

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

КУТІНА МАРИНА ВАСИЛІВНА

УДК 621.316.925

**МЕТОДИ І ЗАСОБИ ЗАХИСТУ ВІД ОБРИВУ ПРОВОДА ТА
ПОШУК МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ В РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ ЗІ
СКЛАДНОЮ ТОПОЛОГІЄЮ НАПРУГОЮ 6-35 кВ**

Спеціальність 05.14.02 – Електричні станції, мережі і системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті, Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Лежнюк Петро Дем'янович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри електричних станцій і систем.

Офіційні
опоненти: доктор технічних наук, професор
Назаров Володимир Васильович,
ПАТ «Хмельницькобленерго», м. Хмельницький,
провідний науковий співробітник

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Кошман Всеволод Іванович,
Інститут електродинаміки НАН України, м. Київ,
старший науковий співробітник відділу
оптимізації систем електропостачання.

Захист відбудеться «14» грудня 2012 р. о 9.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.05 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГНК.

Автореферат розісланий «13» листопада 2012 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В. В. Кулик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Найбільш ненадійним елементом системи електропостачання є повітряні лінії електропередачі напругою 6-35 кВ, які мають деревоподібну топологію. При віддалених к.з. і пошкодженнях за трансформаторами в повітряних лініях напругою 6-35 кВ струми к.з. мало відрізняються від струмів навантаження. Особливо небезпечним є аварійний режим, який супроводжується обривом фазного провода. Струмові захисти від несиметричних режимів на цей вид пошкодження не реагують. Після падіння провода на землю виникає однофазне замикання на землю (ОЗЗ) через значний перехідний опір. Існуючі засоби від ОЗЗ надійно спрацьовують тоді, коли перехідний опір не перевищує 1 кОм, і діють на сигнал. Процес пошуку пошкодження характеризується низьким рівнем автоматизації і може тривати протягом декількох годин. За цей час в місці падіння провода відбувається «спікання» ґрунту, що призводить до різкого зростання перехідного опору. Захист від ОЗЗ перестає діяти і небезпечне поле розтікання струму може існувати протягом невизначеного часу. Несиметричний режим роботи мережі негативно впливає на роботу споживачів, особливо двигунів.

Таким чином, розвиток теорії побудови ефективних методів захисту від обриву фазного провода повітряних ліній електропередачі з деревоподібною топологією і автоматизація процесу пошуку пошкодження під час їх експлуатації дозволять збільшити рівень надійності, безпеки і ефективності експлуатації електричних мереж, що є актуальною науково-прикладною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Науково-дослідна робота за темою дисертації виконувалася в напрямку наукових досліджень кафедри «Електричні станції та системи» Вінницького національного технічного університету, а також згідно держбюджетної теми: «Оптимізація функціонування електричних мереж енергосистем в умовах зростання навантаження споживачів та децентралізації їх живлення» (№ держреєстрації 0110U002161).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення надійності функціонування релейного захисту розподільної мережі 6-35 кВ з деревоподібною топологією від обриву провода і автоматизація процесу визначення місця пошкодження шляхом вимірювання струму зворотної послідовності до моменту падіння провода на землю, а також напруги нульової послідовності після його падіння та застосування локаційних методів пошуку місця обриву провода.

Для досягнення мети поставлені і розв'язані такі задачі:

- аналіз конструктивних особливостей, режимів роботи, рівня автоматизації та обслуговування розподільних мереж напругою 6-35 кВ; аналіз існуючих методів і засобів захисту від несиметричних режимів роботи та методів пошуку пошкоджень в розподільних електричних мережах 6-35 кВ;

- дослідження параметрів і характеристик існуючих розподільних мереж напругою 6-35 кВ за несиметричних режимів роботи;
- теоретичне обґрунтування методу захисту від обриву провoda розгалуженої лінії електропередачі напругою 6-35 кВ;
- вдосконалення локаційного методу визначення місця обриву провoda;
- розроблення технічних засобів захисту від обриву провoda і пошуку місця пошкодження та обґрунтування ефективності їх застосування.

