



ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Силабус освітнього компонента

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	14 – Електрична інженерія
Спеціальність	141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма	Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси
Статус дисципліни	вибіркова
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	Всього 4 кредитів ECTS / 120 годин; аудиторних – 54 год: лекції – 36 години; лабораторні роботи – 18 годин; самостійна робота – 66 години
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік
Розклад занять	1 лекція (2 години) 1 раз на тиждень 1 лабораторна робота (4 години) 1 раз на 2 тижні
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н, доцент, Проценко Олександр Ростиславович, apro54@ukr.net Лабораторні: к.т.н, доцент, Проценко Олександр Ростиславович, apro54@ukr.net
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/c/MTg4MDM0NDQyNDQy?cjc=x55bz75

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Силабус освітнього компонента «Діагностування стану електротехнічного обладнання» складено відповідно до освітньої програми підготовки бакалаврів «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси» спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Метою навчальної дисципліни є підсилення у студентів наступних компетентностей: ЗК1-Здатність застосовувати знання на практиці; ЗК6-Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми; ЗК8-Готовність та здатність високоякісно виконувати роботу як самостійно так і колективно та приймати рішення в межах своїх професійних знань та компетенцій; ФК4-Здатність вирішувати практичні задачі, пов'язані з проблемами метрології, електричних вимірювань, роботою пристроїв автоматичного керування, релейного захисту та автоматики; ФК16-Здатність застосовувати методи стандартизованих випробувань щодо визначення електротехнічних характеристик і конструктивних особливостей використовуваного електроенергетичного та електротехнічного обладнання і систем на його основі

Предметом навчальної дисципліни – є електротехнічні пристрої, які поєднують електричні машини, електричні трансформатори (як силові так і вимірювальні), електротехнологічні комплекси контролю та діагностування стану ізоляції.

Програмні результати навчання, на формування та покращення яких спрямована дисципліна:

ЗН19- Факторів, що призводять до виникнення незворотних процесів у високовольтній ізоляції електричних мереж та систем, обладнання електричних станцій та підстанцій, об'єктів альтернативної енергетики; УМ1- Працювати з прикладним програмним забезпеченням, мікроконтролерами та мікропроцесорною технікою;

УМ2- Проводити аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах; УМ14- Визначати основні причини пошкодження внутрішньої високовольтної ізоляції електрообладнання електричних станцій та підстанцій, об'єктів альтернативної енергетики.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти освітніми компонентами "Техніка високих напруг", «Електрична частина станцій та підстанцій», «Теоретичні основи електротехніки».

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ВИПРОБУВАНЬ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.

Тема 1.1 Випробування – складова системи забезпечення надійності роботи електрообладнання.

Зміст: Види, призначення, особливості застосування випробувань електрообладнання, у т.ч. залежно від призначення самого обладнання, та стадії проведення цих випробувань. Місце випробувань в системі забезпечення надійності експлуатації електрообладнання.

Тема 1.2. Контроль технічного стану електрообладнання підстанцій.

Зміст: Параметри (характеристики), які визначаються під час випробувань та їх ефективність для контролю технічного стану (діагностики) електрообладнання електричних мереж. Контроль та діагностика електрообладнання без виведення його з роботи, методи випробувань, які для цього застосовуються зараз, шляхи розвитку і вдосконалення такого контролю.

Розділ 2. ЗАДАЧІ ПРОФІЛАКТИЧНОГО КОНТРОЛЮ. ВИДИ ІЗОЛЯЦІЇ. ВИДИ ДЕФЕКТІВ. ВИДИ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ ВИДИ ВИПРОБУВАЛЬНИХ НАПРУГ.

Тема 2.1. Загальні фізико-хімічні властивості діелектриків.

Зміст: Схеми заміщення ізоляції для аналізу усталених та перехідних процесів. Характер струму через ізоляцію при впливі напруги.

