

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Січкарь Юрій Михайлович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування способу визначення відстані до місця виникнення
однофазного замикання на землю
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Січкарь Ю.М.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Голубенко Анна Анатоліївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

ст. викладач кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології
(науковий ступінь, вчене звання)

Консультат

Гончаренко Юрій Павлович
(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

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.

У роботі розглянуті принципи визначення місця короткого замикання та нові методи визначення відстані від початку приєднання 6–10 кВ до місця замикання на землю в робочому режимі.

Ключові слова: короткі замикання, лінія електропередач, заземлена нейтраль, аварійний режим.

ABSTRACT

Sichkar Yu.M. Justification of the method of determining the distance to the place of occurrence of a single-phase ground fault. Qualifying work for obtaining a bachelor's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polish National University, Zhytomyr, 2023.

The paper examines the principles of determining the location of a short circuit and new methods of determining the distance from the beginning of the 6-10 kV connection to the location of a short circuit to the ground in operating mode.

Keywords: short circuit, power line, grounded neutral, emergency mode.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ	6
1.1 Класифікація методів визначення місця пошкодження	6
1.2 Теоретичні основи визначення місця короткого замикання по параметрам аварійного режиму	10
Висновки по розділу 1	16
РОЗДІЛ 2. ПРИНЦИПИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ	17
2.1 Принципи визначення місця короткого замикання по двосторонньому вимірюванню параметрів аварійного режиму	17
2.2 Варіанти способів одностороннього заміру відстані до місця КЗ	21
Висновки по розділу 2	26
РОЗДІЛ 3. НОВІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ ВІД ПОЧАТКУ ПРИЄДНАННЯ 6–10 КВ ДО МІСЦЯ ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ В РОБОЧОМУ РЕЖИМІ.	27
3.1. Системи для визначення місця замикання на основі мікропроцесорних приладів	27
3.2 Обґрунтування моделі та принципу роботи пристрою для визначення відстані до місця короткого замикання на землю	32
Висновки по розділу 2	37
ВИСНОВКИ	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	39

ВСТУП

Суть процесу електропостачання полягає в доставці електроенергії від місця, де вона виробляється (електричні станції) до місця її споживання (електроприймачі). Транспортування електроенергії здійснюється по електричних мережах, що включають лінії електропередачі, силові трансформатори, розподільні пристрої та інше допоміжне обладнання. Сама по собі передача електроенергії здійснюється за спеціальними трифазними електричними ланцюгами високої напруги, чим вищий рівень напруги, тим з меншими втратами потужності відбувається доставка електроенергії по ланцюгу, але при цьому підвищення напруги збільшує вартість самої електроустановки, таким чином, вибір оптимального рівня напруги електроустановки – це складне техніко-економічне завдання. Як правило, розподіл електроенергії до споживачів здійснюється на класі напруги 6-35 кВ, але іноді можна зустріти підстанції глибокого введення, коли розподіл електроенергії здійснюється на напрузі 110-220 кВ.

Одна з особливостей транспорту електроенергії полягає в наявності нейтрального проводу в схемі, який є загальною точкою джерел живлення трифазної електричної системи, також званої нейтраллю .

Одним з найчастіших видів пошкоджень на лініях електропередач є однофазне замикання на землю - це вид пошкодження, коли одна з фаз трифазної системи замикається на землю або на елемент електрично пов'язаний із землею. Процеси, які у мережі при виникненні такого замикання, значною мірою залежить від режиму роботи нейтралі цієї мережі.

У мережах із заземленою нейтраллю однофазне замикання на землю є коротким замиканням. Струм пошкодження в даному випадку замикається через заземлені нейтралі первинного обладнання та має значну величину. Таке пошкодження потребує негайного знеструмлення пошкодженої ділянки.

Враховуючи цю особливість, а також складність реалізації ізоляції між фазними проводами і землею для різних класів напруги (що вищий клас напруги, тим складніше цю ізоляцію виконати), то вибір оптимального типу

нейтралі також є складним техніко-економічним завданням. Сьогодні 70-90% електричних пошкоджень приходиться на однофазні короткі замикання.

Причини однофазних замикань на землю можуть бути різні, але всі вони виникають через порушення ізоляції обладнання електроустановок, особливо на кабельних або повітряних лініях електропередачі. Порушення ізоляції може бути через її старіння, а також внаслідок механічних впливів на електроустановку, частіше це пошкодження кабелю при проведенні земляних робіт або падіння гілки дерева на провід повітряної лінії і т.д.

Тому бґрунтування способу визначення відстані до місця виникнення однофазного замикання на землю визначає **актуальність теми** кваліфікаційної роботи.

Відповідно до вище сказаного **метою кваліфікаційної роботи** являється визначення основних методів та принципів визначення місця пошкодження електричних мереж.

Об'єктом дослідження в даній роботі є однофазні короткі замикання на землю в високовольтних електричних мережах система електропостачання.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

Січкарь Ю.М. КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ.

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2023», 01.05.2023, Житомир, Україна. С. 69-71

Гончаренко Ю.П., Січкарь Ю.М. ПРИНЦИПИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ПО ДВОСТОРОННЬОМУ ВИМІРЮВАННЮ ПАРАМЕТРІВ АВАРІЙНОГО РЕЖИМУ.

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2023», 01.05.2023, Житомир, Україна. С. 69-71

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

1.1 Класифікація методів визначення місця пошкодження

В елементах електроенергетичної системи досить часто бувають ушкоджені лінії електропередач високого напруги. При виході із роботи лінії електропередачі відбувається або недовідпустка електроенергії, або зниження надійності, собівартості енергії та якості електропостачання. Тому найважливішим завданням для лінійних ремонтних служб електромережових підприємств є найшвидший пошук місця ушкодження і організація ремонтно - відновлювальних робіт. До появи в енергосистемах приладів визначення місця ушкодження (початок 60-х років) пошук ушкодження відбувався шляхом обходів, об'їздів, іноді обльотів на гелікоптері траси лінії. На це витрачалося значний час, оскільки лінії мають більшу протяжність (до сотень кілометрів), а траса часто йде по важкопрохідній місцевості. До того ж місце ушкодження іноді погано помітно навіть з близького відстані - на гірлянді ізоляторів після перекриття часто не залишається значних слідів обгорання.

Ще складніше іде справа з пошуком місця самоусуваючого пошкодження, при якому після АПВ лінія залишається в роботі. між тим ремонтним службам дуже корисна інформація про такі пошкодження, оскільки зазвичай після них частина ізоляторів у гірлянді виявляється пробитою і на лінії залишається ослаблене місце, яке в майбутньому здатне призвести до виникнення аварії. Відомий випадок, коли надвідповідальна лінія відключалася три рази з проміжком у кілька тижнів, доки не було знайдено дерево з обгорілими гілками, які при сильному вітрі зближалися з проводом. Тому необхідно шукати місце не тільки стійкого, але і самоусуваючого ушкодження.

Сказане визначило широке використання в електроенергетику методів і коштів визначення місця ушкодження (ВМУ) на лінії. Однак зазвичай вони зводяться до визначення місця короткого замикання (ВМКЗ) проводів без

замикання бувають рідко і визначити їхнє місце за співвідношенням будь-яких електричних величин досить складно. Впровадження приладів визначення місця ушкодження почалося в нашої країні в 60-х роках і в справжнє час більшість ліній напругою 110 кВ і вище оснащені такими приладами. На сьогодні йде використання приладів і на напругах 6-35 кВ, хоча і значно більше повільними темпами.

Відомо велике кількість різних методів ВМУ і ВМКЗ. на рис.1.1 наведено взята з [1] схема класифікації методів ВМУ.

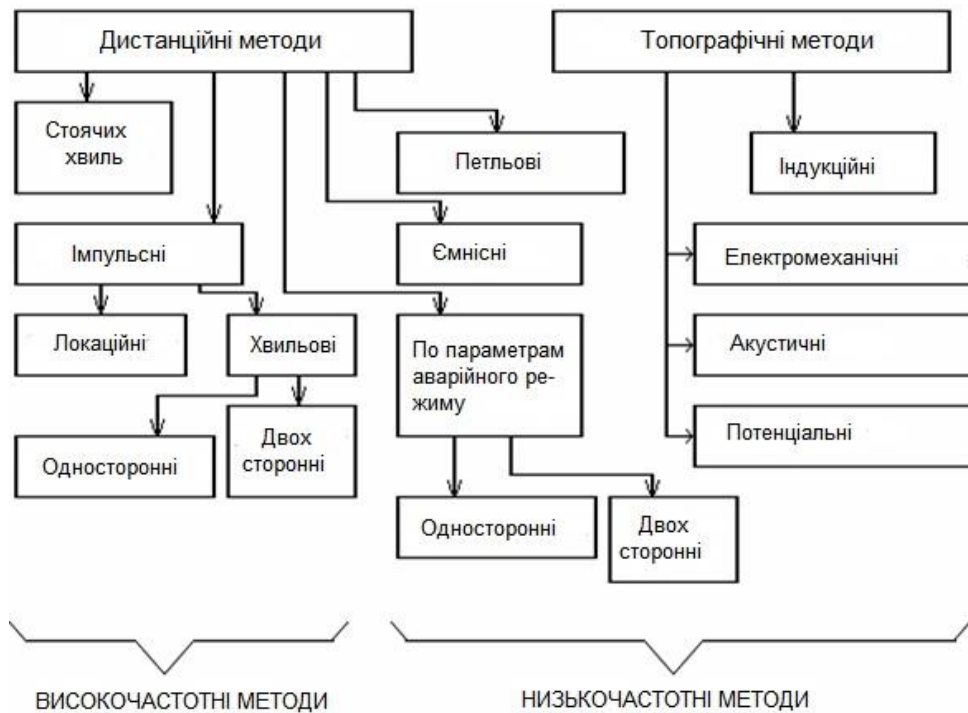


Рисунок.1.1. Схема класифікації методів ВМУ

Насамперед методи поділяються на дистанційні та топографічні. При цьому топографічні методи натякають на визначення шуканого місця безпосередньо при русі по трасі, і засоби топографічного відшукування місця ушкодження знаходяться в розпорядженні пошукової бригади. Дистанційні методи натякають на використання приладів і пристроїв, встановлюваних на підстанціях і вказівників відстані до ушкодження.

