

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
“ ____ ” _____2022р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої
освіти
на тему
“Підвищення ефективності роботи пристроїв
визначення місць пошкодження в повітряних
електричних мережах”

Виконав здобувач вищої освіти
2 курсу магістратури, групи ЕЕ-21М
ОПП «Електротехнічні системи
електроспоживання»
спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»
_____Скворцов М.Д.
« ____ » _____2022р.
Керівник роботи
к.т.н., доцент
_____Андрій КОТИШ
« ____ » _____2022р.
Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Будівництва та транспорту

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Плешков П.Г.

«_____» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

_____ Скворцова Миколи Дмитровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Підвищення ефективності роботи пристроїв визначення місць пошкодження в повітряних електричних мережах

Increasing the efficiency of devices for determining damage locations in overhead electrical networks

2. Керівник роботи (проекту)

Котили Андрій Іванович, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 29.11.2022 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Вступ; 1.Стан, перспективи та актуальність питання ВМП на повітряних ЛЕП; 2.Аналіз методів і засобів ВМП на повітряних лініях електропередач; 3.Дослідження шляхів підвищення ефективності визначення місць пошкодження на ЛЕП; 4.Визначення економічної ефективності впровадження засобів ВМП в електричних мережах; 5.Охорона праці; Загальні висновки; Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Економічна частина</i>	<i>к.е.н., доц. Ірина ЖУРИЛО</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н, доц. Іван САВЕЛЕНКО</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	07.10.22	
2	<i>Стан, перспективи та актуальність питання ВМП на повітряних ЛЕП</i>	12.10.22.	
3	<i>Аналіз методів і засобів ВМП на повітряних лініях електропередач</i>	20.10.22.	
4	<i>Дослідження шляхів підвищення ефективності визначення місць пошкодження на ЛЕП</i>	01.11.22.	
5	<i>Визначення економічної ефективності впровадження засобів ВМП в електричних мережах</i>	10.11.22.	
6	<i>Охорона праці</i>	20.11.22	
7	<i>Загальні висновки</i>	28.11.22. 2.	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2022 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2022 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: с.; 55 рис.; 6 табл.; 42 джерела.

Скворцов М.Д. Підвищення ефективності роботи пристроїв визначення місць пошкодження в повітряних електричних мережах. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електротехнічні системи електроспоживання». Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький, 2022 р.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз та дослідження шляхів підвищення ефективності роботи пристроїв визначення місць пошкодження (ВМП) в повітряних електричних мережах.

Підвищення точності та швидкості визначення місця пошкодження на лініях електропередач (ЛЕП) дає значний техніко-економічний ефект, обумовлений скороченням перерв у електропостачанні, зменшенням транспортних витрат на обхід ЛЕП, мінімізацією загального часу організації ремонтно-відновлюваних робіт.

Результати досліджень, проведених в даній магістерській роботі, можуть бути використані при проведенні досліджень з підвищення ефективності роботи енергосистеми в цілому, а також в реальному впровадженні розглянутих способів у процесі ВМП.

Ключові слова: місце пошкодження, коротке замикання, повітряні лінії електропередач, пристрої визначення місця пошкодження, методи визначення місця пошкодження.

SUMMARY

Skvortsov M.D. Increasing the efficiency of devices for determining damage locations in overhead electrical networks. 141 "Electric power, electrical

engineering and electromechanics" EPP, "Electrical power consumption systems". Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi, 2022.

The purpose of the qualification work is the analysis and research of ways to increase the efficiency of damage detection devices (VMP) in overhead electrical networks.

Increasing the accuracy and speed of determining the location of damage on power lines (power lines) has a significant technical and economic effect, due to the reduction of interruptions in power supply, the reduction of transport costs for bypassing power lines, and the minimization of the total time of organizing repair and restoration works.

The results of research conducted in this master's thesis can be used in conducting research on improving the efficiency of the power system as a whole, as well as in the actual implementation of the considered methods in the process of VMP.

Keywords: location of damage, short circuit, overhead power lines, devices for determining the location of damage, methods for determining the location of damage

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. Стан, перспективи та актуальність питання ВМП на повітряних ЛЕП.....	10
1.1 Сучасні способи вирішення ВМП.....	14
1.1.1 Алгоритмічна модель об'єкта	14
1.1.2 Методика побудови моделей ліній електропередачі.....	24
1.1.3 Реалізація способів ВМП.....	28
2. Аналіз методів і засобів ВМП на повітряних лініях електропередач.....	32
2.1 Класифікація методів ВМП.....	32
2.1.1 Топографічні методи ВМП.....	35
2.1.2 Імпульсні методи ВМП.....	36
3. Дослідження шляхів підвищення ефективності визначення місць пошкодження на ЛЕП.....	43
3.1 Вдосконалення методів і технічних засобів ВМП ЛЕП на основі активного зондування.....	43
3.1.1 Розробка і дослідження нових методів активного зондування з використанням складних широкосмугових сигналів.....	45
3.1.2 Технічні вимоги до автоматичного локаційного шукача. Нові алгоритми цифрової обробки сигналів.....	50
3.1.3 Експериментальні дослідження нових методів і алгоритмів на основі «АЛИМП». Оцінка ефективності.....	58
3.2 Розробка системи дистанційного моніторингу на основі рефлектометрів.....	65
3.2.1 Принципи побудови системи моніторингу.....	65
3.2.2 Інтеграція системи моніторингу.....	71

3.3 Підвищення точності ВМП ЛЕП на основі методів пасивної локації і навігації.....	75
3.3.1 Застосування GPS-системи супутникової навігації у процесі ВМП.....	77
3.3.2 Аналіз хвильового пристрою ВМП з використанням методів пасивної локації.....	80
3.4 Захист імпульсних приладів ВМП від імітуючих перешкод.....	90
4. Визначення економічної ефективності впровадження засобів ВМП в електричних мережах.....	99
5. Охорона праці.....	105
5.1 Технічні заходи, що забезпечують безпеку при експлуатації повітряних ліній	106
5.2 Розрахунок заземлення.....	113
ВИСНОВКИ.....	117
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	120

ВСТУП

Джерела і споживачі електричної енергії пов'язані між собою електричними мережами. Незважаючи на вдосконалення конструкції повітряних ліній електропередачі та електричних апаратів, аварійні пошкодження в системах електропостачання неминучі. Пошкодження ліній електропередачі призводять до недовідпуску електроенергії споживачам і порушення режимів роботи енергооб'єднань. Тому однією з найважливіших задач являється швидке і точне визначення місця пошкодження (ВМП) ЛЕП, розв'язання якої має дати значний економічний ефект, що обумовлений скороченням перерв в електропостачанні, зменшенням транспортних витрат на об'їзд ЛЕП, мінімізацію загального часу організації ремонтно-відновлюваних робіт.

Задача ВМП ЛЕП має велике значення для об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС) України, зважаючи на фізичну та моральну застарілість електроенергетичного обладнання, зокрема і ЛЕП, та для проблем, пов'язаних із запланованою паралельною роботою ОЕС України з електроенергетичним об'єднанням Євросоюзу (УСТЕ). Передбачене “Енергетичною стратегією України на період до 2030 року” додаткове збільшення встановлених потужностей на атомних електростанціях та, як наслідок, можливе перевищення пропускної здатності ЛЕП може призводити до збільшення кількості випадків пошкодження ЛЕП.

В умовах ринкових відносин між постачальниками і споживачами електричної енергії одним із наслідків аварійного відключення енергії стає відшкодування збитку споживачам. Українське законодавство, включаючи Цивільний кодекс і Закон про захист прав споживачів, передбачає матеріальну відповідальність постачальників перед споживачами, в тому числі і відповідальність електропостачальних організацій. У судовій практиці вже неодноразово мали місце випадки задоволення позовів споживачів про

стягнення шкоди від недовідпуску електроенергії з електропостачальної організації. Законодавством розвинених держав передбачені прогресивні шкали оцінки збитку з боку споживача від припинення подачі електричної енергії.

Пошкодження ліній електропередачі завдають шкоди електромережним компаніям. Один з переважних шляхів зниження збитку лежить в скороченні сумарного часу відшукування і усунення пошкоджень за певний експлуатаційний період. Особливо важливу роль у цьому відіграють засоби визначення місця пошкодження (ВМП). У разі якісного ВМП ремонтна бригада швидко знаходить пошкодження і в стислі терміни.

1. СТАН, ПРЕСПЕКТИВИ ТА АКТУАЛЬНІСТЬ ПИТАННЯ ВМП НА ПОВІТРЯНИХ ЛЕП

Вихід з ладу ліній електропередач (ЛЕП), як правило, призводить до знеструмлення споживачів та зниження надійності електропостачання. Тому однією з найважливіших є задача точного і швидкого визначення місця пошкодження ЛЕП, розв'язання якої дає значний економічний ефект, обумовлений скороченням перерв в електропостачанні, зменшенням транспортних витрат на об'їзд ЛЕП, мінімізацією загального часу організації ремонтно-відновлюваних робіт. Задача ВМП ЛЕП має особливе значення для об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС) України, зважаючи на фізичну та моральну застарілість електроенергетичного обладнання, зокрема і ЛЕП, та для проблеми, пов'язаної із запланованою паралельною роботою ОЕС України з електроенергетичним об'єднанням Західної Європи (УСТЕ). “Енергетичною стратегією України на період до 2030 року” передбачене додаткове збільшення встановлених потужностей на атомних електростанціях та, як наслідок, можливе перевищення пропускної спроможності ЛЕП може призводити до збільшення випадків пошкодження ЛЕП.

Сьогодні найбільше застосування в практиці електроенергетичних систем (ЕЕС) знайшли технічні й програмні засоби ВМП, що базуються на вимірюванні параметрів аварійного режиму (ПАР) з одного та двох боків ЛЕП. При цьому під ВМП найчастіше розуміється визначення виду та місця короткого замикання (КЗ) на ЛЕП. На точність ВМП ЛЕП впливає як точність вимірювання ПАР, так і те, що з одного чи двох боків ЛЕП проводиться вимірювання (значення перехідного опору суттєво впливає на точність ВМП ЛЕП, але не визначається при однобічному вимірюванні ПАР).

Все це, а також прагнення використовувати всю доступну інформацію як апіорну, так і поточну, робить актуальним розробку нових більш точних методів розв'язання задачі ВМП ЛЕП.

Проведення періодичних оглядів, профілактичних вимірювань і випробувань не гарантує безвідмовної роботи повітряних ліній електропередач (ЛЕП). В практичній експлуатації завжди мають місце випадкові ушкодження ліній: симетричні, несиметричні короткі замикання і обриви проводів ліній. Однією з важливих завдань експлуатації повітряних ЛЕП є швидке визначення місця пошкодження (ВМП) і проведення ремонтно-відновлювальних робіт.

При великій розгалуженості і протяжності розподільчих мереж зазначена задача ефективно може вирішуватися тільки при використанні спеціальних технічних методів, що засновані на вимірюванні і запам'ятовуванні параметрів аварійного режиму (струмів і напруг прямої, зворотної та нульової послідовностей) та обчисленні відстані до місць ушкодження. В таких мережах використовуються, як правило, двосторонні методи, засновані на фіксації струмів і напруг по кінцях лінії.

Для вимірювання і запам'ятовування струмів і напруг використовуються напівпровідникові і мікропроцесорні фіксуючі прилади. У порівнянні із напівпровідниковими, мікропроцесорні фіксуючі прилади дозволяють реалізувати більш складні алгоритми ВМП. Також вони більше пристосовані до перепрограмування при зміні параметрів мережі і є більш точними. Досвід експлуатації мікропроцесорних приладів ВМП показав, що похибка визначення відстані до місця пошкодження, як правило не перевищує 5%.

До сучасних мікропроцесорних пристроїв ВМП можна віднести, такі як:

- Прилади науково-виробничого підприємства "Бреслер": ІМФ - 3Р; Бреслер - 0107.090; МИР-Р; Ремі; ТОР-Локатор, з відображенням відстані до місця пошкодження на вбудованому табло. Перевагою таких засобів є оперативність отримання результатів і низькі вимоги до кваліфікації персоналу. Також підприємство випускає два продукти для визначення місця пошкодження ЛЕП: програмний комплекс WinBres з

модулем двостороннього ВМП BresOMP і апаратний комплекс двостороннє ВМП Бреслер-0107.090. Досягнена точність: - 2 ... 3 % при односторонньому вимірі і -0,3 ... 1% при двосторонньому [1].

- Системи ВМП QUALITROL (США), що базуються на методі «біжучої хвилі», сутність якого полягає в тому, що пошкодження на працюючій лінії породжує імпульс, що поширюється по лінії в обидві сторони. Система складається з двох локаторів ушкоджень Qualitrol, розташованих на обох кінцях контрольованої лінії, і персонального комп'ютера, на який надходить від локаторів вся необхідна інформація. Перевагами даної системи є висока точність ВМП (точність до опори, ± 150 метрів), незалежна від протяжності лінії і від змін її параметрів, ідентифікація всіх типів пошкоджень та простота монтажу [2].
- Комплект апаратури «Локатор», розроблений Єкатеринбурзьким радіозаводом, призначений для моніторингу стану фазних проводів ЛЕП. Застосування апаратури дозволяє своєчасно запобігати пробоям ізоляторів, спроби крадіжки проводів ліній електропередач під напругою або знеструмлених і несанкціонованого підключення споживачів. Для лінії протяжністю не більше 500 км похибка визначення координат пошкодження не перевищує ± 150 м [3].

Слід сказати, що використання локаційних методів порівняно з методами ВМП повітряних ЛЕП по параметрам аварійного режиму дає більш точні результати, але вимагає значно великих вкладень і його економічна доцільність для ЛЕП 110-220 кВ проблематична.

Таким чином, в даний час активно ведеться розробка різних методів ВМП, але все ще в результатах розрахунків завжди є похибка.

До основних чинників, які знижують точність роботи пристроїв ВМП, відносяться:

- 1) Похибки роботи вимірювальних трансформаторів струму і трансформаторів напруги.

- 2) Невизначеність і нестійкість перехідного опору короткого замикання, яке призводить до неточності вимірювання параметрів КЗ.
- 3) Неточність врахування взаємної індуктивності між паралельно проходжуваними лініями електропередачі, яка також обумовлена відсутністю належної ідентифікації параметрів схем заміщення за фактичними даними.
- 4) Неточність прийнятих за довідковими даними параметрів ЛЕП.
- 5) Спрощений підхід до моделювання перехідних процесів в лініях електропередачі при коротких замиканнях, яка полягає в тому, що в загальному випадку не враховується вплив активних опорів, фазових зрушень між векторами напруг по кінцях ліній та інших факторів.

1.1 Сучасні способи вирішення ВМП

В даний час в енергетиці застосовуються дистанційні способи визначення місць пошкодження лінії електропередачі. Виділено основні групи: *імпульсні* і методи розпізнавання *по параметрах аварійного режиму*. Черговий етап їх розвитку збігся з переходом пристроїв релейного захисту і автоматики (РЗА) на мікропроцесорну базу, що дозволило вирішити ряд як технічних, так і алгоритмічних проблем.

Головна перевага мікропроцесорної РЗА полягає в істотному розширенні інформаційної бази і, що не менше важливо, в здібності скористатися цим об'ємом даних при допомозі алгоритмічних моделей електроенергетичних об'єктів. Вищесказане в повній мірі має своє застосування до завдання визначення місця ушкодження. Найбільше поширення отримали методи ВМП по параметрах аварійного режиму, і досягти найкращих результатів дозволяють ті з них, що належним чином використовують *алгоритмічні моделі*.

1.1.1 Алгоритмічна модель об'єкта

Алгоритмічна модель об'єкта (АМО) представляє собою систему обробки інформації, яка по вимірюваним електричним величинам $\underline{U}_s$ і $\underline{I}_s$, утворюючим вектор спостереження, формує струм $\hat{\underline{I}}_f$ і напругу $\hat{\underline{U}}_f$ в точці f , недоступною спостереженню (рис. 1.1.1). Дана операція в загальному випадку виражається наступним чином:

$$\begin{bmatrix} \hat{\underline{U}}_f \\ \hat{\underline{I}}_f \end{bmatrix} = \underline{\mathbf{B}} \begin{bmatrix} \underline{U}_s \\ \underline{I}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{B}}_{11} & \underline{\mathbf{B}}_{12} \\ \underline{\mathbf{B}}_{21} & \underline{\mathbf{B}}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_s \\ \underline{I}_s \end{bmatrix},$$

де $\underline{\mathbf{B}}$ - матриця перетворення АМО. Алгоритмічне моделювання, таким чином, полягає в синтезі матриці $\underline{\mathbf{B}}$ і передбачає визначення еквівалентної пасивної структури $\Pi_{екв}$, яка зв'язує точку f з місцем спостереження s .

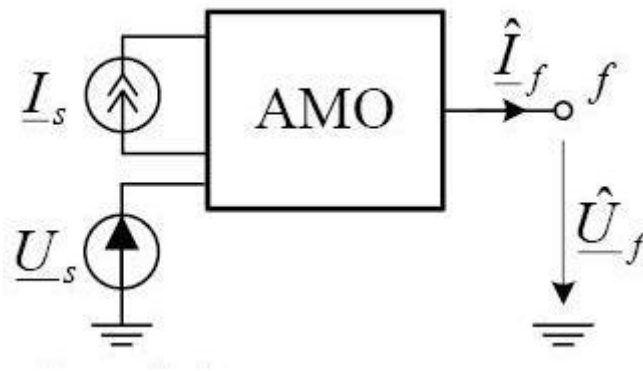


Рис. 1.1.1 Алгоритмічна модель об'єкта

Лінія, розділена щодо точки f на передавальну і приймальну частини, і система протилежного кінця представляється своїми пасивними структурами Π_1 , Π_2 і Π_r відповідно. При перерахунку спостережуваних величин в гілці передбачуваного ушкодження враховуються всі перераховані елементи схеми. У другому типі перетворення еквівалентна структура $\Pi_{екв}$ визначається лише передавальною частиною ЛЕП.

Таблиця 1.1.1

Шукані величини	Визначення пасивних структур елементів	Визначення еквівалентної структури
Перетворення в гілку передбачуваного ушкодження		
Перетворення в кінець ділянки ЛЕП		

Алгоритмічній моделі доступні параметри лінії електропередачі і вектори спостереження попереднього, поточного і, як наслідок, чисто аварійного режимів (рис. 1.1.2). У моделі чисто аварійного режиму діють аварійні складові струмів і напруг

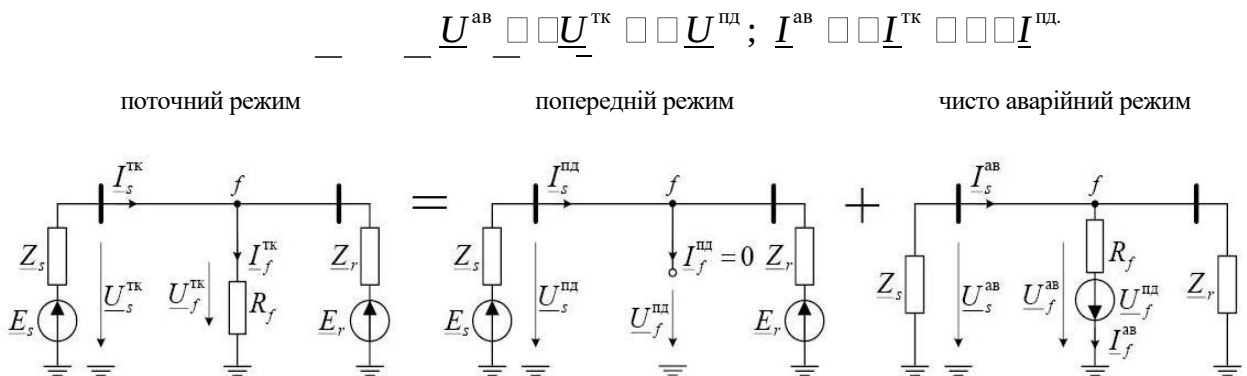


Рис.1.1.2 Інтерпретація поточного режиму

По черзі оперуючи векторами спостереження попереднього $[\underline{U}_s^{пд} \quad \underline{I}_s^{пд}]^T$ і чисто аварійного $[\underline{U}_s^{ab} \quad \underline{I}_s^{ab}]^T$ режимів, алгоритмічна модель оцінює електричні величини в передбачуваному місці пошкодження. Напруги і струми поточного режиму в точці f визначаються накладенням отриманих оцінок. В задачі ВМП знайдені величини використовуються для визначення цільової функції, до якої в подальшому застосовується критерій пошкодження.

Залежно від обсягу інформації, використовуваної для оцінювання аварійних параметрів - координати місця пошкодження x_f і перехідного опору R_f , - різняться одно- і двосторонні методи ВМП (табл. 1.1.2). При односторонньому розрахунку вектор $[\underline{U}_s \quad \underline{I}_s]^T$, вимірюваний на одному з кінців ЛЕП, перетворюється у величину реактивної потужності Q_f гілки передбачуваного пошкодження

$$Q_f = \text{Im} \left(\hat{\underline{U}}_f^{TK} \hat{\underline{I}}_f^{TK*} \right),$$

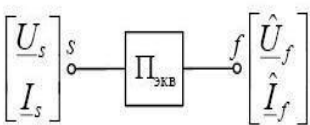
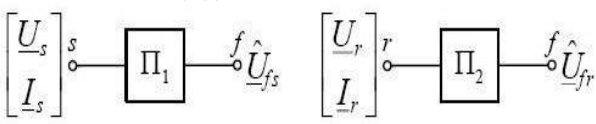
до якої застосовується критерій резистивності дуги в місці замикання.

При двосторонньому ВМП використовується також замір з протилежної сторони лінії $[\underline{U}_r \quad \underline{I}_r]^T$. Обидва вектори перетворюються на оцінки напруг $\underline{\hat{U}}_{fs}$ і $\underline{\hat{U}}_{fr}$ в точці f лінії електропередачі. В якості цільової функції при двосторонньому ВМП використовується різниця модулів отриманих величин

$$\Delta U_f = \hat{U}_{fs}^{ab} - \hat{U}_{fr}^{ab}.$$

Рівність її нулю в місці пошкодження пояснюється наявністю в точці f схеми чисто аварійного режиму поперечної гілки з джерелом аварійної потужності (рис. 1.1.2).

Таблиця 1.1.2

Реалізоване перетворення	Критерій пошкодження
Одностороннє ВМП	
У гілку передбачуваного ушкодження 	$Q_f = \text{Im} \left(\underline{\hat{U}}_f^{\text{TK}} \underline{\hat{I}}_f^{\text{TK}*} \right) = 0$
Двостороннє ВМП	
В кінець ділянки 	$\Delta U_f = \hat{U}_{fs}^{ab} - \hat{U}_{fr}^{ab} = 0$

Застосування даних методів обмежується двухкінцевими мережами - за наявності трьох і більше вузлів живлення вони не дають прийнятного результату. Таким чином, постає питання про розробку способу багатостороннього визначення місця пошкодження. На рис.1.1.3

представлена лінія з трьохстороннім живленням, де буквою n позначена точка з'єднання променів живлення, а цифрами – їх номери k .

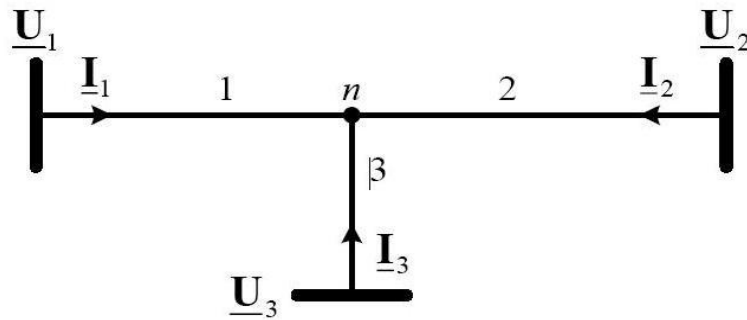


Рис. 1.1.3 Приклад схеми з трьохстороннім живленням

Вихідними даними є параметри ЛЕП, а також вектори замірів напруг $\underline{U}_k = [U_{Ak} \quad U_{Bk} \quad U_{Ck}]^T$ на кінцях променів і струмів $\underline{I}_k = [I_{Ak} \quad I_{Bk} \quad I_{Ck}]^T$, протікаючих від шин в лінію, як у попередньому, так і в поточному режимах роботи мережі.

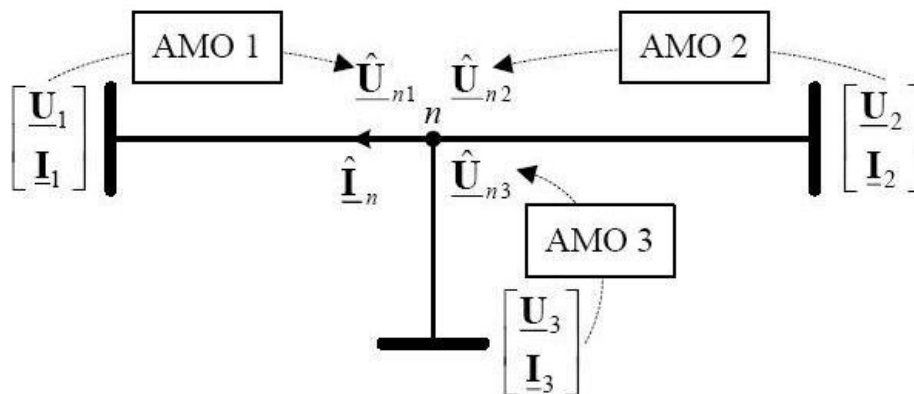
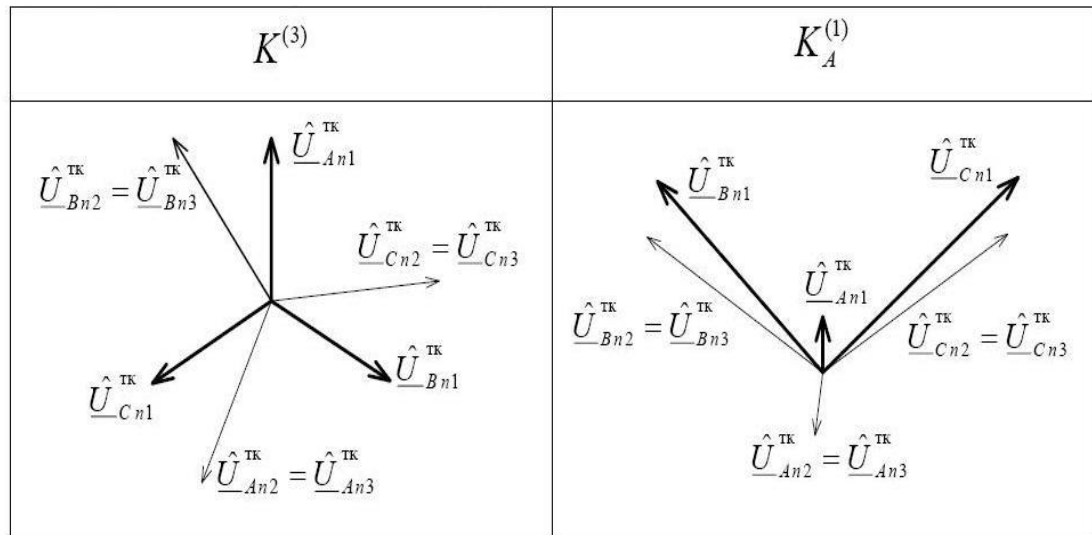


Рис. 1.1.4 Отримання контрольних вимірів напруги

За наявності додаткового підживлення пов'язана задача попередньої ідентифікації пошкодженої ділянки лінії. Для її вирішення використовують контрольні заміри напруги поточного режиму, які отримуються при переході від електричних величин по кінцях променів живлення до точки n за

допомогою відповідних АМО (рис.1.1.4). Контрольні заміри з боку непошкоджених променів будуть однаковими, оскільки на цих ділянках немає непередбачених елементів.

Таблиця 1.1.3



В табл. 3 наведені векторні діаграми напруг $\underline{\hat{U}}_{nk}$ при трифазному $K^{(3)}$ і однофазному $K_A^{(1)}$ коротких замикань (КЗ) на першій ділянці. Аналіз показав, що при всіх видах замикань однозначно вказує на дві непошкоджені ділянки з трьох результат порівняння модулів трьох різницевих напруг і визначення найменшого з них

$$\left(\left| \underline{\hat{U}}_{\lambda n1}^{\text{TK}} - \underline{\hat{U}}_{\lambda n2}^{\text{TK}} \right|; \left| \underline{\hat{U}}_{\lambda n1}^{\text{TK}} - \underline{\hat{U}}_{\lambda n3}^{\text{TK}} \right|; \left| \underline{\hat{U}}_{\lambda n2}^{\text{TK}} - \underline{\hat{U}}_{\lambda n3}^{\text{TK}} \right| \right) \rightarrow \min ,$$

де λ - позначення контрольної фази. Наприклад, при замиканні на

другому промені живлення мінімальною виявиться різниця $\left| \underline{\hat{U}}_{\lambda n1}^{\text{TK}} - \underline{\hat{U}}_{\lambda n3}^{\text{TK}} \right|$.
Вибір контрольної фази λ залежить від виду пошкодження (табл.1.1.4).

Таблиця 1.1.4

	Вид короткого замикання	
	$K^{(1)}$	$K^{(2)}, K^{(1,1)}$ и $K^{(3)}$
Фаза λ	Пошкоджена фаза	Будь-яка із пошкоджених фаз

Вектори спостереження по кінцях непошкоджених ділянок перетворюються відповідними алгоритмічними моделями у віртуальний вимір. Він об'єднує напруги $\underline{U}_n$ в місці з'єднання променів і струми $\underline{I}_n$, які протікають від точки n в пошкоджену лінію, як показано на рис. 4.

Алгоритмічні моделі непошкоджених ділянок дозволяють знайти оцінки струмів в кінці своїх променів. У разі замикання на першій ділянці це вектори $\hat{\underline{I}}_{n2}$ і $\hat{\underline{I}}_{n3}$. Як видно з рис. 1.1.5, їх сума являє собою шуканий струм

$$\underline{I}_n \approx \hat{\underline{I}}_{n2} + \hat{\underline{I}}_{n3}$$

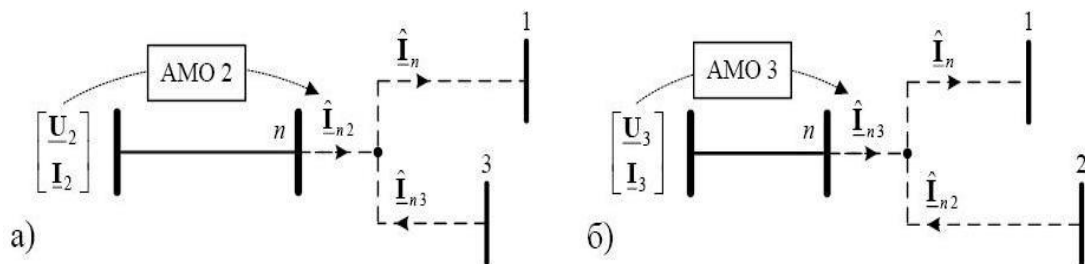


Рис. 1.1.5 Алгоритмічні моделі

а - другого; б - третього ділянок

Напруга $\underline{U}_n$ знаходиться усереднюванням векторів контрольних замірів, формованих алгоритмічними моделями непошкоджених ділянок.

Величини напруг і струмів, що фіксуються по кінцях живлення, зазвичай між собою не синхронізовані, тобто кожна із систем $\underline{U}_k$ $\underline{I}_k$ побудована відносно свого базового вектора, тому напряму використовувати їх для отримання віртуальних замірів не можна.

На рис.1.1.6 приведена діаграма для випадку $KA^{(1)}$ на третьому промені, побудована при перерахунку несинхронізованих замірів до точки n .

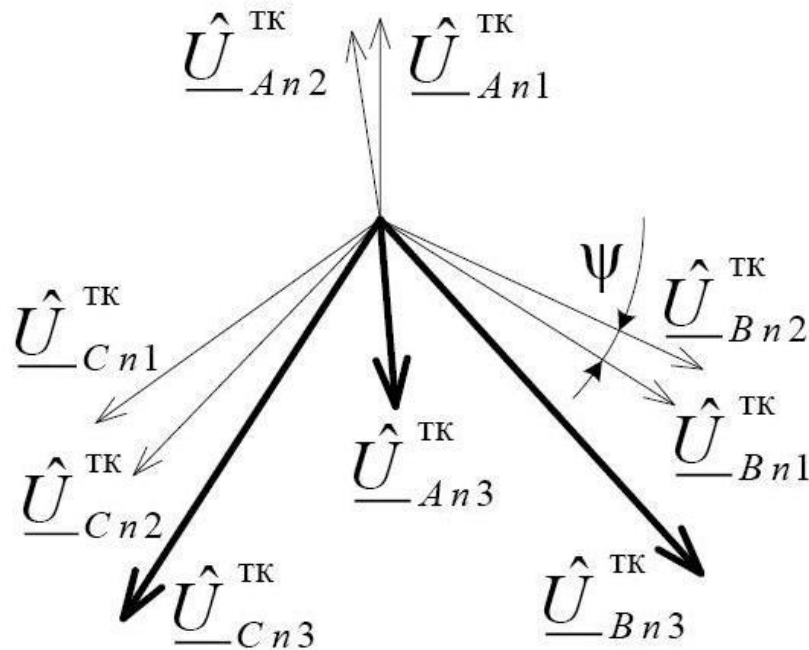


Рис.1.1.6 Діаграма напруг у разі несинхронізованих замірів

Вибираючи одну з двох систем оцінок $\hat{\underline{U}}_n$, отриманих із сторін непошкоджених ділянок, за базову і довертаючи другу на необхідний кут ψ , добиваємося їх збігу. На такий же кут необхідно повернути і відповідні обраній ділянці спостережувані струми і напруги, синхронізуючи тим самим реєстровані величини.

