

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА
ПОЛІТЕХНІКА»**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи з вивчення дисципліни
«Електричні апарати високої напруги»
для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка усіх форм навчання
Частина 1

Методичні вказівки до самостійної роботи з вивчення дисципліни “Електричні апарати високої напруги” для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка усіх форм навчання Частина 1 / Укл.: О.І. Афанасьєв, В. В. Василевський, – м. Запоріжжя, НУ «Запорізька політехніка», 2020 р. – 27с.

Укладачі: О.І. Афанасьєв, доцент, к.т.н.
В. В. Василевський, ст. викладач, к.т.н.

Рецензент: М.О. Поляков, професор, к.т.н.

Відповідальний
за випуск: В. В. Василевський, ст. викладач, к.т.н.

Затверджено
на засіданні кафедри
“Електричні і електронні апарати”.
Протокол № 5
від 27 січня 2020 р.

Рекомендовано до видання
НМК ЕТФ.
Протокол №7
від 20 лютого 2020 р.

ЗМІСТ

1. Програма курсу «Електричні апарати високої напруги».....	4
1.1 Мета та задачі курсу. Основні знання та вміння, яких набувають студенти при його вивченні.....	4
1.2 Вступ.....	5
1.3 Електрична ізоляція.....	5
1.4 Повітряні вимикачі.....	6
1.5 Елегазові вимикачі.....	7
1.6 Масляні вимикачі.....	8
1.7 Електромагнітні вимикачі.....	8
1.8 Вакуумні вимикачі.....	9
1.9 Роз'єднувачі та короткозамикачі.....	10
1.10 Трансформатори струму.....	11
1.11 Трансформатори напруги.....	11
1.12 Струмообмежуючі реактори.....	12
1.13 Розрядники, обмежувачі перенапруги та запобіжники	13
2. Контрольні питання.....	14
2.1 Вступ.....	14
2.2 Електрична ізоляція.....	14
2.3 Повітряні вимикачі.....	15
2.4 Елегазові вимикачі.....	15
2.5 Масляні вимикачі.....	16
2.6 Електромагнітні вимикачі.....	16
2.7 Вакуумні вимикачі.....	16
2.8 Роз'єднувачі та короткозамикачі.....	17
2.9 Трансформатори струму.....	17
2.10 Трансформатори напруги.....	17
2.11 Струмообмежуючі реактори.....	18
2.12 Розрядники, обмежувачі перенапруги та запобіжники	18
3. Контрольна робота.....	19
4. Методичні вказівки до вивчення курсу та виконання контрольних робіт.....	21
4.1 Контрольна задача №1.....	21
4.2 Контрольна задача №2.....	26
Перелік посилань.....	29

1 ПРОГРАМА КУРСУ „ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ ВИСОКОЇ НАПРУГИ”

1.1 Мета та задачі курсу. Основні знання та вміння, яких набувають студенти при його вивченні

У курсі вивчається велика група електричних апаратів, які застосовуються в загальнопромислових установках для розподілення потужних потоків електричної енергії і керування ними у мережах високої напруги, об'єднаних під загальною назвою “Апарати високої напруги” (АВН).

Основна мета – засвоєння принципів роботи апаратів високої напруги, а також фізичних процесів та закономірностей, які відбуваються при їх роботі.

Задача вивчення курсу – навчити студентів розрахунковому і експериментальному дослідженню, проектуванню, конструюванню та забезпеченню технологічності конструкцій АВН, а також застосуванню ПЕОМ для дослідження і розрахунку АВН, розвинути творчу основу і підхід до інженерної діяльності майбутнього спеціаліста.

Після закінчення вивчення курсу студент повинен :

- знати принципи дії, основні вузли, параметри та характеристики апаратів, що вивчаються;
- фізичні принципи та основні закономірності, які мають місце у тому чи іншому апараті або його вузлі;
- математичні співвідношення для розрахунку параметрів окремих елементів та вузлів апаратів;
- порівняльну характеристику контактних, безконтактних та гібридних апаратів;
- режими роботи та категорії застосування АВН;
- основні вимоги, які пред'являються до АВН існуючими ДСТУ;
- особливості роботи та проблеми створення вимірювальних АВН;
- фактори, які впливають на ерозію та знос контактів і методи підвищення їх комутаційної зносостійкості;

- шляхи удосконалення конструкцій АВН;
- вміти спроектувати струмоведучий контур АВН та розрахувати його елементи;
- спроектувати електричну ізоляцію АВН та розрахувати її елементи;
- розробити пристрій дугогасіння комутаційного АВН;
- увімкнути АВН в електричну мережу згідно з його призначенням;
- оцінити технічний рівень та надійність АВН;

1.2 Вступ

Мета та задачі курсу. Призначення та класифікація АВН. Роль АВН у підвищенні надійності роботи енергосистем. Вимоги, які ставляться до АВН. Питання охорони праці у роботі з АВН.

Необхідно розглянути питання застосування електричних апаратів у мережах високої напруги, перспективні напрямки їх розробки, конструювання, виробництва та експлуатації.