Інший розподіл методів - на високочастотні та низькочастотні. Під низькочастотним діапазоном маються на увазі частоти від нуля до кількох

кілогерц. Під високочастотним - десятки кілогерців.

Коротко охарактеризуємо методи, наведені на рисунку 1.1.

Топографічні методи

Індукційний метод заснований на тому, що пошукова бригада, рухаючись уздовж траси кабельної лінії, вловлює спеціальними приладами величину зміни магнітного та електричного поля, створеного протікаючим по лінії струмом. Струм виробляється спеціальним генератором, який підключається на підстанції до вже відключеною лінії.

Акустичний метод заснований на уловлюванні на акустичній трасі (механічних) коливань, що виникають на поверхні ґрунту при іскровому розряді в ізоляції кабельної лінії. При цьому оператор переміщується в зоні 40 метрів, знайденої яким-небудь іншим методом, і за допомогою акустичного датчиком з підсилювачем, визначається по індикатору місце максимального рівня прийому. За допомогою спеціальних пристроїв створюється іскровий розряд, який підключаються на кінці лінії після її відключення.

Потенційний метод заснований на фіксації вздовж траси електричних потенціалів, створених протікаючим по кабельній оболонці лінії (або закритого струмопроводу) струмом. У місці ушкодження вказаний потенціал має найбільше значення.

Електромеханічний метод заснований на фіксації механічних зусиль, створених за рахунок струму короткого замикання. Електромеханічні показники встановлюються стаціонарно на опорах повітряних ліній. При перебігу струму КЗ у показника випадає блінкер, стан якого перевіряють після аварії під час обходу лінії. Метод використовується переважно у мережах 6-10 кВ сільськогосподарського призначення.

Як бачимо, топографічні методи і засоби використовуються ремонтними службами тому до роботі служб релейний захисту відносини не мають.

Високочастотні дистанційні методи

Принцип дії *імпульсних* методів заснований на вимірі інтервалів часу поширення електромагнітних хвиль (імпульсів) по дільниці лінії.

Локаційні методи визначають час пробігу спеціально генерованого зондуючого імпульсу.

Хвильові методи базуються на визначенні моменту приходу електромагнітної хвилі на підстанцію виникаючих з місця ушкодження лінії.

Розповсюдження електромагнітної хвилі (імпульсу) по лінії є складним процесом, який характеризується їх числом, взаємним розташуванням, матеріалу з якого виготовлена лінія, розміром проводів та тросів, а також їх відстані від землі, та електропровідності матеріалу. Хвиля переміщлася б вздовж проводу зі швидкістю світла (300) м/мкс), якщо б в проводі не було активних втрат і він розташовувався б у вакуумі над ідеальною провідною поверхнею. У реальній повітряній лінії хвиля переміщається по петлі фаза-земля зі швидкістю $v=275$ м/мкс і по петлі фаза-фаза зі швидкістю $v = 296$ м/мкс. У кабельній лінії швидкість поширення хвилі значно нижче - 160 м/мкс і приблизно однакова для будь-якої петлі.

Локаційні методи ґрунтуються на вимірі часу між моментом посилення в лінію зондуючого електричного імпульсу і моментом приходу імпульсу відбитого від місця ушкодження до початку лінії. За вказаний час імпульси пройшли шлях, рівний подвійному відстані до місця ушкодження.

Шукана відстань дорівнює:

$$L = t \cdot v / 2.$$

Пристроїми вимірювання при даному методі є локаційні шукачі.

В основі хвильового методу *двосторонніх* вимірювань лежить вимірювання часу між моментами досягнення фронтами електромагнітних хвиль двох кінців лінії, виникаючих в місці ушкодження (хвиль розряду що замкнулася на землю фази). Умовою реалізації даного методу є синхронізація розрахунку часу на двох кінцях із мікросекундною точністю. При цьому синхронізовані сигнали посилаються з кінця на кінець, а це є складним

технічним завданням.

Хвильові *односторонні* методи вимірювань базуються або на вимірі часу між приходами хвиль від місця пошкодження між першим та другим відбиттям, або різним часом приходу хвиль по каналу фаза - фаза та по каналу фаза - земля.

Метод *стоячих хвиль* припускає вимірювання у широкому діапазоні частот повного вхідного опору пошкодженої лінії. Із [1] відомо, що відстань між максимумом і мінімумом вхідного опору (резонансними частотами) залежить від відстані до місця КЗ або обриву.

Низькочастотні дистанційні методи.

Петльовий метод заснований на вимірюванні опору жил кабелю постійному струму, які відключені через пробій фази на землю. Перехідний опір в місці ушкодження попередньо знижують пропалюванням ізоляції від спеціальних джерел струму. Схема виміру збирається таким чином, щоб опори жил опинилися в плечах урівноваженого мосту, вимірювального приладу (для контролю умов рівноваги) – в одній діагоналі мосту, джерело живлення та перехідний опір - в іншій діагоналі. за знайденим опорам жил до місця пробою визначають відстань.

Ємністним методом можна, можливо визначити ємність жили від місця вимірювання до місця обриву.

Дистанційним вимірам *по параметрам аварійного режиму* присвячено основний зміст цієї роботи. Пояснюється це як тим, що вони, в відмінність від інших методів, виключно широко поширені в високовольтних мережах, так і тим, що забезпечення експлуатації пристроїв вимірювання (фіксуючих приладів) покладено на персонал служб РЗА (центральної служб енергосистем та місцевих служб мережевих підприємств).

1.2 Теоретичні основи визначення місця короткого замикання по параметрам аварійного режиму

Рахуємо, що параметри аварійного режиму струми та напруги окремих

фаз або послідовностей під час КЗ є фіксованими (виміряні). Методів ВМКЗ за параметрами аварійного режиму безліч, проте їх можна розбити на методи двостороннього і методи одностороннього виміру.

Двосторонні вимірювання струмів і напруг при КЗ дозволяють надалі розрахувати відстань до місця КЗ. Відносна простота приладів двостороннього вимірювання привела до того, що вони отримали виключно широке поширення в високовольтних мережах. Початком впровадження фіксуєчих приладів у енергетику вважатимуться кінець 50-х – початок 60-х років. До середини 80-х років двосторонні методи стали пануючими - практично всі лінії 110 кВ і вище обладнувалися фіксуєчими приладами двостороннього виміру. Однак в кінці 80-х років з'явилися прилади одностороннього виміру, що привело до практичного припинення випуску приладів двостороннього виміру. Слід зазначити, що в зарубіжній практиці двосторонній замір ніколи не застосовувався. Основи теорії і практики двостороннього виміру розроблені інститутом ВНДІЕ, фірмою ОРГРЕС та Ризьким дослідним заводом Енергоавтоматика [1,2,3,5]. Особливо слід відзначити праці Г.М. Шалита.

Основи теорії одностороннього виміру розроблені в 70-80 роках Є.А. Аржаннікова і найбільш повно відображені в [6]. Прилади, реалізують односторонній замір розроблені в Ризькому технічному університеті під керівництвом А.С.Саухатаса [9]. Однак матеріал трактується з позицій класичної теорії дистанційного захисту. Більш загальний підхід розроблено на початку 90-х років. під керівництвом Ю.Я. Лямця [7]. Він розглядає визначення місця КЗ як завдання діагностики лінії і одну з завдань ідентифікації параметрів енергосистеми. У даному підрозділі розглядається саме цей підхід.

Розглянемо одиночну лінію рис.1.2, де на відстані x від лівий системи відбулося КЗ. Припустимо, що при КЗ фіксовані по три струму та по три напруги з кожного кінця лінії. Струми в місці КЗ (I_f) можуть бути обчислені як: $\underline{I}_f = \underline{I}' + \underline{I}''$.

Якщо б було відомо x , то можна, можливо було б скласти шість рівнянь (для трьох фаз або для трьох послідовностей):

$$\underline{U}_v' - \Delta\underline{U}_v' + \Delta\underline{U}_v'' - \underline{U}_v'' = 0 \quad (1.1)$$

де v - індекс фази (А, В або С) або індекс послідовності (1,2 або 0);

$\Delta\underline{U}'$, $\Delta\underline{U}''$ - падіння напруги на ділянці зліва від місця КЗ і на ділянці справа від місця КЗ.

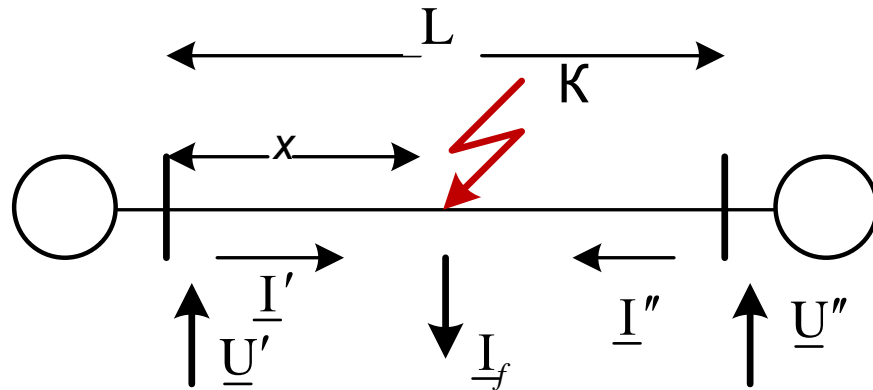


Рисунок 1.2. Пояснювальна схема одиночної лінії.

Очевидно, незалежні тільки три рівняння - рівняння для фаз перетворюються на рівняння для послідовностей і навпаки; коефіцієнти рівнянь комплексні, але невідоме всього одне - відстань x - і воно речовинно.