Об'єктом дослідження є процеси, які відбуваються після обриву провoda розподільної мережі напругою 6-35 кВ з повітряними лініями електропередачі і деревоподібною топологією.

Предметом дослідження є методи та засоби захисту розподільної мережі напругою 6-35 кВ з повітряними лініями електропередачі і деревоподібною топологією від обриву фазного провoda та визначення місця пошкодження.

Методи дослідження. Використано експериментальні дослідження для накопичення статистичного матеріалу технологічних порушень при обслуговуванні повітряних ЛЕП 6-35 кВ в розподільних мережах ПАТ «Вінницяобленерго». Для визначення параметрів аварійного режиму обриву провoda розглядалися фізичні та математичні моделі, побудовані на основі теорії лінійних і нелінійних електричних кіл. Для побудови математичної моделі перехідного опору в місці падіння провoda на землю застосовувалися методи фізичного моделювання та емпіричні методи. Для обґрунтування методу захисту від обриву використовувалась теорія кінцевих автоматів. Для побудови методів розпізнавання рефлектограм та імпульсного зондування – теорія локаційних методів.

Достовірність результатів досліджень підтверджується шляхом ретроспективної перевірки створених методів та моделей, розв'язку відповідних задач за допомогою запропонованих методів і порівняння їх результатів з результатами, отриманими на практиці завдяки реалізації запропонованих методів у вигляді пристроїв, їх випробування на стендах і впровадження у виробництво та навчальний процес.

Наукове положення. Аварійний несиметричний режим роботи розподільної мережі зі складною топологією після обриву провoda характеризується значно меншими значеннями струму і напруги зворотної та нульової послідовностей у разі міжфазних к.з., а також типового замикання на землю. Таким чином, може бути виявлений шляхом послідовного вимірювання на початку лінії струмів зворотної послідовності до моменту падіння провoda на землю, та напруги нульової послідовності після падіння провoda на землю, а місце обриву – локаційним методом, що дає змогу підвищити рівень надійності та безпеки експлуатації розподільної мережі і автоматизувати процес пошуку місця обриву.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Вперше запропоновано метод захисту розподільної мережі зі складною топологією від обриву провoda, який, на відміну від відомих, передбачає у випадку відсутності блокувальної дії захисту від міжфазних к.з. вимірювання

струму зворотної послідовності і, з витримкою часу падіння провода на землю, вимірювання напруги нульової послідовності та порівняння їх значень з розрахунковими. У випадку перевищення першого передбачається дія на вимкнення, що дає можливість підвищити чутливість захисту та виключити невизначену відмову в спрацюванні.

2. Вперше запропоновано математичну модель процесу падіння провода, в якій, на відміну від відомих, враховуються параметри розподільної мережі, характеристики ґрунту та навколишнього середовища, що дає змогу визначити час падіння провода на землю та опір в місці падіння провода на землю і підвищити точність розрахунку параметрів спрацювання захисту.

3. Вдосконалено метод визначення місця обриву провода повітряної розподільної мережі з деревоподібною топологією шляхом застосування прямого та зворотного перетворення Фур'є для порівняння рефлекторам отриманих після спрацювання релейного захисту з попередньо зафіксованими імпульсним зондуванням, що дає змогу зменшити експлуатаційні витрати та час пошуку місця пошкодження.