У загальному випадку (рис. 1.1.7) розглядаються ділянки двох типів: живлячі і внутрішні. Живляча ділянка відходить від шин системи та спостерігається на одній із своїх сторін. Внутрішня ділянка, само-собою, не спостерігається. На рис. 1.1.7 спеціальним значком позначені реальні пристрої, що реєструють необхідні нам величини, а іншим значком - віртуальні спостерігачі, що визначають за допомогою алгоритмічних моделей оцінки недоступних спостереженню величин.

Віртуальний замір1

Віртуальний замір2

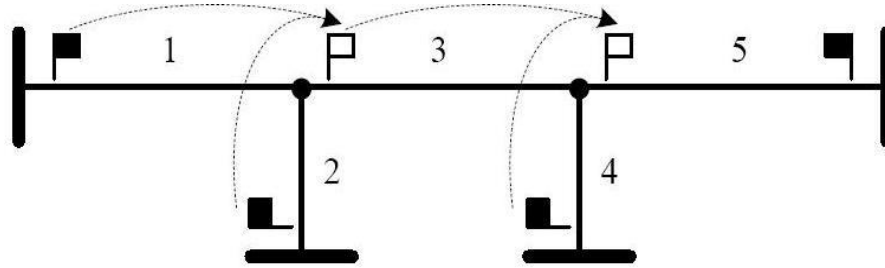


Рис. 1.1.7 Схема з багатостороннім живленням

Попарним об'єднанням векторів спостереження (як реальних, так і віртуальних) визначаються віртуальні виміри на кінцях всіх ділянок схеми. Далі лінія розділяється щодо своїх вузлів на трьохпроменеві фрагменти. Критерій (3), застосований до вимірів по кінцях кожного з них, дозволяє знайти пошкоджену ділянку. Інформація про аварію при перерахунку переноситься у віртуальні виміри, тому для виявлення пошкодженого елементу схеми застосовуються такі правила:

- 1) при виникненні аварії на живлячій ділянці тільки один із трьохпроменевих фрагментів вкаже на нього;
- 2) при виникненні аварії на внутрішній ділянці на нього вкажуть два суміжних трьохпроменевих фрагмента.

Далі виконується процедура двостороннього ВМП на знайденому відрізку моделі. При цьому використовуються алгоритмічна модель пошкодженої ділянки і вектори спостереження на його кінцях.

Описаний спосіб багатостороннього ВМП може бути застосований для вирішення задачі локації на лініях з відгалуженнями. Сторона тупикової підстанції, як правило, спостереженням не охоплена (рис. 1.1.8), що створює проблему визначення місця пошкодження на відгалуженні.

Ідентифікація пошкодженої ділянки заключається в розмежуванні режимів замикання на основній лінії і на лінії відгалуження. В якості інформаційної бази для вирішення даної задачі вибраний віртуальний замір $\underline{U}_n^{ab}$, отриманий в результаті перетворення спостережуваних на кінцях ЛЕП електричних величин до точки n .

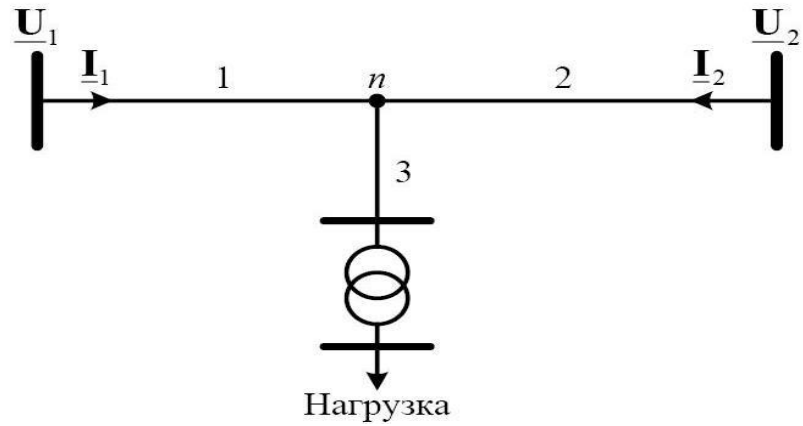


Рис. 1.1.8 Приклад лінії з відгалуженням

Використовуючи вектори спостереження $[\underline{U}_1^{ab} \quad \underline{I}_1^{ab}]^T$ і $[\underline{U}_2^{ab} \quad \underline{I}_2^{ab}]^T$ чисто аварійного режиму, можна визначити параметри систем по кінцях ЛЕП і вид замикання, що дозволяє за результатами навчання локатора на імітаційної моделі в режимах замикань на всіх трьох ділянках схеми побудувати характеристику спрацювання, використовувану для ідентифікації пошкоджень на лініях відгалуження (рис.1.1. 9).

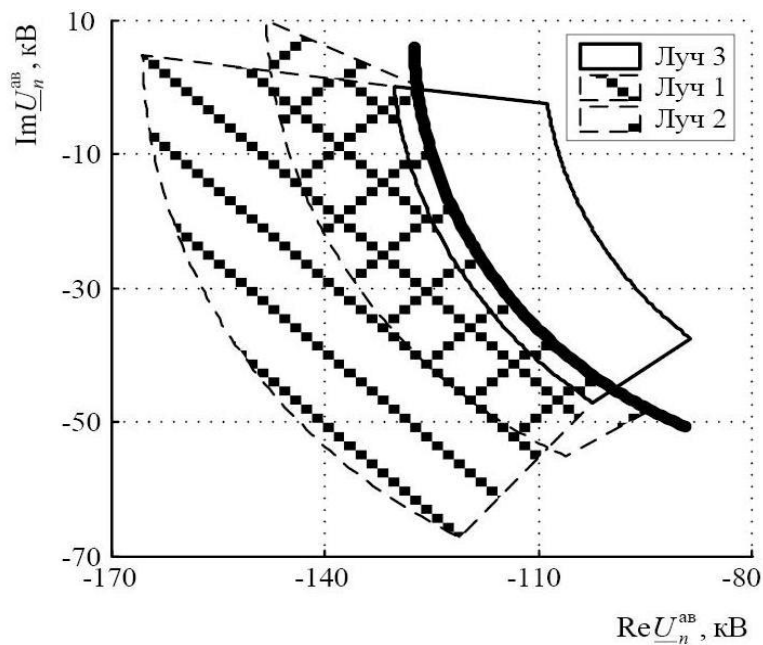


Рис. 1.1.9 Побудова характеристики спрацювання

Величина області нерозпізнавання замикань біля вузла n визначається параметрами і структурою лінії. Оцінити її величину при різних видах КЗ дозволяють об'єктні характеристики $R_f(x_f)$ (рис. 1.1.10), де значення перехідного опору при замиканні в місці X_f лінії відгалуження

визначається мінімумом відстані між областю замикань на третьому промені і областю замикань на основній ЛЕП (першому і другому променях).

При замиканні на основній лінії виконується двостороннє визначення місця пошкодження щодо всієї ЛЕП з використанням замірів на її кінцях. У разі виявлення пошкодження на відгалуженні здійснюється одностороннє ВМП за віртуальним заміром $\begin{bmatrix} \underline{U}_n & \underline{I}_n \end{bmatrix}^T$.

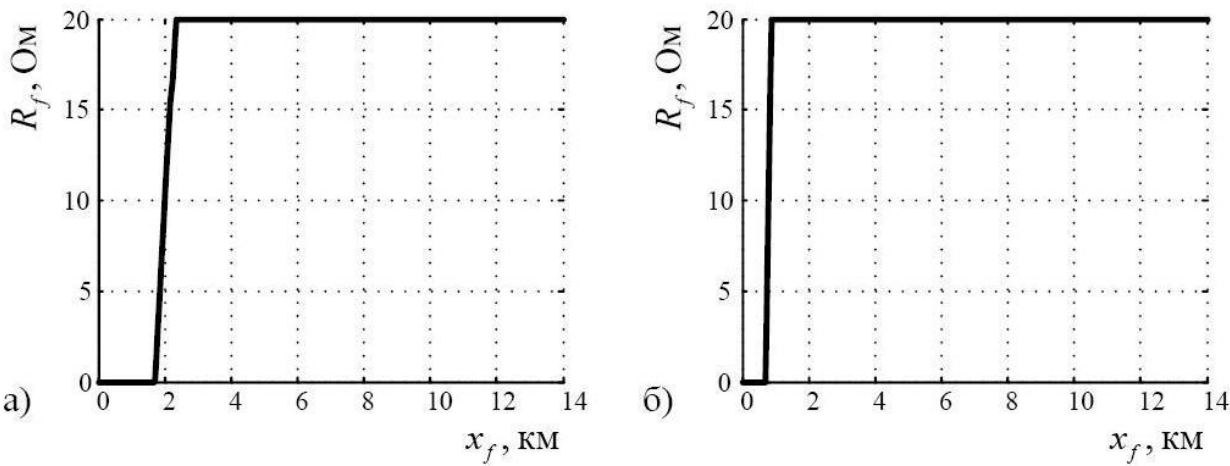


Рис. 1.1.10 Об'єктні характеристики розпізнавання замикань на лінії відгалуження
а - при однофазному замиканні; б - при міжфазному замиканні.

1.1.2 Методика побудови моделей ліній електропередачі. Спосіб врахування реальної несиметрії ЛЕП в базисі симетричних складових.

Лінія розділяється на ділянки однорідності (секції), протягом яких питомі параметри ЛЕП залишаються незмінними. Секція описується типом проводів і опор, розташованих на відповідній ділянці, типом і режимом заземлення грозозахисних тросів, наявністю взаємного зв'язку з іншими лініями і вноситься в загальну модель своєї Π -подібної схеми заміщення. Залежно від конструктивних і функціональних особливостей розрізняються ділянки шести типів, представлені в табл.1.1.5.

Таблиця 1.1.5

	Описання	Схема	Внесення у модель
Овні участки	Одноланцюгова ділянка ПЛ,		
	кабельна вставка		

Дволанцюгова ділянка ПЛ

Дволанцюгова ділянка,
ланцюги якої належать
різним лініям

Дволанцюгова ділянка
за схемою «захід-вихід»

Перехід від одноланцюгової
ділянки до дволанцюгової

Допоміжні участки

Перехід від дволанцюгової
ділянки до одноланцюгової

Моделювання здійснюється в базисі симетричних складових, що пояснюється відносною простотою реалізації і тим, що інформація, необхідна для формування моделей ЛЕП в даному базисі, доступна і в разі необхідності може бути оперативно уточнена. Однак метод симетричних складових не дозволяє врахувати реальну геометрію опор, що може негативно позначитися на результатах ВМП, особливо в лініях 500-750 кВ, для яких характерне горизонтальне розташування проводів.

Стосовно до даної ситуації розроблено метод поділу базисів імітаційної та алгоритмічної моделей. Імітаційна модель об'єкта (ІМО) будується в базисі фазних координат, що дозволяє врахувати геометрію опор ЛЕП, і використовується для формування векторів спостереження, відповідних замиканню в довільній точці x_f . Алгоритмічна модель, побудована в базисі симетричних складових, по модельному сигналу знаходить оцінку аварійних параметрів. Коригування структури АМО полягає в зміні питомих індуктивних опорів ділянок однорідності за законом

$$X^0(x) = X_{исх}^0 + K(x, \varepsilon),$$

де $K(x, \varepsilon)$ – коригуючий коефіцієнт, $X_{исх}^0$ – початкове значення опору в базисі симетричних складових. Коригування проводиться до тих пір, поки нев'язка ε не задовольнятиме необхідної точності. Коригуючий коефіцієнт змінюється залежно від координати x (рис.1.1.11) і використовується в подальшому для коригування алгоритмічної моделі перед процедурою перетворення векторів спостереження в передбачуване місце пошкодження.

При експлуатації засобів ВМП важливо мати можливість не тільки формувати моделі ліній електропередачі, а й переглядати параметри ЛЕП, і в разі необхідності самостійно і оперативно їх коригувати. Дані цілі переслідувалися при створенні програмного комплексу «FPDEdit», в основі якого лежить описана в роботі

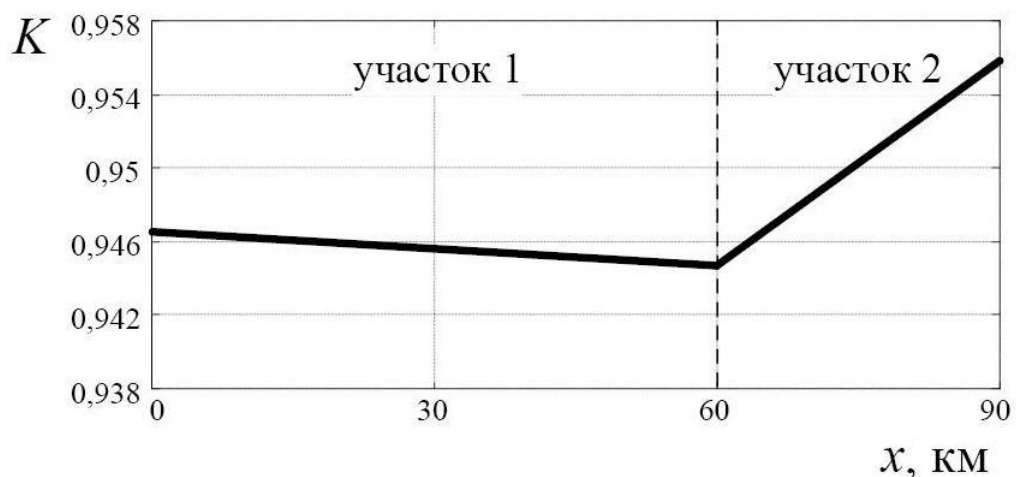


Рис. 1.1.11 Коригувальні коефіцієнти

методика моделювання. Крім цього, програма дозволяє розраховувати нормальні та аварійні режими роботи мережі і містить обширну довідкову інформацію по опорах ЛЕП, проводам, грозозахисних тросах і силових трансформаторів. Комплекс «FPDEdit» використовується для навчання користувачів, а також у навчальному процесі.

1.1.3 Реалізація способів визначення місця пошкодження в мікропроцесорному пристрої «Бреслер-0107.ВМП» та програмному комплексі «WinBres»

Вимірюваними величинами являються фазні напруги $\underline{U}_v$ на збірних шинах і фазні струми $\underline{I}_v$ в відведених від них лініях електропередачі (v - загальне позначення фаз А, В, С). На рис.1.1.13 представлена структурна схема алгоритму одностороннього визначення місця пошкодження.

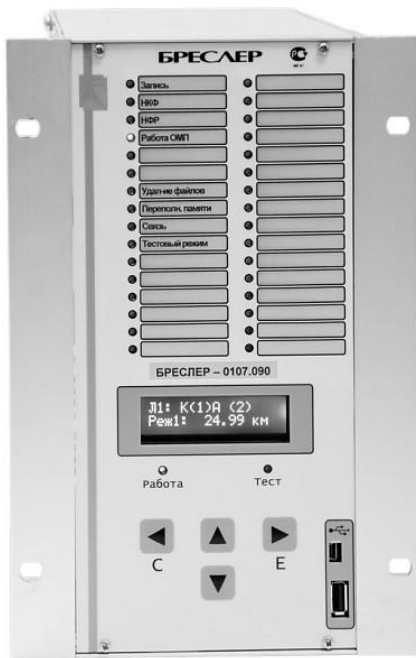


Рис.1.1.12 Термінал
«Бреслер-0107.ВМП»

На основі обробки сигналів, вимірних в попередньому і поточному режимах, фазовий селектор визначає вид ушкодження, особливу фазу і щодо неї розраховує симетричні складові $[\underline{U}_s \quad \underline{I}_s]^T$ напруги і струму (s – позначення послідовностей 1, 2, 0). Алгоритмічна модель лінії електропередачі знаходить оцінки симетричних складових $\hat{\underline{U}}_{sf} \quad \hat{\underline{I}}_{sf}$ напруг $\hat{\underline{U}}_f$ і струмів $\hat{\underline{I}}_f$ в передбачуваному місці пошкодження f . Ці величини подаються на вхід модуля цільової функції. Координата x_f , при якій величина цільової функції (1)

звертається в нуль, полягає місцем замикання.

При двосторонньому визначенні місця пошкодження додатково залучається вектор з протилежного боку лінії, а по результату алгоритмічного моделювання будується і аналізується цільова функція(2).

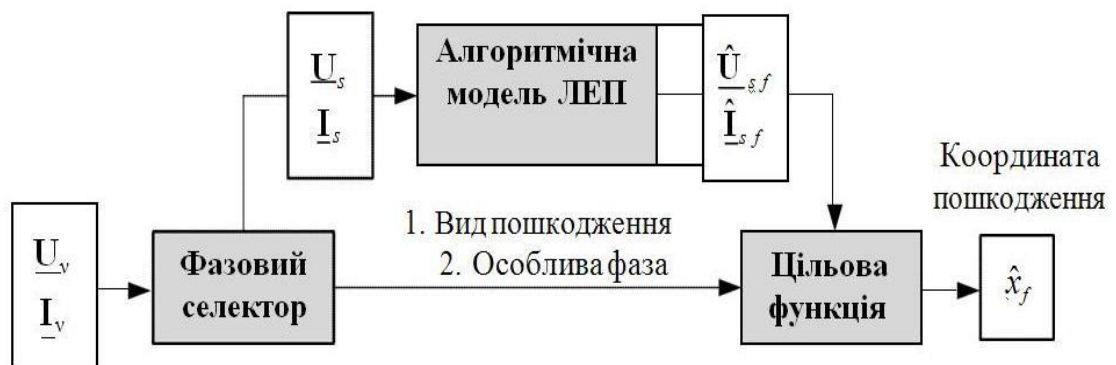


Рис. 1.1.13 Структурна схема алгоритму одностороннього ВМП

На рис. 1.1.14 зображено спрощена схема логіки функції ВМП. Пускові органи реагують на відношення k_z модулів фазного опору в

поточний момент часу і за період до того. Контроль рівня поточного струму I^{TK} дозволяє уникнути зайвого спрацьовування при незначних змінах режиму.

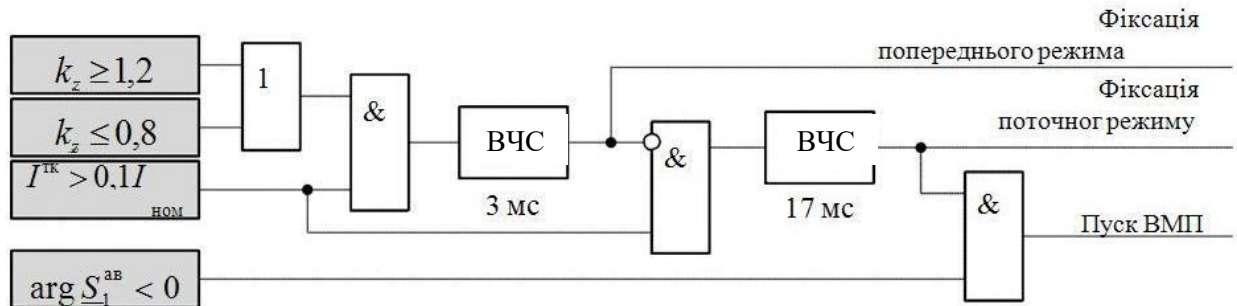


Рис. 1.1.14 Спрощена схема логіки запуску функції ВМП

ВЧС - витримка часу на спрацьовування

Для визначення замикань в лінії і селективної роботи функції ВМП використовується вимірювальний орган по аргументу потужності $\underline{S}_l^{\text{ab}}$ аварійних складових прямої послідовності.

$$\underline{S}_l^{\text{ab}} = \underline{U}_l^{\text{ab}} \underline{I}_l^{\text{ab}}$$

Витримки часу на спрацьовування в 3 і 17 мс формують команди на фіксацію величин попереднього і поточного режимів відповідно.

Спосіб багатостороннього визначення місця пошкодження реалізований у програмному комплексі «WinBres». Моделювання багатокінцевих ліній полягає у формуванні окремих моделей кожного з живильних і внутрішніх ділянок лінії і подальшого з'єднання їх між собою в програмі. Для цього призначена спеціальна форма побудови багатомодульних моделей.

Точність визначення місця пошкодження визначається адекватністю використовуваної моделі і обсягом інформації, доступної при спостереженні лінії електропередачі. При односторонньому вимірі

похибка розрахунку не перевищує 3% довжини ЛЕП, а при багатосторонньому - 1%.

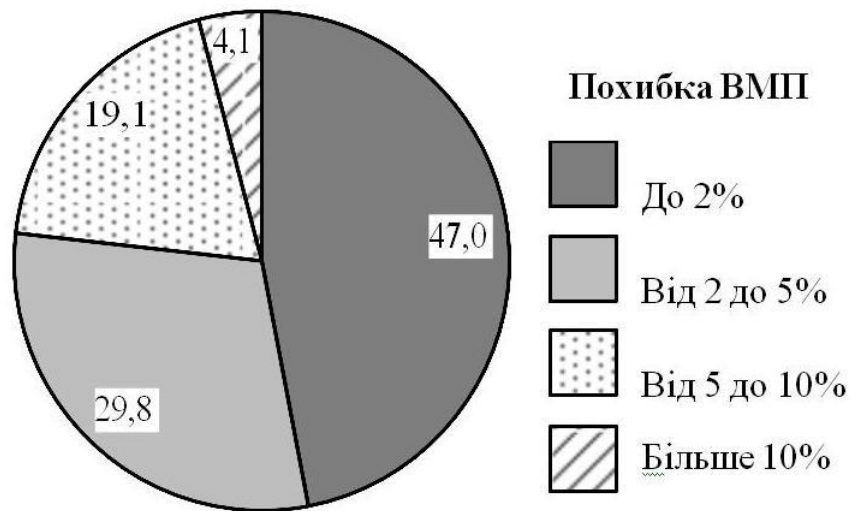


*Рис. 1.1.15 Статистика точності ВМП
програмою WinBres за 2019 рік*

В даний час програмний комплекс «WinBres» обслуговує майже 1500 ліній напругою 110-750кВ ФСК ЄЕС. Впровадження здійснювалось на протязі чотирьох років. В результаті виконаної за цей час роботи були скориговані моделі половини від загального числа обслуговуваних ЛЕП. За 2019 рік на ЛЕП ФСКЄЕС сталося 758 випадків ВМП. Статистика по них (відсоток випадків) наведена на рис.1.1.15. Похибка більше 5% найчастіше пояснюється відсутністю достовірних параметрів ЛЕП, неможливістю отримання векторів спостереження з усіх боків ліній і незавершеністю процедури корекції модулів програми ВМП в даних конкретних випадках.

2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВМП НА ПОВІТРЯНИХ ЛЕП

Пошкодження ліній електропередачі призводить до порушення нормального режиму роботи електроенергетичних систем і, як наслідок, до порушення нормального електропостачання споживачів, зниження якості електричної енергії та підвищення втрат електроенергії в мережі. Для відновлення нормального режиму роботи необхідно якомога швидше відновити пошкоджену лінію. Основну частину часу відновлення пошкодженої лінії займає процес визначення місця пошкодження. Виходячи з цього, рішення задачі ВМП має бути одночасно швидким і точним.

2.1 Класифікація методів ВМП

Різноманітність видів і характеру пошкоджень, а також структури та умов роботи електричних мереж призвело до великої різноманітності методів ВМП, які можна розділити на дві великі групи - дистанційні та топографічні [1]. Дистанційні методи ВМП [2-7] полягають у вимірі відстані до місця пошкодження від кінця або кінців лінії. Ця група методів, з одного боку, задовольняє вимогу швидкості ВМП, але з іншого - має обмеження у точності. Топографічні методи ВМП [1] полягають у визначенні місця пошкодження на трасі лінії електропередачі, тобто топографічної точки розташування місця пошкодження. Дана група методів має високу точність, але вимагає великої кількості часу.

Для виконання вимог по швидкості і точності ВМП доцільне застосування двох методів ВМП - дистанційного та топографічного [1]. Спочатку за допомогою дистанційного методу ВМП визначають зону, в якій знаходиться місце пошкодження, а потім, використовуючи топографічний метод, встановлюється точне місце ушкодження.

На рис.2.1 наведено класифікацію методів ВМП. Як видно з рис.2.1, дистанційні методи ВМП також поділяються на дві великі групи - імпульсні та методи за параметрами аварійного режиму.

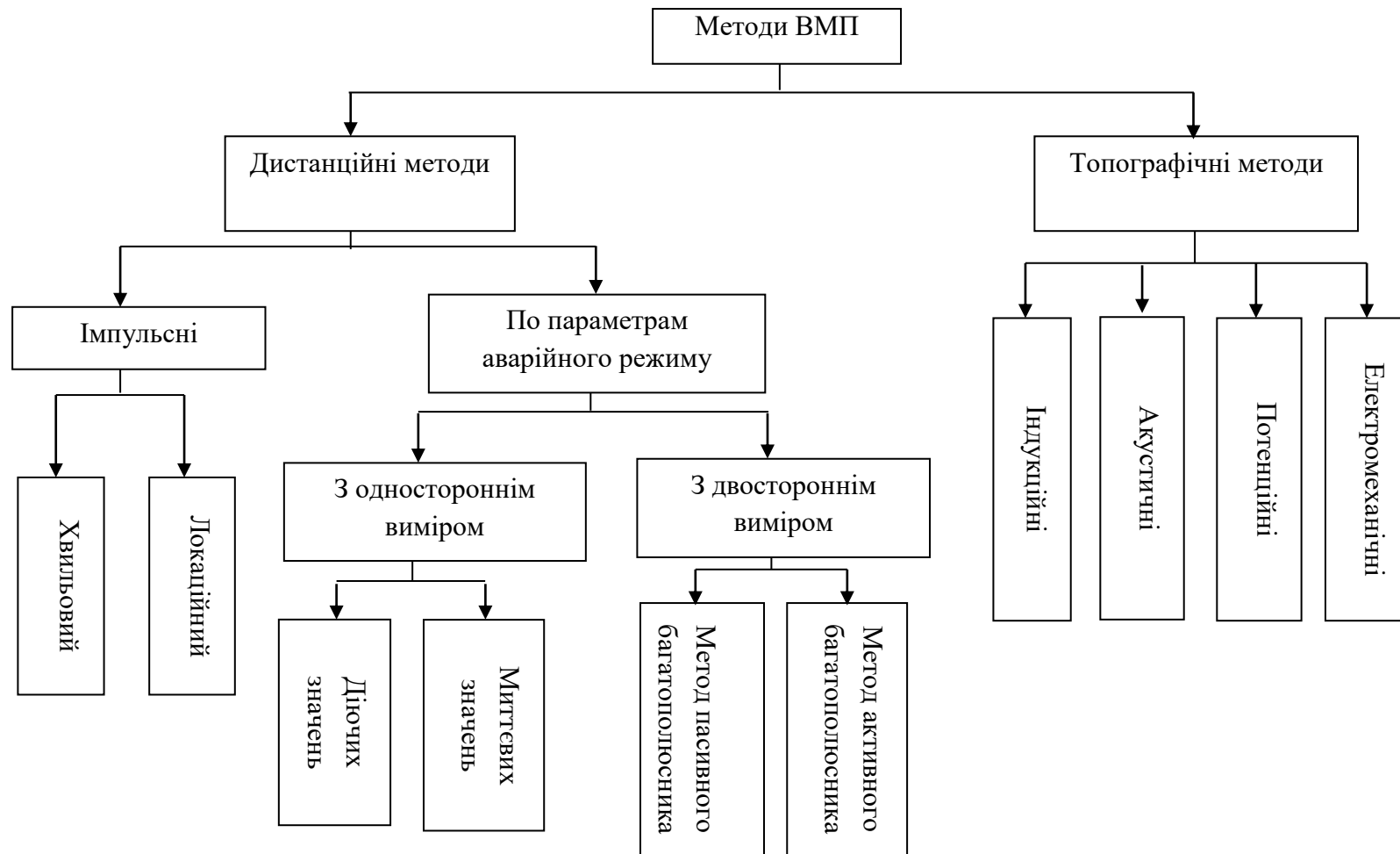


Рис. 2.1 – Класифікація методів ВМП

2.1.1 Топографічні методи ВМП

Топографічні методи ВМП поділяються на індукційні та контактні. Контактні методи ВМП, у свою чергу, діляться на *електромеханічні, акустичні та потенційні*.

Індукційні методи призначені для топографічного ВМП кабельних (КЛ) та повітряних (ПЛ) ліній. Для КЛ, прокладених у землі, індукційні методи дозволяють також уточнити трасу лінії, встановити глибину залягання кабелю і місця розташування з'єднувальних муфт. Сутність індукційних методів полягає в індикації параметрів магнітного поля струмів, що протікають по проводах (жилах) і в землі вздовж траси лінії. Зміни параметрів магнітного поля поблизу місця пошкодження або в інших характерних точках траси уловлюються за допомогою спеціальних датчиків (індукційних рамок), підсилювачів і індикаторів при їх переміщенні вздовж траси ПЛ або КЛ.

Акустичні методи призначені для ВМП кабельних ліній, основані на уловлюванні на трасі акустичних (механічних) коливань, що виникають на поверхні ґрунту або асфальтобетонного покриття при іскровому розряді в ізоляції кабелю. Оператор з акустичним датчиком і підсилювачем переміщається в зоні $\pm (15 - 40)$ м, виділеної дистанційним методом, і визначає місце максимального рівня прийому по індикатору або на слух за допомогою телефону. Іскровий розряд в місці пошкодження ізоляції створюється за допомогою спеціальних пристроїв, що підключаються на кінці КЛ.

Потенційні методи призначені для ВМП кабельних ліній. Дані методи засновані на фіксації вздовж траси електричних потенціалів, створюваних протіканням по оболонці КЛ і в землі струмів. Використовуються постійний і змінний струми підвищеної частоти. Оператор переміщається по трасі з

двома контактними стрижнями або пластинами. У першому випадку здійснюється безпосереднє вимірювання різниці потенціалів, у другому - через ємність пластин. Пластини використовують при асфальтобетонних покриттях на трасі ПЛ. У переносний пристрій входять підсилювач і індикатор. Струм в пошкоджену жилу подається з кінця КЛ.

Електромеханічні методи призначені для повітряних ліній. Ці методи засновані на фіксації механічних зусиль, створюваних за рахунок енергії струму короткого замикання (КЗ). Можуть використовуватися електродинамічні зусилля між струмом у струмоведучих частинах і направляючим струмом у розташованому поблизу датчику і електромагнітні сили, прикладені до якоря з магнітного матеріалу. Електромеханічні пристрої встановлюють стаціонарно в розподільчих пристроях і на опорах ПЛ. Протікання струму КЗ через контрольований об'єкт сигналізується за допомогою блінкера. Відновлення початкового стану покажчика (повернення блінкера) у ряді конструкцій здійснюється автоматично при включенні ПЛ під напругу.

2.1.2 Імпульсні методи ВМП

Імпульсні методи ВМП [6] засновані на вимірюванні часових інтервалів при поширенні електромагнітних хвиль по лінії електропередачі [72-82]. Застосовуються як на КЛ, так і на ПЛ. За ознакою використання для відліку часу спеціально генеруючих імпульсів або ж виникаючих у місці пошкодження лінії електромагнітних хвиль імпульсні методи діляться на *локаційні* і *хвильові* (рис.2.1).

Локаційний метод [83] заснований на вимірюванні часу між моментом послілки в лінію зондуючого електричного імпульсу, і моментом приходу до початку лінії імпульсу, відбитого від місця пошкодження. Траса поширення імпульсів у пошкодженій лінії і тимчасові співвідношення показані на рис.2.2. Надіславши в лінію імпульс, заміряють інтервал t_l - час подвійного

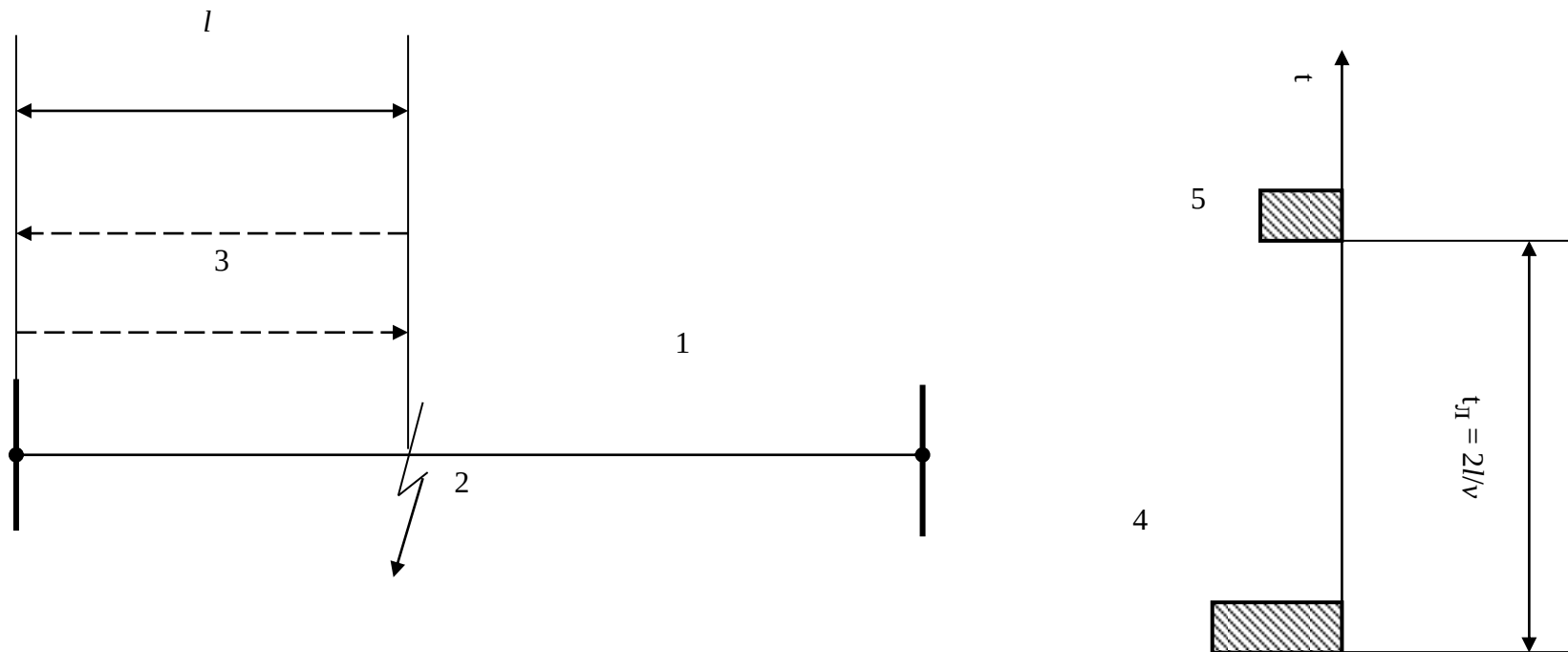


Рис.2.2 – Траса поширення імпульсів і тимчасові співвідношення при локаційних методах ВМП:

1 - лінія; 2 - місце пошкодження; 3 - траса поширення імпульсів; 4,5 - зондуючий і відбитий імпульси

пробігу цього імпульсу до місця пошкодження. Шукана відстань до місця пошкодження визначається як:

$$l = \frac{t_{\text{л}}}{2} v, \quad (2.1)$$

де v – швидкість поширення імпульсу в лінії.

