

Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного  
менеджменту

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на тему:  
**«Автоматизація пошуку пошкоджень в розподільних  
мережах напругою 10 кВ»**

08-23.МКР.007.01.22

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕСЕ-20мз  
спеціальності 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)  
Пасічник Я. С.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСЕЕМ  
Кутіна М. В.  
« 4 » 06 2022 р.

Опонент: к.т.н., ст. викл. каф. ЕСС  
Сікорська О. В.  
(прізвище та ініціали)  
« 13 » 06 2022 р.

**Допущено до захисту**

**Завідувач кафедри ЕСЕЕМ**

д.т.н., проф. Бурбело М. Й.

(прізвище та ініціали)  
« 3 » 06 2022 р.

Вінниця ВНТУ - 2022 рік

Вінницький національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра Електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

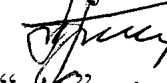
Світньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

П «Електротехнічні системи електроспоживання»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ЕСЕЕМ**

 проф. М. Й. Бурбело  
"15" листопада 2022 року

**ЗАВДАННЯ  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Пасічнику Яну Станіславовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Автоматизація пошуку пошкоджень в розподільних мережах другою 10 кВ

Рівень роботи Кутіна М. В. к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ

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

Затверджені наказом вищого навчального закладу від "24" 03 2022 року  
65

Строк подання студентом роботи "09" 06 2022 року

Вихідні дані до роботи Відомості відносно конструктивного виконання та особливостей режимів роботи розподільних електричних мереж (РЕМ). Види пошкоджень РЕМ. Методи та засоби пошуку пошкоджень РЕМ. Засоби автоматизації процесу пошуку пошкоджень в РЕМ.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно зробити) Вступ. Загальна характеристика об'єкту дослідження. Аналіз методів пошуку місця пошкодження РЕМ. Автоматизація процесу пошуку місця пошкодження РЕМ. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Матеріал необхідний для висвітлення сутності проведених досліджень та впровадження розроблених методик.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Кутіна М.В., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		
Економічна частина	Шулє Ю.А., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.п.н., професор		

7. Дата видачі завдання 15. 02.2022р

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1	Загальна характеристика розподільних електричних мереж	14.03 - 25.03	Вик.
2	Вдосконалення методу послідовного ділення мережі при пошуку пошкодження в повітряних розподільних мережах 10 кВ	28.03 - 15.04	Вик.
3	Вдосконалення дистанційних методів визначення місця пошкодження в мережах 10 кВ	18.04 - 13.05	Вик.
4	Економічна частина	16.05 - 20.05	Вик.
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	17.05 - 25.05	Вик.
6	Графічна частина	23.05 - 27.05	Вик.

Студент   
(підпис)

Пасічник Я. С.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи   
(підпис)

Кутіна М. В.  
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль   
(підпис)

Войтюк Ю. П.  
(прізвище та ініціали)

Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного  
менеджменту

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на тему:  
**«Автоматизація пошуку пошкоджень в розподільних  
мережах напругою 10 кВ»**

08-23.МКР.007.01.22 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕСЕ-20мз  
спеціальності 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)  
\_\_\_\_\_ Пасічник Я. С.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСЕЕМ  
\_\_\_\_\_ Кутіна М. В.  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

Опонент: к.т.н., ст. викл. каф. ЕСС  
\_\_\_\_\_ Сікорська О. В.  
(прізвище та ініціали)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**Допущено до захисту**  
Завідувач кафедри ЕСЕЕМ  
\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. . Бурбело М. Й.  
(прізвище та ініціали)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

Вінниця ВНТУ - 2022 рік

Вінницький національний технічний університет  
Факультет Електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра Електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту  
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка ОП «Електротехнічні системи електроспоживання»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ЕСЕМ**

проф. М. Й. Бурбело

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Пасічнику Яну Станіславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Автоматизація пошуку пошкоджень в розподільних мережах напругою 10 кВ

керівник роботи Кутіна М. В. к.т.н., доц. каф. ЕСЕМ

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “\_24\_” березня 2022 року №\_65\_

2. Строк подання студентом роботи “ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 року

3. Вихідні дані до роботи Відомості відносно конструктивного виконання та особливостей режимів роботи розподільних електричних мереж (РЕМ). Види пошкоджень РЕМ. Методи та засоби пошуку пошкоджень РЕМ. Засоби автоматизації процесу пошуку пошкоджень в РЕМ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Загальна характеристика об'єкту дослідження. Аналіз методів пошуку місця пошкодження РЕМ. Автоматизація процесу пошуку місця пошкодження РЕМ. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

## 5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Матеріал необхідний для висвітлення сутності проведених досліджень та впровадження розроблених методик.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Кутіна М.В., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		
Економічна частина	Шулле Ю.А., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.п.н., професор		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика розподільних електричних мереж		
2	Вдосконалення методу послідовного ділення мережі при пошуку пошкодження в повітряних розподільних мережах 10 кВ		
3	Вдосконалення дистанційних методів визначення місця пошкодження в мережах 10 кВ		
4	Економічна частина		
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
6	Графічна частина		

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Пасічник Я. С. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Кутіна М. В. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_  
(підпис)

Войтюк Ю. П. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.315.17

Пасічник Я. С. Автоматизація пошуку пошкоджень в розподільних мережах напругою 10 кВ. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, ОП - Електротехнічні системи електроспоживання. Вінниця: ВНТУ, 2022. 76с.

На укр. мові. Бібліогр.: 30 назв; рис.: 8; табл. 6.

В роботі проведено аналіз існуючих методів пошуку пошкоджень повітряних розподільних мереж.

Результатом науково-дослідної роботи являється вдосконалення методу послідовного ділення мережі при пошуку пошкодження в повітряних розподільних мережах 10 кВ та вдосконалення дистанційних методів визначення місця пошкодження в мережах 10 кВ. Застосування вдосконалених методів дозволяє зменшити час пошуку пошкодження, а отже і недовідпуск електроенергії споживачам.

Розраховано основні техніко-економічні показники застосування запропонованих методів.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, види пошкоджень розподільних електричних мереж, дистанційні методи пошуку пошкоджень, метод послідовного ділення мережі.

## ABSTRACT

UDC 621.315.17

Pasichnyk Ya. S. Automation of damage search in 10 kV distribution networks. Master's thesis in the specialty 141 - Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, OP - Electrical Power Consumption Systems. Vinnytsia: VNTU, 2022. 76p. In Ukrainian language. Bibliogr .: 30 titles; fig .: 8; table 6.

The analysis of the existing methods of damage finding of air distribution networks is carried out in the work. The result of research work is the improvement of the method of sequential division of the network in the search for damage in overhead distribution networks of 10 kV and the improvement of remote methods of determining the location of damage in 10 kV networks. The use of advanced methods reduces the time to find damage, and hence the lack of electricity to consumers.

The main technical and economic indicators of application of the offered methods are calculated.

The issues of labor protection and safety in emergency situations are considered.

Key words: distribution electric networks, types of damages of distributive electric networks, remote methods of search of damages, method of consecutive division of a network.



## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>4</b>
<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....</b>	<b>7</b>
<b>1 СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....</b>	<b>8</b>
1.1 Загальна характеристика розподільних електричних мереж .....	8
1.2 Види пошкоджень розподільних електричних мереж .....	11
1.3 Аналіз існуючих методів пошуку пошкоджень повітряних розподільних мереж .....	14
1.4 Висновки.....	21
<b>2 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ПОСЛІДОВНОГО ДІЛЕННЯ МЕРЕЖІ ПРИ ПОШУКУ ПОШКОДЖЕННЯ В ПОВІТРЯНИХ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 10 кВ.....</b>	<b>23</b>
2.1 Визначення алгоритму функціонування методу послідовного ділення мережі .....	23
2.2 Вдосконалення програми пошуку пошкоджень при міжфазних коротких замиканнях.....	22
2.3 Оптимізація програми пошуку методом послідовного ділення мережі при однофазному замиканні на землю.....	30
2.4 Висновки.....	31
<b>3 ВДОСКОНАЛЕННЯ ДИСТАНЦІЙНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ В МЕРЕЖАХ 10 кВ .....</b>	<b>33</b>
3.1 Застосування дистанційних методів визначення місця міжфазного короткого замикання.....	33
3.2 Теоретичне обґрунтування методу для дистанційного визначення відстані до місця однофазного замикання на землю.....	39
3.3 Висновки.....	44
<b>4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ .....</b>	<b>46</b>
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ..</b>	<b>50</b>

5.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта.....	51
5.1.1 Технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць.....	51
5.1.2 Електробезпека.....	53
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	54
5.2.1 Мікроклімат.....	54
5.2.2. Склад повітря робочої зони.....	54
5.2.3 Виробниче освітлення.....	55
5.2.4 Виробничий шум.....	56
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. ....	56
5.3.1 Дослідження безпеки роботи системи автоматизації пошуку пошкоджень в умовах дії іонізуючого випромінювання.....	58
5.3.2 Дослідження безпеки роботи системи автоматизації пошуку пошкоджень в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	59
5.3.3 Розробка превентивних заходів по підвищенню безпеки роботи системи автоматизації пошуку пошкоджень в умовах надзвичайних ситуацій.....	60
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>64</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>66</b>
Додаток А. Технічне завдання.....	69
Додаток Б. Протокол перевірки навчальної (кваліфікаційної) роботи.....	73
Додаток В. Ілюстративний матеріал.....	75

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Забезпечення електропостачання споживачів у відповідності до заданої надійності є одною із основних задач на всіх стадіях створення і функціонування системи електропостачання (СЕП) — при проектуванні, будівництві і експлуатації електричних мереж і її елементів.

Надійність мереж може бути охарактеризована комплексом показників. Їх оцінка базується на статистичних методах, так як збір і обробка експлуатаційної статистики є єдиним можливим методом отримання кількісних величин показників надійності діючих мереж. Основними показниками надійності є відмова, пошкодження, середній час відновлення нормальної роботи лінії електропередач (ЛЕП) чи устаткування і інші [1].

Рівень надійності СЕП визначається чотирма взаємопов'язаними факторами: схемою електричної мережі, надійністю елементів електричної мережі, рівнем оснащення засобами керування, організацією експлуатації та ремонту.

В даний час розроблено низку заходів по підвищенню надійності СЕП промисловості та сільського господарства [2,3]. До них можна віднести: резервування мереж 6-10 кВ, спорудження нових підстанцій 35-110/10 кВ, що призводить до скорочення кількості і довжини ліній 10 кВ і відгалужень, підсилення механічної міцності елементів повітряних ЛЕП та зниження навантаження на опори при обриві дроту, підвищення якості ізоляції, застосування розрядників, плавка ожеледі, широке застосування кабельних мереж, вдосконалення комутаційного обладнання та конструкцій і схем ТП, РП, резервування споживачів та секціювання мереж, застосування АПВ, АВР, приладів для автоматизації процесів пошуку пошкоджень, модернізація РЗіА, виконання ремонтних робіт під напругою, комплексний метод обслуговування та ремонту розподільчих мереж та інші.

Однак, розподільчі мережі (РМ) залишаються самим ненадійним елементом СЕП. Кількість відмов в СЕП, які припадають на долю РМ складає 80-95% від загальної кількості.

На сьогоднішній день, технічний стан РМ напругою 35-110 кВ переважно відповідає вимогам, надійність їх роботи не викликає сумніву, чого не можна

сказати про повітряні лінії (ПЛ) 6-10 кВ, значна частина яких побудована в 60-70 роки минулого століття і потребує не тільки капітального ремонту, але й, з огляду на зростаючі вимоги до надійності електропостачання споживачів, реконструкції і на окремих ділянках повної заміни [2].

Більшість споживачів отримує живлення через РМ 10 кВ, які мають меншу надійність, ніж мережі більш високих класів напруги. Тому більша частина перерв електропостачання споживачів по кількості і тривалості відбувається при пошкодженні елементів цих мереж.

Розподільчі мережі напругою 10 кВ мають специфічні особливості у порівнянні з мережами більш високої напруги, які майже виключають можливість використання для них методів визначення місць пошкодження (ВМП), які використовуються в мережах більш високої напруги [4]. Розподільчі мережі працюють в режимі ізольованої чи компенсованої нейтралі мережі, мають складну деревоподібну конфігурацію, часто секціонуються за допомогою роз'єднувачів чи вимикачів навантаження. Струми замикання на землю відносно невеликі і визначаються не відстанню до місця замикання, а ємнісною провідністю фаз мережі відносно землі і величиною опору в місці замикання. Основним видом пошкодження в РМ є однофазне замикання на землю (ОЗЗ).

Визначення місць пошкодження в повітряних лініях електропередач напругою 10 кВ — це складна, довготривала технологічна операція, яка стала повсякденною оперативною задачею диспетчерських служб електричних мереж і систем.

На сьогоднішній день в повітряних РМ використовуються методи ВМП, які по алгоритму функціонування можна розділити на дистанційні, топографічні і методи послідовного ділення мережі.

Дистанційні методи використовуються для визначення відстані до місця міжфазного КЗ. Вони мають низьку точність вимірювання і складну апаратну реалізацію. Топографічні методи використовують послідовний обхід мережі, не чутливі до міжфазних КЗ в кінці лінії і не ефективні при пошуку ОЗЗ на ранній стадії його розвитку. Методи послідовного ділення мережі дозволяють виділити лише пошкоджену ділянку мережі і потребують великого об'єму попередніх обчислень

для розрахунку оптимальної послідовності перевірок.

Таким чином, підвищення надійності РМ, шляхом автоматизації процесу пошуку пошкодження, залишається актуальним питанням і на сьогоднішній день.

*Мета і завдання дослідження.* Метою роботи підвищення надійності РМ, шляхом автоматизації процесу пошуку пошкодження пошкоджень в повітряних розподільних мережах напругою 10 кВ.

*Об'єктом дослідження* є процеси аварійного функціонування розподільних електричних мереж напругою 10 кВ.

*Предметом дослідження* є методи та засоби автоматизованого пошуку місця пошкодження в РЕМ 10 кВ.

Для досягнення поставленої мети у роботі будуть розв'язані наступні задачі:

- аналіз об'єкта дослідження;
- аналіз існуючих засобів та методів пошуку місця пошкодження РЕМ 10 кВ та процес їх автоматизації;
- автоматизація оптимального алгоритму пошуку місця пошкодження РЕМ 10 кВ.

*Наукова новизна одержаних результатів.*

Проведено аналіз існуючих засобів та методів пошуку місця пошкодження РЕМ 10 кВ. Автоматизовано процес пошуку місця пошкодження в повітряних РЕМ 10 кВ.

Практичне значення одержаних результатів полягає в зменшенні часу пошуку пошкодження, а отже і зменшення витрат від недовідпуску електроенергії та підвищить надійність і безпеку роботи РЕМ.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується чітким формулюванням задач дослідження, коректним застосуванням математичних методів, достовірним виведенням аналітичних співвідношень.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення та результати МКР, що виносяться на захист, отримані автором одноосібно.

*Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи.* Результати дослідження представлено на науково-технічній конференції факультету електроенергетики та електромеханіки у 2022. Опубліковані тези доповідей.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВМП — визначення місця пошкодження.

ГПП — головна понижувальна підстанція.

ДП — диспетчерський пункт.

ОВБ — оперативно-виїзна бригада.

ОЗЗ — однофазне замикання на землю.

ПАР — параметри аварійного режиму.

ПКЗ — показчик короткого замикання.

РМ — розподільчі мережі.

СЕП — система електропостачання.

СР – системи розподілу.

ТП – трансформаторна підстанція.

## 1 СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1 Загальна характеристика розподільних електричних мереж

За своїм призначенням системи електропостачання (СЕП) бувають: міські, сільські і промислових підприємств. Сільські СЕП відносяться до мереж загального призначення, оскільки до них приєднана велика кількість різного роду споживачів, не пов'язаних між собою спільною технологією виробництва. У сільській місцевості переважають малопотужні споживачі, припинення електропостачання яких не приводить до великого економічного збитку. По надійності це в основному споживачі II і III категорії.

Для сільськогосподарських споживачів характерна нерівномірність їх розташування на місцевості і велика нерівномірність добових і сезонних графіків електроспоживання.

Мережі напругою 10 кВ в сільській місцевості є складними розгалуженими лініями, до яких на глухих відгалуженнях підключені трансформаторні підстанції напругою 10/0,4 кВ. Лінії напругою 10 кВ резервуються від сусідніх підстанцій або шин своєї ж підстанції.

В сільських мережах частіше використовуються комплектні трансформаторні підстанції напругою 10/0,4 кВ зовнішньої установки спрощеної конструкції без розподільчого пристрою 10 кВ з трансформаторами 63-250 кВА. Використовуємо і схеми наведено на рис. 1.1.

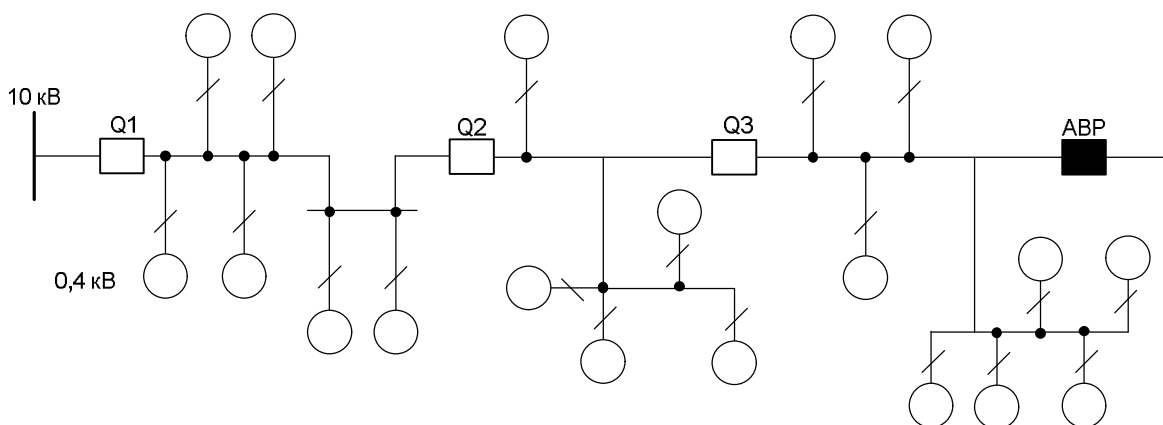


Рисунок 1.1 – Схема мережі напругою 10 кВ

Експлуатуються сільські електричні мережі у складі підприємств електричних мереж (ПЕМ) оператором систем розподілу (ОСР). Персонал ОСР виконує комплекс робіт по ремонту обладнання, його профілактиці, а також по оперативно-аварійному обслуговуванню мереж. Для цієї мети в ОСР створено диспетчерський пункт (ДП) з диспетчером і оперативно-виїздною бригадою (ОВБ).

Із усіх видів обслуговування основну роль в забезпеченні надійного електрозабезпечення споживачів грає роль оперативне обслуговування. Основний зміст оперативних робіт — комутаційні операції в мережі з метою пошуку пошкодженої ділянки і виділення з схем елементу, на якому виконуватиметься аварійний або плановий ремонт, перемикання споживачів на резервне живлення, розподіл навантажень і т.п. Основна апаратура, якими виконуються ці операції, зосереджена на підстанціях 35-110 кВ, які і є основними центрами управління не лише в мережі 35-110 кВ, але і 10 кВ.

Вдосконалення оперативного обслуговування досягається шляхом організації обслуговування як мереж 0,4-10 кВ так і живлячих підстанцій 35-110 кВ одною бригадою.

Рівень автоматизації сільських розпорядливих мереж ще незначний [5].

Міські СЕП складаються з трьох-чотирьох структурно-ієрархічних рівнів. Перший рівень — постачальні мережі 35, 110 кВ, а для крупних міст — 220 кВ. Побудова мережі 35-110 кВ залежить від розміру міста. Схема мережі 35-110 кВ середнього міста складається з декількох підстанцій напругою 35, 110 кВ, приєднаних до однієї або декількох ліній з двостороннім живленням, і утворюють зовнішнє кільце електропостачання.

