

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

ПРОГРАМА, МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з вивчення дисципліни

“Електричні апарати”

та контрольні завдання

для студентів спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка" заочної форми навчання

2020

Програма, методичні вказівки з вивчення дисципліни "Електричні апарати" та контрольні завдання для студентів спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" заочної форми навчання / Укл.: О. М. Климко. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 38 с.

Укладач

О. М. Климко, доцент, к.т.н.

Рецензент

І. В. Авдєєв, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск

О. А. Шрам, доцент, к.т.н.

Затверджено
на засіданні кафедри "Електропостачання
промислових підприємств"
Протокол №4 від 24 грудня 2019

Рекомендовано до випуску
НМК ЕТФ
протокол № 6 від 23.01.2020

ЗМІСТ

1 Загальні методичні вказівки.....	4
2 Робоча програма і методичні вказівки щодо	
вивчення тем дисципліни.....	6
2.1 Класифікація електричних апаратів.....	6
2.2 Електродинамічні зусилля в електричних	
апаратах.....	6
2.3 Нагрівання електричних апаратів.....	7
2.4 Електричні контакти.....	8
2.5 Ізоляція електричних апаратів.....	8
2.6 Розмикання електричних кіл.....	9
2.7 Неавтоматичні вимикачі кіл керування та	
силових кіл.....	10
2.8 Силкові апарати дистанційного керування.....	10
2.9 Захисні апарати.....	11
2.10 Обмежувальні апарати.....	12
2.11 Високовольтні комутаційні апарати.....	13
2.12 Вимірювальні апарати.....	14
3 Перелік лабораторних робіт.....	15
4 Перелік практичних занять.....	15
5 Контрольні завдання.....	16
6 Рекомендована література.....	38

1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Електричні апарати є найважливішими елементами електротехнічних і енергетичних установок. Без засвоєння дисципліни “Електричні апарати” неможливе вивчення таких дисциплін, як “Електрична частина станцій та підстанцій”, “Основи релейного захисту та автоматики”, “Електропостачання”.

Метою викладання дисципліни “Електричні апарати” є засвоєння студентами основних положень теорії електричних апаратів високої та низької напруги, призначення, принципу дії, конструкції та експлуатаційних характеристик електричних апаратів, які використовуються в електричних системах, системах електропостачання промислових підприємств і автоматизації виробничих процесів та електроприводу.

Після засвоєння дисципліни студенти повинні знати основи теорії нагрівання апаратів та струмовідних частин струмами тривалого режиму та режиму короткого замикання; електромагнітні розрахунки та електромагнітні явища в електричних апаратах; закономірність процесів, що відбуваються при комутації електричних кіл високої та низької напруги; принцип дії, конструкцію, особливості апаратів різного призначення та конструкцію їх окремих частин; основні напрямки підвищення ефективності дії апаратів; розрахункові умови для вибору електричних апаратів та струмовідних частин.

Студенти повинні вміти: розраховувати теплові режими провідників та апаратів; визначити їх термічну та електродинамічну стійкість; здійснювати вибір струмовідних частин та електричних апаратів різного призначення; аналізувати роботу електричних апаратів та їх елементів у нормальних та аварійних режимах; розраховувати експлуатаційні характеристики апаратів на основі вимірів.

Під час установчої сесії студенти прослуховують лекції, виконують та захищають лабораторні роботи, беруть участь в практичних заняттях, отримують варіанти завдань для виконання контрольної роботи.

На практичному занятті студенти повинні навчитися вибирати та перевіряти різні електричні апарати.

При самостійному вивченні курсу до екзаменаційної сесії студентам заочної форми навчання рекомендується:

- ознайомитися з програмою та методичними вказівками;
- вивчити курс за підручниками та посібниками в об'ємі програми, звертаючи увагу на контрольні запитання, що наведені в кінці кожної теми;
- скласти короткий конспект з основними положеннями тем, рисунками, математичними формулами, умовами вибору та перевірки апаратів тощо;
- виконати та заздалегідь вислати або привезти в університет контрольну роботу, завдання до якої наведені в кінці методичних вказівок.

Студенти, що не вислали до екзаменаційної сесії контрольних робіт і що не мають конспекту опрацьованого матеріалу, до екзамену не допускаються.

Теми лекцій, які виносяться на установчу сесію.

- 1 Класифікація електричних апаратів.
- 2 Електродинамічна стійкість електричних апаратів.
- 3 Термічна стійкість електричних апаратів.
- 4 Розмикання електричних кіл та гасіння дуги.
- 5 Вибір та перевірка комутаційних апаратів.

2 РОБОЧА ПРОГРАМА І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИВЧЕННЯ ТЕМ ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Класифікація електричних апаратів

Електричні апарати та їх класифікація. Захисні оболонки електричних апаратів. Вплив механічних та кліматичних чинників на електричні апарати. Вимоги до електричних апаратів. Позначення електричних апаратів та їх елементів на електричних схемах.

Лекції – 0,5 години.

Самостійна робота – 2 години.

Література: [1] с.5-30

Контрольні запитання

1. Що таке електричний апарат?
2. За якими ознаками може здійснюватися класифікація електричних апаратів?
3. Які апарати належать до комутаційних ?
4. Які апарати належать до вимірювальних?
5. Які апарати належать до обмежувальних?
6. Як апарати класифікуються за номінальною напругою?
7. Яке призначення захисних оболонок електричних апаратів?
8. Як позначаються захисні властивості оболонки?
9. Що визначає перша цифра у позначенні захисних властивостей оболонки?
10. Що визначає друга цифра у позначенні захисних властивостей оболонки?
11. Як позначається кліматичне виконання електричного апарата? Що визначають літери У, УХЛ, Т, О?
12. Як позначається категорія розміщення апаратів?
13. Наведіть найбільш загальні вимоги до електричних апаратів?

2.2 Електродинамічні зусилля в електричних апаратах

Методи розрахунку електродинамічних зусиль. Зусилля між паралельними провідниками, між взаємно перпендикулярними провідниками. Зусилля у витку, котушці та між котушками. Зусилля у місці зміни перерізу провідника. Зусилля при наявності

ферромагнітних частин. Електродинамічні зусилля при змінному струмі. Електродинамічна стійкість апаратів.

Лекції – 2 години.

Самостійна робота – 12 годин.

Література: [1] с.31-57; [3] с.182-186

Контрольні запитання

1. Які методи розрахунку електродинамічних зусиль Ви знаєте?
2. При яких умовах надається перевага кожному з двох методів розрахунку електродинамічних зусиль?
3. Як визначається напрям дії електродинамічних зусиль?
4. Як спрямовані зусилля між паралельними провідниками?
5. Як спрямоване зусилля у витку?
6. Як спрямоване зусилля у котушці?
7. У трифазній системі на провідник якої фази діє найбільше зусилля?
8. Яким струмом визначається електродинамічна стійкість електричного апарата?

2.3 Нагрівання електричних апаратів

Активні втрати енергії у струмовідних частинах. Втрати у неструмовідних ферромагнітних деталях апаратів. Способи передачі тепла. Усталений режим нагрівання. Нагрівання апаратів у перехідних режимах. Нагрівання апаратів при короткому замиканні. Термічна стійкість апаратів.

Лекції – 2 години.

Самостійна робота – 12 годин.

Література: [1] с.58-86; [3] с.186-192

Контрольні запитання

1. За рахунок чого відбувається нагрівання електричних апаратів?
2. У чому полягає поверхневий ефект?
3. У чому полягає ефект близькості?
4. Що таке теплопровідність?

5. Що таке конвекція?
6. Що таке випромінювання?
7. Як апарати перевіряються за термічною стійкістю?
8. Що таке інтеграл Джоуля і як він визначається?
9. Яка допустима температура неізолюваних мідних провідників та частин апарата при короткому замиканні?
10. Яка допустима температура неізолюваних алюмінієвих провідників та частин апарата при короткому замиканні?

2.4 Електричні контакти

Основні поняття. Режим роботи контактів. Вимоги до контактних систем. Контактні матеріали. Конструкції контактів (нерухомі та рухомі; розбірні та нерозбірні; розмикні та нерозмикні)

Самостійна робота – 6 годин.

Література: [1] с.88-121

Контрольні запитання.

