметрами r і L) та конденсатора змінної ємності (з параметром C), для миттєвих значень. 	
1.	Зобразіть розрахункову схему даного електричного кола для комплексів.	
2.	Запишіть вираз для визначення комплексного діючого значення сили струму в колі.	
3.	Запишіть рівняння годографа вектора струму цього кола (рівняння кругової діаграми струму).	
4.	Запишіть вираз для визначення комплексного діючого значення струму короткого замикання у рівнянні кругової діаграми струму.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
5.	Запишіть вираз для визначення куту нахилу лінії змінного параметру відносно вектора струму короткого замикання у рівнянні кругової діаграми струму.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -1$.

Таблиця 6.4а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$\dot{I} = \frac{\dot{I}_{\text{к.з}}}{1 + \frac{x_c}{\sqrt{r^2 + x_L^2}} e^{-j\psi}} .$
2.	
3.	$\dot{I}_{\text{к.з}} = \frac{\dot{U}}{r + jx_L} .$
4.	$\psi = 90^\circ + \arctg \frac{x_L}{r} .$
5.	$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{r + jx_L - jx_c} .$

6.4 Аналіз кола з паралельно з'єднаними котушкою та конденсатором змінної ємності

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 6.4 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 6.5–6.6.
3. Виконати тести до пункту 6.4 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Розрахункова схема електричного кола синусоїдного струму з паралельно з'єднаними котушкою і конденсатором змінної ємності наведена на рис.6.3.

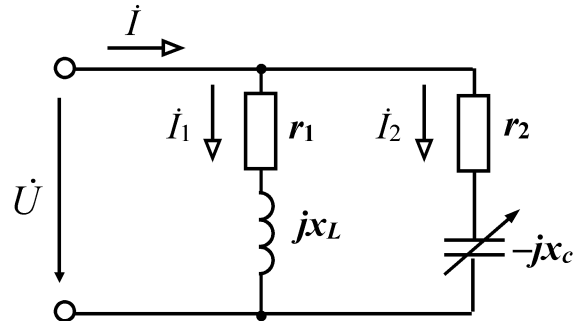


Рис.6.3

На розрахунковій схемі (рис.6.3) позначено: $\dot{U}$ – комплексне діюче значення напруги на затискачах кола, В; $\dot{I}$, $\dot{I}_1$, $\dot{I}_2$ – комплексні діючі значення струмів відповідно загальної частини кола, котушки і конденсатора, А; r_1 , r_2 – активні опори відповідно котушки і конденсатора, Ом; x_L – індуктивний опір котушки, Ом; x_c – ємнісний опір конденсатора, Ом.

Режим роботи електричного кола з паралельно з'єднаними котушкою і конденсатором, за якого реактивні складові струмів котушки і конденсатора дорівнюють одна одній, називається **резонансом струмів**. Він виникає за умови, коли індуктивна провідність котушки дорівнює ємнісній провідності конденсатора. При такому режимі роботи напруга і струм у загальній частині кола збігаються за фазою. Котушка і конденсатор споживають від джерела тільки активну потужність. Між котушкою і конденсатором відбувається безперервний обмін реактивною енергією: енергія електричного поля конденсатора переходить в енергію магнітного поля котушки і навпаки.

Рівняння кругової діаграми струму конденсатора буде таким:

$$\dot{I} = \frac{\dot{I}_{2_к.з}}{1 + \frac{x_c}{r_2} e^{j\psi}}, \quad (6.44)$$

де

$$\dot{I}_{2_к.з} = \frac{\dot{U}}{r_2}; \quad \psi = 90^\circ. \quad (6.45)$$

Кругова діаграма, побудована за (6.44) і (6.45) показує, що у цьому колі при зміні ємнісного опору від нуля до нескінченності можливі три режими: двох резонансів, одного резонансу і без резонансу струмів.

Режим двох резонансів струмів спостерігається за наступної умови:

$$I_1 \sin \varphi_1 < \frac{U}{2r_2}. \quad (6.46)$$

Режим одного резонансу струмів спостерігається за наступної умови:

$$I_1 \sin \varphi_1 = \frac{U}{2r_2}. \quad (6.47)$$

Режим без резонансу струмів спостерігається за наступної умови:

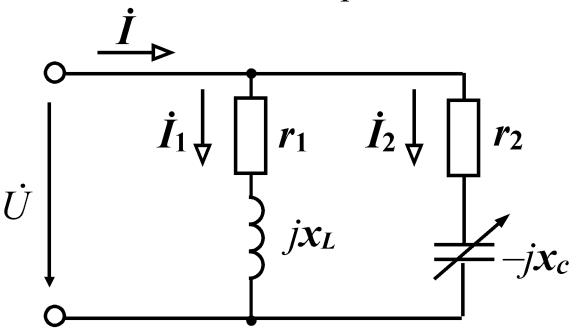
$$I_1 \sin \varphi_1 > \frac{U}{2r_2}. \quad (6.48)$$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Тести інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 6.5

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Дана розрахункова схема електричного кола. 		
1.	Запишіть математичний вираз для визначення активної провідності першої вітки кола.	
2.	Запишіть математичний вираз для визначення реактивної провідності першої вітки кола.	
3.	Запишіть математичний вираз для визначення активної провідності другої вітки кола.	

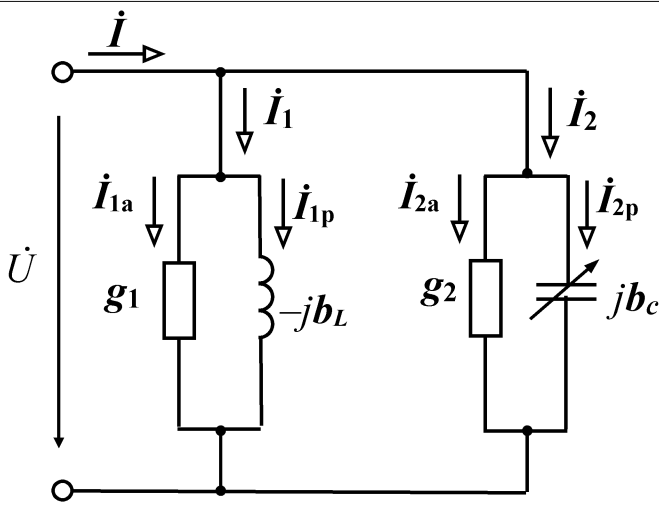
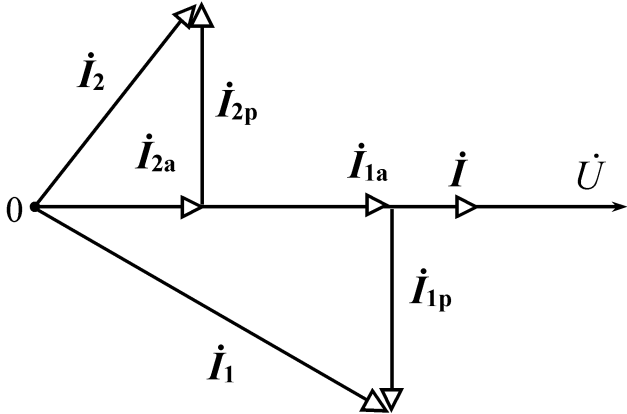
Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
4.	Запишіть математичний вираз для визначення реактивної провідності другої вітки кола.	
5.	Зобразіть еквівалентну розрахункову схему даного кола з паралельним включенням елементів кола.	
6.	Зобразіть векторну діаграму кола для випадку, коли реактивні складові комплексних струмів $\dot{I}_1$ та $\dot{I}_2$ мають однакові значення.	
7.	Дайте визначення резонансу струмів цього кола.	
8.	Наведіть умову виникнення резонансу струмів у цьому колі.	
9.	Виконайте математичний запис умови виникнення резонансу струмів у цьому колі.	
10.	Запишіть вираз для визначення комплексного діючого значення струму в нерозгалуженій частині кола через комплексні діючі значення струмів у вітках.	
11.	Запишіть вираз для визначення комплексного діючого значення струму $\dot{I}_1$ в першій вітці кола.	
12.	Запишіть вираз для визначення комплексного діючого значення струму $\dot{I}_2$ в другій вітці кола.	
13.	Запишіть вираз для визначення комплексної провідності кола.	
14.	Запишіть вираз для визначення комплексного діючого значення струму в нерозгалуженій частині кола через комплексну провідність та комплексне діюче значення напруги.	
15.	Запишіть рівняння кругової діаграми струму у другій вітці даного кола $\dot{I}_2$.	
16.	Запишіть вираз для визначення комплексного діючого значення струму короткого замикання у рівнянні кругової діаграми струму.	
17.	Запишіть вираз для визначення куту нахилу лінії змінного параметру відносно вектора струму короткого замикання у рівнянні кругової діаграми струму.	
18.	Наведіть умову виникнення двох резонансів струмів у даному колі.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
19.	Наведіть умову виникнення одного резонансу струмів у даному колі.	
20.	Наведіть умову, за якої це коло буде працювати в режимі без резонансу струмів.	

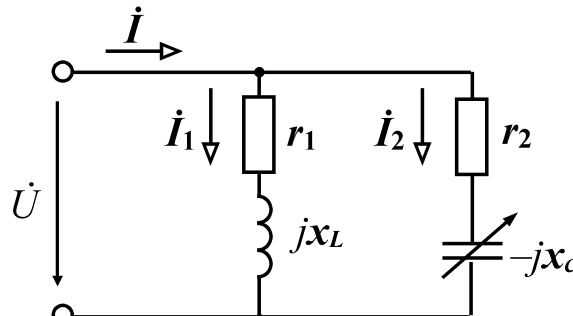
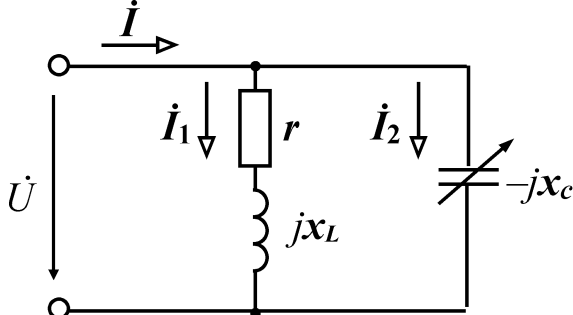
У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -8$.

Таблиця 6.5а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$\dot{I}_1 = (g_1 - jb_L) \cdot \dot{U}.$
2.	$I_1 \sin \varphi_1 < \frac{U}{2r_2}.$
3.	$I_1 \sin \varphi_1 > \frac{U}{2r_2}.$
4.	$\dot{I}_2 = (g_2 + jb_c) \cdot \dot{U}.$
5.	$I_1 \sin \varphi_1 = \frac{U}{2r_2}.$
6.	$Y = g_1 + g_2 - jb_L + jb_c.$
7.	$\psi = -90^\circ.$
8.	$\dot{I} = (g_1 + g_2 - jb_L + jb_c) \cdot \dot{U}.$
9.	$\dot{I}_2 = \frac{\dot{I}_{2 \text{ КЗ}}}{1 + \frac{x_c}{r_2} e^{j\psi}}.$
10.	$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{r_1 + jx_L}.$
11.	$g_1 = \frac{r_1}{z_1^2}.$

Номер відповіді	Відповіді
12.	Режим кола, при якому реактивні складові струмів у вітках розгалуженого кола дорівнюють одна одній.
13.	$b_1 = \frac{x_L}{z_1^2}$.
14.	Коли індуктивна провідність розгалуженого кола дорівнює ємнісній провідності.
15.	$g_2 = \frac{r_2}{z_2^2}$.
16.	$b_L = b_c$.
17.	$b_2 = \frac{x_c}{z_2^2}$.
18.	$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$.
19.	
20.	

