

(повне найменування вищого навчального закладу)
Центр перепідготовки та післядипломної освіти
(назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

на здобуття освітнього ступеня

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Центр перепідготовки та післядипломної освіти
(повна назва факультету)
Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«__» _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)
студенту Кілика Юрія Зіновійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Визначення місць короткого замикання на лініях з відгалуженнями

Керівник роботи Сисак Іван Михайлович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «10» жовтня 2024 року № 4/7-985

2. Термін подання студентом завершеної роботи 13 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи _____

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

1. Аналітичний розділ
2. Розрахунково-дослідницький розділ
3. Проектно-конструкторський розділ
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Презентація
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В.М., старший викладач		
Нормоконтроль	Мовчан Л.Т., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ		
2	Аналітичний розділ		
3	Розрахунково-дослідницький розділ		
4	Проектно-конструкторський розділ		
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
6	Висновки		
7	Оформлення пояснювальної записки		
8	Оформлення графічної частини		

Студент

(підпис)

Кілик Ю.З.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Сисак І.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кілик Ю.З. Визначення місць короткого замикання на лініях з відгалуженнями. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. ТНТУ імені Івана Пулюя. ЦППО. Кафедра ЕІ, група ЕТмд-61. – Тернопіль.: ТНТУ, 2024.

Стор. – 80; рис. – 25; табл. – 2; креслень - ; джерел - 15; додатків - 3.

Існуючі методи та засоби визначення міста ушкодження повітряних ЛЕП потребують в встановленні додаткових пристроїв (ВКЗ) в містах розгалужень, для надання виїзним бригадам додаткової інформації про направлення проходження струму короткого замикання. Конструктивні рішення цього пристрою мають суттєвий недолік – зняття інформації про спрацювання робиться візуально, необхідно наблизитись на невелику відстань до міста встановлення ВКЗ. Знешкодження цього недоліку дозволило б скоротити час пошуку місця ушкодження та підвищило б економічний ефект від застосування ВКЗ. Один з варіантів усунення цього недоліку – передача інформації безпосередньо по проводам ЛЕП, для цього необхідна організація симплексного незалежного каналу зв'язку. Для визначення можливості передачі даних від автономного пристрою було досліджено розповсюдження струмів високої частоти по повітряним ЛЕП та проведений розрахунок для конкретної ЛЕП з відгалуженнями, причому були взяті найбільш важкі умови зв'язку. В результаті розрахунків з'ясувалось, що потужність сигналу, що передається повинна складати декілька Вт, що конструктивно реально можливо виконати. Таким чином була доказана можливість створення конструкції ВКЗ з передачею даних по проводам ЛЕП. Крім цього була запропонована та розглянута можлива структурна схема даного комплексу.

Ключові слова: місце короткого замикання, лінія з відгалуженням.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Огляд існуючих методів визначень місця коротких замикань	9
1.1.1 Характеристика пошкодження повітряних ліній.....	9
1.1.2 Методи визначень місць пошкодження повітряних ліній ...	10
1.1.3 Особливості методів визначень місця пошкодження на лініях із відгалуженнями	14
1.2 Прилади визначення пошкоджених ділянок при КЗ	16
1.2.1 Відомі конструктивні рішення.....	16
1.2.2 Економічний ефект від використання ВКЗ	20
1.2.3 Недоліки конструкцій ВКЗ	21
2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	24
2.1. Структура каналів зв'язку.....	24
2.2 Переваги високочастотного зв'язку по повітряних лініях.....	26
2.3 Засоби приєднання повітряної лінії	26
2.4 Розповсюдження хвиль у двохпровідній ЛЕП, яка віддалена від землі.....	28
2.5 Поширення хвилі в двопровідній ЛЕП біля поверхні землі	32
2.6 Поширення хвилі в багатопровідних ЛЕП біля землі	39
2.7 Поширення хвиль у симетричній трипровідній лінії.....	41
2.8 Параметри хвильового каналу у симетричній лінії	44
2.9 Довга симетрична ЛЕП	50
2.10 Приєднана симетрична лінія по схемі «фаза-земля».....	53
2.11 Вплив відгалужень від ПЛ.....	53
2.12 Вплив відгалуження....	53
3. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	54
3.1 Вихідні дані та розрахункова задача	54

3.2 Вибір запасу для затухання перекриття	55
3.3 Гранично допустиме загасання	56
3.4 Розрахунок мінімально допустимого рівня прийнятого сигналу	57
3.5 Розрахунок загасання в каналі	58
3.6 Мінімально допустимий рівень передачі передавача	63
3.7 Структурна схема і базові функціональні блоки системи вказівника короткого замикання	64
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ....	71
4.1 Захист електроустановок цеху від короткого замикання, перевантажень.....	71
4.2 Протипожежні вимоги до освітлення.....	73
4.3 Перша медична допомога людині, що отримала ураження електричним струмом	74
4.4 Підвищення стійкості системи цеху нестандартного обладнання....	76
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	78
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	79
ДОДАТКИ.....	1
Додаток А. Приєднана симетрична лінія по схемі «фаза-земля».....	2
Додаток Б. Вплив відгалужень від ПЛ.....	6
Додаток В. Вплив відгалуження, яке не використовується для організації зв'язку, під час обробки його високочастотними загороджувачами	10

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасна технологія виробництва багатьох видів продукції потребує безперервного електропостачання споживачів, і припинення подачі електроенергії навіть на короткий час може привести до порушення складних технологічних процесів, нормального функціонування транспорту, об'єктів культурно-побутового призначення [1-2].

Значну, а іноді і більшу частину часу відновлення повітряних ліній електропередачі складає процес визначення місця ушкодження.

Визначення місць ушкодження повітряних ліній електропередачі за допомогою спеціальних методів і пристроїв стало невід'ємною частиною експлуатаційного обслуговування електричних мереж 6-750 кВ [3-5]. Володіючи достатньою точністю, вони сприяють прискоренню пошуку ушкоджених елементів повітряних ліній, їх скорішому відновленню, що підвищує надійність роботи енергомережі й покращує постачання споживачів електричної енергії.

Прискорення пошуку місць ушкодження при стійких коротких замиканнях з наступним відновленням ушкоджених ліній й включенням їх в роботу в багатьох випадках забезпечує нормальне функціонування основних підприємств промисловості.

Додаткова інформація, яку отримає ремонтна бригада значно скоротить час пошуку ушкодженої ділянки.

Дослідження включає в себе теоретичну та розрахункову частину, ціллю яких є визначення необхідної потужності сигналу, що передається для стійкої передачі даних, а також складання структурної схеми пристрою.

Тому, задача визначення місць короткого замикання на лініях з відгалуженнями є актуальною [6].

Мета і завдання роботи Метою роботи є вивчення протікання струмів високої частоти по повітряних лініях з відгалуженнями для визначення можливості передачі даних від малогабаритних пристроїв сигналізації

протікання струмів КЗ по відгалуженню лінії на підстанціях, що обслуговуються.

Завдання:

1. Провести огляд існуючих методів визначення місць короткого замикання.
2. Розглянути пристрої для визначення пошкоджених ділянок ліній електропередач при коротких замиканнях
3. Розглянути структуру каналів зв'язку
4. Розглянути переваги височастотного зв'язку по повітряних лініях
5. Розглянути засоби приєднання до поводів ПЛ
6. Розглянути розповсюдження хвиль у двохпровідній ЛЕП, яка віддалена від землі
7. Розглянути поширення хвилі в двопровідній ЛЕП біля поверхні землі, поширення хвилі в багатопровідних ЛЕП біля землі, поширення хвиль у симетричній трипровідній лінії
8. Розглянути параметри хвильового каналу у симетричній лінії
9. Розглянути приєднана симетрична лінія по схемі «фаза-земля»
10. Розглянути вплив відгалуджень від повітряних ліній; вплив відгалуження, яке не використовується для організації зв'язку, при обробці його загороджувачами
11. Задати початкові дані та розглянути задачу розрахунку
12. Провести вибір запасу по перекриваємому загасанню
13. Розглянути максимально допустиме загасання підсилювальної ділянки
14. Провести розрахунок мінімально допустимого рівня отриманого сигналу; розрахунок загасання лінійного каналу.
15. Розглянути мінімально допустимий рівень передачі передавача
16. Запропонувати структурну схему та основні функціональні блоки системи ВКЗ

Об'єкт дослідження - процеси перетворення енергії в системах розподілення електроенергії повітряними лініями.

Предмет дослідження – методи визначення місць ушкодження на повітряних лініях електропередачі з відгалуженнями .

Наукова новизна отриманих результатів. Отримано подальший розвиток дослідження методів визначення місць КЗ на лініях з відгалуженнями.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновані методи визначення місць короткого замикання на лініях з відгалуженнями дозволять скоротити час перебування без живлення за рахунок зменшення часу пошуку місця ушкодження.

Апробація результатів. Результати Кілика Юрія Зіновійовича за темою кваліфікаційної роботи «Визначення місць короткого замикання на лініях з відгалуженнями» були представлені на XIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій” (11-12 грудня 2024 року), м. Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.

Структура роботи. Робота складається з вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку посилань (15 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини - 80 сторінок, 2 таблиць, 25 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Огляд існуючих методів визначень місця коротких замикань

1.1.1 Характеристика пошкодження повітряних ліній

Повітряні лінії є елементом електричної мережі, що найбільш пошкоджується. Характерними ушкодженнями повітряних ліній (ПЛ) є: перепалення, ушкодження й обриви проводів й тросів, механічні ушкодження опор, ушкодження ізоляторів та ін. За даними пошуку місць ушкодження ПЛ 110-500 кВ за допомогою фіксуючих пристроїв в енергомережах були визначені основні причини цих ушкоджень, зв'язаних з стійкими та нестійкими КЗ [8].

Більшість КЗ (44,2%) пов'язано з перекриттям та руйнуванням ізоляторів, де головною причиною є атмосферні перенапруги. Перекриття ізоляторів викликається забрудненням ізоляції викидами промислових підприємств, пилом, хімічними речовинами при обробці полів літаками господарської авіації та ін.

Значна частина КЗ ПЛ обумовлена включенням короткозамикачів на відгалужувальній підстанції (11,3%). Перекривання з проводу на опори (2,6%) пов'язані з зближенням при натягуванні проводу через зниження температури, а також при потужному боковому вітрі.

Відносно велика доля КЗ, обумовлених перекриттям з проводу на проїжджаючі під лінією високогабаритні механізми (4,6%). Такі КЗ визивають перепалення проводу дугою з послідуємим його обривом. Обрив грозозахисного тросу (2,7%) відбувається через надмірні зусилля при ожеледі, а також через заводські дефекти лінійної арматури та неякісного монтажу. В більшості випадків обірваний трос торкається лінійних проводів які знаходяться під напругою, визиваючи металеве КЗ на землю.

Падіння проводу ПЛ на землю часто відбувається через розщеплення траверси при грозі. Короткі замикання виникають також при падінні опори разом з проводами. Такі ушкодження складають біля 2,5%.

Нерідкі ще КЗ, які є наслідком накиду сторонніх металевих предметів на проводи лінії (3,5%).

На ПЛ, траса яких проходить через лісні райони, відбувається перекриття з проводів на дерева (5,7%) як через несвоєчасність розчистки траси від порослі та дерев, так і через недотримання габаритів траси при побудові ПЛ. В останньому випадку можливі часті перекриття на дерева при дії вітрових навантажень та скинненні ожеледиці.

До інших причин (22,9%) відносяться КЗ, які виникають при перегоранні відкритих плавких вставок 110 кВ через ушкодження трансформаторів відгалужувальних підстанцій, через лісні пожежі, помилкових дій персоналу підстанції і ін.

1.1.2 Методи визначень місць пошкодження повітряних ліній

Даючи загальну характеристику методів дистанційного визначення місця ушкодження ПЛ, розглянемо тільки ті з них, які дозволяють знайти не тільки стійкі КЗ та обриви, але і нестійкі ушкодження. Мова іде про методи, які засновані на вимірюваннях в період горіння силової електричної дуги, тобто до відключення ушкодженої лінії пристроями захисту. Класифікація таких методів застосованих до ПЛ з відгалуженнями показана на рис. 1.1.

Перший метод, який заснований на вимірюваннях часових інтервалів при розповсюдженні електромагнітних хвиль по ПЛ підрозділяється на локаційний та хвильовий способи ВМУ. Локаційний спосіб базується на вимірюванні інтервалу поміж посилкою в лінію зондуєчого імпульсу та поверненням його після відбиття від місця ушкодження. Хвильовий спосіб заснований на фіксації проміжку часу між моментом досягнення кінців повітряної лінії електромагнітними хвилями [8, 9, 11].

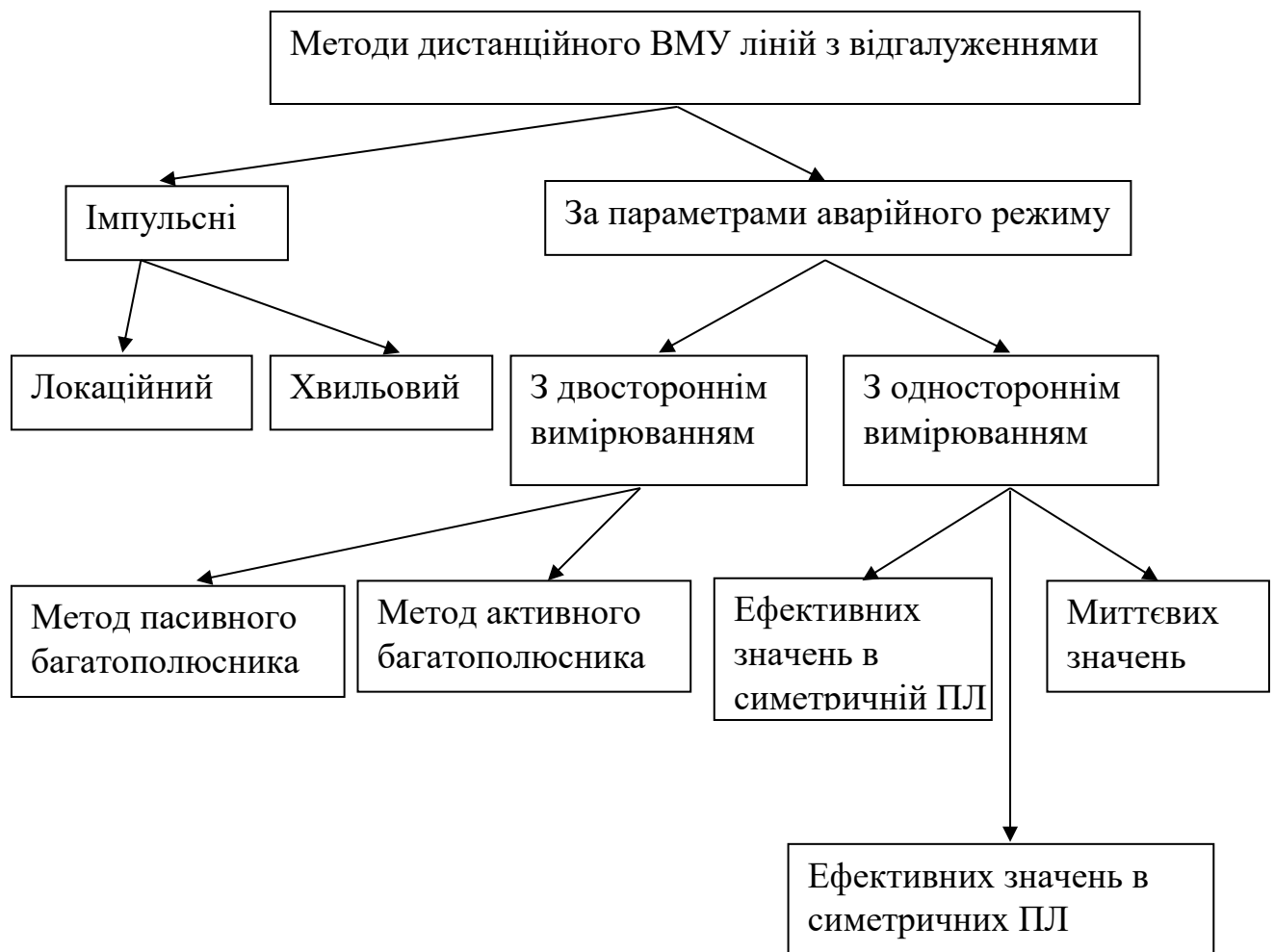


Рисунок 1.1 - Класифікація методів дистанційного ВМУ.

Розроблені автоматичні шукачі [7], а також аналогічні закордонні пристрої, засновані на вказаних вище принципах, володіють недостатньою ефективністю на ПЛ з відгалуженнями.

Відомо, що електричні імпульси при розповсюдженні вздовж лінії заломлюються та відбиваються не тільки в місцях ушкодження (КЗ та обриви), а і в місцях порушення однорідності самої лінії. До таких місць неоднорідності відносяться і відгалуження від ПЛ до понижуючих підстанцій, де з'являються відбиті та заломлені імпульси як від місця включення відгалуження, так і від його кінця. Основна складність в дистанційному ВМУ ліній з відгалуженнями імпульсними методами полягає в з'явленні допоміжного істотного затухання та багатократного відбиття електричних імпульсів.

Як відомо, режим - це стан електричної системи, який визначається множиною різних процесів і залежить від схеми з'єднання елементів, які входять в неї.

До параметрів режиму відносяться показники, кількісно визначаючі умови роботи системи (значення напруги, струму, потужності, кутів зсуву векторів ЕРС, частоти і т.д.). Показники, які визначаються фізичними властивостями елементів електричної системи, схемою їх з'єднання, відносяться до параметрів системи.

При дослідженні та розробці методів ВМУ та ПАР розглядаються тільки ті параметри, які не залежать від режиму системи, при цьому сама система вважається лінійною. Ці методи можуть бути класифіковані за наступними ознаками:

1. виду вимірювання параметрів режиму – односторонні та двосторонні. В деяких випадках, наприклад на лініях з змінним значенням опору відгалужень, проводяться вимірювання і на самих відгалуженнях;
2. виду симетричних складових методи, засновані на вимірюванні величин нульової або оберненої послідовності;
3. поєднування застосованих величин – методи з вимірюванням тільки струмів, тільки напруг, струмів та напруг різних послідовностей, фазних струмів, напруг, кутів та їх комбінацій;
4. характеру обробки даних вимірювань – аналітичний або графічний (графоаналітичний), при цьому ВМУ відбувається вручну або за допомогою ПК.

На ПЛ 110 кВ та вище найбільше розповсюдження поки набули методи, засновані на застосуванні параметрів нульової послідовності. Широке застосування таких методів пояснюється в основному трьома причинами:

1. переобладнанням КЗ на землю ПЛ 110 кВ і вище (80-90% всіх видів ушкоджень);
2. простотою виконання вимірювання струмів та напруг нульової послідовності, незначним впливом реальної несиметрії ПЛ;

3. незалежністю опору нульової послідовності мереж, примикаючих до ушкодженої лінії, від навантаження, що особливо важливо для ліній з відгалуженнями.

Слабке використання параметрів оберненої послідовності для визначення місць ушкодження ПЛ обумовлюється підвищеною похибкою ВМУ через реальну несиметрію ПЛ та деяких інших факторів.

В більшості випадків застосовуються двосторонні вимірювання параметрів аварійного режиму, оскільки при цьому виключається вплив перехідного опору в місці КЗ.

Одностороннє вимірювання струмів або напруг виконується лише в тих випадках, коли встановлення фіксуючих пристроїв на одному кінці лінії ускладнено (відсутність вимірювального трансформатора напруги при ізольованій нейтралі силового трансформатора, а при заземленій нейтралі – неможливість по тім або іншим причинам встановити трансформатор струму). Звичайно труднощі в встановленні фіксуючих пристроїв виникає на тупикових підстанціях, виконаних по спрощеним схемам.

В останні роки замість одностороннього вимірювання струму (напруги) для ВМУ ПЛ в енергосистемах починають застосовувати і фіксуючі індикатори опору (ФІО). Цей індикатор вимірює індуктивний опір до місця ушкодження при всіх видах КЗ та видає результат виміру в кілометрах. Він може застосовуватись і на ПЛ з відгалуженнями на тупикових та транзитних ПЛ в більшості напругою 110-220 кВ. При цьому перехідний опір не впливає на результат вимірювання тільки при ушкодженнях на лініях з одностороннім живленням. В той же час на сильно завантажених лініях з двостороннім живленням при великих кутах розходження векторів ЕРС по кінцях ушкодженої ПЛ при вимірюванні індуктивного опору можуть виникнути похибки.

За кордоном на ПЛ також знайшли розповсюдження методи ВМУ по параметрам аварійного режиму, але вони розроблені тільки для ліній без

відгалужень.

В енергосистемах недостатньо використовуються методи ВМУ, засновані на двосторонньому вимірюванні параметрів оберненої послідовності. Застосування цих методів на ПЛ, які мають зближення на частинах траси, іноді значно спрощує розрахунок відстані. Крім цього, вони дозволяють визначити місце ушкодження як при КЗ на землю, так і при двофазних КЗ без землі.

В зв'язку з освоєнням заводського виробництва фіксуєчих індикаторів струму та напруги оберненої послідовності створена апаратна база для широкого їх застосування для визначення місць ушкодження наряду з іншими індикаторами в оптимальному їх поєднанні.

1.1.3 Особливості методів визначень місця пошкодження на лініях із відгалуженнями

При застосуванні методів дистанційного ВМУ на лініях з відгалуженнями по значенню змінного струму і схемі лінії яка вимкнулась, визначається місце КЗ. З врахуванням розгалуженості електричної мережі одному і тому вимірюваному значенню струму КЗ може відповідати декілька місць ушкодження, що ускладнює пошук ушкоджених елементів. Для прискорення пошуку метод, що розглядається використовується в поєднанні з вказівниками ушкодженої ділянки, які встановлюються в місцях відгалужень [10].

Місця встановлення вказівників ушкодженої ділянки повинні бути оптимальними. В особливості, при вирішенні питання про доцільність встановлення вказівників на відгалуженні, потрібно враховувати, що в багатьох випадках проїзд на автомашині неможливий і огляд його стану при пошуку місця ушкодження треба проводити пішки.

