

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ТОРГОВЕЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВІННИЦЬКИЙ ТОРГОВЕЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

Сертифікована на відповідність ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT)

Кафедра інноваційної економіки та цифрових технологій

**ЕЛЕКТРОТЕХНІКА /
ELECTRIC ENGINEERING**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Ступінь вищої освіти	бакалавр /	bachelor
Галузь знань	F Інформаційні технології /	Information Technologies
Спеціальність	F6 Інформаційні системи і технології /	Information Systems and Technologies
Освітня програма	Інформаційні технології у підприємстві /	Information Technologies in Entrepreneurship

Вінниця 2025

Розробники: Гусак Людмила, кандидат педагогічних наук, доцент
Дементьєв Сергій, кандидат технічних наук

Обговорено та схвалено:
на засіданні кафедри інноваційної економіки та цифрових технологій від
01.09.2025 р. пр. № 01;
на засіданні методичної комісії факультету економіки, менеджменту та
права 19.09.2025 р. пр. № 05.

Рецензент: Романюк Вадим, доктор технічних наук, професор

Редактор: Фатєєва Т.
Комп'ютерна верстка: Шуляк Н.

Підп. до друку 15.10.2025 р. Формат 60x84/16. Папір офсетний
Друк ксероксний. Ум. друк. арк. 1,93.
Обл.-вид. арк. 1,46. Тираж 2. Зам. № 478.

Редакційно-видавничий відділ ВТЕІ ДТЕУ
21000, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 25

I. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Метою вивчення курсу є формування у майбутніх фахівців необхідного рівня технічних знань з електротехніки, набуття практичних навичок роботи із сучасним електричним обладнанням і використання сучасних технологій для розв'язування різноманітних задач у процесі навчання та роботи за фахом.

Завдяки урізноманітненню організаційних форм і методів навчання у закладах вищої освіти з електротехніки має здійснюватися ефективна самостійна робота здобувачів, вона передбачена навчальними планами та робочою програмою. Також вона обумовлюється низкою чинників, найважливішими серед яких є:

- опрацювання теоретичних питань, які виносяться за межі лекційного матеріалу;
- підготовка до практичних занять, поточних самостійних робіт, тестування, екзамену;
- виконання індивідуальних самостійних завдань;
- підготовка доповідей/презентацій з оформленням рефератів;
- участь у студентських наукових конференціях та круглих столах;
- робота з додатковими джерелами інформації, онлайн-ресурсами, масовими відкритими онлайн-курсами на тощо.

Оскільки самостійна робота не регламентується навчальним розкладом, здобувач вищої освіти повинен самостійно її опанувати. Кількість годин, яка передбачена для роботи над кожною темою, зазначена у тематичному плані. Всього на самостійну роботу відводиться 120 годин відповідно до критеріїв оцінювання знань.

У методичних рекомендаціях запропоновані допоміжні матеріали для опанування питань, які виносяться на самостійне опрацювання за кожною з тем відповідно до робочої програми освітнього компонента «Електротехніка».

Для зручності користування методичними рекомендаціями на початку кожної теми наведені методичні рекомендації по вивченню конкретних тем, питання до самостійного вивчення, рекомендовані джерела та перелік індивідуальних завдань. Для закріплення самостійно опрацьованого матеріалу здобувач вищої освіти може використати питання для самоконтролю, які запропоновані після кожної теми.

II. ОБСЯГ ОСВІТНЬОГО КОМПОНЕНТА «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА» В КРЕДИТАХ ТА ЙОГО РОЗПОДІЛ (ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН)

Назва теми	Кількість годин				Форми контролю	Бальна оцінка
	Усього годин/кредитів	з них				
		лекції	практичні заняття	СРС		
Тема 1. Вступ. Електрична енергія: поняття про виробництво, передачу та розподіл	16	2	4	10	В, РПЗ	8
Тема 2. Електричні кола постійного струму. Електричні кола змінного струму	16	2	4	10	В, РПЗ	8
Тема 3. Елементна база електронної техніки	21	2	6	13	В, РПЗ, УД, РМГ	12
Тема 4. Мікрокомп'ютерні системи та засоби	21	2	6	13	В, РПЗ, УД, РМГ	12
Тема 5. Трифазні електричні кола. Трансформатори. Пристрої з магнітопроводами.	21	2	6	13	В, РПЗ, УД, РМГ	12
Тема 6. Основи електричного приводу. Електричні машини	21	2	6	13	В, РПЗ, УД, РМГ	12
Тема 7. Електромеханічні прилади і системи автоматики	22	2	6	14	В, РПЗ, УД, РМГ	12
Тема 8. Використання відновлювальних джерел енергії на підприємствах. Основи енергозбереження	22	2	6	14	В, РПЗ, УД, РМГ	12
Індивідуальне завдання	20			20	ІЗ	12
Всього	180/6	16	44	120		100
Підсумковий контроль - екзамен						

Перелік умовних позначень форм контролю та оцінка їх у балах:

В – відповідь на заняттях – 2 бали.

РПЗ – розв'язання практичних завдань – 6 балів.

УД – участь у дискусії – 2 бали.

РМГ – робота в малих групах – 2 бали.

ІЗ – індивідуальні завдання – 12 балів (курси на платформі Prometheus або на інших сервісах – 5 балів; участь у наукових заходах – 7 балів).

Загальна сума за поточну навчальну роботу (аудиторну та самостійну) за семестр – 100 балів.

ІІІ. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИВЧЕННЯ КОНКРЕТНИХ ТЕМ

ТЕМА 1. ВСТУП. ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ: ПОНЯТТЯ ПРО ВИРОБНИЦТВО, ПЕРЕДАЧУ ТА РОЗПОДІЛ

Під електрикою в широкому значенні розуміють всю сукупність електромагнітних явищ, які є проявами електромагнітного поля і його взаємодією з речовиною. У вузькому значенні слово «електрика» уживається для кількісного визначення електричного заряду.

Електричний заряд - це властивість частинок матерії або тіл, яка характеризує їх взаємозв'язок з власним електромагнітним полем і їх взаємодію із зовнішнім електромагнітним полем.

Закон Кулона виражається наступною формулою:

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi R^2 \epsilon_a},$$

де Q_1 і Q_2 - заряди точкових тіл, Кл; R - відстань між їх центрами, м; ϵ_a - абсолютна діелектрична проникність середовища (вона враховує вплив середовища, в якому знаходяться заряджені точкові тіла, на силу їх взаємодії).

Під напруженістю розуміють відношення сили F , діючої на заряджене тіло в даній точці поля, до заряду q цього тіла.

$$E = \frac{F}{q}.$$

Електрична напруга – це різниця потенціалів між двома точками поля.

$$U = \varphi_1 - \varphi_2$$

Напруга чисельно рівна роботі, яку можуть вчинити сили поля при переміщенні одиниці позитивного заряду з однієї точки поля в іншу

$$U = \frac{W}{q}.$$

Напруженість електричного поля при однорідному полі є відношенням електричної напруги, діючої між двома точками поля, до відстані l між цими

крапками:
$$E = \frac{U}{l}.$$

Впорядкований рух електрично заряджених частинок матерії називають електричним струмом.

Постійним струмом називають струм, значення і напрям якого у будь-який момент часу залишаються незмінними.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}.$$

Опір прямолінійного провідника

Опір металевого провідника R_t при будь-якій температурі t :

$$R_t = R_0 (1 + \alpha (t - t_0)),$$

де R_0 - опір провідника при деякій початковій температурі t_0 (звичайно при $+20^\circ\text{C}$), $t - t_0$ - зміна температури.

ЕРС чисельно рівна роботі сторонніх сил по переміщенню одиниці позитивного заряду всередині джерела електричної енергії проти сил електричного поля.

Напруга чисельно рівна роботі сил електричного поля по переміщенню одиниці позитивного заряду з однієї точки електричного поля в іншу в зовнішньому колі.

ЕРС і напруга джерела тісно пов'язані одне з одним. Якщо в джерелі не збуджується ЕРС, то відсутня і напруга на його затискачах.

Електричне коло утворюють джерела електричної енергії, її приймачі (споживачі) і сполучні дроти.

Питання до самостійного вивчення

1. Потужність електричного струму.

Рекомендовані джерела:

Основні: 1, 2, 3, 5.

Додаткові: 7, 10, 11.

Інтернет-ресурси: 17, 18, 21, 22.

Перелік індивідуальних завдань

1. Вказати схемне зображення ідеального пасивного елемента, в якому електрична енергія перетворюється на теплову енергію (рис. 1.1).

2. Вказати схемне зображення ідеального пасивного елемента, в якому електрична енергія перетворюється на енергію магнітного поля (рис. 1.1).

3. Вказати схемне зображення ідеального пасивного елемента, в якому електрична енергія перетворюється на енергію електричного поля (рис. 1.1).

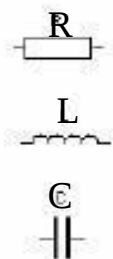


Рисунок 1.1

4. Визначити індуктивність ідеальної котушки, якщо при частоті 100 кГц її індуктивний опір дорівнює 16 кОм.

5. Визначити індуктивний опір ідеальної котушки, що на частоті 100 Гц має індуктивність $L = 25,5$ мГн.

6. Визначити індуктивний опір ідеальної котушки, що на частоті 150 Гц має індуктивність $L = 25,5$ мГн.

