

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ЗАВДАННЯ

до виконання курсової роботи

**«Розробка релейного захисту елементів
систем електропостачання»**

з навчальної дисципліни

**«ОСНОВИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ
ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕНЕРГОСИСТЕМ»**

*(для студентів 3 і 4 курсів денної та заочної форм навчання
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка, фахового спрямування
«Електротехнічні системи електроспоживання»)*

**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2021**

Методичні рекомендації та завдання до виконання курсової роботи «Розробка релейного захисту елементів систем електропостачання» з навчальної дисципліни «Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем» (для студентів 3 і 4 курсів денної та заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (фахове спрямування «Електротехнічні системи електроспоживання»)) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Д. М. Калюжний, В. О. Коробка. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 45 с.

Укладачі: канд. техн. наук Д. М. Калюжний,
ст. викл. В. О. Коробка

Рецензенти:

В. Є. Плюгін, доктор технічних наук, професор Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

В. М. Гаряжа, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою систем електропостачання та електроспоживання міст, протокол № 6 від 27.12.2019.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 РОЗРАХУНОК РОБОЧИХ СТРУМІВ ТА СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ	8
2 ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРА 10/0,4 кВ.....	13
2.1 Захист трансформатора 10/0,4 кВ зі сторони 0,4 кВ.....	13
2.2 Захист трансформатора 10/0,4 кВ зі сторони 10 кВ.....	14
3 РОЗРАХУНОК ЗАХИСТУ ЛІНІЙ 10 кВ З АПВ.....	16
3.1 Проектування максимального струмового захисту ліній 10 кВ ...	16
3.2 Вибір уставок за часом	18
3.3 Вибір та перевірка трансформаторів струму.....	18
3.4 Проектування струмової відсічки	20
3.5 Автоматичне повторне ввімкнення ліній 10 кВ.....	22
4 ПРОЕКТУВАННЯ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ СЕКЦІЙНОГО ВИМИКАЧА	23
4.1 Автоматичне ввід резерву.....	24
4.2 Захист мережі 10 кВ від замикань на землю.....	25
5 ПРОЕКТУВАННЯ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ШИН 10 кВ.....	26
5.1 Проектування максимального струмового захисту шин (вводу 10 кВ).....	26
6 РОЗРАХУНОК ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРА 35/10 кВ.....	27
6.1 Розрахунок максимального струмового захисту зі сторони живлення	28
6.2 Розрахунок струмової відсічки	30
6.3 Розрахунок диференційного захисту трансформатора.....	31
6.4 Газовий захист трансформатора	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	34
Додаток А Довідкові дані для проектування	35
Додаток Б Зміст курсової роботи.....	41
Додаток В Приклад оформлення титульного аркуша	42
Додаток Г Приклад завдання	43
Додаток Д Вихідні дані для виконання курсової роботи	44

ВСТУП

Мета курсового проектування з дисципліни «Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем» (РЗА) – систематизація та поглиблення теоретичних і практичних знань студентів, розвиток їх аналітичного і творчого мислення.

Під час курсового проектування студент самостійно приймає технічні рішення щодо вибору типів захистів, відповідає за правильність розрахунків уставок спрацьовування, самостійно розробляє принципову електричну схему захистів, використовуючи ці методичні рекомендації, спеціальну літературу, список якої наведений в кінці рекомендацій, та конспект лекцій з РЗА. Роль керівника полягає у формуванні загальних настанов для вирішення тих чи інших питань, що виникають у процесі проектування, у тому числі і рекомендацій відповідної літератури. При цьому керівник не перевіряє правильність розрахунків у процесі виконання роботи.

На першому етапі проектування розраховують робочі струми та струми в режимах дво- та трифазних коротких замикань (КЗ) у місцях встановлення комутаційних апаратів. На другому етапі проектують захист трансформаторів 10/0,4 кВ. На третьому етапі виконують вибір типів захистів та автоматики для ліній 10 кВ, вибір типів схем, розрахунок уставок їх спрацьовування. На четвертому етапі проектування виконують вибір типів захистів та автоматики для секційного вимикача 10 кВ, вибір типів схем, розрахунок уставок їх спрацьовування. На п'ятому етапі проектування виконують вибір типів захистів та автоматики для вводу 10 кВ трансформатора 35/10 кВ, вибір типів схем, розрахунок уставок їх спрацьовування. На шостому етапі проектування виконують вибір типів захистів та автоматики для трансформатора 35/10 кВ, вибір типів схем, розрахунок уставок їх спрацьовування. На сьомому етапі проектування розробляють захист мережі 10 кВ від замикань на землю.

Курсова робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини.

Розрахунково-пояснювальна записка повинна бути надрукована 14 розміром шрифту через півтора інтервали без пропусків і скорочення слів, на одній стороні аркуша формату А4 з полями з лівої сторони не менше 25 мм, з правої – 10 мм, а знизу та зверху – 20 мм і повинна бути переплетена у обкладинку.

Нумерація сторінок записки повинна бути виконана в правому верхньому куті арабськими цифрами від титульного аркуша до останньої сторінки, включаючи всі ілюстрації. На титульному аркуші, що є першою сторінкою, номер сторінки не ставиться.

Слідом за титульним аркушем поміщається завдання на курсову роботу. Потім зміст, у якому перераховуються пронумеровані найменування окремих розділів і підрозділів з указівкою сторінок. За змістом повинен бути вступ.

Розділи повинні мати порядкові номери, позначені арабськими цифрами без крапки. Підрозділи – порядкові номери в межах кожного розділу. Номери підрозділів складаються з номерів розділів і підрозділів, розділених крапкою. Відстань між заголовками і наступним текстом та останнім рядком тексту і наступним заголовком – пустий рядок.

В усіх розділах записки виклад повинний вестися від першої особи множини. Нові думки варто починати з абзацу.

Схеми, графіки та інші ілюстрації, поміщені в текстовій частині записки, необхідно виконувати в графічному редакторі або тушшю. Всі ілюстрації і таблиці повинні мати нумерацію, що складається з номеру розділу та порядкового номеру ілюстрації або таблиці. Номер та назву таблиці пишуть зверху, а номер та назву рисунка – внизу під рисунком. Таблиці та рисунки наводяться після першого посилання на них.

Розрахункові формули повинні записуватися у виді окремого рядка по центру сторінки. Перед і після рядка з формулою – пустий рядок. Умовні літерні позначення повинні відповідати встановленим стандартам і пояснюються після першого використання.

Порядок ведення розрахункової записки повинний відповідати такій схемі:

Перший рядок: шукана величина – формула – кома – одиниці вимірювання – (номер формули);

другий рядок: шукана величина – підстановка значень в суворій відповідності з формулою – відповідь – одиниці вимірювання.

Наприкінці записки приводиться докладний список використаних джерел. Для кожного джерела вказується прізвище та ініціали автора, найменування роботи, видавництво, місце видання, рік, кількість сторінок за правилами наведеними у [1]. Посилання в тексті рекомендується приводити в квадратних дужках.

Графічна частина роботи являє собою креслення принципової електричної схеми захистів на аркушах формату А4, виконані у будь-якому графічному редакторі дотримуючись вимог відповідних стандартів.

На титульному аркуші вказується назва університету, кафедри, роботи, прізвище та ініціали виконавця і керівника, м. Харків і рік.

У додатку В наведено приклад оформлення титульного аркушу курсової роботи.

Порядок перевірки та захисту курсової роботи полягає в наступному. Виконану курсову роботу студент здає керівникові на перевірку правильності розрахунків та прийнятих рішень. При правильному виконанні студент публічно захищає роботу перед комісією, тобто коротко доповідає про порядок розрахунків та проектування захистів, розповідає про принцип роботи схеми і відповідає на запитання комісії. Якщо робота виконана невірно, то керівник призначає новий варіант початкових даних для проектування або повертає роботу студентів для виправлення помилок.

Критерії оцінки, що виставляються студентам за виконання та захист курсової роботи:

А – робота виконана у повному обсязі з правильними розрахунками і описом принципу дії схеми, креслення якої виконано без помилок і за вимогами

стандартів; студент правильно відповідає на всі запитання щодо порядку і методів розрахунку і вільно орієнтується в схемі;

В, С – робота виконана не в повному обсязі з правильними розрахунками, мають місце незначні відхилення від стандартів, відповіді студента на запитання не є повними;

Д – робота виконана з помилками в розрахунках, що були знайдені керівником у процесі її перевірки і виправлені студентом, відповіді студента на запитання є неточними або мають загальний характер.

У додатку Г наведено вихідні дані для курсового проектування для 30 варіантів завдань.

У додатку А наведено основні довідкові дані для проектування, але, якщо деяких даних немає, то необхідно звернутися до відповідних першоджерел.

У додатку Б наведено приклад виконання змісту курсової роботи.

1 РОЗРАХУНОК РОБОЧИХ СТРУМІВ ТА СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Для розрахунку уставок пристроїв РЗА необхідно знати струми в елементах мережі електропостачання в номінальних і максимальних робочих режимах та струми в режимах КЗ. Ці струми можна обчислювати як в ручну, спираючись на знання навчальної дисципліни перехідні процеси в електроенергетиці, так і за допомогою персонального комп'ютера.

На кафедрі систем електропостачання та електроспоживання міст розроблені алгоритм та програма для розрахунків цих струмів. В основу алгоритму покладена методика розрахунку робочих струмів та струмів короткого замикання в іменованих одиницях, викладена в [8].

Для успішної роботи за програмою згідно зі схемою електропостачання (рис. 1.1) необхідно у відповідності до вихідних даних завдання скласти таблицю вихідних даних (табл. 1.1).

