

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:

«ОБҐРУНТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ
МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ В ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ ПІДСТАНЦІЙ ПС 35/10
кВ»

Виконав: студент 4 курсу

групи Ен-41 спеціальності

141 „Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка”

(шифр і назва спеціальності)

_____ Возьний Р. Я.

Керівник: _____ Коробка С. В.

Рецензент: _____

ДУБЛЯНИ 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
(вч. звання, прізвище, ініціали)

" ____ " _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Возьному Роману Ярославовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: "Обґрунтування та аналіз підвищення точності визначення місця пошкодження в повітряних лініях підстанцій ПС 35/10 кВ"

керівник роботи: к.т.н., доцент Коробка С. В.
(наук. ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП 641/к-с 27.11.2023 р.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

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

Вступ

4.1. Характеристика стану повітряних ЛЕП за кліматичних умов.

4.2. Характеристика об'єкта дослідження електричних мереж напругою ПС 35/10 кВ.

4.3. Розробка засобів визначення місць пошкодження ЛЕП локаційним методом та доцільність його використання.

4.4. Охорона праці та довкілля.

4.5. Обґрунтування ефективності використання засобів визначення місць пошкодження ЛЕП локаційним методом та доцільність їх використання.

Висновки і пропозиції

Перелік джерел посилання



5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових кресл).
Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	<i>Городецький І. М. к.т.н., доцент</i>			

7. Дата видачі завдання: 04.03.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Характеристика стану повітряних ЛЕП за кліматичних умов.</i>	4.09.2023 – 22.01.2024	
2	<i>Характеристика об'єкта дослідження електричних мереж напругою ПС 35/10 кВ.</i>	23.01.2024 – 29.01.2024	
3	<i>Розробка засобів визначення місць пошкодження ЛЕП локаційним методом та доцільність їх використання.</i>	02.02.2024 – 13.02.2024	
4	<i>Охорона праці та довкілля.</i>	16.02.2024 – 23.02.2024	
5	<i>Обґрунтування ефективності використання засобів визначення місць пошкодження ЛЕП локаційним методом та доцільність його використання.</i>	26.02.2024 – 04.03.2024	
6	<i>Завершення оформлення ілюстративної частини роботи</i>	05.03.24 – 29.03.24	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	01.04.23 – 30.04.24	

Студент _____ Возьний Р. Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Коробка С. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 631.3.45.9

Возьний Р. Я. «Обґрунтування та аналіз підвищення точності визначення місця пошкодження в повітряних лініях підстанцій ПС 35/10 кВ». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024 р. 55 с. текстової частини, 8 таблиць, 17 рисунків, 26 джерел посилання.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення точності визначення місця пошкодження в повітряних лініях ПС 35/10 кВ, що забезпечить зменшення втрат електроенергії для систем електропостачання.

Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні **завдання**: необхідно провести критичний аналіз роботи повітряних ліній ПС 35/10 кВ; здійснити критичне дослідження того, як втрати електроенергії впливають на точності визначення місця пошкодження в повітряних лініях ПС 35/10 кВ; здійснити удосконалення можливості та майбутні напрямки для ефективності у напрямку сталого управління точності визначення місця пошкодження в повітряних лініях ПС 35/10 кВ; проаналізувати охорону праці та довкілля під час роботи повітряних ліній ПС 35/10 кВ;

Розташування пошкоджень на повітряних лініях електропередачі з максимально можливою точністю може зменшити час на пошук несправностей. Проведено ряд відомих математичних прийомів заснованих на різних фізичних принципах, які використовуються для визначення пошкоджень на повітряних лініях електропередач, а саме методи, засновані на оцінці параметрів аварійного стану, що називаються методами відстані до несправності. Обґрунтовано фактори, що суттєво впливають на похибку локалізації пошкоджень на повітряних лініях електропередачі аварійно параметрами стану проектування, виготовлення та експлуатації.

Ключові слова: вимірювання, міст постійного струму, “Петля Муррея” та “Петля Варлея”, лінія електропередач.

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНУ ПОВІТРЯНИХ ЛЕП ПС 35/10 кВ.....	7
1.1 Визначення місця пошкодження в електрообладнанні мереж 35-10-6 кВ аналітичним методом на основі матричних рівнянь 3-го ступеня по відношенню до напруг.....	7
1.2 Оцінка ризику пошкодження повітряних ліній 35/10 кВ завдяки вітру	8
1.3 Оцінка похибки визначення місця пошкодження на повітряних лініях електропередачі за параметрами аварійного стану за допомогою аналітичної методики.....	12
1.4 Обґрунтування актуальності теми роботи.....	14
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ-ПЕРЕДУМОВИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ В ЕЛЕКТРООБЛАДНАННІ МЕРЕЖ 35/10 кВ.....	16
2.1 Матеріали та методи визначення місця пошкодження в електрообладнанні мереж 35/10 кВ аналітичним методом на основі матричних рівнянь 3-го ступеня по відношенню до напруг.....	16
2.2 Огляд техніки повітряні лінії електропередач місця несправності за параметрами аварійного стану.....	18
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ПОХИБКИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ НА ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ ЗА ПАРАМЕТРАМИ АВАРІЙНОГО СТАНУ ЗА ДОПОМОГОЮ АНАЛІТИЧНОЇ МЕТОДИКИ.....	23
3.1 Прийоми оцінки похибки OPL FL на основі похибок параметрів Входить у вираз для обчислення відстані до місця пошкодження OPL FL або ПС 35/10 кВ.....	23
3.2 Аналіз помилок з використанням параметрів розподілу помилок PL FL розподіл помилок.....	27
3.3 Приблизний розрахунок очікуваного значення та дисперсії у визначенні відстані до несправності на OPL.....	30
3.4 Результати статистичних аналітичних розрахунків похибок PL FL.....	32
3.5 Обговорення запропонованої аналітичної методики для оцінки похибки OPL FL.....	35
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ.....	36
4.1 Організація роботи служби з охорони праці та довкілля.....	36
4.2 Протипожежна безпека і грозозахист.....	37
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ ПОШКОДЖЕННЯ ПС 35/10 кВ ЛОКАЦІЙНИМ МЕТОДОМ.....	39
5.1 Обґрунтування методів і засобів пошуку пошкодження в розподільних мережах з повітряними лініями електропередачі ПС 35/10 кВ.....	39
5.2 Міст постійного струму Р-333 приладу РЕЙС-105Р.....	40
5.3 Сукупний метод вимірювання опору ліній електропередач ПС 35/10 кВ.....	43
5.4 Розрахунок віддалі до місця пошкодження ПС 35/10 кВ.....	46
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	52
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	53

ВСТУП

Розташування пошкоджень на повітряних лініях електропередачі з максимальною можливою точністю може зменшити час на пошук несправностей. Це сприяє забезпеченню стабільності енергосистем, а також надійність електропостачання споживачів. Існує ряд відомих математичних прийомів засновані на різних фізичних принципах, які використовуються для визначення пошкоджень на повітряних лініях електропередачі чиї помилки різняться.

Під час визначення місця пошкодження на повітряних лініях електропередач використовуються методи, засновані на оцінці параметрів аварійного стану, які називаються методами відстані до несправності та широко поширені використовуються. Вони використовуються в цифрових релейних терміналах захисту та локаторах пошкоджень ліній електропередач.

Фактори, які суттєво впливають на похибку локалізації пошкоджень на повітряних лініях електропередачі аварійно параметрами стану є проектування, виготовлення та експлуатація.

Метою цієї роботи є аналіз існуючих методів та представити нову аналітичну техніку для оцінки похибок визначення місця пошкодження на повітряних лініях електропередачі з використанням параметрів аварійного стану.

Методика, розроблена в авторів дає можливість правильно врахувати сукупність випадкових факторів, у тому числі різноманітних похибок вимірювання струмів і напруг в аварійному стані, що мають суттєвий вплив про місце пошкодження на повітряних лініях електропередач. Методика дозволяє визначити більш точне місце несправності та розмір оглядової зони, яку необхідно зменшити час, необхідний для проведення аварійно-відновлювальних робіт. Запропонована методика може бути застосована в локаторі несправностей і цифрові релейні термінали захисту, які використовують, як односторонні, двосторонні, так і багато кінцеві зондування струмів і напруг в аварійному стані.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНУ ПОВІТРЯНИХ ЛЕП ПС 35/10 кВ

1.1 Визначення місця пошкодження в електрообладнанні мереж 35-10-6 кВ аналітичним методом на основі матричних рівнянь 3-го ступеня по відношенню до напруг

Визначення місця пошкодження (DDS) – справа складна, трудомістка, але дуже важлива завдання. Для високовольтних мереж напругою 110 кВ і вище вирішується за рахунок наявності ефективних приладів і методів визначення місця несправності. Для електричних мереж 6-10-35 кВ рішення задачі визначення в локалізації несправності ускладнюється тим, що розподільні мережі працюють з ізольованою нейтраллю і методи, застосовні до високовольтних мереж класу 35/10 кВ і вище є неефективними для цих мереж [1-4].

У високовольтних мережах найчастіше використовуваним пристроєм для визначення місця пошкодження є SIRIUS- 2-DDS [5]. Однак його ефективність низька для мереж напругою 6-10-35 кВ, де найбільш частими аварійними режимами (ЕМ) є однофазні замикання на землю, як і цей пристрій не може визначити.

Крім того, вартість SIRIUS досить висока. З усього цього воно впливає, що нові методи і прилади для визначення місця ДТП для потрібні розподільчі мережі, такі як описані в [6-7].

За кордоном проводились дослідження наступних методів визначення місця пошкодження:

- В аварійних режимах часто виникає дуга, для її гасіння в [8] регулюється використовується опір, а напруги і струми в координатах трьох симетричних компоненти використовуються для визначення місця несправності.

- Обладнання постійно зношується та старіє, тому в [9] пропонується використовувати інтелектуальна мережа, яка на основі аналізу попередніх подій повідомляє про можливе місце аварії.

- Індикатором виникнення пошкоджень можуть служити напруги у вузлах мережі, тому в [10] пропонується періодично вимірювати напруги, знаходити кореляцію між ними та визначити вузли, які, швидше за все, будуть пошкоджені.

- Часто короткі замикання в лініях виникають через високий опір, наприклад, під час проводу падає на гілки дерев, тому робота [11] присвячена вивченню коротких замикань через контактний опір і ОМП.

- Опис нових методів визначення місця пошкодження присвячено роботи [12], де аналізуються 3 методи: метод, заснований на вимірюванні імпедансу, метод біжучої хвилі та метод штучного інтелекту.

- Методи визначення місця пошкодження повинні імітувати навантаження, отже, в [13], моделі навантаження з опором, струмом, потужністю або статичними та динамічними характеристиками розглядаються, а також відзначається їх ефективність. Однак ці методи не дозволяють визначити місце появи всіх можливих аварійних режимів.

1.2 Оцінка ризику пошкодження повітряних ліній 35/10 кВ завдяки вітру

Електроенергія є основою функціонування сучасного суспільства. Доступ до електромереж визначає розвиток промисловості та місцевих громад, а отже також уможлиблює і осідання форм. У багатьох випадках електроенергія є єдиним системним енергоносієм. Тому у наш час дуже важливо підтримувати високі стандарти якості та безперервності енергії енергопостачання споживачів. Це можливо в разі правильного проектування, будівництва та експлуатація електромереж. На етапі проектування сітки найважливішим є питання оптимальний підбір конструкційних матеріалів і параметрів обладнання, забезпечення їх безвідмовна робота.

Правильна робота, у свою чергу, неможлива без глибоких знань краю законів і правил, що регламентують надійність енергетичного обладнання. Визначення відповідні методи операції можливі на основі багаторічних спостережень окремі одиниці енергетичного обладнання, в тому числі інтенсивність їх відмов. Такі дослідження дозволяють визначити причини несправностей, а також виявляють найслабші компоненти обладнання і найслабші блоки в електромережі. Незважаючи на численні дослідження та дослідження, Питання надійності енергетичного обладнання та систем досі не є до кінця усвідомленим. Далі аналіз і дослідження необхідні для розширення наших знань про механізми пошкодження – це у свою чергу, стане основою для розробки методів зниження частоти відмов в енергосистемах.

Про важливість проблеми свідчить значна кількість публікацій на тему цього предмета [1–7]. Визначення, введене в 1974 році в документі [8] і повторене в багатьох стандартизація Документи в усьому світі стверджують, що під надійністю слід розуміти здатність структур для виконання певної функції за певних умов і протягом певного періоду часу, не перевищуючи допустимих параметрів. У більшості тестів «специфічні умови» розглядаються, як постійні, припускаючи, що надійність є лише функцією часу. Це очевидно невірне припущення, оскільки час безпосередньо не впливає на надійність конструкцій. Здатність або нездатність структури виконувати конкретні завдання (функції) є результатом впливу різних внутрішніх і зовнішніх (екологічних) впливів. Ці експозиції змінюються часу, причому ці зміни є імовірнісними.

Ще одне спрощення, що веде до неправильного висновків дослідження є припущення про постійну стійкість випробуваних конструкцій та контакт. Тим часом через кумулятивний ефект експозицій і безперервної зміни умов роботи конструкції, її опір змінюється, а також є випадковим. Це тому важливо встановити залежність між момент ним опором (силою) структуру і експозицію одночасно.

У зв'язку з проблемою збору надійні емпіричних даних і трудомісткості цього виду дослідження – це питання зазвичай опускається в роботі при відмовах енергосистем і обладнання. Факторами, які мають великий вплив на збій енергосистем, є екологічні експозиції. Відомий їх вплив на експлуатаційні властивості конструкцій довгий час. Ще в 1950-х і 1960-х роках стандартизація діє на екологію У багатьох країнах було проведено тестування, щоб перевірити, чи здатна структура безперешкодно виконувати свої завдання, якщо виникнуть певні впливи навколишнього середовища з певною інтенсивністю і протягом певного періоду часу.

