

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ЗАВДАННЯ**  
для виконання розрахунково-графічного завдання  
з навчальної дисципліни

**«ЦИФРОВІ ПРИСТРОЇ  
РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ І АВТОМАТИКИ»**

*(для студентів денної та заочної форм навчання  
освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр», спеціальності  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,  
освітньо-професійна та освітньо-наукова програми  
«Електротехнічні системи електроспоживання»)*

**Харків  
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова  
2019**

Методичні рекомендації та завдання для виконання розрахунково-графічного завдання з навчальної дисципліни «Цифрові пристрої релейного захисту і автоматики» (для студентів 5 курсу денної і заочної форм навчання освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр», спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньо-професійна та освітньо-наукова програми «Електротехнічні системи електроспоживання») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : Д. М. Калюжний, В. О. Коробка, С. В. Свергуненко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 41 с.

Укладачі: канд. техн. наук ***Д. М. Калюжний,***  
***В. О. Коробка,***  
***С. В. Свергуненко***

***Рецензенти:***

***В. Г. Ягуп,*** 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 № 8 від 11.04.2018.*

## ЗМІСТ

1	ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ .....	5
1.1	Обсяг розрахунково-графічного завдання .....	7
2	ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ .....	7
2.1	Розрахунок робочих струмів та струмів короткого замикання ....	7
2.2	Загальний алгоритм проектування цифрового захисту .....	10
2.3	Вибір схеми і типів цифрових пристроїв релейного захисту .....	11
3	ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВОГО ЗАХИСТУ ЛІНІЙ 10 КВ .....	14
3.1	Проектування максимального струмового захисту ліній 10 кВ ...	14
3.2	Вибір та перевірка трансформаторів струму .....	16
3.3	Проектування струмової відсічки .....	18
3.4	Вибір уставок за часом .....	19
3.5	Автоматичне повторне включення ліній 10 кВ .....	20
3.6	Захист ліній 10 кВ від замикань на землю .....	20
3.6.1	Розрахунок струмів при однофазних замиканнях на землю..	21
3.6.2	Розрахунок захисту кабельних ліній 10 кВ від однофазних замикань на землю .....	22
4	ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВОГО ЗАХИСТУ СЕКЦІЙНОГО ВИМИКАЧА .....	23
4.1	Проектування максимального струмового захисту секційного вимикача.....	23
4.2	Автоматичне ввімкнення резерву.....	24
5	ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВОГО ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРА 35/10 КВ .....	25
5.1	Проектування максимального струмового захисту шин 10 кВ.....	25
5.2	Розрахунок захисту трансформатора з боку живлення.....	26
5.2.1	Розрахунок максимального струмового захисту .....	26
5.2.2	Розрахунок струмової відсічки.....	28
5.3	Розрахунок диференціального захисту трансформатора.....	29
5.4	Газовий захист трансформаторів .....	31

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	32
Додаток А Довідкові дані для проектування .....	34
Додаток Б Схема електропостачання .....	36
Додаток В Приклад виконання змісту розрахунково-графічного завдання .	37
Додаток Г Приклад оформлення титульного аркуша .....	38
Додаток Д Приклад завдання .....	39
Додаток Е Вихідні дані для виконання розрахунково-графічного завдання	40

## 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Метою розрахунково-графічного завдання (РГЗ) є закріплення теоретичних знань, набутих під час вивчення дисципліни «Цифрові пристрої релейного захисту і автоматики», оволодіння навичками роботи з навчальною та довідковою літературою.

РГЗ складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини.

Розрахунково-пояснювальна записка повинна бути надрукована шрифтом 14 розміру через півтора інтервали без пропусків і скорочень слів, на одній стороні аркуша формату А4 з лівим полем 25 мм, правим – 10 мм, знизу і зверху – 20 мм і переплетена в обкладинку.

Нумерація сторінок записки в правій верхній частині арабськими цифрами від титульного аркуша до останньої сторінки, включаючи всі ілюстрації. На титульному аркуші, що є першою сторінкою, номер не ставиться.

За титульним аркушем поміщається завдання на проект. Потім зміст, у якому перераховуються пронумеровані найменування окремих розділів і підрозділів із зазначенням сторінок. За змістом повинен бути вступ.

Розділи повинні бути пронумеровані, позначені арабськими цифрами без крапки. Підрозділи нумерують в межах кожного розділу. Номери підрозділів складаються з номерів розділів і підрозділів, розділених крапкою. Наприкінці номера підрозділу крапка не ставиться. Відстань між заголовками й наступним текстом та останнім рядком тексту і наступним заголовком – вільний рядок.

В усіх розділах записки виклад ведеться 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 й таблиці повинні мати нумерацію, що складається з номеру розділу та порядкового номеру ілюстрації або таблиці. Номер і назву таблиці пишуть

зверху, а номер та назву малюнка – внизу під рисунком. Таблиці й малюнки наводяться після першого посилання на них.

Розрахункові формули записують окремим рядком по центру сторінки. Перед і після рядка із формулою вільний рядок. Умовні літерні позначення повинні відповідати встановленим стандартам і бути пояснені при першому їхньому використанні. Оформлення розрахункової записки ведеться за такою схемою:

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

другий рядок: шукана величина – підстановка значень у строгій відповідності формулі – відповідь – одиниці вимірювання.

Наприкінці записки наводиться докладний перелік першоджерел. Для кожного джерела вказують прізвище та ініціали автора, найменування роботи, видавництво, місце та рік видання, кількість сторінок. Посилання в тексті рекомендується наводити в квадратних дужках.

Креслення й демонстраційні графіки виконуються на аркушах формату А4 в будь-якому графічному редакторі. Електричні схеми виконуються в позначеннях відповідно до стандартів.

Файли уставок подаються керівникові в електронному вигляді, а перед захистом РГЗ завантажуються у відповідний термінал.

На титульному аркуші вказують назву університету, кафедри, роботи, прізвище та ініціали виконавця й керівника, м. Харків і рік.

### **1.1 Обсяг розрахунково-графічного завдання**

Завдання оформляється у вигляді пояснювальної записки обсягом близько 20 сторінок формату А4 та креслень, виконаних у будь-якому графічному редакторі (формат А4).

Пояснювальна записка повинна містити:

а) титульний аркуш;

б) завдання на виконання РГЗ;

в) зміст;

г) вступ;

д) основну частину завдання:

1. Розрахунок робочих струмів та струмів короткого замикання.
  2. Захист ліній 10 кВ з АПВ.
  3. Захист секційного вимикача 10 кВ з АВР.
  4. Захист шин 10 кВ підстанції 35/10 кВ.
  5. Захист трансформатора 35/10 кВ.
  6. Захист мережі 10 кВ від замикань на землю.
- е) список використаних джерел.

На аркушах креслень повинні бути схема електрична принципова релейного захисту та графік селективності.

У вступі необхідно описати завдання цифрового релейного захисту та мету зазначеного РГЗ.

## **2 ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ**

### **2.1 Розрахунок робочих струмів та струмів короткого замикання**

Для розрахунку уставок пристроїв релейного захисту й автоматики необхідно знати струми в елементах мережі електропостачання в номінальних і максимальних робочих режимах та струми в режимах коротких замикань. Ці струми можна обчислювати як самостійно, спираючись на знання з 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 [5].

