

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тарасенко М. Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«__» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Хабаль Анетти Юріївни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Реконструкція головної схеми електричних з'єднань ТП 110/10/6 кВ

Керівник роботи Костик Любов Миколаївна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «01» лютого 2022 року № 4/7-76

2. Термін подання студентом завершеної роботи червень 2022 року

3. Вихідні дані до роботи Сумарне навантаження

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Головна схема електричних з'єднань 1л. ф – А1

2. Розріз та план приєднання лінії 1л. ф – А1

3. ВРП 110 кВ 1л. ф – А1

4. РЗ силового трансформатора 1л. ф – А1

5. 1л. ф – А1

6. 1л. ф – А1

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|-------------------|---------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Безпека життєдіяльності та основи охорони праці | Гурик О. Я., к.т.н., доцент кафедри МТ | | |
| Нормоконтроль | Вакуленко О. О., ст. викладач кафедри ЕІ | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання _____ 2022 року _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|--------------------------------|----------|
| 1 | Вступ | 15.03.2022 | |
| 2 | Аналітичний розділ | 28.03.2022 | |
| 3 | Проектно-конструкторський розділ | 31.04.2022 | |
| 4 | Розрахунковий розділ | 30.05.2022 | |
| 5 | Безпека життєдіяльності та основи охорони праці | 01.06.2022 | |
| 6 | Загальні висновки | 03.06.2022 | |
| 7 | Оформлення пояснювальної записки | 05.06.2022 | |
| 8 | Оформлення графічної частини | 06.06.2022 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент

_____ (підпис)

Хабаль А.Ю.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Костик Л.М.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс–41. - Т. : ТНТУ, 2022.

Стор. 64; рис. 3; табл. 24; креслень 6; джерел 11; додатків 2.

Робота бакалавра виконана згідно завдання на тему: «Реконструкція головної схеми електричних з'єднань ТП 110/10/6 кВ».

Метою дипломної роботи є реконструкція головної схеми електричних з'єднань ТП 110/10/6 кВ.

Проведено класифікацію електричних апаратів, розглянуто основне електричне обладнання електричних станцій та підстанцій, види електричних схем. Здійснено постановку задач. Проведено вибір головної схеми електричних з'єднань РП. РП 110 кВ ПС виконано за схемою “Дві робочі системи шин”. Проведено розрахунок КЗ. Проведено вибір і перевірку ЕА в ВРП-110 кВ, КРП-10 кВ, КРП-6 кВ, а саме: трансформаторів напруги, трансформаторів струму, роз'єднувачів, автоматичних вимикачів. Проведено вибір струмоведучих частин підстанції: вибір збірних шин РП 110 кВ підстанції, вибір та перевірку ошиновки на низькій стороні силового трансформатора 10 кВ та 6 кВ. Розглянуто питання релейного захисту триобмоткового силового трансформатора 110/10/6 кВ. Розглянуто питання безпеки життєдіяльності та основ охорони праці.

Ключові слова: ГОЛОВНА СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ, РЕКОНСТРУКЦІЯ, ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 6 |
| 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ | 7 |
| 1.1 Класифікація електричних апаратів..... | 7 |
| 1.2 Основне електричне обладнання електричних станцій та підстанцій..... | 10 |
| 1.3 Види електричних схем..... | 10 |
| 1.4 Постановка задач | 14 |
| 2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ | 15 |
| 2.1 Початкові дані..... | 15 |
| 2.2 Вибір головної схеми електричних з'єднань РП..... | 16 |
| 2.3 Розрахунок параметрів усіх елементів СЗ..... | 16 |
| 2.4 Розрахунок однофазного КЗ в точці $K1$ | 20 |
| 2.5 Розрахунок трифазного КЗ в точці $K2$ | 23 |
| 2.6 Розрахунок двофазного КЗ в точці $K2$ | 25 |
| 2.7 Розрахунок трифазного КЗ в точці $K3$ | 26 |
| 2.8 Розрахунок двофазного КЗ в точці $K3$ | 28 |
| 2.9 Висновки до Розділу 2..... | 30 |
| 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ..... | 31 |
| 3.1 Вибір та перевірка ЕА..... | 31 |
| 3.1.1 Вибір та перевірка вимикачів..... | 31 |
| 3.1.2 Вибір та перевірка ЕА в ВРП 110 кВ | 33 |
| 3.1.2.1 Вибір та перевірка трансформаторів напруги..... | 33 |
| 3.1.2.2 Вибір та перевірка ТС..... | 35 |
| 3.1.2.3 Вибір і перевірка роз'єднувачів..... | 37 |
| 3.1.2.4 Вибір автоматичних вимикачів..... | 37 |
| 3.1.3 Вибір та перевірка ЕА в КРП 10 кВ | 41 |
| 3.1.3.1 Вибір та перевірка ТН..... | 41 |

| | |
|--|----|
| 3.1.3.2 Вибір і перевірка ТС..... | 42 |
| 3.1.3.3 Вибір автоматичних вимикачів..... | 44 |
| 3.1.4 Вибір і перевірка апаратів в КРП 6 кВ | 47 |
| 3.1.4.1 Вибір та перевірка ТН..... | 47 |
| 3.1.4.2 Вибір та перевірка ТС..... | 48 |
| 3.1.4.3 Вибір автоматичних вимикачів..... | 50 |
| 3.2 Вибір струмоведучих частин ПС..... | 53 |
| 3.2.1 Вибір збірних шин РП 110 кВ ПС..... | 53 |
| 3.2.2 Вибір та перевірка ошиновки на НН силового трансформатора 10 кВ | 53 |
| 3.2.3 Вибір та перевірка ошиновки на НН силового трансформатора 6 кВ | 53 |
| 3.3 РЗ триобмоткового силового трансформатора 110/10/6 кВ | 54 |
| 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ..... | 55 |
| 4.1 Електробезпека..... | 55 |
| 4.2 Технічна безпека..... | 59 |
| 4.3 Методи захисту від дії електромагнітного випромінювання..... | 59 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 62 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ | 63 |
| ДОДАТКИ..... | 1 |
| Додаток А. Вибір збірних шин РП 110 кВ ПС..... | 2 |
| Додаток Б. РЗ триобмоткового силового трансформатора 110/10/6 кВ | 5 |

ВСТУП

Експлуатація застарілого обладнання потребує його модернізації.

Реконструкція може знадобитись таким видам трансформаторних підстанцій, як комплектні, що переважно встановлюють в сільській місцевості. Проводять модернізацію вбудованих установок блочного типу, притаманних для міст, які використовуються для електропостачання об'єктів виробничого призначення, мереж торгівлі тощо. Реконструкції також можуть потребувати розподільчі пристрої.

Підстанція розподіляє електроенергію між споживачами, знижуючи або підвищуючи напругу змінного струму в мережі. У процесі реконструкції надається можливість впровадження сучасного обладнання, використовується елегаз. Збільшуючи навантаження обладнання, вдається задовольнити потреби великих промислових підприємств та населення щодо збільшення енергоспоживання.

Оснащення трансформаторної підстанції складається із силового трансформатора, трьох основних систем: контроль, управління, безпека. До складу входить відкритий або закритий розподільний пристрій та інші пристрої та конструкції.

Важко переоцінити вигоду від реконструкції чинних ТП. Заміна застарілого обладнання дає змогу збільшити продуктивність більшої кількості систем:

- дозволяє підключення додаткових електроспоживачів енергії;
- сприяє безперебійному постачанню електроспоживачів незалежно від їхньої категорії по надійності;
- дає змогу комплексно автоматизувати системи релейної автоматики, захисної системи, що сприяє якісному обліку комерційних енерговитрат, моніторингу контролю, діагностики і оцінки справності обладнання.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Класифікація електричних апаратів

Значне коло електротехнічних пристроїв охоплюється електричними апаратами (ЕА). До електротехнічних апаратів можна віднести пристрої, які використовуються для вимикання та вмикання електричних кіл, вимірювання, контролю, керування та захисту установками, призначення яких є передача, перетворення, розподіл і споживання електричної енергії. [1]

Класифікацію ЕА можна здійснювати за різними ознаками [1]:

- сферою використання;
- призначенням;
- видом струму;
- принципом дії;
- способом керування;
- величиною напруги;
- конструктивними особливостями.

Проте, різноманітність ЕА і функції, що ними виконуються, а також поєднання у одному ЕА декількох функцій не дає змоги здійснити точної їх класифікації.

Розглянемо детальніше класифікацію ЕА за призначенням. За такою класифікацією ЕА можна віднести до таких груп [1]:

- Пускорегулювальні апарати;
- Комутаційні апарати;
- Апарати контролю;
- Захисні апарати;
- Регулювальні апарати;
- Вимірювальні апарати.

Розглянемо детально кожен групу.

Пускорегулювальні апарати (ПРА) – це ЕА, які запускають електричні машини, а також інші споживачі електроенергії та здійснюють керування ними.

ЕА даної групи характеризуються:

- значною кількістю вмикань;
- значною кількістю вимикань.

До ПРА можна віднести: пускачі, контактори, командні і силові контролери, резистори і реостати. ЕА даної групи бувають як автоматичними так і неавтоматичними.

Неавтоматичними ЕА керування здійснює оператор. Даними апаратами керують дистанційно або ж безпосередньо.

Автоматичні ЕА запускають заданий режим роботи машини або електричного кола.

Комутаційні апарати (КА) – це ЕА, які вимикають або вмикають електричні мережі (ЕМ). ЕА даної групи характеризуються низькою інтенсивністю спрацьовувань.

КА поділяються на:

- низьковольтні (до 1 кВ);
- високовольтні (вище як 1 кВ).

До низьковольтних КА відносяться:

- повітряні автоматичні вимикачі;
- пакетні вимикачі;
- кнопки керування.

До високовольтних КА відносяться:

- відокремлювачі;
- роз'єднувачі;
- вимикачі навантаження;
- короткозамикачі;
- силові вимикачі.

Апарати контролю (АК) – це ЕА, які здійснюють контроль заданих електричних та неелектричних параметрів.

До даної групи електричних апаратів можна віднести:

- найрізноманітніші реле;
- датчики.

Датчики здійснюють перетворення зміни певної контрольованої величини у відповідний змінюваний електричний сигнал.

Для усіх реле характерна східчаста зміна вихідної величини за плавної зміни вхідної величини.

Захисні апарати (ЗА) – це ЕА, які здійснюють захист ЕМ струму від КЗ, перенапруг та електричних перевантажень [11]. ЗА є запобіжники, що можна поділити на:

- низьковольтні;
- високовольтні.

Реактори обмежують струм короткого замикання. Розрядники обмежують перенапруги.

Регулювальні апарати (РА) – це ЕА, які здійснюють регулювання певного параметру за певним законом. До РА можна віднести:

- регулятори напруги;
- регулятори струму;
- регулятори температури;
- регулятори частоти;
- регулятори швидкості.

Вимірювальні апарати (ВА) – це ЕА, які здійснюють перетворення первинного вимірюваного параметру на стандартний, який є зручним для подальшого опрацювання. Також ВА ізолюють силові мережі від допоміжних мереж.

До ВА можна віднести:

- трансформатори напруги;
- трансформатори струму;
- ємнісні ділянки напруги.

1.2 Основне електричне обладнання електричних станцій та підстанцій

До основного електричного обладнання електричних станцій та підстанцій можна віднести [2]:

- вимикачі;
- роз'єднувачі;
- короткозамикачі та відокремлювачі.

Вимикачі поділяються на [2]:

- масляні вимикачі;
- елегазові вимикачі;
- повітряні вимикачі;
- електромагнітні вимикачі;
- вакуумні вимикачі.

Роз'єднувачі поділяються на [2]:

- роз'єднувачі для внутрішньої установки;
- роз'єднувачі для зовнішньої установки.

1.3 Види електричних схем

Проектування трансформаторної підстанції (ТП) або електроустановки починається із обґрунтування та складання структурної схеми ТП. На структурній схемі зображують основні функціональні частини (розподільний пристрій, джерела живлення, компенсаційні пристрої, силові трансформатори, пристрої автоматичного введення резерву (АВР)).[1, 8, 9, 10]

На рисунку 1.1 показано один з варіантів такої структурної схеми. Як приклад показано структурну схему центральної розподільної підстанції. [1]

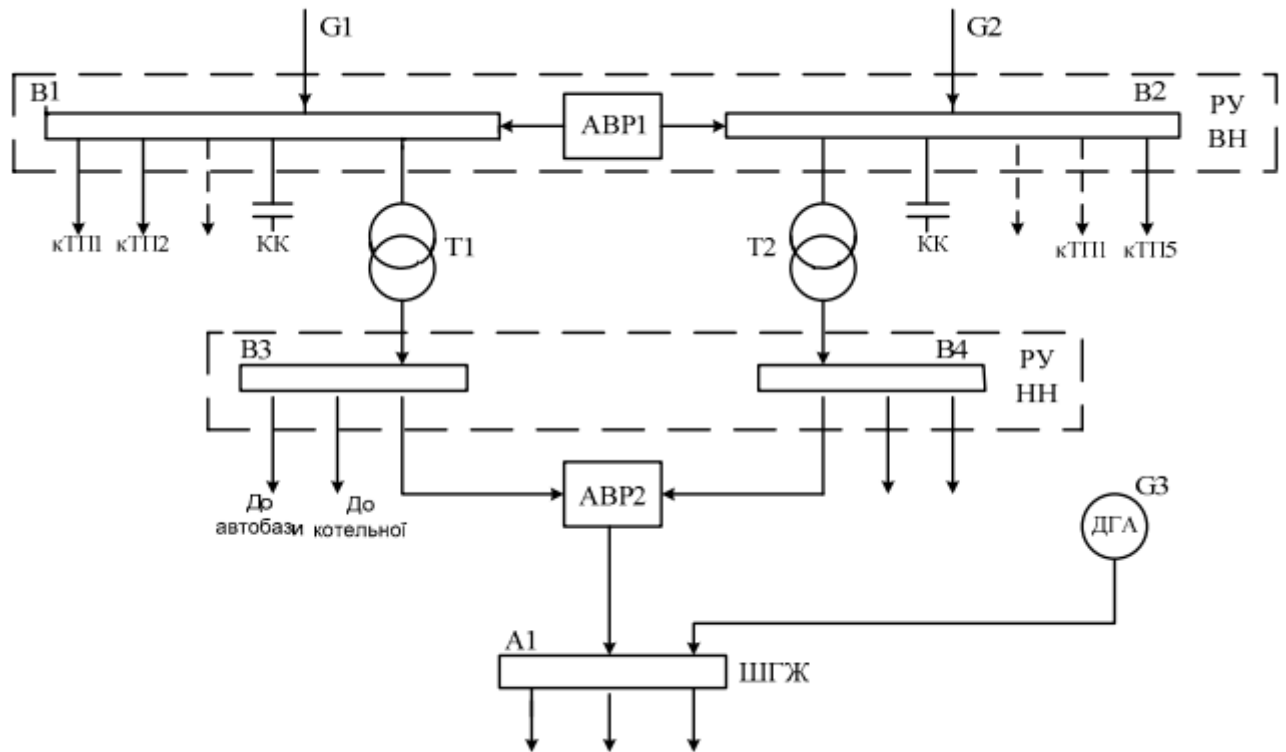


Рисунок 1.1 - Схема центральної розподільної підстанції

Дана схема включає [1]:

- РП високої напруги (РП ВН);
- два централізовані джерела електропостачання $G1$ та $G2$ (6 – 20 кВ).