Другий рівень — живлячі мережі ЛЕП 6-10 кВ, які відходять від шин центрів живлення і подають електроенергію на розподільні пункти без приєднання до них інших споживачів. Живлення розподільних пунктів здійснюється по двох-чотирьох лініях 6, 10 кВ. Розподільний пристрій складається з двох секцій з секційним вимикачем, забезпеченим пристроєм АВР, або з секційним роз'єднувачем.

Мережі напругою 0,4 кВ застосовуються різної модифікації: радіальні з



приєднанням споживачів на нерезервуємих відгалуженнях; резервовані і нерезервовані, петлеві, магістральні. Використовуються різні поєднання схем мереж 0,4, 6, 10 кВ. Замкнуті мережі не застосовуються із-за складності в забезпеченні селективної роботи релейного захисту.

Лінії електропередачі напругою 35, 110 кВ звичайно виконуються повітряними, лінії живлячої мережі 6, 10 кВ і розподільні мережі 6, 10 кВ в основному споруджуються в кабельному виконанні. Кабелі прокладаються в землі, рідше в блоках, тунелях, колекторах. Лінії напругою 0,4 кВ бувають повітряними і кабельними. Кабельні лінії споруджуються в районах багатоповерхових житлових масивів; повітряні — в районах малоповерхової забудови.

Вибір принципів побудови схем СЕП промислового підприємства залежить від його потужності, особливостей технологічного процесу займаної території. Звичайно джерелом електроенергії є енергосистема.

Для великих заводів і комбінатів споруджується головна понижувальна підстанція (ГПП) з вищою напругою 35-220 кВ, на якій встановлюються два і більше трансформатора; ГПП одержує живлення від енергосистеми не менше, чим по двох лініях.

Малі промислові підприємства з однією або декількома ТП включаються в мережу загального призначення — міську або сільську.

Рівень автоматизації міських мереж значно вищий [6], ніж сільських. На повітряних і кабельних лініях є захисту від між фазних КЗ, однофазних замикань на землю, АПВ, АВР. Пристрої автоматичного введення резерву на напрузі 6, 10 кВ встановлюються на шиноз'єднувальних вимикачах ПС, РП. Автоматичне введення резерву здійснюється або безпосередньо на введенні відповідальних споживачів, або на збірках 0,4 кВ в ТП.

Міські понижувальні підстанції 35, 110 кВ мають пристрої телесигналізації і телекерування з диспетчерського пункту. Трансформаторні підстанції оснащені показниками пошкодженої ділянки, широко використовуються різні пристрої для пошуку місця пошкодження в кабельній лінії.

При передачі і розподілі електроенергії в СЕП промислових підприємств

використовуються кабельні, рідше повітряні ЛЕП. Повітряні ЛЕП застосовують в основному для подачі живлення на ГПП від енергосистем. Використовуються також шинопроводи для передачі великих струмів. Кабелі прокладаються в каналах, колекторах, спеціальних естакадах.

Внутрішні мережі промислових підприємств обслуговуються спеціальним персоналом, що входить до складу енергетичної служби. Зовнішні мережі невеликого підприємства, що живляться від мереж напругою 6, 10 кВ загального призначення, знаходяться в оперативному обслуговуванні підприємства електричних мереж [7]. На великих комбінатах створюються диспетчерські пункти по управлінню СЕП промислового підприємства. Ці ДП підтримують економічний режим роботи СЕП, проводять роботи по підвищенню якості електроенергії, виконують оперативні роботи по локалізації і ліквідації пошкоджень.

Мережі сучасних промислових підприємств широко оснащені пристроями протиаварійної автоматики, телесигналізації, телевимірювання і телекерування [8].

## 1.2 Види пошкоджень розподільних електричних мереж

Режим роботи СЕП 10 кВ мають несиметрію навантаження фаз, різні режими заземлення нейтралі трансформаторів та нерівномірні і різноманітні графіки добового навантаження. В свою чергу несиметія навантажень спричиніє спотворення параметрів для розрахунку відстань до місця пошкодження (застосування дистанційних методів ВМП [9]). Фактори такого роду суттєво впливають на результативність при застосування методів, що забезпечують ВМП. Саме тому ВМП в СЕП 10кВ залишається складною задачею й досі.

Провідники повітряних ліній електропередачі мають найменшу ненадійність з усієї конструктивної частини розподільної мережі. Рядом авторів визначено [2-9], що головними причинами пошкоджень провідників становлять такі зовнішні чинники: навантаження від вітру, грозові перекарття ізоляції, відкладення різного типу, вібрація мереж, послаблення механічної міцності, загоряння дерев'яних опор, пошкодження конструктивних елементів ПЛ автотранспортом Та іншими

механізмами. Зовнішні збурювальні дії призводять до перекриття ізоляції, розриву ізоляторів, оплавлення механічних елементів, обриву провідників, послаблення їх механічної міцності під час вібрації та коливання в результаті розлому окремих провідників, пошкодження елементів, падіння опор разом з провідниками. Найбільш важкі наслідки викликають відкладання ожеледі.

Важливо також звернути особливу увагу на такий вид пошкодження, як ОЗЗ. Складність такого виду пошкодження пов'язана з розривом фазного проводу в ПЛ та зростанням перехідного опору в місці падіння проводу на землю. Релейний захисту в такому випадку діє на сигнал, через режим роботи нейтралі. В свою чергу тривале існування ОЗЗ призводить до пошкодження заземлення опор їх загорянню, псуванню ізоляторів та створює поле розтікання струму, що становить небезпеку ураження струмом для тварини чи люди, здійснює вплив на роботу вимірювальних приладів та пристроїв автоматики і релейного захисту [10]. Як правило засоби захистів від замикання на землю на такий вид пошкодження не реагують. Таким чином довготривале існування ОЗЗ є досить небезпечним і існує необхідність вдосконалення методів попередження та методів і засобів захисту при обриві проводу.

Порушення нормальної роботи ПМ пов'язане з такими факторами: неправильне використання електрообладнання, дефекти, які були допущенні при виготовленні опор, ізоляторів, перевищення фактичних зовнішніх навантажень розрахункових значень, порушення правил монтажу та спорудження ПМ, недоліки існуючої системи обслуговування та іншими.

З метою отримання кількісної характеристики пошкоджень елементів ПМ були опрацьовані статистичні дані причин пошкоджень повітряних РМ напругою 10 кВ, отримані у ПАТ "Вінницяобленерго" за 2019 р. Число пошкоджень за рік становила 1495. За причинами виникнення вони розподілились так:

Таблиця 1.1 – Статистика відключень ПЛЕП 10 кВ в результаті пошкодження обладнання РМ ПАТ «Вінницяобленерго» за 2019 р.

Всього відключень	Відключення без пошкодження ЛЕП з		Відключення через пошкодження ЛЕП																	
	К-сть	%	Всього	Елементів ПЛ									Кабельних вставок							
				Опор		Провода		Ізоляції		Арматури кріплення		Інше	Кабелю		Муфти з'єднувальної, кінцевої		Інше			
5495	3967	73	1495	27	123	8,2	415	27,8	550	36,5	131	8	155	11	32	2,4	67	4,6	20	1,5

Таблиця 1.2 – Загальна характеристика технологічних порушень та їх основних причин при обслуговуванні повітряних ЛЕП 6-10 кВ в розподільних мережах ПАТ «Вінницяобленерго» за 2019 р.

Всього порушень	Стихійні явища			Інші															
	Недоліки та ремонту	Помилкові дії персоналу	Хибна дія РЗА	Грозові перенапруги	Сильний вітер	Ожеледь	Інші	Забруднення ізоляції	Падіння дерев	Дефекти монтажу	Дії сторонніх осіб, організацій	Ненормальний режим роботи ЛЕП	Через пошкодження на суміжних ділянках ПЛ	Пошкодження обладнання ПС	Нез'ясовані причини	інші			
4173	17	1	43	721	791	196	209	104	241	16	76	7	24	213	1262	255			

Як видно з таблиці 1.1, пошкодження провoda є одним з найчастіших видів пошкоджень (27,78 %).

Статистичні дані за видами технологічних порушень приводяться в таблиці 1.2.

Наслідки виникнення пошкоджень: які супроводжувались стійкими ОЗЗ, є найбільшою і складає 63,3%, подвійних замикань на землю - 5,3%, міжфазних коротких замикань - 9,6%, інші - 21,8%.

Частими пошкодженнями мережі є зміна стріли провисання, накиди, сліди перекриття, корозія проводів, пошкодження проводів поблизу затискувачів та з'єднань, розриви, перекриття окремих проводів,.

### 1.3 Аналіз існуючих методів пошуку пошкоджень повітряних розподільних мереж

По ступеню автоматизації існуючі методи визначення місця пошкодження (ВМП) при міжфазних КЗ можна розділити на автоматичні, автоматизовані і ручні [9]. Автоматичні системи ВМП забезпечують визначення відстані до місця пошкодження без участі оператора. У автоматизованій системі ВМП оператор не виключається з процесу, він реалізує частину алгоритму пошуку. У ручній системі ВМП весь алгоритм виконує оператор.

По глибині пошуку системи ВМП розділяються на дистанційні, топографічні і комбіновані [9]. Дистанційні системи ВМП дозволяють швидко визначити не місце пошкодження, а його зону розташування з певною точністю. Топографічні ВМП — це визначення місця пошкодження на трасі, тобто топографічної точки розташування місця пошкодження. Комбіновані системи ВМП є сукупністю дистанційних і топографічних.

При ВМП у ПЛ за допомогою будь-якої системи в роботі бере участь черговий-оперативний персонал. Якщо підстанція не має чергового персоналу, то операції виконує централізована оперативно-виїзна бригада.

Організація процесу пошуку за відсутності засобів автоматизації залежить від конфігурації РМ, її протяжності, кількості комутаційних апаратів, місця їх установки.

Загалом процес визначення пошкодженої ділянки є багатокроковим, і перед оперативним персоналом стоїть завдання вибору оптимальної стратегії пошуку і локалізації пошкодженої ділянки.

В працях [12, 13] пропонується метод оптимізації процесу пошуку. При пошуку місця міжфазного КЗ використовується дуальний критерій оптимальності:

мінімізація сумарної тривалості пошуку і локалізації пошкодженої ділянки і мінімізація недовідпущеної електроенергії за час цього процесу.

$$t = \sum_j t_j \rightarrow \min; W = \sum_j W_j = \sum_j t_j P_{omj} \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

де  $t_j$  і  $W_j$  — відповідно тривалість відключення лінії і недоотпуска електроенергії на  $j$ -м кроці пошуку і локалізації;

$P_{omj}$  — величина навантаження, що відключається на  $j$ -м кроці.

Управління процесом по критерію  $t > \min$  засновано на використанні інформаційного алгоритму пошуку [13]. Для будь-якої розподільної мережі, що містить  $n$  роз'єднувачів і декілька резервних зв'язків, при допущенні рівної імовірності виникнення пошкодження в кожній її точці, повна кількість інформації в бітах про номер пошкодженої ділянки може бути визначена як

$$I = -\sum_{i=1}^{n+1} p_i \log_2 p_i; \quad p_i = l_i / L, \quad (1.2)$$

де  $p_i$  — вірогідність того, що лінія відключилася через пошкодження на  $i$ -ій ділянці;

$l_i, L$  — довжина  $i$ -ої ділянки і повна довжина лінії.

Результатом кожної перевірки є отримання інформації  $I$ , тому

$$I = \sum_j P_j I_{jr}; \quad I_{jr} = (p_{1jr} \log_2 p_{1jr} + p_{2jr} \log_2 p_{2jr}) \quad (1.3)$$

де  $P_j$  — вірогідність виконання  $j$ -го кроку;

$I_{jr}$  — математичне очікування кількості інформації, отриманого при діленні  $r$ -м роз'єднувачем на  $j$ -м кроці;

$P_{1jr}, P_{2jr}$  — вірогідність пошкодження на одній з ділянок, що перевіряються на  $j$ -му кроці частин лінії, розташованих відповідно до роз'єднувача  $r$ , (тобто між джерелом живлення і роз'єднувачем  $r$ ) і за ним. Що входять в (1.3) величини визначаються по формулах:

$$p_j = L_j / L; \quad p_{1jr} = L_{1jr} / L; \quad p_{1jr} + p_{2jr} = 1; \\ \{m_j\} = \{m_{1jr}\} + \{m_{2jr}\}, \quad (1.4)$$

де  $L_{1jr}, m_{1jr}$  — відповідно сумарна довжина тієї частини  $L_j$ , на яку подається напруга після відключення  $r$ -го роз'єднувача і підмножина безлічі  $m_j$  ділянок, що входять в її склад;

$\{m_j\}, \{m_{1jr}\}, \{m_{2jr}\}$  — потужності відповідних множин.

На початку процесу  $L_j = L$ . У загальному випадку при діленні роз'єднувачем на  $(j-1)$ -м кроці на початку  $j$ -го кроку

$$K = \begin{cases} = 1, & \text{якщо результат ПВ} \\ & \text{успішний} \\ = 2, & \text{якщо результат ПВ не} \\ & \text{успішний.} \end{cases}$$

Таким чином, на кожному кроці пошуку вибирається роз'єднувач для якого

$$\vartheta_{jr} = \frac{I_{jr}}{t_{jr}} \rightarrow \max, \quad (1.5)$$

де  $\vartheta_{jr}$ ,  $t_{jr}$  — відповідно швидкість отримання інформації на  $j$ -м кроці і витрати часу на його виконання при діленні на цьому кроці  $r$ -м роз'єднувачем.

Пошук починається з перевірки, для якої  $\vartheta_{jr}$  відповідає найбільшому значенню. Потім на кожному кроці здійснюються перевірки, яким відповідає більше значення  $\vartheta_{jr}$  за умови, що попередня перевірка вже була виконана і т.д. Операція вибору оптимальної стратегії закінчується, якщо  $L_j=0$  і представляється у вигляді послідовності відключень роз'єднувачів.

Оскільки при даній стратегії не враховується потужність навантаження, що відключається, то вона доповнюється стратегією, що забезпечує мінімум недовідпуску електроенергії  $W > \min$ . Недолік цієї стратегії полягає в складності підготовки початкових даних, оскільки окрім конфігурації мережі, довжини ділянок, потужності навантажень і відомостей про систему обслуговування, необхідно розрахувати коефіцієнти матриці витрат часу на пересування ОВБ від вимикача до роз'єднувача і між роз'єднувачами, а також на комутаційні операції і зв'язок ОВБ з диспетчером. Окрім цього дана стратегія може бути використана лише при пошуку міжфазних КЗ. У РМ основний вид пошкодження (60-80 % від загальної кількості) складають однофазні замикання на землю.

З метою автоматизації процесу пошуку міжфазних КЗ широкого поширення набули фіксатори та індикатори короткого замикання (ПКЗ) [14-18]. Їх

встановлюють безпосередньо в мережі на опорах ліній у вузлових точках. ПКЗ, що спрацювали, показують трасу протікання струму КЗ. Струм спрацьовування ПКЗ повинен перевищувати струми навантажень, але бути менше мінімальних струмів міжфазного КЗ.

Показчики траси протікання струму КЗ дозволяють скоротити час пошуку пошкодженої ділянки в порівнянні з методом послідовного ділення мережі, проте вимагає додаткових капітальних витрат на їх установку і обслуговування. Окрім цього, як показує досвід експлуатації, вони забезпечують необхідну надійність функціонування лише при КЗ на початку лінії. При КЗ в кінці лінії вони не володіють необхідною чутливістю, а підвищення чутливості за рахунок використання перехідної складової струму КЗ створюють проблему відбудови від короткочасних стрибків струму при підключенні потужних споживачів.

Подальша автоматизація процесу пошуку місця міжфазного КЗ здійснювалася шляхом розробки і впровадження дистанційних способів визначення відстані до місця КЗ [20, 21].

Ці пристрої повинні задовольняти ряд специфічних вимог: забезпечувати автоматичне вимірювання і фіксацію електричних величин в процесі КЗ на лініях електропередачі за час спрацьовування найбільш швидкодіючих захистів; забезпечувати мінімальну погрішність визначення відстані до місця КЗ; фіксувати контрольовану величину тільки при аварійних відключеннях лінії електропередачі; зберігати зафіксовану величину на якийсь час, достатнє для зняття показів ОВБ на підстанції 110-35/6-10 кВ без присутності постійного чергового персоналу; бути простим і зручним в експлуатації.

Залежно від способу дії на об'єкт їх можна розділити на тестові і функціональні. Тестовий метод заснований на вимірюванні інтервалу часу між послілкою в лінії зондуючого імпульсу і поверненням його після віддзеркалення від місця пошкодження. Функціональні методи засновані на функції проміжку часу між моментом досягнення кінців ПЛ електромагнітними хвилями, джерелом виникнення яких є місце пошкодження, або на дистанційному вимірюванні і



фіксації параметрів аварійного режиму (ПАР).

Методи ВМП по ПАР широко застосовують як найбільш ефективні

У загальному випадку відстань до місця пошкодження  $l_k$  обчислюють ітераційним методом [21].

Для оперативної роботи по ВМП велике значення мають підготовка і введення даних в ЕОМ. З цією метою використовують комплекс програм, що включають довідники по конструкції ПЛ і по характеристиках фіксуючих приладів, архів постійних ПЛ, архів опису ліній, програму розрахунку місця пошкодження і т.д.

Можливості використання методів дистанційного визначення відстані до місця пошкодження для ПЛ напругою 10 кВ обмежені. Це пояснюється тим, що останні на відміну від мереж напруга 110 кВ і вище, працюють з ізольованою або компенсованою нейтраллю трансформаторів підстанцій, мають одностороннє живлення споживачів. Схема первинних з'єднань носить розгалужений деревоподібний характер, перетин і марка проводів в межах однієї лінії можуть бути різними. Лінії секціонуються за допомогою роз'єднувачів і при однофазних замиканнях на землю не відключаються.

У зв'язку з цим на лініях напругою 10 кВ отримали застосування лише методи, засновані на принципі одностороннього вимірювання параметрів аварійного режиму.

Можливості цих методів має ряд недоліків: виміряне значення опору менше, ніж дійсне; для лінії з  $n$  відгалужень абсолютна похибка збільшується зі збільшенням різниці фазних струмів відгалужень по відношенню до різниці фазних струмів на початку лінії; точність вимірювання залежить і від того, де відбулося КЗ — на магістральній ділянці чи відгалуженні. При 3-х фазному КЗ результати визначення  $Z_{\text{вим}}$  будуть аналогічними.

Виконаємо аналіз існуючих пристроїв для дистанційного визначення відстані до місця КЗ.

За способом фіксації контрольованих величин розрізняють пристрої з механічною, магнітною і електричною пам'яттю. Найбільшого поширення в даний

час набули прилади типу ФІП і ФМК-10 з електричною пам'яттю.

Прилад ФМК-10 приєднують до вторинних обмоток трансформаторів струму, що є на вході в секції розподільного пристрою 10 кВ підстанції 110-35/10 кВ, і до низьковольтних виводів трансформаторів напруги типу НТМИ-10. Пристрій фіксує струм навантаження ліній  $I_{\SigmaЛ}$ , що відходять від шин підстанції до моменту КЗ, струм КЗ  $I_k$  і реактивну складову напруги петлі короткого замикання  $U_p$  і обчислює індуктивний опір до місця КЗ по алгоритму

$$x_{ЛКЗ} = U_p / |I_k - I_{\SigmaЛ}| = x_{ПИТ} \cdot l_{КЗ}, \quad (1.6)$$

де  $l_{КЗ}$  — відстань до місця КЗ;

$x_{ПИТ}$  — питомий реактивний опір одиниці довжини лінії (Ом/км.).

