

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІННОВАТИКИ,
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА ІНФРАСТРУКТУРИ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор навчально-наукового інституту
інноватики, природокористування та
інфраструктури

Василь БРИЧ

« 30 » _____ 2024 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної
роботи

Віктор ОСТРОВЕРХОВ

_____ 2024 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор навчально-наукового
інституту новітніх освітніх технологій
Святослав ПИТЕЛЬ

« 30 » _____ 2024 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА

з дисципліни **«Електричні апарати»**

ступінь вищої освіти – перший (бакалаврський) рівень

галузь знань – **14 «Електрична інженерія»**

спеціальність – **141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

освітньо-професійна програма **«Енергетичний аудит»**

Кафедра бізнес-аналітики та інноваційного інжинірингу

Форма навчання	Курс	Семестр	Лекції (год.)	Практ. заняття (год.)	ІРС, год.	Тренінг (год.)	Самост. робота студ., (год.)	Разом, (год.)	Екзамен, (сем.)
Денна	III	5	32	28	4	8	78	150	5
Заочна	III	5	8	4	-	-	138	150	6

30.08.2024
[Signature]

Тернопіль – ЗУНУ
2024

Робоча програма складена на основі освітньо-професійної програми підготовки бакалавр галузі знань 14 «Електрична інженерія» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», затвердженої Вченою радою ЗУНУ, протокол № 10 від 23 червня 2023 р.

Робочу програму склав к.е.н., доцент Микола ГОРЛАЧУК

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри бізнес-аналітики та інноваційного інжинірингу, протокол № 1 від 26 серпня 2024 р.

В.о. завідувача кафедри,
д.е.н., професор



Руслан БРУХАНСЬКИЙ

Розглянуто та схвалено групою забезпечення спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», протокол № 2 від 30 серпня 2024 р.

Керівник групи
забезпечення спеціальності,
д.е.н., професор



Петро ПУЦЕНТЕЙЛО

Гарант ОПІ «Енергетичний аудит»,
д.е.н., професор



Петро ПУЦЕНТЕЙЛО

СТРУКТУРА РОБОЧОЇ ПРОГРАМИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«Електричні апарати»

1. ОПИС ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна – «Електричні апарати»	Галузь знань, спеціальність, ступінь вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
Кількість кредитів ECTS: – 5	Галузь знань 14 «Електрична інженерія»	Статус дисципліни – обов'язкова дисципліна циклу професійної підготовки Мова навчання – українська
Кількість залікових модулів <i>Денна форма навчання – 5</i>	Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»	Рік підготовки – 3 <i>Денна – 3 Заочна – 3</i> Семестр: <i>Денна – 5 Заочна – 5</i>
Кількість змістових модулів – 3	Ступінь вищої освіти – перший (бакалаврський рівень)	Лекції: <i>Денна – 32 год. Заочна – 8</i> Практичні заняття: <i>Денна – 28 год. Заочна – 4</i>
Загальна кількість годин – 150	Освітньо-професійна програма: «Енергетичний аудит».	Індивідуальна робота – 4 Тренінг – 8 Самостійна робота: <i>Денна – 78 Заочна – 138</i>
Тижневих годин <i>денна форма – 10 з них аудиторних – 4</i>		Вид підсумкового контролю – екзамен

2. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ

«Електричні апарати»

2.1. Мета дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни «Електричні апарати» є оволодіння основами теорії електричних апаратів, ознайомлення з їх пристроєм, характеристиками, принципами вибору та набуття навичок у майбутніх фахівців з енергетичного аудиту для вирішення виробничо-технологічних, проектних, конструкторських та дослідницьких задач.

2.2. Завдання вивчення дисципліни

Завдання – забезпечення виконання мети викладання та максимальне наближення до успішного досягнення реалізації результатів навчання включно з їх окремими поділами, а саме – набуття майбутніми фахівцями необхідних теоретичних і практичних знань з електричних апаратів для обґрунтованого вирішення завдання раціонального вибору електричних апаратів керування та захисту електрообладнання у процесі його використання. Виконання практичних робіт забезпечує більш поглиблене засвоєння теоретичного матеріалу. Використання новітніх інформаційних технологій дозволяє детальніше виявити взаємозв'язки та закономірності.

2.3. Результати навчання

У результаті вивчення дисципліни «Електричні апарати» здобувач вищої освіти повинен:

-знати призначення будову та принцип дії основних груп електричних апаратів та комплектних пристроїв, що здійснюють операції комутації електричних кіл, виконують функції розподілення, контролю та регулювання параметрів електричної енергії в мережах низької, середньої та високої напруги; фізичну суть явищ, що лежать в основі роботи електричних апаратів; особливості використання розмаїття електричних апаратів для здійснення їх функцій;

-вміти виконувати інженерні розрахунки при виборі типу та параметрів сучасних електричних апаратів для забезпечення оптимальної роботи електроспоживачів та електричних мереж; користуватися каталогами електротехнічного обладнання при виборі сучасних електричних апаратів; обслуговувати електричні апарати, призначені для розподілення, контролю та регулювання параметрів електричної енергії в мережах низької, середньої та високої напруги; застосувати електричні апарати для безпечного використання електричної енергії; розраховувати та вибирати сучасні електричні апарати для забезпечення оптимальної роботи електроспоживачів та електричних мереж; обслуговування та ремонт сучасних електричних апаратів; передачу інформації, ідей, проблем та рішення їх щодо електричних апаратів аудиторії, що складається як із спеціалістів, так і неспеціалістів; монтаж електричних апаратів.

Загальні компетентності (ЗК):

К12. Здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки.

К16. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії.

К17. Здатність розробляти проекти електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування із дотриманням вимог законодавства, стандартів і технічного завдання.

Фахові (спеціальні) компетентності (ФК):

ФК.18.Здатність виконувати професійні обов'язки із дотриманням вимог правил техніки безпеки, охорони праці, виробничої санітарії та охорони навколишнього середовища.

ФК.20. Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

Програмні результати навчання (ПРН):

ПР05. Знати основи теорії електромагнітного поля, методи розрахунку електричних кіл та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.

ПР06. Застосовувати прикладне програмне забезпечення, мікроконтролери та мікропроцесорну техніку для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.

ПР07. Здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах.

ПР08. Обирати і застосовувати придатні методи для аналізу і синтезу електромеханічних та електроенергетичних систем із заданими показниками.