Тема 2.2: Явище абсорбції та його використання для оцінки стану високовольтної ізоляції

Зміст: Абсорбційні методи контролю стану ізоляції. Коефіцієнт абсорбції. Мегаометр. Абсорбційні процеси в двошаровому діелектрику.

Методи контролю стану ізоляції по значенню її опору.

Ємнісні методи контролю стану ізоляції. Вимірювання струму абсорбції для оцінки вологості ізоляції.

Тема 2.3: Контроль стану ізоляції по значенню кута діелектричних витрат.

Зміст: Кут діелектричних витрат як параметр для оцінки стану ізоляції. Можливості та обмеження.

Вимірювання кута діелектричних витрат та типове устаткування. Вимірювання при завадах.

Тема 2.4: Вимір характеристик часткових розрядів для контролю ізоляції.

Зміст: Часткові розряди - як характеристика ізоляції. Методи вимірів часткових розрядів. Апаратура та способи її використання.

Тема 2.5: Ізоляційні масла та контроль їх характеристик.

Зміст: Ізоляційні масла, які використовуються для високовольтної ізоляції. Способи контролю його характеристик. Методи його випробувань при визначенні електричної міцності.

Газоаналіз трансформаторного масла для оцінки його стану. Хроматограф. Детектори по теплопровідності та по іонізації в полум'ї.

Газоаналіз трансформаторного масла за допомогою оптичного обладнання з детектором на високочастотному газовому розряді.

Способи відбору проб газів та масла для обладнання яке заповнене трансформаторним маслом.

Методи екстракції газів з масла.

Тема 2.6: Зволоження трансформаторного масла та способи його контролю.

Зміст: Гібрид-кальцієвий метод виявлення зволоження трансформаторного масла.

Метод Карла-Фішера (кулонометричний) для виявлення зволоження трансформаторного масла.

Тема 2.7: Контроль стану ізоляції електрообладнання за результатами вимірювань струмів небалансу.

Зміст: Методичні основи вимірювань струмів небалансу. Пристрої для вимірювання та датчики.

Критерії оцінки стану ізоляції. Практичне використання результатів вимірювань струмів небалансу для контролю стану ізоляції вводів та трансформаторів струму.

Тема 2.8: Тепловізійний контроль технічного стану електрообладнання.

Зміст: Методичні основи застосування тепловізійного контролю на об'єктах електроенергетики.

Технічні засоби проведення тепловізійного контролю обладнання. Використання тепловізійного контролю для визначення технічного стану електрообладнання.

Тема 2.9: Автоматизовані системи контролю за станом ізоляції.

Зміст: Використання автоматизованих інформаційних систем для моніторингу за станом ізоляції енергообладнання без його відключення від електромережі.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

1. Діагностика стану електротехнічного обладнання. Курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійних програм «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. О. Р. Проценко. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,25 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 162 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47972>.

2. Діагностика стану електротехнічного обладнання. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійних програм «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. Б. Абрамов, О. Р. Проценко. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,82 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 69 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47800>.

3. Приймальні та експлуатаційні випробування електроустаткування: Навч.посібник / Уклад.: В.Б.Абрамов, В.О.Бржезицький, О.Р.Проценко, під ред. Бржезицького В.О. –К.:НТУУ «КПІ», 2015. – 235 с.

4. Технічне діагностування, випробування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагоджування і в експлуатації. – К.: «ДП НТУКЦ», - 2011. – 1008с.

Додаткові інформаційні ресурси:

1. СОУ-Н ЕЕ 43.101:2009. Приймання, застосування та експлуатація трансформаторних масел. Норми оцінювання якості. (Діючий на 2022р.)

2. СОУ-Н ЕЕ 20.577:2007 (Діючий на 2022р.)Технічне діагностування електрообладнання та контактних з'єднань електроустановок і повітряних ліній електропередачі засобами інфрачервоної техніки., ДП НТУКЦ «АсЕл-Енерго», Київ,2007. (Нормативний документ Міністерства палива та енергетики України).

3. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 Норми випробування електрообладнання (нова редакція 2020).