В даний час досліджень мало про вплив умов навколишнього середовища (наприклад, кліматичних умов) на роботу енергосистем у науково-технічній літературі [9,10]. Набагато частіше, вплив погоди на мінливість електричних навантажень [11] або виробництво енергії у відновлюваних джерелах (фотоелектричних та вітрових електростанціях) аналізується, наприклад, [12–15]. Якщо дослідження впливу факторів навколишнього середовища на відмову енергосистем є вже проведено, зазвичай беруться до уваги два аспекти: вплив температури і загальний вплив інших впливів навколишнього середовища [4, 8, 16, 17]. Тим часом, як статистика поломок енергетичного обладнання показує вплив таких факторів, як блискавка, вітер, вологість повітря, обмерзання та інші дуже високі. Тому необхідно проводити детально аналізує та самостійно досліджує вплив окремих факторів на виникнення пошкодження об'єктів електромережі. Серйозною проблемою, яка може виникнути в цьому випадку, є відсутність достовірних даних, на основі яких можна було б провести такий аналіз проводиться. В офіційній статистиці збоїв, яку ведуть розподільні компанії, фактор навколишнього середовища дуже рідко вказується, як причина пошкодження (за винятком блискавки, глазур і інші). Електромонтажники, які усувають несправності в електромережах, зазвичай не мають достатньо знань, щоб розпізнати механізм відмови пристрою. Тому дуже часто, вони вводять такі загадкові твердження, як «процеси старіння» або «причина невідома». причину пошкодження в звіті про несправність.

Це впливає з дослідження автора, заснованого на більше тисячі аварій повітряних ліній 35/10 кВ, що сталися в центральній Польщі (вітер зона W1). Слід підкреслити, що в кожному сумнівному випадку автор намагався перевірити причину пошкодження лінії. Лише в кількох випадках «Інше і невідомо», не вдалося однозначно визначити причину. Як статистика компаній, що розподіляють електроенергію, показують, що вітер є фактором, відповідальним майже за кожен п'яту аварія повітряної лінії 35/10 кВ. Чому це відбувається при ударі вітру кабелів і несучих конструкцій враховується при проектуванні ліній електропередач [18–21].

Потенційних причин може бути багато. Перш за все, швидкість вітру, яка передбачається для проекту розрахунки можуть бути занадто низькими, що занижує максимальне розрахункове значення сил що діє на структуру лінії. Крім того, під час роботи лінії можуть надто погано контролюватися, що може призвести до ситуації, коли невеликі механічні пошкодження (слабкі з'єднувачі або стяжки, зачищення дроту тощо) не виявлено в потрібний момент, за достатньо високої швидкості вітру викликати збій лінії. У такій ситуації вітер є лише фактором, що прискорює пошкодження. Там також існує ймовірність того, що офіційна статистика розподільних компаній не дуже надійна.

З метою визначення ризику пошкодження повітряних ліній 35/10 кВ вітром випадків були проведені тести на надійність.

Метою дослідження, результати якого представлені в роботі, була розробка математичну модель, що дозволяє точно оцінити ризик пошкодження 35/10 кВ лінії через зовнішні (навколишні) фактори, в даному випадку вітер. Ця модель базується на теорія ймовірностей і математична статистика. Загалом, його ідея полягає у визначенні ймовірність одночасного виникнення певної миттєвої сили (опору) а структуру існуючого впливу та певну миттєву цінність цього впливу. Ця проблема в кінцевому підсумку зводиться до аналізу форми і взаємного розташування щільності ймовірності розподіли цих двох випадкових змінних (міцність конструкції та значення впливу).

1.3 Оцінка похибки визначення місця пошкодження на повітряних лініях електропередачі за параметрами аварійного стану за допомогою аналітичної методики

Максимально точне визначення місця пошкодження (ПЛ) на повітряних лініях електропередачі (ПЛ), одне з ключових операційних завдань електроенергетики. Спосіб вирішення впливає на надійність роботи енергосистеми, включаючи збереження статичної та динамічної стійкості, а також забезпечення надійності електропостачання споживачів [1, 3]. Враховуючи недостатню кількість резервних ЛПЛ, а також пристрої для автоматичного включення резервного живлення розподільних мереж, питання скорочення часу на локалізацію несправності та аварійне відновлення особливо актуальною є операція на ЛПЛ [4,5]. Для вирішення вищезазначеної задачі використовується ряд математичних прийомів використовуються, які базуються на різних фізичних принципах, які потребують інформаційних баз даних та різноманітні за складністю розрахунки [6].

Тому дефектоскопи розроблені на їх основа відрізняється за похибкою, яка суттєво впливає на пройдено відстань частиною обхідного огляду ЛПЛ техніками під час пошуку фактичного місце несправності. З методів ФЛ, які базуються на оцінці параметрів аварійного стану, широко використовуються так звані методи «відстані до несправності» [7–9]. Як правило, вони є реалізовано в цифрових терміналах реле захисту OPL або в автономному пошкодженні PL локатори. Помилки односторонніх, двох та багатосторонніх методів OPL FL пов'язані з різні причини.

Більшість помилок є результатом прийнятого алгоритму OPL FL, його особливостей, і вирази, що використовуються для розрахунків [10,11].

Аналіз методичних та випадкових похибок методів OPL FL включає наступне:

- Визначення параметрів для калібрування локатора несправностей OPL на основі конкретних параметри та конфігурація OPL;

- Розрахунок параметрів струмів і напруг в передбачуваному місці установки локатора ПЛ при несправностях у різних точках ПЛ;
- Ідентифікація можливих місць несправностей ОРЛ за допомогою вибраного алгоритму ОРЛ FL і відповідні вирази, які використовуються для виконання обчислень;
- Визначення похибки розрахунку відстані до місця пошкодження ЛПЛ відповідно до обраного алгоритму локатора несправностей [12,13].

Нормативно-технічні документи підприємств електроенергетики встановлюють вимоги до визначення зони огляду ЛПЛ:

- $\pm 15\%$ від довжини ЛПЛ, якщо її протяжність до 50 км включно;
- $\pm 10\%$ від довжини ЛПЛ, якщо її довжина коливається від 50 до 100 км включно;
- $\pm 7\%$ від довжини ЛПЛ, якщо її довжина коливається від 100 до 300 км включно;
- $\pm 5\%$ довжини ЛПЛ, якщо її довжина становить 300 км і більше [14].

Отже, максимальна довжина інспекційної зони ОРЛ не повинна перевищувати зазначені значення. Техніки, після аварійного відключення ЛПЛ з несправністю автоматичного повторного вмикання, необхідно організувати перевірку мінімально можливого перерізу ОРЛ, яка залежить від точності прийнятих ОРЛ FL алгоритмів [15, 16]. Важливою особливістю експлуатованих на даний момент ЛПЛ є нерівномірність питомий опір уздовж ОРЛ, що обумовлено наступним:

- Використання різних типів опор на окремих ділянках ЛПЛ, що зумовлено, наприклад, зміни рельєфу траси ЛПЛ;
- Конвергенція в певних розділах даного ОРЛ з іншими ОРЛ, що працюють у спільному доступі коридори;
- Відсутність повітряного заземлення на окремих ділянках ПЛ (в окремих випадках, за конструктивним рішенням заземлювач використовується тільки на під'їздах до підстанцій в регіони з низькою грозовою активністю);

Таким чином, неврахування вищезазначених факторів може призвести до значних помилок у розрахунках. визначення відстані до місця пошкодження OPL. Інструменти моделювання широко використовуються в даний час для оцінки похибки алгоритму OPL FL і ритмів [21–23]. Зокрема, результати моделювання дають змогу виключити складові методичних похибок в алгоритмі розрахунку ОПЗ ФЛ, в т.ч. викликані нерівномірністю конкретних параметрів OPL, таким чином, значно підвищення точності розрахунку відстані до місця пошкодження [22]. Велика кількість результатів моделювання, а також статистичних даних, отриманих від електричних комунальних послуг, обґрунтувати доцільність застосування статистичних методів для оцінки похибки методик ОПЛ ФЛ. У [10] було б запропоновано використати пакет програм для реалізації статистичних перевірок алгоритми OPL FL. У результаті дослідження встановлені умови закономірності розподілу похибок визначення розташування до місця пошкодження ВПЛ з урахуванням імовірного зміна параметрів алгоритму розрахунку. Зазначалося, що розподіл помилок при обчисленні відстані до місця пошкодження ЛПЛ регулювалася нормально (Гаусів) закон. Як правило, електрогосподарства, які експлуатують повітряні ПЛ, не мають для цих можливостей провести моделювання, а також розширену статистичну обробку даних для обчислення та аналізу похибки методик OPL FL [24]. У цьому випадку слід використовувати аналітичні методи для оцінки похибок ПЛ, які значно менше обчислювальних і, отже, відмовитися від приблизних розрахунків «вручну». Метою роботи є аналіз існуючих методик аналітичного оцінювання помилок OPL FL за параметрами аварійного стану, а також представити нову методику розроблену авторами.

1.4. Обґрунтування актуальності теми роботи

Метою дослідження – підвищення точності визначення місця пошкодження в повітряних лініях ПС 35/10 кВ, що забезпечить зменшення втрат електроенергії для систем електропостачання.

Тому відповідно до поставленої мети сформульовано наступні завдання дослідження:

1. Необхідно провести критичний аналіз роботи повітряних лініях ПС 35/10 кВ.

2. Здійснити критичне дослідження того, як втрати електроенергії впливають на точності визначення місця пошкодження в повітряних лініях ПС 35/10 кВ.

3. Здійснити удосконалення можливості та майбутні напрямки для ефективності у напрямку сталого управління точності визначення місця пошкодження в повітряних лініях ПС 35/10 кВ.

4. Проаналізувати охорону праці та довкілля під час роботи повітряних лініях ПС 35/10 кВ.

5. Обґрунтування ефективності точності визначення місця пошкодження в повітряних лініях ПС 35/10 кВ.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ-ПЕРЕДУМОВИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ В ЕЛЕКТРООБЛАДНАННІ МЕРЕЖ 35/10 кВ

2.1 Матеріали та методи визначення місця пошкодження в електрообладнанні мереж 35/10 кВ аналітичним методом на основі матричних рівнянь 3-го ступеня по відношенню до напруг

З метою підвищення ефективності визначення місця пошкодження в цій роботі розроблено аналітичний метод на основі матричних рівнянь 3-го ступеня по відношенню до стресів. Розрахункова еквівалентна схема для лінії з пошкодженням посередині наведена на рис. 2.1.

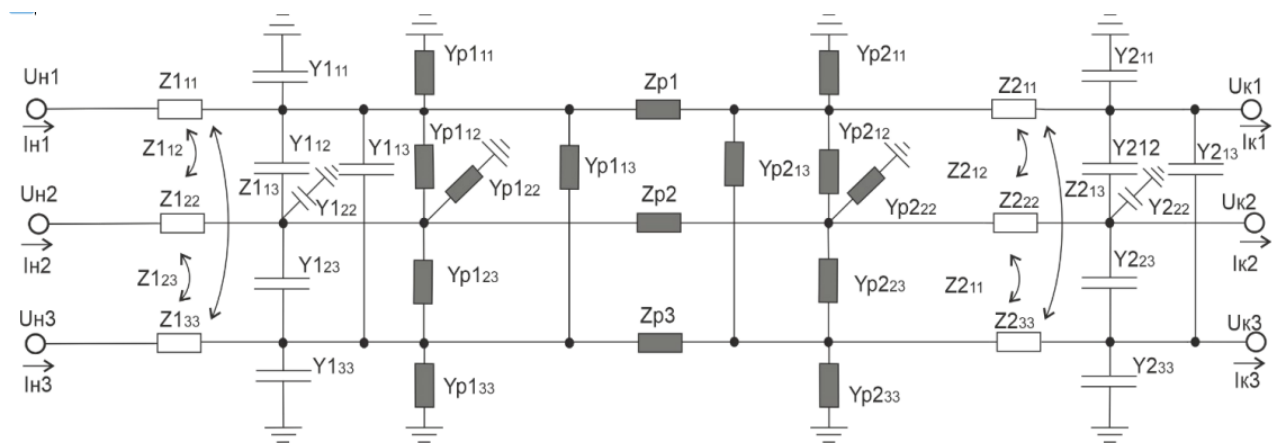


Рисунок 2.1 – Розрахункова еквівалентна схема для лінії з місцем пошкодження.