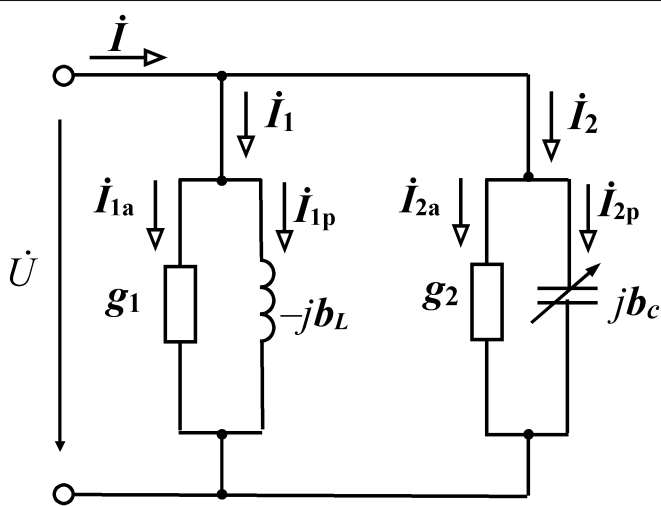
Таблиця 6.6

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми електричного кола відомо: $r_1 = 10 \text{ Ом}$, $x_L = 20 \text{ Ом}$, $r_2 = 5 \text{ Ом}$. 		
1.	Визначте активну провідність першої вітки кола в сіменсах.	
2.	Визначте індуктивну провідність першої вітки кола в сіменсах.	
3.	Зобразіть еквівалентну розрахункову схему даного кола з паралельним включенням елементів.	
4.	Виконайте математичний запис умови виникнення резонансу струмів у даному колі.	
5.	Виконайте математичний запис умови виникнення резонансу струмів у даному колі, підставивши у нього всі відомі значення параметрів кола.	
6.	Визначте значення ємнісного опору в омах, за яких у колі настає резонанс струмів.	
Для розрахункової схеми електричного кола відомо значення параметрів: $r = 10 \text{ Ом}$, $x_L = 20 \text{ Ом}$. 		
7.	Виконайте математичний запис умови виникнення резонансу струмів у даному колі.	
8.	Запишіть математичний вираз для визначення значення ємнісного опору, за якого в колі настане резонанс струмів.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
9.	Визначте значення ємнісного опору кола в омах, за якого в колі настане резонанс струмів.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 5$.

Таблиця 6.6а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$0,04 = \frac{x_c}{25 + x_c^2} \cdot$
2.	$\frac{x_L}{r_1^2 + x_L^2} = \frac{x_c}{r_2^2 + x_c^2} \cdot$
3.	0,5; 24,5.
4.	0,02.
5.	$\frac{x_L}{r^2 + x_L^2} = \frac{1}{x_c} \cdot$
6.	$x_c = \frac{r^2 + x_L^2}{x_L} \cdot$
7.	
8.	25 .
9.	0,04.

6.5 Компенсація реактивної потужності

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 6.5 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 6.7–6.8.
3. Виконати тести до пункту 6.5 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

На практиці властивості резонансу струмів застосовують для компенсації реактивної потужності споживачів. Як правило, споживачі мають активно-індуктивний характер. Тому при підключенні паралельно такому споживачу конденсатора відбувається зменшення реактивної потужності, якою споживач обмінюється з мережею. Внаслідок цього знижується сила струму у мережі і відповідно втрати потужності у ній.

Для споживача відома активна потужність P_n , реактивна потужність Q_n і заданий йому енергосистемою коефіцієнт потужності $\cos \varphi$. Тоді ємнісна потужність конденсатора, який потрібно включити паралельно споживачу для досягнення заданого коефіцієнту потужності, дорівнює:

$$Q_c = P_n \cdot (\operatorname{tg} \varphi_n - \operatorname{tg} \varphi), \quad (6.49)$$

де

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \frac{Q_n}{P_n}. \quad (6.50)$$

Можливі три режими компенсації реактивної потужності:

- а) режим неповної компенсації, коли $b_c < b_n$ (b_c – ємнісна провідність конденсатора, b_n – індуктивна провідність споживача);
- б) режим повної компенсації, коли $b_c = b_n$;
- в) режим перекомпенсації, коли $b_c > b_n$.

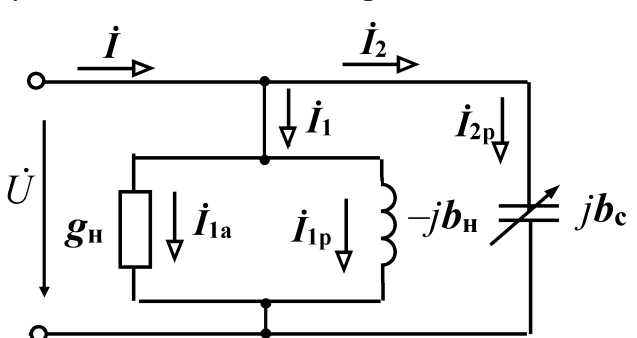
Найбільш ефективним є режим повної компенсації, тому що у такому режимі діюче значення сили струму у лінії електропередачі, а відповідно і втрати активної потужності у ній мінімальні. Найменш ефективним є режим перекомпенсації, тому що у такому режимі діюче значення сили струму у лінії електропередачі збільшується і може перевищити аналогічне значення до компенсації. На практиці, як правило, компенсують реактивну потужність у великих споживачів, задаючи їм $\cos \varphi = 0,9 \dots 0,95$.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Тести інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 6.7

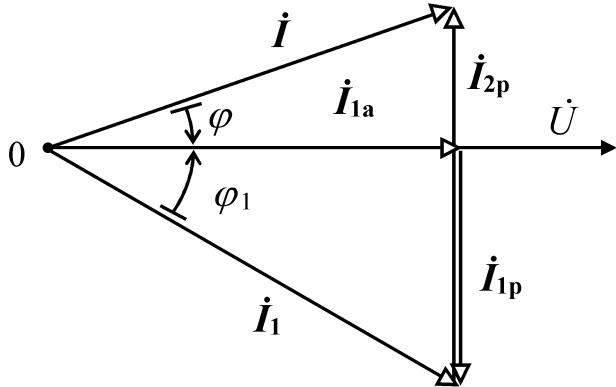
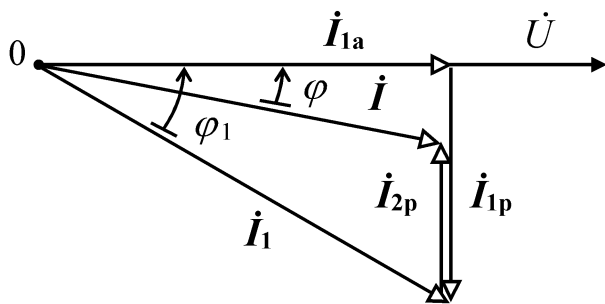
Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Яку за характером електричну енергію споживають змішані виробничі споживачі?	
2.	Для чого змішані виробничі споживачі споживають реактивну енергію індуктивного характеру?	
3.	Як досягти компенсації реактивної потужності змішаного виробничого споживача?	
4.	Що розуміють під компенсацією реактивної потужності змішаного виробничого споживача?	
Дана розрахункова схема електричного кола. 		
5.	Скільки режимів компенсації реактивної потужності можливо у даному колі?	
6.	Виконайте математичний запис умови режиму неповної компенсації реактивної потужності.	
7.	Зобразіть векторну діаграму кола для режиму неповної компенсації реактивної потужності.	
8.	Виконайте математичний запис умови режиму повної компенсації реактивної потужності.	
9.	Зобразіть векторну діаграму кола для режиму повної компенсації реактивної потужності.	
10.	Виконайте математичний запис умови режиму перекомпенсації реактивної потужності.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
11.	Зобразіть векторну діаграму кола для режиму перекомпенсації реактивної потужності.	
12.	Що відбувається зі струмом в лінії електропередачі в режимі повної компенсації реактивної потужності?	
13.	Чому дорівнює кут зсуву фаз кола в режимі повної компенсації реактивної потужності?	
14.	Що відбувається з втратами потужності в лінії електропередачі в режимі повної компенсації реактивної потужності?	
15.	Чому дорівнює повна потужність навантаження в режимі повної компенсації реактивної потужності?	
16.	Для розгалуженого електричного кола відома активна потужність навантаження P_n, поточний кут зсуву фаз навантаження φ_n, кут зсуву фаз навантаження після компенсації φ. Запишіть математичний вираз для визначення реактивної потужності конденсаторної установки для компенсації реактивної енергії.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -7$.

Таблиця 6.7а

Номер відповіді	Відповіді
1.	
2.	$b_H > b_c$.
3.	$b_H < b_c$.
4.	Активну та реактивну (індуктивного характеру).

Номер відповіді	Відповіді
5.	
6.	Паралельно споживачу підключити конденсатор змінної ємності.
7.	$Q_C = P_H \cdot (\operatorname{tg} \varphi_H - \operatorname{tg} \varphi).$
8.	Зменшується.
9.	Активній потужності навантаження.
10.	Три.
11.	$b_H = b_c.$
12.	Для створення магнітного поля.
13.	Нулю.
14.	Резонанс струмів, при якому реактивна потужність не споживається від джерела енергії, а відбувається обмін реактивною енергією між споживачем і конденсатором.
15.	Зменшуються.
16.	

Тести практично-стереотипного характеру

Таблиця 6.8

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для електричного кола відома активний опір навантаження $r_n = 12 \text{ Ом}$, індуктивний опір навантаження $x_n = 16 \text{ Ом}$, діюче значення напруги навантаження $U_n = 200 \text{ В}$, заданий коефіцієнт потужності навантаження після компенсації $\cos \varphi = 0,96$.		
1.	Визначте повний опір навантаження в омах.	
2.	Визначте діюче значення сили струму навантаження в амперах.	
3.	Визначте активну потужність, яку споживає навантаження, в ватах.	
4.	Визначте поточний тангенс кута зсуву фаз навантаження (до компенсації) з точністю до сотих.	
5.	Визначте заданий тангенс кута зсуву фаз навантаження (після компенсації) з точністю до сотих.	
6.	Визначте реактивну потужність конденсаторної установки для компенсації реактивної енергії в вольт-амперах реактивних.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -9$.

Таблиця 6.8a

Номер відповіді	Відповіді
1.	1200.
2.	20.
3.	0,29.
4.	10.
5.	1248.
6.	1,33.

6.6 Топографічні діаграми

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 6.6 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 6.9–6.10.
3. Виконати тести до пункту 6.6 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Комплексний потенціал кожної точки схеми зображується так само, як і напруга на комплексній площині – вектором. Векторну діаграму комплексних потенціалів схеми називають **топографічною діаграмою**.

Кожній точці розрахункової схеми електричного кола синусоїдного струму відповідає точка топографічної діаграми. Базовій точці, потенціал якої приймається рівним нулю, на топографічній діаграмі відповідає початок координат.

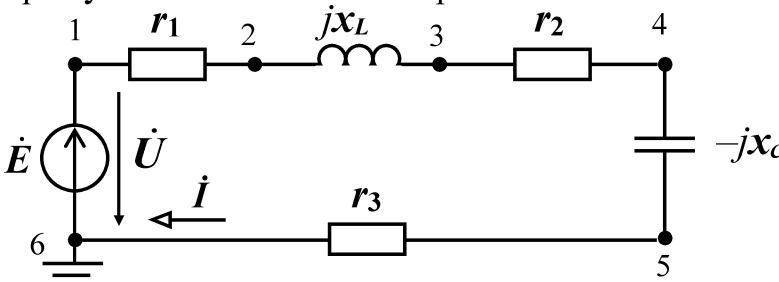
На комплексній площині напруга між двома точками розрахункової схеми знаходиться як різниця векторів потенціалів цих точок схеми. Для цього з'єднують кінці векторів потенціалів прямою лінією. Знайдений вектор має бути спрямований до кінця вектора потенціалу, від якого віднімається потенціал іншої точки схеми.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Тести інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 6.9

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Що таке топографічна діаграма електричного кола? Дана розрахункова схема електричного кола.	
		