ПР09. Уміти оцінювати енергоефективність та надійність роботи електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.

ПР12. Розуміти основні принципи і завдання технічної та екологічної безпеки об'єктів електротехніки та електромеханіки, враховувати їх при прийнятті рішень.

ПР13. Розуміти значення традиційної та відновлюваної енергетики для успішного економічного розвитку країни.

ПР17. Розв'язувати складні спеціалізовані задачі з проектування і технічного обслуговування електромеханічних систем, електроустаткування електричних станцій, підстанцій, систем та мереж.

ПР19. Застосовувати придатні емпіричні і теоретичні методи для зменшення втрат електричної енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та використанні.

3. ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ «Електричні апарати»

Змістовий модуль 1. Основи теорії електричних апаратів. Функції та класифікація електричних апаратів

Тема 1. Визначення електричного апарата. Основи теорії електричних апаратів. Міжнародна електротехнічна термінологія

Визначення науки електричні апарати та електричного апарата. Загальні положення, магнітні ланцюги, електромагніти, поляризовані механізми, електродинамічні сили. Міжнародний електротехнічний словник та інші термінологічні джерела. Аббревіатури та літерні позначення. Особливості формулювання деяких термінів українською мовою.

Тема 2. Електромеханічні явища в апаратах. Елементи магнітного кола

Електричні апарати та електрична апаратура. Електромагнітні механізми апаратів. Елементи магнітного поля. Елементи електричних кіл та величини, що їх характеризують.

Тема 3. Електричні контакти. Тепловий розрахунок електричних апаратів. Електрична дуга

Електричні контактні з'єднання, електрична дуга, теплові розрахунки.

Діапазони напруг. Виводи та термінали. Електромеханічні або механічні та напівпровідникові апарати. Позначення провідників у трифазних колах.

Тема 4. Функції та основні частини електричних апаратів. Елементи електричних апаратів

Функції електричних апаратів. Головне коло, коло керування, допоміжне коло, полюс та порт. Контакти електричних апаратів. Дугогасні системи комутаційних апаратів. Термінали електричних апаратів. Актуатори комутаційних апаратів. Узагальнена структура полюсу комутаційного апарата.

Тема 5. Розвиток виробництва і класифікація електричних апаратів

Етапи виробництва, перетворення, транспортування та споживання електричної енергії та електричні апарати. Електромеханічні апарати. Напівпровідникова і мікропроцесорна техніка. Комутаційні апарати. Апарати керування. Апарати захисту. Обмежувальні апарати. Апарати контролю. Класифікація електричних апаратів за родом струму. Класифікація електричних апаратів за номінативною напругою. Класифікація електричних апаратів за типом комутаційного елемента.

Змістовий модуль 2. Електрична і електромеханічна апаратура. Вимоги до електричних апаратів та безпечне використання електроенергії

Тема 6. Електробезпека. Захисне уземлення та захищеність електричної апаратури

Види небезпек, пов'язаних з електрикою. Негативні фактори впливу електричного струму на організм людини. Способи захисту від прямих та непрямих дотиків. Використання засобів, що зменшують вірогідність проходження струму через тіло людини. Способи обмеження струму, який може проходити через тіло людини, та часу проходження струму. Апарати, які автоматично відмикають живлення при коротких замиканнях в електроустановках. Зрівняння потенціалів або екіпотенціальність. Апарати, що автоматично відмикають живлення при виникненні струмів витоку. Захисне уземлення. Мережі із уземленою та ізольованою нейтраллю. Класифікація типів захисного уземлення розподільних систем. Принцип трирівневого захисту. Система TN-C. Система TN-S. Система TN-C-S. Система TT. Система IT. Основний захист. Захист при пошкодженнях. Додатковий захист. Захисні властивості електричної апаратури. Захищеність електричної апаратури від проникнення сторонніх предметів та вологи.

Тема 7. Вимоги до електричних апаратів, їх позначення та маркування

Загальні вимоги до електричних апаратів. Класифікація вимог до електричних апаратів. Вимоги щодо запобігання небезпеки для людей, майна й довкілля. Вимоги щодо запобігання утворенню перешкод для нормальної роботи інших елементів системи, у якій апарат працює. Загальні експлуатаційні вимоги до електричних апаратів. Специфічні експлуатаційні вимоги до окремих груп електричних апаратів. Вимоги щодо безпечності конструкцій електричних апаратів. Вимоги щодо запобігання утворенню перешкод для нормальної роботи інших елементів системи, у якій апарат працює. Загальні експлуатаційні вимоги до електричних апаратів. Умови роботи електричних апаратів. Робота електричних апаратів при коротких замиканнях. Струмообмеження та інтеграл Джоуля. Позначення та маркування електричних апаратів.

Тема 8. Електромеханічні комутаційні апарати низької напруги

Електромеханічні комутаційні апарати низької напруги. Запобіжники.

Роз'єднувачі, вимикачі та комбінації із запобіжниками. Відмикачі промислового застосування. Відмикачі для побутових та аналогічних електроустановок. Відмикачі, керовані різницевиими струмами. Контактори та пускачі. Апарати кіл керування. Електромагнітні реле. Промислові з'єднувачі та з'єднувальні пристрої. Вимикачі та з'єднувачі побутового застосування.

Тема 9. Електромеханічні комутаційні апарати середньої напруги

Відмикачі. Відмикачі зі швидкісним АПВ. Вакуумні відмикачі. Масляні відмикачі. Елегазові відмикачі. Повітряні відмикачі. Маломасляні відмикачі. Швидкодіючі відмикачі постійного струму. Роз'єднувачі та перемикачі уземлення. Вимикачі-роз'єднувачі. Запобіжники. Комбінації із запобіжниками. Контактори.

Тема 10. Електромеханічні комутаційні апарати високої напруги

Комутаційні електромеханічні апарати високої напруги. Відмикачі. Бакові масляні відмикачі. Маломасляні відмикачі. Повітряні відмикачі високого тиску. Елегазові відмикачі. Роз'єднувачі.