Для успішної роботи за програмою згідно зі схемою електропостачання (рис. Б.1, дод. Б) необхідно відповідно до вихідних даних до завдання скласти таблицю вихідних даних (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку робочих струмів та струмів короткого замикання

Елементи мережі	$S_i$ , кВ·А	$\Delta P_k$ , кВт	$U_k$ , %	$l$ , км	$r_0$ , Ом/км
1 Система	25000	200	5	–	–
2 ПЛ 35 кВ		–	–		
3 Трансформатор 35/10 кВ				–	–
4 ПЛ 10 кВ №1		–	–		
5 КЛ 10 кВ №2		–	–		

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

$S_i$ , кВ·А – номінальна потужність трансформатора або потужність у «голові» лінії, кВ·А;

$\Delta P_k$ , 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. У третій рядок заносять інформацію про трансформатор 35/10 кВ. Четвертий рядок містять дані про повітряну лінію 10 кВ, що відходить від підстанції 35/10 кВ.

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

Після завершення роботи програми результати розрахунків будуть збережені у файлі «FILE1.RES». Їх необхідно оформити у вигляді таблиці 2.2.



Таблиця 2.2 – Розрахунок робочих струмів та струмів короткого замикання

Номер захисту	$S, \text{кВ}\cdot\text{А}$	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						

У таблиці 2.2 позначено:

$S, \text{кВ}\cdot\text{А}$  – номінальна потужність у місці встановлення захисту (рис. Б.1, дод. Б);

$I_p, \text{А}$  – 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 разу більший за робочий струм, розрахований програмою [2].

## 2.2 Загальний алгоритм проектування цифрового захисту

Проектування будь-якого захисту проводиться в такому порядку:

а) вибір місць установлення, схеми і типів цифрових пристроїв релейного захисту;

б) розрахунок первинного струму (напруги тощо) спрацьовування захисту;

в) вибір та перевірка трансформаторів струму;

- г) розрахунок струму спрацювання цифрового пристрою релейного захисту;
- д) розрахунок коефіцієнта чутливості та порівняння його з допустимим;
- е) розрахунок часу спрацьовування захисту;
- ж) перевірка термічної стійкості елементів, що захищаються (за необхідності);
- и) зведення розрахункових даних для кожного елемента мережі в підсумкову таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати проектування цифрового релейного захисту

Назва	Тип, величина
1	2
Тип трансформатора струму	
Тип цифрового пристрою релейного захисту	
Струм спрацювання МСЗ, А	
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	
Прийнята уставка відсічки, А	
Дійсне значення струму спрацьовування відсічки, А	
Коефіцієнт чутливості відсічки	
Уставка часу відсічки, с	

## 2.3 Вибір схеми і типів цифрових пристроїв релейного захисту

У місцях установлення комутаційних апаратів точки 1, 2, 3...5 (рис. Б.1, дод. Б) необхідно проектувати захисні пристрої, від яких пошкоджень вони мають захищати, прописано Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) [1]. Розглянемо вимоги до захисту та автоматики, що стосуються підстанції 35/10 кВ.

У разі виникнення ненормального режиму в мережі використовуються спеціальні захисні апарати. Вид застосовуваних захистів і режими їх роботи визначаються Правилами улаштування електроустановок [1].

Для ліній 3–10 кВ з ізольованою нейтраллю повинні бути передбачені пристрої релейного захисту від багатофазних замикань і від однофазних замикань на землю. Захист від багатофазних замикань слід передбачати в двофазному виконанні та вмикати в одні й ті самі фази по всій мережі цієї 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 й неселективним у разі поєднання його з пристроєм АПВ або АВР, які виправляють повністю або частково неселективну дію захисту [3.2.91; 3.2.92; 3.2.93 ПУЕ].

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 [3.2.96 ПУЕ].

Для ліній у мережах 20 і 35 кВ з ізольованою нейтраллю повинні бути передбачені пристрої релейного захисту від багатофазних замикань і від однофазних замикань на землю. Захист від багатофазних замикань слід передбачати в двофазному дворелейному виконанні і вмикати в одні й ті самі фази по всій мережі цієї напруги для забезпечення вимкнення в більшості випадків подвійних замикань на землю тільки одного місця пошкодження.

Захист від однофазних замикань на землю слід виконувати, як правило, з дією на сигнал. Для здійснення захисту допускається використовувати пристрій контролю ізоляції [3.2.98; 3.2.99 ПУЕ].

Для ліній 110 кВ із ефективно заземленою нейтраллю повинні бути передбачені пристрої релейного захисту від багатофазних замикань і від замикань на землю з дією на відключення вимикача [3.2.106 ПУЕ].

Для одиночної секційної та подвійної систем шин 6–10 кВ знижувальних підстанцій, як правило, спеціальні пристрої релейного захисту не слід передбачати, а ліквідація КЗ на шинах має здійснюватися дією захистів трансформаторів від зовнішніх КЗ і захистів, установлених на секційному вимикачі [3.2.126 ПУЕ].

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

- 1) багатофазних замикань у обмотках і на виводах;
- 2) однофазних замикань на землю в обмотці й на виводах, приєднаних до мережі з глухозаземленою нейтраллю;
- 3) виткових замикань у обмотках;
- 4) струмів в обмотках, зумовлених зовнішнім КЗ;
- 5) струмів в обмотках, зумовлених перевантаженням;
- 6) зниження рівня масла [3.2.51 ПУЕ].

На трансформаторах потужністю 1 МВ·А і більше як захист від струмів в обмотках, зумовлених зовнішніми багатофазними КЗ, має бути передбачений максимальний струмовий захист (МСЗ) з дією на відключення [3.2.59 ПУЕ].

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 (СВ), 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 [3.2.54 ПУЕ].

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 [3.2.53 ПУЕ].

Під час вибору захисту повинні забезпечуватися такі найменші коефіцієнти їх чутливості:

- для максимальних струмових захистів – близько 1,5;
- для диференційних захистів – близько 2;
- для струмових відсічок без витримки часу, що встановлюються на лініях і виконують функції додаткових захистів, – близько 1,2 [3.2.21; 3.2.26 ПУЕ].

Для швидкого відновлення живлення споживачів шляхом автоматичного включення вимикачів, відключених пристроями релейного захисту на повітряних і змішаних (кабельно-повітряних) лініях усіх типів напруги вище 1 кВ повинні передбачатися пристрої АПВ. Відмова від застосування АПВ повинна в кожному окремому випадку обґрунтовуватися [3.3.2 ПУЕ].

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 [3.3.30 ПУЕ].

Виходячи з вимог ПУЕ, на підстанції 35–110/10 кВ на лініях, що відходять, на секційному вимикачі, на вводі і з боку живлення трансформаторів повинен бути встановлений максимальний струмовий захист, із боку живлення трансформаторів – струмова відсічка, а за необхідності – диференціальний захист, для захисту трансформаторів – двоступеневий газовий захист, від замикань на землю з боку 10 кВ – захист із дією на сигнал, на відхідних повітряних лініях – АПВ, на секційному вимикачі – АВР.

### 3 ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВОГО ЗАХИСТУ ЛІНІЙ 10 кВ

Відповідно до [1] на лініях, що відходять від підстанцій 35–110/10 кВ, повинен бути встановлений максимальний струмовий захист.