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
2.	Запишіть вираз для визначення комплексного діючого значення сили струму в колі.	
3.	Чому дорівнює комплексний потенціал $\dot{\phi}_6$?	
4.	Запишіть вираз для визначення комплексного потенціалу $\dot{\phi}_5$.	
5.	Запишіть вираз для визначення комплексного потенціалу $\dot{\phi}_4$.	
6.	Запишіть вираз для визначення комплексного потенціалу $\dot{\phi}_3$.	
7.	Запишіть вираз для визначення комплексного потенціалу $\dot{\phi}_2$.	
8.	Запишіть вираз для визначення комплексного потенціалу $\dot{\phi}_1$.	
9.	Запишіть вираз для визначення комплексного потенціалу $\dot{\phi}_6$.	

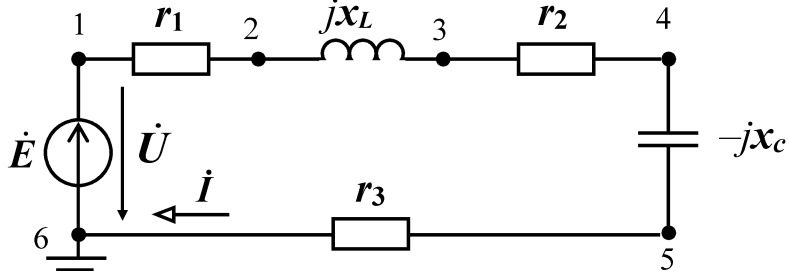
У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -3$.

Таблиця 6.9а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$\dot{\phi}_4 = r_3 \dot{I} - jx_c \dot{I}$.
2.	$\dot{\phi}_5 = r_3 \dot{I}$.
3.	$\dot{\phi}_3 = r_3 \dot{I} - jx_c \dot{I} + r_2 \dot{I}$.
4.	Векторна діаграма комплексних потенціалів схеми.
5.	$\dot{\phi}_2 = r_3 \dot{I} - jx_c \dot{I} + r_2 \dot{I} + jx_L \dot{I}$.
6.	Нулю.
7.	$\dot{\phi}_6 = r_3 \dot{I} - jx_c \dot{I} + r_2 \dot{I} + jx_L \dot{I} + r_1 \dot{I} - \dot{E}$.
8.	$\dot{I} = \frac{\dot{E}}{r_1 + jx_L + r_2 - jx_c + r_3}$.
9.	$\dot{\phi}_1 = r_3 \dot{I} - jx_c \dot{I} + r_2 \dot{I} + jx_L \dot{I} + r_1 \dot{I}$.

Тести практично-стереотипного характеру

Таблиця 6.10

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Для розрахункової схеми кола відомо: $E = 200 \text{ В}$, $\psi_e = 0$, $r_1 = 6 \text{ Ом}$, $x_L = 20 \text{ Ом}$, $r_2 = 2 \text{ Ом}$, $x_c = 8 \text{ Ом}$, $r_3 = 8 \text{ Ом}$. 		
1.	Запишіть комплексне діюче значення електрорушійної сили в колі.	
2.	Визначте комплексне діюче значення струму в колі в показовій формі в амперах.	
3.	Запишіть комплексне діюче значення струму в колі в алгебраїчній формі в амперах.	
4.	Визначте комплексний потенціал $\dot{\phi}_5$ в вольтах.	
5.	Визначте комплексний потенціал $\dot{\phi}_4$ в вольтах.	
6.	Визначте комплексний потенціал $\dot{\phi}_3$ в вольтах.	
7.	Визначте комплексний потенціал $\dot{\phi}_2$ в вольтах.	
8.	Визначте комплексний потенціал $\dot{\phi}_1$ в вольтах.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -12$.

Таблиця 6.10а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$113,1 \cdot e^{-j82^\circ}$.
2.	$8 - j6$.
3.	$128,1 \cdot e^{-j76^\circ}$.
4.	200 В .
5.	$156,2 \cdot e^{j13^\circ}$.
6.	$80 \cdot e^{-j37^\circ}$.
7.	200 .
8.	$10 \cdot e^{-j37^\circ}$.

Тема 7

КОЛА СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ ІЗ ВЗАЄМНОЮ ІНДУКТИВНІСТЮ

7.1 Індуктивно зв'язані елементи кола

Завдання самотійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 7.1 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблиці 7.1.
3. Виконати тести до пункту 7.1 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Індуктивно зв'язаними елементами кола називаються такі елементи електричного кола, у яких зміна струму в одному елементі призводить до появи електрорушійної сили в іншому. Цю е.р.с. називають е.р.с. взаємної індукції. Розглянемо два індуктивно зв'язаних елементи (рис.7.1).

Якщо в першому елементі проходить струм i , то він утворить магнітний потік Φ_1 , який складається з двох частин. Перша складова магнітного потоку Φ_{11} зчіплюється тільки з витками першого елемента w_1 , інша складова магнітного потоку Φ_{12} зчіплюється як з витками першого елемента w_1 , так і з витками другого w_2 .

Таким чином, можна записати:

$$\Phi_1 = \Phi_{11} + \Phi_{12}. \quad (7.1)$$

Магнітний потік Φ_1 наводить у першому елементі е.р.с. самоіндукції:

$$e_{1L} = -w_1 \frac{d\Phi_1}{dt}, \quad (7.2)$$

або

$$e_{1L} = -L_1 \frac{di}{dt}. \quad (7.3)$$

Магнітний потік Φ_{12} наводить у другому елементі е.р.с. взаємної індукції:

$$e_{2M} = -w_2 \frac{d\Phi_{12}}{dt}, \quad (7.4)$$

або

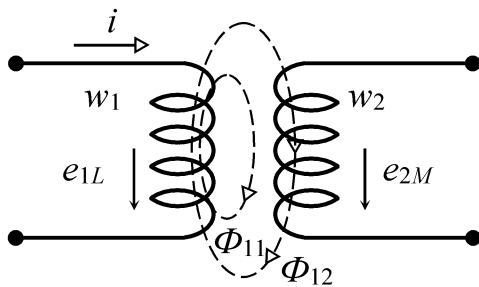


Рис.7.1

$$e_{2M} = -M \frac{di}{dt}. \quad (7.5)$$

де M – взаємна індуктивність елементів, Гн.

Ступінь індуктивного зв'язку двох елементів кола характеризується **коефіцієнтом зв'язку K** , під яким розуміють відношення:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}, \quad (7.6)$$

де L_1, L_2 – індуктивності елементів, Гн.

Коефіцієнт зв'язку знаходиться в межах від 0 до 1.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Тести інформаційно-репродуктивного характеру

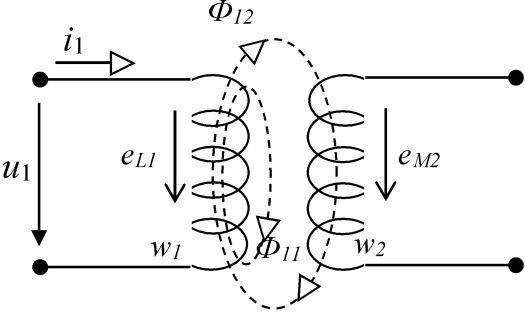
Таблиця 7.1

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Які елементи кола називають індуктивно зв'язаними?	
2.	Складіть конструктивну схему двох індуктивно зв'язаних елементів електричного кола.	
3.	Опишіть фізичні явища, які спостерігаються у першому елементі електричного кола.	
4.	Опишіть фізичні явища, які спостерігаються у другому елементі електричного кола.	
5.	Запишіть вираз електрорушійної сили самоіндукції в першому елементі електричного кола для миттєвих значень (через магнітний потік).	
6.	Запишіть вираз зв'язку між миттєвою електрорушійною силою, індуктивністю та миттєвою силою струму для першого елемента електричного кола.	
7.	Запишіть вираз електрорушійної сили взаємної індукції у другому елементі електричного кола для миттєвих значень (через магнітний потік).	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
8.	Запишіть вираз зв'язку між миттєвою електрорушійною силою, індуктивністю та миттєвою силою струму для другого елементу електричного кола.	
9.	Що розуміється під коефіцієнтом індуктивного зв'язку?	
10.	Запишіть вираз для визначення коефіцієнта індуктивного зв'язку двох елементів електричного кола.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 25$.

Таблиця 7.1а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}.$
2.	Явище електромагнітної індукції (взаємної індуктивності).
3.	$e_{M2} = -M \cdot \frac{di_1}{dt}.$
4.	
5.	$e_{L1} = -L_1 \cdot \frac{di_1}{dt}.$
6.	$e_{L1} = -w_1 \cdot \frac{d\Phi_1}{dt}.$
7.	Відношення взаємної індуктивності елементів електричного кола до кореня квадратного добутку індуктивності цих елементів електричного кола.
8.	– явище електричного струму; – явище теплової дії електричного струму; – явище електромагнетизму; – явище електромагнітної індукції (самоіндукції).

Номер відповіді	Відповіді
9.	$e_{M2} = -w_2 \cdot \frac{d\Phi_{12}}{dt}.$
10.	Елементи електричного кола, у яких зміна сили струму в одному елементі приводить до появи електрорушійної сили в іншому елементі.

7.2 Послідовне з'єднання індуктивно зв'язаних елементів

Завдання самотійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 7.2 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 7.2–7.5.
3. Виконати тести до пункту 7.2 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Можливі два випадки з'єднання індуктивно зв'язаних елементів: згідне і зустрічне з'єднання.

Згідне з'єднання індуктивно зв'язаних елементів – це таке, при якому струми в обох елементах кола в будь-який момент часу мають однакові напрями щодо однойменних затисків. При такому з'єднанні магнітні потоки самоіндукції та взаємної індукції, які зчеплені з кожним елементом, складаються. Якщо два індуктивно зв'язані елементи з'єднані згідно, то їх еквівалентна індуктивність дорівнює:

$$L_{згідн} = L_1 + L_2 + 2M, \quad (7.7)$$

де L_1, L_2 – індуктивності відповідно першого і другого індуктивно зв'язаних елементів, L_n ;
 M – взаємна індуктивність індуктивно зв'язаних елементів, L_n .
Еквівалентні індуктивності кожного з таких елементів:

$$L_{згідн1} = L_1 + M; \quad (7.8)$$

$$L_{згідн2} = L_2 + M. \quad (7.9)$$

Еквівалентний індуктивний опір індуктивно зв'язаних елементів, з'єднаних згідно, дорівнює:

$$x_{згідн} = x_{L1} + x_{L2} + 2x_M, \quad (7.10)$$

де x_{L1}, x_{L2} – індуктивні опори відповідно першого і другого індуктивно зв'язаних елементів, Ом;
 x_M – опір взаємної індукції індуктивно зв'язаних елементів, Ом;

$$x_M = \omega \cdot L_{зг\dot{д}н} . \quad (7.11)$$

Еквівалентні індуктивні опори кожного з таких елементів:

$$x_{зг\dot{д}н.1} = x_{L1} + x_M ; \quad (7.12)$$

$$x_{зг\dot{д}н.2} = x_{L2} + x_M . \quad (7.13)$$

Усі інші опори кола (активний, повний) у разі згідного з'єднання індуктивно зв'язаних елементів визначаються аналогічно викладеному у темах 3 і 5.