Падіння напруги для окремих послідовностей дорівнює:

$$\Delta\underline{U}_1' = x \cdot \underline{I}_1' \cdot \underline{Z}_{1\text{пит}}; \quad \Delta\underline{U}_2' = x \cdot \underline{I}_2' \cdot \underline{Z}_{1\text{пит}}; \quad \Delta\underline{U}_0' = x \cdot \underline{I}_0' \cdot \underline{Z}_{0\text{пит}};$$

$$\Delta\underline{U}_1'' = (L - x) \cdot \underline{I}_1'' \cdot \underline{Z}_{1\text{пит}}; \quad \Delta\underline{U}_2'' = (L - x) \cdot \underline{I}_2'' \cdot \underline{Z}_{1\text{пит}};$$

$$\Delta\underline{U}_0'' = (L - x) \cdot \underline{I}_0'' \cdot \underline{Z}_{0\text{пит}};$$

де $\underline{Z}_{1\text{пит}}$ і $\underline{Z}_{0\text{пит}}$ - питомі опори лінії в схемах прямої і нульової послідовностей. Нагадаємо, що питомий індуктивний опір одиночної лінії в схемі прямої послідовності приблизно дорівнює 0,4 Ом/км, а в схемі нульової послідовності - приблизно 1,4 Ом/км.

Вираз для падіння напруги у фазі А можна отримати підсумовуючи падіння напруги в схемах окремих послідовностей:

$$\Delta\underline{U}_A' = \Delta\underline{U}_1' + \Delta\underline{U}_2' + \Delta\underline{U}_0' = x \cdot (\underline{I}_1' \cdot \underline{Z}_{1\text{пит}} + \underline{I}_2' \cdot \underline{Z}_{1\text{пит}} + \underline{I}_0' \cdot \underline{Z}_{0\text{пит}}) =$$

$$= x \cdot \underline{Z}_{1\text{пит}} \cdot (\underline{I}_1' + \underline{I}_2' + \underline{I}_0' \cdot \underline{Z}_{0\text{пит}} / \underline{Z}_{1\text{пит}}) = x \cdot \underline{Z}_{1\text{пит}} \cdot (\underline{I}_1' + \underline{I}_2' + \underline{I}_0' + \underline{I}_0' \cdot (\underline{Z}_{0\text{пит}} - \underline{Z}_{1\text{пит}}) / \underline{Z}_{1\text{пит}}) = x \cdot \underline{Z}_{1\text{пит}} \cdot (\underline{I}_A + \underline{K} \cdot \underline{I}_0).$$

Взагалі падіння напруги на будь-якій фазі дорівнює

$$\Delta U_{\phi} = x \cdot \underline{Z}_{1\text{пит}} \cdot (\underline{I}_{\phi} + \underline{K} \cdot \underline{I}_0), \quad (1.2)$$

$$\text{де} \quad \underline{K} = (\underline{Z}_{0\text{пит}} - \underline{Z}_{1\text{пит}}) / \underline{Z}_{1\text{пит}}. \quad (1.3)$$

Величина \underline{K} називається в теорії дистанційного захисту коефіцієнтом компенсації по струму нульовий послідовності і відображає різницю в падінні напруг у схемах прямої та нульової послідовностей при протіканні по ним однакового за величиною струму.

Існує кілька шляхів рішення рівнянь (1.1). Але саме загальне рішення завдання ідентифікації полягає в аналізі зміни *цільової функції*, що дозволяє виключити вплив багатьох випадкових факторів. Загальним критерієм визначення місця КЗ є умова досягнення цільової функцією глобального мінімуму при безлічі варіюючих параметрів. Найпростішою цільовою функцією може бути *нев'язка* рівнянь (1.1), тобто відмінність правої частини рівняння від нуля. Для отримання значень невязок слід змінювати значення x від нуля до L і будувати залежність модуля правою частини σ від передбачуваного відстані $\sigma(x)$.

Подібні залежності показано на рис.1.3 для однофазного замикання фази А на відстані в 60 км на лінії з параметрами: $U=220$ кВ, $L=100$ км, $\underline{Z}_{1\text{пит}} = 0.107 + j0.408$ Ом / км, $\underline{Z}_{0\text{пит}} = 0.257 + j1.33$ Ом / км. Прилегла система: $\underline{Z}_{1c}' = j20$ Ом, $\underline{Z}_{0c}' = j20$ Ом. Система протилежного кінця лінії: $\underline{Z}_{1c}'' = j40$ Ом, $\underline{Z}_{0c}'' = j80$ Ом. Кут між ЕРС систем у доаварійному режимі дорівнює нулю, замикання металеве.

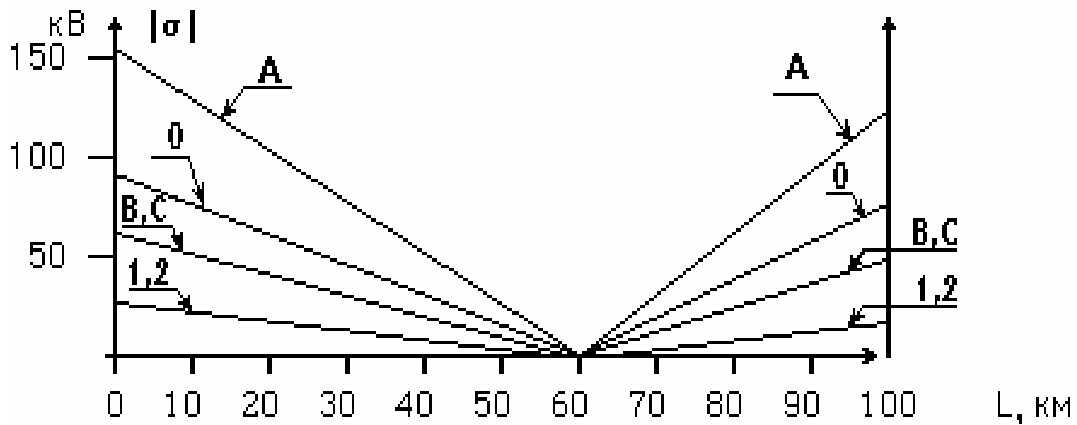


Рисунок 1.3. Залежність нев'язок рівнянь (1.1) від передбачуваної відстані до місця замикання

Рівнянь (1.1) шість, тому на рисунку показано 6 залежностей, хоча деякі з них збігаються між собою. Усі залежності прямолінійні. Біля прямих показано їх належність до рівняння фазних величин (А, або С) або до рівняння для симетричних складових (1, 2 або 0). Як бачимо, нев'язки рівнянь для фаз В і С збігаються між собою, те ж має місце для рівнянь для прямої і зворотної послідовностей. Причина ясна - кут нахилу відрізка постійний і визначається падінням напруги на одному кілометрі лінії в схемі даної послідовності; оскільки питомі опору лінії для струмів прямої та зворотної послідовностей рівні, графіки $\sigma(x)$ цих послідовностей збігаються. Місце КЗ визначається із будь-якого з рівнянь однозначно - у точці $x = 60$ км усі нев'язки дорівнюють нулю. Для зменшення впливу похибок вимірювання електричних величин потрібно прагнути використовувати характеристики, які мають найбільшу крутість. На рис.1.3 це характеристика для пошкодженої фази А або для нульовий послідовності 0.

У принципі функцій нев'язки може бути безліч. У [7] запропоновано найуніверсальніша - реактивна потужність у місці КЗ Q . Вона відповідає припущення, що усі перехідні опору в місці КЗ резистивні (Активні). Тоді очевидно, що

$$Q_f = \text{Im} [\underline{U}_f \underline{I}_f] = 0 . \quad (1.4)$$

Тут індекс відповідає точці замикання (від англійського слова fault). До цього в теорії дистанційної захисту і в теорії ВМКЗ по [6] завжди використовувалася передумова - перехідний опір активний, напруга в точці КЗ збігається по фазі зі струмом у перехідних опорах.

При однофазних та двофазних КЗ ці передумови збігаються. Однак перевага виразу (1.4) в тому, що він вірний і в загалом у випадку двофазного КЗ на землю або трифазного КЗ через довільні опори в кожній фазі. Тобто критерій (1.4) є більш загальним, чим раніше використовувані критерії.

Для використання рівняння (1.4) в якості цільовий функції при визначенні відстані слід:

- визначити струм (або систему трьох струмів) $I_f = I' + I''$;

- задаючись значеннями відстані x від 0 до L підраховувати значення напруги (або системи трьох напруг) $U_x = U' - \Delta U'$;

- для кожного x підраховувати реактивну потужність (1.4) і будувати її залежність $Q_r(x)$. Точка, в якій реактивна потужність обернеться в нуль, відповідає місцю КЗ.

Розрахунок слід вести для всіх трьох фаз одночасно, якщо вигляд КЗ невідомий; розрахунок можна вести лише для пошкодженої фази, якщо відомо, що замикання однофазне. Зрозуміло, що при однофазному замиканні підрахунок струму і непошкоджених фаз дасть нульовий результат. Отже, і в загальному випадку, і в випадку відомого виду КЗ в системі (1.1) зайвих рівнянь не буде.

Незважаючи на простоту, що здається, реалізація розглянутого способу технічно утруднена через необхідності фіксації шести комплексних величин на кожному кінці лінії. Навіть в випадку наявності відповідних пристроїв слід "прив'язати" показання пристроїв з двох кінців лінії до єдиної тимчасової осі відліку. Припустимо, що на кожному кінці лінії пристрою фіксують фазу шести електричних величин, відраховуючи їх від напруги фази А або від напруги прямої послідовності фази А. Але між цими напругами на двох кінцях лінії теж є кут, котрий невідомий.

Доведеться або синхронізувати "внутрішній годинник" двох пристроїв з точністю до часток мікросекунди (до 1-2 електричних градусів), або якось прив'язувати дві векторні діаграми (наприклад, струмом неушкодженої фази). В будь-якому разі виходить дуже складна технічна система. Тому нам досі невідомі спроби використання критерію (1.4) безпосередньо. Зусилля розробників завжди були спрямовані на те, щоб або обійтися вимірами з одного боку, або вимірювати на двох сторонах тільки електричні модулі величин, але не їх фазові кути. Нижче і будуть розглянуті практично використовувані методи двостороннього і одностороннього виміру.