7. Визначити індуктивний опір ідеальної котушки, що на частоті 50 Гц має індуктивність $L = 25,5$ мГн.

8. До джерела постійного струму з ЕРС, $E = 1,5$ В і внутрішнім опором $r = 2,5$ Ом з'єднали навантаження з опором $R = 10$ Ом. Знайти струм в колі і падіння напруги на джерелі.

9. Напруга на затискачах джерела, що навантажено опором $R = 250 \text{ Ом}$ – $U = 4,5 \text{ В}$. Напруга на затискачах того ж самого джерела без навантаження – $U = 4,77 \text{ В}$. Знайти внутрішній опір джерела.

10. До джерела постійного струму з ЕРС, $E = 125 \text{ В}$ з'єднали послідовно три резистора з опорами $R_1 = 100 \text{ Ом}$, $R_2 = 30 \text{ Ом}$, $R_3 = 120 \text{ Ом}$. Знайти струм в колі, падіння напруги і потужність на кожному резисторі.

11. В скільки разів збільшиться потужність, що розсіюється на резисторі, якщо струм в ньому збільшиться в 1,5 рази.

12. Як зміниться струм I та напруга U після замикання рубильника в схемах на рисунку 1.23?

13. Визначити ємнісний опір конденсатора, що на частоті 150 Гц має ємність $C = 150 \text{ мкФ}$.

15. Визначити ємність конденсатора, якщо при частоті 100 Гц його ємнісний опір $X_C = 3 \text{ кОм}$.

16. Визначити ємнісний опір конденсатора, що на частоті 200 Гц має ємність $C = 150 \text{ мкФ}$.

17. Визначити ємність конденсатора, якщо при частоті 100 Гц його ємнісний опір $X_C = 1 \text{ кОм}$.

18. Визначити ємність конденсатора, якщо при частоті 100 Гц його ємнісний опір $X_C = 0,5 \text{ кОм}$.

19. Визначити, на якій частоті працює конденсатор ємністю $C = 100 \text{ мкФ}$, якщо його ємнісний опір дорівнює $X_C = 10,62 \text{ Ом}$.

20. Визначити, на якій частоті працює котушка індуктивності $L = 50 \text{ мГн}$, якщо її індуктивний опір дорівнює $X_L = 15,7 \text{ Ом}$.

Питання для самоконтролю

1. Що таке електричне коло із чого воно складається?
2. Яка природа електричного струму?
3. Які провідникові матеріали застосовуються в електротехнічних установках?

ТЕМА 2. ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

До простих кіл слід віднести кола з одним джерелом живлення та послідовним, паралельним або мішаним з'єднанням резисторів.

При послідовному з'єднанні резисторів, загальний опір дорівнює сумі

$$R = \sum_{i=1}^m R_i$$

опорів кола

При проходженні струму по колу на кожному резисторі є спади напруги, які в сумі дорівнюють напрузі джерела живлення: $U = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5$.

Загальна потужність, яку споживає коло, дорівнює сумі потужностей, що споживають окремі резистори $P = U \cdot I = I \cdot (U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5)$.

При паралельному з'єднанні резисторів загальний опір кола визначають через провідності або величини, обернені величинам опорів паралельних витків. Так можна записати $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$.

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

Звідки загальний опір:

Напруга при паралельному з'єднанні резисторів на кожному резисторі така, як і напруга на клеммах схеми: $U = U_1 = U_2 = U_3$.

Як і для схеми з послідовним з'єднанням, додержуємося балансу потужностей $P = P_1 + P_2 + P_3$.

Для мішаного з'єднання резисторів загальний опір дорівнює:

$$R_{екв} = R_1 + \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4}$$

Напруги на резисторах мають вигляд $U = U_1 + U_{2,3}$, а баланс потужностей такий, як і для схеми послідовного та паралельного з'єднань.

В електричних схемах часто зустрічаються послідовно, паралельно або мішано з'єднані ємності. При цьому загальну еквівалентну ємність слід розраховувати при послідовному з'єднанні так:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Загальна ємність завжди менша найменшої із ємностей, які з'єднані в колі тому, що загальна товщина діелектрика при цьому збільшується, а як відомо:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d},$$

де ε - діелектрична проникність; S - площа пластин, мм²; d - відстань між пластинами, або товщина діелектрика, мм. Так, для схеми з двох ємностей

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

загальна ємність

При паралельному з'єднанні ємностей, аналогічно як і при послідовному з'єднанні резисторів, загальна ємність дорівнює сумі ємностей $C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$.

Це пояснюється тим, що в цьому випадку збільшується загальна площа пластин.

Електричне коло (рис. 2.1.) найпростіше розраховують за допомогою першого й другого законів Кірхгофа. В цьому випадку відомими є опори, величини і напрямки ЕРС. Напрями струмів обирають умовно. Для вузла (а) запишемо рівняння за першим законом Кірхгофа:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

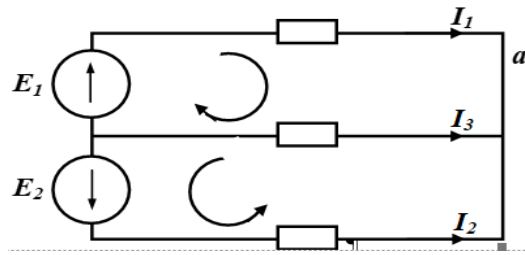


Рисунок 2.1. До аналізу складного кола постійного струму методом застосування законів Кірхгофа

Недостатню кількість рівнянь складаємо за другим законом Кірхгофа:

- для верхнього контуру: $E_1 = I_1 \cdot R_1 - I_3 \cdot R_3$;
- для нижнього контуру: $E_2 = I_2 \cdot R_2 - I_3 \cdot R_3$.

Питання до самостійного вивчення

1. Вплив температури на величину опору провідників та чим пояснюється це явище.
2. Вплив кількості послідовно з'єднаних опорів на силу струму у колі.
3. Явище нагрівання провідника струмом (школа, користь).

Рекомендовані джерела:

Основні: 2, 4, 5, 6.

Додаткові: 7, 10, 11.

Інтернет-ресурси: 16.

Перелік індивідуальних завдань

Завдання. Коло, яке складається з п'яти опорів R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 включених згідно схеми (рис. 2.2.), приєднано до джерела енергії із ЕРС - E . Крізь опори протікають струми I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 . Загальна потужність, яку поглинає коло, дорівнює P . Величину внутрішнього опору джерела не враховувати. Напруга на затискачах AB дорівнює U_{AB} .

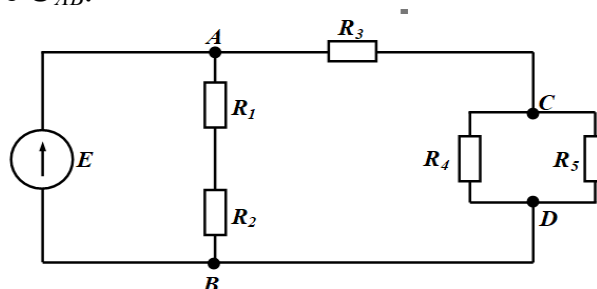


Рисунок 2.2.

Визначити невідомі величини, які вказані знаком питання і кількість тепла, яке утворюється на всіх резисторах (опорах) кола за час $t = 10$ годин.

№ задач	$E, (B)$	$U_{AB}, (B)$	$P, (Bm)$	Опору (Ом)					Струм (А)				
				R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	120	?	?	4	6	3	7	6	?	?	?	?	?
2	?	?	?	3	4	4	5	5	?	?	?	?	10
3	?	60	?	5	2	8	4	2	?	?	?	?	?
4	?	?	1000	2	4	2	6	4	?	?	?	?	?
5	?	?	?	10	2	4	4	2	?	10	?	?	?
6	40	?	400	?	10	5	4	10	?	?	?	?	?
7	?	?	?	15	6	10	4	10	4	?	?	?	?
8	?	?	?	10	20	20	10	20	?	?	?	5	?
9	60	?	600	2	4	5	8	?	?	?	?	?	?
10	25	?	125	2	8	?	2	6	?	?	?	?	?
11	120	?	?	4	6	3	7	6	?	?	?	?	?
12	?	?	?	3	4	4	5	5	?	?	?	?	10
13	?	60	?	5	2	8	4	2	?	?	?	?	?
14	?	?	1000	2	4	2	6	4	?	?	?	?	?
15	?	?	?	10	2	4	4	2	?	10	?	?	?
16	40	?	400	?	10	5	4	10	?	?	?	?	?
17	?	?	?	15	6	10	4	10	4	?	?	?	?
18	?	?	?	10	20	20	10	20	?	?	?	5	?
19	60	?	600	2	4	5	8	?	?	?	?	?	?
20	25	?	1250	2	8	?	2	6	?	?	?	?	?
21	110	?	?	8	4	3	7	8	?	?	?	?	?
22	?	?	?	5	7	9	8	4	?	?	?	?	15
23	?	80	?	6	8	2	4	5	?	?	?	?	?
24	?	?	800	2	8	6	4	3	?	?	?	?	?
25	?	?	?	12	4	4	4	6	?	12	?	?	?
26	50	?	500	?	20	2	4	8	?	?	?	?	?
27	?	?	?	16	24	32	2	2	4	?	?	?	?
28	?	?	?	20	60	22	2	6	?	?	?	6	?
29	20	?	1000	2	4	6	8	?	?	?	?	?	?
30	80	?	900	8	4	?	2	6	?	?	?	?	?