Недолік цього методу полягає в тому, що він дозволяє визначити відстань до місця пошкодження по радіусу, тобто не розрізняє, відбулося пошкодження на магістралі або на відгалуженні лінії. Має низьку точність визначення відстані до місця пошкодження тому, що він не враховує шунтуючий вплив навантажень при коротких замиканнях. У розглянутому способі передбачається, що сумарна провідність навантажень, що шунтує опір петлі короткого замикання, зосереджена на шинах розподільної підстанції і рівна сумі вхідної провідності всіх ліній, що відходять від підстанції в передаварійному режимі, що приводить до похибок до 20 % у визначенні шуканої відстані. Ця похибка частково усунена в методі, де передбачається додаткове вимірювання струму і напруги після відключення пошкодженої лінії. При цьому опір петлі короткого замикання визначають по формулі

$$Z = \frac{U_k}{J_k - J_0 \frac{U}{U_0} - \left( J_{\Pi} \frac{U_k}{U_{\Pi}} - J_0 \frac{U_k}{U_0} \right) \sum_{i=1}^N \alpha_i \left( 1 - \frac{Z_i}{Z_{Л}} \right)}, \quad (1.7)$$

де  $Z$  – опір петлі короткого замикання;

$U_{\Pi}$ ,  $J_{\Pi}$  – відповідно напруга і струм в режимі, що передує КЗ;

$U_k$ ,  $J_k$  – відповідно напруга і струм в режимі КЗ;

$U_0, J_0$  – відповідно напруга і струм після відключення пошкодженої лінії в безструмову паузу автоматичного повторного режиму;

$N$  - число навантажень на пошкодженій лінії;

$i$  - номер навантаження на пошкодженій лінії;

$\alpha_i$  - середня вага  $i$ -го навантаження, що визначається як відношення середньої потужності  $i$ -го навантаження до середньої потужності всіх навантажень пошкодженої лінії;  $Z_i$ ,

$Z_{лi}$  - повний розрахунковий вхідний опір лінії відповідно в місці установки  $i$ -го навантаження без урахування шунтуючого впливу навантажень  $i$  при короткому замиканні в кінці лінії без урахування шунтуючого впливу навантажень.

Недолік цього методу полягає в складності апаратурної реалізації і отриманні точних даних параметрів мережі для розрахунків  $Z_i$  і  $Z_{лi}$ . Він не враховує перехідний опір в місці замикання і припускає режим максимального навантаження ліній.

Загальним недоліком цих методів є те, що інформація про місце пошкодження представляється у вигляді точки. У реальних умовах експлуатації ПЛ обслуговуючий персонал не може точно визначити її на місцевості, тому пошук виконується вправо або вліво від точки передбачуваного КЗ, що істотно ускладнює процес пошуку пошкоджень. Точність визначення відстані до місця КЗ в значній мірі залежить від точності визначення питомого реактивного опору лінії. Його значення звичайно враховують досить приблизно, оскільки в реальних умовах ПЛ розподільної мережі може бути виконана дротами різної марки і перетину і іноді мають і кабельну вставку.

В повітряних розподільних мережах, які обладнані селективним захистом від ОЗЗ, пошук пошкодження здійснюють найчастіше шляхом послідовного розподілу мережі на окремі ділянки за допомогою роз'єднувачів і повторного ввімкнення вимикача на підстанції. Місце пошкодження на виділеній ділянці визначають візуально або шляхом вимірювань за допомогою мегомметра.

У тому випадку, коли захист від ОЗЗ діє на сигнал, застосовують методи функціональної і тестової діагностики.

Для визначення місця пошкодження при ОЗЗ в практиці обслуговування ПЛ поширені переносні прилади «Поиск», «Спектр», «Зонд», «Волна», «Квант», «ВШ 1».

По характеристиках контрольованих сигналів їх можна розділити на дві групи: прилади, контролюючі напруженість магнітного поля, яка створюється струмами нульової послідовності промислової (50 Гц) частоти, і прилади, контролюючі напруженість магнітного поля струмів високої частоти. Кожна група містить як струмові, так і направлені прилади. Направлені прилади дозволяють оцінити не тільки величину, але і напрям протікання струмів нульової послідовності.

Досвід експлуатації цих пристроїв в основному позитивний. Проте сам метод пошуку вимагає послідовного обходу лінії, окрім цього, рівень контрольованих сигналів залежить від величини перехідного опору в місці замикання. Необхідна чутливість контролю досягається лише при перехідному опорі в місці замикання, не перевищуючому 100-200 Ом. Це не дозволяє знайти пошкодження на ранній стадії його розвитку.

Необхідність послідовного обходу мережі може бути виключена при використуванні дистанційних методів визначення відстані до місця однофазного замикання на землю.

#### 1.4 Висновки

1. Складність пошуку пошкоджень в повітряних розподільних мережах визначаються як особливостями конструктивного виконання, режимом роботи так і специфікою експлуатації.

3. В результаті аналізу дистанційних методів визначення відстані до місця міжфазного КЗ визначено, що вони не розрізняють пошкодження на магістралі і відгалуженні, через невраховування шунтуючого впливу навантажень при КЗ.

Найбільш достовірні результати про пошкоджену ділянку можна отримати, використовуючи методи послідовного поділу мережі за допомогою роз'єднувачів. Проте їх використання вимагає великих витрат часу на пошук і пов'язане з великим недовідпуском електричній енергії споживачу. Удосконалювати ці методи можна шляхом оптимізації процесу пошуку по вибраному критерію.

4. Серед існуючих методів пошуку ОЗЗ найширше поширення набули методи, засновані на принципі вимірювання рівня напруженості магнітного поля, створюваного струмами нульової послідовності високої частоти. Недолік їх полягає у тому, що при пошуку ОЗЗ потрібен послідовний обхід ділянок лінії.

Тому виникають такі задачі дослідження: підвищення точності процесу пошуку в повітряних мережах; синтез пристроїв дистанційного визначення відстані до місця пошкодження.

## 2 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ПОСЛІДОВНОГО ДІЛЕННЯ МЕРЕЖІ ПРИ ПОШУКУ ПОШКОДЖЕННЯ В ПОВІТРЯНИХ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 10 кВ

### 2.1 Визначення алгоритму функціонування методу послідовного ділення мережі

При визначенні оптимальної послідовності перевірок за методом послідовного ділення мережі (МПДМ) при ВМП прийнято наступні обмеження: мережа не замкнена в кільце; основним джерелом живлення вважають підстанцію з якої виконують ВМП; недовідпустка електроенергії для кожної окремої перевірки дорівнює визначеній величині і не залежить від послідовності виконання перевірок; схема обладнана пристроями секціонування та має можливість резервування; режим є усталеним; локалізація місця пошкодження здійснюється шляхом взаємодії диспетчера підстанції та оперативного персоналу ОББ; в процесі пошуку пошкоджень система не переходить із одного стану в інший; задана множина станів ділянки мережі яку можна виділити комутаційними апаратами та відповідна множина перевірок  $\{\pi_i\}$ ; перевірка полягає в переключенні роз'єднувачів або вимикачів навантаження і повторному вмиканні вимикача на підстанції або контролі рівня параметрів ізоляції при ВМП для ОЗЗ; величини швидкості переміщення ОББ по трасі лінії, витрат часу на комутаційні операції та радіозв'язок визначаються як середні і дорівнюють відповідно  $V_{ОББ}, t_{on}, t_z$ .

В якості критерію оптимізації використовують мінімум недовідпустки електроенергії за час процесу пошуку місця пошкодження

### 2.2 Вдосконалення програми пошуку пошкоджень при міжфазних коротких замиканнях

При пошуку місця міжфазного КЗ за допомогою МПДМ обирають послідовності перевірок, що забезпечує мінімум недовідпустку електроенергії.

Пошкоджений фідер представимо у вигляді функціональної моделі (рис. 3.1 а, б) [22]. В цій моделі кожна ділянка мережі позначається прямокутником  $a_i - km$  ( $i$  – порядковий номер функціонального елемента;  $k, m$  – відповідно номери вузлів початку і кінця ділянки, що визначають положення функціонального елемента в моделі) із входами, що відповідають наявним включеним та резервним джерелам живлення, та одним виходом  $Y_k$ , який зображує зв'язок ділянки мережі зі споживачем або з іншою ділянкою.

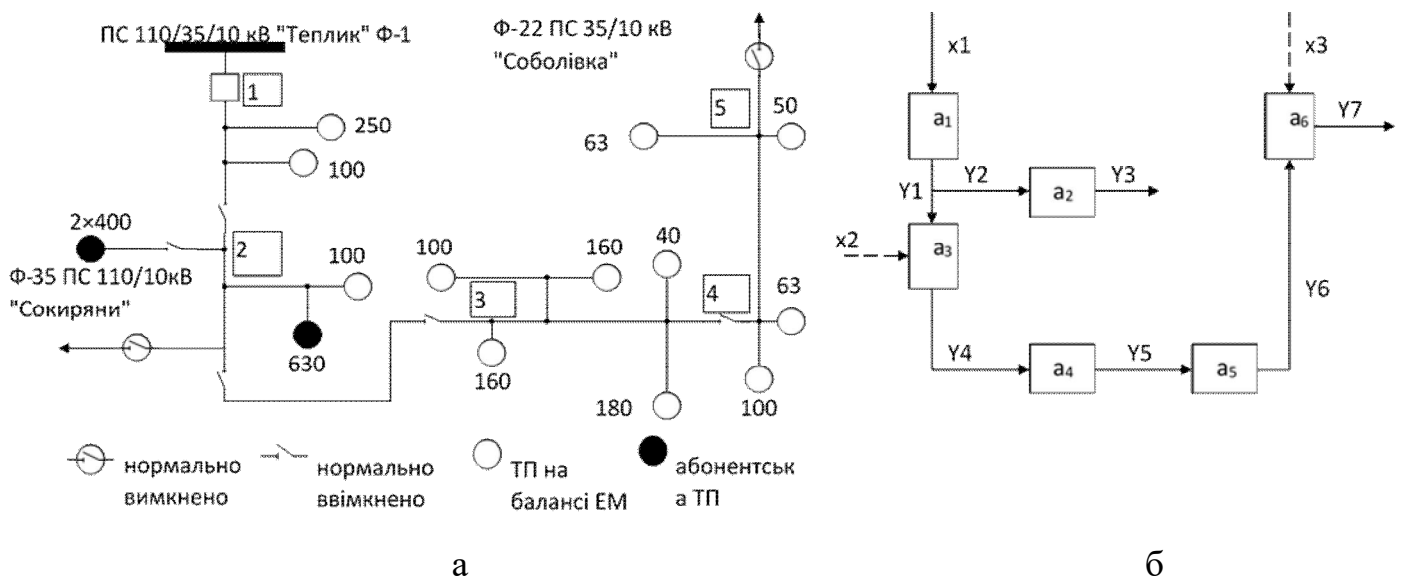


Рисунок 2.1 – Заступна схема РМ а) однолінійна; б) функціональна модель РМ

Функціональна модель дозволяє побудувати безумовний алгоритм визначення місця пошкодження. Спершу задається глибина пошуку  $\lambda$ , що визначається розбиттям множини  $\{S_j\}$  на  $\lambda$  підмножин  $\{S_0\}$  – стан, коли мережа є справною та  $\{S_1\}-\{S_j\}$ , що не перетинаються. Глибина пошуку визначає довжину ділянки виділену комутаційними апаратами, що буде обходити ОВБ.

Наступним кроком є побудова таблиці покриття, (табл. 2.1). Дана таблиця будується для пар елементів множини  $U(a_{ij})$ , причому пари вибираються таким чином, щоб порівняти усі можливі варіанти їх перетину за таким правилом:

$$\begin{aligned}
 &(S_i S_{i+1}); (S_i S_{i+2}); \dots (S_i S_{i+n}) \dots \\
 &\quad \dots \\
 &\quad (S_{i+1} S_{i+n}) \\
 &\quad \dots \\
 &\quad (S_{i+(n-1)} S_{i+n})
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Таблиця 2.1 - Таблиця покриття

$\Pi_j$	$U(a_{ij})$					$\sum a_{ij}(1)$
0	$a_{10}$	$a_{20}$	$a_{30}$	...	$a_{i0}$	
1				...	$a_{i1}$	
2				...	$a_{i2}$	
3				...	$a_{i3}$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$j$	$a_{1j}$	$a_{2j}$	$a_{3j}$	...	$a_{ij}$	

Значення двійкової змінної  $a_{ij}$  визначається за правилом:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{коли } R_j^i \neq R_j^n; \\ 0, & \text{в протилежному випадку,} \end{cases} \tag{2.2}$$

де  $R_j^i, R_j^n$  – результати елементарної перевірки об'єкту, що знаходиться в стані 0 чи 1.

Вирішення задачі ВМП відображає орієнтований граф, що буде представляти собою дихотомічне дерево рішень. Усі вершини дерева представляють кроки процедури ВМП, а дуги – можливі варіанти частинного рішення. Сукупність зв'язаних дуг представляє собою повну процедуру ВМП (рис. 2.2).

Кожній сукупності перевірок, що виявляє пошкоджену ділянку до заданої глибини пошуку, відповідає одна вітка дихотомічного дерева рішень для даної сукупності. Таким чином, для визначення оптимального рішення необхідно знайти одну вітку дерева, що відповідає оптимальним умовам.



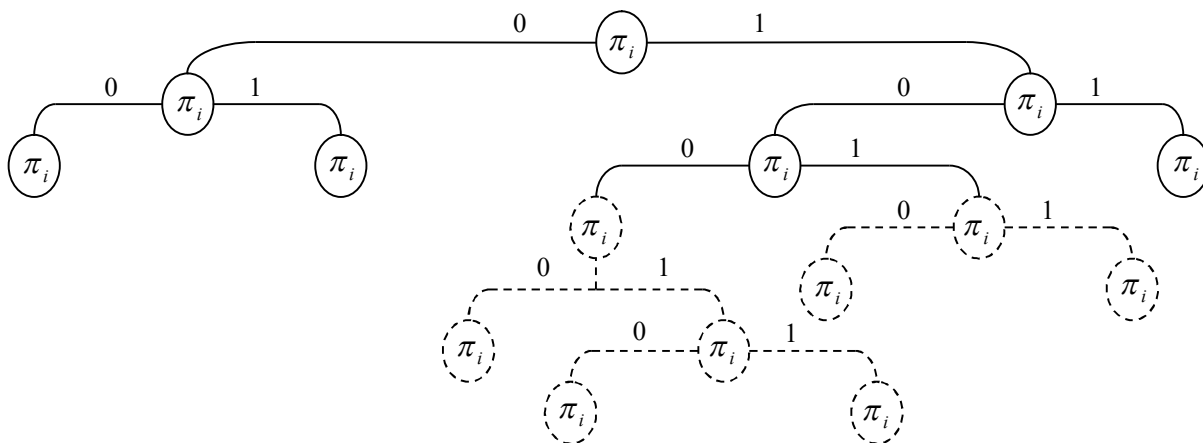


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд дихотомічного дерева рішень

Отримаємо дві вітки, що виходять з вершини  $\Pi_i$  і які позначимо  $j$  та  $\bar{j}$ . Вітка дерева  $\bar{j}$  представляє узагальнений варіант часткового рішення задачі ВМП.

Для визначення оптимального повного рішення необхідно обчислити та порівняти складність непобудованої частини дерева рішення  $\text{lim}(W)$  та побудованої  $\text{Lim}(W)$ . Складність рішення (або його вартість) являє собою добуток часу витраченого на проведення операцій визначеної перевірки на потужність, що не передалась споживачам за цей час. На рис 2.3 наведена діаграма послідовності операцій перевірки технічного стану ділянки мережі при виникненні пошкодження. Рис. 2.4 ілюструє послідовність операцій для проведення будь-якої перевірки при певному виді пошкодження. Складність не побудованої частини дерева представляє собою таку складність нижче якої не може мати ні одне з припустимих рішень.

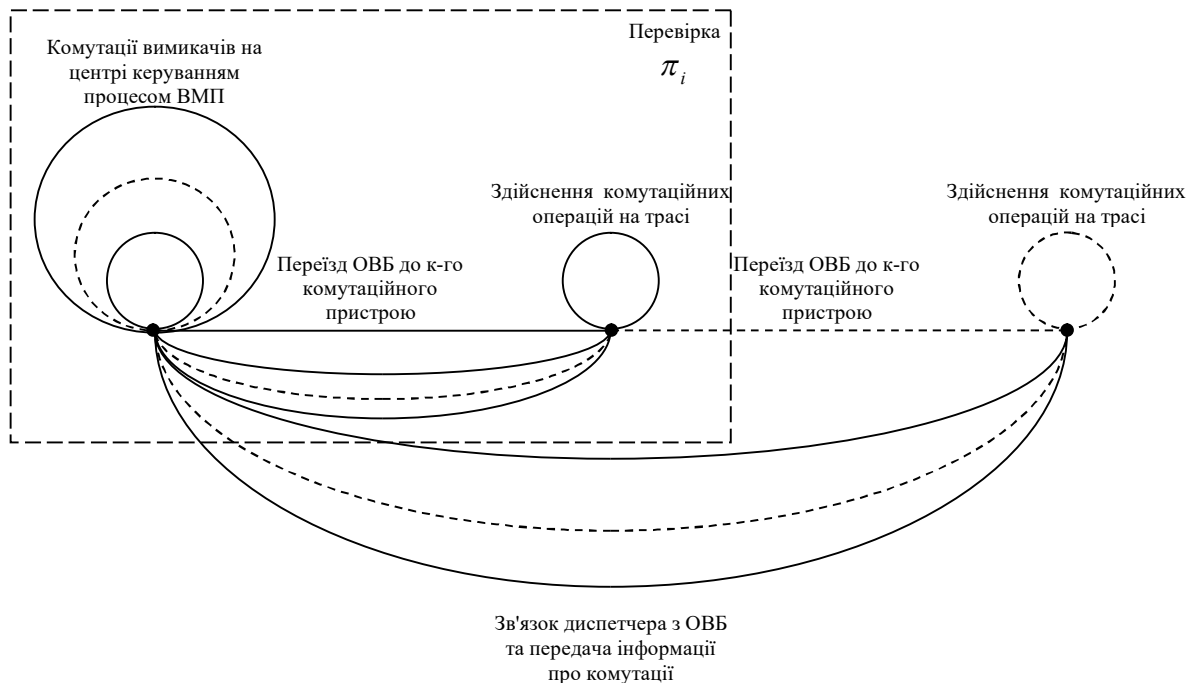


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд діаграми послідовності операцій при пошуку міжфазного к. з.

Опишемо діаграму виконання операцій для окремої перевірки (пошкоджена ділянка 3-4). Після відключення вимикача на ПС "Теплик" (рис. 2.1 а) релейним захистом диспетчер у вузлі 1 виконує операцію 1 – пробне вмикання вимикача за час  $t_{on}$  (рис. 2. 4 а). Оскільки пошкодження стійке то вимикач відключився, диспетчер віддає команду виконати операцію 2 – переїхати до вузла 3, що виконується за час  $t_{ДЖ1-3} = l_{ДЖ1} / V_a$ ;  $l_{ДЖ-3}$  – відстань між джерелом живлення 1, що знаходиться на підстанції "Теплик" та вузлом 3), та виконати операцію 3 – відключити роз'єднувач, що знаходиться у вузлі за час  $t_{on}$ . Після виконання цієї операції ОВБ доповідає за допомогою радіозв'язку про відключення роз'єднувача 3, при цьому виконується операція 4 за час  $t_c$ . Після отримання повідомлення диспетчер повторно вмикає вимикач 1 – операція 5. Оскільки пошкодження на ділянці 1-3 немає, то пошкодження за роз'єднувачем 3. По діаграмі легко визначається час перевірки.

Сума складності побудованої частини дерева та нижньої границі дає нижню границю складності відповідного повного рішення  $Lim(W)$ .

Тепер можна здійснити перехід до безпосереднього визначення оптимальної послідовності перевірок. На початку необхідно вибрати найбільш інформативні варіанти процедури ВМП із можливих. Для цього розраховують кількість  $n_j$  стовпчиків, що покриваються стрічкою  $j$  таблиці, тобто кількість одиниць в цій стрічці для кожної  $j$  та розташовують їх в порядку зменшення:

$$n_{j1} \geq n_{j2} > \dots > n_{jp} \geq \dots, \quad (2.3)$$

Далі необхідно взяти перших  $\alpha$  чисел ряду (2.3), що задовільняють умовам

$$\sum_p^{\alpha} n_{jp} \geq N \text{ та } \sum_{p=1}^{\alpha-1} n_{jp} < N, \quad (2.4)$$

де  $N$  – кількість стовпчиків таблиці покриття.

Кількість  $\alpha$  є нижньою межею довжини непобудованого покриття даної таблиці покриття.