Зустрічне з'єднання індуктивно зв'язаних елементів – це таке, при якому струми в обох елементах кола в будь-який момент часу мають різні напрями щодо однойменних затискачів. При такому з'єднанні магнітні потоки самоіндукції та взаємної індукції, які зчеплені з кожним елементом, віднімаються. Якщо два індуктивно зв'язані елементи з'єднані зустрічно, то їх еквівалентна індуктивність дорівнює

$$L_{зустр} = L_1 + L_2 - 2M , \quad (7.14)$$

Еквівалентні індуктивності кожного з таких елементів:

$$L_{зустр1} = L_1 - M ; \quad (7.15)$$

$$L_{зустр2} = L_2 - M . \quad (7.16)$$

Еквівалентний індуктивний опір індуктивно зв'язаних елементів, з'єднаних згідно, дорівнює:

$$x_{зустр} = x_{L1} + x_{L2} - 2x_M ; \quad (7.17)$$

Еквівалентні індуктивні опори кожного з таких елементів:

$$x_{зустр.1} = x_{L1} - x_M ; \quad (7.18)$$

$$x_{зустр.2} = x_{L2} - x_M . \quad (7.19)$$

Усі інші опори кола (активний, повний) у разі зустрічного з'єднання індуктивно зв'язаних елементів визначаються аналогічно викладеному у темах 3 і 5.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Тести інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 7.2

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Що розуміється під згідним включенням двох індуктивно зв'язаних елементів електричного кола?	
2.	Складіть розрахункову схему електричного кола, що складається з двох послідовно з'єднаних індуктивно зв'язаних елементів при згідному з'єднанні для миттєвих значень.	
3.	Запишіть рівняння електричного кола для миттєвих значень.	
4.	Запишіть рівняння електричного кола в комплексній формі.	
5.	Запишіть вираз для визначення еквівалентного активного опору двох індуктивно зв'язаних елементів при послідовному згідному з'єднанні.	
6.	Запишіть вираз для визначення еквівалентної індуктивності двох індуктивно зв'язаних елементів при послідовному згідному з'єднанні.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 5$.

Таблиця 7.2а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$L = L_1 + L_2 + 2M .$
2.	З'єднання, при якому струми в обох елементах кола в будь-який момент часу мають однакові напрями відносно однойменних затискачів.

Номер відповіді	Відповіді
3.	
4.	$\dot{U} = r_1 \cdot \dot{I} + j\omega \cdot L_1 \cdot \dot{I} + j\omega \cdot M \cdot \dot{I} + r_2 \cdot \dot{I} + j\omega \cdot L_2 \cdot \dot{I} + j\omega \cdot M \cdot \dot{I}.$
5.	$u = r_1 \cdot i + L_1 \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt} + r_2 \cdot i + L_2 \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt}.$
6.	$r = r_1 + r_2.$

Тести практично-стереотипного характеру

Таблиця 7.3

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Дві індуктивно зв'язані котушки при послідовному з'єднанні мають наступні параметри: активний опір першої котушки $r_1 = 12 \text{ Ом}$, індуктивність першої котушки $L_1 = 19,11 \text{ мГн}$; активний опір другої котушки $r_2 = 15 \text{ Ом}$, індуктивність другої котушки $L_2 = 51 \text{ мГн}$; взаємна індуктивність $M = 31,85 \text{ мГн}$. Сила струму в колі $i = 28,2 \cdot \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ А}$ при частоті $f = 50 \text{ Гц}$.		
1.	Визначте еквівалентну індуктивність першої котушки в генрі.	
2.	Визначте комплекс еквівалентного індуктивного опору першої котушки в алгебраїчній формі в омах.	
3.	Визначте комплексний повний опір першої котушки в показовій формі в омах.	
4.	Запишіть комплексне діюче значення струму в колі в показовій формі в амперах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
5.	Визначте комплексне діюче значення напруги на затискачах першої котушки в показовій формі в вольтах.	
6.	Визначте еквівалентну індуктивність другої котушки в генрі.	
7.	Визначте комплекс еквівалентного індуктивного опору другої котушки в алгебраїчній формі в омах.	
8.	Визначте комплексний повний опір другої котушки двох в показовій формі в омах.	
9.	Визначте комплексне діюче значення напруги на затискачах другої котушки в показовій формі в вольтах.	
10.	Визначте еквівалентний активний опір двох індуктивно зв'язаних котушок в омах.	
11.	Визначте еквівалентну індуктивність двох індуктивно зв'язаних котушок в алгебраїчній формі в генрі.	
12.	Визначте комплекс еквівалентного індуктивного опору двох індуктивно зв'язаних котушок в алгебраїчній формі в омах.	
13.	Визначте комплексний повний опір двох індуктивно зв'язаних котушок в показовій формі в омах.	
14.	Визначте комплексне діюче значення напруги на затискачах кола в показовій формі в вольтах.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 33$.

Таблиця 7.3а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$20 \cdot e^{j30^\circ}$.
2.	$50,96 \cdot 10^{-3}$.
3.	$82,85 \cdot 10^{-3}$.
4.	27.
5.	$j42$.
6.	$1000 \cdot e^{j87^\circ}$.
7.	$600 \cdot e^{j90^\circ}$.
8.	$30 \cdot e^{j60^\circ}$.

Номер відповіді	Відповіді
9.	$j16.$
10.	$50 \cdot e^{j57^\circ}.$
11.	$400 \cdot e^{j83^\circ}.$
12.	$133,81 \cdot 10^{-3}.$
13.	$j26.$
14.	$20 \cdot e^{j53^\circ}.$

Тести інформаційно-репродуктивного характеру

Таблиця 7.4

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Що розуміється під зустрічним з'єднанням двох індуктивно зв'язаних елементів електричного кола?	
2.	Складіть розрахункову схему електричного кола, що складається з двох послідовно з'єднаних індуктивно зв'язаних елементів при зустрічному з'єднанні для миттєвих значень.	
3.	Запишіть рівняння електричного кола для миттєвих значень.	
4.	Запишіть рівняння електричного кола в комплексній формі.	
5.	Запишіть вираз для визначення еквівалентного активного опору двох індуктивно зв'язаних елементів при послідовному зустрічному з'єднанні.	
6.	Запишіть математичний вираз для визначення еквівалентної індуктивності двох індуктивно зв'язаних елементів при послідовному зустрічному з'єднанні.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -3.$

Таблиця 7.4a

Номер відповіді	Відповіді
1.	$u = r_1 \cdot i + L_1 \frac{di}{dt} - M \frac{di}{dt} + r_2 \cdot i + L_2 \frac{di}{dt} - M \frac{di}{dt}.$

Номер відповіді	Відповіді
2.	
3.	З'єднання, при якому струми в обох елементах кола в будь-який момент часу мають протилежні напрями відносно однойменних затискачів.
4.	$\dot{U} = r_1 \cdot \dot{I} + j\omega \cdot L_1 \cdot \dot{I} - j\omega \cdot M \cdot \dot{I} + r_2 \cdot \dot{I} + j\omega \cdot L_2 \cdot \dot{I} - j\omega \cdot M \cdot \dot{I}.$
5.	$r = r_1 + r_2.$
6.	$L = L_1 + L_2 - 2M.$

Тести практично-стереотипного характеру

Таблиця 7.5

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Дві індуктивно зв'язані котушки при послідовному зустрічному з'єднанні мають наступні параметри: активний опір першої котушки $r_1 = 12 \text{ Ом}$, індуктивність першої котушки $L_1 = 92,36 \text{ мГн}$; активний опір другої котушки $r_2 = 15 \text{ Ом}$, індуктивність другої котушки $L_2 = 51 \text{ мГн}$; взаємна індуктивність $M = 31,85 \text{ мГн}$. Сила струму в колі $i = 28,2 \cdot \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ А}$ при частоті $f = 50 \text{ Гц}$.		
1.	Визначте еквівалентну індуктивність першої котушки в генрі.	
2.	Визначте комплекс еквівалентного індуктивного опору першої котушки в алгебраїчній формі в омах.	
3.	Визначте еквівалентний комплексний опір першої котушки в показовій формі в омах.	
4.	Запишіть комплексне діюче значення струму в колі в показовій формі в амперах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
5.	Визначте комплексне діюче значення напруги на затискачах першої котушки в показовій формі в вольтах.	
6.	Визначте еквівалентну індуктивність другої котушки в генрі.	
7.	Визначте комплекс еквівалентного індуктивного опору другої котушки в алгебраїчній формі в омах.	
8.	Визначте комплексний еквівалентний опір другої котушки в показовій формі в омах.	
9.	Визначте комплексне діюче значення напруги на затискачах другої котушки в показовій формі в вольтах.	
10.	Визначте еквівалентний активний опір двох індуктивно зв'язаних котушок в омах.	
11.	Визначте еквівалентну індуктивність двох індуктивно зв'язаних котушок в генрі.	
12.	Визначте комплекс еквівалентного індуктивного опору двох індуктивно зв'язаних котушок в алгебраїчній формі в омах.	
13.	Визначте еквівалентний комплексний опір двох індуктивно зв'язаних котушок в показовій формі в омах.	
14.	Визначте комплексне діюче значення напруги на затискачах кола в показовій формі в вольтах.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -17$.

Таблиця 7.5а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$60,51 \cdot 10^{-3}$.
2.	$22,5 \cdot e^{j58^\circ}$.
3.	$450 \cdot e^{j88^\circ}$.
4.	$16,2 \cdot e^{j22^\circ}$.
5.	$j6$.
6.	$19,15 \cdot 10^{-3}$.
7.	$j19$.

Номер відповіді	Відповіді
8.	$736 \cdot e^{j73^\circ}$.
9.	$36,8 \cdot e^{j43^\circ}$.
10.	$j25$.
11.	$79,66 \cdot 10^{-3}$.
12.	27.
13.	$324 \cdot e^{j52^\circ}$.
14.	$20 \cdot e^{j30^\circ}$.

7.3 Еквівалентна схема індуктивно зв'язаних елементів із загальною точкою

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пункту 7.3 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблицях 7.6–7.7.
3. Виконати тести до пункту 7.3 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Аналіз і розрахунок електричних кіл у ряді випадків спрощується, якщо частину схеми, яка містить індуктивні зв'язки, замінити еквівалентною схемою без індуктивних зв'язків. Розглянемо таку схему (рис.7.2).

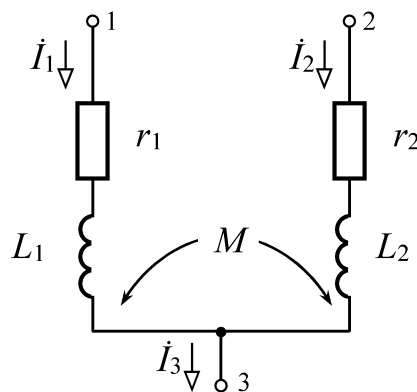


Рис.7.2

Запишемо рівняння по законам Кірхгофа для віток і вузла 3:

$$\dot{U}_{13} = r_1 \dot{I}_1 + j\omega L_1 \dot{I}_1 \pm j\omega M \dot{I}_2; \quad (7.20)$$

$$\dot{U}_{23} = r_2 \dot{I}_2 + j\omega L_2 \dot{I}_2 \pm j\omega M \dot{I}_1; \quad (7.21)$$

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_3. \quad (7.22)$$

У (7.20) і (7.21) верхній знак при взаємній індуктивності M відноситься до згідного включення котушок, а нижній – до зустрічного.

