

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розробка системи релейного захисту та автоматики ПС 750 кВ «Вінницька»

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи ЕТс-41  
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Поталіцин С.Ю.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Вакуленко О.О.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Тарасенко М.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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)  
« » 20\_\_ 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 Никор'як Юрій Михайлович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи релейного захисту та автоматики ПС 750 кВ «Вінницька»

Керівник роботи к.т.н. Поталіцин С.Ю.  
(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 23 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи Генеральний план ПС 750 кВ «Вінницька»

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Розрахунок струмів КЗ

Розрахунок диференційного захисту АТ-1(2)

Перевірка чутливості диференційного захисту

Розрахунок захистів 22Т

Розрахунок захистів трансформатора власних потреб ТВП-5 (ТВП-6)

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Никоряк Ю.М.  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Поталіцин С.Ю.  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРЕТ

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. 53; рис. 4; табл. 7; креслень 4; джерел 11; додатків 0.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Розробка системи релейного захисту та автоматики ПС 750 кВ «Вінницька».

Метою роботи є проектування системи релейного захисту та автоматики підстанції.

Необхідність розробки даного проекту обумовлена: встановленням нового АТ-1 типу АОДЦТН-333000/750/330-У1, встановленням нового ТПР АТ-1 типу ОДТНП-92000/110-У1, а також заміною АТ-2 на новий типу АОДЦТН-333000/750/330-У1 та заміною ТПР АТ-2 на новий типу ОДТНП-92000/110-У1 у зв'язку з їх фізичним старінням.Що зумовило необхідність технічного переоснащення пристроїв релейного захисту», який стосується ВРП 330 кВ.

Ключові слова:

РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ, АВТОМАТИКА, ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ЗАХИСТ, СТРУМОВА ВІДСІЧКА, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	2
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	3
1.1 Релейний захист та автоматика.....	3
1.2 Технічні рішення та структура комплексу релейного захисту та автоматика.....	6
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	14
2.1 Розрахунок струмів КЗ.....	14
2.2 Розрахунок диференційного захисту АТ-1(2).....	22
3 РОЗРАХУНКОВО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	28
3.1 Перевірка чутливості диференційного захисту.....	28
3.2 Розрахунок захистів 22Т.....	37
3.3 Розрахунок захистів трансформатора власних потреб ТВП-5 (ТВП-6).....	41
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	45
4.1 Актуальність проблеми електробезпеки.....	45
4.2 Вимоги до профілактичних медичних оглядів для працівників ПК.....	47
4.3 Економічне значення заходів щодо покращення умов охорони праці.....	49
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	53

## ВСТУП

Проект «Реконструкція ПС 750 кВ «Вінницька» з заміною АТ-2, ТПР АТ-2, встановленням АТ-1, ТПР АТ-1 та впровадженням прогресивних технологічних рішень, комплекс будівель та споруд №1, Комарівська сільська рада, Вінницький район, Вінницька область (Коригування)» виконується згідно до Завдання на проектування.

Адміністративно територія підстанції 750 кВ «Вінницька», що підлягає технічному переоснащенню, знаходиться за адресою: Комплекс будівель та споруд №1, Комарівська сільська рада, Вінницький район, Вінницька область на відстані приблизно 2,5 км від крайньої забудови села.

Необхідність розробки даного проекту обумовлена: встановленням нового АТ-1 типу АОДЦТН-333000/750/330-У1, встановленням нового ТПР АТ-1 типу ОДТНП-92000/110-У1, а також заміною АТ-2 на новий типу АОДЦТН-333000/750/330-У1 та заміною ТПР АТ-2 на новий типу ОДТНП-92000/110-У1 у зв'язку з їх фізичним старінням.

Що зумовило необхідність технічного переоснащення пристроїв релейного захисту», який стосується ВРП 330 кВ. Тому тема роботи є актуальною та має практичну цінність.

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Релейний захист та автоматика

У відповідності до діючих норм передбачається використання сучасних мікропроцесорних пристроїв релейного захисту. Комплекс пристроїв (релейний захист та автоматика) РЗА розроблений з урахуванням вимог, які пред'являються до них, а саме: надійності, швидкої дії, селективності та чутливості. Збільшення надійності функціонування РЗА, що захищає обладнання забезпечується за рахунок:

- використання комплексу мікропроцесорних (МП) пристроїв РЗА;
- використання основних (швидкодіючих) і резервних захистів;
- використання пристроїв резервування відмови вимикача (ПРВВ);
- розділення комплектів захистів по ланцюгам змінного струму, а також по ланцюгам оперативного постійного струму і ланцюгам відключення;
- розміщенням пристроїв, які резервують один одного в різних шафах;
- дією захистів на вимикач через обидва електромагніта відключення.

Використання МП техніки у пристроях РЗА надає суттєві переваги, такі як:

- можливість поєднання в одному пристрої як функцій РЗА, так і допоміжних функцій - реєстрації процесів (осцилографування), визначення міста пошкодження;
- реалізація нових принципів дії, а також покращених характеристик при використанні традиційних принципів дії;
- зручність при налагодженні та експлуатації, значне скорочення строків виводу на перевірку;
- високий коефіцієнт готовності в поєднанні з можливостями більшого числа комбінацій різноманітних функцій;
- наявність систем самодіагностики, функціонального або тестового контролю;

- різноманітні інтерфейси зв'язку людина-машина наближають мікропроцесорні пристрої до користувача та надають можливість інтегрувати МП пристрої РЗА до автоматизованої системи керування технологічним процесом (АСКТП);

- малі масогабаритні показники;

- низькі значення споживчої потужності за колами постійного та змінного струму, змінної напруги.

Розділення за колами змінного струму передбачає живлення комплектів РЗА, які резервують один одного, від різних вторинних обмоток трансформатора струму. Кола змінного струму повинні бути виконанні окремими екранованими кабелями, які прокладені, по можливості, у різних кабельних каналах.

Резервування живлення за колами змінної напруги повинно забезпечуватися за рахунок підключення до ТН суміжного елемента через перемикачі.

Комплекс РЗА кожного захисного елемента виконується з використанням МП пристроїв (терміналів), які розміщуються в шафах.

Формування состава пристроїв у шафах повинно виконуватися з урахуванням забезпечення ближнього резервування, підвищення надійності роботи захистів, спрощення експлуатації і монтажу.

Повинна бути забезпечена можливість проведення налагодження, профілактичного відновлення та позапланового ремонту будь-якої шафи без вивода із дії інших шаф захистів даного елемента.

Шафи повинні бути виконані у єдиній уніфікованій конструкції, бути зручні в експлуатації, дозволяти взаємодіяти з пристроями РЗА, виконаними як на МПТ, так і на електромеханічних реле, а також з пристроями АСКТП і перевірочними пристроями, які повинні замовлятися разом з програмами налаштування.

Живлення терміналів РЗА повинно виконуватися від системи оперативного постійного струму підстанції. Мікропроцесорна частина



пристроїв повинна бути гальванічно відділена від джерела постійного струму.

Живлення оперативним постійним струмом кожного комплекта захисту повинно здійснюватися від окремого автоматичного вимикача.

Повинні бути передбачені заходи, які забезпечують практично безперебійне живлення усіх МП пристроїв РЗА оперативним постійним струмом, оскільки МП термінали більшості виробників допускають відключення живлення без їх перезавантаження на час не більше 50 мс. Резервування живлення кожного пристрою РЗА повинно забезпечуватися схемою електричних з'єднань щита постійного струму.

Усі нові пристрої РЗА та повинні мати можливість підключення до дубльованої кільцевої оптичної мережі через мережевий оптичний інтерфейс для зв'язку з верхнім рівнем керування, системою збору інформації по протоколу обміну даних стандарту IEC 61850 та IEC 62439-3.

Кола змінного струму та напруги шаф (від трансформаторів струму та напруги відповідно) повинні приєднуватися через випробувальні блоки. При цьому вхідні кола змінного струму МП пристроїв РЗА повинні бути, як правило, прохідними.

В шафах повинна бути передбачена можливість підключення зовнішніх спеціалізованих та універсальних пристроїв, наприклад ОМІСК.СЖ- СМС356, для перевірки МП пристроїв захисту.

Організація кіл трансформаторів напруги повинна забезпечувати живлення пристроїв захисту, вимірювання, обліку електроенергії, синхронізму, пристроїв регулювання напруги силових трансформаторів під навантаженням.

У відповідності до вимог директивних матеріалів у схемах організації кіл напруги повинна передбачатися можливість резервування живлення навантаження при виході ТН з ладу або при виводі його в ремонт.

У зв'язку з оперативним обслуговуванням пристроїв та обладнання черговим персоналом, що знаходиться в ЗПУ, всі необхідні сигнали виводяться на центральну сигналізацію (ЦС).

Визначальним при виборі принципів і типів пристроїв РЗА є виконання

основних вимог, які пред'являються до їх функціонування (селективність, швидкодія, чутливість і надійність), а також виконання діючих нормативних і директивних документів.

У зв'язку з тим, що МП пристрої, в порівнянні з електромеханічними (ЕМ), більш схильні до електромагнітних завад, на ПС Вінницька необхідно забезпечити виконання вимог по електромагнітній сумісності і завадозахищеності МП пристроїв.

Розроблені технічні вимоги до пристроїв РЗА та управління необхідні і достатні для реалізації технічних рішень, які передбачені проектною документацією.

## **1.2 Технічні рішення та структура комплексу релейного захисту та автоматики**

На ПС 750 кВ Вінницька по першій черзі передбачається встановлення наступного нового обладнання:

- автотрансформатора АТ-1 та ТПР АТ-1;
- елегазових вимикачів 330 кВ В-40, В-41, В-42;
- трансформатора напруги 330 кВ АТ-1 (3 фази);
- трансформатора напруги 330 кВ для перспективної ПЛ-330 кВ Дністровська ГАЕС;
- трансформатора власних потреб 21Т 15,75/6 кВ 2,5 МВА;
- вимикача В 21Т;
- трансформатора напруги 15,75 кВ.

Також по першій черзі передбачається заміна наступного обладнання:

- лінійних трансформаторів напруги ПЛ 330 кВ Вінницька;
- лінійних трансформаторів напруги ПЛ 330 кВ Козятин;
- лінійних трансформаторів напруги ПЛ 330 кВ Ладизинська ТЕС;
- усіх комірок КРУ 6 кВ в ЗРП 6 кВ;
- щит власних потреб 0,4 кВ КТП-3.

Підключення нового АТ-1 до існуючого ВРП 750 кВ передбачається через роз'єднувачі до шин 750 кВ. Для можливості підключення АТ-1 до ВРП 330 кВ споруджується нове поле з вимикачами В-40, В-41, В-42. В нове поле через вимикачі В-40 та В-42 передбачається виконати перезавод існуючої ПЛ 330 кВ Вінницька. В цьому полі передбачається резервне місце для заводу перспективної ПЛ Дністровська ГАЕС через вимикачі В-40 та В-41. ПЛ 330 кВ Козятин перезаводиться на нове місце в існуюче поле замість ПЛ 330 кВ Вінницька через вимикачі В30 і В32. Замість ПЛ 330 кВ Козятин через вимикачі В-30 та В-31 передбачається підключення нового АТ-1.

У зв'язку з встановленням АТ-1 та встановленням нових пристроїв релейного захисту АТ-1, передбачається виконати реконструкцію існуючих пристроїв РЗА ВРП 750 кВ (в частині підключення до трансформаторів струмів, трансформаторів напруги та взаємодії з автоматикою керування вимикачами 750 кВ (1В, 3В, 5В).

Для захисту АТ-1 та ТПР АТ-1 передбачається встановити комплекс пристроїв РЗА:

1) Два комплекта основних захистів АТ з функціями резервних захистів на базі терміналу КЕТ-670 фірми АВВ , кожний із яких включає в себе:

- основний повздовжній диференційний струмовий захист з гальмуванням від внутрішніх пошкоджень АТ;

- максимальний струмовий захист з гальмуванням компенсаційної обмотки КОу АТ;

- диференційний токовий захист обмотки повздожнього регулювання РОу АТ;

- резервний захист ВН (750 кВ) АТ та СН (330 кВ) АТ (п'ять ступенів дистанційного захисту від усіх видів КЗ та п'ять ступенів струмових захистів нульової послідовності від КЗ на землю);

- ненаправлений максимальний струмовий захист НН (35 кВ) АТ;

- захист від перевантаження ВН, СН, НН та нейтралі АТ;

- захист від втрати охолодження (вводиться в роботу тільки в одному з

комплектів основних захистів АТ);

- захист неповнофазного режиму;
- прийом сигналів від газових і технологічних захистів АТ.

2) Два комплекта основних захистів ТПР АТ з функціями резервних захистів на базі термінала КЕТ-670 фірми АВВ, кожний із яких включає в себе:

- основний повздовжній диференційний струмовий захист з гальмуванням від внутрішніх пошкоджень;

- диференційний струмовий захист ошинування 110 кВ;

- диференційний струмовий захист ошинування 15,75 кВ;

- максимальний струмовий захист з гальмуванням компенсаційної обмотки КОх ТПР АТ;

- максимальний струмовий захист з гальмуванням регулюючої обмотки РОх ТПР АТ;

- захист від втрати охолодження (вводиться в роботу тільки в одному з комплектів основних захистів ТПР АТ);

- прийом сигналів від газових та технологічних захистів АТ.