Лекції – 0,25годин

Самостійна робота – 1година

Література:[1] вступ, [8] гл.1,[11] гл.1,[13],[14] гл.1.

Запитання для самоперевірки:

- призначення апаратів високої напруги;
- основні напрямки розвитку вимірювальних систем;
- техніка безпеки при експлуатації АВН.

1.3 Електрична ізоляція

Види та класифікація електричної ізоляції високої напруги. Основні параметри та визначення. Газова ізоляція та її розрахунок та різновиди. Процес пробою по поверхні газової ізоляції та особливості розрахунку.

Рідинна ізоляція, різновиди , властивості, особливості розрахунку. Тверда ізоляція, різновиди, властивості, розрахунок. Комбінована ізоляція та її різновиди: чисто паперово–масляна, паперово–масляна конденсаторна, маслобар'єрна та ін. Властивості,

особливості конструкцій. Режими роботи ізоляції під впливом зовнішніх та внутрішніх чинників (довкілля, навантаження електричні та механічні, режим роботи нейтралі та ін.).

Необхідно уявляти собі фізику пробою різних видів ізоляційних матеріалів, їх характерні риси та властивості, а також вплив різних чинників на електричну міцність. Найбільшу увагу треба приділити алгоритмам розрахунку того чи іншого типу ізоляції з урахуванням конкретних умов експлуатації та особливостей конструктивних рішень.

Лабораторна робота №1. Дослідження характеристик індукційно-динамічного рушія вимикача.

Лекції –0,75 годин

Лабораторна робота – 6 години

Самостійна робота – 7 годин

Література:[9] гл.3,4,6, [10] ,[11] гл.3,[8]гл.5.

Запитання для самоперевірки:

- поясніть фізику пробою газової ізоляції;
- які чинники найбільш суттєво впливають на газову ізоляцію;
- поясніть фізику пробою рідинної ізоляції;
- алгоритм розрахунку рідинної ізоляції;
- назвіть та дайте стислу характеристику різновидам твердої ізоляції;
- види комбінованої ізоляції та їх конструктивні особливості.

1.4 Повітряні вимикачі

Основні параметри вимикачів. Принцип дії пристрою дугогасіння (ПД) повітряного вимикача. Електрична дуга у продольному потоці стисненого повітря. Термодинамічна закупорка сопла. Відновлюєма електрична міцність міжконтактного проміжку. Полегшення роботи ПД за допомогою шунтуючих конденсаторів та резисторів. Загальна компоновка вимикачів. Принцип дії та розрахунок клапанів керування. Перспективи розвитку повітряних вимикачів.

У цій темі належить розглянути умови роботи та функціонування окремих елементів апаратів (ізоляційної конструкції,

кінематичної схеми ПД та ін.). Студент повинен уявити фізику процесів, які відбуваються при гасінні дуги; знати, як впливають на ці процеси такі елементи конструкції, як вид ПД, шунтуючі резистори та конденсатори та ін.; вивчити питання можливих режимів роботи повітряних вимикачів та їх особливості.

Лекції – 0,5 годин

Самостійна робота – 0,5 годин

Література:[1] гл.2, [11] гл.2,5,[14] гл.2.

Запитання до самоперевірки:

- перелічить основні параметри повітряних вимикачів та дайте їм стислу характеристику;
- назвіть види та основні елементи ПД;
- яке призначення має відокремлювач у конструкції повітряного вимикача?
- що таке термодинамічна закупорка сопла?
- назвіть призначення та принцип дії шунтуючих резисторів та конденсаторів;
- перелічить різновиди клапанів керування повітряним вимикачем та їх призначення.

1.5 Елегазові вимикачі

Властивості елегазу. Особливості процесу гасіння дуги в елегазі. Елементи розрахунку ПД елегазового вимикача. Конструкції елегазових вимикачів. Перспективи розвитку елегазових вимикачів.

При визначенні теми треба звернути увагу на принцип роботи ПД, фізику процесів, що відбуваються при його роботі, а також на види систем дугогасіння та особливості їх використання, як в автономних апаратах, так і в умовах елегазових розподільчих пристроїв.

Лекції – 0,5 годин.

Самостійна робота – 5 годин.

Література:[1] гл.3, [14] гл.3.

Запитання до самоперевірки:

- назвіть основні властивості елегазу;
- охарактеризуйте фізику дугогасіння в елегазі;
- перелічить види ПД елегазових вимикачів;
- порівняйте повітряний та елегазовий вимикачі по основним параметрам.

1.6 Масляні вимикачі

Загальна компоновка бакового та маломасляного вимикача. Конструкція та принцип дії ПД, особливості роботи у режимі АПВ. Механізми вимикачів, їх складові, види та особливості конструкцій.

Важливо розглянути особливості функціонування ізоляційної конструкції, ПД, елементів струмоведучого контура та кінематики апаратів даного типу; звернути увагу на фізику процесів, які відбуваються у різних режимах роботи ПД; знати класифікацію і особливості конструктивних рішень окремих типів вимикачів та ПД.

Лабораторна робота №2. Випробування та дослідження параметрів маломасляного та електромагнітного вимикачів.