Питання для самоконтролю

1. В чому полягає пожежна безпека паралельного увімкнення до мережі великої кількості споживачів?
2. Як визначити втрати напруги та потужності в проводах?
3. Перерахуйте випадки теплової дії електричного струму (корисне та шкідливе).

ТЕМА 3. ЕЛЕМЕНТНА БАЗА ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

Елементна база електронної техніки - це сукупність компонентів, які використовують для створення електронних пристроїв. Ці елементи можуть бути активними (тобто ті, які споживають енергію та можуть керувати потоком електронів) або пасивними (тобто ті, які не можуть керувати електронним потоком, але можуть змінювати його параметри).

До активних елементів відносяться транзистори, діоди, тріаки, тиристори, операційні підсилювачі, логічні елементи та інші. Ці елементи остаточно складніші та більш дорогі у виробництві, але вони можуть розробити більш складні електронні пристрої, такі як комп'ютери, смартфони та інші.

До пасивних елементів відносяться резистори, конденсатори індуктивності, трансформатори та інші. Ці елементи залишаються менш складними та дешевшими, але необхідні для багатьох електронних пристроїв. Наприклад, резистори використовують для обмеження електричного струму, конденсатори для зберігання електричної енергії та інші.

Елементна база електронної техніки дуже важлива для розробки електронних пристроїв, вона дає можливість вибирати та підключати різні елементи, щоб створити необхідні функціональні пристрої.

Питання до самостійного вивчення

1. Що таке тріак?
2. Що таке тиристор?
3. Операційні підсилювачі.

Рекомендовані джерела:

Основні: 2, 4, 5.

Додаткові: 8, 9, 11, 13.

Інтернет-ресурси: 14, 16.

Перелік індивідуальних завдань

1. Визначити еквівалентний опір групи резисторів в відповідності до схеми на рис. 3.1.
2. На рис. 3.2. приведена схема електричного кола. Відомо, що через резистор R_2 протікає струм $I = 1\text{А}$. Визначити ЕРС ідеального джерела напруги на опорах і струми, що протікають через резистори.

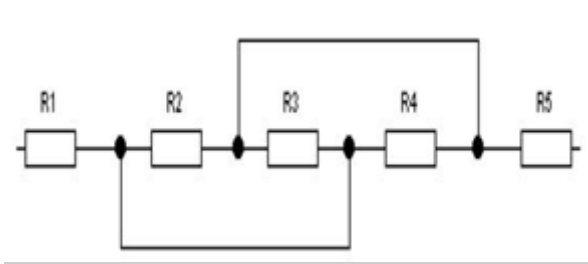


Рисунок 3.1.

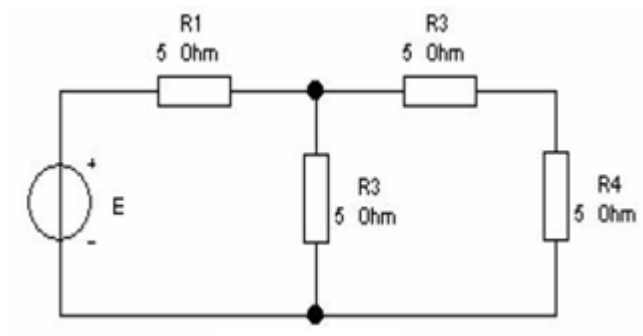


Рисунок 3.2.

3. Побудувати ВАХ такого джерела напруги, яке містить в собі 6 елементів з ЕРС, що дорівнює $E = 2,2$ В. Внутрішній опір цього джерела – $r_0 = 0,01$ Ом.

4. Побудувати ВАХ джерела струму, яке містить в собі 3 батареї із струмом $I = 1,1$ А і внутрішнім опором $r_0 = 1$ МОм.

5. На рис. 3.3 приведена схема електричного кола. Відомо, що через опір R_3 протікає струм $I = 1$ А. Визначити напруги U_{AB} , U_{AC} , U_{BC} .

6. Яка потужність виділяється на навантаженні $R_H = 5$ Ом, якщо навантаження приєднане до джерела з параметрами, які були отримані в задачі 5.

7. Визначити, яка енергія накопичена в індуктивності L , що розміщена в електричному колі (рис. 3.4). Чи залежить вона від величини опору R ?

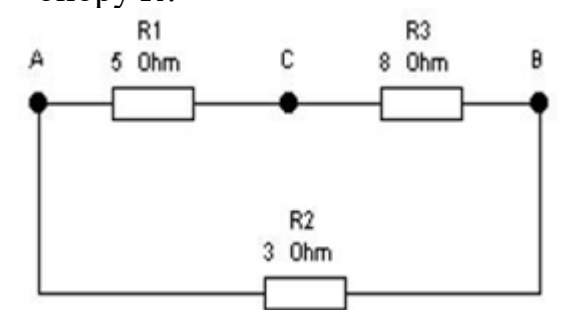


Рисунок 3.3.

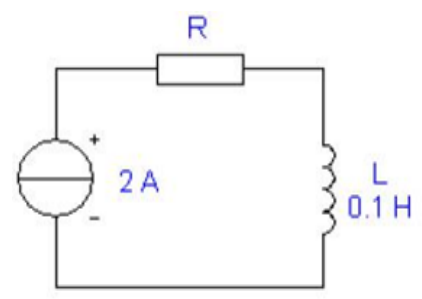


Рисунок 3.4.

8. Джерело напруги з ЕРС $E = 10$ В і $r_0 = 0,1$ Ом працює на навантаження R . Визначити величину R , при якому потужність, що віддається джерелом в навантаження, буде мати максимальну величину.

9. На рис. 3.5 схема пристрою для зарядки конденсатора від ідеального джерела струму. Які обмеження накладаються на роботу пристрою. Визначити залежність, що існує між струмом та напругою на конденсаторі. Як в часі змінюється напруга на конденсаторі.

10. Визначити величину падіння напруги на R_1 , якщо струм через R_4 дорівнює $0,1$ А (рис. 3.6).

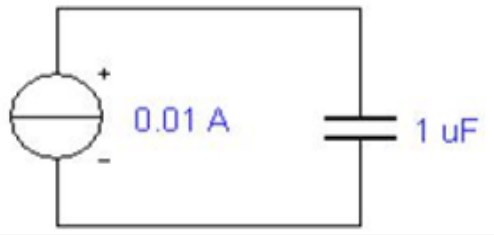


Рисунок 3.5.

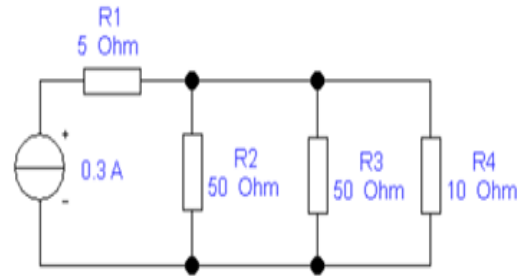


Рисунок 3.6.

11. До джерела з $E = 1,5$ В та внутрішнім опором, що дорівнює $r_0 = 2,5$ Ом, з'єднали резистор з опором $R = 10$ Ом. Визначити струм в колі та падіння напруги на джерелі.

12. Визначити ЕРС генератора та його внутрішній опір, якщо при потужності навантаження $P_1 = 2,7$ кВт напруга на затискачах генератора дорівнює $U = 225$ В, а при потужності $P_2 = 1,84$ кВт – дорівнює $U = 230$ В.

13. Джерело постійної напруги $U = 150$ В з'єднали з навантаженням, яке складається з 4-х паралельних гілок. Потужність, що споживається кожною гілкою дорівнює: $P_1 = 90$ Вт, $P_2 = 270$ Вт, $P_3 = 157,5$ Вт, $P_4 = 360$ Вт. Визначити провідність і струм кожної гілки, загальну провідність та еквівалентний опір навантаження.

14. Конденсатори $C_1 = 10$ мкФ і $C_2 = 15$ мкФ з'єднані послідовно. Визначити їх еквівалентну ємність.

15. Конденсатори $C_1 = 47$ пФ, $C_2 = 75$ пФ, $C_3 = 2$ мкФ з'єднані паралельно. Визначити загальну ємність ділянки кола.

16. Дві котушки індуктивності з $L = 15$ мГн і $L = 27$ мГн з'єднані послідовно. Визначити еквівалентну індуктивність ділянки кола.

17. Дві котушки індуктивності з $L = 15$ мГн і $L = 27$ мГн з'єднані паралельно. Визначити еквівалентну індуктивність ділянки кола.

18. Для кола, що зображене на рис. 3.7, визначити еквівалентний опір відносно затискачів $a - b$, якщо резистори кола мають наступні опори: $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 3$ Ом, $R_3 = 6$ Ом, $R_4 = 2$ Ом, $R_5 = 4$ Ом, $R_6 = 4$ Ом, $R_7 = 9$ Ом.