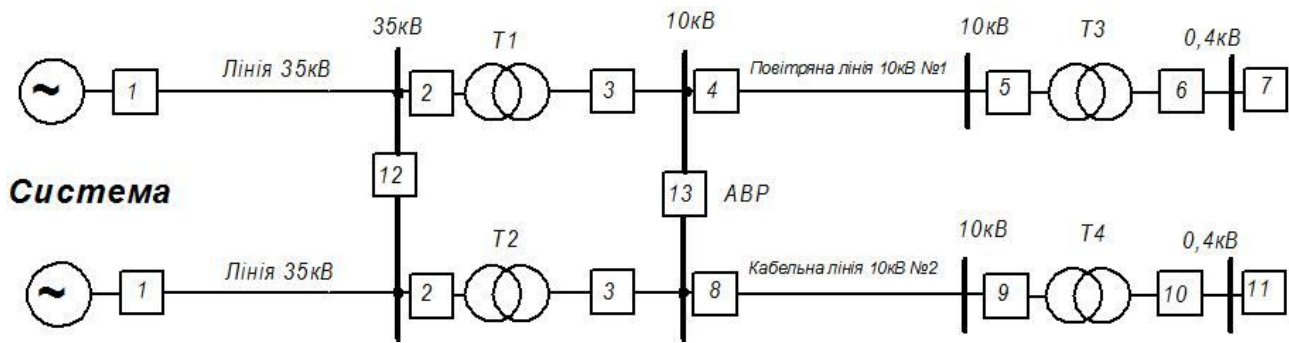


Рисунок 1.1 – Схема електропостачання

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для розрахунку робочих струмів та струмів короткого замикання

№ з/п	Елементи мережі	S_i , кВ·А	ΔP_k , кВт	U_k , %	L , км	r_0 , Ом/км
1.	Система	25000	200	5	—	—
2.	ПЛ 35 кВ		—	—		
3.	Трансформатор Т1 (Т2) 35/10 кВ				—	—
4.	ПЛ 10 кВ №1		—	—		
5.	Трансформатор Т3 10/0,4 кВ				—	$1/3Z_{(1)}$
6.	ПЛ 0,38 кВ	$1/4 S_{mp3}$	—	—	0,5	0,92
7.	КЛ 10 кВ №2		—	—		
8.	Трансформатор Т4 10/0,4 кВ				—	$1/3Z_{(1)}$
9.	ПЛ 0,38 кВ	$1/4 S_{mp4}$	—	—	0,5	0,92

Перший рядок таблиці вихідних даних містить інформацію про систему електропостачання (джерело живлення), зазвичай це силовий трансформатор. У таблиці позначено:

S_i , кВ·А – номінальна потужність трансформатора або потужність в на головній ділянці лінії, кВ·А;

ΔP_k , кВт – втрати потужності короткого замикання трансформатора, кВт;

U_k , % – напруга короткого замикання трансформатора, %;

L , км – довжина лінії, км;

r_0 , Ом/км – питомий погонний активний опір проводів, Ом/км.

Другий рядок таблиці несе інформацію про повітряну лінію (ПЛ) 35 кВ. В третій рядок необхідно записати інформацію про трансформатор Т1 35/10 кВ. Четвертий рядок містить дані про повітряну лінію 10 кВ, що відходить від підстанції 35/10 кВ.

П'ятий рядок містить дані про трансформатор Т3 10/0,4 кВ, що встановлений в кінці ПЛ 10 кВ. В сьомий стовпчик слід записати $1/3Z_{(l)}$ із таблиці А.4 додатка А.

В шостий рядок необхідно записати інформацію про лінію 0,38 кВ, що відходить від трансформатора Т3 10/0,4 кВ.

Сьомий рядок містять дані про кабельну лінію (КЛ) 10 кВ, що відходить від підстанції 35/10 кВ.

Восьмий рядок містять дані про трансформатор Т4 10/0,4 кВ, що встановлений в кінці КЛ 10 кВ. В сьомий стовпчик слід записати $1/3Z_{(l)}$ із таблиці А.4 додатка А.

В дев'ятий рядок необхідно записати інформацію про лінію 0,38 кВ, що відходить від трансформатора Т4 10/0,4 кВ.

Реалізація алгоритму відбувається в таким чином:

Вводимо з клавіатури прізвище особи, яка виконує розрахунки. Далі вводимо номінальну напругу лінії 35 кВ. Оскільки в схемах електропостачання є кілька трансформаторів, а їх опір розраховується за однаковим алгоритмом, то є сенс винести його розрахунок у підпрограму. Підпрограма П1 призначена для вводу вихідних даних та розрахунку опору трансформаторів і починається вона з оператора № 1000.

Після вводу номінальної напруги відбувається безумовний перехід до підпрограми П1, за допомогою якої вводимо з клавіатури номінальну потужність та потужність втрат і напругу короткого замикання трансформатора

енергосистеми і обчислюється опір цього трансформатора.

Вводимо кількість ліній 10 кВ, що відходять – $N_{\text{л}}$. Якщо на підстанції 35/10 кВ встановлено два однакові трансформатори, то вводимо загальну кількість ліній 10 кВ, а коли трансформатори різні, то спочатку вводимо кількість ліній, що відходять від трансформатора Т1, а під час другого проходу програми вводимо кількість ліній, що відходять від трансформатора Т2. Номеру лінії ПК присвоює 1, проміжному опорів $Z_{\text{п}}$ присвоює $Z_{\text{к(3)}}$ і здійснює безумовний перехід до підпрограми П2 для обчислення опору першої лінії 10 кВ, що відходить. Після її реалізації додатковому опорів присвоюється значення опору лінії – $Z_{\text{л}}$. Для розрахунку та друку робочих струмів і струмів короткого замикання ПК звертається до підпрограми П3. Струми в точці 4 розраховано.

Залежно від того, секціонована лінія 10 кВ, чи ні, вводимо з клавіатури: відповідь на питання: «Секціонована лінія чи ні?». Якщо лінія секціонована, то за підпрограмою П2 вводиться потужність в пункті секціонування і обчислюється опір лінії на другій ділянці. ПК обчислює опір кола для струмів трифазного короткого замикання як суму опору короткого замикання і додаткового опору попередньої зони. Додатковий опір дорівнює опорів лінії нової зони. Перехід до підпрограми П3 для розрахунку струмів і повернення в основну програму в те місце, де йде опитування: «Секціонована лінія чи ні?». Якщо лінія ще раз секціонована, то знову з клавіатури відповідаємо «так» на питання «Секціонована лінія чи ні?». ПК обчислює опір струмам трифазного короткого замикання як суму опору короткого замикання і додаткового опору попередньої зони. Додатковий опір дорівнює опорів нової ділянки лінії. За підпрограмою П3 розраховуються струми і так далі на скільки б ділянок не була поділена лінія 10 кВ.

Якщо лінія більше не секціонована, то вводимо з клавіатури відповідь «ні» на питання «Секціонована лінія чи ні?», і комп'ютер переходить на розрахунок трансформатора 10/0,4 кВ. Йде опитування «Будемо розраховувати трансформатор 10/0,4 кВ?». Якщо «так», то ПК вважає опір КЗ як суму опору

КЗ попередньої зони і додаткового опору і здійснює безумовний перехід до підпрограми П1 для розрахунку опору трансформатора.

По завершенню роботи програми результати розрахунків будуть збережені у файлі «FILE1.RES», їх необхідно оформити у вигляді таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Розрахунок робочих струмів та струмів короткого замикання

№ з/п	$S, \text{кВ}\cdot\text{А}$	Струми на початку зони захисту			Струми в кінці зони	
		$I_p, \text{А}$	$i_y, \text{кА}$	$I_k^{(3)}, \text{кА}$	$I_{k(\kappa)}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{k(\kappa)}^{(2)}, \text{кА}$
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
11.						

У таблиці 1.2 позначено:

$S, \text{кВ}\cdot\text{А}$ – номінальна потужність в точці №/№ (рис. 1);

$I_p, \text{А}$ – робочий струм;

$i_y, \text{кА}$ – ударний струм;

$I_k^{(3)}, \text{кА}$ – струм трифазного короткого замикання;

$I_{k(\kappa)}^{(3)}, \text{кА}$ – струм трифазного короткого замикання в кінці зони захисту;

$I_{k(\kappa)}^{(2)}, \text{кА}$ – струм двофазного короткого замикання в кінці зони захисту.

Післяаварійний струм силового трансформатора буде в 1,4 рази більший за робочий струм [2], розрахований програмою.

2 ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРА 10/0,4 кВ

Захист трансформатора 10/0,4 кВ зі сторони 10 кВ здійснюється, як правило, запобіжниками типу ПК, а зі сторони 0,4 кВ захист ліній 0,38 кВ здійснюється автоматичними вимикачами, або запобіжниками.

2.1 Захист трансформатора 10/0,4 кВ зі сторони 0,4 кВ

Струм спрацьовування захисту лінії 0,38 кВ слід обчислювати за формулою

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_p, A, \quad (2.1)$$

де k_n – коефіцієнт надійності [3];

I_p – максимальний робочий струм лінії 0,38 кВ, А (рядок 7 або 11 табл. 1.2).

Для захисту лінії 0,38 кВ слід обирати автоматичний вимикач за номінальною напругою (умова вибору $U_{HA} > U_{мережі}$) та за номінальним струмом ($I_{HA} > I_{с.з.}$). Результати вибору автоматичного вимикача необхідно занести у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Вибір і перевірка автоматичних вимикачів для захисту ліній 0,38 кВ

Назва параметра	Лінія 0,38 кВ (Т3)	Лінія 0,38 кВ (Т4)
Робочий струм лінії 0,38 кВ, А		
Струм спрацьовування захисту, А		
Прийнятий номінальний струм автоматичного вимикача, А		
Номінальна напруга автоматичного вимикача, В		
Тип автоматичного вимикача		
Коефіцієнт чутливості		

2.2 Захист трансформатора 10/0,4 кВ зі сторони 10 кВ

Для захисту трансформатора 10/0,4 кВ зі сторони 10 кВ слід застосовувати запобіжники типу ПК 10, а струм плавкої вставки слід обчислювати за формулою

$$I_{п.в.} = k_n \cdot I_p, A, \quad (2.2)$$

де k_n – коефіцієнт надійності [3];

I_p – максимальний робочий струм високої сторони трансформатора 10/0,4 кВ, А (рядок 5 або 9 табл. 1.2).

За розрахунком за формулою (2.2) струмом плавкої вставки згідно з рисунком А1 (див. дод. А) приймають плавку вставку зі стандартним номінальним струмом, найближчим до розрахункового значення в більшу або меншу сторону з урахуванням похибки спрацьовування запобіжника $\pm 20\%$. За часо-струмовою характеристикою запобіжника (див. рис. А.1 дод. А) визначають час спрацювання (плавлення) плавкої вставки таким чином: на нижній осі струмів (осі абсцис) відкладають значення струму високої сторони, отже, в обмотці ВН трансформатора 10/0,4 кВ при двофазному КЗ на шинах 0,4 кВ і піднімають перпендикуляр до перетину з кривою, що відповідає вибраній плавкій вставці. Від точки перетину проводять перпендикуляр вліво на вісь часу (вісь ординат). Перевірку чутливості запобіжника виконують за формулою

$$K_{зп} = \frac{I_{КЗ}^{(1)}}{I_{пв}^c} > 3, \quad (2.3)$$

де $K_{зп}$ – коефіцієнт чутливості запобіжника;

$I_{КЗ}^{(1)}$ – струм високої сторони трансформатора 10/0,4 кВ при однофазному короткому замиканні на шинах 0,4 кВ;

$I_{пв}^c$ – номінальний стандартний струм прийнятої плавкої вставки запобіжника.