РП високої напруги складається із двох секцій шин $B1$ та $B2$ із можливістю їх об'єднання за відмови одного із вводів через АВР. Від двох секцій $B1$ та $B2$ відгалуджуються високовольтні кабельні лінії до ТП

Два силових трансформатори $T1$ та $T2$ понижають ВН централізованих вводів до 380 В, що надходить на відповідні шини НН $B3$ та $B4$ РП НН.

Якщо від розподільного пристрою низької напруги передбачається живлення електроприймачів I категорії особливої групи, необхідно встановити резервне (третє) джерело $G3$ та окремі шини гарантованого живлення (ШГЖ) $A1$.

При потребі підвищення $\cos\varphi$ в РП ВН або ж РП НН необхідно встановити косинусні конденсатори.

На основі структурної схеми (рис. 1.1) обґрунтовують види і вибір основних елементів силових (первинних) мереж центральної розподільної підстанції та складають для неї спрощену принципову схему. [1]

Відповідно, на рисунку 1.2 показано приклад такої спрощеної принципової схеми для лівої частини (рисунку 1.1). Для більшої зручності роз'єднувачі на високій стороні показані похилим штрихом. Під кінець проектування електричної частини центральної розподільної підстанції складають повну принципову схему первинних ланцюгів (з'єднань), яка включає розрядники, вимірювальні трансформатори напруги і струму. [1]

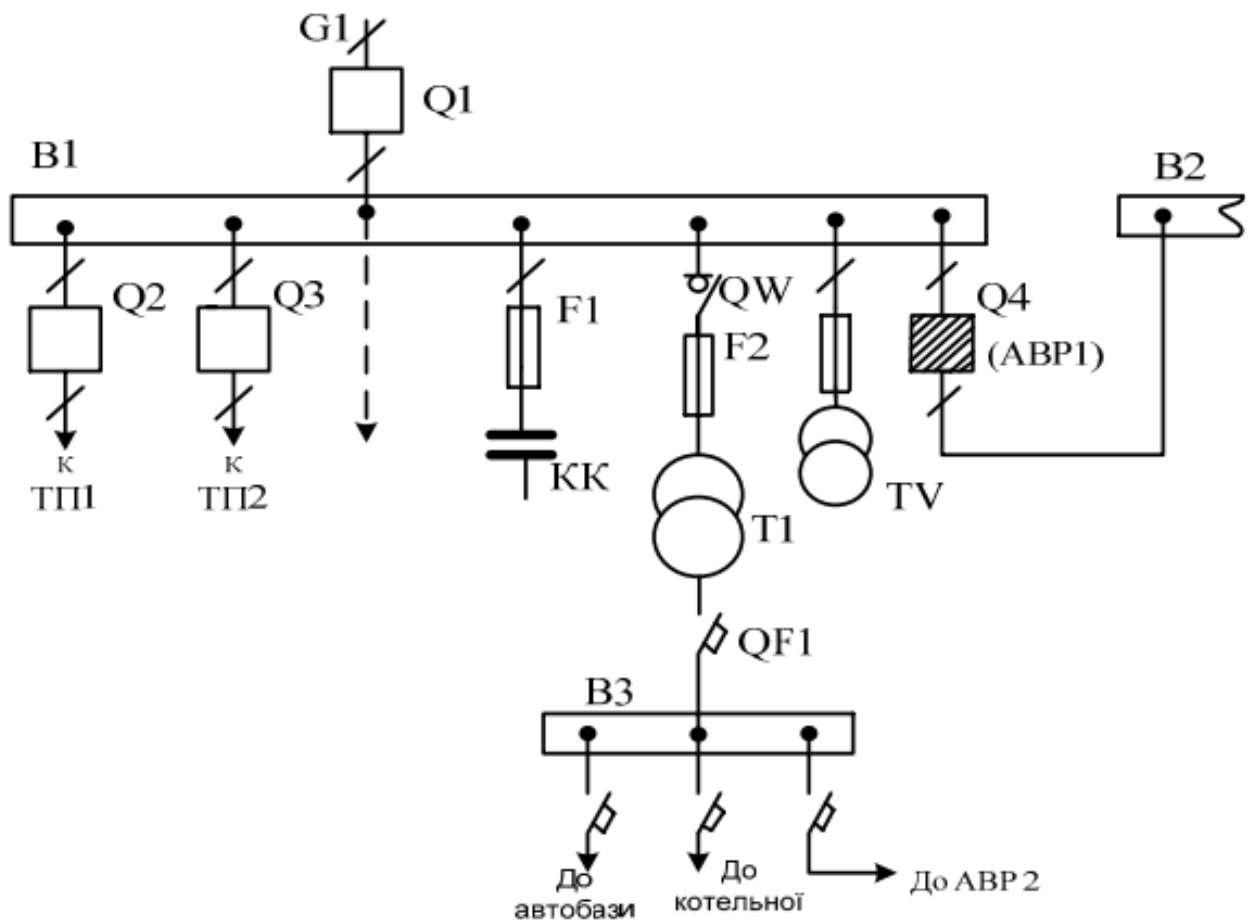


Рисунок 1.2 – Спрощена принципова схема.

Якщо схеми вторинних кіл є нескладними, то їх можна показувати й на повній принциповій схемі. Для відображення складних схем керування, сигналізації чи вимірювання, складають окремі принципові схеми.

Черговість відімкнення фідерів і живлення, що відгалуджуються до збірних шин в розподільчому пристрої на принципових схемах можна зображати у довільному порядку. Для здійснення правильного монтажу і подальшої експлуатації розподільчого пристрою складається схема заповнення розподільчого пристрою, яка враховує взаємне розташування електричного обладнання, умови прокладання кабельних каналів в приміщенні розподільчого пристрою.

Всі елементи на принципових схемах повинні бути виконані в строгій відповідності до правил діючої системи ЄСКД.

В залежності від розміщення на схемах окремих елементів електротехнічних пристроїв розрізняють рознесений та суміщений способи зображення. За поєднаного зображення усі електричні елементи пристрою на схемі розташовані поруч.

На рисунку 1.3, *а* приведено приклад суміщеного зображення обмотки та 4 контактів реле часу РЧ КТ1. [1]

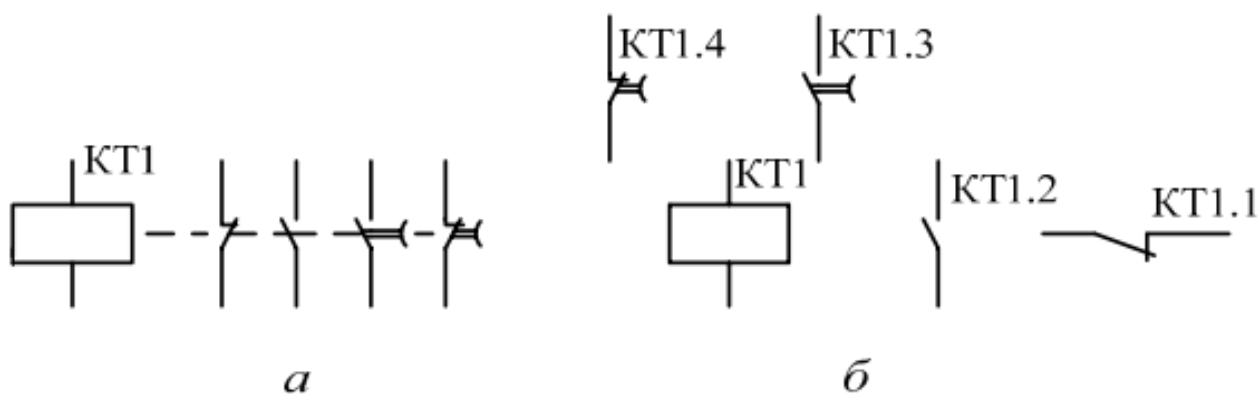


Рисунок 1.3 - Приклад суміщеного зображення обмотки та чотирьох контактів реле часу

1 контакт є розмикальним, 2 – замикальним, 3 – замикальним з затримкою в замиканні та 4 – розмикальний з затримкою в розмиканні.

На рис. 1.3,б показано рознесене зображення контактів такого реле, вони можуть знаходитися у різних частинах даної схеми. Для визначення належності до конкретного реле зверху або праворуч повторюють позначення реле – $KT1$, а через крапку – номер контакту реле. Для приладу, 2 контакт реле $KT1$ позначений як $KT1.2$.

1.4 Постановка задач

1. Провести класифікацію електричних апаратів, розглянути основне електричне обладнання електричних станцій та підстанцій, види електричних схем;
2. Провести вибір головної схеми електричних з'єднань РП;
3. Провести розрахунок КЗ;
4. Провести вибір і перевірку ЕА в ВРП-110 кВ, КРП-10 кВ, КРП-6 кВ;
5. Провести вибір струмоведучих частин підстанції: вибір збірних шин РП 110 кВ підстанції, вибір та перевірку ошиновки на низькій стороні силового трансформатора 10 кВ та 6 кВ;
6. Розглянути питання релейного захисту триобмоткового силового трансформатора 110/10/6 кВ;
7. Розглянути питання безпеки життєдіяльності та основ охорони праці.

2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

2.1 Початкові дані

Сумарне електричне навантаження для споживачів:

$$\dot{S}_H^{110} = P_H + jQ_H = 28,4 + j5,2 \text{ МВА.}$$

Передбачається заміна існуючих силових трансформаторів на більш потужні, тип - ТРДН – 40000/110 У1. Це обумовлено збільшенням електричного навантаження на відхідних лініях трансформаторної підстанції. В табл. 2.1 наведено параметри вибраних силових трансформаторів.

Таблиця 2.1 - Параметри вибраних силових трансформаторів, що підключені до РП 110 кВ.

| Назва параметру | Значення параметру |
|--|--------------------|
| Номінальна повна потужність, $S_{ном}, \text{МВА}$ | 40 МВА |
| Напруга обмотки ВН, $U_{ВН}, \text{кВ}$ | 115 кВ |
| Напруга обмотки НН1, $U_{НН1}, \text{кВ}$ | 10.5 кВ |
| Напруга обмотки НН2, $U_{НН2}, \text{кВ}$ | 6.3 кВ |
| Втрати КЗ, $P_K, \text{кВт}$ | 170 кВт |
| Втрати ХХ, $P_X, \text{кВт}$ | 34 кВт |
| Напруга КЗ: | |
| $U_{КВН}, \%$ | 10.5 % |
| $U_{КНН1}, \%$ | 30 % |
| $U_{КНН2}, \%$ | 20 % |

2.2 Вибір головної схеми електричних з'єднань РП.

РП 110 кВ ПС виконуємо за схемою “Дві робочі системи шин” [3]. При цьому передбачаємо можливість розширення даної схеми у майбутній перспективі для того, щоб можна було приєднати до ПС декілька повітряних ліній 110 кВ.

Схема комутації зображена в графічній частині дипломної роботи.

Для того щоб вибрати електричні апарати та здійснити їх перевірку та перевірку струмоведучих частин ПС потрібно знайти величини струмів КЗ. Для цього на базі схеми комутації складається схема заміщення (СЗ) прямої послідовності, зображену в графічній частині дипломної роботи.

Початкові параметри:

$$S_{\sigma} = 1000 \text{ МВА};$$

$$U_{\sigma 1} = 115 \text{ кВ};$$

$$U_{\sigma 2} = 10,5 \text{ кВ};$$

$$U_{\sigma 3} = 6,3 \text{ кВ}.$$

Знайдемо базисні струми:

$$I_{\sigma 1} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma 1}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА};$$

$$I_{\sigma 2} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma 2}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,99 \text{ кА};$$

$$I_{\sigma 3} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma 3}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,64 \text{ кА}.$$

2.3 Розрахунок параметрів усіх елементів СЗ.

СЗ ПС включає наступні елементи:

- лінії зв'язку з системами:

$$X_3 = X_{noz} l \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}2}^2} = 0,41 \cdot 37,4 \cdot \frac{1000}{115^2} = 1,159;$$

$$r_3 = \frac{l}{\gamma \cdot S} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}2}^2} = \frac{37400}{32 \cdot 300} \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,295;$$

$$X_4 = X_{noz} l \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}2}^2} = 0,41 \cdot 44,3 \cdot \frac{1000}{115^2} = 1,373;$$

$$r_4 = \frac{l}{\gamma \cdot S} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}2}^2} = \frac{44300}{32 \cdot 300} \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,349;$$

- систему:

$$X_1 = X_{c1} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}1}^2} = 11,15 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,843;$$

$$r_1 = r_{c1} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}1}^2} = 1,039 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,079;$$

$$X_2 = X_{c2} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}1}^2} = 13,53 \cdot \frac{1000}{115^2} = 1,023;$$

$$r_2 = r_{c2} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}1}^2} = 0,672 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,051;$$

- опори силових трансформаторів:

$$x_5 = \frac{U_{\kappa} \%}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{n \cdot S_{ном}} \cdot \frac{8}{100} \cdot \frac{1000}{2 \cdot 40} = 1;$$

$$x_6 = \frac{15}{100} \cdot \frac{1000}{2 \cdot 40} = 1,875;$$

$$x_7 = \frac{10}{100} \cdot \frac{1000}{2 \cdot 40} = 1,25;$$

$$r_5 = r_6 = r_7 = \frac{P_{\kappa} \cdot S_{\bar{\sigma}}}{1000 \cdot S_{ном}^2} = \frac{170 \cdot 1000}{1000 \cdot 2 \cdot 40^2} = 0,053 ,$$

де $U_{\kappa 2}$ обмоток:

$$U_{KB} = U_{KBH} - \frac{U_{KH1}}{4} = 10,5 - \frac{30-20}{4} = 8\% ;$$

$$U_{KH1} = \frac{U_{KH1}}{2} = \frac{30}{2} = 15\% ;$$

$$U_{KH2} = \frac{U_{KH2}}{2} = \frac{20}{2} = 10\%$$

Спростимо СЗ відносно точки короткого замикання К1. Отриману згорнуту схему представимо в графічній частині до дипломної роботи.

$$X_8 = X_1 + X_3 = 0,843 + 1,159 = 2,002;$$

$$X_9 = X_2 + X_4 = 1,023 + 1,373 = 2,396;$$

$$X_{1\Sigma K1} = \frac{X_8 \cdot X_9}{X_8 + X_9} = \frac{2,002 \cdot 2,396}{2,002 + 2,396} = 1,091.$$

$$r_8 = r_1 + r_3 = 0,079 + 0,295 = 0,374;$$

$$r_9 = r_2 + r_4 = 0,051 + 0,349 = 0,4;$$

$$r_{1\Sigma K1} = \frac{r_8 \cdot r_9}{r_8 + r_9} = \frac{0,374 \cdot 0,4}{0,374 + 0,4} = 0,193.$$

З використанням формул:

$$I_i'' = \frac{I_{\bar{\sigma}i}}{X_{i*\bar{\sigma}}};$$

де i - порядковий номер віток;

I_i'' - надперехідний струм короткого замикання вітки,

$$X_{i\text{розр}} = X_{i*\bar{\sigma}} \cdot \frac{S_{i\text{ном}\Sigma}}{S_{\bar{\sigma}}};$$

де $X_{i\text{розр}}$ - опір вітки (розрахунковий);

$S_{i\text{ном}\Sigma}$ - передавана сумарна повна потужність по лінії.

$$T_{ai} = \frac{X_{i*\bar{\sigma}}}{314 \cdot r_{i*\bar{\sigma}}};$$

$$k_{yi} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{ai}}};$$

$$i_{yi} = \sqrt{2} \cdot k_{yi} \cdot I_i'';$$

$$\lambda_{\tau i} = e^{-\frac{\tau}{T_{ai}}};$$

$$i_{a\tau i} = \lambda_{\tau i} \cdot \sqrt{2} \cdot I_i'';$$

$$I_{nti} = \gamma_{ti} \cdot I_i'';$$

$t_{nc} = 0,055c$ - повний час відключення вимикача;

$t_{\text{вч}} = 0,03c$ - власний час відключення вимикача;

$t_{\text{вч}}$ та t_{nc} прийняті згідно параметрів вибраного для встановлення вимикача. В даному випадку ВГТ-110 II-40/2000 У1.

$$\tau = t_{p3 \min} + t_{\text{вч}};$$

де $t_{p3 \min}$ - міні час спрацювання РЗ, прийнятий рівним 0,01 с .

$$\tau = 0,01 + 0,03 = 0,04c.$$

$$t_{\text{відкл}} = t_{p3 \max} + t_{nc};$$

де $t_{p3 \max}$ - максимальний час спрацювання РЗ, прийнятий рівним 0,1 с .

$$t_{\text{відкл}} = 0,1 + 0,055 = 0,155c.$$

В таблиці 2.2. наведено значення розрахованих даних для трьохфазного короткого замикання в точці К1.