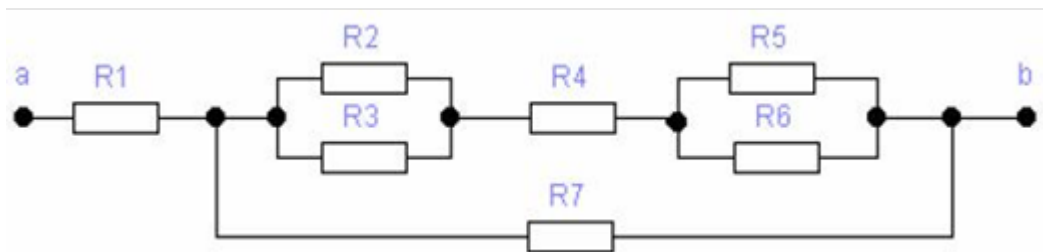


Рисунок 3.7.

19. Два джерела постійної напруги, що з'єднані паралельно, мають $E_1 = 11,5$ В, $r_1 = 2,5$ Ом, $E_2 = 16,5$ В, $r_2 = 6$ Ом та опір навантаження

$R_H = 30 \text{ Ом}$. Визначити величину струмів і напрямок струмів через джерела та навантаження. Визначити падіння напруги на затискачах джерел.

20. На джерело напруги $U=4,5 \text{ В}$ навантажено опір $R=250 \text{ Ом}$. Напруга на затискачах того ж джерела без навантаження – $U=4,77 \text{ В}$. Визначити внутрішній опір джерела.

Питання для самоконтролю

1. Охарактеризуйте активні елементи для створення електронних пристроїв.
2. У чому полягає процес вимірювання напруги, струмів та потужності?
3. Дайте характеристику активних елементів для створення електронних пристроїв.

ТЕМА 4. МІКРОКОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА ЗАСОБИ

Мікроелектроніка є основою для розвитку майже всіх сучасних технологій — від комп'ютерів до мобільних пристроїв, від систем автоматизації до інтернету речей (IoT). Завдяки значному прогресу в технологіях виробництва мікросхем та зменшенню розмірів транзисторів, сучасні мікрокомп'ютери стають більш потужними і ефективними. Основним напрямком у розвитку мікроелектроніки є зменшення розміру компонентів, що дозволяє досягти високої продуктивності при мінімальних енергетичних витратах.

Друковані плати (PCB) є одними з основних елементів для створення електронних пристроїв. Вони забезпечують механічну підтримку та електричні з'єднання між різними компонентами системи. Сучасні методи виготовлення друкованих плат використовують високоточні технології, такі як фотолітографія, лазерне травлення та автоматичне проектування. Плати можуть бути як односторонніми, так і багат шаровими, що дозволяє створювати складні системи з великою кількістю компонентів. Розвиток електронних компонентів також йде в ногу з прогресом у мікроелектроніці. Сучасні компоненти (резистори, конденсатори, транзистори та інші елементи) стають компактнішими, дешевшими і більш надійними. Одним із важливих аспектів є зменшення енергоспоживання компонентів, що важливо для мобільних пристроїв і вбудованих систем.

Для розробників електронних пристроїв та компонентів важливим є доступ до матеріалів і компонентів. Існує кілька популярних маркетплейсів, де можна знайти як готові компоненти, так і набори для самостійної розробки. Одним із найбільш відомих є **Digi-Key**, що пропонує величезний асортимент електронних компонентів і модулів для будь-яких потреб. Іншими важливими платформами є **RS Components**, **Mouser Electronics** та **TME**. Ці платформи забезпечують зручний доступ до компонентів для виробництва, а також надають ресурси для розробників, зокрема технічну документацію та програмне забезпечення.

Системи на базі **Arduino** є одними з найбільш популярних платформ для

розробки вбудованих систем. Arduino — це відкрита платформа для створення прототипів електронних пристроїв, що включає в себе мікроконтролер, програмне забезпечення для розробки і тестування програм, а також набори для збирання різноманітних пристроїв. Однією з ключових переваг Arduino є простота вивчення і використання, що робить її ідеальною для студентів та початківців. Модулі та компоненти, що використовуються в Arduino-платформах, включають сенсори, мотори, дисплеї і т.п.

Тенденції в розробці вбудованих систем зумовлені такими факторами, як потреба в більшій продуктивності, зниженні енергоспоживання і розвитку нових технологій, таких як IoT. Ось кілька основних тенденцій:

1. **Мініатюризація і оптимізація.** Вбудовані системи повинні ставати меншими за розмірами, але потужнішими за функціональністю.
2. **Інтеграція ШІ та машинного навчання.** Сучасні вбудовані системи все більше інтегрують можливості для обробки даних за допомогою штучного інтелекту, що дозволяє пристроям "вчитися" і адаптуватися до змін у середовищі.
3. **Інтернет речей (IoT).** Багато вбудованих систем створюються з можливістю підключення до інтернету для збору, аналізу і передачі даних.

Питання до самостійного вивчення

1. Як мікроелектронні компоненти, такі як транзистори та резистори, впливають на загальну ефективність і енергоспоживання вбудованих систем?
2. Що таке операційні систем для вбудованих систем, такі як FreeRTOS або Linux?
3. Які основні переваги та виклики інтеграції хмарних технологій в розробку вбудованих систем та IoT-пристроїв?

Рекомендовані джерела:

Основні: 1, 2, 3, 5.

Додаткові: 7, 10, 11.

Інтернет-ресурси: 17, 18, 21, 22.

Перелік індивідуальних завдань

1. Аналіз і вибір компонентів для мікроконтролера

Завдання: Виберіть відповідні електронні компоненти (резистори, конденсатори, транзистори) для створення простого цифрового пристрою на основі мікроконтролера. Обґрунтуйте свій вибір.

2. Проектування схеми для простого електронного пристрою на Arduino

Завдання: Створіть базову схему для Arduino, яка керує світлодіодом за допомогою кнопки.

3. Моделювання розробки друкованої плати

Завдання: Використовуючи спеціалізоване програмне забезпечення або онлайн сервіси (наприклад DrawIO), створіть схему та макет друкованої плати для простого електронного пристрою, наприклад, для керування світлодіодом.

4. Аналіз основних проблем мікроелектронних компонентів в умовах низьких температур або високої вологості

Завдання: Дослідити інформацію про вплив низьких температур і високої вологості на роботу мікроелектронних компонентів, таких як мікроконтролери, транзистори та конденсатори. Напишіть звіт про можливі проблеми і методи їх вирішення.

Питання для самоконтролю

1. Що таке друковані плати (PCB) та які технології використовуються для їх виготовлення?
2. Які основні функції виконує платформа Arduino, і чому вона є популярною серед розробників вбудованих систем?
3. Які ключові тенденції розвитку мікроелектроніки можна відзначити за останні 5 років?

ТЕМА 5. ТРИФАЗНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА. ТРАНСФОРМАТОРИ. ПРИСТРОЇ З МАГНІТОПРОВОДАМИ

Трифазна система змінного струму - основа сучасної електроенергетики.

Трифазні споживачі електроенергії не потребують нульового проводу (бо вони є симетричним навантаженням), а однофазні (світильники, побутові електроприлади тощо) обов'язково цього вимагають, тому що в побутовій мережі неможливо досягти симетричності в навантаженні фаз.

Для зниження пожежонебезпечності через великі сили струму під час пуску потужні трифазні електродвигуни на момент пуску вмикають «зіркою», а після розгону перемикають «трикутником».

Трифазна система «Зірка». При цьому способі кінці фазних обмоток X , Y , Z з'єднуються в одну загальну точку, яка називається нульовою і позначається «0».

Якщо в такий спосіб з'єднані фазні обмотки і джерела, і споживачів, то вони між собою з'єднуються трьома проводами між початками відповідних фаз і одним проводом між нульовими точками (чотирипровідна система).

Перші три проводи називаються лінійними, а четвертий нульовим, або нейтральним.

Трифазна система, яка виконана «зіркою» характеризується такими параметрами:

лінійна напруга - напруга між лінійними проводами або між початками фаз (тому вона позначається подвійними індексами – U_{AB} , U_{BC} , U_{CA});

фазна напруга - напруга між лінійним і нульовим проводами або між початком та кінцем кожної фази – U_A, U_B, U_C ;

лінійний струм - струм у лінійному проводі – $I_{ЛА}, I_{ЛБ}, I_{ЛС}$;

фазний струм - струм у фазній обмотці – $I_{ФА}, I_{ФБ}, I_{ФС}$;

нульовий струм - струм у нульовому проводі – I_0 ;

фазний опір - опір фазної обмотки Z_A, Z_B, Z_C ;

лінійний опір - опір лінійного проводу, який практично є активним, - $R_{ЛА}, R_{ЛБ}, R_{ЛС}$.

Якщо система симетрична, то всі параметри трьох фаз однакові, тому замість трьох позначень користуються одним (наприклад, $U_L, U_\phi, I_L, I_\phi, Z_\phi$).

Тепер розглянемо співвідношення між цими параметрами. Вони будуються на відомих законах Ома та Кірхгофа для змінного струму, а саме:

- лінійні струми дорівнюють відповідним фазним,

- лінійна напруга дорівнює геометричній різниці фазних напруг, тому що фазні обмотки з'єднані назустріч одна другій,

- струм у нульовому проводі дорівнює геометричній сумі фазних струмів.

Користуючись першим законом Кірхгофа, в точці розгалуження O сума миттєвих значень фазних струмів дорівнює миттєвому значенню струму в нейтральному проводі: $i_0 = i_{\phi 1} + i_{\phi 2} + i_{\phi 3}$.