На рис. 2.1 показано: Z_1 , Z_2 , Y_1 , Y_2 – квадратні матриці поздовжніх опорів і поперечні провідності двох ділянок лінії; Z_p , Y_{p1} , Y_{p2} – квадратні матриці стійкості до пошкоджень і провідність; U_n , I_n , U_k , I_k – стовпці матриць напруг і струми на початку і в кінці лінії; I_p , I_2 – стовпці матриць струмів через опори Z_p і Z_2 . Запишемо вихідні матричні рівняння:

$$\begin{aligned}
 U_n - U_1 &= Z_1 \cdot I_n \\
 U_1 - U_2 &= Z_p \cdot I_p \\
 U_2 - U_k &= Z_2 \cdot I_2 \\
 I Y_1 &= Y_1 \cdot U_1 \\
 I Y_{p1} &= Y_{p1} \cdot U_1
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

$$I_{Yp2} = Y_{p2} \cdot U_2$$

$$I_{Y2} = Y_2 \cdot U_k$$

$$I_n = I_{Y1} + I_{Yp1} + I_p$$

$$I_p = I_{Yp2} + I_2$$

$$I_2 = I_{Y2} + I_k$$

З (2.1) отримуємо матричні рівняння для напружень на початку та в кінці прямої:

$$U_1 - Z_p \cdot I_p - Z_2 \cdot I_2 - U_k = 0 \quad (2.2)$$

Тому метод називається «за напругами». Для першої та другої ділянок лінії матриці опорів та провідностей дорівнюють:

$$Z_1 = R \cdot L + jX \cdot L$$

$$Y_1 = G \cdot L + jB \cdot L$$

$$Z_2 = R \cdot (LS - L) + jX \cdot (LS - L) \quad (2.3)$$

$$Y_2 = G \cdot (LS - L) + jB \cdot (LS - L)$$

де L – довжина лінії до пошкодження; LS – довжина всієї лінії; R , X – матриці активних та індуктивних лінійних опорів; G , B – активний і ємнісний матриці провідності лінії. Перетворивши (2.2) з урахуванням (2.3) за степенями L , отримаємо а матричне кубічне рівняння:

$$A U \cdot L^3 + B U \cdot L^2 + C U \cdot L + D U = 0 \quad (2.4)$$

Виділимо з (4) шуканий рядок: для фази А – 1; для фази Б – 2; для фази С – 3. Тоді отримуємо кубічні рівняння для відстані L до місця пошкодження:

- Для фази А:

$$A U_1 \cdot L^3 + B U_1 \cdot L^2 + C U_1 \cdot L + D U_1 = 0 \quad (2.5)$$

- Для фази В:

$$A U_2 \cdot L^3 + B U_2 \cdot L^2 + C U_2 \cdot L + D U_1 = 0 \quad (2.6)$$

- Для фази С:

$$A U_1 \cdot L^3 + B U_1 \cdot L^2 + C U_1 \cdot L + D U_1 = 0 \quad (2.7)$$

За рівнянням (2.5) можна визначити відстань L для всіх аварійних режимів з пошкодженою фазою А. Відповідно до (2.6) – з пошкодженою фазою В. Відповідно до (2.7) – з а пошкоджена фаза С. У (5) – (7) коефіцієнти AU , BV ,

CU, DU залежать від параметрів лінії, напруг і струмів на початку і в кінці лінії, а також від виду аварійного режиму. Тобто досліджуваний метод є дистанційним, з двостороннім вимірюванням, згідно з параметрами аварійного режиму, параметрами режиму є напруги і струми на початку і в кінці рядка. Вирази для коефіцієнтів AU, BU, CU, DU не даються, тому що вони громіздкі. Сам аварійний режим розраховувався методом фазових координат [14-16]. Раніше методи визначення місця пошкодження представлені в [17-18]. вивчав. Аналітичні методи представлені в [19-20]. Розроблена аналітична методика визначення місця пошкодження дійсна до теперішнього часу тільки для головних фідерів 6-10-35 кВ без відгалужень. Для вимірювань векторних діаграм напруг і струмів у квазістаціонарному режимі аварійний режим, необхідно використовувати пристрої, реалізовані, наприклад, в SIRIUS пристрій. Тобто вимірюються як модулі, так і фази напруг і струмів.

2.2 Огляд техніки повітряні лінії електропередач місця несправності за параметрами аварійного стану

Проаналізуємо методики ПЛЛ на основі вимірювання параметрів аварійного стану [25]. В одному дослідженні [2, 6] представлено метод OPL FL з асинхронними вимірюваннями з обидва його кінці, що мають довжину (L), омичний опір (R_{PL}) та індуктивний опір (X_{PL}), підключення двох систем електропостачання. Ця методика використовує результати вимірювань миттєві значення фазних струмів (i'_A, i'_B, i'_C), (i''_A, i''_B, i''_C) та напруг (u'_A, u'_B, u'_C), (u''_A, u''_B, u''_C) під час короткого замикання (КЗ) з двох кінців ЛПЛ (' – перший кінець; '' – другий кінець). На основі цих даних визначається відносна величина відстань до місця розташування СК n і фізична відстань від кінця OPL, що має індекс» відповідно до виразу $L' = n \cdot L$. При аналізі осцилограмм струмів і напруги, отримані з обох кінців OPL, вони вирівнюються вздовж лінії розрізу на момент запуску СК; вимірюються миттєві значення струмів i' і i'' та напруг u' і u'' несправної фази; обчислюються похідні струму за часом di'/dt та di''/dt і

після цього визначається відносне значення відстані до місця пошкодження за рівнянням (2.8):

$$n = \frac{(u' - u'') + R_{PL}i'' + X_{PL} \frac{di''}{dt}}{R_{PL}(i' + i'') + X_{PL} \left(\frac{di'}{dt} + \frac{di''}{dt} \right)}, \quad (2.8)$$

де n – відносне значення відстані до місця розташування КА; u' і u'' є миттєвими значення напруги, отримані з осцилограмм напруг несправної фази з першої а другі кінці ЛЕП, В; i' та i'' – миттєві значення струми, отримані з форм сигналів струмів пошкодженої фази від першої та іншої другі кінці ВПЛ, А; di'/dt і di''/dt – похідні струмів за часом, А/с; R_{PL} і X_{PL} – омичний опір та індуктивний опір фаз OPL, Ом.

Недоліком цього методу є те, що під час обробки не застосовується фільтрація миттєві значення струмів і напруг для зменшення впливу небажаних гармонік компонентів і шуму на точність OPL FL. При параметрах якості електроенергії (PQP) відхиляються від стандартних значень, фактичне місце несправності на OPL може бути за межами зона огляду PL. Крім того, ця методика дає велику похибку на OPL з нерівномірним розподілом питомого опору по лінії.

Інше дослідження [25] представило техніку адаптації дистанційного захисту та OPL FL, яка використовує математичну модель OPL. Методика використовує дані з вимірювання струмів замикання та напруги та робить прогнозні ітераційні розрахунки з моделлю OPL шляхом імітації несправностей у різних точках OPL. Це обчислює різниця у відстанях між змодельованим місцем пошкодження та місцем, визначеним запропонована методика OPL FL, на основі якої розраховуються поправочні коефіцієнти. Методика забезпечує факторізацію струмів і напруг на кінцях OPL отримані в результаті моделювання не тільки під час СК в різних точках ЛПЛ, а при різних відхиленнях PQP. Значення PQP визначаються за даними потужності прилади контролю якості, на основі яких розраховуються поправочні коефіцієнти для покращення точність OPL FL.

Мінусом цієї методики є, можна сказати, складність її реалізації – це вимагає великої кількості обчислювальних експериментів для кожної точки короткого замикання в OPL, кожен з яких має різне відхилення RQP, розрахунки коригувальних коефіцієнтів, ітераційні розрахунки за різних умов роботи ПЛЗ, збереження в ПЛ несправності локатор ряд складних залежностей похибок OPL FL від різних факторів тощо. Методика виявлення OPL FL за допомогою даних вимірювань. впевненості з двох його кінців, що дозволяє дослідникам обчислювати комплексні імпеданси прямої (індекс 1), зворотної (індекс 2) і нульової (індекс 0) послідовностей, тобто Z_{1PL} , Z_{2PL} , і Z_{0PL} .

У розрахунках використовуються дані про довжину ЛПЛ, L ; вимірні значення комплексних фазних струмів (I'_A , I'_B та I'_C), (I''_A , I''_B та I''_C); та комплексні фазні напруги (U'_A , U'_B та U'_C), (U''_A , U''_B та U''_C) основної частоти в момент СК від два кінці лінії (' – перший кінець OPL; ''—другий кінець OPL), несинхронізовані відносно кутів. На основі цих даних визначається методика розрахунку тип СК, відносне значення відстані до місця пошкодження (n) і фактична відстань до несправності, $LSC = n \cdot L$. Крім того, кут між відповідними напругами на кінців ЛПЛ вимірюється, наприклад, за допомогою GPS і векторів струмів а напруги на другому кінці додатково повертаються на вимірний таким чином кут. Це необхідні для перетворення фазних струмів і напруг в симетричні складові комплексні струми та напруги прямої, зворотної та нульової послідовності: (I'_1 , I'_2 та I'_0), (I''_1 , I''_2 та I''_0), (U'_1 , U'_2 , і U'_0), і (U''_1 , U''_2 , і U''_0). Після цього відносні відстані від кінців ЛПЛ до місця пошкодження визначаються рівняннями (2.9) і (2.10):

$$n'_0 = \frac{u''_0 - u'_0 + I''_0 Z_{OPL}}{(I''_0 + I'_0) Z_{OPL}}, \quad (2.9)$$

$$n''_0 = \frac{u'_0 - u''_0 + I'_0 Z_{OPL}}{(I'_0 + I''_0) Z_{OPL}}, \quad (2.10)$$

Істотним недоліком цієї методики є низька точність ПЛ ПЛ в при відхиленнях RQP від їх нормативних значень. Метод OPL FL, у якому фазні

струми та напруги вимірюються на обох кінцях OPL і потім перетворюються в обчислені комплексні значення, використовуючи наведені вище вирази. Після цього, використовуючи уявні частини з обчислених значень обчислюють відносну та фактичну відстані до місця пошкодження з обох кінців OPL. До переваг цієї техніки можна віднести те, що вона робить не використовувати еквівалентні параметри систем електропостачання, що немає впливу перехідний опір у місці пошкодження OPL. Недоліком методики є необхідність використання лише уявних компонентів розрахункових значень, що призводить до додаткової помилки в OPL FL через недостатню кількість врахованих параметрів.

Методика OPL FL, у якій необхідно використовувати тільки уявні компоненти розрахункових значень були виключені. Для цього кут між струмами на кінцях OPL було виміряно за допомогою цифрового зв'язку каналів або глобальної системи позиціонування (GPS). У першому випадку визначаються кути на основі синхронізованих за часом вибірок або шляхом безперервного обчислення часу сигналу прохід між двома вузлами диференціального захисту ПЛЗ.

В другому випадку імпульси синхронізації часу приймаються від приймачів сигналу GPS, далі фазні струми і напруги вимірюються на обох кінцях ПЛ, перетворюються в розрахункові комплексних значень згідно з виразами, наведеними вище і використовуючи повні обчислені значення, можна знайти відносні та фактичні відстані до місця несправності з обох кінців OPL. Переваги методики полягають у тому, що вона не покладається на еквівалентні параметри систем живлення і це усуває ефект перехідного опору на точки розлому OPL.

Недоліком методики є необхідність використання складного обладнання та алгоритми, такі як цифрові канали зв'язку між кінцями OPL, а також обладнання супутникової синхронізації часу. Кожна з розглянутих методик ПЛ ЛП за параметрами аварійного стану має свої помилка, значення якої залежить, як від похибок параметрів, що входять до розрахункові вирази, які

використовуються для обчислення відстані до місця розлому та різноманіття зовнішніх факторів.

Потенційна точність розрахунку відстані до місця пошкодження аварійним способом Параметри стану мають суттєві відмінності для кожного конкретного ОРЛ. Це залежить від статистики дані про похибки вимірювальних трансформаторів струму і напруги, особливості цифрових обробка сигналів струму і напруги в дефектоскопі ПЛ і точність уточнення значення параметрів ОРЛ, що аналізуються та їх фактичні значення, а також ряд інших факторів.

Представлена аналітична методика оцінки похибки ПЛ ЛП за аварійністю параметри стану дають змогу визначити місце несправності та розміри огляд області з більшою точністю, що необхідно для скорочення часу, необхідного для виконувати аварійно-відновлювальні роботи, з метою забезпечення стабільності енергосистем та надійність електропостачання споживачів.

Запропоновані математичні вирази мають велике практичне значення, тому що їх можна застосувати в локаторах несправностей ОРЛ і цифрових терміналах релейного захисту використовувати одностороннє, а також двостороннє та багатостороннє вимірювання струмів і напруг під час входу надзвичайний стан.

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ПОХИБКИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ НА ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ ЗА ПАРАМЕТРАМИ АВАРІЙНОГО СТАНУ ЗА ДОПОМОГОЮ АНАЛІТИЧНОЇ МЕТОДИКИ

3.1 Прийоми оцінки похибки OPL FL на основі похибок параметрів входить у вираз для обчислення відстані до місця пошкодження OPL FL або ПС 35/10 кВ

Ключові фактори, які мають значний вплив на помилку OPL FL, можуть бути умовними поділяються на три групи: проектування, виробництво та експлуатація [10].

Проектний фактор обумовлений методологічною помилкою прийнятої методики OPL FL, що виникають на етапі проектування локатора пошкоджень OPL, наприклад, через неможливість обліку або компенсації змінних, що впливають на результати розрахунку відстань до місця несправності.

Виробничий фактор пов'язаний зі специфікаціями локатора несправностей OPL та його належний стан. Коефіцієнт спрацьовування пов'язаний з помилками в налаштуванні параметрів OPL та/або систем електропостачання, а також до помилок у передачі даних, наприклад аварійний стан хвилі для техніків з ліній електропередач. Загалом залежно від наявності та точності необхідних вхідних даних для реалізації техніки OPL FL час її виконання може бути різним.

Фактичний час відновлення електропостачання споживачів, які не мають резервного від цього залежить живлення та живлення від несправної ПЛ [7]. Лінія електропередач техніків не можна відправляти для проведення аварійно-відновлювальних робіт на OPL до розрахунок не був виконаний і відстань до несправності по відношенню до одного з живлячі підстанції не визначено. Обидва місця прогулянки ділянка огляду та його довжина залежать від точності результатів розрахунку. Якщо розрахунок реалізований так, що він дає великі

помилки, період часу, який потрібно знайти несправність на OPL буде значною – у крайньому випадку, триватиме до цього моменту коли несправність виявлена візуальним оглядом.

З урахуванням розташування місця для входу спецтехніки на ЛПЛ наявність важкодоступних ділянок через природні (річки, болота, гори тощо) і техногенні (заповідні території підприємств, спеціальні промислові об'єкти тощо) фактори, час, необхідний для обхідного огляду OPL складним чином залежить від величини помилки OPL FL і є унікальним для кожен ПЛЗ та його ділянки [9].

У праці [7] було зазначено, що розрахунок відстані до місця пошкодження (x_f) ППЛ за параметрами аварійного стану (ПАП) визначається функціональним зв'язком наступну форму:

$$x_f = F(I_1, I_2, U_1, U_2, Z_{SP1}, Z_{MP2}, Z_{PL}, L \dots), \quad (3.1)$$

де I_1, I_2 та U_1, U_2 – струми та напруги на кінцях ПЛ; Z_{c1} і Z_{c2} – матриці власних імпедансів і взаємних імпедансів суміжних енергосистем; Z_{PL} – матриця комплексних опорів OPL; а L – довжина OPL. Якщо струми та напруги не вимірюються на обох кінцях ЛПЛ, а ЛПЛ має один або більше відгалужень або проміжних кабелів, тоді зв'язок (3.1) стане суттєвим складніше, і в багатьох випадках воно не матиме однозначного рішення. Важливо відзначити, що розрахункові вирази, подібні до (3.1), формуються за допомогою проектувальники локаторів несправностей OPL в припущенні, що умови абсолют симетрія і чиста синусоїда струмів і напруг, що відповідають промисловій частоті 50 Гц, справедливі для PL. У разі порушення просторової зв'язності сигналів струму та напруги під час двостороннього або багатостороннього OPL FL, викликаного, наприклад, відхиленням PQR, будуть додаткові помилки в розрахунках відстані до несправності, які не враховуються в рамках аналітичних розрахунків [4].