Локаційні виміри підрозділяються на автоматичні і неавтоматичні. Перші використовуються для повітряних ліній (ПЛ), включених в електричну мережу, яка знаходиться під робочою напругою. При спрацьовуванні релейного захисту запускається автоматичний локаційний шукач, який фіксує шукану відстань за час, менший однієї десятої частки секунди.

Вимірювання в період горіння дуги короткого замикання (КЗ) - важлива умова ВМП на ПЛ. Після згасання дуги на пошкодженій ПЛ отримати необхідний відбитий імпульс при неавтоматичній локації в більшості випадків не вдається.

Хвильовий метод. Цей метод поділяється на методи односторонніх і двосторонніх вимірювань.

Хвильовий метод двосторонніх вимірювань [83] заснований на вимірюванні часу між моментами досягнення кінців лінії фронтами електромагнітних хвиль, що виникають в місці пошкодження.

На рис.2.3, а) показаний один провід ліній електропередачі довжиною L , який у момент ушкодження $t = 0$ заряджений до напруги U , наприклад, позитивної полярності. При виникненні пробою ізоляції цього проводу на землю в деякій точці, віддаленій від кінця лінії на відстань L_1 , напруга в цій точці стає рівною нулю. Внаслідок цього в місці пошкодження виникають

поширюючі в обидві сторони електромагнітні хвилі напругою - U , які направляються зі швидкістю v , щоб розповсюдити нульовий потенціал по всій лінії (рис.2.3, б).

Після закінчення часу $t_1 = (L-L_1)/v$ фронт однієї з хвиль досягає ближнього (лівого на рис.2.3, в) кінця лінії, через інтервал $t_2 = L/v$, фронт другої хвилі досягає дальнього кінця. Тимчасові співвідношення показані на рис.2.3, г. Інтервал часу:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2l'}{v} - \frac{L}{v}. \quad (2.2)$$

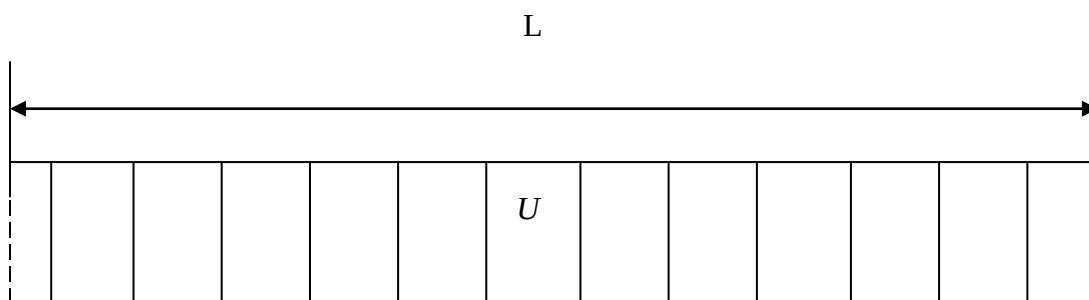
Враховуючи, що довжина лінії L відома, з виразу (1.2) можна визначити відстань до місця пошкодження:

$$l' = \frac{L}{2} + \frac{\Delta t}{2} v. \quad (2.3)$$

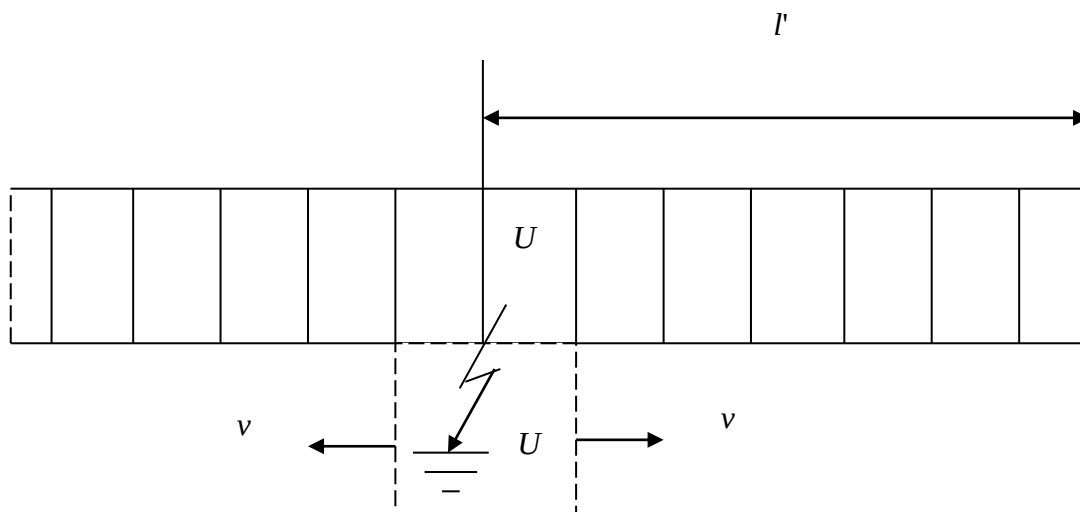
Хвильовий метод односторонніх вимірів використовується як на включених, так і на відключених лініях [83, 84]. Він припускає вимір часу між моментом приходу до початку лінії фронту хвилі, що виникла в місці пошкодження, тобто на відстані l від початку лінії, і моментом вторинного приходу фронту хвилі після двох відображень (на початку лінії і місця пошкодження). Зазначений інтервал визначається як $\tau = 2l/v$, звідки шукану відстань знаходимо як:

$$l = \frac{\tau}{2} v. \quad (2.4)$$

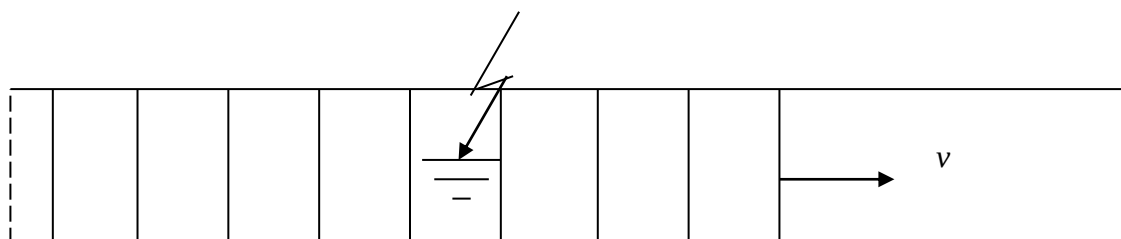
Для відключених ліній цей метод називається *методом коливального розряду*.



a)



б)



в)

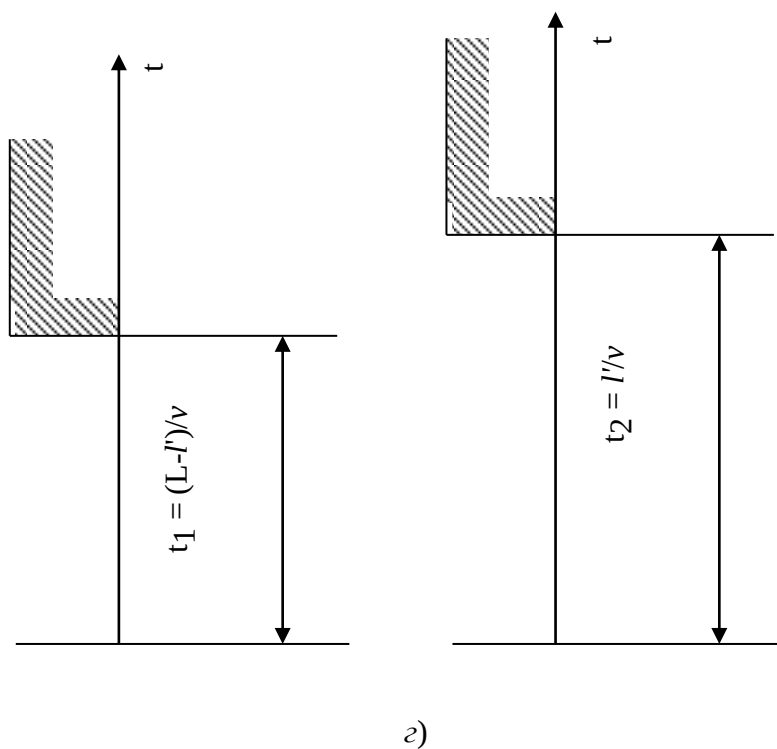


Рис.2.3 – Діаграма поширення хвиль і тимчасові співвідношення при хвильовому методі ВМП:

а – напруга на лінії перед пошкодженням; б – поширення хвиль безпосередньо після пробоя; в – розташування фронтів хвиль у момент досягнення одним з них кінця лінії; г – тимчасові співвідношення.

На основі імпульсних методів ВМП розроблений ряд автоматичних шукачів [23-32]. Основним недоліком цих пристроїв є недостатня ефективність визначення місця пошкодження на ПЛ з відгалуженнями. Це слідує з того, що електричні імпульси при поширенні уздовж лінії

переломлюються і відображаються не тільки в місцях пошкодження, але і в місцях порушення однорідності самої лінії [6]. До таких місць неоднорідності, зокрема, відносяться і відгалуження від ПЛ до знижувальних підстанцій, де з'являються відбиті і заломлені імпульси як від місця включення відгалуження, так і від його кінця.

Основні труднощі в дистанційному ВМП ліній імпульсними методами полягає в появі додаткового істотного загасання і багаторазового відбиття електричних імпульсів. Зазначених недоліків позбавлені дистанційні методи ВМП по ПАР.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ ПОШКОДЖЕННЯ НА ЛЕП

3.1 Вдосконалення методів і технічних засобів ВМП ЛЕП на основі активного зондування

Аналіз методів виявив, що для пошкоджень виду міжфазних замикань найбільш поширеними в існуючій практиці є методи, засновані на вимірюванні параметрів аварійного режиму, а для однофазних замикань на землю – топографічні. Основну увагу приділено ВМП ЛЕП 6-35 кВ з використанням *активного зондування* складними сигналами. Сформульовано обмеження в застосуванні методів активного зондування при ВМП ПЛ 6-35 кВ з використанням існуючих технічних засобів. Причинами таких обмежень є:

- коефіцієнт втрат сигналу зондування в лінії, пов'язаний з численними відгалуженнями, який визначається виразом:

$$\alpha_B = \frac{P_{\text{вип}}}{P_{\text{від}}} = 3^{4M} \quad (3.1)$$

де **М** – кількість відпайок, **Р_{вип}** - потужність випроміненого сигналу в лінію, **Р_{від}** - потужність відбитого (прийнятого) сигналу;

- коефіцієнт втрат поширення сигналу зондування в лінії, пов'язаний зі змішаними ділянками КЛ і ПЛ, значення якого може досягати 36 дБ;
- високий рівень наведених перешкод в ПЛ, викликаний побічними радіовипромінюваннями в робочій смузі частот. На ПЛ 6-35 кВ, особливо в зоні підстанцій, рівень перешкод, що наводяться з ЛЕП більш високих напруг, може досягати середньоквадратичного відхилення на провідниках ПЛ відносно землі до 5 В з дисперсією до 0,053 Вт.

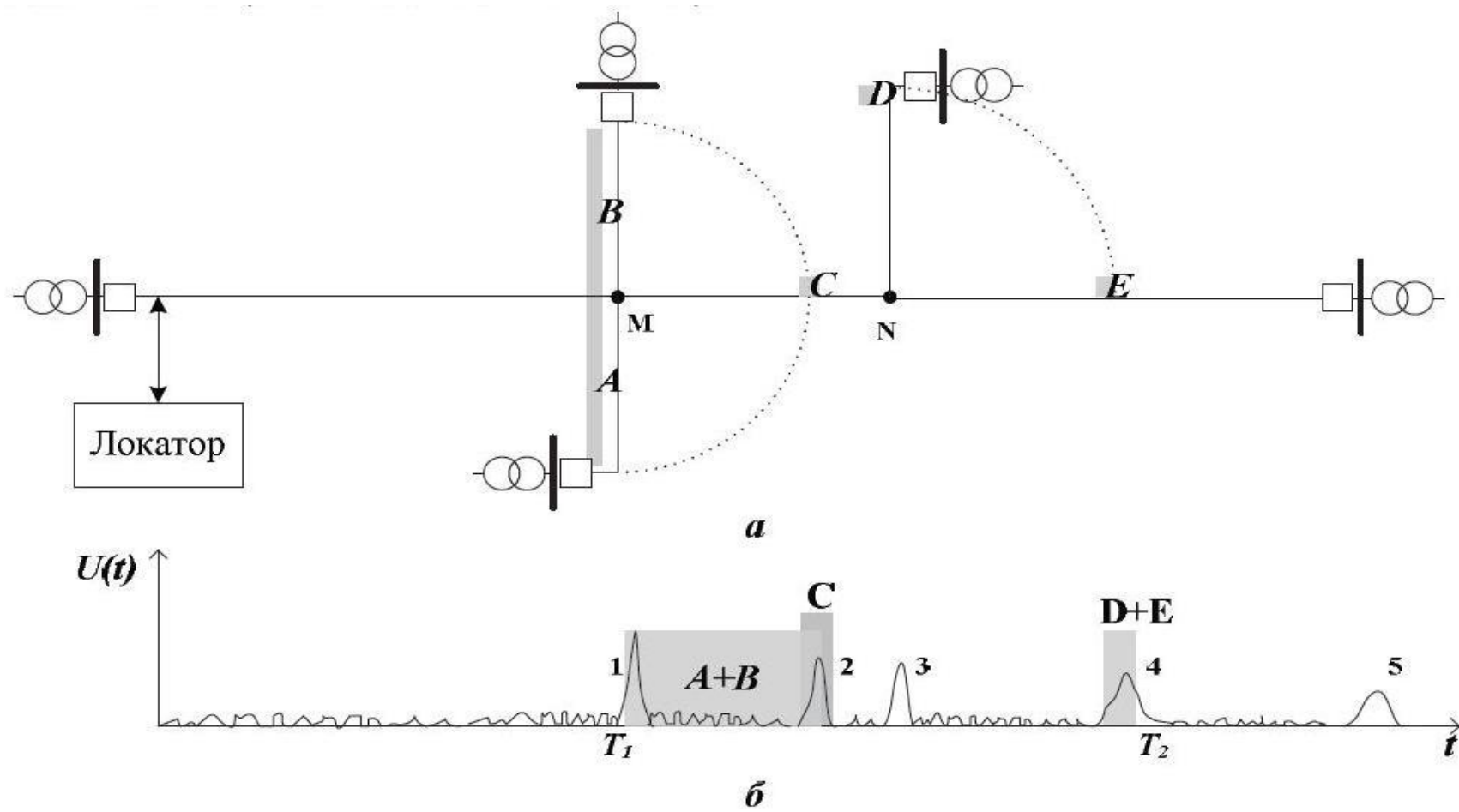


Рис. 3.1.1 Розгалужена ЛЕП з зонами невизначеності

Одним із обмежень застосування дистанційних методів ВМП в розгалужених розподільчих мережах є наявність зон невизначеності. У таких зонах не можна дати однозначної відповіді, де відбулося пошкодження ЛЕП (на якому відгалуженні).

Приклад існування зон невизначеності ілюструє рис. 3.1.1, а. Для методів активного зондування умовою зони невизначеності ЛЕП ($A+B+C$) являється однакова віддаленість ділянок від місця установки локатора. На рис. 3.1.1, б зображений приклад ехограми лінії з використанням методу імпульсної локації.

Існуючі прилади ВМП ЛЕП, в тому числі і рефлектометри, не вирішують задачу ототожнення (локалізації) ділянок із зон невизначеності при наявності відпайок.

Таким чином, обмеження і специфіка застосування активного зондування ЛЕП 6-35 кВ вимагає розробки нових методів і технічних засобів цифрової обробки сигналів в інтересах ВМП.

3.1.1 Розробка і дослідження нових методів активного зондування з використанням складних широкосмугових сигналів

Для вирішення завдання однозначного визначення місця пошкодження в зонах невизначеності ЛЕП 6-35 кВ в роботі запропонований метод, заснований на відмінностях в частотних характеристиках коефіцієнтів відображення рівновіддалених ділянок ЛЕП. Однак розрахунки показали, що поширена ситуація, коли частотні характеристики самих ЛЕП і трансформаторів на кінцях відгалужень мало відрізняються і не вирішувані в спектральній області відображених сигналів зондування. Для забезпечення селективності ВМП запропонована установка на кінцях відпайок додаткових частотних міток (фільтрів на рис. 3.1.2). Фільтри налаштовуються на задані резонансні частоти, забезпечують високий коефіцієнт відображення. У якості сигналу зондування ЛЕП використаний складний широкосмуговий сигнал з

лінійно-частотною модуляцією (ЛЧМ). Спектральні складові відображених ЛЧМ імпульсів містять резонансні частоти фільтрів і помітні при спектральному аналізі. Селекція пошкодженої ділянки здійснюється по зменшенню амплітуди частоти в спектрі відбитого сигналу, відповідній резонансній частоті того фільтра, на відгалуженні з яким виникло пошкодження ЛЕП.

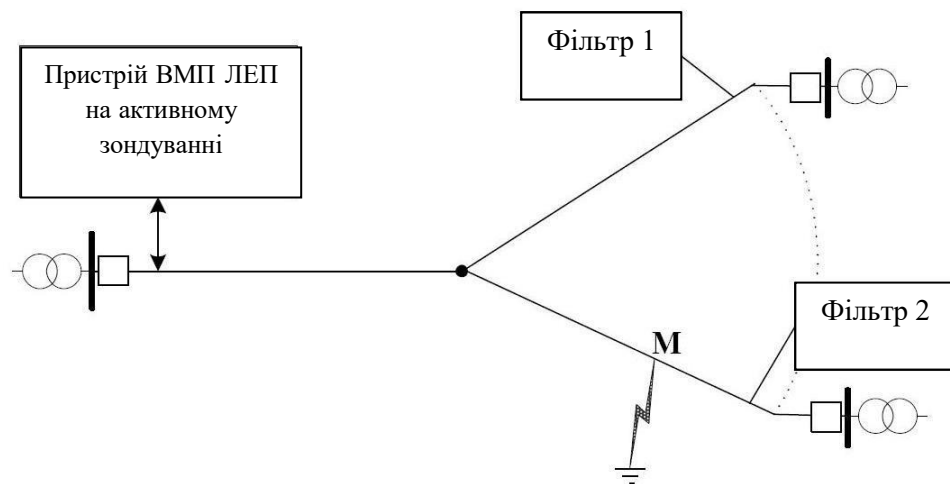


Рис. 3.1.2. Використання фільтрів на кінцях відгалужень ЛЕП

Розроблений метод одностороннього ВМП з використанням зондування складними сигналами і розподіленої узгодженої фільтрації. Особливістю методу є застосування в якості зондуючих сигналів набору складних дискретно-кодованих сигналів, а в якості міток, розташованих на кінцях відгалужень - набору фільтрів. Пристрій ВМП послідовно по часу випромінює в ЛЕП дискретно-кодовані сигнали. Ідентифікація пошкодженого відгалуження здійснюється по відсутності відгуку від фільтра, що належить відгалужуванню і узгодженого тільки лише з одним із кодованих сигналів. Перевага запропонованого методу пов'язана з забезпеченням високої перешкодозахищеності і відношення сигнал/шум, однак його реалізація вимагає більш складних технічних рішень.

Для пристроїв активного зондування ЛЕП розроблений алгоритм узгодженої фільтрації, який підвищує точність ВМП. Узгоджену обробку

складних відображених сигналів можна реалізувати в частотній області за допомогою дискретного (швидкого) перетворення Фур'є (ДПФ, ШПФ) (рис. 3.1.3). У розробленому алгоритмі спектр очікуваного сигналу обробляється спеціальним амплітудним фільтром, який підкреслює неоднорідності хвильового опору ЛЕП на рефлектограмі.

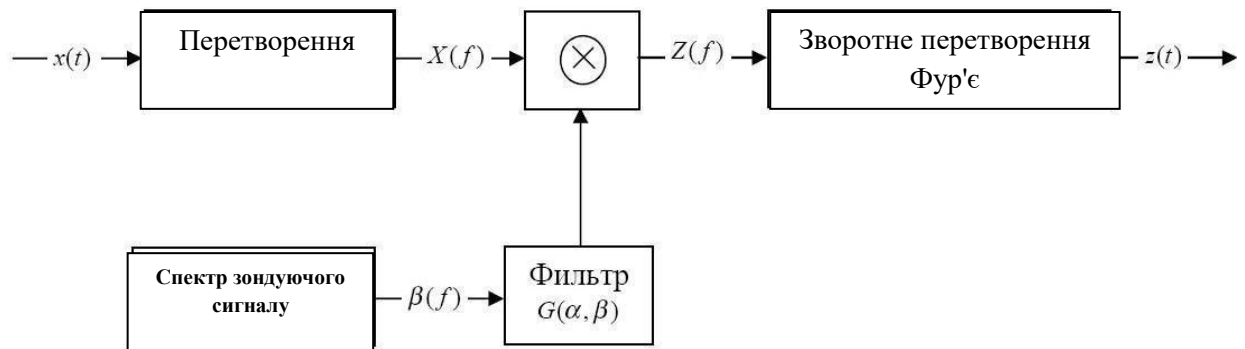


Рис.3.1.3 Схема обробки відображених сигналів від неоднорідностей ЛЕП із застосуванням спеціального фільтра:

$x(t)$ - тимчасова реалізація прийнятого сигналу; $z(t)$ - результат обробки

Амплітудно-частотна характеристика фільтра має вид:

$$G(f, \alpha) = \frac{(1 + \alpha^2)\beta^2(f)}{1 + \alpha^2\beta^2(f)} \quad (3.2)$$

, де α - змінюваний параметр, що впливає на роздільну здатність рефлектограм, $\beta(f)$ - спектр зонduючого сигналу. В результаті перетворення по схемі (Рис. 3.1.3) реалізовані процедури, які призводять до штучного розширення спектра сигналу і підвищенню роздільної здатності пристрою ВМП ЛЕП на 27% (при $\alpha = 50$).

Модельні експерименти проведені на основі рефлектограм, отриманих в ході натурних експериментів на ЛЕП високої напруги. Так, на рис. 3.1.4 зображені рефлектограм, пов'язані з узгодженою обробкою ЛЧМ сигналів рис.3.1.4 (1) і з додатковою фільтрацією рис. 5 (2). Вертикальні лінії

відповідають місцям установки опор траси ЛЕП. З рис. видно, що рефлектограма з підвищеної роздільною здатністю має підвищену "ізрізаність" і володіє локальними піками, вершини яких в більшій ступені характеризують місця установки опор лінії.

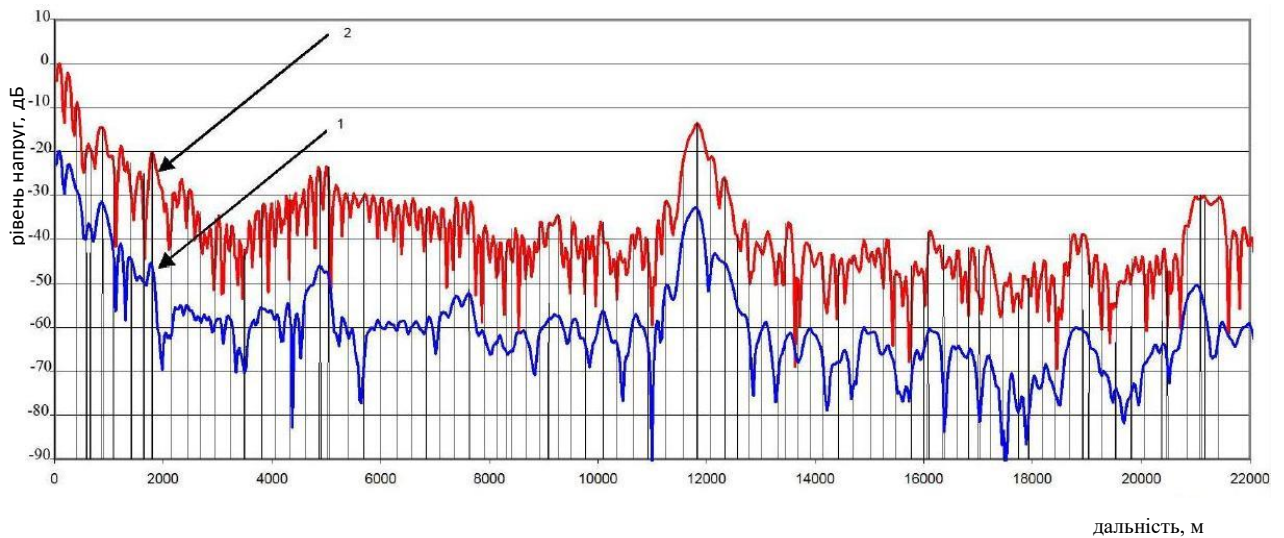


Рис. 3.1.4. Приклади рефлектограм ЛЕП з різною роздільною здатністю:

1 - рефлектограма, отримана із застосуванням узгодженої обробки,

2 - рефлектограма, отримана із застосуванням спеціального фільтру

Таким чином, застосування алгоритму спеціальної фільтрації в додаток до узгодженої дозволяє підвищити роздільну здатність методу активного зондування і проводити більш детальний аналіз рефлектограм.

Пропонується метод об'єднання інформації ВМП, отриманої різними засобами вимірювання, з метою підвищення точності оцінки відстані до ушкодження.

Оскільки задача ВМП ЛЕП вирішується в умовах впливу випадкових факторів різної природи, то оцінки відстані до ушкодження прийняті як випадкові величини, розподілені по нормальному статистичному закону (Рис.3.1.5).

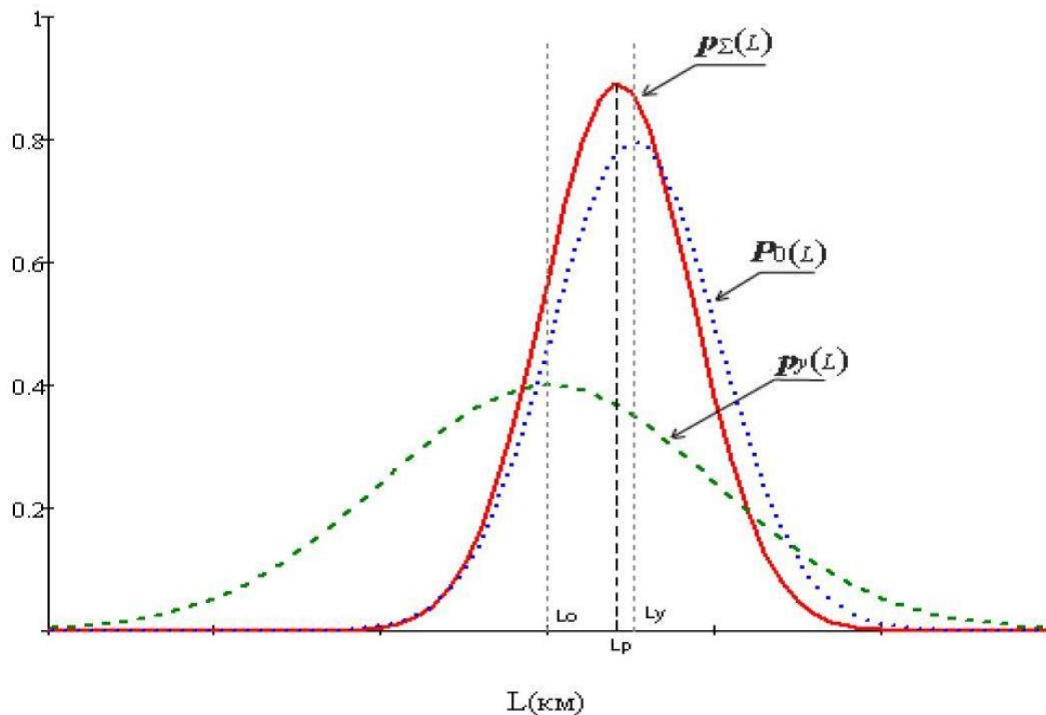


Рис. 3.1.5. Залежність густин ймовірностей виникнення помилок вимірювання відстані:

$P_0(L)$ – для першого, $P_y(L)$ – для другого приладу, $P_\Sigma(L)$ - результуюча

Вираз, який характеризує результуючу оцінку відстані, має вид:

$$L_p = \frac{D_y}{D_0 + D_y} L_0 + \frac{D_0}{D_0 + D_y} L_y \quad (3.3)$$

, де L_0 і L_y - відстані, D_0 і D_y - дисперсії помилок вимірювання, отримані від різних технічних засобів.

Результуюча дисперсія розраховується згідно рівності:

$$D_p = \frac{D_0 D_y}{D_0 + D_y} \quad (3.4)$$

Метод дозволяє підвищувати точність ВМП ЛЕП, використовуючи результати як паралельних, так і послідовних вимірювань. У роботі

наводиться практичний приклад, який ілюструє принципи об'єднання інформації і характеризується зниженням помилок ВМП.

Таким чином, застосування активного зондування в поєднанні з розробленими методами обробки складних сигналів дозволяє істотно підвищити точнісні характеристики ВМП ЛЕП.

3.1.2 Технічні вимоги до автоматичного локаційного шукача місць пошкоджень на основі вивчення параметрів і конструктивних особливостей ПЛ 6-35 кВ. Нові алгоритми цифрової обробки сигналів.

Технічні вимоги класифіковані як зовнішні і внутрішні. До зовнішніх віднесені: характеристики вихідного сигналу (імпульсів зондування); параметри приймальної частини приладу; інтеграція в програмно технічний комплекс підстанцій; конструктивне виконання. До основних внутрішніх вимог віднесені: алгоритми обробки сигналів, структурна схема і основні інтегральні компоненти. Виконано кількісний розрахунок оціночних технічних характеристик приладу.

Для селекції відгалужень з ушкодженнями розроблений алгоритм побудови дальностно-частотного портрета (ДЧП) ЛЕП 6-35 кВ. Операції цифрової обробки сигналів при формуванні ДЧП реалізуються в два етапи. На першому етапі формується матриця із застосуванням ковзного тимчасового вікна уздовж рефлекторами (одномірного дальностного портрета) ЛЕП:

$$X = \left\| \begin{array}{ccc} \mathbf{x}_{1,1} & \cdots & \mathbf{x}_{1,K} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{x}_{N-K,1} & \cdots & \mathbf{x}_{N-K,K} \end{array} \right\|,$$

де K - розмір тимчасового вікна, а N - загальне число дискретних відліків рефлекторами. При цьому розмір тимчасового вікна K вибраний рівним тривалості зондуючого сигналу.

На другому етапі здійснюється перехід в частотну область за рахунок реалізації ДПФ кожного рядка матриці X .

Таким чином, для кожної елементарної дозволеної дальностної ділянки ЛЕП отримані її спектральні характеристики. Викладений підхід є новим і забезпечує формування перспективних методів аналізу ЛЕП, які базуються на моделі лінії з розподіленими параметрами і що використовують багатовимірні аналітичні конструкції.