#### 3.1 Проектування максимального струмового захисту ліній 10 кВ

Для реалізації максимального струмового захисту ліній 10 кВ вибираємо цифровий пристрій релейного захисту фірми-виробника, вказаний у завданні [7–12], з необхідними функціями, такими як функція максимального струмового захисту (50/51/51В), струмової відсічки (50/51В), захисту від замикань на землю (50N/51N) та АПВ (79). Схема такого захисту має бути трифазною. На сучасних підстанціях використовують постійний оперативний струм. Оскільки в завданні не зазначено, на якому оперативному струмі проектувати захист, то це можна робити як на постійному так і на змінному оперативному струмі. Схема електрична принципова цифрового релейного захисту має складатися з кіл трансформаторів струму та напруги, керування вимикачами, релейного захисту, АПВ та сигналізації.

Для вибраного цифрового пристрою релейного захисту необхідно розрахувати первинний струм спрацьовування МСЗ. Цей струм відлаштовується (відводиться) від максимального робочого струму лінії, а також урахується самозапуск електродвигунів у післяаварійному режимі

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

де  $k_n$  – коефіцієнт надійності,  $k_n=1,2$  [5];

$k_{сн}$  – коефіцієнт самозапуску електродвигунів,  $k_{сн}=1,3$  [5];

$k_n$  – коефіцієнт повернення, [7–12];

$I_p$  – максимальний робочий струм, А (стовпчик 3 табл. 2.2).

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

Струм спрацьовування реле обчислюють за формулою

$$I_{cp} = \frac{I_{c.z.} \cdot k_{cx.}}{n_{m.c.}}, A, \quad (3.2)$$

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

$n_{m.c.}$  – коефіцієнт трансформації трансформаторів струму.

За обчисленим струмом спрацьовування реле  $I_{cp}$  приймається найближчий струм уставки  $I_y$  МСЗ [7–12]. За обраним струмом уставки  $I_y$  розраховується дійсне значення струму спрацювання захисту

$$I_{cз.д} = \frac{I_y \cdot n_{m.c.}}{k_{cx.}}, A \quad (3.3)$$

і перевіряється коефіцієнтом чутливості:

$$k_{\chi} = \frac{I_{k(\kappa)}^{(2)}}{I_{cз.д}} \geq 1,5, \quad (3.4)$$

де  $I_{k(\kappa)}^{(2)}$  – мінімальний струм короткого замикання в кінці зони, що захищається (стовпчик 7 табл. 2.2).

### 3.2 Вибір та перевірка трансформаторів струму

Трансформатори струму вибираються за напругою та первинним струмом

$$I_{1n} \geq I_p \quad (3.5)$$

і перевіряються на термічну й динамічну стійкість

$$I_{1n} \cdot k_t \geq I_{k.макс}^{(3)} \sqrt{t_\phi}, \quad (3.6)$$

$$\sqrt{2} \cdot I_{1n} \cdot k_{дин.} \geq i_y^{(3)}, \quad (3.7)$$

де  $k_t$  – кратність односекундної термічної стійкості трансформаторів струму;

$I_{1n}$  – номінальний первинний струм трансформатора струму, А;

$I_{k.макс}^{(3)}$  – максимальний струм короткого замикання, кА (стовпчик 5 табл. 2.2);

$t_\phi$  – фіктивний час дії струму короткого замикання, рівний 1 с;

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

$i_y^{(3)}$  – максимальне значення ударного струму трифазного КЗ, кА (стовпчик 4 табл. 2.2).

Крім цього, трансформатори струму перевіряються на допустиму 10-відсоткову похибку і на допустиму вторинну напругу ( $U_{2доп.}=1000$  В) [1].

Визначається кратність первинного струму для 10-відсоткової похибки

$$k_{10} = \frac{1,1I_{сз.д}}{0,8I_{1n}} \quad (3.8)$$



і вторинне навантаження

$$Z_{роз} = Z_p + \sqrt{3} \cdot Z_{np} + Z_k = \frac{S_p}{I_y^2} + \sqrt{3} \cdot \frac{l}{F \cdot \gamma} + Z_k, \text{ Ом}, \quad (3.9)$$

де  $Z_p, Z_{np}, Z_k$  – відповідно опори реле, сполучних проводів і контактів,

$Z_k = 0,1$  Ом;

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

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

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

$S_p$  – споживана потужність реле, В·А, [7–12];

$I_y$  – струм уставки, А.

За кривими граничних кратностей (рис. А.3, дод. А) [6] для обраних трансформаторів струму визначається допустиме навантаження  $Z_{доп.}$  і порівнюється з фактичним навантаженням

$$Z_{доп.} \geq Z_{роз.} \quad (3.10)$$

Якщо умова (3.10) не виконується, то необхідно вибрати ТС з більшим первинним номінальним струмом.

Напруга на вторинній обмотці трансформаторів струму перевіряється за залежністю

$$U_{2\text{макс.}} = k_y \cdot Z_{роз} \cdot \frac{I_{к.макс.}^{(3)}}{I_{1н}} \cdot I_{2н} \leq U_{2доп}, \text{ В}, \quad (3.11)$$

де  $k_y$  – ударний коефіцієнт, що дорівнює 1,65;

$I_{2н}$  – номінальний вторинний струм трансформатора струму, А.

У разі невиконання будь-якої з умов (3.6, 3.7, 3.10, 3.11) необхідно збільшити номінальний первинний струм, користуючись стандартною шкалою: 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600 А [5].

### 3.3 Проектування струмової відсічки

Для більшості цифрових пристроїв релейного захисту струмова відсічка (СВ) – це перший ступінь струмового захисту.

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

$$I_{c.в.} = k_n \cdot I_{k(k)}^{(3)}, A, \quad (3.12)$$

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

$I_{k(k)}^{(3)}$  – струм трифазного короткого замикання в кінці лінії (стовпчик 6 табл. 2.2), А.

Струм уставки відсічки слід обчислювати за формулою

$$I_{yв} = \frac{I_{c.в.} \cdot k_{сх.}}{n_{m.c.}}, A. \quad (3.13)$$

За прийнятою уставкою  $I_{yв}$  розраховується первинний струм спрацьовування відсічки (дійсне значення)

$$I_{c.в.д} = \frac{I_{yв} \cdot n_{m.c.}}{k_{сх.}}, A \quad (3.14)$$

і перевіряється коефіцієнт чутливості

$$k_{\text{чв}} = \frac{I_k^{(3)}}{I_{\text{с.в.д}}} \geq 1,2, \quad (3.15)$$

де  $I_k^{(3)}$  – струм трифазного короткого замикання на початку лінії (стовпчик 5 табл. 2.2), А.

Якщо умова (3.15) не виконується, то недоцільно застосовувати відсічку.

Роботу відсічки необхідно відлаштовувати від часу спрацювання розрядників, тому час уставки відсічки становитиме  $t_{\text{yb}} = 0,1$  с.

### 3.4 Вибір уставок за часом

Уставка за часом спрацювання вибирається виходячи з умови селективності дії з попереднім захистом

$$t_y = t_{\text{yn}} + \Delta t_{\text{сел.}}, \text{ с}, \quad (3.16)$$

де  $t_{\text{yn}}$  – уставка за часом спрацювання попереднього захисту, с;

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

Ураховуючи, що на лініях буде АПВ, можна не відлаштовуватися від запобіжників, прийняти мінімальну уставку за часом, рівну 0,2 с.