Практичне значення одержаних результатів. Для реальних розподільних мереж шляхом моделювання отримано: залежність струму зворотної послідовності на початку лінії від місця обриву фазного провода на магістралі і відгалуженні, а також від місця обриву в прольоті до моменту падіння його на землю; залежність напруги нульової послідовності від місця обриву після падіння провода на землю; оцінено перехідний опір в місці падіння провода в залежності від місця обриву, питомого опору ґрунту та зовнішніх факторів. Отримані результати використано для вибору уставок спрацювання захисту та оцінювання рівня електробезпеки в місці обриву провода. Розроблено пристрій для захисту від обриву провода на мікроелектронній і мікропроцесорній елементних базах, який зменшує час існування поля розтікання струму в місці падіння провода і несиметричної системи живлення споживачів, а тому підвищує рівень надійності і безпеки експлуатації розподільної мережі; запропоновано систему для визначення місця обриву локаційним імпульсним зондуванням на основі рефлектметра РЕЙС-105Р, який відповідає вимогам дистанційності, універсальності і швидкодії. Розроблено програму розшифрування рефлектограми для розгалуженої мережі на основі різницевого методу, що дозволяє скоротити час пошуку місця обриву. Наукові положення, висновки і рекомендації використані в ПАТ «Вінницяобленерго» (акт від 04.04.2012 р.) у вигляді:

- методики виявлення обриву провода шляхом вимірювання струму зворотної послідовності до моменту падіння провода на землю, та напруги нульової послідовності після падіння провода на землю;
- методики розрахунку уставок спрацювання захисту від обриву провода;
- методики визначення перехідного опору в місці падіння провода на землю;
- методики пошуку місця пошкодження локаційним методом в розподільних електричних мережах зі складною топологією;

- розрахунку економічного ефекту від впровадження комплексу захисту від обриву проводу та локаційного методу пошуку обриву проводу.

- експериментального зразка автоматизованої системи керування аварійним режимом обриву проводу.

Теоретичні результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес в дисциплінах «Основи релейного захисту та автоматики», «Діагностика електричних мереж» (акт від 05.09.2012).

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення та результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані здобувачем одноосібно. Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві, такий: [6] – розроблено математичну модель для визначення ефективності системи діагностичного контролю розподільної мережі; [7] – запропоновано використовувати пряму і обернену математичні моделі, що побудовані на основі кореляційно-регресійного аналізу, для дослідження зв'язків між структурними параметрами та їх діагностичними ознаками; [8] – запропоновано методику розрахунку ефективності застосування комбінованого принципу діагностування технічного стану систем електропостачання з врахуванням імовірності випадкового вихідного сигналу об'єкту та коефіцієнта готовності; [9] – визначено умови роботоздатності ізоляції повітряних розподільних мереж відносно землі; [10] – побудовано топологічну модель в просторі властивостей у вигляді графа; [11] – проведено дослідження аварійних режимів повітряних ліній електропередачі та аналіз існуючих засобів захисту від обриву проводу. Доведено необхідність вдосконалення захисту від обриву проводу. Розглянуто можливість застосування локаційного методу в розподільних повітряних мережах напругою 6-35 кВ для пошуку місця обриву; [12] – запропоновано математичну модель визначення перехідного опору в місці падіння проводу на землю; [14] – досліджено ефективність функціонування системи електропостачання при застосуванні комбінованої системи керування технічним станом розподільних мереж; [17] – проведено дослідження ефективності застосування локаційного методу з використанням приладу РЕЙС-105Р в повітряних лініях електропередач зі складною топологією; [20] – запропоновано математичну модель для визначення перехідного опору в місці обриву проводу повітряної ЛЕП. [Теоретичні та практичні результати дослідження, що викладені у [1-21], отримані у Вінницькому національному технічному університеті.

Апробація результатів дисертації. Викладені в дисертації результати досліджень були апробовані на XIII Міжнародній конференції з автоматичного управління «Автоматика-2006», (м. Вінниця, 2006 р.); V та VI Всеукраїнських науково-технічних конференціях молодих вчених і спеціалістів, (м. Кременчук, 2007-2008 р.р.); IX та X Міжнародних конференціях «Контроль і управління в складних системах», (м. Вінниця, 2008, 2010 р.р.); науковому семінарі «Проблеми і перспективи енергозбереження комунального господарства і промислових підприємств», (м. Луцьк, 2009 р.); I Міжнародній науково-технічній конференції «Оптимальне керування електроустановками (ОКЕУ-

2011)», (м. Вінниця, 2011 р.); XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика», (м. Кременчук, 2011 р.); XII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми сучасної електротехніки (ПСЕ-2012)», (м. Вінниця, 2012 р.).