Лекції – 0,5 годин.

Лабораторна робота – 6 години.

Самостійна робота – 6 годин.

Література:[1] гл.4, [8] гл.4 ,[11] гл.5,[14]гл.4.

Запитання до самоперевірки:

- загальна компоновка бакового вимикача;
- загальна компоновка маломасляного вимикача;
- перелічить види маломасляних вимикачів;
- що таке роликотий струмозйом? Його призначення та конструкція;
- призначення повітряного буфера у маломасляному вимикачі типу ВМП;
- призначення масляних кишень у ПД;
- перелічить основні параметри маломасляного вимикача.

1.7 Електромагнітні вимикачі

Вольт–амперна характеристика дуги у вузькій щілині ПД при вимиканні струму сильно індуктивного кола. Нагрівання стінок щілини ПД. Швидкість руху дуги у ПД електромагнітного вимикача. Конструкції електромагнітних вимикачів та галузі їх застосування.

Особливу увагу треба звернути на фізику процесів, які відбуваються при гасінні дуги у вузькій щілині та їх вплив на конструктивні особливості окремих вузлів апарата.

Лекції – 0,5 годин.

Самостійна робота – 5 годин.

Література:[1] гл.5, [11] гл.5, [14] гл.5.

Запитання до самоперевірки:

- перелічить основні параметри електромагнітного вимикача;
- основні переваги та недоліки вимикачів;
- які чинники визначають швидкість руху дуги у ПД?
- охарактеризуйте конструкцію вимикача для вимикання великих струмів.

1.8 Вакуумні вимикачі

Основні фізичні процеси, що відбуваються при вимиканні електричного струму у вакуумі. Ерозія контактів. Конструкція вакуумних ПД. Електрична міцність вакуумних ПД.

Вплив основних параметрів (струм, напруга, зносостійкість та ін.) на елементи конструкції вакуумних вимикачів. Порівняння вакуумних вимикачів з іншими по основним параметрам, їх перспективи.

Необхідно уявити фізику процесів, що відбуваються при гасінні вакуумної дуги, її особливості, зв'язані з конструктивними виконаннями контактної системи; знати вплив форми та матеріалу контактів на основні параметри вакуумного вимикача (електричну міцність, зносостійкість, габаритні розміри та конструкцію). Вміти дати рекомендації по застосуванню вакуумних вимикачів у різних умовах експлуатації.

Лабораторна робота №3. Випробування та дослідження параметрів вакуумного вимикача.

Лекції – 0,5 годин.

Лабораторна робота – 6 години.

Самостійна робота – 7 годин

Література:[1] гл.6, [11] гл.5 ,[14] гл.6.

Запитання до самоперевірки:

- перелічить основні параметри вакуумного вимикача;
- назвіть основні елементи конструкції вакуумного вимикача;
- привести осцилограму процесу відключення струму вакуумним вимикачем;
- назвіть види контактних систем вакуумного ПД і дайте їх стислу характеристику;
- основні переваги та недоліки вакуумного вимикача.

1.9 Роз'єднувачі та короткозамикачі

Призначення та структура роз'єднувачів та короткозамикачів. Класифікація та особливості експлуатації. Питання безпеки при експлуатації.

Слід вивчити класифікацію роз'єднувачів, їх конструктивні рішення з врахуванням особливостей експлуатації та призначення. Особливу увагу треба приділити питанням вивчення ізоляційної конструкції, струмоведучого контуру в умовах спільної роботи з іншим електротехнічним обладнанням (вимикачі, короткозамикачі та ін.).

Лекції – 0,5 годин.

Самостійна робота – 5 годин

Література:[1] гл.7, [11] гл.4 ,[14] гл.8.

Запитання до самоперевірки:

- призначення та особливості конструкції роз'єднувача;
- вимоги, що пред'являються до роз'єднувачів;
- призначення відокремлювача та короткозамикача у колах високої напруги;
- назвіть основні параметри роз'єднувача.

1.10 Трансформатори струму

Векторна діаграма. Похибки та класи точності трансформаторів струму (ТС), вплив різних чинників на похибки. Режим роботи ТС. ТС з немагнітним проміжком. Роботи МЕІ та інституту електродинаміки АН України по ТС на різні класи напруги. Послідовність розрахунку електромагнітного ТС.

Необхідно знати принципи дії вимірювальних ТС та уявляти собі фізику процесів, які відбуваються в електричних, так і магнітних колах; мати уявлення про схему заміщення та векторну діаграму, які характеризують процеси, що відбуваються при роботі ТС (наприклад, вплив площі перерізу магнітопроводу на похибку та ін.), напрямки поліпшування технічних та економічних показників, вивчити конструктивні особливості ТС та їх основних вузлів.

Лабораторна робота №4. Дослідження характеристик холостого ходу трансформатора струму.

Лекції – 0,5 годин.

Лабораторна робота – 6 годин.

Самостійна робота – 7 годин.

Література:[1] гл.9, [3–5], [11] гл.6,[14]гл.9.