Таким чином, кожен алгоритм OPL FL має свою специфічну стійкість до порушень просторової когерентності струмів і напруг, а також конкретну залежність похибок розрахунків відстаней до місця пошкодження від

використовуваного розрахункового виразу. На основі прийнятої методики, умов експлуатації та параметрів ЛПЛ ЛП OPL формується розрахунковий вираз, що відповідає (2.1), який включає в себе значення, що використовуються в розрахунках відстані до місця пошкодження. Для рівняння (3.1) існує також відносини:

$$\Delta x_f = F(\Delta I_1, \Delta I_2, \Delta U_1, \Delta U_2, \Delta Z_{S_{I1}}, \Delta Z_{M_{I2}}, \Delta Z_{PL}, \Delta L \dots), \quad (3.2)$$

де $\Delta I_1, \Delta I_2, \Delta U_1, \Delta U_2, \Delta Z_{S_{I1}}, \Delta Z_{M_{I2}}, \Delta Z_{PL}, \Delta L$ – похибки вимірювання струмів, напруги, опору та довжини лінії електропередач, які беруть участь у розрахунку.

При оцінці сумарної похибки ПЛ ЛЗ Δx_f , доцільно використовувати статистичні методи, а способи їх використання при розв'язанні задачі можуть відрізнятися. Одне дослідження [2, 7] запропонувало методику, засновану на твердженні, що OPL FL є непряма процедура вимірювання, а загальна похибка Δx_f є сумою оцінки похибки кожного з параметрів, які беруть участь у розрахунку рівняння (2.1). Тому кінцевий вираз для визначення похибки OPL FL має вигляд виразу для де-кінцеве загальне середньоквадратичне значення. З'ясуємо порядок виконання аналітичного обчислення. розрахунки на прикладі OPL під час короткого замикання через перехідні стійкість, ZTR, як показано рис. 3.1.

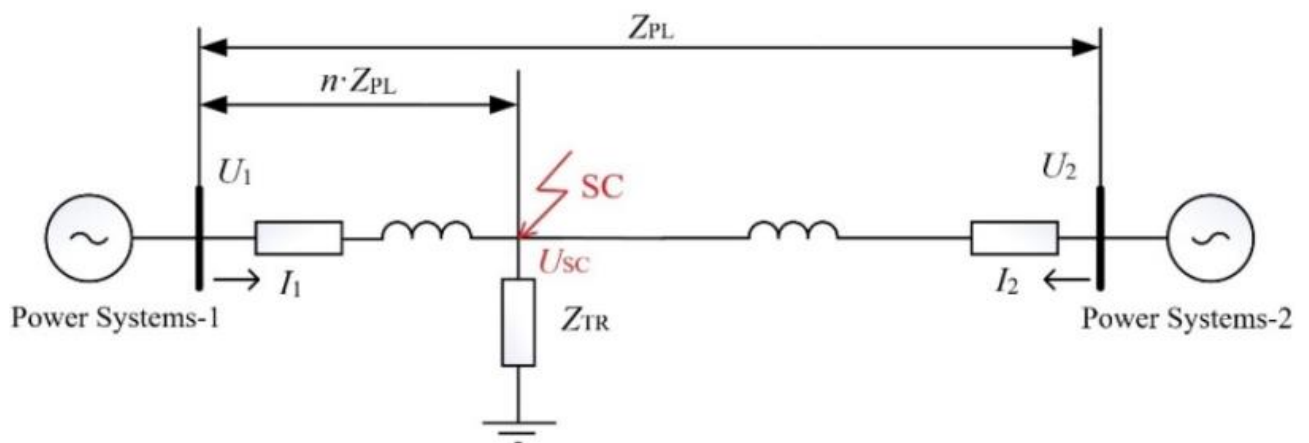


Рисунок 3.1 – Спрощена однолінійна схема ПЛ у разі короткого замикання через перехідний опір

Основні розрахункові вирази методики OPL FL сформовані на основі результати вимірювань модулів струму та напруги на кінцях ПЛ I_1 , I_2 , U_1 , та U_2 , а також такі вирази:

$$I_1 \cdot n \cdot Z_{PL} + U_1 = U_{SC}, \quad (3.3)$$

$$I_2(1 - n) Z_{PL} + U_2 = U_{SC}. \quad (3.4)$$

Враховуючи, що відстань до місця пошкодження (точки SC) дорівнює $x_f = n \cdot L$, і прирівнюючи рівняння (3.3) і (3.4), після перетворень приходимо до виразу:

$$x_f = \frac{u_2 - u_1 + I_2 \cdot L \cdot Z_{PL}}{(I_1 + I_2) \cdot Z_{PL}}. \quad (3.5)$$

Охарактеризовано застосування розрахунку рівняння (3.5) в локаторах пошкоджень PL за такими ознаками [2, 7]:

- Рівняння (3.5) справедливе для компонентів, як зворотної, так і нульової послідовностей, а також процедура OPL FL реалізується, роблячи постійними відповідні модулі струмів I_1 і I_2 і напруг U_1 і U_2 , що значно спрощує інженерну розрахунку;
- При виконанні OPL FL немає необхідності знати тип короткого замикання (однофазні або двофазні);
- Перехідний опір у місці пошкодження не використовується в розрахунках, оскільки двостороннє вимірювання практично виключає його вплив на похибку OPL FL техніка;
- Так як розрахунок виконується з використанням компонентів реверс і нуль послідовності, які відсутні в навантаженому стані, вплив величини навантаження на точність OPL методика FL повністю виключена;
- Алгоритм розрахунку досить простий з точки зору його програмної/апаратної реалізації. в локаторах пошкоджень OPL або цифрових терміналах релейного захисту [4].

Розглянемо приклад реалізації методики OPL FL для а реальна ПЛ 35/10 кВ, протяжністю $L = 120$ км, на основі фактичних вимірювань отримано за один із аварійних станів під час КЗ в ПЛ. Ми виконуємо обчислення за рівнянням (8)

за компонентами нульової послідовності, а $Z_1 = Z_0 = 3 \cdot 0,426 = 1,278$ Ом/км. Амплітуди струмів і напруг на кінцях OPL, виміряний цифровими клемми релейного захисту, є таким: $I_1 = 2,0$ кА, $I_2 = 0,56$ кА, $U_1 = 35$ кВ, $U_2 = 10$ кВ [2, 7].

Потім ми обчислюємо відстань до розлому на OPL:

$$x_f = \frac{u_2 - u_1 + I_2 \cdot L \cdot Z_{PL}}{(I_1 + I_2) \cdot Z_{PL}} = \frac{10 - 35 + 0,56 \cdot 120 \cdot 1,278}{(2 + 0,56) \cdot 1,278} = 22,582(\text{км}) \quad (3.6)$$

Виходячи з зроблених припущень, похибка непрямого вимірювання x_f для розглянутому прикладу відповідає такий вираз:

$$x_f = \frac{u_2 - u_1 + I_2 \cdot L \cdot Z_{PL}}{(I_1 + I_2) \cdot Z_{PL}} = \frac{10 - 35 + 0,56 \cdot 120 \cdot 1,278}{(2 + 0,56) \cdot 1,278} = 22,582(\text{км}) \quad (3.7)$$

Виходячи з зроблених припущень, похибка непрямого вимірювання x_f для розглянутому прикладу відповідає такий вираз:

$$\Delta x_f = \sqrt{\left(\frac{\partial x_f}{\partial I_1} \Delta I_1\right)^2 + \left(\frac{\partial x_f}{\partial I_2} \Delta I_2\right)^2 + \left(\frac{\partial x_f}{\partial U_1} \Delta U_1\right)^2 + \left(\frac{\partial x_f}{\partial U_2} \Delta U_2\right)^2 + \left(\frac{\partial x_f}{\partial Z_0} \Delta Z_0\right)^2 + \left(\frac{\partial x_f}{\partial L} \Delta L\right)^2} \quad (3.8)$$

Виходячи з зроблених припущень, похибка непрямого вимірювання x_f для розглянутому прикладу відповідає такий вираз:

$$x_f = 22.582 \pm \Delta x_f = 22.582 \pm 2.08 \text{ (км)}.$$

Важливо відзначити, що методи OPL FL, які використовують обчислювальні вирази, безпосередньо залежать від топології лінії живлення та її параметрів, і це один із їх основний недолік. Збільшення складності алгоритму розрахунку та розширення кількість задіяних параметрів, щоб мінімізувати помилку OPL FL, призводить до збільшення обчислювального навантаження на локатор несправностей OPL і введення додаткових залежностей від кількості та точності даних, що використовуються в розрахунку [2].

3.2. Аналіз помилок з використанням параметрів розподілу помилок PL FL розподіл помилок

Переважає більшість алгоритмів OPL FL під час обчислення відстані до несправності x_f базуються на обчисленні відношення скалярних величин такого вигляду:

$$x_f = \frac{y_1}{y_2} . \quad (3.9)$$

Якщо y_1 і y_2 обчислюються без помилок, тобто немає похибок вимірювання струмів і напруг в аварійному стані та відсутності спотворюючих факторів, то OPL FL реалізується з необхідною точністю. Однак за наявності випадкових факторів (перешкоди, шум тощо), ситуація різко змінюється на гірше.

Припустимо, що y_1 і y_2 — випадкові величини, які керуються нормальними законами розподілу $y_1 \in N(m_1, \sigma_1)$ та $y_2 \in N(m_2, \sigma_2)$, де m та σ — очікуване значення (мат. очікування) і стандартне відхилення для нормального (Гаусового) розподілу випадкового змінна з щільністю ймовірності:

$$p_y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-(y-m)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (3.10)$$

Якщо дисперсії величин y_1 і y_2 малі, наближений вираз можна бути прийняті для практичних розрахунків OPL FL:

$$x_f = \frac{m_1}{m_2} . \quad (3.11)$$

Однак у разі ненульових значень дисперсії величини y_1 і y_2 , розрахунки які покладаються на наближене рівняння (3.11), призведуть до великих помилок OPL FL, які неприйнятні в контексті реальних операцій.

В іншому дослідженні [43] запропоновано використовувати статистичні характеристики величини для отримання аналітичної оцінки похибок OPL FL:

$$yy = 1/y, \text{ або } y \in N(m, \sigma) \quad (3.12)$$

Це визначає очікуване значення $M[yy]$ величини yy , для якої проводиться розподіл (15) є дійсним. У [4] запропоновано використовувати такий вираз:

$$M[yy] \approx 1/m \text{ або } \sigma \ll m,$$

а також нерівність

$$M[uy(y)] > uy(M[y]). \quad (3.13)$$

для опуклої функції uy стохастичної змінної y . Зазначимо, що опуклість функції uy забезпечується при $y > 0$, тому нерівність (3.13) не можна застосовувати безпосередньо для аналітичних розрахунків. Щоб обчислити очікуване значення змінної $1/y$, ми використовуємо такий вираз:

$$M\left[\frac{1}{y}\right] = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{y} \cdot p_y(y) dy = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{y} \cdot \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-(y-m)^2}{2\sigma^2}\right)} dy \quad (3.14)$$

Для виконання обчислень за допомогою виразу (3.14) необхідно реалізувати числове інтегрування. Однак у випадку нескінченних меж цей інтеграл має розрив. точці при $y = 0$. Для вирішення (3.14) дослідження [43] запропонувало спеціальні математичні методи для отримання скінченного розподілу очікуваного значення:

$$M\left[\frac{1}{y}\right] = \frac{1}{\sigma} e^{\frac{-m^2}{2\sigma^2}} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{y} e^{\frac{-y^2}{2\sigma^2}} dy \quad (3.15)$$

Інтеграл рівняння (19) неперервний і має обмежені межі інтегрування, тому це дозволяє вирішити низку практичних задач оцінки похибки OPL FL. Зокрема, враховуючи, що m нормалізовано, ми можемо побудувати графік залежності очікуваного значення розрахована відстань до місця пошкодження – $M [1/y]$, як функція стандартного відхилення σ змінної на рис. 3.1. Імовірнісна змінна y має нормальний розподіл з очікуване значення $m = 1$ і стандартне відхилення σ .

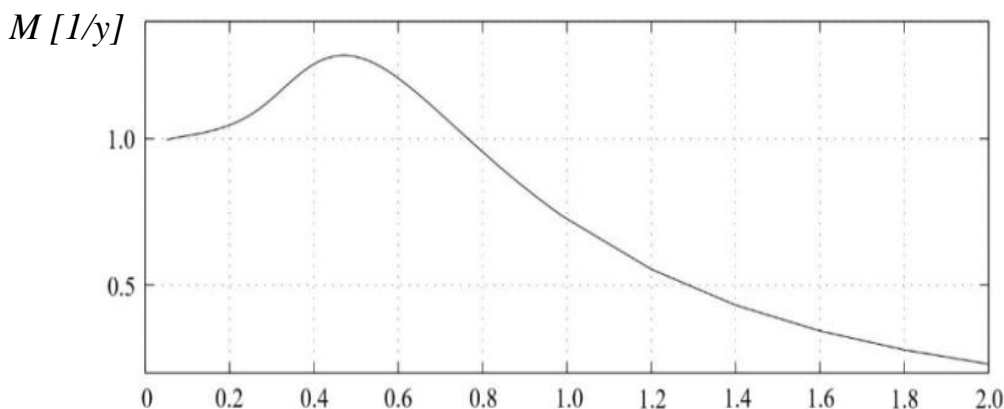


Рисунок 3.1 – Залежність очікуваного значення величини $(1/y)$ від σ .