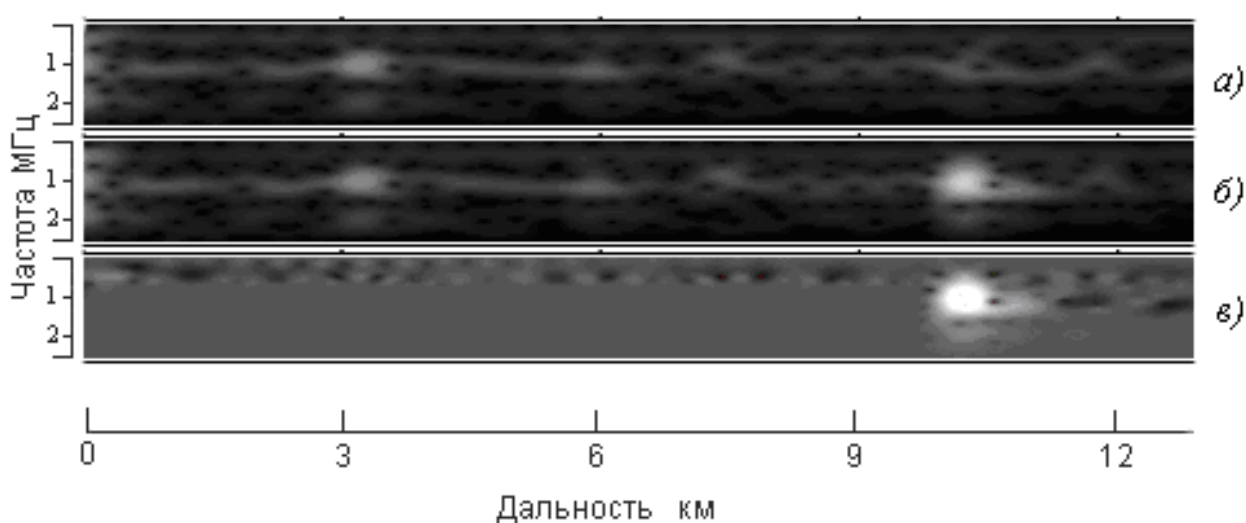


Рис.3.1.7. Дальностно-частотні портрети ЛЕП:

***а** - ЛЕП без пошкоджень; **б** - ЛЕП з ємнісною неоднорідністю 300пФ;
в - дифференціальний портрет ЛЕП з неоднорідністю 300пФ*

Приклад ДЧП, отриманий на основі експериментальних даних, приведений на рис. 3.1.6. Імітація ушкодження ЛЕП в вигляді підключення додаткової ємності призводить до істотних частотних змін в спектрі на відповідній ділянці дальності. Такі зміни наведені на рис. 3.1.6, 3.1.7, де

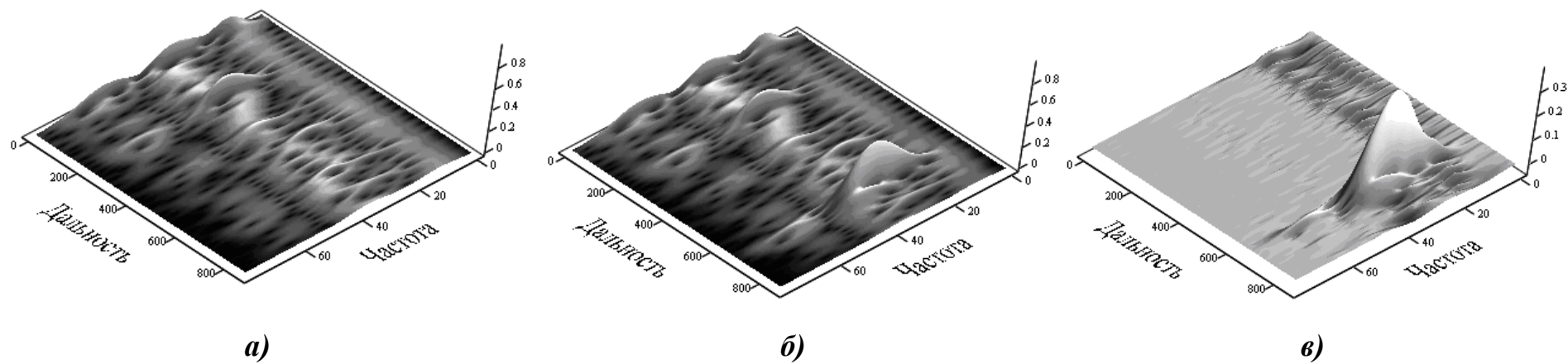


Рис.3.1.6. Дальностно-частотні портрети ЛЕП:

***а** - ЛЕП без пошкоджень; **б** - ЛЕП з ємнісною неоднорідністю 300пФ; **в** - дифференціальний портрет ЛЕП з неоднорідністю 300пФ*

a - ДЧП ЛЕП без ушкодження, *б* - пошкодження в вигляді ємності 300пФ, *в* - диференційний ДЧП. Для аналізу неоднорідності перевагу має диференційний ДЧП (Рис. 3.1.6 в, рис. 3.1.7 в).

На рис. 3.1.7 показані аналогічні портрети в фотографічному вигляді, де рівень амплітуди пропорційний яскравості зображення.

Для підвищення дозволу по частоті ДЧП пропонується використовувати в якості сигналів зондування квазіперіодичні довгі пачки імпульсів. Періоди слідування імпульсів в пачках T обрані пропорційно цілим числах (переважно взаємно-простим), так щоб спектральні складові пачок не перекривались один з одним. Приклад таких пачок зображений на рис. 3.1.8.

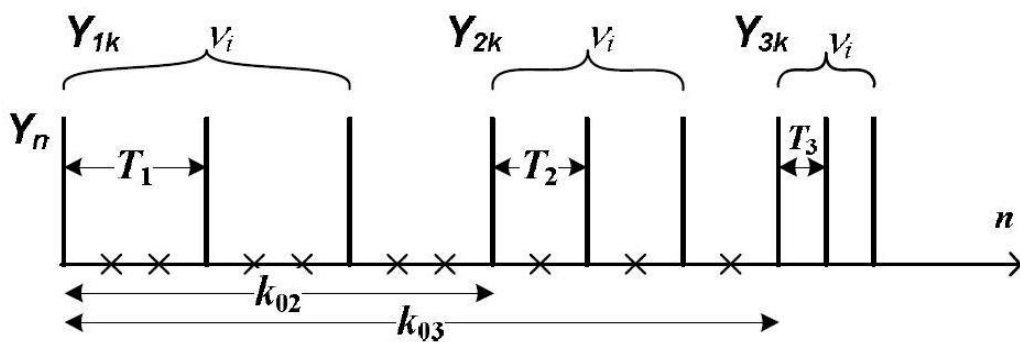


Рис. 3.1.8. Квазіперіодична пачка сигналів

На рис. 3.1.8 показані коефіцієнти розрядження $k_i = 3, 2, 1$ і число імпульсів в елементах $V_i = 3$. Число імпульсів в елементі пачки, коефіцієнти розрядження і число таких елементів у порівнянні з реальним зондуванням ЛЕП зменшено. Для кожного з елементів пачки застосовна процедура, аналогічна ДПФ, яка в даному випадку проводиться на великому інтервалі і при зазначеній на малюнку дискретизації.

Якщо імпульси (рис. 3.1.9) не перекриваються по часу, то спектр пачки дорівнює сумі спектрів її елементів з урахуванням тимчасових зрушень, виражених числами $k_{02}, k_{03} \dots$ має вид:

$$G_m = \sum_{i=0}^{l-1} G_{mi} \cdot \exp\left(\frac{-j2\pi m \cdot k_{0i}}{n}\right),$$

де

$$G_{mi} = \sum_{\chi_i=0}^{v_i-1} Y_{\chi_i} \cdot \exp\left(\frac{-j2\pi m \cdot k_i \cdot \chi_i}{n}\right) = \sum_{\chi_i=0}^{v_i-1} Y_{\chi_i} \cdot \exp\left(\frac{-j2\pi m \cdot \chi_i}{v_i}\right) \quad (3.5)$$

- спектри елементів послідовності.

При цьому ДПФ елементів послідовності на інтервалі n з урахуванням коефіцієнтів розрядження k_i замінює ДПФ на інтервалі v_i без урахування розрядження.

Таким чином, на підставі виразів (6, 7) виробляється повторне ДПФ від ДПФ елементів квазіперіодичної послідовності. При цьому роздільна здатність по частоті збільшується в число раз, приблизно рівному числу елементів послідовності (На рис. 3.1.8 приблизно в 3 рази), що при формуванні ДЧП ЛЕП є істотним.

Можливість більш тонкого спектрального аналізу представлена за рахунок підвищеної роздільної здатності. Область практично однозначного спектрального аналізу обмежена смугою частот, яка відповідає мінімальній частоті слідування імпульсів. Однак така область достатня для аналізу ряду спектральних компонентів, які характеризують пошкодження окремих ділянок ЛЕП.

Застосування складних ЛЧМ зондуючих сигналів перспективно для підвищення точності ВМП ЛЕП. Однак дисперсійні властивості ЛЕП позначаються на характері поширення широкосмугових сигналів по лінії, а також процесі і результатах їх цифрової обробки. Новий адаптивний алгоритм, запропонований в роботі, компенсує вплив характеристик ЛЕП на локацію пошкоджень при часово-частотній залежності зондуючих сигналів.

Характеристики часово-частотної залежності зондуючих сигналів пов'язують перетинами двовимірної автокореляційної функції («тілом

невизначеності»). Для розглянутого ЛЧМ сигналу з “колокольною огибающей” функція визначається, наприклад, наступним співвідношенням:

$$\rho_x(t, \omega) = \frac{1}{\pi} \exp \left\{ -\alpha(t - t_0) - \frac{(\omega - \beta(t - t_0) - \omega_0)^2}{\alpha} \right\}. \quad (3.6)$$

де α - параметр, який характеризує ширину “колокольною огибающей”; β - швидкість наростання частоти ω .

Ця функція визначає тимчасові спотворення при поширенні широкосмугових сигналів, таких як ЛЧМ. Високоточне ВМП ЛЕП неможливо зробити без урахування цієї залежності. Зокрема, обмеження в

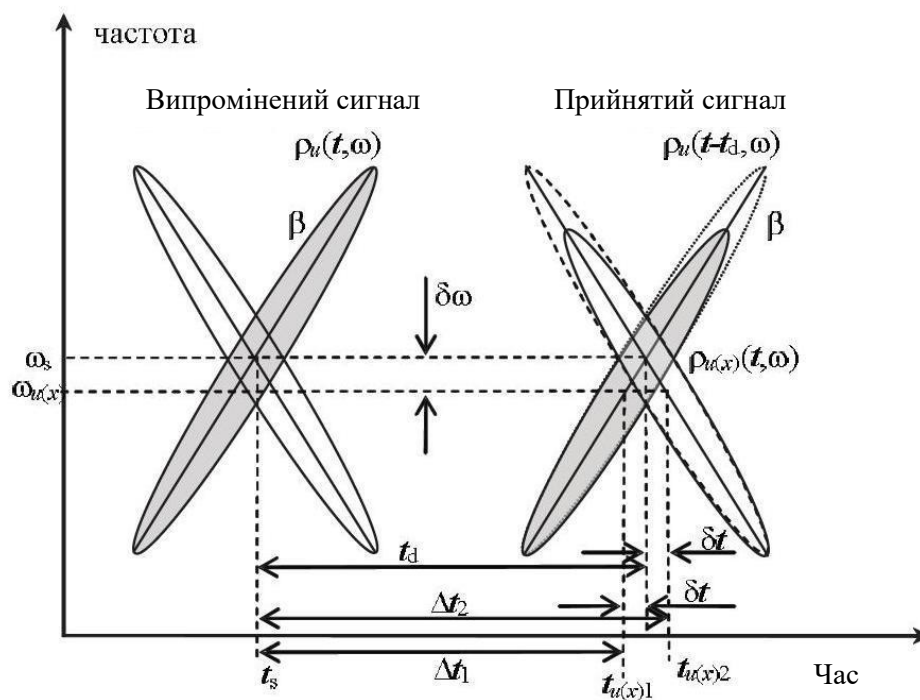


Рис. 3.1.9. Часово-частотні залежності при поширенні двох ЛЧМ сигналів з різним нахилом модуляційної характеристики

в смузі пропускання ЛЕП на високих частотах позначаються на характеристиках узгодженої фільтрації рефлектометра. Рис. 3.1.9 відображає

перетин автокореляційної функції («тіла невизначеності») і ілюструє процес виникнення тимчасової помилки δt через спотворення ЛЧМ сигналу при поширенні його по ЛЕП.

У пропонованому способі компенсації помилки δt виробляється випромінювання ЛЧМ сигналів з взаємно протилежною девіацією (нахилом модуляційної характеристики). При цьому для одного із сигналів помилка має позитивний знак, а для іншого - негативний. Сума результатів вимірювання відстані до ушкодження ЛЕП для двох зазначених імпульсів призводить до взаємної компенсації помилок і отриманню необхідного точного результату.

Таким чином, застосування в якості зондуючих ЛЧМ сигналів з різним нахилом модуляційних характеристик дозволяє виключити помилки ВМП, які викликані диспергуючими властивостями ЛЕП.

Структурна схема зразка автоматичного локаційного шукача місць пошкодження (АЛИМП), представлена на рис. 3.1.10.

Функції перетворення аналогових вхідних і вихідних сигналів виконують інтегральні перетворювачі АЦП і ЦАП. Алгоритми цифрової обробки сигналів виконує цифровий сигнальний процесор (ЦСП), побудований по Супер-Гарвардській архітектурі, яка оптимізована для математичних обчислень, таких як БПФ, КИХ фільтрація та ін. Організацію тимчасової діаграми роботи приладу здійснює програмована логічна матриця (ПЛМ).

Функцію загального управління приладом і організацію його зв'язку з зовнішніми пристроями виконує мікроконтролер з RISC архітектурою. У структурі і програмному забезпеченні приладу закладена можливість, як його роботи в складі АСУ ТП підстанцій, так і в режимі самостійного функціонування. Управління приладом в автономному режимі здійснюється з передньої панелі, наведеної на рис. 3.1.11.

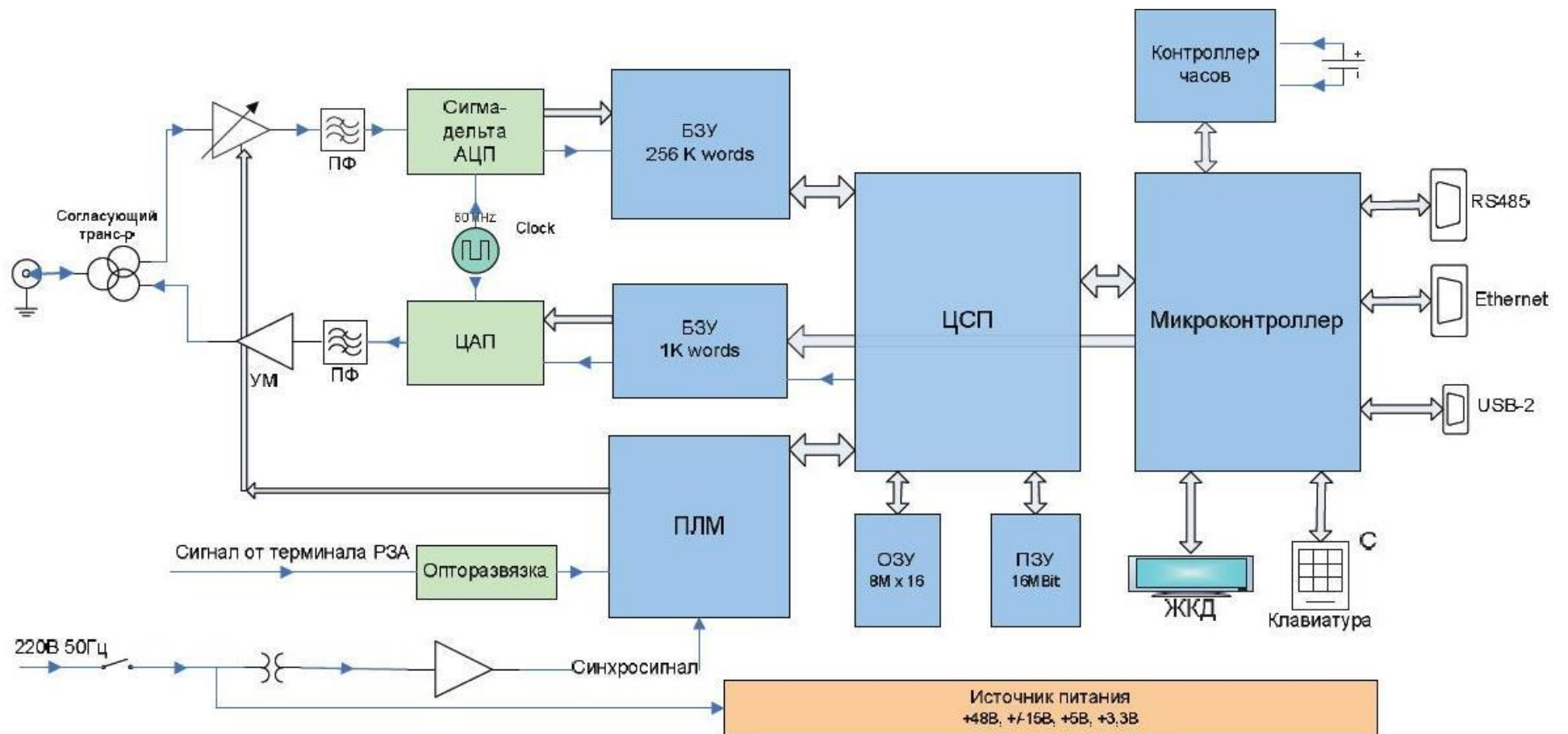


Рис. 3.1.10. Загальна структурна схема автоматичного локаційного шукача місць пошкоджень ЛЕП

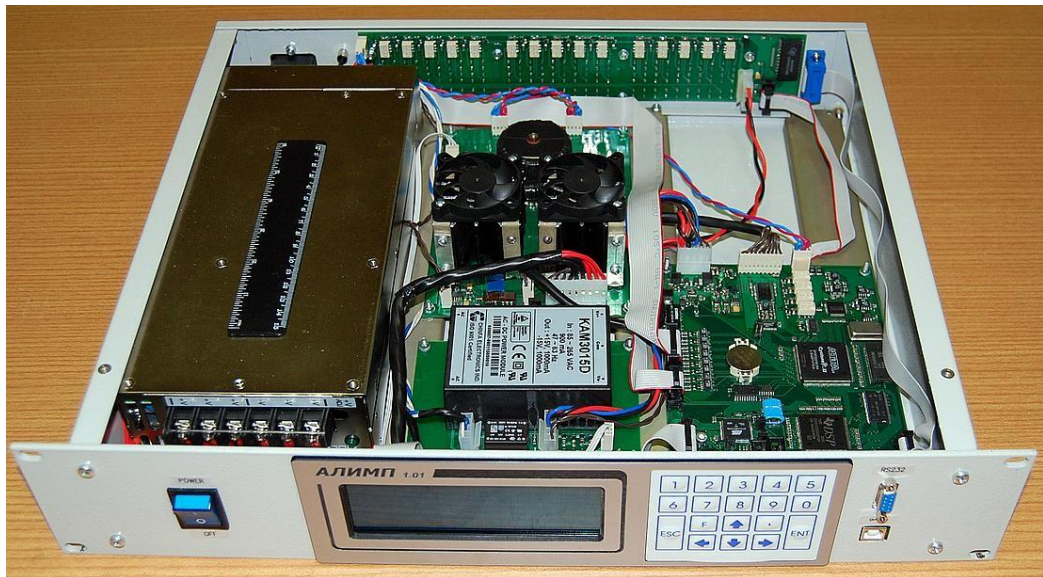


Рис. 3.1.11. Експериментальний зразок автоматичного локаційного шукача місць пошкоджень ЛЕП

Характеристики і параметри спроектовані з урахуванням застосування пристрою не тільки на розгалужених ПЛ 6 - 35 кВ, але і на магістральних ПЛ більш високого напруги.

Таким чином, розроблені технічні вимоги до приладу і нові алгоритми цифрової обробки сигналів при ВМП ЛЕП дозволили реалізувати досвідчений варіант пристрою АЛИМП ЛЕП 6 - 35 кВ.

3.1.3 Експериментальні дослідження нових методів і алгоритмів на основі АЛИМП. Оцінка ефективності застосування ВМП на ПЛ 6-10 кВ.

Замикання на землю імітувалося за допомогою установки на фазу «В» переносного заземлення (ПЗ) на ділянці, яка розташована за розгалуженням (рис. 3.1.12). Для виділення (селекції) відгалужень, на яких відбулося замикання на землю, встановлені частотні мітки у вигляді резонансних фільтрів (Ф1 і Ф2) на рівновіддаленій відстані. Фільтри представляють собою послідовне з'єднання конденсатора і котушки індуктивності. Резонансні частоти фільтрів обрані 700 кГц і 1400 кГц з максимальною відмінністю резонансних кривих в робочій смузі частот зондуючого сигналу 200 - 2400 кГц.

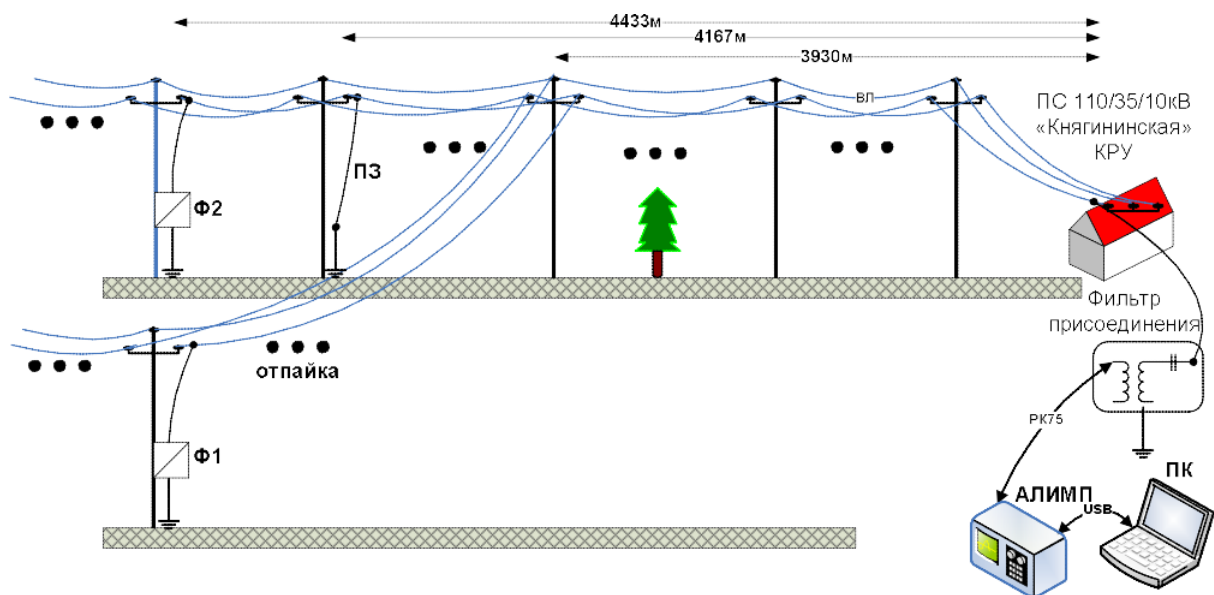


Рис.3.1.12. Структура експериментального комплексу на ПЛ 10кВ з відгалуженням

У результаті активного зондування ПЛ приладом «АЛИМП» побудовані рефлекторами, які зображені на рис. 3.1.13.

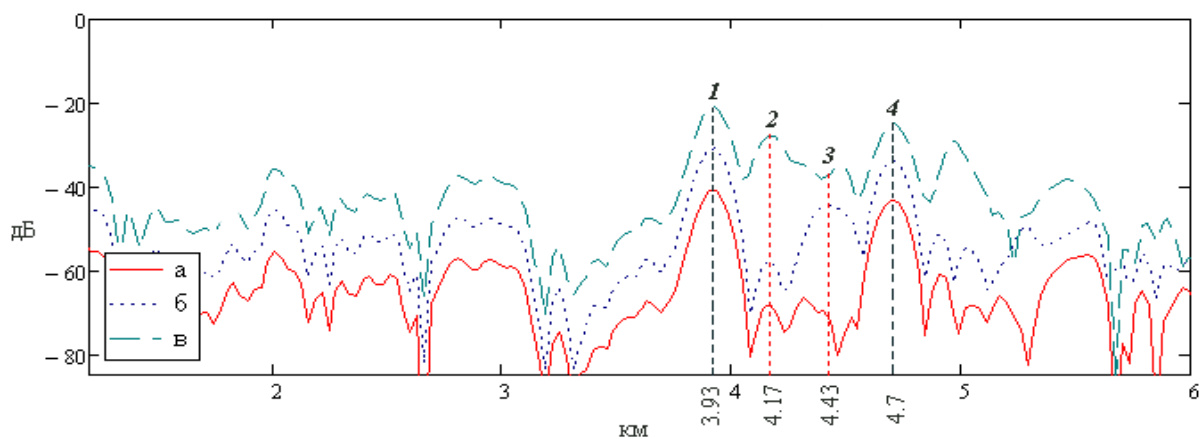


Рис.3.1.13. Рефлекторами ПЛ10 кВ з відгалуженнями:

а - ПЛ без замикання і фільтрів, *б* - ПЛ з встановленими фільтрами на відстані 4433 м, *в* - ПЛ з замиканням на землю на відстані 4167 м

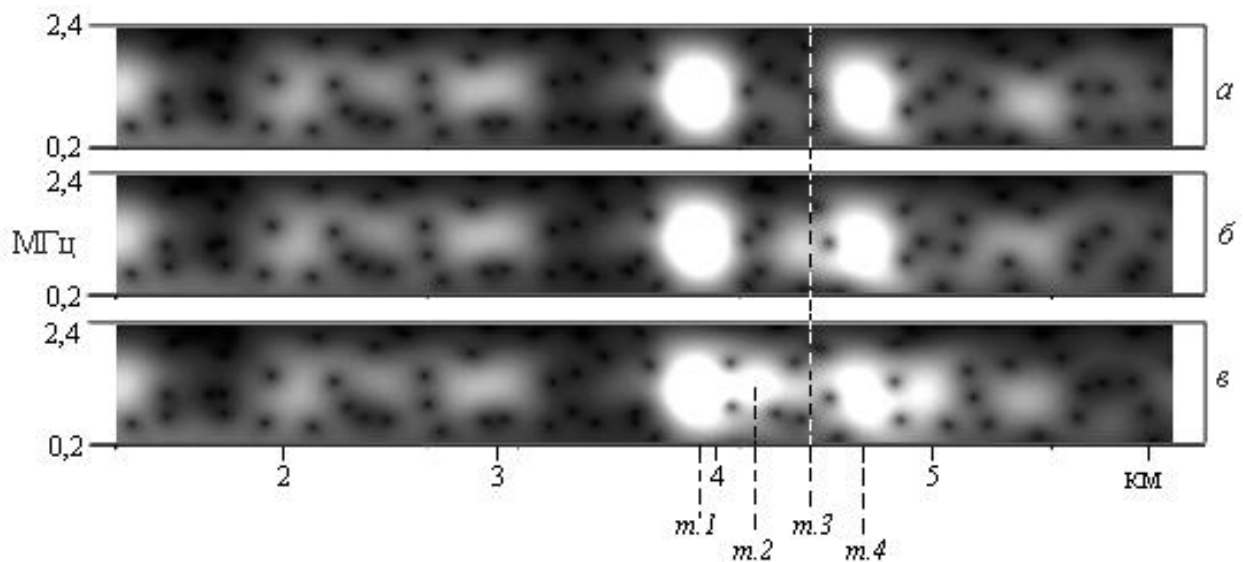


Рис.3.1.14. Фотографічні дальностно-частотні портрети ПЛ10 кВ з відгалуженнями:

а - ПЛ без замикання і фільтрів, б - ПЛ з встановленими фільтрами на відстані 4433 м, в - ПЛ з замиканням на землю на відстані 4167 м

Обчислені дальностно-частотні портрети (ДЧП) ПЛ з вікном аналізу, рівним тривалості ЛЧМ імпульсу зондування, представлені в фотографічному вигляді на рис. 3.1.14. По осі абсцис відкладено відстань в км, по осі ординат - частота в МГц. Збільшенню рівня відбитого сигналу відповідає збільшення яскравості на зображенні. Місця на ДЧП ПЛ, обозначені точками 1, 2, 3 і 4 відповідають однойменним точкам на рефлектограмах (рис. 3.1.13).

Ділянка довжиною 530 м (Т.1 - т.3) в ізометрії відображений на рис. 3.1.16.

Вертикальні перетини всіх трьох ДЧП в *т.3* (4,43 км), де встановлені резонансні фільтри, представлені на рис. 3.1.17.

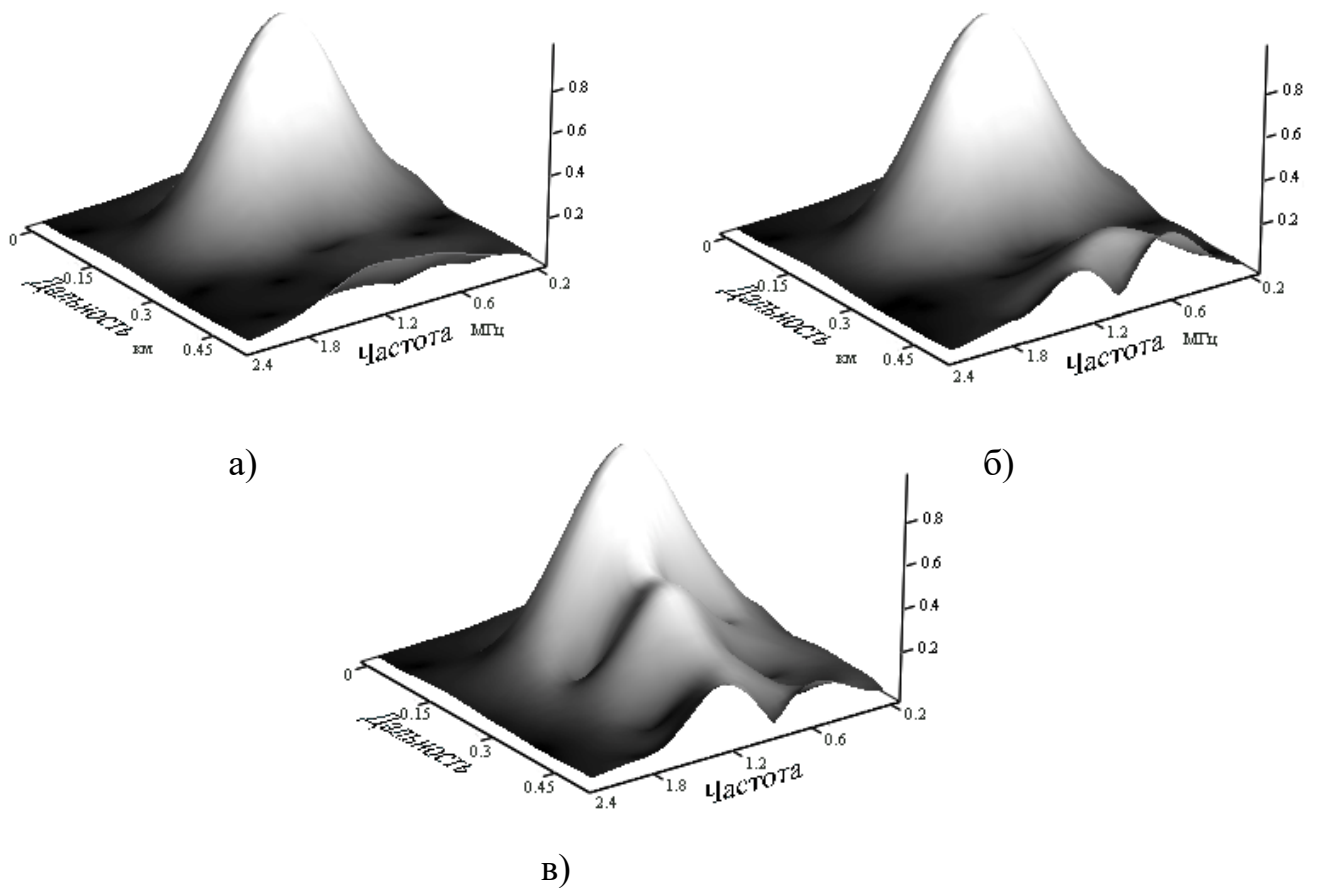


Рис.3.1.15. Ізометричні дальностно-частотні портрети ділянки ПЛ 10 кВ:

***а** - ПЛ без замикання і фільтрів, **б** - ПЛ з встановленими фільтрами,*

***в** - ПЛ з замиканням на землю і встановленими фільтрами*

Виконаний аналіз рис. 3.1.14 – 3.1.16 показав, що при замиканні на землю амплітуда спектральних складових поблизу частоти 700 кГц зменшується приблизно на 6 дБ, а поблизу частоти 1,4 МГц залишається практично незмінною. Зменшення амплітуди відбитого сигналу на резонансній частоті фільтра Ф2 свідчить про те, що замикання на землю відбулося на ділянці з частотною міткою Ф2.

Таким чином, аналіз отриманих експериментальним шляхом дальностно-частотних портретів для ПЛ 10 кВ з розгалуженою структурою дозволяє локалізувати місце ушкодження ЛЕП виду однофазного замикання на землю.

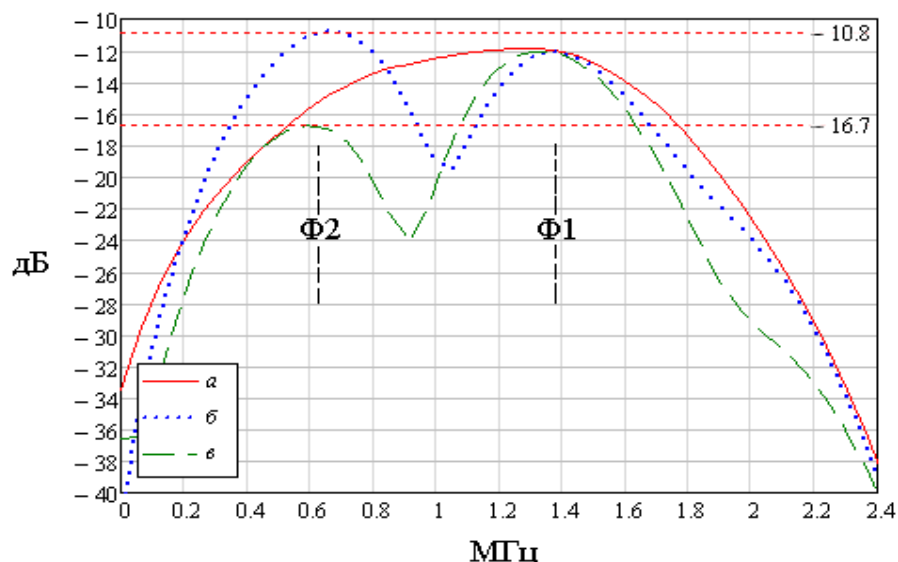


Рис.3.1.17. Спектри відображених сигналів від місць установки резонансних фільтрів Ф1 і Ф2:

а - ПЛ без замикання і фільтрів; б - ПЛ з встановленими фільтрами на відстані 4433 м; в - ПЛ з замиканням на землю на відстані 4167 м

Друга серія експериментальних вимірювань проводилася на ПЛ 6 кВ з ізолюваною нейтраллю без відгалужень довжиною 9,6 км. Метою даного експерименту було дослідження чутливості приладу АЛИМП до різних неоднорідностей: наближення чагарникової рослинності до струмоведучих частин ПЛ на неприпустимі відстані, вплив зміни ємнісних і активних опорів на рівень відбитого сигналу.