Публікації. Основний зміст роботи опубліковано в 21 друкованій праці. Серед них 12 статей у наукових фахових виданнях, 1 публікація у збірнику тез доповідей та 8 – у збірниках матеріалів міжнародних конференцій.

Структура дисертації. Дисертаційна робота містить вступ, 4 розділи, список використаних джерел із 131 найменування, 4 додатки. Загальний обсяг дисертації 215 сторінок, з яких основний зміст викладений на 145 сторінках друкованого тексту і містить 51 рисунок та 21 таблицю. Додатки містять результати експериментальних досліджень, програми розрахунків, акти впровадження результатів роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, сформульовано мету та задачі дослідження. Вказано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, наведено відомості про особистий внесок здобувача, апробацію роботи і публікації за темою дисертації.

У **першому розділі** показано, що розподільні мережі (РМ) напругою 6-35 кВ з повітряними лініями електропередач (ПЛЕП) є складною системою. Вони розподілені в просторі, мають деревоподібну структуру, є неоднорідними, а відмова в електропостачанні призводить до значних збитків. Розподільні мережі характеризуються несиметричним навантаженням фаз, різноманітністю і нерівномірністю добового навантаження та режимом заземлення нейтралі, мають низький рівень надійності.

Збір і оброблення статистичних даних аварійних режимів роботи в РМ ПАТ «Вінницяобленерго» за 2009 рік показали, що 72,7 % відключень були усунені діями автоматичного повторного ввімкнення та автоматичного введення резерву, а кількість відключень з пошкодженнями елементів ПЛЕП, склала: опор – 8,2 %, проводів – 27,7 %, ізоляції – 37 %, арматури кріплення – 8,7 %, інше – 18,4 %. Кількість пошкоджень, які супроводжувалися стійкими ОЗЗ, є найбільшою і складає 63,2 %, міжфазних замикань – 9,7 %, подвійних замикань на землю – 5,2 %, інше – 21,9 %.

Особливою складністю відрізняється ОЗЗ, яке виникає після обриву провода (ОП), (27,7 %). Найбільш небезпечним є ОП, який виникає в прольоті з боку джерела живлення у випадку падіння провода на землю. При цьому пошкоджена лінія не відключається засобами релейного захисту та автоматики (РЗА). Тому такий режим роботи є тривалим у часі і дуже небезпечним, оскільки він утворює поле розтікання струму в місці падіння провода. Це загрожує життю людей і тварин, супроводжується перенапругами, загорянням

опор, пошкодженням заземлення опор, виникненням пожеж. Несиметричний режим живлення двигунів спричиняє пошкодження і брак на виробництві. Перехідний опір в місці падіння провідника на землю є нестійким і може коливатись від десятків ом до одиниць мегаом. Пошук місця ОП багатокроковий, тому аварійний режим є тривалим.

Проведені дослідження показали, що для РМ довжиною декілька кілометрів засоби РЗА можуть забезпечувати необхідну чутливість та селективність. Значні труднощі виникають за наявності секційних вимикачів ПЛ 6-10 кВ з резервуванням. На таких вимикачах необхідно облаштувати два комплекти максимального струмового захисту (МСЗ) з різним рівнем чутливості і швидкодії, крім цього, в багатьох випадках виникають труднощі з узгодженням МСЗ з залежною характеристикою запобіжників, які використовують для захисту трансформаторів потужністю 250 кВА і менше на відгалуженнях. Струмова відсічка має обмежене застосування, оскільки її потрібно відстроювати від струмів к.з. ближньої до головної ділянки трансформаторної підстанції (ТП) і сумарного кидка струму намагнічення трансформаторів у всіх ТП.