В цих випадках прохід по трасі відгалуження відбувається двічі – від початку відгалуження (т.б від автомашини) до кінця і назад. Тому доцільно встановлювати вказівники на відгалуження, довжина яких дорівнює або перевищує 2-2,5 км.

Можна показати, що при інших рівних умовах економічно більш доцільно переважне оснащення вказівниками тих відгалужень, розташування яких ближче до того краю ділянки лінії, з якої при пошуку місця ушкодження на ньому починається огляд цієї ділянки.

Необхідно відмітити, що далеко не завжди потрібно починати огляд ушкодженої ділянки з головної її частини. Так, наприклад, якщо ділянка лінії оснащена вказівником, а дорога від початку ділянки до його кінця не проходить поблизу траси ділянки, то огляд цієї ділянки практично завжди потрібно починати з кінця.

Якщо в мережі знаходяться важкодоступні місця, огляд яких пов'язаний з великими затратами часу, доцільно встановити вказівник на початку цієї ділянки (а іноді і в кінці його), навіть якщо довжина його не дуже велика і складає 1-2 км.

Рекомендується в тих випадках, коли вказівники на головних ділянках лінії виявляються нечутливими до КЗ в кінці лінії, розглянути питання про змінення місця встановлення цих вказівників.

Але іноді може виявитись доцільним встановити вказівник саме на головних ділянках, наприклад, при розгалуженні лінії на дві довгі вітки недалеко від шин живлячої підстанції. В таких випадках все ж доцільно встановлювати вказівники в потрібних точках, якщо зона нечутливості відносно мала.

Процес пошуку починається з надходження сигналу про ушкодження в мережі. Такий сигнал надходить від релейного захисту і фіксуючих пристроїв. Далі починається етап локалізації ушкодженої ділянки мережі, яка робиться автоматично від пристроїв РЗА. При цьому оперативний персонал об'єкта одночасно з інформацією про аварійне вимкнення ПЛ отримує данні вимірювання фіксуючих пристроїв, на основі яких визначається припустиме місце ушкодження, а для виявлення ушкодженого відгалуження застосовуються вказівники ушкодженої ділянки, які відносяться до пристроїв неавтоматичної локалізації.

1.2 Прилади визначення пошкоджених ділянок при КЗ

У останні роки розроблені різні типи пристроїв для визначення ділянок повітряної мережі з пошкодженою ізоляцією по параметрам аварійного режиму [11].

По принципу дії та призначенню ці пристрої можуть бути розділені на:

1. вказівники ділянки повітряної мережі з ушкодженою ізоляцією, контролюючі параметри аварійного режиму в заданій точці ділянки мережі - збільшення струму, зниження напруги, напрям потужності до місця ушкодження та ін.;
2. вказівники опори з ушкодженою ізоляцією, контролюючі протікання струму ушкодження по елементам опори.

1.2.1 Відомі конструктивні рішення

Вказівники ушкодженої ділянки призначенні в першу чергу для розподільчих мереж 6-20 кВ, але можуть бути застосовані в мережах напругою 35 кВ та вище.

Ці вказівники містять датчики струму, вимірювальний елемент, індикатор спрацювання та блок повернення, який забезпечує ручне, або автоматичне повернення пристрою після встановлення нормального режиму роботи лінії.

По способу відбору інформації про виникнення КЗ струмові вказівники можуть бути розділені на дві основні групи.

До першої групи відносяться вказівники, які використовують для відбору інформації трансформатори струму і встановлюються в фазах лінії. В зв'язку з тим, що ці вказівники знаходяться під робочою напругою лінії, їх індикатор спрацювання представляє собою електромеханічний сигнальний пристрій для візуального нагляду. До цієї групи вказівників відносяться вказівники типу АУПН.

Основними елементами вказівників типу АУПН (рис. 1.2) є два трансформатори струму Т1-швидконасичуючийся і Т2-ненасичуючийся в

робочому діапазоні струмів, випрямні мости B1 та B2, підсилювач П, вимірювальний елемент Р та індикатор спрацювання І.

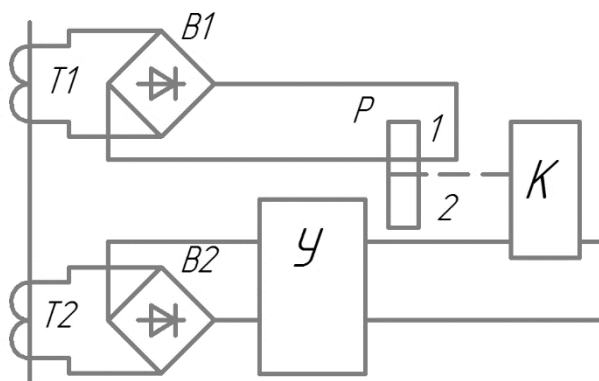


Рисунок 1.2 - Функціональна схема вказівника типу АУПН

В якості вимірювального елементу в пристрої використовується поляризований електромагніт оригінальної конструкції. Електромагніт містить магнітопровід, якор та дві обмотки. Індикатором спрацювання працює циліндрична шторка, розташована навкруги магніту та механічно з'єднана з його якорем. При спрацюванні вимірювального елементу шторка обертається на осі і відкриває контрастні полоси в вікнах корпусу пристрою.

При струмі ушкодження, рівному струму спрацювання вказівника, е.р.с. обмотки 2 електромагніта, яка отримує живлення від трансформатора T2, стає більшою е.р.с. обмотки 1, яка живиться від трансформатора T1. При цьому електромагніт спрацьовує і визиває спрацювання індикатора. Після відключення ушкодження, індикатор залишається в спрацьованому положенні. Повернення вказівника відбувається автоматично струмом навантаження.

В другу групу входять вказівники, які встановлюються на ізоляційній відстані від проводів лінії і отримують інформацію про виникнення КЗ за допомогою магнітного датчика. В точці контролю встановлюється один вказівник, який реагує на всі види міжфазних замикань. Відсутність безпосереднього зв'язку з проводами лінії дає можливість виконати контактний

вивід і при необхідності забезпечити дистанційну передачу інформацію про спрацювання.

До цієї групи відносяться вказівники серії УПУ. Широке розповсюдження в енергосистемах отримали вказівники типу УПУ-1.

Вказівники серії УПУ мають модифікації УПУ-1, УПУ-2, УПУ-3. Ці модифікації мають спеціальний магнітний датчик струму, який дозволяє виконати пристрій практично однаково чутливим до всіх видів міжфазних КЗ.

В вказівниках УПУ-1 та УПУ-2 застосований елемент відбору напруги, який забезпечує автоматичне повернення пристрою в попереднє положення при зникненні струму ушкодження та відновленні напруги на лінії. В вказівнику УПУ-3 автоматичне повернення не передбачене. Всі три модифікації в якості реагуючого елемента використовують двопозиційне поляризоване реле, яке спрацьовує при збільшенні струму в лінії до попередньо встановленого значення.

Індикація спрацювання вказівників УПУ-1 та УПУ-3 робиться за допомогою переносного індикатора. Вказівник УПУ-2 при спрацюванні реле тривалий час видає переривний сигнал звукової частоти. Переносний індикатор для вказівника УПУ-3 служить також для повернення пристрою в попередній стан натисканням кнопки вбудованої в вказівник.

Для прикладу розглянемо індикатор УПУ-1. Він складається (рис. 1.3) з стаціонарного блоку А з винесеною контактною вилкою Ш2 та переносного блоку контролю В з контактною розеткою Ш1.

Магнітний датчик М стаціонарного блоку має Т-подібний магнітопровід з двома робочими 1 і 3 та двома випробувальними 2 та 4 обмотками. Кожна робоча обмотка ввімкнена на свій випрямляч. Резистори R1 та R2 служать для регулювання чутливості вказівника на заводі, а R3 та R4 – для плавноступеневого регулювання уставки по струму спрацювання перед встановленням вказівника в експлуатацію; обмотка 2 реле Р служить для повернення пристрою в попередній стан.

інформаційних елементів, в якості яких використовується циферблат з нанесеними на ньому цифрами та вказівною стрілкою.

Недоліком даного фіксатора є те, що необхідно вести журнал спрацювань та, крім цього, необхідно встановлювати фіксатори у всі три фази мережі.

1.2.2 Економічний ефект від використання ВКЗ

Розглянемо економічний ефект від застосування ВКЗ, користуючись спрощеним математичним аналізом (рис. 1.4).

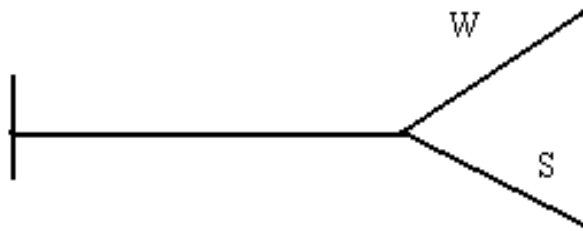


Рисунок 1.4 - Лінія з відгалуженнями

Вираз в загальному вигляді для середньорічних затрат часу t через відсутність інформації про напрям пошуку без ВКЗ при коротких замиканнях на гілках W та S має вигляд:

$$t = n_s * t_w + n_w * t_s \quad (1.1)$$

де $n_s(n_w)$ - середньорічне число аварійних вимкнень через КЗ на вітках $S(W)$;

$t_s(t_w)$ - втрати часу на безуспішний пошук на вітках при КЗ на вітках $W(S)$;

При наявності ВКЗ:

$$t_w = t_s = t_c$$

де t_c - час огляду ВКЗ;

Тоді середньорічний виграш часу Δt від використання ВКЗ:

$$\Delta t = (n_s * t_w + n_w * t_s) - t_s * (n_s + n_w) \quad (1.2)$$

Якщо взяти конкретну ділянку, то час повного огляду вітки W з поверненням до її початку буде:

$$t_w = l_w (1/V_0 + 1/V') = l_w / V \text{ та } n_w = gl_w \quad (1.3)$$

де l_w - довжина гілки W , км;

V_0, V , - середні швидкості пересуви по трасі ЛЕП з оглядом V та без нього V' , км / год

$V = (V_0 V') / (V_0 + V')$ - приведена швидкість безуспішного огляду вітки;

γ - питома ушкодженість лінії (число ушкоджень на км лінії).

Аналогічний вираз маємо і для гілки S . Тоді підставляючи вираз (1.3) в (1.2), отримаємо простий вираз для розрахунку економії часу t від застосування ВКЗ:

$$Dt = (gl_w l_s) / V - gt_c (l_w + l_s) \quad (1.4)$$

Перехід від економії часу до виразу ефекту в грошовому виразі не повинен представляти труднощів.

Таким чином, застосування ВКЗ не тільки економічно доцільно, але і має значний економічний ефект.

1.2.3 Недоліки конструкцій ВКЗ

Існуючі конструкції ВКЗ володіють рядом істотних недоліків, але їх загальним недоліком є необхідність наблизитись на невелику відстань до місця встановлення ВКЗ. Справа в тому, що ПЛ не може вся знаходитись поблизу асфальтованих трас, вона лише підходить деякими ділянками до швидкісних трас. Добиратись до інших ділянок треба по важкопрохідним дорогам, або навіть пішки, тому після визначення декількох ділянок можливого ушкодження ПЛ методами дистанційного ВМУ, доводиться послідовно під'їжджати до міст встановлення ВКЗ для визначення напрямку протікання струму КЗ. Для цього доводиться часто з'їжджати на важкопрохідні дороги або пересуватись пішки.

Після визначення ушкодженої ділянки ремонтна бригада добирається до орієнтованого місця ушкодження. Таким чином ремонтна бригада рухається по двом сторонам трикутника, причому кут між сторонами близький до 90° , тоді як попередньо маючи інформацію про спрацювання ВКЗ можна було рухатись по третій стороні (гіпотенузі), довжина якої завжди буде менше суми двох інших (рис. 1.5).

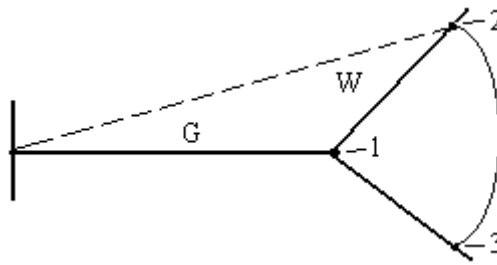


Рисунок 1.5 - Лінія з відгалуженнями.

1 - місце встановлення ВКЗ;

2 - дійсне місце ушкодження ПЛ;

3 - можливе місце ушкодження ПЛ.

В чисельному виразі ця різниця дорівнює:

$$\Delta l = l_G + l_W - (l_G^2 + l_W^2 - 2l_G l_W \cos \alpha)^{1/2} \quad (1.5)$$

Так як звичайно кут дорівнює близько 90° , то

$$\Delta l \gg l_G + l_W - (l_G^2 + l_W^2)^{1/2} \quad (1.6)$$

Розглянутий випадок є ідеальним, так як ремонтна бригада не може рухатись вздовж лінії. При накладанні мережі доріг різниця Δl може відхилятися в ту або іншу сторону, але в переважній кількості випадків вона буде більше нуля, тому що точно знаючи ділянку ушкодження ПЛ, бригада буде рухатись по найкоротшому маршруту до місця ушкодження, не під'їжджаючи до місць відгалужень, що особливо важливо при наявності важкопрохідних трас. Різниця Δl буде дорівнювати додатковим переміщенням

бригади для зняття показань ВКЗ. Знаючи швидкості пересування бригади по різних ділянках траси, легко перейти до економії часу Δt , і до виразу ефекту в грошовому виразі.

Таким чином доцільно телемеханізувати ВКЗ та передавати інформацію зразу на підстанцію, для передачі ремонтній бригаді допоміжної інформації про місце ушкодження.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1. Структура каналів зв'язку.

Різні види каналів зв'язку є можливими, але найбільш розповсюдженим та універсальним є канал електричного зв'язку. Каналом електричного зв'язку називається канал для передачі електричних сигналів.

Для того, щоб повідомлення могло бути передано по такому каналу зв'язку, воно повинно бути перетворене в електричні сигнали (струм або напругу), які є електричним аналогом повідомлення і називаються первинними сигналами.

Перетворення повідомлення в первинний сигнал робиться в первинних перетворювачах.

Невід'ємною частиною каналу зв'язку є лінія зв'язку. Лінія зв'язку може представляти собою провід або частину простору, по якому розповсюджується електромагнітна хвиля.

Передача сигналів по каналу зв'язку може проводитись в одному напрямі (симплексний канал), або в двох напрямках (дуплексний канал).

В найпростішому випадку первинні перетворювачі на передаючому та прийомному кінцях з'єднані між собою парою проводів двопровідною лінією зв'язку, яка в цьому випадку називається фізичним колом (рис. 2.1, а).

По одній лінії можна організувати декілька незалежних каналів зв'язку шляхом розділення сигналів по часу або по частоті. При часовому розділенні сигнали різних каналів передаються в різні проміжки часу в одній смузі частот. При частотному розділенні сигнали передаються одночасно, але в різних смугах частот. Для цього тональні спектри первинних сигналів переносяться в різні ділянки спектра високих частот, а сигнали високих частот передаються по лінії зв'язку. Перетворення на передаючому кінці первинних низькочастотних сигналів у високочастотні та обернене перетворення на прийомному кінці здійснюється в апаратурі високочастотного ущільнення (АУ).

Канал зв'язку, який використовує апаратуру ВЧ ущільнення, називається високочастотним. В нього входить канал від входу АУ на передаючому кінці до виходу АУ на прийомному кінці. Структурна схема каналу з ВЧ ущільненням показана на рис.2.1, б.

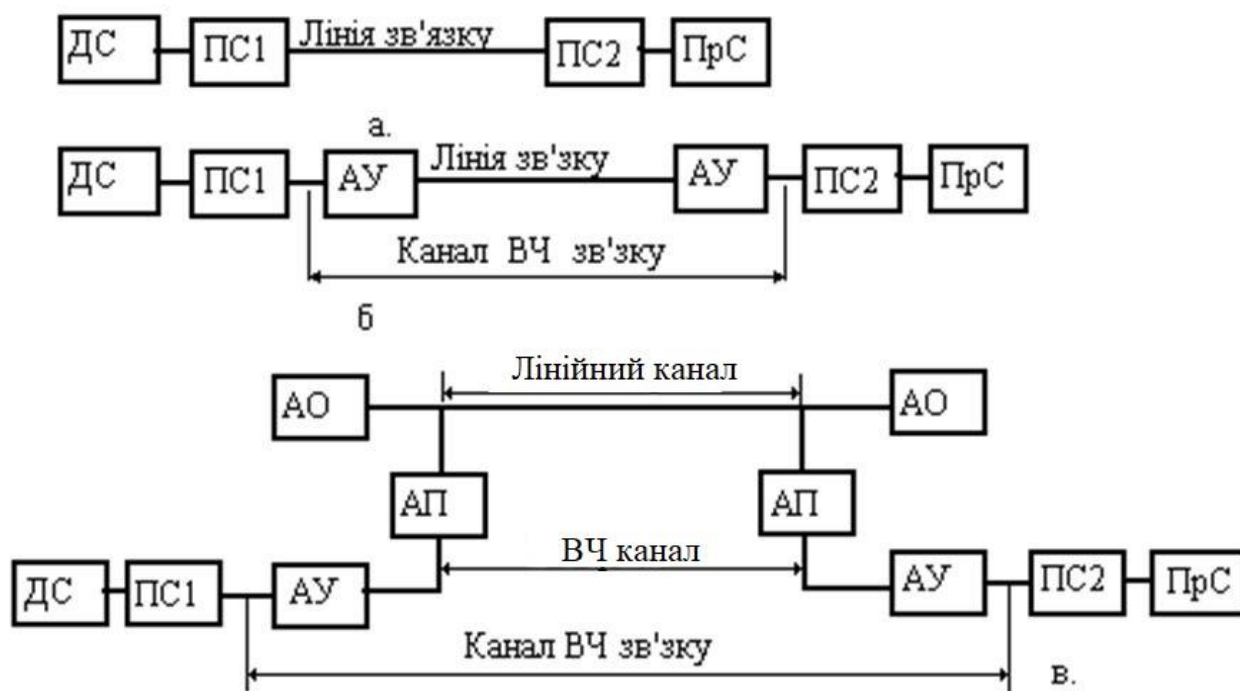


Рисунок 2.1 - Структурні схеми каналів зв'язку.

Апаратура ущільнення може бути одноканальною та багатоканальною. Одноканальна апаратура використовується для створення одного каналу зв'язку. В багатоканальній апаратурі частотне розділення каналів здійснюється в комплектах АУ.

Каналом ВЧ зв'язку по ПЛ називається такий канал, в якому в якості лінії зв'язку використовується одна або декілька ліній електропередачі.

Структурна схема каналу ВЧ зв'язку показана на рис. 2-1, в. Ця схема відрізняється від схеми на рис. 2-1, б наявністю апаратури приєднання (АП) та апаратури обробки (АО).

Ділянка ВЧ каналу між точками приєднання апаратури приєднання до проводів ПЛ називається лінійним каналом.

2.2 Переваги високочастотного зв'язку по повітряних лініях

Надійність лінії електропередачі значно вище надійності ПЛ і КЛ зв'язку через високу міцність лінійних проводів та підтримуючих конструкцій (опор). Лінії електропередачі ушкоджуються тільки при дуже сильних природних впливах, таких, як ураган, сильна гроза, ожеледиці, в той час як лінії зв'язку ушкоджуються при сильному вітрі, порівняно невеликих ожеледних утвореннях, а кабелі ушкоджуються землерийними механізмами, при оповзнях та ін.

При цьому відпадає необхідність в будові лінії провідного зв'язку, а також, і це більш важливо, в організації їх експлуатації. Експлуатація ПЛ, яка потребує спеціальної лінійної служби з великою кількістю персоналу, ведеться незалежно від створення по лінії каналів зв'язку. По цим причинам затрати на побудову значно менше аналогічних затрат на канали по спеціальним повітряним або кабельним лініям зв'язку та по радіорелейним лініям.

Канали високочастотного зв'язку по повітряним лініям здійснюються практично на всіх лініях з напругою 35 кВ та вище, а в сільських районах і на лініях більш низької напруги.

Зв'язок по проводах ПЛ є одним з різновидів дальнього зв'язку по провідним лініям. Але специфічні особливості ліній електропередачі обумовили ряд суттєвих відмінностей техніки зв'язку по проводах цих ліній від техніки дальнього зв'язку.

Проводу ПЛ нормально знаходиться під високою напругою промислової частоти. Через це по ПЛ можливий тільки зв'язок з використанням таких частот, які порівняно простими засобами можуть бути відділені від промислової частоти.

2.3 Засоби приєднання повітряної лінії.

В залежності від того, до яких до яких проводів ПЛ під'єднується апаратура приєднання, які проводи зв'язані з апаратурою ущільнення, створюється той або

інший канал ВЧ зв'язку. Найбільше розповсюдження мають канали по фазним проводам. Крім того, можуть бути використані канали по ізольованим тросам та по ізольованим проводам розщеплених фаз.

При приєднанні до одного проводу та землі утворюється канал зв'язку "фаза-земля". При приєднанні між двома проводами створюється канал "фаза-фаза". На паралельних або двоколових лініях іноді створюються канали по системі "фаза-фаза різних ліній", коли ВЧ апаратура приєднується до проводів різних ліній.

Практично виключно застосовується спосіб приєднання "фаза-земля".