Запитання до самоперевірки:

- приведіть електричну схему вмикання ТС;
- які види похибок має ТС?
- які способи компенсації похибки ви знаєте?
- перелічить можливі режими роботи ТС та їх особливості;
- назвіть галузі використання ТС;
- які різновиди ТС ви знаєте?

1.11 Трансформатори напруги

Векторна діаграма. Похибка та класи точності трансформаторів напруги (ТН). Вплив різних чинників на роботу ТН. Компенсація похибки. Конструкції ТН. Послідовність розрахунку електромагнітного ТН. Способи вимірювання напруги за допомогою

однофазних ТН. Перспективи розвитку ТН на різні класи напруги.

Методичні вказівки по вивченню апаратів даного типу аналогічні приведеним вище для ТС.

Лекції – 0,5 годин.

Самостійна робота – 5 годин.

Література:[1] гл.10, [6] ,[11] гл.7,[14]гл.9.

Запитання до самоперевірки:

– приведіть електричну схему вмикання ТН в електричну мережу;

– які види похибок має ТН?

– які способи компенсації похибки ви знаєте ?

– які види ізоляційних матеріалів використовуються у конструкції ТН ?

– на які складові схеми заміщення впливає магнітопровід у ТН ?

1.12 Струмообмежуючі реактори

Структура та принцип дії реактора. Розрахунок основних параметрів реактора. Тепловий розрахунок реактора. Електродинамічна стійкість. Подвійні реактори, їх принцип дії. Масляні реактори, тороїдальні реактори, їх принцип дії, особливості конструкції.

Необхідно приділити увагу особливостям конструкції, їх принципу дії, а також знати фізику процесів, які характеризують роботу реактора у різних режимах експлуатації.

Лекції – 0,5 годин

Самостійна робота – 4 годин

Література:[1] гл.11, [14] гл.10.

Запитання до самоперевірки:

– призначення реактора в схемах розподільчих пристроїв;

– пояснить векторну діаграму роботи реактора;

– перелічить та пояснить основні параметри реактора.;

– принцип дії та позначення подвоєного реактора.

1.13 Розрядники, обмежувачі перенапруги та запобіжники

Принцип дії розрядника, характеристики, конструкції на різні класи напруги. Принцип дії та характеристики обмежувача перенапруги. Запобіжники. Конструкції та принцип дії на різні струми та напруги, характеристика. Техніка безпеки при роботі з запобіжниками.

При вивченні цієї теми розглядаються питання, пов'язані з конструкцією та принципом дії різних виконань захисних апаратів. Важливе знання фізичних законів, що описують протікання процесів роботи апаратів у різних режимах експлуатації.

Лекції – 0,5 годин.

Самостійна робота – 4 години.

Література: [1] гл.8,12, [11] гл.10, [14] гл.10,12.

Запитання до самоперевірки:

- призначення та види розрядників;
- елементи конструкції високовольного запобіжника;
- чим відрізняється розрядник від обмежувача перенапруги ?
- поясніть призначення зовнішнього іскрового проміжку трубчатого розрядника;
- привести осцилограму спрацювання та основні параметри розрядника.

2 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

2.1 Вступ

2.1.1 Призначення та роль апаратів високої напруги в електричних мережах.

2.1.2 Основні напрямки розвитку комутаційних апаратів високої напруги (АВН).

2.1.3 Основні напрямки розвитку вимірювальних АВН.

2.1.4 Класифікація АВН.

2.2 Електрична ізоляція

2.2.1 Основні ізоляційні матеріали та їх стисла характеристика. Галузі використання.

2.2.2 Класифікація електричної ізоляції та основні параметри та визначення.

2.2.3 Газова ізоляція. Чинники, які впливають на її електричну міцність.

2.2.4 Алгоритм та особливості розрахунку існуючих видів ізоляції.

2.2.5 Розряд у повітрі по поверхні твердого діелектрика (ТД) та чинники його визначають.

2.2.6 Електрична міцність масляної ізоляції та фактори що її визначають. Засоби підвищення міцності.

2.2.7 Електричні проміжки в маслі по поверхні ТД та методика їх розрахунку. Засоби підвищення міцності.

2.2.8 Тверда ізоляція та чинники, що визначають її електричну міцність.

2.2.9 Чисто паперово–масляна ізоляція та чинники, що визначають її електричну міцність.

2.2.10 Паперово–масляна конденсаторна ізоляція. Чинники, що впливають на електричну міцність, особливості конструкції.

2.2.11 Привести різновиди комбінованої ізоляції, в склад якої входять папір, трансформаторне масло, компаунди та ін. Привести стислу характеристику та особливості конструкцій.

2.2.12 Режим роботи нейтралі енергосистем і їх вплив на електричну ізоляцію.

2.2.13 Внутрішні та зовнішні перенапруги. Фізика виникнення та основні параметри.

2.2.14 Вплив електричного та механічного навантаження на електричну ізоляцію. Способи його урахування.

2.2.15 Ви маєте можливість обрати будь-яке питання на свій вибір.

2.3 Повітряні вимикачі

2.3.1 Характеристика ПД повітряних вимикачів.