Для підвищення чутливості МСЗ за несиметричних к.з. в мережах 6-35 кВ запропоновано використовувати захист, який реагує на струм зворотної послідовності. Як показали результати проведеного дослідження, необхідну чутливість вимірювання струму зворотної послідовності можна забезпечити лише на лініях, які відходять від однієї системи збірних шин, є несекціонованими і живлять потужне зосереджене навантаження. Відомі пристрої захисту від обриву провода, які використовують ознаку знеструмлення пошкодженої фази, в РМ з деревоподібною структурою є нечутливими при виникненні ОП за відгалудженням.

Застосування дистанційних методів визначення місця пошкодження не забезпечує необхідної точності. Топографічні методи пошуку місця ОЗЗ потребують послідовного обходу мережі і не забезпечують в ряді випадків необхідної чутливості через значний перехідний опір в місці падіння провода. Оптимізований алгоритм пошуку пошкоджень методом послідовного поділу мережі є багатокроковим і потребує значного часу, супроводжується значним недовідпуском електроенергії.

Виходячи з проведених досліджень, приходимо до висновку, що існує необхідність підвищення чутливості методів та засобів захисту ПЛ від ОП і автоматизації процесу пошуку місця падіння його на землю. Розв'язання цієї науково-прикладної задачі знаходимо шляхом вимірювання струму зворотної послідовності до моменту падіння провода на землю, і напруги (струму) нульової послідовності після падіння провода на землю, та застосування локаційного методу для автоматизації процесу пошуку місця пошкодження.

У другому розділі з метою виявлення параметрів та величин, чутливих до обриву провода, виконано розрахунки аварійного режиму роботи реальних ліній ПАТ «Вінницяобленерго» напругою 10 кВ за максимального та мінімального навантаження. На рис. 1, 2, для прикладу, представлено графіки

зміни струму зворотної послідовності та напруги нульової послідовності ПЛЕП напругою 10 кВ, ПАТ «Вінницяобленерго», «Соболівка, фідер 21» за режиму мінімальних навантажень.