### 3.5 Автоматичне повторне включення ліній 10 кВ

Якщо лінія 10 кВ захищається цифровим пристроєм релейного захисту, то в ньому, як правило, реалізована функція АПВ. Залишається тільки прийняти час безструмової паузи після спрацювання МСЗ або СВ. Зважаючи на найшвидше відновлення живлення після спрацювання захисту, намагаються мінімізувати час безструмової паузи.

### 3.6 Захист ліній 10 кВ від замикань на землю

Захист ліній 10 кВ від замикань на землю здійснюється шляхом контролю наявності напруги нульової послідовності на обмотках розімкнутого трикутника трансформатора напруги типу НАМИ-10, або струму нульової послідовності на вторинній обмотці трансформатора струму нульової послідовності.

Якщо захист ліній 10 кВ від замикань на землю здійснюється шляхом контролю наявності напруги нульової послідовності, тоді уставку по напрузі слід обчислювати за формулою

$$U_y = \frac{U_{\text{мин}}}{k_n k_n} = \frac{0,9U_n}{k_n k_n}, \text{ В}, \quad (3.17)$$

де  $U_n$  – номінальна напруга, рівна 100 В;

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

$k_n$  – коефіцієнт повернення [7–12].

Якщо захист ліній 10 кВ від замикань на землю здійснюється шляхом контролю наявності струму нульової послідовності, тоді необхідно знати струм однофазного замикання на землю.

#### 3.6.1 Розрахунок струмів при однофазних замиканнях на землю

Однофазне замикання жил кабельних ліній на землю через заземлену металеву оболонку кабелів має свої особливості, обумовлені режимом ізолюваної нейтралі мережі 10 кВ. Кожна жила кабельної лінії має ємність відносно металевій оболонки кабелю, яка з'єднана із заземлювальним пристроєм на підстанції 35/10 кВ і, отже, має ємність відносно землі. Це означає, що по жилах кабельної лінії протікають струми ємнісного характеру.

Величина цих так званих власних емнісних струмів кожної з ліній визначається за формулою

$$I_{BC} = I_{PC} \cdot l_{KL}, \text{ A}, \quad (3.18)$$

де  $I_{BC}$  – власний емнісний струм лінії, А;

$I_{PC}$  – питомий емнісний струм на одиницю довжини лінії, визначається за табл. А.1 дод. А, А/км;

$l$  – довжина кабельної лінії, км.

При замиканні однієї жили кабелю на його металеву оболонку і, отже на землю, емнісний струм у цій пошкодженій жилі зростає у три рази відносно власного емнісного струму. У двох інших непошкоджених жилах емнісний струм зростає відповідно у  $\sqrt{3}$  з урахуванням того, що в стільки ж разів зростає напруга непошкоджених жил відносно землі.

У загальному випадку мережа 10 кВ складається з кількох кабельних ліній і емності кожної із жил відносно землі додаються. Це означає, що в разі замикання однієї жили будь-якої з кабельних ліній її емнісний струм буде визначатися сумарною емністю мережі відносно землі:

$$I_C^{1K} = 3 \cdot \sum I_{BC}, \quad (3.19)$$

де  $I_C^{1K}$  – струм однофазного замикання на землю, який протікає пошкодженою жилою кабелю, А;

$I_{BC}$  – власний емнісний струм кожної з кабельних ліній за формулою (3.18), А.

Якщо власний ємнісний струм кожної з кабельних ліній невідомий, то струм однофазного замикання на землю в амперах можна розрахувати за формулою

$$I_C^{1K} = (U \cdot L) / 10, \quad (3.20)$$

де  $U$  – напруга мережі, кВ,

$L$  – загальна довжина кабельної мережі, км.

Якщо  $I_C^{1K} > 15 \text{ A}$ , то з метою його обмеження на цьому рівні необхідно встановити в нейтралі обмотки НН трансформатора 35/10 кВ дугогасну котушку, з'єднану другим виводом із землею. При цьому мережа 10 кВ із ізольованою нейтраллю перетворюється на мережу з компенсованою нейтраллю, а струм однофазного замикання на землю приймається на рівні 15 А.

3.6.2 Розрахунок захисту кабельних ліній 10 кВ від однофазних замикань на землю

Для захисту кабельних ліній 10 кВ від однофазних замикань на землю прийнято захист нульової послідовності, який діє на сигналізацію для оперативного персоналу підстанції 35/10 кВ. Уставку спрацьовування захисту  $I_{ЗНП}$  розраховуємо за умовою відлаштування захисту від власного ємнісного струму  $I_{BC}$  за формулою

$$I_{ЗНП} = K_K K_B I_{BC}, \quad (3.21)$$

де  $K_K = 1,5$  – коефіцієнт кидка струму при вмиканні лінії під напругу;

$K_B = 1,2$  – коефіцієнт відлаштування;

$I_{BC}$  – сумарний власний ємнісний струм ліній, підключених до одного вимикача 10 кВ, де встановлений цей захист.

Перевірку захисту нульової послідовності виконуємо за коефіцієнтом чутливості  $K_{зпп}$  за формулою

$$K_{зпп} = \frac{I_C^{1K} - I_{BC}}{I_{зпп}} > 1,5, \quad (3.22)$$

де  $I_C^{1K}$ ,  $I_{BC}$  – визначаємо за формулами (3.18), (3.19).

Результати проектування цифрового захисту ліній 10 кВ можна навести у вигляді таблиці 2.3.

## **4 ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВОГО ЗАХИСТУ СЕКЦІЙНОГО ВИМИКАЧА**

У відповідності до вимог [1] на секційному вимикачі повинен бути встановлений максимальний струмовий захист та автоматичне ввімкнення резерву (АВР).

### **4.1 Проектування максимального струмового захисту секційного вимикача**

Для реалізації максимального струмового захисту секційного вимикача необхідно вибрати цифровий пристрій релейного захисту фірми-виробника вказаного у завданні [7...12] з необхідними функціями такими як функція максимального струмового захисту (50/51/51В) та АВР.

Струм спрацьовування захисту відлаштовується від 70% номінального струму  $I_p$  силового трансформатора за формулою аналогічною (3.1)

$$I_{c.з.} = \frac{k_n \cdot k_{cn}}{k_n} \cdot 0,7 I_p, A \quad (4.1)$$

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

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

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

$I_{c.з.пер.макс.}$  – найбільший струм спрацювання попереднього захисту (однієї з ліній), А;

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

Далі розрахунок захисту аналогічний наведеному в розділу 3.

#### 4.2 Автоматичне ввімкнення резерву

Якщо захист секційного вимикача 10 кВ виконаний на правильно вибраному цифровому пристрої релейного захисту, то в ньому реалізована функція автоматичного ввімкнення резерву (АВР), яка здійснюється шляхом увімкнення секційного вимикача (сторона 10 кВ). Пуск АВР здійснюється за допомогою контролю напруги на кожній із секцій шин через трансформатори напруги. Уставки по напрузі розраховуються за залежністю (3.17). Уставка за часом розраховується за залежністю

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

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

$t_g$  – час відключення вимикача, рівний 0,15 с;

$t_{зап.}$  – час запасу, рівний 0,5 с.