З рівняння (7.22) знаходимо струм $\dot{I}_2 = \dot{I}_3 - \dot{I}_1$ і підставляємо його в рівняння (7.20). В результаті отримаємо:

$$\dot{U}_{13} = r_1 \dot{I}_1 + j\omega L_1 \dot{I}_1 \mp j\omega M \dot{I}_1 \pm j\omega M \dot{I}_3. \quad (7.23)$$

З рівняння (7.22) знаходимо струм $\dot{I}_1 = \dot{I}_3 - \dot{I}_2$ і підставляємо його в рівняння (7.21). В результаті отримаємо:

$$\dot{U}_{23} = r_2 \dot{I}_2 + j\omega L_2 \dot{I}_2 \mp j\omega M \dot{I}_2 \pm j\omega M \dot{I}_3. \quad (7.24)$$

Отримані рівняння (7.23) і (7.24) відповідають еквівалентній схемі без індуктивних зв'язків (рис.7.3). При цьому верхній знак при взаємній індуктивності M відноситься до згідного включення котушок, а нижній – до зустрічного.

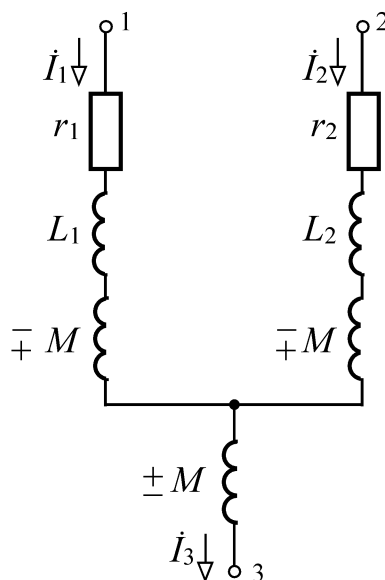


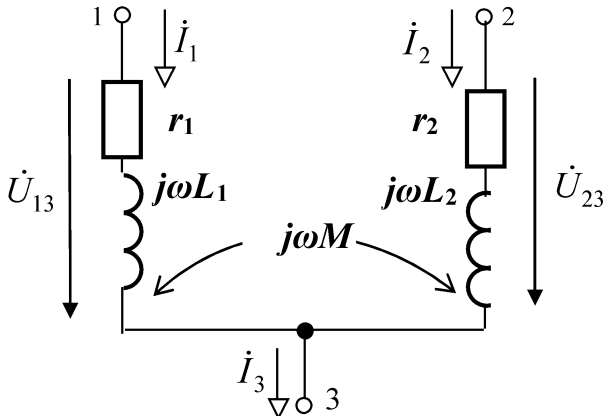
Рис.7.3

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

Тести інформаційно-репродуктивного характеру

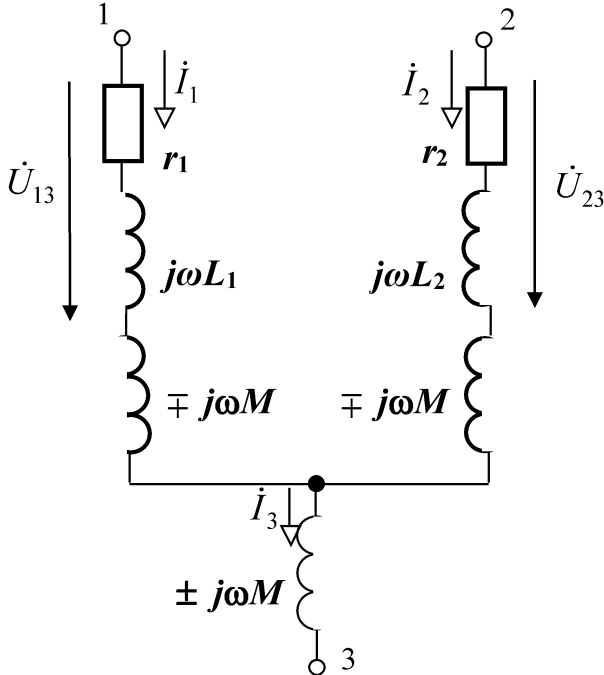
Таблиця 7.6

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
	На розрахунковій схемі електричного кола індуктивно зв'язаних елементів із загальною точкою показано: активний опір r_1 та індуктивність L_1 першої котушки; активний опір r_2 та індуктивність L_2 другої котушки; взаємна індуктивність M котушок; комплексні діючі значення струмів у першій вітці $\dot{I}_1$, у другій вітці $\dot{I}_2$, в третій вітці $\dot{I}_3$; комплексні діючі значення напруги на затискачах 1 і 3 $\dot{U}_{13}$; напруги на затискачах 2 і 3 $\dot{U}_{23}$. 	
1.	Запишіть рівняння електричної рівноваги для першої вітки в комплексній формі.	
2.	Запишіть рівняння електричної рівноваги для другої вітки в комплексній формі.	
3.	Запишіть рівняння за 1-м законом Кірхгофа для вузла 3 в комплексній формі.	
4.	Замініть зазначену розрахункову схему еквівалентною схемою без індуктивного зв'язку.	
5.	Запишіть вираз комплексного діючого значення напруги $\dot{U}_{13}$ для еквівалентної розрахункової схеми без індуктивного зв'язку.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
6.	Запишіть вираз комплексного діючого значення напруги $\dot{U}_{23}$ для еквівалентної розрахункової схеми без індуктивного зв'язку.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 7$.

Таблиця 7.6а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$\dot{U}_{23} = r_2 \cdot \dot{I}_2 + j\omega \cdot L_2 \cdot \dot{I}_2 \mp j\omega \cdot M \cdot \dot{I}_2 \pm j\omega \cdot M \cdot \dot{I}_3.$
2.	
3.	$\dot{U}_{13} = r_1 \cdot \dot{I}_1 + j\omega \cdot L_1 \cdot \dot{I}_1 \pm j\omega \cdot M \cdot \dot{I}_2.$
4.	$\dot{U}_{23} = r_2 \cdot \dot{I}_2 + j\omega \cdot L_2 \cdot \dot{I}_2 \pm j\omega \cdot M \cdot \dot{I}_1.$
5.	$\dot{U}_{13} = r_1 \cdot \dot{I}_1 + j\omega \cdot L_1 \cdot \dot{I}_1 \mp j\omega \cdot M \cdot \dot{I}_1 \pm j\omega \cdot M \cdot \dot{I}_3.$
6.	$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0.$

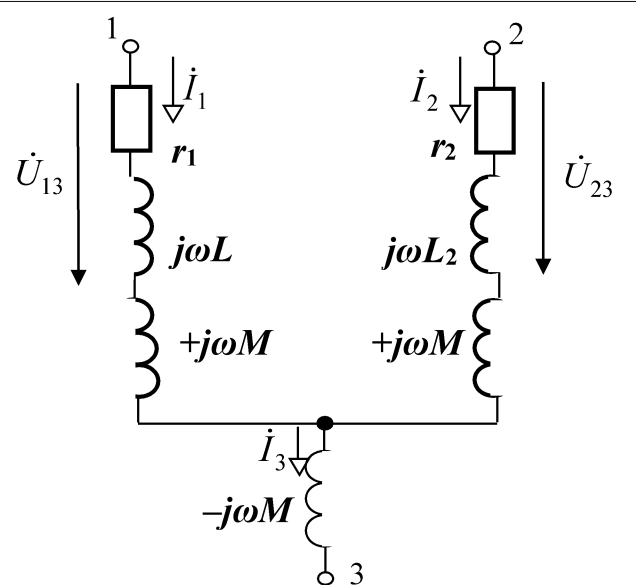
Таблиця 7.7

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
Дві індуктивно зв'язані котушки мають наступні параметри: активний опір першої котушки $r_1 = 12 \text{ Ом}$, індуктивність першої котушки $L_1 = 19,11 \text{ мГн}$; активний опір другої котушки $r_2 = 15 \text{ Ом}$, індуктивність другої котушки $L_2 = 51 \text{ мГн}$; взаємна індуктивність $M = 31,85 \text{ мГн}$. Початкові затискачі котушок з'єднані в загальний вузол. Сила струму в першій вітці $i_1 = 28,2 \cdot \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ А}$, сила струму в другій вітці $i_2 = 14,4 \cdot \sin(\omega t + 60^\circ) \text{ А}$, сила струму в третій вітці $i_3 = 41,02 \cdot \sin(\omega t + 40^\circ) \text{ А}$. Частота струму $f = 50 \text{ Гц}$.		
1.	Складіть еквівалентну розрахункову схему даного кола без індуктивного зв'язку.	
2.	Запишіть комплексне діюче значення струму в першій вітці в показовій формі в амперах.	
3.	Запишіть комплексне діюче значення струму в другій вітці в показовій формі в амперах.	
4.	Запишіть комплексне діюче значення струму в третій вітці в показовій формі в амперах.	
5.	Визначте комплекс індуктивного опору першої котушки алгебраїчній формі в омах.	
6.	Визначте комплекс індуктивного опору другої котушки алгебраїчній формі в омах.	
7.	Визначте комплекс взаємного індуктивного опору індуктивно зв'язаних котушок в алгебраїчній формі в омах.	
8.	Визначте комплексне діюче значення напруги $\dot{U}_{13}$ для розрахункової схеми з індуктивним зв'язком в показовій формі в вольтах.	
9.	Визначте комплексне діюче значення напруги $\dot{U}_{13}$ для еквівалентної розрахункової схеми без індуктивного зв'язку в показовій формі в вольтах. Порівняйте отримане значення з п.8.	
10.	Визначте комплексне діюче значення напруги $\dot{U}_{23}$ для розрахункової схеми з індуктивним зв'язком в показовій формі в вольтах.	

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
11.	Визначте комплексне діюче значення напруги $\dot{U}_{23}$ для еквівалентної розрахункової схеми без індуктивного зв'язку в показовій формі в вольтах. Порівняйте отримане значення з п.9.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 3$.

Таблиця 7.7а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$10 \cdot e^{j60^\circ}$.
2.	$416,66 \cdot e^{j113^\circ}$.
3.	$j10$.
4.	$j6$.
5.	$280,68 \cdot e^{j77^\circ}$.
6.	$20 \cdot e^{j30^\circ}$.
7.	$j16$.
8.	$29,09 \cdot e^{j40^\circ}$.
9.	

7.4 Повітряний трансформатор

7.5 Схема заміщення повітряного трансформатора

Завдання самостійної роботи

1. Прочитати та постаратись зрозуміти теоретичний матеріал з пунктів 7.4–7.5 [1].
2. Виконати завдання для засвоєння теоретичного матеріалу у таблиці 7.8.
3. Виконати тести до пунктів 7.4–7.5 на освітньому порталі ТДАТУ.

СТИСЛЕ ВИКЛАДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

В електротехніці широко використовується передача електроенергії з одного контуру в інший за допомогою електромагнітної індукції. Виконується це за допомогою спеціальних апаратів, які називаються **трансформаторами**. Розглянемо докладніше трансформатор із двома обмотками. До первинної обмотки підводиться напруга, а до вторинної підключається споживач електроенергії. Напруги на затисках обмоток і струми в них відповідно називають первинними і вторинними. Кола, до складу яких входять первинні і вторинні обмотки трансформатора, називають відповідно первинними і вторинними. На розрахунковій схемі повітряного трансформатора (трансформатора без магнітопроводу) є індуктивний зв'язок між первинної і вторинною обмотками, що є незручним при аналізі його роботи. Тому розв'язання цього індуктивного зв'язку полегшує такий аналіз. Схема заміщення повітряного трансформатора без індуктивного зв'язку наведена на рис.7.4.