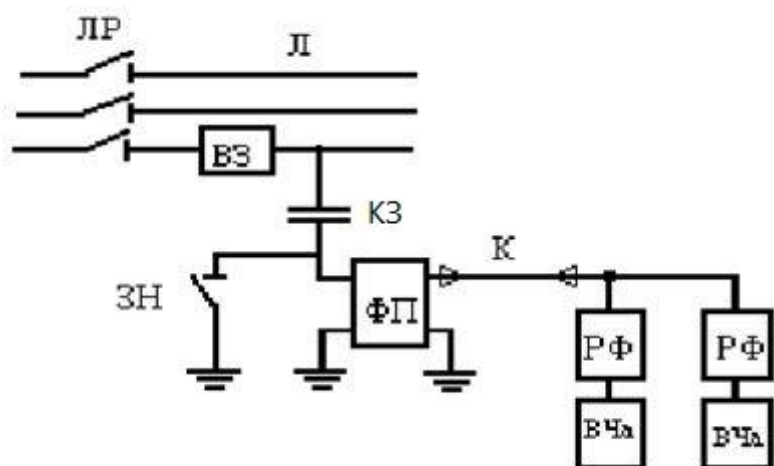


Рисунок 2.2 - Схема приєднання ВЧ апаратури

Схема містить наступні елементи:

- Роздільний фільтр (РФ) який застосовується для послаблення взаємного впливу між ВЧ апаратурою, яка працює на один кабель.
- Фільтр приєднання (ФП), який служить для компенсації реактивного опору конденсатора зв'язку в заданій смузі частот та для узгодження вхідного опору лінійного каналу з хвильовим опором кабелю.

- Конденсатор зв'язку (КЗ), який служить для відділення слабострумівих елементів каналу ВЧ зв'язку від високонапругового лінійного каналу.

- Високочастотний загороджувач (ВЗ), який служить для відділення шин підстанції від лінійного каналу зв'язку. Він складається з реактора та елемента настройки. Реактор розрахований на протікання робочих та аварійних струмів промислової частоти. Елемент настройки здійснює настройку реактора на декілька фіксованих частот або на полосу високих частот одного або декількох каналів зв'язку.

2.4 Розповсюдження хвиль у двохпровідній ЛЕП, яка віддалена від землі

Процес передачі сигналу по ПЛ істотно складніше процесу передачі по двохпровідній лінії зв'язку. Умови розповсюдження сигналів по багатопровідних лініях розглянуті в порядку наростання їхньої складності-поширення сигналів у двохпровідній лінії, віддаленої від поверхні землі, у двохпровідній лінії поблизу поверхні землі й у багатопровідній лінії поблизу поверхні землі.

При підключенні джерела перемінної напруги до двохпровідної лінії в цій лінії виникає хвиля напруги і пов'язана з нею хвиля струму. Ці хвилі поширюються від початку лінії до кінця з однаковою швидкістю v . Для повітряних ліній ця швидкість мало відрізняється від швидкості світла ($v=300000$ км/с).

На кінці лінії хвиля частково поглинається в опорі навантаження, а частково відбивається. Підійшовши до початку лінії, хвиля знову відбивається і з'являється ще одна хвиля.

Усі хвилі, що рухаються від початку лінії до кінця, називаються падаючими хвилями, а хвилі, що рухаються в оберненому напрямку - відбитими.

Напруга в будь-якій точці лінії, у тому числі і наприкінці її на опорі навантаження, дорівнює сумі напруг усіх падаючих і усіх відбитих хвиль:

$$U(x) = U(x)_{nad} + U(x)_{vid} , \quad (2.1)$$

де $U(x)_{nad}$ -напруга падаючої хвилі в точці x ;

$U(x)_{vid}$ -те ж відбитої хвилі

$U(x)$ -повна напруга в точці x .

Струми падаючих і відбитої хвиль спрямовані назустріч одна одній. Тому при виборі позитивних напрямків на обох кінцях лінії струми обох хвиль віднімаються і повний струм дорівнює різниці струмів падаючих і відбитих хвиль:

$$I(x) = I(x)_{nad} - I(x)_{vid} \quad (2.2)$$

Відношення напруги однієї з хвиль (падаючої або відбитої) до струму тієї ж хвилі є параметром лінії і не залежить від її довжини й умов навантаження на кінці. Це відношення називається хвильовим опором:

$$Z_{\text{в}} = U_{nad} / I_{nad} = U_{vid} / I_{vid} \quad (2.3)$$

Відношення напруги на початку лінії $U(n)$ до струму на вході лінії $I(n)$ називається вхідним опором лінії. Значення цього опору в загальному випадку не дорівнює хвильовому опорі лінії через те, що вхідний опір визначається не відношенням падаючих хвиль напруги і струму, а відношенням суми падаючих і відбитих хвиль напруги до різниці падаючих і відбитих хвиль струму. Для нескінченно довгої лінії, у якій не може бути відбитих хвиль, вхідний опір лінії дорівнює її хвильовому опорі.

Якщо лінію кінцевої довжини навантажити на опір, рівний її хвильовому опорі $Z_{\text{в}}$, то умови її роботи будуть такими ж, як при навантаженні на аналогічну лінію безкінечної довжини. При рівності опору навантаження хвильовому опорі лінії, навантаження називається узгодженим. При узгодженому навантаженні в лінії відсутні відбиті хвилі і вхідний опір лінії дорівнює її хвильовому опорі.

При поширенні хвилі уздовж лінії її енергія убуває, тому що частина цієї енергії витрачається в активному опорі проводів. Внаслідок цього напруга і струм падаючої (або відбитої) хвилі убувають у напрямі поширення.

Убування напруги і струму хвилі при поширенні її уздовж лінії характеризується коефіцієнтом загасання α . Якщо модуль напруги падаючої хвилі на початку лінії позначити через $U(n)$, то модуль напруги цієї хвилі на відстані x від початку лінії визначається по формулі:

$$U(x)_{nad} = U(n)_{nad} e^{-0.115\alpha x} \quad (2.4)$$

де α виражено в децибелах на одиницю довжини.

Хвиля поширюється по лінії з кінцевою швидкістю v . Тому в однакові моменти часу фази напруги або струму хвилі в різноманітних точках лінії будуть різні - відбувається запізнювання фази коливань при поширенні хвилі уздовж лінії. Запізнювання фази характеризується коефіцієнтом фази λ , що дорівнює різниці фаз напруг падаючої (або відбитої) хвилі в двох точках лінії, що відстають одна від іншої на одиницю довжини. Звичайно λ вимірюється в радіанах на кілометр

Коефіцієнт фази пов'язаний із швидкістю поширення співвідношенням:

$$\lambda = \lambda/v \quad (2.5)$$

де $w = 2\pi f$

f - частота переданих коливань.

З огляду на зміну амплітуди і фази, одержуємо, що для падаючої хвилі співвідношення між вектором напруги $U(n)$ початку лінії і вектором напруги $U(x)$ у точці, що відстають від початку на відстань x , визначається виразом:

$$U(x)_{nad} = U(n)_{nad} e^{-\gamma x} \quad (2.6)$$

де γ -коефіцієнт поширення хвиль у лінії:

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (2.7)$$

Варто мати на увазі, що у формулах (2.6) і (2.7) дійсна частина коефіцієнта поширення - коефіцієнт загасання α повинний бути виражений на одиницю довжини. Якщо цей коефіцієнт заданий у децибелах на одиницю довжини, то при підстановці його в (2.7) він повинний бути помножений на коефіцієнт 0,115.

Аналогічно (2-6) записується співвідношення для струмів падаючої хвилі:

$$I(x)_{nad} = I(n)_{nad} e^{-gx} \quad (2.8)$$

Вирази (2.4)-(2.8) справедливі не тільки для падаючих, але і для відбитої хвилі, якщо відстань x відраховується по ходу прямування хвилі.

Таким чином, умови поширення хвиль у двопровідній лінії визначаються хвильовим опором і коефіцієнтом поширення, що називаються первинними параметрами лінії. Первинними параметрами лінії є опір проводів r_0 , індуктивність петлі з двох проводів L_0 , ємність між проводами C_0 і провідність відпливу між проводами g_0 . Вторинні параметри через первинні визначаються із співвідношень:

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= \sqrt{(r_0 + j\omega L_0)(g_0 + j\omega C_0)}; \\ Z_B &= \sqrt{(r_0 + j\omega L_0) / (g_0 + j\omega C_0)} \end{aligned} \right\}; \quad (2.9)$$

причому дійсна частина γ -коефіцієнт загасання α утворюється на одиницю довжини.

Електромагнітна хвиля, що поширюється по лінії, є носієм енергії. Потужність падаючої хвилі на початку лінії $P(n)$ визначається через напругу цієї хвилі:

$$P(n) = [U(n)_{nad}]^{2Z_0}$$

У будь-якій іншій точці лінії напруга хвилі буде менше відповідно до (2-4). Тому

$$P(x)_{nad} = P(n)_{nad} e^{-0.23\alpha x} \quad (2.10)$$

2.5 Поширення хвилі в двопровідній ЛЕП біля поверхні землі

У двопровідній лінії зв'язку відстань між проводами значно менше висоти підвісу проводів над землею (відстань між проводами 20-60 см, висота підвісу 3-4 м). Тому наявність землі практично не робить впливу на значення вторинних параметрів лінії.

На ПЛ висота підвісу проводів над землею мала й у ряді випадків буває менше відстані між проводами. Тому при розгляді хвильових параметрів цих ліній необхідно враховувати вплив землі на ці параметри.

Роздивимося двопровідну лінію, перетин якої показано на рис 2.3, а У такій лінії поширення хвиль можливо по двох шляхах: між проводами, коли струм проходить по одному проводі і повертається по другому (рис. 2.3, б), і по шляху два проводи-земля, коли струм проходить по двох проводах в однім напрямку і повертається через землю (рис. 2.3, в). Кожний із цих шляхів можна розглядати як окремий хвильовий канал, що характеризується своїми хвильовими параметрами. Електричні сигнали в загальному випадку поширюються по обох хвильових каналах у вигляді двох незалежних хвиль.

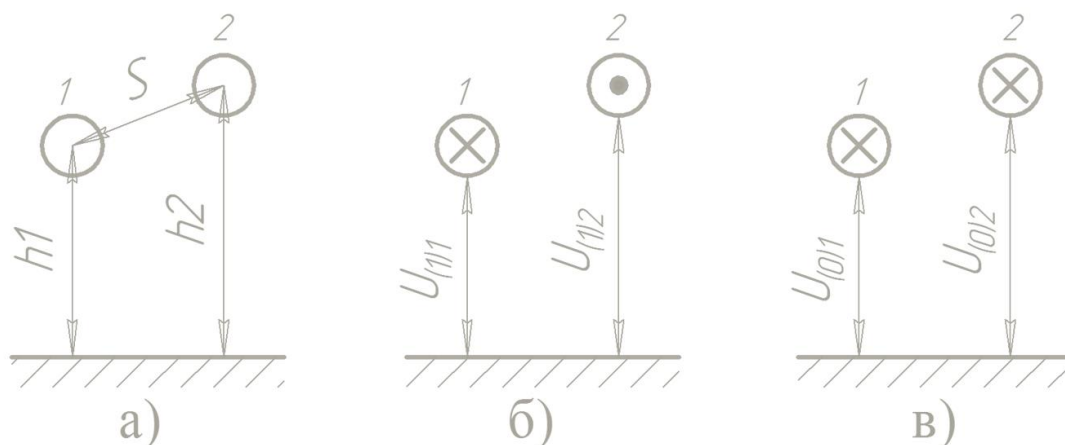


Рисунок 2.3 - Поперечний перетин і хвильові канали двопровідної лінії

Кожний із каналів характеризується своїм хвильовим параметром - коефіцієнтом поширення, хвильовими опорами і співвідношеннями між напругами, а також між струмами в проводах. У кожному хвильовому каналі кожний провід має своє значення хвильового опору, рівному відношенню напруги на даному проводі (щодо землі) до струму в цьому проводі. При цьому розглядається випадок, коли хвиля по лінії поширюється по одному хвильовому каналу.

Роздивимося параметри хвильових каналів двопровідної лінії. При цьому буде розглядатися така лінія, параметри якої не залежать від умов навантаження на кінці, тобто лінія, у якої є початок, але немає кінця (напівнескінченна лінія). У такій лінії немає відбитих хвиль і всі співвідношення утворюються тільки для падаючої хвилі. Надалі індекс «пад» опускається.

Хвильовий канал провід-провід. У цьому каналі струми в проводах майже протилежні по фазі (рис. 2.3, б). Хвилю, що поширюється в цьому каналі, називають міжфазною. Всі розміри, що ставляться до цього каналу, будемо позначати індексом (1). Відповідно до даного вище визначення можна записати вираз для хвильових опорів проводів у хвильовому каналі провід-провід у такому вигляді:

$$Z_{B1(1)} = (U_{1(1)} / I_{1(1)}); Z_{B2(1)} = U_{2(1)} / I_{2(1)}; \quad (2.11)$$

де $Z_{B1(1)}$ -хвильовий опір першого проводу для першого хвильового каналу;

$Z_{B2(1)}$ -те ж другого проводу;

$U_{1(1)}$ -напруга хвилі в першому проводі в першому каналі відносно землі;

$U_{2(1)}$ -те ж у другому проводі;

$I_{1(1)}$ і $I_{2(1)}$ -струми хвилі в першому каналі для першого і другого проводів відповідно.

Співвідношення між напругами і струмами в двох проводах постійні і залежать від геометрії лінії в поперечному перерізі.

$$U_{2(1)} / U_{1(1)} = l_{2(1)}; I_{2(1)} / I_{1(1)} = d_{2(1)} \quad (2.12)$$

При однаковій висоті підвісу проводів над землею ($h_1=h_2$ рис. 2.3, а)

$$\left. \begin{aligned} U_{1(1)} &= -U_{2(1)} = U_{(1)}; \\ I_{1(1)} &= I_{2(1)} = I_{(1)}; \\ Z_{B1(1)} &= Z_{B2(1)} = Z_{B(1)}; \\ I_{2(1)} &= -1; d_{2(1)} = -1; \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

Умови поширення хвилі в першому каналі визначаються коефіцієнтом розповсюдження:

$$\gamma_{(1)} = \alpha_{(1)} + j\beta_{(1)} \quad (2.14)$$

де $\alpha_{(1)}$ і $\beta_{(1)}$ - коефіцієнти загасання і фази, причому α виражається на одиницю довжини.

Напруги падаючої (або відбитої) хвилі в першому $U_{1(1)\text{пад}}$ або в другому $U_{2(1)\text{пад}}$ проводах змінюються по тому ж законі, що і напруга між проводами двопровідної лінії, тобто:

$$U(x)_{1(1)\text{пад}} = U(n)_{1(1)\text{пад}} e^{-g(1)x} \quad (2.15)$$

$$U(x)_{2(1)\text{пад}} = U(n)_{2(1)\text{пад}} e^{-g(1)x}$$

Відношення цих напруг залишається постійним у будь-якій точці лінії (2-12).

Хвильовий канал два проводи - земля. У цьому каналі струм проходить по двом проводам, якби сполученим паралельно, і повертається через землю (рис. 2.3, б). Тому хвилю в цьому каналі називають хвилею заземленого повернення або просто заземленою хвилею. Всі розміри, що ставляться до цієї хвилі, будемо позначати індексом (0).

Для хвильових опорів можна записати вираз:

$$Z_{B1(0)} = U_{1(0)} / I_{1(0)}; Z_{B2(0)} = U_{2(0)} / I_{2(0)} \quad (2.16)$$

де $U_{1(0)}$, $I_{1(0)}$ і $Z_{B1(0)}$ - напруга, струм і хвильовий опір заземленої хвилі в першому проводі;

$U_{2(0)}$, $I_{2(0)}$ і $Z_{B2(0)}$ те ж у другому проводі.

Коефіцієнт поширення в заземленому каналі:

$$\gamma_{(0)} = \alpha_{(0)} + j\beta_{(0)} \quad (2.17)$$

Співвідношення напруг і струмів у проводах:

$$\begin{aligned} U_{2(0)} / U_{1(0)} &= I_{2(0)} ; \\ I_{2(0)} / I_{1(0)} &= d_{2(0)} \end{aligned} \quad (2.18)$$

Для симетричної лінії

$$I_{2(0)} = I_{1(0)}; U_{2(0)} = U_{1(0)}; I_{2(0)} = 1; d_{2(0)} = 1 \quad (2.19)$$

Таким чином, двопровідна лінія поблизу поверхні землі характеризується двома хвильовими каналами з різноманітними коефіцієнтами поширення і різноманітних хвильових опорів, причому загальне число хвильових опорів-чотири.

Загасання хвиль у заземленому каналі обумовлено в основному втратами енергії в землі. Загасання в каналі провід-провід обумовлено втратами в проводах лінії і землі.

Відомо, що енергія передається від передавача до приймача за допомогою електромагнітних хвиль, що поширюються в просторі між проводами. Проводи є направляючими для каналізації енергії і частково споживачами енергії. Чим більше відстань між проводами, тим більший перетин простору захоплює хвиля при поширенні уздовж лінії. Якщо проводи розташовані поблизу поверхні землі, то електромагнітне поле частково поширюється в землі і частина енергії цього поля марно витрачається на нагрів землі. Чим більше відстань між проводами, тим більше захоплює землю хвиля в каналі провід-провід і тим більше її загасання.

Коефіцієнт загасання в каналі провід-провід можна уявити у вигляді суми двох чисел: $\alpha_{\text{п}}$, обумовленого втратами енергії в проводах, і $\alpha_{\text{з}}$, обумовленого втратами енергії в землі:

$$\alpha = \alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{з}}. \quad (2.20)$$

При великій висоті підвісу проводів у порівнянні з відстанню між проводами втратами в землі можна знехтувати і $\alpha_{\text{з}} \ll \alpha_{\text{п}}$. Коли відстань між

проводами порівняна з висотою підвісу проводів над землею, втрати в землі порівнянні з втратами в проводах і коефіцієнти α_n і α_z сумарні.

Для заземленого (другого) каналу втрати в землі значно більше втрат у проводах ($\alpha_z \gg \alpha_n$). З цієї причини коефіцієнт загасання заземленого каналу значно більше, ніж для каналу провід-провід. Швидкість поширення хвиль у заземленому каналі менше, ніж у каналі провід - провід. Таким чином,

$$a_{(0)} > a_{(1)}; v_{(0)} < v_{(1)} \quad (2.21)$$

Якщо при підключенні передавача до двопровідної лінії дотримати визначене співвідношення між напругами в проводах, то можна збудити в лінії тільки одну хвилю. Наприклад, при дотриманні співвідношення $U_1 = l_{2(1)} U_2$ у лінії виникне тільки перша хвиля. Якщо при цьому на приймальному кінці перший провід навантажити на опір, рівний хвильовому опорі $Z_{b1(1)}$ першої хвилі в першому проводі, а другий провід навантажити на опір, рівний хвильовому опорі $Z_{b2(1)}$ першої хвилі в другому проводі, тобто:

$$Z_{H(1)} = Z_{\epsilon 1(1)}; Z_{H(2)} = Z_{\epsilon 2(1)} \quad (2.22)$$

то вся енергія першої хвилі, яка дійшла до кінця лінії, буде поглинена в опорах навантаження. Цей режим роботи лінії відповідає режиму передачі першої хвилі без відбитка; напругу на опорі навантаження можна в цьому випадку визначати по (2-15), приймаючи x рівним довжині лінії $x = 1$. Подібним же чином можна створити (збудити) у лінії тільки заземлену хвилю.

Якщо не прийняти мір до порушення в лінії тільки однієї хвилі, то в ній виникнуть відразу обидві хвилі. На однорідних ділянках лінії обидві хвилі поширюються незалежно одна від іншої, тобто накладаються одна на одну, не взаємодіючи.

Хвиля в кожному з хвильових каналів звичайно називається хвильовою складовою, а представлення дійсних напруг і струмів у вигляді напруг і струмів хвильових складових називають розкладанням на хвильові складові.

Повна напруга в кожному проводі лінії дорівнює сумі напруг хвильових складових у цьому проводі, тобто

$$U_1 = U_{1(1)} + U_{1(0)}; \quad U_2 = U_{2(1)} + U_{2(0)}$$

З урахуванням (2-12) і (2-18) одержимо:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= U_{1(1)} + U_{1(0)} \\ U_2 &= l_{2(1)} U_{1(1)} + l_{2(0)} U_{1(0)}; \end{aligned} \right\} \quad (2.23)$$

де U_1 і U_2 - повні напруги в першому і другому проводах.

Система рівнянь (2-23) дозволяє визначити дійсні напруги на лінійних проводах через напруги хвильових складових у першому проводі.

Для спрощення запису перший індекс у позначенні напруг можна опустити, позначивши

$$U_{1(1)} = U_{(1)}; \quad U_{1(0)} = U_{(0)}$$

При цьому рівняння (2-23) запишуться у вигляді

$$U_1 = U_{(1)} + U_{(0)} \quad (2.23a)$$

$$U_2 = l_{2(1)} U_{(1)} + l_{2(0)} U_{(0)}$$

Подібну систему рівнянь можна записати і для струмів у лінійних проводах:

$$I_1 = I_{(1)} + I_{(0)}; \quad (2.24)$$

$$I_2 = d_{2(1)} I_{(1)} + d_{2(0)} I_{(0)}$$

де $I_{(1)}$ і $I_{(0)}$ - струми хвильових складових у першому проводі.

Розв'язавши систему рівнянь (2-23 а) щодо напруг хвильових складових $U_{(1)}$ і $U_{(0)}$, одержимо рівняння для розкладання лінійних напруг на хвильові складові:

$$\left. \begin{aligned} U_{(1)} &= \frac{\lambda_{2(0)}}{\lambda_{2(0)} - \lambda_{2(1)}} U_1 - \frac{1}{\lambda_{2(0)} - \lambda_{2(1)}} U_2 = b_{11} U_1 + b_{12} U_2 \\ U_{(0)} &= \frac{\lambda_{2(1)}}{\lambda_{2(0)} - \lambda_{2(1)}} U_1 + \frac{1}{\lambda_{2(0)} - \lambda_{2(1)}} U_2 = b_{21} U_1 + b_{22} U_2 \end{aligned} \right\} \quad (2.25)$$

де $b_{11} = l_{2(0)} / (l_{2(0)} - l_{2(1)})$; $b_{12} = -1 / (l_{2(0)} - l_{2(1)})$; $b_{21} = -l_{2(1)} / (l_{2(0)} - l_{2(1)})$; $b_{22} = 1 / (l_{2(0)} - l_{2(1)})$.

Для прикладу розглянемо розкладання на хвильові складові напругу на лінійних проводах у двопровідній симетричній лінії. Схема розташування лінійних проводів показана на рис. 2.4, а.

