

## **Ізоляція електротехнічного обладнання**

Значний ступінь зношення основного електротехнічного обладнання схеми видачі потужності (синхронні генератори, комплектні екрановані струмопроводи, трансформатори) теплових та атомних електричних станцій, впровадження політики продовження строків експлуатації існуючих енергоблоків електростанцій, а також поступове впровадження стратегії ремонту обладнання за технічним станом, обумовлює актуальність питання розробки нових та вдосконалення існуючих систем контролю технічного стану електрообладнання загалом та його ізоляційних характеристик зокрема. Засоби діагностування ізоляції, засоби релейного захисту та інформаційно-вимірювальні системи, що експлуатуються в даний час на енергоблоках електричних станцій, не дають можливості відстежувати зміну таких електричних параметрів ізоляції електрообладнання як опір та ємність ізоляції відносно землі та тангенс кута діелектричних втрат, що унеможливорює виявлення дефектів в ізоляції на ранній стадії їх розвитку. Засоби релейного захисту можуть бути нечутливими до виникнення однофазних замикань на землю обмотки статора поблизу нейтралі та при симетричному зниженні параметрів ізоляції обмотки статора, а також хибно спрацьовувати при пусках блоків через несиметрію напруг у фазах генераторів. В роботі запропоновано метод контролю технічного стану ізоляції електрообладнання в колі блоку «генератор-трансформатор», що ґрунтується на комбінованому накладанні постійного струму та змінного струму з частотою меншою за промислову, контролі струму розряду попередньо зарядженого конденсатора та контролі розтікання змінного струму за допомогою котушок Роговського. Запропонований метод дозволить виявляти як стрибкоподібну, так і поступову зміну технічного стану ізоляції електрообладнання блоку «генератор-трансформатор», покращити якість планування ремонтних робіт та пришвидшить пошук несправних елементів у випадку виникнення пошкодження.

**Ключові слова:** синхронний генератор, трансформатор напруги, струмопровід, пошкодження ізоляції, інформаційно-вимірювальна система.

### **1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчання та результати навчання**

2. Анотація освітнього компонента «Ізоляція електротехнічного обладнання» складено відповідно до освітньої програми підготовки бакалаврів «Електротехнічні пристрої та електро технологічні комплекси» спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

**Метою** навчальної дисципліни є формування та закріплення у студентів наступних компетентностей: ФК2- Здатність вирішувати практичні задачі із залученням апарату вищої математики, загальної фізики та теоретичної

електротехніки; ФК6-Здатність вирішувати практичні задачі, пов'язані з проблемами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії.

**Предметом** вивчення дисципліни: - ізоляція та ізоляційні системи високовольтного обладнання, зокрема, лінійні ізоляційні конструкції, силові та вимірювальні трансформатори, прохідні ізолятори та високовольтні вводи, високовольтні кабелі та електричні машини.

**Програмні результати навчання**, на формування та покращення яких спрямована дисципліна: ЗН15- Електрофізичних процесів і явищ, що відбуваються в електричних апаратах; ЗН18-Заходів підтримки та зміни режимів роботи електричних мереж та систем, високовольтного обладнання електричних станцій та підстанцій, об'єктів альтернативної енергетики, систем блискавкозахисту та захисту від перенапруг; ЗН19- Факторів, що призводять до виникнення незворотних процесів у високовольтній ізоляції електричних мереж та систем, обладнання електричних станцій та підстанцій, об'єктів альтернативної енергетики; УМ7- Комбінувати методи емпіричного і теоретичного дослідження для пошуку шляхів зменшення втрат електричної енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та використанні; УМ8-Винаходити нові шляхи вирішення проблеми економічного перетворення, розподілення, передачі та використання електричної енергії.