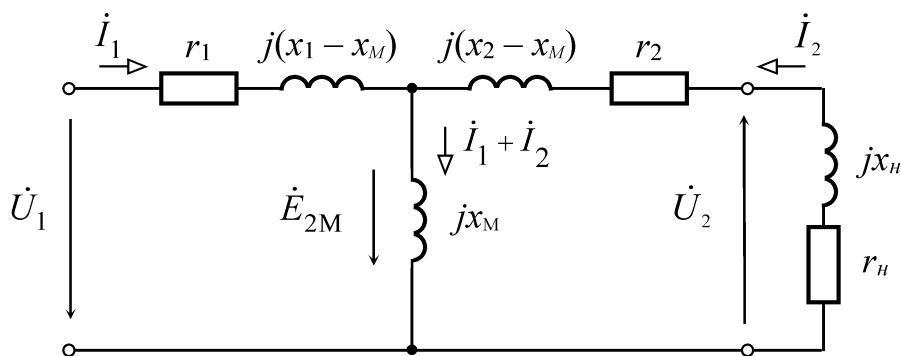


Рис.7.4

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання для засвоєння теоретичного матеріалу виконуються так само, як і у самостійній роботі з пунктів 1.1, 1.2.

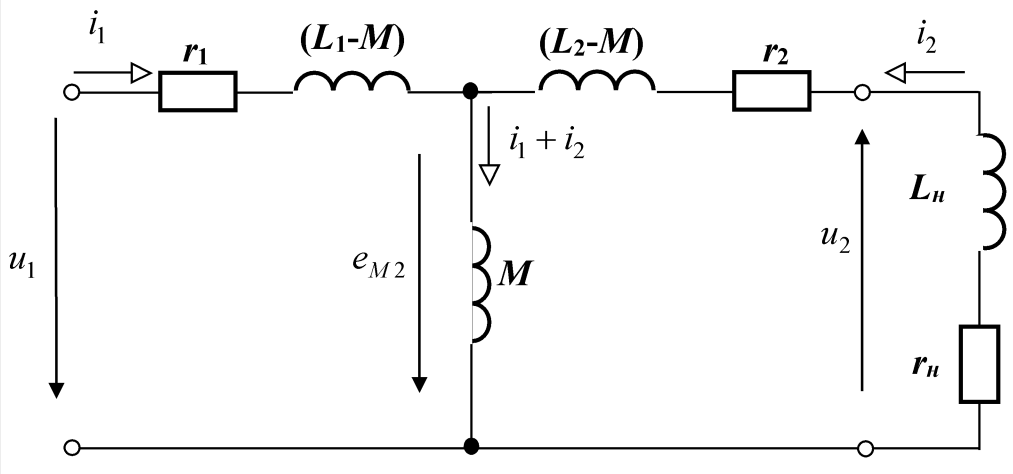
Тести інформаційно-репродуктивного характеру

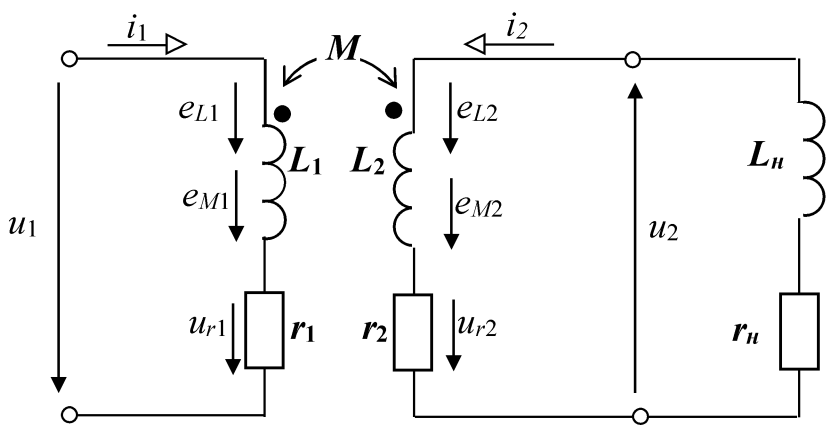
Таблиця 7.8

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер вірної відповіді
1.	Переліchte основні конструктивні елементи повітряного трансформатора.	
2.	Що називається первинною обмоткою?	
3.	Що називається вторинною обмоткою?	
4.	Опишіть фізичні явища, які спостерігаються у первинній обмотці повітряного трансформатора.	
5.	Опишіть фізичні явища, які спостерігаються у вторинній обмотці навантаженого повітряного трансформатора.	
6.	Складіть розрахункову схему повітряного трансформатора для миттєвих значень.	
7.	Запишіть рівняння електричної рівноваги первинного контуру повітряного трансформатора для миттєвих значень.	
8.	Запишіть рівняння електричної рівноваги вторинного контуру повітряного трансформатора для миттєвих значень.	
9.	Запишіть рівняння електричної рівноваги первинного контуру повітряного трансформатора в комплексній формі.	
10.	Запишіть рівняння електричної рівноваги вторинного контуру повітряного трансформатора в комплексній формі.	
11.	Складіть розрахункову схему заміщення повітряного трансформатора для миттєвих значень.	
12.	Запишіть рівняння електричної рівноваги первинного контуру для розрахункової схеми заміщення повітряного трансформатора в комплексній формі і порівняйте його з п. 9.	
13.	Запишіть рівняння електричної рівноваги вторинного контуру для розрахункової схеми заміщення повітряного трансформатора в комплексній формі і порівняйте його з п. 10.	

У разі вірного виконання тестів $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 24$.

Таблиця 7.8a

Номер відповіді	Відповіді
1.	$-M \cdot \frac{di_1}{dt} = r_2 \cdot i_2 + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} + u_2.$
2.	– явище електричного струму; – явище теплової дії електричного струму; – явище електромагнетизму; – явище самоіндукції; – явище взаємної індукції.
3.	$-j\omega \cdot M \cdot \dot{I}_1 = r_2 \cdot \dot{I}_2 + j\omega \cdot L_2 \cdot \dot{I}_2 + \dot{U}_2.$
4.	Обмотка повітряного трансформатора, до якої підводиться напруга джерела електричної енергії.
5.	
6.	Первинна обмотка, вторинна обмотка.
7.	$\dot{U}_1 = r_1 \cdot \dot{I}_1 + j\omega \cdot L_1 \cdot \dot{I}_1 + j\omega \cdot M \cdot \dot{I}_2.$
8.	Обмотка повітряного трансформатора, до якої підключаються споживачі електричної енергії.

Номер відповіді	Відповіді
9.	
10.	– явище взаємної індукції; – явище електричного струму; – явище теплової дії електричного струму; – явище електромагнетизму; – явище самоіндукції.
11.	$u_1 = r_1 \cdot i_1 + L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} + M \cdot \frac{di_2}{dt}.$

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

Запитання для підготовки до підсумкового контролю

1. Дайте визначення електричного кола.
2. Дайте визначення електричного струму.
3. Перелічте умови виникнення електричного струму у колі.
4. Дайте визначення е.р.с.
5. Наведіть визначальну формулу е.р.с.
6. Що є одиницею е.р.с.?
7. Дайте визначення електричного заряду.
8. Що є одиницею електричного заряду?
9. Дайте визначення сили електричного струму.
10. Наведіть визначальну формулу сили електричного струму.
11. Що є одиницею сили електричного струму?
12. Наведіть розрахункову формулу опору провідника електричному струму.
13. Що є одиницею опору провідника електричному струму?
14. Сформулюйте закон Ома для замкненого кола.
15. Наведіть математичний запис закону Ома для замкненого кола.
16. Дайте визначення принципівій електричній схемі кола.
17. Дайте визначення розрахунковій схемі електричного кола.
18. Дайте визначення потенціалу точки розрахункової схеми електричного кола.
19. Наведіть визначальну формулу потенціалу точки розрахункової схеми електричного кола.
20. Дайте визначення напрузі між двома точками розрахункової схеми електричного кола.
21. Наведіть визначальну формулу напруги між двома точками розрахункової схеми електричного кола.
22. Що є одиницею напруги?
23. Перелічте фізичні явища, які спостерігаються в ідеальному генераторі електричної енергії.
24. Наведіть розрахункову схему ідеального генератора.
25. Перелічте фізичні явища, які спостерігаються в реальному провіднику електричного струму.
26. Наведіть розрахункову схему реального провідника електричного струму.
27. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола без е.р.с.
28. Наведіть математичний запис закону Ома для ділянки кола без е.р.с.
29. Сформулюйте закон теплової дії електричного струму (закон Джоуля-Ленца).

30. Наведіть математичний запис закону теплової дії електричного струму (закону Джоуля-Ленца).
31. Що є одиницею кількості теплоти?
32. Дайте визначення потужності електричного струму.
33. Наведіть визначальну формулу потужності електричного струму.
34. Що є одиницею потужності?
35. Наведіть розрахункову формулу потужності електричного струму.
36. Дайте визначення вольт-амперної характеристики елемента електричного кола.
37. Наведіть розрахункову формулу вольт-амперної характеристики елемента електричного кола.
38. Наведіть графічне зображення вольт-амперної характеристики елемента електричного кола.
39. Дайте визначення лінійного елемента електричного кола.
40. Дайте визначення лінійного електричного кола.
41. Перелічте фізичні явища, які спостерігаються в реальному генераторі електричної енергії.
42. Наведіть розрахункову схему реального генератора.
43. Дайте визначення зовнішній характеристиці реального генератора електричної енергії.
44. Наведіть математичний запис зовнішньої характеристики реального генератора.
45. Наведіть графічне зображення зовнішньої характеристики реального генератора.
46. Дайте визначення нерозгалуженого електричного кола.
47. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола з е.р.с.
48. Наведіть математичний запис закону Ома для ділянки кола з е.р.с.
49. Дайте визначення постійного електричного струму.
50. Зобразіть графічно залежність сили постійного струму від часу.
51. Які елементи електричного кола називають основними?
52. Дайте визначення потужності, яку розвиває джерело.
53. Запишіть розрахункову формулу потужності, яку розвиває джерело.
54. Запишіть розрахункову формулу потужності, яку віддає реальне джерело в лінію електропередачі.
55. Дайте визначення потужності, яка втрачається в реальному джерелі.
56. Запишіть розрахункову формулу потужності, яка втрачається в реальному джерелі.
57. Дайте визначення потужності, яка втрачається в лінії електропередачі.
58. Запишіть розрахункову формулу потужності, яка втрачається в лінії електропередачі.
59. Дайте визначення потужності, яка передається приймачу.
60. Запишіть розрахункову формулу потужності, яка передається приймачу.
61. Дайте визначення спадання напруги в реальному джерелі.

62. Запишіть розрахункову формулу спадання напруги в реальному джерелі.
63. Дайте визначення спадання напруги в лінії електропередачі.
64. Запишіть розрахункову формулу спадання напруги в лінії електропередачі.
65. Дайте визначення напруги на затискачах приймача.
66. Запишіть розрахункову формулу напруги на затискачах приймача.
67. Дайте визначення к.к.д. лінії електропередачі.
68. Запишіть розрахункову формулу к.к.д. лінії електропередачі.
69. Дайте визначення к.к.д. джерела.
70. Запишіть розрахункову формулу к.к.д. джерела.
71. Дайте визначення к.к.д. електричного кола.
72. Запишіть розрахункову формулу к.к.д. електричного кола.
73. Дайте визначення балансу потужності електричного кола з реальним джерелом.
74. Наведіть математичний запис балансу потужності електричного кола з реальним джерелом.
75. Сформулюйте перший закон Кірхгофа.
76. Наведіть математичний запис першого закону Кірхгофа.
77. Сформулюйте другий закон Кірхгофа.
78. Наведіть математичний запис другого закону Кірхгофа.
79. Як визначити еквівалентний опір послідовно з'єднаних опорів?
80. Дайте визначення провідності ділянки кола.
81. Як визначити еквівалентну провідність паралельно з'єднаних опорів?
82. Як визначити еквівалентний опір двох паралельно з'єднаних опорів?
83. Наведіть схеми з'єднання опорів трикутником і зіркою.
84. Наведіть математичний вираз еквівалентного опору при перетворенні схеми з'єднань трикутником в еквівалентну схему з'єднання зіркою.
85. Наведіть математичний вираз еквівалентного опору при перетворенні схеми з'єднань зіркою в еквівалентну схему з'єднання трикутником.
86. У чому суть явища електромагнетизму?
87. Сформулюйте закон електромагнетизму.
88. Наведіть математичний запис закону електромагнетизму.
89. У чому суть явища електромагнітної індукції?
90. Сформулюйте закон електромагнітної індукції.
91. Наведіть математичний запис закону електромагнітної індукції.
92. Наведіть математичний вираз миттєвого значення $e.p.c$, яка діє в колі змінного синусоїдного струму.
93. Наведіть математичний вираз миттєвого значення сили електричного струму, який діє в колі змінного синусоїдного струму.
94. Наведіть математичний вираз миттєвого значення напруги на ділянці кола.
95. Дайте визначення кутової (кругової) частоти змінного синусоїдного струму. Що є її одиницею?