Якщо умова (2.3) не виконується, то необхідно прийняти номінальний стандартний струм плавкої вставки на ступінь менший.

Вибір і перевірку запобіжників на стороні первинної обмотки трансформаторів 10/0,4 кВ зводимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Вибір і перевірка запобіжників 10 кВ для трансформаторів Т3 та Т4

Назва параметра	Т3	Т4
Номінальний струм обмотки ВН, А		
Розрахунковий струм плавкої вставки, А		
Прийнятий стандартний струм вставки, А		
Струм $I_{кз}^{(1)}$ однофазного КЗ на шинах 0,4 кВ, А		
Час спрацювання вставки при $I_{кз}^{(2)}$, с.		
Коефіцієнт чутливості		

3 РОЗРАХУНОК ЗАХИСТУ ЛІНІЙ 10 кВ З АПВ

Для ліній 3–10 кВ з ізолюваною нейтраллю повинні передбачатися пристрої РЗА від багатofазних замикань і від однофазних замикань на землю. Захист від багатofазних замикань слід передбачати в двофазному виконанні та вмикати в одні й ті ж фази по всій мережі даної напруги для забезпечення вимкнення в більшості випадків подвійних замикань на землю тільки одного місця пошкодження. Захист може бути виконаний одно-, дво- або трирелейним залежно від вимог чутливості та надійності і неселективним в разі поєднання його з пристроєм автоматичного повторного ввімкнення (АПВ) або автоматичного вводу резерву (АВР), які виправляють повністю або частково неселективну дію захисту [2].

Вихідними даними для розрахунків є робочі струми та струми короткого замикання. На лініях 10 кВ застосовується схема струмового захисту на реле РТ-80 з дешунтуванням струмових електромагнітів вимикання, вмонтованих у привод вимикача (рис. А.2), або на реле РТ-40, чи на сучасних електронних реле АЛ-5 [7] та ін.

3.1 Розрахунок максимального струмового захисту ліній 10 кВ

Струм спрацьовування захисту відлаштовується від максимального робочого струму лінії

$$I_{с.з.} = \frac{k_n \cdot k_{cn}}{k_n} \cdot I_p, A, \quad (3.1)$$

де k_n – коефіцієнт надійності, для реле РТ-80 $k_n = 1,2$ [5 – 7];

k_{cn} – коефіцієнт самозапуску, для реле РТ-80 $k_{cn} = 1,3$ [5 – 7];

k_n – коефіцієнт повернення, для реле РТ-80 $k_n = 0,8$ [5 – 7];

I_p – максимальний робочий струм, А (стовпчик 3 табл. 1.2).

Захист можна не відлаштовувати від попередніх захистів, так як пристрій АПВ буде виправляти можливу його неселективну дію.

Струм спрацьовування реле:

$$I_{cp} = \frac{I_{с.з.} \cdot k_{cx}}{n_{mc}}, A, \quad (3.2)$$

де k_{cx} – коефіцієнт схеми. Для схеми неповної зірки $k_{cx} = 1$;

n_{mc} – коефіцієнт трансформації трансформаторів струму.

Для максимальних струмових захистів, виконаних на змінному оперативному струмі за схемою з дешунтуванням електромагнітів відключення

(ЕВ) для надійної їх дії після дешунтування необхідно, щоб I_{cp} був більший, ніж струм спрацювання ЕВ:

$$I_{cp} \geq (k_n I_{cEB} + I_{нам}), \text{ А}, \quad (3.3)$$

де k_n – коефіцієнт надійності, що дорівнює 1,15;

I_{cEB} – струм спрацювання ЕВ, для пружинних приводів дорівнює 5 А;

$I_{нам}$ – струм намагнічування трансформаторів струму, що дорівнює 0,25 А.

Із залежностей (3.2) і (3.3) приймається більший струм I_{cp} і приймається таке індукційне реле із серії РТ-80 або РТ-90 [5 – 7], у діапазон уставок якого потрапляє I_{cp} . Споживана потужність цих реле до 10 В·А, і вони мають контакт на замикання 150 А. Необхідно прийняти струм уставки I_y . За обраним струмом уставки I_y розрахувати дійсне значення струму спрацювання захисту

$$I_{сз.д} = \frac{I_y \cdot n_{mc}}{k_{сх.}}, \text{ А} \quad (3.4)$$

і перевірити за коефіцієнтом чутливості:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{мін}}}{I_{сз.д}} \geq 1,5, \quad (3.5)$$

де $I_{\text{мін}}$ – мінімальний струм короткого замикання в кінці зони, що захищається.

3.2 Вибір уставок за часом

Уставка за часом спрацьовування вибирається виходячи з умови селективності дії з попереднім захистом:

$$t_y = t_{yn} + \Delta t_{сел.}, \text{ с}, \quad (3.6)$$

де t_{yn} – уставка за часом спрацьовування попереднього захисту, с;

$\Delta t_{сел.}$ – ступінь селективності, рівна 0,5 с.

Враховуючи, що на лініях буде АПВ, можна, не відлаштовуватися від запобіжників, прийняти мінімальну уставку за часом.

3.3 Вибір та перевірка трансформаторів струму

Трансформатори струму вибираються за номінальною напругою та первинним струмом:

$$U_n \geq U_m, \quad I_{1n} \geq I_{роб} \quad (3.7)$$

і перевіряються на термічну і динамічну стійкість:

$$I_{1n} \cdot k_t \geq I_{\max}^{(3)} \sqrt{t_\phi}, \quad (3.8)$$

$$\sqrt{2} \cdot I_{1n} \cdot k_{дин.} \geq i_y^{(3)}, \quad (3.9)$$

де k_t – кратність односекундної термічної стійкості трансформаторів струму;

t_ϕ – фіктивний час дії струму короткого замикання, рівний 1 с;

$k_{дин.}$ – кратність динамічної стійкості;

$i_y^{(3)}$ – максимальне значення ударного струму трифазного КЗ, кА (табл. 1.2).

Крім цього, трансформатори струму перевіряються на допустиму 10% похибку і на допустиму вторинну напругу ($U_{2\text{доп.}} = 1000 \text{ В}$) [2].

Визначається гранична кратність первинного струму:

$$k_{10} = \frac{1,1I_{\text{сз.д}}}{0,8I_{1н}} \quad (3.10)$$

і вторинне навантаження (для схем з дешунтуванням ЕВ):

$$Z_{\text{роз}} = Z_p + \sqrt{3} \cdot Z_{np} + Z_{EB} + Z_k = \frac{S_p}{I_y^2} + \sqrt{3} \cdot \frac{l}{F \cdot \gamma} + \frac{S_{EB}}{I_y^2} + Z_k, \text{ Ом}, \quad (3.11)$$

де Z_p, Z_{np}, Z_{EB}, Z_k – відповідно опори реле, сполучних проводів, електромагнітів відключення і контактів, $Z_k = 0,1 \text{ Ом}$;

l – довжина проводів від трансформатора струму до реле, м;

F – поперечний переріз дроту, рівний $2,5 \text{ мм}^2$;

γ – питома провідність дроту, для міді $\gamma = 57 \frac{\text{М}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}$;

S_p – споживана потужність реле, В·А;

S_{EB} – споживана потужність електромагніту відключення, рівна $112 \text{ В} \cdot \text{А}$;

I_y – струм уставки, А.

За кривими граничних кратностей (див. рис. А.3) для обраних трансформаторів струму визначається допустиме навантаження $Z_{\text{доп.}}$ і порівнюється з фактичним навантаженням:

$$Z_{\text{доп.}} \geq Z_{\text{роз.}} \quad (3.12)$$

Напруга на вторинній обмотці трансформаторів струму перевіряється за формулою:

$$U_{2, \text{макс.}} = k_y \cdot Z_{\text{роз}} \cdot \frac{I_{\text{к.макс.}}^{(3)}}{I_{1н}} \cdot I_{2н} \leq U_{2\text{доп}}, B, \quad (3.13)$$

де k_y – ударний коефіцієнт, що дорівнює 1,65.

На термічну стійкість перевіряється і контакт реле:

$$\frac{I_{\text{к.макс.}}^{(3)}}{n_{\text{мс}}} \leq 150. \quad (3.14)$$

При невиконанні будь-якої із перерахованих (3.12 – 3.14) умов необхідно збільшити номінальний первинний струм, користуючись стандартною шкалою: 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600 А.

3.4 Проектування струмової відсічки

Струмова відсічка (СВ) – це перший ступінь струмового захисту.

За умовою селективності струм спрацьовування відсічки вибирається більшим максимального струму КЗ в кінці зони захисту:

$$I_{\text{с.в.}} = k_n \cdot I_{\text{к(к)}}^{(3)}, A, \quad (3.15)$$

де k_n – коефіцієнт надійності, для пристроїв релейного захисту дорівнює 1,2;

$I_{\text{к(к)}}^{(3)}$ – струм трифазного короткого замикання в кінці лінії (стовпчик 6 табл. 1.2), А.

Струм уставки відсічки обчислюємо за формулою:

$$I_{\text{уст}} = \frac{I_{\text{с.в.}} \cdot k_{\text{сх.}}}{n_{\text{мс}}}, A. \quad (3.16)$$

Обчислюємо кратність відсічки:

$$k'_e = \frac{I_{y\theta}}{I_y}, A. \quad (3.17)$$

Приймаємо кратність відсічки k_e найближчу до обчисленої за (3.17) [5 – 7] та розраховуємо первинний струм спрацювання відсічки (дійсне значення):

$$I_{c.в.д} = \frac{k_e \cdot I_y \cdot n_{mc}}{k_{cx}}, A \quad (3.18)$$

і перевіряємо ефективність відсічки за коефіцієнтом чутливості:

$$k_{чe} = \frac{I_k^{(3)}}{I_{c.в.д}} \geq 1,2, \quad (3.19)$$

де $I_k^{(3)}$ – струм трифазного короткого замикання на початку лінії (стовпчик 5 табл. 1.2), А.

Якщо умова (3.19) не виконується, то відсічка не ефективна.

Роботу відсічки на повітряних лініях необхідно відлаштувати від часу спрацювання розрядників.

Якщо захист ліній 10 кВ виконаний на індукційних реле із серії РТ-80, РТ-90 чи АЛ-5, то результати проектування можна звести у таблицю 3.1. Якщо ж захист ліній 10 кВ виконаний на РТ-40, то замість кратності відсічки будуть уставки струму відсічки другого реле РТ-40.