## **Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1. Проектування ізоляції ЛЕП**

**Тема 1.1.** Основні експлуатаційні впливи на ізоляцію високовольтного електрообладнання та методи проектування ізоляції ЛЕП. Зміст: Робоча напруга. Внутрішні перенапруження. Грозові перенапруження. Механічні, теплові, атмосферні впливи.

**Тема 1.2.** Ізоляція повітряних ЛЕП. . Коротка характеристика ЛЕП. Провід, опори, основні ізоляційні проміжки. Вибір ізоляційних проміжків на опорах. Вибір ізоляційних проміжків між опорами. Зміст: Лінійні ізолятори. Основні електричні характеристики. Умови випробувань. Типи лінійних ізоляторів. Умови проектування. Маркування ізоляторів. Лінійні штирьові ізолятори. Основи розрахунку. Гірлянди підвісних ізоляторів. Вибір кількості ізоляторів за умовою електричних впливів. Вибір кількості ізоляторів за нормативно-технічною документацією. Розподіл напруги по гірлянді ізоляторів. Лабораторні дослідження розподілу напруги по гірлянді ізоляторів. Засоби покращання розподілу напруги.

### **Розділ 2. Проектування зовнішньої ізоляції підстанцій високої напруги.**

**Тема 2.1.** Типи ізоляторів та характерні ізоляційні проміжки. Зміст: Типи опорних ізоляторів і їх позначення. Опорно-стерженьовий і опорно-штирьовий

ізолятори. Опорні ізолятори типу "пустотілий" і "Мультикон". Методика вибору опорних ізоляторів. Повітряні проміжки, характерні для підстанції з відкритим розподільчим пристроєм. Вибір ізоляції розподільчого пристрою підстанції. Тема

**Тема 2.2.** Обладнання з газовою ізоляцією. Зміст: Ізоляційні конструкції з газовою ізоляцією. Переваги і недоліки. Конструкція основних елементів. Конструкції шино проводів і ізоляційних розпірок. Методика вибору ізоляційних розпірок.

### **Розділ 3. Проектування ізоляції прохідних ізоляторів та вводів високої напруги**

**Тема 3.1.** Прохідні ізолятори. . Зміст: Класифікація прохідних ізоляторів. Розрахунок діаметра стержня і довжин масляних і повітряних кінців фарфорових покришок. Проектування та розрахунок внутрішньої ізоляції для випадку фарфорового ізолятора з повітряною порожниною. Перевірка розрахунків. Розрахунок внутрішньої ізоляції для випадку суцільного діелектрика. Перевірка розрахунків.

**Тема 3.2.** Високовольтні вводи. Зміст: Класифікація високовольтних вводів. Регулювання поля конденсаторними обкладками. Умови розрахунку конденсаторного вводу. Типи вводів конденсаторного типу- маслбар'єрні, паперово-бакелітові, паперово -масляні. Конструкції і основні характеристики та вимоги до вибору напруженостей. Вимоги до електричної міцності ізоляції різних типів вводів. Теплові розрахунки ізоляції вводів. Розрахунки фарфорової покришки вводу. Методи проектування високовольтних вводів.

### **Розділ 4. Проектування ізоляції електричних кабелів**

**Тема 4.1.** Типи та конструкції кабелів Зміст: Силові кабелі високої напруги - історія розвитку ізоляції. Кабелі з паперовою ізоляцією і в'язким просоченням до 35 кВ. Герметичні оболонки і ізоляційні матеріали. Розподіл полів в кабелях типу СБ. Кабелі типів ОСБ. Конструкція. Переваги і недоліки. Утворення порожнин і газових включень в ізоляції з в'язким просоченням. Виникнення ЧР. Маслонаповнені кабелі. Газонаповнені кабелі.