2.3.2 Основні функціональні частини повітряних вимикачів, принцип їх дії.

2.3.3 Основні вимоги, що пред'являються до повітряних вимикачів.

2.3.4 Що таке термодинамічна закупорка сопла? Охарактеризувати процеси, які відбуваються у ПД.

2.3.5 Параметри ПД. Послідовність та особливості їх розрахунку при номінальному струмі відключення.

2.3.6 Охарактеризувати процес відновлення електричної міцності міжконтактного проміжку у ПД повздожнього дуття.

2.3.7 Призначення, принцип дії і конструкції шунтуючих резисторів та конденсаторів у конструкціях повітряних вимикачів.

2.3.8 Призначення та види систем керування повітряними вимикачами.

2.3.9 Методи регулювання електричних полів та галузь їх застосування у конструкціях повітряних вимикачів.

2.3.10 Охарактеризувати методи підвищення вимикаючої здібності повітряних вимикачів.

2.4 Елегазові вимикачі

2.4.1 Властивості елегазу. Порівняння основних параметрів повітряного та елегазового вимикачів.

2.4.2 Види елегазових вимикачів, їх стисла характеристика та принцип дії.

2.4.3 Вибір та розрахунок основних параметрів елегазового ПД на прикладі конкретного типу вимикача.

2.4.4 Конструкція та перспективи розвитку елегазових

вимикачів у порівнянні з повітряними.

2.4.5 Способи вирівнювання напруги між контактними розривами вимикача.

2.5 Масляні вимикачі

2.5.1 Компонівка маломасляного та бакового вимикачів. Характерні відмінності.

2.5.2 Різновиди, конструкції та принцип дії маломасляних вимикачів.

2.5.3 Охарактеризувати особливості режимів роботи ПД маломасляних вимикачів.

2.5.4 Види, призначення і особливості роботи приводів вимикачів.

2.5.5 Охарактеризувати процеси, які відбуваються в міжконтактному проміжку при вимиканні струму короткого замикання масляним вимикачем.

2.6 Електромагнітні вимикачі

2.6.1 Особливості конструкції електромагнітного вимикача.

2.6.2 Пояснить процес гасіння дуги у щілинній камері електромагнітного вимикача.

2.6.3 Охарактеризуйте теплові процеси, що відбуваються у щілинній камері електромагнітного вимикача.

2.6.4 Швидкість руху дуги у ПД електромагнітного вимикача.

2.6.5 Види ПД, які застосовуються у електромагнітних вимикачах.

2.7 Вакуумні вимикачі

2.7.1 Принцип дії вакуумного вимикача. Порівняння вакуумного вимикача з вимикачами інших типів по їх характеристикам.

2.7.2 Охарактеризувати чинники, що впливають на ерозійну стійкість контактів вакуумних вимикачів.

2.7.3 Чинники, які впливають на динамічну та термічну стійкість контактів вакуумного вимикача. Способи підвищення

стійкості.

2.7.4 Основні фізичні процеси, що відбуваються при відключенні струму у вакуумі.

2.7.5 Чинники, які впливають на міцність міжконтактного проміжку у вакуумі. Способи підвищення електричної міцності у вакуумних ПД.

2.7.6 Особливості конструкції вакуумних вимикачів.

2.7.7 Чинники, що визначають розподіл напруги між окремими розривами вакуумного вимикача. Способи вирівнювання напруги.

2.8 Роз'єднувачі, відокремлювачі та короткозамикачі

2.8.1 Призначення та вимоги, які пред'являються до роз'єднувачів.

2.8.2 Класифікація та особливості конструкції роз'єднувача.

2.8.3 Призначення відокремлювача та короткозамикача у схемах розподільчих пристроїв. Конструкція короткозамикача.

2.8.4 Конструктивні особливості відокремлювача та короткозамикача. Перспективи розвитку.

2.9 Трансформатори струму

2.9.1 Призначення, принцип дії та особливості роботи ТС. Види та призначення.

2.9.2 Збудувати схему заміщення та описати послідовність побудови векторної діаграми електромагнітного ТС.

2.9.3 Класи точності ТС. Види похибки та чинники, що впливають на похибку.

2.9.4 Охарактеризувати особливості роботи ТС у різних режимах.

2.9.5 Види конструкцій ТС, перспективи їх розвитку.

2.9.6 Перелічити і охарактеризувати способи компенсації похибки ТС.

2.10 Трансформатори напруги

2.10.1 Призначення, принцип дії та особливості роботи ТН. Види та призначення ТН.

2.10.2 Схеми заміщення та послідовність побудови векторної діаграми електромагнітного ТН.

2.10.3 Класи точності ТН. Види похибок і чинники, що впливають на похибку.

2.10.4 Перелічити та охарактеризувати способи компенсації похибки ТН.

2.10.5 Схеми, конструкції та особливості ТН. Перспективи розвитку ТН.

2.10.6 Екрани, їх призначення, види та принцип дії в у конструкціях ТН.

2.10.7 Елементи конструкції ТН, їх види та особливості.