Висновки по першому розділу

Слід зазначити, що всі розглянуті нижче методи придатні тільки тоді, коли через місце КЗ протікають достатньо великі струми, які можуть створити в лінії помітні падіння напруги. Вони непридатні при однофазних замикання в мережі з ізольованою нейтраллю, де струм замикання занадто малий.

РОЗДІЛ 2

ПРИНЦИПИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

2.1 Принципи визначення місця короткого замикання по двосторонньому вимірюванню параметрів аварійного режиму

Двосторонні вимірювання дозволяють визначити тільки місце несиметричного КЗ із великим струмом. Місце трифазних коротких замикань, обрив проводів і замикань однієї фази на землю в мережі із ізольованою нейтраллю аналізованими методами визначити неможливо. Теоретично можна, можливо було б визначити місце двофазного КЗ в мережі 6 - 35 кВ, але практично це використовується рідко з економічних міркувань.

Теорію двостороннього ВМКЗ можна пояснити з допомогою рис.2.1, на якому наведено пояснювальна схема одиночної лінії (рис.2.1,а), схема заміщення зворотньої або нульової послідовності (рис.2.1,б) і епюра напруг цієї послідовності (рис.2.1,в). Максимум напруги знаходиться в точці КЗ (джерело зворотньої і нульової послідовності знаходиться в точці несиметрії). Зазначимо, що під U та I нижче розуміються модулі (абсолютні значення) електричних величин, безвідносно до їх фази і напрямку.

Припустимо, що ще під час КЗ прилади фіксували (запам'ятали) чотири величини: U', I', U'', I'' . Безпосередньо з епюри рис 2.1,в можна записати вирази для напруги в точці КЗ при русі "ліворуч" і "праворуч" (від шин лівого і правого кінців лінії) до точки КЗ:

$$U_k = U' + I' \cdot n X_L ;$$

$$U_k = U'' + I'' \cdot (1-n) X_L$$

Тут X_L - опір лінії в схемою даної послідовності, $n X_L$ - опір від лівого кінця лінії до місця КЗ. Звертаємо увагу, що вирази записані для модулів, але не для комплексів – у них не враховано зрушення по фазі між струмом і напругою.

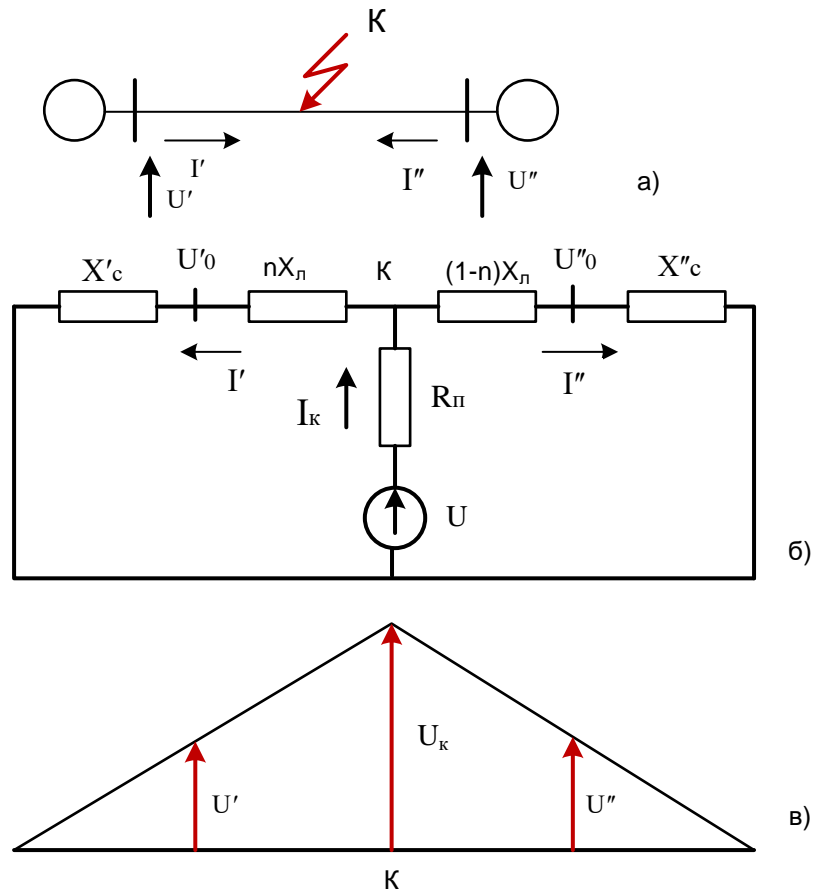


Рисунок 2.1. До пояснення принципу двостороннього ВМКЗ
Прирівнюючи праві частини виразів і вирішуючи отримане рівняння
щодо $nX_{\text{л}}$, отримуємо:

$$U' + I' \cdot nX_{\text{л}} = U'' + I'' \cdot (1-n)X_{\text{л}};$$

$$nX_{\text{л}} \cdot (I' + I'') = U'' - U' + I'' \cdot X_{\text{л}}$$

$$nX = \frac{U'' - U' + I'' \cdot X_{\text{л}}}{(I' + I'')} \quad (2.1)$$

Практично виконується замір величин нульової або зворотної послідовностей, а рішення шукається щодо відстані до місця КЗ :

$l' = n \cdot L = n \cdot X_{\text{л}} / X_{\text{пит}}$, де $X_{\text{пит}}$ - опір одного кілометра лінії у схемі даної послідовності, L - повна довжина лінії.

Розрахункові формули мають вигляд:

$$l' = \frac{3U''_0 - 3U'_0 + 3I''_0 \cdot X_{0\text{пит}} \cdot L}{(3I'_0 + 3I''_0) \cdot X_{0\text{пит}}} ; l' = \frac{U''_2 - U'_2 + I''_2 \cdot X_{1\text{пит}} \cdot L}{(I'_2 + I''_2) \cdot X_{1\text{пит}}} . \quad (2.2)$$

Зазначимо ряд особливостей формул і самого методу розрахунку по

двосторонньому виміру:

1) У формулах беруть участь модулі струмів і напруги. Фаза і напрямок струмів не мають значення. Це визначає відносну простоту виконання фіксуючих приладів.

2) При виведенні не враховувався вигляд короткого замикання: однієї чи двох фаз на землю при розрахунку по складовим нульової послідовності або навіть двофазного без землі при розрахунку по складовим зворотної послідовності. Схема рис.2.1,б і еюра рис.2.1,в не залежить від виду замикання. Для розрахунків не потрібно знати вид КЗ, що дозволяє розпочати розрахунки негайно після зчитування свідчень приладів.

3) У розрахунку не бере участі перехідний опір у місці КЗ. На рис.2.1,б перехідний опір виявилось поза контуру, для якого складалося рівняння. Теоретично двосторонній замір повністю виключає вплив перехідного опору. Практично це вірно до тих пір, поки із-за перехідних опорів значення струмів і напруг при КЗ не стануть настільки малими, що прилади вийдуть за межі необхідної точності вимірювання. Зокрема, прилади погано працюють у районах вічної мерзлоти та скельним ґрунтом, де значні перехідні опори при КЗ на землю ускладнюють роботу і захистів лінії, і фіксуючих приладів.

4) На розрахунок не впливають складові струмів навантажувального режиму. Пояснюється це тим, що ведеться фіксація величин зворотної або нульової послідовностей, відсутніх в навантажувальному режимі. Якщо б фіксувалися складові прямої послідовності, позбутися впливу навантажень було б неможливо. Строго кажучи, від навантажень залежить напруга в точці КЗ в доаварійному режимі, яке визначає величину всіх складових інших послідовностей. Зокрема, при хитаннях вказана напруга може настільки знизитись, що призведе до відмови приладів. Однак при розумних значеннях струмів навантажувального режиму їх вплив на двосторонній замір відсутній.

5) Розрахунки відносно не складні і доступні навіть

низькокваліфікованому персоналу.

Усі перелічені особливості мають позитивний характер, як і визначило використання методів двостороннього виміру. Негативна сама необхідність отримання даних з двох кінців лінії; необхідність передачі даних з кінця на кінець або вищому диспетчеру. Є системи з телепередачею даних і автоматичним проведенням розрахунків. Однак вони відносно складні і не набули широкого поширення. Крім того, всі формули виведені без урахування активних опорів лінії, що саме собою вносить певну похибку.

Для розрахунків потрібні фіксуєчі амперметри на кожній лінії та фіксуєчі вольтметри на системах шин. Іноді можна, можливо зменшити кількість приладів з обліком зв'язку між струмом і напругою: $U' = I' \cdot X_{C'}$; $U'' = I'' \cdot X_{C''}$. У найпростіших випадках опори систем добре відомі та стабільні, особливо в схемах нульової послідовності. Однак в складно-замкнутій мережі поняття опорів систем втрачає простоту а зменшення кількості приладів приводить до появи безлічі розрахункових формул - кожна комутація в мережі приводить до зміни формули Тому доцільно орієнтуватися на розрахунок за чотирма вимірами.

В даний час в енергосистемах переважне поширення отримали методи визначення місця КЗ, які ґрунтуються на вимірі параметрів нульовий послідовності, не зважаючи на те, що при цьому неможливо визначити місце міжфазного замикання. Подібне становище визначається наступними причинами:

- високою питомою вагою коротких замикань на землю (однофазних та двофазних), які складають на повітряних лініях 80-90% всіх випадків КЗ;
- незалежність опору нульової послідовності мереж, які примикають до контрольованої ЛЕП, від струмів навантаження, що суттєво при розрахунках за показниками двох або трьох приладів;
- простотою забезпечення вимірювань струмів і напруг нульової послідовності (немає необхідності у використанні спеціальних фільтрів

зворотній послідовності);

- меншою похибкою фільтрів нульової послідовності в порівнянні з фільтрами зворотньої послідовності (1,6 - 2% проти 4 - 6%).

Необхідно, однак, зазначити, що на лініях електропередачі, які мають складний електромагнітний зв'язок між собою, а також на ЛЕП з великою часткою двофазних КЗ доцільно використовувати параметри зворотної послідовності.