Таблиця 2.2 - Трьохфазне коротке замикання у точці К1.

| Точка КЗ К1, коротке замикання трьохфазне, $U_{\phi 1} = 115 \text{ кВ}$, $I_{\phi} = 5,02 \text{ кА}$ | | | | | | |
|---|-------------|------------|-------------|-----------|-------|------------|
| Вітка | $x_{*\phi}$ | I'' , кА | $r_{*\phi}$ | T_a , с | K_y | i_y , кА |
| С1 | 2.002 | 2.507 | 0.374 | 0.017 | 1.555 | 5.513 |
| С2 | 2.396 | 2.078 | 0.4 | 0.0165 | 1.545 | 4.54 |
| Σ | | 4.585 | | | | 10.05 |

Продовження таблиці 2.2

| $t = 0,04 \text{ c} , t_{\text{відкл}} = 0,155 \text{ c}$ | | | | | | |
|---|------------------|---------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Вітка | λ_{τ} | $i_{at}, \text{кА}$ | γ_{τ} | $I_{\text{нп}}, \text{кА}$ | $\gamma_{\text{відкл}}$ | $I_{\text{п.відкл}}, \text{кА}$ |
| С1 | 0.555 | 1.968 | 1,0 | 2.507 | 1,0 | 2.507 |
| С2 | 0.545 | 1.602 | 1,0 | 2.078 | 1,0 | 2.078 |
| Σ | | 3.57 | | 4.585 | | 4.585 |

2.4 Розрахунок однофазного короткого замикання у точці К1

Здійснюється за умови $x_{0\Sigma} \leq x_{1\Sigma}$, оскільки струм однофазного короткого замикання в цьому випадку буде більшим за трифазного КЗ. Струм однофазного короткого замикання являється розрахунковим під час перевірки на комутаційну здатність вимикачів. В даному відношенні $x_{1\Sigma}$ та $x_{0\Sigma}$ - це опори прямої та нульової послідовностей, що знайдені шляхом перетворення СЗ до точки короткого замикання.

При врахуванні шляхів протікання струмів нульової послідовності побудовано СЗ нульової послідовності. Дана схема заміщення представлена в графічній частині дипломної роботи.

Проведемо розрахунок параметрів схеми заміщення.

Опори схеми заміщення нульової послідовності силових трансформаторів залишаються без змін, такими як і у схемі заміщення прямої послідовності. Виключенням є опори систем та ліній.

- системи - опори нульовій послідовності:

$$X_{01} = X_{C01} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma 1}^2} = 12,08 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,913;$$

$$X_{02} = X_{C02} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma 2}^2} = 23,41 \cdot \frac{1000}{115^2} = 1,77.$$

- ліні - опори нульовій послідовності:

$$x_{03} = 3 \cdot x_3 = 3 \cdot 1,159 = 3,477;$$

$$x_{04} = 3 \cdot x_4 = 3 \cdot 1,373 = 4,119;$$

$$r_{03} = (r_{noz} + 0,15) \cdot \frac{l}{n} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}1}^2} = (0,133 + 0,15) \cdot 37,4 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,8;$$

$$r_{04} = (r_{noz} + 0,15) \cdot \frac{l}{n} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}1}^2} = (0,133 + 0,15) \cdot 44,3 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,948.$$

Послідовність перетворення схеми заміщення нульової послідовності до точки $K1$ слідує:

$$x_{08} = \frac{(x_{01} + x_{03}) \cdot (x_{02} + x_{04})}{x_{01} + x_{03} + x_{02} + x_{04}} = \frac{(0,913 + 3,477) \cdot (1,77 + 4,119)}{0,913 + 3,477 + 1,77 + 4,119} = 2,515;$$

$$x_{09} = \frac{x_{06} \cdot x_{07}}{x_{06} + x_{07}} + x_{05} = \frac{1,875 \cdot 1,25}{1,875 + 1,25} + 1 = 1,75;$$

$$x_{0\Sigma} = \frac{x_{08} \cdot x_{09}}{x_{08} + x_{09}} = \frac{2,515 \cdot 1,75}{2,515 + 1,75} = 1,03;$$

$$r_{08} = \frac{(r_{01} + r_{03}) \cdot (r_{02} + r_{04})}{r_{01} + r_{03} + r_{02} + r_{04}} = \frac{(0,079 + 0,8) \cdot (0,051 + 0,948)}{0,079 + 0,8 + 0,051 + 0,948} = 0,468;$$

$$r_{09} = \frac{r_{06} \cdot r_{07}}{r_{06} + r_{07}} + r_{05} = \frac{0,053 \cdot 0,053}{0,053 + 0,053} + 0,053 = 0,0795;$$

$$r_{0\Sigma} = \frac{x_{08} \cdot x_{09}}{x_{08} + x_{09}} = \frac{0,468 \cdot 0,0795}{0,468 + 0,0795} = 0,068;$$

Для здійснення розрахунку струмів однофазного короткого замикання будується СЗ, представлена в графічній частині до дипломної роботи. Дана комплексна схема отримана за рахунок додавання $x_{\Delta}(r_{\Delta})$ до відповідної результуючої схеми заміщення прямої послідовності, яка отримана під час розрахунку струмів трифазного короткого замикання:

$$x_{\Delta} = x_{1\Sigma K1} + x_{0\Sigma K1} = 1,091 + 1,03 = 2,121;$$

$$r_{\Delta} = r_{1\Sigma K1} + r_{0\Sigma K1} = 0,193 + 0,068 = 0,261.$$

Перетворимо комплексну схему заміщення до відповідної радіальної схеми, яка представлена в графічній частині до дипломної роботи.

Знайдемо для віток радіальної схеми значення опорів:

$$x_{10} = x_8 \cdot x_{\Delta} \left(\frac{1}{x_8} + \frac{1}{x_9} + \frac{1}{x_{\Delta}} \right) = x_8 \cdot k_1 = 2,002 \cdot 2,121 \cdot \left(\frac{1}{2,002} + \frac{1}{2,396} + \frac{1}{2,121} \right) = 2,002 \cdot 2,945 = 5,895;$$

$$r_{10} = r_8 \cdot r_{\Delta} \left(\frac{1}{r_8} + \frac{1}{r_9} + \frac{1}{r_{\Delta}} \right) = r_8 \cdot k_2 = 0,374 \cdot 0,261 \cdot \left(\frac{1}{0,374} + \frac{1}{0,4} + \frac{1}{0,261} \right) = 0,374 \cdot 2,35 = 0,879;$$

$$x_{11} = x_9 \cdot k_1 = 2,396 \cdot 2,945 = 7,056;$$

$$r_{11} = r_9 \cdot k_2 = 0,4 \cdot 2,35 = 0,94.$$

Розподіл струмів НП по вітках електричної схеми:

$$U_{0K1} = \sum I_1^{(1)} \cdot X_{0\Sigma K1} = 1,563 \cdot 1,03 = 1,61;$$

$$I_{0C1} = \frac{U_{0K1}}{X_{01} + X_{03}} = \frac{1,61}{0,913 + 3,477} = 0,367 \text{ кА};$$

$$I_{0C2} = \frac{U_{0K1}}{X_{02} + X_{04}} = \frac{1,61}{1,77 + 4,119} = 0,273 \text{ кА};$$

В табл. 2.3 наведено результати отриманих розрахунків.

Таблиця 2.3 - Однофазне коротке замикання в точці К2

| Точка К2, однофазне коротке замикання, $U_{\sigma} = 115 \text{ кВ}$, $I_{\sigma} = 5,02 \text{ кА}$ | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------------|---------------|---------------|---------------------|----------|------------|---------------|
| Вітка | $x_{*\sigma}$ | $I_1^{(1)}$, кА | $r_{*\sigma}$ | T_{ae} с | $I_0^{(1)}$, кА | I , кА | κ_y | i_y , кА |
| С1 | 5.895 | 0.852 | 0.879 | 0.021 | 0.367 | 2.071 | 1.621 | 4.748 |
| С2 | 7.056 | 0.711 | 0.94 | 0.024 | 0.273 | 1.695 | 1.659 | 4.063 |
| $\Sigma I_1^{(1)}$ | | 1.563 | | | | 3.766 | | |
| ΣI | | 4.69 | | | | | | 8.81 |

Продовження таблиці 2.3

| $t = 0,04 \text{ с}, t_{\text{відкл}} = 0,155 \text{ с}$ | | | | | | | | |
|--|------------------|------------------------|-----------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Вітка | λ_{τ} | $i_{\text{ат}},$ кА | γ_{τ} | $I_{\text{нт}i},$ кА | $I_{\text{нт}}^1(i)$ кА | $\gamma_{\text{відкл}}$ | $I_{\text{пвідкл}}^{(1)}$ кА | $I_{\text{п.відкл.}i},$ кА |
| C1 | 0.149 | 0.436 | 1,0 | 2.071 | 0.852 | 1,0 | 2.071 | 0.852 |
| C2 | 0.189 | 0.453 | 1,0 | 1.695 | 0.711 | 1,0 | 1.695 | 0.711 |
| $\Sigma I_l^{(1)}$ | | | | 3.766 | 1.563 | | 3.766 | 1.563 |
| ΣI | | 0.889 | | | 4.69 | | | 4.69 |

2.5 Розрахунок трифазного короткого замикання у точці К2

Використовуючи схему складемо С3 для проведення розрахунку трифазного короткого замикання у точці К2. Дану схему зобразимо в графічній частині до дипломної роботи.

Значення опорів схеми при цьому стануть наступними:

$$x_{10} = x_8 \cdot x_5 \left(\frac{1}{x_8} + \frac{1}{x_9} + \frac{1}{x_5} \right) = x_8 \cdot k_3 = 2,002 \cdot 1 \times$$

$$\times \left(\frac{1}{2,002} + \frac{1}{2,396} + \frac{1}{1} \right) = 2,002 \cdot 1,917 = 3,838;$$

$$r_{10} = r_8 \cdot r_5 \left(\frac{1}{r_8} + \frac{1}{r_9} + \frac{1}{r_5} \right) = r_8 \cdot k_4 = 0,374 \cdot 0,053 \times$$

$$\times \left(\frac{1}{0,374} + \frac{1}{0,4} + \frac{1}{0,053} \right) = 0,374 \cdot 1,274 = 0,477;$$

$$x_{11} = x_9 \cdot k_3 = 2,396 \cdot 1,917 = 4,593;$$

$$r_{11} = r_9 \cdot k_4 = 0,4 \cdot 1,274 = 0,51.$$

Також в графічній частині до дипломної роботи зобразимо схему багатопроменевої зірки для трифазного короткого замикання у точці К2.

Значення опорів віток радіальної схеми наступні:

$$x_{12} = x_{10} \cdot x_7 \left(\frac{1}{x_{10}} + \frac{1}{x_7} + \frac{1}{x_{11}} \right) = x_{10} \cdot k_5 = 3,838 \cdot 1,25 \times$$

$$\times \left(\frac{1}{3,838} + \frac{1}{4,593} + \frac{1}{1,25} \right) = 3,838 \cdot 1,598 = 6,133;$$

$$r_{12} = r_{10} \cdot r_7 \left(\frac{1}{r_{10}} + \frac{1}{r_7} + \frac{1}{r_{11}} \right) = r_{10} \cdot k_6 = 0,477 \cdot 0,053 \times$$

$$\times \left(\frac{1}{0,477} + \frac{1}{0,51} + \frac{1}{0,053} \right) = 0,477 \cdot 1,215 = 0,58;$$

$$x_{13} = x_{11} \cdot k_5 = 4,593 \cdot 1,598 = 7,34;$$

$$r_{13} = r_{11} \cdot k_6 = 0,51 \cdot 1,215 = 0,62.$$

Також в графічній частині до дипломної роботи зобразимо радіальна схему для трифазного короткого замикання у точці $K2$.

Проводимо розрахунок та заповнюємо таблиці аналогічно розрахунку трифазного короткого замикання у точці $K2$.

$$t_{nc} = 0,08c - \text{повний час відключення вимикача};$$

$$t_{ec} = 0,05c - \text{власний час відключення вимикача};$$

t_{ec} та t_{nc} - прийняті до параметрів вимикача, що встановлюється ($BB/TEL - 10-12,5/1000$).

$$\tau = 0,01 + 0,05 = 0,06;$$

$$t_{відкл} = 3,5c; \text{ (ПУЕ [4])}.$$

В табл. 2.4 показано результати розрахунку.

Таблиця 2.4 - Трифазне коротке замикання у точці К2.

| Точка К2, трифазне коротке замикання, $U_{\phi 4} = 10,5 \text{ кВ}$, $I_{\phi} = 54,99 \text{ кА}$ | | | | | | |
|--|-------------|------------|-------------|-----------|-------|------------|
| Вітка | $x_{*\phi}$ | I'' , кА | $r_{*\phi}$ | T_a , с | K_y | i_y , кА |
| С1 | 6.133 | 8.966 | 0.58 | 0.0337 | 1.743 | 22.1 |
| С2 | 7.34 | 7.492 | 0.62 | 0.0377 | 1.767 | 18.722 |
| Σ | | 16.458 | | | | 40.823 |

Продовження таблиці 2.4

| $\tau = 0,06 \text{ с}$, $t_{\text{відкл}} = 3,5 \text{ с}$ | | | | | | |
|--|------------------|---------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| Вітка | λ_{τ} | i_{ai} , кА | γ_{τ} | $I_{\text{пт}i}$, кА | $\gamma_{\text{відкл}}$ | $I_{\text{п.відкл}}$, кА |
| С1 | 0.169 | 2.143 | 1,0 | 8.966 | 1,0 | 8.966 |
| С2 | 0.204 | 2.157 | 1,0 | 7.492 | 1,0 | 7.492 |
| Σ | | 4.3 | | 16.458 | | 16.458 |

2.6 Розрахунок двофазного короткого замикання у точці К2

Початковою для розрахунку двофазного короткого замикання у точці К3 являється таблиця розрахунку трифазного короткого замикання у точці К3 (табл. 2.3).