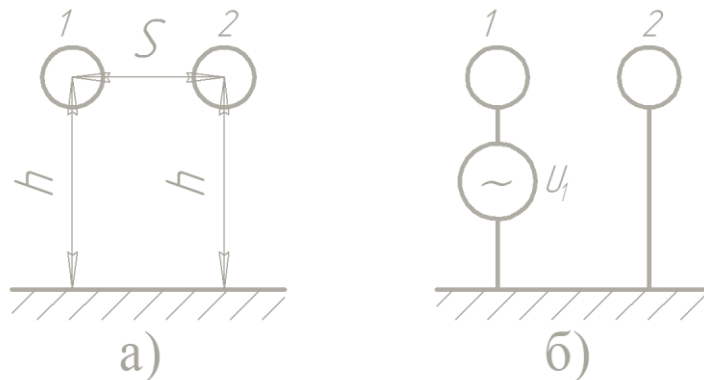


Рисунок 2.4 - Двопровідна симетрична лінія

Для симетричної лінії справедливі умови (2-13), при дотриманні яких рівняння (2-23а) приймають вигляд.

$$U_1 = U_{(1)} + U_{(0)}; \quad U_2 = -U_{(1)} + U_{(0)}$$

а рівняння (2-25), для розкладання на хвильові складові:

$$\left. \begin{aligned} U_{(1)} &= 0,5(U_1 - U_2) \\ U_{(0)} &= 0,5(U_1 + U_2) \end{aligned} \right\} \quad (2.26)$$

Якщо генератор приєднати, наприклад, між першим проводом і землею, а другий провід заземлити, як показано на рис. 2.4, б, та з (2-26) знайдемо:

$$U_{(1)} = 0,5U_1; \quad U_{(0)} = 0,5U_1,$$

У лінії утворяться дві хвилі, що мають на початку лінії однакові напруги. Обидві ці хвилі будуть поширюватися по лінії незалежно одна від іншої. Якщо на приймальному кінці приймач під'єднаний також до першого проводу, то напруга на вході приймача без урахування відбитих хвиль визначиться як сума двох хвиль, які дійшли до приймального кінця.

2.6 Поширення хвилі в багатопровідних ЛЕП біля землі

Якщо лінія має n проводів, що йдуть паралельно уздовж поверхні землі, то струми і напруги в цій лінії можуть бути подані через струми і напруги n хвильових складових. Кожна з хвильових складових поширюється по своєму хвильовому каналі по всім проводам лінії.

Кожний хвильовий канал характеризується одним коефіцієнтом поширення $\gamma_{(s)} = \alpha_{(s)} + j\beta_{(s)}$, n хвильовими опорами $Z_{\text{BK}(s)}$ і $n-1$ коефіцієнтами $\delta_{k(s)}$ або $\delta_{k(s)}$ співвідношень між струмами або напругами в проводах.

Будь-яка n -провідна лінія характеризується n коефіцієнтами поширення, n^2 хвильовими опорами і $n(n-1)$ коефіцієнтами для співвідношень струмів або напруг кожній із хвильових складових у проводах лінії.

Напруга і струм кожної хвильової складової в кожному проводі пов'язані між собою співвідношенням:

$$U_{k(s)} = I_{k(s)} Z_{\text{BK}(s)}, \quad (2.27)$$

де $U_{k(s)}$, $I_{k(s)}$, $Z_{\text{BK}(s)}$ -напруга, струм і хвильовий опір хвильового каналу (s) для проводу k .

Співвідношення між струмами в будь-якому з проводів і струму у першому проводі визначається виразом:

$$I_{k(s)} = d_{k(s)} I_{1(s)} \quad (2.28)$$

Те ж для напруг:

$$U_{k(s)} = d_{k(s)} I_{1(s)} Z_{\text{BK}(s)} = l_{k(s)} U_{1(s)} \quad (2.28a)$$

З співвідношень (2-28) і (2-28a) можна одержати зв'язок між коефіцієнтами $\lambda_{k(s)}$ і $\delta_{k(s)}$:

$$\lambda_{k(s)} = \delta_{k(s)} Z_{\text{BK}(s)} / Z_{\text{B1}(s)},$$

де $Z_{\text{B1}(s)}$ -хвильовий опір каналу (s) для першого проводу.

місцях неоднорідностей ліній-транспозиціях, відгалуженнях, а також на кінці лінії.

У місцях неоднорідності виникають відбитки хвиль у усіх хвильових каналах, а також трансформація одних хвильових складових в інші. На кожній однорідній ділянці лінії можуть бути падаючі і відбиті хвилі кожної з хвильових складових. Повна напруга кожної хвильової складової є сумою напруг падаючих і відбитої хвиль цієї складової.

Повний струм знаходиться як різниця падаючих і відбитих хвильових складових струму.

У загальному випадку при розрахунках необхідно враховувати падаючі і відбиті хвилі усіх хвильових складових. Розрахунок при цьому утворюється дуже громіздким і практично може виконуватися тільки на ПК. Проте в багатьох випадках розрахунок може бути істотно спрощений, якщо на кінці, що передає, можна зневажити усіма або частиною хвиль, відбитих від приймального кінця.

Найбільше наочний і простий розрахунок загасання лінійного каналу довгих ліній, коли до приймального кінця доходить тільки одна хвильова складова в каналі з найменшим коефіцієнтом загасання.

2.7 Поширення хвиль у симетричній трипровідній лінії

Найбільш простим для розгляду умов передачі електричних сигналів по ПЛ є випадок «симетричної» трипровідної лінії.

Симетричною називається така лінія, у якій дотримується рівність відстаней між проводами і рівність висот усіх проводів над землею. Ці умови можна строго витримати тільки в трипровідному кабелі з розташуванням жил по кутах рівнобічного трикутника, як показано на рис.2.5, а.

Повітряна трипровідна лінія принципово не може бути симетричною, проте в багатьох випадках штучне приведення реальної лінії до симетричної не призводить до великих похтбок при розрахунках загасання лінійних ВЧ каналів. Зокрема, можна вважати симетричними всі лінії з напругою 110 кВ і нижче і більшість ліній 220 кВ.

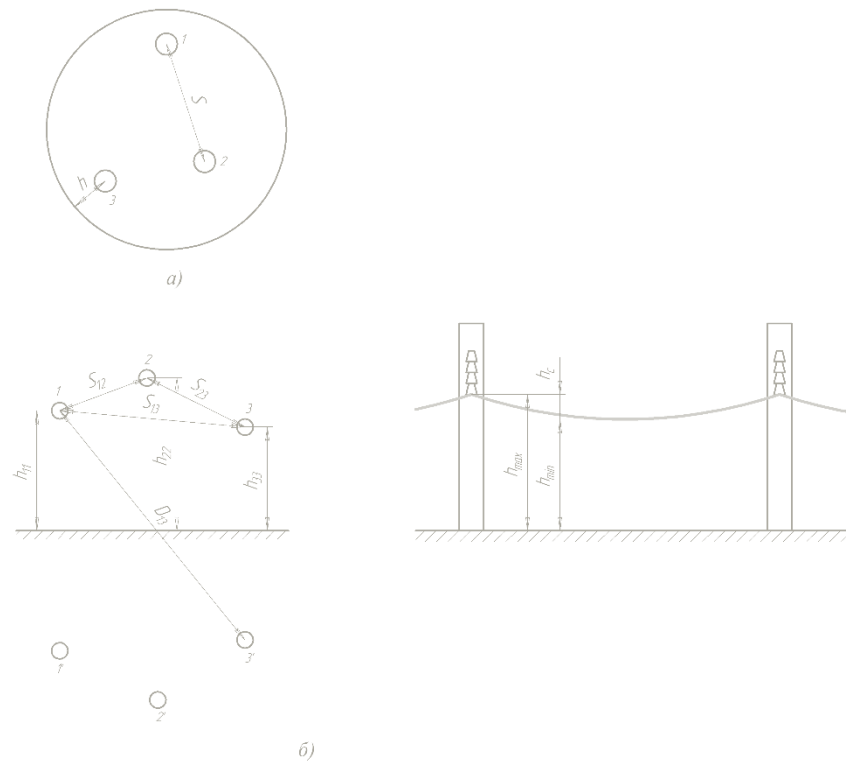


Рисунок 2.5 - Розташування проводів і геометричні розміри симетричного кабелю (а) і трифазної лінії (б).

При приведенні реальної лінії з довільним розташуванням проводів (перетин такої лінії зображений на рис. 2.5, б) до симетричної розміри цієї еквівалентної лінії визначаються як середні геометричні з відповідних розмірів реальної лінії

$$\left. \begin{aligned} S &= \sqrt[3]{S_{12} S_{13} S_{23}} \\ h &= \sqrt[3]{h_{11} h_{22} h_{33}} \\ D &= \sqrt{(2h)^2 + S^2} \end{aligned} \right\} \quad (2.32)$$

де s і h - середні відстані між фазами і висота підвісу проводів над землею, D - середня відстань між проводом і дзеркальним зображенням іншого проводу.

Розміри еквівалентної симетричної лінії необхідно знати для визначення ВЧ параметрів цієї лінії.

У формулах (2-32) висоти підвісу проводів h_{11}, h_{22}, h_{33} є середніми. Фактична висота кожного з проводів над землею змінюється уздовж прольоту. Середнє значення висоти підвісу розраховується по формулі:

$$h = h_{\max} - mh_c \quad (2.33)$$

де $h_{\max}$ - висота підвісу проводу над землею в точці її кріплення на опорі, $h_c = h_{\max} - h_{\min}$ —стріла провису (рис. 2.5, б).

Для інженерних розрахунків рекомендується значення $m=0,75$.

Поширення сигналів уздовж трипровідної лінії поблизу поверхні землі в загальному випадку відбувається по трьом хвильовим каналам, з яких два міжпровідні й один заземлений. Оскільки проводи трипровідної ПЛ називаються фазами, то і міжпровідні хвильові канали називають міжфазними.

У симетричній лінії міжфазні канали мають однакові параметри, однакові коефіцієнти поширення:

$$\gamma_{(1)} = \gamma_{(2)} = \gamma_{(\phi)} = \alpha_{(\phi)} + j\beta_{(\phi)}$$

і однакові хвильові опори у всіх проводах:

$$Z_{e1(1)} = Z_{e2(1)} = Z_{e3(1)} = Z_{e1(2)} = Z_{e2(2)} = Z_{e3(2)} = Z_{e(\phi)}$$

тому хвильові складові в цих каналах утворюють єдину міжфазну хвилю. Заземлена хвиля характеризується коефіцієнтом поширення $\gamma_{(0)} = \alpha_{(0)} + j\beta_{(0)}$ і хвильовим опором $Z_{e(0)}$.

Розкладання системи напруг або струмів у проводах симетричної лінії на хвильові складові неоднозначне. Можливі різноманітні комбінації напруг двох міжфазних хвильових складових, що дають ті самі значення напруги результуючої міжфазної хвилі.

Одному із найбільш зручних засобів розкладання на хвильові складові відповідає така система рівнянь для напруг:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= U_{(1)} + U_{(2)} + U_{(0)} ; \\ U_2 &= -0,5U_{(1)} + 0 + U_{(0)} ; \\ U_3 &= -0,5U_{(1)} - U_{(2)} + U_{(0)} ; \end{aligned} \right\} \quad (2.34)$$

аналогічно для струмів:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= I_{(1)} + I_{(2)} + I_{(0)} ; \\ I_2 &= -0,5I_{(1)} + 0 + I_{(0)} ; \\ I_3 &= -0,5I_{(1)} - I_{(2)} + I_{(0)} ; \end{aligned} \right\} \quad (2.34a)$$

У симетричній лінії вибір нумерації проводів довільний.

Рівняння (2-31), що визначають розкладання на хвильові складові, приймуть вигляд:

$$\left. \begin{aligned} U_{(1)} &= 2/3(U_1 - 2U_2 + U_3) ; \\ U_{(2)} &= U_2 - U_{(3)} ; \\ U_{(0)} &= 1/3(U_1 + U_2 + U_3) \end{aligned} \right\} \quad (2.35)$$

Наприклад, при підключенні генератора до першого проводу ($U_1 = E$) і заземленні двох інших проводів ($U_2 = U_3 = 0$), одержимо:

$$U_{(1)} = 2/3E; U_{(2)} = 0; U_{(0)} = 1/3E . \quad (2.36)$$

2.8 Параметри хвильового каналу у симетричній лінії

Параметрами симетричної лінії є коефіцієнти загасання, швидкості поширення і хвильові опори міжфазного і заземленого каналів.

Основним параметром є кілометричне загасання α_{ϕ} міжфазного каналу.

Для двопровідної лінії, віддаленої від землі, коефіцієнт загасання в області високих частот, виражений у децибелах на одиницю довжини, визначається таким виразом:

$$\alpha = 8.7 r_{\text{втр}} / 2Z_{\text{в}} \quad (2.37)$$

де $r_{\text{втр}}$ — опір активних втрат проводів на одиницю довжини;

$Z_{\text{в}}$ -хвильовий опір.

Формула (2-37) отримана для випадку, коли можна знехтувати впливом між проводами, що для повітряних ліній завжди припустимо. Цей вираз

справедливий також для визначення коефіцієнтів загасання хвильових каналів ПЛ, тільки значення $r_{втр}$ визначається втратами як у проводах, так і в землі.

Втрати в землі є визначальними для заземленого каналу. Проте й у міжфазному каналі опір, обумовлений цими втратами, може виявитися порівнянним і навіть більшим, ніж опір проводів.

Еквівалентний опір втрат залежить від частоти. Чим вище частота, тим більше втрати, проте залежність опору втрат від частоти для проводів і землі різноманітна. У проводах ріст опору з частотою обумовлений явищем поверхневого ефекту, причому опір збільшується пропорційно кореню квадратному з частоти $r_{пров} \propto \sqrt{f}$.

Дослідження показали, що в діапазоні частот ВЧ зв'язку втрати в землі приблизно пропорційні першому ступеню частоти: $r_{зем} \propto f$. Тому загальна формула для розрахунку постійної загасання міжфазного каналу записується в такому вигляді:

$$\alpha_{\phi} = (K_1 \sqrt{f} + K_2 f) 10^{-3} \quad (2.38)$$

де α_{ϕ} - коефіцієнт загасання міжфазного каналу, дБ/км;

f - частота, кГц;

K_1 ; K_2 - коефіцієнти, взяті з табл. 2-1 і 2-2

Значення коефіцієнта K_1 визначаються маркою лінійного проводу. Цей коефіцієнт утворюється в результаті розрахунку активного опору проводу з урахуванням впливу поверхневого ефекту.

Таблиця 2.1. Значення коефіцієнта K_1 , у формулі (2-38)

Марка проводу	K_1	Марка проводу	K_1
АС-70	6,3	АС-240	3,3
АС-45	5,3	АС-300	3,0
АС-120	4,7	АСУ-300	2,9
АС-240	3,3	АСО-400	2,6

Примітка. Для ліній 35 кВ незалежно від марки проводу приймається $K_1 = 9,6$.

Таблиця 2-2 Значення коефіцієнта K_2 у формулі (2-38)

Лінійна напруга, кВ	Межі зміни S/h^*	Розташування проводів	K_2 ,
35	-	Трикутне	0,09
110	0,45-0,5	Трикутне	0,12
110	0,52-0,66	Вертикальне двоколове	0,16
110	0,68-0,72	Горизонтальне	0,23
220	0,7-0,74	Трикутне	0,25
220	0,6-0,72	Вертикальне двоколове	0,25
220	0,81-0,9	Горизонтальне	0,38

За рахунок явища поверхневого ефекту струми високої частоти поширюються по частині перетину проводу поблизу його поверхні. Ефективно використовувана частина перетину визначається глибиною проникнення, що на частотах вище 50 кГц складають від декількох десятих до декількох сотих долей міліметра. Діаметри проводів, використовуваних на ПЛ, як правило, більше 10 мм. Тому в області частот ВЧ зв'язку глибина проникнення набагато менше радіуса проводу і поверхневий ефект у цих проводах виражений дуже сильно. Активний опір проводу круглого перетину при сильно вираженому поверхневому ефекті визначається по формулі:

$$r_{\sim} = \frac{2 \cdot 10^4}{d} \sqrt{f\rho} \quad (2.39)$$

де f - частота, кГц;

ρ — опір проводу, Ом/м;

d - діаметр проводу, мм.

Частіше усього на ПЛ застосовуються біметалічні сталевалюмінієві проводи. Сталевалюмінієві проводи містять стержень із сталевих дротів, на який навито декілька прошарків алюмінієвих дротів діаметром 1,5-2 мм. Для струмів високої частоти ці проводи еквівалентні чисто алюмінієвим проводам, тому що товщина прошарку алюмінію значно більше глибини проникнення для використовуваного діапазону робочих частот. Тому при розрахунку опору сталевалюмінієвого проводу по формулі (2 39) під d припускається зовнішній діаметр цього проводу.

Опір сталевалюмінієвого проводу виявляється більшим, ніж у суцільного проводу такого ж діаметра. Пояснюється це головним чином впливом окислювання поверхні алюмінієвих дротів, через який ці дроти являються ізольованими один від другого. Для врахування зазначеного явища значення опору $r_{\sim}$, підраховане по формулі (2-39), множиться на постійний коефіцієнт, що отримав назву коефіцієнта скрутки.

У таких провідів електромагнітне поле частково проникає в сталеву сердцевину, що пов'язано з додатковою втратою енергії і, отже, збільшенням опору проводу. Це збільшення опору враховується підвищенням значенням коефіцієнта скрутки.

Опір $r_{\sim}$ Ом/км, для сталевалюмінієвих проводів з урахуванням коефіцієнта скрутки і того, що для алюмінію $\rho = 29 \cdot 10^{-9}$ Ом-м, можна записати у вигляді

$$r_{\sim} = 3,4k_{\text{скр}} \sqrt{f} / dp \quad (2.40)$$

де d -зовнішній діаметр проводу,

p -число складових проводів розчепленої фази.

Метод урахування впливу землі на опір втрат у багатопровідних лініях поблизу поверхні землі був розроблений американським вченим Карсоном у 1926 р. При цьому їм були введені спеціальні функції (функції Карсона).

На підставі роботи Карсона була отримана така формула для опору, що враховує втрати, внесені землею в міжфазний канал симетричної лінії.

$$r_3 = fS^2 DP / 250D^2 \quad (2.41)$$

де S і D - середні відстані між проводами і між проводом і дзеркальним зображенням іншого проводу, обчислені по (2-32), м, f - частота, Гц, ΔP — коефіцієнт, обумовлений із графіка (рис.2.6) по параметру

$$r = D^2 f 10^{-6} / p_z \quad (2.42)$$

де p_z — опір землі, Ом-м.

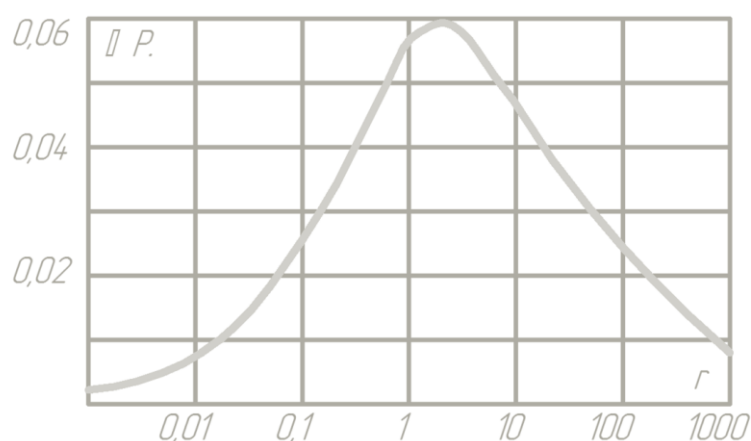


Рисунок 2.6 - Залежність різницевого коефіцієнта Карсона від параметра r

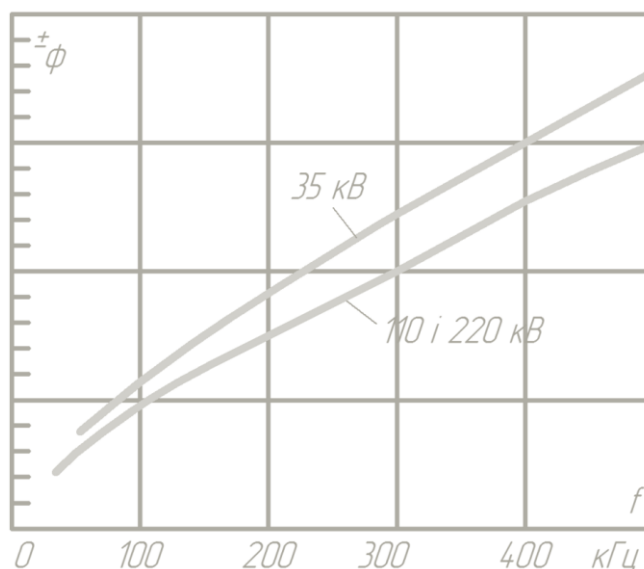


Рисунок 2.7 - Залежність $\alpha_\phi = \phi(t)$ для типових ПЛ 35, 110, 220 кВ

Як очевидно з рис. 2.6, ΔP має максимум при $r = 2$ і порівняно мало змінюється при зміні r від 0,6 до 10. При $D = 25$ м і $f = 100$ кГц, цим межам зміни відповідають межі зміни питомого опору землі $p_z = (6 - 100)$ Ом · м.

Звідси випливає, що при роботі на середніх частотах опір, внесений землею, майже не залежить від значення питомого опору землі і може визначатися при $\Delta P = \Delta P_{\max}$. При цьому опір втрат, внесених землею, прямо пропорційний частоті, що враховується другим доданком у формулі (2-38). Значення коефіцієнта K_2 , приведені в табл. 2-2, розраховані з урахуванням формули (2-41) при $\Delta P = \Delta P_{\max} = 0,055$. Загасання, розраховане по формулі (2-38), буде тому трохи завищеним для районів із дуже низьким і дуже високим опором землі.