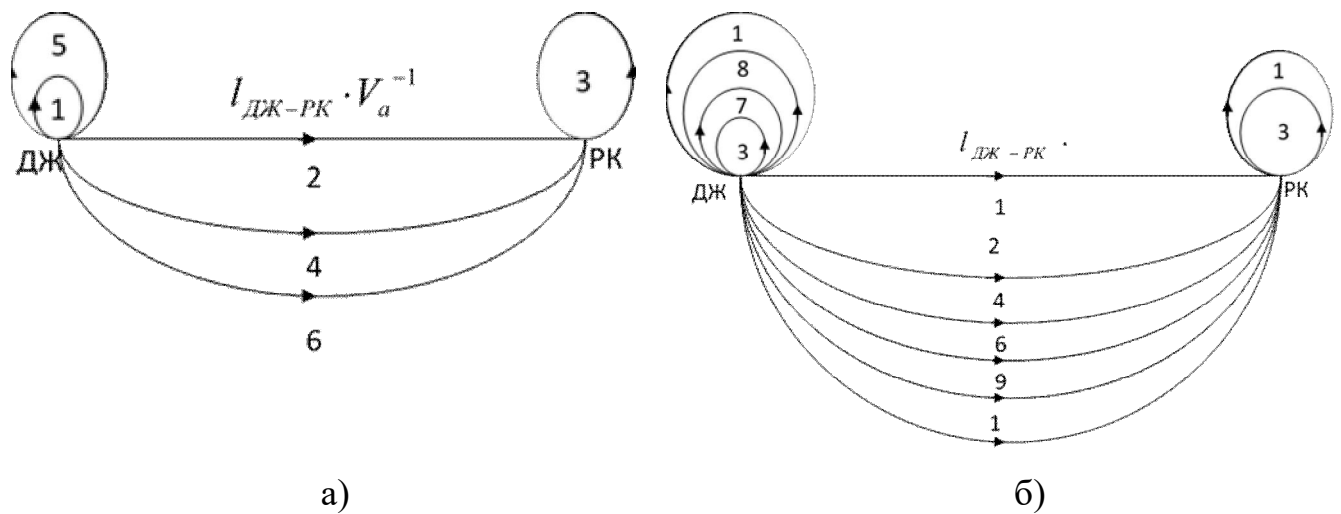


Рисунок 2.4 – Діаграма послідовності операцій при пошуку пошкодженої ділянки: а) – при міжфазному к. з.; б) – при однофазному замиканні на землю

Далі ведеться обчислення недовідпустки електроенергії для кожної можливої послідовності перевірок.

$$W_j = t_{\Pi Д j} \cdot \sum_{i=1}^n P_{om i}; \quad (2.5)$$

$$t_{\Pi Д j} = \left( l_{ДЖ-Р j} / V_a + k_{on} t_{on} + k_c t_c \right)$$

де  $k_{on}, k_c$  – відповідно кількість в здійснених комутаційних операцій та операцій зв'язку ОВБ з черговим диспетчером.

Отримані значення недовідпустки електроенергії ранжують в порядку збільшення їх величини

$$W_{j1} \leq W_{j2} \leq \dots \leq W_{jg} \dots \quad (3.6)$$

З ряду (3.6) береться сума перших  $\alpha$  його членів  $\sum_{g=1}^{\alpha} W_{jg}$ , що буде являти собою границю  $\lim(W)$  непобудованої частини рішення.

Нижня межа складності повного рішення

$$Lim(W) = W_{nob} + \lim(W), \quad (3.7)$$

де  $W_{nob}$  – недовідпустка електроенергії для побудованої частини дерева рішень на даному кроці.

Оптимальна послідовність перевірок визначається вибором таких висячих вершин, що мають найменшу повну нижню границю. Для вершин, що мають нижню межу складності непобудованої частини дерева рішень яка дорівнює нулю, то ті частини, що побудовані будуть являти собою оптимальні повні рішення задачі. В разі такого випадку процедура визначення оптимальної послідовності перевірок для ВМП закінчується. В іншому випадку виконується наступний крок процедури для будь-якої вершини з найменшою межею складності непобудованого дерева рішень до визначення повного оптимального рішення задачі.

На останньому етапі формується умовна послідовність операцій на основі безумовного алгоритму проведення перевірок та аналізу схеми і врахуванні можливості підключення резервного джерела живлення при від'єднанні частини схеми в процесі ВМП від основної живлячої підстанції. При цьому вимикач, від якого ведеться керування процесом ВМП, може реагувати на включення або відключенням «В», або залишатись в роботі і не відключатись «Н». У випадку, якщо вимикач не відключився, то він залишається в роботі і забезпечує живлення споживачів непошкодженої частини мережі. Для реалізації процесу ВМП в даному випадку використовують резервне джерело живлення і процес здійснюють аналогічно як і при живленні від робочого джерела. У випадку відключення

основного вимикача необхідним кроком є використання можливостей по забезпеченню живлення споживачів в непошкодженій частині і продовження контролю процесу ВМП на даному вимикачі.

### 2.3 Оптимізація програми пошуку методом послідовного ділення мережі при однофазному замиканні на землю

Для ОЗЗ використовують критерій мінімізації часу пошуку. Послідовність операцій може бути визначена наступною методикою.

Для заданої глибини пошуку визначається кількість операцій для проведення будь-якої послідовності перевірок із таблиці покриття. При цьому час втрачений на ВМП складає

$$t_j = K_{\text{випр}} l_{\text{ДЖ-}P_j} / V_a + k_{\text{он}} t_{\text{он}} + k_c t_c, \quad (2.8)$$

де  $l_{\text{ДЖ-}P_j}$  – відстань від джерела живлення до  $P_j$ -го комутаційного пристрою;

$K_{\text{випр}}$  – коефіцієнт, що враховує викривлення  $l_{\text{ДЖ-}P_j}$  при об'їзді її ОВБ.

В середньому пошкодження знаходять при обході половини виділеної ділянки, тоді час на пошук пошкодження складе

$$t_{\text{пд}} = 0,5 l_j / V_a, \quad (2.9)$$

де  $l_{\text{пд}}$  – довжина пошкодженої ділянки, що виділена комутаційними апаратами при заданій глибині пошуку.

Невідпуск електроенергії при виконанні перевірки  $P_j$  складе

$$W_j = (k_{\text{он}} t_{\text{он}} + k_c t_c) \sum_{i=1}^{N'} P_i, \quad (2.10)$$

де  $N'$  – кількість ділянок лінії, що відключаються від джерела живлення комутаційним пристроєм  $P_j$ .

Після побудови таблиці покриття вибирається найбільш інформативна перевірка, або стрічка з найбільшою кількістю одиниць. При наявності стрічок з однаковою кількістю одиниць вибирають ту, на яку витрачається менший час, або ту, що має більшу швидкість отримання інформації. При наявності стрічок з

однаковим часом оибрають перевірку з меншим є недовідпуском електроенергії споживачам.

Відповідно до [23] після виконання оперативних переключень пов'язаних з МПДМ та зведенню кола пошуку місця замикання на землю до найменшої за розмірами ділянки, можливий перехід до методу почергового відключення паралельно працюючих об'єктів та методу почергового короткочасного відключення тупикових ПЛ.

Таким чином, показано, що даний метод ВМП можна ефективно використовувати як при міжфазних коротких замиканнях так і при ОЗЗ. В сукупності із вдосконаленим дистанційним методом ВМП це значно підвищує точність результату операцій, ефективність дій обслуговуючого персоналу, та зменшує час відключення споживачів від джерела живлення в 1,5 рази.

## 2.4 Висновки

1. Запропонована універсальна процедура ВМП, яку можна використовувати при різних видах пошкоджень. При цьому в залежності від інформації про вид пошкодження задаються відповідні початкові умови, що визначають кінцевий результат, який представляє собою умовний алгоритм виконання операцій з перевірки наявності пошкодження на кожній окремій ділянці РМ. Дана процедура не потребує значної зміни виду вхідних даних, що можуть бути без значних зусиль підготовлені диспетчером і введені в ЕОМ.

2. Запропонований алгоритм складання оптимальної послідовності перевірок дозволяє значно скоротити час пошуку, особливо при виникненні пошкодження в середній частині лінії або в її кінці. Метод характеризується високою надійністю та абсолютною точністю отриманого результату.

3. Використання статичних характеристик РМ в процесі ВМП дозволяє підвищити точність визначення пошкодженої ділянки. Для зменшення обсягу обчислень доцільно за результатами аналізу конфігурації РМ довжини і потужності споживачів на окремих ділянках попередньо визначити ціну кожної перевірки. В

якості критерію оптимізації при пошуку міжфазних к. з. доцільно використовувати недовідпуск електроенергії при пошуку ОЗЗ – час пошуку.

4. Визначення безумовного алгоритму необхідно здійснювати шляхом аналізу таблиці покриття побудованої на основі функціональної моделі, що відображає конструктивні особливості РМ і визначає методику пошуку пошкодження. На основі функціональної моделі розраховується час на проведення перевірок (переїзд оперативної бригади, зв'язок та комутації) та недовідпуск електроенергії для кожної перевірки. Вибір оптимальної послідовності перевірок здійснюється за критерієм  $W \rightarrow \min$  або  $t \rightarrow \min$ . Використання оптимізованого умовного алгоритму пошуку пошкоджень в РМ 10-35 кВ дозволяє в середньому зменшити недовідпуск електроенергії на 7-8%, та час пошуку пошкодження в 1,1-1,5 раз.

### 3 ВДОСКОНАЛЕННЯ ДИСТАНЦІЙНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ В МЕРЕЖАХ 10 кВ

#### 3.1 Застосування дистанційних методів визначення місця міжфазного короткого замикання

У випадку застосування дистанційних методів основними є струми аварійного та нормального режимів, а також струми навантаження деяких ТП 6-10/0,4 кВ, параметри ПЛ, схема з'єднання елементів а також перехідний опір місця пошкодження. Тому з метою забезпечення необхідної точності ВМП слід обґрунтувати метод і визначити параметри з використанням моделей, що відповідають поставленій меті.

В якості базового методу оберемо метод, серед існуючих, що дає можливість отримати найбільш точні результати та дає змогу автоматизувати процес пошуку [24]. В основу методу покладено вимірювання реактивного опору отримане до місця пошкодження за допомогою використання вимірювальних органів, характеристичною величиною для них виступає задана функція, виражена в комплексній формі відношень вхідних напруг до вхідних струмів і порівняння вимірних значень з розрахованими. Таке співвідношення дійсне для різних видів к.з. оскільки, омметр під'єднується на різницю фазних струмів. За використання фазочутливого перетворення дістають реактивну складову напруги для петлі к. з. Це забезпечує однакові умови вимірювання параметрів для будь-яких видів міжфазних коротких замикань [25, 26].

Використаємо наступний алгоритм з метою визначення місця пошкодження:

1. Здійснюється попередній розрахунок параметрів ЛЕП з урахуванням конструктивної неоднорідності та з розрахунком навантажень для ТП 6-10/0,4 кВ  $\Delta I_i$ ;
2. Розраховується індуктивний опір до місця виникнення пошкодження з фіксацією параметрів нормального та аварійного режимів, відповідно до (рис. 3.1а)



$$x^B = \frac{U_p}{I_a} - \frac{\sum_{i=1}^n \Delta I_i^* \cdot x_{ki}}{I_a}; \quad (3.1)$$

де  $i$  – номер ділянки;  $x_{ki}$  – опір від місця к.з. до початку  $i$ -ої ділянки;

$I_a$  – струм аварійного режиму вимірний на початку лінії;

$\Delta I_i^*$  – струм навантаження  $i$ -ої ділянки, що розраховується з урахуванням вимірюного струму навантаження в перед аварійному режимі  $I_n$ , та на основі прогнозу;

$I_n^P = \sum_{i=1}^n \Delta I_i$  – розраховане значення струму навантаження, що являє собою суму

навантажень окремих ТП 6-10/0,4 кВ  $\Delta I_i$ ;

$\frac{I_n^B}{I_n^P} = f$  – коефіцієнт корегування розподілу навантаження вздовж магістральної

лінії з урахуванням вимірюного значення струму к.з. на початку лінії  $I_n^B$ , тоді

$$\Delta I_i^* = f \cdot \Delta I_i.$$

3. Визначаємо дійсне значення для опору до місця виникнення пошкодження  $x^D$  за співвідношенням

$$x^D = x^B + \frac{\sum_{i=1}^n \Delta I_i^* \cdot x_{ki}}{I_a} = x_{n1} \cdot l_1 + x_{n2} \cdot l_2 + \dots + x_{ni} \cdot l_i + x_{nk} \cdot l_k. \quad (3.2)$$

у відповідності до рис. 3.1а, з врахуванням вимірюного значення та розрахункового.

4. Виходячи з раніше визначеної залежності  $x^D = F(l)$  (рис. 3.1б), що враховує конструктивну неоднорідність остаточно визначають відстань до місця к.з..

Таке співвідношення справедливе при будь-яких видах к. з. оскільки, омметр під'єднується на різницю фазних струмів, за допомогою фазочутливого перетворення отримують значення реактивної складової напруги петлі к. з., що забезпечує однакові умови вимірювання параметрів для будь-яких видів міжфазних коротких замикань. Аналогічно визначається відстань до к. з. на відгалуженні (точка к2).

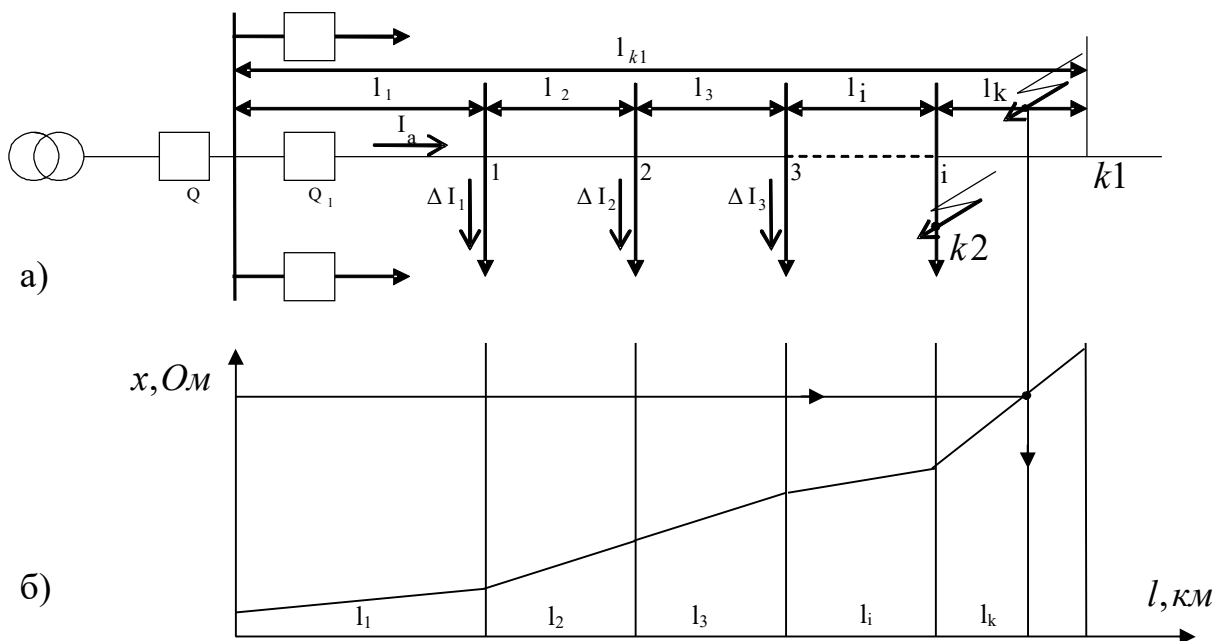


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема мережі: а) схема мережі; б) залежність

$$x^{\mathcal{L}} = F(l)$$

Такий підхід дозволяє уникнути похибки, яка виникає при обчисленні, завдяки врахуванню довжини непошкоджених ділянок. Тобто, проводячи розрахунок за вище наведеним алгоритмом, фактично розраховується лише відстань від початку ділянки до місця пошкодження, а відстань від шин підстанції до початку ділянки лише додається. Крім того, цей алгоритм дає змогу при розрахунках використовувати питомий опір конкретної ділянки, а не брати середнє значення по всій мережі. Однак, для точного визначення реактивного опору необхідною умовою є точна інформація про струми навантаження та аварійного режиму. Для виконання цієї умови проведено розрахунок параметрів аварійного режиму.

При розрахунку аварійного режиму враховується неоднорідність структури повітряної лінії та конструктивна неоднорідність, а також розподіл навантаження по довжині лінії. Граничні умови для розрахунку струму міжфазного короткого замикання мають такий вигляд:

$$\dot{I}_{kA}^{(2)} = \dot{I}_H; \quad (3.3)$$

$$\dot{I}_{kB}^{(2)} = -\dot{I}_{kC}^{(2)}; \quad (3.4)$$

$$\dot{U}_{kB}^{(2)} - \dot{U}_{kC}^{(2)} = 0. \quad (3.5)$$

У виразі (3.3)  $\dot{I}_H$  – струм навантаження, що тече через точку короткого замикання. Досвід експлуатації показує, що для РМ 10 кВ із високою імовірністю фаза струму навантаження в сільських СЕП можна приймати  $\phi = 90^\circ$ . Для мереж 10 кВ фаза струму навантаження може коливатись в межах  $45^\circ$ - $90^\circ$ .

Оскільки система струмів врівноважена, тобто  $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ , то  $\dot{I}_{k0} = 0$ . Таким чином, (3.3) можна записати як

$$\dot{I}_{kA} = \dot{I}_{kA1} + \dot{I}_{kA2} = \dot{I}_H,$$

звідки

$$\dot{I}_{kA1} = -\dot{I}_{kA2} + \dot{I}_H. \quad (3.6)$$

З метою визначення струму короткого замикання визначимо напруги фаз  $\dot{U}_{kB}$  та  $\dot{U}_{kC}$  через симетричні складові для напруги фази А. Тоді (3.5) отримаємо:

$$a^2 \dot{U}_{kA1} + a \dot{U}_{kA2} + \dot{U}_{k0} - a \dot{U}_{kA1} - a^2 \dot{U}_{kA2} - \dot{U}_{k0} = (a^2 - a)(\dot{U}_{kA1} - \dot{U}_{kA2}) = 0.$$

звідки

$$\dot{U}_{kA2} = \dot{U}_{kA1}. \quad (3.7)$$

Співвідношення (3.7) дозволяє прирівняти обидві частини основних співвідношень з застосування методу симетричних складових

$$\dot{U}_{k1} = \dot{E}_\Sigma - Z_{1\Sigma} \dot{I}_{k1};$$

$$\dot{U}_{k2} = 0 - Z_{2\Sigma} \dot{I}_{k2}.$$

звідки

$$\dot{E}_{A\Sigma} - jx_{1\Sigma} \dot{I}_{kA1} = -jx_{2\Sigma} \dot{I}_{kA2},$$

де  $\dot{E}_{A\Sigma}$  – результуюча ЕРС фази А.

Враховуючи співвідношення (2.6), після простих перетворень отримаємо:

$$\dot{I}_{kA1}^{(2)} = \frac{\dot{E}_{A\Sigma}}{j(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma})} + \dot{I}_H. \quad (3.8)$$

Струми пошкоджених фаз на ввіді до підстанції можна представити через  $\dot{I}_{kA1}^{(2)}$

$$\dot{I}_{kB}^{(2)} = a^2 \dot{I}_{kA1}^{(2)} + a \dot{I}_{kA2}^{(2)} = (a^2 - a) \dot{I}_{kA1}^{(2)} = -j\sqrt{3} \dot{I}_{kA1}^{(2)}, \quad (3.9)$$

та згідно (3.4)

$$\dot{I}_{kC}^{(2)} = j\sqrt{3}\dot{I}_{kA1}^{(2)}. \quad (3.10)$$

Методичну похибку при розрахунку відстані від підстанції до виникнення місця пошкодження за допомогою дистанційного методу ВМП можна визначити з виразу (3.2)

$$\zeta \cdot l_{II} = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial x^B} \cdot \frac{dx^B}{x}\right)^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial \Delta I^*} \cdot \frac{d\Delta I^*}{x}\right)^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial x_{ki}} \cdot \frac{dx_{ki}}{x}\right)^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial I_a} \cdot \frac{dI_a}{x}\right)^2} = \sqrt{\zeta_{x^B}^2 + \zeta_{\Delta I^*}^2 + \zeta_{x_{ki}}^2 + \zeta_{I_a}^2}, \quad (3.11)$$

де  $\zeta_{x^B}$  – гранична відносна похибка визначення розрахункового опору від шин підстанції до місця к.з.;

$\zeta_{\Delta I^*}$  – гранична відносна похибка визначення струму окремих ТП 6-10/0,4 кВ;

$\zeta_{x_{ki}}$  – гранична відносна похибка визначення опору від місця к.з. до початку і-ої ділянки;

$\zeta_{I_a}$  – гранична відносна похибка визначення струму аварійного режиму.