Два комплекта захисту ошинування 750 кВ та ошинування 330 кВ АТ з функцією ПРВВ вимикача 330 кВ у кожному з комплектів. Перший комплект ошинування 750 кВ та 330 кВ передбачається виконати на базі термінала КЕБ-670 фірми АВВ. Другий комплект ошинування 750 кВ і 330 кВ передбачається виконати на базі термінала 75585 фірми СІЕМЕК5.

Шафа захисту контролю ізоляції вводів 750 кВ АТ на базі термінала 75186 фірми СІЕМЕМ5 та автоматики регулювання напруги АТ.

Шафа технологічних захистів ТПР АТ.

3) Шафа автоматики пожежогасіння на базі мікропроцесорного пристрою.

Управління РПН передбачено ручне дистанційне з ЗПУ та автоматичне з встановленням автоматичного регулятора напруги, який поставляється разом з автотрансформатором.

Передбачається передача необхідного обсягу телевимірів АТ-1 сторони

750 та 330 кВ до нових встановлюваних на щиті керування цифрових вимірювальних приладів 8АТЕС РМ-130 Р1и8. Передбачається передача телеінформації положення РПН АТ-1 та РПН АТ-1 до нових індикаторів положення ИП-2ТК встановлених на щиті керування.

У зв'язку з будівництвом нового поля 330 кВ для кожного вимикача (В-40, В-41, В-42) даного поля передбачається встановити термінал автоматики керування вимикачем з функціями ПРВВ і АПВ КЕС-670 фірми АВВ і термінал моніторингу вимикача БС-210.

Оскільки ПЛ 330 кВ Вінницька перезаводиться в нове поле ВРП 330 кВ передбачається виконати реконструкцію існуючих пристрів релейного захисту ПЛ 330 кВ Вінницька (в частині підключення до трансформаторів струмів, трансформаторів напруги та взаємодії з новими пристроями автоматики керування вимикачами 330 кВ В-40, В-41, В-42 та ДЗШ 330 кВ).

Оскільки ПЛ 330 кВ Козятин перезаводиться на інші вимикачі ВРП 330 кВ передбачається виконати реконструкцію існуючих пристрів релейного захисту ПЛ 330 кВ Козятин (в частині підключення до трансформаторів струмів, трансформаторів напруги та взаємодії з існуючими пристроями автоматики керування вимикачами 330 кВ В-30, В-32 та ДЗШ 330 кВ).

У зв'язку з заміною ТН ПЛ 330 кВ Вінницька, ПЛ 330 кВ Козятин та ПЛ 330 кВ Ладижинська ТЕС передбачається реконструкція існуючих захистів, які використовують напругу ТН ПЛ 330 кВ Вінницька, ПЛ 330 кВ Козятин та ПЛ 330 кВ Ладижинська ТЕС.

Підключення нового АТ-1 до ВРП 330 кВ передбачається через існуючі вимикачі В-30 та В-31. У зв'язку з цим передбачається виконати реконструкцію існуючих пристроїв РЗА ВРП 330 кВ (в частині підключення до трансформаторів струмів, трансформаторів напруги та взаємодії з автоматикою керування вимикачами 330 кВ В-30 і В-31).

У зв'язку з будівництвом нового поля 330 кВ, а також перезаводом ПЛ 330 кВ Вінницька та ПЛ 330 кВ Козятин передбачається виконати реконструкцію існуючих пристроїв ДЗШ 330 кВ (в частині підключення до

трансформаторів струмів нового поля та взаємодії з новими пристроями автоматики керування вимикачами 330 кВ В-41, В-42 та захистами ПЛ 330 кВ Вінницька та ПЛ 330 кВ Козятин).

Нові роз'єднувачі з заземлюючими ножами, які встановлюються за цим титулом (першої черги), підключаються до існуючої системи оперативного блокування ВРУ 330 кВ виконаної на ЕМР.

У зв'язку з встановленням нового автотрансформатора АТ-1 та ТПР АТ-1 передбачається встановлення одного терміналу реєстратора аварійних подій (РС-11).

Для перспективної ПЛ-330 кВ Дністровська ГАЕС передбачається встановлення одного терміналу реєстратора аварійних подій (РС-12).

Для захисту ТВП 21Т за даним титулом передбачається встановити комплект захисту ТВП 21Т та автоматики керування вимикача 21-В на базі терміналу КЕТ650 фірми АВВ, який містить функції:

- струмова відсічка;
- максимальний струмовий захист;
- автоматика керування вимикача;
- пристрій резервування відмови вимикача.

Захист ЗРП 6 кВ виконується в шафах КРП внутрішнього встановлення. У відповідності до головної схеми електричних з'єднань передбачені дві секції шин, з'єднані між собою секційним вимикачем.

Комплекс РЗА ЗРП 6 кВ повинен бути повністю реалізований з використанням МП пристроїв, які повинні розміщуватися безпосередньо у шафах КРП внутрішнього встановлення (в релейних відсіках комірок).

Запропоновані до експлуатації МП пристрої, крім функцій РЗА, повинні забезпечувати:

- дистанційний контроль положення комутаційних апаратів (вимикачів, заземлюючих ножів та інш.)
- дистанційний контроль справності кіл керування і захисту, і справності самого МП пристрою.

Нижче наведений потрібний об'єм функцій РЗА для елементів КРП 6 кВ.

Для ЗРП 6 кВ передбачається:

- логічний захист шин 6 кВ;
- захист від дугових замикань у комірках ЗРП (ЗДЗ).

Для захисту ЗРП за даним титулом передбачається встановити комплекс пристроїв РЗА:

1) В комірці ВВ передбачається встановити термінал КЕР-615 фірми АВВ, який включає в себе наступні функції:

- максимальний струмовий захист з комбінованим пуском по напрузі;
- захист мінімальної напруги;
- захист від дугових замикань (з контролем струму);
- автоматику керування вимикачем;
- пристрій резервування відмови вимикача.

2) В комірці СВ передбачається встановити термінал ВЕЕ-615 фірми АВВ, який включає в себе наступні функції:

- максимальний струмовий захист;
- захист від дугових замикань (з контролем струму);
- автоматику керування вимикачем;
- пристрій резервування відмови вимикача;
- автоматичний ввід резерву.

В комірці КЛ передбачається встановити термінал ВЕЕ-615 фірми АВВ, який включає в себе наступні функції:

- максимальний струмовий захист з комбінованим пуском по напрузі;
- струмова відсічка;
- захист від перевантаження;
- захист від замикань на землю;
- захист від дугових замикань (з контролем струму);
- автоматику керування вимикачем;
- пристрій резервування відмови вимикача.

В табл. 1.1 перелік пристроїв релейного захисту та автоматики

Таблиця 1.1 – Перелік пристроїв РЗА

Тип обладнання	Кількість терміналів	Кількість шаф
Термінал автоматики керування вимикачем 330 кВ, ПРВВ, АПВ	3	3
Термінал основних захистів АТ-1 з функціями резервних захистів	2	2
Термінал основних захистів ТПР АТ-1 з функціями резервних захистів та ДЗО 15,75 кВ	2	2
Термінал захисту ошиновки 750 кВ і ошиновки 330 кВ АТ-1	2	2
Шафа технологічних захистів АТ-1 і захист контролю ізоляції вводів 750 кВ АТ-1	1	1
Шафа РПН АТ-1	-	1
Шафа технологічних захистів і керування РПН ТПР АТ-1	-	1
Шафа автоматики пожежогасіння	-	1
Шафа ТН 330 кВ АТ-1	-	1
Шафа ТН 330 кВ Дністровської ГАЕС	-	1
Шафа ТН 750 кВ I і II СШ	-	1
Шафа РС	2	2
Термінал захисту ТВП 21Т та автоматики керування вимикача В-15 21Т	1	1
Термінал захисту і автоматики керування вимикачем вводу 6 кВ, який містить СВ, МСЗ, ПРВВ, ЛЗШ	5	Встановлюється в комірку ЗРП
Термінал захисту і автоматики керування секційним вимикачем 6 кВ, який містить СВ, МСЗ, ПРВВ, ЛЗШ	1	Встановлюється в комірку ЗРП
Термінал захисту і автоматики керування вимикачем приєднання лінії 6 кВ який містить СВ, МСЗ, АПВ, ПРВВ	11	Встановлюється в комірку ЗРП
Термінал захисту ТН 6 кВ	2	Встановлюється в комірку ЗРП

В комірці ТН передбачається встановити термінал КЕИ-615 фірми АВВ, який включає в себе наступні функції:

- контроль відсутності напруги на секції шин 6 кВ (КВНШ);



- контроль наявності напруги на секції шин 6 кВ (КВНШ);
- сигналізація замикань на землю;
- контроль справності трансформатора напруги.

Захист від дугових замикань виконується з використанням пристроїв, чутливих до струму КЗ при дугових замиканнях у відсіках шаф ЗРП 6 кВ.

## 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Розрахунок струмів КЗ

Метою виконання розрахунків струмів КЗ є визначення вимог до обладнання, встановлення якого планується на ПС 750 кВ Вінницька при технічному переоснащенні. Значення струмів КЗ на ПС 750 кВ Вінницька наведені в табл. 2.1, 2.2.

Таблиця 2.1 – Максимальні струми КЗ на стороні НН АТ-1(2)

КЗ на ш. 15,75 кВ	$I^{(3)}_{\phi}$ , кА
КЗ перед реактором	150,87
КЗ за реактором 25Т	53,95
КЗ за реактором 22Т	6,23

Таблиця 2.2 – Максимальний струм КЗ нейтралі

	$I^{(1)}_{\phi}$ , кА
Струм КЗ в нейтралі	8,008

Значення струмів КЗ на ПС 750 кВ Вінницька на шинах ЗРУ 6кВ наведенні в табл. 2.3, струм КЗ на шинах 0,4 кВ КТП №3 – табл. 2.4.