Рівняння для векторів струму при цьому має вигляд:

$$I_0 = I_{\phi 1} + I_{\phi 2} + I_{\phi 3}.$$

Нерівномірне навантаження фаз може бути створене не тільки активним, а й реактивним або мішаним опором; при цьому фазні струми визначаються за

формулами: $I_{\phi 1} = \frac{U_{\phi 1}}{Z_{\phi 1}}; I_{\phi 2} = \frac{U_{\phi 2}}{Z_{\phi 2}}; I_{\phi 3} = \frac{U_{\phi 3}}{Z_{\phi 3}}.$

Зсуви фаз між фазними струмами та напругами залежать від характеру навантаження й у фазах можуть бути різними.

Трифазні споживачі електроенергії з'єднуються за схемою «трикутник» у тих випадках, коли номінальна напруга фаз приймача електроенергії дорівнює лінійній напрузі тієї системи, що живить даний споживач трифазної мережі. «Трикутником» частіше усього включаються обмотки статора двигунів змінного струму. Для живлення споживача, підключеного «трикутником», потрібна трипровідна трифазна мережа.

Потужність трифазної системи з рівномірним навантаженням дорівнює потроєної потужності однієї фази, а при нерівномірному навантаженні - сумі трьох окремо узятих фазних потужностей.

Вмикання в трифазну систему споживачів трикутником дозволяє збільшити лінійні струми, що наряду зі збільшенням корисної потужності може призвести до виникнення пожежонебезпечних режимів роботи.

Трансформатор - статичний електромагнітний пристрій із двома або більшим числом індуктивно зв'язаних обмоток, який служить для перетворення за допомогою електромагнітної індукції змінного струму однієї напруги в змінний струм іншої напруги.

За призначенням трансформатори поділяються на силові, узгоджувальні та імпульсні.

Силові трансформатори призначені для перетворення електричної енергії в електричних мережах та в установках для її приймання і використання.

Трансформатори, призначені для підвищення напруги, називаються підвищувальними, а трансформатори, призначені для зниження напруги, - знижувальними.

Трансформатори широко використовують у радіо- і телеапаратурі, у вимірювальних пристроях, місцевому освітленні тощо.

Трансформатори, які використовуються для узгодження напруги або опорів між каскадами в радіопристроях, називаються узгоджувальними.

Трансформатори, призначені для передачі імпульсів напруги або струмів з однієї мережі в іншу, називаються імпульсними. Вони широко використовуються в імпульсній техніці.

Конструкція трансформатора залежить від його габаритів, які, в свою чергу, залежать від номінальної потужності трансформатора.

Залежно від потужності трансформатори випускають з природним охолодженням і масляним. Активні частини трансформаторів у потужних енергетичних установках занурюють в мінеральне трансформаторне масло для кращого відведення тепла і поліпшення ізоляції. Трансформатори малої потужності випускають з повітряним охолодженням.

Основні частини трансформатора - магнітопровід та обмотки. Магнітопровід складається з тонких листів електротехнічної сталі, легованої кремнієм, які ізолювані один від одного лаком, папером або окалиною. Це потрібно для зменшення втрат у сталі на перемагнічування та нагрівання вихровими струмами.

Основне призначення магнітопроводу - підсилення магнітного зв'язку між обмотками трансформатора, тобто зменшення магнітного опору контура, крізь який проходить магнітний потік.

В трансформаторі перетворюються тільки напруга і струм, а потужність залишається незмінною: $U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$.

Коефіцієнт трансформації: $n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$, тобто струми в трансформаторі обернено пропорційні їхнім напругам.

Потужність трансформатора: $P = UI$.

Питання до самостійного вивчення

1. Особливості з'єднання навантаження «зіркою» та «трикутником».
2. Читати схеми.
3. Будувати векторні діаграми величин.
4. Як побудований трифазний трансформатор?
5. Які основні схеми з'єднання обмоток трифазного трансформатора?
6. Який принцип дії автотрансформатора?

Рекомендовані джерела:

Основні: 1, 2.

Додаткові: 10, 11, 13.

Інтернет-ресурси: 14, 15, 16.

Перелік індивідуальних завдань

Трифазний споживач має симетричне навантаження, з'єднане згідно схем (рис. 5.1, 5.2). Лінійна напруга кола U_L при частоті струму $f = 50$ Гц. Активний R_ϕ і реактивно індуктивний $X_{L\phi}$ опори на фазу споживача однакові, тобто $R_\phi = R_{\phi 1} = R_{\phi 2} = R_{\phi 3}$; $X_{L\phi} = X_{L\phi 1} = X_{L\phi 2} = X_{L\phi 3}$ Повний опір фази Z_ϕ . Лінійних струм I_L , фазний струм I_ϕ . Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$, де φ кут зсуву фаз між фазною напругою U_ϕ і фазним струмом I_ϕ

Активну потужність фази P_ϕ Активну потужність трьох фаз P . Реактивну потужність трьох фаз Q . Використовуючи дані задачі, вказані в таблиці визначити невідомі величини, позначені знаком питання. Номер малюнка зі схемою, вказаний там же.

№ вар	№ рис.	U_L, B	I_ϕ, A	I_L, A	$\cos \varphi$	$P,$ кВт	$Q,$ кВАр	$S,$ кВА	$R,$ Ом	$X_{L\phi},$ Ом	$Z_\phi,$ Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	380	?	?	?	?	?	?	3	4	?
2	2	220	?	?	0,71	21	?	?	?	?	?
3	1	380	?	?	0,6	?	?	22	20	8	?
4	2	220	25	?	0,67	?	?	?	5	4	?
5	1	380	?	?	?	?	?	?	?	4	5
6	2	220	?	?	0,68	?	?	?	6,3	?	10
7	1	380	?	?	0,8	12	?	?	?	?	?
8	2	220	30	?	0,7	?	?	?	?	?	11
9	1	380	?	17,3	0,66	?	?	?	?	?	?
10	2	220	30	?	?	?	?	?	?	4	?
11	1	380	?	?	?	?	?	?	4	5	?
12	2	220	22	?	0,94	19	?	?	?	?	?
13	1	380	?	?	0,8	?	?	20	?	?	?
14	2	220	?	?	?	?	?	?	6	?	?
15	1	380	?	?	?	?	?	?	?	6	7
16	2	220	28	?	?	?	?	?	4	6	?
17	1	380	?	?	?	?	?	?	6	6	?
18	2	220	?	17,2	?	?	?	?	10	6	?
19	1	380	?	?	?	?	?	?	6	8	?
20	2	220	32	?	?	?	?	?	4	8	?
21	1	380	?	?	?	?	?	?	8	8	?
22	2	220	?	?	?	?	?	?	44	12	?
23	1	380	?	?	?	?	?	?	84	10	?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
24	2	220	20	?	?	?	?	?	16	8	?
25	1	380	?	?	?	?	?	?	12	8	?
26	2	220	?	?	?	?	?	?	8	6	?
27	1	380	?	18,2	?	?	?	?	6	4	?
28	2	220	18	?	?	?	?	?	4	4	?
29	1	380	?	?	?	?	?	?	2	4	?
30	2	220	?	?	?	?	?	?	6	6	?

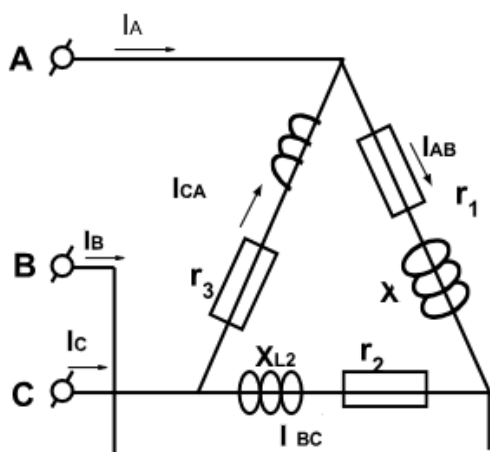


Рисунок 5.1

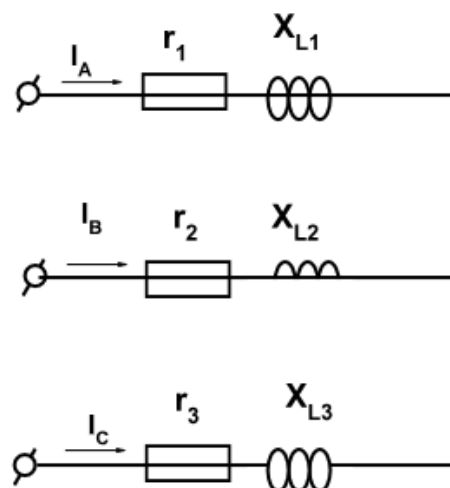


Рисунок 5.2

1. Первинна обмотка трансформатора має 1080 витків і включена на напругу 380 В. Визначити число витків вторинної обмотки, якщо напруга на її виводах складає 21,5 В.
2. Трансформатор, призначений для живлення переносного освітлення, включений в мережу напругою 220 В. Визначити вторинну напругу трансформатора, якщо її первинні і вторинні обмотки мають відповідно 800 і 44 витки.
3. До трансформатора напругою 380/36 В приєднаний електричний дриль, що споживає струм 4,5 А. Чому рівний струм первинної обмотки трансформатора?
4. По первинній обмотці трансформатора, що має 470 витків, тече струм величиною 6,2 А. Визначити число витків вторинної обмотки, якщо струм в ній складає 23,5 А.
5. Підрахувати розрахункову активну потужність силового трансформатора, якщо він при номінальній потужності 750 кВА і коефіцієнті потужності споживача 0,74 завантажений на 75%.
6. До вторинної обмотки трансформатора, призначеного для живлення ламп переносного освітлення напругою 12 В, підключено чотири лампи потужністю 60 Вт кожна. Визначити струм в первинній обмотці трансформатора, розрахований на напругу 220 В, якщо ККД трансформатора рівний 0,92.
7. Трифазний споживач, кожна фаза якого має активний опір 16 Ом і індуктивний опір 12 Ом, підключений до знижувального трифазного

трансформатора з коефіцієнтом трансформації 1,73. Який струм тече по первинних обмотках трансформатора, включеним на напругу 380 В, якщо споживач сполучений в зірку? Як зміниться цей струм, якщо фази споживача з'єднати в трикутник? При рішенні задачі вважати ККД трансформатора рівним 1.