Із виразу (3.11) видно, що методична похибка дистанційного методу ВМП залежить від похибки визначення  $I_a, \Delta I, x$  та структури розподільної мережі. Виходячи з цього, на шляху досягнення необхідної точності дистанційного методу, можна виділити наступні задачі:

– визначення розподілу навантаження вздовж лінії та його вплив на вхідні дані;

– обчислення первинних параметрів повітряних ліній;

– вплив характеру перехідного процесу в лінії на вхідні дані;

– визначення оптимального часу вимірювання струму при відлаштуванні від закінчення перехідного процесу в лінії та спрацювання релейного захисту і автоматики;

– встановлення зворотних зв'язків в функціональній схемі окремих методів ВМП і, як наслідок, підвищення точності та ефективності всього процесу пошуку та усунення пошкодження.

Дана методика проілюстрована розрахунковим експериментом, за даними якого побудована таблиця 3.1. Результати показують, що врахування перелічених факторів дозволило зменшити відносну похибку визначення місця пошкодження.

Таблиця 3.1 – Порівняльний аналіз дистанційних методів визначення відстані до місця міжфазного короткого замикання

Ділянка	L, км	U <sub>p</sub> , В	I <sub>к</sub> , А	L, км за методом 1	L, км за методом 2
100_1	0,23	192,2	1176,98	0,556	0,556
1_2	0,75	308,39	1149,98	0,912	0,864
2_8	0,98	400,37	1126,62	1,179	1,046
8_9	1,385	559,17	1104,42	1,668	1,502
9_11	1,625	652,03	1089,9	1,954	1,733
11_12	2,137	844,56	1059,27	2,549	2,348
12_14	2,357	926,43	1048,22	2,811	2,535
14_16	2,492	976,26	1039,8	2,961	2,679
16_19	2,797	1086,88	1021,55	3,287	3,046
19_20	3,087	1190,80	1009,49	3,636	3,372
20_21	3,347	1282,73	996	3,910	3,670
21_22	3,867	1462,69	974,86	4,519	4,287
22_23	3,927	1483,33	968,66	4,485	4,330
23_25	4,067	1531,18	962,96	4,628	4,497
25_27	4,302	1610,78	954,03	4,884	4,775
2_3	0,925	376,17	1091,01	0,996	0,977
3_5	1,14	458,67	1080,99	1,223	1,202
16_17	2,617	1021,42	1017,45	2,887	2,835
22_30	4,292	1606,69	954,39	4,870	4,766
30_32	5,047	1855,48	928,20	5,774	5,665
32_34	5,927	2136,42	899,32	6,836	6,727

В таблиці 3.1 наведені результати розрахунків відстані до місця пошкодження за формулою (3.2) та за раніше відомим методом, що були проведені для схеми ПС 110/35/10 кВ «Теплик» Ф-7 ПАТ «АК Вінницяобленерго» .

В середньому зведена похибка для методу 1 не перебільшує 7% від загальної довжини лінії, а для методу 2 – 4%.

При умові, що відомі значення навантажень для ТП лінії, визначають розподіл струму навантаження із заданою точністю для кожного з моментів часу.

Тому при ВМП стає відомим розподіл навантаження вздовж лінії а не лиш струм навантаження в до аварійному режимі, це дозволяє використовувати струми навантаження в процесі розрахунку. Ці струми протікають по окремим ділянкам мережі і визначаються при попередньому розрахунку аварійного режиму за прогнозованої оцінки місця пошкодження за певних умов.

### 3.2 Теоретичне обґрунтування методу для дистанційного визначення відстані до місця однофазного замикання на землю

У даній роботі пропонується метод визначення відстані до місця ОЗЗ, заснований на штучному замиканні непошкодженої фази повітряної лінії через резистор при виникненні в ній однофазного замикання на землю, і вимірювання реактивного опору петлі, утвореної проводом пошкодженої фази, місцем однофазного замикання на землю і опором місця штучного замикання на землю непошкодженої фази лінії на підстанції, який відрізняється від раніше відомих [5, 6] тим, що при попередньому розрахунку відстані до місця пошкодження враховується конструктивна та структурна неоднорідність в СЕП.

На рис. 3.2 зображена розрахункова схема пропонованого способу для випадку замикання фази В на землю (точка N) і штучного замикання фази С (точка М).

Проведемо розрахунок струму подвійного замикання на землю ( $K_{1,1}$ ) методом симетричних складових.

Під час розрахунку кз у двох різних вузлах мережі системи електропостачання –  $K_C$  і  $K_B$  – розрахункові схеми окремих послідовностей можна зобразити трипроменевою зіркою (рис. 3.3). До такого вигляду зводиться схема складної структури з різними ЕРС системи до якої приєднана мережа 10 кВ.

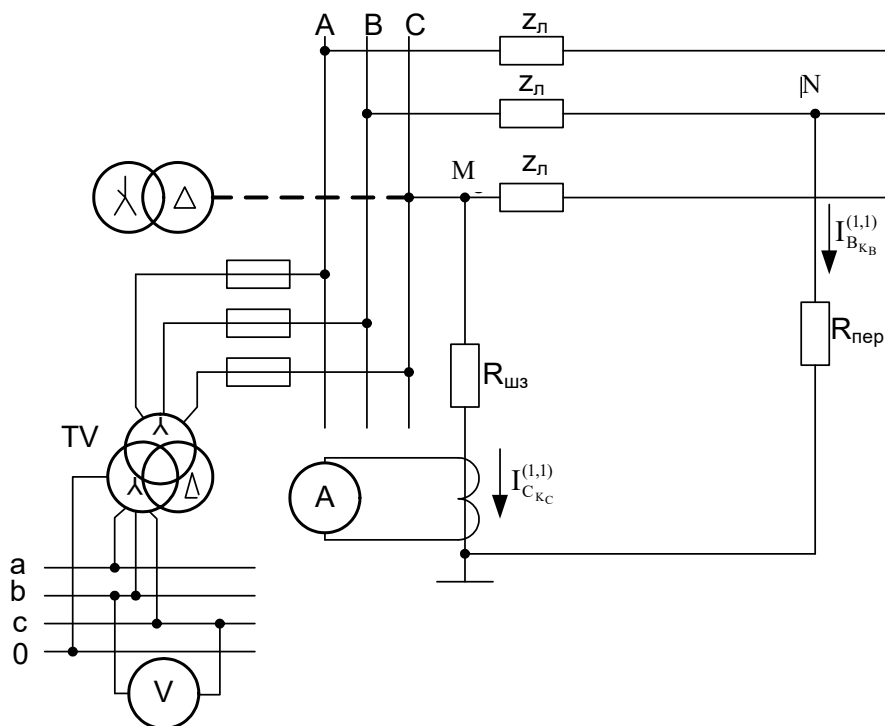


Рисунок 3.2 – Схема для розрахунку струму подвійного замикання на землю

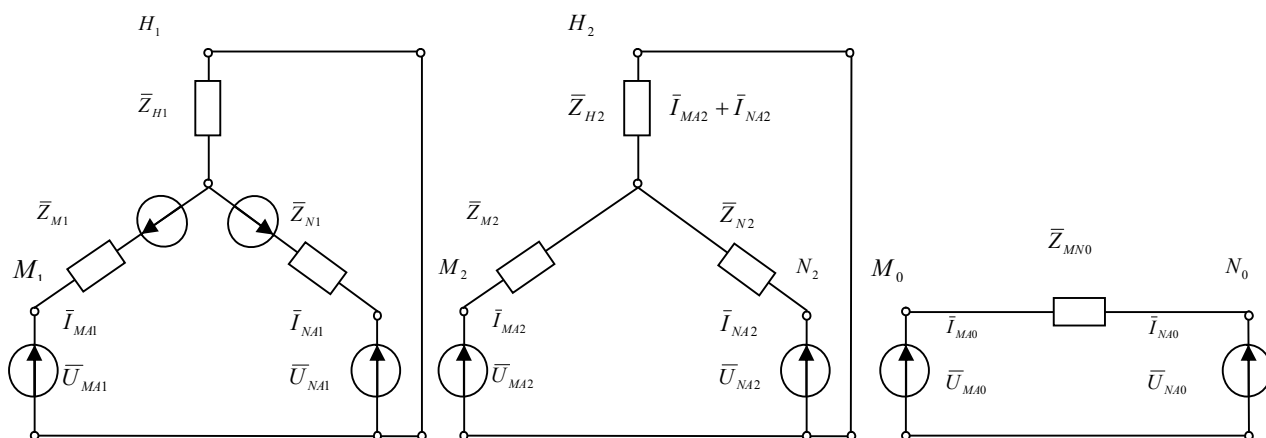


Рисунок 3.3 – Розрахункові схеми окремих послідовностей

Для схеми послідовностей можна записати систему рівнянь за законами Кірхгофа:

$$\bar{U}_{MA1} = \bar{E}_{MA} - (\bar{Z}_{M1} + \bar{Z}_{H1})\bar{I}_{MA1} - \bar{Z}_{H1}\bar{I}_{NA1}; \quad (3.12)$$

$$\bar{U}_{NA1} = \bar{E}_{NA} - \bar{Z}_{H1}\bar{I}_{MA1} - (\bar{Z}_{N1} + \bar{Z}_{H1})\bar{I}_{NA1}; \quad (3.13)$$

$$\bar{U}_{MA2} = -(\bar{Z}_{M2} + \bar{Z}_{H2})\bar{I}_{MA2} - \bar{Z}_{H2}\bar{I}_{NA2}; \quad (3.14)$$

$$\bar{U}_{NA2} = -\bar{Z}_{H2}\bar{I}_{MA2} - (\bar{Z}_{N2} + \bar{Z}_{H2})\bar{I}_{NA2}. \quad (3.15)$$

де  $\bar{U}_{NA1}, \bar{U}_{NA2}, \bar{U}_{NA0}, \bar{U}_{MA1}, \bar{U}_{MA2}, \bar{U}_{MA0}, \bar{I}_{NA1}, \bar{I}_{NA2}, \bar{I}_{NA0}, \bar{I}_{MA1}, \bar{I}_{MA2}, \bar{I}_{MA0}$  – напруги та струми послідовностей у місцях кз;

$\bar{E}_{MA}, \bar{E}_{NA}$  – еквівалентні ЕРС схеми прямої послідовності.

Струм нульової послідовності циркулює між вузлами М та N схеми, оскільки ці вузли пов'язані між собою електрично. Взаємний опір між цими вузлами позначимо  $\bar{Z}_{MN0}$ . Для схеми нульової послідовності запишемо тільки одне рівняння:

$$\bar{U}_{MA0} - \bar{U}_{NA0} = \bar{Z}_{MN0} \bar{I}_{NA0} \quad (3.16)$$

Щоб розв'язати цю систему рівнянь відносно невідомих струмів і напруг послідовностей, необхідно скласти ще шість рівнянь, які описують цей вид несиметрії. Під час однофазного кз на землю фази В у вузлі М та фази С у вузлі N схеми маємо такі граничні умови:

$$\bar{I}_{MA} = \bar{I}_{MA1} + \bar{I}_{MA2} + \bar{I}_{MA0} = 0; \quad (3.17)$$

$$\bar{U}_{MB} = a^2 \bar{U}_{MA1} + a \bar{U}_{MA2} + \bar{U}_{MA0} = 0; \quad (3.18)$$

$$\bar{I}_{MC} = a \bar{I}_{MA1} + a^2 \bar{I}_{MA2} + \bar{I}_{MA0} = 0; \quad (3.19)$$

$$\bar{I}_{NA} = \bar{I}_{NA1} + \bar{I}_{NA2} + \bar{I}_{NA0} = 0; \quad (3.20)$$

$$\bar{I}_{NB} = a^2 \bar{I}_{NA1} + a \bar{I}_{NA2} + \bar{I}_{NA0} = 0; \quad (3.21)$$

$$\bar{U}_{NC} = a \bar{U}_{NA1} + a^2 \bar{U}_{NA2} + \bar{U}_{NA0} = 0. \quad (3.22)$$

Із рівнянь (3.17), (3.19), (3.20), (3.12) визначаємо співвідношення між симетричними складовими струмів у місцях кз

$$\begin{aligned} a^2 \bar{I}_{MA1} &= a \bar{I}_{MA2} = \bar{I}_{MA0} = \bar{I}_{M0}; \\ a \bar{I}_{NA1} &= a^2 \bar{I}_{NA2} = \bar{I}_{NA0} = \bar{I}_{N0}. \end{aligned} \quad (3.23)$$

Додатковою умовою для цього виду несиметрії є

$$\bar{I}_{MB} = -\bar{I}_{NC}. \quad (3.24)$$

Виражаємо (3.24) через симетричні складові та враховуємо (3.63)

$$\bar{I}_{NA1} = -a \bar{I}_{MA1}; \quad a \bar{I}_{NA2} = -\bar{I}_{MA2}; \quad \bar{I}_{NA0} = \bar{I}_{MA0}. \quad (3.25)$$

Співвідношення (3.25) вказують на те, що симетричні складові струмів в обох точках кз жорстко між собою пов'язані.

Розв'язуючи сумісно (3.12) – (3.15), (3.17) – (3.23) і враховуючи (3.25), знаходимо симетричні складові струмів і напруг у місцях кз та на шинах підстанції.



Струми нульової послідовності в місцях пошкоджень можна визначити таким чином. Віднімаємо від (3.18) рівняння (3.22). В отримане рівняння підставляємо замість напруг послідовностей їхні значення з (3.12) – (3.15) і враховуємо (3.25). Тоді в загальному вигляді

$$\bar{I}_{MA1} = (\bar{E}_{MA} - a^2 \bar{E}_{NA}) / (\bar{Z}_{M1} + \bar{Z}_{N1} + 3\bar{Z}_{H1} + \bar{Z}_{M2} + \bar{Z}_{N2} + 3\bar{Z}_{H2} + \bar{Z}_{MN0}). \quad (3.26)$$

Для методу ВМП, що пропонується друга точка замикання через шунтувальний опір (точка М) розташовується на шинах підстанції, тому в рівнянні (3.26) опори  $\bar{Z}_{M1}, \bar{Z}_{M2}$  дорівнюють нулю.

Струми прямої і оберненої послідовностей пов'язані зі струмом нульової послідовності співвідношеннями (3.25).

Вектори електричних величин пошкоджених фаз у місцях кз розраховуємо через вектори фази А та оператори повороту фази  $\bar{a}$  та  $\bar{a}^2$

$$\begin{aligned} \bar{F}_A &= \bar{F}_{A1} + \bar{F}_{A2} + \bar{F}_{A0}; \\ \bar{F}_B &= \bar{a}^2 \bar{F}_{A1} + \bar{a} \bar{F}_{A2} + \bar{F}_{A0}; \\ \bar{F}_C &= \bar{a} \bar{F}_{A1} + \bar{a}^2 \bar{F}_{A2} + \bar{F}_{A0}. \end{aligned} \quad (3.27)$$

Для струмів у місцях кз

$$\bar{I}_{MB} = -\bar{I}_{NC} = 3\bar{I}_{MA0} \quad (3.28)$$

При відомих струмах кз та навантаження розрахунок відстані до місця пошкодження ведеться за алгоритмом аналогічним тому, що використовується при визначенні місця міжфазного короткого замикання.

Порівняння результатів розрахунку відстані до місця пошкодження за методом, що пропонується та за відомим раніше методом [5,6] наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльний аналіз дистанційних методів визначення відстані до місця однофазного замикання на землю

Ділянка	L, км	U <sub>p</sub> , В	I <sub>к</sub> , А	L, км за методом [5,6]	L, км за методом послідовного аналізу
100 1	0,23	52,71	342,10	0,35	0,30
1 2	0,75	167,95	334,23	0,86	0,82
2 8	0,98	205,40	312,82	1,09	0,99
8 9	1,385	281,35	303,20	1,52	1,45
9 11	1,625	320,93	294,77	1,87	1,75
11 12	2,137	394,81	275,75	2,28	2,29
12 14	2,357	427,40	270,65	2,45	2,38
14 16	2,492	441,29	264,30	2,65	2,57
16 19	2,797	469,17	250,35	2,86	2,80
19 20	3,087	511,01	247,07	3,24	3,15
20 21	3,347	533,27	237,80	3,53	3,44
21 22	3,867	597,52	230,62	3,98	3,9
22 23	3,927	577,20	219,37	4,08	3,98
23 25	4,067	589,92	216,49	4,26	4,19
25 27	4,302	614,77	213,29	4,54	4,43
2 3	0,925	144,06	232,45	1,20	0,98
3 5	1,14	176,05	230,49	1,36	1,18
16 17	2,617	387,26	220,86	2,86	2,78
22 30	4,292	613,49	213,34	4,58	4,42
30 32	5,047	706,54	208,94	5,47	5,34
32 34	5,927	808,28	203,54	6,42	6,32

Таким чином, в даному методі точність вимірювання залежить від точності початкових даних і вимірювальної системи.

### 3.3 Висновки

1. Для дистанційного визначення відстані до місця міжфазного КЗ доцільно використовувати метод, що базується на принципі вимірювання і фіксації реактивної складової напруги петлі КЗ ( $U_p$ ) на шинах підстанції, а на кожній лінії, яка відходить від підстанції, різниця струмів в момент виникнення КЗ, струм навантаження в лінії. Визначення відстані до місця КЗ ( $l_b$ ) здійснюється з допомогою переносного пристрою, на вхід якого подаються дві зафіксовані величини і який реалізує алгоритм  $l_b = (U_p / (|I_{кз} - I_n|)) / x_{л}$ . Точність визначення відстані до місця КЗ підвищується за рахунок виключення впливу на результат вимірювань струму навантаження інших приєднань, а також за рахунок врахування неоднорідності РМ. Надійність фіксації досягається за рахунок контролю стану кожного приєднання.

2. Точність вхідної інформації є дуже важливою, оскільки від неї в значній мірі залежить точність дистанційного методу. Складова похибки у визначенні погонних опорів наближається до 20%. При врахуванні пропорційності між опором від шин підстанції до місця к. з. та відстанню між ними ця похибка суттєво знижує точність методу. При похибці в 20% в первинних параметрах повітряної РМ абсолютна похибка дистанційного методу може складати до 25% від загальної довжини лінії. Для правильного визначення струму к. з. необхідно точно встановити розподіл струму навантаження вздовж живлячої лінії 10 кВ, що має виключатись із повного струму к. з. При прогнозних оцінках рівнів струму ОЗЗ важливим є точне визначення ємності лінії відносно землі, що визначає величину даного струму. При досить великих значеннях постійної часу перехідного процесу на точність визначення ПАР має вплив аперіодична складова струму ПП.

5. Використання більш точних методів прогнозування навантаження дозволить зменшити похибку методів визначення місць пошкоджень.

Через те, що графіки навантажень електроприймачів являють собою реалізації випадкових процесів, найбільш доцільними є стохастичні методи прогнозування навантаження.

Запропоновано метод в якому в залежності від заданої похибки  $\varepsilon_{I_p}$  визначення розрахункового струму навантаження, визначається необхідна тривалість процесу спостереження за зміною навантаження окремої ТП на відгалуженні РМ.

6. В розподільних мережах 10 кВ аперіодичну складову струму к. з. можна не враховувати. В цих умовах насиченням магнітопроводів вимірювальних трансформаторів струму в розподільних мережах даного класу напруги можна знехтувати, а струм короткого замикання через проміжок часу 0,005 с від моменту його виникнення можна представляти у вигляді його аперіодичної складової.