Таблиця 2.3 – Максимальні струми КЗ на шинах ЗРУ 6кВ

КЗ на 6 кВ	$I^{(3)}_{\phi}$ , кА
КЗ ІСШ	3,1
КЗ ІСШ	2,85

Таблиця 2.4 – Максимальні струми КЗ на шинах 0,4 кВ КТП №3

КЗ на 0,4 кВ	$I^{(3)}_{\phi}$ , кА
Струм КЗ шинах 0,4 кВ	13,35

На рис. 2.1 показана структурна схема мережі 6 кВ

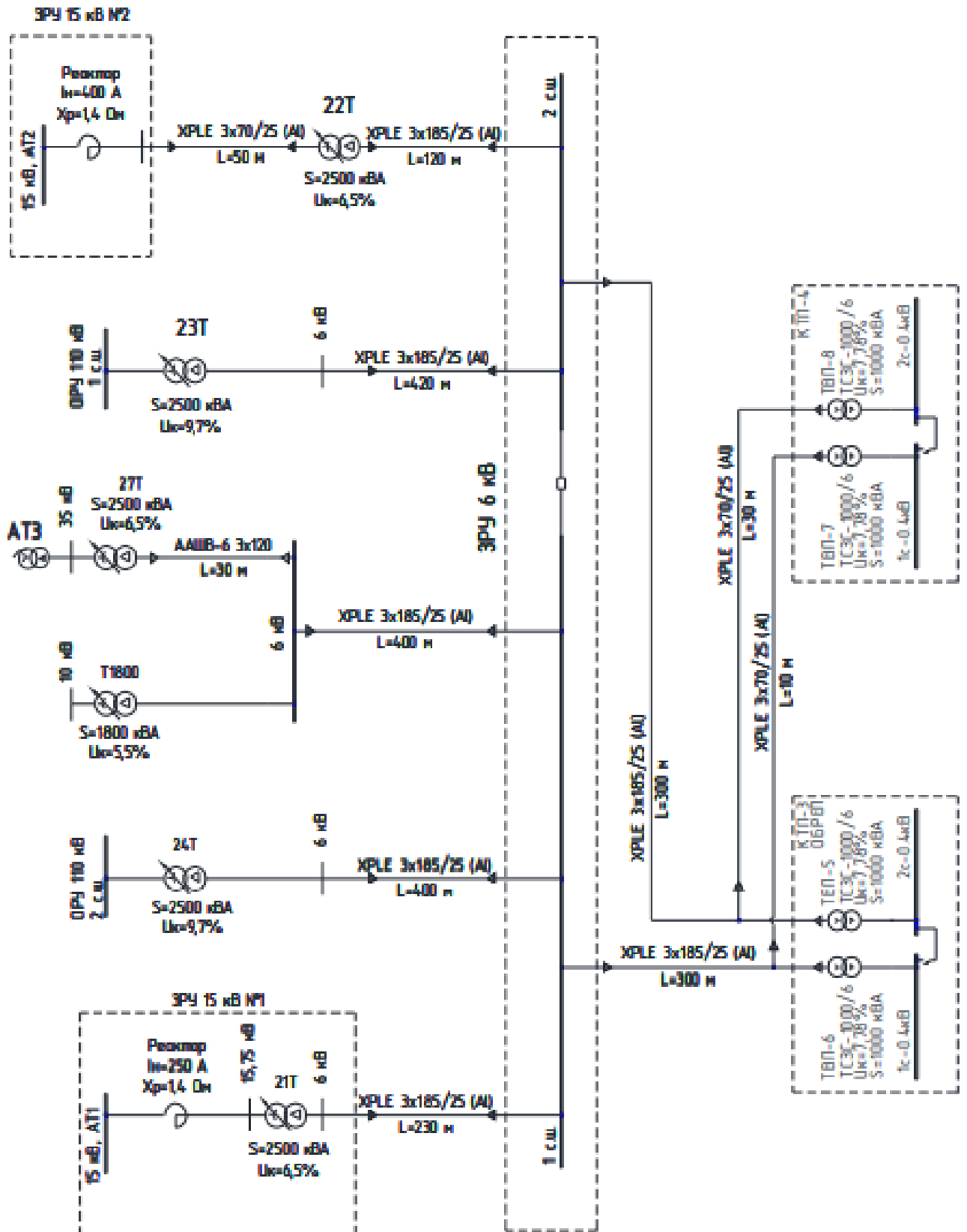


Рисунок 2.1 – Структурна схема мережі 6 кВ

На рис. 2.2 показано схему заміщення мережі 6 кВ

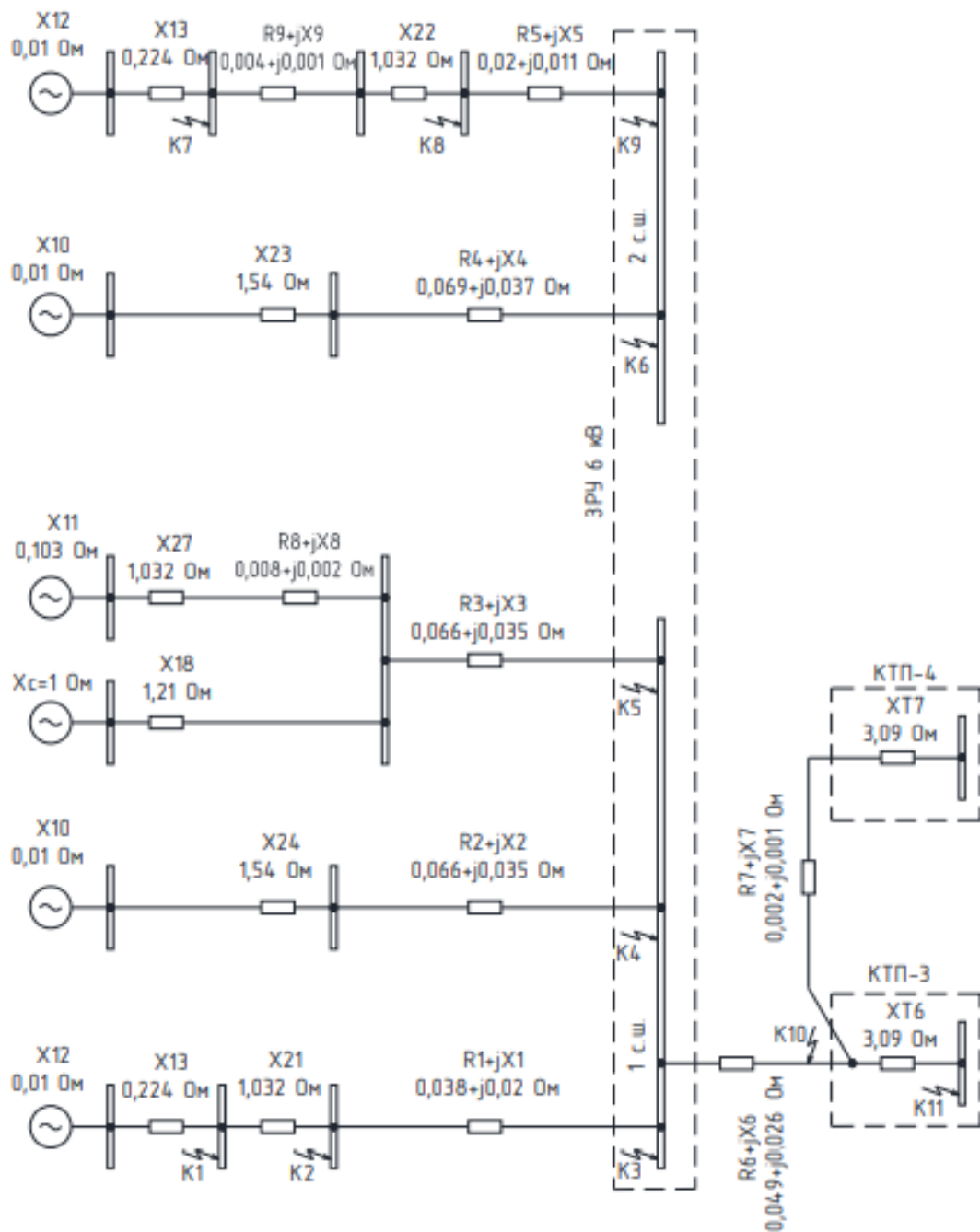


Рисунок 2.2 – Схема заміщення мережі 6 кВ

Розрахунок параметрів схеми заміщення (всі параметри приведені до степені напруги 6 кВ).

### Опір КЛ 6 кВ

- 1) КЛ 6 кВ ЗРУ6 кВ - 21Т,  $L_{каб}=0,23$  км

$$R1 = 0,164 \text{ (Ом/км)} \cdot 0,23 \text{ (км)} = 0,038 \text{ (Ом)}$$

$$X1 = 314 \cdot 0,279 \cdot 10^{-3} \cdot 0,23 = 0,02 \text{ (Ом)}$$

2) КЛ 6 кВ ЗРУ6 кВ - 24Т,  $L_{каб}=0,4$  км

$$R2 = 0,164 \cdot 0,4 = 0,066 \text{ (Ом)}$$

$$X2 = 0,314 \cdot 0,279 \cdot 0,4 = 0,035 \text{ (Ом)}$$

3) КЛ 6 кВ ЗРУ6 кВ - 27Т (Т1800),  $L_{каб}=0,4$  км

$$R3 = 0,164 \cdot 0,4 = 0,066 \text{ (Ом)}$$

$$X3 = 0,314 \cdot 0,279 \cdot 0,4 = 0,035 \text{ (Ом)}$$

4) КЛ 6 кВ ЗРУ6 кВ - 23Т,  $L_{каб}=0,42$  км

$$R4 = 0,164 \cdot 0,42 = 0,069 \text{ (Ом)}$$

$$X4 = 0,314 \cdot 0,279 \cdot 0,42 = 0,037 \text{ (Ом)}$$

5) КЛ 6 кВ ЗРУ6 кВ - 22Т,  $L_{каб}=0,12$  км

$$R5 = 0,164 \cdot 0,12 = 0,02 \text{ (Ом)}$$

$$X5 = 0,314 \cdot 0,279 \cdot 0,12 = 0,011 \text{ (Ом)}$$

6) КЛ 6 кВ ЗРУ 6 кВ - КТП №3,  $L_{каб}=0,3$  км

$$R6 = 0,164 \cdot 0,3 = 0,049 \text{ (Ом)}$$

$$X6 = 0,314 \cdot 0,279 \cdot 0,3 = 0,026 \text{ (Ом)}$$

7) КЛ 6 кВ КТП №3- КТП №4,  $L_{каб}=0,03$  км

$$R7 = 0,164 \cdot 0,03 = 0,0049 \text{ (Ом)}$$

$$X7 = 0,314 \cdot 0,279 \cdot 0,03 = 0,0024 \text{ (Ом)}$$

8) КЛ 6 кВ 27Т-Т1800 (кабель ААШВ-6 3x120),  $L_{каб}=0,03$  км

$$R8 = 0,258 \cdot 0,03 = 0,008 \text{ (Ом)}$$

$$X8 = 0,076 \cdot 0,03 = 0,002 \text{ (Ом)}$$

9) КЛ 15 кВ, ЗРУ 15 кВ №2 - Т22,  $L_{каб}=0,05$  км

$$R_9 = 0,443 \cdot 0,05 \text{ (км)} = 0,022 \text{ (Ом)}$$

$$X_9 = 0,314 \cdot 0,376 \cdot 0,05 = 0,006 \text{ (Ом)}$$

Опір, приведений до ступені напруги 6 кВ:

$$R_9 = 0,022 \cdot (6,3/15,75)^2 = 0,004 \text{ (Ом)}$$

$$X_9 = 0,006 \cdot (6,3/15,75)^2 = 0,001 \text{ (Ом)}$$

10) Опір системи ПО кВ,

$$IK_3(3) = 20 \text{ кА}$$

Опір системи приведено до напруги 115 кВ:

$$X_{10}=3,32 \text{ (Ом)}$$

Опір системи приведено до напруги 6,3 кВ:

$$X_{10}=0,01 \text{ (Ом)}$$

11) Опір системи 35 кВ (АТ3)

$$IK_3(3) = 6 \text{ кА}$$

Опір системи приведено до напруги 35 кВ:

$$X_{11}=3,56 \text{ (Ом)}$$

Опір системи приведено до напруги 6,3 кВ:

$$X_{11}=0,103 \text{ (Ом)}$$

12) Опір системи 15,75 кВ (АТ1, АТ2)

$$IK_3(3) = 150,87 \text{ кА, } U = 15,75 \text{ кВ}$$

Опір системи приведено до напруги 15,75 кВ:

$$X_{12}=0,0603 \text{ (Ом)}$$

Опір системи приведено до напруги 6,3 кВ:

$$X_{12}=0,01 \text{ (Ом)}$$

13) Опір струмообмежувального реактора

$$X_p=1,4 \text{ Ом, } U=15,75 \text{ кВ.}$$

Опір системи приведено до напруги 6,3 кВ:

$$X_{13} = 1,4 \cdot (6,3/15,75)^2 = 0,224 \text{ Ом}$$

### **Опір трансформаторів**

14) Трансформатор 21Т

$$S = 2500 \text{ кВА, } U_K = 6,5 \%$$

Опір трансформатора приведено до напруги 6,3 кВ:

$$X_{21} = 1,032 \text{ (Ом)}$$

15) Трансформатор 22Т

$$X_{22} = X_{21} = 1,032 \text{ (Ом)}$$

16) Трансформатор 23Т

$$S = 2500 \text{ кВА, } U_K = 9,7 \%$$

Опір трансформатора приведено до напруги 6,3 кВ:

$$X_{23} = 1,54 \text{ (Ом)}$$

17) Трансформатор 24Т

$$X_{24} = X_{23} = 1,54 \text{ (Ом)}$$

18) Трансформатор 27Т

$$S = 2500 \text{ кВА, } U_K = 6,5 \%$$

Опір трансформатора приведено до напруги 6,3 кВ:

$$X_{27} = 1,21 \text{ (Ом)}$$

19) Трансформатор Т1800

$$S = 1800 \text{ кВА, } U_K = 5,5 \%$$

Опір трансформатора приведено до напруги 6,3 кВ:

$$X_{18} = 1,21 \text{ (Ом)}$$

19) Трансформатор Т6 (КТП №3), Т7 (КТП №4)

$S = 1000$  кВА,  $U_K = 7,78 \%$

Опір трансформатора приведено до напруги 6,3 кВ:

$X_{T6} = X_{T7} = 3,09$  (Ом)

### Розрахунок струмів КЗ

Точка К1, К7 (за реактором, ЗРУ 15 кВ №1, ЗРУ 15 кВ №2)

$X = X_{12} + X_{13} = 0,01 + 0,224 = 0,234$  (Ом)

Струм КЗ, приведений до напруги 6,3 кВ:

$$I_{K3}^3 = \frac{6,3}{1,73 \cdot 0,234} = 15,56 \text{ кА}$$

Струм кз, приведений до напруги 15,75 кВ:

$$I_{K3}^3 = 15,56 \cdot \frac{6,3}{1,73 \cdot 0,234} = 6,23 \text{ кА}$$

Точка К2 (за трансформатором Т21, ЗРУ 15 кВ №1)

$Z = (X_{12} + X_{13} + X_{21}) = 0,01 + 0,224 + 1,032 = 1,266$  (Ом)

$$I_{K3}^3 = \frac{6,3}{1,732 \cdot 1,266} = 2,87 \text{ кА}$$

Точка К3 ( на шинах ЗРУ 6 кВ, 1сш, живлення від Т21)

$Z = R_1 + j(X_1 + X_{12} + X_{13} + X_{21}) = 0,038 + j(0,02 + 0,01 + 0,224 + 1,032) =$   
 $= 0,038 + j 1,286$  (Ом)

$$I_{K3}^3 = \frac{6,3}{1,732 \cdot (0,038 + j1,286)} = 2,83 \text{ кА}$$

Точка К4 (на шинах ЗРУ 6 кВ, 1 с.ш., при живленні від 24Т)