Наш аналіз дозволяє зробити такі висновки:

- Очікуване значення величини $(1/m)$ прагне до $1/m$ і дорівнює лише одиниці при $\sigma \rightarrow 0$;
- Якщо середньоквадратичне значення σ досягає великих значень, то очікуване значення змінної $(1/y)$ прагне до нуля. Це явище пояснюється тим, що розподіл (нормалізована щільність ймовірності Гауса) змінної y є симетричною відносно до нуля;
- Збільшення дисперсії (стандартне відхилення σ) призводить до ще більшої тенденції $M[1/y]$ у бік нуля;
- Для малих значень σ ($\sigma = 0,1 \dots 0,75$) отримуємо оцінки очікуваного значення $M[1/y]$, які перевищують одиницю. Це вказує на зміщення в оцінках OPL FL для цієї групи техніки;
- Щоб забезпечити високу точність OPL FL за допомогою ESP, надзвичайно важливо знизити дисперсія змінної y або для компенсації зміщень оцінок OPL FL шляхом застосування адаптаційних технік [2].

Інше дослідження [3] відзначило проблеми, що виникають при оцінці дисперсії помилок OPL FL від ESP. Ці проблеми викликані труднощами розв'язання наступного інтеграла

вираз:

$$M\left[\frac{1}{y^2}\right] = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{1}{y^2}\right) \cdot p_y(y) dy = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{1}{y^2}\right) \cdot \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right) e^{\left(\frac{-(y-m)^2}{2\sigma^2}\right)} dy \quad (3.16)$$

Незважаючи на глибокий математичний аналіз, автор [4], на жаль, не запропонував практично значущих методик розрахунку похибок OPL FL і немає розрахунків похибок для конкретних прикладів несправностей в OPL.

У тих випадках, коли неможливо отримати точне значення числового символу випадкових величин доцільно використовувати наближені вирази. В КР не відомі інші методи аналітичного оцінювання потенційних помилок визначення місця пошкодження на повітряних лініях електропередачі.

3.3. Приблизний розрахунок очікуваного значення та дисперсії у визначенні відстані до несправності на OPL

Припустимо, що раніше введене значення x (x_f – відстань до місця розташування короткого замикання в OPL), має відносно невелику дисперсію $\sigma^2(x)$. Таке припущення є дійсним, оскільки немає практичного сенсу використовувати методи OPL FL із великими помилками розрахунок відстані до місця пошкодження. Нехай $\eta = \alpha(x)$, де $\alpha(x)$ – достатньо гладка функція. Зверніть увагу, що під вступом наведених обмежень, існує наближений вираз для середнього значення $M[\eta] = M[\alpha(x)]$ що має невелику помилку.

Скористаємося формулою Тейлора:

$$M\left[\frac{1}{y^2}\right] = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{1}{y^2}\right) \cdot p_y(y) dy = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{1}{y^2}\right) \cdot \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right) e^{\left(\frac{-(y-m)^2}{2\sigma^2}\right)} dy \quad (3.17)$$

Скористаємося формулою Тейлора:

$$\alpha(x) = \alpha(a) \cdot (x-a) + \left(\frac{\alpha''(a)}{2}\right)(x-a)^2 + \left(\frac{\alpha'''x_1}{6}\right)(x-a)^3; (a \geq x_1 \geq x) \quad (3.18)$$

Замінивши a на $M[x]$, ми отримаємо наступне:

$$\alpha(x) = \alpha(M[x]) + \alpha'(M[x])x^0 - \alpha''\left(\frac{M[x]}{2}\right)(x^0)^2 + \left(\frac{\alpha'''x_1}{6}\right)x_1(x^0)^3; (M[x] \geq x_1 \geq x). \quad (3.19)$$

Оскільки дисперсія $\sigma^2(x)$ вважається малим, флуктуація, x_0 , займає в основному малі абсолютні значення. Отже, останній член у правій частині рівняння (3.19) виявляється значно меншим за всі інші. Нехтуючи нею, ми отримуємо формулу:

$$\alpha(x) = \alpha(M[x]) + \alpha'(M[x])x^0 - \left(\frac{\alpha''M[x]}{2}\right)(x^0)^2, \quad (3.20)$$

з чого випливає, що

$$M(\alpha[x]) = \alpha(M[x]) + \alpha'(M[x])[x^0] - \alpha''\left(\frac{M[x]}{2}\right)M(x^0)^2. \quad (3.21)$$

Оскільки $M[x^0] = 0$, приходимо до наближеної формули для очікуваного значення:

$$M(\alpha[x]) = \alpha(M[x]) + \alpha''\left(\frac{M[x]}{2}\right)\sigma^2(x). \quad (3.22)$$

Розмірковуючи подібним чином, ми можемо показати, що якщо $f(X) = \alpha(x_1, x_2, \dots, x_n) = \alpha(X)$ є достатньо гладка функція n змінних x_1, x_2, \dots, x_n та векторні проєкції y_1, y_2, \dots, y_n – попарно не корельовано (зокрема, незалежні) випадкові величини, то загальний вираз очікуваного значення матиме такий вигляд:

$$M(\alpha[x]) = \alpha(M[x]) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \alpha''_{x_i} (M[y_i]) \sigma^2(y_i). \quad (3.23)$$

У випадку розглядуваної проблеми OPL FL ми маємо наступне:

$$x_f(y_1, y_2) = \frac{y_1}{y_2} \quad (3.24)$$

де y_1 і y_2 – незалежні випадкові величини з малими дисперсіями, а $M[y_2]$ – ненульовий; тоді маємо $\alpha(y_1, y_2) = y_1/y_2$. Отже, отримуємо наступне:

$$\alpha(x_1, x_2) = \frac{x_1}{x_2}, \alpha''_{x_1 x_1}(x_1, x_2) = \frac{2x_1}{x_2^3}, \alpha''_{x_2 x_2}(x_1, x_2) = 0 \quad (3.25)$$

Таким чином, враховуючи рівняння (3.23), отримуємо наближену формулу для розрахунку очікуваного значення при визначенні місця пошкодження на ПЛ:

$$M\left[\frac{x_f}{y_2}\right] = M\left[\frac{y_1}{y_2}\right] = \frac{M[y_1]}{M[y_2]} + \frac{M[y_1]\sigma^2(y_2)}{(M[y_2])^3} \quad (3.26)$$

Ми використовуємо наближені рівняння (3.25) і (3.26) для наближеного визначення дисперсії техніки для OPL FL ESP формула (3.26). Віднімаючи другий вираз з першого і відкидаючи терміни, що містять $(x^0)^2$ та $\sigma^2(x) = M[x^0]^2$, ми отримати наступне:

$$\eta^0 = \eta - M[\eta] = \alpha(x) - M[\alpha(x)] = \alpha' M[\alpha(x)] x^0. \quad (3.27)$$

Із урахуванням рівняння (3.27) отримуємо наближену формулу для розрахунку дисперсія похибки ПЛ за параметрами аварійного стану:

$$\sigma^2[x_f] = \sigma^2\left[\frac{y_1}{y_2}\right] = \sigma^2(y_2) \left(\frac{M[y_1]^2}{M[y_2]^2} \right) + \frac{\sigma^2(y_2)}{(M[y_2])^2} \quad (3.28)$$

3.4. Результати статистичних аналітичних розрахунків похибок PL FL

Використовуючи отримані раніше результати розрахунків, визначимо статистику характеристики похибок OPL FL за допомогою наближених рівнянь (3.26) і (3.28). Спочатку для розрахункового співвідношення (3.28) аналітично отримуємо статистичну характеристику тики чисельника та знаменника, що відповідають випадковим величинам y_1 та y_2 (рівняння (3.18)). Ми припускаємо, що випадкові величини беруть участь у розрахунку OPL FL некорельовані та центровані. При розрахунках припустимо, що похибка вимірювання становить випадкових величин відповідає їх середньоквадратичному значенню; наприклад, $\Delta L = \sigma L$ [4 - 6].

Враховуючи це

$$y_1 = U_2 - U_1 + I_2 \cdot L \cdot Z_{PL} ; y_2 = (I_1 + I_2)Z_{PL}, \quad (3.29)$$

очікувані значення випадкових величин y_1 і y_2 будуть визначатися вимірними значення [27]:

$$M(y_1) = y_1 = 10 - 35 + 0,56 \cdot 120 \cdot 1,278 = 73,882 \text{ (кВ)},$$

$$M(y_2) = y_2 = (2,0 + 0,56) \cdot 1,278 = 3,272 \text{ (кВ)}$$

Отримаємо такі вирази для дисперсій $\sigma^2(y_1)$ та $\sigma^2(y_2)$:

$$\begin{aligned} \sigma^2(y_1) = & \sigma^2(U_2) - \sigma^2(U_1) + \sigma^2(I_2) \cdot \sigma^2(L \cdot Z_{PL}) + \\ & (M(I_2))^2 \sigma^2(L \cdot Z_{PL}) + (M(L \cdot Z_{PL}))^2 \sigma^2(I_2) = \sigma^2(U_2) - \sigma^2(U_1) + [(M(I_2))^2 + \\ & \sigma^2(I_2)] \cdot [\sigma^2(L) \cdot \sigma^2(Z_{PL}) + (M(L))^2 \cdot \sigma^2(Z_{PL}) + (M(Z_{PL}))^2 \sigma^2(L)] + \\ & + (M(L))^2 (M(Z_{PL}))^2 \sigma^2(I_2); \end{aligned} \quad (3.30)$$

$$\begin{aligned} \sigma^2(y_2) = & [\sigma^2(I_1) \sigma^2(Z_{PL}) + (M(I_1))^2 \cdot \sigma^2(Z_{PL}) + (M(Z_{PL}))^2 \cdot \sigma^2(I_1)] + [\sigma^2(I_2) \sigma^2(Z_{PL}) + \\ & + (M(I_2))^2 \sigma^2(Z_{PL}) + (M(Z_{PL}))^2 \sigma^2(I_2)] = \sigma^2(Z_{PL}) [\sigma^2(I_1) + (M(I_1))^2 + \sigma^2(I_2) + \\ & + (M(I_2))^2] + (M(Z_{PL}))^2 \cdot [\sigma^2(I_1) + \sigma^2(I_2)]. \end{aligned} \quad (3.31)$$

Числові значення змінних, включених до рівнянь (3.31) і (3.32), підсумовуються в таблиці 3.1.

Підстановка числових значень (табл. 3.1) у співвідношення (3.30) і (3.31) призводить до наступні результати:

$$\begin{aligned} \sigma^2(y_1) = & \sigma^2(U_2) - \sigma^2(U_1) + [(M(I_2))^2 + \sigma^2(I_2)] \cdot [\sigma^2(L) \cdot \sigma^2(Z_{PL}) + (M(L))^2 \cdot \sigma^2(Z_{PL}) + \\ & (M(Z_{PL}))^2 \cdot \sigma^2(L)] + (M(L))^2 (M(Z_{PL}))^2 \cdot \sigma^2(I_2) = (0,84)^2 - (1,2)^2 + [(0,56)^2 + \\ & (0,028)^2] \cdot [(2,4)^2 \cdot (0,0639)^2 + (120)^2 \cdot (0,0639)^2 + \\ & (1,278)^2 \cdot (2,4)^2] + (120)^2 \cdot (1,278)^2 \cdot (0,028)^2 = 39.155 \text{ (кВ)}, \end{aligned} \quad (3.32)$$

Таблиця 3.1 – Змінні для аналітичного розрахунку похибок OPL FL.

RMS значення						
Позначення	$\sigma(U_1)$, кВ/%	$\sigma(U_2)$ кВ/%	$\sigma(I_1)$ кА/%	$\sigma(I_2)$ кА/%	$\sigma(L)$ км/%	$\sigma(Z_{PL})$ (Ом/км)/%
Значення	1,2/3	0,84/3	0,2/10	0,028/5	2,4/2	0,0639/5
Очікувані значення						
Позначення	$M(I_1)$, кА	$M(I_2)$, кА	$M(L)$, км		$M(Z_{PL})$, (Ом/км)	
Значення	2,0	0,56	120		1,278	

$$\begin{aligned} \sigma^2(y_2) = & \sigma^2(Z_{PL}) \cdot [\sigma^2(I_1) + (M(I_1))^2 + \sigma^2(I_2) + (M(I_2))^2] + \\ & + (M(Z_{PL}))^2 \cdot [\sigma^2(I_1) + \sigma^2(I_2)] = (0,0639)^2 \cdot [(0,2)^2 + (2,0)^2 + (0,028)^2 + (0,56)^2] + \\ & + (1,278)^2 \cdot [(0,2)^2 + (0,028)^2] = 0,0844 \text{ кВ/км}^2. \end{aligned} \quad (3.33)$$

Тоді дисперсія помилки OPL FL згідно розрахунків $M(y_1)$ і $M(y_2)$ будуть такими:

$$\begin{aligned} \sigma^2[x_f] = & \sigma^2\left[\frac{y_1}{y_2}\right] = \sigma^2(y_2) \left(\frac{M[y_1]^2}{M[y_2]^2} \right) + \frac{\sigma^2(y_2)}{(M[y_2])^2} = \\ & = 0,0844 \frac{(73,882)^2}{(3,272)^2} + \frac{39,155}{(3,272)^2} = 46,689 \text{ км}^2 \end{aligned} \quad (3.34)$$

$$\begin{aligned} M[x_f] = & M\left[\frac{y_1}{y_2}\right] = \frac{M[y_1]}{M[y_2]} + \frac{M[y_1] \sigma^2(y_2)}{(M[y_2])^3} = \\ & = \frac{73,882}{3,272} + \frac{72,882 \cdot 0,0844}{(3,272)^3} = 22,758 \text{ км} \end{aligned} \quad (3.34)$$

Переходячи до вигляду, отримуємо наступне рівняння:

$$x_f = M[x_f] \pm \sigma[x_f] = 22,758 \pm 6,83 \text{ (км)}. \quad (3.35)$$

Отже, ймовірність виявлення несправності в OPL в межах області, визначеної рівнянням (3.35) з урахуванням нормального закону розподілу та заданих статистичних параметрів випадкових величин, наведених у таблиці 3.1, становитиме 68,27%.