1. Що називається електричним контактом?
2. Чим утворюються точкові, лінійні та площинні контакти?
3. З яких ділянок складається площинний контакт?
4. Що таке опір контакту та чим він визначається?
5. Що таке вібрація контактів, як їй запобігти?
6. Назвіть вимоги до матеріалу контактів.
7. Перелічіть матеріали для контактів та назвіть сфери їх використання.

2.5 Ізоляція електричних апаратів

Зовнішня та внутрішня ізоляції. Самовідновлювальна та несамовідновлювальна ізоляції. Газоподібна, рідка та тверда ізоляції (повітря, електричний газ, олива, паперово – оливна та конденсаторна ізоляція, лита ізоляція, фарфор). Захисні екрани. Класифікація ізоляторів (прохідні, опорні, підвісні).

Самостійна робота – 6 годин.

Література: [2] с.16-42

Контрольні запитання

1. Яка ізоляція називається самовідновлювальною?
2. Чим несамовідновлювальна ізоляція відрізняється від самовідновлювальної?
3. Які причини старіння ізоляції?
4. Навіщо у внутрішній ізоляції при напругах понад 110 кВ папір просочується оливою?
5. Чим паперово - оливна ізоляції відрізняється від конденсаторної ізоляції?
6. Що таке елегаз?
7. Яке призначення захисних екранів?
8. Які бувають захисні екрани?
9. З чого виготовляються захисні екрани?

2.6 Розмикання електричних кіл

Електрична дуга, її будова та умови виникнення і горіння. Дуга постійного струму (статична та динамічна вольт – амперні характеристики, умови стабільного горіння та гасіння дуги, перенапруги при вимиканні дуги постійного струму). Дуга змінного струму (вимикання активного навантаження, вимикання індуктивного навантаження). Відновлювальна напруга. Способи гасіння електричної дуги.

Лекції – 2 години.

Самостійна робота – 12 годин.

Література: [1] с.123-181; [3] с.244-249

Контрольні запитання

1. Чому при розмиканні електричного кола виникає дуга?
2. Які особливості дугового розряду?
3. Що таке рекомбінація? Від чого залежить коефіцієнт рекомбінації?
4. Що таке статична вольт – амперна характеристика дуги?
5. Яка умова гасіння дуги? Що відбувається з умовами гасіння дуги при зростанні струму вимикання та напруги джерела живлення?

6. Що таке динамічна вольт – секундна характеристика дуги?
7. Яка напруга називається відновлювальною?
8. Яка напруга називається поверненою?
9. Які способи гасіння дуги використовуються в апаратах напругою до 1000 В?
10. Які способи гасіння дуги використовуються в апаратах напругою понад 1000 В?

2.7 Неавтоматичні вимикачі кіл керування та силових кіл

Призначення, особливості конструкції та основні параметри кнопок керування, пакетних вимикачів та перемикачів, пакетно – кулачкових вимикачів і перемикачів, універсальних перемикачів і ключів керування, рубильників і перемикачів.

Лабораторна робота – 0,25 години.

Самостійна робота – 12 годин.

Література: [1] с.286, 500-504; [3] с.250-252

Контрольні запитання

1. Яке призначення неавтоматичних вимикачів?
2. Що таке діаграма замикання контактів і як вона складається?
3. Яке призначення та особливості конструкції кнопок керування?
4. Яке призначення та особливості конструкції пакетних вимикачів та перемикачів?
5. Яка сфера використання та особливості конструкції пакетно – кулачкових вимикачів і перемикачів?
6. Назвіть найбільш поширені серії універсальних перемикачів і ключів керування.
7. Яке призначення рубильників?

2.8 Силові апарати дистанційного керування

Електромагнітні контактори: призначення, технічні дані. Контактори постійного струму. Контактори змінного струму. Вакуумні контактори. Магнітні пускачі: призначення, особливості конструкції. Безконтактні комутаційні пристрої. Тиристорні пускачі.

Вибір контакторів і пускачів. Схеми дистанційного керування електроприймачами.

Самостійна робота – 12 годин.

Лабораторна робота – 0,25 години.

Практичні заняття – 0,25 години

Література: [1] с.308-336; [3] с.268-275

Контрольні запитання

1. Чи реагують контактори на струми короткого замикання або перевантаження?
2. Як утримуються контактори в увімкненому положенні?
3. Що таке коефіцієнт повернення?
4. Яку конструкцію мають головні контакти та дугогасильні камери контактів постійного та змінного струму? Чим вони відрізняються?
5. Чим відрізняються магнітні системи контактів постійного та змінного струму?
6. У яких випадках і чому у контакторах змінного струму використовують електромагніти постійного струму?
7. Що таке нульовий захист?
8. По пам'яті складіть та поясніть схему дистанційного керування електроприймачем постійного або змінного струму. Поясніть призначення кожного елемента.
9. Як вибрати контактор (магнітний пускач) для заданого приймача?

2.9 Захисні апарати

Запобіжники: призначення, принцип дії, способи гасіння дуги, технічні характеристики. Основні типи запобіжників та їх параметри при напругах до та понад 1000 В. Вибір запобіжників.

Теплові реле: призначення, принцип дії, конструктивне виконання, вибір. Позисторний захист двигунів.

Автоматичні вимикачі (автомати) у колах до 1000 В: призначення, основні види розчеплювачів, захисні характеристики. Вибір автоматів.

Самостійна робота – 12 годин.

Лабораторна робота – 0,5 години.

Практичні заняття – 0,25 години

Література: [1] с.531-551; [3] с.259-268

Контрольні запитання

1. Що таке номінальний струм топкої вставки?
2. Що таке номінальний струм запобіжника?
3. З яких матеріалів виготовляють топкі вставки?
4. Що таке “металургійний ефект”?
5. Які особливості високовольтних запобіжників?
6. Що таке струмообмежувальний ефект запобіжника?
7. З яких матеріалів виготовляють біметалевий елемент теплового реле?
8. Чому теплові реле не захищають від струмів короткого замикання?
9. Що таке розчеплювач? Що таке незалежний розчеплювач?
10. Яке призначення механізму вільного розчеплення?
11. Що таке моментне вмикання?

2.10 Обмежувальні апарати

Розрядники: призначення, принцип дії. Трубочасті розрядники, вентильні розрядники. Обмежувачі перенапруг нелінійні. Реєстратори спрацювання розрядників.

Струмообмежувальні реактори: загальні відомості, особливості конструкції. Здвоєні реактори. Вибір реакторів.

Самостійна робота – 12 годин.

Лабораторна робота – 0,25 години.

Література: [1] с.619-639

Контрольні запитання.

1. Що таке перенапруга та які вони бувають?
2. Що таке супроводжувальний струм?
3. Які вимоги висуваються до розрядників?

4. Чому трубчасті розрядники не використовують для захисту трансформаторів?
5. Яка функція зовнішнього іскрового проміжку у трубчастому розрядку?
6. Які види іскрових проміжків використовують у вентильних розрядниках?
7. На базі якого матеріалу виготовляють нелінійні опори?
8. Які переваги мають обмежувачі перенапруг нелінійні над вентильними розрядниками?
9. Які переваги має здвоєний реактор над одинарним?
10. Що таке коефіцієнт зв'язку обмоток реактора?
11. Які режими роботи здвоєного реактора ви знаєте?

2.11 Високовольтні комутаційні апарати

Вимикачі: призначення, основні параметри, характеристика основних типів: оливних, пневматичних, електромагнітних, вакуумних, елегазових. Умови вибору вимикачів.

Вимикачі навантаження : призначення, конструкції, основні параметри, умови вибору.

Роз'єднувачі: призначення, конструктивні особливості, основні параметри, умови вибору.

Віддільники та короткозамикачі: призначення, конструктивні особливості, основні параметри, умови вибору.

Заземлювачі: призначення, конструктивні особливості.

Приводи високовольтних апаратів та їх характеристики.

Лекції – 1,5 години.

Лабораторна робота – 0,5 години.

Самостійна робота – 24 години.

Практичні заняття – 0,25 години

Література: [1] с.552-618; [3]с.135-183

Контрольні запитання

1. Чим баковий вимикач відрізняється від малооливного?
2. Назвіть переваги та вади оливних вимикачів.