Порядок розрахунку двофазного короткого замикання при заповненні таблиці слідуючий:

- у стовпчиках T_a записують значення T_{ai} , що узяті із табл. розрахунку трифазного короткого замикання для цієї точки;

- $X_{*\phi}$ - подвоєні узяті із тієї самої таблиці значення $X_{i*\phi}$.

В табл. 2.5 наведено результати розрахунку двофазного короткого замикання у точці $K2$.

Таблиця 2.5 - Двофазне коротке замикання у точці $K2$

| Точка $K2$, двофазне коротке замикання, $U_{\phi 4} = 10,5 \text{ кВ}$, $I_{\phi} = 54,99 \text{ кА}$ | | | | | | |
|---|-------------|---------------------|-------------|--------------------|-------|---------------------|
| Вітка | $x_{*\phi}$ | I'' , кА | $r_{*\phi}$ | T_a , с | K_y | i_y , кА |
| C1 | 12.266 | 4.483 | - | 0.0337 | - | - |
| C2 | 14.68 | 3.746 | - | 0.0377 | - | - |
| Σ | | 8.229 | | | | |

Продовження таблиці 2.5

| $\tau = 0,06 \text{ с}$, $t_{\text{відкл}} = 3,5 \text{ с}$ | | | | | | |
|--|------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Вітка | λ_{τ} | $i_{\text{ат}}$, кА | γ_{τ} | $I_{\text{пт і}}$, кА | $\gamma_{\text{відкл}}$ | $I_{\text{п.відкл}}$, кА |
| C1 | - | - | 1,0 | 4.483 | 1,0 | 4.483 |
| C2 | - | - | 1,0 | 3.746 | 1,0 | 3.746 |
| Σ | | | | 8.229 | | 8.229 |

2.7 Розрахунок трифазного короткого замикання у точці $K3$

Складаємо $C3$ для розрахунку трифазного короткого замикання у точці $K3$. Дану схему багатопроменевої зірки представимо у графічній частині дипломної роботи.

Значення опорів віток радіальної схеми наступні:

$$x_{12} = x_{10} \cdot x_6 \left(\frac{1}{x_{10}} + \frac{1}{x_6} + \frac{1}{x_{11}} \right) = x_{10} \cdot k_7 = 3,838 \cdot 1,875 \times \\ \times \left(\frac{1}{3,838} + \frac{1}{4,593} + \frac{1}{1,875} \right) = 3,838 \cdot 1,897 = 7,28;$$

$$r_{12} = r_{10} \cdot r_6 \left(\frac{1}{r_{10}} + \frac{1}{r_6} + \frac{1}{r_{11}} \right) = r_{10} \cdot k_8 = 0,477 \cdot 0,053 \times \\ \times \left(\frac{1}{0,477} + \frac{1}{0,51} + \frac{1}{0,053} \right) = 0,477 \cdot 1,215 = 0,58;$$

$$x_{13} = x_{11} \cdot k_7 = 4,593 \cdot 1,875 = 8,612;$$

$$r_{13} = r_{11} \cdot k_6 = 0,51 \cdot 1,215 = 0,62.$$

Також у графічній частині до дипломної роботи зображено радіальну схему для розрахунку трифазного короткого замикання в точці $K3$.

Аналогічно розрахунку трифазного короткого замикання у точці $K2$ проводимо розрахунок та заповнення таблиці.

$$t_{nc} = 0,08c - \text{повний час відключення вимикача};$$

$$t_{ec} = 0,06c - \text{власний час відключення вимикача};$$

t_{ec} та t_{nc} - відповідно до параметрів прийнятого для встановлення вимикача ($BEE-6-40/2000 U3$).

$$\tau = 0,01 + 0,06 = 0,07;$$

$$t_{відкл} = 3,5c; \text{ (ПУЕ [4])}.$$

В табл. 2.6 наведено результати розрахунку.

Таблиця 2.6 - Трифазне коротке замикання у точці К3

| Точка К2, трифазне коротке замикання, $U_{\phi 4} = 6,3 \text{ кВ}$, $I_{\phi} = 91,643 \text{ кА}$ | | | | | | |
|--|----------|------------|----------|-----------|-------|------------|
| Вітка | x_{*b} | I'' , кА | r_{*b} | T_a , с | K_y | i_y , кА |
| С1 | 7.28 | 12.588 | 0.58 | 0.04 | 1.779 | 31.67 |
| С2 | 8.612 | 10.641 | 0.62 | 0.0442 | 1.798 | 27.05 |
| Σ | | 23.229 | | | | 58.72 |

Продовження таблиці 2.6

| $\tau = 0,07 \text{ с}$, $t_{\text{відкл}} = 3,5 \text{ с}$ | | | | | | |
|--|------------------|----------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| Вітка | λ_{τ} | $i_{\text{ат}}$, кА | γ_{τ} | $I_{\text{пт}i}$, кА | $\gamma_{\text{відкл}}$ | $I_{\text{п.відкл}}$, кА |
| С1 | 0.174 | 3.098 | 1,0 | 12.588 | 1,0 | 12.588 |
| С2 | 0.205 | 3.088 | 1,0 | 10.641 | 1,0 | 10.641 |
| Σ | | 6.186 | | 23.229 | | 23.229 |

2.8 Розрахунок двофазного короткого замикання у точці К3

Початковою для проведення розрахунку двофазного короткого замикання у точці К3 являється табл. розрахунку трифазного короткого замикання у точці К3 (табл. 2.5).

Розрахунок двофазного короткого замикання (заповнення таблиці) здійснюється у такому порядку:

- у стовпчиках T_a записують значення T_{ai} , що узяті із табл. розрахунку трифазного короткого замикання для цієї точки.

В табл. 2.7 приведено результати розрахунку двофазного короткого замикання у точці К3.

Таблиця 2.7 - Двофазне коротке замикання у точці КЗ

| Точка КЗ, двофазне коротке замикання, $U_{\phi 4} = 6,3 \text{ кВ}$, $I_{\phi} = 91,643 \text{ кА}$ | | | | | | |
|--|-------------|------------|-------------|-----------|-------|------------|
| Вітка | $x_{*\phi}$ | I'' , кА | $r_{*\phi}$ | T_a , с | K_y | i_y , кА |
| С1 | 14.56 | 6.294 | - | 0.04 | - | - |
| С2 | 17.224 | 5.321 | - | 0.0442 | - | - |
| Σ | | 11.615 | | | | |

Продовження таблиці 2.7

| $\tau = 0,07 \text{ с}$, $t_{\text{відкл}} = 3,5 \text{ с}$ | | | | | | |
|--|------------------|----------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| Вітка | λ_{τ} | $i_{\text{ат}}$, кА | γ_{τ} | $I_{\text{пт}i}$, кА | $\gamma_{\text{відкл}}$ | $I_{\text{п.відкл}}$, кА |
| С1 | - | - | 1,0 | 6.294 | 1,0 | 6.294 |
| С2 | - | - | 1,0 | 5.321 | 1,0 | 5.321 |
| Σ | | | | 11.615 | | 11.615 |

За допомогою програми СКЗ 3000 проводимо розрахунок та перевірку шуканих струмів.

Програма дає змогу порахувати електричні величини у трифазній симетричній мережі будь-якої напруги під час однократної поздовжньої чи поперечної несиметрії, а також порахувати вставки захистів від замикань на землю.

Комплекс має наступні граничні можливості:

- загальне число індуктивно-пов'язаних віток 2500;
- об'єм мережі до 3000 вузлів та 7500 віток;
- кількість віток у одній групі індуктивно-пов'язаних віток 20.

В табл. 2.8. подано результати ручного розрахунку струмів КЗ та розрахунку на електронно-обчислювальній машині .

Таблиця 2.8 - Розрахунок струмів КЗ.

| Точка | Вид короткого замикання | Точка КЗ (для ручного розрахунку), <i>кА</i> | Точка КЗ (для розрахунку на електронно-обчислювальній машині), <i>кА</i> | Похибка, % |
|-------|-------------------------|--|--|------------|
| К1 | однофазне | 4.69 | 4.646 | 0.94 |
| | трифазне | 4.585 | 4.531 | 0.69 |
| К2 | двофазне | 8.229 | 8.197 | 0.39 |
| | трифазне | 16.458 | 16.395 | 0.38 |
| К3 | двофазне | 11.615 | 11.552 | 0.54 |
| | трифазне | 23.043 | 23.229 | 0.8 |

2.9 Висновки до Розділу 2

1. Проведено вибір головної схеми електричних з'єднань РП. РП 110 кВ ПС виконано за схемою “Дві робочі системи шин”;

2. Проведено розрахунок однофазного КЗ в точці К1, трьохфазного КЗ в точці К1, двофазного КЗ в точці К2, трифазного КЗ в точці К2, двофазного КЗ в точці К2, трифазного КЗ в точці К3.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вибір та перевірка ЕА

3.1.1 Вибір та перевірка вимикачів

За наступними умовами здійснюється вибір вимикачів [6, 7]:

- по номінальному струму:

$$I_{номQ} \geq I_{роб.форс.прис.};$$

- по номінальній напрузі:

$$U_{номQ} \geq U_{номРП}.$$

Наступним перевіркам піддаються вибрані вимикачі:

- на термічну стійкість:

$$B_{k доп} \geq B_{k розр};$$

де $B_{k розр}$ - розрахунковий тепловий імпульс, $кА^2 \cdot с$;

$$B_{k доп} = I_{мс}^2 \cdot t_{мс};$$

де $t_{мс}$ - час термічної стійкості, с;

$I_{мс}$ - струм термічної стійкості, $кА$;

$$B_{k розр} = B_{kn} + B_{ka};$$

$$B_{kn} = \left(\frac{I'' + I_{нт}}{2} \right)^2 \cdot \tau + \left(\frac{I_{нт} + I_{н відкл}}{2} \right)^2 \cdot (t_{відкл} - \tau);$$

I'' - надперехідне значення струму короткого замикання, $кА$;

$t_{відкл}$ - максимальний час існування короткого замикання, с;

τ - момент часу розбіжності контактів АВ, с;

$$B_{ka} = (I'')^2 \cdot T_a;$$

- на відключаючу здатність:

$$\sqrt{2} \cdot I_{ном.відкл.} \cdot \left(1 + \frac{\beta_{ном}}{100} \right) \geq \sqrt{2} \cdot I_{нт} + i_{ат};$$

де $\beta_{ном}$ - нормований зміст аперіодичної складової, % ;

$I_{ном.відкл.}$ - номінальний струм відключення, $кА$;

- на здатність відключення:

$$i_{ном.в} \geq i_y;$$

$$I_{ном.в} \geq I'';$$

- на динамічну стійкість:

$$i_{nc} \geq i_y;$$

де i_y - ударний струм КЗ, $кА$;

i_{nc} - найбільший пік граничного наскрізного струму, $кА$;

$$I_{nc} \geq I'';$$

- за швидкістю відновлення напруги:

$$ШВН_{дон} \geq ШВН_{розн};$$

де $ШВН_{дон}$ та $ШВН_{розн}$ - відповідно допустима та розрахункова швидкість відновлюваної напруги, $\frac{кВ}{мкс}$;

$$ШВН_{розн} = k \cdot \frac{I_{нт}^2}{n_{зал} \cdot I_{ном.відкл}};$$

$n_{зал}$ - число ліній цього розподільчого пристрою, які залишилися у роботі після відключення вимикача.

Вибирається той чи інший вид короткого замикання в залежності від виду перевірки:

- для перевірки на термічну стійкість - струм 2-х або 3-х фазного короткого замикання для генераторних кіл, та 3-х фазного - для всіх інших;

- для перевірки на динамічну стійкість - струм 3-х фазного короткого замикання є розрахунковим;

- для перевірок за швидкістю відновлюваної напруги, а також на включаючу та відключаючу здатність, розрахунковим стає той вид короткого замикання, струм якого є найбільшим.

3.1.2 Вибір та перевірка ЕА в ВРП 110 кВ.

3.1.2.1 Вибір та перевірка трансформаторів напруги

Проводимо підрахунок потужності по активній та реактивній складовій.

В табл. 3.1 показано вибір приладів, що підключені до трансформаторів напруги.

Таблиця 3.1 - Вибір приладів, що підключені до трансформаторів напруги

| № п.п. | Місце установки та перелік приладів | Тип приладу | $S_{\text{ном}}$, ВА | Число обвиток | $\cos\varphi$ | $\sin\varphi$ | Загальне число приладів | $P, \text{Вт}$ | $Q, \text{ВАр}$ |
|--------|-------------------------------------|-------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------|----------------|-----------------|
| 1. | Збірні шини | 3 | | | | | | | |
| | Вольтметр | I-393 | 10,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 10,0 | – |
| | Вольтметр | E-378 | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 2,0 | – |
| | Частотомір реєстр. | I-397 | 7,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 7,0 | – |
| | Ватметр реєстр. | I-395 | 10,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 10,0 | – |
| | Осцилограф | | 10,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 10,0 | – |
| 2. | Обхідний вимикач | 1 | | | | | | | |
| | Варметр | Д-365 | 2,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 4,0 | – |
| | Ватметр | Д-365 | 2,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 4,0 | – |

Продовження таблиці 3.1

| | | | | | | | | | |
|--|------------------------------|--------|-----|-----|------|-------|-----|-------|-----|
| | Лічильник реактивної енергії | ЦЕ6811 | 2,0 | 2,0 | 0,38 | 0,925 | 1,0 | 1,52 | 3,7 |
| | Лічильник активної енергії | ЦЕ6805 | 2,0 | 2,0 | 0,38 | 0,925 | 1,0 | 1,52 | 3,7 |
| | ФІП | | 3,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 3, | – |
| | Разом | | | | | | | 53,04 | 7,4 |

Сумарна повна потужність, що споживається:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{2\Sigma}^2 + Q_{2\Sigma}^2} = \sqrt{53,04^2 + 7,4^2} = 53,55 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Приймаємо для встановлення 3 однофазні триобмоткові ТН типу НКФ–110–58У1 із номінальною потужністю у класі 0,5

$$S_{2н} = 400 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

$3 S_{2н} = 1200 \text{ В} \cdot \text{А} > S_{2\Sigma} = 53,55 \text{ В} \cdot \text{А}$, тобто по класу точності умова перевірки виконується.