Рефлектограми, отримані в ході експерименту на ПЛ 6 кВ, приведені на рис. 3.1.19.

Зондування проводилося по всім трьом фазах. Аналіз рефлектограм виявив сім найбільш критичних ділянок ПЛ, пронумерованих точками **1 - 7** (рис. 3.1.19). У результаті обходу ПЛ 6 кВ на місцевості в точках, відзначених на рефлектограмі, підтверджено наближення чагарникової рослинності до струмоведучих частин ПЛ на неприпустимі відстані.

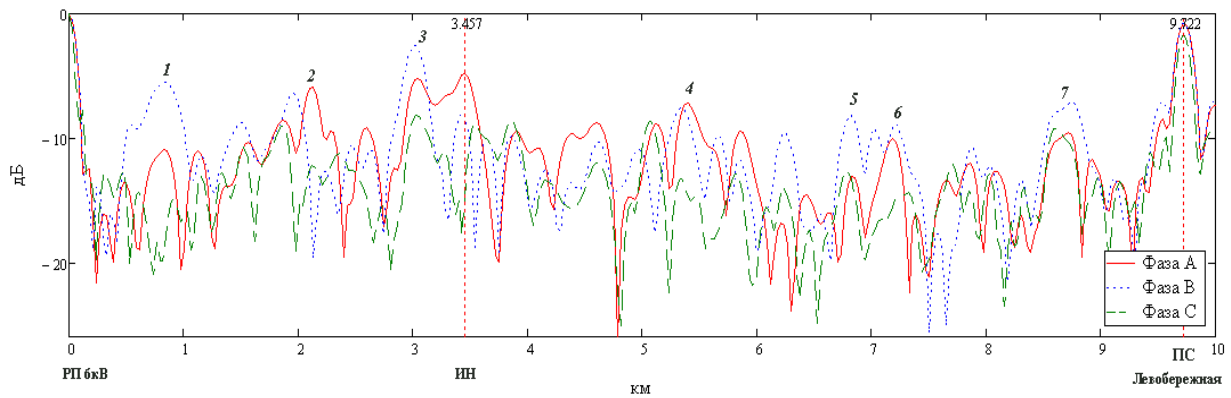


Рис. 3.1.19. Рефлекторами ПЛ 6 кВ

У наступної частині експериментальних досліджень на одній із опор на фазу «А» встановлювалась штучна неоднорідність (ШН) на відстані 3457 м від місця зондування. ШН представляла собою набір активних опорів і конденсаторів різних номіналів з можливістю їх комбінованого перемикання.

Загальні характеристики чутливості приладу при змінах активного і реактивного опору ЛЕП 6 кВ наведені на рис. 3.1.20.

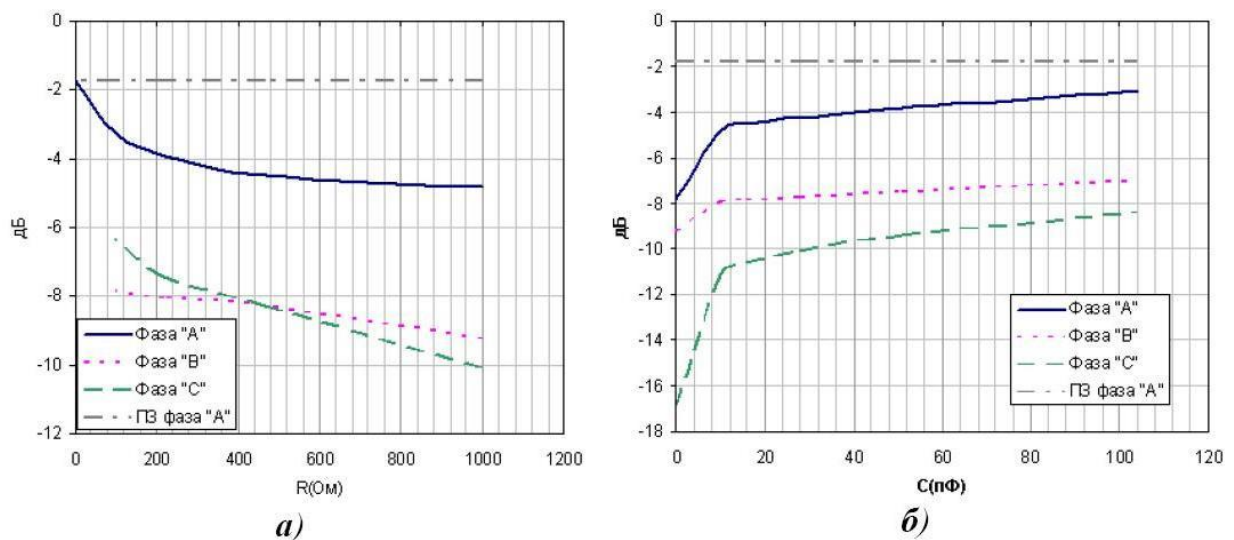


Рис. 3.1.20. Зміна амплітуди відбитого сигналу на зміну параметрів штучної неоднорідності:

***а** - зміна активного опору, **б** - зміна ємнісного опору*

Отримані залежності характеризують потенційні можливості «АЛИМП» по виявленню пошкоджень, в тому числі найбільш поширених

самоусуваючих замикань на землю, а також виявленню порушень ізоляції для вирішення задач діагностики ПЛ 6-35 кВ.

Таким чином, результати експериментальних досліджень підтвердили можливість селективного ВМП з високою точністю розгалуженої ЛЕП із застосуванням активного зондування, при цьому оцінки ефективності застосування таких приладів характеризуються швидким терміном окупності.

3.2 Розробка системи дистанційного моніторингу

У концепції розвитку електроенергетики сьогодні найбільш гостро стоїть питання побудови інтелектуальної мережі (smart grid). Важливими вимогами побудови такої мережі є надійність і безперебійність електропостачання. Для забезпечення надійності ЛЕП високої напруги необхідна не тільки їх модернізація, а й своєчасне виявлення і усунення відхилень технологічних параметрів. В даний час пошук несправностей і пошкоджень ЛЕП ведеться за допомогою їх візуального огляду лінійними бригадами, в деяких випадках із залученням малої авіації, що пов'язано з великими тимчасовими і матеріальними витратами. У зв'язку з цим, актуальним стає завдання створення системи дистанційного моніторингу локальних параметрів ЛЕП. На відміну від існуючих приладів визначення місця пошкодження, система моніторингу повинна виконувати не тільки функцію визначення місця пошкодження (ВМП), а й контролювати із заданою періодичністю відхилення розподільчих параметрів лінії, володіючи при цьому високою чутливістю.

3.2.1 Принципи побудови системи моніторингу

Основою для розробки системи моніторингу параметрів ЛЕП можуть стати прилади, засновані на методах активного зондування, - рефлектометри. Такі прилади здатні дистанційно фіксувати локальні відхилення параметрів довгої лінії, що об'єднують такі види пошкоджень:

- обриви і замикання проводів;
- зниження рівня ізоляції;
- зміни відстані між струмоведучими проводами повітряних ліній і деревно-чагарникової рослинністю;
- виникнення ожеледі на повітряних ЛЕП.

Для моніторингу повітряних ЛЕП розроблений автоматичний локаційний шукач місць пошкодження (АЛИМП). До особливостей рефлектометра «АЛИМП» можна віднести застосування в якості зондуючих імпульсів сигналів

з лінійно-частотною модуляцією. Застосування складних модульованих сигналів обґрунтовується необхідністю випромінювати сигнал невеликої потужності, але при цьому отримувати високу чутливість до змін параметрів ЛЕП з необхідною точністю вимірювання відстані до місць пошкодження. Відбиті сигнали надходять в прийомний пристрій і обробляються цифровим сигнальним процесором. В результаті формується рефлектограма, яка відображає рівні відображених сигналів від неоднорідностей ЛЕП(приклад рефлектограм відображені в попередніх розділах).

Узагальнений алгоритм обробки одержуваної інформації показаний на рис.3.2.1. У відбитому сигналі, крім корисного сигналу, містяться перешкоди і шуми, тому при формуванні рефлекторам необхідно мати максимальне відношення сигнал/шум + перешкода. Така умова виконується застосуванням наступних алгоритмів фільтрації прийнятого сигналу:

- селективна частотна фільтрація - забезпечує режекцію (видалення) вузькосмугових сигналів;
- узгоджена фільтрація та накопичення прийнятих рефлектограм по масиву багаторазового зондування - реалізує збільшення відношення «корисного сигналу/перешкоди»;
- селективна тимчасова фільтрація по пачці зондування - виконує захист від одиночних випадкових імпульсних перешкод.

Перераховані вище алгоритми фільтрації реалізовані на цифровому сигнальному процесорі, встановленому безпосередньо в приладі.

Кінцевим результатом роботи пристрою «АЛИМП» є виявлення відхилення(місця пошкодження) електричних параметрів ЛЕП, вимірювання рівня цього відхилення і обчислення дистанції. Наявність в прийнятому сигналі шумів і перешкод призводить до помилок вимірювання. Рішення про

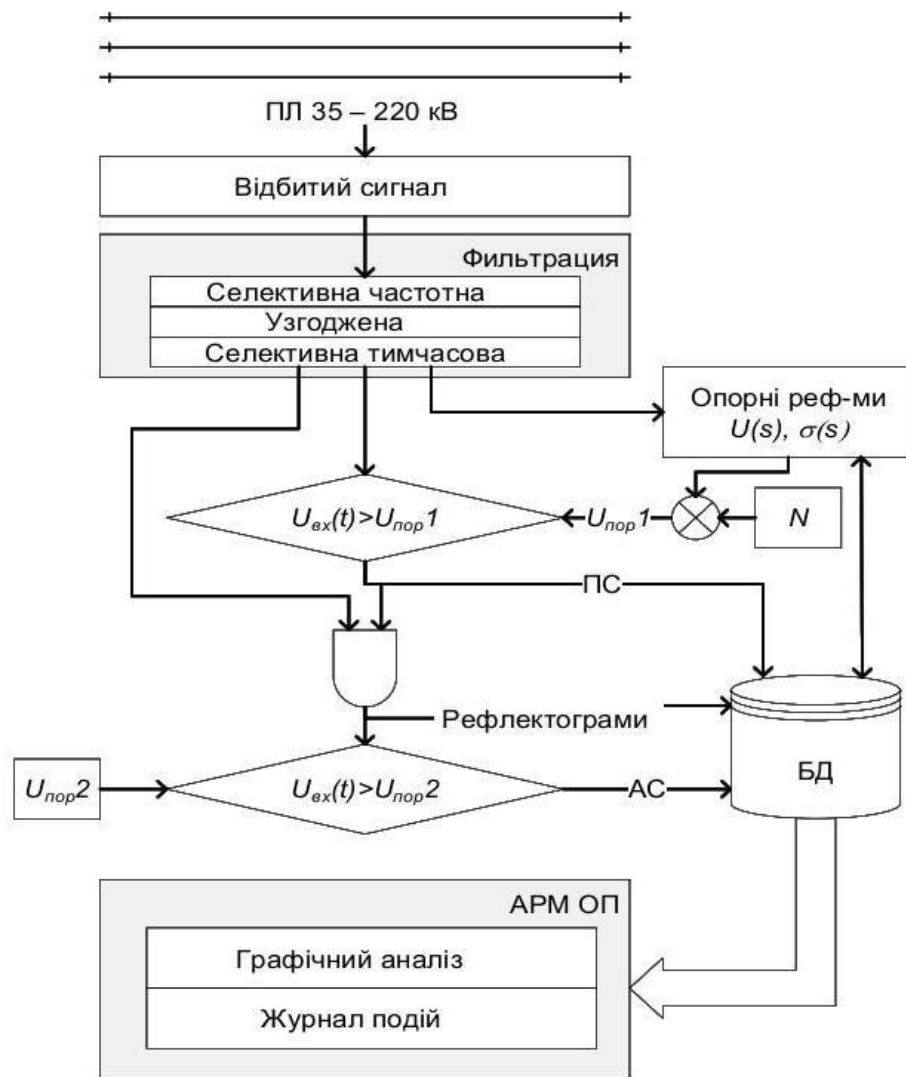


Рис.3.2.1. Алгоритм обробки інформації

виявлення зводиться до алгоритму порівняння прийнятої величини з встановленим порогом за критерієм Неймана - Пірсона [2] при максимізації ймовірності правильного виявлення та фіксованої ймовірності помилкової тривоги. Для цього, при знятті опорної рефлекторами, сигнальний процесор по безлічі реалізацій підраховує середнє квадратичне відхилення ($\sigma(s)$) для всіх локальних дистанцій лінії. Поріг виявлення ($U_{пор1}$) обчислюється шляхом множення $\sigma(s)$ на нормуючий коефіцієнт N , який визначається автоматично розрахунковою програмою або встановлюється вручну з панелі приладу. Після виявлення виниклої неоднорідності параметрів ЛЕП прилад класифікує відхилення за рівнем і тривалістю. Технологічні відхилення поділяються на

аварійні (пошкодження ЛЕП) та попереджувальні, залежно від поставлених порогових значень. Для аварійних відхилень встановлюється граничне значення $U_{пор2}$. Відстань до місця відхилення (пошкодження ЛЕП) визначається за дистанцією до першого локального перевищення рівня порога. Результати фіксації ушкоджень передаються на верхні рівні в базу даних (БД) або в АСУ ТП підстанції. У разі індивідуальної роботи з приладом оперативного або релейного персоналу, якщо прилад використовується як самостійний пристрій, результат обчислення відображається на цифровій панелі приладу.

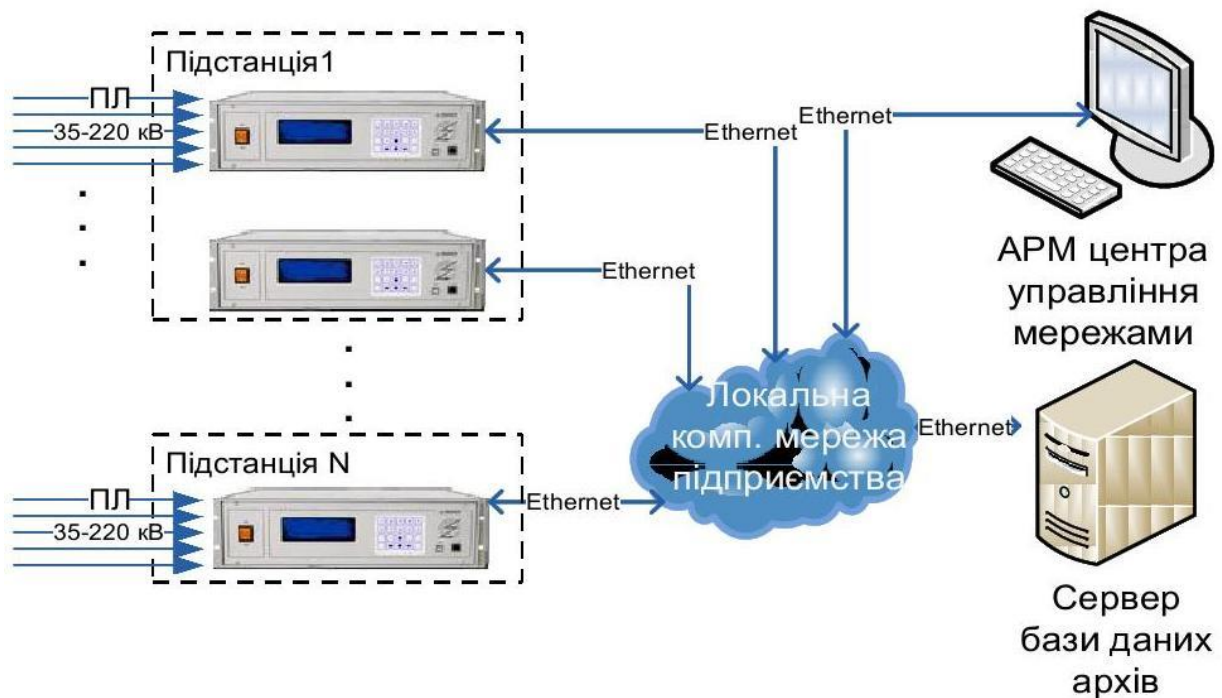


Рис.3.2.2. Структурна схема моніторингу ЛЕП на базі приладу «АЛИМП»

Система моніторингу ЛЕП може містити один прилад, обслуговуючий до 5-ти повітряних ЛЕП, або будуватися із застосуванням групи пристроїв «АЛИМП», що працюють у режимі періодичного зондування ліній. Структурна схема системи представлена на рис.3.2.2. Основними частинами системи є пристрої «АЛИМП»; сервер бази даних для зберігання рефлектограм, попереджувальних та аварійних сигналів; а також автоматизоване робоче місце (АРМ) для відображення інформації.

Інформація з приладів про стан ліній в реальному часі передається по Ethernet інтерфейсу в рамках локальної обчислювальної мережі підприємства і зберігається на сервері бази даних. Доступ до бази даних може бути виконаний з будь-якого робочого місця оперативної, лінійної та інших служб підприємства. Для прикладу, на структурній схемі показано АРМ, розташоване в центрі управління мережами. На АРМ встановлена програма відображення стану ЛЕП. Вона включає в себе журнал подій і вікно для аналізу стану ЛЕП в графічному вигляді.

На рис. 3.2.3 зліва приведений приклад відображення добового (за 24 години) стану ПЛ 220 кВ довжиною 36 км.

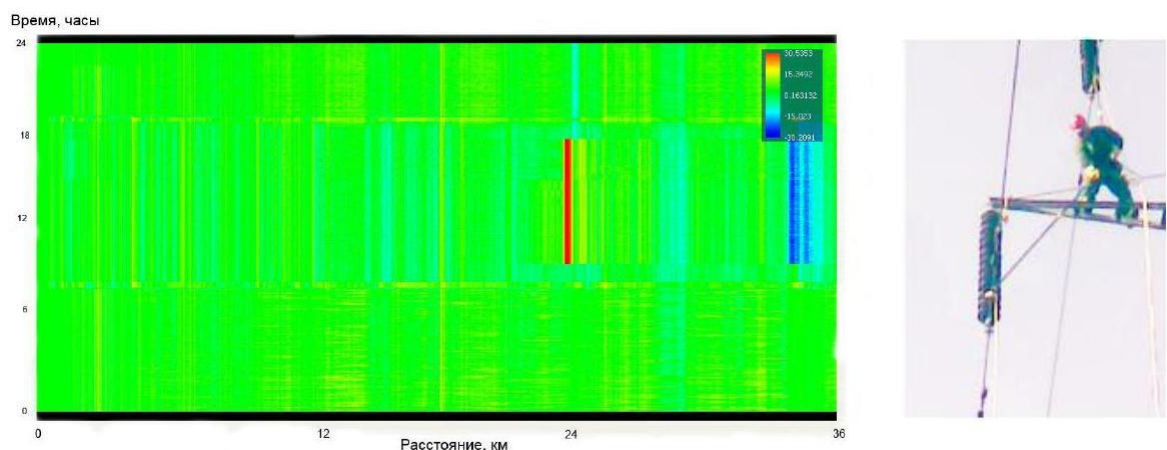


Рис.3.2.3. Фотографічне уявлення відносних змін параметрів ЛЕП. Проведення робіт на лінії.

Вісь «Х» представлена як відстань (км.), а вісь «Y» як час (години). Рівні відносного відхилення параметрів лінії відповідають географічній палітрі. На прикладі даного малюнка видно, що на 24-му кілометрі в 8:30 годин відбулася різка зміна параметрів ЛЕП. Така зміна була викликана роботами на ПЛ з установкою переносного заземлення з 8:30 до 18:00 (рис. 5 праворуч). Рівень відносної зміни склав більше 30 дБ.

Приклад визначення місця загоряння дерев під ПЛ 200 кВ «Етилен - Луч» системою моніторингу ЛЕП представлений на рис. 3.2.4.

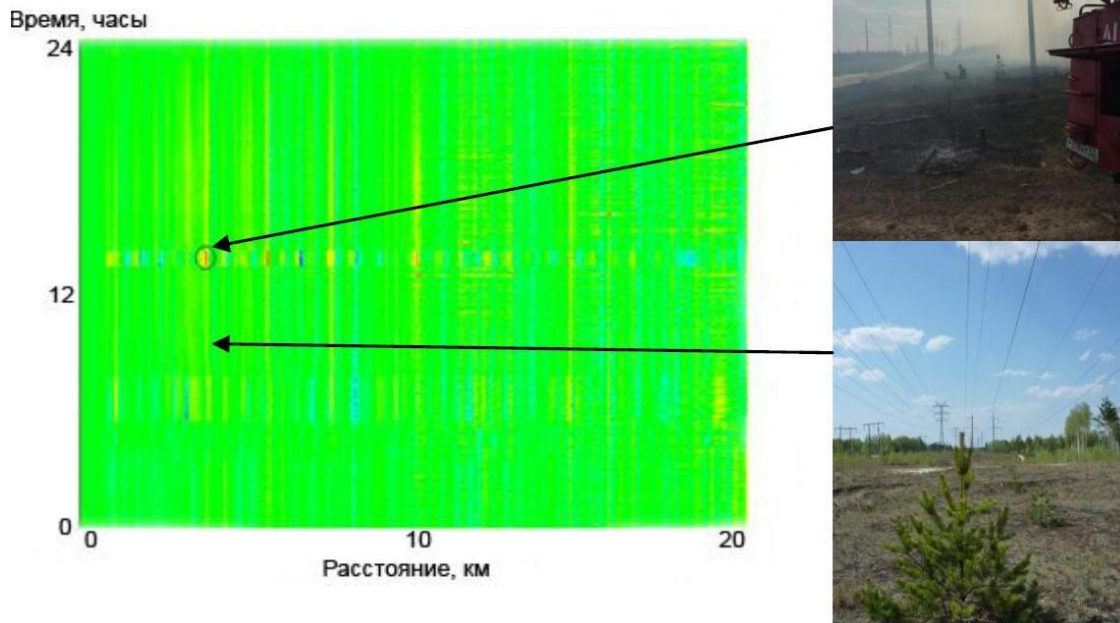


*Рис.3.2.4. Фотографічне уявлення відносних змін параметрів ЛЕП.
Визначення місця спалаху.*

На рис.3.2.5 показана фіксація неприпустимої відстані між струмоведучими проводами повітряних ліній і деревно-чагарникової рослинністю, а також виявлення порушення ізоляції ЛЕП.

Графічне представлення стану ЛЕП являється зручним для аналізу персоналом служби ліній. Однак для служби оперативного персоналу найбільш доцільно представити інформацію у вигляді журналу подій, прив'язаних до пошкоджень з вмістом наступних параметрів:

- дата/час;
- диспетчерське найменування лінії;
- підстанція (місце установки приладу);
- дистанція до місця технологічного відхилення;
- рівень або клас тривоги.

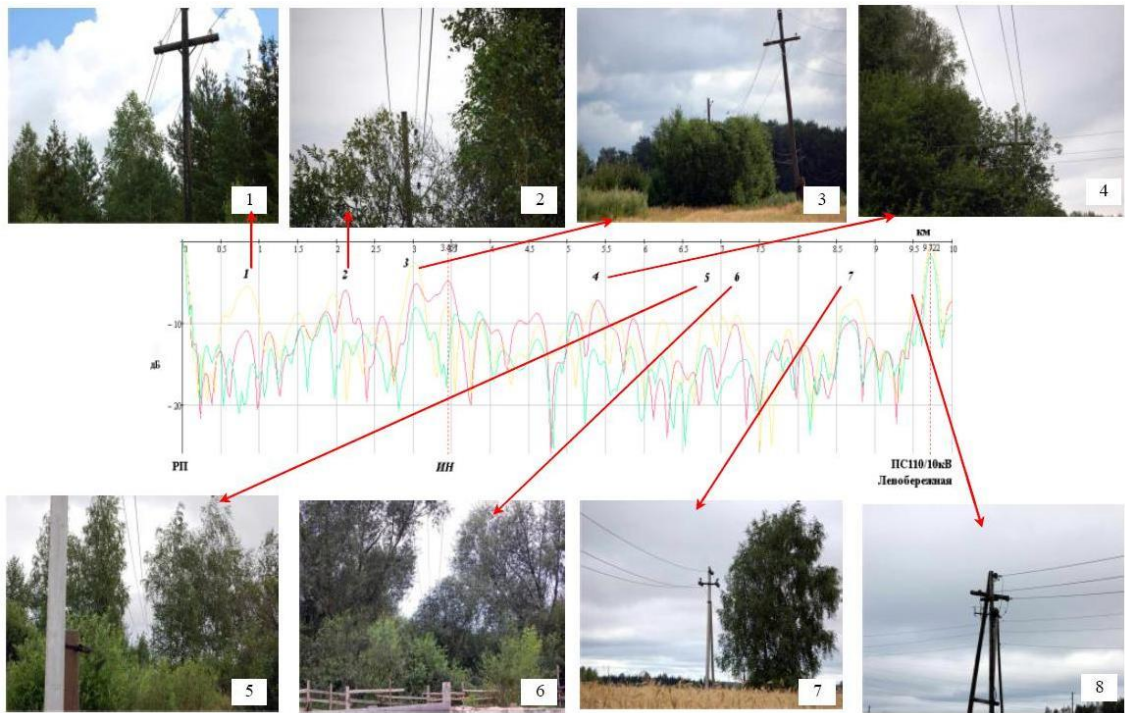


Рис.3.2.5. Дистанційна діагностика ПЛ 6 кВ на ПС 110 кВ
«Левобережная» Виявлені порушення ізоляції і неоднорідності ЛЕП.

Залежно від ступеня пошкодження (рівня відхилення) програмою генеруються попереджувальні або аварійні сигнали. Великі значення відхилень, наприклад, більше 25 дБ, порівнюються до аварійних сигналах зі звуковим супроводом і «квитированием».

У програмі моніторингу, яка встановлюється на АРМ, передбачені фільтри для перегляду журналу подій. До таких фільтрів відносяться: сортування і вибірка подій по заданому часовому інтервалу; по підстанції; по найменуванню лінії; за ступенем пошкодження і дистанції.

3.2.2 Інтеграція системи моніторингу

Сучасний електроенергетичний комплекс включає в себе такі системи як АСУ ТП, мікропроцесорні термінали захистів ЛЕП, системи збору та передачі технологічної інформації (СЗПТИ), охоронний комплекс та ін.

Інтеграція системи моніторингу ЛЕП необхідна для об'єднання і структурування інформації, що надходить в єдиний програмно-технічний

комплекс (ПТК) підстанцій, а також для взаємодії з терміналами РЗА як показано на рис.3.2.6.

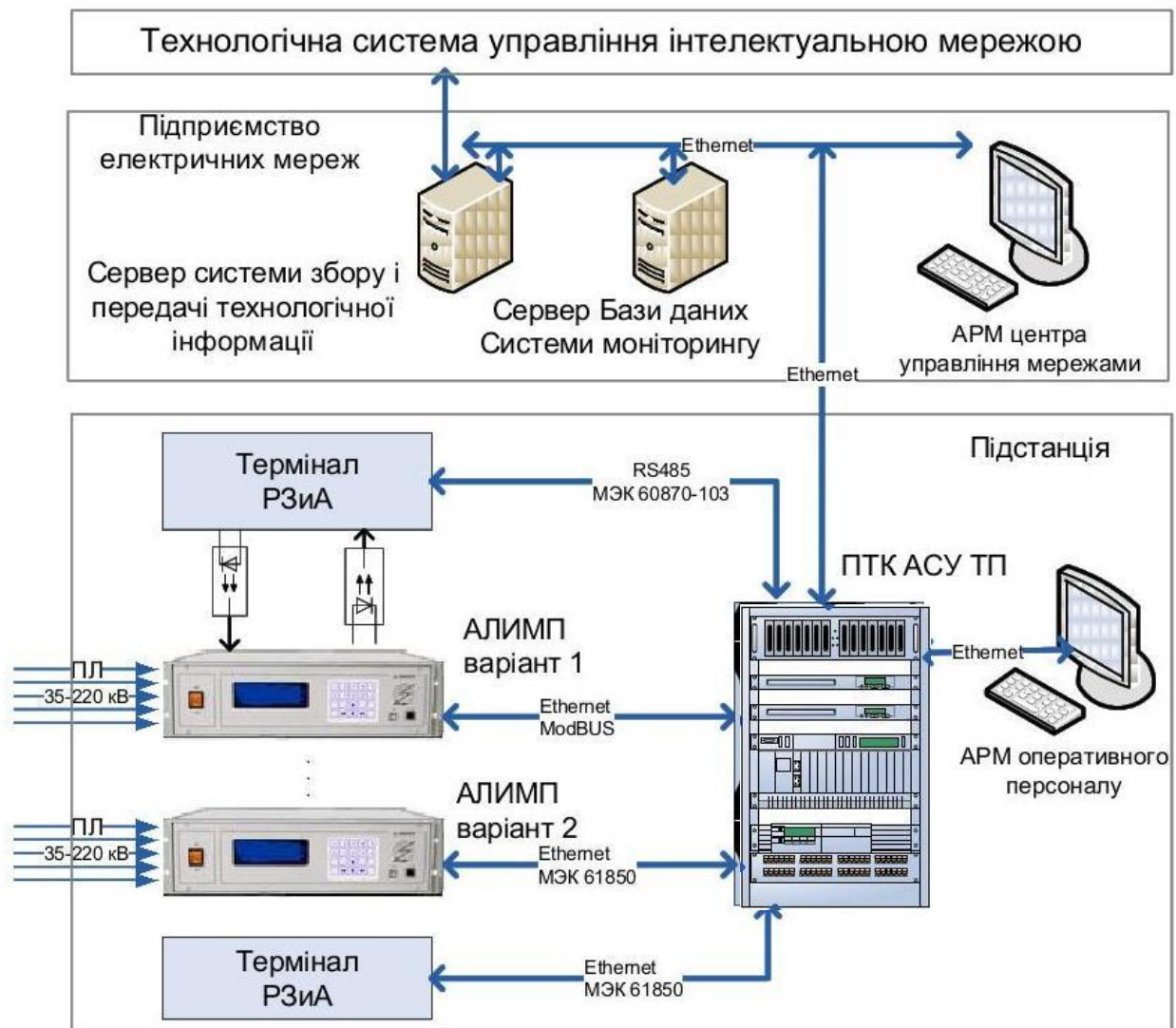


Рис.3.2.6. Схема інтеграції системи моніторингу в ПТК ПС

Прилади «АЛИМП» можуть взаємодіяти з терміналами РЗА для здійснення інтелектуального режиму автоматичного повторного включення ЛЕП в роботу (АПВ). Суть інтелектуального АПВ полягає в наступному: у разі аварії після спрацювання релейного захисту пристрій «АЛИМП» за час, що не перевищує 30 мс., аналізує стан ЛЕП і генерує сигнал дозволу або блокування режиму автоматичного повторного включення (АПВ) при виявленні пошкоджень. При цьому збільшується ресурс вимикачів через виключення подачі напруги на пошкоджену лінію. Інтеграція пристрою з

терміналами релейного захисту та автоматики (РЗА) може бути виконана в двох варіантах (рис.3.2.6). У першому варіанті з терміналами, зовнішній інтерфейс яких виконаний на RS485 з протоколом МЕК 60870-5-103, необхідні додаткові зв'язки у вигляді дротяних ліній. У другому варіанті додаткові зв'язки не потрібні, оскільки протокол МЕК 61850 підтримує GOOS сполучення між пристроями нижнього рівня, минаючи верхній. Варіант 2 найбільш кращий, так як він виключає прокладку додаткових кабелів і розрахований на роботу з терміналами захистів останнього покоління.

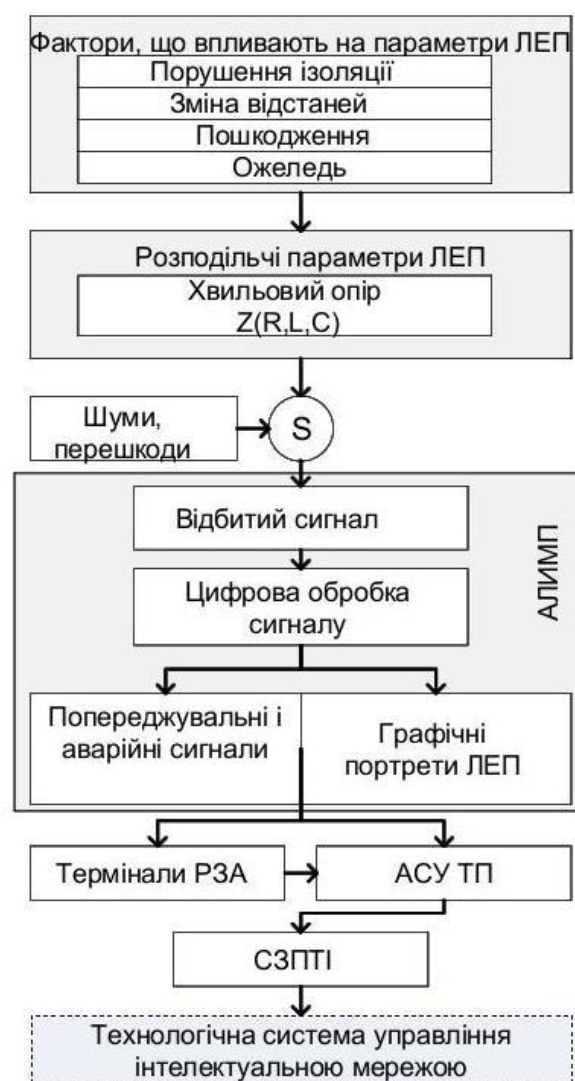


Рис.3.2.7. Структурна схема перетворення інформації про стан ЛЕП

За протоколом МЕК 61850 прилади інтегруються і в АСУ ТП, яка є основою для збору і зберігання технологічної інформації з системи

моніторингу ЛЕП, а також для передачі отриманих сигналів і рефлектограм на верхні рівні ієрархії ПТК через систему збору та передачі технологічної інформації (СЗПТІ) (рис.3.2.7). Аварійні сигнали з АСУ ТП, також можуть бути використані в системі охоронного комплексу підстанцій при відключених ЛЕП.