3. Які види дуття використовують у пневматичних вимикачах?
4. Назвіть переваги та вади пневматичних вимикачів.
5. Які переваги та вади елегазу?
6. Поясніть принципи гасіння дуги у вакуумному вимикачі.
7. Чому сфера використання електромагнітних вимикачів обмежена напругами 6-20 кВ?
8. Для яких операцій можна використовувати роз'єднувачі?
9. Що таке магнітний замок?
10. Чим відрізняється віддільник від роз'єднувача?
11. Порівняйте пружинний та електромагнітний приводи для вимикача.

2.12 Вимірювальні апарати

Трансформатори струму: призначення, режими роботи, основні параметри, векторна діаграма, схеми вмикання, конструкції трансформаторів струму для внутрішньої та зовнішньої установки.

Трансформатори напруги: призначення, режими роботи, основні параметри, векторна діаграма, схеми вмикання, конструкції трансформаторів напруги для внутрішньої та зовнішньої установки.

Умови вибору та перевірки вимірювальних трансформаторів.

Смисні подільники напруги.

Лабораторна робота – 0,25 години.

Самостійна робота – 24 години.

Практичні заняття – 0,25 години

Література: [1] с.640-680; [3] с.348-379

Контрольні запитання

1. Яке призначення трансформатора струму (ТА)?
2. Що таке клас точності ТА?
3. Назвіть умови, при яких нормуються похибки ТА?
4. Чим відрізняються режими роботи ТА і TV?
5. Яке призначення трансформатора напруги (TV)?
6. Чим відрізняються вимірювальні трансформатори від звичайних силових трансформаторів?

7. Чому режим розімкнутої вторинної обмотки є неприпустимим для ТА?
8. Чому один з виводів вторинної обмотки вимірювальних трансформаторів завжди уземлюється?
9. Назвіть умови, при яких нормуються похибки TV?
10. Як компенсують струмову та кутову похибки ТА?
11. Як компенсують похибки TV?
12. Які переваги ємнісного подільника напруги?
13. Що таке клас точності TV?
12. Які сфери використання ТА і TV з різним класом точності?

3 ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Студенти заочники виконують лабораторні роботи за методичними вказівками [8].

1. Комутаційні апарати на напругу до та понад 1000В.
2. Захисні апарати (за вказівками [8] номери № 3, 4, 5, 6).
3. Вимірювальні трансформатори (за вказівками [8] номери 7, 8)

4 ПЕРЕЛІК ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Студенти заочники беруть участь у практичному занятті:

1 Вибір та перевірка комутаційних апаратів, захисних апаратів, обмежувальних апаратів та вимірювальних апаратів.

5 КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Загальні вказівки

Під час вивчення дисципліни “Електричні апарати” студенти заочної форми навчання повинні виконати контрольну роботу. Контрольна робота складається з п’ятих задач. Після засвоєння теми 2.9 потрібно розв’язати задачу 1, після теми 2.10 – задачу 2. Задачі 3 та 4 потрібно розв’язати після засвоєння теми 2.12. Задачу 5 потрібно розв’язати після засвоєння теми 2.11.

Завдання на контрольну роботу

Задача №1

Розрахувати та вибрати топкі вставки для запобіжників ПН2, що захищають лінії (див. рис. 5.1). Задані номінальні дані асинхронних двигунів серії 4А ($U_{\text{ном}}=380\text{ В}$; $P_{\text{ном}}$; $\eta_{\text{ном}}$; $\cos\phi_{\text{ном}}$, $I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$) та струми трифазного короткого замикання ($I_{\text{к1}}^{(3)}$, $I_{\text{к2}}^{(3)}$) та однофазного замикання ($I_{\text{к1}}^{(1)}$, $I_{\text{к2}}^{(1)}$) у точках К1 та К2. Умови пуску легкі.

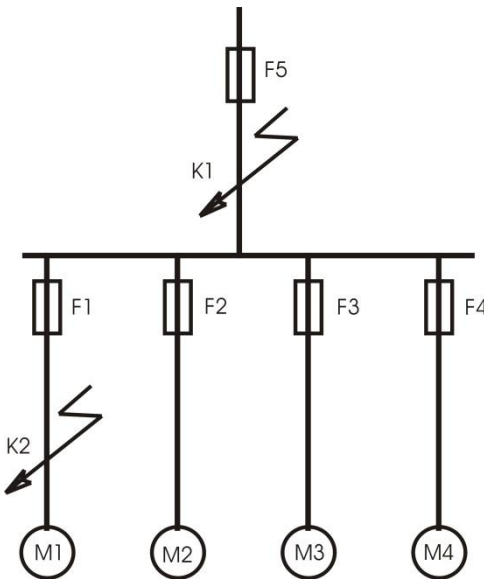


Рисунок 5.1

Вихідні дані прийняти за таблицею 1 згідно з двома останніми цифрами номера залікової книжки.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані до задачі №1

№ вар	P_1 кВт	P_2 кВт	P_3 кВт	P_4 кВт	η %	$\cos\varphi$	Примітка
1	7,5	11	15	18,5	88	0,9	Для усіх варіантів прийняти $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}=7$ $I_{\text{к1}}^{(3)}=4,4 \text{ кА}$ $I_{\text{к1}}^{(1)}=1,85 \text{ кА}$ $I_{\text{к2}}^{(3)}=4,36 \text{ кА}$ $I_{\text{к2}}^{(1)}=1,8 \text{ кА}$
2	7,5	11	11	15	88	0,9	
3	7,5	7,5	11	15	88	0,89	
4	7,5	11	15	15	88	0,9	
5	7,5	11	11	18,5	88	0,9	
6	7,5	7,5	7,5	18,5	87,5	0,88	
7	7,5	15	15	15	88	0,91	
8	7,5	22	7,5	7,5	87,5	0,88	
9	7,5	11	11	7,5	87,5	0,89	
10	30	7,5	7,5	11	89	0,89	
11	7,5	11	11	22	88	0,9	
12	7,5	11	11	11	88	0,9	
13	11	15	18,5	22	88	0,91	
14	11	11	15	22	88	0,91	
15	11	18,5	11	15	88	0,91	
16	7,5	7,5	7,5	15	87,5	0,88	
17	7,5	7,5	7,5	11	87,5	0,88	
18	11	11	15	11	88	0,9	
19	11	18,5	11	11	88	0,91	
20	22	11	11	11	88	0,9	
21	11	11	15	18,5	88	0,91	
22	11	15	11	22	88	0,91	
23	15	15	11	22	88	0,91	
24	15	15	11	18,5	88	0,91	
25	15	22	15	18,5	88,5	0,91	
26	15	15	15	11	88	0,91	
27	15	18,5	15	15	88	0,91	
28	15	18,5	15	22	88,5	0,91	
29	15	15	7,5	22	88	0,9	
30	15	18,5	22	18,5	87,5	0,91	

Продовження табл.5.1

№ вар	P ₁ кВт	P ₂ кВт	P ₃ кВт	P ₄ кВт	η %	cosφ	Примітка
31	11	11	22	22	88	0,9	
32	7,5	18,5	18,5	18,5	88	0,89	
33	11	18,5	18,5	11	87,5	0,91	
34	11	18,5	22	22	88	0,88	
35	18,5	18,5	18,5	11	87,5	0,9	
36	18,5	22	18,5	18,5	88	0,91	
37	15	18,5	22	22	88,5	0,9	
38	22	22	11	7,5	88	0,88	
39	22	22	15	15	87,5	0,89	
40	22	22	18,5	18,5	88	0,9	
41	22	22	22	7,5	87,5	0,89	
42	11	22	22	22	88	0,9	
43	22	22	15	22	89	0,91	
44	11	22	15	15	88	0,9	
45	30	7,5	18,5	15	87,5	0,88	
46	30	30	7,5	11	88	0,9	
47	11	15	30	30	87,5	0,88	
48	11	18,5	30	30	88	0,9	
49	30	11	22	30	87,5	0,89	
50	30	18,5	22	30	88	0,9	
51	30	30	18,5	18,5	87,5	0,91	
52	22	30	30	22	88	0,9	
53	37	30	7,5	15	87,5	0,89	
54	30	15	18,5	37	88	0,89	
55	30	37	22	11	87,5	0,88	
56	37	30	22	18,5	88	0,9	
57	37	30	22	22	88	0,91	
58	37	30	30	7,5	88,5	0,9	
59	37	30	30	11	88	0,88	
60	37	30	30	22	87,5	0,89	
61	22	22	22	22	88	0,88	
62	30	30	30	30	88	0,88	