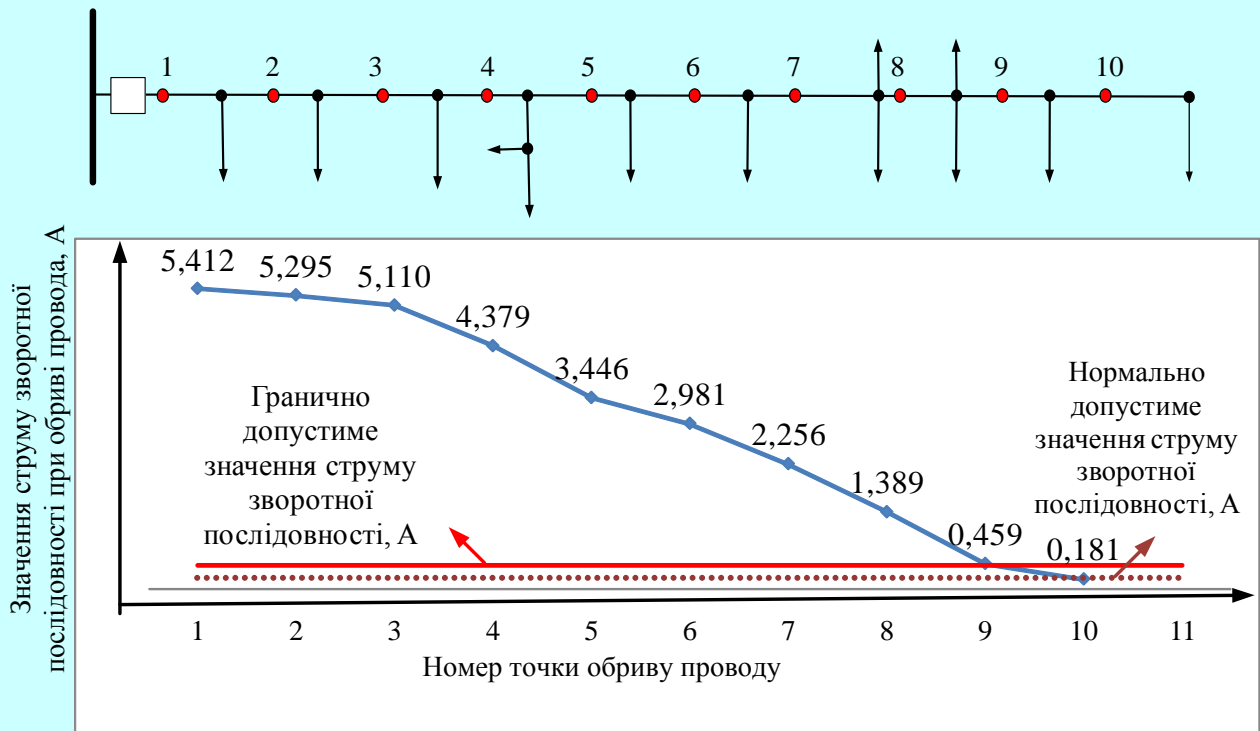


Рисунок 1 – Графік зміни струму зворотної послідовності після обриву провуда

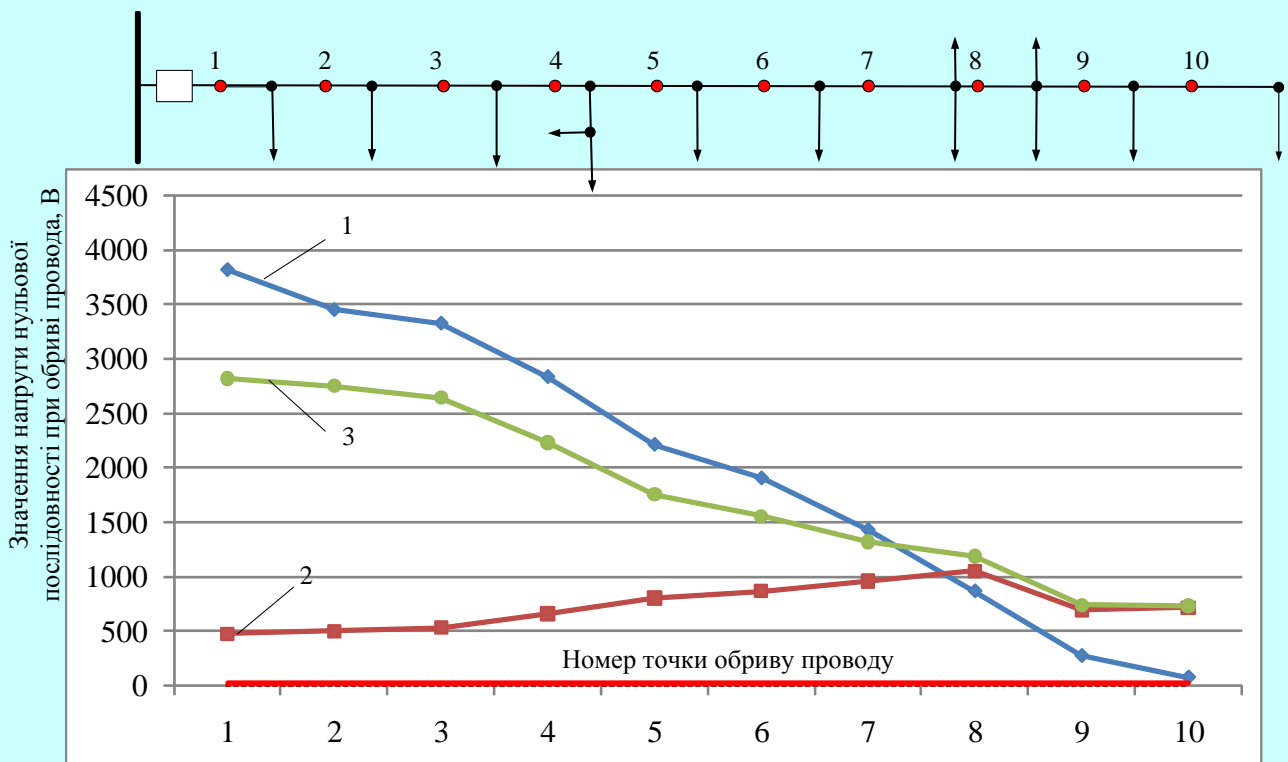


Рисунок 2 – Графік зміни напруги нульової послідовності після обриву провуда

Результати дослідження показали, що найбільш чутливими до обриву провода виявилися струм зворотної послідовності до моменту падіння провода на землю та напруга нульової послідовності після падіння провода на землю.

Запропоновано математичну модель для визначення часу падіння провода на землю:

$$t = \sqrt{\frac{2\left(y - H - \frac{\gamma l^2}{8\sigma}\right)}{-g}}, \quad (1)$$

де y – координата кінцевого положення провода по осі ординат; H – висота кріплення проводів; γ – приведене навантаження провода від власної ваги; σ – допустиме навантаження провода за середньорічної температури; l – половина довжини прольоту.

Результати розрахунку, виконані для типової ПЛЕП 10 кВ, показали, що час падіння провода на землю коливається в межах від 1,2 с до 1,6 с.

З метою підвищення точності розрахунку напруги нульової послідовності запропоновано математичну модель для визначення перехідного опору в місці падіння провода на землю, яка враховує кліматичні умови, довжину провода, що лежить на землі, та параметри ЛЕП. Повна (2) та спрощена (3) математичні моделі для визначення перехідного опору в місці падіння провода на землю мають вигляд:

$$R_{\zeta} = \frac{1}{\pi l} \left(\rho_0 + \frac{(\rho_{\partial} - \rho_0) \cos\left(\frac{I\sqrt{L}}{2\lambda d}\right)}{T_0 \left(1 - \cos\left(\frac{I\sqrt{L}}{2\lambda d}\right)\right) + \rho_{\partial} \frac{I^2}{k_T \rho S_i}} \right) \ln \left[\frac{1,778 l^5 E}{P \left(D^2 - \left(D - \frac{2P}{E\pi D} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}}} \right] + \rho_{\text{âââ}} \Delta / S, \quad (2)$$