Допустимість відмови від визначення місця міжфазних КЗ пояснюють тим, що з зростанням класу напруги лінії ймовірність міжфазних КЗ в проміжних точках лінії зменшується. Зі збільшенням напруги збільшуються відстані між фазами. Важко уявити собі причину перекриття по повітрю між фазами на лінії 500 кВ при відстані між проводами в 11 метрів. У мережах 110 кВ і вище 85% всіх КЗ - однофазні. Міжфазні КЗ відбуваються в здебільшого на самих підстанціях, коли немає необхідності в пошуку місця ушкодження.

2.2 Варіанти способів одностороннього заміру відстані до місця КЗ

Технічна реалізація одностороннього виміру можлива багатьма шляхами, але всі вони дають однаковий результат. Перерахуємо деякі відомі варіанти стосовно до однофазним замикань.

Ітераційний розрахунок. Сутність його полягає у поступовому наближенні до шуканої точки КЗ від деякої початкової точки, взятої довільно. Критерієм, для визначальних напрямків пересування до місця КЗ і кінець пошуку, може бути кілька. У [6] в якості критерію запропоновано напрямок вектора

$$\Delta Z_{\text{шт}} = \frac{3I_0}{C_{0p} (I_{\phi} + KI_0)}, \quad (2.3)$$

де $C_{0p} = (Z_{00} - Z_{0c} - Z_{0k}) / Z_{00} = I_0 / I_{0k}$ - коефіцієнт струморозподілу по схемі з нульовою послідовністю,

Z_{0c} , Z_{0k} , Z_{00} - опори прилеглої системи, лінії до точки КЗ та

сумарний опір всією схеми нульовий послідовності.

Можна, сказати, що $\Delta Z_{\text{пит}}$ - опір одного Ома перехідного опору який "здається" з даного кінця лінії. В [6] показано, що якщо в ході розрахунку прийняти занадто малу передбачувану відстань до передбачуваного місця КЗ, то кут $\arg(\Delta Z / Z_{\text{пит}})$ позитивний. Якщо відстань перебільшено, кут від'ємний. При точному значенні відстані кут дорівнює нулю. Особливо доцільно застосовувати ітераційні розрахунки на довгих лініях, де з видаленням точки КЗ змінюється і значення і фаза струму нульовий послідовності.

Розрахунки значень цільових функцій при переміщенні передбачуваного місця КЗ вздовж лінії . У розділі 2 вже описаний спосіб ідентифікації параметрів лінії, заснований на розрахунку значень цільових функцій при переміщенні передбачуваного місця КЗ вздовж усієї довжини лінії. У якості прямої цільової функції можливо використовувати значення реактивної потужності в точці КЗ – за виразом (1.4). Однак для цього слід знати I_f - струм в перехідному опорі, що можливо тільки при двосторонньому вимірі. У [7] введено поняття *непрямої цільової функції* , коли струму перехідному опорі замінюють близьким йому по фазі струмом. Як показано у попередньому розділі, як опорний можна взяти струми нульової або зворотній послідовностей, можна взяти аварійну складову струму прямої послідовності чи струму фази. Тоді вираз (1.4) набуває вигляд:

$$Q_0 = \text{Im} [\underline{U}_f \underline{I}_0] = 0 ;$$

$$Q_2 = \text{Im} [\underline{U}_f \underline{I}_2] = 0 ; \quad (2.4)$$

$$Q_{\text{ав}} = \text{Im} [\underline{U}_f \underline{I}_{\text{ав}}] = 0 .$$

Можна будувати графіки зміни цільової функції під час переміщення передбачуваного місця КЗ вздовж лінії. Тоді крапка КЗ визначається по перетину графіка з віссю лінії. Можна відразу порахувати значення цільової функції у місці встановлення приладу та поділити його на втрати реактивної

потужності в одному кілометрі лінії. Все одно результати будуть одині той ж і точно збігатися з результатом розрахунку по формулі (2.2).

Визначення місця КЗ по миттєвим значенням струмів і напруг. Способи ВВМКЗ, розглянуті вище, засновані на розрахунках по інтегральним параметрам електричних величин (струмів, напруг). Термін інтегральні параметри з'явився з використанням ЕОМ в техніці релейного захисту для того, щоб відрізнити миттєві значення синусоїдальних електричних величин i и від характеризуючих ці величини будь - який момент часу параметрів I , U . Використовується термін у тому сенсі, що ЕОМ отримує інтегральні параметри шляхом виміру і обробки ряду миттєвих значень, тобто. після підсумовування - інтегрування інформації про миттєвих значеннях.

Однак відомі і способи ВВМКЗ на основі операцій з миттєвими значеннями струмів і напруги. Перший з них запропонований во Франції [8]. Основи його такі.

Нехай однофазне КЗ через опір R_{Π} відбулося на відстані l на лінії з питомими параметрами $R_{\text{пит}}$, $L_{\text{пит}}$. Миттєве значення напруги на даному кінці лінії дорівнює:

$$u = l \left(R_{\text{пит}} \cdot i + L_{\text{пит}} \frac{di}{dt} \right) + R_{\Pi} i_K ;$$

питоме ж падіння напруги на одному кілометрі лінії дорівнює

$$\Delta u = R_{\text{пит}} \cdot i + L_{\text{пит}} \frac{di}{dt} \cdot (i_{\Phi} + K \cdot i_0) \cdot Z_{1\text{пит}}.$$

Якщо вибрати момент, коли струм у місці КЗ i_K дорівнює нулю, то у формулі для напруги зникне доданок, що містить R_{Π} . Тоді отримуємо просту формулу:

$$l = \frac{u}{\Delta u} \quad \Bigg| \quad i_K = 0. \quad (2.5)$$

Тобто. для визначення відстані достатньо виміряти напругу u та струм $i = (i_{\Phi} + K i_0)$ у момент переходу струму i_K через нульове миттєве значення.

Оскільки струм i_K невідомий, то достатньо взяти струм i_0 , який майже збігається з ним по фазі. У [6] показано, що результат в точності збігається з розрахунком по інтегральним значенням з застосуванням формули (2.2).

З урахуванням (2.5) просто зрозуміти формулу, по якій визначається відстань до місця однофазного КЗ в приладах СВІТ, ФПМ, ІМФ:

$$l = \frac{\operatorname{Im} \left[\frac{\underline{U}_\Phi}{\underline{I}_0} \right]}{\operatorname{Im} \left[\frac{(\underline{I}_\Phi + \underline{K}\underline{I}_0) \underline{Z}_{\text{пнт}}}{\underline{I}_0} \right]}. \quad (2.6)$$

У формулі вимір миттєвих значень u і Δu в момент переходу i_0 через нульове миттєве значення замінені на розрахунок проекції на уявну вісь, перпендикулярну вектору \underline{I}_0 , інтегральних величин \underline{U}_Φ і $\Delta \underline{U}_\Phi$.

Усі перелічені способи застосовні і для двофазних КЗ без землі при заміні параметрів петлі фаза - земля на параметри петлі фаза - фаза.

Облік взаємних індукцій з іншими лініями. Випущені в даний час прилади здатні врахувати взаємну індукцію з однією з паралельних ліній, для чого до приладу підводиться струм нульовий послідовності цієї лінії $\underline{I}_{0\Pi}$. За наявності взаємоіндукції по всій довжині лінії у формулі (2.6) для відстані до місця однофазного КЗ замість $(\underline{I}_\Phi + \underline{K}\underline{I}_0)$ з'являється $(\underline{I}_\Phi + \underline{K}\underline{I}_0 + \underline{K}_m \underline{I}_{0\Pi})$, де $\underline{K}_m = X_m / X_1$ - коефіцієнт компенсації по струму нульової послідовності паралельної лінії. При інших видах замикань - трифазних, двофазних або двофазних на землю взаємоіндукція не враховується, оскільки весь розрахунок йде по петлі міжфазного КЗ.

Якщо взаємоіндукція є не по всій довжині лінії, а лише на початковому ділянці, спочатку розрахунок ведуть з урахуванням взаємоіндукції. Але якщо результат розрахунку виявиться великим, чим довжина ділянки з взаємоіндукцією l_m , то роблять перерахунок з "умовним перенесенням" приладу в точку кінця ділянки з взаємоіндукцією. Напряга фази в зазначеній точці визначається як:

$$\underline{U}_{\Phi m} = \underline{U}_\Phi - (\underline{I}_\Phi + \underline{K}\underline{I}_0 + \underline{K}_m \underline{I}_{0\Pi}) l_m \underline{Z}_{\text{лнт}},$$

струми всіх фаз за межами ділянки з взаємоіндукцією ті ж, що і в місці виміру. Тому перерахунок відстані після "умовного перенесення" приладу не представляє труднощів.

Є програми, що враховують до десяти взаємоіндукцій з різною довжиною. Ідея та ж - розрахунок починається з головної ділянки, яка має максимальне число взаємоіндукцій; потім прилад "умовно переноситься" на початок все нових ділянок, кожна з яких має менше число взаємоіндукцій, поки відстань не виявиться лежачою в межах чергової розглянутої ділянки.

Облік відповідей з трансформаторами з заземленими нейтраліями .

Схема лінії з одним відгалуженням наведено на рис.2.2. Якщо нейтраль трансформатора не заземлена, то впливом відгалуження можна знехтувати, оскільки струми навантаження набагато більше струмів короткого замикання. При заземленій нейтралі розрахунок відстані за відгалуженням без урахування підживлення від нейтралі буде неточний, оскільки зазначене підживлення можна порівняти з струмами. нульової послідовності у місці виміру. У цьому випадку розрахунок також ведеться з "Уявним перенесенням приладу". На початку відстань вважається по електричним величинам в точці виміру без обліку відгалуження. Якщо підрахована відстань менша $L_{\text{вд}}$, то розрахунок закінчується. Але якщо більше, то розрахунок повторюється з "перенесення приладу" в точку відгалуження. Напряга нульової послідовності у зазначеній точці дорівнює $\underline{U}_{0\text{Б}} = \underline{U}_0 - \underline{I}_0 L_{\text{вд}} \underline{Z}_{0\text{пит}}$: струм нульової послідовності за точкою відгалуження дорівнює $\underline{I}_{0\text{Б}} = \underline{I}_0 - \underline{U}_{0\text{Б}} / jX_{\text{вд}}$. Напруги і струми інших послідовностей при переході за точку відгалуження не змінюються. Тому послідовність розрахунку після "перенесення приладу" в точку Б залишається тою ж, що і для лінії без відгалужень.