3.5 Автоматичне повторне ввімкнення ліній 10 кВ

Якщо захист лінії 10 кВ виконаний на реле РТ-80, РТ40 або інших електромагнітних реле, то додатково необхідно реалізувати функцію АПВ,

наприклад з використанням комплекту повторного ввімкнення типу РПВ-58 (рис. А.4). Раніше на лініях 10 кВ використовувались в основному механічні АПВ. Пуск АПВ проводився при невідповідності положення ключа управління і положення вимикача. Положення ключа управління ідентифікується блоком контактом Аксентова (БКА); при ручному включенні БКА замикається, при ручному відключенні вимикача БКА – розмикається (див. схему на рис. А.4 дод. А).

Таблиця 3.1 – Результати проектування захисту ліній 10 кВ

Параметри	Числові значення	
	ПЛ1	КЛ2
Трансформатор струму		
Струм спрацювання МСЗ, А		
Тип реле		
Розрахована уставка струму МСЗ, А		
Прийнята уставка струму МСЗ, А		
Дійсне значення струму спрацювання МСЗ, А		
Коефіцієнт чутливості МСЗ		
Розрахована уставка часу МСЗ, с		
Прийнята уставка часу МСЗ, с		
Струм спрацювання відсічки, А		
Розрахована уставка відсічки, А		
Обчислена кратність відсічки $k'_{\text{в}}$		
Прийнята кратність відсічки $k_{\text{в}}$		
Дійсне значення струму спрацювання відсічки, А		
Коефіцієнт чутливості відсічки $k_{\text{чв}}$		
Уставка часу відсічки, с		

4 ПРОЕКТУВАННЯ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ СЕКЦІЙНОГО ВИМИКАЧА

Для відновлення живлення споживачів шляхом автоматичного приєднання резервного джерела живлення при відключенні робочого джерела живлення, що призводить до знеструмлення електроустановок споживача, повинні передбачатися пристрої АВР. Вони можуть встановлюватися на трансформаторах, секційних вимикачах тощо. Виходячи з вимог ПУЕ на підстанції 35–110/10 кВ на лініях, що відходять, на секційному вимикачі, на вводі та з боку живлення трансформаторів повинен бути встановлений максимальний струмовий захист [2].

Відповідно до вимог ПУЕ [2] захист секційного вимикача 10 кВ можна виконати аналогічно захисту ліній 10 кВ тобто максимальний струмовий захист на реле РТ-80 з дешунтуванням ЕВ.

Струм спрацьовування захисту відлаштовується від 70 % номінального струму I_n силового трансформатора

$$I_{с.з.} = \frac{k_n \cdot k_{сн}}{k_n} \cdot 0,7 I_n, A \quad (4.1)$$

і від найбільшого струму спрацьовування захисту лінії, що відходить від однієї з двох секцій

$$I_{с.з.} \geq k_{нс} \cdot (I_{с.з.попер.макс.} + \sum_1^{N-1} I_{р.}), A, \quad (4.2)$$

де $k_{нс}$ – коефіцієнт надійності узгодження захистів, що дорівнює 1,3 для РТ-80;

$I_{с.з.попер.макс.}$ – найбільший струм спрацьовування попереднього захисту (однієї з ліній);

$\sum_1^{N-1} I_{p.}$ – сума робочих струмів без струму тієї лінії, струм захисту якої

враховується.

Далі розрахунок захисту аналогічний захисту ліній 10 кВ (розділ 3).

4.1 Автоматичний ввід резерву

Захист секційного обладнується пристроєм автоматичного вводу резервного живлення, який здійснюється шляхом включення секційного вимикача (сторона 10 кВ). Пуск АВР здійснюється за допомогою контролю напруги на кожній із секцій шин через трансформатори напруги та контролю положення ввідних вимикачів 10 кВ. Уставка за часом розраховується за такою залежністю:

$$t_y = t_{c.z.} + t_{\theta} + t_{зап.}, \quad (4.3)$$

де $t_{c.z.}$ – час спрацювання захисту ліній 10 кВ, с;

t_{θ} – час відключення вимикача, рівний 0,15 с;

t_3 – час запасу, рівний 0,5 с.

Після зникнення напруги на одній із секцій вимикач вводу цієї секції повинен бути відключений. Відключення провадиться за рахунок реле мінімальної напруги, вбудованого в привод вимикача вводу. Уставки напруги розраховуються за формулою:

$$U_y = \frac{U_{мин}}{k_n k_n} = \frac{0,9U_n}{k_n k_n}, \quad (4.4)$$

де U_n – номінальна напруга, рівна 100 В;

k_n – коефіцієнт надійності, що дорівнює 1,15;

k_n – коефіцієнт повернення.

4.2 Захист мережі 10 кВ від замикань на землю

Захист від однофазних замикань на землю може бути виконаний у вигляді пристрою контролю ізоляції. При цьому пошук пошкодженого елемента має здійснюватися спеціальними пристроями. Допускається пошук пошкодженого елемента почерговим відключенням приєднань [2].

Захист мережі 10 кВ від замикань на землю здійснюється шляхом контролю наявності напруги нульової послідовності на обмотках розімкнутого трикутника трансформатора напруги при цьому використовується реле максимальної напруги РН-53-60Д. Уставку за напругою розраховується відповідно до залежності (4.4). В ній k_n – коефіцієнт повернення, для РН-53 рівний 0,85.

Результати проектування можна звести у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати проектування захисту секційного вимикача 10 кВ

Параметри	Числові значення	
	секційний вимикач 10 кВ	Шини 10 кВ
Трансформатор струму		
Струм спрацювання МСЗ, А		
Тип реле		
Розрахована уставка струму МСЗ, А		
Прийнята уставка струму МСЗ, А		
Дійсне значення струму спрацювання МСЗ, А		
Коефіцієнт чутливості МСЗ		
Розрахована уставка часу МСЗ, с		
Прийнята уставка часу МСЗ, с		
Струм спрацювання відсічки, А		
Розрахована уставка відсічки, А		
Обчислена кратність відсічки $k'_в$		
Прийнята кратність відсічки $k_в$		
Дійсне значення струму спрацювання відсічки, А		
Коефіцієнт чутливості відсічки $k_{ув}$		
Уставка часу відсічки, с		

5 ПРОЕКТУВАННЯ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ШИН 10 кВ

5.1 Розрахунок максимального струмового захисту шин (вводу 10 кВ)

Для одиночної секціонованої системи та подвійної систем шин 6–10 кВ знижувальних підстанцій, як правило, спеціальні пристрої РЗА не слід передбачати, а ліквідація КЗ на шинах має здійснюватися дією захистів трансформаторів від зовнішніх КЗ і захистів, установлених на секційному вимикачі [2].

Для захисту шин 10 кВ на вводі також можна застосовувати схему дешунтування ЕВ на реле РТ-80.

Струм спрацьовування захисту відлаштовується від номінального струму силового трансформатора:

$$I_{с.з.} = \frac{k_n \cdot k_{сп}}{k_n} \cdot I_n, A, \quad (5.1)$$

де k_n і $k_{сп}$ – відповідно коефіцієнти надійності (1,2) і повернення (0,8 для індукційного реле РТ-80);
і від попереднього захисту:

$$I_{с.з.} \geq k_{нс} \cdot (I_{с.з.п.пер.} + \sum_1^N I_{р.}), A, \quad (5.2)$$

де $k_{нс}$ – коефіцієнт надійності узгодження захистів, що дорівнює 1,2;

$I_{с.з.п.пер.}$ – струм спрацювання захисту, встановлений на секційному вимикачі;

$\sum_1^N I_{р.}$ – сума робочих струмів ліній, що відходять від секції, що живиться від трансформатора.

Далі розрахунок захисту аналогічний розділу 3.

При виборі уставок за часом ампер-секундні характеристики захистів на секційному вимикачі та на вводі необхідно відлаштовувати графічно, приймаючи ступінь селективності по струму $0,2 I_{cs}$ і по часу 0,5 с.

Результати проектування можна звести у таблицю 4.1.

6 РОЗРАХУНОК ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРА 35/10 кВ

Для трансформаторів повинні бути передбачені пристрої РЗА захисту від таких видів пошкоджень і ненормальних режимів роботи:

- 1) багатофазних замикань в обмотках і на виводах;
- 2) однофазних замикань на землю в обмотці і на виводах, приєднаних до мережі з глухозаземленою нейтраллю;
- 3) виткових замикань в обмотках;
- 4) струмів в обмотках, зумовлених зовнішнім КЗ;
- 5) струмів в обмотках, зумовлених перевантаженням;
- 6) зниження рівня масла [2].

На трансформаторах потужністю 1 МВ·А і більше як захист від надструмів в обмотках, зумовлених зовнішніми багатофазними КЗ, має бути передбачений максимальний струмовий захист з дією на відключення [2].

Для захисту від пошкоджень на виводах, а також від внутрішніх пошкоджень на трансформаторах потужністю 1...4 МВ·А з боку живлення додатково повинна бути передбачена струмова відсічка, а на трансформаторах потужністю 6,3 МВ·А і більше – подовжній диференціальний струмовий захист без витримки часу. Диференційний захист може бути передбачений на трансформаторах меншої потужності, але не менше 1 МВ·А, якщо струмова відсічка не задовольняє вимогам чутливості, а максимальний струмовий захист має витримку часу більше 0,5 с [2].

Для трансформаторів потужністю 1 МВ·А і більше від пошкоджень всередині кожуха, що супроводжуються виділенням газу, і від пониження рівня масла повинен бути передбачений газовий захист [2].

При виборі захисту повинні забезпечуватися такі найменші коефіцієнти їх чутливості:

- для максимальних струмових захистів – близько 1,5;
- для диференціальних захистів – близько 2;
- для струмових відсічок без витримки часу, що встановлюються на лініях і виконують функції додаткових захистів – близько 1,2 [2].

6.1 Розрахунок максимального струмового захисту зі сторони живлення

Захист можна виконати на реле РТ-40, РВМ-12 і РП-341 з трьома трансформаторами струму і двома ЕВ.

Струм спрацьовування струмового захисту відлаштовується від струму спрацьовування струмового захисту на стороні нижчої напруги

$$I_{с.з.} = k_{нс} \frac{I_{с.з.попер.}}{n_m}, A, \quad (6.1)$$

де $k_{нс}$ – коефіцієнт надійності узгодження захистів, що дорівнює 1,2 для реле РТ-40;

n_m – коефіцієнт трансформації силового трансформатора.

Струм спрацьовування реле –

$$I_{сп} = \frac{I_{с.з.} \cdot k_{сх.}}{n_{мс}}, A, \quad (6.2)$$

де $k_{сх.}$ – коефіцієнт схеми, для з'єднання трансформаторів струму в трикутник $\sqrt{3}$;

$n_{мс}$ – коефіцієнт трансформації трансформаторів струму.