8. Автотрансформатор, призначений для включення в мережу напругою 380В, має обмотку, що складається з 800 витків. Від якого числа витків необхідно зробити відведення, щоб отримати напругу 50 В?
9. До автотрансформатора підключена котушка індуктивності з активним опором 30 ом і індуктивним 40 Ом. Визначити потужність автотрансформатора і струми в первинному і вторинному колах, а також в загальній частині витків, якщо первинна напруга автотрансформатора рівна 127 В, а вторинна – 380 В. ККД трансформатора складає 0,96.
10. Амперметр включений з трансформатором струму, коефіцієнт трансформації якого рівний 250/5 А. Визначити струм в обмотці амперметра, якщо по первинній обмотці трансформатора тече струм 180 А.
11. Визначити вартість витраченої електроенергії, якщо лічильник, включений з трансформатором струму 300/5 А, показав витрату в 24 кВт-год.
12. Обчислити напругу на обмотці вольтметра, включеного з трансформатором напруги 6000/100 В, якщо він показує 5800 В.
13. Чому рівна дійсна витрата електроенергії, якщо витрата по лічильнику, включеному з трансформатором струму 150/5 А і трансформатором напруги 6000/100 В, складає 8 кВт-год.?
14. Номінальна потужність однофазного трансформатора дорівнює 5 кВА, напруги на ньому становлять 380 і 220 В. Визначити номінальні струми первинної та вторинної обмоток трансформатора. Тепловими втратами в трансформаторі знехтувати.
15. Трансформатор ввімкнено в мережу напругою 3000 В. Напруга на затискачах його вторинної обмотки дорівнює 500 В. Визначити коефіцієнт трансформації цього трансформатора і кількість витків вторинної обмотки, якщо первинна обмотка містить 1500 витків.
16. Визначити співвідношення між активною і реактивною потужностями при $\cos\varphi = 0,707$.
17. При частоті 50 Гц синусоїдального струму повний опір котушки дорівнює 41 Ом, а при постійному струмові 9 Ом. За якої частоти у контурі виникне резонанс, якщо цю котушку з'єднати послідовно з ємністю 51 мкФ?

Питання для самоконтролю

1. Трифазна система змінного струму.
2. Потужність трифазної системи.
3. Які переваги змінного струму над постійним?
4. Які є способи утворення синусоїдного струму?
5. Які основні параметри синусоїди струму?
6. Що таке фазовий кут, або фаза?

7. Яке призначення трансформаторів струму? Опишіть їхню будову.
8. Яке призначення трансформаторів напруги? Опишіть їхню будову.
9. Опишіть особливості зварювальних трансформаторів.
10. Схарактеризуйте трифазні трансформатори.
11. Опишіть принцип дії автотрансформаторів та їхню будову.
12. Наведіть електричні схеми під'єднання до високовольтної мережі трансформаторів струму та напруги.
13. Поясніть, у чому полягає сутність маркування трансформаторів.

ТЕМА 6. ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДУ. ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

Електроприводом називається електромеханічний пристрій, що здійснює перетворення електричної енергії в механічну й забезпечує керування цією енергією. Електропривод виконавчого механізму складається з робочого електродвигуна, допоміжних електричних машин, апаратури керування та механічної передачі від двигуна до виконавчого механізму.

Розрізняють три види електропривода: груповий, одиночний і багатодвигунний.

Кожна автоматична схема електропривода складається з апаратури та електродвигунів. Призначення апаратури - здійснювати перемикання в колах двигунів згідно з заданим режимом роботи їх; призначення електродвигуна - приводити в дію виконавчу машину.

Апаратура для керування електроприводом з'єднується в певні електричні кола, які називаються колами керування. Кола, що живлять електродвигуни, називаються колами головного струму, або силовими колами.

Якщо робоча машина складається з кількох механізмів, які працюють у певній послідовності, то в колі керування слід передбачити спеціальні блокувальні пристрої.

Таким чином, третьою ланкою автоматичних схем електропривода є кола блокувального зв'язку.

У будь-яку складну схему автоматизованого електропривода входять такі елементи: електродвигуни; контактори, що здійснюють перемикання в колах головного струму; реле, які здійснюють перемикання в колах керування й призначені для керування роботою контакторів; пускові та регулювальні елементи кіл головного струму; командні апарати (кнопкові станції, командоконтролери, тумблери тощо), що здійснюють перемикання в колах керування; регулятори, призначені для підтримки тієї чи іншої величини (напруги, швидкості тощо) на певному рівні; обмежувачі ходу (кінцеві й шляхові вимикачі), які здійснюють вимикання електродвигунів або переводять їх на інший режим роботи (гальмування, реверсування); гальмівні електромагніти, призначені для гальмування вимкнених електродвигунів; серводвигуни, що виконують допоміжні функції (поворот командоконтролера, пересування повзунка реостата тощо); електромагнітні муфти, призначені для автоматичного

з'єднання двигунів з механізмами; електронні прилади (напівпровідникові й оптичні), що визначають роботу деяких деяких кіл схеми; слідкуючі пристрої, призначені для забезпечення роботи електродвигунів за певним законом.

Електричні машини широко використовують на електростанціях, у транспорті, промисловості, системах електроприводу, будівництві, системах автоматичного регулювання і контролю.

Електричні двигуни – це машини, які перетворюють електричну енергію на механічну. За принципом роботи електричні машини змінного струму можуть бути синхронні та асинхронні. Асинхронна машина – це машина, у якій ротор обертається з частотою меншою, ніж частота обертання магнітного поля, створюваного обмоткою статора. Асинхронні двигуни становлять понад 95 % усіх електродвигунів, які використовують у народному господарстві. За конструкцією ротора їх поділяють на двигуни з короткозамкненим ротором і двигуни з фазним ротором.

Асинхронні двигуни збуджуються змінним струмом. Їх поділяють на безколекторні (основний тип) та колекторні.

Асинхронні безколекторні двигуни випускають двох основних видів: двигун із короткозамкненим ротором та двигун із фазним ротором (з контактними кільцями).

Незалежно від типу будь-який двигун змінного струму складається з двох частин: нерухомої частини (називається статор) і рухомої (обертової) частини (називається ротор).

За числом фаз двигуни змінного струму бувають: однофазні, двофазні та трифазні.

Переваги асинхронних двигунів: простота і дешевизна, надійність у роботі, достатньо високий ККД.

Недоліки асинхронних двигунів: споживання індуктивного струму, який, намагнічуючи статор, призводить до зниження $\cos\varphi$ мережі; неможливість плавного регулювання частоти обертання валу в широких межах (існують електронні засоби регулювання частоти обертання валу двигуна шляхом зміни частоти змінного струму, але вони достатньо складні і коштують дорого); погані пускові характеристики у двигунів із короткозамкненим ротором.

Як відомо, при перетині провідником силових ліній магнітного поля в цьому провіднику індукується EPC , яку можна визначити за формулою

$$E = Blv \sin\alpha,$$

де $B = \Phi/S$, а l дорівнює сумі довжин провідників обмотки якоря. Величина $v \sin\alpha$ є складовою швидкості переміщення провідника, спрямованою перпендикулярно до силових ліній магнітного поля.

Генератор це - устаткування (електрична машина) для перетворення механічної енергії в електричну.

Залежно від того, яке джерело живить струмом ці обмотки, генератори поділяються на генератори незалежного збудження та генератори з самозбудженням. Перші повинні мати стороннє джерело постійного струму для живлення обмотки збудження. Для цієї мети може застосовуватись випрямляч або інше джерело постійного струму.

Напруга на затискачах генератора при номінальному навантаженні дорівнює його E_{PC} з відрахуванням спаду напруги в обмотці якоря:

$$U = E - IR_{я,}.$$

Зменшення тут члена $IR_{я}$ зумовлює збільшення напруги U .

Питання до самостійного вивчення

1. Переваги та недоліки двигуна постійного струму порівняно з двигуном змінного струму.
2. Контактор, які його призначення й будова.
3. Правила вибору електродвигуна при тривалому, короткочасному, повторно-короткочасному та переміжному режимах роботи.
4. Де застосовуються генератори та двигуни постійного струму?
5. Яке призначення колектора в генераторі й двигуні постійного струму?
6. Який струм проходить через обмотку якоря генератора постійного струму?

Рекомендовані джерела:

Основні: 2, 5, 6.

Додаткові: 7, 10.

Інтернет-ресурси: 14, 15, 19.