Продовження табл.5.1

№ вар	P ₁ кВт	P ₂ кВт	P ₃ кВт	P ₄ кВт	η %	cosφ	Примітка
63	11	15	7,5	11	87,5	0,89	
64	11	15	7,5	11	87,5	0,89	
65	15	15	7,5	7,5	87,5	0,9	
66	11	18,5	7,5	11	87,5	0,9	
67	15	18,5	11	11	88	0,9	
68	11	15	7,5	18,5	88	0,89	
69	11	15	11	18,5	87,5	0,91	
70	15	15	11	18,5	88	0,88	
71	11	18,5	18,5	18,5	87,5	0,9	
72	7,5	18,5	18,5	22	88	0,91	
73	15	15	15	18,5	88,5	0,9	
74	7,5	7,5	22	22	88	0,88	
75	11	7,5	22	22	87,5	0,89	
76	7,5	11	22	22	88	0,9	
77	11	22	22	22	87,5	0,89	
78	11	11	11	22	88	0,9	
79	18,5	22	22	22	89	0,91	
80	15	22	11	22	88	0,9	
81	11	15	30	7,5	87,5	0,88	
82	7,5	15	30	30	88	0,9	
83	7,5	11	11	15	87,5	0,88	
84	15	11	11	18,5	88	0,9	
85	11	11	30	11	87,5	0,89	
86	11	11	30	18,5	88	0,9	
87	15	18,5	30	30	87,5	0,91	
88	11	22	22	30	88	0,9	
89	11	22	37	30	87,5	0,89	
90	11	18,5	30	15	88	0,89	
91	15	18,5	30	37	87,5	0,88	
92	15	11	37	30	88	0,9	
93	15	15	37	30	88	0,91	
94	15	22	37	30	88,5	0,9	
95	7,5	22	37	30	88	0,88	

Методичні вказівки

1. Спочатку потрібно визначити номінальні та пускові струми електродвигунів

$$I_{НОМ.} = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \eta \cdot \cos \varphi}$$

$$I_{ПУСК.} = k_{П} \cdot I_{НОМ}$$

де $k_{П} = \frac{I_{ПУСК}}{I_{НОМ}}$ - кратність пускового струму.

Далі потрібно визначити піковий струм через F5

$$I_{ПІК} = I_{ПУСК.МАКС.} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{НОМ.i}$$

2. Для вибору топких вставок використовують такі формули (враховуючи легкі умови пуску)

для F1 – F4
$$I_{ПЛ.ВСТ.} \geq \frac{I_{пуск}}{2,5}$$

для F5
$$I_{ПЛ.ВСТ.} \geq \frac{I_{пик}}{2,5}$$

3. Перевірка вибраних топких вставок здійснюється за формулами:

$$I_{к}^{(3)} \leq I_{НОМ.ВИМ.}$$

$$I_{к}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{НОМ.ВСТ.}$$

де $I_{НОМ.ВИМ.}$ – номінальний струм вимикання запобіжника (найбільший струм, що може вимкнути запобіжник).

Задача №2

Вибрати лінійний реактор для можливості застосування комплектних шаф розподільного пристрою 10 кВ з вимикачами ВК – 10 (номінальний струм вимикання $I_{н.вим.} = 20$ кА). Максимальне навантаження лінії складає I при відомому $\cos \varphi$. У місці установки реактора значення струму короткого замикання дорівнює $I_{п.0}^{(3)}$, повний час вимикання короткого замикання складає $t_{вим.}$. Відомі також ударний коефіцієнт k_y та стала часу T_a .

Вихідні дані прийняти за таблицею 5.2 згідно з двома останніми цифрами номера залікової книжки.

Таблиця 5.2 – Вихідні дані для задачі №2

№ вар.	I, А	cosφ	$I_{п0}^{(3)}, \text{кА}$	$t_{\text{вим.}}, \text{с}$	k_v	$T_a, \text{с}$
1	384	0,8	42,3	1,1	1,9	0,1
2	375	0,82	40,15	1,05	1,9	0,1
3	420	0,84	43,45	1,0	1,9	0,1
4	455	0,86	44,5	0,95	1,9	0,1
5	510	0,88	45,1	0,9	1,9	0,1
6	610	0,9	45,8	1,15	1,9	0,1
7	640	0,89	46,4	1,1	1,95	0,23
8	675	0,87	47,1	1,05	1,95	0,23
9	690	0,85	47,4	1,0	1,95	0,23
10	734	0,83	47,85	0,95	1,95	0,23
11	750	0,81	48,12	0,9	1,95	0,23
12	810	0,8	48,44	0,85	1,95	0,23
13	845	0,82	48,79	1,15	1,95	0,23
14	970	0,84	49,15	1,10	1,95	0,23
15	980	0,86	49,75	1,05	1,95	0,23
16	1100	0,88	50,5	1,0	1,95	0,23
17	1200	0,9	51,3	0,95	1,95	0,23
18	1250	0,89	52,4	0,9	1,95	0,23
19	1310	0,87	53,7	0,85	1,95	0,23
20	1350	0,85	54,4	1,15	1,95	0,23
21	1400	0,83	55,7	1,1	1,95	0,23
22	1410	0,81	56,9	1,05	1,95	0,23
23	1435	0,8	57,75	1,0	1,95	0,23
24	1475	0,82	58,45	0,95	1,95	0,23
25	1500	0,84	59,55	0,9	1,95	0,23
26	1520	0,86	61,48	1,2	1,95	0,23
27	1530	0,88	62,15	1,15	1,95	0,23
28	1575	0,9	60,2	1,1	1,95	0,23
29	1735	0,8	41,5	0,9	1,95	0,23
30	1840	0,82	43,7	0,95	1,95	0,23
31	290	0,84	45,8	1,0	1,9	0,1

Продовження табл.5.2

№ вар.	I, А	cosφ	I _{п0} ⁽³⁾ ,кА	t _{вим.} с	k _γ	T _а , с
32	320	0,86	47,7	1,05	1,9	0,1
33	364	0,88	48,9	1,1	1,9	0,1
34	385	0,9	49,2	1,15	1,9	0,1
35	400	0,89	49,5	1,2	1,9	0,1
36	435	0,87	49,9	1,05	1,9	0,1
37	450	0,85	50,8	1,0	1,9	0,1
38	475	0,83	52,7	0,95	1,9	0,1
39	530	0,81	52,9	0,9	1,9	0,1
40	580	0,88	53,4	1,1	1,9	0,1
41	650	0,9	53,9	1,15	1,95	0,23
42	680	0,89	54,3	1,2	1,95	0,23
43	690	0,87	54,8	0,9	1,95	0,23
44	720	0,85	55,4	0,95	1,95	0,23
45	760	0,83	55,9	1,0	1,95	0,23
46	830	0,81	56,6	1,05	1,95	0,23
47	880	0,8	57,1	1,1	1,95	0,23
48	915	0,82	57,8	1,15	1,95	0,23
49	935	0,84	58,3	1,2	1,95	0,23
50	960	0,86	58,8	1,05	1,95	0,23
51	1150	0,88	59,4	1,1	1,95	0,23
52	1260	0,9	59,9	1,15	1,95	0,23
53	1340	0,89	60,6	1,2	1,95	0,23
54	1420	0,87	61,2	0,9	1,95	0,23
55	1455	0,85	61,8	0,95	1,95	0,23
56	1560	0,83	62,7	1,0	1,95	0,23
57	1680	0,81	63,45	1,05	1,95	0,23
58	1750	0,84	63,8	1,1	1,95	0,23
59	1890	0,9	64,2	1,15	1,95	0,23
60	1935	0,8	64,8	1,2	1,95	0,23
61	380	0,89	48,12	0,9	1,9	0,1
62	395	0,87	48,44	1,15	1,9	0,1
63	425	0,85	48,79	1,1	1,9	0,1
64	465	0,83	49,15	1,05	1,9	0,1
65	519	0,81	49,75	1,0	1,9	0,1