96. Дайте визначення періоду змінного синусоїдного струму. Що є його одиницею?
97. Дайте визначення частоти змінного синусоїдного струму. Що є її одиницею?
98. Як зобразити синусоїдний струм вектором? Наведіть графічне зображення вектором струму $i = 14,1 \sin(\omega t + 30^\circ)$ А.
99. Яке фізичне явище на розрахункових схемах відображає активний опір котушки? Якою літерою він позначається? Від чого залежить? Що є його одиницею?
100. Дайте визначення індуктивності котушки. Якою літерою вона позначається? Що є її одиницею?
101. Наведіть математичний вираз індуктивності котушки.
102. Наведіть математичний зв'язок між діючим значенням сили змінного синусоїдного струму і його амплітудою.
103. Наведіть математичний зв'язок між діючим значенням синусоїдної е.р.с. і її амплітудою. Наведіть математичний зв'язок між діючим значенням синусоїдної напруги і її амплітудою.
104. Дайте визначення куту зсуву фаз. Якою літерою він позначається? Наведіть визначальну формулу кута зсуву фаз.
105. Чому дорівнює кут зсуву фаз на ділянці з активним опором?
106. Чому дорівнює кут зсуву фаз на ділянці з індуктивним опором?
107. Чому дорівнює кут зсуву фаз на ділянці з котушкою?
108. Наведіть математичний запис закону Ома для діючих значень напруги і сили змінного синусоїдного струму для ділянки кола з активним опором.
109. Як розрахувати індуктивний опір котушки через її індуктивність?
110. Наведіть математичний запис закону Ома для діючих значень напруги і сили змінного синусоїдного струму для ділянки кола з індуктивним опором.
111. Наведіть математичний запис закону Ома для діючих значень напруги і сили змінного синусоїдного струму для ділянки кола з котушкою.
112. Дайте визначення ємності. Якою літерою позначається ємність? Що є одиницею ємності?
113. Наведіть математичний ємності плоского конденсатора.
114. Як розрахувати ємнісний опір через ємність?
115. Чому дорівнює кут зсуву фаз на ділянці з ємнісним опором?
116. Чому дорівнює кут зсуву фаз на ділянці з конденсатором?
117. Наведіть математичний вираз повного опору ділянки кола з послідовно з'єднаними активним опором, індуктивним опором та ємнісним опором.
118. Наведіть математичний вираз реактивного опору ділянки кола з послідовно з'єднаними індуктивним і ємнісним опорами.
119. Наведіть математичний вираз повного опору ділянки кола з послідовно з'єднаними активним опором, індуктивним опором та ємнісним опором з урахуванням попереднього пункту.

120. Наведіть трикутник опорів кола змінного синусоїдного струму з котушкою.
121. Наведіть трикутник опорів кола з послідовно з'єднаними активним опором, індуктивним опором та ємнісним опором.
122. Наведіть розрахункову формулу активної потужності ділянки кола з активним опором.
123. Наведіть розрахункову формулу реактивної потужності індуктивності.
124. Наведіть розрахункову формулу реактивної потужності ємності.
125. Наведіть розрахункові формули реактивної потужності ділянки кола з послідовно з'єднаними індуктивним і ємнісним опорами.
126. Наведіть трикутник потужностей для котушки в колі змінного синусоїдного струму.
127. Наведіть трикутник потужностей кола з послідовно з'єднаними активним опором, індуктивним опором та ємнісним опором.
128. Наведіть розрахункову формулу реактивної потужності ділянки кола з послідовно з'єднаними індуктивним і ємнісним опорами.
129. Дайте визначення коефіцієнта потужності навантаження.
130. Наведіть математичний запис коефіцієнта потужності навантаження.
131. Коли настає резонанс напруг у колі з послідовним з'єднанням активного, індуктивного і ємнісного опорів?
132. Наведіть математичний вираз резонансної частоти.
133. Як розрахувати загальний активний опір ділянки кола з декількома послідовно включеними активними опорами? Як розрахувати загальний реактивний опір ділянки кола з декількома послідовно включеними реактивними опорами?
134. Як розрахувати активну і реактивну потужності для попереднього пункту?
135. Як розрахувати коефіцієнт потужності для попереднього пункту?
136. Які фізичні явища спостерігаються в котушці, яка включена в коло змінного синусоїдного струму?
137. Наведіть розрахункову схему котушки.
138. Наведіть математичні вирази миттєвих значень напруги на затискачах кола, сили електричного струму, напруги на активному опорі і напруги на індуктивності котушки.
139. Наведіть математичні вирази амплітудних значень напруги на затискачах кола, сили електричного струму, напруги на активному опорі і напруги на індуктивності котушки.
140. Зобразіть векторну діаграму напруг і сили струму кола з котушкою.
141. Наведіть розрахункову схему паралельного з'єднання резистора та ідеальної котушки.
142. Як розрахувати активну провідність резистора?
143. Як розрахувати реактивну провідність ідеальної котушки?

144. Як розрахувати повну провідність паралельно з'єднаних резистора та ідеальної котушки?
145. Зобразіть трикутник провідностей паралельно з'єднаних резистора та ідеальної котушки.
146. Як визначити кут зсуву фаз паралельно з'єднаних резистора та ідеальної котушки?
147. Запишіть математичний вираз миттєвого струму в резисторі при $u = U_m \sin \omega t$.
148. Запишіть математичний вираз миттєвого струму в ідеальній котушці при $u = U_m \sin \omega t$.
149. Запишіть математичний вираз миттєвого струму в загальній ділянці паралельно з'єднаних резистора та ідеальної котушки при $u = U_m \sin \omega t$.
150. Зобразіть векторну діаграму кола паралельно з'єднаних резистора та ідеальної котушки.
151. Наведіть розрахункову схему паралельного з'єднання резистора та ідеального конденсатора.
152. Як розрахувати активну провідність резистора?
153. Як розрахувати реактивну провідність ідеального конденсатора?
154. Як розрахувати повну провідність паралельно з'єднаних резистора та ідеального конденсатора?
155. Зобразіть трикутник провідностей паралельно з'єднаних резистора та ідеального конденсатора.
156. Як визначити кут зсуву фаз паралельно з'єднаних резистора та ідеального конденсатора?
157. Запишіть математичний вираз миттєвого струму в резисторі при $u = U_m \sin \omega t$.
158. Запишіть математичний вираз миттєвого струму в ідеальному конденсаторі при $u = U_m \sin \omega t$.
159. Запишіть математичний вираз миттєвого струму в загальній ділянці паралельно з'єднаних резистора та ідеального конденсатора при $u = U_m \sin \omega t$.
160. Зобразіть векторну діаграму кола паралельно з'єднаних резистора та ідеального конденсатора.
161. Наведіть розрахункову схему паралельного з'єднання резистора, ідеальної котушки та ідеального конденсатора.
162. Як розрахувати активну провідність резистора?
163. Як розрахувати реактивну провідність ідеальної котушки?
164. Як розрахувати реактивну провідність ідеального конденсатора?
165. Як розрахувати повну провідність паралельно з'єднаних резистора, ідеальної котушки та ідеального конденсатора?
166. Зобразіть трикутник провідностей паралельно з'єднаних резистора, ідеальної котушки та ідеального конденсатора.

167. Як визначити кут зсуву фаз паралельно з'єднаних резистора, ідеальної котушки та ідеального конденсатора?
168. Запишіть математичний вираз миттєвого струму в резисторі при $u = U_m \sin \omega t$.
169. Запишіть математичний вираз миттєвого струму в ідеальній котушці при $u = U_m \sin \omega t$.
170. Запишіть математичний вираз миттєвого струму в ідеальному конденсаторі при $u = U_m \sin \omega t$.
171. Запишіть математичний вираз миттєвого струму в загальній ділянці паралельно з'єднаних резистора, ідеальної котушки та ідеального конденсатора при $u = U_m \sin \omega t$.
172. Зобразіть векторну діаграму кола паралельно з'єднаних резистора, ідеальної котушки та ідеального конденсатора.
173. Як розрахувати активну потужність резистора через його провідність?
174. Як розрахувати реактивну потужність ідеальної котушки через її провідність?
175. Як розрахувати реактивну потужність ідеального конденсатора через його провідність?
176. Як розрахувати повну потужність паралельно з'єднаних резистора, ідеальної котушки та ідеального конденсатора через їх провідності?
177. Зобразіть трикутник потужностей паралельно з'єднаних резистора, ідеальної котушки та ідеального конденсатора.
178. Як визначити коефіцієнт потужності паралельно з'єднаних резистора, ідеальної котушки та ідеального конденсатора через їх провідності?
179. Зобразіть розрахункові схеми котушки при послідовному та паралельному з'єднанні елементів.
180. Наведіть математичний вираз для розрахунку активної провідності котушки через її опори.
181. Наведіть математичний вираз для розрахунку реактивної провідності котушки через її опори.
182. Наведіть математичний вираз для розрахунку активного опору котушки через її провідності.
183. Наведіть математичний вираз для розрахунку реактивного опору котушки через її провідності.
184. Наведіть математичний вираз миттєвого значення сили синусоїдного струму.
185. Зобразіть змінний синусоїдний струм вектором на комплексній площині.
186. Наведіть математичний запис комплексної амплітуди змінного синусоїдного струму в показовій формі.
187. Наведіть математичний запис комплексної амплітуди змінного синусоїдного струму в тригонометричній формі.
188. Наведіть математичний запис комплексної амплітуди змінного синусоїдного струму в алгебраїчній формі.

189. Наведіть математичний запис комплексної амплітуди напруги в трьох формах.
190. Наведіть математичний запис комплексної амплітуди е.р.с. в трьох формах.
191. Як додати комплекси сил струмів?
192. Як відняти комплекси сил струмів?
193. Як знайти добуток комплекси?
194. Як розділити комплекси?
195. Як знайти добуток комплексу на j ?
196. Як поділити комплекс на j ?
197. Наведіть розрахункову схему послідовно з'єднаних резистора, ідеальної котушки та ідеального конденсатора в комплексній формі.
198. Наведіть математичний запис комплексного опору послідовно з'єднаних резистора, ідеальної котушки та ідеального конденсатора в комплексній формі у трьох формах.
199. Наведіть математичний запис закону Ома для ділянки кола в комплексній формі.
200. Як визначити комплекс похідної сили змінного синусоїдного струму?
201. Як визначити комплекс інтегралу сили змінного синусоїдного струму?
202. Наведіть математичний запис комплексної провідності у трьох формах.
203. Дайте визначення спряженого комплексу струму. Наведіть його математичний запис.
204. Наведіть математичний запис комплексної потужності у трьох формах.
205. Наведіть математичний запис першого закону Кірхгофа в комплексній формі.
206. Наведіть математичний запис другого закону Кірхгофа в комплексній формі.
207. Наведіть розрахункові схеми нерозгалуженого кола синусоїдного струму з лінією електропередачі і активно-індуктивним навантаженням для миттєвих значень та комплексів.
208. Наведіть рівняння електричної рівноваги нерозгалуженого кола синусоїдного струму з лінією електропередачі і активно-індуктивним навантаженням для миттєвих значень.
209. Наведіть рівняння електричної рівноваги нерозгалуженого кола синусоїдного струму з лінією електропередачі і активно-індуктивним навантаженням для комплексів.
210. Зобразіть на комплексній площині векторну діаграму нерозгалуженого кола синусоїдного струму з лінією електропередачі і активно-індуктивним навантаженням.
211. Наведіть математичний вираз комплексного спадання напруги в лінії електропередачі.