При виборі уставок за часом ампер-секундні характеристики захистів на секційному вимикачі необхідно відлаштовувати графічно, приймаючи ступінь селективності за струмом  $0,2 I_{cз}$  і за часом 0,5 с.

Після зникнення напруги на одній із секцій вимикач вводу цієї секції повинен бути відключений. Відключення відбувається за допомогою реле мінімальної напруги, вбудованого в привод вимикача вводу.

## **5 ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВОГО ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРА 35/10 кВ**

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

### **5.1 Проектування максимального струмового захисту шин 10 кВ**

Струм спрацьовування захисту відлаштовується від струму силового трансформатора в післяаварійному режимі

$$I_{c.з.} = \frac{k_n \cdot k_{cn}}{k_n} \cdot 1,4 \cdot I_p, A, \quad (5.1)$$

де  $k_n$  і  $k_{cn}$  – відповідно коефіцієнти надійності та повернення;

і від попереднього захисту

$$I_{c.з.} \geq k_{nc} \cdot (I_{c.з.попер.} + \sum_1^N I_{p.}), A, \quad (5.2)$$

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

$I_{c.з.попер.}$  – струм спрацювання захисту, встановлений на секційному вимикачі;

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

Далі розрахунок захисту аналогічний наведеному у розділі 3, крім таких моментів.

Під час вибору уставок за часом ампер-секундні характеристики захистів на вводі необхідно відлаштовувати графічно, приймаючи ступінь селективності за струмом  $0,2 I_{cз}$  і за часом 0,5 с.

## 5.2 Розрахунок захисту трансформатора з боку живлення

Для трансформатора з боку живлення має бути передбачений максимальний струмовий захист з дією на відключення, додатково повинна бути передбачена струмова відсічка та подовжній диференційний струмовий захист без витримки часу. Для захисту трансформатора вибираємо цифрові пристрої релейного захисту фірми-виробника, зазначеного у завданні [7–12] з необхідними функціями, такими як диференційний струмовий захист, максимальний струмовий захист, струмова відсічка.

### 5.2.1 Розрахунок максимального струмового захисту

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

$$I_{c.z.} = k_{nc} \frac{I_{c.z. \text{ nonep.}}}{n_m}, A, \quad (5.3)$$

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

$n_m$  – коефіцієнт трансформації силового трансформатора.

Струм уставки цифрового пристрою релейного захисту

$$I_y = \frac{I_{c.z.} \cdot k_{cx.}}{n_{m.c.}}, A, \quad (5.4)$$

де  $k_{cx.}$  – коефіцієнт схеми;

$n_{m.c.}$  – коефіцієнт трансформації трансформаторів струму.

За вибраним струмом уставки  $I_y$  розраховується дійсне значення первинного струму спрацьовування захисту

$$I_{c.z.d} = \frac{I_y \cdot n_{m.c.}}{k_{cx.}}, A. \quad (5.5)$$

Надалі розрахунок захисту аналогічний наведеному в розділі 3, крім таких моментів. Уставку за часом слід вибирати за залежністю (3.16).

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

$$t_{c.з.} \leq t_{c.з.} = \frac{1500}{\frac{I_{к.з.макс.}^{(3)}}{I_n}}, \quad (5.6)$$

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

### 5.2.2 Розрахунок струмової відсічки

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

$$I_{c.з.} = \frac{k_n \cdot I_{k(k)}^{(3)}}{n_m}, A, \quad (5.7)$$

де  $k_n$  – коефіцієнт надійності, який дорівнює 1,2;

$n_m$  – коефіцієнт трансформації силового трансформатора.

Струм уставки відсічки

$$I_{yв} = \frac{I_{c.з.} \cdot k_{сх.}}{n_{m.с.}}, A. \quad (5.8)$$

За вибраним струмом уставки  $I_{yв}$  розраховується дійсне значення первинного струму спрацювання відсічки

$$I_{c.з.д} = \frac{I_{yв} \cdot n_{m.с.}}{k_{сх.}}, A \quad (5.9)$$

і перевіряється коефіцієнт чутливості

$$k_{\text{чв}} = \frac{I_k^{(3)}}{I_{\text{с.в.д}}} \geq 1,2. \quad (5.10)$$

### 5.3 Розрахунок диференціального захисту трансформатора

Для розрахунку диференціального захисту фірми-виробники, як правило, надають програмне забезпечення або файл електронних таблиць Microsoft Office Excel [10].

В іншому випадку для скорочення запису розрахунок диференціального захисту прийнято приводити у вигляді таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунку диференціального захисту

Назва величин і розрахункова формула	Трансформатор	
	Сторона 35–110 кВ	Сторона 10 кВ
1	2	3
1. Первинний номінальний струм $I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \text{ A}$		
2. Коефіцієнт трансформації $n_{\text{м.с.}}$		
3. Схема з'єднання трансформаторів струму	$\Delta$	$Y$
4. Коефіцієнт схеми $k_{\text{сх}}$	$k_{\text{сх}} = \sqrt{3}$	$k_{\text{сх}} = 1$
5. Вторинні номінальні струми в плечах захисту $i_{2н} = \frac{I_H \cdot k_{\text{сх.}}}{n_{\text{м.м.}}}, \text{ A}$		
6. Первинний розрахунковий струм небалансу без урахування небалансу, обумовленого неточністю установки розрахункового числа витків вирівнювальної обмотки реле $I'_{\text{нб.роз.}} = (K_{\text{анер.}} \cdot K_{\text{одн.}} \cdot f_i + \Delta U) I_{\text{к.з.}}^{(3)},$ де $K_{\text{анер.}} = 1; K_{\text{одн.}} = 1; f_i = 0,1; \Delta U = 0,9$ для трансформатора 35/10 кВ і $\Delta U = 0,16$ для трансформатора 110/10 кВ		

Продовження таблиці 5.1

1	2	3
<p>7. Первинний струм спрацьовування захисту за умовою відлаштування від максимального струму небалансу</p> $I_{сз.} = k_n I'_{неб.роз.}, A, \text{ де } k_n = 1,3$		
<p>8. Первинний струм спрацьовування захисту за умови відлаштування від кидка струму намагнічування</p> $I_{сз.} = k_n I_n, A, \text{ де } k_n = 1,3$		
<p>9. Сторона з найбільшим вторинним струмом у плечі захисту (див. п. 5) є основною стороною. Струм спрацьовування реле на основній стороні</p> $i_{с.р.осн.} = \frac{I_{с.з.} \cdot k_{сх.}}{n_{т.т.}}, A,$ <p>де <math>I_{с.з.}</math> приймається найбільшим (див. п. 7 та 8).</p>		
<p>10. Розрахункове число витків обмотки насичуючого трансформатора реле на основній обмотці</p> $W_{осн.роз.} = \frac{F_{ср.}}{i_{с.р.осн.}}, \text{ де } F_{ср.} = 100 A \cdot \text{в}$		
<p>11. Попередньо прийняте число витків для установки на основній стороні <math>W_{осн.роз.}</math> (ціле число витків)</p>		
<p>12. Відповідний струм спрацьовування на основній стороні <math>i_{с.р.осн.} = \frac{F_{ср.}}{W_{осн.}}</math></p>		
<p>13. Розрахункове число витків обмотки насичуючого трансформатора реле для неосновної сторони</p> $W_{неосн.} = W_{осн.} \frac{i_{2н.осн.}}{i_{2н.неосн.}}$		
<p>14. Попередньо прийняте число витків для установки на неосновній стороні <math>W_1</math> (ціле число витків)</p>		
<p>15. Складова первинного струму небалансу, обумовлена округленням розрахункового числа витків неосновної сторони</p> $I_{неб.роз.}^{III} = \frac{W_{неосн.} - W_1}{W_{неосн.}} I_n$		
<p>16. Первинний розрахунковий струм небалансу з урахуванням складової <math>I_{неб.роз.}^{III}</math></p> $I_{неб.роз.} = I'_{неб.роз.} + I_{неб.роз.}^{III}$		
<p>17. Уточнене значення первинного струму спрацьовування захисту <math>I_{сз.} = K_n \cdot I_{неб.роз.}</math></p>		