Здійснимо вибір контрольного кабелю для забезпечення зв'язку трансформатора напруги до релейного щиту (РЩ) (довжина кабелю 100 м) та від вводу основного кабелю на РЩ до вимірювальних приладів, що встановлені на ЦЩУ (довжина кабелю 120 м).

$$I_H = \frac{\sqrt{3} \cdot S_{2\Sigma}}{U_{ном}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 53,55}{100} = 0,928 \text{ А};$$

$$r_{пр.макс} = \frac{\Delta U_{доп}}{\sqrt{3} \cdot I_H} = \frac{0,5}{\sqrt{3} \cdot 0,928} = 0,311 \text{ Ом};$$

$$q = \frac{l}{\gamma \cdot r_{пр.макс}} = \frac{100}{53 \cdot 0,311} = 6,06 \text{ мм}^2.$$

Здійснюємо вибір кабелю 3x30 + 1x25 мм².

Знайдемо дійсний опір жил кабелю:

$$r_{np} = \frac{100}{53 \cdot 30} = 0,094 \text{ Ом};$$

$$r_{o.np} = \frac{100}{53 \cdot 25} = 0,113 \text{ Ом}.$$

Знайдемо повний дійсний опір жил кабелів у фазі від трансформатора напруги до РЩ:

$$r_{np} = 0,094 + 0,0236 = 0,1176 \text{ Ом}.$$

Опір кабелю, що живить трьома фазами вимірювальні прилади на центральному щиті управління:

$$r_{np.приб} = \frac{(1,5 - 3S_{нтн} \cdot R_{осн.каб} / 100) \cdot 100}{3 \cdot S_{прил}} = \frac{(1,5 - 3 \cdot 400 \cdot 0,1176 / 100)}{3 \cdot 172,3} = 0,017 \text{ Ом} > 0,$$

тобто, забезпечується $\Delta U_{дон} = 1,5 \text{ В}$.

3.1.2.2 Вибір та перевірка ТС

Приймаємо до встановлення ТС типу *ТРТ-110/1000* із номінальним струмом первинної обмотки $I_{1н} = 1000 \text{ А}$, номінальним струмом вторинної обмотки $I_{2н} = 5 \text{ А}$. Клас точності вторинних обмоток *02/5P/5P*. Номінальне навантаження на вторинній обмотці у класі *0,2* $z_{2н} = 0,8 \text{ Ом}$.

В табл. 3.2 показано номінальні параметри ТС, розрахункові величини у колах ТС та відношення між ними.

Таблиця 3.2 - Параметри ТС

| Параметри ТС | Відношення | Розрахункові величини для здійснення вибору ТС |
|--|------------|---|
| $U_n = 110 \text{ кВ}$ | = | $U_{нрп} = 110 \text{ кВ}$ |
| $I_n = 1000 \text{ А}$ | > | $I_{роб.форс} = 400 \text{ А}$ |
| $z_{2н} = 0,8 \text{ Ом}$ | > | $z_{2розр} = 0,772 \text{ Ом}$ |
| $i_{дин} = 100 \text{ кА}$ | > | $i_{y\Sigma} = 10,05 \text{ кА}$ |
| $B_{к дон} = I_{мс}^2 \cdot t_{мс} = 3600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | > | $B_{Крозр} = 1,163 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

Отже, вибраний ТС задовольняє умовам вибору та перевірки в колі ТС.

$$r_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{2н}^2} = \frac{5}{5^2} = 0,2 \text{ Ом},$$

$$q_{\text{к доп}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 150}{0,9} = 5,5 \text{ мм}^2,$$

Допустимий опір для проводів:

$$r_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{прил}} - r_{\text{к}} = 1,2 - 0,2 - 0,1 = 0,9 \text{ Ом},$$

В табл. 3.3 показано перелік приладів, підключених до ТС.

Таблиця 3.3 - Перелік приладів, які підключені до трансформатора струму

| № п.п. | Прилад | Тип приладу | Навантаження фази, В·А | | |
|-----------|---|-------------|------------------------|-----|-----|
| | | | A | B | C |
| 1. | Ватметр | Д-335 | 0.5 | – | 0.5 |
| 2. | Амперметр | Е-335 | 0,5 | – | – |
| 3. | Лічильник активної енергії | СА3-4681 | 2.5 | 2.5 | – |
| 4. | Варметр | Д-335 | 0.5 | – | 0.5 |
| 5. | Лічильник реактивної енергії | СР4-4676 | – | 2.5 | 2.5 |
| | $S_{\text{пр}}, \text{ В} \cdot \text{А}$ | | 4,0 | 5,0 | 3.5 |

Прийнято до установки кабелів АКВВГ із алюмінієвими жилами, перерізом 6 мм². Знайдемо опір даного кабелю:

$$r_{\text{каб}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{q} = \frac{0,0283 \cdot 100}{6} = 0,472 \text{ Ом}$$

Знайдемо вторинний розрахунковий опір:

$$Z_{2\text{розр}} = r_{\text{каб}} + r_{\text{прил}} + r_{\text{к}} = 0,472 + 0,2 + 0,1 = 0,772 \text{ Ом}$$

Із порівняння $Z_{2нав} = 0,8 \text{ Ом} > Z_{2розр} = 0,772 \text{ Ом}$ бачимо, що умова перевірки за класом точності виконалася.

3.1.2.3 Вибір і перевірка роз'єднувачів

Вибираємо роз'єднувач типу РНДЗ-110/1000У1 - роз'єднувач зовнішньої установки. В табл. 3.4 приведено номінальні параметри даного роз'єднувача, розрахункові величини у колах та співвідношення між ними.

Із співвідношення табличних та розрахункових параметрів можна зробити висновок, що роз'єднувач, який вибраний задовольняє всім умовам вибору та перевірки в даному колі.

Таблиця 3.4 - Параметри вибраного роз'єднувача РНДЗ-110/1000У1.

| Параметри роз'єднувача | Відношення | Розрахункові величини для здійснення вибору роз'єднувача РНДЗ-110/1000У1 |
|--|------------|--|
| $U_n = 110 \text{ кВ}$ | = | $U_{нРП} = 110 \text{ кВ}$ |
| $I_n = 1000 \text{ А}$ | > | $I_{роб.форс} = 400 \text{ А}$ |
| $i_{мс} = 100 \text{ кА}$ | > | $i_{у\Sigma} = 10,05 \text{ кА}$ |
| $B_{к доп} = I_{мс}^2 \cdot t_{мс} = 3600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | > | $B_{к розр} = 1,163 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

3.1.2.4 Вибір автоматичних вимикачів

Знаходимо струми робочого форсованого режиму:

- струм ліній:

$$I_{роб.форс.л} = \frac{P_{перед.авар.}}{\sqrt{3} \cdot U_{нРП} \cdot \cos \varphi_H} = \frac{55}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,85} = 0,4 \text{ кА},$$

де $\cos \varphi_H$ - коефіцієнт потужності для навантаження.

В якості вимикача у ВРП 110 кВ вибираємо елегазовий вимикач типу ВГТ-110 П·40/1000 У1, параметри, якого приведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 - Параметри автоматичного елегазового вимикача.

| | |
|---|-------|
| Найбільша робоча напруга U_{\max} , кВ | 126 |
| Номінальна напруга $U_{\text{нQ}}$, кВ | 110 |
| Номінальний струм відключення $I_{\text{нв}}$, кА | 40 |
| Номінальний струм $I_{\text{нQ}}$, А | 1000 |
| Найбільший пік граничного наскрізного струму $i_{\text{пс}}$, кА | 102 |
| Допустима швидкість напруги відновлення, кВ/мкс | 1 |
| Найбільший пік $i_{\text{нв}}$, кА | 102 |
| Значення наскрізного струму (діюче) $I_{\text{пс}}$, кА | 40 |
| Нормований відсотковий вміст аперіодичної складової β_n % | 45 |
| Значення $I_{\text{нв}}$ (діюче), кА | 40 |
| Час відключення $t_{\text{в}}$, с | 0.055 |
| Час термічної стійкості $t_{\text{тс}}$, с | 2 |
| Власний час відключення $t_{\text{вч}}$, с | 0.03 |

Перевірка АВ на термічну стійкість. Як розрахунковий приймають трифазні короткі замикання (таблиця 2.1). Допустимий тепловий імпульс, який визначається згідно параметрів автоматичного вимикача,

$$B_{\text{кдоп}} = 40^2 \cdot 2 = 3200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Імпульс:

$$B_{кп} = \left(\frac{I_{\Sigma}'' + I_{нт\Sigma}}{2} \right)^2 \cdot \tau + \left(\frac{I_{невідкл} + I_{нт\Sigma}}{2} \right)^2 \cdot (t_{відкл} - \tau) =$$

$$= \left(\frac{4,585 + 4,585}{2} \right)^2 \cdot 0,04 + \left(\frac{4,585 + 4,585}{2} \right)^2 \cdot (0,155 - 0,04) = 0,81 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$t_{відкл} = t_{рз \text{ max}} + t_{нч} = 0,1 + 0,055 = 0,155 \text{ с},$$

Тепловий імпульс аперіодичної складової струму короткого замикання:

$$B_{ка} = (I_{\Sigma}'')^2 \cdot T_{ae} = 4,585^2 \cdot 0,0168 = 0,353 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де $T_{ae} = \left(\sum_1^n I'' \cdot T_{ai} \right) / \left(\sum_1^n I'' \right) = 0,0168 \text{ с}$ - еквівалентна аперіодична складова

усіх віток, що живлять точку короткого замикання.

З врахуванням того, що $B_{к розр} = B_{кп} + B_{ка}$ здійснимо перевірку на термічну стійкість:

$$B_{к доп} = 3200 > B_{к розр} = 0,81 + 0,353 = 1,163 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

бачимо, що умова перевірки на термічну стійкість виконується.

Перевірка вимикача на здатність відключення. У якості розрахункового приймемо струм однофазного короткого замикання, оскільки даний струм більший за трифазний. Для такого виду короткого замикання потрібно знати періодичну $I_{нт\Sigma}$ та аперіодичну $i_{aт\Sigma}$ складову струму короткого замикання у момент розходження контактів автоматичного вимикача τ .

$$\tau = t_{рз \text{ min}} + t_{сч} = 0,01 + 0,03 = 0,04 \text{ с};$$

Відповідно до табл. 2.1 $I_{нт\Sigma} = 4,585$, $i_{aт\Sigma} = 3,57 \text{ кА}$.

Зрівняємо отримані струми із відповідними параметрами автоматичного вимикача:

$$\sqrt{2} \cdot I_{но} \cdot \left(\frac{\beta_n \%}{100} + 1 \right) = \sqrt{2} \cdot 40 \cdot 1,45 > \sqrt{2} \cdot I_{нт\Sigma} + i_{aт\Sigma} = \sqrt{2} \cdot 4,585 + 3,57;$$

$$82,02 > 10,05,$$

тобто по повному струмі короткого замикання умова перевірки виконується.

Перевірка на здатність включення. Проведення розрахунку здійснюється під час однофазного короткого замикання (таблиця 2.2):

$$I_{нв} = 40 \text{ кА} > I_{\Sigma}'' = 4,69 \text{ кА};$$

$$i_{нв} = 102 \text{ кА} > i_{y\Sigma} = 8,81 \text{ кА}.$$

Перевірка вимикача на динамічну стійкість. Розрахунок здійснюється при трифазному короткому замиканні (таблиця 2.1):

$$i_{nc} = 102 \text{ кА} > i_{y\Sigma} = \sum_1^n i_{yi} = 10,05 \text{ кА};$$

$$I_{nc} = 40 \text{ кА} > I_{\Sigma}'' = 4,585 \text{ кА},$$

бачимо, що умови перевірки виконуються.

Порівняння параметрів автоматичного вимикача та відповідних розрахункових величин представимо в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Параметри автоматичного вимикача та розрахункові дані

| Параметри автоматичного вимикача | Відношення | Розрахункові величини для здійснення вибору автоматичного вимикача |
|--|------------|--|
| $U_n = 110 \text{ кВ}$ | = | $U_{нрп} = 110 \text{ кВ}$ |
| $I_n = 1000 \text{ А}$ | > | $I_{роб.форс} = 400 \text{ А}$ |
| $I_{нв} = 40 \text{ кА}$ | > | $I_{пт\Sigma} = 4,585 \text{ кА}$ |
| $\sqrt{2}I_{нв}(1+\beta_H) = 82,02 \text{ кА}$ | > | $\sqrt{2} \cdot I_{пт\Sigma} + i_{ат} = 10,05 \text{ кА}$ |
| $I_{TC}^2 \cdot t_{TC} = 3600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | > | $B_{к розр} = 1,163 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |
| $I_{nc} = 40 \text{ кА}$ | > | $I_{\Sigma}''^{(3)} = 4,585 \text{ кА}$ |
| $i_{nc} = 102 \text{ кА}$ | > | $i_{y\Sigma}^{(3)} = 10,05 \text{ кА}$ |
| $I_{нв} = 40 \text{ кА}$ | > | $I_{\Sigma}''^{(1)} = 4,69 \text{ кА}$ |
| $i_{нв} = 102 \text{ кА}$ | > | $i_{y\Sigma}^{(1)} = 8,81 \text{ кА}$ |

3.1.3 Вибір та перевірка ЕА в КРП 10 кВ

3.1.3.1 Вибір та перевірка ТН

Таблиця 3.7 - Вибір приладів, які підключені до трансформатора напруги

| № п.п | Місце встановлення та перелік приладів | Тип приладу | $S_{\text{ном}}$, ВА | Число обмоток | $\cos\varphi$ | $\sin\varphi$ | Загальне число приладів | P , $Вт$ | Q , ВАр |
|----------|---|----------------|--------------------------|------------------|---------------|---------------|-------------------------------|---------------|--------------|
| 1. | Збірні шини | | | | | | | | |
| 2. | Вольтметр | Е-378 | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 2,0 | – |
| 3. | Вольтметр Регістр. | І-393 | 10,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 10,0 | – |
| 4. | Ватметр Регістр. | І-395 | 10,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 10,0 | – |
| 5. | Частотомір Регістр. | І-397 | 7,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 7,0 | – |
| 6. | Лічильник активної енергії | ЦЕ6805 | 2,0 | 2,0 | 0.38 | 0.925 | 1,0 | 1.52 | 3.7 |
| 7. | Лічильник реактивної енергії | ЦЕ6811 | 2,0 | 2,0 | 0.38 | 0.925 | 1,0 | 1.52 | 3.7 |
| 8. | Разом | | | | | | | 32.04 | 7.4 |

Сумарна споживана повна потужність становить:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{2\Sigma}^2 + Q_{2\Sigma}^2} = \sqrt{32,04^2 + 7,4^2} = 32,88 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Приймаємо для встановлення трьохфазний ТН типу *НАМІ-10-УХЛ1* із номінальною потужністю у класі точності 0,5 $S_{2н} = 200 \text{ В} \cdot \text{А}$.

$S_{2н} = 200 \text{ В} \cdot \text{А} > S_{2\Sigma} = 32,88 \text{ В} \cdot \text{А}$, тобто виконується умова перевірки згідно класу точності.