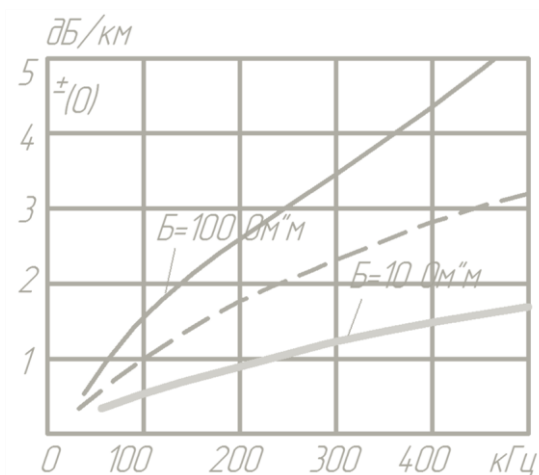


Рисунок 2.8 - Залежність коефіцієнта загасання α_0 від частоти

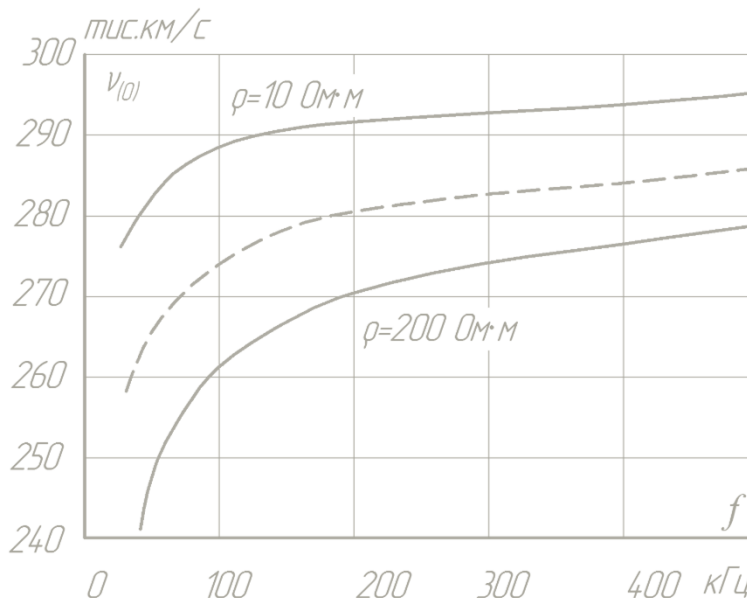


Рисунок 2.9 - Залежність швидкості поширення хвиль у заземленому каналі від частоти.

Залежності коефіцієнта загасання α_ϕ (2-38) від частоти для типових ПЛ 35, 110 і 220 кВ приведені на рис. 2.7.

Загасання $\alpha_{(o)}$ заземленого каналу росте зі збільшенням частоти і провідності землі. На рис. 2.8 приведені розрахункові залежності α_0 від частоти при двох значеннях провідності землі. Пунктиром показані середні розрахункові значення $\alpha_{(o)}$.

Хвильовий опір міжфазного каналу для ліній 35-220 кВ з одиночними проводами складає приблизно

$$Z_{v(\phi)} = 380 \text{ Ом}; Z_{v(o)} = 650 \text{ Ом}. \quad (2.43)$$

Швидкості поширення $v_{(\phi)}$ і $v_{(o)}$ ростуть із збільшенням частоти. Швидкість поширення міжфазної хвилі мало відрізняється від швидкості світла і для діапазону частот височастотного зв'язку складає:

$$V_{(\phi)} = (295 - 299) 10^3 \text{ км / с}.$$

У розрахунках можна приймати $v_{(\phi)} = v_{(z)} \cdot 10^5$ км/с. Швидкість поширення заземленої хвилі сильно залежить від провідності землі і частоти. Розрахункова залежність швидкості поширення $v_{(o)}$ від частоти при різноманітних значеннях провідності землі для лінії 110 кВ показана на рис. 2.9.

2.9 Довга симетрична ЛЕП

Лінію прийнято вважати довгою, коли на кінці, що передає, можна зневажити хвилями, відбитими від приймального кінця лінії.

Якщо до проводів лінії на одному з кінців під'єднаний передавач електричних сигналів, то його потужність йде на створення міжфазної і заземленої хвиль і частково витрачається в зосереджених опорах, на які навантажені неробочі фази лінії на кінці. Співвідношення між цими потужностями залежить від параметрів лінії і передавача і від схеми його під'єднання до проводів.

Як уже відзначалося, загасання заземленого каналу значно більше, чим міжфазного. Тому на довгих лініях енергія, що надходить у заземлений канал, майже цілком загасає в лінії, не доходячи до приймального кінця. До приймача доходить тільки міжфазна хвиля, що поширюється по каналі з порівняно малим загасанням.

Таким чином, можна вважати, що при будь-якій схемі під'єднання передавача до лінії передача сигналів на довгих лініях здійснюється тільки міжфазною хвилею; енергія передавача, яка пішла на створення заземленої хвилі і витрачена в зосереджених опорах, під'єднаних до неробочих фаз лінії на кінці, що передає, пропадає марно. Тому схема приєднання передавача до лінії тим ефективніше, чим більша частина енергії передавача йде на створення міжфазної хвилі.

Марну втрату потужності передавача характеризують розміром кінцевого загасання. Кінцевим загасанням називається розмір, рівний десятковому логарифму відношення повної потужності, що віддається передавачем $P_{пер}$ до потужності, яка перейшла у міжфазну хвилю на початку лінії $P(n)_{(ф)}$, дБ:

$$a_{к1} = 10 \lg \left(P_{пер} / P(n)_{(ф)} \right) \quad (2.44)$$

На приймальному кінці не вся потужність міжфазної хвилі, що прийшла, потрапляє в приймач. Частина потужності цієї хвилі пропадає марно, тому що в місці прийому відбуваються перехід частини енергії міжфазної хвилі в заземлену, відбиття міжфазної хвилі і поглинання енергії в опорах навантаження неробочих фаз. Втрата енергії міжфазної хвилі на приймальному кінці також характеризується кінцевим загасанням, дБ:

$$a_{к2} = 10 \lg \left(P(k)_{(ф)} / P_{пр} \right), \quad (2.45)$$

де $P(k)_{(ф)}$ - потужність падаючої міжфазної хвилі на приймальному кінці;

$P_{пр}$ - потужність, що надходить у приймач.

При визначенні кінцевих загасань на кожному з кінців не враховується вплив хвиль, відбитих від іншого кінця.

Якщо схеми під'єднання до лінії на передаючому і приймальному кінцях однакові, однакові і кінцеві загасання, тобто:

$$a_{\kappa 1} = a_{\kappa 2} = 0.5a_{\kappa}$$

Якщо в передачі сигналів бере участь тільки одна (міжфазна) хвиля, то при розрахунках загасання лінійного каналу багатохвильову систему, якою є ПЛ, можна замінити еквівалентною однохвильовою системою, тобто двопровідною лінією, причому параметри γ і Z_{θ} цієї еквівалентної лінії визначаються з урахуванням впливу землі. При цьому весь лінійний канал можна представити у вигляді кола чотирьох полюсників.

Загасання лінійного каналу визначається з виразу:

$$a_{\text{лн}} = a_{\text{л}} + a_{\kappa 1} + a_{\kappa 2} = a_{\text{л}} + a_{\kappa} \quad (2.46)$$

де $a_{\text{лн}} = a_{(\phi)l}$ - загасання лінії;

$a_{\kappa} = a_{\kappa 1} + a_{\kappa 2}$ — кінцеві загасання на два кінці.

Для правильного вибору параметрів пристроїв опрацювання і приєднання необхідно знати вхідний опір лінійного каналу при будь-якій схемі під'єднання передавача і приймача до лінії.

При розгляді процесів на вході двопровідної лінії її замінюють еквівалентним зосередженим опором, рівним вхідному опорі лінії. При розгляді процесів на будь-якому із кінців багатопровідної лінії її також можна замінити схемою з зосереджених опорів, включених між усіма проводами лінії і між проводами і землею (рис. 2.10).

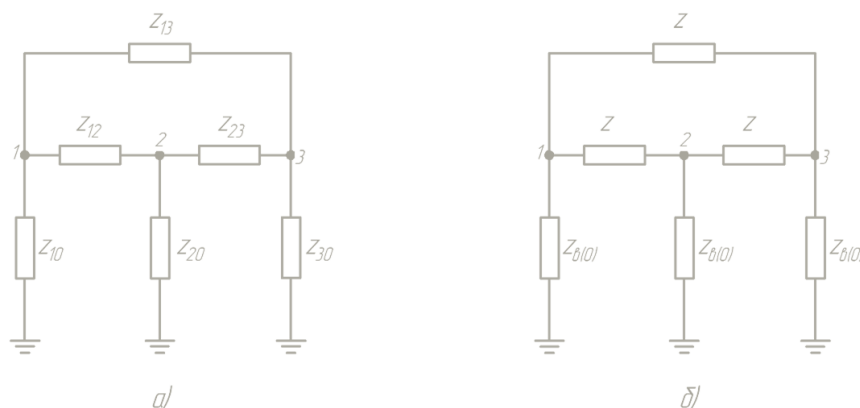


Рисунок 2.10 - Еквівалентні схеми вхідних опорів трипроводної лінії.

а-в загальному випадку, б-для нескінченно довгої симетричної лінії

На короткій лінії хвилі, відбиті від приймального кінця, доходять до кінця, що передає, і позначаються на значеннях опорів еквівалентної схеми, приведеної на рис. 2.10,а. Тому опори цієї схеми залежать не тільки від параметрів лінії, але і від схеми під'єднання навантажувальних опорів на приймальному кінці, довжини лінії і частоти роботи передавача. На довгих лініях система вхідних опорів визначається тільки значеннями хвильових опорів лінії і не залежить від довжини лінії і характеру навантаження на її кінці. Оскільки хвильові опори лінії мало залежать від частоти, то і параметри елементів схеми вхідних опорів довгої лінії можна вважати незалежними від частоти.

Для довгої симетричної лінії еквівалентна схема вхідних опорів має вигляд, показаний на рис. 2.10,б. На цій схемі

$$Z = 3(Z_{\epsilon(\phi)}Z_{\epsilon(0)}) / (Z_{\epsilon(0)} - Z_{\epsilon(\phi)}) \quad (2.47)$$

Вхідний опір лінійного каналу довгої лінії для прийнятої схеми приєднання називається характеристичним опором лінії. Значення характеристичних опорів різноманітні для різноманітних схем приєднання і можуть бути визначені з цієї схеми.

2.10 Приєднана симетрична лінія по схемі «фаза-земля»

Приєднання до симетричної лінії за схемою фаза-земля описанов Додатку А.

2.11 Вплив відгалужень від ПЛ

Вплив відгалужень від ПЛ описано в Додатку Б.

2.12 Вплив відгалуження

Вплив відгалуження, яке не використовується для організації зв'язку, при обробці його загороджувачами описано в Додатку В.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вихідні дані та розрахункова задача

Кінцевою метою даного розрахунку є визначення необхідної потужності передавача ВКЗ. Принципова схема ВЧ каналу приведена на рис. 3.1.

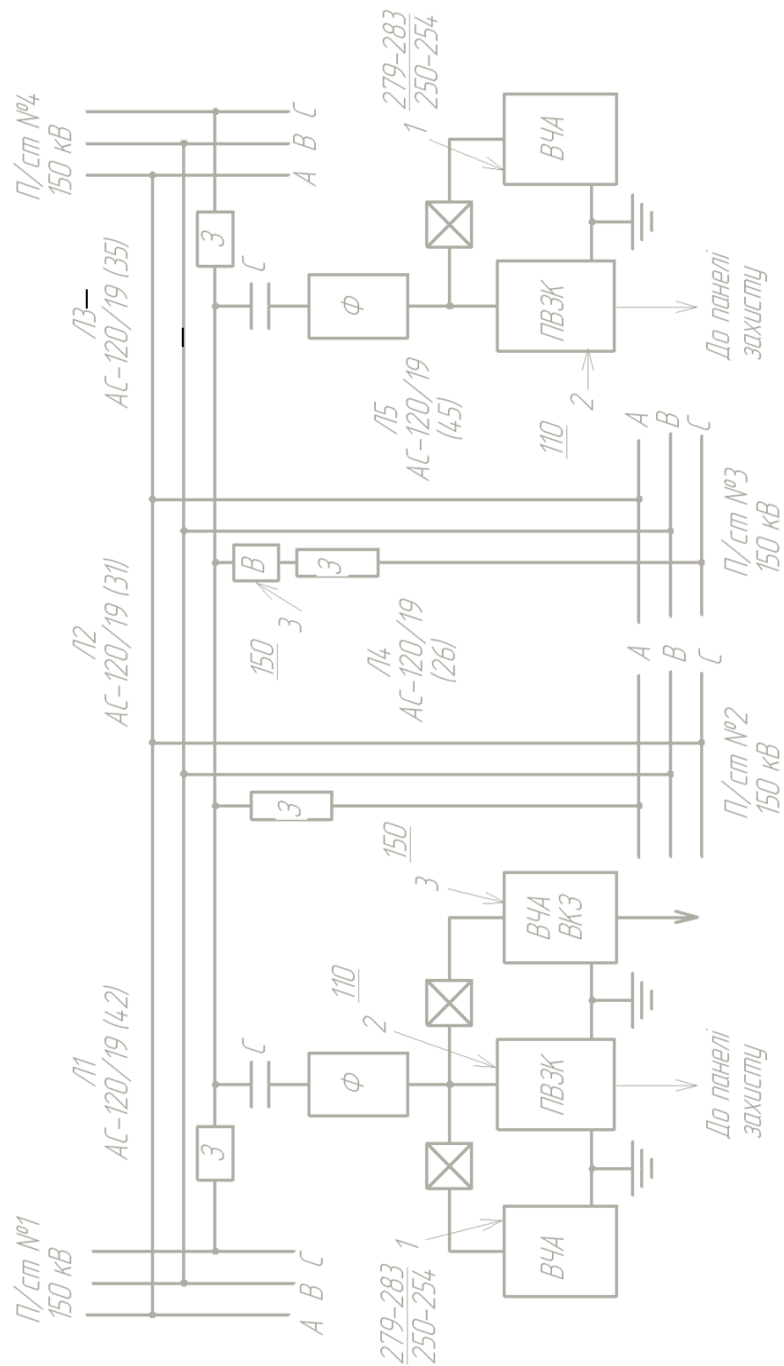


Рисунок 3.1 - Принципова схема ВЧ каналів.

$\boxed{3}$ - ВЧ загороджувач ВЗ-100/0.6;

---|| - конденсатор зв'язку СМР-140-0,045 (8 елементів, 13400 пФ);

$\boxed{\Phi}$ - фільтр приєднання УФП-66;

$\boxed{\otimes}$ - роз'єднувальний контур РК-61;

$1 \frac{279 - 283}{250 - 254}$ - номер каналу та робочі смуги частот, кГц (чисельник -

передача, знаменник-прийом)

АС-120/19(42) - марка проводу лінії електропередачі з вказуванням довжини лінії в кілометрах.

$\boxed{B}$ -ВКЗ

Зв'язок передавача ВКЗ з ПЛ відбувається за допомогою антенного пристрою виконаного з ділянки грозозахисного тросу.

ЛЕП виконана на залізобетонних опорах типу ПБ-150-1 з висотою до траверси 13,5 м, стріла провису 4 м, відстань між проводами 3,75 м, довжина прольоту 200 м, відстань від проводів до землі 7,5 м.

Задача розрахунку полягає в тому, що треба визначити мінімально необхідний рівень передачі передавача ВКЗ при різних конструктивних варіантах антенного пристрою для даної розрахункової схеми.

3.2 Вибір запасу для затухання перекриття

Потрібне значення запасу по перекриваємому загасанню залежить від призначення каналу та ожеледиці тої місцевості, по якій проходять використані лінії електропередачі.

Для каналів релейного захисту та протиаварійної автоматики запас по перекриваємому затуханню визначається за виразом:

$$A_{\text{зап}} = A_{\text{зап0}} + \Delta a_{\text{ож}}, \quad (3.1)$$

Де $A_{\text{зап0}}$ - мінімальне значення запасу по перекриваємому затуханню, враховуючи можливі зменшення потужності передавача та збільшення затухання лінійного каналу від всіх причин, крім ожеледиці;

$\Delta a_{\text{ож}}$ - збільшення запасу для врахування збільшення затухання лінійного каналу через ожеледицю.

Для каналів телефонного зв'язку запас по перекриваємому затуханню визначається:

$$A_{\text{зап}} = \Delta a_{\text{ож}} \quad (3.2)$$

при умові, що $A_{\text{зап}} \geq A_{\text{зап0}}$.

Пристрій ВКЗ не відноситься до релейного захисту та протиаварійної автоматики, тому використовуємо (3.2). Рекомендовані значення запасу беремо $A_{\text{зап0}} = 9$ дБ, $\Delta a_{\text{ож}} = 4$ дБ.

Так як не виконується умова $A_{\text{зап}} \geq A_{\text{зап0}}$, то приймаємо $A_{\text{зап}} = A_{\text{зап0}} = 9$ дБ.

3.3 Гранично допустиме загасання

Максимально допустиме затухання ВЧ каналу на підсилювальній ділянці $a_{\text{тр.доп}}$ визначається рівнем передачі сигналів даного каналу $p_{\text{пер}}$, мінімально допустимим рівнем прийому $p_{\text{пр.мін}}$ та необхідним запасом по перекриваємому затуханню, тобто

$$a_{\text{тр.доп}} = p_{\text{пер}} - p_{\text{пр.мін}} - A_{\text{зап}} \quad (3.3)$$

де $p_{\text{пер}}$ - рівень передачі сигналів даного каналу;

$p_{\text{пр.мін}}$ - мінімально допустимий рівень прийому;

Фактичне затухання високочастотного каналу між передавачем та приймачем не повинне бути більше максимально допустимого:

$$a_{\text{тр}} \leq a_{\text{тр.доп}} \quad (3.4)$$

де $a_{\text{тр}}$ - рівень затухання ВЧ каналу;

$a_{\text{тр.доп}}$ - максимально допустиме затухання ВЧ каналу;

Для визначення фактичного значення запасу на кожній підсилювальній ділянці необхідно для вибраного типу апаратури та вибраного класу напруги лінії розрахувати $p_{\text{пер}}$ та $p_{\text{пр.мін}}$.

Далі повинні бути виконані розрахунки затухання ВЧ каналів, які входять в задану трасу каналу зв'язку.

3.4 Розрахунок мінімально допустимого рівня прийнятого сигналу

Значення $p_{\text{пр.мін}}$ визначається рівнем завад в лінійному каналі, число підсилювальних ділянок та переприйомів в каналі зв'язку та потрібним перевищенням рівня сигналу над рівнем завад на виході приймача, а точніше:

$$p_{\text{пр}} = p_{\text{с/зав}} + p_{\text{зав}\Delta f} + \Delta p_{\text{пром}} \quad (3.5)$$

де $p_{\text{с/зав}}$ - мінімально допустиме перевищення рівня сигналу над рівнем завад на виході приймача;

$p_{\text{зав}\Delta f}$ - рівень лінійних завад в полосі приймача даного каналу;

$\Delta p_{\text{пром}}$ - поправка, яка враховує наявність в каналі проміжних підсилювачів та переприйомів;

$p_{\text{с/зав}} = 4$ дБ для апаратури передачі сигналів-команд.

Значення середніх розрахункових рівнів завад від корони, приведених до смуги 1 кГц . Для лінії 150 кВ та числі провідів в фазі рівному одиниці, рівень завад $p_{\text{зав}} = -35$ дБ.

Смуга Δf приймача даного каналу приймається рівним ширині смуги вхідного фільтру приймача, яка виділяє спектр частот даного каналу.

Приймаємо $\Delta f = 2$ кГц. Тоді находимо:

$$p_{\text{зав}\Delta f} = p_{\text{зав}} + 10 \lg \Delta f = -35 + 10 \lg 2 = -32 \text{ дБ.}$$

Так-як відсутні проміжні підсилювачі та канали переприйому, то $\Delta p_{\text{пром}} = 0$ дБ

Тоді по (3.5):

$$p_{\text{пр}} = 4 - 32 = -28 \text{ дБ.}$$

3.5 Розрахунок загасання в каналі

Розрахунок загасання ВЧ каналу виконується за формулою:

$$a_{\text{тр}} = a_{\text{л}} + a_{\text{пар}} + a_{\text{рф}} + a_{\text{каб}} + a_{\text{фп}} + a_{\text{з}} + a_{\text{від}} + a_{\text{доп.від}} \quad (3.6)$$

де $a_{\text{л}}$ - загасання лінії електропередачі;

$a_{\text{пар}}$ - загасання, яке вноситься паралельно ввімкненою апаратурою;

$a_{\text{рф}}$ - загасання роз'єднувального фільтру;

$a_{\text{каб}}$ - загасання ВЧ кабелю;

$a_{\text{фп}}$ - загасання фільтру приєднання (або антенного пристрою приєднання);

$a_{\text{з}}$ - загасання, яке вноситься загороджувачем;

$a_{\text{ш}}$ - загасання, яке вноситься шунтуючим опором;

$a_{\text{від}}$ - загасання, яке вноситься відгалуженнями;

$a_{\text{доп.від}}$ - додаткове загасання, яке обумовлюється інтерференцією міжфазних хвиль в каналах з відгалуженнями;

Лінія електропередачі

Лінійне загасання визначається за формулою:

$$a_{\text{л}} = a_{\text{ф}} l 10^{-3} + 2a_{\text{к}}, \quad (3.7)$$

де $a_{\text{ф}}$ - загасання міжфазної хвилі;

$a_{\text{к}}$ - кінцеве загасання;

l - довжина лінії електропередачі;

Для ліній 35-500 кВ:

$$a_{\text{ф}} = K_{1(1)} K_3 \sqrt{f} + K_{2(1)} K_4 f \quad (3.8)$$

Значення коефіцієнтів $K_{1(1)} = 0,6$; $K_3 = 1$; $K_4 = 1$; $K_{2(1)} = 0,28 \cdot 10^{-2}$

$$a_{\text{ф}} = 0,6 \cdot 1 \cdot \sqrt{150} + 0,28 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 150 = 7,77$$

$a_{\text{к}}$ враховується тільки при ввімкненні по схемі "фаза-земля" і приймається незалежно від частоти $a_{\text{к}} = 0,15$.