2.11 Струмообмежуючі реактори

2.11.1 Призначення, принцип дії та особливості роботи реактора, векторна діаграма.

2.11.2 Охарактеризувати основні етапи і послідовність розрахунку реактора.

2.11.2 Електродинамічна стійкість реактора. Послідовність та особливості розрахунку.

2.11.3 Види, особливості роботи та вимоги, які пред'являються до ізоляційної конструкції реактора.

2.11.4 Охарактеризувати принцип дії, конструкцію та особливості процесів, що відбуваються у подвоєних реакторах.

2.11.5 Конструкції реакторів, застосування, особливості та перспективи розвитку.

2.12 Розрядники, обмежувачі перенапруг та запобіжники

2.12.1 Трубочаті розрядники. Призначення, принцип дії та вимоги, що пред'являються до їх конструкцій.

2.12.2 Вентильні розрядники. Параметри, конструкція та характеристика процесів зміни струму та напруги.

2.12.3 Призначення, особливості та принцип дії обмежувачів перенапруг.

2.12.4 Призначення запобіжників, різновиди та їх особливості.

2.12.5 Послідовність обрання запобіжників та розрядників для захисту електричної мережі.

3 КОНТРОЛЬНА РОБОТА

При вивченні курсу “Апарати високої напруги” студенти виконують контрольну роботу. Якщо контрольна робота потребує доопрацювання, усі необхідні виправлення слід виконати у цьому ж зошиті після підпису рецензента. Не можна вносити які-небудь поправки у текст чи у графіки, вже переглянуті рецензентом.

Контрольна робота складаються з двох контрольних задач. Прийняті конструктивні рішення слід пояснити ескізами та схемами, підтвердити посиланнями на відповідну нормативно-технічну документацію (довідники, ДСТУ та ін.)

Задача 1. Обрати опорний фарфоровий стрижневий ізолятор для кріплення елементів конструкції електричного апарата згідно з вихідними даними, приведеними в таблиці 3.1 та в таблиці 3.2 з урахуванням електричного та механічного навантаження, що діють на ізолятор. Всі розрахункові та конструктивні рішення повинні мати графічне пояснення.

Таблиця 3.1 – Варіанти початкових даних до задачі 1

Остання цифра шивру	Номінальна напруга U_n , кВ	Категорії ізоляції		Тип установа-лення	Згинальна сила $F, Н$	Висота установка, м
		Розміщення	По 1			
1	6	5	А	Внутр	500	3500
2	10	4	Б	Зовн	1000	3300
3	15	3	В	Внутр	1500	2900
4	20	2	А	Зовн	2000	2500
5	35	1	Б	Внутр	2500	2200
6	110	4	В	Внутр	3000	1900
7	150	3	А	Зовн	3500	1700
8	220	2	Б	Зовн	4000	1500
9	330	1	В	Зовн	4500	1300
10	500	2	А	Зовн	5000	2000

Таблиця 3.2 – Варіанти початкових даних до задачі 1

Передостання цифра шифру	1.3.5.7.9	2.4.6.8.0
Вид Увипр.	Грозовий імпульс	Короткочасний промислової частоти

Задача 2. Розрахувати розрядну напругу та обрати елементи конструкції тороїдального екрана для підвищення вихідної напруги коронного розряду та вирівнювання напруги уздовж опорної ізоляційної конструкції для вихідних даних, приведених у таблиці 3.3. Оцінити аналітично та графічно розподіл напруги уздовж ізоляційної конструкції при наявності та відсутності екрана.

Таблиця 3.3– Варіанти вихідних даних до задачі 2

Передостання цифра шифру	Тип ізолятора	Остання цифра шифру	Напруга, кВ	
			номінальна	випробувальна
1	НОС–110–400	1	220	Грозовий імпульс
2	КО–110–1250	2	330	Грозовий імпульс
3	ОНС–110–1600	3	220	Короткочасний промислової частоти
4	КО–110–1500	4	330	Короткочасний промислової частоти
5	НОС–110–600	5	500	Короткочасний промислової частоти
6	КО–110–2000	6	750	Короткочасний промислової частоти
7	ОНС–110–1600	7	1150	Короткочасний промислової частоти
8	НОС–110–400	8	1150	Грозовий імпульс
9	КО–110–2000	9	750	Грозовий імпульс
10	ОНС–110–2000	10	500	Грозовий імпульс

4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИВЧЕННЯ КУРСУ ТА ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

При вивчанні курсу та виконанні контрольних робіт необхідно використовувати науково–технічну літературу, неповний перелік якої приведений в даних вказівках, а також науково–технічні періодичні видання.

4.1 Контрольна задача №1

Для рішення задачі 1 необхідні матеріали приведені у [8,9,10,11]. Електричний розрахунок опорного ізолятора приведений у [9,11] і здійснюється у такій послідовності.