### Закінчення таблиці 5.1

1	2	3
18. Уточнений струм спрацювання реле на основній стороні $i_{c.з.осн.} = \frac{I_{c.з.} \cdot k_{cx.}}{n_{m.m.}}, A$		
19. Остаточні прийняті числа витків на основній стороні $W_{осн.} = \left\{ \frac{F_{cp.}}{i_{c.п.осн.}} \right\}$ і неосновній стороні $W_1$		
20. Первинний струм спрацювання захисту, що відповідає остаточно прийнятому числу витків $I_{c.з.} = \frac{F_{cp.} \cdot n_{m.m.}}{W_{(35...110)} \cdot k_{cx.}}$		–
21. Чутливість захисту при двофазному КЗ на виводах низької напруги трансформатора в максимальному режимі $k_q = \frac{I_{к.з.}^{(2)}}{I_{c.з.}}$		–

У підсумковій таблиці після розрахунку диференціального захисту необхідно зазначити числа витків зрівняльних і робочої обмоток.

### 5.4 Газовий захист трансформаторів

Для захисту від усіх видів внутрішніх ушкоджень (ушкодження в середині бака, зниження рівня масла, виткові замикання), при котрих інші захисти можуть не спрацювати, використовується двоступеневий газовий захист на реле РГЧЗ-66. Перший ступінь діє на сигнал, другий – через проміжне реле на відключення трансформатора.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ. – 5-е вид., перероб. і доп. – Харків : Форт, 2014. – 792 с.
2. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів, затверджені наказом Мінпаливенерго України від 13 лютого 2012 року N 91 Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 2 березня 2012 р. за N 350/20663
3. Фигурнов Е. П. Релейная защита / Е. П. Фигурнов. – Киев : Транспорт Украины, 2004.
4. Резниченко Т. Ф. Релейная защита и автоматика распределительных электрических сетей. Курс лекций (электронный вариант). [Электронный ресурс] / Т. Ф. Резниченко. – Киев, 2006. – Режим доступа: <http://elibrary.nubip.edu.ua>
5. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем: навчальний посібник / В. П. Кідиба. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 504 с.
6. Шабад М. А. Расчеты релейной защиты и автоматки распределительных сетей. 4-е изд., испр. и доп. / М. А. Шабад; ПЭИПК. – Санкт-Петербург, 2010.
7. Устройство микропроцессорное защиты, автоматки, контроля и управления МРЗС-05-Л. Руководство по эксплуатации. АИАР.466452.001РЭ. [Электронный ресурс], 2011. – Режим доступа: [WWW.kievpribor.com.ua](http://WWW.kievpribor.com.ua)
8. Цифровое устройство токовой защиты от междуфазных и однофазных замыканий MiCOM P111 Enh. Руководство по эксплуатации. 2012 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.schneider-elektric.com.ua>
9. Устройство микропроцессорное для сетей 6-35 кВ РЗЛ-01. Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Киев : РЕЛСiС ОАО «Электротехнический завод», 2005. – 48 с. – Режим доступа: [WWW.relsis.ua](http://WWW.relsis.ua)



10. Устройство защиты отходящих линий на основе МТЗ РС83-А2М [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.rza-promav.com](http://www.rza-promav.com)

11. Автоматична перевірка пристрою мікропроцесорного захисту, автоматики, контролю та управління приєднань 10 кВ, 6 кВ МРЗС-05-Л. Інструкція користувача. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www.uniti.ua](http://www.uniti.ua)

12. Приборный модуль релейной защиты и автоматики «Діамант». Руководство по эксплуатации. ААВГ.421453.005 – 27 РЭЗ. 2004.

## 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 <sup>2</sup>						
	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 <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	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 <sub>i</sub> , кВ·А	ΔP <sub>к</sub> , кВт	U <sub>к</sub> , %	1/3Z <sub>(1)</sub> , 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

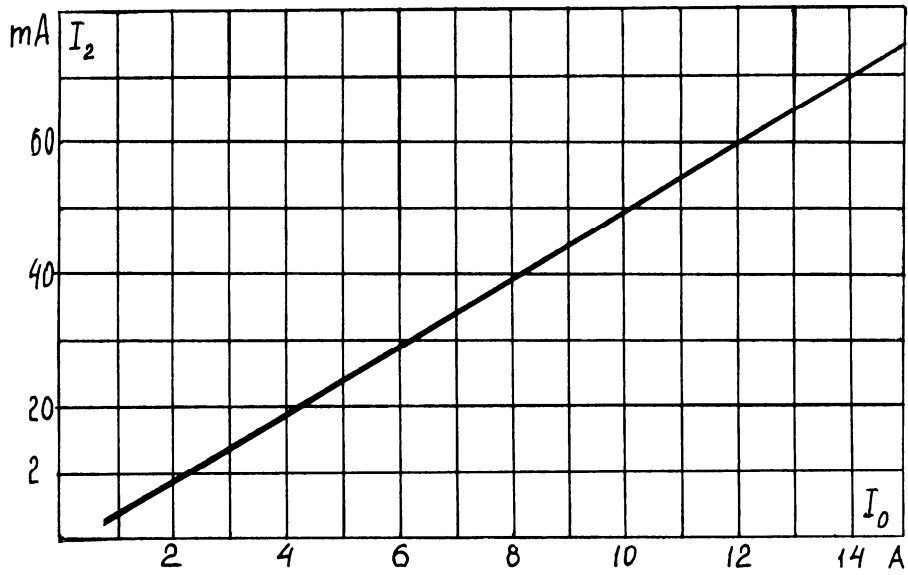


Рисунок А.1 – Залежність вторинного струму трансформатора ТЗЛ від струму нульової послідовності