Перелік індивідуальних завдань

1. Визначити обертальний момент на валу електродвигуна постійного струму, якщо по обмотці якоря тече струм 12,4 А, а магнітне поле машини характеризується потоком 0,04 Вб. Число пар полюсів – 4, число активних провідників обмотки, що має дві паралельні вітки дорівнює 420.
2. Визначити число обертів двигуна, розрахованого на напругу 220 В, якщо опір обмотки якоря, по якій тече струм 113 А, складає 1,635 Ом, а магнітний потік полюсів дорівнює 0,001 Вб. Постійна машини дорівнює 36.
3. Визначити E_{PC} з чотирьохполюсного генератора постійного струму, що обертається із швидкістю 1420 об/хв., якщо обмотка якоря має дві паралельні гілки і складається з 856 активних провідників. Магнітний потік генератора рівний 0,015 Вб.
4. Електродвигун постійного струму напругою 220 В при струмі якоря 44 А розвиває 1260 об/хв. Постійна машина рівна 24, а її магнітний потік - 0,004 Вб. Обчислити опір обмотки якоря.
5. Визначити опір регулювального реостата, включеного послідовно з якорем, для зниження швидкості двигуна з попереднього завдання до 950 об/хв.
6. У електродвигуні, потужність на валу якого рівна 21 кВт, сумарні втрати складають 3600 Вт. Визначити ККД двигуна.
7. Визначити швидкість обертання шестиполюсного магнітного поля при частоті 50 Гц.
8. Скільки полюсів має магнітне поле статора, якщо воно обертається із швидкістю 375 об/хв?
9. Визначити ковзання ротора асинхронного електродвигуна, що має швидкість обертання 1440 об/хв, якщо обмотки статора створюють магнітне поле з двома парами полюсів.

10. Відоме, що ковзання електродвигуна, магнітне поле якого має п'ять пар полюсів, складає 4%. Яка його швидкість обертання?

11. Асинхронний електродвигун, встановлений на шліфувальному верстаті, розвиває 11280 об/хв при ковзанні 6%. Чому рівна частота струму, що виробляється спеціальним генератором, призначеним для живлення електродвигуна?

12. Генератор незалежного збудження при холостому ході й частоті обертання $n_1 = 1450$ об/хв має напругу на затискачах $U_1 = 460$ В, опір обмотки якоря $R_{\text{я}} = 0,9$ Ом. При вмиканні навантаження частота його обертання знижується до $n_2 = 1410$ об/хв. Струм навантаження $I_{\text{я}} = 100$ А. Яка буде нова напруга на затискачах генератора, якщо реакцією якоря знехтувати?

13. Генератор паралельного збудження має опір обмотки якоря $R_{\text{я}} = 0,3$ Ом і опір обмотки збудження $R_{\text{зб}} = 50$ Ом. При опорі зовнішнього кола $R_{\text{з}} = 6$ Ом напруга генератора $U = 440$ В. Знайти струм в обмотці якоря та ЕРС генератора.

14. Визначити кутову швидкість обертання ротора асинхронного електродвигуна, якщо обмотка статора чотириполюсна, частота напруги в мережі, до якої приєднаний електродвигун, 50 Гц і ковзання ротора дорівнює 3,5%.

15. На щитку асинхронного електродвигуна встановлено 730 об/хв., 50 Гц. Визначити ковзання ротора, який обертається з вказаною швидкістю, і кількість полюсів обмотки статора. Яким буде ковзання ротора в перші секунди запуску?

Питання для самоконтролю

1. Як виникає ЕРС в обмотці якоря й яке її призначення в генераторі та двигуні постійного струму?
2. Що таке реакція якоря?
3. У чому полягає шкідливість поганої комутації струму в електричній машині й яких заходів вживають для її поліпшення?
4. Як виникають гальмуючий момент у генераторі та обертаючий момент у двигуні постійного струму?
5. Від чого залежить потужність машини постійного струму?
6. Які є схеми збудження генераторів постійного струму?

ТЕМА 7. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ АВТОМАТИКИ

Сучасні промислові підприємства активно впроваджують автоматизацію для підвищення ефективності виробничих процесів, зниження людського фактора та покращення якості продукції. Центральною частиною таких систем є **електромеханічні прилади та виконавчі механізми**, які забезпечують перетворення електричних сигналів у механічний рух.

У автоматизованих системах найчастіше використовуються **електродвигуни постійного та змінного струму, сервоприводи, крокові двигуни**, а також **гідро- і пневмоприводи**. До складу виконавчих механізмів також входять редуктори, гвинтові пари, штовхачі, важелі та інші елементи, які забезпечують точне переміщення об'єктів або елементів обладнання.

Управління цими механізмами здійснюється за допомогою **контролерів, перетворювачів частоти, драйверів двигунів і датчиків зворотного зв'язку**, що дозволяє створювати гнучкі та адаптивні системи керування.

Типи двигунів та їх регулювання. Найбільш поширеними є:

- **Асинхронні двигуни** — прості у використанні, довговічні, підходять для безперервної роботи.
- **Синхронні двигуни** — використовуються в системах, де важлива стабільність швидкості.
- **Двигуни постійного струму** — мають добрі характеристики регулювання швидкості, особливо в комутаційних режимах.

Регулювання швидкості обертання здійснюється за допомогою **зміни напруги або частоти живлення**. Для двигунів змінного струму застосовують **частотні перетворювачі**, а для постійного струму — **системи збудження**, що змінюють потік у якорі або обмотці збудження. Ці системи суттєво впливають на **механічні характеристики**, зокрема на момент і швидкість обертання. Автоматизація на за допомогою електромеханізмів буває:

- **Окремих технологічних процесів** (наприклад, пакування).
- **Цілих виробничих ліній.**
- **Інтелектуальна автоматизація** з використанням штучного інтелекту та машинного навчання.

Залежно від рівня автоматизації підприємства можуть переходити до **«розумного виробництва» (smart manufacturing)**. При проєктуванні систем автоматизації враховують:

- Номінальні потужності обладнання.
- Захист від коротких замикань.
- Резервні джерела живлення.
- Пожежну та електробезпеку.

На підприємствах критично важливо забезпечити **точний облік споживання електроенергії, води, газу та інших ресурсів**. Для цього використовуються:

- **Лічильники активної та реактивної електроенергії** (одно- та трифазні).
- **Водоміри** (механічні, ультразвукові, електромагнітні).
- **Газові лічильники** (мембранні, ротаційні, турбінні).

Передача даних здійснюється через **мережеві інтерфейси** (RS-485, Ethernet, Wi-Fi, GSM) до **централізованих SCADA-систем**, де ведеться моніторинг і аналіз споживання. Методики обліку можуть бути:

- **По приладах обліку** — прямий зчитування лічильників.
- **За паспортними даними обладнання** — орієнтовний розрахунок на основі потужності та часу роботи.
- **Енергетичний аудит** — комплексний аналіз споживання всієї системи.

Питання до самостійного вивчення

1. Які основні відмінності між кроковим, асинхронним та сервоприводом та в яких випадках доцільно використовувати кожен з них?
2. Яким чином змінюється механічна характеристика двигуна постійного струму при зміні струму збудження, і як це впливає на продуктивність виконавчого механізму?
3. Які існують сучасні методи дистанційного обліку та передачі даних про споживання електроенергії, газу та води на промислових підприємствах?
4. У чому полягає різниця між технологіями FDM, SLA та SLS у 3D-друку, і як правильно обрати тип принтера для певного завдання?

Рекомендовані джерела:

Основні: 1, 2, 3, 5.

Додаткові: 7, 10, 11.

Інтернет-ресурси: 17, 18, 21, 22.

Перелік індивідуальних завдань

1. Скласти логічну схему керування асинхронного двигуном.
2. Розробити просту логічну модель виконавчого механізму на базі крокового двигуна. Побудувати схему підключення драйвера двигуна до мікроконтролера (наприклад, Arduino) та реалізувати базове керування.
3. Провести порівняльну характеристику трьох типів електродвигунів (DC, AC, кроковий) для задач автоматизації транспортування продукції.
4. Розрахувати добове споживання електроенергії для умовного виробничого об'єкта. Використати два методи: за лічильниками і за паспортними даними обладнання.
5. Провести дослідження (теоретичне або практичне) способів обліку води або газу в побуті та на підприємстві. Зробити порівняння технологій і способів передачі даних (механічні, ультразвукові, "розумні" лічильники).
6. Провести аналіз типів та класифікацію 3D-принтерів за технологіями друку, матеріалами, точністю.

Питання для самоконтролю

1. Які типи електродвигунів найчастіше застосовуються у виконавчих механізмах промислових автоматизованих систем і чому?

2. Як побудований облік енергоносіїв на промислових підприємствах?
3. Які принципи лежать в основі перетворення електричної енергії в механічну та які елементи забезпечують цей процес у виконавчих механізмах?
4. Які етапи підготовки моделі до друку на 3D-принтері та які параметри необхідно врахувати перед початком друку?

ТЕМА 8. ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВАХ. ОСНОВИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) на підприємствах та основи енергозбереження є актуальними завданнями для зменшення негативного впливу на довкілля та оптимізації витрат енергії.

Однією з багатьох причин незадовільного вирішення проблеми енергозбереження є відсутність ефективних систем управління енергозбереженням.