Продовження табл. 5.2

№ вар.	I, А	cosφ	$I_{п0}^{(3)}, \text{кА}$	$t_{\text{вим.}}, \text{с}$	k_{γ}	$T_a, \text{с}$
66	617	0,8	50,5	0,95	1,9	0,1
67	638	0,82	51,3	0,9	1,9	0,1
68	678	0,84	52,4	0,85	1,9	0,1
69	690	0,86	53,7	1,15	1,9	0,1
70	734	0,88	54,4	1,10	1,9	0,1
71	750	0,9	55,7	1,05	1,95	0,23
72	810	0,89	56,9	1,0	1,95	0,23
73	845	0,87	57,75	0,95	1,95	0,23
74	970	0,85	58,45	0,9	1,95	0,23
75	980	0,83	59,55	0,85	1,95	0,23
76	1100	0,81	61,48	1,15	1,95	0,23
77	1200	0,8	62,15	1,1	1,95	0,23
78	1250	0,82	60,2	1,05	1,95	0,23
79	1310	0,84	41,5	1,0	1,95	0,23
80	1350	0,86	43,7	0,95	1,95	0,23
81	1400	0,88	45,8	0,9	1,95	0,23
82	1410	0,9	47,7	1,2	1,95	0,23
83	1435	0,81	48,9	1,15	1,95	0,23
84	1475	0,8	49,2	1,1	1,95	0,23
85	1500	0,82	49,5	0,85	1,95	0,23
86	1520	0,84	49,9	1,15	1,95	0,23
87	1530	0,86	50,8	1,1	1,95	0,23
88	1575	0,88	52,7	1,05	1,95	0,23
89	1735	0,9	52,9	1,0	1,95	0,23
90	1840	0,89	53,4	0,95	1,95	0,23
91	290	0,87	53,9	0,9	1,95	0,23
92	320	0,85	54,3	1,2	1,95	0,23
93	364	0,83	54,8	1,15	1,95	0,23
94	385	0,81	55,4	1,1	1,95	0,23
95	400	0,8	55,9	1,0	1,95	0,23

Методичні вказівки

1. Потрібно визначити результівний опір від джерела живлення до місця короткого замикання.

$$x_{рез} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{по}^{(3)}}$$

2. Значення бажаного струму короткого замикання згідно з умовою задачі $I_{баж} = 20$ кА, тоді опір короткозамкнутої ділянки з урахуванням бажаного обмеженого значення струму короткого замикання.

$$x_{рез.баж.} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{баж.}}$$

3. Розрахунковий опір реактора складає

$$x_{р.р.} = x_{рез.баж.} - x_{рез.}$$

За [4] потрібно вибрати для встановлення реактор з номінальним опором $x_{ном.р.} \geq x_{р.р.}$

4. Потрібно визначити періодичну складову струму короткого замикання за реактором у початковий момент

$$I_{пор}^{(3)} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3} \cdot (x_{рез} + x_{ном.р.})}$$

5. Ударний струм короткого замикання за реактором

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{пор}^{(3)}$$

5 Перевірка реактора на електродинамічну та термічну стійкість виконується за формулами

$$i_{уд} \leq i_{дин}$$

$$B_k \leq B_t = I_t^2 \cdot t$$

$$B_k = (I_{п0}^{(3)})^2 \cdot (t_{вим} + T_a)$$

де I_t , t – відповідно струм термічної стійкості та час його протікання (паспортні дані).

7. Перевірити щоб втрата напруги на реакторі при максимальному режимі не перевищувала 4%

$$\Delta u_p = x_{ном} \frac{\sqrt{3} \cdot I}{U_{ср.ном.}} \sin \varphi \cdot 100\% \leq 4\%$$

Задача №3

Вибрати трансформатори струму на лінії напругою U до споживача електроенергії з розрахунковою потужністю $S_{нав}$. За розрахунком струмів короткого замикання у місці встановлення трансформаторів струму відомі $I_{по}^{(3)}$, $i_{уд}$ та B_k . Довжина траси l , питомий опір алюмінійового проводу $\rho = 0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. До трансформаторів струму приєднуються амперметр ($S_2 = 0,5 \text{ ВА}$), лічильник активної енергії ($S_2 = 2,5 \text{ ВА}$) та лічильник реактивної енергії ($S_2 = 2,5 \text{ ВА}$). Вихідні дані прийняти за таблицею 5.3 згідно з двома останніми цифрами номера залікової книжки.

Таблиця 5.3 – Вихідні дані для задачі №3

№ вар.	$U_{ном}$ кВ	$S_{нав}$ МВА	$I_{по}^{(3)}$ кА	$i_{уд}$ кА	B_k кА ² ·с	l м
1	6,3	0,55	4,8	9,29	25,344	4
2	6,3	1,1	7,5	14,52	61,875	4,5
3	6,3	1,6	7,8	15,1	66,924	5
4	6,3	2,4	8,1	15,68	72,171	5,5
5	6,3	2,8	8,3	16	75,779	6
6	6,3	3,5	8,7	16,8	83,259	4
7	6,3	4,2	9,2	17,8	93,104	4,5
8	6,3	4,6	9,8	18,9	105,644	5
9	6,3	5,2	10,7	20,7	125,939	5,5
10	10,5	1,0	5,4	10,45	32,076	6
11	10,5	5,5	8,2	15,87	73,964	4
12	10,5	8,7	9,4	18,2	97,196	4,5
13	10,5	12,8	10,6	20,5	123,596	5
14	10,5	15,3	11,7	22,7	150,579	5,5

Продовження табл.5.3

№ вар.	U _{ном} кВ	S _{нав} МВА	I _{по} ⁽³⁾ кА	i _{уд} кА	B _к кА ² *с	l м
15	10,5	21,7	12,8	24,8	180,224	6
16	10,5	27,4	13,3	25,75	194,579	4
17	10,5	33,5	13,7	26,52	206,459	4,5
18	10,5	36,5	14,2	27,49	221,8	5
19	35	3,2	5,2	11,82	29,74	55
20	35	3,5	4,2	9,55	19,404	60
21	35	3,8	6,2	14	42,284	45
22	35	4	6,4	14,55	45,056	45
23	35	5	7,2	16,37	57,024	55
24	35	8,5	8,5	19,33	79,475	55
25	35	10,4	9,4	21,38	97,196	48
26	35	13,2	12,8	29,1	180,224	45
27	35	13,8	14,7	33,42	237,699	56
28	35	14,2	16,4	37,29	295,856	55
29	110	36	12,4	31,62	169,14	63
30	110	42	11,7	29,84	150,58	71
31	6,3	5	8,4	21,42	77,62	4
32	6,3	1,8	7,6	19,38	63,54	5
33	6,3	2,6	9,2	23,46	93,1	6
34	6,3	3,2	10,3	26,27	116,7	4,4
35	6,3	3,8	11,5	29,33	145,48	5,5
36	6,3	4,0	12,8	32,64	180,22	6
37	6,3	4,4	13,4	34,17	197,52	4,5
38	10,5	5,8	10,7	27,29	125,94	5,3
39	10,5	6,4	11,2	28,56	137,98	4,2
40	10,5	7,6	12,4	31,62	169,14	4,7
41	10,5	8,1	13,1	33,41	188,77	3,5
42	10,5	8,8	13,8	35,19	209,48	3,8
43	10,5	11	14,7	37,49	237,7	4,7
44	10,5	12,5	15,2	38,76	254,14	3
45	10,5	14,6	16,3	41,57	292,26	3,7
46	35	6,5	8,7	22,19	83,26	44
47	35	9,4	9,4	23,97	97,2	48