3.5. Обговорення запропонованої аналітичної методики для оцінки похибки OPL FL

Наш аналіз результатів, отриманих за рівняннями (3.31) – (3.35), дозволяє нам зробити наступні висновки:

- Порівняно з аналітичним розрахунком за рівняннями (3.9) – (3.11), які передбачають використання часткові похідні, рівняння (3.31) – (3.35) містять зважені суми статистичних змінних (очікувані значення та дисперсії). Представлена аналітична методика дозволяє більш повно враховувати сукупність випадкових факторів, які мати значний вплив на похибку OPL FL на основі параметрів надзвичайний стан;

- Якщо розрахунок відстані до місця пошкодження є функцією випадкового співвідношення змінних виду $x_f = y_1/y_2$, то зі статистичної точки зору необхідно використовуйте очікуване значення $M[x_f]$ (рівняння (3.35)) цього відношення для виконання OPL FL. Використання заданого розрахункового значення дозволяє врахувати різні вимірювання похибки струмів і напруг в аварійному стані найбільш правильним чином. Цей випадок поширений, тому що вимірювальні трансформатори струму і напруги різні зазвичай встановлюються види та типи з різними специфікаціями та класами точності на кінцях ПС35/10 кВ;

- Наш аналіз розрахункових рівнянь (3.31) – (3.35), які є основою нового аналітична методика оцінки похибок ПС ЛП за аварійним станом параметрів, показує, що вони справедливі для односторонніх, а також двосторонніх і багатокінцеві методи OPL FL ПС35/10 кВ;

- Отримано розрахункові вирази для очікуваного значення та дисперсії відстані до несправності OPL дозволяють розрахувати відстань з більшою точністю до несправності, а також розмір оглядової зони, який є критичним для лінії електропередач техніків.

Потенційна точність розрахунку відстані до місця пошкодження аварійним способом параметри стану мають суттєві відмінності для кожного конкретного ОРЛ. Це залежить від статистики дані про похибки вимірювальних трансформаторів струму і напруги, особливості цифрової обробки сигналів струму і напруги в дефектоскопі ПЛ і точність уточнення значення параметрів ОРЛ, що аналізуються та їх фактичні значення, а також а ряд інших факторів.

Представлена аналітична методика оцінки похибки ПЛ ЛП за аварійністю параметри стану дають змогу визначити місце несправності та розміри огляд області з більшою точністю, що необхідно для скорочення часу, необхідного для виконання аварійно-відновлювальних робіт, з метою забезпечення стабільності енергосистем та надійність електропостачання споживачів.

Запропоновані математичні вирази мають велике практичне значення, тому що їх можна застосувати в локаторах несправностей ОРЛ і цифрових терміналах релейного захисту використовувати одностороннє, а також двостороннє та багатостороннє вимірювання струмів і напруг під час входу надзвичайний стан.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

4.1 Організація роботи служби з охорони праці та довкілля

Система управління охороною праці (СУОП) – це сукупність органів управління підприємством, які на підставі комплексу нормативної документації проводять цілеспрямовану, планомірну діяльність щодо здійснення завдань і функцій управління з метою забезпечення здорових безпечних і високопродуктивних умов праці. За дану частину виробництва відповідає інженер з охорони праці. Головні завдання спеціаліста – створення здорових, безпечних і високопродуктивних умов праці, покращення виробничого побуту, запобігання травматизму і профзахворюванням.

Для забезпечення створення СУОП щорічно розробляються та затверджуються на підприємстві положення про організацію управління охорони праці; щорічно оформляються накази про призначення осіб відповідальних за стан охорони праці на дільницях, а також безпечне використання об'єктів підвищеної небезпеки (котлів, що працюють під тиском, газових та кисневих балонів, пестицидів); оформляються наказ про визначення персональних обов'язків з охорони праці усіх спеціалізації, керівників дільниць та інших службових осіб; щорічно проводиться паспортизація умов праці, технічних засобів безпеки і технічного стану робочих місць; складаються плани роботи з охорони праці, комплексне, річне і оперативне планування; організовуються заходи матеріального і морального стимулювання щодо охорони праці; проводяться розслідування і вивчення причин травм, пожеж їх аналіз і облік, а також розробляються заходи щодо їх застосування;

Об'єктом управління є діяльність структурних підрозділів та служб підприємства по забезпеченню безпечних і здорових умов праці на робочих місцях, виробничих дільницях, цехах та підприємства в цілому.

4.2 Протипожежна безпека і грозозахист

Блискавко захист – це комплекс захисних захистів від блискавки, які гарантують безпеку людей, збереження людей і споруд, обладнання та матеріалів від вибухів, загоряння й руйнування. Найпростішими і надійними засобами від блискавки є створення блискавковідводів. Схема блискавкозахисту будівлі показана на рис. 4.1.

Струмопровід виконується сталюю стрічкою перерізом 25...30 мм або дротом не менше 6 мм. Заземлення виконується кутовою сталлю, трубами на відстані від установки не менше 4,5 м. Опір розтікання не повинен перевищувати 15...20 Ом. Приймаємо початкову висоту блискавковідводу 8 метрів. Визначаємо радіус конуса, в якому ймовірність попадання 95%, через висоту конуса h за формулою (4.1):

$$R_0 = 1.5 \cdot h, \text{ м. } R_0 = 1,5 \cdot 8 = 12 \text{ м.}$$

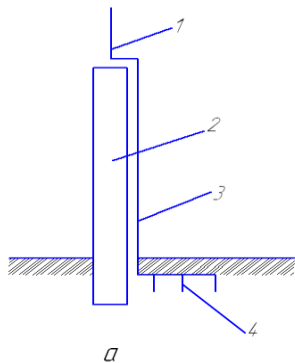


Рисунок 4.1 – Схема блискавко захисту конструкції; 1 – блискавко приймач, 2 – блискавко провідник; 3 – опора, 4 – заземлювач.

Для будинку довжиною L кількість одиночних блискавковідводів визначаємо через радіус конуса R_0 в якому ймовірність попадання 95% за формулою:

$$N_б = \frac{L}{2R_0}, \text{ шт, } N_б = \frac{86}{2 \cdot 4} = 11 \text{ шт.}$$

Усі з'єднання в процесі монтажу системи блискавко захисту (Блискавко приймач – струмовідвід, струмовід – заземлювач) виконують за допомогою зварювання. Болтові з'єднання застосовують лише для тимчасових блискавко захисних пристроїв.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ ПОШКОДЖЕННЯ ПС 35/10 кВ ЛОКАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

5.1 Обґрунтування методів і засобів пошуку пошкодження в розподільних мережах з повітряними лініями електропередачі ПС 35/10 кВ

Під час обґрунтування швидкого виявлення та визначення місця обриву провода в ПС 35/10 кВ, крім захисту лінії, необхідно розробити пристрій визначення місця пошкодження, що базується на локаційному методі. При електричному обриві ПС 35/10 кВ на землю, механічного обриву жодної жили, як правило, не відбувається. В цьому випадку віддаль до точки замикання встановлюється за величиною опору ділянки провідника. Проте, внаслідок великої довжини та ненадійного контакту із землею пряме вимірювання омметром неможливе.

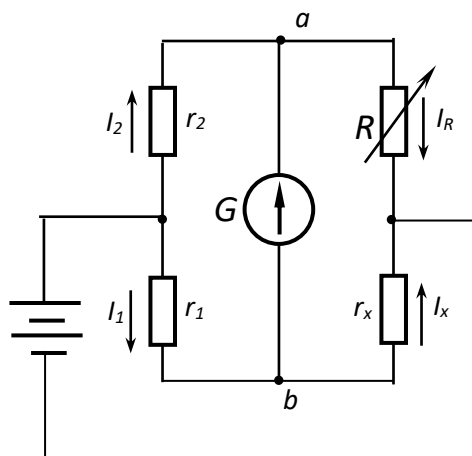


Рисунок 5.1 – Принципова схема електричного моста

На практиці його виконують опосередковано – за мостовою схемою порівняння. В ній невідомий опір до точки пошкодження r_x розраховується за результатами порівняння з іншими відомими опороми.

Електричний міст (рис. 5.1) називається зрівноваженим, якщо струм гальванометра рівний нулю. Умовою рівноваги є рівність потенціалів на клеммах a і b вимірювальної діагоналі. Вона виконується при довільній напрузі живлення, якщо дотримані наступні співвідношення:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 r_1 = I_2 r_2 \\ I_x r_x = I_R R \\ I_2 = I_R; I_1 = I_x \end{array} \right. ; \text{ звідки: } \frac{r_1}{r_x} = \frac{r_2}{R}, \text{ або } r_x = \frac{r_1}{r_2} R = nR. \quad (5.1)$$

В електричному мості зразкові опори r_1 і r_2 утворюють так зване плече відношення: $r_1/r_2 = n$, де n – множник відношення. Абсолютні значення цих опорів впливають лише на споживану схемою потужність. А тому в більшості вимірювальних електричних мостів вказується лише відповідний множник плеча відношення n .

Друге плече – плече порівняння – утворюється невідомим опором r_x та змінним опором R . Найчастіше R виконується у вигляді 4-х наборів котушок зразкових опорів по десять у кожному (декад). Декадними перемикачами встановлюється необхідний опір порівняння в межах від 0 до 999,99 кроком 0,1 Ом.

Мостові схеми складаються за кількома типовими варіантами, відповідно до специфіки вимірюваного опору. Вимірювання параметрів кабельних ЛЕП виконують за допомогою кабельних мостів. Їх конструкцією передбачено можливість швидкого перекомутування вимірних схем простим трипозиційним перемикачем.

5.2 Міст постійного струму Р-333 приладу РЕЙС-105Р

Схема розміщення органів керування приладом приведена на рис. 5.2. Цифрами 1,2,3,4 позначено вхідні вимірні клеми. При великих опорах $r_x > 10$ Ом клеми 1 і 2 та 3 і 4 попарно закорочуються і спад напруги на опорі r_x знімається з тих самих затискачів, через які подається вимірювальний струм. Якщо $r_x < 10$ Ом, то опір струмових контактів істотно впливає на результат вимірювання. В цьому випадку перемикачка між клемами 1 і 2 знімається, чим одночасно розривається і контакт між клемами 3 і 4. Тоді вимірювання проводиться за так званою чотириклемною схемою: вимірювальний струм подається на опір r_x через клеми 1 і 4, а спад напруги на ньому знімається з

клем 2 і 3. Трипозиційним перемикачем Π перекомутується внутрішнє вимірне коло приладу на одну із стандартних схем вимірювання опору: “Петля Варлея”, “Петля Муррея” та схему вимірювання асиметрії двопровідної лінії. Кнопками 5,6,7 у вимірне коло вмикається гальванометр G та подається напруга від батареї живлення B .

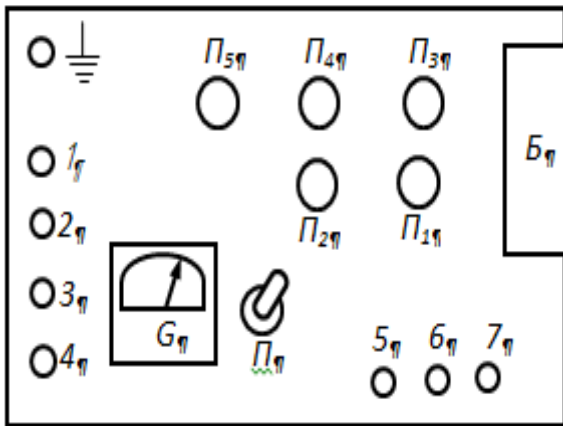


Рисунок 5.2 – Розміщення органів керування моста Р 333



Рисунок 5.3 – Комплект приладу РЕЙС-105Р

Декадними перемикачами $\Pi_1 \dots \Pi_4$ встановлюється опір $R \frac{1}{n}$ плеча порівняння, а перемикачем Π_5 комутуються опори плеча відношення. Проти білої крапки на Π_5 зчитується значення зменшувального множника n , а проти

червоної – збільшеного множника M . Через клему з позначкою “ ” мостова схема з’єднується з контуром заземлення.

При вимірюваннях необхідно дотримуватись певної послідовності операцій. Спочатку, відповідно до параметрів лінії, перемикачем Π комутується вимірне коло за однією із рекомендованих схем, а потім виставляється рекомендована позиція плеча відношення. Для кабельних силових ліній найчастіше вибирається $n=0,01$, $M=1000$, а значення опору R виставляється близьким до очікуваного.

Подача живлення на вимірну схему і зрівноваження моста виконується методом послідовних наближень. Кнопкою 7 – “Вкл Г” розблоковується закорочений вхід гальванометра G та одночасно шпунтується з метою захисту від можливого зашкалювання при невдало вибраних початкових значеннях R , n або M . Наступним перемиканням $\Pi_1 \dots \Pi_4$ зрівноважують міст в першому наближенні і натискають кнопку “Грубо”. При відхиленні стрілки гальванометра від нульового положення додатково коригується опір R і натискають кнопку “Точно”. Наступним перемиканням $\Pi_1 \dots \Pi_4$ остаточно зрівноважують міст і зчитують відповідне значення R . Вимірюваний опір r_x розраховується за зчитаними показами змінного опору R та множника плеча відношення за формулами, рекомендованими інструкцією до приладу і відповідно до обраної вимірної схеми.