Для реалізації політики енергозбереження в масштабі всієї країни програми енергозберігаючих заходів і механізми їх впровадження повинні бути розроблені на всіх рівнях управління (національному, галузевому, регіональному, місцевому і на рівні підприємств) і відповідно взаємопов'язані між собою. Програми нижчого рівня повинні включати елементи програм більш високого рівня, якщо вони стосуються даного регіону, галузі, міста, підприємства і доповнювати їх заходами, які відображають місцеву специфіку. На більш високому рівні централізовано формуються цілі, які реалізуються за допомогою механізмів економічного регулювання. На більш низькому рівні пропонується форма індикативного управління, яка передбачає визначену цілісну систему заходів і методів цілеспрямованого впливу на процеси енергозбереження. Реалізація лише всієї системи заходів може дати позитивні результати в досягненні кінцевих (часто різнопланових) цілей.

До першочергових адміністративних заходів в початковій системі необхідно віднести: створення спеціальних органів управління енергозбереженням, основними функціями яких є програмування енергозбереження і організація виконання програм; удосконалення системи контролю за споживанням енергоресурсів і управління енергозбереженням, а також внутрішньозаводської статзвітності із виконання різних організаційно-технічних заходів (ОТЗ) з економії енергії; організація правового регулювання енергозбереження.

Першочергові суспільні заходи: популяризація економічних, екологічних, соціальних і інших переваг енергозбереження; підвищення освіти працівників підприємства в області енергозбереження; залучення енергопостачальних, суспільних і неформальних організацій до проведення політики енергозбереження на підприємствах.

Для впровадження і контролю за виконанням вище згаданих заходів на підприємстві пропонується створити: раду з енергозбереження в складі головного інженера – голови ради, головних спеціалістів і начальників цехів – членів ради; відділ або групу з енергозбереження.

Питання до самостійного вивчення

1. Подача електроенергії сонячних батарей у загальну систему електроживлення – інвертори, конвертори, синхронізатори.

Рекомендовані джерела:

Основні: 1, 3.

Додаткові: 13.

Інтернет-ресурси: 14, 20.

Перелік індивідуальних завдань

1. Провести дослідження та оцінити можливості використання відновлювальних джерел енергії на підприємстві, таких як сонячна, вітрова, геотермальна енергія або біомаса. Визначення ефективності, вартості, встановлення підходящих технологій ВДЕ.

2. Розробити проекти та впровадити системи відновлювальних джерел енергії на підприємстві. Це може включати встановлення сонячних панелей, вітрових турбін, геотермальних систем або використання біомаси для виробництва електроенергії. Важливо визначити оптимальні параметри для встановлення таких систем, враховуючи місцеві умови та можливості.

3. Провести аудит енергоефективності на підприємстві з метою виявлення можливостей для зменшення споживання енергії. Це включає оцінку існуючих систем освітлення, опалення, вентиляції, охолодження та інших процесів з метою впровадження енергоефективних технологій та рішень.

4. Розробити та впровадити план енергозбереження на підприємстві, включаючи встановлення енергоефективного обладнання, установку енергозберігаючих освітлювальних систем.

5. Встановити системи моніторингу енергоспоживання для постійного контролю за ефективністю та ефективністю впроваджених заходів з ВДЕ та енергозбереження. Аналіз результатів моніторингу для постійного вдосконалення та удосконалення системи.

Питання для самоконтролю

1. Використання сонячних батарей в освітленні території та приміщеннях, використання сонячних батарей для електроживлення окремих типів обладнання.

2. Вітрові електростанції, основні правила експлуатації, дозвільна документація.

3. Типи та характеристики дизельних генераторів. Системи аварійного живлення на підприємствах.

4. Основи енергозбереження на підприємствах.

IV. ПЕРЕЛІК ФОРМ КОНТРОЛЮ ТА ОЦІНКА ЇХ У БАЛАХ (КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ)

Оцінювання знань здобувачів вищої освіти з освітнього компонента «Електротехніка» здійснюється на основі поточного і підсумкового контролю знань.

Поточна навчальна робота включає аудиторну (лабораторні заняття) та самостійну.

За кожне практичне заняття здобувач може отримати 4 бали (22 заняття × 4 бали = 88 балів).

Крім того здобувачі самостійно виконують індивідуальне завдання, за яке можуть отримати 12 балів.

Самостійна робота здобувачів оцінюється:

- опрацювання теоретичних джерел з тем;
- підготовка до практичного заняття;
- усі відповіді здобувачів вищої освіти;
- повнота і правильність виконання завдань на практичних заняттях;
- участь в обговоренні результатів виконання практичних заняття;
- формування висновків, їх повнота та обґрунтованість.

В процесі вивчення освітнього компонента «Електротехніка» використовуються наступні форми контролю оцінювання самостійної роботи здобувачів вищої освіти:

В – відповідь на заняттях – 2 бали.

РПЗ – розв’язання практичних завдань – 6 балів.

УД – участь у дискусії – 2 бали.

РМГ – робота в малих групах – 2 бали.

ІЗ – індивідуальні завдання – 12 балів (курси на платформі Prometheus або на інших сервісах – 5 балів; участь у наукових заходах – 7 балів).

Загальна сума за поточну навчальну роботу (аудиторну та самостійну) за семестр – 100 балів.

Результати самостійної роботи здаються здобувачами вищої освіти поетапно протягом семестру відповідно до вивченого матеріалу згідно тематичного плану.

Підсумковий контроль – екзамен. До екзамену допускаються всі здобувачі, які набрали за результатами поточної роботи протягом семестру 60 балів.

Результат підсумкового контролю (екзамен) з освітнього компонента «Електротехніка» для здобувачів очної форми навчання визначається як середньоарифметична сума балів поточної роботи та екзамену.

Кращим здобувачам, які повністю виконали програму з освітнього

компонента, виявили активність в науково-дослідній роботі за відповідною тематикою, стали призерами студентських олімпіад, виступали на конференціях та за результатами поточної роботи набрали 90 і більше балів, науково-педагогічний працівник має право виставити результат екзамену без опитування (при усному екзамені) чи виконання екзаменаційного завдання (при письмовому екзамені).

V. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА

Основні

1. Хілов В. С. Теоретичні основи електротехніки : підручник. Київ : Каравела, 2021. 468 с.
2. Матвієнко М. П. Основи електротехніки та електроніки : підручник. Київ : Ліра-К, 2024. 506 с.
3. Проценко М. М. Основи електротехніки : підручник. Київ : Ліра-К, 2017. 228 с.
4. Коруд В. І., Гамола О.Є., Малинівський С.М. Електротехніка : підручник. 4-те вид., пер. і допов. Львів : Магнолія 2006, 2019. 447 с.
5. Монтік П. М. Електротехніка та електродинаміка : навч. посіб. Львів : Новий Світ-2000, 2012. 500 с.
6. Титаренко М. В. Електротехніка : навч. посіб. Київ : Кондор, 2013. 240 с.

Додаткові

7. Бойко В. С., Бойко В.В., Видолоб Ю.Ф. та ін. Теоретичні основи електротехніки. Підручник: УЗт.; Т.2: Перехідні процеси у лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка»», 2008. 224 с.
8. Будищев М. С. «Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка». К.: видавництво «Афіша»: 2001. 421 с.
9. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для студентів вищ. закл. освіти у 4-х т. Під ред. В. І. Сенька. Т.1: Елементна база електронних пристроїв. К.: ТОВ «Видавництво Обереги», 2000. 300 с.
- 10.Паначевний Б. І., Свергун Ю. Ф. Загальна електротехніка: теорія і практикум: Підручник. К.: Каравела, 2004. 440с.
- 11.Петренко І. А. Основи електротехніки та електроніки: навч. посіб. Для дистанційного навчання: у2 ч.Ч.1: Основи електротехніки. К.: Університет «Україна», 2006. 411 с.
- 12.Щерба А.А., Рябенський В.М., Кучеренко М.Є., Победаш К.К., Чибеліс В.І., Кінаш А.Т., Солобуто Л.В. Електротехніка та електроніка. Теоретичні відомості, розрахунки та дослідження за підтримкою комп'ютерних технологій: навч. посіб.: К.: «Корнійчук», 2007. 488с.
- 13.Петренко І. А. Основи електротехніки та електроніки : навч. посіб. для дистанційного навчання. Ч. 1 : Основи електротехніки. Київ : Університет «Україна», 2006. 411 с.

Internet-ресурси

- 14.ДБН В.2.5-23:2010 Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. URL:https://e-construction.gov.ua/files/new_doc/3084989669637621022/2023-04-20/24ac227f-266c-4596-baa7-9e43adb692e6.pdf.
- 15.ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. URL:https://dnaop.com/html/29620/doc-ДБН_В.2.5-27-2006.

- 16.ДСТУ2815-94 Електричні та магнітні кола та пристрої.
URL:http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60356.
- 17.ДСТУ2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.
URL:http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60106.
- 18.ДСТУ3120-95. Електротехніка. Літерні позначення основних величин. Зі зміною №1, поправками. URL:http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68355.
- 19.ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом.
URL:http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=65395.укп
- 20.Національна комісія регулювання електроенергетики України.
URL:<https://www.nerc.gov.ua>.
- 21.Тарифи на електроенергію для населення. URL:<https://vin.enera.ua/el/tariff>.
- 22.Тарифи на електроенергію для підприємств.
URL:<https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/prom/>.