$Z = R_2 + j(X_2 + X_{10} + X_{24}) = 0,066 + j(0,035 + 0,01 + 1,54) = 0,066 + j 1,585$  (Ом)

$$I_{K3}^3 = \frac{6,3}{1,732 \cdot (0,066 + j1,585)} = 2,29 \text{ кА}$$

Точка К5



(на шинах ЗРУ 6 кВ, 1 с.ш., при живленні від Т27, ТІ800 вимкнений)

$$Z = 0,066 + 0,008 + j(0,035 + 0,002 + 0,103 + 1,032) = 0,074 + j1,172$$

$$I_{кз}^3 = \frac{6,3}{1,732 \cdot (0,074 + j1,172)} = 2,83 \text{ кА}$$

Точка К6

(на шинах ЗРУ 6 кВ, 2 с.ш., при живленні від Т23)

$$Z = 0,069 + j(0,037 + 0,01 + 1,54) = 0,069 + j1,587$$

$$I_{кз}^3 = \frac{6,3}{1,732 \cdot (0,069 + j1,587)} = 2,29 \text{ кА}$$

Точка К8 (за реактором, ЗРУ 15 кВ №1, ЗРУ 15 кВ №2)

$$Z = R9 + j(X9 + X12 + X13 + X22) = 0,004 + j(0,001 + 0,01 + 0,224 + 1,032) = 0,004 + j1,267 \text{ (Ом)}$$

$$I_{кз}^3 = \frac{6,3}{1,732 \cdot (0,004 + j1,267)} = 2,87 \text{ кА}$$

Точка К9

(на шинах ЗРУ 6 кВ, 2 с.ш., при живленні від Т22)

$$Z = R9 + R5 + j(X9 + X5 + X12 + X13 + X22) = 0,004 + 0,02 + j(0,001 + 0,011 + 0,01 + 0,224 + 1,032) = 0,024 + j1,278 \text{ (Ом)}$$

$$I_{кз}^3 = \frac{6,3}{1,732 \cdot (0,024 + j1,278)} = 2,85 \text{ кА}$$

Точка К10 (на шинах 6 кВ тр-ра Тб)

$$Z = R6 + jX6 + Z(\text{ТО4КаК5}) = 0,049 + j0,026 + 0,074 + j1,172 = 0,123 + j1,198 \text{ (Ом)}$$

$$I_{кз}^3 = \frac{6,3}{1,732 \cdot (0,123 + j1,198)} = 3,02 \text{ кА}$$

Точка К11 (на шинах 0,4 кВ тр-ра Тб)

$$Z = )ХТ6 + \Gamma(\text{точкаК10}) = 0,123 + j1,198 + j3,09 = 0,123 + j4,288 \text{ (Ом)}$$

Струм КЗ, приведений до напруги 6 кВ: ,ГЗ')

$$I_{K3}^3 = \frac{6,3}{1,732 \cdot (0,123 + j4,288)} = 0,848 \text{ кА}$$

Струм КЗ, приведений до напруги 0,4 кВ:

$$I_{K3}^3 = 0,848 \frac{6,3}{0,4} = 13,35 \text{ кА}$$

## 2.2 Розрахунок диференційного захисту АТ-1(2)

Принцип дії диференційного захисту заснований на порівнянні величини і фаз струмів, що підходять до об'єкту який захищається та відходять від нього. Даний принцип забезпечує миттєве вимкнення короткого замикання в зоні дії захисту. Зона дії обмежується розташуванням трансформаторів струму до яких підключений диференційний захист.

Диференційний струм - це векторна сума струмів всіх сторін автотрансформатора, розраховується для кожної фази окремо. При КЗ в автотрансформаторі диференційний струм рівний сумі струмів, що підтікають до місця пошкодження. При зовнішніх КЗ внаслідок похибок ТС, зміни коефіцієнта трансформації при регулюванні напруги, не точного вирівнювання вторинних струмів в вимірювальному органі дифзахисту виникає струм небалансу.

Для виключення хибного спрацювання внаслідок протікання струмів небалансу реалізований алгоритм гальмування (збільшення струму спрацювання при збільшенні наскрізного струму). В якості гальмівного струму використовується найбільший струм із вимірюваних фазних струмів обмоток автотрансформатора. Вибране значення гальмівного струму являється загальним струмом гальмування для всіх трьох фаз. Для захисту автотрансформатора при внутрішніх пошкодженнях з великими значеннями струмів КЗ передбачений швидкодіючий дифзахист без гальмування (диференційна відсічка). Також в терміналі реалізований алгоритм стабілізації дії дифзахисту при виникненні струму намагнічування в режимі перезбудження

автотрансформатора. Адаптивна стабілізація також реалізована для кидка струму намагнічування при постановці АТ під напругу та для врахування режиму насичення трансформаторів струму при зовнішніх пошкодженнях.

Розрахунок уставок диференційного захисту виконується згідно «Методичних вказівок по вибору уставок і параметрів файлів настройки функцій захисту на базі мікропроцесорного терміналу RET-670 фірми АВВ», «Керівних вказівок по релейному захисту понижувальний трансформаторів і автотрансформаторів 110-500 кВ, випуск 13Б», технічної документації заводу-виробника для терміналу RET-670.

Паспортні данні АТ-1(2) ПС 750 кВ Вінницька

$$S_{НОМ} = S_{ВН} = S_{СН} = 3 \times 333 \text{ МВА};$$

$$S_{НН} = 3 \times 120 \text{ МВА};$$

$$U_{НОМВН} = 750 \text{ кВ},$$

$$U_{НОМСН} = 330 \text{ кВ};$$

$$U_{НОМНН} = 15,75 \text{ кВ};$$

$$u_{кВН-СН} = 10,9 \text{ \%};$$

$$u_{кВН-НН} = 27,4 \text{ \%};$$

$$u_{кСН-НН} = 17,2 \text{ \%}.$$

### **Розрахунок струмів КЗ**

Розрахунок струмів КЗ виконаний на основі базової моделі мережі регіону.

Розрахунки виконуємо для випадку внутрішнього та зовнішнього КЗ. Результати розрахунків наведені в таблицях 2.1.1, 2.1.2.

Перелік розрахункових режимів для розрахунку струмів при КЗ в зоні дії дифзахисту:

1. нормальний режим роботи мережі;
2. вимкнений АТ-2 ПС 750 кВ Вінницька;
- 3.2 + вимкнена Л-750 кВ Вінницька 750-ЮУАЕС;
4. 2 + вимкнена Л-750 кВ Вінницька 750-З.У.;

- 5.2+ вимкнена Л-750 кВ Вінницька 750-Київська;
6. опробування зі сторони 750 кВ лінією ЮУАЕС;
7. опробування зі сторони 750 кВ лінією З.У.;
8. опробування зі сторони 750 кВ лінією Київська;
9. опробування зі сторони 330 кВ (подача напруги від мережі 330 кВ).

Перелік режимів для розрахунку струмів при зовнішньому КЗ:

1. нормальний режим роботи мережі;
2. вимкнений АТ-2 ПС 750 кВ Вінницька;
- 3.2 + вимкнена Л-750 кВ Вінницька 750-ЮУАЕС;
4. 2 + вимкнена Л-750 кВ Вінницька 750-З.У.;
- 5.2+ вимкнена Л-750 кВ Вінницька 750-Київська;
- 6.2 режим + вимкнено АТ-3 ПС 750 кВ Вінницька;
- 7.6 режим + вимкнено Л-330 кВ Лад ТЕС на ПС 750 кВ Вінницька.

Таблиця 2.5 – Розрахунок струмів при КЗ в зоні дії дифзахисту

№ Режи- му	Вид КЗ	Точка КЗ								
		вивода 750 кВ АТ-1			вивода 330 кВ АТ-1			вивода 15,75 кВ АТ-1		
		струм по ст. 750кВ	струм по ст. 330кВ	стру м по ст. 15,75	струм по ст. 750кВ	струм по ст. 330кВ	стру м по ст. 15,75	струм по ст. 750кВ	струм по ст. 330кВ	струм по ст. 15,75кВ
1.	$I_{\phi}^3$	11736	4509	-	2847	19448	-	663	5486	0
	I(1)ф	10273	3767	-	2534	20425	-	-	-	-
	I(2)ф	10165	3912	-	2466	16837	-	574	4752	0
	I(1.1)ф	11010	4170	-	2650	19977	-	-	-	-
2.	I(3)ф	9737	7189	-	4108	12901	-	1116	4168	0
	I(1)ф	7425	5958	-	3700	11583	-	-	-	-
	I(2)ф	8431	6221	-	3558	11158	-	965	3606	0
	I(1.1)ф	8737	6636	-	3853	12194	-	-	-	-

## Продовження таблиці 2.5

3	I(3)ф	6375	7306	-	3300	12933	-	905	4447	0
	I(1)ф	4959	6112	-	2930	11629	-	-	-	-
	I(2)ф	5518	6321	-	2860	11182	-	784	3848	0
	I(1.1)ф	5734	6758	-	3073	12233	-	-	-	-
4	I(3)ф	7774	7310	-	3717	12960	-	1038	4275	0
	I(1)ф	5858	6041	-	3280	11617	-	-	-	-
	I(2)ф	6735	6325	-	3219	11209	-	899	3698	0
	I(1.1)ф	6965	6747	-	3460	12246	-	-	-	-
5.	I(3)ф	6083	7336	-	3304	12952	-	999	4324	0
	I(1)ф	4592	6053	-	2871	11593	-	-	-	-
	I(2)ф	5267	6351	-	2861	11210	-	864	3743	0
	I(1.1)ф	5454	6761	-	3057	12228	-	-	-	-
6.	I(3)ф	3425	0	-	2383	0	-	1525	0	0
	I(1)ф	2858	0	-	2184	0	-	-	-	-
	I(2)ф	2966	0	-	2064	0	-	1321	0	0
	I(1.1)ф	3130	0	-	2245	0	-	-	-	-
7.	I(3)ф	2790	0	-	2026	0	-	1345	0	0
	I(1)ф	2329	0	-	1851	0	-	-	-	-
	I(2)ф	2416	0	-	1755	0	-	1165	0	0
	I(1.1)ф	2550	0	-	1935	0	-	-	-	-
8.	I(3)ф	4497	0	-	2763	0	-	1613	0	0
	I(1)ф	3637	0	-	2519	0	-	-	-	-
	I(2)ф	3894	0	-	2393	0	-	1397	0	0
	I(1.1)ф	4079	0	-	2597	0	-	-	-	-
9.	I(3)ф	0	7615	0	0	13214	0	0	5671	0
	I(1)ф	0	6598	0	0	11972	0	0	-	0
	I(2)ф	0	6595	0	0	11444	0	0	4912	0
	I(1.1)ф	0	7093	0	0	12529	0	0	-	0

Таблиця 2.6 - Розрахунок струмів при зовнішньому КЗ

№ Режи му	Вид КЗ	Точка КЗ								
		ш. 750 кВ ПС 750 Він.			ш. 330 кВ ПС 750 Він.			ш. 15,75 кВ ПС 750 Він.		
		струм по ст. 750кВ	струм по ст. 330кВ	струм по ст. 15,75кВ	струм по ст. 750кВ	струм по ст. 330кВ	струм по ст. 15,75кВ	струм по ст. 750кВ	струм по ст. 330кВ	струм по ст. 15,75кВ
1.	I(3)ф	1978	4509	-	2847	6470	-	663	5486	150874
	I(1)ф	2519	3767	-	2534	8287	-	-	-	-
	I(2)ф	1717	3912	-	2466	5604	-	579	4753	130661
	I(1.1)ф	2325	4239	-	2727	7721	-	-	-	-
2.	I(3)ф	3163	7189	-	4108	9336	-	1116	4168	144488
	I(1)ф	3494	5958	-	3700	11431	-	-	-	-
	I(2)ф	2744	6235	-	3558	8087	-	973	3621	125130
	I(1.1)ф	3348	6801	-	3974	10668	-	-	-	-
3	I(3)ф	3215	7306	-	3300	7499	-	905	4447	140197
	I(1)ф	3504	6112	-	2930	9621	-	-	-	-
	I(2)ф	2790	6340	-	2860	6499	-	794	3848	121415
	I(1.1)ф	3383	6910	-	3177	8868	-	-	-	-
4	I(3)ф	3216	7310	-	3717	8447	-	1038	4275	143032
	I(1)ф	3523	6041	-	3280	10491	-	-	-	-
	I(2)ф	2783	6341	-	3220	7318	-	905	3714	123869
	I(1.1)ф	3393	6901	-	3566	9735	-	-	-	-
5.	I(3)ф	3228	7336	-	3304	7508	-	999	4324	142169
	I(1)ф	3523	6053	-	2871	9579	-	-	-	-
	I(2)ф	2795	6357	-	2861	6503	-	868	3748	123122
	I(1.1)ф	3401	6919	-	3151	8814	-	-	-	-
6.	I(3)ф	3160	7181	-	4108	9336	-	1117	4168	144437
	I(1)ф	3463	5841	-	3694	11469	-	-	-	-
	I(2)ф	2734	6229	-	3559	8087	-	974	3617	125086

## Продовження таблиці 2.6

7.	I(3)ф	2556	5808	-	4131	9389	-	1301	3348	135821
	I(1)ф	3040	4842	-	3745	11328	-	-	-	-
	I(2)ф	2217	5039	-	3579	8134	-	1132	2910	117625
	I(1.1)Ф	2841	5503	-	3998	10652	-	-	-	-

### 3 РОЗРАХУНКОВО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Перевірка чутливості диференційного захисту

Перевірку чутливості диференційного захисту проводимо при КЗ на виводах 750, 330, 15,75 кВ АТ-1(2).