Продовження табл. 5.3

№ вар.	U _{ном} кВ	S _{нав} МВА	I _{по} ⁽³⁾ кА	i _{уд} кА	B _к кА ² *с	l м
48	35	10	9,9	25,25	107,8	52
49	35	10,5	10,6	27,03	123,6	56
50	35	12,6	11,7	29,84	150,58	58
51	35	13,4	12,5	31,88	171,88	42
52	35	13,7	13,3	33,92	194,58	47
53	35	14	14,93	38,0	244,2	55
54	35	14,6	15,6	39,78	267,7	40
55	110	35	12,7	32,39	177,42	60
56	110	38	13,2	33,66	191,66	64
57	110	42	13,9	35,45	212,53	70
58	110	44	14,4	36,72	228,1	74
59	110	47	15,3	38,95	257,5	78
60	110	50	16,7	42,51	306,78	80
61	6,3	0,88	8,4	21,42	77,62	4
62	6,3	1,2	7,6	19,38	63,54	5
63	6,3	1,7	9,2	23,46	93,1	6
64	6,3	2,3	10,3	26,27	116,7	4,4
65	6,3	2,75	11,5	29,33	145,48	5,5
66	6,3	3,3	12,8	32,64	180,22	6
67	6,3	4,1	13,4	34,17	197,52	4,5
68	6,3	4,9	5,2	11,82	29,74	5
69	6,3	5,4	4,2	9,55	19,404	6
70	10,5	1,4	5,4	10,45	32,076	6
71	10,5	5,1	8,2	15,87	73,964	4
72	10,5	8,3	9,4	18,2	97,196	4,5
73	10,5	12,2	10,6	20,5	123,596	5
74	10,5	15,8	11,7	22,7	150,579	5,5
75	10,5	21,4	12,8	24,8	180,224	6
76	10,5	26,9	13,3	25,75	194,579	4
77	10,5	32,4	13,7	26,52	206,459	4,5
78	10,5	34,8	14,2	27,49	221,8	5
79	35	3,5	5,2	11,82	29,74	55
80	35	3,8	4,2	9,55	19,404	60

Продовження табл. 5.3

81	35	4,5	6,2	14	42,284	45
82	35	5,7	6,4	14,55	45,056	45
83	35	8,2	7,2	16,37	57,024	55
84	35	10,9	8,5	19,33	79,475	55
85	35	10,6	9,4	21,38	97,196	48
86	35	12,2	12,8	29,1	180,224	45
87	35	13,5	14,7	33,42	237,699	56
88	35	13,9	16,4	37,29	295,856	55
89	110	34	13,4	34,17	197,52	63
90	110	40	10,7	27,29	125,94	71
91	110	31	11,2	28,56	137,98	60
92	110	37	12,4	31,62	169,14	64
93	110	41	13,1	33,41	188,77	70
94	110	43	13,8	35,19	209,48	74
95	110	49	14,7	37,49	237,7	78

Методичні вказівки

Трансформатори струму – це однофазні електротехнічні пристрої. Вони можуть з'єднуватися за схемою неповної зірки (два трансформатори) або повної зірки (три трансформатори). Схема неповної зірки застосовується, як заведено, в мережах з ізолюваною нейтральною точкою, тобто в мережах 6...10 кВ; схема повної зірки – у мережах із уземленою чи компенсованою нейтраллю, а також в мережах з ізолюваною нейтральною точкою, якщо є необхідність у вимірах струму в усіх фазах або це пов'язано з умовами роботи релейного захисту.

Трансформатори струму вибирають за класом точності, за схемою з'єднання однофазних трансформаторів струму та за номінальними параметрами (напругою та первинним струмом $I_{1\text{ ном}}$)

$$U_{1\text{ ном}} \geq U_{\text{мережі}} \quad I_{1\text{ ном}} \geq I_{\text{роб}}$$

Якщо до трансформаторів струму приєднуються розрахункові лічильники електроенергії, то клас точності їх повинен бути не нижче 0,5. При виборі номінального струму первинної обмотки $I_{1\text{ ном}}$ слід враховувати можливість перевантаження струмом первинної обмотки трансформаторів струму на 10–20 %.

Трансформатори струму перевіряються на динамічну стійкість до струмів короткого замикання (вбудовані та шинні трансформатори струму за цією умовою не перевіряються)

$$i_{\text{дин}} \geq i_y \quad \text{або} \quad \sqrt{2} \cdot I_{1 \text{ ном}} \cdot k_{\text{дин}} \geq i_y$$

де $I_{1 \text{ ном}}$ – номінальний струм первинної обмотки ТА;

$i_{\text{дин}}$ – струм динамічної стійкості ТА;

$k_{\text{дин}}$ – кратність струму динамічної стійкості;

i_y – розрахункове значення ударного струму.

Трансформатори струму перевіряються на термічну стійкість до струмів короткого замикання

$$I_t^2 \cdot t_t \geq B_k \quad \text{або} \quad (I_{1 \text{ ном}} \cdot k_t)^2 \cdot t_t \geq B_k$$

де k_t – кратність струму термічної стійкості.

Нарешті трансформатори струму перевіряються за умов роботи у заданому класі точності

$$z_{2 \text{ ном}} \geq z_{2 \text{ р}}$$

де $z_{2 \text{ ном}}$ – номінальний опір вторинного кола ТА, що відповідає його роботі у заданому класі точності;

$z_{2 \text{ р}}$ – розрахунковий опір вторинного кола ТА.

Слід зауважити, що вибраний для даного ТА клас точності його роботи забезпечується при виконанні двох умов: $z_{2 \text{ ном}} \geq z_{2 \text{ р}}$ і якщо $(I_1 / I_{1 \text{ ном}}) \cdot 100\%$ знаходиться в діапазоні 100 – 120 % для класу точності до 1,0 включно.

Розрахунковий опір ТА $z_{2 \text{ р}}$ складається з опору вимірювальних приладів $z_{\text{прил}}$, опору проводів $z_{\text{пр}}$ і опору контактів $z_{\text{к}}$

$$z_{2 \text{ р}} = z_{\text{прил}} + z_{\text{пр}} + z_{\text{к}}$$

Як звичайно, навантаження котушок приладів вказується у вольтах на амперах [В·А], тому опір приладів максимально завантаженої фази обчислюється за формулою

$$z_{\text{прил}} = \frac{\sum S_{\text{прил}}}{I_{2 \text{ ном}}^2}$$

де $I_{2 \text{ ном}}$ – номінальний струм вторинної обмотки.

При кількості приладів, що приєднані до вторинної обмотки ТА, понад три приймають $z_k = 0,1$ Ом, при кількості три і менше $z_k = 0,05$ Ом. Максимальний опір проводів, які з'єднують ТА з приладами при роботі його в заданому класі точності

$$Z_{\text{пр}} = Z_{2 \text{ ном}} - Z_{\text{прил}} - Z_k$$

Найменший переріз проводів, що задовольняє умові роботи ТА в потрібному класі точності, повинен бути

$$S = \frac{\rho \cdot l_p}{Z_{\text{пр}}}$$

де ρ – питомий опір алюмінію, $\rho = 0,028$ Ом·мм²/м;

l_p – розрахункова довжина проводу.

Розрахункова довжина проводу для схеми повної зірки $l_p = l$, а для схеми неповної зірки $l_p = \sqrt{3} \cdot l$ (l – довжина траси). Переріз проводів, обчислений за останньою формулою, заокруглюється до найближчого більшого стандартного перерізу жил контрольних кабелів, а саме 1,5; 2,5; 4; 6. Але ці кабелі повинні відповідати вимогам механічної стійкості (міцності). Через це переріз алюмінієвих проводів при наявності в колі лічильників має бути не меншим від 4 мм², а мідних проводів не меншим 2,5 мм². У разі відсутності лічильників найменшим перерізом за умовою механічної стійкості для мідних проводів може бути 1,5 мм², а для алюмінієвих – 2,5 мм².

Задача №4

Вибрати вимірювальні трансформатори напруги для розподільного пристрою напругою $U_{\text{ном}}$, виконаного за схемою з однією системою збірних шин і двома секціями. Від кожної відходить n кабельних ліній до споживачів. До трансформаторів напруги приєднуються такі вимірювальні прилади: на секції збірних шин – вольтметр ($S_2 = 2 \text{ ВА}$ $\cos\varphi = 1$), на ввіді секції – ватметр ($S_2 = 2 \text{ ВА}$ $\cos\varphi = 1$), лічильник активної енергії ($P_2=6 \text{ Вт}$ $\cos\varphi = 0,38$ $\sin\varphi=0,925$), лічильник реактивної енергії ($P_2=6 \text{ Вт}$ $\cos\varphi = 0,38$ $\sin\varphi=0,925$), на приєднанні кожної кабельної лінії – лічильник активної та реактивної енергії.