3.1.3.2 Вибір і перевірка ТС

Приймаємо для встановлення ТС типу *ТОЛ-СЕСЦ-10* з номінальним струмом первинної обмотки $I_{1н} = 2000 \text{ А}$, номінальним струмом вторинної обмотки $I_{2н} = 5 \text{ А}$, клас точності ВО 0,5S/0,5/5P, номінальне вторинне навантаження у класі точності 0,5 $z_{2н} = 2 \text{ Ом}$.

Номінальні параметри ТС та розрахункові величини у колах ТС, їх співвідношення показано у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 - Параметри ТС.

| Параметри трансформатора струму | Відношення | Розрахункові величини для здійснення вибору трансформатора струму |
|--|------------|---|
| $U_n = 10 \text{ кВ}$ | = | $U_{нрп} = 10 \text{ кВ}$ |
| $I_n = 2000 \text{ А}$ | > | $I_{роб.форс} = 1620 \text{ А}$ |
| $z_{2н} = 2 \text{ Ом}$ | > | $z_{2розр} = 1,2 \text{ Ом}$ |
| $i_{дин} = 100 \text{ кА}$ | > | $i_{y\Sigma} = 40,823 \text{ кА}$ |
| $B_{к доп} = I_{мс}^2 \cdot t_{мс} = 2977 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | > | $B_{Крозр} = 21,85 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

Результати зведемо у таблицю 3.9. На основі табл. 3.9 знайдемо:

$$r_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{2н}^2} = \frac{5}{4^2} = 0,16 \text{ Ом},$$

$$q_{\text{к доп}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 50}{0,94} = 1,5 \text{ мм}^2,$$

Знайдемо:

$$r_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{прил}} - r_{\text{к}} = 1,2 - 0,16 - 0,1 = 0,94 \text{ Ом},$$

Таблиця 3.9 – Здійснення вибору приладів, що підключені до трансформатора струму.

| № | Прилад | Тип приладу | Навантаження фази, В·А | | |
|----|---|-------------|------------------------|-----|-----|
| | | | A | B | C |
| 1. | Амперметр | Е-335 | 0.5 | – | – |
| 2. | Варметр | Д-335 | 0.5 | – | 0.5 |
| 3. | Ватметр | Д-335 | 0.5 | – | 0.5 |
| 4. | Лічильник активної енергії | САЗ-4681 | 2.5 | 2.5 | – |
| | $S_{\text{пр}}, \text{ В} \cdot \text{А}$ | | 4,0 | 2.5 | 1,0 |

Приймаємо для встановлення кабель КВВГ із мідними жилами перерізом $1,5 \text{ мм}^2$. Знайдемо опір даного кабелю:

$$r_{\text{каб}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{q} = \frac{0,0283 \cdot 50}{1,5} = 0,94 \text{ Ом}.$$

Знайдемо вторинний розрахунковий опір:

$$Z_{2\text{розр}} = r_{\text{каб}} + r_{\text{прил}} + r_{\text{к}} = 0,94 + 0,16 + 0,1 = 1,2 \text{ Ом}.$$

Із порівняння $Z_{2\text{нав}} = 2 \text{ Ом} > Z_{2\text{розр}} = 1,2 \text{ Ом}$ можна побачити, що виконується умова перевірки згідно класу точності.

3.1.3.3 Вибір автоматичних вимикачів.

Знайдемо струми робочого форсованого режиму трансформатора:

- робочий форсований струм НН силового трансформатора:

$$I_{роб.форс.тр} = \frac{S_{НН.мп.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ННП}} = \frac{0,7 \cdot 40}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1,62 \text{ кА},$$

В якості вимикача у КРП 10 кВ приймаємо ВВ типу ВБЕС-10-31,5/2000 УХЛ2 із параметрами, представленими в табл. 3.10.

Таблиця 3.10 - Параметри вакуумного вимикача.

| | |
|---|---------|
| Найбільша робоча напруга U_{max} | 12 кВ |
| Номінальна напруга $U_{нқ}$ | 10 кВ |
| Номінальний струм відключення $I_{нев}$ | 31.5 кА |
| Номінальний струм $I_{нқ}$ | 2000 А |
| Діюче значення наскрізного струму $I_{пс}$ | 31.5 кА |
| Пік граничного наскрізного струму $i_{пс}$ (найбільший) | 80 кА |
| Значення номінального струму включення $I_{нв}$ (діюче) | 31.5 кА |
| Пік номінального струму включення $i_{нв}$ (найбільший) | 80 кА |
| Час термічної стійкості $t_{тс}$ | 3 с |
| Струм термічної стійкості $I_{тс}$ | 31.5 кА |
| Власний час відключення $t_{вч}$ | 0.045 с |
| Час відключення $t_{в}$ | 0.055 с |
| Зміст аперіодичної складової β % | 40 |

Перевірка вакуумного вимикача по термічній стійкості. Приймають трифазні КЗ в якості розрахункового для даної перевірки (табл. 2.3). Умова

$B_{к доп} \geq B_{к розр}$ повинна виконуватися. Визначається згідно параметрів вакуумного вимикача допустимий тепловий імпульс $B_{к доп} = 31,5^2 \cdot 3 = 2977 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$.

Імпульс:

$$B_{кп} = \left(\frac{I_{\Sigma}'' + I_{нт\Sigma}}{2} \right)^2 \cdot \tau + \left(\frac{I_{нвідкл} + I_{нт\Sigma}}{2} \right)^2 \cdot (t_{відкл} - \tau) =$$

$$= \left(\frac{16,458 + 16,458}{2} \right)^2 \cdot 0,055 + \left(\frac{16,458 + 16,458}{2} \right)^2 \cdot (0,155 - 0,055) = 10,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де I_{Σ}'' , $I_{нт\Sigma}$, $I_{нвідкл}$ - сумарні струми трифазного короткого замикання (таблиця 2.5):

$$t_{відкл} = t_{рз \text{ max}} + t_{зч} = 0,1 + 0,055 = 0,155 \text{ с},$$

$t_{рз \text{ max}} = 0,1 \text{ с}$ - час дії резервних РЗ.

Тепловий імпульс аперіодичної складової струму короткого замикання:

$$B_{ка} = (I_{\Sigma}'')^2 \cdot T_{ae} = 16,458^2 \cdot 0,0419 = 11,35 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де $T_{ae} = \left(\sum_1^n I'' \cdot T_{ai} \right) / \left(\sum_1^n I'' \right) = 0,0419 \text{ с}$ - еквівалентна аперіодична складова

усіх віток, що живлять точку короткого замикання.

Із врахуванням того, що $B_{к розр} = B_{кп} + B_{ка}$ виконаємо перевірку ВВ на термічну стійкість

$$B_{к доп} = 2977 > B_{к розр} = 10,5 + 11,35 = 21,85 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

умова перевірки виконана.

Перевірка вакуумного вимикача на відключаючу здатність

$$\tau = t_{рз \text{ min}} + t_{вч} = 0,01 + 0,045 = 0,055 \text{ с};$$

Відповідно до табл. 2.3 $I_{нт\Sigma} = 16,458$, $i_{ат\Sigma} = 4,3 \text{ кА}$.

Здійснимо порівняння цих струмів із відповідними параметрами вакуумного вимикача:

$$\sqrt{2} \cdot I_{нв} \cdot \left(\frac{\beta_H \%}{100} + 1 \right) = \sqrt{2} \cdot 31,5 \cdot 1,4 > \sqrt{2} \cdot I_{нт\Sigma} + i_{ат\Sigma} = \sqrt{2} \cdot 16,458 + 4,3;$$

$$62,4 > 27,58,$$

тобто, виконується умова перевірки на відключаючу здатність по повному струмі короткого замикання.

Перевірка вакуумного вимикача на включаючу здатність. При перевірці проводиться розрахунок під час трифазного короткого замикання (таблиця 2.3):

$$I_{нв} = 31,5 \text{ кА} > I''_{\Sigma} = 16,458 \text{ кА};$$

$$i_{нв} = 80 \text{ кА} > i_{y\Sigma} = 40,823 \text{ кА}.$$

Перевірка вакуумного вимикача на динамічну стійкість. Розрахунок здійснюється під час трифазного короткого замикання (таблиця 2.3):

$$i_{nc} = 80 \text{ кА} > i_{y\Sigma} = \sum_1^n i_{yi} = 40,823 \text{ кА};$$

$$I_{nc} = 31,5 \text{ кА} > I''_{\Sigma} = 16,458 \text{ кА},$$

тобто усі умови перевірки виконуються.

Параметри вакуумного вимикача представлено в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 - Порівняння параметрів вакуумного вимикача з розрахунковими даними.

| Параметри вакуумного вимикача | Відношення | Розрахункові величини для здійснення вибору вакуумного вимикача |
|---|------------|---|
| $U_n = 10 \text{ кВ}$ | = | $U_{нПП} = 10 \text{ кВ}$ |
| $I_n = 2000 \text{ А}$ | > | $I_{роб.форс} = 1620 \text{ А}$ |
| $I_{нв} = 31,5 \text{ кА}$ | > | $I_{нт\Sigma} = 16,458 \text{ кА}$ |
| $\sqrt{2}I_{нв}(1 + \beta_H) = 62,4 \text{ кА}$ | > | $\sqrt{2} \cdot I_{нт\Sigma} + i_{ат} = 27,58 \text{ кА}$ |

Продовження таблиці 3.11

| | | |
|--|---|---|
| $I_{TC}^2 \cdot t_{TC} = 2977 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | > | $B_{\text{к розр}} = 21,85 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |
| $I_{nc} = 31,5 \text{ кА}$ | > | $I_{\Sigma}^{(3)} = 16,458 \text{ кА}$ |
| $i_{nc} = 80 \text{ кА}$ | > | $i_{y\Sigma}^{(3)} = 40,823 \text{ кА}$ |
| $I_{нв} = 31,5 \text{ кА}$ | > | $I_{\Sigma}^{(3)} = 16,458 \text{ кА}$ |
| $i_{нв} = 80 \text{ кА}$ | > | $i_{y\Sigma}^{(3)} = 40,823 \text{ кА}$ |

3.1.4 Вибір і перевірка апаратів в КРП 6 кВ**3.1.4.1 Вибір та перевірка ТН.**

Таблиця 3.12 - Вибір приладів, які підключені до трансформаторі напруги.

| № п.п. | Місце встановлення та перелік приладів | Тип приладу | $S_{\text{ном}}$, ВА | Число обмоток | cos φ | sinφ | Загальне число приладів | P , Вт | Q , Вар |
|--------|--|-------------|-----------------------|---------------|-------|------|-------------------------|----------|-----------|
| 1. | Збірні шини | | | | | | | | |
| 2. | Вольтметр | Е-378 | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 2,0 | – |
| 3. | Вольтметр Регістр. | І-393 | 10,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 10,0 | – |
| 4. | Ватметр Регістр. | І-395 | 10,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 10,0 | – |

Продовження таблиці 3.12

| | | | | | | | | | |
|----|------------------------------|--------|-----|-----|----------|-------|-----|------|-----|
| 5. | Частотомір Регістр. | I-397 | 7,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 7,0 | – |
| 6. | Лічильник активної енергії | ЦЕ6805 | 2,0 | 2,0 | 0.3 8 | 0.925 | 1,0 | 1.52 | 3.7 |
| 7. | Лічильник реактивної енергії | ЦЕ6811 | 2,0 | 2,0 | 0.3 8 | 0.925 | 1,0 | 1.52 | 3.7 |
| 8. | Разом | | | | | | | 32.0 | 7.4 |

Сумарна споживана повна потужність становить:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{2\Sigma}^2 + Q_{2\Sigma}^2} = \sqrt{32,04^2 + 7,4^2} = 32,88 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Приймаємо для встановлення трьохфазний ТН типу *НТМІ-6-УХЛ1* із номінальною потужністю у класі точності 0,5 $S_{2н} = 200 \text{ В} \cdot \text{А}$.

$S_{2н} = 200 \text{ В} \cdot \text{А} > S_{2\Sigma} = 32,88 \text{ В} \cdot \text{А}$, отже виконується умова перевірки згідно класу точності.

3.1.4.2 Вибір та перевірка ТС

Приймаємо для встановлення ТС типу *ТТШШ1-6-3000/5* із номінальним струмом первинної обмотки $I_{1н} = 3000 \text{ А}$, номінальним струмом вторинним обмотки $I_{2н} = 5 \text{ А}$, клас точності ВО 0,5S/0,5/5P, номінальне вторинне навантаження у класі точності 0,5 $z_{2н} = 2 \text{ Ом}$.

Номінальні параметри трансформатора струму, розрахункові величини у колах, їх співвідношення показано у таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 - Параметри ТС.

| Параметри ТС | Відношення | Розрахункові величини для здійснення вибору ТС |
|--|------------|---|
| $U_n = 6 \text{ кВ}$ | = | $U_{нрп} = 6 \text{ кВ}$ |
| $I_n = 3000 \text{ А}$ | > | $I_{роб.форс} = 2690 \text{ А}$ |
| $z_{2н} = 2 \text{ Ом}$ | > | $z_{2розр} = 1,2 \text{ Ом}$ |
| $i_{дин} = 100 \text{ кА}$ | > | $i_{y\Sigma} = 58,72 \text{ кА}$ |
| $B_{к доп} = I_{мс}^2 \cdot t_{мс} = 2977 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | > | $B_{крозр} = 44,93 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

Результати зведемо в таблицю 3.14. Визначимо на базі табл. 3.14:

$$r_{нрп} = \frac{S_{нрп}}{I_{2н}^2} = \frac{5}{4^2} = 0,16 \text{ Ом},$$

$$q_{к доп} = \frac{\rho \cdot l_{розр}}{r_{нр}} = \frac{0,0283 \cdot 50}{0,94} = 1,5 \text{ мм}^2,$$

Знайдемо допустимий опір проводів:

$$r_{нр} = Z_{2ном} - r_{нрп} - r_{к} = 1,2 - 0,16 - 0,1 = 0,94 \text{ Ом},$$

Таблиця 3.14 - Вибір приладів, які підключені до ТС

| № п.п. | Назва приладу | Тип приладу | Навантаження фази, В·А | | |
|--------|------------------------------------|-------------|------------------------|-----|-----|
| | | | A | B | C |
| 1. | Ватметр | Д-335 | 0.5 | — | 0.5 |
| 2. | Амперметр | Е-335 | 0.5 | — | — |
| 3. | Лічильник активної енергії | САЗ-4681 | 2.5 | 2.5 | — |
| 4. | Варметр | Д-335 | 0.5 | — | 0.5 |
| | $S_{нр}, \text{ В} \cdot \text{А}$ | | 4,0 | 2.5 | 1,0 |

Приймаємо для встановлення кабель КВВГ із мідними жилами перерізом $1,5 \text{ мм}^2$. Знайдемо опір даного кабелю:

$$r_{\text{каб}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{q} = \frac{0,0283 \cdot 50}{1,5} = 0,94 \text{ Ом}$$

Знайдемо вторинний розрахунковий опір:

$$Z_{2\text{розр}} = r_{\text{каб}} + r_{\text{прил}} + r_{\text{к}} = 0,94 + 0,16 + 0,1 = 1,2 \text{ Ом}.$$

Із порівняння $Z_{2\text{нав}} = 2 \text{ Ом} > Z_{2\text{розр}} = 1,2 \text{ Ом}$ можна сказати, що виконується умова перевірки згідно класу точності.