Тема 11. Розподільні пристрої та допоміжне обладнання комплексних пристроїв

Комплексні пристрої. Розподільні пристрої. Розподільні пристрої низької напруги. Категорії електроприймачів та схеми розподілення електричної енергії. Електроприймачі I категорії. Електроприймачі II категорії. Електроприймачі III категорії. Розподільні пристрої промислового призначення. Розподільні пристрої побутового та аналогічного призначення. Розподільні пристрої середньої напруги. Розподільні пристрої високої напруги. Допоміжне обладнання комплектних пристроїв. Трансформатори струму. Трансформатори напруги. Шини та системи збірних секційних шинопроводів. Монтажні проводи та кабелі. Системи порядкування кабелів.

4. СТРУКТУРА ЗАЛІКОВОГО КРЕДИТУ ДИСЦИПЛІНИ
«Електричні апарати»
(денна форма навчання)

Тема	Кількість, годин, в т.ч.					
	Лекції	Практичні	Індивідуальна робота студентів	Тренінг	Самостійна робота	Контрольні заходи
Змістовий модуль 1. Основи теорії електричних апаратів. Функції та класифікація електричних апаратів						
Тема 1. Визначення електричного апарата. Основи теорії електричних апаратів. Міжнародна електротехнічна термінологія	2	2	1	2	6	Поточне оцінювання
Тема 2. Електромеханічні явища в апаратах. Елементи магнітного кола	2	2			6	Поточне оцінювання
Тема 3. Електричні контакти. Тепловий розрахунок електричних апаратів. Електрична дуга	2	2			8	Поточне оцінювання
Тема 4. Функції та основні частини електричних апаратів. Елементи електричних апаратів	4	2	1	2	6	Поточне оцінювання
Тема 5. Розвиток виробництва і класифікація електричних апаратів	4	2			6	Поточне оцінювання
Змістовий модуль 2. Електрична і електромеханічна апаратура. Вимоги до електричних апаратів та безпечне використання електроенергії						
Тема 6. Електробезпека. Захисне уземлення та захищеність електричної апаратури	2	2	2	4	6	Поточне оцінювання
Тема 7. Вимоги до електричних апаратів, їх позначення та маркування	4	4			8	Поточне оцінювання
Тема 8. Електромеханічні комутаційні апарати низької напруги	4	4			8	Поточне оцінювання
Тема 9. Електромеханічні комутаційні апарати середньої напруги	4	4			8	Поточне оцінювання
Тема 10. Електромеханічні комутаційні апарати високої напруги	2	2			8	Поточне оцінювання
Тема 11. Розподільні пристрої та допоміжне обладнання комплексних пристроїв	2	2			8	Поточне оцінювання
Разом	32	28	4	8	78	

**Структура залікового кредиту дисципліни
«Електричні апарати»
(заочна форма навчання)**

Тема	Кількість, годин, в т.ч.			
	Лекції	Практичні	Самостійна робота	Контрольні заходи
Тема 1. Визначення електричного апарата. Основи теорії електричних апаратів. Міжнародна електротехнічна термінологія	1		14	тестування
Тема 2. Електромеханічні явища в апаратах. Елементи магнітного кола			12	тестування
Тема 3. Електричні контакти. Тепловий розрахунок електричних апаратів. Електрична дуга	1		12	тестування
Тема 4. Функції та основні частини електричних апаратів. Елементи електричних апаратів			12	тестування
Тема 5. Розвиток виробництва і класифікація електричних апаратів	1	1	12	тестування
Тема 6. Електробезпека. Захисне уземлення та захищеність електричної апаратури			12	тестування
Тема 7. Вимоги до електричних апаратів, їх позначення та маркування	1	1	14	тестування
Тема 8. Електромеханічні комутаційні апарати низької напруги	1		12	тестування
Тема 9. Електромеханічні комутаційні апарати середньої напруги	1	1	12	тестування
Тема 10. Електромеханічні комутаційні апарати високої напруги	1		12	тестування
Тема 11. Розподільні пристрої та допоміжне обладнання комплексних пристроїв	1		14	тестування
Разом	8	4	138	

5. ТЕМАТИКА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Змістовий модуль 1. Основи теорії електричних апаратів. Функції та класифікація електричних апаратів Практичне заняття 1

Тема 1. Визначення електричного апарата. Основи теорії електричних апаратів. Міжнародна електротехнічна термінологія

Питання для обговорення:

1. Визначення науки електричні апарати та електричного апарата.
2. Загальні положення, магнітні ланцюги, електромагніти, поляризовані механізми, електродинамічні сили.
3. Міжнародний електротехнічний словник та інші термінологічні джерела.
4. Аббревіатури та літерні позначення.
5. Особливості формулювання деяких термінів українською мовою

Практичне заняття 2

Тема 2. Електромеханічні явища в апаратах. Елементи магнітного кола

Питання для обговорення:

1. Електричні апарати та електрична апаратура.
2. Електромагнітні механізми апаратів.
3. Елементи магнітного поля.
4. Елементи електричних кіл та величини, що їх характеризують.

Практичне заняття 3

Тема 3. Електричні контакти. Тепловий розрахунок електричних апаратів. Електрична дуга

Питання для обговорення:

1. Електричні контактні з'єднання, електрична дуга, теплові розрахунки.
2. Діапазони напруг.
3. Виводи та термінали.
4. Електромеханічні або механічні та напівпровідникові апарати.
5. Позначення провідників у трифазних колах.

Практичне заняття 4

Тема 4. Функції та основні частини електричних апаратів. Елементи електричних апаратів

Питання для обговорення:

1. Функції електричних апаратів.
2. Головне коло, коло керування, допоміжне коло, полюс та порт.
3. Контакти електричних апаратів.
4. Дугогасні системи комутаційних апаратів.
5. Термінали електричних апаратів.
6. Актуатори комутаційних апаратів.
7. Узагальнена структура полюсу комутаційного апарата.

Практичне заняття 5

Тема 5. Розвиток виробництва і класифікація електричних апаратів

Питання для обговорення:

1. Етапи виробництва, перетворення, транспортування та споживання електричної енергії та електричні апарати.
2. Електромеханічні апарати.
3. Напівпровідникова і мікропроцесорна техніка.
4. Комутаційні апарати.
5. Апарати керування.
6. Апарати захисту.
7. Обмежувальні апарати.
8. Апарати контролю.
9. Класифікація електричних апаратів за родом струму.
10. Класифікація електричних апаратів за номінативною напругою.
11. Класифікація електричних апаратів за типом комутаційного елемента.