7. Вдосконалення дистанційних методів ВМП при ОЗЗ можна здійснити на основі методу, що базується на штучному створенні режиму двофазного замикання на землю, що реалізується шляхом вибору пошкодженої фази і замикання наступної по послідовності фази. Відстань до місця ОЗЗ визначається за результатами вимірювання реактивної складової напруги петлі подвійного замикання на землю та попереднього обчислення ПАР і порівнянні їх з виміряними. Похибка вимірювань відстані до місця ОЗЗ в цьому випадку залежить від похибки вимірювальної системи і точності вхідних даних.

#### 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Розрахунок очікуваного економічного ефекту при використанні вдосконаленого дистанційного методу ВМП

Обладнання шин підстанції 10 кВ дистанційним вимірювачем і використання програми розрахунку відстані до місця пошкодження призводить до зменшення часу пошуку пошкодженої ділянки на лінії

$$\Delta t_{\text{Пк}} = t_{\text{Пк}} - t_{\text{Пк}}^{\text{о6}} = C_E \cdot L \cdot \Delta E_n^{\text{о6}}, \quad (4.1)$$

де  $t_{\text{Пк}}^{\text{о6}}$  – час пошуку пошкодженої ділянки з врахуванням використання дистанційного вимірювача і програми розрахунку відстані до місця пошкодження;

$C_E$  – постійна, яка відображає усереднені умови оперативного обслуговування мережі, що розглядається;

$\Delta E_n^{\text{о6}}$  – коефіцієнт, що відображає зміну кількості переїздів ОВБ при пошуку пошкоджень за рахунок використання дистанційного вимірювача;

$L$  – довжина лінії, що розглядається.

Значення коефіцієнтів можна визначити за виразами

$$C_E = K_{\text{КР}} / v_a;$$

де  $K_{\text{КР}}$  – коефіцієнт кривизни доріг по відношенню до повітряної прямої, яка з'єднує кінцеві точки маршруту переїзду ОВБ;

$$\Delta E_n^{\text{о6}} = E_{\text{П}} - E_n^{\text{о6}}, \quad (4.2)$$

де  $\Delta E_n^{\text{о6}}$  – відповідно коефіцієнт, що відображає кількість переїздів ОВБ при пошуку пошкодження без автоматизації процесу пошуку і з автоматизацією

$$E_{\text{П}} = (K_{\text{ВЛ}} \cdot n(n+5)) / 3 \cdot (n+1);$$

$$E_{\text{П}}^{\text{ЛВ}} = K_{\text{ВЛ}} \frac{2n}{n+1}, \quad (4.3)$$

де  $K_{\text{вл}} = L_M / L$  – коефіцієнт, що характеризує ступінь розгалуженості лінії, який визначається як відношення довжини магістралі до повної довжини лінії;  
 $n$  – кількість роз'єднувачів, що встановлені в РМ.

Зниження недовідпуску електроенергії в розрахунку на одне аварійне відключення при міжфазному КЗ може визначатись як

$$\delta \Delta W^{\text{де}} = C_E M_{\text{max}} \Delta E_W^{\text{де}} + C_E M_{\text{max}} X_W, \quad (4.4)$$

де  $\Delta E_W^{\text{де}} = E_W - E_W^{\text{де}}$ ;

$M_{\text{max}} = P \cdot L$ ,

$X_W = \frac{1}{n(n+1)^2}$  – відповідно коефіцієнт, який відображає: зниження недовідпуску

електроенергії за рахунок використання дистанційного вимірювача, вплив технічних характеристик лінії на процес пошуку пошкоджень;

$P$  – розрахункове навантаження лінії.

$$E_W = 0,5 K_{\text{вл}} \frac{0,17n^4 + 2,42n^3 + 5,08n^2 + 3,08n + 0,25}{(n+1)^3} \quad (4.5)$$

Тоді технічний ефект від встановлення дистанційного вимірювача буде визначатися величиною зменшення річного недовідпуску електроенергії споживачам

$$\delta \Delta W^{\text{де}} = \omega \cdot \Delta W^{\text{де}}, \quad (4.6)$$

де  $\omega$  – частота відмов ПЛ.

Отже, повний технічний ефект від установки вимірювача визначиться як сума ефектів по тих лініях, які до нього приєднані.

В загальному випадку при визначенні економічної ефективності використання того чи іншого засобу підвищення надійності порівнюються два варіанти: перший – мережа без цих засобів; другий – в мережі встановлюються засоби, що розглядаються. В цьому випадку затрати по першому варіанту відсутні, тому

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_r &= U_U^{\text{ДВ}} - \mathcal{Z}_{\text{ДВ}}; \\ \Delta U_U^{\text{ДВ}} &= \mathcal{Z}_H (\Delta W_0 - \Delta W^{\text{ДВ}}) = \mathcal{Z}_H \delta \Delta W^{\text{ДВ}}, \end{aligned} \quad (4.7)$$

де  $\Delta W_0$  і  $\Delta W^{\text{ДВ}}$  – річний недовідпуск електроенергії по першому і другому варіантам;

$\delta \Delta W^{\text{ДВ}}$  – зниження річного недовідпуску за рахунок використання засобів підвищення надійності;

$\mathcal{Z}_{\text{ДВ}}$  – приведені затрати на установку на шинах підстанції дистанційного вимірювача:

$\Delta U_n^{\text{ДВ}}$  – зменшення річних експлуатаційних затрат через ненадійність електропостачання;

$\mathcal{Z}_H$  – питомі затрати.

В якості прикладу розглянуто мережу з такими параметрами:

$$L = 15 \text{ км},$$

$$K_{\text{кр}} = 1,3,$$

$$V_a = 20 \text{ км/год},$$

$$L_M = 6,6 \text{ км},$$

$$n = 10,$$

$$P = 2340 \text{ кВт},$$

$$V_x = 5 \text{ км/год},$$

$$\mathcal{Z}_H = 1,215 \text{ грн / (кВт} \cdot \text{год)} [27],$$

$$E_H = 0,12.$$

За (4.3) визначаємо зниження тривалості етапу пошуку на лінії  $\Delta t_{\text{п}} = 1,58$ .

За формулою (4.4) визначимо зниження недовідпуску електроенергії в розрахунку на одне аварійне відключення при міжфазному к. з.  $\delta \Delta W^{\text{ДВ}} \approx 1595$  кВт·год.

Сумарне зменшення втрат від використання вимірювача

$$\Delta U_U^{\text{ДВ}} = 1,215 \cdot 1595 = 1937,9 \text{ (грн.)}$$

Економічний ефект для однієї лінії складе

$$\mathcal{E}_z = \Delta U_U^{дв} - \mathcal{Z}_{ог} = 1937,9 - (2400 \cdot 0,12 + 1200) = 449,9 \text{ (грн.)}$$

Для підстанції від шин якої відходить  $n$  ліній, економічний ефект складає

$$\mathcal{E}_z = n \cdot 500 = 10 \cdot 500 = 5000 \text{ (грн.)}$$

В результаті розрахунку очікуваного економічного ефекту від впровадження дистанційного методу і засобів визначення місця пошкодження було отримано, що економічний ефект для однієї окремо взятої лінії на одне аварійне відключення становитиме 449,9 грн. Даний ефект збільшиться прямо пропорційно до кількості ліній, що відходять від шин підстанції. Для десяти ліній він становитиме близько 5000 грн.



## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В цьому розділі магістерської дипломної роботи розробляються заходи з охорони праці в процесі експлуатації пристроїв пошуку пошкоджень в розподільчих мережах напругою 10 кВ. Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людини. Отже, завданням охорони праці є зведення до мінімуму вірогідності травмувань та виникнення професійних захворювань.

Аналіз потенційних небезпек для електротехнічного оперативного персоналу, який здійснює автоматизований пошук пошкоджень в розподільчих мережах напругою 10 кВ, проведемо за [1, 2]. Під час експлуатації діючих електроустановок необхідно передбачати заходи із запобігання впливу на працівників таких небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

Фізичні:

- рухомі машини і механізми;
- вироби, заготовки, матеріали, що пересуваються;
- незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;
- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена рухливість повітря;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- підвищена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищена запыленість повітря робочої зони;
- недостатня освітленість робочої зони;
- недостатність природного освітлення;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- розташування робочого місця на значній висоті відносно поверхні землі

(підлоги);

- гострі кромки, задирки та шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання.

Психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово–психічні перевантаження (монотонність праці, емоційні перевантаження, перенапруга аналізаторів).

У розділі охорони праці будуть досліджені такі питання як технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць, електробезпека, мікроклімат, склад повітря робочої зони, виробниче освітлення, виробничий шум, виробничі вібрації, пожежна безпека для працівників в цілому для об'єкта проектування під час будівництва та після прийняття його в експлуатацію.

## 5.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта

### 5.1.1 Технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць

Підготовка робочого місця і допуск до виконання робіт з монтажу пристроїв для контролю ізоляції здійснюється оперативним персоналом електричних станцій і підстанцій [4, 5].

Підготовка робочих місць і допуск можуть провадитись тільки з дозволу оперативних працівників, а на підприємствах, де таких працівників немає – з дозволу особи, яка видала наряд чи розпорядження за узгодженням з особою, відповідальною за електрогосподарство.

Забороняється змінювати передбачені нарядом (розпорядженням) заходи по підготовці робочих місць.

В разі виникнення сумніву в достатності і правильності заходів з підготовки робочого місця і можливості безпечного виконання роботи, ця підготовка має бути припинена.

Підготовку робочих місць, як правило, виконують два працівники, які мають право на оперативні перемикання в даній електроустановці. Дозволяється

виконувати підготовку робочого місця керівнику робіт з одним із членів бригади, якщо вони мають права на оперативні перемикання в даній електроустановці.

Підготовку робочого місця може виконувати один працівник, крім встановлення переносних заземлень в електроустановках понад 1000 В і виконання перемикань, що здійснюються на двох і більше приєднаннях в електроустановках понад 1000 В, що не мають діючих пристроїв блокування роз'єднувачів від неправильних дій.

Допускач разом з керівником робіт повинні перевірити виконання технічних заходів з підготовки робочого місця.

Якщо керівник робіт суміщає обов'язки допускача, то таку перевірку він виконує з одним із членів бригади, який має групу III.

Допуск до роботи за нарядами та розпорядженнями слід провадити безпосередньо на робочому місці.

Допуск провадиться після перевірки технічних заходів з підготовки робочого місця.

В цьому разі допускач має:

- перевірити, чи відповідає склад бригади зазначеному у наряді або розпорядженні, та наявність у членів бригади посвідчень про перевірку знань;

- провести інструктаж: ознайомити бригаду зі змістом наряду, розпорядження; зазначити межі робочого місця і підходи до нього; показати найближче до робочого місця устаткування та струмовідні частини приєднань, що ремонтуються, та суміжних, до яких забороняється наближатися незалежно від того, перебувають вони під напругою чи ні;

- довести бригаді, що напруга відсутня, показом встановлених заземлень та перевіркою відсутності напруги, якщо заземлення не видно з робочого місця, а в електроустановках 35 кВ і нижче (де дозволяє конструктивне виконання) з наступним дотиком рукою до струмовідних частин, після перевірки відсутності напруги.

Після інструктажу допускача бригаду повинен проінструктувати керівник робіт щодо безпечного виконання робіт, використання інструменту, пристосувань, механізмів і вантажопідіймальних машин.

Без проведення інструктажу допуск бригади забороняється.

Проведення інструктажу і допуску оформляються підписами допускача і керівника робіт (наглядача) в таблиці 3 наряду із зазначенням дати і часу.

Допуск оформлюється в обох примірниках наряду, з яких один залишається у керівника робіт (наглядача), а другий – у допускача.

Коли керівник робіт суміщає обов'язки допускача, допуск оформлюють в одному примірнику наряду.

Під час роботи за розпорядженням час допуску реєструють в журналі обліку робіт за нарядами і розпорядженнями.

#### 5.1.2 Електробезпека

Тип електромережі, що контролюється: двохпровідна постійного струму напругою 110 та 220 кВ. Категорія умов з небезпеки електротравматизму – з підвищеною небезпекою, у зв'язку з наявністю струмопровідної підлоги.

Основні технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок включають:

- ізоляцію струмопровідних частин;
- недоступність струмопровідних частин;
- засоби орієнтації в електроустановках;
- виконання електроустановок, ізольованих від землі;
- захисне розділення електричних мереж;
- компенсацію ємкісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів.

Електроінструмент, переносні лампи, знижувальні трансформатори і перетворювачі частоти струму необхідно перевіряти один раз на місяць на відсутність замикання на корпус, цілісність заземлювального контуру, цілісність ізоляції живильних проводів та відсутність оголених струмопровідних частин.

Переносні трансформатори необхідно перевіряти також на відсутність замикання між обмотками високої і низької напруги.

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 5.2.1 Мікроклімат

Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні [6], де встановлена лінія, наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Пб	15-29	70 при 25°С	0,2-0,5
Холодний	Пб	13-23	не більш 75	не більш 0,4

Для забезпечення потрібних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [7]:

1. Утеплення фасаду будівлі
- 2 Встановлено вентиляцію приміщень

### 5.2.2. Склад повітря робочої зони

В умовах, що розглядаються в роботі, можливим забруднювачем повітря може бути пил нетоксичний [6].

Характерні забруднюючі речовини для виробничого приміщення наведені в таблиці 5.2

Таблиця 5.2 – Характерні забруднюючі речовини для виробничого приміщення

Найменування речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони в роботі передбачені такі рішення [7]:

- Робочі місця, де можливе виділення пилу та, обладнані вентиляційними пристроями, які повинні бути постійно готовими до роботи.

- Будь-які порушення у системі вентиляції відображаються попереджувальними сигнальними пристроями.

- Установки для кондиціонування повітря або механічні вентиляційні установки під час їх роботи не створюють для працівників протягів.

### 5.2.3 Виробниче освітлення

Штучне освітлення в будівлі запроектоване загальне, освітлення, за якого світильники розміщуються рівномірно у верхній зоні приміщення (загальне рівномірне освітлення). Нормовані значення виробничого освітлення наведені в таблиці 5.3.

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [9] розряд зорової роботи IV, підрозряд «г».

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	4	2,4

Для забезпечення нормованого значення освітлення у проекті передбачено:

- використання природного та штучного освітлення;
- штучне освітлення повинне бути рівномірне та достатньо інтенсивне;
- світло не повинне створює різких тіней на місцях роботи, значних контрастів між освітленим робочим місцем і навколишньою обстановкою;

- штучне світло не створює зайвих відблисків у полі зору працівника.

#### 5.2.4 Виробничий шум

Джерелами шуму, що розглядаються в роботі, для працівників є шум будівельних машин і механізмів. Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму наведено в таблиці 5.4

Таблиця 5.4 Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частотами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Основні виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму (поліпшення шумового клімату) в приміщенні проектом передбачено:

- раціональне розташування робочих місць;
- постійний контроль режиму праці і відпочинку працівників;
- обмеження застосування обладнання та використання робочих місць, що не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам.

#### 5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи системи автоматизації пошуку пошкоджень в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Всі системи автоматизації пошуку пошкоджень в розподільних мережах напругою 10 кВ мають досить мають вузли однакового призначення, які є вразливими до дії загрозливих чинників, що виникають у надзвичайних ситуаціях. Система автоматизації пошуку пошкоджень (САПП) відноситься до стратегічного і

важливих елементів для роботи об'єктів енергетики. Тому надзвичайної ваги є питання є забезпечення високої стійкості роботи САПП.

Дія радіації на матеріали та обладнання залежить в основному від виду випромінювання, дози опромінення, умов навколишнього середовища. Найбільш чутливе до дії іонізуючого випромінювання є електронне обладнання систем управління САПП. Серед елементів є напівпровідники, блок живлення, блок керування та силові елементи, транзистори, діоди. Через впливи на ізоляцію в трансформаторах можливі замикання обмоток, а відповідно і загорання трансформаторів.

В результаті опромінення системи в регуляторах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понизяться напруга пробною і опір витoku, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність.

Серед загрозливих чинників надзвичайних ситуацій особливо великий вплив на САПП має вплив електромагнітного імпульсу. Він може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, зокрема транзисторів та діодів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликаючи коротке замикання. Ці наслідки призводять до пожеж на підприємстві, а в подальшому розвитку і вибухів. Саме тому є необхідність запобігати впливу цього фактору на електричне та електронне обладнання САПП. Систему управління роботи САПП системи автоматизації пошуку пошкоджень застосовують в багатьох галузях. Їх використовують на вузлах зв'язку, на об'єктах житлово-комунального господарства (ліфти, котельні, трансформаторні), в системах безпеки, а також в промислових потребах. Саме тому розробка подібних систем є перспективною та економічно виправданою.



5.3.1 Дослідження безпеки роботи системи автоматизації пошуку пошкоджень в умовах дії іонізуючого випромінювання

У якості критерія стійкості роботи радіоелектронної апаратури використовують граничне значення рівня радіації, яке визначається з формулою:

$$P_{гр} = K \cdot P_{зв} \cdot K_{пос}, \quad (5.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт надійності,  $K = 0,9 \dots 0,95$ ;

$P_{зв}$  – рівень радіації, який відповідає початку зворотних змін у найменш стійкому елементі пристрою;

$K_{пос}$  – коефіцієнт послаблення радіації ( $K_{пос} = 4$ ).

Макет модуля реєстрації сигналів складається з наступних елементів: резистори, конденсатори, мікросхеми, дисплей. Визначаємо максимальне значення потужності експозиційних доз, при яких можуть відбутися зворотні зміни. Дані заносимо у таблицю 5.6.

Таблиця 5.5 – Максимально допустимі значення потужностей опромінення елементів печі

№	Блок системи	Елементи РЕА	$P_{зв_i}$ , (P/c)	$P_{зв}$ , (P/c)
1	Блок приймання інформації	Мікросхема	$10^4$	$10^4$
		Резистор	$10^6$	
		Транзистор	$10^6$	
2	Перетворювач повідомлень	Модуль	$10^4$	$10^4$
		Мікросхема	$10^4$	
		Конденсатор	$10^6$	
		Резистор	$10^7$	
3	Блок виводу інформації	Транзистори	$10^4$	$10^4$
		Мікросхема	$10^4$	

Як видно з таблицею 5.6 найбільш вразливим елементом є мікросхеми та дисплей.

$$p_{зв} = 10^4 \text{ Р/год.}$$

Підставивши значення у формулу (6.1) отримаємо:

$$p_{гр} = 0,5 \cdot 4 \cdot 10^4 = 20000 \text{ (Р/год)}.$$

Визначаємо допустимий час роботи РЕА:

$$t_{доп} = \frac{D_{гр} \cdot K_{посл} + 2P_1 \cdot \sqrt{t_{п}}}{2P_1}.$$

Підставимо значення у формулу:

$$t_{доп} = \frac{10000 \cdot 4 + 2 \cdot 5,34 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 5,34} = 3746,32 \text{ (годин)}.$$

В умовах дії іонізуючого випромінювання від 0 до 20000 Р/год система автоматизації пошуку пошкоджень зможе продовжувати нормальну роботу. При дії максимально допустимого рівня випромінювання час його працездатності буде 3746,32 годин.

5.3.2 Дослідження безпеки роботи системи автоматизації пошуку пошкоджень в умовах дії електромагнітного імпульсу

Напруга живлення  $U_{ж} = 6\text{В}$ ;

Допустиме відхилення напруги живлення  $N = \pm 5\%$

Розрахунок допустимого коливання напруги живлення модуля за наступною формулою:

$$U_{доп} = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N,$$

$$U_{\text{доп}} = 6 + \frac{6}{100} \cdot 5 = 6,3 \text{ (В)}.$$

Плата розташована в горизонтальній площині. Визначаємо максимальну очікувану напругу в горизонтальних ліній з наступної рівності:

$$U_{\Gamma} = \frac{U_{\text{ж}}}{100}.$$

$$U_{\Gamma} = \frac{6}{100} = 0,06 \text{ (В)}.$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається:

$$U_{\Gamma} = E_{\text{в}} + l_{\Gamma}.$$

$$E_{\text{в}} = \frac{U_{\Gamma}}{l_{\Gamma}},$$

де  $l_{\Gamma}$  – максимальна довжина горизонтального контуру електричної схеми ( $l_{\Gamma} = 0,055\text{м}$ ).

$$E_{\text{в}} = \frac{0,06}{0,055} = 1,09 \text{ (В/м)}.$$

Отже, вертикальна складова напруженості електричного поля становить 1,09 В/м.