Визначається довжина ізоляційної частини стрижневого ізолятора в залежності від типу установлення (сухий або під дощем).

$$l_{c(\partial)} = 1,1 \frac{U_{c(\partial)}}{E_{c(\partial)}} \quad (4.1)$$

де, $U_{c(\partial)}$ – напруга, яку витримує ізолятор при сухій та чистій поверхні (або під дощем)[11,12];

$E_{c(\partial)}$ – середня напруженість для сухої та чистої поверхні (під дощем) [9,11,12];

Із одержаних значень ℓ_c та ℓ_∂ (4.1) за попередню довжину ізоляційної конструкції приймають найбільше в залежності від типу установлення.

Визначається діаметр ізолятора з умови його руйнування у найбільш навантаженому перерізі згинальною силою. Згинальний момент, що діє у будь–якому перерізі ізолятора

$$M_3 = P_3 \cdot \ell_x \quad (4.2)$$

де P_3 – згинальна сила, Н;

ℓ_x – відстань від місця дії P_3 до різь, що розглядається.

Найбільший момент буде у перерізі біля верхнього краю

нижнього фланця ізолятора, яке вважається найбільш небезпечним.

Визначається момент опору згинанню ізолятора

$$W = \frac{2J}{D} \quad (4.3)$$

де D – зовнішній діаметр ізолятора у переріз, і якій розглядається, м;

J – момент інерції;

Для циліндричного перерізу (зовнішнє закріплення)

$$J = \frac{\pi D^4}{64} \quad (4.4)$$

Для кільцевого перерізу (внутрішнє закріплення або порожній ізолятор)

$$J = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{64} \quad (4.5)$$

де D, d – відповідно зовнішній та внутрішній діаметри кільця перерізу.

Визначається механічна напруга у перерізі

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W} \quad (4.6)$$

Товщина фарфорової стінки Δ обирається згідно з [11]. Зовнішній діаметр ізолятора з зовнішнім фланцем визначається в такому порядку. Згідно з [11] задається зовнішній діаметр D .

Визначається внутрішній діаметр

$$d = D - 2\Delta \quad (4.7)$$

Згідно з (4.4) або (4.5) розраховується J .

По (4.2), (4.3), (4.6) знаходиться σ_3 у небезпечному перерізі з умови

$$P_3 = P_P \quad (4.8)$$

де P_P – навантаження, що діє при найбільшому руйнуючому моменті, Н.

Визначається площа перерізу фарфору для порожнього ізолятора

$$S = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \quad (4.9)$$

Згідно з результатом (4.9) та графіком [9] визначається $\sigma_{3П}$

Визначається розрахункове значення

$$D_P = \sqrt[3]{\frac{38,4 P_P \cdot \ell_H}{\pi \sigma_{3П}}} \quad (4.10)$$

де ℓ_H – відстань від точки прикладення P_P до найбільш безпечного зрізу.

Якщо обране раніше значення D відрізняється від одержаного по (4.10), то задаються новим значенням D і розрахунок повторюють до виконання умови

$$D = D_P$$

Для ізоляторів з внутрішнім фланцем розрахунок виконується в такій послідовності.

Задаються зовнішнім діаметром D .

По (4.7.) визначається d .

Розраховується значення J за допомогою (4.4).

За допомогою (4.2),(4.3),(4.6) визначається σ_3 у небезпечному перерізі з умови (4.8)

По (4.9.) визначається площа перерізу фарфору.

Згідно з рисунком 4.1. визначається $\sigma_{3П}$ та порівнюється з σ_3 , яка була одержана по (4.6.). Повинна виконуватись умова

$$\sigma_3 \leq \sigma_{3П} \quad (4.11)$$

При конусній формі ізолятора умова (4.11) перевіряється для різних перерізів по висоті.

Уточнюється висота закладення арматури ℓ_3 з умови дії згинального навантаження, що створює нормальні σ і дотичні τ напруги. Зв'язок між σ та τ виражається рівнянням

$$\sigma = \frac{24P_p(\ell_H - \frac{\ell_3}{3})}{\pi D \ell_3^2} - \tau(1 + \frac{6D}{\ell_3}) \quad (4.12)$$

де D – зовнішній діаметр ізолятора у разі зовнішнього закріплення арматури. Для внутрішнього закріплення замість D у (4.12.) треба підставляти d – внутрішній діаметр ізолятора у місці.

Для обраного значення ℓ_3 треба задатися величинами τ у межах (0...8) МПа, по (4.12.) розрахувати значення σ_i та побудувати залежність

$$\sigma_i = f(\tau_i) \quad (4.13)$$

сумісно з графіком граничних значень [9].

$$\sigma_{ПР} = f(\tau_{ПР}) \quad (4.14)$$

Якщо залежність (4.13.) розташована нижче (4.14.), то руйнування закріплення при даному значенні ℓ_3 відбуватися не буде. Точка перехрещення функцій дає припустиме значення параметрів σ та τ . Якщо розрахункові значення σ та τ занадто малі, то це вказує

на надмірно велике значення ℓ_3 . Необхідно обрати менше значення ℓ_3 і розрахунок повторити.

Уточнюється активна висота ізолятора [11].

$$h_{ак} = f(U_{розр.})$$

$$U_{розр.с(\partial)} = K_1 K_2 U_{с(\partial)}$$

де $U_{с(\partial)}$ – випробувальна напруга для сухої поверхні та під дощем [11];

K_1 – коефіцієнт запасу ;

K_2 – коефіцієнт, враховуючий висоту установлення над рівнем моря [9,11].