При виконанні розрахунків значення струмів з таблиці 1 приводимо до напруги базової сторони (750 кВ).

Узагальнені уставки диференційного захисту:

$$IdMin = 0,36I_{base};$$

$$EndSection1 = 1,25I_{base};$$

$$EndSection2 = 2I_{base};$$

$$SlopeSection2 = 28\%;$$

$$SlopeSection2 = 52\%;$$

$$IdUnre = 9I_{base};$$

$$I_{base} = 770 \text{ A.}$$

Перевірка чутливості проводиться наступним чином:

1) при роботі захисту на прямолінійній ділянці характеристики

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{DIFF}}{I_{d \min}} \quad (3.1)$$

2) При роботі захисту на першій похилій ділянці характеристики:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{DIFF}}{I_{C3}} = \frac{I_{DIFF}}{I_{d \min} + (I_{\Gamma} - EndSection1) \cdot SlopeSection2} \quad (3.2)$$

3) При роботі захисту на другій похилій ділянці характеристики:



$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{DIFF}}}{I_{\text{C3}}} = \frac{I_{\text{DIFF}}}{\left[ I_{d\text{min}} + (\text{EndSection2} - \text{EndSection1}) \cdot \text{SlopeSection2} + \right.} \quad (3.3)$$

$$\left. + (I_{\Gamma} - \text{EndSection2}) \text{SlopeSection1} \right]$$

4) При роботі дифзахисту в режимі диференційної відсічки:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{DIFF}}}{I_{d\text{Unre}}} \quad (3.4)$$

1. Перевірка чутливості при КЗ на виводах 330 кВ:

Режим №1

$$I_{\text{K3}}^{(3)} = 13720 \text{ A} = 17,82 \text{ Ibase};$$

$$I_{750}^{(3)} = 11736 \text{ A} = 15,24 \text{ Ibase}, \quad I_{330}^{(3)} = 4509 \frac{330}{750} = 1984 \text{ A} = 2,57 \text{ Ibase}, \quad I_{15,75}^{(3)} = 0 \text{ A};$$

$$I_{\text{DIFF}}^{(3)} = 17,82 \text{ Ibase}, \quad I_{\Gamma}^{(3)} = I_{750}^{(3)} = 15,24 \text{ Ibase};$$

$$I_{\text{K3}}^{(1)} = 11930 \text{ A} = 15,5 \text{ Ibase};$$

$$I_{750}^{(1)} = 10273 \text{ A} = 13,34 \text{ Ibase}, \quad I_{330}^{(1)} = 3767 \frac{330}{750} = 1657 \text{ A} = 2,15 \text{ Ibase}, \quad I_{15,75}^{(1)} = 0 \text{ A};$$

$$I_{\text{DIFF}}^{(1)} = 15,5 \text{ Ibase}, \quad I_{\Gamma}^{(1)} = I_{750}^{(1)} = 13,34 \text{ Ibase};$$

$$I_{\text{K3}}^{(2)} = 11886 \text{ A} = 15,43 \text{ Ibase};$$

$$I_{750}^{(2)} = 10165 \text{ A} = 13,2 \text{ Ibase}, \quad I_{330}^{(2)} = 3912 \frac{330}{750} = 1721 \text{ A} = 2,23 \text{ Ibase}, \quad I_{15,75}^{(2)} = 0 \text{ A};$$

$$I_{\text{DIFF}}^{(2)} = 15,43 \text{ Ibase}, \quad I_{\Gamma}^{(2)} = I_{750}^{(2)} = 13,2 \text{ Ibase};$$

$$I_{\text{K3}}^{(1,1)} = 12845 \text{ A} = 16,68 \text{ Ibase};$$

$$I_{750}^{(1.1)} = 11010A = 14,3I_{base}, I_{330}^{(1.1)} = 4170 \frac{330}{750} = 1835A = 2,38I_{base}, I_{15,75}^{(1.1)} = 0A;$$

$$I_{DIFF}^{(1.1)} = 16,68I_{base}, I_{\Gamma}^{(1.1)} = I_{750}^{(1.1)} = 14,3I_{base};$$

робота дифзахисту на третій ділянці характеристики та диференційної відсічки.

Перевірка чутливості диференційного захисту з затримкою.

Струм спрацювання

$$k_q^{(3)} = \frac{17,82}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (15,24 - 2) \cdot 0,52} = 2,39;$$

$$k_q^{(1)} = \frac{15,5}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (13,34 - 2) \cdot 0,52} = 2,38;$$

$$k_q^{(3)} = \frac{15,43}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (13,2 - 2) \cdot 0,52} = 2,41;$$

$$k_q^{(3)} = \frac{16,68}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (14,3 - 2) \cdot 0,52} = 2,39.$$

Перевірка чутливості диференційного захисту:

$$k_q^{(3)} = \frac{17,82}{9} = 1,98; k_q^{(1)} = \frac{15,5}{9} = 1,72; k_q^{(3)} = \frac{15,43}{9} = 1,71; k_q^{(3)} = \frac{16,68}{9} = 1,85.$$

Режим №2

$$I_{K3}^{(3)} = 12900A = 16,75I_{base};$$

$$I_{750}^{(3)} = 9737A = 12,64I_{base}, I_{330}^{(3)} = 7189 \frac{330}{750} = 3163A = 4,1I_{base}, I_{15,75}^{(3)} = 0A;$$

$$I_{DIFF}^{(3)} = 16,75I_{base}, I_{\Gamma}^{(3)} = I_{750}^{(3)} = 12,64I_{base};$$

$$I_{K3}^{(1)} = 10046A = 13,05I_{base};$$

$$I_{750}^{(1)} = 7425A = 9,64I_{base}, I_{330}^{(1)} = 5958 \frac{330}{750} = 2621A = 3,4I_{base}, I_{15,75}^{(1)} = 0A;$$

$$I_{DIFF}^{(1)} = 13,05I_{base}, I_{\Gamma}^{(1)} = I_{750}^{(1)} = 9,64I_{base};$$

$$I_{K3}^{(2)} = 11168A = 14,5I_{base};$$

$$I_{750}^{(2)} = 8431A = 10,95I_{base}, I_{330}^{(2)} = 6221 \frac{330}{750} = 2737A = 3,55I_{base}, I_{15,75}^{(2)} = 0A;$$

$$I_{DIFF}^{(2)} = 14,5I_{base}, I_{\Gamma}^{(2)} = I_{750}^{(2)} = 10,95I_{base};$$

$$I_{K3}^{(1.1)} = 11657A = 15,14I_{base};$$

$$I_{750}^{(1.1)} = 8737A = 11,35I_{base}, I_{330}^{(1.1)} = 6636 \frac{330}{750} = 2920A = 3,8I_{base}, I_{15,75}^{(1.1)} = 0A;$$

$$I_{DIFF}^{(1.1)} = 15,14I_{base}, I_{\Gamma}^{(1.1)} = I_{750}^{(1.1)} = 11,35I_{base};$$

робота дифзахисту на третій ділянці характеристики та диференційної відсічки.

Перевірка чутливості диференційного захисту з затримкою.

Струм спрацювання

$$k_q^{(3)} = \frac{16,75}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (12,64 - 2) \cdot 0,52} = 2,74;$$

$$k_q^{(1)} = \frac{13,05}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (9,64 - 2) \cdot 0,52} = 2,87;$$

$$k_q^{(3)} = \frac{14,5}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (10,95 - 2) \cdot 0,52} = 2,77;$$

$$k_q^{(3)} = \frac{15,14}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (11,35 - 2) \cdot 0,52} = 2,79.$$

Перевірка чутливості диференційного захисту:

$$k_q^{(3)} = \frac{16,74}{9} = 1,86; k_q^{(1)} = \frac{13,05}{9} = 1,45; k_q^{(3)} = \frac{14,5}{9} = 1,61; k_q^{(3)} = \frac{15,14}{9} = 1,68.$$

Режим №5

$$I_{K3}^{(3)} = 9310A = 12,09I_{base};$$

$$I_{750}^{(3)} = 6083A = 7,9I_{base}, I_{330}^{(3)} = 7336 \frac{330}{750} = 3227A = 4,2I_{base}, I_{15,75}^{(3)} = 0A;$$

$$I_{DIFF}^{(3)} = 12,09I_{base}, I_{\Gamma}^{(3)} = I_{750}^{(3)} = 7,9I_{base};$$

$$I_{K3}^{(1)} = 7255 A = 9,42 I_{base};$$

$$I_{750}^{(1)} = 4592 A = 5,96 I_{base}, I_{330}^{(1)} = 6053 \frac{330}{750} = 2663 A = 3,46 I_{base}, I_{15,75}^{(1)} = 0 A;$$

$$I_{DIFF}^{(1)} = 9,42 I_{base}, I_{\Gamma}^{(1)} = I_{750}^{(1)} = 5,96 I_{base};$$

$$I_{K3}^{(2)} = 7989 A = 10,37 I_{base};$$

$$I_{750}^{(2)} = 5267 A = 6,84 I_{base}, I_{330}^{(2)} = 6351 \frac{330}{750} = 2722 A = 3,53 I_{base}, I_{15,75}^{(2)} = 0 A;$$

$$I_{DIFF}^{(2)} = 10,37 I_{base}, I_{\Gamma}^{(2)} = I_{750}^{(2)} = 6,84 I_{base};$$

$$I_{K3}^{(1.1)} = 8429 A = 10,95 I_{base};$$

$$I_{750}^{(1.1)} = 5454 A = 7,08 I_{base}, I_{330}^{(1.1)} = 6761 \frac{330}{750} = 2975 A = 3,86 I_{base}, I_{15,75}^{(1.1)} = 0 A;$$

$$I_{DIFF}^{(1.1)} = 10,95 I_{base}, I_{\Gamma}^{(1.1)} = I_{750}^{(1.1)} = 7,08 I_{base};$$

робота дифзахисту на третій ділянці характеристики та диференційної відсічки.

Перевірка чутливості диференційного захисту з затримкою.

Струм спрацювання

$$k_q^{(3)} = \frac{12,09}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (7,9 - 2) \cdot 0,52} = 3,32;$$

$$k_q^{(1)} = \frac{9,42}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (5,96 - 2) \cdot 0,52} = 3,58;$$

$$k_q^{(3)} = \frac{10,37}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (6,84 - 2) \cdot 0,52} = 3,34;$$

$$k_q^{(3)} = \frac{10,95}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (7,08 - 2) \cdot 0,52} = 3,741.$$

Перевірка чутливості диференційного захисту:

$$k_q^{(3)} = \frac{12,09}{9} = 1,34; k_q^{(1)} = \frac{9,42}{9} = 1,05; k_q^{(3)} = \frac{10,37}{9} = 1,15; k_q^{(3)} = \frac{10,95}{9} = 1,22.$$

## Режим №7

$$I_{K3}^{(3)} = 2790 A = 3,62 I_{base};$$

$$I_{750}^{(3)} = 2790 A = 3,62 I_{base}, I_{330}^{(3)} = 0 A, I_{15,75}^{(3)} = 0 A;$$

$$I_{DIFF}^{(3)} = 3,62 I_{base}, I_{\Gamma}^{(3)} = I_{750}^{(3)} = 3,62 I_{base};$$

$$I_{K3}^{(1)} = 2329 A = 3,02 I_{base};$$

$$I_{750}^{(1)} = 2329 A = 3,02 I_{base}, I_{330}^{(1)} = 0 A, I_{15,75}^{(1)} = 0 A;$$

$$I_{DIFF}^{(1)} = 3,02 I_{base}, I_{\Gamma}^{(1)} = I_{750}^{(1)} = 3,02 I_{base};$$

$$I_{K3}^{(2)} = 2416 A = 3,14 I_{base};$$

$$I_{750}^{(2)} = 2416 A = 3,14 I_{base}, I_{330}^{(2)} = 0 A, I_{15,75}^{(2)} = 0 A;$$

$$I_{DIFF}^{(2)} = 3,14 I_{base}, I_{\Gamma}^{(2)} = I_{750}^{(2)} = 3,14 I_{base};$$

$$I_{K3}^{(1.1)} = 2550 A = 3,31 I_{base};$$

$$I_{750}^{(1.1)} = 2550 A = 3,31 I_{base}, I_{330}^{(1.1)} = 0 A, I_{15,75}^{(1.1)} = 0 A;$$

$$I_{DIFF}^{(1.1)} = 3,31 I_{base}, I_{\Gamma}^{(1.1)} = I_{750}^{(1.1)} = 3,31 I_{base};$$

робота дифзахисту на третій ділянці характеристики та диференційної відсічки.