4. СОУ-Н ЕЕ 46.302:2006 (Діючий на 2022р.) Підготовка та проведення хроматографічного аналізу вільних газів, відібраних із газового реле, і газів, розчинених у ізоляційному маслі маслонаповненого електрообладнання. Методичні вказівки., (Нормативний документ Міністерства палива та енергетики України).

5. СОУ-Н ЕЕ 46.501:2006 (діючий на 2022р.). Діагностика маслонаповненого трансформаторного обладнання за результатами хроматографічного аналізу вільних газів, відібраних із газового реле, і газів, розчинених у ізоляційному маслі. Методичні вказівки., (Нормативний документ Міністерства палива та енергетики України).

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
	Розділ 1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ВИПРОБУВАНЬ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.
1	Тема 1.1 Випробування – складова системи забезпечення надійності роботи електрообладнання Лекція №1. Випробування – складова системи забезпечення надійності роботи електрообладнання Зміст: Види, призначення, особливості застосування випробувань електрообладнання. Місце випробувань в системі забезпечення надійності експлуатації електрообладнання.
2	Тема 1.2. Контроль технічного стану електрообладнання підстанцій. Лекція №2. Контроль технічного стану електрообладнання підстанцій. Зміст: Параметри (характеристики), які визначаються під час випробувань та їх ефективність для контролю технічного стану (діагностики) електрообладнання електричних мереж. Контроль та діагностика електрообладнання без виведення його з роботи, методи випробувань, які для цього застосовуються зараз, шляхи розвитку і вдосконалення такого контролю
	Розділ 2. ЗАДАЧІ ПРОФІЛАКТИЧНОГО КОНТРОЛЮ. ВИДИ ІЗОЛЯЦІЇ. ВИДИ ДЕФЕКТІВ. ВИДИ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ ВИДИ ВИПРОБУВАЛЬНИХ НАПРУГ.
3	Тема 2.1. Загальні фізико-хімічні властивості діелектриків Лекція 3. Задачі та виконання профілактичного контролю. Зміст: Види ізоляції. Види дефектів. Види контролю ізоляції. Види випробувальних напруг.
4	Лекція 4. Схеми заміщення ізоляції для аналізу усталених та перехідних процесів. Характер струму через ізоляцію при впливі напруги.
5	Тема 2.2. Явище абсорбції та його використання для оцінки стану високовольтної ізоляції. Лекція 5. Абсорбційні методи контролю стану ізоляції. Зміст: Коефіцієнт абсорбції. Мегаометр. Абсорбційні процеси в двошаровому діелектрику. Методи контролю стану ізоляції по значенню її опору.
6	Лекція 6. Методи оцінки вологості ізоляції. Зміст: Ємнісні методи контролю стану ізоляції. Вимірювання струму абсорбції для оцінки вологості ізоляції.
7	Тема 2.3. Контроль стану ізоляції по значенню кута діелектричних витрат Лекція 7. Кут діелектричних витрат як параметр для оцінки стану ізоляції. Зміст: Можливості та обмеження. Схеми заміщення ізоляції для визначення кута діелектричних витрат. Зв'язок між послідовною та паралельною схемами заміщення.
8	Лекція 8. Кут діелектричних витрат як параметр для оцінки стану ізоляції. Зміст: Засоби та методи вимірювання кута діелектричних витрат. Вимірювання кута діелектричних витрат та типове устаткування. Вимірювання при завадах
9	Тема 2.4. Вимір характеристик часткових розрядів для контролю ізоляції. Лекція 9. Часткові розряди – як характеристика ізоляції. Зміст: Основні характеристики часткових розрядів. Методи вимірів часткових розрядів
10	Лекція 10. Часткові розряди – як характеристика ізоляції. Зміст: Апаратура для вимірювання часткових розрядів, способи її використання та калібрування.
11	Тема 2.5. Ізоляційні масла та контроль їх характеристик. Лекція 11. Ізоляційні масла, які використовуються для високовольтної ізоляції. Зміст: Способи контролю характеристик ізоляційного масла. Методи його випробувань при визначенні електричної міцності. Способи відбору проб газів та масла для обладнання яке заповнене трансформаторним маслом. Методи екстракції газів з масла.
12	Лекція 12. Способи визначення характеристик ізоляційного масла по складу розчинених газів. Зміст: Газоаналіз трансформаторного масла для оцінки його стану. Хроматограф. Детектори по теплопровідності та по іонізації в полум'ї. Газоаналіз трансформаторного масла за допомогою оптичного обладнання з детектором на високочастотному газовому розряді.
13	Тема 2.6. Зволоження трансформаторного масла та способи його контролю. Лекція 13. Методи контролю зволоження трансформаторного масла Зміст: Гідрид-кальцієвий метод виявлення зволоження трансформаторного масла. Метод Карла-Фішера (кулонометричний) для виявлення зволоження трансформаторного масла.