Змістовий модуль 2. Електрична і електромеханічна апаратура. Вимоги до електричних апаратів та безпечне використання електроенергії

Практичне заняття 6

Тема 6. Електробезпека. Захисне уземлення та захищеність електричної апаратури

Питання для обговорення:

1. Види небезпек, пов'язаних з електрикою. Негативні фактори впливу електричного струму на організм людини.
2. Способи захисту від прямих та непрямих дотиків.
3. Використання засобів, що зменшують вірогідність проходження струму через тіло людини.
4. Способи обмеження струму, який може проходити через тіло людини, та часу проходження струму.
5. Апарати, які автоматично відмикають живлення при коротких замиканнях в електроустановках. Зрівняння потенціалів або еквіпотенціальність.
6. Апарати, що автоматично відмикають живлення при виникненні струмів витоку. Захисне уземлення. Мережі із уземленою та ізольованою нейтраллю. Класифікація типів захисного уземлення розподільних систем.
7. Принцип трирівневого захисту. Система TN-C. Система TN-S. Система TN-C-S. Система TT. Система IT. Основний захист. Захист при пошкодженнях. Додатковий захист.
8. Захисні властивості електричної апаратури. Захищеність електричної апаратури від проникнення сторонніх предметів та вологи.

Практичне заняття 7

Тема 7. Вимоги до електричних апаратів, їх позначення та маркування

Питання для обговорення:

1. Загальні вимоги до електричних апаратів.
2. Класифікація вимог до електричних апаратів.
3. Вимоги щодо запобігання небезпеки для людей, майна й довкілля.
4. Вимоги щодо запобігання утворенню перешкод для нормальної роботи

інших елементів системи, у якій апарат працює.

5. Загальні експлуатаційні вимоги до електричних апаратів.
6. Специфічні експлуатаційні вимоги до окремих груп електричних апаратів. Вимоги щодо безпечності конструкцій електричних апаратів.
7. Вимоги щодо запобігання утворенню перешкод для нормальної роботи інших елементів системи, у якій апарат працює.
8. Загальні експлуатаційні вимоги до електричних апаратів.
9. Умови роботи електричних апаратів. Робота електричних апаратів при коротких замиканнях. Струмообмеження та інтеграл Джоуля.
10. Позначення та маркування електричних апаратів.

Практичне заняття 8

Тема 8. Електромеханічні комутаційні апарати низької напруги

Питання для обговорення:

1. Електромеханічні комутаційні апарати низької напруги.
2. Запобіжники.
3. Роз'єднувачі, вимикачі та комбінації із запобіжниками.
4. Відмикачі промислового застосування.
5. Відмикачі для побутових та аналогічних електроустановок.
6. Відмикачі, керовані різницею струмів.
7. Контактори та пускачі.
8. Апарати кіл керування.
9. Електромагнітні реле.
10. Промислові з'єднувачі та з'єднувальні пристрої.
11. Вимикачі та з'єднувачі побутового застосування.

Практичне заняття 9

Тема 9. Електромеханічні комутаційні апарати середньої напруги

Питання для обговорення:

1. Відмикачі. Відмикачі зі швидкісним АПВ.
2. Вакуумні відмикачі.
3. Масляні відмикачі.
4. Елегазові відмикачі.
5. Повітряні відмикачі.
6. Маломасляні відмикачі.
7. Швидкодіючі відмикачі постійного струму.
8. Роз'єднувачі та перемикачі уземлення.
9. Вимикачі-роз'єднувачі.
10. Запобіжники. Комбінації із запобіжниками. Контактори.

Практичне заняття 10

Тема 10. Електромеханічні комутаційні апарати високої напруги

Питання для обговорення:

1. Комутаційні електромеханічні апарати високої напруги.
2. Відмикачі.
3. Бакові масляні відмикачі.
4. Маломасляні відмикачі.

5. Повітряні відмикачі високого тиску.
6. Елегазові відмикачі.
7. Роз'єднувачі.

Практичне заняття 11

Тема 11. Розподільні пристрої та допоміжне обладнання комплексних пристроїв

Питання для обговорення:

1. Комплексні пристрої. Розподільні пристрої.
2. Розподільні пристрої низької напруги.
3. Категорії електроприймачів та схеми розподілення електричної енергії.
4. Електроприймачі I категорії. Електроприймачі II категорії. Електроприймачі III категорії.
5. Розподільні пристрої промислового призначення.
6. Розподільні пристрої побутового та аналогічного призначення.
7. Розподільні пристрої середньої напруги.
8. Розподільні пристрої високої напруги.
9. Допоміжне обладнання комплектних пристроїв.
10. Трансформатори струму. Трансформатори напруги.
11. Шини та системи збірних секційних шинопроводів.
12. Монтажні проводи та кабелі. Системи порядкування кабелів.

7. САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТІВ З ДИСЦИПЛІНИ «Електричні апарати»

Основним завданням самостійної роботи студентів є опрацювання спеціальної літератури та оволодіння теоретико-методичними та прикладними аспектами метрології та електричними вимірюваннями.

Денна форма навчання

Самостійна робота з дисципліни «Електричні апарати» виконується самостійно кожним студентом і охоплює усі основні теми дисципліни.

Метою виконання є оволодіння практичними навичками з метрології та електричних вимірювань. Самостійна робота оцінюється за 100-бальною шкалою. Виконання самостійної роботи є одним із обов'язкових складових модулів залікового кредиту з навчальної дисципліни.

№ з/п	Тематика самостійної роботи	Кількість годин
1.	Визначення електричного апарата. Основи теорії електричних апаратів. Міжнародна електротехнічна термінологія	6
2.	Електромеханічні явища в апаратах. Елементи магнітного кола	6
3.	Електричні контакти. Тепловий розрахунок електричних апаратів. Електрична дуга	8
4.	Функції та основні частини електричних апаратів. Елементи електричних апаратів	6
5.	Розвиток виробництва і класифікація електричних апаратів	6
6.	Електробезпека. Захисне уземлення та захищеність електричної апаратури	6
7.	Вимоги до електричних апаратів, їх позначення та маркування	8
8.	Електромеханічні комутаційні апарати низької напруги	8
9.	Електромеханічні комутаційні апарати середньої напруги	8
10.	Електромеханічні комутаційні апарати високої напруги	8
11.	Розподільні пристрої та допоміжне обладнання комплексних пристроїв	8
	Разом	78

Питання для самостійної роботи:

1. Загальні положення, магнітні ланцюги, електромагніти, поляризовані механізми, електродинамічні сили.
2. Міжнародний електротехнічний словник та інші термінологічні джерела.
3. Електричні апарати та електрична апаратура.