За вибраним струмом уставки I_y розраховується первинний струм спрацьовування захисту (дійсне значення):

$$I_{сз.} = \frac{I_y \cdot n_{mc}}{k_{сх.}}, A \quad (6.3)$$

Узгодження за чутливістю основних реле РТ-40 і ЕВ проводиться в первинних величинах. Умова узгодження при розрахунковому (двофазному) КЗ за трансформатором має виглядає так:

$$I_{с.з.} = \frac{k_{сх.р}^{(2)}}{k_{сх.р}^{(3)}} \left(k_{нс} \frac{I_{с.ЕВ}}{k_{сх.ЕВ}^{(2)}} + I_{нам.} \right) n_{mc}, \quad (6.4)$$

де $k_{сх.р}^{(2)}$ – коефіцієнт схеми для реле при розрахунковому (двофазному) КЗ, що дорівнює 1,5;

$k_{сх.р}^{(3)}$ – коефіцієнт схеми для трикутника, рівний $\sqrt{3}$;

$k_{сх.ЕВ}^{(2)}$ – коефіцієнт схеми для ЕВ, що дорівнює 1,5;

$k_{нс}$ – коефіцієнт надійності, що дорівнює 1,2;

$I_{нам.}$ – струм намагнічування трансформаторів струму, рівний 0,25 А;

n_{mc} – коефіцієнт трансформації трансформаторів струму.

Надалі розрахунок захисту аналогічний розділу 3, крім наступних моментів. Трансформатори струму необхідно вибрати на номінальну напругу 35 кВ. При розрахунку вторинного навантаження за формулою (5.10) розрахунковий опір потрібно множити на коефіцієнт схеми $k_{сх}^{(3)} = 1,5$. Уставку часу слід вибирати за формулою (3.6).

Для забезпечення термічної стійкості трансформатора, що захищається час спрацювання захисту повинен бути:

$$t_{c.з.} \leq t_{c.з.} = \frac{1500}{\frac{I_{к.з.макс.}^{(3)}}{I_n}}, \quad (6.5)$$

де $I_{к.з.макс.}^{(3)}$ і I_n – відповідно максимальний і номінальний струми в місці установки захисту.

6.2 Розрахунок струмової відсічки

За умовою селективності струм спрацювання відсічки вибирається більшим максимального струму КЗ в кінці зони захисту (табл. 1.2).

$$I_{c.в.} = \frac{k_n \cdot I_{к.з.}^{(3)}}{n_m}, A, \quad (6.6)$$

де k_n – коефіцієнт надійності, для реле РТ-40, який дорівнює 1,4;

n_m – коефіцієнт трансформації силового трансформатора.

Струм спрацювання реле –

$$I_{cp} = \frac{I_{c.в.} \cdot k_{cx.}}{n_{mc}}, A, \quad (6.7)$$

де $k_{cx} = \sqrt{3}$ – для з'єднання трансформаторів струму в трикутник.

За вибраним струмом уставки I_y розраховується первинний струм спрацьовування відсічки:

$$I_{c.в.} = \frac{I_y \cdot n_{mc}}{k_{cx}}, A \quad (6.8)$$

і перевіряється коефіцієнт чутливості:

$$k_{\eta} = \frac{I_{K.3.min}}{I_{c.в.}} \geq 1,2 \quad (6.9)$$

6.3 Розрахунок диференційного захисту трансформатора

Для трансформатора зі сторони живлення має бути передбачений максимальний струмовий захист з дією на відключення, і додатково передбачається струмова відсічка та подовжній диференційний струмовий захист без витримки часу [2].

На трансформаторах малої потужності (до 10000 кВ·А) застосовується диференційний захист на реле типу РНТ (див. схему реле і схему захисту на рис. А.5). Для скорочення запису розрахунок диференційного захисту прийнято приводити у вигляді таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати розрахунку диференційного захисту

№ з/п	Назва величин і розрахункова формула	Трансформатор	
		Сторона 35-110 кВ	Сторона 10 кВ
1	2	3	4
1	Первинний номінальний струм $I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H}, A$		
2	Коефіцієнт трансформації $n_{m.m.}$, схема з'єднання трансформаторів струму та коефіцієнт схеми k_{cx}	Δ $k_{cx} = \sqrt{3}$	Y $k_{cx} = 1$

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4
3	Вторинні номінальні струми в плечах захисту $i_{2н} = \frac{I_n \cdot k_{cx.}}{n_{т.т.}}, A$		
4	Первинний розрахунковий струм небалансу без врахування небалансу, обумовленого неточністю установки розрахункового числа витків вирівнюючої обмотки реле $I'_{нб.роз.} = (K_{апер.} K_{одн.} f_i + \Delta U) I_{к.з.}^{(3)},$ де: $K_{апер.} = 1$; $K_{одн.} = 1$; $f_i = 0,1$; $\Delta U = 0,9$ для трансформатора 35/10 кВ и $\Delta U = 0,16$ для трансформатора 110/10 кВ		
5	Первинний струм спрацьовування захисту за умовою відлаштування від максимального струму небалансу $I_{сз.} = k_n I'_{нб.роз.}, A$, де $k_n = 1,3$		
6	Первинний струм спрацьовування захисту за умовою відлаштування від кидка струму намагнічування $I_{сз.} = k_n I_n, A$, де $k_n = 1,3$		
7	Сторона з найбільшим вторинним струмом у плечі захисту (див. п.3) є основною стороною. Струм спрацьовування реле на основній стороні $i_{с.р.осн.} = \frac{I_{с.з.} \cdot k_{cx.}}{n_{т.т.}}, A$ де $I_{с.з.}$ приймається найбільшим (див. п.5 та 6).		
8	Розрахункове число витків обмотки насичуючого трансформатора реле на основній обмотці $W_{осн.роз.} = \frac{F_{ср.}}{i_{с.р.осн.}}, \text{ де } F_{ср.} = 100 A \cdot \text{в}$		
9	Попередньо прийняте число витків для установки на основній стороні $W_{осн.роз.}$ (ціле число витків)		
10	Відповідний струм спрацьовування на основній стороні $i_{с.р.осн.} = \frac{F_{ср.}}{W_{осн.}}$		
11	Розрахункове число витків обмотки насичуючого трансформатора реле для неосновної сторони $W_{неосн.} = W_{осн.} \frac{i_{2н.осн.}}{i_{2н.неосн.}}$		
12	Попередньо прийняте число витків для установки на неосновній стороні W_1 (ціле число витків)		

Закінчення таблиці 6.1

1	2	3	4
13	Складова первинного струму небалансу, обумовлена округленням розрахункового числа витків неосновної сторони $I_{неб.роз.}^{///} = \frac{W_{не осн.} - W_1}{W_{не осн.}} I_n$		
14	Первинний розрахунковий струм небалансу з урахуванням складової $I_{неб.роз.}^{///}$ $I_{неб.роз.} = I_{неб.роз.}^I + I_{неб.роз.}^{///}$		
15	Уточнене значення первинного струму спрацьовування захисту $I_{с.з.} = K_n \cdot I_{неб.роз.}$		
16	Уточнений струм спрацьовування реле на основній стороні $i_{с.з.осн.} = \frac{I_{с.з.} \cdot k_{сх.}}{n_{т.т.}}, A$		
17	Остаточні прийняті числа витків на основній стороні $W_{осн.} = \left\{ \frac{F_{ср.}}{i_{с.р.осн.}} \right\}$ і неосновної стороні W_1		
18	Первинний струм спрацьовування захисту, що відповідає остаточно прийнятому числу витків $I_{с.з.} = \frac{F_{ср.} \cdot n_{т.т.}}{W_{(35...110)} k_{сх.}}$		-
19	Чутливість захисту при двофазному КЗ на виводах низької напруги трансформатора в максимальному режимі $k_{\chi} = \frac{I_{к.з.}^{(2)}}{I_{с.з.}}$		-

У підсумковій таблиці після розрахунку диференційного захисту необхідно вказати числа витків зрівняльних і робочої обмоток реле РНТ-565.

6.4 Газовий захист трансформатора

Для захисту від внутрішніх пошкоджень використовується двоступеневий газовий захист на реле РГЧЗ-66. Перший ступінь діє на сигнал, другий – через проміжне реле на відключення трансформатора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бібліографічний опис документів відповідно до ДСТУ 7.1:2006, запровадженого в дію в Україні 01.07.2007 : метод. реком. / Наук. б-ка Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад.: Н. Б. Давидова, В. О. Статкус ; відп. за вип. О. М. Штангей. – 4-те вид., перероб. і доп. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 31 с.
2. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ. – [6-е вид., перероб. і доп.]. – Харків : Форт, 2017. – 830 с.
3. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : навч. посібник / В. П. Кідиба. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2015. – 504 с.
4. Белоруссов Н. И. Электрические кабели, провода и шнуры : Справочник / Н. И. Белоруссов, А. Е. Саакян, А. И. Яковлева. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 536 с.
5. Алексеев В. С. Реле защиты / В. С. Алексеев, Г. П. Варганов. – М. : «Энергия», 1976. – 464 с.
6. Какуевицкий Л. И. Смирнова Т. В. Справочник реле защиты и автоматики / Л. И. Какуевицкий, Т. В. Смирнова. – М. : «Энергия», 1972. – 334 с.
7. Реле максимального тока АЛ-3-ОВ, АЛ-5-Х [Електронний ресурс] : Руководство по эксплуатации ААПЦ.648231.005 РЭ. 2010. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: http://relsis.ua/upload/al-5_v4.pdf. вільний (дата звернення : 16.01.2020). – Назва з екрана.
8. Шабад М. А. Расчёты релейной защиты и автоматики электрических сетей / М. А. Шабад. – Л. : «Энергия», 1985. – 295 с.
9. Релейний захист і автоматика в системах електропостачання : навч. посібник / [П. П. Говоров, Г. А. Сендерович, В. Ф. Соколов та ін.]. – Київ : ІЗМН, 1996. – 288 с.