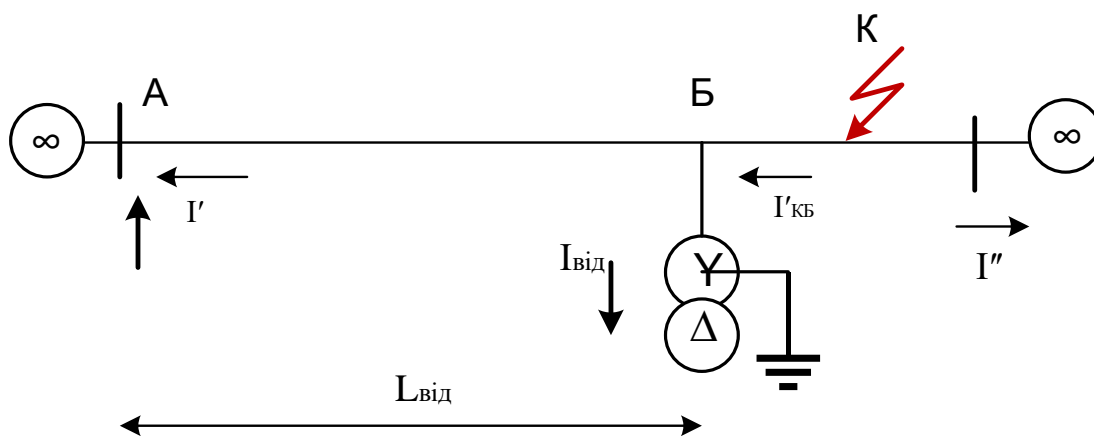


Рисунок 2.2. Схема ліній з відгалуженням.

Висновки по другому розділу

Розглянуті принципи визначення місця короткого замикання по двосторонньому вимірюванню параметрів аварійного режиму та варіанти способів одностороннього заміру відстані до місця КЗ

Розглянуті методи мають ряд джерел похибок. Деякі з них загальні з будь-якими пристроями, працюючими на дистанційному принципі - неточність роботи трансформаторів струму і трансформаторів напруги, вплив вільних складових перехідного електромагнітного процесу, неточність знання параметрів обслуговується лінії.

РОЗДІЛ 3

НОВІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ ВІД ПОЧАТКУ ПРИЄДНАННЯ 6–10 КВ ДО МІСЦЯ ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ В РОБОЧОМУ РЕЖИМІ.

Прилади одностороннього виміру вперше були розроблені на початку 90-х років у Ризькому політехнічному інституті під керівництвом А.С. Саухатаса та почали випускатися під назвою МФІ (мікропроцесорний фіксуєчий імпульсний прилад).

3.1. Системи для визначення місця замикання на основі мікропроцесорних приладів

Вище були розглянуті методи дистанційного ВМЗ і прилади, реалізують відповідні алгоритми. Найбільш технічно досконалі є мікропроцесорні прилади типів МФІ, ФПМ. Обслуговування приладів та зняття з них показань можна суттєво полегшити, якщо створити систему збору показань приладів в ЕОМ. Зібрану інформацію можна використовувати в системі АСУ ТП (наприклад, для аналізу функціонування захистів), можна, можливо використовувати і для уточнення відстані до місця КЗ за рахунок обліку взаємоіндукцій з непошкодженими лініями. Для цього достатньо зібрати свідчення приладів, встановлених на ЛЕП даного енергоб'єкта (розподілу пристрою станції, п/ст). Як вказувалося, один прилад дозволяє врахувати взаємоіндукцію лише однієї ЛЕП (зазвичай паралельної). На виході з підстанції (ПС), як правило, взаємоіндукцією пов'язано більше кількості ЛЕП. Об'єднання інформації від всіх приладів, встановлених на лініях, пов'язаних взаємоіндукцією, дозволяє врахувати їх все (навіть якщо взаємоіндукцією пов'язані лінії різних напруг).

Розглянуті прилади мають ще кілька суттєвих недоліків:

- недосконалий алгоритм визначення виду к.з.;
- спрощений облік відгалужень (трансформаторів із заземленою нейтраллю на відпайкових ПС) і неможливість обліку наявності

відгалужень не на обслуговуваній приладом лінії, а на пов'язаній з ній взаємоіндукцією;

- труднощі з відновленням метрології після ремонту приладів (масштабні коефіцієнти по каналах струмів і напруг задаються в постійною пам'яті приладів при виготовлення і можуть бути збиті при ремонтних роботах).

Більшість зазначених недоліків може бути усунуто за наявності системи збору інформації від приладів в ЕОМ.

Усе мікропроцесорні прилади мають послідовний інтерфейс для зв'язку з ЕОМ чи контролером. На жаль, всі прилади виконані з нестандартним і різним один від одного інтерфейсом. Опис інтерфейсів відсутній в заводській документації.

Наявність послідовного інтерфейсу дозволяє здійснити збір інформації з приладів. Такі системи збору інформації були розроблені і реалізовані різних типів мікропроцесорних приладів. Спрощена схема для приладів МФІ наведено на рисунку 3.1[9].

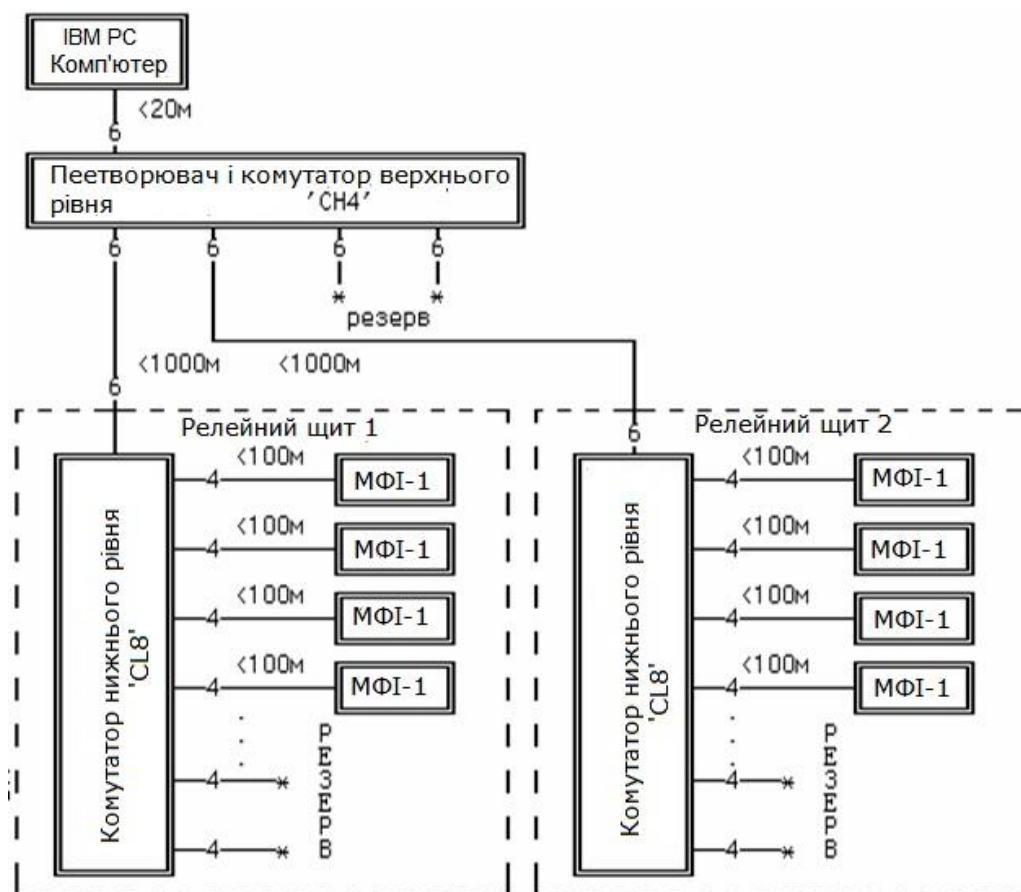


Рисунок 3.1. Структурна схема системи збирання інформації від приладів типу МФІ.

У цієї структурі використані електронні комутатори на вісім напрямів. Комутатор верхнього рівня може мати від двох до восьми напрямів. У прикладі комутатор приєднує два релейних щита, розташованих у різних приміщеннях. Цей комутатор підключається до одного із послідовних портів ЕОМ. Схема підключення до 9-ти та 25-ти контактних розніманням наведені в таблицях 3.1 і 3.2. Прилади підключаються до комутатора нижнього рівня, що допускає підключення до восьми приладів. Схема підключення стосовно до приладів типу МФІ-1 наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.1

Розпаювання роз'єму, підключається до комп'ютеру через СОМ порт, роз'єм DB9F (PIN-9)

№	Назва	кабель
1	Вхід DCD	ЖИЛА КАБЕЛЯ 1
2	Вхід RD	ЖИЛА КАБЕЛЯ 1
3	Вихід TD	ЖИЛА КАБЕЛЯ 2
4	Вихід DTR	ЖИЛА КАБЕЛЯ 3
5	SG	ЖИЛА КАБЕЛЯ (АБО ЕКРАН) 4
6	Вхід DSR	ЖИЛА КАБЕЛЯ 5
7	Вихід RTS	ЖИЛА КАБЕЛЯ 6
8	Вхід CTS	НЕ ПІДКЛЮЧЕНИЙ *
9	Вхід RI	НЕ ПІДКЛЮЧЕНИЙ *

на комп'ютері вилка, на кабелі розетка.

Розглянута структура застосовна до приладів типу МФІ. Прилади типу ФПМ не дозволяють використовувати подібну структуру з за особливостей інтерфейсу. Якщо прилади МФІ "ждуть" зв'язку довільний час (до нового спрацьовування), то прилади ФПМ чекають на зв'язок тільки 8-10с після спрацьовування. Для цих приладів необхідно мати мікропроцесорний пристрій, що має можливість звернутися за 8-10с до всім наявним приладів.