**Тема 4.2.** Розрахунки ізоляції кабелів та проектування їх конструкції. Зміст: Електричний розрахунок кабелю. Приклад розрахунку. Градування ізоляції кабелю. Приклад розрахунку. Тепловий розрахунок кабелю до 35кВ. Особливості теплового розрахунку кабелів вище 110кВ і розрахунок витрат в оболонках. Кабельні муфти. Типи і призначення. Розрахунок конусного екрана кабельної муфти. Розрахунок ізоляції кінцевої кабельної муфти конденсаторного типу. Кабелі постійного струму. Імпульсні кабелі.

## **Розділ 5. Проектування ізоляції трансформаторів**

**Тема 5.1.** Конструкція ізоляції силових трансформаторів. Зміст: Класифікація ізоляції силових трансформаторів. Внутрішня і зовнішня ізоляція. Головна і поздовжня ізоляція. Ізоляція трансформаторів 6-35 кВ. Конструкція обмоток. Ізоляція трансформаторів 110 кВ і вище. Технологія виготовлення ізоляції.

**Тема 5.2.** Електрична міцність ізоляції трансформаторів та фактори її визначаючі. Зміст: Короткочасна електрична міцність ізоляції трансформаторів - електрична міцність поздовжньої та головної ізоляції. Тривала електрична міцність маслобар'єрної ізоляції. Градієнти в поздовжній ізоляції трансформаторів. Перехідні процеси в обмотках. Початкове розподілення напруги уздовж обмотки трансформатору при імпульсному впливі напруги. Максимальні напруги уздовж обмотки трансформатора при імпульсному впливі. Імпульсний обмір трансформаторів. Поздовжня ізоляція обмоток її розрахунок та способи захисту. Методи проектування поздовжньої ізоляції.

**Тема 5.3.** Ізоляція трансформаторів струму високої напруги. Зміст: Класифікація ізоляції трансформаторів струму високої напруги та її конструктивні виконання. Трансформатори ланкового типу (ТФН). Розрахунок ізоляції трансформатору струму. Розрахунок паперово-масляної ізоляції. Розрахунок напруги масляного клина та проектування ізоляції. Трансформатори струму з ізоляцією конденсаторного типу. Види ізоляції: на первинній обмотці (U-образна ) або на повторній (римовидна). Розрахунок ізоляції трансформаторів струму U-образної форми. Розрахунок та проектування геометрії конусної обкладинки в трансформаторах струму.

**Тема 5.4.** Ізоляція трансформаторів напруги. Зміст: Класифікація ізоляції трансформаторів напруги в залежності від класів напруги. Конструкція та проектування ізоляції трансформаторів 110 кВ.

## **Розділ 6. Проектування ізоляції електричних машин**

**Тема 6.1.** Ізоляція електричних машин. Зміст: Класифікація впливів на ізоляцію електричних машин. Класифікація ізоляції електричних машин по нагрівостійкості. Класифікація ізоляції. Конструкція ізоляції ЕМ. Тривала електрична міцність ізоляції ЕМ. Старіння ізоляції ЕМ і фактори впливу на старіння.

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

### **Основні інформаційні ресурси:**

1. Техніка і електрофізика високих напруг: Навч. посібник / За ред. В.О.Бржезицького та В.М.Михайлова. – Харків: НТУ „ХПІ” – Торнадо, 2005. – 930 с.

2. 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.

3. Ізоляція 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: 3,96 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 133 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47801>

4. Ізоляція 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. М. Козюра, О. Р. Проценко, Соколовський С.А. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,4 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 97 с. - <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47803>

#### **Додаткові інформаційні ресурси:**

1. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 Норми випробування електрообладнання.

2. ГКД 34.43.101-97 Приймання, застосування та експлуатація трансформаторних масел. Методичні вказівки., НДІ Енергетики, Київ, 1998. (Нормативний документ Міністерства палива та енергетики України).

3. Норми випробування електрообладнання. ВАТ «Київобленерго». Київ 2002.

4. Техніка високих напруг. Розрахунок і конструювання електричної ізоляції: Навч.посібник / А.Г.Гурін , В.В.Рудаков. – Х.:Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ», 2014. – 192 с.