Вихідні дані прийняти за таблицею 5.4 згідно з двома останніми цифрами номера залікової книжки.

Методичні вказівки

Трансформатор напруги (TV) призначений для зниження напруги до стандартної величини 100 або 100/3 В та для відокремлення кіл вимірювання та релейного захисту від первинних кіл високої напруги.

Трансформатори напруги (TV) виготовляються різних типів на різні класи напруг. Вони можуть бути одно – (НОЛ, НОМ) та трифазними (НТМИ, НАМИ); мати обидва лінійні вводи розраховані на лінійну напругу (НОМ, НОЛ) або один (ЗНОМ, ЗНОЛ). У зв'язку з цим TV вибирають: за призначенням; конструктивним виконанням; за схемою з'єднання між собою; за класом точності; за номінальною напругою первинної обмотки

$$U_{1 \text{ ном}} \geq U_{\text{мережі}}$$

Перевіряються трансформатори напруги лише за умовою роботи у заданому класі точності

$$S_{2 \text{ ном}} \geq S_{2 \text{ р}}$$

Через те що схема з'єднання обмоток TV і котушок напруги приладів розрізняються, при визначенні $S_{2 \text{ р}}$ обчислюють сумарне трифазне навантаження від паралельних котушок усіх приладів

$$S_{2 \text{ р}} = \sqrt{\sum P_2^2 + \sum Q_2^2}$$

де $\sum P_2, \sum Q_2$ - сумарне значення відповідно активної та реактивної потужності електроенергії, яка споживається приладами секції.

Значення $S_{2 \text{ р}}$ порівнюється з номінальною потужністю TV $S_{2 \text{ ном}}$ у класі точності 0,5 при наявності розрахункових лічильників електроенергії.

За $S_{2 \text{ ном}}$ приймають потроєну номінальну потужність однофазного TV при їх з'єднанні за схемою зірки, подвоєну потужність при їх з'єднанні за схемою неповного трикутника та номінальну потужність трифазного TV.

Якщо $S_{2 \text{ р}}$ більша за $S_{2 \text{ ном}}$ у вибраному класі точності, то частину приладів приєднують до додатково встановлюваних аналогічних TV.

Таблиця 5.4 – Вихідні дані для задачі №4

№	U_H	n	№	U_H	n	№	U_H	n	№	U_H	n
1	6,3	3	26	10	15	51	10	28	76	6,3	8
2	10	3	27	10	16	52	6,3	28	77	10	9
3	6,3	4	28	6,3	16	53	10	29	78	6,3	9
4	10	4	29	10	17	54	6,3	29	79	10	10
5	6,3	5	30	6,3	17	55	10	30	80	6,3	10
6	10	5	31	10	18	56	6,3	30	81	10	11
7	6,3	6	32	6,3	18	57	10	31	82	6,3	11
8	10	6	33	10	19	58	6,3	31	83	10	12
9	6,3	7	34	6,3	19	59	10	32	84	6,3	12
10	10	7	35	10	20	60	6,3	32	85	10	13
11	6,3	8	36	6,3	20	61	10	33	86	6,3	13
12	10	8	37	10	21	62	6,3	33	87	10	14
13	6,3	9	38	6,3	21	63	10	2	88	6,3	14
14	10	9	39	10	22	64	6,3	2	89	10	15
15	6,3	10	40	6,3	22	65	10	3	90	6,3	15
16	10	10	41	10	23	66	6,3	3	91	10	16
17	6,3	11	42	6,3	23	67	10	4	92	6,3	16
18	10	11	43	10	24	68	6,3	4	93	10	17
19	6,3	12	44	6,3	24	69	10	5	94	6,3	17
20	10	12	45	10	25	70	6,3	5	95	10	18
21	6,3	13	46	6,3	25	71	10	6	96	6,3	18
22	10	13	47	10	26	72	6,3	6	97	10	19
23	6,3	14	48	6,3	26	73	10	7	98	6,3	19
24	10	14	59	10	27	74	6,3	7	99	10	20
25	6,3	15	50	6,3	27	75	10	8	100	6,3	20

Задача №5

Вибрати вимикач та роз'єднувач, якщо навантаження на напрузі $U_{\text{мер}}$ складає $S_{\text{НАВ}}$, а розрахункові струми короткого замикання у місці встановлення апаратів такі: $I_{\text{по}}$, $I_{\text{пт}}$, i_y , $i_{\text{ат}}$, B_k . Вихідні дані прийняти за таблицею 5.5 згідно з двома останніми цифрами номера залікової книжки.

Таблиця 5.5 – Вихідні дані для задачі №5

№ вар.	U _{мер.} кВ	S _{нав} МВА	I _{по} ⁽³⁾ кА	I _{пт} ⁽³⁾ кА	i _{ат} кА	i _{уд} кА	B _к кА ^{2*с}
1	6,3	7,5	6,18	6,01	1,47	15,77	152,77
2	10,5	7,5	11,5	10,8	2,3	29,33	529
3	13,8	97	18,2	17,5	4,8	46,41	1324,96
4	15,75	50	27,4	23,1	12,7	74,78	3003,04
5	18	176,5	43,6	41,5	24,5	118,37	7603,84
6	20	353	58,7	52,1	41,5	161,85	13782,76
7	35	3	12,4	12,4	3,2	31,56	307,52
8	110	25	14,7	14,7	5,1	37,41	432,18
9	150	45	11,7	11,7	4,2	29,78	273,78
10	220	100	17,1	17,1	3,5	43,52	584,82
11	330	270	21,3	21,3	7,2	54,21	907,38
12	6,3	15	13,45	13,1	2,54	34,3	723,61
13	10,5	15	11,9	10,1	5,3	32,81	566,44
14	13,8	68	41,9	38,1	28,4	115,53	7022,44
15	15,75	180	43,9	40,4	32,5	121,05	7708,84
16	18	188	45,5	41,3	34,6	125,46	8281
17	20	588	52,7	48,7	43,1	145,31	11109,16
18	35	4	12,2	12,2	4,1	31,05	297,68
19	110	28	13,4	13,4	3,5	34,11	359,12
20	150	48	14,6	14,6	2,7	37,16	426,32
21	220	110	15,4	15,4	4,3	39,196	474,32
22	330	300	16,8	16,8	4,6	42,759	564,48
23	6,3	37,5	36,03	35,1	12,2	91,88	5193
24	10,5	37,5	40,3	37,7	28,4	111,12	6496,36
25	13,8	75	42,7	39,6	27,7	117,74	7293,16
26	15,75	190	43,5	41,1	23,8	119,94	7569
27	18	235,3	43,9	40,8	25,1	121,05	7708,84
28	20	375	44,3	41,5	37,1	122,15	7849,96
29	35	5	16,3	16,3	5,1	41,49	531,38
30	110	30	16,4	16,4	7,2	41,74	537,92
31	150	50	16,6	16,6	3,52	42,25	551,12
32	220	120	16,7	16,7	4,24	42,504	557,78
33	330	340	16,8	16,8	2,83	42,76	564,48