ДОДАТОК А

Довідкові дані для проектування

Таблиця А.1 – Параметри кабелів типу ААШв стандартних поперечних перерізів напругою 10 кВ

Параметри	Стандартні значення поперечних перерізів, мм ²						
	16	25	35	50	70	95	120
Тривало допустимий струм, А	90	125	145	180	220	260	300
Питомий активний опір, Ом/км	2	1,28	0,92	0,64	0,46	0,34	0,27
Питомий реактивний опір, Ом/км	0,12	0,1	0,095	0,09	0,086	0,083	0,081
Питомий ємнісний струм, А/км	0,52	0,62	0,69	0,77	0,9	1	1,1

Таблиця А.2 – Питомі опори ліній 35 кВ із сталюалюмінієвими проводами

Поперечний переріз, мм ²	70/11	95/16	120/19	150/24	185/29	240/32
Питомий активний, Ом/км	0,428	0,306	0,249	0,198	0,162	0,12
Питомий реактивний, Ом/км	0,444	0,434	0,427	0,42	0,413	0,405

Таблиця А.3 – Питомі опори ліній 10 кВ із сталюалюмінієвими проводами

Поперечний переріз, мм ²	16/2,7	25/4	35/6,2	50/8	70/11
Питомий активний, Ом/км	1,8	1,18	0,79	0,6	0,428
Питомий реактивний, Ом/км	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Таблиця А.4 – Довідникові дані силових трансформаторів

Клас напруги, кВ	S _i , кВ·А	ΔP _к , кВт	U _к , %	1/3Z ₍₁₎ , Ом
35	25000	200	5	
35/10	2500	23,5	7,5	
35/10	4000	33,5	7,5	
35/10	6300	44	7,5	
35/10	10000	60	7,5	
10/0,4	250	3,7	4,5	0,1
10/0,4	400	5,5	4,5	0,065
10/0,4	630	7,6	4,5	0,042
10/0,4	1000	12,2	5,5	0,027
10/0,4	1600	18	5,5	0,018

Таблиця А.5 – Технічні характеристики струмових реле

Тип реле	Уставки спрацювання, А	Час спрацювання, с	Коефіцієнт повернення	Потужність споживання, В·А
РТ-40/0,2	0,05 – 0,2	0,1	0,8	0,2
РТ-40/0,6	0,15 – 0,6	0,1	0,8	0,2
РТ-40/2	0,5 – 2	0,1	0,8	0,2
РТ-40/6	1,5 – 6	0,1	0,8	0,5
РТ-40/10	2,5 – 10	0,1	0,8	0,5
РТ-40/20	5 – 20	0,1	0,8	0,5
РТ-40/50	12 – 50	0,1	0,8	0,8
РТ-40/100	25 – 100	0,1	0,8	1,8
РТ- 85/1	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	0,5-4	0,8	12
РТ- 85/2	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	0,5-4	0,8	10
РТ- 82/1	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	0,5-4	0,8	12

Таблиця А.6 – Технічні характеристики сигнальних реле

Тип реле	Номінальний струм, А	Опір катушки, Ом	Потужність споживання, Вт	Струм контактів, А
РУ-21/0,5	0,5	0,7	0,25	2
РУ-21/1	1	0,2	0,25	2
РУ-21/2	2	0,05	0,25	2
РУ-21/4	4	0,015	0,25	2

Технічні характеристики трансформаторів струму типу ТПОЛ-10- I_{IH} /5-0,5/Р

I_{IH} – номінальний струм первинної обмотки (15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 750, 800, 1000, 1200, 1500, 2000, 3000 А).

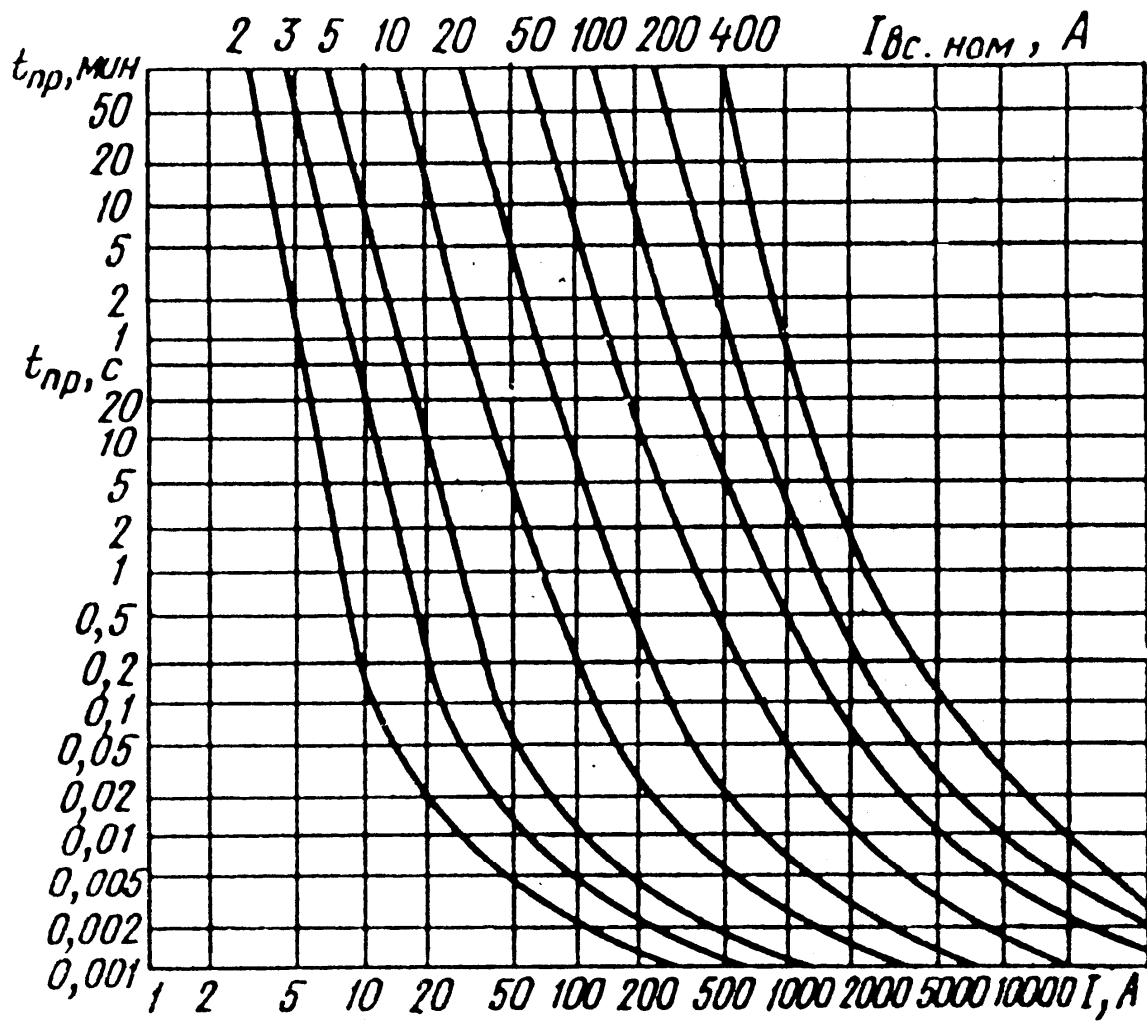


Рисунок А.1 – Часо-струмові характеристики запобіжника ПКТ-10

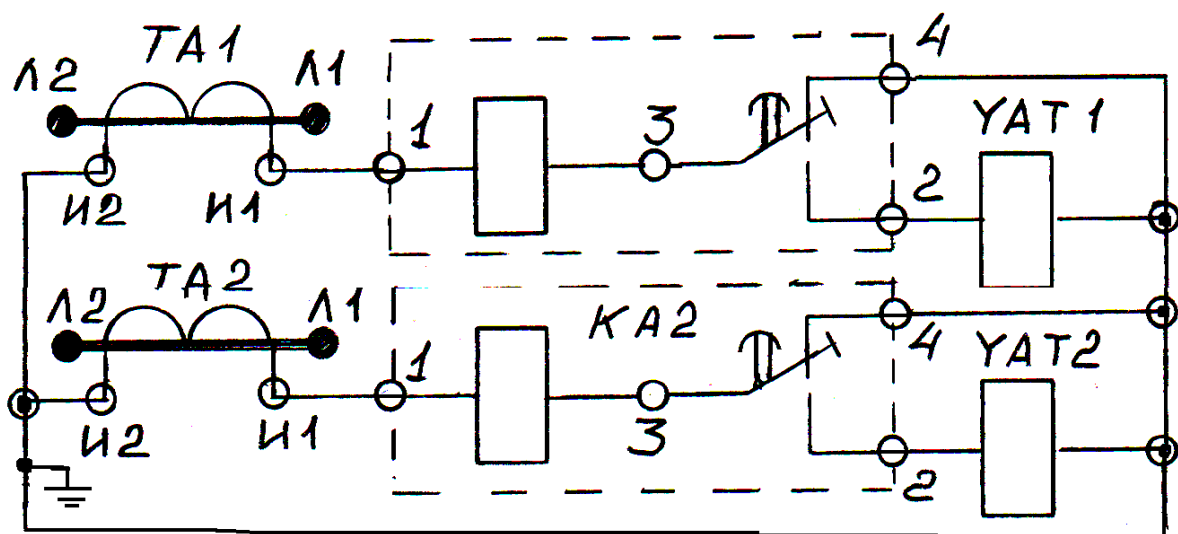


Рисунок А.2 – Схема струмового захисту на реле РТ-80 з дешунтуванням струмових електромагнітів вимикання