Перевірка чутливості диференційного захисту з затримкою.

$$k_q^{(3)} = \frac{3,62}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (3,62 - 2) \cdot 0,52} = 2,56;$$

$$k_q^{(1)} = \frac{3,02}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (3,02 - 2) \cdot 0,52} = 2,74;$$

$$k_q^{(2)} = \frac{3,14}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (3,14 - 2) \cdot 0,52} = 2,7;$$

$$k_q^{(1.1)} = \frac{3,31}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (3,31 - 2) \cdot 0,52} = 2,64.$$

Перевірка чутливості диференційного захисту:

$$k_q^{(3)} = \frac{3,62}{9} = 0,4; k_q^{(1)} = \frac{3,02}{9} = 0,33; k_q^{(3)} = \frac{3,14}{9} = 0,35; k_q^{(3)} = \frac{3,31}{9} = 0,37.$$

Режим №9

$$I_{K3}^{(3)} = 3350 A = 4,35 I_{base};$$

$$I_{750}^{(3)} = 0 A, I_{330}^{(3)} = 7615 \frac{330}{750} = 3350 A = 4,35 I_{base}, I_{15,75}^{(3)} = 0 A;$$

$$I_{DIFF}^{(3)} = 4,35 I_{base}, I_{r}^{(3)} = I_{750}^{(3)} = 4,35 I_{base};$$

$$I_{K3}^{(1)} = 2903 A = 3,7 I_{base};$$

$$I_{750}^{(1)} = 0 A, I_{330}^{(1)} = 6598 \frac{330}{750} = 2903 A = 3,77 I_{base}, I_{15,75}^{(1)} = 0 A;$$

$$I_{DIFF}^{(1)} = 3,77 I_{base}, I_{r}^{(1)} = I_{750}^{(1)} = 3,77 I_{base};$$

$$I_{K3}^{(2)} = 2901 A = 3,76 I_{base};$$

$$I_{750}^{(2)} = 0 A, I_{330}^{(2)} = 6595 \frac{330}{750} = 2901 A = 3,76 I_{base}, I_{15,75}^{(2)} = 0 A;$$

$$I_{DIFF}^{(2)} = 3,76 I_{base}, I_{r}^{(2)} = I_{750}^{(2)} = 3,76 I_{base};$$

$$I_{K3}^{(1.1)} = 3120 A = 4,05 I_{base};$$

$$I_{750}^{(1.1)} = 0 A, I_{330}^{(1.1)} = 7093 \frac{330}{750} = 3120 A = 4,05 I_{base}, I_{15,75}^{(1.1)} = 0 A;$$

$$I_{DIFF}^{(1.1)} = 4,05 I_{base}, I_{r}^{(1.1)} = I_{750}^{(1.1)} = 4,05 I_{base};$$

робота дифзахисту на третій ділянці характеристики та диференційної відсічки.

Перевірка чутливості диференційного захисту з затримкою.

Струм спрацювання

$$k_q^{(3)} = \frac{4,35}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (4,35 - 2) \cdot 0,52} = 2,43;$$

$$k_q^{(1)} = \frac{3,77}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (3,77 - 2) \cdot 0,52} = 2,53;$$

$$k_q^{(3)} = \frac{3,76}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (3,76 - 2) \cdot 0,52} = 2,53;$$

$$k_q^{(3)} = \frac{4,05}{0,36 + (2 - 1,25) \cdot 0,28 + (4,05 - 2) \cdot 0,52} = 2,48.$$

Перевірка чутливості диференційного захисту:

$$k_q^{(3)} = \frac{4,35}{9} = 0,48; k_q^{(1)} = \frac{3,77}{9} = 0,42; k_q^{(3)} = \frac{3,76}{9} = 0,4215; k_q^{(3)} = \frac{4,05}{9} = 0,45.$$

Перевірку чутливості диференційного захисту при КЗ на виводах 330 кВ, 15,75 кВ проводимо аналогічно. Результати розрахунків зведені в таблиці 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 - Перевірка чутливості диференційного захисту при КЗ на виводах 330 кВ АТ-1(2)

№ р-му	Вид КЗ	Диференційний струм, А	Диференційний струм, Іь	Гальмівний струм, А	Гальмівний струм, Іь	$k_{q1}^*$	$k_{q2}^*$
1.	$I_{\phi}^{(3)}$	11404	14,81	8557	11,1	2,79	1,64
	$I_{\phi}^{(1)}$	11521	14,96	8987	11,67	2,67	1,66
	$I_{\phi}^{(2)}$	9874	12,7	7408	9,62	2,8	1,41
	$I_{\phi}^{(1,1)}$	11440	14,86	8790	11,41	2,72	1,65
2.	$I_{\phi}^{(3)}$	9784	12,7	5676	7,37	3,78	1,41
	$I_{\phi}^{(1)}$	8796	11,4	5096	6,62	3,83	1,27
	$I_{\phi}^{(2)}$	8467	10,99	4909	6,37	3,87	1,22
	$I_{\phi}^{(1,1)}$	9218	11,97	5365	6,96	3,8	1,33
3.	$I_{\phi}^{(3)}$	8990	11,67	5690	7,39	3,46	1,3
	$I_{\phi}^{(1)}$	8046	10,45	5116	6,64	3,5	1,61
	$I_{\phi}^{(2)}$	7780	10,1	4920	6,38	3,55	1,12
	$I_{\phi}^{(1,1)}$	8455	10,98	5382	6,98	3,47	1,22

## Продовження таблиці 3.1

4.	$I_{\phi}^{(3)}$	9419	12,23	5702	7,4	3,62	1,36
	$I_{\phi}^{(1)}$	8391	10,89	5111	6,64	3,65	1,21
	$I_{\phi}^{(2)}$	8150	10,58	4932	6,4	3,7	1,17
	$I_{\phi}^{(1.1)}$	8848	11,5	5388	6,99	3,63	1,27
5.	$I_{\phi}^{(3)}$	9002	11,7	5699	7,4	3,46	1,3
	$I_{\phi}^{(1)}$	7972	10,35	5100	6,62	3,48	1,15
	$I_{\phi}^{(2)}$	7793	10,12	4932	6,4	3,54	1,12
	$I_{\phi}^{(1.1)}$	8437	10,96	5380	6,99	3,46	1,22
6.	$I_{\phi}^{(3)}$	2383	3,09	2383	3,09	2,72	0,34
	$I_{\phi}^{(1)}$	2184	2,84	2184	2,84	2,82	0,31
	$I_{\phi}^{(2)}$	2064	2,68	2064	2,68	2,9	0,29
	$I_{\phi}^{(1.1)}$	2245	2,91	2245	2,91	2,79	0,32
7.	$I_{\phi}^{(3)}$	2026	2,63	2026	2,63	2,93	0,29
	$I_{\phi}^{(1)}$	1851	2,4	1851	2,4	3,08	0,27
	$I_{\phi}^{(2)}$	1755	2,28	1755	2,28	3,19	0,25
	$I_{\phi}^{(1.1)}$	1935	2,51	1935	2,51	3,0	0,29
8.	$I_{\phi}^{(3)}$	2763	3,59	2763	3,59	2,57	0,99
	$I_{\phi}^{(1)}$	2519	3,27	2519	3,27	2,66	0,36
	$I_{\phi}^{(2)}$	2393	3,1	2393	3,1	2,71	0,34
	$I_{\phi}^{(1.1)}$	2597	3,37	2597	3,37	2,63	0,37
9.		5814	7,55	5814	7,55	2,18	0,84
	$I_{\phi}^{(1)}$	5267	6,84	5267	6,84	2,22	0,76
	$I_{\phi}^{(2)}$	5035	6,54	5035	6,54	2,23	0,73
	$I_{\phi}^{(1.1)}$	5513	7,16	5513	7,16	2,2	0,79

$k_{\phi 1}^*$  - коефіцієнт чутливості при роботі дифзахисту з гальмуванням;

$k_{\phi 2}^*$  - коефіцієнт чутливості при роботі дифзахисту в режимі диф. відсічки.

Таблиця 3.2 - Перевірка чутливості диференційного захисту при КЗ на виводах 15,75 кВ АТ-1(2)



№ р-му	Вид КЗ	Диференційний струм, А	Диференційний струм, Ib	Гальмівний струм, А	Гальмівний струм, Ib	$k_{q1}^*$	$k_{q2}^*$
1.	$I_{\phi}^{(3)}$	3077	3,99	2414	3,13	3,45	0,44
	$I_{\phi}^{(2)}$	2664	3,46	2090	2,71	3,68	0,38
2.	$I_{\phi}^{(3)}$	2949	3,83	1834	2,38	4,99	0,42
	$I_{\phi}^{(2)}$	2551	3,31	1587	2,06	5,5	0,37
3.	$I_{\phi}^{(3)}$	2862	3,72	1957	2,54	4,4	0,41
	$I_{\phi}^{(2)}$	2477	3,22	1693	2,2	4,78	0,36
4.	$I_{\phi}^{(3)}$	2919	3,79	1881	2,44	4,74	0,42
	$I_{\phi}^{(2)}$	2526	3,28	1627	2,11	5,23	0,36
5.	$I_{\phi}^{(3)}$	2901	3,78	1902	2,47	4,64	0,42
	$I_{\phi}^{(2)}$	2510	3,26	1647	2,14	5,07	0,36
6.	$I_{\phi}^{(3)}$	1525	1,98	1525	1,98	5,4	0,22
	$I_{\phi}^{(2)}$	1321	1,71	1321	1,71	3,88	0,19
7.	$I_{\phi}^{(3)}$	1345	1,75	1345	1,75	4,06	0,19
	$I_{\phi}^{(2)}$	1165	1,51	1165	1,51	3,04	0,16
8.	$I_{\phi}^{(3)}$	1613	2,09	1613	2,09	3,38	0,23
	$I_{\phi}^{(2)}$	1397	1,81	1397	1,81	4,38	0,2
9.	$I_{\phi}^{(3)}$	2627	3,41	2627	3,41	2,62	0,38
	$I_{\phi}^{(2)}$	2161	2,81	2161	2,81	2,83	0,31

### 3.2 Розрахунок захистів 22Т

Таблиця 3.2 - Розрахунок захисту трансформатора 22Т

Найменування	Розрахунковий вираз	Числове значення
Вихідні дані		
Номінальна потужність, кВА	$S_{ном}$	2500
Номінальна напруга на боці ВН, кВ	$U_{вн}$	15,75
Номінальна напруга на боці НН, кВ	$U_{нн}$	6,3
Схема з'єднань	Y/Δ	

## Продовження таблиці 3.2

Наруга короткого замикання	$U_k \%$	6,5	
Опір трансформатора, наведений до 15,75 кВ, Ом	$X_T = (U_k/100) \cdot (U_{ВН}^2/S_{НОМ})$	6,45	
Максимальний струм КЗ на боці 15,75 кВ, А	$I_{КЗ\ ВН\ тах}$	6230	
Мінімальний струм КЗ на боці 15,75 кВ, А	$I_{КЗ\ ВН\ тіп}$	5950	
Коефіцієнт трансформації ТС	$K_{ТТ}$	400/5=80	
Коефіцієнт схеми	$K_{сх}$	З'єднання обмоток ТС	
		Зірка	Трикутник
		1	1,73
Розрахунок захисту			
Опір системи в максимальному режимі, Ом	$X_c\ ВН\ тах = U_c\ ВН/I_3 \cdot I_{КЗ\ ВН\ тах}$	$15750/\sqrt{3} \cdot 6230 = 1,46$	
Струм трифазного КЗ за трансформатором на шинах 6,3 кВ, А	$I_{КЗ\ 6,3\ тах} = U_{НН}/I_3 (X_c + X_T + X_{каб\ 1} + X_{каб\ 2})$	$6300/I_3 \cdot 1,282 = 2840$	
Струм двофазного КЗ за трансформатором на шинах 6,3 кВ, А	$I_{кз\ 6,3\ тах} = I_3 \cdot I_{КЗ\ ВН\ тах}/2$	$I_3 \cdot 2840/2 = 2457$	
Струм трифазного КЗ на боці 6,3 кВ, наведений до 15,75 кВ, А	$R_{КЗ\ ВН\ навед} = I_{КЗ\ 6,3\ тах} \cdot U_{НН}/U_{ВН}$	$2840 \cdot 6,3/15,75 = 1136$	