Продовження табл. 5.5

№ вар.	U _{мер.} кВ	S _{нав} МВА	I _{по} ⁽³⁾ кА	I _{пт} ⁽³⁾ кА	i _{ат} кА	i _{уд} кА	B _к кА ^{2*с}
34	6,3	62,5	27,9	26,1	16,5	76,93	3113,64
35	10,5	62,5	28,3	25,2	18,1	78,03	3203,56
36	13,8	71,5	28,7	25,9	17,7	79,13	3294,76
37	15,75	206	36,7	32,4	23,6	101,19	5387,56
38	18	176,5	37,1	31,4	27,1	102,3	5505,64
39	20	353	37,5	32,5	26,8	103,4	5625
40	35	7	17,2	17,2	4,5	43,77	591,68
41	110	32	17,3	17,3	3,6	44,03	598,58
42	150	54	17,4	17,4	5,1	44,29	605,52
43	220	160	18,1	18,1	4,1	46,07	655,22
44	330	370	18,2	18,2	4,4	46,324	662,48
45	6,3	75	40,3	36,8	24,6	111,12	6496,36
46	10,5	75	40,7	37,6	31,5	112,22	6625,96
47	13,8	75,3	41,9	36,8	33,3	115,53	7022,44
48	15,75	235	42,3	37,7	30,5	116,63	7157,16
49	18	188	42,7	38,1	28,8	117,74	7293,16
50	20	588	45,9	42,1	34,5	126,56	8427,24
51	35	8	17,1	17,1	2,4	43,52	584,82
52	110	35	17,2	17,2	3,1	43,78	591,68
53	150	58	17,3	17,3	2,7	44,03	598,58
54	220	180	17,4	17,4	3,3	44,29	605,52
55	330	390	17,5	17,5	3,2	44,54	612,5
56	6,3	11	37,1	32,8	28,8	102,3	5505,64
57	10,5	12,5	37,5	33,1	27,8	103,4	5625
58	13,8	78,8	37,9	32,9	27,5	104,5	5745,64
59	15,75	306	38,3	34,1	29,1	105,6	5867,56
60	18	235,3	38,7	34,3	29,3	106,71	5990,76
61	20	375	39,1	35,1	30,2	107,81	6115,24
62	35	10	19,1	19,1	4,25	48,61	729,62
63	110	40	19,2	19,2	4,1	48,87	737,28
64	150	64	19,3	19,3	3,75	49,12	744,98
65	220	190	19,4	19,4	2,9	49,38	752,72
66	330	400	19,5	19,5	3,3	49,63	760,5

Продовження табл. 5.5

№ вар.	U _{мер.} кВ	S _{нав} МВА	I _{по} (3) кА	I _{пт} (3) кА	i _{ат} кА	i _{уд} кА	B _к кА ² *с
№ вар.	U _{мер.} кВ	S _{нав} МВА	I _{по} ⁽³⁾ кА	I _{пт} ⁽³⁾ кА	i _{ат} кА	i _{уд} кА	B _к кА ² *с
67	6,3	78,75	35,1	32,1	27,1	96,78	4928,04
68	10,5	78,75	35,5	32,4	27,3	97,88	5041
69	13,8	85,5	35,9	33,1	26,8	98,99	5155,24
70	15,75	353	36,3	33,7	25,6	100,09	5270,76
71	18	176,5	36,7	33,8	24,3	101,19	5387,56
72	20	353	44,7	40,1	38,9	123,25	7992,36
73	35	15	15,1	15,1	3,1	38,43	456,02
74	110	42	15,2	15,2	3,4	38,69	462,08
75	150	70	15,3	15,3	3,15	38,94	468,18
76	220	200	15,4	15,4	2,8	39,196	474,32
77	330	410	15,5	15,5	2,75	39,45	480,5
78	6,3	8,25	41,1	38,1	27,1	113,33	6756,84
79	10,5	50	41,5	38,3	27,3	114,43	6889
80	13,8	100	41,9	37,8	26,1	115,53	7022,44
81	15,75	206	42,3	38,1	25,5	116,63	7157,16
82	18	188	42,7	37,1	24,1	117,74	7293,16
83	20	588	43,1	37,6	24,7	118,84	7430,44
84	35	20	14,4	14,4	4,1	36,65	414,72
85	110	45	14,5	14,5	3,9	36,91	420,5
86	150	72	14,6	14,6	3,6	37,16	426,32
87	220	150	14,7	14,7	3,2	37,41	432,18
88	330	360	14,8	14,8	3,5	37,67	438,08
89	6,3	5,63	44,3	41,3	30,5	122,15	7849,96
90	10,5	20,6	44,7	42,1	31,2	123,25	7992,36
91	13,8	127,8	45,1	42,2	31,3	124,35	8136,04
92	15,75	590	45,5	41,9	31,6	125,46	8281
93	18	235,3	45,9	42,3	31,7	126,56	8427,24
94	20	375	46,3	42,7	33,3	127,66	8574,76
95	35	30	12,1	12,1	4,1	30,797	292,82

Методичні вказівки

Вимикачі вибирають за номінальними значеннями напруги та струму, родом установки, умовами роботи та конструктивним виконанням.

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мережі}}$$

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{роб. макс.}}$$

Вибрані вимикачі перевіряють на вимикальну здатність та на електродинамічну та термічну стійкість при наскрізних струмах короткого замикання.

Вимикальна здатність вимикача за ГОСТ 687-78*Е задається номінальним струмом відмикання $I_{\text{ном. відм.}}$ (діюче значення періодичної складової струму короткого замикання) та номінальним вмістом аперіодичної складової струму $\beta_{\text{ном}}$,%. Номінальний струм відмикання $I_{\text{ном. відм.}}$ та $\beta_{\text{ном}}$ віднесені до моменту розмикання дугогасних контактів (момент часу τ). Час τ від початку короткого замикання до розмикання дугогасних контактів визначається за формулою

$$\tau = t_{\text{рз min}} + t_{\text{ВЛАС}}$$

де $t_{\text{рз min}} = 0,01$ с – мінімальний час дії релейного захисту;

$t_{\text{ВЛАС}}$ – власний час вимикання вимикача (каталожні дані).

Номінальний вміст аперіодичної складової $\beta_{\text{ном}}$ %, який визначається, як відношення аперіодичної складової до діючого значення періодичної складової струму короткого замикання у момент розходження дугогасних контактів вимикача, знаходиться за формулою

$$\beta_{\text{ном}} = \frac{i_{a \text{ ном}}}{\sqrt{2} I_{\text{ном. роз}}} \cdot 100\%$$

При перевірці вимикача на вимикальну здатність повинні виконуватися такі умови

$$I_{\text{ном. роз}} \geq I_{\text{пт}}$$

$$i_{a \text{ ном}} \geq i_{a \text{т}}$$

де $i_{a \text{т ном}} = \sqrt{2} I_{\text{ном. роз}} \beta_{\text{ном}} / 100$ – номінальне значення аперіодичної складової струму вимикання.

Якщо друга вимога не виконується, то слід перевірити можливість вимикання повного струму короткого замикання

$$\sqrt{2} I_{\text{ном. роз}} (1 + \beta_{\text{ном}} / 100) \geq \sqrt{2} I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}}$$

Перевірка вимикача на електродинамічну стійкість до наскрізних струмів короткого замикання виконується за такими формулами

$$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{п0}} \qquad i_{\text{дин}} \geq i_y$$

а на термічну стійкість

$$I^2 t_t \geq B_K$$

де $I_{\text{дин}}$, $i_{\text{дин}}$ – відповідно діюче та миттєве значення струму електродинамічної стійкості;

I_t , t_t – відповідно струм термічної стійкості та час його протікання.

Роз'єднувачі та віддільники вибирають за конструктивним виконанням, родом установки (внутрішня, зовнішня) , за номінальною напругою та номінальним струмом

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мережі}} \qquad I_{\text{ном}} \geq I_{\text{роб. макс.}}$$

Вони теж перевіряються на електродинамічну та термічну стійкість до струмів короткого замикання

$$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{п0}}$$

$$i_{\text{дин}} \geq i_y$$

$$I^2 t_t \geq B_K$$

6 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна література

1. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс. - М.: Энергоатомиздат, 1988.-720с.
2. Електричні апарати: підручник / [Бржезицький В.О., Зелінський В.Ц., Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є.]. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. – 602 с.
3. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1987.-648 с.
4. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: навчальний посібник. – Харків: Вид-во «Точка», 2012. – 340 с.

Додаткова література

5. Козлов В.Д. Електричні апарати. Модуль 1. Загальні питання електричних апаратів: Посібник – К.: НАУ, 2005. – 92 с.
6. Козлов В.Д., Соломаха М.І. Електричні апарати. Модуль 2. Комутаційні апарати низької та середньої напруги: Посібник – К.: НАУ, 2006. – 84 с.
7. Козлов В.Д., Єнчев С.В. Електричні апарати. Модуль 3. Вимірювальні, контролювальні та захисні апарати: Посібник. – К.: НАУ, 2007. – 72 с.
8. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Електричні апарати" для підготовки бакалаврів усіх форм навчання за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з навчанням за освітніми програмами "Енергетичний менеджмент" та "Електротехнічні системи електроспоживання" /Укл. О.М. Климко, С.Є. Малишко. Запоріжжя: ЗНТУ, 2019.- 54 с.
9. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Електричні апарати" для студентів спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" усіх форм навчання /Укл. О.М.Климко – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020 – 58 с.