3.1.4.3 Вибір автоматичних вимикачів

Знайдемо струми робочого форсованого режиму трансформатора:

- робочий форсований струм НН трансформатора напруги:

$$I_{\text{роб.форс.тр}} = \frac{S_{\text{НН.тр.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{нрп}}} = \frac{0,7 \cdot 40}{\sqrt{3} \cdot 6} = 2,69 \text{ кА},$$

В якості вимикача у КРП 6 кВ встановлюємо ВВ типу $ВР6В$ із слідуючими параметрами, представленими в табл. 3.15.

Таблиця 3.15 - Параметри вакуумного вимикача.

| | |
|--|--------|
| Найбільша робоча напруга U_{max} | 7.2 кВ |
| Номинальна напруга $U_{\text{нQ}}$ | 6 кВ |
| Номинальний струм відключення $I_{\text{нв}}$ | 40 кА |
| Номинальний струм $I_{\text{нQ}}$ | 3150 А |
| Діюче значення наскрізного струму $I_{\text{пс}}$ | 40 кА |
| Найбільший пік граничного наскрізного струму $i_{\text{пс}}$ | 128 кА |
| Діюче значення номінального струму включення $I_{\text{нв}}$ | 40 кА |
| Найбільший пік номінального струму включення $i_{\text{нв}}$ | 128 кА |

Продовження таблиці 3.15

| | |
|--|---------|
| Час термічної стійкості $t_{тс}$ | 3 с |
| Струм термічної стійкості $I_{тс}$ | 40 кА |
| Власний час відключення $t_{вч}$ | 0.045 с |
| Час відключення t_{ϵ} | 0.065 с |
| Зміст аперіодичної складової β % | 40 |

Перевірка вакуумного вимикача на термічну стійкість. Приймають трифазне коротке замикання в якості розрахункового для даної перевірки (таблиця 2.5). Потрібно перевірити виконання слідуючої умови $B_{к доп} \geq B_{к розр}$. Допустимий тепловий імпульс, який визначається згідно параметрів вакуумного вимикача, $B_{к доп} = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$.

Тепловий імпульс періодичної складової струму короткого замикання:

$$B_{кп} = \left(\frac{I_{\Sigma}'' + I_{n\tau\Sigma}}{2} \right)^2 \cdot \tau + \left(\frac{I_{n\text{відкл}} + I_{n\tau\Sigma}}{2} \right)^2 \cdot (t_{\text{відкл}} - \tau) =$$

$$= \left(\frac{23,229 + 23,229}{2} \right)^2 \cdot 0,055 + \left(\frac{23,229 + 23,229}{2} \right)^2 \cdot (0,165 - 0,055) = 22,27 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де I_{Σ}'' , $I_{n\tau\Sigma}$, $I_{n\text{відкл}}$ - сумарні струми трифазного короткого замикання (таблиця 2.5):

$$t_{\text{відкл}} = t_{рз \text{ max}} + t_{чв} = 0,1 + 0,065 = 0,165 \text{ с},$$

$t_{рз \text{ max}} = 0,1 \text{ с}$ - час спрацювання резервних РЗ.

Тепловий імпульс аперіодичної складової струму короткого замикання:

$$B_{ка} = (I_{\Sigma}'')^2 \cdot T_{ae} = 23,229^2 \cdot 0,042 = 22,66 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де $T_{ae} = \left(\sum_1^n I'' \cdot T_{ai} \right) / \left(\sum_1^n I_i'' \right) = 0,042 \text{ с}$ - еквівалентна аперіодична складова

усіх віток, що живлять точку короткого замикання.

Із врахуванням $B_{к розр} = B_{кп} + B_{ка}$ виконаємо перевірку ВВ на термічну стійкість

$$B_{к доп} = 4800 > B_{к розр} = 22,27 + 22,66 = 44,93 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

умова перевірки виконується.

Перевірка вакуумного вимикача на відключаючу здатність.

$$\tau = t_{рз \text{ min}} + t_{вч} = 0,01 + 0,045 = 0,055 \text{ с};$$

Відповідно до таблиці 2.5 $I_{нт\Sigma} = 23,229$, $i_{ат\Sigma} = 6,186 \text{ кА}$.

Здійснимо порівняння цих струми із відповідними параметрами вакуумного вимикача:

$$\sqrt{2} \cdot I_{нев} \cdot \left(\frac{\beta_n \%}{100} + 1 \right) = \sqrt{2} \cdot 40 \cdot 1,4 > \sqrt{2} \cdot I_{нт\Sigma} + i_{ат\Sigma} = \sqrt{2} \cdot 23,229 + 6,186;$$

$$79,2 > 39,04,$$

тобто виконується умова перевірки вакуумного вимикача по повному струму короткого замикання.

Перевірка вакуумного вимикача на включаючу здатність. При перевірці на включаючу здатність розрахунок здійснюється при трифазному короткому замиканні (таблиця 2.5):

$$I_{нев} = 40 \text{ кА} > I_{\Sigma}'' = 23,229 \text{ кА};$$

$$i_{нев} = 102 \text{ кА} > i_{y\Sigma} = 58,72 \text{ кА}.$$

Перевірка вакуумного вимикача на динамічну стійкість. При перевірці на динамічну стійкість розрахунок здійснюється при трифазному короткому замиканні (таблиця 2.5):

$$i_{nc} = 102 \text{ кА} > i_{y\Sigma} = \sum_1^n i_{yi} = 58,72 \text{ кА};$$

$$I_{nc} = 40 \text{ кА} > I_{\Sigma}'' = 23,229 \text{ кА},$$

тобто виконуються умови перевірки.

Параметри вакуумного вимикача та відповідні їм розрахункові величини показано у таблиці 3.16.

Таблиця 3.16 – Порівняльний аналіз параметрів вакуумного вимикача та відповідних розрахункових даних.

| Параметри вакуумного вимикача | Відношення | Розрахункові величини для здійснення вибору вакуумного вимикача |
|--|------------|---|
| $U_n = 6 \text{ кВ}$ | = | $U_{нПІ} = 6 \text{ кВ}$ |
| $I_n = 3150 \text{ А}$ | > | $I_{роб.форс} = 2690 \text{ А}$ |
| $I_{нс} = 40 \text{ кА}$ | > | $I_{нт\Sigma} = 23,229 \text{ кА}$ |
| $\sqrt{2}I_{нВ}(1+\beta_H) = 79,2 \text{ кА}$ | > | $\sqrt{2} \cdot I_{нт\Sigma} + i_{ат} = 39,04 \text{ кА}$ |
| $I_{Тс}^2 \cdot t_{Тс} = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | > | $B_{к розр} = 44,93 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |
| $I_{nc} = 40 \text{ кА}$ | > | $I_{\Sigma}^{(3)} = 23,229 \text{ кА}$ |
| $i_{nc} = 128 \text{ кА}$ | > | $i_{y\Sigma}^{(3)} = 58,72 \text{ кА}$ |
| $I_{нв} = 40 \text{ кА}$ | > | $I_{\Sigma}^{(3)} = 23,229 \text{ кА}$ |
| $i_{нв} = 128 \text{ кА}$ | > | $i_{y\Sigma}^{(3)} = 58,72 \text{ кА}$ |

3.2 Вибір струмоведучих частин ПС

3.2.1 Вибір збірних шин РП 110 кВ ПС

Вибір збірних шин РП 110 кВ ПС представлено в Додатку А.

3.2.2 Вибір та перевірка ошиновки на НН силового трансформатора 10 кВ

Вибір та перевірка ошиновки на НН силового трансформатора 10 кВ представлено в Додатку А.

3.2.3 Вибір та перевірка ошиновки на НН силового трансформатора 6 кВ

Вибір та перевірка ошиновки на НН силового трансформатора 6 кВ представлено в Додатку А.

3.3 РЗ триобмоткового силового трансформатора 110/10/6 кВ

РЗ триобмоткового силового трансформатора 110/10/6 кВ представлено в Додатку Б.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Електробезпека

Проектована підстанція у частині електробезпеки відповідає ДСТУ 12.1.019-79 [5], в якому встановлені загальні вимоги по попередженню небезпечної та шкідливої дії на обслуговуючий персонал електричного струму, електричної дуги та електромагнітного поля.

Ступінь небезпечної та шкідливої дії на персонал електричного струму й електромагнітних полів залежить від:

- роду й величини напруги та струму;
- частоти електричного струму;
- тривалості дії електричного струму на організм людини.

Електробезпека в електроустановках забезпечується за рахунок:

- конструкції електроустановки;
- технічних способів і засобів захисту;
- організаційних та технічних заходів.

Організаційні заходи по забезпеченню безпеки роботи:

- призначення осіб, які відповідальні за безпечне проведення робіт;
- видача наряду або розпорядження;
- видача дозволу на підготовку робочих місць;
- підготовка робочого місця і допуск до роботи;
- нагляд під час роботи;
- переведення на інше робоче місце;
- оформлення перерв у роботі та її закінчення.

Технічні заходи по забезпеченню безпеки роботи:

- відключення та прийняття заходів, які перешкоджають помилковому або - самовільному включенню комутаційної апаратури;

- вивішування заборонних плакатів на приводах ручного та дистанційного управління комутаційною апаратурою;
- перевірка відсутності напруги на струмопровідних частинах, які повинні бути заземлені для захисту людей від ураження електричним струмом;
- накладення заземлення;
- обгородження, при необхідності, робочого місця і вивішування попереджувальних і дозволяючих плакатів.

Під час протікання струму через первинну обмотку трансформаторів струму розривати кола, що підключені до вторинних обмоток категорично забороняється, оскільки на затискачах виникає дуже висока напруга. При необхідності розриву цих кіл вони повинні бути попередньо замкнуті перемичкою. Установка перемички виконується із застосуванням інструменту з ізольованими ручками.

Перекриття ізоляції на збірці кіл трансформаторів струму може викликати хибне спрацювання пристроїв РЗА.

З'єднання із заземленням вторинних кіл трансформаторів струму та трансформаторів напруги виконується для того, щоб при пошкодженні основної (між обмотками високої та низької напруги) ізоляції, висока напруга не попадала на вторинні кола, що б привело до ураження персоналу електричним струмом при дотику до цих кіл і до псування ізоляції апаратури і кіл РЗА.

При роботах на трансформаторах струму або в колах, які підключені до вторинних обмоток цих трансформаторів необхідно дотримуватися наступних запобіжних заходів:

- затискачі вторинних обмоток до закінчення робіт повинні бути замкнені на коротко. Після приєднання змонтованих кіл до трансформаторів струму закортка переноситься на найближчу збірку затискачів і знімається тільки після повного закінчення монтажу та перевірки правильності приєднання змонтованих кіл;

- забороняється використовувати шини первинних кіл у ролі допоміжних струмопроводів, при монтажі або як струмопровідні кола при виконанні зварних робіт.

Персонал, який веде роботи на панелях, у колах управління і РЗА, повинен виконувати правила техніки безпеки, щоб не бути ураженим електричним струмом при роботах під напругою.

Інструмент, яким ведуться роботи (викрутки, різні ключі, правки, плоскогубці та ін.), повинен забезпечувати зручність і безпечність виконання робіт на пультах, панелях і колах вказаних пристроїв. Крім цього ізолюється значна довжина металевої частини викрутки, щоб при падінні її або при роботах була виключена можливість замикання нею сусідніх виводів апаратури. Для цієї ж мети рекомендується обмотувати ізоляційною стрічкою наконечники - "крокодили", залишаючи вільною лише невелику частину із зубцями.

4.2 Технічна безпека

Металеві та інші провідні частини електроустановок, які нормально не знаходяться під напругою, можуть опинитися короткочасно або тривало під напругою, внаслідок порушення ізоляції. Дотик людини до таких частин може привести до ураження її електричним струмом. Небезпека ураження людини електричним струмом може бути зумовлена також стіканням електричного струму з будь-якої частини електроустановки в землю і протіканням електричного струму в землі при пошкодженні ізоляції.

Одним із заходів захисту від ураження людини електричним струмом є захисне заземлення, тобто спеціальне з'єднання частин електроустановки, які в нормальних умовах не знаходяться під напругою із заземлюючим пристроєм.

Заземлюючий пристрій - це сукупність заземлювача і заземлюючих провідників.

Заземлювач - це провідник (електрод) або сукупність з'єднаних між собою провідників (електродів), які стикаються із землею. Заземлювачами можуть бути

не тільки спеціальні провідники, але і частини споруд і комунікацій виробничого або іншого призначення, які стикаються із землею. У “Правилах влаштування електроустановок” вказано, які частини споруд і комунікацій можна, а які не можна використовувати в ролі природних заземлювачів. З цією метою рекомендується використовувати водогінні труби, металеві та залізобетонні конструкції будівель і споруд, які стикаються із землею.

Заземлюючий провідник - це провідник, який з'єднує заземлювані частини із заземлювачем. Як заземлюючі провідники можуть бути використані як спеціально передбачені для цього провідники, так і металеві конструкції (будівельні і виробничого призначення), сталеві труби електроустановок, алюмінієві оболонки кабелів та інші вказані в “Правилах влаштування електроустановок” провідники.

Суть захисного заземлення, як заходу захисту від ураження електричним струмом, полягає в наступному:

- з частини електроустановки, яка виявилася під напругою внаслідок порушення ізоляції, стікає в землю й іде по землі електричний струм. Значення напруг на цій частині електроустановки, відносно точок землі поза зоною розтікання, будуть залежати від значень струму замикання на землю і опору протікання струму (при наявності заземлюючого пристрою - від опору заземлення). Розподіл напруги у зоні розтікання залежать, крім того, від питомого опору землі, а також від кількості і розташування елементів заземлювача (вплив факторів тут не розглядається).
- при замиканні на землю, небезпеку може являти напруга дотику U_d , різниця потенціалів між двома точками в системі заземлення, при одночасному торканні до них людини (найчастіше між рукою і ногою).
- небезпеку в зоні розтікання струму може являти і крокова напруга $U_{кр.}$, різниця потенціалів між двома точками в системі заземлення, де можуть опинитися ноги людини (довжина кроку в середньому дорівнює 0.8 м).
- значення напруги дотику і крокової напруги, при інших незмінних умовах, будуть прямо пропорційними значенню струму замикання на землю.

- зменшення опору заземлення, шляхом раціонального розміщення або збільшення кількості елементів заземлюючого пристрою, приводить до зниження напруг дотику і крокової. Найбільші допустимі значення напруги дотику і крокової залежить від ряду умов: тривалість дії електричного струму, його частоти, опору шляху струму через тіло людини, опору в місці дотику та деяких інших.

4.3 Методи захисту від дії електромагнітного випромінювання

В кожному конкретному випадку повинні знаходитись ефективні та економічно доцільні методи захисту електротехнічного обладнання. Серед них найбільш розповсюджені екранування, оптимальне просторове розміщення і заземлення окремих частин системи, використання пристроїв, що запобігають перенапрузі в найбільш критичних місцях та інші. Деякі з них є ефективними для підвищення стійкості до дії ЕМІ цеху авторемонтного заводу. Розглянемо їх.