5.3.3 Розробка превентивних заходів по підвищенню безпеки роботи системи автоматизації пошуку пошкоджень в умовах надзвичайних ситуацій

Насичення сучасних технологічних ліній засобами автоматики, телемеханіки, електронної та напівпровідникової технікою значною мірою сприяє вдосконаленню технологічних процесів, але в той же час робить ці процеси більш уразливими до впливу вражаючих факторів. Отже, одночасно з вдосконаленням технологічних процесів виробництва слід вживати необхідних заходів і щодо підвищення їх

стійкості.

Необхідна умова надійності технологічного процесу – стійкість системи управління та безперебійне забезпечення всіма видами енергопостачання. У разі виходу з ладу автоматичних систем управління передбачається перехід на ручне управління технологічним процесом у цілому або окремими його ділянками.

Підвищення стійкості систем енергопостачання відіграє значну роль у покращенні стійкості роботи систем. Це досягається проведенням як загальноміських, так і об'єктових інженерно-технічних заходів. Створюються дублюючі джерела електроенергії і подальшого їх закріплення.

Екранування забезпечує захист модуля від дії іонізуючого випромінювання.

Перехідне гасіння енергії електричного поля визначається за формулою:

$$A = 5,2 \cdot t \cdot \sqrt{f} \quad (5.6)$$

де  $t$  – товщина стінки екрану;

$f$  – 1500 Гц

Вертикальна складова напруженості електричного поля на виході екрану визначається:

$$A = 20 \lg \frac{E_B}{E_{Bi}} \quad (5.7)$$

звідси

$$E_{Bi} = \frac{E_B}{10^{\frac{A}{20}}}$$

Для вертикальної складової приймемо товщину стінки екрану 0,35 мм, тоді перехідне згасання енергії електричного поля буде:

$$A_B = 5,2 \cdot 0,35 \cdot \sqrt{1500} = 7,04 \text{ (дБ)}$$

Розраховуємо вертикальну складову напруженості електричного поля на виході екрану:

$$E_{\text{Ви}} = \frac{1,09}{10^{\frac{7,04}{20}}} = 0,48 \text{ (кВ/м)}$$

Горизонтальна складова напруженості електричного поля на виході екрану:

$$A = 20 \lg \frac{E_{\text{Г}}}{E_{\text{Гі}}} \quad (5.8)$$

звідси

$$E_{\text{Ви}} = \frac{E_{\text{Г}}}{10^{\frac{A}{20}}}$$

Нехай для горизонтальної складової товщина стінки екрану буде становити 0,5 мм, тоді перехідне згасання енергії електричного поля буде розраховуватись:

$$A_{\text{Г}} = 5,2 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{1500} = 10,06 \text{ (дБ)}$$

Горизонтальна складова напруженості електричного поля визначається:

$$E_{\text{Г}} = \frac{U_{\text{Г}}}{l_{\text{Г}}} \quad (5.9)$$

$$E_{\text{Г}} = \frac{0,06}{0,05} = 1,2 \text{ (В/м)}$$

Горизонтальна складова напруженості електричного поля на виході екрану:

$$E_{\text{ГВи}} = \frac{1,2}{10^{\frac{10,06}{20}}} = 0,37 \text{ (кВ/м)}$$

Для захисту обладнання доцільно використовувати екранування. Розрахунки показали, що мінімальна товщина екрану має бути 0,35 мм для горизонтальних

стінок і 0,5 мм для вертикальних, при яких відповідно горизонтальна і вертикальна складові напруженості електричного поля будуть становити 0,48 та 0,37 кВ/м. Якщо екранувати кожен прилад в лабораторії, то це призведе до того, що екран збільшить габаритні розміри та вагу пристроїв. Крім того довелось б змінювати конструкцію всіх приладів. Тому найкращим рішенням є екранування самих лабораторних приміщень, де знаходиться радіоелектронна апаратура.

Висновки. У розділі було розглянуто принцип дії іонізуючого випромінювання та електромагнітного імпульсу на радіоелектронну апаратуру. Крім того було проведено дослідження безпеки роботи системи автоматизації пошуку пошкоджень в умовах дії іонізуючого випромінювання. Була складена таблиця максимально допустимих значень потужностей доз електромагнітного імпульсу для елементів радіоелектронної апаратури, на основі якої було розраховано граничне значення рівня радіації, яке склало 20000 Р/год для миттєвого відказу.

Окрім того у розділі було розроблено заходи по підвищенню стійкості роботи системи автоматизації пошуку пошкоджень до дії загрозливих чинників в НС. Такими заходами є підвищення стійкості будівель, забезпечення додаткового електропостачання та використання захисних екранів. При товщині вертикальної стінки екрану 1 мм вертикальна складова напруженості електричного поля буде 0,37 кВ/м.

## ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі проведено аналіз існуючих методів та засобів пошуку пошкоджень в розподільних мережах напругою 6-10 кВ. Вдосконалено метод, що застосовується для визначення відстані до місця ОЗЗ. Цей метод передбачає послідовний аналіз нормального та аварійного режимів роботи, при безперервному контролі активного опору ізоляції мережі відносно землі. У випадку досягненні ним граничного значення, можна визначити пошкоджену фазу, шляхом штучного короткочасного замикання непошкодженої фази. При цьому фіксують струм аварійного режиму сумісно з реактивною складовою напруги петлі подвійного замикання на землю. В результаті виконання описаних вище дій розраховують відстань до місця ОЗЗ, це дозволяє визначити місце пошкодження при замиканні через великий перехідний опір (спікання землі біля опори чи обрив проводу) та автоматизувати такий процес.

Також в роботі запропоновано методику, що передбачає пошук пошкодженої ділянки методом послідовного ділення мережі. Цей метод заснований на використанні статичних та динамічних характеристик об'єкту. Це забезпечує вибір найкращої стратегії пошуку для кожного з існуючих видів пошкодження, методів пошуку і засобів контролю. Запропонована методика є сукупністю оптимізованих алгоритмів, які для кожної лінії розраховуються заздалегідь з використанням ЕОМ.

Розроблена система пошуку місць пошкоджень. Показано, що система для дистанційного визначення відстані до місця пошкодження (міжфазного к. з. та ОЗЗ) за умов використання обраної елементної бази забезпечує похибку, що не перевищує 6% від загальної довжини ПЛЕП.

Залежно від параметрів СЕП застосування діагностичної системи для пошуку пошкодження зменшує недовідпуск електроенергії споживачам на 8-70 % та дозволяє підвищити безпеку та ефективність експлуатації РМ, надійність роботи та зменшити частоту відмов, що в свою чергу скоротить час існування аварійних режимів.

Очікуваний економічний ефект від впровадження дистанційного методу і засобів визначення місця пошкодження було отримано, становитиме 449,9 грн для однієї окремо взятої лінії на одне аварійне відключення. Ефект збільшиться прямо пропорційно до кількості ліній, що відходять від шин підстанції.

Розділ охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях присвячений питанням безпеки експлуатації РЕМ 10 кВ.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / Журахівський А. В., Казанський С. В., Матєєнко Ю. П., Пастух О. Р. Київ: Політехніка, 2017. 456 с.
2. ГОСТ 27.410-87: 2017. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. Москва, 2002. 78 с. (Інформація та документація).
3. Кутин В.М. Кобылянский А.В. Диагностика повреждения изоляции распределительных сетей выше 1000 В с изолированной нейтралью. *Промышленная энергетика*. 1984. №7. С. 11-14.
4. Казанський С. В., Матєєнко Ю. П., Сердюк Б. М. Надійність електроенергетичних систем: навчальний посібник. Київ, 2011. 216 с.
5. Арбузов Р.С. Овсянников А.Г. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи. Новосибирск: Наука, 2009. 136с
6. Говоров П. П., Харченко В. Ф., Говоров В. П. Автоматизація керування режимами міських електричних мереж : монографія. Харків, 2017. 229 с.
7. Бурбело М. Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків: Навчальний посібник. Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2005. 148 с.
8. Голота А.Д. Автоматика в електроенергетичних системах. Київ: Вища школа, 2006. 367с
9. Кутін, В. М., Луцяк В. В. Методи та засоби пошуку пошкоджень в розподільних мережах з повітряними лініями електропередачі напругою 6–35 кВ: монографія. Вінниця, 2011. 160 с.
10. Устройства для определения мест повреждения на воздушных электрических линиях. URL: <http://electricalschool.info/main/ekspluat/406-ustrojstva-dlja-opredelenija-mest.html>.
11. Ткач В.І. Система ідентифікації місць однофазних замикань на землю у повітряних електричних мережах з ізольованою нейтраллю: дис. канд. техн. наук: 05.09.03 / Чернігівська політехніка. нац. ун-т, Чернігів, 2021. 160 ст.

12. Кутін В. М., Луцяк В. В., Матвієнко С. В. Комбінована система пошуку пошкоджень в розподільних повітряних мережах. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*, 2005. №3(32). С. 169-171.

13. Луцяк В.В., Кутін В.М., Матвієнко С.В. Дистанційний метод визначення місця міжфазного короткого замикання в розподільній мережі 10 кВ з повітряними лініями електропередачі. *Вісник Криворізького технічного університету*, 2006. С. 112-115.

14. Зубко В. М., Коробка В. О., Мірошник О. В. та ін. Ефективність моніторингу замикань в мережах з ізольованою нейтраллю. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка*. 2010. Вип. 102. С. 21-23.

15. Фіксатор короткого замикання. пат. 64352 А України, МКИ 7 G01R31/08, №2003054513; заявл 20.05.2003; опубл. 16.02.2004, Бюл. №2.

16. A3 Group, “Kit of faulted circuit indicators,” OHL Fault Indicators Lodestar CL25. [Online]. URL: <https://www.a3.energy/products-bottom/ohl-faultlocator/lodestar-cl25-detail>. (дата звернення:10.11.2019)

17. Черемисин Н.М., Зубко В.М., Коробка В.А. Повышение эффективности эксплуатации электрических линий с изолированной нейтралью за счёт мониторинга аварийных ситуаций. *Енергетика та електрифікація*. 2009. №4. С.46-53.

18. Устройство для определения местоположения и вида повреждений воздушной линии электропередач. пат. 126144, 2013.

19. Patent US 2014/077820 A1 GSM/GPRS based method, system and computer programs to determine and locate high impedance faults on medium voltage distribution networks in high resistivity. URL: <https://patents.google.com/patent/US20140077820A1/en?q=US+2014%2f077820+A1>

20. Patent US 2007/059986 A1, Communicating faulted circuit indicator apparatus and method of use thereof <https://patents.google.com/patent/US20070059986A1/en?q=US+2007%2f059986+A1>

21. Бернас С., Цек З. Математические модели элементов электроэнергетических систем. Москва: Энергоатомиздат, 1982. 312 с.
22. Кутин В. М Брейтбурд В. И. Диагностирование электрооборудования электрических систем: учеб. Пособие. Киев: УМК ВО, 1991. 104 с.
23. СОУ-Н МПЕ40.1.20.563:2004. Ликвидации аварий и технологических нарушений режима на энергопредприятиях и в энергообъединениях, 2005 г.
24. Кутин В.М., Пискаряков П.К. Поиск повреждений в распределительных электрических сетях. Київ: Техніка, 1994. 138 с.
25. Шнеерсон Э. М. Дистанционные защиты. Москва: Энергоатомиздат, 1989. 446 с.
26. Кутін В. М., Кутіна М. В., Пасічник Я. С. Автоматизація процесу пошуку місця пошкодження в розподільних мережах напругою 6-35 кВ. *LI Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2022), Вінниця, 30-31 травня 2022 р. 2022.* URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2022/paper/view/15106/12738>.
27. Тарифи на електроенергію для споживачів ПАТ "Вінницяобленерго" . - URL: [http://www.hoe.com.ua/index\\_21.html](http://www.hoe.com.ua/index_21.html)
28. Кобилянський О. В., Терещенко О. П. Методичні вказівки относительно опрацювання розділу "Охорона праці" в дипломних проектах и роботах студентів електротехнічних спеціальностей / Уклад. В.: ВНТУ, 2003. 46 с.
29. ГОСТ 12.0.003 - 74. Система стандартів безпеки праці. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори.
30. ГОСТ 12.1.030-81. Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення.

Додаток А  
(обов'язковий)

## **ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОШУКУ ПОШКОДЖЕНЬ В РОЗПОДІЛЬНИХ  
МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 10 КВ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Зав. кафедри ЕСЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.  
“    ” \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

до магістерської кваліфікаційної роботи  
на тему:

«Автоматизація пошуку пошкоджень в розподільних мережах напругою 10 кВ»

08-23.МКР.007.01.22ТЗ

Науковий керівник:

к.т.н., доц. Кутіна М. В. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Виконавець: студент гр. ЕСЕ - 20мз

Пасічник Я. С \_\_\_\_\_  
(підпис)

Вінниця 2022 р.

## 1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ р.

Дата початку роботи \_\_\_\_\_ р.

Дата закінчення роботи \_\_\_\_\_ р.

## 2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

а) *мета* – підвищення надійності РМ, шляхом автоматизації процесу пошуку пошкодження пошкоджень в повітряних розподільних мережах напругою 10 кВ;

б) *призначення розробки* – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

в) *вихідні дані для виконання МКР:*

відомості про конструкцію та режими роботи систем розподілу; відомості про види пошкоджень систем розподілу; відомості про методи і засоби пошуку пошкоджень систем розподілу; основні техніко-економічні показники.

## 3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

3.1 Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. Г.Л. Лисенко, А.Г. Буда, Р.Р. Обертюх. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 60 с,

3.2 Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. - X.: Міненерговугілля України, 2014.

3.3. Журахівський А.В. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матєєнко, О. Р. Пастух. – Київ. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с. – Бібліогр. : с. 450-452. ISBN 978-966-622-862-1

3.4 Устройства для определения мест повреждения на воздушных электрических линиях. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/ekspluat/406-ustrojstva-dlja-opredelenija-mest.html>.

3.5 Кутін, В. М. Методи та засоби пошуку пошкоджень в розподільних мережах з повітряними лініями електропередачі напругою 6–35 кВ : / В. М. Кутін, В. В. Луцяк. – Вінниця : монографія ВНТУ, 2011. – 160 с. ISBN 978-966-641-441-3

#### 4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Зміст етапу	Термін виконання	
	початок	кінець
4.1 Збір інформації, яка необхідна для дослідження		
4.2 Проведення дослідних розрахунків		
4.3 Розробка робочих креслень		
4.4 Написання розрахунково-пояснювальної записки і захист магістерської роботи		

#### 5. МАТЕРІАЛИ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстровані матеріали, анотація до МКР українською та іноземною мовою.

#### 6. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ МКР

Робота приймається на проміжних контрольних перевірках, попередньому захисті та захисті в ДЕК.

#### 7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

7.1 Дані про патентоспроможність

Не передбачається

#### 8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

Не передбачається

Додаток Б  
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ  
(КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ**

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОШУКУ ПОШКОДЖЕНЬ В РОЗПОДІЛЬНИХ  
МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 10 КВ



**ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Автоматизація пошуку пошкоджень в розподільних мережах напругою 10 кВ.

Тип роботи: магістерська дипломна робота  
(БДР, МКР)

Підрозділ: кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

факультет електроенергетики, електротехніки та електромеханіки  
(кафедра, факультет)

**Показники звіту подібності Unicheck**

Оригінальність 80,3% Схожість 19,7%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку \_\_\_\_\_ Лобода Ю.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи \_\_\_\_\_ Пасічник Я. С  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Кутіна М. В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Додаток В  
(обов'язковий)

## **ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ**

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОШУКУ ПОШКОДЖЕНЬ В РОЗПОДІЛЬНИХ  
МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 10 КВ

# «Автоматизація пошуку пошкоджень в розподільних мережах напругою 10 кВ»

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕСЕ-20мз  
спеціальності 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка  
Пасічник Я. С.

Керівник к.т.н., Кутіна М. В.

1

Актуальність теми. Забезпечення електропостачання споживачів у відповідності до заданої надійності є одною із основних задач на всіх стадіях створення і функціонування системи електропостачання (СЕП) — при проектуванні, будівництві і експлуатації електричних мереж і її елементів.

Більшість споживачів отримує живлення через РМ 10 кВ, які мають меншу надійність, ніж мережі більш високих класів напруги. Тому більша частина перерв електропостачання споживачів по кількості і тривалості відбувається при пошкодженні елементів цих мереж. Розподільчі мережі напругою 10 кВ мають специфічні особливості у порівнянні з мережами більш високої напруги, які майже виключають можливість використання для них методів визначення місць пошкодження (ВМП), які використовуються в мережах більш високої напруги. Розподільчі мережі працюють в режимі ізольованої чи компенсованої нейтралі мережі, мають складну деревоподібну конфігурацію, часто секціонуються за допомогою роз'єднувачів чи вимикачів навантаження. Струми замикання на землю відносно невеликі і визначаються не відстанню до місця замикання, а ємнісною провідністю фаз мережі відносно землі і величиною опору в місці замикання. Основним видом пошкодження в РМ є однофазне замикання на землю (ОЗЗ).

Визначення місць пошкодження в повітряних лініях електропередач напругою 10 кВ — це складна, довготривала технологічна операція, яка стала повсякденною оперативною задачею диспетчерських служб електричних мереж і систем.

На сьогоднішній день в повітряних РМ використовуються методи ВМП, які по алгоритму функціонування можна розділити на дистанційні, топографічні і методи послідовного ділення мережі.

Дистанційні методи використовуються для визначення відстані до місця міжфазного КЗ. Вони мають низьку точність вимірювання і складну апаратну реалізацію. Топографічні методи використовують послідовний обхід мережі, не чуттєві до міжфазних КЗ в кінці лінії і не ефективні при пошуку ОЗЗ на ранній стадії його розвитку. Методи послідовного ділення мережі дозволяють виділити лише пошкоджену ділянку мережі і потребують великого об'єму попередніх обчислень для розрахунку оптимальної послідовності перевірок.

Таким чином, підвищення надійності РМ, шляхом автоматизації процесу пошуку пошкодження, залишається актуальним питанням і на сьогоднішній день.

2

Метою роботи є підвищення надійності РМ, шляхом автоматизації процесу пошуку пошкоджень в повітряних розподільних мережах напругою 10 кВ.

Об'єктом дослідження є розподільні електричні мережі напругою 10 кВ.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизованого пошуку місця пошкодження в РЕМ 10 кВ.

Для досягнення поставленої мети у роботі будуть розв'язані наступні задачі:

- аналіз об'єкта дослідження;
- аналіз існуючих засобів та методів пошуку місця пошкодження РЕМ 10 кВ та процес їх автоматизації;
- автоматизація оптимального алгоритму пошуку місця пошкодження РЕМ 10 кВ.

3

#### Додаток Б – Аналіз існуючих методів пошуку пошкоджень

##### Аналіз існуючих засобів захисту від аварійних режимів роботи РЕМ

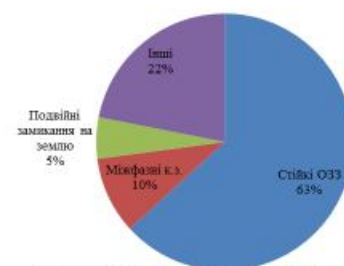
###### Захист від несиметричних режимів роботи РЕМ

Типи	Недоліки
Двоступеневий максимальний струмовий захист	Не забезпечують необхідну чутливість до обриву проводу в ПЛЕП 6-35кВ.
Струмова відсічка	
Максимальний струмовий захист зворотної послідовності	
Микропроцесорні захисти від несиметричних режимів роботи	Не розрізняє обрив фази і міжфазне к.з.