## Продовження таблиці 3.2

Струм двофазного КЗ на боці 6,3 кВ, наведений до 15,75 кВ, А	$I_{\text{КЗ ВН навед}} = I_{\text{КЗ 6,3 max}} \cdot U_{\text{нн}} / U_{\text{ВН}}$	$2457 \cdot 6,3 / 15,75 = 982,6$
Первинний струм спрацювання відсічки, А (відстоєний від максимального струму при зовнішньому трифазному КЗ)	$I_{\text{СЗ СВ}} = 1,4 \cdot I^3_{\text{КЗ ВН}}$	$1,4 \cdot 1136 = 1590,4$
Потужність КЗ на боці 15,75 кВ, кВА	$S_{\text{К}} = I_{\text{З}} \cdot I^3_{\text{КЗ ВН max}} \cdot U_{\text{спрау}}$	$I_{\text{З}} \cdot 6230 \cdot 7900 = 85300$
Струм двофазного КЗ на боці 15,75 кВ, А	$I^2_{\text{КЗ ВН}} = S_{\text{К}} / 2 / U_{\text{спрау}}$	$85300 / 2 / 15,75 = 5399$
Коефіцієнт чутливості (визначається при двофазному КЗ в місці встановлення захисту)	$K_{\text{ч}} = I^2_{\text{КЗ ВН}} / I_{\text{СЗ СВ}}$	$5399 / 1590,4 = 3,4 > 2$
Вторинний струм спрацювання відсічки, А	$I_{\text{ср св}} = K_{\text{сх}} \cdot I_{\text{СЗ св}} / K_{\text{тс}}$	$1590,4 \cdot 5 / 400 = 19,88$
Максимальний робочий струм, А	$I_{\text{роб max}} = I_{\text{ном ВН}} = S_{\text{НОМ}} / U_{\text{ВН}} / I_{\text{З}}$	$2500 / 15,75 / 1,73 = 91,75$
Струм спрацювання МСЗ із витримкою часу, А	$I_{\text{СЗ МСЗ}} = K_{\text{н}} \cdot K_{\text{з}} \cdot I_{\text{роб max}} / K_{\text{в}}$	$1,2 \times 1,5 \cdot 91,75 / 0,8 = 206,4$
Коефіцієнт чутливості (визначається по мінімальному струму, що протікає в реле при двофазному КЗ на шинах 6,3 кВ)	$K_{\text{ч}} = P_{\text{КЗ нн}} / I_{\text{СЗ МСЗ}} = (I_{\text{З}} / 2) I_{\text{КЗ ВН навед}} / I_{\text{СЗ МСЗ}}$	$(I_{\text{З}} / 2) \cdot 1136 / 206,4 = 4,7 > 2$
Для забезпечення надійності струм спрацювання МСЗ можливо обчислити по формулі $I_{\text{тз}} > 4 \times I_{\text{т ном}}$ , тоді		

## Продовження таблиці 3.2

Струм спрацювання МСЗ, А	$I_{сз\ мсз} = 4 \cdot I_{т\ ном}$	$4 \cdot 91,75 = 367$
Вторинний струм спрацювання реле МСЗ, А	$I_{спрац\ мсз} = I_{сз\ мсз} / K_{тс}$	$367 \cdot 5/600 = 3,05$
Первинний струм спрацювання реле перевантаження, А	$I_{сз\ переван} = K_{н} \cdot I_{т\ ном} / K_{в}$	$1,05 \cdot 229 / 0,8 = 301$
Вторинний струм спрацювання реле перевантаження, А	$I_{спрац\ переван} = I_{сз\ переван} / K_{тс}$	$301 \cdot 5/600 = 2,5$
Номинальний струм на боці 6,3 кВ, А	$I_{т\ ном} = 6,3 = 8_{ном} / I_3 \cdot U_{нн}$	$2500 / I_3 \cdot 6,3 = 229$

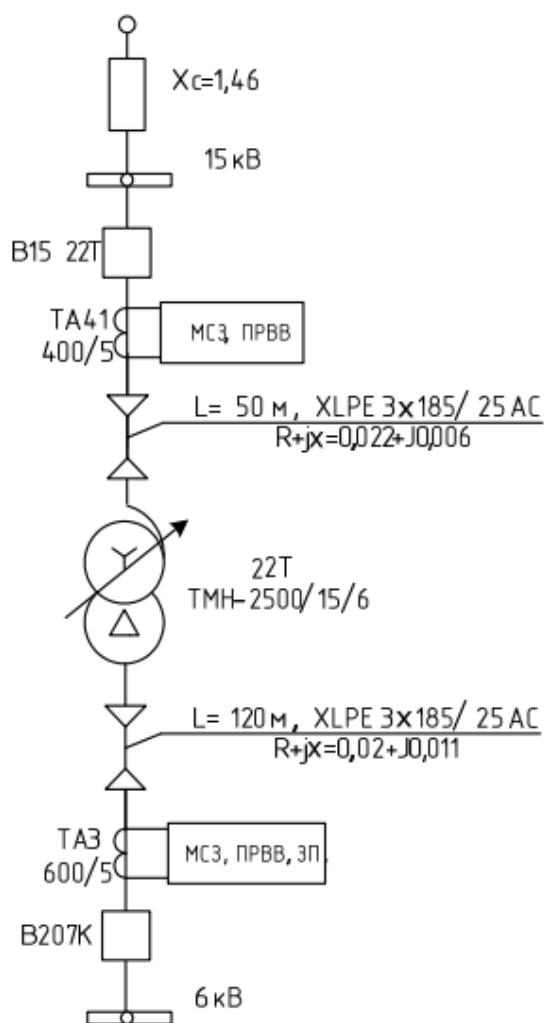


Рисунок 3.1 – Схема трансформатора 22Т

### 3.3 Розрахунок захистів трансформатора власних потреб ТВП-5 (ТВП-6)

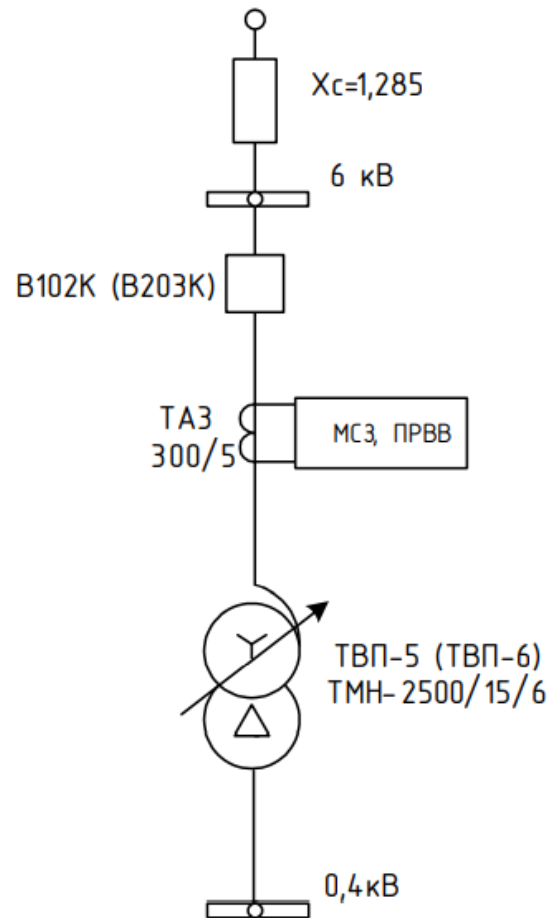


Рисунок 3.2 – Схема трансформатора ТВП-5 (ТВП-6)

Таблиця 3.3 - Розрахунок захисту трансформатора

Найменування	Розрахунковий вираз	Числове значення
Вихідні дані		
Номінальна потужність, кВА	$S_{ном}$	1000
Номінальна напруга на боці ВН, кВ	$U_{вн}$	6,3
Номінальна напруга на боці НН, кВ	$U_{нн}$	0,4

## Продовження таблиці 3.3

Схема з'єднань	У/Δ		
Наруга короткого замикання	$U_k \%$	7,79	
Опір трансформатора, наведений до 0,4 кВ, Ом	$X_T - (U_k/100) \cdot (U^2_{ВН} / Z_{НОМ})$	0,0125	
Максимальний струм КЗ на боці 6,3 кВ, А	$I_{КЗ\ ВН\ тах}$	2830	
Мінімальний струм КЗ на боці 6,3 кВ, А	$I_{КЗ\ ВН\ тін}$	2530	
Коефіцієнт трансформації ТС	КТТ	300/5—60	
Коефіцієнт схеми	Ксх	З'єднання обмоток ТС	
		Зірка	
		Трикутник	
		1	1,73
Розрахунок захисту			
Опір системи в максимальному режимі, Ом	$X_{с\ ВН\ тах} = U_{с\ ВН} / I_{КЗ\ ВН\ тах}$	$6300 / I_3 / 2830 = 1,287$	
Опір системи в мінімальному режимі, Ом	$X_{с\ ВН\ тін} = U_{с\ ВН} / I_{КЗ\ ВН\ тін}$	$6300 / I_3 \cdot 2530 = 1,44$	
Оскільки опір системи малий порівняно з опором трансформатора, то їм можна знехтувати			
Струм трифазного КЗ за трансформатором на шинах 0,4 кВ, А	$I_{КЗ\ 0,4\ тах} = U_{НН} / I_3 / (X_T + X_{каб})$	$400 / I_3 / 0,385 = 6006$	
Струм двофазного КЗ за трансформатором на шинах 0,4 кВ, А	$I_{КЗ\ 6,3\ тах} = I_3 \cdot I_{КЗ\ ВН\ тах} / 2$	$I_3 \cdot 6006 / 2 = 5195$	

Продовження таблиці 3.3

Струм трифазного КЗ на боці 0,4 кВ, наведений до 6,3 кВ, А	$I_{\text{КЗ ВН навед}} = R_{\text{КЗ } 6,3 \text{ тах}} \cdot I_{\text{НН}} / I_{\text{ВН}}$	$6006 \cdot 0,4/6,3 = 381$
Струм двофазного КЗ на боці 0,4 кВ, наведений до 6,3 кВ, А	$I_{\text{КЗ вн навед}} = R_{\text{КЗ } 6,3 \text{ тах}} \cdot U_{\text{НН}} / U_{\text{ВН}}$	$5195 \cdot 0,4/6,3 = 330$
Первинний струм спрацювання відсічки, А (відстоєний від максимального струму при зовнішньому трифазному КЗ)	$I_{\text{сз св}} = 1,4 \cdot R_{\text{КЗ ВН}}$	$1,4 \cdot 381 = 533,4$
Потужність КЗ на боці 6,3 кВ, кВА	$S_{\text{К}} = I_{\text{З}} \times R_{\text{КЗ ВН тах}} \cdot U_{\text{спрац}}$	$I_{\text{З}} \cdot 2830 \cdot 4095 = 20048$
Струм двофазного КЗ на боці 6,3 кВ, А	$R_{\text{КЗ ВН}} = S_{\text{К}}/2 / I_{\text{ВН}}$	$20048/2 / 6,3 = 1591$
Коефіцієнт чутливості (визначається при двофазному КЗ в місці встановлення захисту)	$K_{\text{ч}} = R_{\text{КЗ ВН}} / I_{\text{сз св}}$	$1591/533,4 = 2,98 > 2$
Вторинний струм працювання відсічки, А	$I_{\text{ср св}} = K_{\text{сх}} \cdot I_{\text{сз св}} / K_{\text{тс}}$	$533,4 \cdot 5/300 = 8,88$
Максимальний робочий струм, А	$I_{\text{роб тах}} = I_{\text{ном вн}} = S_{\text{ном}} / I_{\text{ВН}} / I_{\text{З}}$	$1000/6,3 / 1,73 = 91,75$
Струм спрацювання МСЗ із витримкою часу, А	$I_{\text{сз мсз}} = K_{\text{н}} \cdot K_{\text{з}} \cdot I_{\text{роб тах}} / K_{\text{в}}$	$1,2 \cdot 1,5 \cdot 91,75/0,8 = 206,4$
Коефіцієнт чутливості (визначається по мінімальному струму, що	$K_{\text{ч}} = R_{\text{КЗ НН}} / I_{\text{сз мсз}} = (I_{\text{З}}/2) R_{\text{КЗ ВН навед}} /$	$(I_{\text{З}}/2) \cdot 381/206,4 = 1,6 > 1,5$

## Продовження таблиці 3.3

протікає в реле при двофазному КЗ на шинах 0,4 кВ)	/ Ісз мсз	
Для забезпечення надійності струм спрацювання МСЗ можливо обчислити по формулі Тез > 4 • Іт ном, тоді		
Струм спрацювання МСЗ, А	Ісз мсз = 4 • Іт ном	4 • 91,7 = 367
Вторинний струм спрацювання реле МСЗ, А	Іспрац мсз = Ісз мсз / Ктс	367 • 5 / 300 = 6,1
Первинний струм спрацювання реле перевантаження, А	Ісз переван = Кн • • Іт ном / Кв	1,05 • 91,7 / 0,8 = 120,4
Вторинний струм спрацювання реле перевантаження, А	Іспрац переван = Ісз переван / Ктс	120,4 • 5 / 300 = 2
Номінальний струм на боці 0,4 кВ, А	Іт ном 6,3 = 8 ном / Із / Uнн	1000 / Із / 0,4 = 1445
Струм в нейтралі, А	Іх = 0,25 • Іт ном 6,3	0,25 • 91,75 = 22,9
Струм спрацювання захисту ТЗНП, А	Ісз N = Кн • Н	2 • 22,9 = 45,8
Коефіцієнт чутливості	Кч = Ікз 6,3 / Ісз N	381 / 45,8 = 8,3 > 2



## 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Актуальність проблеми електробезпеки

Сучасний рівень технічного прогресу неможливий без широкого впровадження електроустаткування, що в свою чергу викликає необхідність постійного вдосконалення вимог щодо його безпечного обслуговування та засобів захисту. Електроенергія – рухлива сила всього сучасного життя, без нього не можуть обходитися більшість життєво необхідних систем. Тим не менш більшість людей помирають чи отримують пошкодження від електроенергії.