Тоді $a_{\text{л}} = 7,77 \cdot 73 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,15 = 0,867 + 7,53$ дБ

Паралельно ввімкнена високочастотна апаратура ущільнення та розподільчі фільтри:

Величина загасання визначається значенням вхідного опору паралельно ввімкненої апаратури на робочій частоті каналу за формулою:

$$a_{\text{пар}} = \ln[1 + r_{\text{н}} / (2(Z_{\text{пар}} + Z_{\text{рф}}))] \quad (3.9)$$

де $r_{\text{н}}$ - опір навантаження робочої апаратури на частоті каналу, Ом (для вітчизняної апаратури $r_{\text{н}} = 100$ Ом);

$Z_{\text{пар}}$ - вхідний опір паралельно ввімкненої апаратури в полосі запирання на частоті каналу, який розраховується, Ом;

$Z_{\text{рф}}$ - вхідний опір розподільчого фільтру в полосі запирання на частоті каналу, який розраховується, Ом.

Апаратура ПВЗК має вхідний опір біля 500 Ом, та величину вхідного опору розподільчого фільтру $Z_{\text{рф}} = 1000$ Ом (частота 110 кГц). Апаратура ВЧА має вхідний опір біля 600 Ом за смугою пропускання фільтрів.

Загасання, яке вноситься апаратурою ПВЗК, по (3-9)

$$a_{\text{пар1}} = \ln[1 + 100 / (2 * 500)] = 0,095.$$

Загасання, яке вноситься апаратурою ВЧА:

$$a_{\text{пар2}} = \ln[1 + 100 / (2 * (600 + 1000))] = 0,019.$$

Загальне загасання:

$$a_{\text{пар}} = a_{\text{пар1}} + a_{\text{пар2}} = 0,095 + 0,019 = 0,114 \text{ неп} = 0,99 \text{ дБ.}$$

Загасання, яке вноситься розподільчим фільтром на робочій частоті залежить від $\Delta f / f_{\text{з}} * 100\% = (150 * 110) / 110 * 100\% = 36,3\%$, та для фільтру РК-61 складає $a_{\text{рф}} = 0,05 = 0,43$ дБ.

Високочастотний кабель:

Загасання в ВЧ фідері, яке обумовлюється параметрами фідеру на робочій частоті, розраховується за формулою:

$$a_{\text{каб}} = a_{\text{каб0}} L \quad (3.10)$$

де $a_{\text{каб0}}$ - загасання високочастотного кабелю;

L - довжина кабелю;

Для кабелів РК-3, РК-4, РК-103, РК-104 для частоти 150 кГц загасання дорівнює $a_{\text{каб0}}=0,18$.

Приймаємо довжину кабелю 50 м. Тоді по (3-10)

$$a_{\text{каб}}=0,18*0,05=0,009 \text{ неп}=0,078 \text{ дБ.}$$

Фільтр приєднання:

Загасання фільтру приєднання визначається активними втратами в їх елементах та відбиванням енергії високої частоти внаслідок неузгодженості вхідних опорів пристроїв з лінією та ВЧ фідером.

Величина загасання фільтру приєднання визначається за формулою:

$$a_{\text{фн}} = 0,05 + \ln \left| \frac{Z_{\text{вхл}} + Z_{\text{фн}}}{2\sqrt{Z_{\text{вхл}} Z_{\text{фн}}}} \right| \quad (3.11)$$

де $Z_{\text{вхл}}$ - вхідний опір лінії електропередачі, Ом;

$Z_{\text{фн}}$ - вхідний опір фільтру приєднання з боку лінії, Ом.

$Z_{\text{вхл}}$ приймається рівним 400 Ом для ПЛ 6-220 кВ. (Перекриває смугу частот 28-600 кГц).

Тоді по (3-11) загасання фільтру дорівнює:

$$a_{\text{фн}} = 0,05 + \ln \left| \frac{400 + 600}{2\sqrt{400 \cdot 600}} \right| = 0,07 \text{ неп} = 0,608 \text{ дБ.}$$

В якості конденсатора зв'язку на передаючому кінці застосовано антенний пристрій приєднання. Антенний пристрій представляє собою провід (антену), підвішений паралельно проводам ПЛ, або ізолювану ділянку грозозахисного тросу потрібної довжини.

Загальне загасання антенного пристрою дорівнює:

$$a_{\text{а.п}}=a_{\text{а}}+a_{\text{к}} \quad (3.12)$$

де a_0 - загасання антени;

$a_{\text{к}}$ - кінцеве загасання.

Якщо антена однаково зв'язана з всіма проводами лінії, то в лінії виникає тільки заземлена хвиля, та $a_{\text{к}}$ наближується до нескінченості. Тому антену розташовують по відношенню до проводів ПЛ несиметрично. В цьому випадку кінцеве загасання буде наближено дорівнювати $a_{\text{к}}=2$ дБ.

Загасання мінімальне при антені, довжина якої дорівнює чверті довжини хвилі на робочій частоті:

$$l_{\text{ант}} = 1/4(v_0/f) = 1/4(272000/150) = 453 \text{ м.}$$

Причому вільний кінець антени повинен бути направлений в бік протилежний приймачу.

Для відстані між проводом та антеною, яка дорівнює 6 м та довжині антени, яка дорівнює $1/4\lambda_{\text{ф}}$, $a_a = 10$ дБ. При використанні укорочених антен $a_a = 18$ дБ.

Тоді при $L = 1/4\lambda$: $a_{\text{ап}} = 10 + 2 = 12$ дБ.

при $L = 1/8\lambda$: $a_{\text{ап}} = 18 + 2 = 20$ дБ.

Загороджувачі:

В загасанні, яке вноситься загороджувачами беруть участь загороджувачі на прийомному кінці (П/ст№1) та передаючому (П/ст№3).

Інші загороджувачі враховуються при розрахунку загасання, яке вноситься відгалуженнями (П/ст№2, П/ст№4).

Загасання, яке вноситься загороджувачем визначається величиною втрат енергії високої частоти через загороджувач та опір підстанції, та розраховується за формулою:

$$a_3 = \ln[1 + Z_{\text{вхл}} / (Z_3 * (1 + Z_{\text{вхл}} / Z_{\text{фп}}))] \quad (3.13)$$

Застосований загороджувач настроєний по схемі фільтру верхніх частот, та перекриває діапазон 106-600 кГц, маючи опір на частоті 150 кГц $Z_3 = 520$ Ом.

Тоді по (3-12)

$$a_3 = \ln[1 + 400 / (520 * (1 + 400 / 600))] = 0,38 \text{ неп} = 3,3 \text{ дБ.}$$

Втрата енергії через загороджувач на передаючому кінці та лінію Л5 була врахована при розрахунку загасання, яке вноситься антенним пристроєм приєднання (загасання визначалось через відношення вихідної потужності передавача до потужності міжфазної хвилі).

Відгалуження:

Загасання, яке вноситься відгалуженнями від лінії електропередачі $a_{\text{від}}$, визначається втратами ВЧ енергії в паралельному відгалуженні. Відгалуження

від лінії вносять в ВЧ канали загасання, яке залежить від довжини відгалуження та навантаження на його кінці.

Відгалуження (П-ст №2, П-ст №4) електрично короткими відгалуженнями (загасання міжфазної хвилі менш ніж 1), причому лінія Л4 оброблена на початку відгалуження загороджувачами, ввімкненими в одну фазу відгалуження.

В такому випадку максимальне загасання, яке може внести відгалуження в лінійний канал довгої симетричної лінії визначаються за формулою (3-13):

$$\Delta a_{\text{від}} = 20 \lg [1 + Z_{\text{вф}} / (2 * Z_{\text{в0}}) + 3 * Z_{\text{вф}} / (4 * Z_3)] \quad (3.14)$$

де $Z_3 = 500$ Ом - активна складова опору загороджувача;

$Z_{\text{вф}}$ - хвильовий опір міжфазної хвилі;

$Z_{\text{в0}}$ - хвильовий опір заземленої хвилі;

$Z_{\text{в0}} = 650$ Ом для ліній 35-220 кВ. Тоді

$$\Delta a_{\text{від1}} = 20 \lg [1 + 400 / (2 * 650) + 3 * 400 / (4 * 520)] = 5,5 \text{ дБ.}$$

Відгалуження по лінії Л3 використовується для організації зв'язку, і підстанція на кінці відгалуження обладнана устаткуванням обробки та приєднання. В цьому випадку загасання, яке вноситься відгалуженням не приймає дуже великих значень та змінюється хвильоподібно в залежності від частоти з інтервалом $\Delta f_{\text{max/min}} = v_0 / (4L)$.

При $L_{\text{від}} \geq \lambda_{\text{ф}} / 4$ додаткове загасання, яке вноситься відгалуженням:

$$\Delta a_{\text{від}} = 12 - 8,5 * (1 - \exp(-l_{\text{від}} / \lambda_{\text{ф}})) \quad (3.15)$$

де $l_{\text{від}}$ - довжина відгалуження;

$\lambda_{\text{ф}}$ - довжина хвилі.

Для частоти 150 кГц $\lambda_{\text{ф}} = v_0 / f = 270 / 150 = 1,8$ км., довжина відгалуження дорівнює 35 км. Тоді

$$\Delta a_{\text{від}} = 12 - 8,5 * (1 - \exp(-35 / 1,8)) = 0,402 \text{ неп} = 3,5 \text{ дБ.}$$

Загальне загасання $\Delta a_{\text{від}} = \Delta a_{\text{від1}} + \Delta a_{\text{від2}} = 5,5 + 3,5 = 9$ дБ.

Додаткове загасання, яке обумовлене інтерференцією міжфазних хвиль в каналах з відгалуженнями, визначаються при відстані між відгалуженнями більш ніж $2900/f$ км., за формулою (1-16).

$$a_{\text{дод.від}} = 0,1 * (n-1), \quad (3.16)$$

де n -кількість відгалужень.

Тоді $a_{\text{дод.від}} = 0,1 * (2-1) = 0,1 = 0,87$ дБ.

3.6 Мінімально допустимий рівень передачі передавача

Використовуючи формулу (3-3) можливо визначити мінімально необхідну потужність передавача ВКЗ. Розглянемо декілька варіантів виконання ВЧ зв'язку.

1. Використовується подовжена антена передавача, яка дорівнює одній восьмій довжини хвилі на робочій частоті 450 м.

Тоді загасання антенного пристрою дорівнює 12 дБ. Загальне загасання ВЧ каналу визначимо по (3-6):

$$a_{\text{тр}} = 7,53 + 0,99 + 0,43 + 0,078 + 0,608 + 12 + 3,3 + 9 + 0,87 = 35 \text{ дБ.}$$

Мінімально необхідна для стійкої передачі потужність передавача, по (3-3)

$$a_{\text{тр}} = p_{\text{пер}} - p_{\text{пр.мін}} - A_{\text{зап}}$$

або

$$p_{\text{пер}} = a_{\text{тр}} + p_{\text{пр.мін}} + A_{\text{зап}} = 35 + (-28) + 9 = 16 \text{ дБ.}$$

або

$$p_{\text{пер}} = 0,001 * 10^{16/10} = 0,04 \text{ Вт.}$$

2. Використовується укорочена антена передавача, яка дорівнює четверті довжини хвилі 225 м.

Загасання антенного пристрою дорівнює 25 дБ.

Загасання ВЧ каналу:

$$a_{\text{тр}} = 7,53 + 0,99 + 0,43 + 0,078 + 0,608 + 25 + 3,3 + 9 + 0,87 = 48 \text{ дБ.}$$

Мінімально необхідна потужність передавача:

$$p_{\text{пер}} = 48 - 28 + 9 = 29 \text{ дБ} = 0,794 \text{ Вт.}$$

Сучасна схемотехніка дозволяє на сучасній базі елементів побудувати невеликі передавачі з малою напругою живлення (9-20 В) та потужністю передачі 3-5 Вт., з запасом в 11 дБ, що достатньо для надійної роботи при зміні погоди (ожеледиця, підвищений рівень завад при ввімкненні лінії в роботу), та при підвищенні загасання в наслідок ушкодження лінії (обрив проводу, замикання на землю).

Таким чином, як показав розрахунок, можливо організувати передачу даних про напрям протікання струмів КЗ на підстанцію навіть без зміни основних каналів зв'язку по ПЛ та при важких умовах передачі: загороджувачі встановлені тільки в робочих фазах, апаратура ПВЗК під'єднана без розподільчого фільтру, велика довжина ділянок каналу, велике число відгалужень при організації на деяких підстанціях каналів зв'язку. Крім того передавач має простий пристрій приєднання (відрізок проводу натягнутий між двома опорами), яке не має електричного зв'язку з проводами ПЛ, та не потребує наладки.

3.7 Структурна схема і базові функціональні блоки системи вказівника короткого замикання

Система ВКЗ складається з двох функціональних систем, одна з яких встановлюється в місці розгалуження лінії (передавач), а інша встановлюється на підстанції і під'єднується до підстанціонного лінійного зв'язку, а точніше до фідеру приєднання (приймач). При наявності на лінії декількох пристроїв ВКЗ, організація незалежних каналів зв'язку здійснюється за рахунок часового розділення сигналів, якщо КЗ відбулося в момент часу t , то передача першого ВКЗ буде здійснюватись в момент часу $t + \Delta t_1$, передача другого ВКЗ в момент $t + \Delta t_1 + \Delta t_2$, і т.д. Причому необхідно так вибирати інтервали Δt , щоб Δt_1 було більше ніж час спрацювання автоматики лінії (АПВ, РЗ і т.д.), щоб передача не

здійснилась в момент комутації лінії. Інші інтервали повинні вибиратись з умови, що ці інтервали значно більше часу передачі сигналу.

Розділення сигналів в часі дозволяє значно спростити схему передавача та приймача сигналу, та проводити передачу інформації на одній частоті без будь-якої модуляції.

Згідно описаному принципу передаючий блок системи ВКЗ може бути виконаний по структурній схемі показаній на рис. 3.2, а.

При проходженні струму КЗ по ЛЕП в електромагнітному датчику Д наводиться ЕРС, яка випрямляється та надходить на регульований підсилювач П. Регулюванням коефіцієнту підсилення регульованого підсилювача здійснюється відстройка передаючого пристрою від робочих та пускових струмів в лінії (вибір струму спрацювання проводиться аналогічно до релейного максимального струмового захисту). Якщо електромагнітний датчик виконати конструктивно аналогічно застосованому в вказівниках серії УПУ, то відпадає необхідність в підстройці від кидків струмів намагнічування трансформаторів (п. 2.2).

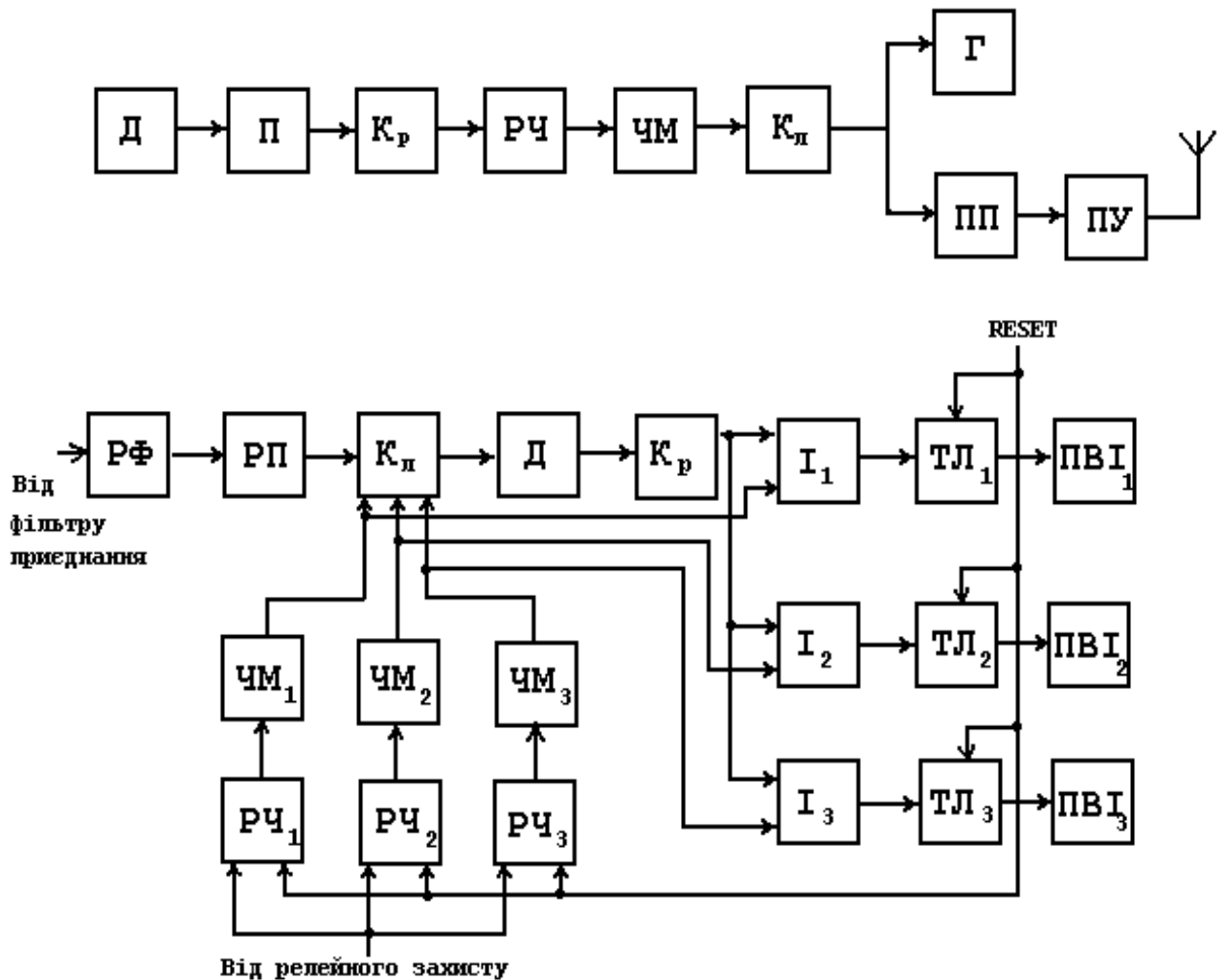


Рисунок 3.2 - Структурна схема системи ВКЗ

а-передавач; б-приймач

При перевищенні сигналу на виході підсилювача деякого значення, відбувається перемикання компаратора K_p , і на його виході з'являється керуюча напруга, яка запускає реле часу $РЧ$. Реле часу використовується для здійснення витримки часу після проходження струму КЗ для часового розділення сигналів. Коли витримка часу закінчиться, на виході реле часу з'явиться керуюча напруга, яка запусить чекаючий мультивібратор $ЧМ$, який видасть імпульс заданої довжини. Цей імпульс за допомогою ключа $Кл$ під'єднує до джерела живлення генератор частоти $Г$ та підсилювач потужності $ПП$. Змінна напруга з виходу генератора підсилюється підсилювачем потужності та через пристрій узгодження $ПУ$ надходить до антенного пристрою.

приєднання. Пристрій узгодження необхідний для узгодження низького вихідного опору підсилювача потужності ПП (1...5 Ом) з опором антенного пристрою приєднання (60...80 Ом).

Таким чином цей пристрій після проходження струму КЗ по ЛЕП видає потужний імпульс сигналу необхідної частоти та тривалості з витримкою часу, яка встановлюється в реле часу.

Живлення передаючого пристрою раціонально здійснювати від сонячно-аккумуляторної батареї. Цей пристрій представляє собою блок з сонячної та аккумуляторної батареї, які розташовані в одному корпусі та ввімкнених паралельно (рис. 3.3).

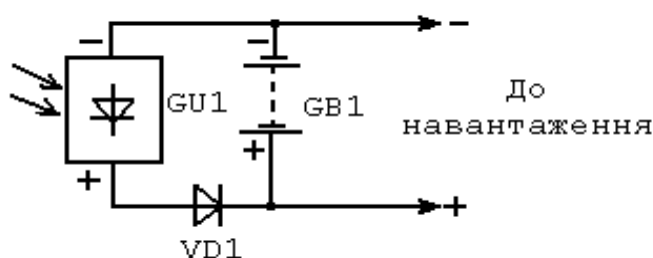


Рисунок 3.3 - Принципова схема сонячно-аккумуляторної батареї

Вони узгоджені по електричним параметрам та мають загальну пару затискачів для подачі струму на радіопристрій через під'єднувальний кабель. Сонячно-аккумуляторний блок при прямому або розсіяному світлі може або живити апарат і одночасно підзаряджати акумулятори, або тільки живити апарат при від'єднаних акумуляторах, або тільки заряджати акумулятори, а в темний час доби живити апарат від акумуляторних батарей. Для того щоб не допустити розряду батареї акумуляторів через сонячну батарею передбачений розділюючий діод VD1.

В теперішній час розроблені та освоєні в виробництво такі пристрої. Один з них “Електроніка М1” яка застосовується для роботи з апаратурою, яка має напругу живлення 9В. Вона забезпечує постійний струм навантаження 60...120 мА при напрузі 7.5...9 В. Його сонячна батарея складається з 30 фотоелементів, які з’єднанні паралельно-послідовно. Акумуляторна батарея складається з семи ввімкнених послідовно дискових акумуляторів Д-0.26. Мінімальний час зарядки 5 год., температурний діапазон експлуатації - 20...+40°C, маса пристрою не більше 450 г.