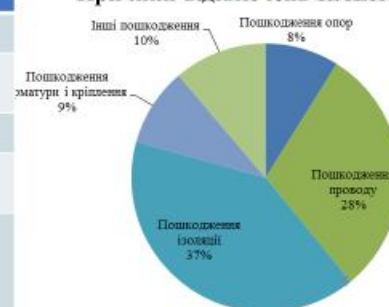
###### Захист від ОЗЗ

Параметри спрацювання	Недоліки
Реагує на знеструмлення пошкодженої фази	Має обмежене застосування для мереж, які не мають відгалуження.
Реагує на напругу нульової послідовності	Необхідна чутливість забезпечена при значеннях опору шунтувального зв'язку, який не перевищує 1кОМ (30%).
Реагує на струм нульової послідовності	Не забезпечує необхідної чутливості через складність відлаштування від ємнісних струмів.
Реагує на вищі гармоніки в струмі нульової послідовності	Хибні спрацювання або відмова в спрацюванні через складності вибору уставки спрацювання захисту.
Реагує на початковий знак потужності нульової послідовності перехідного процесу	Не знайшли застосування в РЕМ через конструктивної складності, нестабільності процесів при замиканні на землю і зміні конфігурації мережі і режиму навантаження в процесі експлуатації

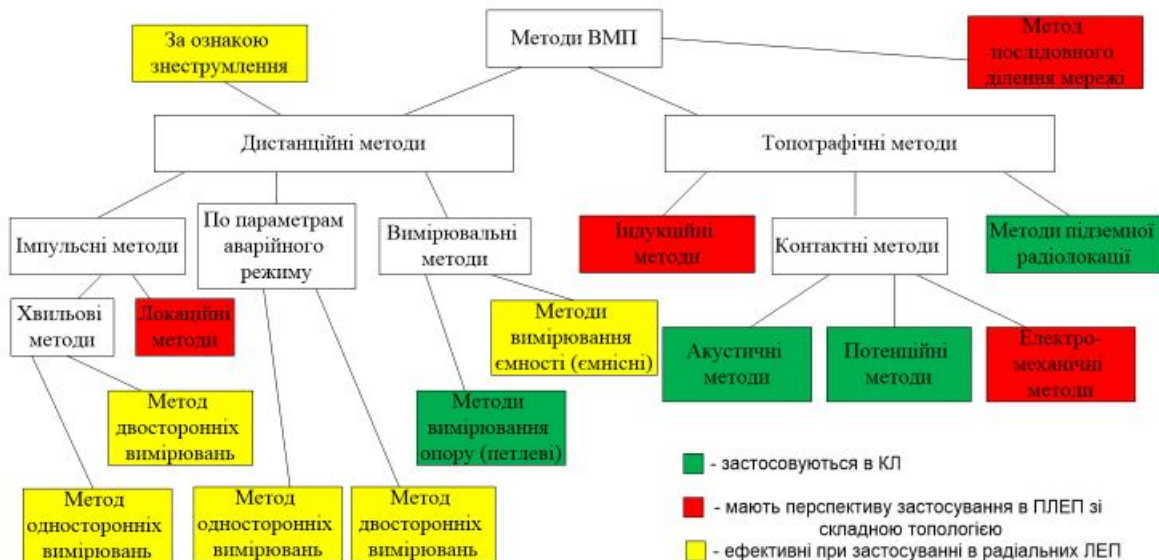
##### Аварійні режими роботи РЕМ



##### Причини відключень ПЛЕП 10 кВ

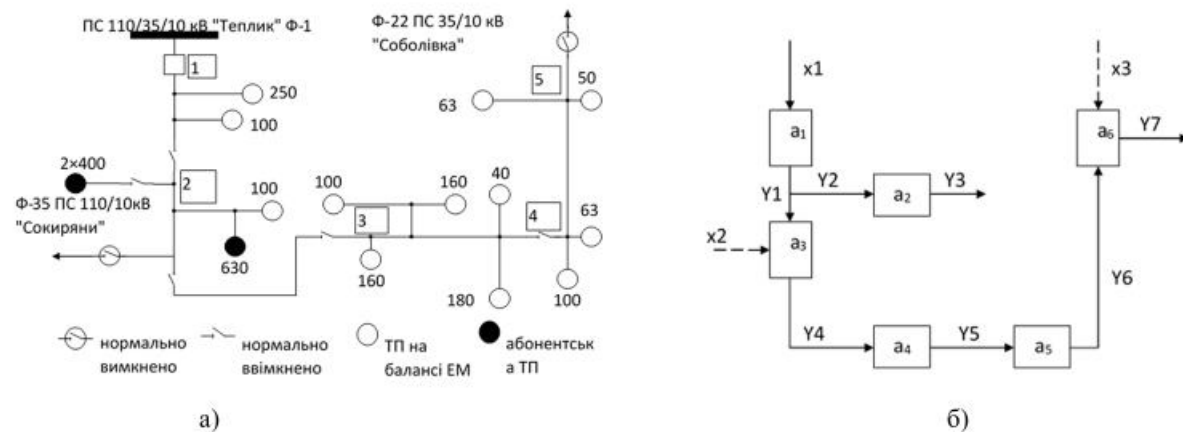


### Аналіз існуючих методів і засобів ВМП в РМ



5

### ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ПОСЛІДОВОГО ДІЛЕННЯ МЕРЕЖІ ПРИ ПОШУКУ ПОШКОДЖЕННЯ В ПОВІТРЯНИХ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 6-10 КВ



Заступна схема РМ а) однолінійна; б) функціональна модель РМ

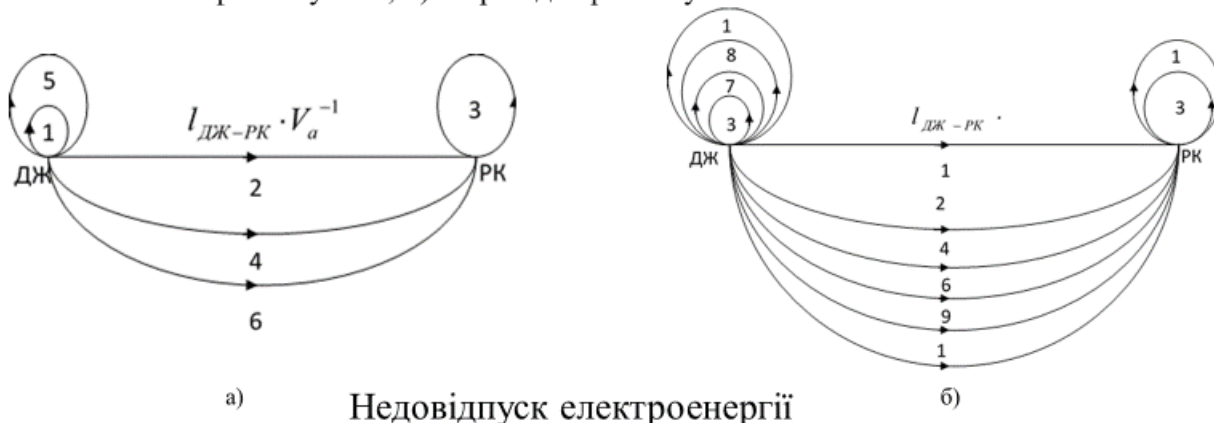
Критерії оптимальності

$$W = \sum_{j=1}^n W_j = \sum_{j=1}^n t P_{omj} \rightarrow \min$$

$$t = \sum_{j=1}^n t_j \rightarrow \min$$

6

Діаграма послідовності операцій при пошуку пошкодженої ділянки: а) – при міжфазному к. з.; б) – при однофазному замиканні на землю

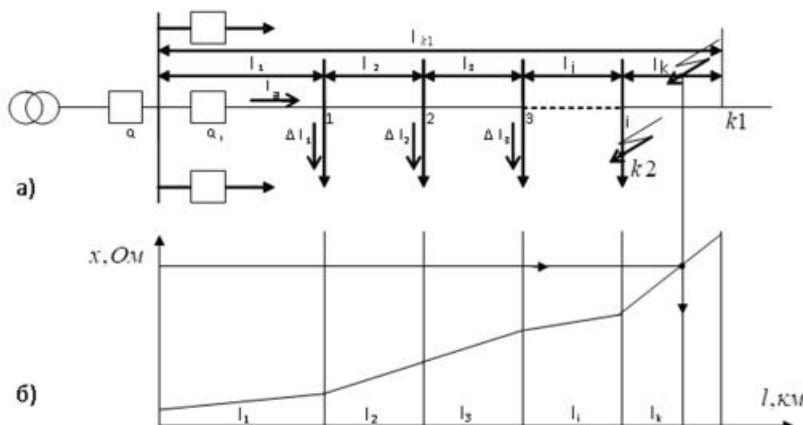


$$W_j = t_{\text{ПД}ij} \cdot \sum_{i=1}^n P_{om\ i};$$

$$t_{\text{ПД}ij} = (I_{\text{ДЖ-Р}j} / V_a + k_{on} t_{on} + k_c t_c)$$

де  $k_{on}, k_c$  – відповідно кількість в здійснених комутаційних операцій та операцій зв'язку ОВБ з черговим диспетчером.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ДИСТАНЦІЙНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ В МЕРЕЖАХ 6-35 КВ



Розрахункова схема мережі: а) схема мережі; б) залежність  $x^T = F(l)$

Використаємо наступний алгоритм з метою визначення місця пошкодження:

1. Здійснюється попередній розрахунок параметрів ЛЕП з урахуванням конструктивної неоднорідності та з розрахунком навантажень для ТП 6-10/0,4 кВ  $\Delta I_i$ ;
2. Розраховується індуктивний опір до місця виникнення пошкодження з фіксацією параметрів нормального та аварійного режимів, відповідно до (слайд 8)

$$x^B = \frac{U_p}{I_a} - \frac{\sum_{i=1}^n \Delta I_i^* \cdot x_{ki}}{I_a}; \quad (1)$$

де  $i$  – номер ділянки;  $x_n$  – опір від місця к.з. до початку  $i$ -ої ділянки;  $I_a$  – струм аварійного режиму виміряний на початку лінії;  $\Delta I_i^*$  – струм навантаження  $i$ -ої ділянки, що розраховується з урахуванням виміряного струму навантаження в перед аварійному режимі  $I_n$ , та на основі прогнозу;  $I_n^P = \sum_{i=1}^n \Delta I_i$  – розраховане значення струму навантаження, що являє собою суму навантажень окремих ТП 6-10/0,4 кВ  $\Delta I_i$ ;

$\frac{I_n^B}{I_n^P} = f$  – коефіцієнт корегування розподілу навантаження вздовж магістральної лінії з урахуванням виміряного значення струму к.з. на початку лінії  $I_n^B$ , тоді  $\Delta I_i^* = f \cdot \Delta I_i$ .

3. Визначаємо дійсне значення для опору до місця виникнення пошкодження  $x^D$  за співвідношенням

$$x^D = x^B + \frac{\sum_{i=1}^n \Delta I_i^* \cdot x_{ki}}{I_a} = x_{n1} \cdot l_1 + x_{n2} \cdot l_2 + \dots + x_{nm} \cdot l_m + x_{nk} \cdot l_k. \quad (2)$$

у відповідності до слайду 8, з врахуванням виміряного значення та розрахункового.

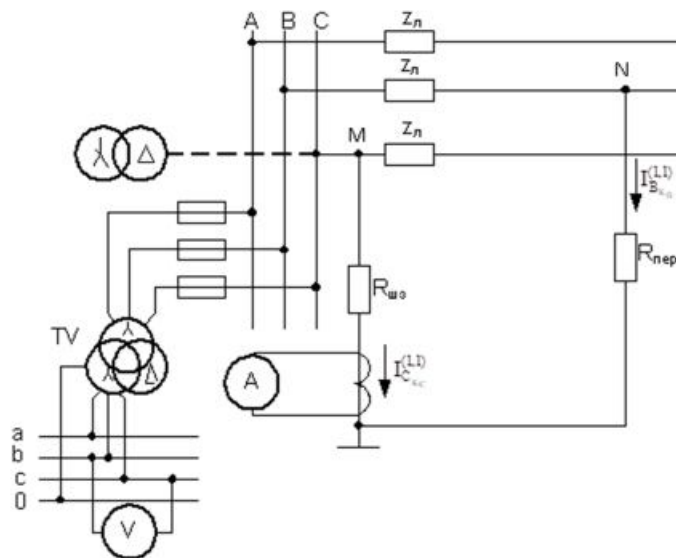
4. Виходячи з раніше визначеної залежності  $x^D = F(I)$  (слайд 8), що враховує конструктивну неоднорідність остаточно визначають відстань до місця к.з..

Порівняльний аналіз дистанційних методів визначення відстані до місця міжфазного короткого замикання

Ділянка	L, км	U <sub>p</sub> , В	I <sub>кз</sub> , А	L, км за методом 1	L, км за методом 2
100_1	0,23	192,2	1176,98	0,556	0,556
1_2	0,75	308,39	1149,98	0,912	0,864
2_8	0,98	400,37	1126,62	1,179	1,046
8_9	1,385	559,17	1104,42	1,668	1,502
9_11	1,625	652,03	1089,9	1,954	1,733
11_12	2,137	844,56	1059,27	2,549	2,348
12_14	2,357	926,43	1048,22	2,811	2,535
14_16	2,492	976,26	1039,8	2,961	2,679
16_19	2,797	1086,88	1021,55	3,287	3,046
19_20	3,087	1190,80	1009,49	3,636	3,372
20_21	3,347	1282,73	996	3,910	3,670
21_22	3,867	1462,69	974,86	4,519	4,287
22_23	3,927	1483,33	968,66	4,485	4,330
23_25	4,067	1531,18	962,96	4,628	4,497
25_27	4,302	1610,78	954,03	4,884	4,775
2_3	0,925	376,17	1091,01	0,996	0,977
3_5	1,14	458,67	1080,99	1,223	1,202
16_17	2,617	1021,42	1017,45	2,887	2,835
22_30	4,292	1606,69	954,39	4,870	4,766
30_32	5,047	1855,48	928,20	5,774	5,665
32_34	5,927	2136,42	899,32	6,836	6,727

$$\zeta \cdot l_{II} = \sqrt{\left(\frac{\partial x^D}{\partial U_p} \cdot \frac{dU_p}{x}\right)^2 + \left(\frac{\partial x^D}{\partial I_a} \cdot \frac{dI_a}{x}\right)^2 + \left(\frac{\partial x^D}{\partial x_{ki}} \cdot \frac{dx_{ki}}{x}\right)^2 + \left(\frac{\partial x^D}{\partial I_a} \cdot \frac{dI_a}{x}\right)^2} = \sqrt{\zeta_{U_p}^2 + \zeta_{I_a}^2 + \zeta_{x_{ki}}^2 + \zeta_{I_a}^2}$$

Розрахункова схема для визначення струму подвійного замикання на землю



11

$$\text{Напряга петлі прямого замикання на землю } \dot{U}_{BC}^{(1,1)} = (z_{Л0} + R_{пер})\dot{I}_{B0}^{(1,1)} + (z_{Л1} + R_{пер})2\dot{I}_{B0}^{(1,1)} - 3R_{ш.з}\dot{I}_{0k_c}^{(1,1)}, \quad (1)$$

де  $z_{Л0}$ ,  $z_{Л1}$  – опори мереж до місця ОЗЗ відповідно струму нульової і прямої послідовності;  $R_{пер}$  – перехідний опір в місці замикання на землю;  $R_{ш.з}$  – опір в місці шунтувального замикання на землю.

Тоді

$$\dot{I}_{0k_B}^{(1,1)} = -\dot{I}_{Ck_C}^{(1,1)} = \frac{\dot{U}_{BC}^{(1,1)}}{z_{Л0} + 2z_{Л1} + 3(R_{пер} + R_{ш.з})}$$

Повний опір до місця однофазного замикання на землю

$$z_{3кБ}^{(1)} = \frac{\dot{U}_{BC}^{(1,1)}}{\dot{I}_{0k_C}^{(1,1)}} = z_{Л0} + 2z_{Л1} + 3(R_{пер} + R_{ш.з}),$$

її реактивна складова  $x_{3кБ}^{(1)} = 2x_{Л1} + x_0$ .

При середніх значеннях параметрів мережі без тросів

$$x_0 = 3,5x_1; \quad x_L = 1,83x_1. \quad (2)$$

З урахуванням того, що  $x_L = x_n \ell_z^{(1)}$  і співвідношення (2) можна визначити відстань до місця ОЗЗ як  $\ell_{3кБ}^{(1)} = 0,332 \frac{x_{3кБ}^{(1)}}{x_{Л1}}$ .

Опори ємності фаз мережі відносно землі і дугогасникових реакторів на декілька порядків більші від опору дроту мережі, тому для визначення струму подвійного замикання не враховуються.

Для визначення граничної відносної похибки  $\varepsilon_{L_3}^{(1)}$ , рівняння (7.21) представимо в загальному вигляді

$$I_3^{(1)} = k_p \frac{U_p^{(1,1)}}{I_B^{(1,1)} x_n},$$

де  $k_p = 0,332$ ;  $U_p^{(1,1)}$  – виміряна реактивна напруга петлі подвійного замикання на землю;  $I_B^{(1,1)}$  – виміряна величина струму в резисторі  $R_{ш.з}$



**Порівняльний аналіз дистанційних методів визначення відстані до місця однофазного  
замикання на землю**

Ділянка	L, км	U <sub>p</sub> , В	I <sub>к</sub> , А	L, км за методом [5,6]	L, км за методом послідовного аналізу
100_1	0,23	52,71	342,10	0,35	0,30
1_2	0,75	167,95	334,23	0,86	0,82
2_8	0,98	205,40	312,82	1,09	0,99
8_9	1,385	281,35	303,20	1,52	1,45
9_11	1,625	320,93	294,77	1,87	1,75
11_12	2,137	394,81	275,75	2,28	2,29
12_14	2,357	427,40	270,65	2,45	2,38
14_16	2,492	441,29	264,30	2,65	2,57
16_19	2,797	469,17	250,35	2,86	2,80
19_20	3,087	511,01	247,07	3,24	3,15
20_21	3,347	533,27	237,80	3,53	3,44
21_22	3,867	597,52	230,62	3,98	3,9
22_23	3,927	577,20	219,37	4,08	3,98
23_25	4,067	589,92	216,49	4,26	4,19
25_27	4,302	614,77	213,29	4,54	4,43
2_3	0,925	144,06	232,45	1,20	0,98
3_5	1,14	176,05	230,49	1,36	1,18
16_17	2,617	387,26	220,86	2,86	2,78
22_30	4,292	613,49	213,34	4,58	4,42
30_32	5,047	706,54	208,94	5,47	5,34
32_34	5,927	808,28	203,54	6,42	6,32

### ВИСНОВКИ

В роботі запропоновано методику, що передбачає пошук пошкодженої ділянки методом послідовного ділення мережі. Цей метод заснований на використанні статичних та динамічних характеристик об'єкту. Це забезпечує вибір найкращої стратегії пошуку для кожного з існуючих видів пошкодження, методів пошуку і засобів контролю. Запропонована методика є сукупністю оптимізованих алгоритмів, які для кожної лінії розраховуються заздалегідь з використанням ЕОМ. Залежно від параметрів СЕП застосування МПДМ для пошуку пошкодження зменшує недовідпуск електроенергії споживачам на 8-70 %, а час пошуку тпошкодження до 1,5 раза та дозволяє підвищити безпеку та ефективність експлуатації РМ, надійність роботи та зменшити частоту відмов, що в свою чергу скоротить час існування аварійних режимів.

Розроблена система пошуку місць пошкоджень. Показано, що система для дистанційного визначення відстані до місця пошкодження (міжфазного к. з. та ОЗЗ) за умов використання обраної елементної бази забезпечує похибку, що не перевищує 6% від загальної довжини ПЛЕП.

В магістерській кваліфікаційній роботі проведено аналіз існуючих методів та засобів пошуку пошкоджень в розподільних мережах напругою 6-10 кВ. Вдосконалено метод, що застосовується для визначення відстані до місця ОЗЗ. Цей метод передбачає послідовний аналіз нормального та аварійного режимів роботи, при безперервному контролі активного опіру ізоляції мережі відносно землі. У випадку досягненні ним граничного значення, можна визначити пошкоджену фазу, шляхом штучного короткочасного замикання непошкодженої фази. При цьому фіксують струм аварійного режиму сумісно с реактивною складовою напруги петлі подвійного замикання на землю. В результаті виконання описаних вище дій розраховують відстань до місця ОЗЗ, це дозволяє визначити місце пошкодження при замиканні через великий перехідний опір (спікання землі біля опори чи обрив проводу) та автоматизувати такий процес.