4. Електромагнітні механізми апаратів.
5. Електричні контактні з'єднання, електрична дуга, теплові розрахунки.
6. Електромеханічні або механічні та напівпровідникові апарати.
7. Функції електричних апаратів.
8. Головне коло, коло керування, допоміжне коло, полюс та порт.
9. Контакти електричних апаратів.
10. Дугогасні системи комутаційних апаратів.
11. Термінали електричних апаратів.
12. Актуатори комутаційних апаратів.
13. Узагальнена структура полюсу комутаційного апарата.
14. Комутаційні апарати.
15. Класифікація електричних апаратів за родом струму.
16. Класифікація електричних апаратів за номінативною напругою.
17. Класифікація електричних апаратів за типом комутаційного елемента.
18. Види небезпек, пов'язаних з електрикою. Негативні фактори впливу електричного струму на організм людини.
19. Способи обмеження струму, який може проходити через тіло людини, та часу проходження струму.
20. Принцип трирівневого захисту. Система TN-C. Система TN-S. Система TN-C-S. Система TT. Система IT. Основний захист. Захист при пошкодженнях. Додатковий захист.
21. Класифікація вимог до електричних апаратів.
22. Умови роботи електричних апаратів. Робота електричних апаратів при коротких замиканнях. Струмообмеження та інтеграл Джоуля.
23. Електромеханічні комутаційні апарати низької напруги.
24. Електромеханічні комутаційні апарати середньої напруги.
25. Електромеханічні комутаційні апарати високої напруги.
26. Комплексні пристрої. Розподільні пристрої.
27. Монтажні проводи та кабелі. Системи порядкування кабелів.

На основі опрацювання питань, передбачених тематикою самостійної роботи, здобувач вищої освіти виконує такі **завдання для самостійної роботи студентів**: 1) підготовка реферату; 2) підготовка презентації; 3) розв'язання задачі.

Основні вимоги: критичний та креативний аналіз проблеми, для якого необхідним є порівняння існуючих щодо проблеми поглядів та обґрунтування власної позиції. Технічні вимоги – реферат (обсяг до 20 сторінок, Times New Roman, шрифт 14, інтервал 1,5, не менше ніж 10 позицій у списку літератури, коректне оформлення посилань, презентація до 20 слайдів).

Задача

«Розрахунок обмотки електромагніту змінного струму»

Вихідними даними для розрахунку обмотки напруги є амплітуди МРС F_m , магнітного потоку Φ_m і напруга мережі U . Для електромагнітів змінного струму справедливо наступне рівняння рівноваги напруг:

$$U^2 = (IR)^2 + (4,44f_c \cdot W \cdot \Phi_m)^2, \quad (1)$$

де U та I - діючі значення напруги та струму, B та A ;
 f_c - частота струму мережі, Гц.

Оскільки струм і опір можуть бути розраховані тільки після визначення числа витків, то (20) не дозволяє знайти відразу всі параметри обмотки. Завдання вирішується методом послідовних наближень. У першому наближенні можна прийняти $R = 0$, так як активне падіння напруги значно менше реактивного. Тоді число витків обмотки

$$W = \frac{U}{4,44f_c \cdot \Phi_m}.$$

Оскільки при розрахунку W ми знехтували активної складової падіння напруги, то дійсне число витків повинно бути декілька менше. У практичних викладках зазвичай

$$W = \frac{(0,7 - 0,95) \cdot U}{4,44f_c \cdot \Phi_m}, \quad (2)$$

тоді

$$I = \frac{F_m}{\sqrt{2} \cdot W}. \quad (3)$$

Перетин дроту визначають за виразом (2), задавшись щільністю струму (3). Вибравши стандартний діаметр і спосіб укладання дроти, знаходимо коефіцієнт заповнення f_m і площа вікна обмотки $Q_{об}$.

Після цього можна визначити середню довжину витка і активний опір обмотки. Товщину обмотки $h_{об}$ легко знайти за геометричними розмірами котушки (рис. 2):

$$h_{об} = \frac{(b_{об} - a_{об})}{2} = \frac{Q_{об}}{l_{об}}. \quad (4)$$

Середня довжина витка розраховується через внутрішній $\Pi_{вн}$ та зовнішній $\Pi_{зовн}$ периметри обмотки:

$$\Pi_{вн} = 2[(a_k + 2\Delta_k) + (A_k + 2\Delta_k)], \quad (5)$$

$$\Pi_{зовн} = 2[(a_k + 2\Delta_k + 2h_{об}) + (A_k + 2\Delta_k + 2h_{об})]$$

або

$$\Pi_{зовн} = \Pi_{вн} + 8h_{об}, \quad (6)$$

$$l_{сер} = \frac{\Pi_{вн} + \Pi_{зовн}}{2}. \quad (7)$$

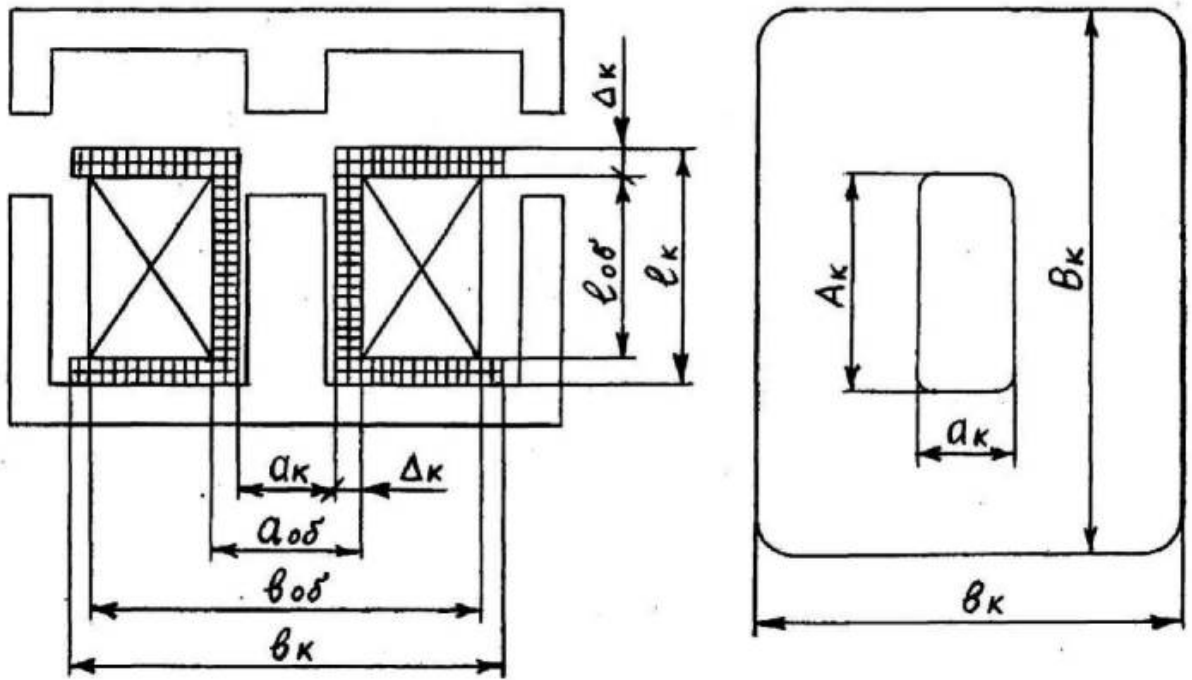


Рисунок 1. Електромагніт змінного струму

Активний опір обмотки визначаємо за (4). Якщо, після підстановки отриманих даних у (5) ліва частина відрізняється від правої більш ніж на 10%, то необхідно варіювати число витків до отримання задовільного збігу.

Після розрахунку R проводиться перевірка обмотки на нагрівання. Розрахунок ведеться так само, як і для обмоток постійного струму. При цьому у співвідношеннях (6) замість зовнішнього діаметра обмотки $D_{об}$ слід підставляти еквівалентний зовнішній діаметр обмотки

$$D_{\text{езовн}} = \frac{\Pi_{\text{зовн}}}{\pi} \quad (8)$$

Особливістю є нагрів магнітопроводу за рахунок втрат від вихрових струмів і гістерезису. Відведення що виділяється в обмотці тепла через сердечник утруднений, і крапка з максимальною температурою лежить на внутрішньому радіусі обмотки. Для поліпшення охолодження прагнуть збільшувати поверхню торців котушки при зменшенні її довжини.

Потужність втрат в обмотці знаходять за виразом

$$P = I^2 R \quad (9)$$

Бічна охолоджуюча поверхня

$$S_6 = \Pi_{\text{зовн}} \cdot l_{об} \quad (10)$$

Якщо обмотка напруги харчується від джерела з напругою U_2 , відмінним від номінального U_1 , і сила тяги повинна залишитися тією ж, то обмотувальні дані повинні бути відповідно змінені. Значення МРС і кут зсуву між струмом і напругою при цьому вважаються незмінними. Згідно [1] повинні бути дотримані співвідношення:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} \quad (11)$$

$$U_1 \cdot q_1 = U_2 \cdot q_2 \quad (12)$$

$$Q_{об1} f_{M1} = Q_{об2} f_{M2} \quad (13)$$

Повна потужність обмотки при переході з однієї напруги на інше і дотриманні зазначених умов не змінюється, так як

$$U_1 I_1 = U_2 I_2. \quad (14)$$

Для розрахунку обмотки струму заданими параметрами є діючі значення МДС F і струму ланцюга I . Розрахунок таких обмоток ведеться за аналогією з обмотками постійного струму з урахуванням (11)-(14).

Критерії оцінювання самостійної роботи:

- комплексність виконання завдання для самостійної роботи;
- логічність викладення матеріалу;
- логічність аналізу стану обраної проблематики;
- повнота і глибина розкриття питань;
- правильність розрахунків;
- обсяг опрацьованої наукової літератури;
- критичне мислення та індивідуальний підхід до оформлення результатів самостійного завдання;
- презентація науково-дослідної роботи.

Індивідуальна робота – ідентифікована як одна із форм організації навчальної роботи викладача і студентів, реалізовуватиметься створенням необхідних умов для виявлення та розвитку персональних здібностей студентів на основі особистісно-діяльнісного підходу до виконання завдання.

8. ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОВЕДЕННЯ ТРЕНІНГУ З ДИСЦИПЛІНИ

«Електричні апарати»

Тематика: Робота з дисципліни електричні апарати

Методична доцільність проведення тренінгу полягає у забезпеченні студентів знаннями і навичками, які в подальшому можуть використовуватися у майбутній професійній діяльності.

У процесі проведення тренінгу студентам пропонується показати методи вимірювання фізичних величин, провести перевірки електричних апаратів, провести контроль стану засобів вимірювань, виявити несправності та пошкодження в роботі електроустаткування та усувати їх.

Завдання на тренінг. Скласти рівняння кривої нагріву круглої мідної шини діаметром d , по якій почав протікати постійний струм I . Температура шини до початку його протікання дорівнювала температурі навколишнього середовища J_0 . Варіанти чисельних значень початкових даних до задачі надані у табл. 1.

Варіанти початкових даних до тренінгу

Таблиця 1

Остання цифра індивідуального шифру	Діаметр шини d , мм	Величина струму I , А	Температура навколишнього середовища J_0 , °C
0	8	350	30
1	12	400	32

2	14	400	33
3	16	450	35
4	18	450	31
5	20	500	30
6	22	500	32
7	24	530	33
8	26	600	35
9	30	700	30

Методичні вказівки до тренінгу

Рівняння кривої нагріву у загальному вигляді має такий вигляд:

$$\vartheta = \vartheta_{\text{уст}} (1 - e^{-t/T}) + \vartheta_0 e^{-t/T}, \quad (1)$$

де $\vartheta_{\text{уст}}$ - стале значення температури шини, °С;

T - постійна часу нагріву, с.