Структура такої системи наведено на рис. 3.2.

У якості контролера може бути використано будь-яке пристрій, що дозволяє мати велику кількість послідовних (Com) портів. Для контролерів на базі IBM PC випускаються плати з вісьмома послідовними портами. Можливе встановлення кількох таких плат.

Таблиця 3.2

Розпаювання роз'єму, підключається до комп'ютеручерез СОМ порт, роз'єм DB25F (PIN-25)

№	Назва	кабель
8	Вхід DCD	ЖИЛА КАБЕЛЯ 1 ————
3	Вхід RD	ЖИЛА КАБЕЛЯ 1 ————
2	Вихід TD	ЖИЛА КАБЕЛЯ 2 ————
20	Вихід DTR	ЖИЛА КАБЕЛЯ 3 ————
7	——— SG	ЖИЛА КАБЕЛЯ (ИЛИ ЭКРАН) 4 ————
6	Вхід DSR	ЖИЛА КАБЕЛЯ 5 ————
4	Вихід RTS	ЖИЛА КАБЕЛЯ 6 ————
5	Вхід CTS	НЕ ПІДКЛЮЧЕНИЙ ————*
22	Вхід RI	НЕ ПІДКЛЮЧЕНИЙ ————*
1	——— SG	НЕ ПІДКЛЮЧЕНИЙ ————*
9	пусто	НЕ ПІДКЛЮЧЕНИЙ ————*
...	...	НЕ ПІДКЛЮЧЕНИЙ ————*
19	пусто	НЕ ПІДКЛЮЧЕНИЙ ————*
21	пусто	НЕ ПІДКЛЮЧЕНИЙ ————*
23	пусто	НЕ ПІДКЛЮЧЕНИЙ ————*
24	пусто	НЕ ПІДКЛЮЧЕНИЙ ————*
25	пусто	НЕ ПІДКЛЮЧЕНИЙ ————*

Таблиця 3.3

Розлучення сигналів на роз'єм МФІ-1 (СВІТ-1), роз'єм РП14-30а

№	Назва	Кабель
О 6	Вхід R+	ЖИЛА КАБЕЛЯ 1 ————
О 7	Вхід R-	ЖИЛА КАБЕЛЯ 2 ————
А7	Вихід D+	ЖИЛА КАБЕЛЯ 3 ————

А6	Вихід D-	ЖИЛА КАБЕЛЯ 4 _____
----	----------	---------------------

Програмне забезпечення системи виконує наступні функції:

- прийом інформації від приладів (через комутатор або контролер) і запис її в архів;
- коригування показань приладів за допомогою коефіцієнтів, що зберігаються в ЕОМ;
- розрахунок відстані до місця ушкодження по односторонньому виміру з обліком до десяти взаємоіндукцій;
- архівацію і документування інформації;
- ведення всіх баз даних, необхідних для рішення

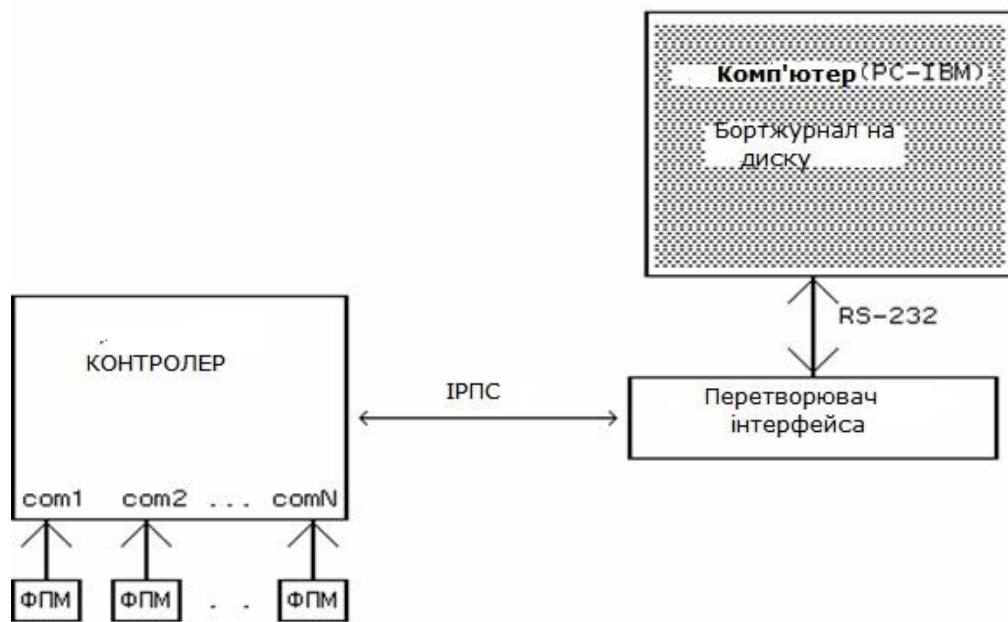


Рисунок 3.2. Структура збору інформації для приладів типу ФПМ

завдання (опистопології, уставок приладів, коригувальних коефіцієнтів).

При розрахунках приводиться приведення свідчень всіх приладів до одному моменту часу. Так як всі прилади запускаються несинхронно, то комплексні значення всіх струмів та напруг кожного приладу виявляються поверненими на деякий випадковий кут по відношенню до електричним величин, фіксованим іншим прилад. Для суміщення векторів

використовуються фіксовані приладами напруги, тому що на шинах з $U_n \geq 110\text{кВ}$ завжди здійснюється паралельна робота систем шин.

У попередніх розділах розглянуті переваги методу ВМП по двостороннього виміру по струмах і напруг зворотної послідовності. на розрахунок по величин зворотній послідовності не впливають взаємні індукції, навіть якщо вони з'являються і зникають десь у проміжних точках лінії. Мікропроцесорні прилади, встановлені з двох кінців ЛЕП зі складними взаємоіндукціями, дозволяють вирішити і це завдання, оскільки в них розраховуються величини зворотної послідовності. Технічні труднощі полягає у передачі інформації з протилежного кінця ЛЕП. В системі передбачено два способу введення інформації. Перший - по каналу зв'язку від системи збору інформації протилежного кінця ЛЕП. Другий - оперативним персоналом з клавіатури ЕОМ при отриманні інформації (U_2, I_2) по телефону. У цьому випадку розрахунок здійснюється двома методами (одностороннього та двостороннього виміру). Протокол роботи системи наведено нижче. Протокол відповідає передачі повної інформації у систему, тобто. від приладів по обом кінцям ЛЕП.

3.2 Обґрунтування моделі та принципу роботи пристрою для визначення відстані до місця короткого замикання на землю

Технічним завданням моделі приладу є створення надійного, і та простого пристрою для визначення відстані до місця короткого замикання на землю або на металеві поверхні проводу високовольтної повітряної лінії, що обірвався, що дозволяє оперативно усунути аварійну ситуацію.

Технічний результат досягається за рахунок того, що у відомий пристрій визначення місця короткого замикання на землю ізолюваних проводів повітряних ліній напругою понад 1000 В при їх розташуванні на опорах контактної мережі змінного струму, що складається з трифазної високовольтної повітряної лінії з ізолюваною нейтральною трансформацією, живлення вторинна високовольтна обмотка якого через комутаційний апарат

підключена до повітряних ізольованих проводів високовольтної лінії, з встановленим на них вимірювальним трансформатором для вимірювання напруги окремих фаз, причому первинна обмотка трансформатора з'єднана в зірку, нульова точка яких через фільтр нульової послідовності з'єднана зі штучним заземленням, а вторинна його обмотка з'єднані в трикутник, систему телемеханіки, обчислювальний блок визначення відстані до місця короткого замикання з наступним виведенням інформації на індикатор, внесені доповнення та зміни, а саме:

- встановлений другий вимірювальний трансформатор аналогічний першому вимірювальному трансформатору, з другим фільтром нульової послідовності, з'єднані аналогічним чином;

- додатково між нульовими точками первинних обмоток обох вимірювальних трансформаторів та штучним заземлювачем, включені паралельно фільтр нульової послідовності датчик струму з вимірювальним приладом;

- вихідні затискачі якого з'єднані відповідними входами обчислювального блоку, який за результатами вимірювання струму стікання на землю на початку і наприкінці ПЛ визначає відстань до місця короткого замикання.

Крім того, фільтри нульової послідовності виконані активно-ємнісними, а за наявності в системі телемеханіки контролера або ЕОМ як індикатор відстані до місця короткого замикання можна використовувати їх дисплей.

Введення другого вимірювального трансформатора з фільтром нульової послідовності дозволяє заміряти струм стікання в кінці повітряної лінії у разі короткого замикання. вимірювальних трансформаторів, з'єднаних із землею через активний або активно-ємнісний опір, які в режимі короткого замикання і шунтуються датчиками струму і вимірюється амперметром.

За виміряними струмами, що стікають на початку та в кінці повітряної лінії, відстань до місця короткого замикання їх на землю або метал визначається із співвідношення:

$$X_{K3} = L \frac{I_H}{I_H + I_K}$$

де X_{K3} – відстань від джерела живлення до точки короткого замикання;

I_H – струм стікання на початку лінії ;

I_K – струм стікання в кінці лінії;

L - довжина лінії.

Показання датчиків струму із затискачів вимірювальних приладів (амперметрів) вводяться в обчислювальний пристрій, в якому реалізується зазначене співвідношення.

За наявності в системі телемеханіки контролера або ЕОМ, як обчислювального пристрою, можливе їх застосування, з виведенням результату обчислення на дисплей.

У цьому випадку, при необхідності перетворення сигналів пропорційних вимірюваним струмам на початку і в кінці високовольтної повітряної лінії, встановлюють узгоджувальний пристрій (аналозі-цифровий перетворювач).

На рисунку 3.3 наведена електрична схема пристрою, що реалізує дану модель, причому загальновідоме обладнання, без якого пристрій працювати не може і воно не впливає на сутність запропонованої моделі (трансформатор живлення з комутаційним апаратом і т. п.) на рисунку не показані.