212. Наведіть математичний вираз модуля спадання напруги в лінії електропередачі.
213. Наведіть математичний вираз втрати напруги в лінії електропередачі.
214. Наведіть математичний вираз втрати активної потужності в лінії електропередачі.
215. Наведіть розрахункову схему нерозгалуженого кола синусоїдного струму з лінією електропередачі і активно-індуктивним навантаженням для комплексів у вигляді, необхідному для побудови кругової діаграми струму кола.
216. Наведіть рівняння кругової діаграми сили струму нерозгалуженого кола синусоїдного струму з лінією електропередачі і активно-індуктивним навантаженням.
217. Зобразіть на комплексній площині кругову діаграму сили струму нерозгалуженого кола синусоїдного струму з лінією електропередачі і активно-індуктивним навантаженням.
218. Наведіть розрахункові схеми нерозгалуженого кола синусоїдного струму з послідовно з'єднаними реальною котушкою і конденсатором змінної ємності для миттєвих значень та комплексів.
219. Наведіть рівняння кругової діаграми сили струму нерозгалуженого кола синусоїдного струму з послідовно з'єднаними реальною котушкою і конденсатором змінної ємності.
220. Зобразіть на комплексній площині кругову діаграму струму нерозгалуженого кола синусоїдного струму з послідовно з'єднаними реальною котушкою і конденсатором змінної ємності.
221. Наведіть розрахункові схеми паралельного з'єднання реальної котушки і конденсатора змінної ємності (при послідовному і паралельному з'єднанні їх елементів).
222. Зобразіть на комплексній площині векторну діаграму кола з паралельно з'єднаними реальною котушкою і конденсатором змінної ємності.
223. Наведіть рівняння кругової діаграми сили струму кола з паралельно з'єднаними реальною котушкою і конденсатором змінної ємності.
224. Зобразіть на комплексній площині кругову діаграму сили струму кола з паралельно з'єднаними реальною котушкою і конденсатором змінної ємності.
225. За якої умови у колі з паралельно з'єднаними реальною котушкою і конденсатором змінної ємності настає резонанс струмів. Наведіть умову, за якої він настає двічі?
226. Наведіть умову, за якої у колі з паралельно з'єднаними реальною котушкою і конденсатором змінної ємності настає резонанс струмів один раз?
227. Наведіть умову, за якої у колі з паралельно з'єднаними реальною котушкою і конденсатором змінної ємності резонанс струмів не може наступити?

228. Наведіть розрахунковий вираз реактивної потужності конденсаторної установки для компенсації реактивної потужності навантаження.
229. Які елементи називають індуктивно зв'язаними?
230. Чим характеризується ступінь індуктивного зв'язку двох елементів кола? Як його визначити?
231. Наведіть конструктивну схему згідного з'єднання індуктивно зв'язаних елементів.
232. Наведіть розрахункову схему згідного з'єднання індуктивно зв'язаних елементів для миттєвих значень.
233. Наведіть рівняння електричної рівноваги кола згідного з'єднання індуктивно зв'язаних елементів для миттєвих значень.
234. Наведіть рівняння електричної рівноваги кола згідного з'єднання індуктивно зв'язаних елементів в комплексній формі.
235. Зобразіть на комплексній площині векторну діаграму кола згідного з'єднання індуктивно зв'язаних елементів.
236. Наведіть розрахункову схему зустрічного з'єднання індуктивно зв'язаних елементів для миттєвих значень.
237. Наведіть рівняння електричної рівноваги кола зустрічного з'єднання індуктивно зв'язаних елементів для миттєвих значень.
238. Наведіть рівняння електричної рівноваги кола зустрічного з'єднання індуктивно зв'язаних елементів в комплексній формі.
239. Зобразіть на комплексній площині векторну діаграму кола зустрічного з'єднання індуктивно зв'язаних елементів.
240. Наведіть математичний вираз для розрахунку сумарного активного потужності згідно або зустрічно з'єднаних елементів.
241. Наведіть математичний вираз для розрахунку еквівалентної індуктивності згідно з'єднаних елементів.
242. Наведіть математичний вираз для розрахунку еквівалентної індуктивності зустрічно з'єднаних елементів.
243. Наведіть розрахункові схеми індуктивно зв'язаних елементів із загальною точкою з індуктивним зв'язком та без нього.
244. Наведіть розрахункову схему повітряного трансформатора.
245. Наведіть рівняння електричної рівноваги первинного контуру повітряного трансформатора для миттєвих значень.
246. Наведіть рівняння електричної рівноваги вторинного контуру повітряного трансформатора для миттєвих значень.
247. Наведіть рівняння електричної рівноваги первинного і вторинного контурів в комплексній формі.
248. Зобразіть на комплексній площині векторну діаграму повітряного трансформатора.
249. Наведіть схему заміщення повітряного трансформатора.

Завдання для підготовки до підсумкового контролю

1. Електронагрівальний пристрій за допомогою лінії електропередачі підключений до реального джерела постійного струму. Відомо наступне: електрорушійна сила джерела E , опір лінії електропередачі R_{ℓ} , опір нагрівального пристрою R_n . Складіть розрахункову схему зазначено кола і наведіть алгоритм розрахунку напруг, потужностей і ККД кола, а також кількості електричної енергії, яку споживає електронагрівальний пристрій за час t .
2. Дві лампи розжарювання, які включені паралельно одна іншій, за допомогою лінії електропередачі підключені до реального джерела постійного струму. Відомо наступне: електрорушійна сила джерела E , опір лінії електропередачі R_{ℓ} , опори ламп розжарювання R_1 та R_2 . Складіть розрахункову схему зазначено кола і наведіть алгоритм розрахунку напруг, струмів і потужностей кола.
3. На затискачі індуктивної котушки подано змінну синусоїдну напругу $u = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u)$. Параметри котушки наступні: активний опір r , індуктивність L . Частота струму у колі f . Складіть розрахункову схему котушки для миттєвих значень та наведіть алгоритм розрахунку миттєвих струму і напруг кола, а також потужностей і коефіцієнта потужностей котушки.
4. На затискачі індуктивної котушки подано змінну синусоїдну напругу. У коло котушки включені вольтметр, амперметр і ватметр. Показання вказаних приладів наступні: амперметра I , вольтметра U , ватметра P . Частота струму у колі f . Складіть принципову електричну схему кола. Складіть розрахункову схему кола для миттєвих значень та наведіть алгоритм розрахунку опорів, індуктивності, діючих значень напруг та потужностей котушки.
5. На затискачі послідовно з'єднаних котушки та ідеального конденсатора подано змінну синусоїдну напругу $u = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u)$. Параметри кола наступні: активний опір котушки r , індуктивність котушки L , ємність конденсатора C . Частота струму у колі f . Складіть розрахункову схему кола для миттєвих значень та наведіть алгоритм розрахунку миттєвих струму і напруг кола, а також потужностей і коефіцієнта потужностей кола.

6. На затискачі індуктивної котушки подано змінну синусоїдну напругу $u = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u)$. Параметри котушки наступні: активний опір r , індуктивний опір x_L . Складіть розрахункову схему котушки для миттєвих значень через її провідності та наведіть алгоритм розрахунку миттєвих струмів котушки та потужностей котушки через її провідності.
7. На затискачі індуктивної котушки подано змінну синусоїдну напругу $u = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u)$. Параметри котушки наступні: активний опір r , індуктивний опір x_L . Складіть розрахункову схему котушки для комплексів та наведіть алгоритм розрахунку комплексних напруг кола та комплексу повної потужності котушки у показовій та алгебраїчній формах.
8. На затискачі послідовно з'єднаних котушки та ідеального конденсатора подано змінну синусоїдну напругу $u = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u)$. Параметри кола наступні: активний опір котушки r , індуктивний опір котушки x_L , ємнісний опір конденсатора x_C . Складіть розрахункову схему кола для комплексів та наведіть алгоритм розрахунку комплексних напруг кола та комплексу повної потужності котушки у показовій та алгебраїчній формах.
9. На затискачі кола, яке складається з лінії електропередачі та індуктивної котушки, подано змінну синусоїдну напругу $u = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u)$. Параметри кола наступні: активний опір лінії r_L , індуктивний опір лінії x_L , активний опір котушки r , індуктивний опір котушки x_L . Складіть розрахункову схему кола для миттєвих значень та наведіть алгоритм розрахунку спадання і втрати напруги в лінії електропередачі.
10. Який пристрій використовується для компенсації реактивної потужності активно-індуктивного навантаження? Як він вмикається в коло? Як розрахувати необхідну потужність цього пристрою?
11. На затискачі двох послідовно з'єднаних індуктивно зв'язаних котушок подано змінну синусоїдну напругу $u = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u)$. Котушки включені згідно. Параметри кола наступні: активні опори котушок r_1 та r_2 , індуктивності котушок L_1 та L_2 , коефіцієнт індуктивного зв'язку K . Частота струму у колі f . Наведіть алгоритм розрахунку параметрів котушок та потужностей, які споживає коло. Як зміниться цей алгоритм у разі зустрічного з'єднання котушок?

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Самостійна робота згідно Положенню про самостійну роботу здобувачів вищої освіти ТДАТУ здійснюється у формі підготовки до лабораторних робіт. Самостійна робота полягає у вивченні певних пунктів теоретичного матеріалу і виконанні завдань до них, зазначених у цьому практикумі. Кількість пунктів теоретичного матеріалу, які необхідно опрацювати, вказується на початку кожної лабораторної роботи [6]. Оцінка за виконання завдань кожного пункту виставляється за балом, отриманим за відповіді на тести до цього пункту на освітньому порталі ТДАТУ, за умови наявності письмово виконаних тестів з таблиць, наведених у цьому практикумі.

Самостійна робота до певної лабораторної роботи включає, як правило, декілька пунктів. Тому оцінка за неї виставляється як середньо арифметична оцінка за кожен з пунктів. Бали за виконання самостійної роботи при підготовці до кожної лабораторної роботи вказуються у робочій програмі навчальної дисципліни.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Овчаров В.В. Теоретичні основи електротехніки, частина 1. Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2007. 389 с.
2. Вовк О.Ю., Квітка С.О., Попова І.О. Лінійні електричні кола постійного струму: навчальний посібник. Запоріжжя : ВПЦ «Люкс», 2023. 227 с.
3. Коваль Ю.О., Гринченко Л.В., Милютченко І.О., Рибін О.І. Основи теорії кіл: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Ч.1 / За заг. редакцією В. М. Шокала та В. І. Правди. Х. : Компанія СМІТ, 2008. 432 с.
4. Хілов В.С. Теоретичні основи електротехніки: підручник. К.: Видавництво “Каравела”, 2021. 468 с.
5. Маляр В.С. Теоретичні основи електротехніки: підручник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. 416 с.
6. Вовк О.Ю. Теоретичні основи електротехніки, частина 1: Методичні вказівки для лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти «бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми навчання на основі повної загальної середньої освіти. Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. 110 с.

Навчальне видання

Вовк Олександр Юрійович

Попова Ірина Олексіївна

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ
частина 1

*Практикум для самостійної роботи
здобувачів вищої освіти*

Формат 60x84
Ум. друк. арк. 15,9