Стала температура шини визначається з наступного рівняння:

$$\vartheta_{\text{уст}} = \frac{I^2 \rho_0 (1 + \alpha \vartheta_{\text{уст}})}{\alpha_t r q} + \vartheta_0, \quad (2)$$

де α_t - коефіцієнт тепловіддачі з поверхні шини; його величину прийняти такою, що складає 10 Вт/(м²К);

ρ_0 - питомий опір міді при 0°С;

α - температурний коефіцієнт опору, 1/К;

r - охолоджувана поверхня шини у розрахунку на одиницю її довжини (або периметр поперечного перерізу), м;

q - площа поперечного перерізу шини, м²

Постійна часу нагріву шини визначається за таким виразом:

$$T = \frac{c \gamma q}{\alpha r}, \quad (3)$$

де c - питома теплоємність міді, Дж/(кг·К);

γ - щільність міді, кг/м³;

9. ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ ТА МЕТОДИ ДЕМОНСТРУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

У процесі вивчення дисципліни «Електричні апарати» використовуються наступні засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання:

- поточне оцінювання (опитування, тестування, виконання лабораторних завдань, доповіді, реферати);
- проміжне модульне оцінювання;
- презентації результатів виконаних досліджень;
- оцінювання результатів виконання самостійної роботи студентів;
- оцінювання результативності наукових досліджень;
- інші види індивідуальних і групових завдань
- підсумкове оцінювання (екзамен).

10. ПОЛІТИКА ОЦІНЮВАННЯ

Політика щодо граничних термінів і перескладання: Для виконання індивідуальних завдань і проведення контрольних заходів встановлюються конкретні терміни. Перескладання модулів відбувається з дозволу керівництва факультету (інституту) за наявності поважних причин (наприклад, лікарняний).

Політика щодо академічної доброчесності: Письмові роботи підлягають перевірці на наявність плагіату та допускаються до захисту з коректними текстовими запозиченнями. Використання друкованих і електронних джерел інформації під час контрольних заходів та екзаменів заборонене.

Політика щодо відвідування: Відвідування занять є обов'язковим. За об'єктивних причин (наприклад, карантин, воєнний стан, хвороба, закордонне стажування) навчання може відбуватись в онлайн формі за погодженням із керівником курсу.

11. КРИТЕРІЇ, ФОРМИ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

Підсумковий бал (за 100-бальною шкалою) з дисципліни «Електричні апарати» визначається як середньозважена величина, залежно від питомої ваги кожної складової залікового кредиту:

Структура залікового кредиту для студентів (екзамен) %:

Модуль 1		Модуль 2		Модуль 3	Модуль 4	Модуль 5
10%	10%	10%	10%	5%	15%	40%
Поточне оцінювання	Модульний контроль	Поточне оцінювання	Модульний контроль	Тренінг	Самостійна робота	Екзамен
Середнє арифметичне з оцінок, отриманих під час занять (кожен здобувач має бути оцінений не рідше як раз на два заняття)	Письмова робота: 1. Теоретичні питання (2) мах 40 балів 2. Практичні завдання (3) мах 60 балів	Середнє арифметичне з оцінок, отриманих під час занять (кожен здобувач має бути оцінений не рідше як раз на два заняття)	Письмова робота: 1. Теоретичні питання (2) мах 50 балів 2. Лабораторні завдання (3) мах 50 балів	Середнє арифметичне з оцінок, отриманих під час тренінгу	Середнє арифметичне з оцінок, отриманих під час вивчення дисципліни за самостійну роботу	1.Тестові завдання (10) мах 20 балів 2.Теоретичні питання (2) мах 40 3.Лабораторні завдання (1) мах 20 4.Практичні Завдання (1) мах 20

Шкала оцінювання:

За шкалою ЗУНУ	За національною шкалою	За шкалою ECTS
90–100	Відмінно	A (відмінно)
85-89	Добре	B (дуже добре)
75–84		C (добре)
65–74	Задовільно	D (задовільно)
60-64		E (достатньо)
35–59	Незадовільно	FX (незадовільно з можливістю повторного складання)
1–34		F (незадовільно з обов'язковим повторним курсом)

11. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ ДИСЦИПЛІНА

№	Найменування	Номер теми
1.	Мультимедійний проектор	1-11
2.	Екран проєкційний	1-11
	Комп'ютеризована аудиторія, доступ до мережі Інтернет	1-11
3.	Базове програмне забезпечення: ОС Windows 10 – згідно ліцензії Microsoft IT Academy та Microsoft DreamSpark for Students. Стандартне програмне забезпечення базових інформаційних технологій: MS Office (Excel), телекомунікаційне програмне забезпечення (Internet Explorer, Opera, Google Chrome, Firefox, ZOOM, MOODLE, Viber)	1-11
4.	Амперметр, вольтметр, ватметр, осцилограф, омметр, електроінструменти	1-11

РЕКОМЕНДОВАНИ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. ISO/IEC Directives. Supplement – Procedures specific to IEC: Second edition, 2004. – 62 p.
2. IEC 60050-101: 1998. International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 101: Mathematics. – 64 p.
3. IEC 60050-121: 1998. IEV – Chapter 121: Electromagnetism. – 109 p.
4. IEC 60050-131: 2002. IEV – Chapter 131: Circuit theory. – 141 p.
5. IEC 60050-151: 2001. IEV – Chapter 151: Electrical and magnetic devices. – 103 p.
6. IEC 60050-161: 1990, IEV – Chapter 161: Electromagnetic compatibility. – 58 p.
7. IEC 60050-191: 1985, IEV – Chapter 191: Dependability and quality of service – 147 p.
8. IEC 60050-195: 1998, IEV – Chapter 195: Earthing and protection against electric shock. – 57 p.
9. IEC 60050-394: 1998. IEV – Chapter 394: Nuclear instrumentation: Instruments. – 147 p.
10. IEC 60050-441: 1984, IEV – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses.– 118 p.
11. IEC 60050-442: 1998. IEV – Chapter 442: Electrical accessories.– 96 p.
12. IEC 60050-444: 2002. IEV – Chapter 444: Elementary relays. – 47 p.
13. IEC 60050-445: 2002. IEV – Chapter 445: Specified time all-or-nothing relays. – 21 p.
14. IEC 60050-446: 2002. IEV – Chapter 446: Electrical relays. – 34 p.
15. IEC 60050-461: 1984, IEV – Chapter 461: Electric cables. – 64 p.
16. IEC 60050-581: 1998, IEV – Chapter 581: Electromechanical components for electronic equipment. – 76 p.
17. IEC 60050-601: 1985. IEV – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity: General. – 20 p.
18. IEC 60050-604: 1985. IEV – Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity: Operation. – 43 p.
19. IEC 60050-605: 1983. IEV – Chapter 605: Generation, transmission and distribution of electricity: Substations. – 21 p.
20. IEC 60050-811: 1982. IEV – Chapter 811: Electric traction. – 167 p.
21. IEC 60050-845: 1987. IEV – Chapter 845: Lighting. – 292 p.
22. IEC 60050-826: 2004. IEV – Chapter 826: Electrical installations.– 72 p.
23. IEC 60027-1: Sixth edition, 1992. Corrected and reprinted 1995-03-31.
24. Letter symbols to be used in electrical technology . Part 1: General. – 115 p.
25. IEC 60038: Ed. 6.2, 2002-07. IEC standard voltages. – 21 p.
26. IEC 60044-1: Ed. 1.2, 2003-02. Instruments transformers. Part 1: Current transformers. – 118 p. 28. IEC 60044-2: Ed. 1.2, 2003-02. Instruments transformers. Part 2: Inductive voltage transformers. – 99 p.
27. IEC 60073: Sixth edition, 2002-05. Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Coding principles for indicators and actuators. – 62 p.
28. IEC 60112: Fourth edition, 2003-01. Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials. – 42 p.