При вимірюванні опору до місця пошкодження важливо правильно оцінити похибку. Її обчислюють за класом точності k , вказаним на корпусі приладу числом у кільці – $\textcircled{0,5}$. Такому позначенню відповідає мультиплікативний характер похибки, при якій нормується відносна похибка у відсотках. Значення відносної похибки 0,5% допускається на діапазонах вимірювання 1 – 9,999 та 10 – 99,9. В діапазонах до 0,0999 та до 0,999 відносна похибка допускається 5% та 1% відповідно, що не вкладається у клас точності приладу. Тому вимірювання опору до точки пошкодження виконуються у перших двох діапазонах, а похибки обчислюються за схемою:

$$\delta(r_x) = \frac{\Delta r_x}{r_x} \leq \frac{k}{100} = \frac{0,5}{100} = 0,005; \Delta r_x = 0,005 r_x. \quad (5.2)$$

У вирази для обчислення опору до місця пошкодження входить сумарний опір двох лінійних провідників, наприклад $R_0 + R_1 = R_{01}$. Його легко виміряти, як звичайним омметром, так і кабельним мостом, якщо протилежні кінці провідників (кабельних жил) закоротити, а початки подати на вхід вимірювального приладу. Оскільки опір є адитивною величиною, то абсолютна і відносна похибки для суми обчислюється аналогічно співвідношенню (5.2):

$$\delta(R_{01}) = \frac{\Delta(R_0 + R_1)}{R_0 + R_1} \leq 0,005, \text{ або } \Delta R_{01} \leq \delta(R_{01}) R_{01} = 0,005 R_{01}. \quad (5.3)$$

5.3 Сукупний метод вимірювання опору ліній електропередач ПС 35/10 кВ

Опір провідників трипровідної лінії R_0 , R_1 та R_2 вимірюється опосередковано. Метод полягає у проведенні трьох вимірювань трьох попарно з'єднаних провідників. За їх результатами складається система трьох рівнянь з трьома невідомими:

$$\begin{cases} R_1 + R_2 = R_{12} & R_1 = \frac{1}{2}(R_{12} + R_{10} - R_{20}) \\ R_1 + R_0 = R_{10} & \text{звідки: } R_2 = R_{12} - R_1 \\ R_2 + R_0 = R_{20} & R_0 = R_{10} - R_1 \end{cases}. \quad (5.4)$$

Абсолютна похибка такого вимірювання рівна сумі похибок вимірювання складових виразу і обчислюється за формулою:

$$\Delta R = \frac{1}{2}(0,005 R_{12} + 0,005 R_{10} + 0,005 R_{20}) = 0,0075 R_1. \quad (5.5)$$

Вимірювальна схема “Петля Варлея” (ПВ).

Еквівалентна схема моста Р 333 для петлі Варлея, приведена на рис. 5.4, реалізується переведенням перемикача у позицію “ПВ”. За цією схемою невідомий опір r_x до точки пошкодження вимірюється опосередковано, порівнянням із сумою кількох опорів: ділянки після пошкодження r_y , повного опору непошкодженої жили R_l та змінного опору моста R . Точка S – точка

з'єднання протилежних кінців пошкодженої R_0 та допоміжної R_1 кабельних жил; 2 і 3 – вхідні клеми моста.

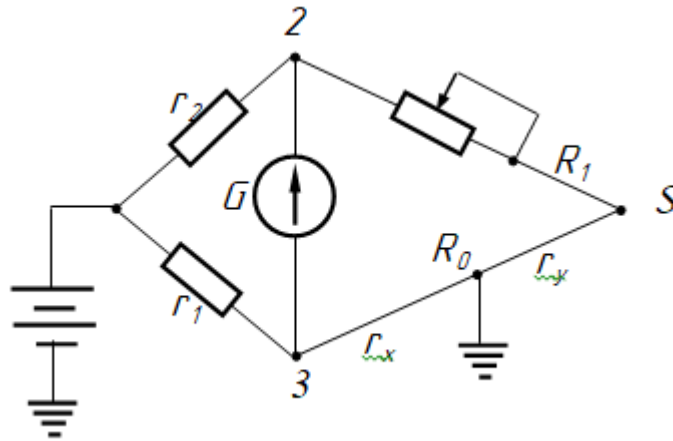


Рисунок 5.4 – Вимірна схема “Петля Варлея”

Відповідно до властивостей електричного моста (5.1), його рівновага у випадку петлі Варлея встановлюється за наступного співвідношення:

$$\frac{r_2}{R + R_1 + r_y} = \frac{r_1}{r_x} \text{ або } r_x = \frac{r_1}{r_2} (R + R_1 + r_y). \quad (5.6)$$

Приймаючи до уваги, що $r_1/r_2 = n$ та $r_x + r_y = R_0$, $r_x \equiv r_{пв}$ робоча формула для розрахунку опору до точки пошкодження набуде вигляду:

$$r_x = \frac{n}{n+1} (R + R_0 + R_1). \quad (5.7)$$

У цю формулу входить сумарний опір двох жил $R_0 + R_1$, значення якого попередньо виміряно з похибкою, обчисленою за співвідношенням (5.3). Цією похибкою можна знехтувати, якщо вимірювання проводити при малих значеннях коефіцієнта плеча відношення: $n=0,01, 0,001$. Відтак абсолютну похибку обчислюють за відомим співвідношенням:

$$\Delta r_x = 0,005 r_x. \quad (5.8)$$

Надійність визначення віддалі до точки пошкодження контролюється додатковим вимірюванням опору r_y . Для цього слід з'єднати початки двох жил, наприклад R_1 і R_0 , а протилежні – подати на вхідні клеми моста. Невідомий опір r_y також обчислюється за формулою (7), в якому буде інше значення змінного опору R . Критерієм надійності є рівень експериментальних значень:

$$r_x + r_y = R_0. \quad (5.9)$$

Розходження не повинні перевищувати суми похибок $\Delta r_x + \Delta r_y$.

Вимірювальна схема “Петля Муррея” (ПМ). Еквівалентна схема моста РЗЗЗ для петлі Муррея, приведена на рис. 5.5, реалізується трипозиційним перемикачем в позиції ПМ.

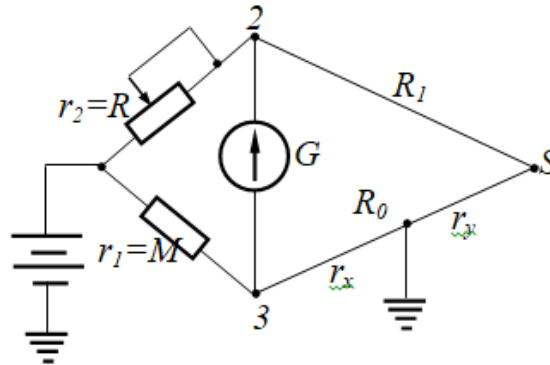


Рисунок 5.5 – Вимірювальна схема “Петля Муррея”

За цією схемою невідомий опір r_x вимірюється опосередковано, порівнянням із сумою двох опорів: ділянки r_y після пошкодження та повного опору R_1 допоміжної жили.

Плече відношення цієї схеми складає змінний опір R та один з опорів набору $r_1=1,10,100, 1000$ Ом, значення якого вибирається перемикачем $П_5$ та позначається символом $M \equiv r_1$.

Відповідно до умови рівноваги електричного моста (5.1) рівновага за схемою ПМ настає при виконанні наступної умови:

$$\frac{R}{r_1} = \frac{r_y + R_1}{r_x} = \frac{R_0 - r_x + R_1}{r_x}. \quad (5.10)$$

З врахуванням тотожності позначень $r_1 \equiv M$, а також очевидної рівності $r_y = R_0 - r_x$, вираз для розрахунку $r_x = r_{\text{ПМ}}$ приймає вигляд:

$$r_x = \frac{M(R_0 + R_1)}{M + R}. \quad (5.11)$$

Якщо вимірювання виконувати при великих значеннях $M=100, 1000$, то $\Delta R \ll M$ і абсолютну похибку вимірювання можна оцінити за наближеною формулою:

$$\Delta r_x = 0,005 r_x. \quad (5.12)$$

Надійність вимірювання підтверджується додатковим вимірюванням опору ділянки після пошкодження r_y та виконанням рівності типу (9).

5.4 Розрахунок віддалі до місця пошкодження ПС 35/10 кВ

За відомим значенням довжини кабелю L , повним опором пошкодженої жили R_0 та вимірним значенням r_x складається пропорція:

$$\frac{L}{R_0} = \frac{L_x}{r_x}, \text{ звідки } L_x = L \frac{r_x}{R_0} \quad (5.13)$$

Якщо довжина кабелю невідома, то її обчислюють за відомими значеннями перетину і питомого опору матеріалу. В будь-якому випадку загальна довжина кабелю встановлюється з певною похибкою ΔL .

Похибку опосередкованого вимірювання віддалі до пошкодження за формулою (5.13) обчислюють, як максимальну систематичну, шляхом логарифмування, диференціювання та наступної заміни диференціалів приростами:

$$\begin{aligned} \ln L_x &= \ln L + \ln r_x - \ln R_0; \\ \frac{dL_x}{L_x} &= \frac{dL}{L} + \frac{dr_x}{r_x} - \frac{dR_0}{R_0}; \\ \delta(L_x) &\cong \frac{\Delta L_x}{L_x} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta r_x}{r_x} + \frac{\Delta R_0}{R_0}. \end{aligned} \quad (5.14)$$

Підставивши експериментальні значення всіх величин, отримують чисельне значення максимальної відносної похибки $\delta(L_x)$. Відтак абсолютна похибка визначення віддалі буде:

$$\Delta L_x = \delta(L_x) \cdot L_x. \quad (5.15)$$

Дослідження проводиться 3-х провідній на моделі з виведеними на зовнішню панель клемми початків і кінців провідників, позначених як опори R_0, R_1, R_2 та R_3 . В жилах R_0 та R_3 імітовано електричний пробій ізоляції на

землю. Точки замикання виведені на клему “+” через перемикач. Еквівалентна довжина лінії становить $L=930\pm 5$ м.

Робота виконується у декілька етапів, кожен з яких є самостійним завданням. З метою спрощення розрахунків всі вимірювання виконуються при однакових значеннях множників плеча порівняння $n=0,001$ та $M=1000$. Розраховані значення опорів r_x , r_y та їх похибки заносяться у відповідні таблиці.

Завдання 1. Освоєння мостового методу вимірювання.

- 1.1. Ознайомитись з принциповою схемою та конструкцією моста Р333.
- 1.2. З'ясувати призначення клем, органів управління та зміст відповідних умовних позначень принципової схеми.
- 1.3. Виконати пробні вимірювання зразкових опорів. Для цього під'єднати до вимірних клем 2 і 3 магазин опорів, а перемикач схеми перевести у позицію “МВ”.
- 1.4. Процес зрівноваження моста слід виконувати в такому порядку:
 - вибрати множник n плеча відношення перемикачем $П_5$ та встановити очікуване значення опору R перемикачами $П_1...П_4$;
 - натиснути і зафіксувати кнопку “Вкл. Г” і декадними перемикачами змінювати опір R до встановлення стрілки гальванометра на “нуль”;
 - натиснути і зафіксувати кнопку “Грубо” і знову встановити стрілку на “нуль”;
 - натиснути і зафіксувати кнопку “Точно” і зрівноважити міст остаточно;
 - після зрівноваження всі три кнопки слід відпустити.
- 1.5. Зняти покази перемикачів змінного опору, обчислити опір за формулою (5.1) та співставити його з показом зразкового магазину опорів.
- 1.6. Повторити пробні вимірювання інших значень зразкового опору при різних значеннях множників n та M для закріплення навичок вимірювання.

Завдання 2. Виміряти сумарний опір двох жил.

- 2.1. Перемикач схеми залишити у позиції “МВ”.

2.2. За коротити кінці двох вибраних кабельних жил (наприклад, опорів R_0 і R_1), а їх початки подати на вимірні клеми 2 і 3 (рис. 5.2).

2.3. Перемикачем плеча відношення Π_5 встановити множник $n=0,01$, а перемикачами $\Pi_1 \dots \Pi_4$ змінний опір $R = 4000$ Ом.

4.4. Зрівноважити міст згідно з п.1.4, зняти покази R , обчислити сумарний опір $r_x = R_0$ за формулою (1) і похибку $\Delta R_{01} = \Delta r_x$ за формулою (5.2). Результати записати у табл. 5.1 див. рис. 5.8.

Таблиця 5.1 – Технічні показники засобів пошуку пошкодження в розподільних мережах з повітряними лініями електропередачі ПС 35/10 кВ

Пара жил	Сумарний опір									
	n	R	R_{ij}	ΔR_{ij}	R_0	ΔR_0	R_1	ΔR_1	R_2	ΔR_2
01										
02										
12										

2.4. Виконати аналогічні вимірювання та обчислення для інших двох пар кабельних жил R_{02} та R_{12} , ΔR_{02} та ΔR_{12} . Результати записати у табл. 5.1.

Завдання 3. Вимірювання опору до місця пошкодження за схемою ПВ.

3.1. Перемикач схеми встановити у позицію *ПВ*.

3.2. Зібрати вимірну схему згідно з рис. 5.6.

3.3. Встановити множник плеча відношення $n=0,01$, а опір плеча порівняння $R = 1000$ Ом.

3.4. Зрівноважити міст за методикою п. 5.4.

3.5. Покази R і n записати у табл. 5.2.

3.6. Розрахувати опір $r_{ПВ}$ ділянки r_x , похибку Δr_x за формулами (5.7) і (5.8) і результати записати у табл. 5.2.

3.7. Перекомутувати кінці кабельних жил для вимірювання ділянки після пошкодження r_y .

3.8. Виконати вимірювання r_y за методикою п.п. 5.4.

3.9. Перевірити виконання умови (5.9). Якщо розбіжність перевищує сумарну абсолютну похибку $\Delta r_x + \Delta r_y$, виконати повторні вимірювання, зміцнивши з'єднувальні контакти.

Завдання 4. Вимірювання опору до місця пошкодження за схемою ПМ.

- 4.5. Перемикач схеми встановити у позицію ПМ.
 4.6. Зібрати вимірну схему згідно з рис. 4.
 4.7. Встановити множник плеча відношення $M=100$ або $M=1000$, опір плеча порівняння $R=1000$ Ом.
 4.8. Виконати вимірювання та розрахунки аналогічно до п.п. 5.4 схеми ПВ. Результати занести у табл. 5.2 або див. рис. 5.9

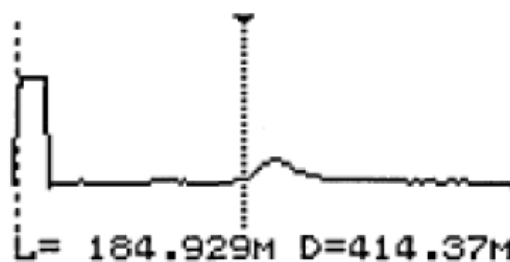
Завдання 5. Розрахунок віддалі до місця пошкодження та аналіз результатів.