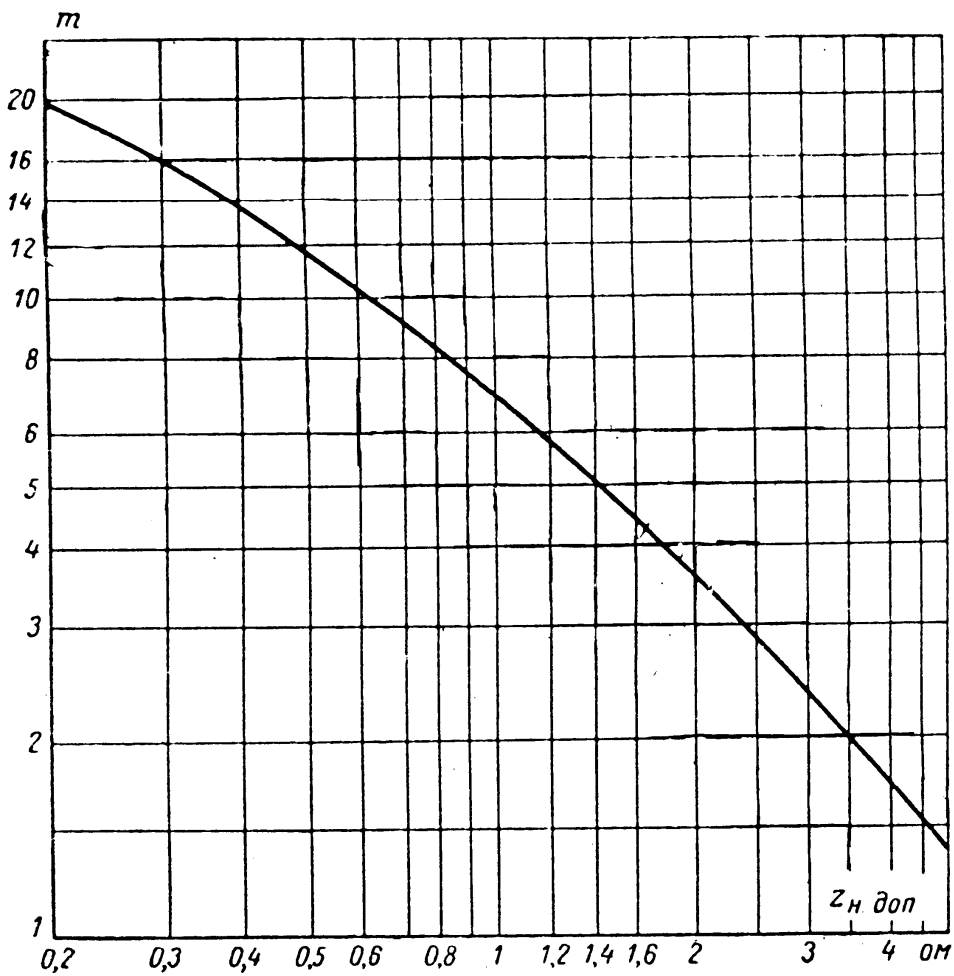


Рисунок А.2 – Залежність опору вторинного навантаження від кратності первинного струму трансформатора струму ТПЛ-10

## ДОДАТОК Б

### Схема однолінійна електропостачання

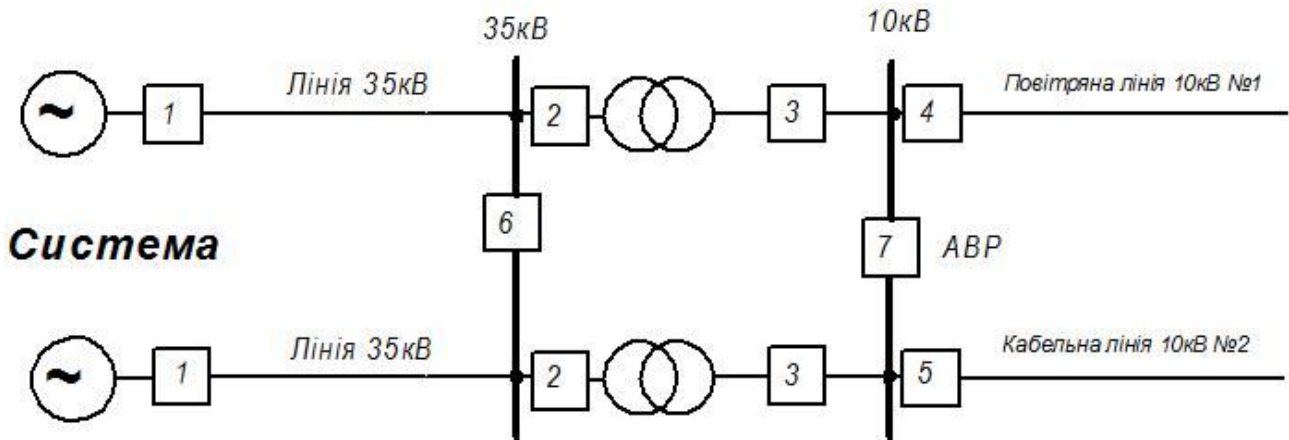


Рисунок Б.1 – Схема однолінійна електропостачання

## ДОДАТОК В

### Приклад виконання змісту розрахунково-графічного завдання

#### ЗМІСТ

1 РОЗРАХУНОК РОБОЧИХ СТРУМІВ ТА СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ .....	4
2 ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВОГО РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ .....	7
2.1 Цифровий релейний захист ліній 10 кВ .....	7
2.1.1 Максимальний струмовий захист .....	7
2.1.2 Вибір та перевірка трансформаторів струму .....	9
2.1.3 Проектування струмової відсічки .....	12
2.1.4 Автоматичне повторне включення .....	13
2.1.5 Захист ліній 10 кВ від замикань на землю .....	14
2.2 Цифровий захист секційного вимикача 10 кВ .....	14
2.2.1 Максимальний струмовий захист секційного вимикача .....	15
2.3 Цифровий захист шин 10 кВ .....	17
2.3.1 Максимальний струмовий захист .....	17
2.3.2 Вибір уставок за часом .....	18
2.4 Цифровий захист силового трансформатора 35/10 кВ .....	19
2.4.1 Максимальний струмовий захист .....	19
2.4.2 Диференційний захист .....	19
2.4.3 Газовий захист .....	21
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	22

## ДОДАТОК Г

Приклад виконання титульного аркушу

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

Факультет електропостачання і освітлення міст

*Кафедра систем електропостачання та електроспоживання міст*

Розрахунково-графічне завдання

з дисципліни

«Цифрові пристрої релейного захисту і автоматики»

на тему: ***ПРОЕКТ ЦИФРОВОГО РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ***  
***ПІДСТАНЦІЇ 35/10 кВ***

Студента І курсу, М ЕСЕ 2018-1 групи  
спеціальності 141 – Електротехнічні системи  
електроспоживання

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_  
(посада, прізвище та ініціали)

Кількість балів: \_\_\_\_\_

Харків – 2019

**ДОДАТОК Д**  
**Приклад завдання**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**  
**імені О. М. БЕКЕТОВА**

**Завдання № 1**  
до розрахунково-графічного завдання з дисципліни  
«Цифрові пристрої релейного захисту і автоматики»

студент(ка) \_\_\_\_\_, група \_\_\_\_\_, факультет \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

**Тема завдання Проект цифрового релейного захисту підстанції 35/10 кВ**

**Зміст роботи (формат А4)**

Вступ.

1. Розрахунок робочих струмів та струмів короткого замикання.
2. Захист ліній 10 кВ з АПВ на базі терміналів «Діамант».
3. Захист секційного вимикача 10 кВ з АВР на базі терміналу «Діамант».
4. Захист шин 10 кВ підстанції 35/10 кВ на базі терміналу «Діамант».
5. Захист трансформатора 35/10 кВ на базі терміналу «Діамант».
6. Захист 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).