14	Лекція 14. Методи контролю зволоження трансформаторного масла Зміст: Системи автоматизованого контролю зволоження трансформаторного масла без відключення обладнання. Датчики контролю та алгоритми визначення зволоження.
15	Тема 2.7. Контроль стану ізоляції електрообладнання за результатами вимірювань струмів небалансу. Лекція 15. Зміст:Методичні основи вимірювань струмів небалансу. Пристрої для вимірювання та датчики. Критерії оцінки стану ізоляції.
16	Лекція 16. Зміст:Практичне використання результатів вимірювань струмів небалансу для контролю стану ізоляції вводів та трансформаторів струму.
17	Тема 2.8: Тепловізійний контроль технічного стану електрообладнання. Лекція 17. Зміст:Методичні основи застосування тепловізійного контролю на об'єктах електроенергетики. Технічні засоби проведення тепловізійного контролю обладнання. Використання тепловізійного контролю для визначення технічного стану електрообладнання.
18	Тема 2.9. Автоматизовані системи контролю за станом ізоляції Лекція 18. Автоматизовані системи контролю за станом ізоляції Зміст: Використання автоматизованих інформаційних систем для моніторингу за станом ізоляції енергообладнання без його відключення від електромережі.

Лабораторні заняття

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість аудиторних годин
1	Вступне заняття	2
2	Визначення пробивної напруги трансформаторного масла [6].	4
3	Вимірювання опору ізоляції й коефіцієнта абсорбції [6].	4
4	Ємнісні методи контролю стану ізоляції [6].	4
5	Абсорбційний метод контролю стану ізоляції [6].	4
	ВСЬОГО:	18

6. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи
1	Підготовка до лабораторних занять та проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях
2	Підготовка до МКР
3	Підготовка до заліку

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- правила відвідування занять: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях.
- обов'язковою умовою допуску до заліку є
 - відпрацювання, оформлення протоколу та захист лабораторних робіт з дисципліни;
- правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та лабораторних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;
- правила захисту лабораторних робіт: допускається як індивідуальний захист лабораторних робіт, так і колективний (у складі бригади, склад якої визначають на першому лабораторному занятті). В обох випадках оцінюють індивідуальні відповіді кожного студента.
- політика дедлайнів та перескладань:

- несвоєчасний захист лабораторних робіт передбачають зменшення максимального балу зазначеного у РСО за відповідний контрольний захід до 75 %. Мінімальний бал не змінюється.
- перескладання захисту лабораторних робіт не передбачено;
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів:
 - заохочувальні бали не входять до основної шкали РСО, а їх сума не перевищує 10% стартової шкали. Заохочувальні бали нараховують за участь у факультетських та університетських олімпіадах, участь у наукових конференціях;
- політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни; при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соц.мережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Поточний контроль: МКР, лабораторні роботи.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за виконання усіх лабораторних робіт.

Загальна рейтингова оцінка студента після завершення семестру складається з балів, отриманих за:

- виконання та захист чотирьох лабораторних робіт;
- виконання двох контрольних робіт у рамках модульної контрольної роботи (МКР).

Виконання та захист лабораторних робіт

Ваговий бал – 15.

Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи – 15 балів * 4 = 60 балів.

Критерії оцінювання

- якісна підготовка до лабораторної роботи (наявність протоколу, знання мети роботи, знання основних теоретичних положень, які перевіряються), активна участь у виконанні досліджень, правильна та охайна обробка результатів дослідів, чіткі відповіді на контрольні питання за темою роботи

$$-(0,9..1) * 15 = 14,0...15,0 \text{ балів};$$
- добра підготовка до лабораторної роботи, активна участь у виконанні досліджень, несуттєві помилки при обробці результатів дослідів, неповні відповіді на контрольні питання –

$$(0,89..0,75) * 15 = 11,0...13,0 \text{ балів};$$
- недостатня підготовка до лабораторної роботи, пасивна участь у виконанні досліджень, значні помилки при обробці результатів дослідів, часткові відповіді на контрольні питання –

$$(0,74..0,6) * 15 = 9,0...10,0 \text{ балів};$$
- неготовність до лабораторної роботи, пасивна участь у виконання досліджень, неякісна обробка результатів, невірні відповіді на контрольні питання за темою роботи – 0 балів.

– Модульна контрольна робота

Модульна контрольна робота складається з двох частин. Завдання кожної контрольної роботи складається з одного теоретичного питання та однієї задачі.

Ваговий бал кожної частини МКР – 20 балів.

Максимальний бал за МКР – 2 * 20 = 40 балів.

- Критерії оцінювання

- правильна та повна відповідь на теоретичне питання, правильне вирішення задачі – $(0,9..1) \cdot 20$ балів;
- правильна але не повна відповідь на теоретичне питання, правильне вирішення задачі – $(0,89..0,75) \cdot 20$ балів;
- неправильна відповідь на теоретичне питання, правильне вирішення задачі – $(0,74..0,6) \cdot 20$ балів;
- неправильна відповідь на теоретичне питання, розв'язання задачі з принциповими помилками – 0 балів.

Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці. Умовою позитивної атестації є значення поточного рейтингу студента не менше 50% від максимально можливого на час атестації.

Форма семестрового контролю – залік

Із загального розрахунку максимальна сума балів, що може бути отримана студентом протягом семестру складає:

$$R_D = 60 + 40 = 100 \text{ балів}$$

За результати навчальної роботи за перші 7 тижнів студент може набрати 50 балів. На першому календарному контролі (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 25 балів.

За результати 13 тижнів навчальної роботи студент може набрати 100 балів. На другому календарному контролі (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 50 балів.

Необхідною **умовою отримання заліку** є зарахування всіх лабораторних робіт та стартовий рейтинг **не менше 60%** від R_D , тобто 60 балів.

Для отримання студентом відповідних оцінок його рейтингова оцінка R_D переводиться у залікову оцінку за університетською шкалою згідно з таблицею

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Студенти, які наприкінці семестру бажають підвищити оцінку, виконують залікову контрольну роботу. Ця оцінка є **остаточною**. Основною умовою допуску до заліку є відпрацювання та захист усіх лабораторних робіт.

Завдання залікової контрольної роботи складається з двох теоретичних питань та однієї задачі.

Кожне питання контрольної роботи оцінюється у 33 балів.

Сума балів, отриманих за виконання залікової контрольної роботи, переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею:

Кількість балів	Оцінка
95...100	Відмінно
85...94	Дуже добре
75...84	Добре
65...74	Задовільно
60...64	Достатньо
Менше 60	Не задовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

У разі дистанційного навчання студент несе повну відповідальність за наявність у нього технічних засобів комунікації (інтернет, е-пошта, комп'ютер, веб-камера, відповідне програмне забезпечення тощо), необхідних для вивчення дисципліни.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри теоретичної електротехніки, к.т.н, доцент, Проценко О.Р.

Ухвалено кафедрою теоретичної електротехніки (протокол № 18 від 25.06.2025)

Погоджено Методичною комісією факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 6 від 27.06.2025)