Таким чином, використання інформації системи моніторингу параметрів ЛЕП дозволить істотно розширити діагностичну базу комплексу автоматизованих систем електричних мереж. Формування та оброблення попереджувальних сигналів про загрози порушення ізоляції ЛЕП і місцях таких загроз знайде широке застосування при оперативному управлінні та експлуатації електромережевого комплексу. Запропоновані технології доцільно використовувати в інтелектуальних електричних мережах (smart grid).

3.3 Підвищення точності ВМП ЛЕП на основі методів пасивної локації і навігації

До числа методів визначення місця пошкоджень (ВМП) ліній електропередачі (ЛЕП) відносять так звані *хвильові методи*. Вони засновані на вимірі різниці в часі досягнення кінців лінії фронтами електромагнітних хвиль, що виникають в місці пошкодження і поширюються по лінії в обидві сторони від місця пошкодження.

Суть фізичної основи методів досить докладно описана в літературі [1-10], її ілюструє рис.3.3.1, де показаний один провід лінії електропередачі довжиною L , який в момент ушкодження $t = 0$ заряджений до напруги U . При виникненні пробою ізоляції проводу на землю в деякій точці, віддаленій від кінця лінії на відстань L , відбувається падіння напруги до нуля. У місці пошкодження виникають електромагнітні хвилі напругою ($-U$), які прагнуть зі швидкістю $\vec{V}$ поширити нульовий потенціал по всій лінії. Через часові інтервали запізнювання

$$t_{31} = \frac{L-l}{V} \quad \text{і} \quad t_{32} = \frac{l}{V} \quad (3.7)$$

фронти хвиль досягають кінців лінії. Різниця часів поширення (запізнювання)

$$\Delta t_3 = t_{32} - t_{31} \quad (3.8)$$

визначає відстань до місця пошкодження

$$l = \frac{L}{2} + \frac{\Delta t_3}{2} V \quad (3.9)$$

Оскільки швидкість $\vec{V}$ поширення фронтів напруги порівнянна зі швидкістю світла, то для прийнятної помилки ВМП повинна бути забезпечена точність виміру різниці часу запізнювання Δt_3 порядку мікросекунд і відповідна синхронізація відліку часу на обох кінцях лінії.

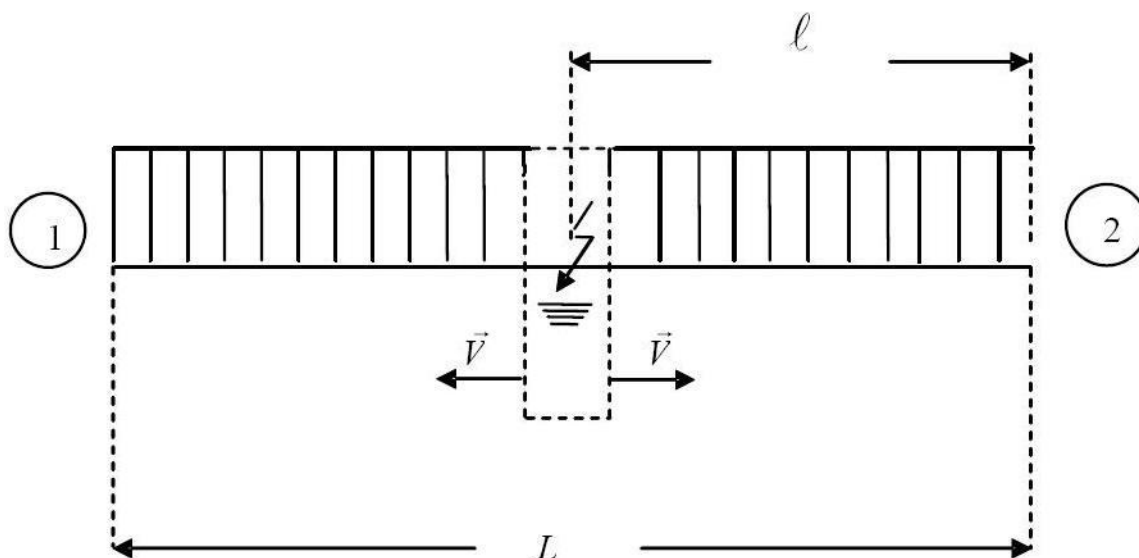


Рис.3.3.1. Діаграма розповсюдження хвиль

У технічній літературі [1 - 7], присвяченій хвильовим методам ВМП ЛЕП, наводяться способи попередньої і наступної посилок синхронізуючих сигналів для реалізації точного відліку часу лічильниками на кінцях лінії. Проте відзначається невисока точність пристроїв ВМП, викликана проблемами синхронізації, ускладнення схемних рішень, низька надійність і достовірність функціонування пристроїв, пов'язані з впливом перешкод. Типова схема пристрою ВМП [7], що реалізує хвильовий метод двосторонніх вимірювань, представлена на рис. 3.3.2. Слід зазначити, що в якості середовища передачі інформації можуть використовуватися різні види зв'язку:

- традиційна дротова на базі мідних і оптичних ліній;
- бездротова: радіозв'язок, супутникова, оптичні системи передачі інформації та ін;
- зв'язок по лініях електропередачі та ін.

3.3.1. Застосування GPS-системи супутникової навігації у процесі ВМП

Істотний розвиток хвильових методів двосторонніх вимірювань пов'язаний з розвитком *систем супутникової навігації*. Аналіз науково-технічної літератури свідчить, що останні патенти японських і американських компаній, що працюють в цьому напрямку, пов'язані із застосуванням **GPS (Global Positioning System)** систем супутникової навігації. Структурна схема такого хвильового пристрою ВМП набуває вигляду, який показаний на рис.3.3. 3.

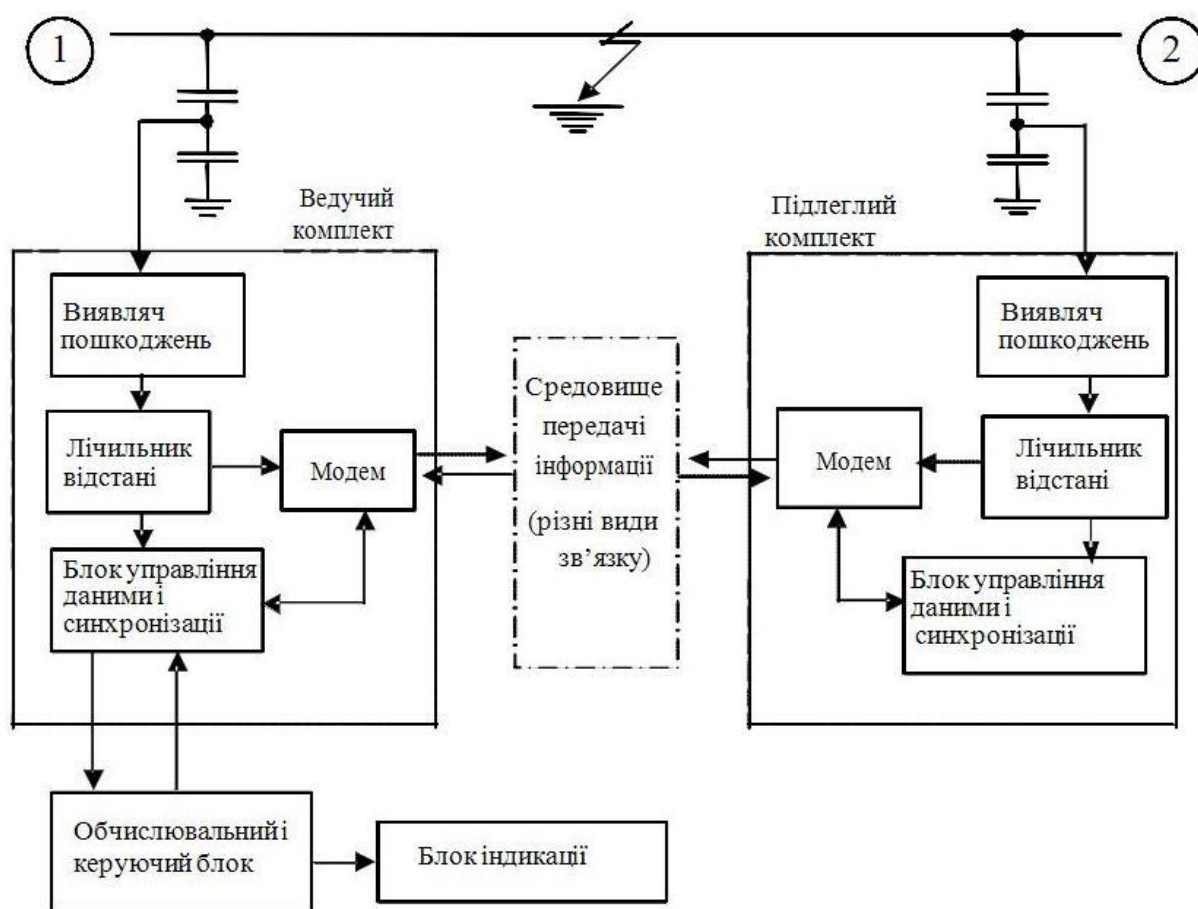


Рис.3.3.2. Хвильовий пристрій ВМП з попередніми синхронізуючими сигналами

Синхронізація з використанням сигналу від **GPS**-супутника виконується таким чином. Супутником випромінюється два типи закодованої інформації, іменованої «C/A кодом» (Coarse Acquisition Code) і «P кодом». Код C/A

доступний для загального (цивільного) застосування. Кодована інформація формується генератором, заснованим на атомних годинниках GPS-супутника. Таким чином, використання синхронізації від цього генератора забезпечує точний часовий відлік. Код С/А - це 1023-бітовий сигнал періоду 1 мс, передається за допомогою фазової модуляції на несучій частоті порядку 1,5 - 1,6 ГГц.

Затримка електромагнітної хвилі від супутника до GPS-приймача пристрою ВМП виникає через проходження через іоносферу, атмосферу і ряду інших чинників. Її компенсація може бути досягнута з високою точністю і стабільністю і шляхом введення корекційної моделі з урахуванням орбітального руху навігаційного апарату.

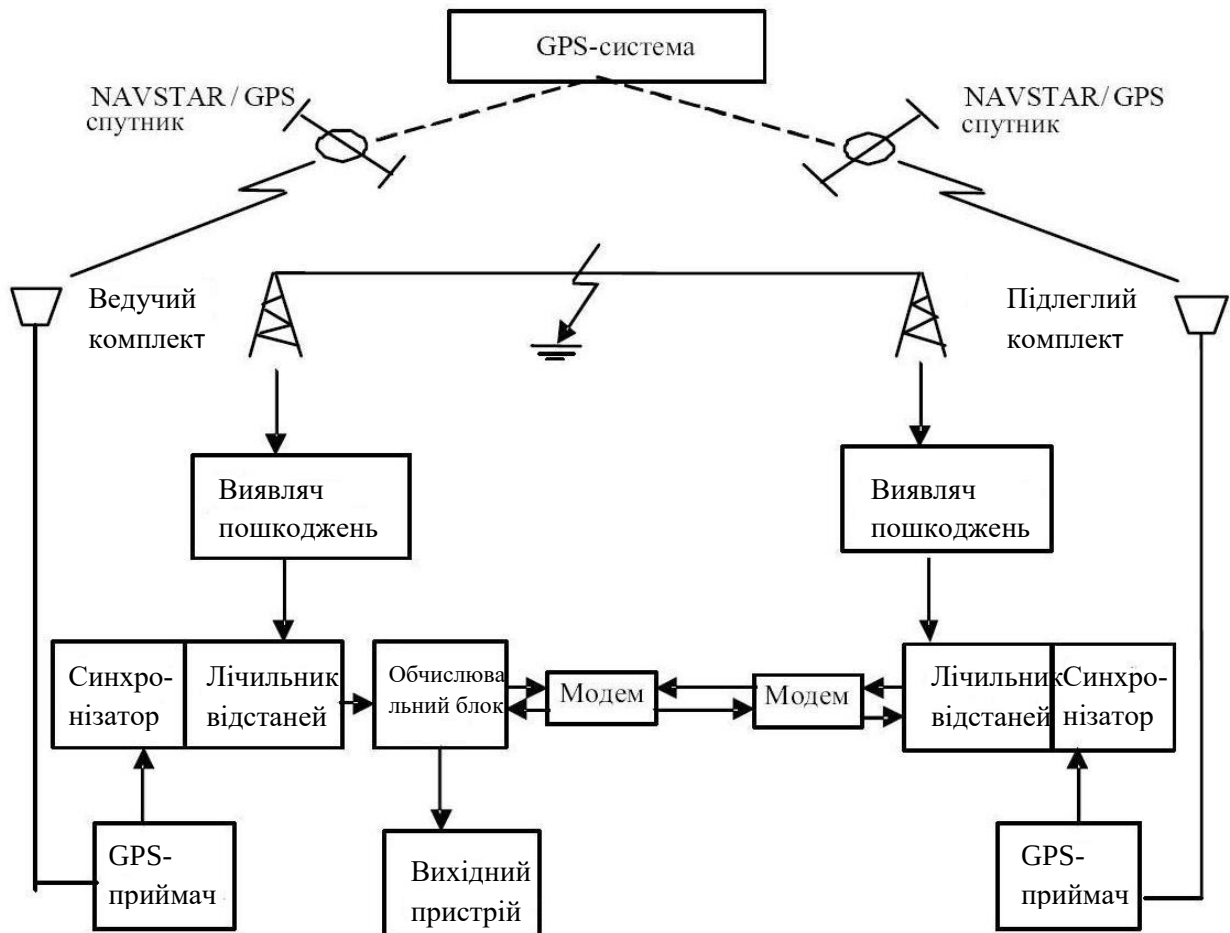


Рис.3.3.3. Хвильовий пристрій ВМП з використанням системи супутникової навігації

У GPS-годинниках приймача хвильового пристрою ВМП проводиться кореляційний обробка C/A коду, отриманого з супутника, підлаштовується фаза генератора, що формує аналогічний C/A код. При підлаштуванні враховуються раніше розглянуте коректування зовнішньої затримки, а також внутрішні затримки і помилки годинника приймача. У підсумку можлива побудова загальної корекційної моделі, що включає компенсацію зовнішніх і внутрішніх факторів нестабільності вимірювання часових параметрів. За оптимістичними оцінками [8, 9, 10], точність синхронізації відліків часу на кінцях ЛЕП для хвильового методу двосторонніх вимірювань може бути досягнута в межах 10^{-8} - 10^{-7} с, що відповідає точності ВМП 3-30 м.

Однак поряд із синхронізацією часових вимірів на кінцях ЛЕП для хвильових методів окремою проблемою є спотворення (руйнування форми) і «затягування» фронтів хвильових процесів. Слід відзначити, що для ліній надвисокої напруги такий вплив є значним і визначається:

- неоднаковістю шляху проходження хвильових процесів до кінців ЛЕП;
- випадковістю параметрів лінії (конструкції і параметрів її окремих ділянок);
- впливом зовнішніх випадкових факторів і перешкод, специфікою електромагнітної обстановки;
- станом ізоляції, погодними умовами та ін..

Характер «затягування» фронтів хвильових процесів, пов'язаний з реактивними складовими опору ЛЕП, можна оцінити по аналогічному ефекту для імпульсних методів [2], де в результаті для ЛЕП 110-220 кВ такі помилки ВМП можуть досягати 400 м.

Характер впливу зовнішніх і внутрішніх випадкових факторів ЛЕП, що спотворюють переважно форму хвильових процесів, практично не вивчений. Відповідно, не визначені вплив випадкових спотворень на точність ВМП і методи компенсації цього впливу. Комплексне рішення проблем хвильових

методів ВМУ (синхронізація, зтягування фронтів і їх спотворення) можливе при використанні теорії і техніки радіоелектронних систем [11, 12].

При цьому з точки зору локаційно-навігаційних підходів розглянутий пристрій ВМП (рис.3) можна інтерпретувати як традиційну *систему пасивної супутникової навігації*. Істотно, що більш глибоке використання таких підходів [12] може не тільки розширити розуміння фізичних процесів, що виникають в процесі обробки інформації хвильовими пристроями ВМП, а й докорінно змінити її характер.

3.3.2 Аналіз хвильового пристрою ВМП з використанням методів пасивної локації

Розглянемо спрощений приклад (рис.3.3.4) - обмежимося представленням хвильового пристрою ВМП двосторонніх вимірювань через локаційну пасивну двопозиційну систему. Хвильові процеси, що поширюються до пунктів прийому в загальному випадку являють собою випадкові процеси, параметри яких залежать від умов поширення (конструкції і параметрів ділянок ЛЕП, погодних умовах та ін.). Домовимося, що прийом ведеться на тлі просторово некорельованих перешкод двома пунктами, рознесеними в просторі на відстань (базу) L .

У пунктах прийому спостерігається реалізації сукупного випадкового процесу

$$y_1(t)=x(t - t_{31})+n_1(t) , \quad (3.10)$$

$$y_2(t)=x(t - t_{32})+n_2(t)$$

на інтервалі спостереження $0 < t < T_n$. Тут $t_{31,2}$ - час запізнювання хвильового процесу (сигналу) $x(t)$ у пунктах прийому; $n_1(t)$ і $n_2(t)$ - перешкоди в каналах прийому.

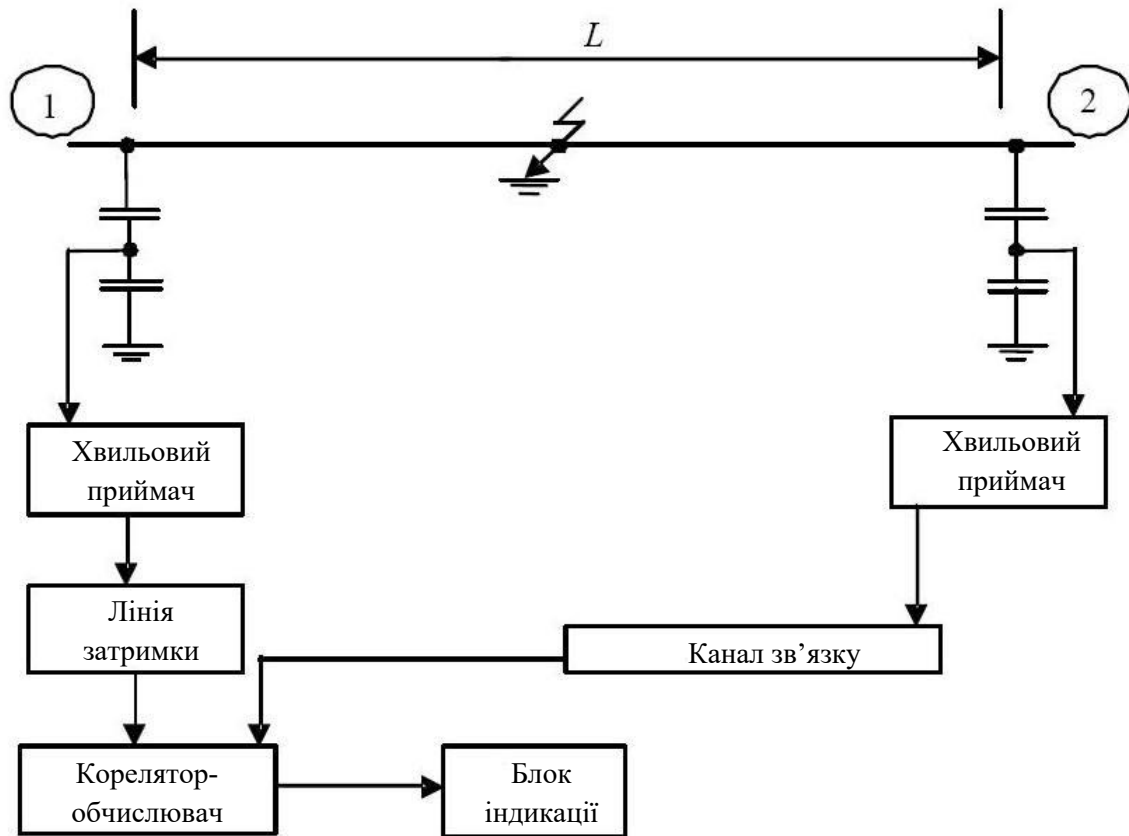


Рис.3.3.4. Спрощений хвильовий пристрій ВМП з використанням методів пасивної локації

Попередній аналіз будемо вести для особливого випадку, коли пошкодження відбувається в точці $L/2$ і взаємне запізнювання на кінцях ЛЕП (пунктах прийому) вирівняні, тобто $t_{31}=t_{32}$. Фізична інтерпретація такого випадку буде дана нижче.

Позначимо дисперсії сигналу і перешкоди відповідно σ_c^2 і σ_n^2 , тоді

$$M[y_1^2] = M[y_2^2] = \sigma_c^2 + \sigma_n^2 \quad (3.11)$$

Введемо коефіцієнт кореляції процесів $y_1(t)$ і $y_2(t)$

$$\rho_{12} = \frac{M[y_1 y_2]}{M[y_1^2]} \cdot M[y_2^2]$$

котрий з урахуванням некорельованості перешкод дорівнює

$$\rho = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_c^2 + \sigma_n^2} \quad (3.12)$$

Співвідношення (5) з урахуванням (6) набуває вигляду

$$M[y_1^2] = M[y_2^2] = \frac{\sigma_n^2}{1 - \rho_{12}} \quad (3.13)$$

Вважаємо, що приймачі реалізують цифрову обробку дискретних реалізацій $y_1(t), y_2(t)$:

$$y_1(t) \rightarrow \vec{Y}_1 = \begin{bmatrix} y_{11} \\ y_{12} \\ \vdots \\ y_{1N} \end{bmatrix}; ,$$

де N – число дискрет на інтервалі нагляду T_n :

$$N = \frac{T_n}{\Delta t} = f_n T_n \quad (3.14)$$

f_n і Δt – частота і інтервал дискретизації відповідно.

Об'єднаємо вектори $\vec{Y}_1$ і $\vec{Y}_2$ в один вектор $\vec{Y}$:

$$\vec{Y}^T = [y_{11} \ y_{21} \ y_{12} \ y_{22} \ \cdots \ y_{1N} \ y_{2N}]^T .$$

Виходячи з прийнятих моделей хвильових процесів (сигналу) і перешкоди, будемо вважати, що розподіл реалізацій при наявності сигналу описуються двовимірним нормальним законом виду:

$$p_{cn}(\vec{Y}) = \frac{1}{(2\pi\sigma_n^2\sqrt{1+\rho_{12}})^N} \exp \left[-\frac{\sum_{i=1}^N (y_{1i}^2 + y_{2i}^2 - 2\rho_{12}y_{1i}y_{2i})}{2\sigma_n^2(1+\rho_{12})} \right], \quad (3.15)$$

а перешкоди –

$$p_n(\vec{Y}) = \frac{1}{(2\pi\sigma_n^2)^N} \exp \left[-\frac{\sum_{i=1}^N (y_{1i}^2 + y_{2i}^2)}{2\sigma_n^2} \right]. \quad (3.16)$$

Вирази (9) і (10) дозволяють використовувати статистичну оцінку відстані до місця пошкодження - відношення правдоподібності

$$\ell(\vec{Y}) = \frac{1}{(1 + \rho_{12})^{N/2}} \exp \left[\frac{\rho_{12}}{2\sigma_n^2(1 + \rho_{12})} \sum_{i=1}^N (y_{1i} + y_{2i})^2 \right]$$

або кореляційної суми

$$Z = \sum_{i=1}^N (y_{1i} + y_{2i})^2 = \sum_{i=1}^N y_{1i}^2 + \sum_{i=1}^N y_{2i}^2 + 2 \sum_{i=1}^N y_{1i} y_{2i}. \quad (3.17)$$

Теоретично виразам (3.17) відповідають структури пристроїв обробки, що включають два (рис. 3.3.5, а) і три (рис. 3.3.5, б) канала обробки. Однак для оцінки різниці часу запізнювання Δt_3 , визначаюче місце пошкодження, достатньо використання лише корелятора для визначення взаємно-кореляційної функції випадкових процесів $y_1(t)$ і $y_2(t)$ на інтервалі спостереження T_n :

$$\begin{aligned} \varphi_{12}(\Delta t_3) &= \int_0^{T_n} y_1(t) y_2(t) dt = \int_0^{T_n} x_1(t - t_{31}) x_2(t - t_{32}) dt + \\ &+ \int_0^{T_n} n_1(t) n_2(t) dt + \int_0^{T_n} x_1(t - t_{31}) n_2(t) dt + \int_0^{T_n} n_1(t) x_2(t - t_{32}) dt. \end{aligned} \quad (3.18)$$

В силу некорельованості компонент останні три інтеграла звертаються в нуль. У підсумку взаємнокореляційна функція процесів $y_1(t)$ і $y_2(t)$ може бути виражена через автокореляційну функцію щодо аргументу $\tau - \Delta t_3$:

$$\varphi_{12}(\tau) = \int_0^{T_H} x(t - t_{31})x(t - t_{32})dt = \varphi(\tau - \Delta t_3). \quad (3.19)$$

Максимум автокореляційної функції $\varphi(\tau - \Delta t_3)$ здвинутий відповідно максимуму на величину Δt_3 . Цю обставину при відповідній градуіровці шкали вимірювача можна використовувати для вимірювання Δt_3 , а отже, і різниці відстаней до кінців ЛЕП.

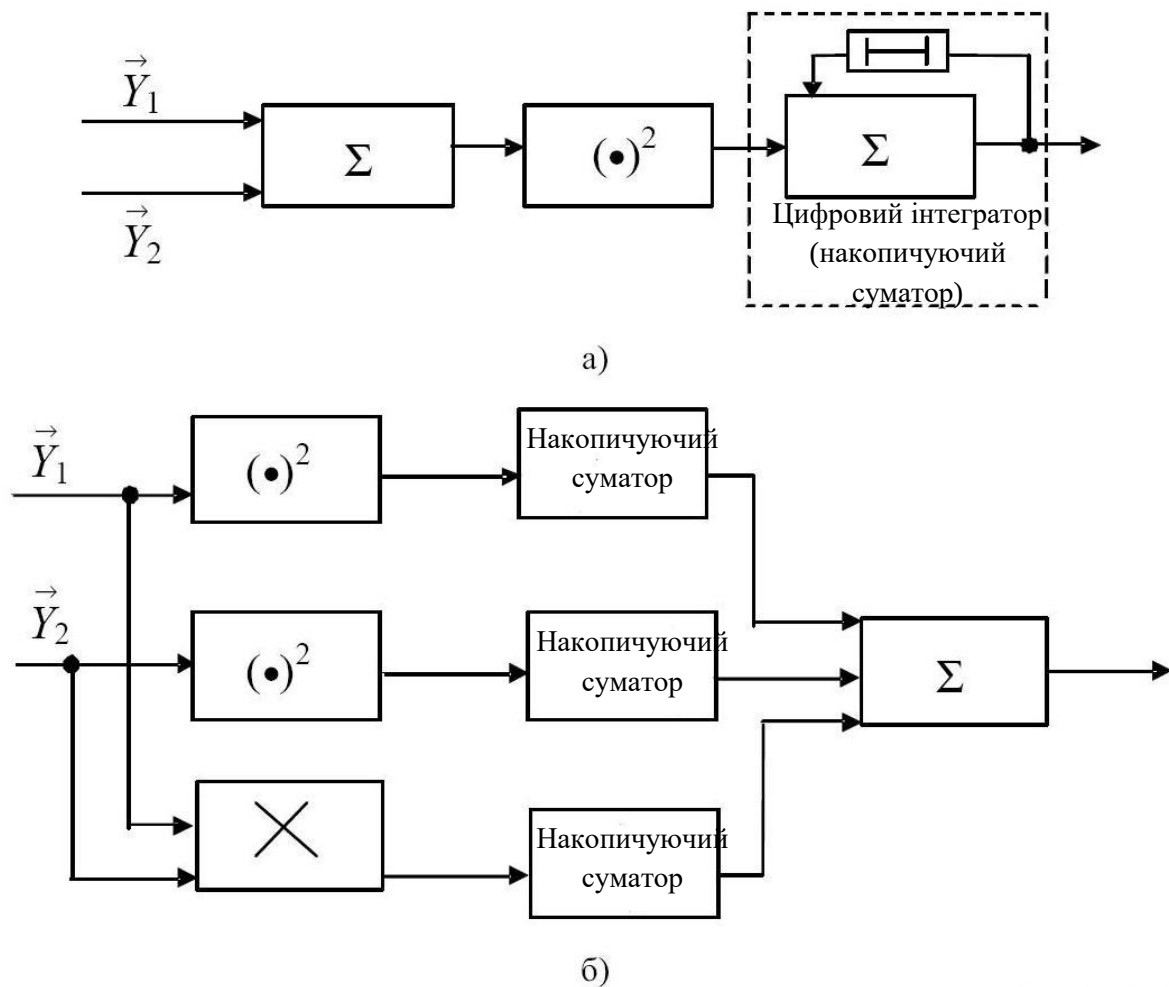


Рис.3.3.5. Обчислювачі кореляційної суми

На практиці набули поширення корелятори з послідовним і паралельним оглядом. Послідовний огляд (рис.3.3.6) по параметру τ може здійснюватися в кореляторах з плавною керуючою лінією затримки (в цифровому вигляді - блоком регістрів).

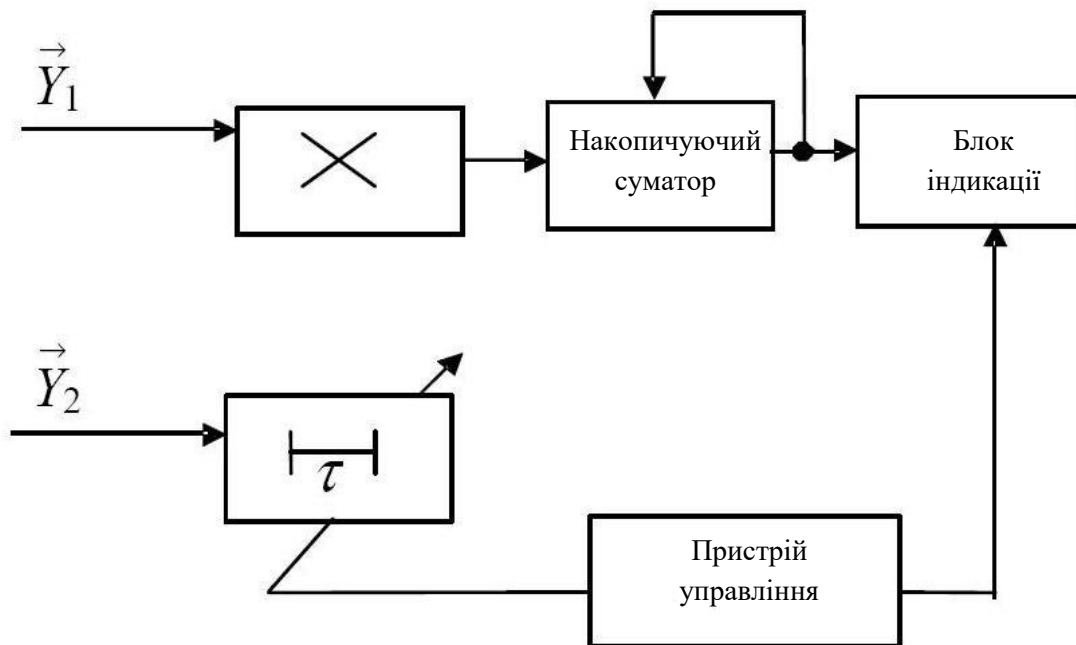


Рис.3.3.6. Корелятор з послідовним оглядом

У корелятора паралельної дії (рис.3.3.7) скорочення часу огляду по параметру τ досягається збільшенням числа каналів, що веде до ускладнення обробки. Однак у зв'язку з підвищенням продуктивності та скороченням масо-габаритних характеристик обчислювальних засобів ускладнення виявляється не істотним.

Відзначимо, що зменшення часу усереднення (накопичення) T_n пов'язано з погіршенням точностних характеристик оцінки часу запізнення. Виникає при цьому шумовий фон еквівалентний заваді, по-цьому за аналогією з виявленням [11, 12] вводять поняття відносини сигнал-перешкода q^2 на виході корелятора.

$M(y_{11}^2, y_{21}^2) = \varphi_{11}\varphi_{22} + 2\varphi_{12}^2$ і визначаючи $D(y_{11}, y_{21}) = \varphi_{11}\varphi_{22} + \varphi_{12}^2$,
отримаємо

$$q_{12}^2 = \frac{\varphi_{12}^2}{\varphi_{11}\varphi_{22} + \varphi_{12}^2}. \quad (3.22)$$

Вводячи взаємний коефіцієнт кореляції

$$\rho_{12} = \frac{\varphi_{12}}{\sqrt{\varphi_{11}}} \sqrt{\varphi_{22}} \quad (3.23)$$

останнє співвідношення можна записати у вигляді

$$q_{12}^2 = \frac{\rho_{12}^2}{1 + \rho_{12}^2}. \quad (3.24)$$

При наявності $N = T_n f_d$ пар дискрет y_{1i} y_{2i} результуюче відношення сигнал-перешкода збільшується в N разів у порівнянні з q_{12}^2 . Фізично це пояснюється тим, що середнє значення вихідного ефекту інтегратора корелятора зростає пропорційно N , а середньоквадратичне - $\sqrt{N}$ [12]. У результаті для відношення сигнал-перешкода отримаємо вирази

$$q^2 = \frac{\rho_{12}^2 N}{1 + \rho_{12}^2}, \quad q = \rho_{12} \sqrt{\frac{N}{1 + \rho_{12}^2}}. \quad (3.25)$$

За відомим значенням q^2 можна наближено оцінити дисперсію помилки оціночного значення τ [11, 12], що визначає точні характеристики хвильового ВМП з урахуванням кореляційної обробки:

$$\sigma_\tau^2 = \frac{1}{q^2 \Pi_{\text{еф}}^2}. \quad (3.26)$$

Ефективна смуга $\Pi_{\text{еф}}$ визначається виходячи із значень в загальному випадку взаємопов'язаних величин:

- смуги пропускання приймачів двохпозиційної системи;

- часу накопичення приходящих випадкових процесів;
- часу кореляції флуктуацій випадкового процесу $x(t)$, що поширюється по ЛЕП.