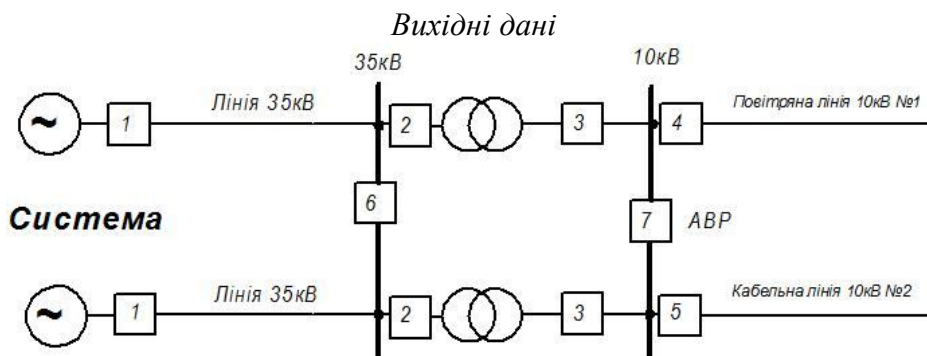


Рисунок 1 – Схема електропостачання

Таблиця 1 – Дані про електроустановки підстанції

Елемент мережі	$S_i$ , кВ·А	Марка та переріз проводу (кабелю)	Кількість, шт.	довжина ліній, км
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
КЛ 10 кВ	1000	ААШв-35		0,9

Термін подачі завдання на захист «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

Керівник \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_)  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

## ДОДАТОК Е

### Вихідні дані для виконання розрахунково-графічного завдання

Таблиця Е.1 – Вихідні дані для виконання розрахунково-графічного завдання

№/№	Термінал	$S_{35/10}$ , кВ·А	Провід ПЛ 35 кВ	$S_{ПЛ10кВ}$ , кВ·А	Провід ПЛ 10 кВ	$S_{КЛ10кВ}$ , кВ·А	Кабель КЛ 10 кВ	$l_{ПЛ35кВ}$ , км	$l_{ПЛ10кВ}$ , км	$l_{КЛ10кВ}$ , км
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	«Діамант»	2500	АС-50/8,0	630	АС-35/6,2	1000	ААШВ-35	20	8	0,9
2	МРЗС	4000	АС-70/11	800	АС 50/8	1030	ААШВ-35	22	9	0,8
3	РС 83	6300	АС-95/16	1000	АС 50/8	1260	ААШВ-50	24	10	0,7
4	МІКОМ	10000	АС-120/19	1260	АС-70/11	1600	ААШВ-70	26	11	0,6
5	МІКОМ	2500	АС-50/8,0	400	АС-35/6,2	630	ААШВ-25	28	7	1,1
6	МРЗС	4000	АС-70/11	800	АС-35/6,2	1000	ААШВ-35	30	6	1,2
7	МРЗС	6300	АС-95/16	1030	АС 50/8	1600	ААШВ-70	32	5	1,3
8	«Діамант»	6300	АС-120/19	1000	АС 50/8	1260	ААШВ-50	34	4	0,9
9	РС 83	2500	АС-50/8,0	630	АС-35/6,2	800	ААШВ-35	35	5	1
10	РС 83	4000	АС-70/11	800	АС-35/6,2	1000	ААШВ-35	25	6	1
11	РС 83	6300	АС-95/16	1000	АС 50/8	1600	ААШВ-70	27	7	0,7
12	МІКОМ	10000	АС-120/19	1000	АС 50/8	1600	ААШВ-70	29	8	0,8
13	«Діамант»	2500	АС-70/11	1000	АС-35/6,2	630	ААШВ-25	22	9	0,9
14	МІКОМ	6300	АС-95/16	800	АС 50/8	1600	ААШВ-70	24	10	1,1
15	«Діамант»	10000	АС-120/19	1600	АС-70/11	1600	ААШВ-70	26	11	1,1
16	«Діамант»	2500	АС-50/8,0	800	АС-50/8,0	1000	ААШВ-35	28	7	1,2
17	МРЗС	4000	АС-70/11	800	АС-35/6,2	1030	ААШВ-50	30	6	1,3
18	МРЗС	4000	АС-95/16	800	АС 50/8	1000	ААШВ-50	32	5	1,4
19	МРЗС	6300	АС-120/19	2000	АС 50/8	800	ААШВ-50	34	4	1,5
20	«Діамант»	2500	АС-50/8,0	1000	АС 50/8	1000	ААШВ-35	35	5	0,7
21	«Діамант»	4000	АС-95/16	1000	АС 50/8	2000	ААШВ-50	32	12	0,8
22	МІКОМ	6300	АС-120/19	1000	АС 50/8	2000	ААШВ-50	34	14	0,9



Закінчення таблиці Е.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
23	РС 83	4000	АС-70/11	1600	АС 50/8	1600	ААШВ-70	35	15	0,6
24	РС 83	2500	АС-50/8,0	800	АС-35/6,2	1000	ААШВ-50	28	7	1,1
25	«Діамант»	10000	АС-120/19	1600	АС 50/8	2000	ААШВ-70	18	8	1,2
26	МРЗС	10000	АС-95/16	1030	АС 50/8	2000	ААШВ-70	16	9	1,3
27	МРЗС	10000	АС-120/19	1600	АС 50/8	2000	ААШВ-70	14	10	1,4
28	РС 83	6300	АС-120/19	1000	АС 50/8	2000	ААШВ-50	34	4	0,9
29	РС 83	6300	АС-95/16	1000	АС 50/8	1260	ААШВ-50	16	5	0,7
30	МРЗС	4000	АС-70/11	1600	АС 50/8	1600	ААШВ-70	12	6	0,6

В таблиці Е.1 позначено:

Термінал – загальна назва типів цифрових пристроїв релейного захисту, які необхідно використати для захисту підстанції;

$S_{35/10}$ , кВ·А – повна потужність трансформаторів 35/10 кВ;

Провід ПЛ 35 кВ – марка проводу повітряної лінії 35 кВ;

$S_{ПЛ10кВ}$ , кВ·А – повна потужність в «голові» повітряної лінії 10 кВ;

Провід ПЛ 10 кВ – марка проводу повітряної лінії 10 кВ;

$S_{КЛ10кВ}$ , кВ·А – повна потужність кабельної лінії 10 кВ;

Кабель КЛ 10 кВ – марка кабелю кабельної лінії 10 кВ;

$l_{ПЛ35кВ}$ , км – довжина повітряної лінії 35 кВ;

$l_{ПЛ10кВ}$ , км – довжина повітряної лінії 10 кВ;

$l_{КЛ10кВ}$ , км – довжина кабельної лінії 10 кВ.

*Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації та завдання  
для виконання розрахунково-графічного завдання  
з навчальної дисципліни

**«ЦИФРОВІ ПРИСТРОЇ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ І АВТОМАТИКИ»**

*(для студентів денної та заочної форм навчання освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр», спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньо-професійна та освітньо-наукова програми «Електротехнічні системи електроспоживання»)*

Укладачі: **КАЛЮЖНИЙ** Дмитро Миколайович,  
**КОРОБКА** Володимир Олександрович,  
**СВЕРГУНЕНКО** Сергій Володимирович

Відповідальний за випуск *П. П. Рожков*

Редактор *О. В. Щегельська*

Комп'ютерний набір *В. О. Коробка*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2017, поз. 201 М.

---

Підп. до друку 25.04.2018.      Формат 60×84/16.

Друк на ризографі.      Ум. друк. арк. 1,2.

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](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.