Прийомний пристрій (рис. 3.2, б) складається з наступних вузлів:

РФ - роз’єднувальний фільтр, який служить для виділення потрібної смуги частот та зменшення впливу даного пристрою на інші канали зв’язку;

РП - резонансний підсилювач, який підсилює тільки частоту передавача ВКЗ, та зміненням підсилювання якого встановлюють мінімально необхідний рівень прийому;

К_л - ключ, який дозволяє походження сигналу з виходу резонансного підсилювача на детектор при наявності дозволяючого рівня на виході одного з чекаючих мультівібраторів;

Д - амплітудний детектор, який виконує випрямлення сигналу поступаючого з резонансного підсилювача;

К_р - компаратор, який перетворює плавне змінення напруги на виході амплітудного детектора в чіткий імпульс з крутими фронтами (має релейну характеристику);

І - логічний елемент “ і “, видає дозволяючий сигнал на виході при присутності сигналу одночасно на обох входах;

ТП - тригер-пастка, який при надходженні на його вхід дозволяючого імпульсу будь-якої тривалості встановлюється в стійке положення, поки не прийде імпульс на вхід “ reset ” (виконується на RS тригері);

ПВІ - пристрій відображення інформації, по індикації якого визначають спрацювання ВКЗ;

ЧМ - чекаючий мультивібратор, який по приходу на його вхід дозволяючого імпульсу різної тривалості видає імпульс строго визначеної тривалості;

РЧ - реле часу, які по приходу запускаючого імпульсу на їх вхід, через деякий проміжок часу, який визначається витримкою реле часу, видає постійний сигнал на виході.

Працює пристрій наступним чином. При надходженні сигналу з релейного захисту запускається реле часу. Нехай $t_{рв1} > t_{рв2} > \dots > t_{рвn}$. Тоді першим спрацює реле часу РЧ₁, та видасть сигнал на вхід чекаючого мультивібратора ЧМ₁ та чекаючий мультивібратор видасть імпульс, тривалість якого визначає час опитування першого передавача, і який під'єднує через ключ К_л вихід резонансного підсилювача до детектора. Крім цього цей сигнал надійде на один з входів логічного елемента І₁. При наявності на вході роз'єднувального фільтру частоти, яка не дорівнює частоті настройки резонансного підсилювача та резонансного фільтру, на виході резонансного підсилювача сигнал практично відсутній, так-як коефіцієнт передачі роз'єднувального фільтру значно менший за одиницю, а коефіцієнт підсилення резонансного підсилювача низький. Якщо частота вхідного сигналу дорівнює частоті настройки, то коефіцієнт передачі роз'єднувального фільтру близький до одиниці, а коефіцієнт підсилення резонансного підсилювача максимальний. Сигнал з резонансного підсилювача через ключ надходить на детектор Д де випрямляється та надходить до компаратора. При перевищенні сигналу на вході компаратора деякого значення він спрацює, та на його виході з'являється сигнал дозволяючого рівня, який надходить на логічний елемент І₁. Так-як на одному з його входів вже присутній сигнал, то на його виході також з'являється керуючий сигнал, який ловиться тригером-пасткою і спрацює індикатор ПВІ₁, який залишається в такому стані, поки не надійде сигнал "reset". Інші елементи не спрацюють так-як на їх входах присутній тільки один сигнал.

Коли закінчиться час опитування першого передавача (закінчується імпульс на виході ЧМ₁), від'єднується ключ К_л. Через деякий час спрацює

реле часу $РЧ_2$ та запустить $ЖМ_2$, сигнал якого замкне ключ $К_л$ та під'єднає $ТЛ_2$ та $ПВІ_2$ до компаратора $К_р$. Якщо компаратор спрацює, то сигнал запишеться в $ТЛ_2$ та спрацює $ПВІ_2$. При відсутності сигналу, або недостатньому його рівні $ПВІ_2$ залишиться вимкненим. Таким чином виконується опит всіх ВКЗ через визначені інтервали часу.

Коефіцієнт підсилення резонансного підсилювача повинен визначатись з умови мінімально допустимого рівня приймаемого сигналу $p_{пр}$, опору $R_{вх}$, та напруги спрацювання компаратора $U_{спр}$. Тоді рівень прийому визначиться:

$U_{пр} = (p_{пр} * R_{вх})^{1/2}$ де $p_{пр}$ підставляється в ватах. Тоді, якщо коефіцієнт передачі роз'єднувального фільтру близький до одиниці, то коефіцієнт підсилення дорівнює: $K_{рп} = U_{спр} / U_{пр}$;

Нехай $U_{спр} = 0.5$ В, а $U_{пр} = (1.58 * 10^{-6} * 75)^{1/2} = 0.011$ В. ($p_{пр} = 28$ дБ або $p_{пр} = 1.58 * 10^{-6}$ Вт). Тоді $K_{рп} = 0.5 / 0.011 = 45$.

Така структурна схема володіє універсальністю, так-як дозволяє побудувати пристрій по модульному принципу, якщо передбачити місця під зовнішні блоки які б містили елементи $РЧ_н$, $ЧМ_н$, $I_н$, $ТЛ_н$, $ПВІ_н$, то число таких блоків відповідало б числу встановлених ВКЗ. При додатковому встановленні іще одного ВКЗ потрібно лише встановити лише ще один налагоджений модуль без зміни основної схеми, схема має достатню гнучкість.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Захист електроустановок цеху від короткого замикання, перевантажень

При проектуванні і експлуатації будь-якої електроенергетичної системи доводиться рахуватись з можливістю виникнення в ній пошкоджень і ненормальних режимів роботи. Найбільш поширеними і в той же час найбільш небезпечними видами пошкоджень в ній являються короткі замикання.

Одним із основних видів ненормальних режимів роботи являються перевантаження. В перевантаженому елементі виникають струми, які перевищують допустиме для нього значення. Температура струмоведучих частин може при цьому може підвищуватись, самі вони можуть деформуватись, а їх ізоляція пришвидшено зношуватись.

За умовами забезпечення безперебійної роботи непошкодженої частини системи час відключення короткого замикання повинен бути в міру можливості малим, складаючи десяті, а інколи і сотні долі секунди. Персонал, який працює в цеху, не має можливості так швидко відключити пошкоджений елемент від загальної системи. Тож для надійної роботи енергосистем, електроустановки забезпечуються автоматично діючими пристроями. Вони називаються релейним захистом. Основним призначенням релейного захисту являється відключення пошкоджених елементів від енергосистеми, а додаткове призначення – недопущення тривалих перевантажень.

Реле – основний елемент релейного захисту, яке при заданій величині зовнішнього явища (струм, напруга, частота), проводить стрибкоподібну зміну в керованих системах.

Реле являється основним елементом будь-якої схеми релейного захисту. Терміном реле позначається широка група автоматичних пристроїв, які

використовуються в релейному захисті, автоматиці, телемеханіці, телефонії і т.д.

Реле класифікуються на:

- електромеханічні з рухомими елементами і контактними системами і статичні без рухомих елементів і контактів;
- вимірювальні і логічні;
- струму, напруги і потужності;
- первинні і вторинні.

Донедавна пристрої релейного захисту будувались з використанням в основному електромеханічних реле. Та останнім часом все більше застосовуються статичні реле і захист на їх основі. Перевагою статичних безконтактних реле, частково, являються менші габарити і споживаючі потужності, можливість їх виготовлення дуже швидкодіючими, висока вібро- і ударостійкість.

Релейний захист виконується у виді автономних пристроїв, які встановлюються на елементах електричної системи, і реагують на пошкодження у завданих зонах, діючи на вимикачі цих пристроїв. Сукупність зон повинна охоплювати всю систему, щоб ні одна точка її не була незахищеною. Релейний захист повинен працювати як при зовнішніх так і при внутрішніх пошкодженнях.

Під пристроєм релейного захисту слід розуміти реле або сукупність реле і допоміжних елементів, які повинні у випадках пошкоджень або небезпечних ненормальних режимах роботи елемента системи відключати його впливом на вимикачі або впливати на сигнал.

Історично першими і найбільш багаточисельними пристроями автоматики являються пристрої релейного захисту, які відключають пошкоджений елемент від джерела живлення. В мережі з напругою, меншою від 1000 В, в якості пристроїв захисту широко застосовуються вимикачі з вбудованими в них електромагнітними або тепловими роз'єднувачами (автоматичні вимикачі) АВ або запобіжники з плавкими вставками П, які

широко застосовуються також для трансформаторів трансформаторних підстанцій ТП. В мережі з напругою, більшою від 1000 В, в якості пристроїв захисту широко застосовуються пристрої релейного захисту РЗ, які виконуються з використанням спеціальних автоматичних пристроїв – реле. Їх підключають до елементів системи, які необхідно захистити, через вимірювальні трансформатори струму або напруги.

Розробка схеми електроспоживання цеху передбачає використання пристроїв захисту (АВ, П і РЗ), якими обладнуються всі елементи системи електрозабезпечення. Призначенням пристроїв РЗ, окрім відключення пошкоджених елементів системи, являється також сигналізація про появу ненормальних режимів роботи елементів системи.

4.2 Протипожежні вимоги до освітлення

Внаслідок невиконання електротехнічних правил, а також під впливом навколишнього середовища (води, пилу, хімічних активних речовин) нормальний стан електроосвітлювальних установок порушується. В таких випадках в електричних колах виникають короткі замикання, перевантаження, перехідні опори, електрична дуга або іскріння, а також шкідливі вихрові струми.

Під час короткого замикання виділяється багато тепла, яке нагріває провідник до температури спалаху ізоляції і вище. Ізоляція проводів або навколишнє гаряче середовище можуть спалахувати, коли в електричному колі виникають небезпечні щодо нагрівання місцеві перехідні опори.

Для захисту електроосвітлювальних установок від перевантаження застосовують плавкі запобіжники, установочні автомати і термореле.

Основні шляхи зниження пожежної небезпеки під час експлуатації електроосвітлення такі: вибір електроосвітлювальних установок з таким розрахунком, щоб вони не стали джерелом займання того середовища, в якому експлуатуються; при монтажі електроосвітлювальних ліній та світильників

забезпечення міцності ізоляції; встановлення відстані між провідниками із струмом різної полярності, а також між проводами та заземленими предметами; щільність контактів, надійний захист від механічних пошкоджень, перевантажень, коротких замикань тощо; при виборі світильників враховувати особливості класифікації приміщень згідно з правилами обладнання електротехнічних установок. Треба також мати на увазі, що колби потужних ламп (500Вт і більше) нагріваються до температури 200–250⁰С і від цього можуть зайнятись горючі матеріали.

Відповідно до цих вимог у робочих приміщеннях машинобудівних підприємств, де використовується схема електроспоживання, застосовують відкриті, захищені, вологозахищені, пилонепроникні, вибухозахищені та спеціальні світильники.

4.3 Перша медична допомога людині, що отримала ураження електричним струмом

Перша допомога при нещасних випадках від електричного струму складається з двох етапів: звільнення постраждалого від дії струму і надання йому медичної допомоги.

Звільнення постраждалого від дії струму може бути виконано декількома способами. Найбільш простий і надійний спосіб – це відключення відповідної частини електроустановки. Якщо відключення швидко провести чомусь неможливо (наприклад, далеко розміщений вимикач), можна при напрузі до 1000 В перерубати провід сокирою з дерев'яною ручкою і відтягнути постраждалого від струмоведучої частини, взявшись за його одяг, якщо він сухий, відкинути від нього провід з допомогою дерев'яної палки і т.п.

При напрузі вище 1000В потрібно застосувати діелектричні рукавиці, боти і в необхідних випадках ізолюючу штангу або ізолюючі кліщі, які розраховані на відповідну напругу.

Заходи першої медичної допомоги постраждалому від електричного струму залежать від його стану. Якщо потерпілий не втратив свідомості, але до цього він її втрачав або тривай час знаходився під струмом, йому необхідно забезпечити повний спокій до прибуття лікаря або терміново доставити лікувальний заклад.

При відсутності свідомості, але при наявності дихання і роботі серця треба рівно і зручно положити потерпілого на м'яку підстилку, розщепнути ремінець і одяг, забезпечити притік свіжого повітря. Потрібно давати нюхати нашатирний спирт, оббризкувати лице холодною водою, розтирати і зігрівати тіло.

Якщо потерпілий погано дихає – рідко, судорожно або якщо дихання поступово погіршується, то необхідно зробити штучне дихання. При відсутності ознак життя потрібно робити штучне дихання і зовнішній масаж серця.

Штучне дихання повинно бути почате зразу ж після звільнення потерпілого від дії струму і виявлення його стану. Воно повинно проводитися методом, відомим під назвою “рот в рот”, яке заключається в тому, що особа, яка надає допомогу, вдуває повітря із своїх легень в легені потерпілого через його рот. Встановлено, що повітря, яке видихається з легень, вміщує достатню для дихання кількість кисню. При цьому способом потерпілого кладуть на спину, відкривають йому рот і видаляють з рота по сторонні предмети і слизь. Для відкриття гортані потрібно закинути голову потерпілого назад, підложивши голову одну руку, а другою рукою натискати на чоло або тім'я потерпілого до такого ступеня, щоб підборіддя опинилось на одній лінії з шиєю.

Після цього особа, яка надає допомогу, робить глибокий вдих і з силою видихає повітря в рот потерпілого. При цьому він повинен охопити своїм ротом рот потерпілого і своїм лицем або пальцями руки закрити йому ніс. Потім потрібно зробити ще один вдих. В цей період грудна клітка опускається, і він робить пасивний видих. В одну хвилину потрібно робити 10-12 вдихів. Вдих повітря можна проводити через марлю або спеціальну трубку. При

виникненні у потерпілого самостійного дихання деякий час потрібно продовжувати штучне дихання до повного приведення потерпілого до свідомості.

Ціль зовнішнього масажу серця штучно підтримати в організмі кровообіг і відновити самостійну діяльність серця.

Визначивши прощупуванням місце надавлювання, яке повинне знаходитись приблизно на пальці вище м'якого кінця грудини особа, яка надає допомогу, кладе на нього нижню частину долоні однієї руки, а потім зверху першої руки кладе під прямим кутом другу і надавлює на грудну клітку потерпілого, злегка допомагаючи при цьому нахилом свого корпусу. Надавлювати слід приблизно один раз в секунду швидким поштовхом так, щоб просунути нижню частину грудини в низ в сторону хребта на 3-4 см, а в повних людей – 5-6 см.

Одночасно з масажем серця потрібно робити штучне дихання. Вдування потрібно робити в проміжках між надавлюванням або ж під час спеціальної паузи через кожні 4-5 надавлювань. Якщо допомогу надає одна людина, то вона повинна чергувати операції: після двох вдувань повітря приводити 15 надавлювань на грудну клітку.

Про відновлення діяльності серця у потерпілого можна судити тоді, коли в нього появляється власний, не підтримуючий масажем пульс. Для перевірки пульсу необхідно перервати масаж на 2-3 с.

При роботі в цехах, де використовуються схеми електроспоживання, працівники повинні вміти і знати правила надання першої медичної допомоги при ураженні людини електричним струмом.

4.4 Підвищення стійкості системи цеху нестандартного обладнання

Однією з основних задач цивільної оборони являється проведення заходів, направлених на підвищення стійкості роботи об'єкта в умовах надзвичайних ситуацій (сучасної війни).

Під стійкістю роботи промислового об'єкта розуміють здатність його в умовах воєнного часу випускати продукцію в запланованому об'ємі, а при отриманні малих і середніх пошкоджень або порушення зв'язку по кооперації і поставкам відновлювати виробництво в мінімальні відрізки часу.

Під стійкістю роботи об'єктів розуміють їх можливість виконувати свої функції в умовах надзвичайних ситуацій (сучасної війни).

На стійкість роботи цеху в воєнний час впливають наступні фактори: надійність захисту працюючих від дії зброї масового ураження; можливість інженерно-технічного комплексу цеху протистояти ударній хвилі, світловому випромінюванню і радіації; захист від вторинних вражаючих факторів (пожеж, вибухів, затоплень, зараження отруйними речовинами); надійність системи постачання цеху всім необхідним для виробництва продукції (електроенергією, водою, газом, сировиною і т.п.); стійкість і неперервність керування виробництвом і цивільною обороною; підготовка цеху до проведення рятувальних невідкладних аварійно-відновлюваних робіт і робіт по відновлюванні виробництва.

Надійна робота підприємств в умовах військового часу нерозривно пов'язана із захистом робітників, що служать і членів їх сімей від зброї масового ураження, для забезпечення якої в мирний час проводяться наступні основні заходи: підтримка в постійній готовності системи сповіщення; забезпечення фонду сховищ на об'єкті для працюючої зміни і протирадіаційних укриттів в заміській зоні для відпочиваючої зміни і членів сімей робітників і службовців; планування і виконання підготовчих робіт по будівництву на об'єкті сховищ і ПРУ в заміській зоні; підтримка в готовності захисних споруд і організація обслуговування сховищ і укриттів; планування і підготовка до розосередження і евакуації в заміську зону виробничого персоналу і членів сімей; накопичення, зберігання і підтримка готовності засобів індивідуального захисту; навчання робітників і службовців способам захисту і діям по сигналах сповіщення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Існуючі методи та засоби визначення міста ушкодження повітряних ЛЕП потребують в встановленні додаткових пристроїв (ВКЗ) в містах розгалужень, для надання виїзним бригадам додаткової інформації про направлення проходження струму короткого замикання. Конструктивні рішення цього пристрою мають суттєвий недолік – зняття інформації про спрацювання робиться візуально, необхідно наблизитись на невелику відстань до міста встановлення ВКЗ. Знешкодження цього недоліку дозволило б скоротити час пошуку місця ушкодження та підвищило б економічний ефект від застосування ВКЗ.

Один з варіантів усунення цього недоліку – передача інформації безпосередньо по проводам ЛЕП, для цього необхідна організація симплексного незалежного каналу зв'язку.

Для визначення можливості передачі даних від автономного пристрою було досліджено розповсюдження струмів високої частоти по повітряним ЛЕП та проведений розрахунок для конкретної ЛЕП з відгалуженнями, причому були взяті найбільш важкі умови зв'язку. В результаті розрахунків з'ясувалось, що потужність сигналу, що передається повинна складати декілька Вт, що конструктивно реально можливо виконати.

Таким чином була доказана можливість створення конструкції ВКЗ з передачею даних по проводам ЛЕП.

Крім цього була запропонована та розглянута можлива структурна схема даного комплексу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Конспект лекцій з дисципліни “Електропостачання промислових і муніципальних об’єктів” для студентів 5-го курсу денної та заочної форм навчання за ОП 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопіль: ТНТУ.- 2024. - Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>
2. Сисак І.М. Електропостачання промислових і муніципальних об’єктів [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 1748): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>.
3. В.Я. Решетник, І.М. Сисак. Конспект лекцій з дисципліни “Електричні системи та мережі” спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Тернопіль: ТНТУ. - 2016.- 152 с.
4. Сисак І.М. Електричні системи та мережі [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 1747): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011.
5. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електроенергетики та електропостачання: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. - Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 436 с. ISBN 978-966-553-833-2
6. Кілик Ю.З. Визначення місць короткого замикання на лініях з відгалуженнями / Ю.З. Кілик, А.З. Стасів, І.М. Сисак // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 11-12 грудня 2024. — Т : ТНТУ, 2024.
7. Белякова І.В. Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 1748): офіційний сайт Тернопільського національного

технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>.

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

9. <http://www.maksvel.com.ua/index.php/dovidnyk-elektryka/75-metody-vyznachennia-mistsia-poshkodzhennia-kabeliu>

10. Січкарь Ю.М. Обґрунтування способу визначення відстані до місця виникнення однофазного замикання на землю. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

11. Егорова О.Ю., Егоров О.Б., Карова Т.Л. Порівняльний аналіз методів визначення місця пошкодження ПЛЕП. Системи озброєння і військова техніка. 2009. №2(18). С. 141-144.

12. Плешков П.Г., Котиш А.І., Сіріков О.І. Розробка фіксатора коротких замикань для повітряних ліній електропередач напругою 110-150 кВ. Вісник НТУ «ХПІ». 2015. № 42. С. 8-11.

13. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.

14. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

15. Гурик О.Я. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 4656): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2017. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>.

ДОДАТКИ

Додаток А

Приєднана симетрична лінія по схемі «фаза-земля»

Еквівалентна схема лінійного ВЧ каналу показана на рис. 2. 11. Пристрої опрацювання і приєднання не показані. Умовно показаний еквівалентний генератор, яким замінений передавач і весь канал приєднання (рис. 2. 12)

Опір навантаження на приймальному кінці дорівнює вхідному опоріві фільтра приєднання на цьому кінці.

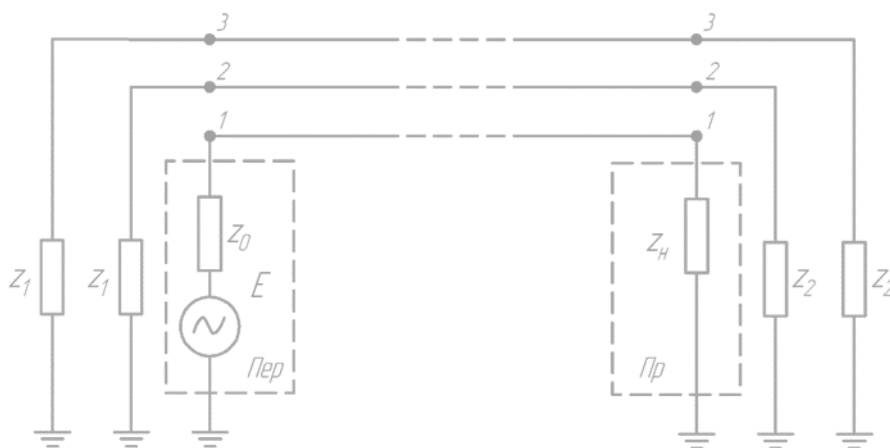


Рисунок 2.11 - Еквівалентна схема лінійного каналу при приєднанні за схемою фаза-земля.