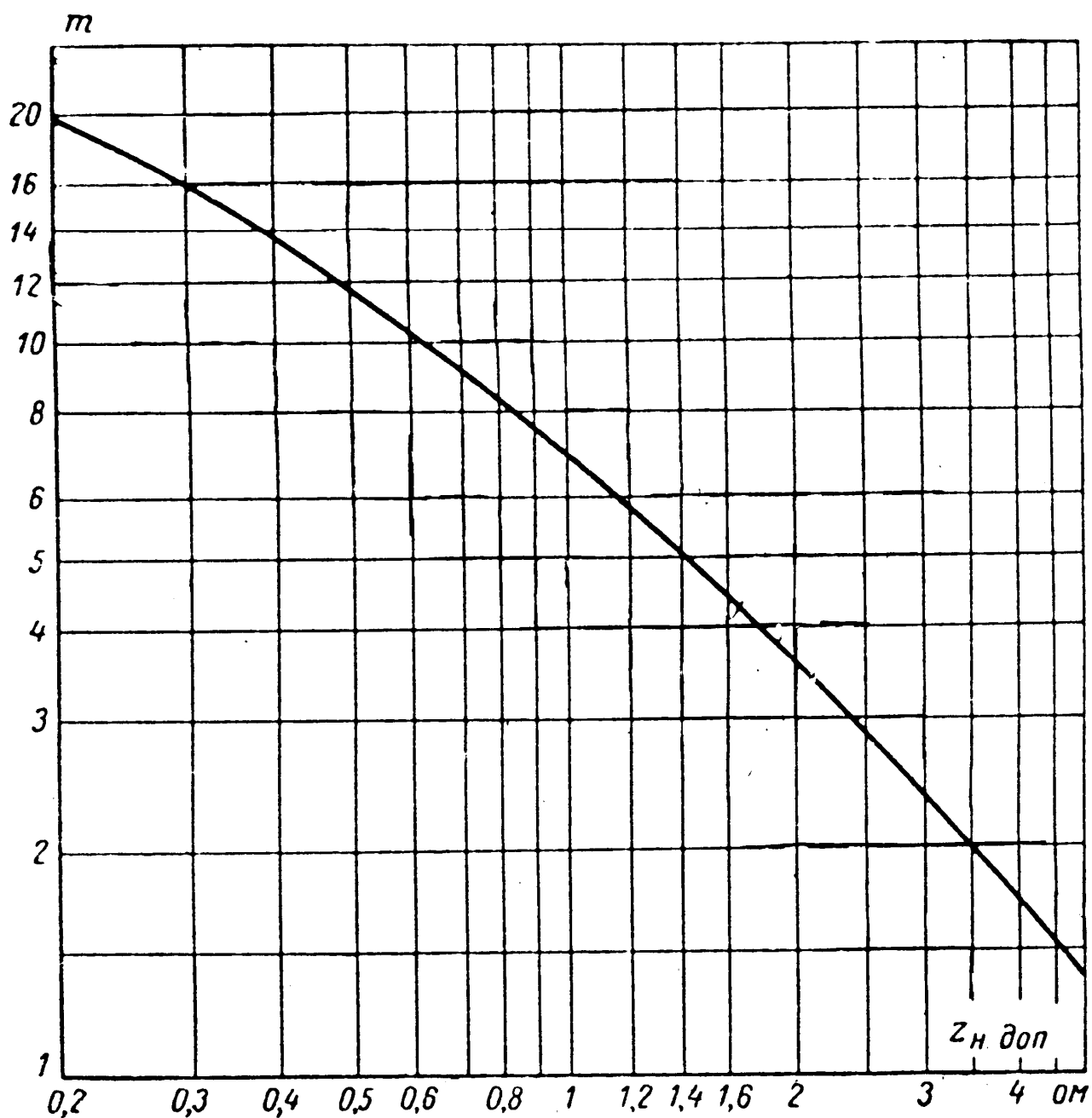


Рисунок А.3 – Залежність допустимого опору навантаження вторинної обмотки від кратності первинного струму трансформатора струму ТПЛ-10