У реальній обстановці наряду з хвильовими процесами можуть бути присутні безліч заважаючих, тому значення ρ_{12} можуть виявитися істотно менше одиниці, що призведе до зростання σ_T . Позначимо дисперсії корисних і заважаючих сигналів на виходах корелятора $\sigma_{1,2}^2$ і $\sigma_{\Pi 1,2}^2$. Тоді ρ_{12}^2 , відповідно до (3.23), визначається як

$$\rho_{12}^2 = \frac{\sigma_1^2 \sigma_2^2}{(\sigma_1^2 + \sigma_{\Pi 1}^2)(\sigma_2^2 + \sigma_{\Pi 2}^2)} = \frac{\gamma_1 \gamma_2}{(1 + \gamma_1)(1 + \gamma_2)} \quad (3.27)$$

, де $\gamma_{1,2} = \frac{\sigma_{1,2}^2}{\sigma_{\Pi 1,2}^2}$ - відношення сигнал-перешкода по потужності на першому і другому входах корелятора. Слід зазначити, що виробництво смуги обробки (смуга приймачів) і тривалості T_n

$$\Pi \cdot T_n = f_d \cdot T_n / 2 = N / 2 \quad (3.28)$$

називають коефіцієнтом кореляційного накопичення. Зауважимо, що міжпунктове запізнювання сигналів в каналі і елементах апаратури обробки може бути враховано у відповідних параметрах лінії затримки (рис. 3.3.4.) і практично не впливає на значення результуючих точностних характеристик такого хвильового методу ВМП.

На закінчення слід зазначити, що використання *методів пасивної локації*, основаних на міжпунктовій кореляційній обробці сигналів [12], а не використовуваних раніше оцінок їх часу запізнення [1 - 10], дозволило:

- усунути необхідність точної синхронізації приймачів хвильових процесів на кінцях ЛЕП;

- отримати алгоритми обробки в умовах випадкових спотворень форми і «затягування» приходящих фронтів хвильових процесів.

Наведені міркування і локаційні прийоми [11, 12] можуть бути поширені і на інші методи ВМП ЛЕП. Очевидно, що в поєднанні з методами сучасної цифрової обробки сигналів і спектрального аналізу можливе як удосконалення наявних пристроїв ВМП, так і розробка нових.

3.4 Захист імпульсних пристроїв визначення місць пошкодження від імітуючих перешкод

Імпульсні пристрої (рефлектометри) визначення місць пошкодження (ВМП) ЛЕП широко застосовуються як в магістральних [1, 2], так і в розподільчих мережах [3]. При цьому є великим вплив різного роду перешкод, «маскуючих» корисний сигнал [1, 2]. У більшості випадків негативний вплив перешкод надається на повітряні лінії (ПЛ).

Слід зауважити, що перешкодозахищеність імпульсних засобів ВМП ЛЕП багато в чому залежить від структури зондуючих сигналів і застосовуваних засобів їх обробки. Таким чином, використання складних імпульсних зондуючих сигналів має незаперечні переваги в порівнянні з простими, з точки зору перешкодозахищеності [2, 4].

Вплив сторонніх радіоелектронних засобів (РЕЗ) на пристрої ВМП ЛЕП активного зондування може призводити до ситуації, коли заважаючі сигнали спотворюють результати зондування, імітуючи пошкодження ЛЕП. Перешкоди такого роду відносяться до імітуючих [4] і знижують відповідні експлуатаційні властивості пристроїв ВМП.

При захисті від імітуючих перешкод передбачається застосування більш складних алгоритмів. Крім того, на якість захисту від перешкод істотно впливає характер використовуваних зондуючих сигналів. По-перше, складні широкосмугові сигнали складніше «підробити», тому використовуючи їх засоби ВМП ЛЕП мають велику стійкість (краще захищені). По-друге, володіючи певними енергетичними перевагами [4], складні сигнали забезпечують краще співвідношення «сигнал/перешкода+шум» в результаті злагодженої фільтрації.

Іноді засобам ВМП ЛЕП активного зондування складними сигналами доводиться функціонувати в умовах потужного інтенсивного впливу сторонніх РЕЗ (рис. 3.4.1), які генерують імітуючі перешкоди.

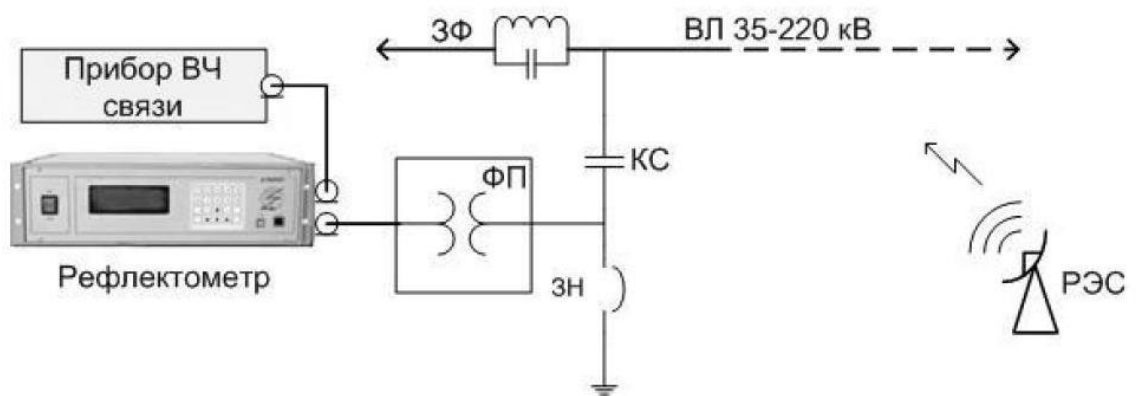


Рис. 3.4.1. Приклад ситуації, яка сприяє виникненню імітуючих перешкод

Таким чином, в процесі дослідної експлуатації автоматичного локаційного шукача місць пошкодження (АЛИМП) на ПЛ 220 кВ «НиГЭС – Семёнов» Нижегородської енергосистеми, персонал зіткнувся з помилковим спрацюванням шукача через вплив штучної імпульсної перешкоди, яка створювалась РЕЗ військового призначення, розташованого в безпосередній близькості від ЛЕП. Частотна область основних складових зондуючого сигналу РЕЗ на кілька порядків відстроєна від області частот функціонування АЛИМП. Проте інтенсивність перешкод на ЛЕП виявилася досить високою.

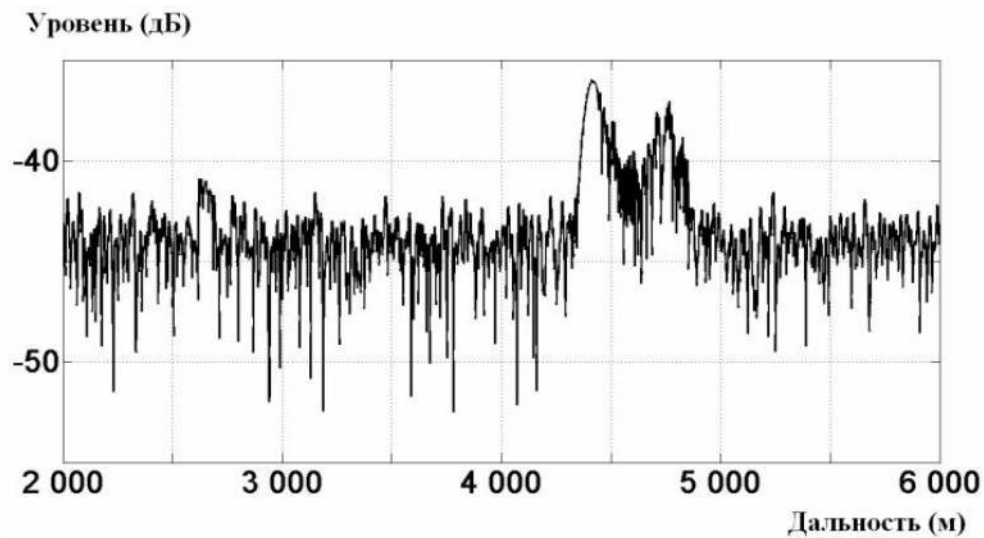
Основними ознаками визначення імітуючих імпульсних перешкод в цілях захисту від них були:

- послідовне накопичення результатів зондування з послідовним усередненням рефлектограм для підвищення відношення «сигнал / перешкода + шум»;
- часові відмінності при випромінюванні АЛИМП і РЕЗ військового призначення.

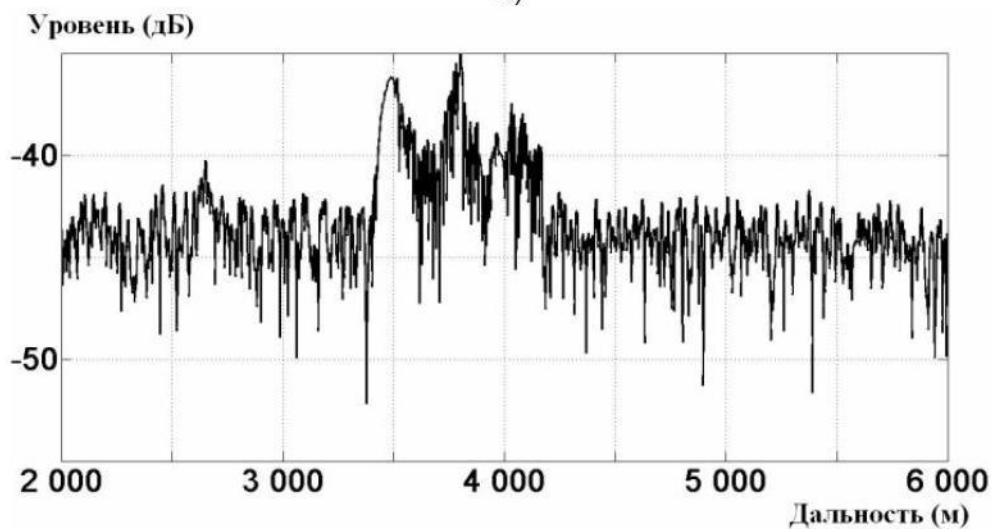
Асинхронність роботи РЕЗ та АЛИМП приводить до того, що на шкалі дальності рефлектограми прояви перешкоди при кожному зондуванні будуть

виникати на різних ділянках. Тому спостерігається хаотичне переміщення імітуючого пошкодження уздовж ЛЕП.

Цей процес ілюструє рис.3.4.2, на якому зображені реалізації рефлектограм ПЛ 220 кВ «НиГЭС – Семёнов», спотворені перешкодою (рис. 3.4.2,а,б), і рефлектограма без імітуючих перешкод (рис. 3.4.2, в). Аналіз отриманих рефлектограм показує, що відмічені часові відмінності можуть бути використані з метою захисту від перешкод.



а)



б)

Рис. 3.4.2. Ділянка рефлекторам ЛЕП 220 кВ «НиГЭС – Семёнов»: а, б - за наявності імітуючих перешкод;

На рис.3.4.2,г приведений результат усереднення рефлекторам при послідовному (пачечному) зондуванні указаної ЛЕП. Очевидно, що процедура накопичення також дозволяє компенсувати небажані впливи стороннього випромінювання.

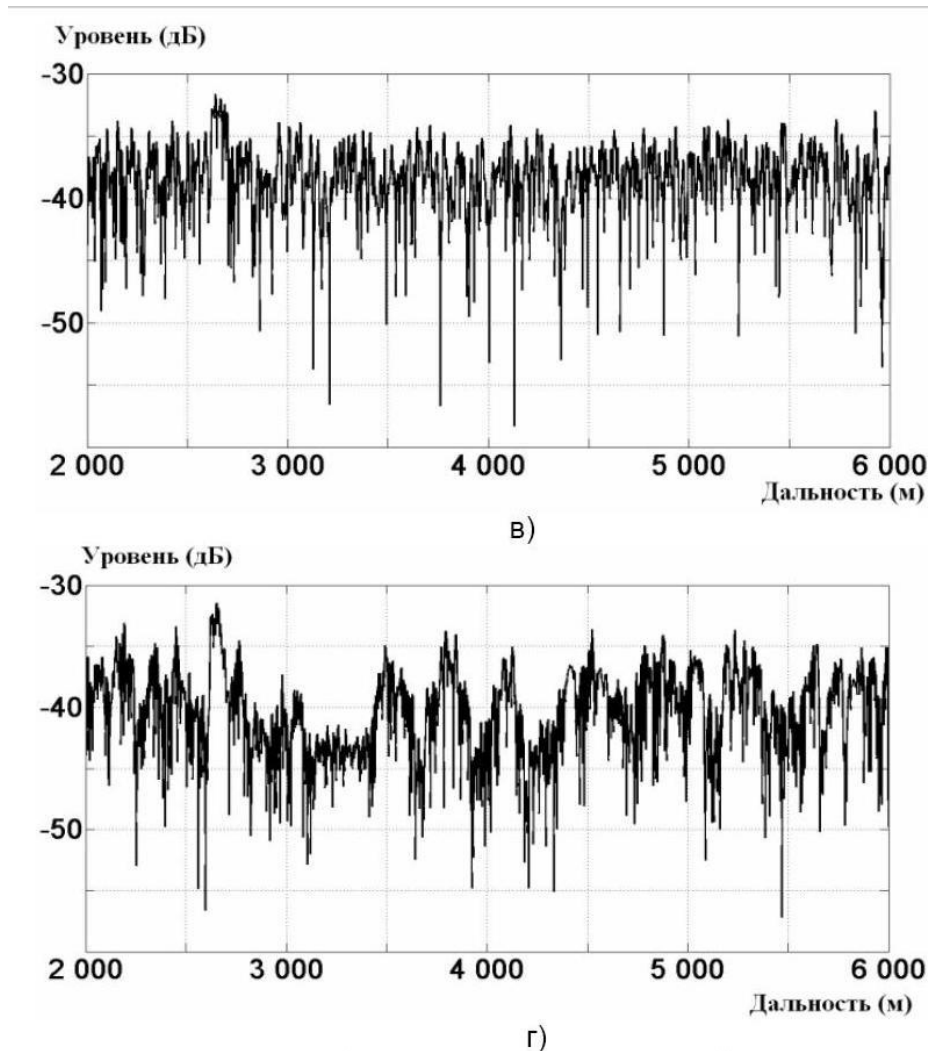


Рис.3.4.2. Ділянка рефлекторам ЛЕП 220 кВ «НиГЭС – Семёнов»: в - при відсутності імітуючих перешкод; г - ділянка усередненої рефлекторам по 20-ти реалізаціям

Нами був запропонований алгоритм компенсації впливу імітуючих перешкод для пристрою АЛИМП (рис. 3.4.3, а). Він передбачає обробку масиву рефлектограм (вхідний масив даних), кількість яких визначає вибране число зондувань (число імпульсів у пачці). Обробці підлягають рефлекторами, які піддані цифровому детектуванню. В якості фільтруючої ознаки для

усереднення рефлектограм без перешкоди вибирається тимчасове положення імітуючих відгуків. Якщо при порівнянні реалізацій рефлектограм відгуки змінюють своє положення по відношенню до місця установки АЛИМП (початок рефлектограм), то такі рефлекторами відбраковуються. Факт виявлення пошкодження ЛЕП (імітуючої перешкоди) фіксується по перевищенню порога (уставки).

Результати функціонування алгоритма захисту від імітуючих перешкод пристрою АЛИМП наведено на рис. 3.4.3, в.

Аналіз ділянки рефлекторами (рис. 3.4.3,б) показує, що реалізація рефлекторам не дає можливості виявити пошкодження на тлі імітуючих перешкод і шумів. Однак при реалізації алгоритму захисту (рис. 3.4.3, а) забезпечується процес ВМП ЛЕП з необхідними показниками якості (рис. 3.4.3,в).

Ефективність пропонованого алгоритму захисту від імітуючих перешкод була оцінена за допомогою критерію відношення «сигнал/шум» («сигнал / перешкода + шум»), яке широко застосовується як в радіотехнічній [4], так і в електротехнічній [5] практиці:

$$ВСШП = \frac{E_{\text{від.сигн.}}}{E_{\sigma}}$$

, де $E_{\text{від.сигн.}}$ - потужність відбитого сигналу;

E_{σ} - потужність суміші перешкоди і шуму.

Для розрахунків застосуємо наступну методику:

1. Розраховуємо потужність сигналу, відбитого від пошкодження, для рефлектограми після застосування алгоритму захисту від імітуючих перешкод (рис.3.4. 4, в).

1.1. Тривалість сигналу визначимо за рівнем -3 дБ щодо максимуму, прийнявши її як сукупність n відліків.

1.2. Знайдемо початковий відлік сигналу в результируючій рефлектограмі. Привласнимо цьому значенню номер j , для якого виконується умова:

$$A_j^2 = \frac{1}{2} \max \{A_i^2\},$$

де A_i - миттєві модульні значення рефлектограм ($i = 1, \dots, N$, N - загальне число відрахунків рефлекторам).

1.3. Розрахуємо потужність відбитого сигналу

$$E_{\text{від.сиг.}} = \frac{1}{n} \sum_{k=j}^{j+n} A_k^2$$

2. Оцінимо потужність суміші шуму і перешкоди:

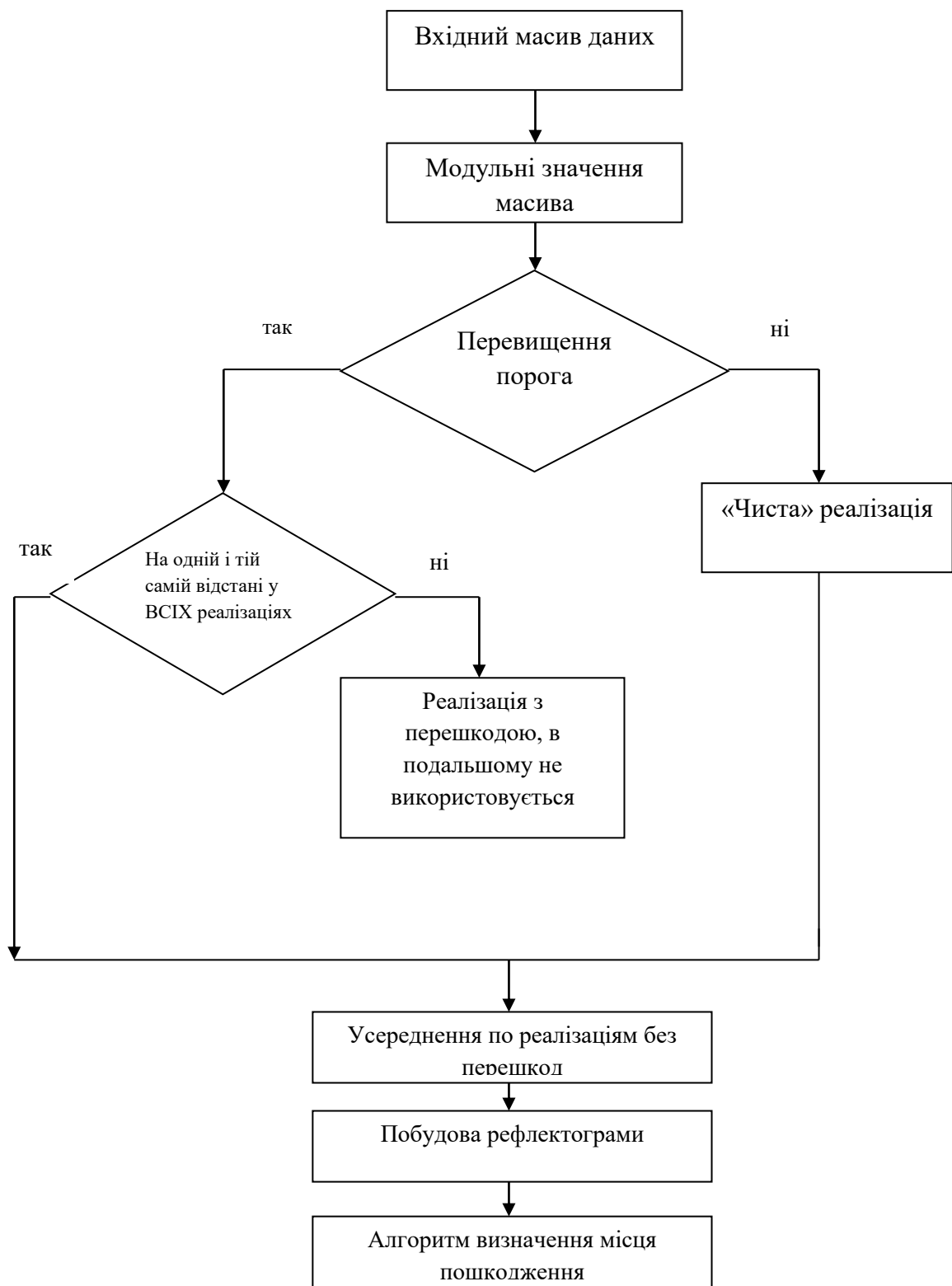
$$E_{\sigma} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i^2 - E_{\text{від.сиг.}}$$

, тобто при обчисленнях E_{σ} із сукупності відліків рефлектограм виключені значення, відповідні сигналу.

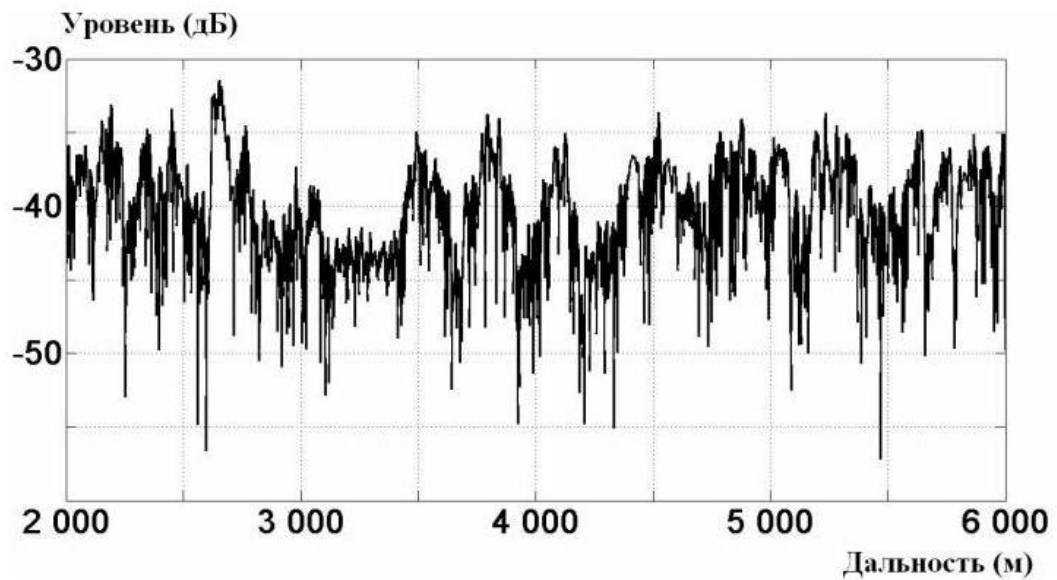
3. Отримуємо результируюче вираз для ВСШП:

$$\text{ВСШП} = \frac{N \sum_{k=j}^{j+n} A_k^2}{n \sum_{i=1}^N A_i^2 - N \sum_{k=j}^{j+n} A_k^2}$$

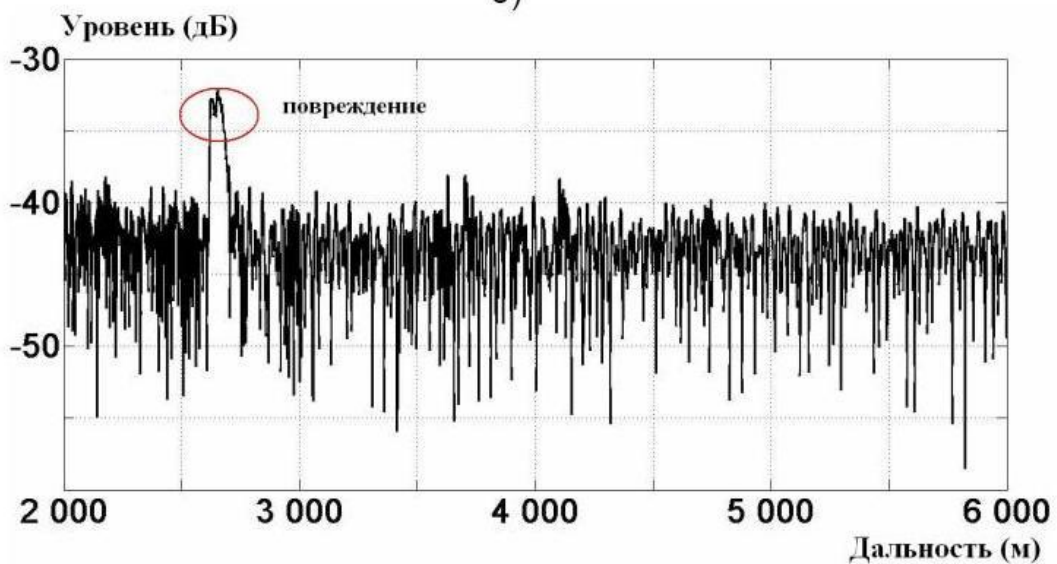
Натурні випробування пристрою АЛИМП в поєднанні з алгоритмом компенсації імітуючих перешкод, а також реалізацією обробки (накопичення і усереднення) рефлектограм ВЛ 220кВ «НіГЕС - Семенов» показали, що ефективність пропонованого алгоритму збільшується, про що свідчить збільшення ВСШП з 7,8 до 11,5 дБ, що становить приблизно 2,34 рази за потужністю і збігається з візуальними оцінками (рис. 3.4.3,в).



а)



б)



в)

Рис. 3.4.3. Алгоритм формування результуючої рефлекторами з урахуванням компенсації імітуючих перешок (а). Ділянка рефлекторами до (б) і після (в) застосування алгоритму захисту від імітуючих перешок

Слід зазначити, що запропонований алгоритм компенсації імітуючих перешок являється універсальним. Проте отримані показники ефективності захисту (ВСШП) істотно залежать від обраних зондуючих сигналів і процедур обробки в прийомних трактах рефлектометрів.

Таким чином, при роботі ВМП ЛЕП в умовах потужного впливу сторонніх РЕЗ, які генерують імітуючі перешкоди, запропонований алгоритм захисту від такого виду перешкод ефективний і може бути застосований в рефлектометрах різного типу.

4. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ВМП В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Основними економічними показниками являються початкові (капітальні) вкладення і щорічні (поточні) витрати. Крім того дуже важлива оцінка збитку, що виникає у випадку, якщо відбувається недовідпуск електроенергії споживачам.

Переносні прилади, які знайшли своє застосування в електричних розподільчих мережах 10 кВ працюють на принципі вимірювання вищих гармонічних складових струмів замикання на землю. Ефективна дія зазначених приладів забезпечується значно більшим рівнем гармонік у спектрі струмів замикання на землю, порівняно із струмами навантаження.

В електричних мережах напругою 10кВ набули поширення прилади УПП-10М. Пристрій пошуку пошкоджень типу УПП-10М призначений для застосування в повітряних і кабельних електричних мережах до 10кВ оперативно-виїзними бригадами для прискорення виявлення аварійних ліній або їх ділянок при наявності коротких замикань на землю. Пристрій УПП- 10М дозволяє виключити пробні включення на можливе коротке замикання, небезпечне для обладнання та персоналу, особливо в мережах з великими струмами коротких замикань.

Один з найпростіших варіантів фіксуючих приладів (ФИП) - пристрій, який заміряє (фіксує) струм короткого замикання. При цьому для визначення відстані до місця короткого замикання можна вирішити задачу, зворотну тій, яку розглядають при розрахунку струму короткого замикання, а саме відомим величинам струму короткого замикання і напруги визначити опір до точки короткого замикання. Знаючи цей опір, нескладно по відомим параметрам мережі знайти відстань до точки короткого замикання.

Для оцінки економічної ефективності будемо порівнювати два випадки: визначення місця пошкодження в мережі з встановленими засобами ВМП (ФИП, УПП-10М) і без.

Приведені витрати підприємства на усунення пошкодження мають вигляд:

$$П_{\text{в1}} = \Delta B_{\text{екс}} + Z_{\text{недовідп}},$$

, де $\Delta B_{\text{екс}}$ - експлуатаційні витрати на визначення місця пошкодження;

$$\Delta B_{\text{екс}} = B_{\text{тр}} + B_{\text{зн}} + B_{\text{м}}$$

, де $B_{\text{тр}}$ - транспортні витрати, пов'язані з амортизацією техніки і вартістю палива;

$B_{\text{зн}}$ - витрати на заробітну плату електротехнічному персоналу;

$B_{\text{м}}$ - вартість витрачених на ліквідацію пошкодження матеріалів;

$Z_{\text{недовідп}}$ - збиток від недовідпуску електроенергії споживачу. Ця величина включає в себе дві складові: збитки через аварійний порушення електропостачання і збиток через планові простої і обчислюється за формулою:

$$Z_{\text{недовідп}} = Z_{\text{ав}} + Z_{\text{п}}.$$

Однак у нашому випадку, для розрахунку вартості усунення разового пошкодження планові відключення в розрахунок не беремо.

Таким чином, з урахуванням встановлених засобів пошуку місця пошкодження приведені витрати прийматимуть вигляд:

$$П_{\text{в2}} = E_{\text{н}} * K_{\text{зат}} + \Delta B_{\text{екс}} + Z_{\text{недовідп}},$$

де $K_{\text{зат}} = B_{\text{пр}} + B_{\text{дос}} + B_{\text{монт}} + B_{\text{пуск}}$ - капітальні витрати на установку засобу визначення місця пошкодження;

$E_{\text{н}}$ - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень(0,12);

$B_{\text{пр}}$ - вартість пристрою;

$B_{\text{дос}}$ - вартість доставки;

$B_{\text{монт}}$ – вартість монтажних робіт;

$B_{\text{пуск}}$ - вартість пусконаладжувальних робіт

Отже, умова ефективності застосування засобів пошуку місця пошкодження буде мати вигляд:

$$P_{62} - P_{61} < 0$$

Розрахунок проведемо для оцінки доцільності встановлення приладу ФІП і закупівлі пристрою УПП-10М:

1. Капітальні затрати на встановлення пристрою

Прилад ФІП:

вартість $B_{np}=5250$ грн ;

вартість доставки (4% від B_{np})

$$B_{\text{дос}}=0,04*5250=210 \text{ грн ;}$$

вартість монтажних робіт (20% від B_{np})

$$B_{\text{монт}}=0,2*5250=1050 \text{ грн ;}$$

вартість пусконаладжувальних робіт (15% від B_{np})

$$B_{\text{пуск}}=0,15*5250=787 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{зат1}}=B_{np}+B_{\text{дос}}+B_{\text{монт}}+B_{\text{пуск}}= 5250+210+1050+787=7297 \text{ грн}$$

Пристрій УПП-10М:

вартість $B_{np}=1890$ грн ;

вартість доставки (4% від B_{np})

$$B_{\text{дос}}=0,04*1890=76 \text{ грн ;}$$

вартість монтажних робіт (20% від B_{np})

$$B_{\text{монт}} = 0,2 * 1890 = 378 \text{ грн};$$

вартість пусконаладжувальних робіт (15% від $B_{\text{пр}}$)

$$B_{\text{пуск}} = 0,15 * 1890 = 284 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{зам2}} = B_{\text{пр}} + B_{\text{дос}} + B_{\text{монт}} + B_{\text{пуск}} = 1890 + 76 + 378 + 284 = 1236 \text{ грн}$$

2. Визначення експлуатаційних витрат

для мережі без встановленого засобу визначення місця пошкодження і без використання засобів пошуку пошкодженої ділянки:

транспортні витрати приймемо середньостатистичними, отриманими в ході наукової практики:

$$B_{\text{тр1}} \approx 2800 \text{ грн.}$$

витрати на заробітну плату електротехнічному персоналу:

$$B_{\text{зн1}} = \text{ТС} * T * k = 85 * (5 + 4,2) * 4 = 2800 \text{ грн.}$$

, де ТС – тарифна ставка почасових робітників з обслуговування РЗА;

$$T = T_{\text{пошуку}} + T_{\text{усун.}}$$

, де $T_{\text{пошуку}} = 5$ – середній час пошуку пошкодження;

$T_{\text{усун.}} = 4,2$ - середній час усунення пошкодження;

k – кількість електротехнічного персоналу.