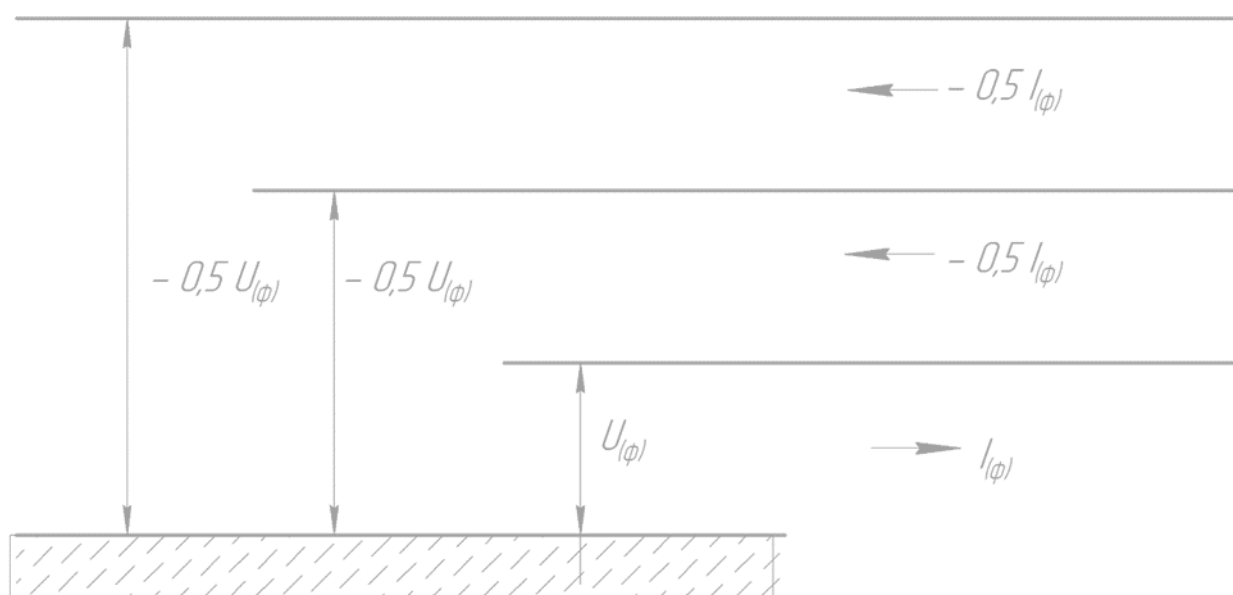


Рисунок 2.12 - Канал приєднання і його еквівалентної схеми. 1 - передавач;
2 - фільтр приєднання; 3 - конденсатор зв'язку

Генератор і навантаження зображені під'єднаними до одного з проводів, що називається робочим проводом або робочою фазою (провід 1). У еквівалентній схемі передбачається, що ВЧ загороджувач цілком відокремлює робочу фазу від шин підстанції і ця фаза зображена приєднаною тільки до генератора і навантаження. Вільні (неробочі) фази навантажені на зосереджені опори Z_1 і Z_2 , еквівалентні вхідному опорів шин підстанції; значення цих опорів залежать від характеру і кількості енергетичного устаткування, залученого до шин, і можуть змінюватися при комутації устаткування високої напруги.

Припустимо, що вільні фази заземлені, $Z_1=Z_2=0$. При цьому напруга в робочій фазі на початку лінії дорівнює напрузі на виході генератора, а напруги на неробочих фазах рівні нулю:

$$U_1=U_{\text{пер}}; U_2=U_3=0 \quad (2.48)$$

Знаючи напруги на проводах, із системи рівнянь (2-35) з урахуванням (2-48) знаходимо напруги хвильових складових у першій фазі:

$$U_{(1)}=2/3U_{\text{пер}}; U_{(2)}=0; U_{(0)}=1/3U_{\text{пер}} \quad (2.49)$$

З рівняння (2-36) знаходимо сумарну напругу міжфазних хвиль у кожній фазі:

$$U_{1(\phi)}=2/3U_{\text{пер}}; U_{2(\phi)}=-1/3U_{\text{пер}}; U_{3(\phi)}=-1/3U_{\text{пер}} \quad (2.50)$$

або

$$U_{2(\phi)}=U_{3(\phi)}=-0.5U_{1(\phi)} \quad (2.51)$$

Напруги міжфазних хвиль у неробочих фазах удвічі менше напруги в робочій фазі і протилежні йому за знаком. Оскільки струми міжфазних хвиль пов'язані з відповідними напругами через хвильові опори (2-27), та співвідношення (2-51) справедливо і для струмів:

$$I_{2(\phi)}=I_{3(\phi)}=-0.5I_{1(\phi)} \quad (2.52)$$

З приведених співвідношень для струмів і напруг у фазах випливає, що міжфазна хвиля поширюється по шляху робоча фаза—дві неробочі фази тобто по шляху фаза—дві фази, як показано на рис. 2.13.

Якщо опори навантаження неробочих фаз не рівні нулю, то співвідношення між напругою передавача і напругами хвильових складових буде відрізнятися від (2-49), проте співвідношення (2-51) між напругами міжфазних хвиль у фазах лінії справедливо при будь-яких значеннях опорів навантаження неробочих фаз.

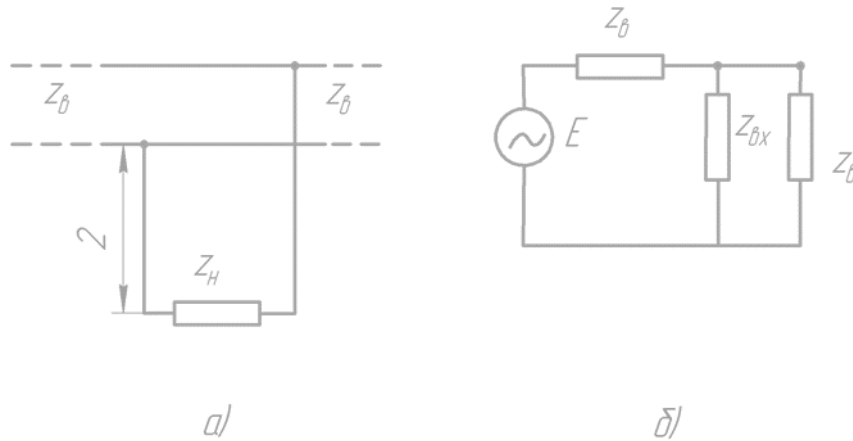


Рисунок 2.13 - Струми і напруги міжфазного каналу

Від значень опорів Z_1 залежить тільки співвідношення між напругами міжфазної і заземленої хвиль на початку лінії. Чим більше Z_1 , тим більше відносне значення напруги заземленої хвилі.

Знаючи напругу хвильових складових у проводах на початку лінії, можна визначити потужність міжфазної хвилі:

$$P_{(H)(\Phi)} = U_{21(\Phi)}^2 / Z_{B(\Phi)} + U_{22(\Phi)}^2 / Z_{B(\Phi)} + U_{23(\Phi)}^2 / Z_{B(\Phi)} \quad (2.53)$$

а по (2-44) знайти вираз для кінцевого загасання. Отриманий в такий спосіб вираз для кінцевого загасання на одному кінці має вигляд, дБ

$$a_k = 10 \lg \frac{2}{3} (1 + 1/(2\eta_1)) (1 + 1/(2\eta_{1q0})) \quad (2.54)$$

де

$$\eta_1 = (1/q_0)(q_0 + q_1)/(1 + q_1); \quad (2.55)$$

$$q_0 = Z_{B(0)} / Z_{B(\Phi)}; \quad q_1 = Z_1 / Z_{B(\Phi)}.$$

Роздивимося визначення вхідного опору лінійного каналу.

Найбільший інтерес подає визначення вхідного опору нескінченно довгої лінії, тобто характеристичного опору лінійного каналу.

З рис. 2.10, б можна отримати такий вираз для характеристичного опору лінійного каналу при однофазному приєднанні

$$Z_v = Z_{v(\phi)} [3q_0 + q_1(q_0 + 2)] / (1 + 2q_0 + 3q_1) \quad (2.56)$$

Нижче приведена залежність значення кінцевого загасання на два кінці і відношення $Z_c/Z_{v(\phi)}$ від опорів навантаження неробочих фаз $Z_1 = Z_2$ для характерного значення $q_0 = 1,7$.

$Z_1 = Z_2$	0	$Z_{v(\phi)}$	$Z_{v(0)}$	∞
a_k , дБ	2,3	3,5	3,9	5,5
$Z_c/Z_{v(\phi)}$	1,16	1,19	1,20	1,23

З приведених даних випливає, що значення характеристичного опору мало залежить від Z_1 і змінюється усього на $\pm 3\%$ середнього значення при $Z_1 = Z_{v(\phi)}$. Для більшості ліній з нерозщепленими фазами значення $Z_{v\phi}$ лежить у межах 350-450 Ом. При цьому середнє значення характеристичного опору лінійного каналу звичайно береться рівним $Z_c = 450$ Ом незалежно від умов навантаження неробочих фаз.

Додаток Б**Вплив відгалужень від ПЛ**

Як відзначалося, наявність на ПЛ відгалужень істотно ускладнює задачу створення по цій лінії ВЧ каналів зв'язку. Лінії з відгалуженнями є багатокінцевими лініями, що заходять на декілька підстанцій. Лінія з одним відгалуженням заходить на три підстанції, лінія з двома відгалуженнями на чотири і т.д. У багатьох випадках саме відгалуження не використовується для зв'язку, тобто з підстанцій на кінці відгалуження не створюється канал ВЧ зв'язку. Проте відгалуження шунтує основну лінію, унаслідок чого збільшується загасання лінійного каналу по цій лінії.

Приріст загасання лінійного каналу, обумовлений відгалуженням від лінії, називається загасанням, внесеним відгалуженням. Це загасання залежить від довжини відгалуження, умовного навантаження його фаз по високій частоті на підстанції і значення робочої частоти. Оскільки умови навантаження фаз на кінці відгалуження змінюються при переключеннях на підстанції, то загасання, внесені відгалуженням, не залишається постійним в часі.

Залежність внесеного загасання від частоти викликає збільшення нерівномірності частотної характеристики загасання каналу зв'язку в цілому, що в ряді випадків може привести до перекручувань телефонної передачі.

У деяких випадках відгалуження використовується для зв'язку, тобто виконуються ВЧ канали зв'язку підстанції на кінці відгалуження з одною або обома підстанціями основної лінії. Зв'язок між усіма кінцями лінії з відгалуженнями потрібно, наприклад, для ВЧ релейного захисту цих ліній, тому що для роботи ВЧ захисту необхідний обмін сигналами між усіма підстанціями багатокінцевої лінії.

Роздивимося спочатку найпростіший випадок нескінченно довгої (або навантаженої на узгоджене навантаження) двопровідної лінії з одним відгалуженням, як показано на рис. 2.13,а. 2.13,б. Еквівалентна розрахункова схема для цього випадку показана на рис. 2.13,б, де ліва частина лінії, до якої залучений передавач, замінена еквівалентним генератором із внутрішнім

опором $Z_{\text{эКВ}}=Z_{\text{В}}$. Права (приймозна) частина лінії замінена вхідним опором лінії, рівним її хвильовому опорові, а відгалуження замінене вхідним опором $Z_{\text{ВХ}}$. Загасання, внесені відгалуженням, визначається як десятковий логарифм відношення потужності, що надходить у праву половину лінії при відсутності відгалуження ($Z_{\text{ВХ}}=\infty$), до потужності при наявності відгалуження ($Z_{\text{ВХ}}\neq\infty$). Вираз для внесеного загасання легко визначається з розрахункової схеми рис. 2.13,б і має вигляд:

$$a_{\text{від}}=20\lg\left|1+Z_{\text{В}}/2Z_{\text{ВХ}}\right| \quad (2.57)$$

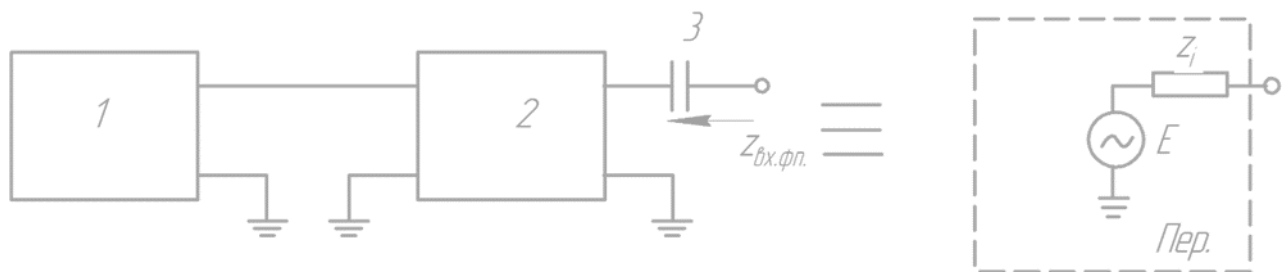


Рисунок 2.14 - Двопровідна лінія з відгалуженнями
а - фізична схема, б - еквівалентна розрахункова схема

Вхідний опір залежить від відношення падаючих і відбитих хвиль напруги і струму на вході відгалуження. Коли відбита хвиля напруги протилежна по фазі падаючій хвилі, напруги цих хвиль віднімаються, а їхні струми складаються. При цьому вхідний опір відгалуження мінімальний, а загасання, внесені відгалуженням, максимальне.

Якщо відгалуження розімкнуте на кінці ($Z_{\text{н}}=\infty$), то коефіцієнт відбиття від кінця відгалуження дорівнює $+1$. При цьому зсув фаз між напругами падаючої відбитої хвиль на початку відгалуження буде визначатися часом пробігу хвилею подвійної довжини цього відгалуження (пробіг падаючої хвилі від початку відгалуження до його кінця і пробіг відбитої хвилі від кінця відгалуження до його початку). Загальний зсув фаз між напругами падаючих і відбитої хвиль на початку відгалужень визначається по формулі:

$$\Delta\varphi=2l\beta=2l\omega/v=4\pi lf/v \quad (2.58)$$

Вважаючи $\Delta\varphi=\pi$ (зміну фаз на 180°), одержуємо вираз для довжини відгалуження або значення робочої частоти, при яких загасання, внесене відгалуженням, максимальне:

$$L=v/4f=\lambda/4; f=v/4L$$

де $\lambda=v/f$ -довжина хвилі переданих коливань; v - швидкість поширення хвиль у лінії.

Таким чином, відгалуження, розімкнуте на кінці, вносить найбільше загасання, коли його довжина дорівнює чверті довжини хвилі або непарному числу чвертей довжини хвилі. Якщо довжина відгалуження при $Z_H=\infty$ дорівнює половині довжини хвилі (або цілому числу половин довжини хвилі), то падаюча і відбита хвилі на початку відгалуження збігаються по фазі і загасання, внесене відгалуженням, мінімальне.

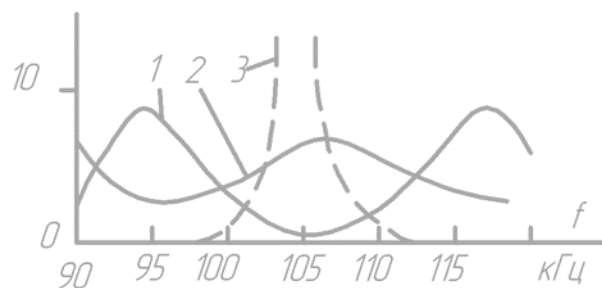


Рисунок 2.15 - Результати виміру загасання, внесеного відгалуженням на лінії 110 кВ.

Аналогічно можна показати, що коли відгалуження на кінці закорочено ($Z_H=0$), то воно вносить максимальне загасання при довжині, рівній половині довжини хвилі, і мінімальне при довжині, рівної однієї чверті довжини хвилі.

Вхідний опір двопровідної лінії в загальному випадку визначається таким виразом:

$$Z_{вх}=Z_B(1-Ke^{-2\gamma l_{від}})(1+Ke^{-2\gamma l_{від}}) \quad (2.59)$$

де K -коефіцієнт відбиття від кінця;

γ -стала поширення, у якій загасання виражене на одиницю довжини.

По формулах (2-57) (2-59) можна підрахувати значення загасання, внесеного відгалуженням в двопровідну лінію.

Якщо відгалуження настільки довге, що хвиля, відбита від його кінця, практично не доходить до його початку (до місця розгалуження), або якщо відгалуження навантажене узгоджено, то вхідний опір відгалуження дорівнює хвильовому опорі. При цьому відповідно до формули (2-57) загасання, внесене відгалуженням складає 3.5 дБ.

Додаток В

Вплив відгалуження, яке не використовується для організації зв'язку, під час обробки його високочастотними загороджувачами

У тому випадку, якщо з підстанцією на кінці відгалуження немає каналу ВЧ зв'язку, прийнято говорити, що ця підстанція не використовується для організації зв'язку.

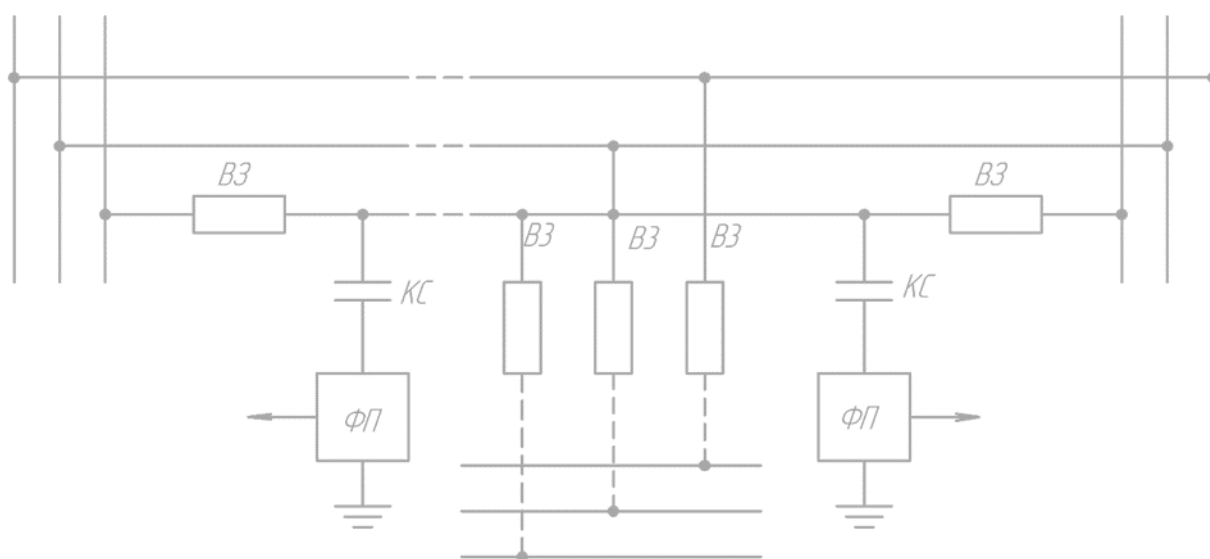


Рисунок 2.16 - Схема лінії з обробленим відгалуженням

Найбільше ефективним засобом зменшення впливу такого відгалуження на ВЧ канал по основній лінії є вмикання у фази відгалуження ВЧ загороджувачів безпосередньо в місці підключення відгалуження до лінії (у місці розгалуження). Схема лінії з відгалуженням, обробленим загороджувачами в місці розгалуження, показана на рис. 2.16. Загасання, внесене відгалуженням, залежить від опору загороджувачів і значення вхідного опору відгалуження за загороджувачами (який у свою чергу залежить від частоти). Із зменшенням вхідного опору внесене загасання зростає.

Частіше усього загороджувач включається тільки в ту фазу відгалуження, що приєднується до робочої фази лінії. При вмиканні загороджувача тільки в

робочий провід максимальне значення загасання, дБ, внесеного відгалуженням у середній частині довгої лінії, може бути розраховане по формулі:

$$a_{\text{від}} = 20 \lg(1 + Z_{\text{в}(\phi)} / 2Z_{\text{в}(0)} + 3Z_{\text{в}(\phi)} / 4Z_3) \quad (2.60)$$

У цьому випадку загасання, внесене відгалуженням, хвилеподібно змінюється з частотою, подібно тому, як показано на рис. 2-16. По формулі (2-60) визначається максимальне значення цього загасання.

Якщо загороджувачі включені в дві фази (одну робочу й одну неробочу), то загасання, внесене відгалуженням, буде менше розрахованого по формулі (2-60). Ще менше буде внесене загасання при вмиканні загороджувачів у всі три фази.

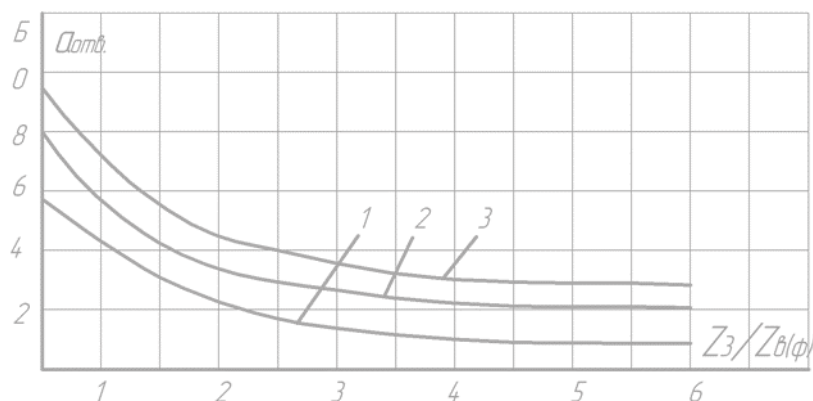


Рисунок 2.17 - Залежність максимального загасання, внесеного відгалуженням, від опору загороджувачів.

1-загороджувачі у всіх трьох фазах, 2 - загороджувачі в робочій й одній неробочій фазі, 3 - загороджувач тільки в робочій фазі.

На рис. 2.17 показані залежності максимального значення загасання, внесеного відгалуженням, від відносного опору загороджувачів ($Z_3/Z_{\text{в}(\phi)}$) при вмиканні в місці розгалуження одного, двох і трьох загороджувачів. Графік на рис. 2.17 розрахований для симетричної лінії при типових значеннях хвильових опорів $Z_{\text{в}(\phi)} = 380 \text{ Ом}$ і $Z_{\text{в}(0)} = 650 \text{ Ом}$.

Іноді по конструктивних міркуваннях підвіска загороджувачів безпосередньо в місці розгалуження важка. У цих випадках припускається деяке віддалення місця підвіски загороджувача від місця розгалуження. Проте це пов'язано зі збільшенням загасання, внесеного відгалуженням; причому збільшення тим більше, чим більше відстань від місця підвіски до місця розгалуження в порівнянні з довжиною хвилі. Відносна відстань від місця підвіски загороджувача до місця розгалуження можна висловити в долях довжини хвилі переданих коливань.