5.1. Розрахувати L_x за формулою (5.13) та ΔL_x за формулою (5.15), використовуючи результати обох методів вимірювання.

Таблиця 5.2 – Технічні показники метод визначення віддалі до місця пошкодження ПС 35/10 кВ

Пара, ділянка	ПВ						ПМ					
	n	R	r_x	Δr_x	L_x	ΔL_x	n	R	$r_x (r_y)$	$\Delta r_x r_y$	L_x	ΔL_x
01 r_x												
01 r_y												

Укорочение Настройки
 Диапазон Память
 Зонд Режим
 Растяжка Компьютер
 Курсоры Калибровка
 Усиление Информация
 Смещение Параметры
 Усреднение Выключение



а)

б)

Рисунок 5.6 – Меню приладу РЕЙС-105Р а); зображення на дисплеї приладу РЕЙС-105Р при зондуванні лінії б)

5.2 Спів ставити результати розрахунку L обох методів вимірювання та зробити висновки про доцільніший метод визначення віддалі до місця пошкодження, досліджуваної кабельної ПС 35/10 кВ (див. рис. 5.7).

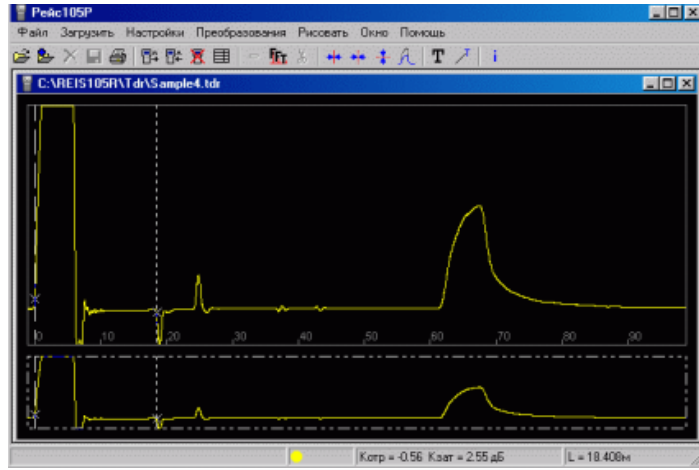


Рисунок 5.7 – Зображення вікна монітора при роботі з програмою РЕЙД-6

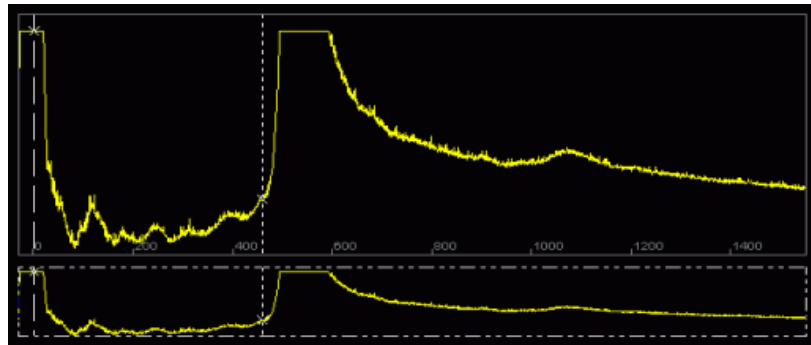


Рисунок 5.8 – Зображення рефлектограми до застосування перетворення Фур'є згідно методики п.п. 5.3

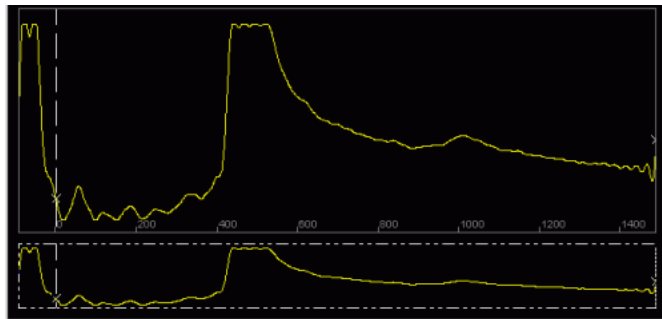


Рисунок 5.9 – Зображення рефлектограми після застосування перетворення згідно методики п.п. 5.3

Основними проблемами повітряних ліній ПС 35/10 кВ рефлектограми на рис. 5.8 та 5.9 є посереднє навчання персоналу користуватися даною методикою та обладнанням. Тому, що проблеми коректного моделювання та проектування надійності систем електропостачання недостатнє врахування природно-кліматичних умов; ці проблеми є і залишатимуться актуальними і вони потребують подальших досліджень.

Метою цього дослідження було виконано, а саме проблеми підвищення надійності електропостачання на сучасному етапі визначено та висвітлено

шляхи розв'язання промислового виробництва їх було запропоновано. Вдалось виконати всі поставлені перед дослідженням завдання, а саме виділити проблеми експлуатації повітряних ліній ПС 35/10 кВ та більш точно їх проаналізувати. Для більш ефективної роботи також знайдено та запропоновано методи вирішення цих питань.

Принцип, розглянутий в роботі для побудови моделі надійності, що враховує вплив зовнішнього середовища і можливі припущення, дозволяє отримати всебічну та більш точну оцінку моменту надійності систем електропостачання, що працюють під впливом факторів. Показники надійності повинні визначатися з урахуванням специфіки експлуатації умови систем електропостачання. Отримана математична модель для прогнозування реалізувати здатність використовувати для оптимізації систем і графіків технічного обслуговування, ремонту та профілактики. Проаналізовано сучасні підходи до проблем намагатися безпечно та стабільно задовольнити сучасні потреби споживачів електроенергії країни енергетична система. Подальші дослідження будуть спрямовані на виявлення проблем і перспектив розвитку впровадження нових технологій навчання персоналу для кращого обслуговування елементів системи електропостачання промисловості.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Потенційна точність розрахунку відстані до місця пошкодження аварійним способом параметри стану мають суттєві відмінності для кожної конкретної ПС 35/10 кВ. Це залежить від статистики дані про похибки вимірювальних трансформаторів струму і напруги, особливості цифрових обробки сигналів струму і напруги в дефектоскопі ПЛ і точність уточнення значення параметрів OPL, що аналізуються та їх фактичні значення, а також ряд інших факторів.

Представлена аналітична методика оцінки похибки ПЛ ЛП за аварійністю параметри стану дають змогу визначити місце несправності та розміри огляд області з більшою точністю, що необхідно для скорочення часу, необхідного для виконання аварійно-відновлювальних робіт, з метою забезпечення стабільності енергосистем та надійність електропостачання споживачів.

Запропоновані математичні вирази мають велике практичне значення, тому, що їх можна застосувати в локаторах несправностей OPL і цифрових терміналах релейного захисту використовувати одностороннє, а також двостороннє та багатостороннє вимірювання струмів і напруг під час входу в надзвичайний стан.

Досліджено аналітичний метод визначення місця пошкодження в мережах 35 кВ, 10 кВ на основі третьох матричних рівнянь ступеня для напруг. Дистанційний спосіб з подвійним одностороннім вимірюванням за параметрами аварійного режиму параметри режиму – напруги і струми на початку і в кінці лінії. Справа розглядаються при виявленні помилок у визначенні місця пошкодження розраховується теоретично, як показано на розрахунки, становлять лише 1%, як для металевих запірок, так і для парних запірок через контактний опір. Фактичні похибки залежатимуть від точності класи моста Р – 333, наприклад: 0,2 - 0,5 - 2,0 - 5,0. Справа розглядається похибка $\pm 5\%$.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ghadi M.; Rajabi A.; Ghavidel S.; Azizivahed A.; Li L.; Zhang J. From active distribution systems to decentralized microgrids: A review on regulations and planning approaches based on operational factors. *Appl. Energy* 2019, 253, 113543.
2. Schwan M.; Ettinger A.; Gunaltay S. Probabilistic reliability assessment in distribution network master plan development and in distribution automation implementation. In *Proceedings of the CIGRE, 2012 Session, Paris, France, 26–30 August 2012*; p. 4-203.
3. Alberto Escalera A.; Prodanovi'c M.; Castronuovo E. D. Analytical methodology for reliability assessment of distribution networks with energy storage in islanded and emergency-tie restoration modes. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 2019, 107, 735–744.
4. Lebedev V.; Filatova G.; Timofeev A. Increase of accuracy of the fault location methods for overhead electrical power lines. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2018, 2018, 3098107.
5. Saha M. M.; Izykowski J.; Rosolowski E. *Fault Location on Power Networks*; Springer: London, UK, 2010; p. 437.
6. Schweitzer E. O. A review of impedance-based fault locating experience. In *Proceedings of the 14th Annual Iowa–Nebraska System Protection Seminar, Omaha, NE, USA, 16 October 1990*; pp. 1–31.
7. Minullin R. G. Detecting the faults of overhead electric-power lines by the location-probing method. *Russ. Electr. Eng.* 2017, 88, 61–70.
8. CTO56947007-29.240.55.224-2016; Guidelines for Determining the Places of Damage to Overhead Lines with a Voltage of 110 kV and Higher (Date of Introduction: 17.08.2016). PJSC FGC UES
9. Ilyushin P. V. Emergency and post-emergency control in the formation of micro-grids. *E3S Web Conf.* 2017, 25, 02002.
10. Zaporozhets A. O. *Studies in Systems, Decision and Control*; Springer: Cham, Switzerland, 2021; Volume 359, pp. 35–53.

11. Senderovich G. A., Zaporozhets A. O., Gryb O. G., Karpaliuk I. T., Shvets S. V., Samoilenko I. A. Experimental studies of the method for determining location of damage of overhead power lines in the operation mode. In Control of Overhead Power Lines with Unmanned Aerial Vehicles (UAVs); Sokol, Y.I., Zaporozhets, A.O., Eds.; Studies in Systems, Decision and Control; Springer: Cham, Switzerland, 2021; Volume 359, pp. 55–77.
12. Gu et al. 2021 – Gu, C., Li, H., and Haces-Fernandez, F. 2021. Feasibility of the Potential for Wave and Wind Energy Hybrid Farm to Supply Offshore Oil Platform in Gulf of Mexico. DOI: 10.4043/31124-MS.
13. Gulkov YU. V., Turysheva A. V. 2021. Reducing the influence of lightning overvoltages on the electrical insulation of overhead power lines 6 (10) KV. News of the Tula State University. Engineering Sciences 5, pp. 452–458.
14. Gunger Y. R., Lavrov Y. A. 2008. Experience in the construction and operation of 6–10 kV power transmission lines on steel poles of the ELSI company in the oil and gas complex. Territory Oil and Gas 6, pp. 178–181.
15. Ivanov D. M. 2022. Application of automatic sectioning in order to improve the reliability of power supply to consumers of the overhead distribution network 6 (10) kV. Age of Science 30, pp. 49–58.
16. Kockel et al. 2022 – Kockel, C., Nolting, L., Priesmann, J. and Praktijnjo, A. 2022. Does renewable electricity supply match with energy demand? – A spatio-temporal analysis for the German case. Applied Energy 308(C), DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.118226.
17. Kozlov P. E. 2022. Simulation of emergency outages of network electrical equipment in order to increase reliability while optimizing the schedule of planned outages. Science Bulletin 50, pp. 172–177.
18. Lansberg et al. 2022 – Lansberg A. A., Panfilov A. A. and Vinogradov A. V. 2022. Analysis of possible methods of unauthorized voltage supply in electrical networks of 0.4–10 kV and the consequences of this. Scientific Journal of Young Scientists 27, pp. 43–50

19. Li et al. 2022 – Li, H., Yu, P., Li, S. and Deng, J. 2022. Study on internal overvoltages of 220 kV submarine cable transmission system of the offshore oil-gas field group. *Energy Reports* 8, pp. 377–386, DOI: 10.1016/j.egy.2022.01.202.
20. Misuri, A. and Cozzani, V. 2021. A paradigm shift in the assessment of Natech scenarios in chemical and process facilities. *Process Safety and Environmental Protection* 152, pp. 338–351, DOI: 10.1016/j.psep.2021.06.018.
21. Okorn et al. 2021 – Okorn, K., Jimenez, A., Collier-Oxandale, A., Johnston, J. and Hannigan, M. 2021. Characterizing methane and total non-methane hydrocarbon levels in Los Angeles communities with oil and gas facilities using air quality monitors. *Science of the Total Environment* 777(15), DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146194.
22. Oliveira-Pinto et al. 2019 – Oliveira-Pinto, S., Rosa-Santos, P. and Taveira-Pinto, F. 2019. Electricity supply to offshore oil and gas platforms from renewable ocean wave energy: Overview and case study analysis. *Energy Conversion and Management* 186, pp. 556–569, DOI: 10.1016/j.en-conman.2019.02.050.
23. Sakib et al. 2021 – Sakib, N., Hossain, N.U.I., Nur, F., Talluri, S., Jaradat, R. and Lawrence, J.M. 2021. An assessment of probabilistic disaster in the oil and gas supply chain leveraging Bayesian belief network. *International Journal of Production Economics* 235(C), DOI: 10.1016/j.ijpe.2021.108107.
24. Sarmiento et al. 2021 – Sarmiento L., Molar-Cruz A., Avraam C., Brown M., Rosellón J., Siddiqui S. and Rodríguez B. S. 2021. Mexico and US power systems under variations in natural gas prices. *Energy Policy* 156, DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112378.
25. Toshkhodzhaeva M. I., Khodzhiev A. A. 2020. Mathematical model of the influence of natural and operational factors on the reliability of 110 kV power transmission lines in a sharply continental climate. *Bulletin of the Kazan State Power Engineering University* 1(45), pp. 71–81.