29. IEC 60269-1: Ed. 3.1, 2005-04. Low-voltage fuses – Part 1: General requirements. – 162 p.
30. IEC 60269-4: Third edition, 1986. Low-voltage fuses – Part 4: Supplementary requirements for fuse-links for the protection of semiconductor devices. – 54 p.
31. IEC 60282-1: Ed. 7.0, 2009-10. High-voltage fuses – Part 1: Current-limiting fuses. – 120 p.
32. IEC 60309-1: Edition 4.1, 2005-12. Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes – Part 1: General requirements. – 184 p.
33. IEC 60320-1: Ed. 2.1, 2007-11. Appliance couplers for household and similar general purposes – Part 1: General requirements. – 225 p.
34. IEC 60364-1: Fourth edition, 2001-08. Electrical installations of buildings – Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions. – 42 p.
35. IEC 60417: 2006-07. Graphical symbols for use on equipment. – Database Snapshot. – 228 p.
36. IEC 60439-1: Ed. 4.1, 2004-04. Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: Type-tested and partially type-tested assemblies. – 204 p.
37. Cardarelli F. Encyclopaedia of Scientific Units, Weights and Measures: Their SI Equivalences and Origins. Springer, 2004. 872 p.
38. Cataldo A., Giaquinto N., De Benedetto E., Masciullo A., Cannazza G., Lorenzo I., Nicolazzo J., Meo M.T., De Monte A., Parisi G., Gaetani F. Basic Theory and Laboratory Experiments in Measurement and Instrumentation: A Practice-Oriented Guide. Springer, 2020. 204 p.
39. Chani Muhammad Tariq Saeed, Asiri Abdullah Mohammed, Khan Sher Bahadar (eds.) Humidity Sensors: Types and Applications. ITeXLi, 2023. 113 p.
40. Crowder St., Delker C., Forrest E., Martin M. Introduction to Statistics in Metrology. Springer, 2020. 357 p.
41. Curtis M., Farago F. Handbook of Dimensional Measurement. 5th Ed. Industrial Press, Inc., 2013. 642 p.
42. Czichos H. Measurement, Testing and Sensor Technology: Fundamentals and Application to Materials and Technical Systems. Springer International Publishing AG, 2018. 214 p.
43. Czichos H., Saito T., Smith L.E. (Eds.) Handbook of Metrology and Testing. 2nd ed. Springer, 2011. 1500 p.
44. Du S., Xi L. High Definition Metrology Based Surface Quality Control and Applications. Springer, 2019. 338 p.
45. Eichstädt S. (ed.) Dynamic Measuring Systems: Fundamentals and application of time-dependent measurements. De Gruyter Oldenbourg, 2023. 146 p.
46. Eidson John C. Measurement, Control, and Communication Using IEEE 1588. Springer, 2006. 284 p.
47. Fisher W., Cano S.J. (eds.) Person-Centered Outcome Metrology: Principles and Applications for High Stakes Decision Making. Springer, 2023. 402 p.
48. Fridman A.E. The Quality of Measurements: A Metrological Reference. Springer Science+Business Media, 2011. 212 p.
49. Gupta S.V. Units of Measurement: Past, Present and Future. International System of Units. Berlin et al.: Springer-Verlag, 2010. XVII, 158 p.

50. Jiang X., Scott P. Advanced Metrology: Freeform Surfaces. Academic Press, 2020. 383 p.
51. Karmalita Viacheslav. Metrology of Automated Tests: Static and Dynamic Characteristics. De Gruyter, 2020. 115 p.
52. Korotcenkov G. Handbook of Humidity Measurement. Volume 2: Electronic and Electrical Humidity Sensors. CRC Press; Taylor & Francis Group, 2019. 405 p.
53. Krishnan K.M. Principles of Materials Characterization and Metrology. Oxford: Oxford University Press, 2021. 868 p.
54. Krystek M. Quantities and Units: The International System of Units. De Gruyter Oldenbourg, 2023. 118 p.
55. Kumar K., Zindani D. Engineering Materials Characterization. Berlin: de Gruyter, 2023. 270 p.
56. Langarin Reza. Measurement and Instrumentation: Theory and Application. Elsevier Science, 2020. 736 p.
57. Mari L., Wilson M., Maul A. Measurement Across the Sciences: Developing a Shared Concept System for Measurement. 2nd edition. Springer, 2023. 339 p.
58. Morris A., Langari R. Measurement and Instrumentation: Theory and Application. Second Edition. Academic Press, 2016. 695 p.
59. Morris A.S., Langari R. Measurement and Instrumentation: Theory and Application. 3rd Edition. Elsevier Inc., 2021. 711 p.
60. Nakra B.C., Chaudhry K.K. Instrumentation, Measurement and Analysis. New Delhi: McGraw-Hill Education, 2017. 734 p.
61. Raghavendra N.V., Krishnamurthy L. Engineering metrology and measurements. Oxford: University Press. 2013. 546 p.
62. Sawhney A.K. A Course In Electronics & Electrical Measurements And Instrumentation. New Delhi: S. K. Kataria & Sons, 2006. 1089 p.
63. Velychko Oleh. Modern Metrology Applied Aspects. ITexLi, 2022. 135 p.
64. Wade Heather A. (ed.) The ASQ Metrology Handbook. 3rd edition. ASQ Quality Press, 2022. 737 p.
65. Zhou Wei, Li Zhiqi, Bai L., Fu X., Qu B., Miao M. The Border Effect in High-Precision Measurement. Springer, 2023. 388 p.