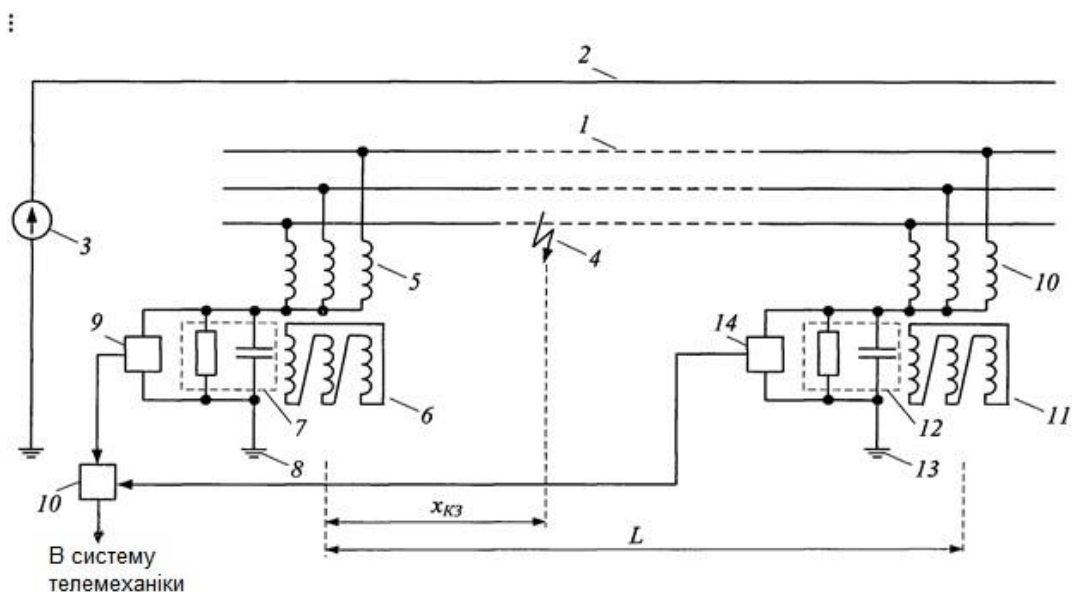


Рисунок 3.3. Електрична схема пристрою

На рисунку 3.3 показані:

- 1 - трифазна лінія напругою понад 1000 В із ізольованою нейтраллю, розташована на опорах мережі змінного струму з польового боку, призначена для електропостачання;
- 2 – контактна мережа однофазного змінного струму промислової частоти напругою 35 кВ;
- 3 - джерело живлення контактної мережі 35 кВ (обмотка трифазного понижуючого трансформатора);
- 4 - місце короткого замикання однієї з фаз лінії напругою понад 1000 В для електропостачання автоблокування;
- 5, 10 - первинні обмотки, з'єднані зіркою трифазних вимірювальних трансформаторів, встановлених відповідно на початку та в кінці лінії напругою понад 1000 В;
- 6, 11 - вторинні обмотки, з'єднані трикутників трифазних трансформаторів, встановлених відповідно на початку та в кінці лінії напругою понад 1000 В;
- 7, 12 - активно-ємнісні фільтри, встановлені відповідно на початку та в кінці лінії напругою понад 1000 В;
- 8, 13 - штучні заземлювачі для підключення активно-ємнісних фільтрів 7 та 12 відповідно;
- 9, 14 - датчики з вимірювальними приладами, встановлені паралельно активно-ємнісним фільтрам 7 і 12 відповідно;
- 10 - обчислювальний блок для визначення відстані до місця короткого замикання, підключений до вихідних затискачів датчиків 9 і 14.

Пристрій працює наступним чином. При короткому замиканні одного з проводів (фаз) трифазної лінії напругою понад 1000В (1), розташованої на опорах контактної мережі змінного струму (2) відбувається відключення цієї лінії від її джерел живлення (трансформаторів РП або районних обмоток трифазних понижуючих трансформаторів). За рахунок електричного впливу

мережі (2), підключеної до джерела напругою 25 кВ (3), відбувається стікання струмів з двох кінців через первинні обмотки трифазних трансформаторів (5) і (10), з'єднаних зі штучними заземлювачами (8) і (13)) через активно-ємнісні фільтри (7) та (12). Датчики струму (9) і (10), встановлені паралельно активно-ємнісним фільтрам (7) і (12), включаються та шунтують зазначені фільтри. Виміряні значення струмів надходять до обчислювального блоку (10), який виконує розрахунок відстані від джерела живлення (3) до місця короткого замикання (4).

Розглянемо визначення відстань місця короткого замикання на конкретному прикладі трифазної повітряної лінії довжиною 48 км напругою 10 кВ, проводи якої розміщені в горизонтальній площині на опорах контактної мережі напругою 25 кВ, тобто. знаходяться під електромагнітним впливом цієї контактної мережі. До початку та кінця лінії підключені пристрої з трифазними трансформаторами типу ТМ-35/10 потужністю 25 кВА. Значення ємності провід лінії - земля становить 7 нф/км, між проводами лінії - 1 нф/км, між контактною мережею та землею - 12,5 нф/км, між контактною мережею та проводами лінії - 2 нф/км.

Враховуючи те, що амперметр шунтуючий активно - ємнісний фільтр вимірює струм стікання всіх трьох фаз, то для визначення значення струму стікання фази, в якій відбулося коротке замикання, необхідно визначити струм стікання, що припадає на кожен фазу при мережі, що нормально працює, тому такий вимір проводять попередньо .

Струм стікання всіх трьох фаз неушкодженої лінії становив 1322,7 мА, тоді для однієї фази він складе $1322,7/3=440,9$ мА. При короткому замиканні проводу фази лінії на землю, струм всіх трьох фаз виміряний датчиком (9) склав 985,5 мА, тоді струм I_H можна визначити віднімаючи з виміряного значення струму двох неушкоджених фаз, тобто. Струм складе $I_H = 985,5 - 2 \cdot 440,9 = 103,7$ мА. Струм, виміряний датчиком (10) складе 1193,0 мА, відповідно, струм $I_K=1193,0 - 2 \cdot 440,9 = 311,2$ мА. Таким чином, відстань до місця короткого замикання становитиме:

$$X_{\text{кз}} = 48 \cdot \frac{103,7}{103,7 + 312,2} = 12 \text{ км.}$$

У разі застосування як обчислювального пристрою контролера або ЕОМ, а як індикатор їх дисплей, струми виміряні датчиками 9,14 сподаються на вхід аналогоцифрового перетворювача.

Висновки по третьому розділу

Розглянуті методи дистанційного ВМП і прилади, реалізують відповідні алгоритми. Найбільш технічно досконалими є мікропроцесорні прилади типів МФІ, ФПМ. Обслуговування приладів та зняття з них показань можна суттєво полегшити, якщо створити систему збору показань приладів в ЕОМ.

Розглянута модель та принцип роботи пристрою для визначення відстані до місця короткого замикання на землю в високовольтних ЛЕП 10-35 кВ.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було проаналізована класифікація методів визначення місця пошкодження ліній електропередач високої напруги, проведені теоретичні основи визначення місця короткого замикання по параметрам аварійного режиму.

Визначені принципи визначення місця короткого замикання по двосторонньому вимірюванню параметрів аварійного режиму, а також проаналізовані варіанти способів одностороннього заміру відстані до місця КЗ.

Розглянуті методи мають ряд джерел похибок. Деякі з них загальні з будь-якими пристроями, працюючими на дистанційному принципі - неточність роботи трансформаторів струму і трансформаторів напруги, вплив вільних складових перехідного електромагнітного процесу, неточність знання параметрів обслуговується лінії.

Розглянуті нові методи визначення відстані від початку приєднання 6–10 кВ до місця замикання на землю в робочому режимі на основі мікропроцесорних приладів.

Обґрунтована модель та принципи роботи пристрою для визначення відстані до місця короткого замикання на землю в високовольтних мережах 10-35 кВ. Даний пристрій простий за конструкцією, має достовірність, а обчислення не вимагає складних додаткових пристроїв і може бути виконано самим оператором мережі за показаннями приладів або засобів автоматики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шалит Г.М. Визначення місць ушкодження в електричних мережах/ М., Витрата енергії, 1982.
2. Шалит Г.М., Айзенфельд А.І., Малий А.С. Визначення місць ушкоджень ліній електропередачі за параметрами аварійного режиму / за ред.Г.М. Шалита - 2е вид., перероб. і дод./ М.: Енергоатоміздат, 1983.
3. Айзенфельд А.І., Шалит Г.М. Визначення місць короткого замикання на лініях з відгалуженням. М.: Енергія, 1977.
4. Арцишевський Я.Л., ЗМП ліній електропередачі в мережах з заземленою нейтраллю. М.: Вища школа, 1988.
5. Айзенфельд А.І., Аронсон В.М., Гловацький В.Г., Фіксуючі індикатори струму і напруги ЛФП-А, ЛФП-В, ФПН, ФПТ.-М.: Енергоатоміздат, 1989.
6. Аржанников Є.А. Дистанційний принцип в релейний захисту і автоматиці ліній при замикання на землю. М.: Енергоатоміздат, 1985.
7. Лямець Ю.Я., Антонов В.І., Єфремов В.А., Нудельман Г.С., Підшивалін Н.В. Діагностика ліній електропередач. - Електротехнічні мікропроцесорні пристрої і системи: Міжвузівський зб. наук. тр. / Чобоксари: Вид-во Чуваського університету, 1992.
8. Суяр, Саркіз, Мутон. Розвиток принципів вимірювання та виконання систем захисту та визначення місця ушкодження для трифазних ПЛ. - У кн.: Релейна захист і протиаварійна автоматика (СІГРЕ-74). Енергія, 1976
9. Білотілов А.К., Саухатас А.-С.С., Іванов І.А., Любарський Д.Р. Алгоритми функціонування і досвід експлуатації мікропроцесорних пристроїв визначення місць ушкодження ліній електропередач. Електричні станції, 1997, N 12, с.7-12