Широке використання електроенергії у всіх галузях народного господарства зумовлює розширення кола осіб, котрі експлуатують електрообладнання. Тому проблема електробезпеки під час експлуатації електрообладнання набуває особливого значення.

У зв'язку зі зростанням рівня смертельного травматизму на підприємствах Міністерства палива та електроенергетики України Держгірпромнагляд запропонував Мінпаливноенерго та територіальним органам Держгірпромнагляду провести перевірки роз'єднувачів напругою 6-10 кВ, зажадати від енергопостачальних компаній вивести з експлуатації неоперативні роз'єднувачі, заборонити практику шунтування роз'єднувачів та інших комунікаційних апаратів, а також забезпечити безпечну експлуатацію електроустановок та проведення ремонтних робіт і безпечно виконання робіт оперативно – виїзними бригадами.

Елетротравматизм порівняно з іншими видами травматизму має деякі відмінні особливості.

Елетротравматизм складає близько 1% від загальної кількості усіх нещасних випадків на виробництві. Але серед нещасних випадків зі смертельними наслідками елетротравми складають близько 40%, посідаючи одне з перших місць, причому близько 90% смертельних уражень

електричним струмом трапляється в електроустановках з напругою 127 – 380В.

Необхідно розрізняти наступні електротравми:

- пов'язані з порушеннями нормальної роботи електрообладнання, при яких через тіло людини утворюється електрична петля чи в результаті яких людина опиняється в електромагнітному полі більшої напруги;

- пов'язані з порушенням нормальної роботи електрообладнання, при яких не виникає електрична петля через тіло людини, а ураження людини викликається опіками, механічними травмами, осліпленням дугою і т.д.;

- змішані, при яких на потерпілого спільно впливають фактори, вказані в попередніх пунктах.

Наслідки негативного впливу дії електричного струму на організм людини залежать від наступних факторів:

- сили струму та напруги; (до 5 мА – безпечний; 5 ÷ 20 мА – спостерігаються легкі травми; 20 ÷ 50 мА – травми серцевої системи; 50 ÷ 100 мА – відбуваються важкі травми; більше 100 мА – настає смерть);

- опору тіла людини проходженню струму;

- виду та частоти струму;

- тривалості проходження струму крізь тіло людини (до 4 хв. – наслідки майже непомітні; до 6 хв. – інвалідність людини; до 8 хв. – клінічна смерть, кома; більше 8 хв. – біологічна смерть.

- шляху протікання струму через людину;

- індивідуальних властивостей людини.

З метою запобігання подібним нещасним випадкам та підвищення рівня електробезпеки необхідно здійснювати організаційно-технічні заходи, спрямовані на поліпшення стану електробезпеки на підприємствах:

- створення нормативної бази з питань електробезпеки;

- дотримання вимог безпеки при розробці електроустановок, їх спорудженні та експлуатації;

- підвищення рівня навчання електротехнічного персоналу, всього

населення щодо розуміння небезпеки ураження електричним струмом;

- безпечного поводження при виконанні робіт в електроустановках та при користуванні ними.

## **4.2 Вимоги до профілактичних медичних оглядів для працівників ПК**

Однією із характерних особливостей сучасного розвитку суспільства є зростання сфер діяльності людини, в яких використовуються інформаційні технології. Широке розповсюдження отримали персональні комп'ютери. Однак їх використання загострило проблеми збереження власного та суспільного здоров'я, вимагає вдосконалення існуючих та розробки нових підходів до організації робочих місць, проведення профілактичних заходів для запобігання розвитку негативних наслідків впливу ПК на здоров'я користувачів.

Зараз у нашій країні проводиться розробка національних нормативних документів, спрямованих на охорону праці користувачів ПК. Найбільш повним нормативним документом щодо забезпечення охорони праці користувачів ПК є „Державні санітарні правила й норми роботи з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електронно-обчислювальних машин” ДСанПіН 3.3.2.007 – 98. Об'ємно-планувальні рішення будівель та приміщень для роботи з ПК мають відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007 – 98.

Розміщення робочих місць з ПК у підвальних приміщеннях, на цокольних поверхах заборонено. Площа на одне робоче місце становить не менше ніж 6,0 м<sup>3</sup>, а об'єм – не менше ніж 20,0 м<sup>3</sup>.

Приміщення для роботи з ПК повинні мати природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5 – 28 – „Природне і штучне освітлення”.

Природне освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ чи північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче, ніж 1,5%.

Виробничі приміщення повинні обладнуватись шафами для зберігання документів, магнітних дисків, полицями, стелажми, тумбами тощо, з урахуванням вимог до площі приміщень.

У приміщеннях з ПК слід щоденно робити вологе прибирання. Приміщення із ПК мають бути оснащені аптечками першої медичної допомоги.

При приміщеннях із ПК мають бути обладнані побутові приміщення для відпочинку під час роботи, кімната психологічного розвантаження. В кімнаті психологічного розвантаження слід передбачити встановлення пристроїв для приготування й роздачі тонізуючих напоїв, а також місця для занять фізичною культурою (СНиП 2.09.04. – 87 „Административные и бытовые здания”).

Штучне освітлення в приміщеннях із робочими місцями, обладнаними ПК має здійснюватись системою загального рівномірного освітлення. У виробничих та адміністративно-громадських приміщеннях, у разі переважної роботи з документами, допускається застосування системи комбінованого освітлення (крім системи загального освітлення, додатково встановлюються світильники місцевого освітлення).

Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів має становити 300 – 500 лк. Якщо це неможливо забезпечити системою загального освітлення, допускається використовувати місцеве освітлення. При цьому світильники місцевого освітлення слід встановлювати таким чином, щоб не створювати відблисків на поверхні екрана, а освітленість екрана має не перевищувати 300 лк.

Як джерела світла для штучного освітлення мають застосовуватись переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ.

У разі влаштування відбитого освітлення у виробничих та адміністративно-громадських приміщеннях допускається застосування металогалогенних ламп потужністю 250 Вт. Допускається застосування ламп розжарювання у світильниках місцевого освітлення.

Працюючі з ПК підлягають обов'язковим медичним оглядам: попереднім – при влаштуванні на роботу і періодичним – протягом трудової діяльності, відповідно до наказу МОЗ України N45 від 31.03.94 р.

Періодичні методичні огляди мають проводитися раз на два роки комісією в складі терапевта, невропатолога та офтальмолога.

До складу комісії, що проводить попередні та періодичні медичні огляди, при необхідності (за наявністю медичних показань), можуть залучатись до оглядів лікарі інших спеціальностей.

Основними критеріями оцінки придатності до роботи з ПК мають бути показники стану органів зору: гострота зору, показники рефракції, акомодатції, стану бінокулярного апарату ока. При цьому необхідно враховувати також стан організму в цілому.

Виконання вимог, наведених в Правилах, в комплексі з практичним здійсненням первинних та спеціальних заходів повинно стати нормою діяльності всіх фахівців, безпосередньо пов'язаних з навчальними та виробничими колективами.

### **4.3 Економічне значення заходів щодо покращення умов охорони праці**

Економічне значення охорони праці оцінюється за результатами, отриманими при зміні соціальних показників шляхом впровадження заходів з покращення умов праці: підвищення продуктивності праці; зниження непродуктивних витрат часу і праці; збільшення фонду робочого часу; зниження

витрат, пов'язаних з плинністю кадрів через умови праці, тощо. Збільшення фонду робочого часу і ефективність використання обладнання досягається шляхом зниження простоїв протягом зміни внаслідок погіршення самопочуття через умови праці та мікротравми. При комплексній дії на людину декількох шкідливих виробничих чинників простої на робочому місці можуть досягати 20...40% за зміну через виробничий травматизм та погане самопочуття. Зростання непродуктивних витрат часу, а значить, і праці, обумовлюється також поганою організацією робочих місць: без урахування органомеричних вимог виникає необхідність виконання зайвих рухів та докладання додаткових фізичних зусиль через незручне положення, невдале розташування органів управління обладнанням і невдале конструктивне оформлення робочих місць. В результаті поліпшення умов праці нормалізується психологічний клімат в трудовому колективі, підвищується налагодженість в роботі, зростає продуктивність праці. Збільшення фонду робочого часу досягається скороченням цілодобових втрат на виробничий травматизм та неявки на роботу. Шкідливі умови праці суттєво впливають не тільки на виникнення професійних захворювань, а й на виникнення і тривалість загальних захворювань.

Ефективність заходів щодо поліпшення умов і охорони праці оцінюється, в першу чергу, за показниками соціальної ефективності, які передбачають створення умов праці, що відповідають санітарним нормам і вимогам правил безпеки. Покращення умов і охорони праці призводить до зменшення кількості виробничих травм, загальної і професійної захворюваності; до скорочення чисельності працівників, що працюють в умовах, які не відповідають санітарно-гігієнічним нормам; зменшення кількості випадків виходу на пенсію за інвалідністю внаслідок травматизму чи професійної захворюваності; скорочення плинності кадрів через незадовільні умови праці тощо.

Для оцінки соціальної ефективності заходів з удосконалення умов та охорони праці використовуються такі показники:

- скорочення кількості робочих місць, що не відповідають вимогам нормативних актів щодо безпеки праці;
- скорочення чисельності працівників, які працюють в умовах, що не відповідають санітарним нормам;
- збільшення кількості машин, механізмів та виробничих приміщень, приведених до вимог норм охорони праці;
- зменшення коефіцієнта частоти травматизму;
- зменшення коефіцієнта тяжкості травматизму;
- зменшення коефіцієнта частоти професійних захворювань через несприятливі умови праці;
- зменшення коефіцієнта тяжкості захворювання;
- зменшення кількості випадків виходу на пенсію за інвалідністю внаслідок травматизму чи професійного захворювання;
- скорочення плинності кадрів через несприятливі умови праці.

Оцінка соціально-економічної ефективності заходів здійснюється на підприємствах усіх форм власності, у тому числі на робочому місці, дільниці, в цеху. Вона може визначатися також по галузі та в державі в цілому. Показники соціальної і соціально-економічної ефективності розраховуються як відношення величин соціальних або соціально-економічних результатів до витрат, необхідних для їх здійснення. Такі показники характеризують кількість умовних одиниць сукупного об'єму соціального чи соціально-економічного результату в розрахунку на одиницю витрат.

Показники соціальної і соціально-економічної ефективності використовуються для визначення фактичного рівня питомих витрат, необхідних для зменшення кількості працюючих у незадовільних умовах, зниження рівня травматизму, захворюваності, плинності кадрів на різних підприємствах та в економіці в цілому.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведено розрахунок параметрів схеми заміщення, виконано розрахунків струмів КЗ, що дозволило визначити вимоги до обладнання, встановлення якого планується на ПС 750 кВ Вінницька при технічному переоснащенні.

Для виключення хибного спрацювання внаслідок протікання струмів небалансу реалізований алгоритм збільшення струму спрацювання при збільшенні наскрізного струму. В якості гальмівного струму використовується найбільший струм із вимірюваних фазних струмів обмоток автотрансформатора. Для захисту автотрансформатора при внутрішніх пошкодженнях з великими значеннями струмів КЗ передбачений швидкодіючий дифзахист із диференційною відсічка. Також в роботі реалізований алгоритм стабілізації дії дифзахисту при виникненні струму намагнічування в режимі перезбудження автотрансформатора. Адаптивна стабілізація також реалізована для кидка струму намагнічування при постановці АТ під напругу та для врахування режиму насичення трансформаторів струму при зовнішніх пошкодженнях.

Проведено перевірку чутливості диференційного захисту при КЗ на виводах 750, 330, 15,75 кВ АТ-1(2) в п'яти найбільш можливих режимах роботи підстанції.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. М.А. Шабад. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей - 4-е изд., перераб. и доп. - СПб.: ПЭИПК, 2003 - 350 стр., ил.
2. М.Л. Голубев. Методы расчета токов короткого замыкания в распределительных сетях, 1967, 56 с. С илл.
3. М.А. Шабад. Защита трансформаторов 10 кВ, 1989 – 144 с., ил.
4. А.И. Маркевич. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения 2012. -138 с.
5. А. Соловьев, М. Шабад. Релейная защита городских электрических сетей 6 и 10 кВ, 2007. – 175 с., ил.
6. Ю. В. Кондратьев, С. В. Заренков. Изучение микропроцессорной Релейной Защиты с использованием блоков типа БМРЗ, 2009 -37 с.
7. Н.В. Чернобровов. Релейная защита 1974- 680 с.
8. А. В. Булычев А. А. Наволочный. Релейная защита в распределительных электрических сетях 2011- 208 с.
9. Каталог продукции производства Киевприбор [Электронный ресурс]/ - Киев, ул. Гарматная 2, 2019-2020. – 100с. URL: [http://www.kievpribor.com.ua/download/katalog\\_2020.pdf](http://www.kievpribor.com.ua/download/katalog_2020.pdf)
- 10.Каталог. Устройство микропроцессорной защиты, автоматики, контроля и управления МРЗС-05 (Киевприбор), 2011-171 с.
- 11.Каталог. Устройство микропроцессорной защиты, автоматики, контроля и управления присоединений МРЗС-05, 2011 – 159 с.