Вартість витрачених на ліквідацію пошкодження матеріалів:

$$B_{\text{м}} \approx 910 \text{ грн.}$$

для мережі з встановленим засобом пошуку місця пошкодження:

зменшення транспортних витрат пов'язано із зменшенням часу пошуку ушкодження. Прийmemo транспортні витрати на 40% менше, ніж без засобів пошуку місця пошкодження:

$$B_{mp2} \approx 2800 * 0,6 = 1680 \text{ грн.}$$

витрати на заробітну плату електротехнічному персоналу зменшаться у зв'язку зі зменшенням часу виконуючих робіт ($T_{пошуку} = 0,5$):

$$B_{зп2} = TC * T * k = 85 * (0,5 + 4,2) * 4 = 1598 \text{ грн.}$$

Вартість витрачених на ліквідацію пошкодження матеріалів:

$$B_m \approx 910 \text{ грн.}$$

3. Визначення збитку від недовідпуску електроенергії споживачу

Для досліджуваної мережі прийmemo, що сумарне найбільше навантаження нормального режиму $P_{нб} = 1280$ кВт; середнє навантаження РП $P_{ср} = 320$ кВт, середня довжина лінії $L_{лін} = 1,5$ км; кількість годин роботи за рік $T = 8760$ г. Питомий річний збиток від недовідпуску електроенергії $У_0 = 12,25$ грн/кВт.

$$З_{недовідп} = W_{недовідп} * У_0$$

$W_{недовідп}$ - кількість недовідпускання електроенергії споживачу (залежить від споживаної потужності і тривалості перерв)

для мережі без встановленого засобу ВМП:

$$З_{недовідп1} = W_{недовідп} * У_0 = ((1280 + 320) / 2) * (5 + 4,2) * 12,25 = 90160 \text{ грн.}$$

для мережі з встановленим засобом ВМП:

$$З_{недовідп2} = W_{недовідп} * У_0 = ((1280 + 320) / 2) * (0,5 + 4,2) * 12,25 = 46060 \text{ грн.}$$

4. Порівняння приведених витрат

$$П_{\delta 1} = \Delta B_{\text{екс}} + З_{\text{недовідн1}}, = (2800 + 3128 + 910) + 90160 = 96998 \text{ грн.}$$

$$П_{\delta 2} = E_n * K_{\text{зат}} + \Delta B_{\text{екс}} + З_{\text{недовідн2}} =$$

$$= 0,12(7297 + 2628) + (1680 + 1598 + 910) + 46060 = 51439 \text{ грн.}$$

- як видно із результатів розрахунку, мінімум приведених витрат без використання засобів ВМП значно більший у порівнянні з тим, що базується на впровадженні у процес визначення місця пошкодження пристроїв ВМП. Їх різниця становить:

$$П_{\delta 1} - П_{\delta 2} = 96998 - 51439 = 45559 \text{ грн.}$$

Таким чином, на основі проведеного розрахунку при заданих середньостатистичних показниках установка приладу ФІП і закупівля пристрою пошуку місця пошкодження УПП-10М доцільна. Термін окупності капітальних вкладень дорівнює:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{зат}} / \Delta B_{\text{екс}} = (7297 + 2628) / 4188 = 2,37 \text{ років.}$$

Можна зробити висновок, що впровадження у процес визначення місця пошкодження пристроїв, які забезпечують більш точний та швидкий показник місця пошкодження на ЛЕП, матимуть суттєвий техніко-економічний ефект.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці представляє собою систему забезпечення безпеки життя і здоров'я працівників у процесі трудової діяльності. Охорона праці виявляє і вивчає можливі причини виробничих нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж і розробляє систему заходів і вимог з метою усунення цих причин і створення, безпечних і сприятливих для людини умов праці. З питаннями охорони праці нерозривно пов'язане і вирішення питань охорони природи. Складність завдань, що стоять перед охороною праці вимагає використання досягнень і висновків багатьох наукових дисциплін прямо або побічно пов'язаних із завданнями створення здорових і безпечних умов праці. Оскільки головним об'єктом охорони праці є людина в процесі праці, то при розробці вимог виробничої санітарії використовуються результати досліджень ряду медичних і біологічних дисциплін.

Аналіз обставин та причин нещасних випадків на повітряних лініях електропередачі

З 26 нещасних випадків на енергоустановках, які розслідувалися в 2020 році, 23 сталися на електроустановках, що становить 88 % від загального числа. Найбільш небезпечними видами електрообладнання є повітряні лінії електропередачі, осередки розподільних пристроїв до і вище 1000 В, шинопроводи та електропроводка.

Найбільша кількість нещасних випадків сталося від впливу електричного струму при виконанні робіт в розподільчих пристроях, на повітряних лініях електропередачі, а також при випадковому дотику до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою.

Основними причинами нещасних випадків є:

- незадовільна професійна підготовка персоналу з виконання безпечних прийомів при проведенні робіт;
- низька якість проведення заходів підготовки персоналу з питань безпеки;
- невиконання заходів з підтримання енергоустановок в безпечному стані;
- виконання не в повному обсязі заходів , що забезпечують безпеку робіт в енергоустановках;
- відсутність контролю за виконанням організаційних і технічних заходів щодо забезпечення безпеки при експлуатації електроустановок;
- помилкові дії потерпілого.

У 2020 році нещасні випадки при виконанні технічного обслуговування сталися в електроустановках розподільних пристроїв, на повітряних лініях електропередачі, в трансформаторних підстанціях. Головна їх причина - невиконання організаційних і технічних заходів, що забезпечують безпеку робіт, а саме: порушувалися вимоги до оформлення робіт відповідно до діючих норм і правил, виробництва необхідних відключень та вжиття заходів від помилкового чи самовільного включення, перевірки відсутності напруги на струмоведучих частинах і установці переносних заземлень.

5.1 Технічні заходи, що забезпечують безпеку при експлуатації повітряних ліній.

Роботи на повітряних лініях особливо складні з організації безпечних умов праці з наступних причин: тут завжди робота пов'язана з підйомними роботами на велику висоту, місця роботи змінюються щодня, а іноді й декілька разів на день, електромонтажники розосереджені по робочих місцях вздовж повітряної лінії і перебувають один від одного на відстані прольоту між опорами, що дуже ускладнює контроль за безпекою їхньої праці, тут завжди необхідний постійний контроль за станом заземлюючих пристроїв, а також постійної перевірки відсутності напруги в відключених колах повітряних ліній,

залежність від погодних умов, стану під'їзних шляхів і конструкції опор. У зв'язку з цим від кожного робітника потрібні увага, суворе виконання всіх вимог техніки безпеки і безперервний контроль за своїми діями і навколишнім оточенням.

Всі електромонтажники служби ліній зобов'язані щороку проходити медичний огляд на виконання верхолазних робіт та підтверджувати присвоєну кожному групу з електробезпеки. Працівники, після медичного огляду, зобов'язані пройти курс навчання для виконання робіт на повітряних лініях та перевірку знань із подальшим присвоєнням певної групи з електробезпеки.

Роботи на повітряних лініях, з точки зору заходів безпеки робіт, розбиваються на наступні п'ять категорій:

- на відключених повітряних лініях;
- на повітряних лініях, які знаходяться під напругою;
- на відключених повітряних лініях, але якщо ті знаходяться поблизу діючих ліній електропередачі вище 1 кВ;
- на відключеному ланцюгу дволанцюгової лінії, коли другий ланцюг знаходиться під напругою;
- на відключеній фазі лінії, коли дві інші фази знаходяться під напругою.

До робіт під напругою допускаються тільки спеціально навчені і допущені комісією електромонтери-лінійники, які мають високу кваліфікацію. Персоналу організацій з електромонтажних робіт категорично забороняється проводити роботи на повітряних лініях, що перебувають під напругою.

Будь-яка робота на діючій повітряній електричній лінії проводиться при обов'язковому дотриманні наступних умов: на виробництво роботи має бути видане розпорядження (письмово чи усне) особи, яка на це уповноважена, робота на повітряних лініях проводиться не менше ніж двома особами, при цьому одна з осіб повинна мати групу з електробезпеки не нижче III, до

початку електромонтажних робіт на повітряній лінії повинні бути виконані організаційні та технічні заходи, що забезпечують безпечну роботу.

До організаційних заходів з охорони праці належать: оформлення робіт по наряді чи розпорядженню, оформлення допуску до роботи або дозволу про можливість виконання роботи, нагляд під час роботи, оформлення факту закінчення роботи. Електромонтажники-лінійники можуть приступити до роботи на ПЛ тільки за наряді-допуском, який видано організацією, у віданні якої знаходиться певна повітряна лінія.

Наряд-допуск - це документ, що містить письмове розпорядження, яке визначає склад бригади, зміст та об'єм робіт, що підлягають виконанню, час, місце і умови виробництва робіт, а також уповноважених осіб, відповідальних за безпеку робіт. Відповідальними за безпеку робіт на повітряній лінії є такі особи: відповідальний керівник робіт, організатор роботи від електромонтажної організації, оперативний персонал підприємства, у веденні якого знаходиться повітряна лінія, що видає наряд-допуск, віддає розпорядження про відключення повітряної лінії і дозвіл приступити до роботи, виробник робіт, на кого видається наряд-допуск, є керівником роботою на місці від електромонтажної організації. Відповідальним керівником може бути особа з числа ІТП, який має V групу з електробезпеки. Він цілком відповідає за безпечне проведення робіт, виконання всього обсягу та переліку робіт, достатність кваліфікації працівників, що призначаються для виробництва робіт. Виконавцем робіт може бути особа з переліку бригадирів або майстрів (виконробів), яка має групу з електробезпеки не нижче IV. Виконавець відповідає за дотримання працівниками правил ТБ та всіх приписів в наряді-допуску, правильний розподіл людей по робочих місцях, справність та надійність захисних засобів, наявних у бригаді. Оперативний персонал підприємства цілком відповідає за правильність виданого наряді-допуску, дотримання всіх технічних заходів, зазначених у наряді-допуску, за якість інструктажу працівників, що допускаються до роботи, за допуск бригади в підготовлену робочу зону.

До технічних заходів належать: відключення від напруги повітряної лінії вимикачами і лінійними роз'єднувачами, заземлення ПЛ з обох кінців, вивішування плакатів на ключах вимикачів і приводах лінійних роз'єднувачів «Не вмикати - робота на лінії», огороження небезпечної зони, вивішування плакатів «Влізати тут», «Працювати тут», перевірка відсутності напруги на лінії при допуску працівників, в присутності всіх членів бригади, виробника і відповідального керівника робіт. Перевірка відсутності напруги на ПЛ проводиться наближенням ізолюючої штанги з укріпленням на ній покажчиком напруги до проводів лінії. Категорично забороняється перевірка відсутності напруги в проводах повітряної лінії методом набросу металевого дроту

Заземлення фаз ПЛ здійснюється шляхом накладення та закріплення на проводах лінії переносних заземлень. При накладенні одинарного заземлення спочатку приєднується заземлюючий провідник до заземлювача (дерев'яної або залізобетонної опори) або заземленим частинам металеві опори і тільки після цього маємо дозвіл накладати і закріплювати затискачі переносного заземлення на проводах ПЛ. Штучні заземлювачі можуть бути використані шляхом забивання в землю металевого стержня (брухту) або укручування спеціального бура на глибину 0,5-1 м. Забороняється застосовувати для заземлення й закорочення дротів ПЛ будь-яких провідників, які не призначені спеціально для цих цілей. За відсутності будь якого видимого заземлення проводів ПЛ на місці виконання робіт, категорично забороняється влізати на опору, працювати на проводах лінії та на гірляндах ізоляторів.

Способи підйому робітників для виконання робіт на повітряних лініях

Найбільш продуктивним і найбільш безпечним способом підйому працівників для виконання робіт на висоті є підйом за допомогою спеціальної техніки, підйомних пристроїв, автовишок, автогідропідйомників і т.п. Всі роботи на опорах повітряних ліній характеризуються як верхолазні, тому при забезпеченні безпеки людей, що працюють на опорах, гірляндах ізоляторів, проводах і грозозахисних тросах необхідно строго виконувати правила техніки

безпеки. При наявності факторів, що унеможливлюють або обмежують застосування механізованих підйомних засобів (автовишки, автогідропідйомники), або при відсутності цих машин і механізмів необхідно використовувати найпростіші засоби для підйому на опору повітряної лінії.

В теперішній час використовуються легкі переносні допоміжні пристосування, що забезпечують можливість безпечного підйому працівників на опори та виробництво робіт як на самих опорах, так і на проводах і грозозахисних тросах. До таких пристосувань відносять драбини, колиски різної конструкції, а також монтерські кігті, кігті-лази і т.п. Для підйому на металеву опору робітникам дозволяється використовувати конструкцію опори, інколи на опорах висотою більше 20 м є спеціальні сходи, а на опорах висотою до 20 м сходинок виконують тільки в тому випадку, якщо нахил куточків решітки понад 30° і при відстані між точками кріплення решітки до поясів більше 0,6 м. Для безпечного підйому на залізобетонні центрифуговані опору круглого перерізу необхідно застосовувати спеціальні тросові лази та навісні драбини. Для підйому на дерев'яні та залізобетонні вібровані опори застосовують кігті-лази різних конструкцій.

Правила техніки безпеки при підйомі на опору і роботі на повітряній лінії

Перед підйомом на опору за допомогою кігтів необхідно переконатися попередньо в міцності кріплення опори в ґрунті або залізобетонному стакані. Без дозволу виконавця робіт підйом на знов встановлену опору категорично забороняється. Виконувати роботи на залізобетонних і дерев'яних опорах дозволяється, тільки стоячи на двох пазурах і прикріпленням до опори стропом (ланцюгом) запобіжного пояса. Перед підйомом на опору виробник робіт зобов'язаний перевірити справність запобіжних поясів, сходів, кігтів, ременів і переконатися, що термін їх періодичного випробування (по клейму) не закінчився і вони придатні до застосування. Сходи слід закріплювати на опорі у всіх опорних точках, передбачених конструкцією.

При підйомі на опору забороняється брати з собою арматуру, матеріали та обладнання. Будь-які вантажі, у тому числі і інструменти, пристосування та

дрібні деталі дозволяється піднімати тільки за допомогою спеціального каната через блок, що встановлений на опорі (траверсі) піднімають вантаж робітники, які стоять на землі і спостерігають за висотною роботою. Піднявшись на опору, електромонтер - лінійник може приступити до роботи лише після прийняття стійкого положення на пазурах та надійного закріплення ланцюгом (стропом) запобіжного пояса за стійку опори поверх траверси. При роботі на висоті з люльки телескопічної вишки або автогідропідйомника ланцюг запобіжного пояса обов'язково пристібають до огорожі люльки. Пояс повинен бути застебнутий на всі ремені. При переміщенні автовишки або гідропідйомника від однієї опори до іншої працівникам забороняється перебувати в колісці.

Не можна знаходитися безпосередньо під опорою, на якій проводиться робота. Особистий інструмент електромонтера при роботі на опорі, проводах або гірляндах має знаходитися в спеціальній сумці для того, щоб не допустити його падіння вниз. Забороняється зберігати інструмент в кишенях спецодягу навіть тимчасово. Забороняється вилазити на анкерну опору і перебувати на ній під час монтажу проводів з боку натягнутого дроту, а також залазити на кутові опори і працювати там з боку внутрішнього кута проводів. При демонтажі проводів забороняється знімати відразу всі дроти з опори: їх слід демонтувати по одному, послідовно один за одним.

Для попередження падіння робітника разом із опорою при знятті двох останніх проводів, опору необхідно укріпити з трьох-чотирьох сторін тимчасовими відтяжками або упорами, одночасно необхідно також зміцнити дві сусідні опори. Демонтаж проводів при заміні опор слід починати з нижнього проводу, а монтаж на знов встановлену опору навпаки - з верхнього. При перекладанні проводів робітник повинен стояти обома кігтями на новій опорі. Стояти одним кігтем на старій опорі, а іншим на новій категорично забороняється.

На повітряної лінії допускається переміщення електромонтерів-лінійщиків по проводах, які мають переріз не менше 240 мм^2 і по тросах відповідно перерізом не менше 70 мм^2 . При переміщенні по розщеплених

проводах і тросах строп запобіжного пояса повинен бути обов'язково закріплений за цей провід, а в разі користування спеціальним візком - за візок. У темний час доби переміщення по проводах суворо забороняється.

Вилазити на опору без запобіжного пояса і працювати на траверсі без його закріплення суворо забороняється. При підйомі на опору прикріплювати до запобіжного пояса кінець такелажного троса або мотузки категорично не дозволяється, для цієї мети слід користуватися капронових шнуром, який завжди повинен знаходитися в сумці у електромонтера-лінійника. Щоб підняти вантаж (кінець троса або мотузки, інструмент тощо), необхідно один кінець капронового шнура прикріпити до елементів опори, а другий кінець для прив'язування вантажу опустити вниз (краще через блок, закріплений на траверсі). Демонтовані такелажні троси і пристосування скидати з опори забороняється. Їх спуск здійснюється за допомогою мотузки і блочка, при цьому робітники, що знаходяться внизу, повинні бути попереджені про необхідність видалення в безпечну зону. У небезпечній зоні забороняється розмішувати пересувні вагончики, тимчасові споруди, майданчики складів і людей. Забороняється влізати на опору по стрілі вантажопідіймального крана для зняття такелажних пристроїв або виконання будь-яких інших робіт на висоті.

Для підйому робочого на опору повітряної лінії або контактної мережі слугують стаціонарні, закріплені на опорах сходів або спеціальні монтажні сходи, які встановлюються на опорах на період монтажних робіт. Для безпечної установки дистанційних розпірок на проводах повітряної лінії, як правило застосовуються монтажні возики. До роботи з такими візками допускаються електромонтери - лінійникам, навчені практичної їзді на візках по проводах повітряних ліній та склали іспит з правил користування візком. Посадка робочого в монтажний візок дозволяється тільки після його остаточної установки на проводі повітряної лінії. Після посадки у візок робочий зобов'язаний страхуватися за два дроти. При пересуванні візка по проводам

електромонтер зобов'язаний одягнути рукавиці. Вилазити з монтажного візка в прольоті забороняється.

5.2 Розрахунок контуру заземлення ВЛЗ-10кВ

Вихідні дані для розрахунку зовнішнього контуру заземлення ВЛЗ-10кВ:

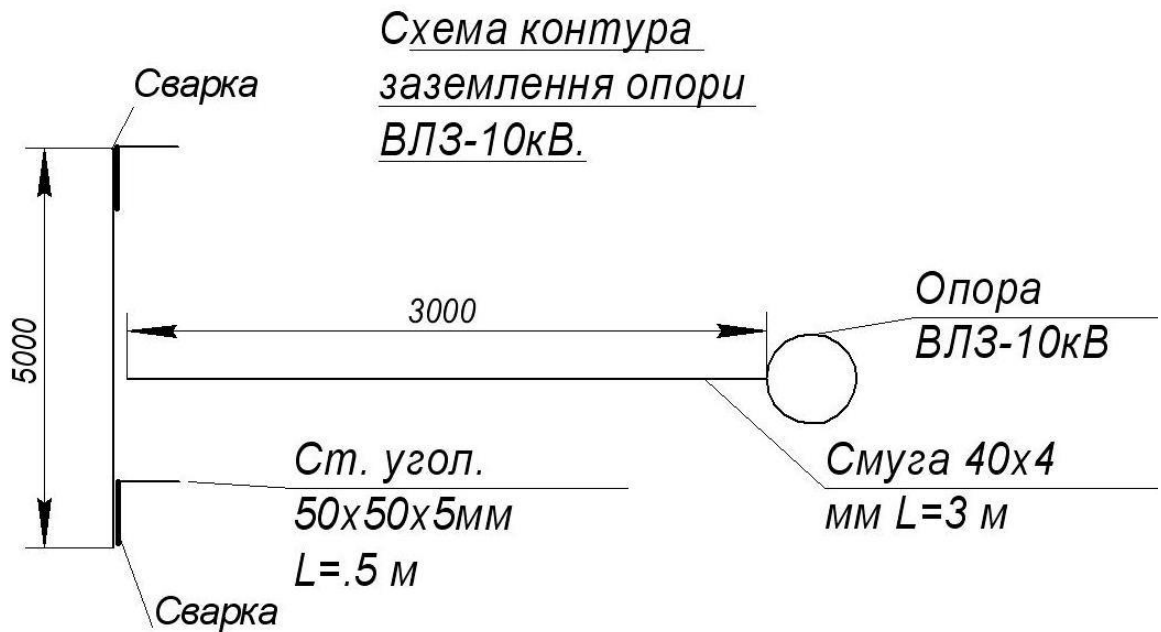
Нормований опір заземлювального пристрою $R_3=15$ Ом з урахуванням п.1.7.129 ПУЕ 7-вид, так як питомий опір ґрунту більше 1×10^4 Ом $\times$ см³.

Питомий опір ґрунту (пісок) $\rho=300$ Ом $\times$ м³.

Кліматична зона – III.

Середнє значення коефіцієнта сезонності для протяжного заземлювача $K_{\Pi}=2$ для стрижневого заземлювача $K_c=1,4$.

Заземлювальний пристрій виконується у вигляді контура із сталевий смуги перетином 40 $\times$ 4мм. прокладеної на глибині 0,5 м навколо опори і стрижнів з кутової сталі 50 $\times$ 50 $\times$ 5 мм, довжиною 5м. Загальна довжина смуги за планом 8 м для 2 електродів заземлення.



Формула розрахунку опору заземлення одиночного вертикального заземлювача:

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho}{2\pi L \left[\ln\left(\frac{2L}{d}\right) + 0,5 \ln\left(\frac{4T + L}{4T - L}\right) \right]}$$

, де L – довжина заземлювача 5(м);

d – діаметр заземлювача для уголка $0,95 \cdot \varphi = 0,95 \cdot 0,05 = 0,0475$ (м);

T – заглиблення заземлювача (відстань від поверхні землі до середини заземлювача) 3 (м);

π – математическа константа Π (3,141592);

$\ln$ – натуральний логарифм.

$$R_{\text{в}} = \frac{300}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \left[\ln\left(\frac{2 \cdot 5}{0,0475}\right) + 0,5 \ln\left(\frac{4 \cdot 3 + 5}{4 \cdot 3 - 5}\right) \right] =$$

$$= 9,55 \cdot [5,34 + 0,5 \cdot 0,88] = 55$$

Приблизна кількість стрижнів – 2 шт

Коефіцієнт використання стрижнів дорівнює $\eta_c=1$

Опір всіх стрижнів розтікання струму становитиме з урахуванням коефіцієнта сезонності K_c :

$$R_c = \frac{R_0 \cdot K_c}{n \cdot \eta_c} = \frac{55 \cdot 1,4}{2 \cdot 1} = 38,5 \text{ Ом}$$

Довжина протяжного заземлювача (смуга 40x4 мм) становить 8м; глибина закладання $t = 50\text{см}$; ширина заземлювача $b = 0,4 \text{ см}$.

Опір протяжного заземлювача дорівнює:

$$= 2,76 \lg(6400000) = 2,76 \cdot 6,8 = 18,7 \text{ Ом}$$

Дійсний опір протяжного заземлювача:

Опір всього заземлювального пристрою:

$$R_n = \frac{R_c \cdot R_n}{(R_c + R_n)} = \frac{38,5 \cdot 18,7}{(38,5 + 18,7)} = 13,87 \text{ Ом}$$

$$13,87 < 15 \text{ Ом}$$

- заземлювальний пристрій повітряної лінії 10 кВ з питомим опором ґрунту $\rho=300 \text{ Ом}\times\text{м}^3$ повинен мати опір не більше 15 Ом (табл.5.1), отже даний заземлювач задовольняє умовам вибору і може бути використаний.

Таблиця.5.1. Найбільш припустимий опір заземлюючих пристроїв повітряних ліній

Характеристика установки, заземлювальний пристрій якої перевіряється	Питомий опір ґрунту ρ , $\text{Ом}\times\text{м}^3$	Опір заземлювального пристрою, Ом
Лінії напругою понад 1000 В		
Опори залізобетонні, металеві та дерев'яні, на які підвішений трос або встановлені пристрої захисту від блискавки; опори залізобетонні та металеві ліній напругою 35 кВ та ліній 3-20 кВ у населеній місцевості, а також заземлювачі електроустаткування, встановленого на опорах ліній напругою 110 кВ і вище.	До 100	10
	Понад 100 до 500	15
	Понад 500 до 1000	20
	Понад 1000 до 5000	30
	Понад 5000	0,006 ρ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Незважаючи на значний обсяг досліджень присвячених питанню і багаторічний досвід застосування різних методів, завдання визначення місць пошкоджень ЛЕП залишається актуальною через значну шкоду, що завдає аварійне відключення ліній електропередачі.

Протягом аналізу застосування дистанційних методів ВМП в розгалужених розподільчих мережах було виявлено, що одним із обмежень застосування таких методів являється наявність зон невизначеності. У таких зонах не можна дати однозначної відповіді, де відбулося пошкодження ЛЕП (на якому відгалуженні). Для вирішення завдання однозначного визначення місця пошкодження в зонах невизначеності ЛЕП 6-35 кВ в роботі запропонований метод, заснований на відмінностях в частотних характеристиках коефіцієнтів відображення рівновіддалених ділянок ЛЕП. Однак розрахунки показали, що поширена ситуація, коли частотні характеристики самих ЛЕП і трансформаторів на кінцях відгалужень мало відрізняються і невирішувані в спектральній області відображених сигналів зондування.

Для забезпечення селективності ВМП запропонована установка на кінцях відпайок додаткових частотних міток (фільтрів). Фільтри налаштовуються на задані резонансні частоти, забезпечують високий коефіцієнт відображення. У якості сигналу зондування ЛЕП використаний складний широкосмуговий сигнал з лінійно-частотною модуляцією (ЛЧМ).

Для пристроїв активного зондування ЛЕП розроблений алгоритм узгодженої фільтрації, який підвищує точність ВМП. Узгоджену обробку складних відображених сигналів можна реалізувати в частотній області за допомогою дискретного (швидкого) перетворення Фур'є.

Пропонується метод об'єднання інформації ВМП, отриманої різними засобами вимірювання, з метою підвищення точності оцінки відстані до

ушкодження. Метод дозволяє підвищувати точність ВМП ЛЕП, використовуючи результати як паралельних, так і послідовних вимірювань.

Впровадження створення системи дистанційного моніторингу локальних параметрів ЛЕП являється суттєвим. На відміну від існуючих приладів визначення місця пошкодження, система моніторингу повинна виконувати не тільки функцію визначення місця пошкодження (ВМП), а й контролювати із заданою періодичністю відхилення розподільчих параметрів лінії, володіючи при цьому високою чутливістю.

Використання інформації системи моніторингу параметрів ЛЕП дозволить істотно розширити діагностичну базу комплексу автоматизованих систем електричних мереж. Формування та оброблення попереджувальних сигналів про загрози порушення ізоляції ЛЕП і місцях таких загроз знайде широке застосування при оперативному управлінні та експлуатації електромережного комплексу.

Для підвищення точності ВМП ЛЕП, пропонується впровадження методів пасивної локації і навігації. На основі аналізу було виявлено, що використання методів пасивної локації, оснований на міжпунктовій кореляційній обробці сигналів, а не використовуваних раніше оцінок їх часу запізнення, дозволило:

- усунути необхідність точної синхронізації приймачів хвильових процесів на кінцях ЛЕП;
- отримати алгоритми обробки в умовах випадкових спотворень форми і «затягування» приходящих фронтів хвильових процесів.

Наведені міркування і локаційні прийоми можуть бути поширені і на інші методи ВМП ЛЕП. Очевидно, що в поєднанні з методами сучасної цифрової обробки сигналів і спектрального аналізу можливе як удосконалення наявних пристроїв ВМП, так і розробка нових.

Для захисту імпульсних пристроїв визначення місць пошкодження запропонований алгоритм компенсації імітуючих перешкод. Він передбачає

обробку масиву рефлектограм (вхідний масив даних), кількість яких визначає вибране число зондувань (число імпульсів у пачці).

Аналіз функціонування алгоритма виявив, що при роботі ВМП ЛЕП в умовах потужного впливу сторонніх РЕЗ, які генерують імітуючі перешкоди, запропонований алгоритм захисту від такого виду перешкод ефективний і може бути застосований в рефлектometрах різного типу.

ПРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кузнецов А.П. Определение мест повреждения на воздушных линиях электропередачи. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 94 с.
2. Борухман В.А. Устройства для определения мест повреждения на воздушных линиях электропередачи 6-750 кВ./Борухман В.А., Кудрявцев А.А., Кузнецов А.П. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Энергия, 1980. – 104с.
3. Аржанников Е.А., Чухин А.М. Методы и приборы определения мест повреждения на линиях электропередачи. – М.:НТФ «Энергопрогресс», 1988. – 64с.
4. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях. – М.: Энергоиздат, 1982. – 312с.
5. Айзенфельд А.И., Шалыт Г.М. Определение мест короткого замыкания на линиях с ответвлениями. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1988. -160 с.
6. Баланцев Г.А., Надеин В.Ф. К вопросу о повышении надежности определения мест повреждения на воздушных линиях электропередачи. //Сборник докладов конференций молодых специалистов электроэнергетики-2000. -М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000. с 195-196.
7. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Дистанционная защита линии электропередачи. Учебное пособие. /Ред. А.М.Федосеев. -М.:1977. -20 с.
8. Габедава Э.В. Особенности определения мест повреждения в электрических сетях 6-500 кВ. Тезисы докладов всесоюзного семинара «Определение мест повреждения воздушных линий в электрических сетях 6-750 кВ», ОРГРЭС, М., 1991 г.
9. Дунаев А.И. О новой технологии определения места повреждения на В Л. Энергетик №2 2001 г.

10. Малый А.С., Шалыт Г.М., Айзенфельд А.И. Определение мест повреждения линий электропередачи по параметрам аварийного режима. М: Энергия, 1972 г.
11. Микуцкий Г.В., Скитальцев В.С. Высокочастотная связь по линиям электропередачи. М.: Энергия, 1969. - 448 с.
12. Наровлянский А.В. Программная реализация метода определения места повреждения (ОМП) на основе анализа потоков мощности. Конференция молодых специалистов энергетики 2000. Сборник докладов. Издательство НЦ ЭНАС, -М.: 2000 г
13. Определение мест повреждений в воздушных и кабельных линиях, электропередачи. -М.-Л.: Госэнергоиздат, 1959. 65 с.
14. Федосов А.Н. Разработка методики и программы определения места повреждения на ВЛ для диспетчера. Конференция молодых специалистов энергетики 2000. Сборник докладов. -М.: Издательство НЦЭНАС, 2000 г.
15. Шабад М.А., Шмурьев В.А. Новые аппаратные и программные решения при определении места повреждения. Энергетик, №4 2001г.
16. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. Релейная защита сетей: Учеб. пособие для вузов. М.: Энергия, 1984.
17. Атабеков Г.А. Теоретические основы релейной защиты высоковольтных сетей. Л.: Госэнергоиздат. - 1957.
18. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1989.
19. Брауде Л.И., Шалыт Г.М., Григоряш В.И. Экономическая эффективность внедрения средств определения мест повреждений линий электропередачи // Электрические станции. 1978. - № 3.
20. Радкевич В.Н., Ничипорович Л.В. О выборе стратегии поиска повреждения и восстановления электроснабжения в городских распределительных сетях // Энергетика. 1976. - № 9.

21. Лямец Ю.Я., Антонов В.М., Ефремов В.А. и др. Диагностика линий электропередачи // Электротехнические микропроцессорные устройства и системы: Межвуз. сб. науч. тр. Чебоксары: Изд-во Чуваш, ун-та, 1992.
22. Лямец Ю.Я., Нудельман Г.С., Павлов А.О., Ефимов Е.Б., Законьшек Я. Распознаваемость повреждений электропередачи. 4.1. Распознаваемость места повреждения // Электричество. 2001.
23. Силаев Ю.М. Способы и средства поиска повреждений в электросетях 6-35 кВ.-М.: Информэнерго, 1977.
24. Бакиновский В.Л., Осадчий А.П., Сосфенов Н.И., Спиридонов В.К. Измерения расстояний до мест повреждений на воздушных и кабельных линиях электропередачи и связи // ЦНИЭЛ. 1954. - Вып.2.
25. Типовое положение по организации эксплуатации устройств для определения мест повреждений воздушных линий электропередачи напряжением 6-20 кВ. М.: Союзтехэнерго, 1979.
26. Типовая инструкция по организации работ для определения мест повреждения воздушных линий электропередачи напряжением 110кВ и выше с помощью фиксирующих приборов. -М.: Союзтехэнерго, 1979.
27. Руководящие документы. Методические указания по определению мест повреждения воздушных линий напряжением 110кВ и выше с помощью фиксирующих приборов. М.: Союзтехэнерго, 1989.
28. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. Учеб. для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. 7-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1978.
29. Мисриханов М.Ш., Попов В.А., Якимчук Н.Н., Медов Р.В. Уточнение определения мест повреждения на ВЛ при использовании фазных координат // Электрические станции. 2001.
30. Мисриханов М.Ш., Попов В.А., Медов Р.В., Костюнин Д.Ю. Методическая погрешность при определении места повреждения на ВЛ от

неучёта пофазного различия её параметров // Электрические станции. 2002. -№ 11.

31. Козлов В.Н., Ефимов Е.Б., Павлов А. О. Определение места повреждения на линиях ФСК ЕЭС // Релейная защита и автоматика энергосистем. Сб. докладов XX конф. М. - 2010.

32. Программный комплекс «WinBres» версия 3. Руководство пользователя // Информационный материал фирмы «НПП Бреслер». Чебоксары, 2011.

33. Бычков Ю.В., Козлов В.Н., Павлов А.О. Аппаратный комплекс двухстороннего ОМП ВJ1 // Релейная защита и автоматика энергосистем. Сб. докладов XX конф. -М. 2010.

34. Микропроцессорное устройство определения места повреждения «Бреслер-0107.0МП». Руководство по эксплуатации // Информационный материал фирмы «НПП Бреслер». Чебоксары, 2008.

35. Попова Н.А. О достоверности определения расстояния до короткого замыкания в тяговой сети переменного тока // Автоматизированные системы электроснабжения железных дорог: Межвуз.сб науч. тр./ РГУПС.- Ростов н/Д, - 1995.

36. Авербух А.М. Релейная защита в задачах с решениями и примерами. JL, «Энергия», 1975. -416 с.

37. Беркович М.А., Молчанов В.В., Семенов В.А. Основы техники релейной защиты. -6-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1984.

38. Борозинец Б.В., Шалыт Г.М. Применение ЭВМ для определения мест повреждения ВЛ. -Тезисы доклада на научно-техническом совещании по определению мест повреждения воздушных линий электропередачи. Петрозаводск. 1977.

39. Ванин В.К., Павлов Г.М. Релейная защита на элементах вычислительной техники. —Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1983. -206 с.

40. Вопросы развития автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления электроэнергетическими системами. /Ответственная за выпуск Ройтман Н.Е. -Сибирский энергетический институт СО АН СССР (СЭИ), 1987 г. -176 с.

41. Дьяков А.Ф. Надежная работа персонала в энергетике. -М.: Издат-во МЭИ, 1991.-224 с.

42. Магидин Ф.А. Воздушные линии электропередачи. /Электромонтажные работы: Учебник для ПТУ: в 11 кн. -кн 8. 4.1. -М.: 1991.