Екрани і захисні пристрої. Одним з методів збільшення стійкості і захисту електротехнічних систем від дії сильного електромагнітного випромінювання є використання металевих екранів. Вони відбивають електромагнітні хвилі і гасять високочастотну енергію в металевому об'ємі. Через систему заземлення струм наведений ЕМІ стікає в землю не роблячи шкоди для електронної апаратури, що знаходиться всередині металевих шаф та коробок. Товщину екрану та послаблення, яке він дає, можна розрахувати знаючи потужність та густину потоку випромінювання за екраном, провідність та магнітну проникність матеріалу, частоту ЕМІ.

Для розширення спектра частот, що поглинаються, електромагнітних випромінювань можуть використовуватися різні типи екранів, виконані з різних елементів.

Кабелі та їх екрани. З'єднувальні кабелі – невід'ємна частина електротехнічної системи і потребують захисту від дії ЕМІ. Напруги, що наводяться під дією ЕМІ, залежать від конструкції кабелів, природи кінцевих

навантажень і конструкції роз'ємів, якості монтажу кабелю і зовнішнього оточення при його практичному використанні.

Для захисту з'єднувальних кабелів їх прокладають в земляних траншеях під цементною або бетонованою підлогою цеху, або ховають в спеціальні металеві (сталеві) коробки, які заземлюють. Можна розміщувати кабелі і на поверхні підлоги, але для цього їх необхідно покрити заземленими швелерами. По довжині швелери зварюють так, щоб був надійний електричний контакт. В особливо поганих умовах кабелі слід поміщувати в металевий рукав, який закріплюють на підлозі і заземлюють. Це все разом виконує роль екрану та слугує надійним захистом від механічних пошкоджень кабелів.

Захисні розрядники і плавкі запобіжники. Для захисту від ЕМІ доцільно використати розрядники, які встановлюються на входи і виходи обладнання, в повітряні та підземні лінії зв'язку та електропостачання.

Основні функції захисного розрядника – детектувати імпульс, розімкнути лінію або відвести енергію для попередження пошкодження в обладнанні, що захищається. Розрізняють два види захисних розрядників – „м'які” та „жорсткі” обмежувачі. „М'які” обмежувачі – нелінійні опор, що залежать від напруги (конденсатори, варістори), а „жорсткі” – пристрої з пробоем (газові розрядники, діоди та ін.).

Газові захисні розрядники можуть використовуватися при великих перевантаженнях, але їх недоліком є великий час спрацювання і дуже великий скачок напруги, пропорційний номінально дозволеному струмові.

Напівпровідникові захисні пристрої менш стійкі до напруг, але мають менший час спрацювання.

Використання симетричних двопровідних ліній. В двопровідній лінії напруги між проводами визначаються в основному різницею ємності кожного проводу (ємнісною асиметрією) відносно землі. Симетрування лінії по ємності дозволяє знизити в десятки і сотні раз напругу між проводами в порівнянні з напругою відносно землі. Однак слід враховувати, що в двопровідній лінії напруга відносно землі буде на стільки ж високою як і в однопровідній.

Використання екранованих кабелів і прокладання кабелів в металевих трубах. Більш раціональним при цьому є використання кабелів з високим коефіцієнтом екранування і високою електричною та механічною міцністю.

Використання засобів захисту аналогічних грозозахисним. Такими пристроями є розрядники з дренажними запираючими котушками, плавкі вставки, розв'язувальні пристрої, схеми автоматичного вимкнення обладнання від лінії. Постільки наведені напруги можуть розповсюджуватися по кабельних і повітряних лініях на десятки кілометрів і викликати пошкодження обладнання далеко за межами полум'я ядерного ураження, вхідні ланцюги обладнання повинні бути захищені вказаними вище засобами у всіх випадках і навіть тоді, коли вибух в даному районі не очікується.

Вказані методи і засоби захисту повинні поширюватися на усі види електротехнічного та електронного обладнання з врахуванням характеру уражаючої дії електромагнітних випромінювань ядерного вибуху для забезпечення надійності роботи цеху авторемонтного заводу в умовах військового часу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломної роботи отримано наступні результати:

1. Проведено класифікацію електричних апаратів, розглянуто основне електричне обладнання електричних станцій та підстанцій, види електричних схем. Здійснено постановку задач.
2. Проведено вибір головної схеми електричних з'єднань РП. РП 110 кВ ПС виконано за схемою “Дві робочі системи шин”;
3. Проведено розрахунок однофазного КЗ в точці $K1$, трьохфазного КЗ в точці $K1$, двофазного КЗ в точці $K2$, трифазного КЗ в точці $K2$, двофазного КЗ в точці $K2$, трифазного КЗ в точці $K3$;
4. Проведено вибір і перевірку ЕА в ВРП-110 кВ, КРП-10 кВ, КРП-6 кВ, а саме: трансформаторів напруги, трансформаторів струму, роз'єднувачів, автоматичних вимикачів;
5. Проведено вибір струмоведучих частин підстанції: вибір збірних шин РП 110 кВ підстанції, вибір та перевірку ошиновки на низькій стороні силового трансформатора 10 кВ та 6 кВ;
6. Розглянуто питання релейного захисту триобмоткового силового трансформатора 110/10/6 кВ;
7. Розглянуто питання безпеки життєдіяльності та основ охорони праці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Козлов В. Д. Електрична частина станцій та підстанцій аеропортів : підручник / В. Д. Козлов, В. П. Захарченко, О. М. Тачиніна; за заг. ред. В. Д. Козлова.– К. : НАУ, 2018. – 312 с.
2. Гаряжа В. М. Конспект лекцій з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (частина 1) (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / В. М. Гаряжа, А. О. Карюк; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 149 с.
3. Сегеда М.С. Електричні мережі та системи: Підручник. – 2-ге вид. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 488 с.
4. Правила улаштування електроустановок. / Міненерго вугілля України, - К., 2017.
5. ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Електробезпека. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту
6. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. Учебник для техникумов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 648 с.: ил.
7. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Учеб. пособие для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 608 с.
8. Решетник В.Я. Електричні системи і мережі: Навчальний посібник – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2010. - 191 с.
9. Романюк Ю.Ф. Електричні системи та мережі: Навч. посіб. – К.: Знання, 2007. – 292 с. – (Вища освіта ХХІ століття).

10. Сисак І.М. Електричні системи та мережі [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 1747): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>
11. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електроенергетики та електропостачання: Підручник. 2-ге вид., перероб. і доп. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 436 с.

ДОДАТКИ

Вибір збірних шин РП 110 кВ ПС

$$I_{\max} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{50}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0,26 \text{ кА} .$$

АС-95/16 з номінальним перерізом 94,2 мм²:

$$I_{\text{дон}} = 330 \text{ А} > I_{\max} = 260 \text{ А} .$$

$$\begin{aligned} \theta_{\text{н}}^{\circ} &= \theta_{\text{сп}}^{\circ} + \left(\theta_{\text{тр.дон}}^{\circ} - \theta_{\text{сп.н}}^{\circ} \right) \cdot \left(\frac{I_{\max}}{I_{\text{дон}}} \right)^2 = \\ &= 30^{\circ} + (70^{\circ} - 25^{\circ}) \cdot \left(\frac{260}{330} \right)^2 = 57,9^{\circ} \text{ С} . \end{aligned}$$

$$A_{\text{н}} = 0,6 \cdot 10^4 \text{ А}^2 / \text{мм}^4$$

$$A_{\text{к}} = A_{\text{н}} + \frac{B_{\text{к розр}}}{q^2} = 0,6 \cdot 10^4 + \frac{10,26 \cdot 10^6}{94,2^2} = 1,04 \cdot 10^4 \text{ А} \cdot \text{с} / \text{мм}^4$$

$$Q_{\text{к}}^{\circ} = 134^{\circ} < 200^{\circ} = Q_{\text{дон}}^{\circ} .$$

$$I^{(3)} = 4,585 \text{ кА}$$

$$f = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I^{(2)2}}{a} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4585 \right)^2}{4} = 0,79 \text{ Н/м} ,$$

$$g = 1,1 \cdot 9,8 \cdot m = 1,1 \cdot 9,8 \cdot 1,261 = 13,59 \text{ Н} ,$$

$$\frac{f}{g} = \frac{0,79}{13,59} = 0,06 ,$$

$$\frac{\sqrt{h}}{t_{\text{ек}}} = \frac{\sqrt{2,5}}{0,15} = 10,54 ,$$

$$h = 2,5 \text{ м} ;$$

$$b = 0,03 \cdot h = 0,03 \cdot 2,5 = 0,75 \text{ м} ,$$

$$b_{\text{дон}} = \frac{D - d - a_{\text{дон}}}{2} = \frac{3 - 0,45}{2} = 1,275 \text{ м} ,$$

$$D = a ; a_{\text{дон}} = 0,45 \text{ м} .$$

$$b = 0,75 < b_{\text{дон}} = 1,275 \text{ м}$$

Вибір та перевірка ошиновки на НН силового трансформатора

10 кВ

$$q_{ек} = \frac{I_{роб\ \phiорс} [A]}{j_{ек} [A/мм^2]} = \frac{1620}{1,1} = 1472,7 \text{ мм}^2$$

3хАС-500

$$q_{ал} = 3 \cdot 496 = 1488 \text{ мм}^2 > q_{ек} = 1472,7 \text{ мм}^2,$$

$$I_{мп.дон} = 3 \cdot 945 = 2835 \text{ А} > I_{роб\ \phiорс} = 1620 \text{ А}.$$

$$\begin{aligned} \theta_n^o &= \theta_{cp}^o + (\theta_{мп.дон}^o - \theta_{cp.н}^o) \cdot \left(\frac{I_{max}}{I_{дон}} \right)^2 = \\ &= 30^\circ + (70^\circ - 25^\circ) \cdot \left(\frac{1620}{2835} \right)^2 = 44,69^\circ \text{ C}, \end{aligned}$$

$$\theta_{cp}^o = 30^\circ \text{ C}; \theta_{cp.н}^o - 25^\circ; \theta_{мп.дон}^o - 70^\circ.$$

$$A_n = 0,46 \cdot 10^4 \text{ А}^2 / \text{мм}^4.$$

$$A_k = A_n + \frac{B_k \text{ розп}}{q^2} = 0,46 \cdot 10^4 + \frac{21,85 \cdot 10^6}{1488^2} = 28,1 \cdot 10^4 \text{ А} \cdot \text{с} / \text{мм}^4$$

$$Q_k^o = 156^\circ < 200^\circ = Q_{дон}^o.$$

$$i_y^{(3)} \geq 50 \text{ кА}. i_{y\Sigma}^{(3)} = 40,823 \text{ кА}.$$

$$f_n = \frac{n-1}{n^2} \cdot 2 \cdot 10^7 \frac{(I^{(3)})^2}{a} = \frac{3-1}{3^2} \cdot 2 \cdot 10^7 \frac{16458^2}{0,3} = 60,1 \text{ Н/м},$$

$$n = 3; I^{(3)} = 16458 \text{ А}$$

$$\gamma_k = \frac{f_n}{q} = \frac{60,1}{496} = 0,121 \text{ МПа/м},$$

$$\gamma_1 = \frac{10,8 \text{ м}}{q} = \frac{10,8 \cdot 2,979}{496} = 0,065 \text{ МПа/м},$$

$$l = \frac{29930}{n \cdot q \sqrt{nq(\gamma_k^2 - 3,24\gamma_1^2)}} = \frac{29930}{3 \cdot 496 \sqrt{3 \cdot 496(0,121^2 - 3,24 \cdot 0,065^2)}} = 1,69 \text{ м}$$

Вибір та перевірка ошиновки на НН силового трансформатора

6 кВ

$$q_{ек} = \frac{I_{роб\ \phiорс} [A]}{j_{ек} [A/мм^2]} = \frac{2690}{1,1} = 2445 \text{ мм}^2$$

3хАС-800:

$$q_{ал} = 3 \cdot 821 = 2463 \text{ мм}^2 > q_{ек} = 2445 \text{ мм}^2,$$

$$I_{мп.дон} = 3 \cdot 1180 = 3540 \text{ А} > I_{роб\ \phiорс} = 2690 \text{ А}.$$

$$\begin{aligned} \theta_{н}^{\circ} &= \theta_{сп}^{\circ} + (\theta_{мп.дон}^{\circ} - \theta_{сп.н}^{\circ}) \cdot \left(\frac{I_{max}}{I_{дон}} \right)^2 = \\ &= 30^{\circ} + (70^{\circ} - 25^{\circ}) \cdot \left(\frac{2690}{3540} \right)^2 = 56^{\circ} \text{ C}, \end{aligned}$$

$$\theta_{сп}^{\circ} = 30^{\circ} \text{ C};$$

$$\theta_{сп.н}^{\circ} = 25^{\circ};$$

$$\theta_{мп.дон}^{\circ} = 70^{\circ}.$$

$$A_{н} = 0,57 \cdot 10^4 \text{ А}^2 / \text{мм}^4.$$

$$A_{к} = A_{н} + \frac{B_{к\ розр}}{q^2} = 0,57 \cdot 10^4 + \frac{44,93 \cdot 10^6}{2463^2} = 13,6 \cdot 10^4 \text{ А} \cdot \text{с} / \text{мм}^4$$

$$Q_{к}^{\circ} = 134^{\circ} < 200^{\circ} = Q_{дон}^{\circ}.$$

$$f_n = \frac{n-1}{n^2} \cdot 2 \cdot 10^7 \frac{(I^{(3)})^2}{a} = \frac{3-1}{3^2} \cdot 2 \cdot 10^7 \frac{23043^2}{0,3} = 78,7 \text{ Н/м},$$

$$\gamma_{к} = \frac{f_n}{q} = \frac{78,7}{821} = 0,096 \text{ МПа/м},$$

$$\gamma_1 = \frac{10,8 \text{ м}}{q} = \frac{10,8 \cdot 3,101}{821} = 0,041 \text{ МПа/м},$$

$$l = \frac{29930}{n \cdot q \sqrt{nq(\gamma_{к}^2 - 3,24\gamma_1^2)}} = \frac{29930}{3 \cdot 821 \sqrt{3 \cdot 821(0,096^2 - 3,24 \cdot 0,041^2)}} = 3,99 \text{ м}$$

РЗ триобмоткового силового трансформатора 110/10/6 кВ

1. Основні захисти. До основних захистів відносяться:
 - а) газовий захист від замикань усередині об'єкту;
 - б) подовжній диференціальний струмовий захист від усіх видів замикань на виводах і в обмотках сторін із заземленою нейтраллю;
 - в) диференціальний струмовий захист додаткових елементів.
2. Резервні захисти. Мають декілька варіантів виконання:
 - а) МТЗ з комбінованим пуском по напрузі;
 - б) МТЗ без пуску по напрузі;
 - в) дистанційні захисти автотрансформаторів;
 - г) МТЗ зворотної послідовності з вставкою для дії при симетричних КЗ.

Захисти, діючі на сигнал

До цих захистів відносяться:

- а) МТЗ від симетричного перевантаження для трансформаторів з одностороннім живленням встановлюється тільки з боку живлення;
- б) захист напруги нульової послідовності від замикань на землю на стороні нижчої напруги (НН);
- в) газовий захист.