Визначається кількість ребер ізолятора [9,11] та їх конфігурація.

$$a/b = (0,5 \dots 1,0)$$

де a – виліт ребра ізолятора;

b – відстань між ребрами.

Визначається довжина путі витіку з урахуванням забруднень по поверхні ізолятора [11]

$$\ell_b = (1,25 \dots 1,35) h_{ак}$$

Обирається тип та параметри ізолятора.

4.2 Контрольна задача № 2

Розрядна напруга ізоляційної конструкції з захисним екраном визначається у такій послідовності [9,11].

Будується ескіз розрахункової моделі, схема заміщення та ескізи фланцевих з'єднань.

Розраховується ємність одного елемента ізолятора C як ємність конденсатора з обкладками у вигляді плоских дисків. Для цього необхідно зробити попереднє обрання типу ізолятора [11].

Розраховується діаметр екрана

$$D=(0,4..0,5)\sum_{i=1}^n \ell_{ai}$$

де n – кількість ізоляторів у колоні ;

ℓ_{ai} – активна висота ізолятора (висота ізоляційної частини).

Діаметр труби d_1 , з якої виготовлений екран, з умов зниження корони та радіоперешкод залежить від діаметра екрана D і номінальної напруги. При номінальній напрузі U_H

$$U_H=(110..220)кВ \quad d_1=(25..40)мм.$$

При U_H від 330 до 1150кВ тороїдальні екрани обираються таким чином, щоб їх розміри D та d_1 знаходились не нижче кривої залежності для одиночних тороїдальних екранів на рисунку 4.1. Між штриховими лініями показана область оптимальних розмірів тороїдів.

Обирається висота екрана h_e із умови

$$\ell_{ai} \geq 0,8h_e.$$

Згідно з схемою заміщення визначаються ємності двох фланців відносно землі С1 та відносно шини С2. Необхідні дані обираються з попередньо обраного типу ізолятора [11]. Елементи колони ізоляторів знаходяться на різній відстані від землі, що впливає на їх ємність відносно землі. Однак цей вплив незначний, тому що основа нижнього ізолятора звичайно знаходиться на відстані (2,5....3)м від землі на бетонній опорі. Тому в розрахунку ємності за h можливо прийняти відстань від землі до середини колони ізоляторів [11].

Визначаються розрахункові параметри при відсутності екрана (α, β, a) та при його наявності $(\alpha_{e\beta_e}, a_e)$.

Розраховується розрядна напруга, що приходить на кожній елемент ізоляційної конструкції ΔU_K . Значення ΔU_K виражено у долях напруги, яка прикладена до усієї ізоляційної конструкції.

Визначається розрядна напруга усієї ізоляційної конструкції

$$U_{PK} \leq \frac{U_P}{\Delta U_1}$$

де U_P – розрядна випробувальна напруга одного елемента, кВ;

ΔU_1 – доля загальної напруги, яка приходить на верхній елемент.

Перевіряється умова

$$U_{PK} > U_{C(\partial)}$$

Перевіряється пробивна напруга проміжку від екрана до заземлених елементів колони ізоляторів. Вона повинна перевищувати відповідну розрахункову розрядну напругу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1.Чунихин А.А.,Жаворонков М.А. Аппараты высокого напряжения. –М :Энергоатомиздат,1985,–432с.
- 2.Залесский А.М., Кукеков И.А. Тепловые расчеты электрических аппаратов.–Л.: Энергия, 1967.–380с.
- 3.Казанский В.Е. Трансформаторы тока.–Л.:Энергия, 1980.–344с.
- 4.Трансформаторы тока /Под ред. В.В.Афанасьева.–Л.: Энергия, 1980.–344с.
- 5.Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов.–М.:Энергия, 1976–544с.
- 6.Дымков А.М., Кибель В.М., Тишенин Ю.В. Трансформаторы напряжения.–М.:Энергия,1976–544с.
- 7.Проектирование электрических аппаратов/Под ред. Г.Н.Александрова.–Энергоатомиздат,1985.–448с.
- 8.Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции.–М.:Энергоиздат, 1981.–392с.
- 9.Александров Г.Н., Иванов В.А. Изоляция электрических аппаратов высокого напряжения.–Л.:Энергоатомиздат,1985.–448с.
- 10.Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения/Под ред.В.В.Афанасьева.–Л.: Энергоатомиздат,1987.–544с.
- 11.Электротехнический справочник/Под ред.В.Г.Герасимова.– М.:Энергоатомиздат,1981–162с.
- 12.Теория электрических аппаратов /Под ред.Г.Н.Александрова.–М.: Высшая школа. 1985.–312с.
- 13.Электрические аппараты высокого напряжения/Под ред.Г.Н.Александрова.–Л.:Энергоатомиздат,1989.–344с.
- 14.Трансформаторы тока. В.В.Афанасьев и др.– Л.:Энергоатомиздат, 1989.–416с.