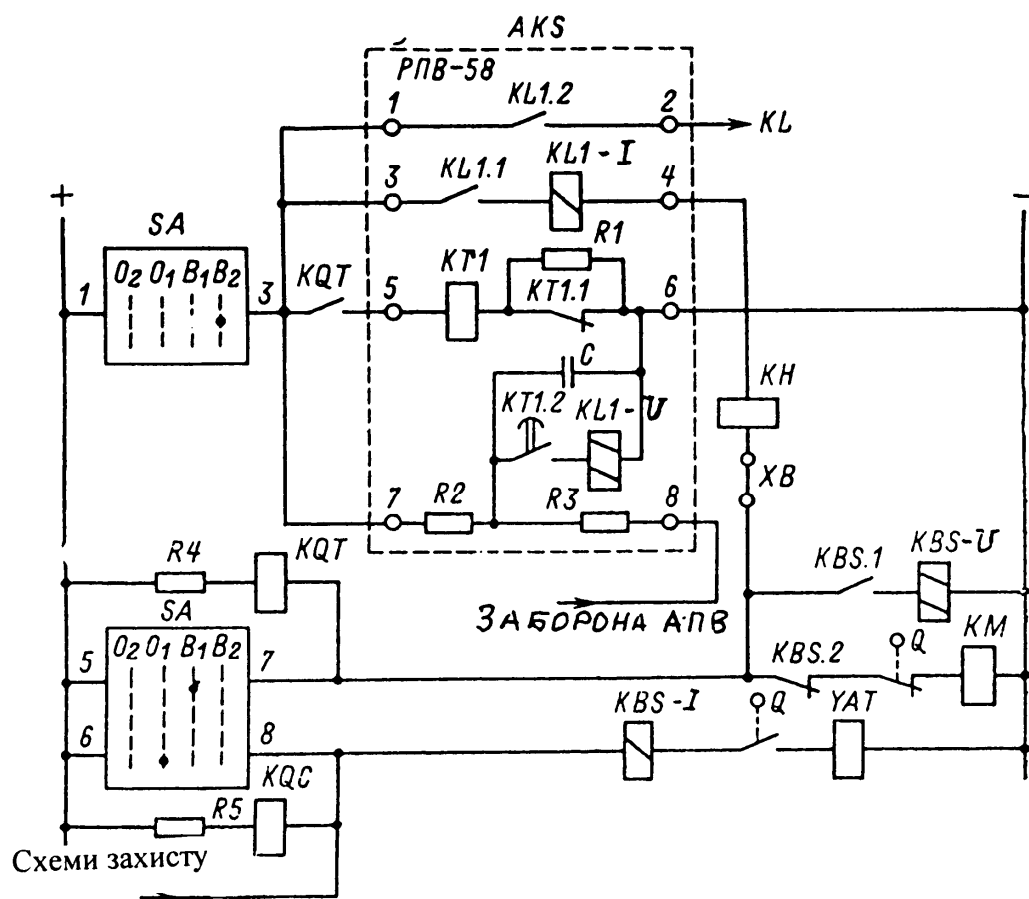


Рисунок А.4 – Схема комплексу повторного ввімкнення типу РПВ-58

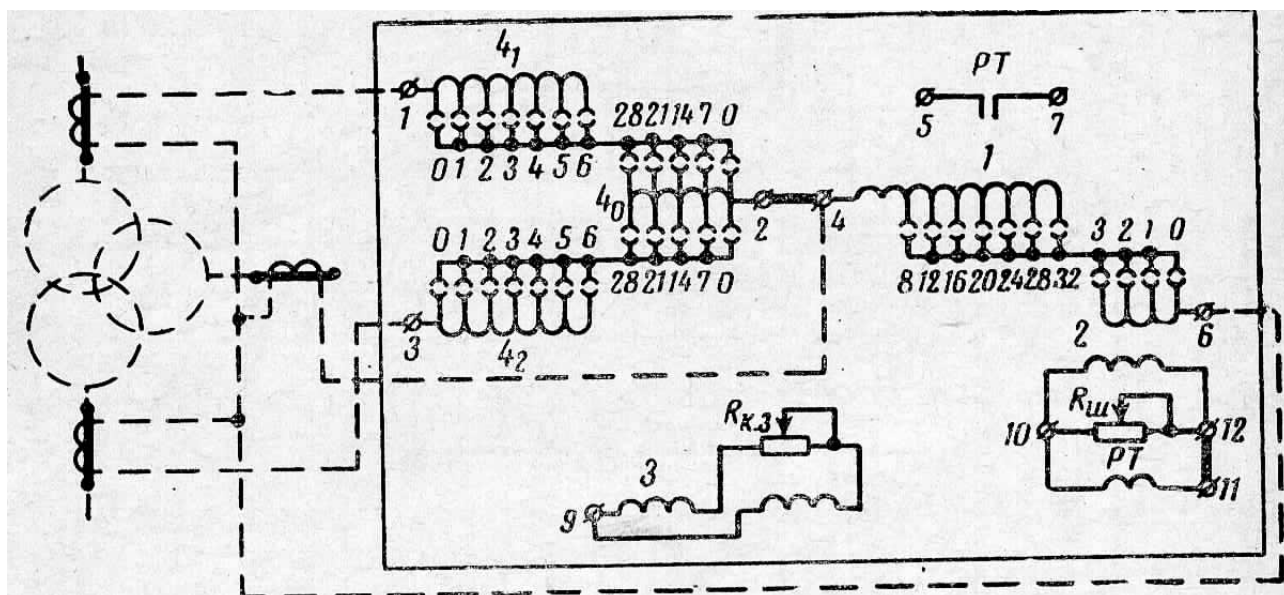


Рисунок А.5 – Схема вмикання диференційного реле РНТ-565

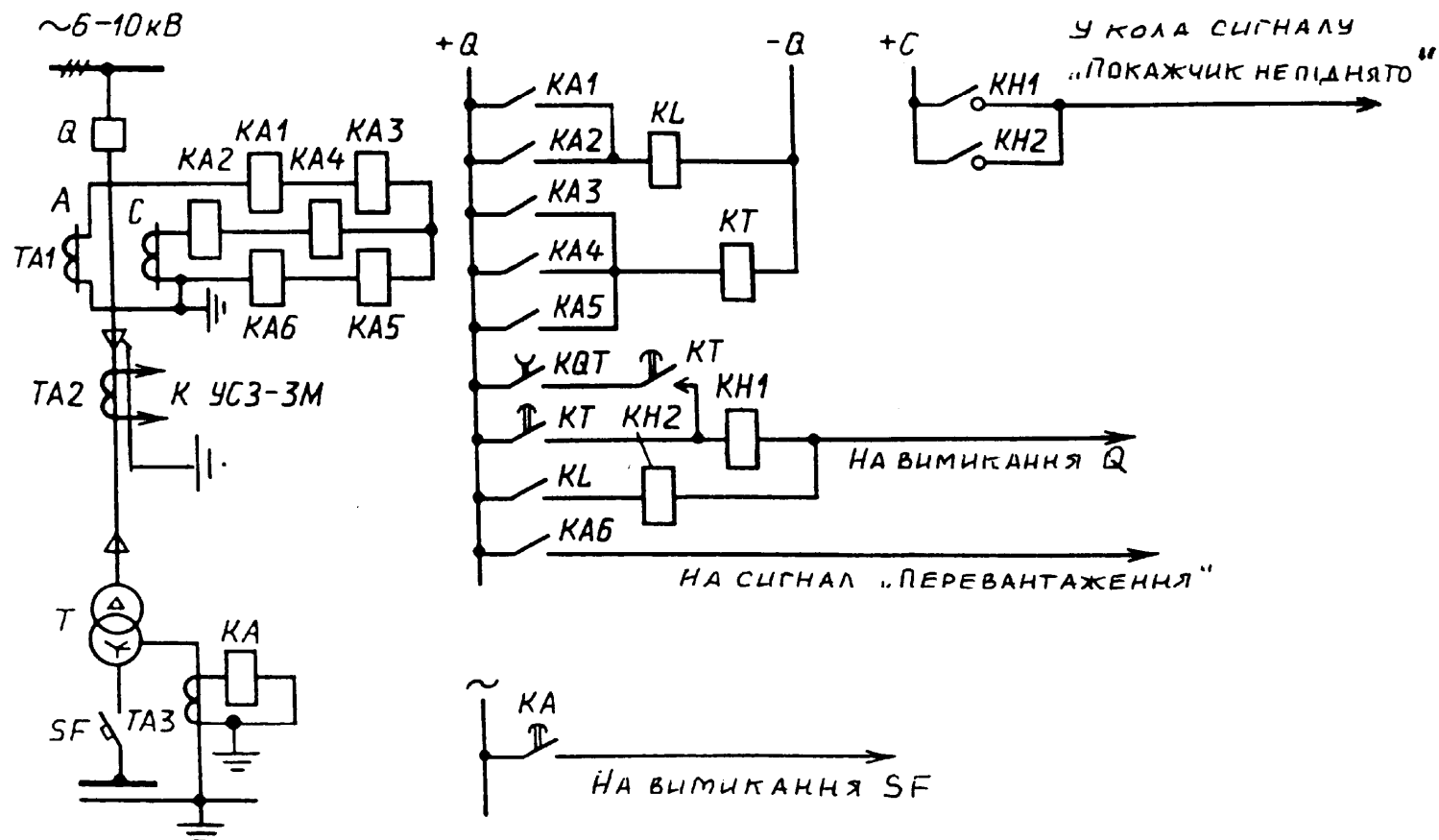


Рисунок А.6 – Типова схема релейного захисту лінії

ДОДАТОК Б

Зміст курсової роботи

ЗМІСТ

1 РОЗРАХУНОК РОБОЧИХ СТРУМІВ ТА СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ	4
2 ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРА 10/0,4 кВ	7
2.1 Захист трансформатора 10/0,4 кВ зі сторони 0,4 кВ	7
2.2 Захист трансформатора 10/0,4 кВ зі сторони 10 кВ	8
3 РОЗРАХУНОК ЗАХИСТУ ЛІНІЙ 10 кВ З АПВ	10
3.1 Розрахунок максимального струмового захисту ліній 10 кВ.....	10
3.2 Вибір уставок за часом.....	12
3.3 Вибір та перевірка трансформаторів струму	13
3.4 Проектування струмової відсічки.....	15
3.5 Автоматичне повторне ввімкнення ліній 10 кВ.....	17
4 ПРОЕКТУВАННЯ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ СЕКЦІЙНОГО ВИМИКАЧА, ЗАХИСТУ ШИН 10 кВ ТА ЗАХИСТУ ВІД ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ	19
4.1 Автоматичне ввід резерву	20
4.2 Захист мережі 10 кВ від замикань на землю.....	21
4.3 Розрахунок максимального струмового захисту шин (вводу 10 кВ)...	22
5 РОЗРАХУНОК ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРА 35/10 кВ.....	24
5.1 Розрахунок максимального струмового захисту зі сторони живлення.....	24
5.2 Розрахунок струмової відсічки	26
5.3 Розрахунок диференційного захисту трансформатора.....	27
5.4 Газовий захист трансформатора	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	30

ДОДАТОК В

Приклад виконання титульного аркушу курсової роботи

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Кафедра систем електропостачання та електроспоживання міст

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни

«Розробка релейного захисту елементів систем електропостачання»

Студент(ка) _____ курсу _____ групи

спеціальність 141 – Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

(прізвище та ініціали)

Керівник _____

(прізвище та ініціали)

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Члени комісії _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Харків – 202__

ДОДАТОК Г
Приклад завдання

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Завдання № 1

до курсової роботи з дисципліни
«Розробка релейного захисту елементів систем електропостачання»

студент(ка) _____, група _____, факультет ЕОМ
(прізвище, ім'я, по батькові)

Зміст роботи (формат А4)

Вступ.

1. Розрахунок робочих струмів та струмів короткого замикання.
2. Розробка захисту трансформаторів 10/0,4 кВ.
3. Розробка релейного захисту ліній 10 кВ з АПВ.
4. Розробка релейного захисту секційного вимикача 10 кВ з АВР.
5. Розробка релейного захисту шин 10 кВ підстанції 35/10 кВ.
6. Розробка релейного захисту трансформатора 35/10 кВ.
7. Розробка захисту мережі 10 кВ від замикань на землю.

Висновки.

Список використаних джерел.

Графічна частина (формат А4 в будь-якому графічному редакторі)

1. Захист секційного вимикача 10 кВ (Схема електрична принципова).
2. Графік селективності спроектованого релейного захисту.

Вихідні дані

Таблиця 1 – Дані про систему електропостачання

Елемент мережі	$S_i, \text{кВ}\cdot\text{А}$	Марка та переріз проводу (кабелю)	Кількість, шт.	Довжина ліній, км	Тр-р 10/0,4 кВ $S_{\text{тр}}, \text{кВ}\cdot\text{А}$
ПЛ 35 кВ	2500	АС-50/8,0	2	20	
Трансформатор 35/10 кВ	2500		2		
ПЛ 10 кВ	630	АС-35/6,2		8	630
КЛ 10 кВ	1000	ААШВ-35		0,9	1000

Термін подачі курсової роботи на захист « ____ » _____ 20 ____.

Керівник _____ (_____) _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

ДОДАТОК Д

Таблиця Д.1 – Вихідні дані для виконання курсової роботи*

№/№ вар.	S _{Т1,2} , кВ·А	M35	S10№1	M10№1	S10№2	M10№2	L35, км	пл35	L10№1	L10№2	S _{Т3} , кВ·А	S _{Т4} , кВ·А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2500	АС-50/8,0	630	АС-35/6,2	1000	ААШВ-35	20	2	8	0,9	630	1000
2	4000	АС-70/11	800	АС 50/8	1030	ААШВ-35	22	2	9	0,8	400	630
3	6300	АС-95/16	1000	АС 50/8	1260	ААШВ-50	24	2	10	0,7	1000	630
4	10000	АС-120/19	1260	АС-70/11	1600	ААШВ-70	26	2	11	0,6	630	1000
5	2500	АС-50/8,0	400	АС-35/6,2	630	ААШВ-25	28	2	7	1,1	400	630
6	4000	АС-70/11	800	АС-35/6,2	1000	ААШВ-35	21	2	6	1,2	400	1000
7	6300	АС-95/16	1030	АС 50/8	1600	ААШВ-70	18	2	5	1,3	630	1600
8	6300	АС-120/19	1000	АС 50/8	1260	ААШВ-50	16	2	4	0,9	1000	630
9	2500	АС-50/8,0	630	АС-35/6,2	800	ААШВ-35	17	2	5	1	630	400
10	4000	АС-70/11	800	АС-35/6,2	1000	ААШВ-35	25	2	6	1	400	1000
11	6300	АС-95/16	1000	АС 50/8	1600	ААШВ-70	27	2	7	0,7	1000	1600
12	10000	АС-120/19	1000	АС 50/8	1600	ААШВ-70	29	2	8	0,8	1000	1600
13	2500	АС-70/11	1000	АС-35/6,2	630	ААШВ-25	22	2	9	0,9	1000	630
14	6300	АС-95/16	800	АС 50/8	1600	ААШВ-70	24	2	10	1,1	400	1600
15	10000	АС-120/19	1600	АС-70/11	1600	ААШВ-70	26	2	11	1,1	1600	1600
16	2500	АС-50/8,0	800	АС-50/8,0	1000	ААШВ-35	14	2	7	1,2	400	1000
17	4000	АС-70/11	800	АС-35/6,2	1030	ААШВ-50	15	2	6	1,3	400	400
18	4000	АС-95/16	800	АС 50/8	1000	ААШВ-50	16	2	5	1,4	400	1000
19	6300	АС-120/19	2000	АС 50/8	800	ААШВ-50	17	2	4	1,5	1000	400
20	2500	АС-50/8,0	1000	АС 50/8	1000	ААШВ-35	17	2	5	0,7	1000	1000

Продовження таблиці Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
21	4000	АС-95/16	1000	АС 50/8	2000	ААШВ-50	16	2	12	0,8	1000	1000
22	6300	АС-120/19	1000	АС 50/8	2000	ААШВ-50	14	2	14	0,9	1000	1000
23	4000	АС-70/11	1600	АС 50/8	1600	ААШВ-70	17	2	15	0,6	1600	1600
24	2500	АС-50/8,0	800	АС-35/6,2	1000	ААШВ-50	28	2	7	1,1	400	1000
25	10000	АС-120/19	1600	АС 50/8	2000	ААШВ-70	18	2	8	1,2	1600	1000
26	10000	АС-95/16	1030	АС 50/8	2000	ААШВ-70	16	2	9	1,3	630	1000
27	10000	АС-120/19	1600	АС 50/8	2000	ААШВ-70	14	2	10	1,4	1600	1000
28	4000	АС-70/11	800	АС-35/6,2	1030	ААШВ-50	15	2	6	1,1	630	1000
29	6300	АС-95/16	800	АС 50/8	1600	ААШВ-70	14	2	4	1	400	1600
30	6300	АС-95/16	1030	АС 50/8	1600	ААШВ-70	18	2	5	1,1	630	1600

*В таблиці позначено:

$S_{T1,2}$, кВ·А – Потужність трансформаторів Т1 та Т2, кВ·А;

М35 – Марка та переріз проводу ПЛ 35 кВ № 1 та №2; пл35 – Кількість ПЛ 35 кВ;

L35, км – Довжина ПЛ 35 кВ №1 та №2, км;

$S_{10№1}$ – Потужність ПЛ 10 кВ №1, кВ·А; $S_{10№2}$ – Потужність КЛ 10 кВ №2, кВ·А;

М10№1 – Марка та переріз проводу ПЛ 10 кВ №1; М10№2 – Марка та переріз кабелю КЛ 10 кВ №2;

L10№1, L10№2 – Відповідно довжина ПЛ 10 кВ №1 та довжина КЛ 10 кВ №2, км;

S_{T3} , кВ·А, S_{T4} , кВ·А – Потужність трансформаторів відповідно Т3 та Т4, кВ·А.

Виробничо-практичне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ЗАВДАННЯ

до виконання курсової роботи

**«Розробка релейного захисту елементів
систем електропостачання»**

з навчальної дисципліни

**«ОСНОВИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ
ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕНЕРГОСИСТЕМ»**

*(для студентів 3 і 4 курсів денної та заочної форм навчання
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка, фахового спрямування
«Електротехнічні системи електроспоживання»)*

Укладачі: **КАЛЮЖНИЙ** Дмитро Миколайович,
КОРОБКА Володимир Олександрович

Відповідальний за випуск *В. О. Коробка*

За авторською редакцією

Комп'ютерний набір *В. О. Коробка*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2020, поз. 193М.

Підп. до друку 1205.2020. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 2,6.

Тираж 50 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.