$$R_{\zeta} = \frac{\rho}{\pi l} \ln \left[\frac{1,778 l^5 E}{P \left(D^2 - \left(D - \frac{2P}{E\pi D} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}}} \right] + \rho_{\text{âââ}} \Delta / S, \quad (3)$$

де $\rho_{\text{ср}}$ – середній питомий опір матеріалу провідника; Δ – товщина плівки; S – поверхня дотику; l – довжина провода, що контактує з землею; E – модуль пружності землі; d – діаметр утвореної лунки; D – діаметр кульки; P – навантаження; ρ_0 – питомий опір ґрунту при температурі навколишнього середовища T_0 ; ρ_0 – питомий опір при нагріві перехідного опору до температури T ; λ – коефіцієнт теплопровідності; p і S_i – периметр і площа поперечного перерізу провідника зануреного в землю; k_T – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні провідника; L – постійна Лоренца; I – струм замикання.

Для перевірки адекватності математичної моделі (3) визначення перехідного опору в місці падіння провода на землю були проведені експериментальні дослідження перехідного опору в місці дотику провода до землі. При проведенні експерименту з визначення питомого опору ґрунту застосовувався метод вертикального електричного зондування та пристрій МС-08. Марка провода, що використовувався при проведенні експерименту – АС-35, довжина провода 5 м та 10 м. Експеримент проводився восени за температури 10°C для трьох типів ґрунту.

Проведені експериментальні дослідження для перевірки адекватності моделі показали, що похибка моделі не перевищує $\pm 8,78\%$.

За результатами проведених досліджень запропоновано захист від обриву провода, рис. 3.

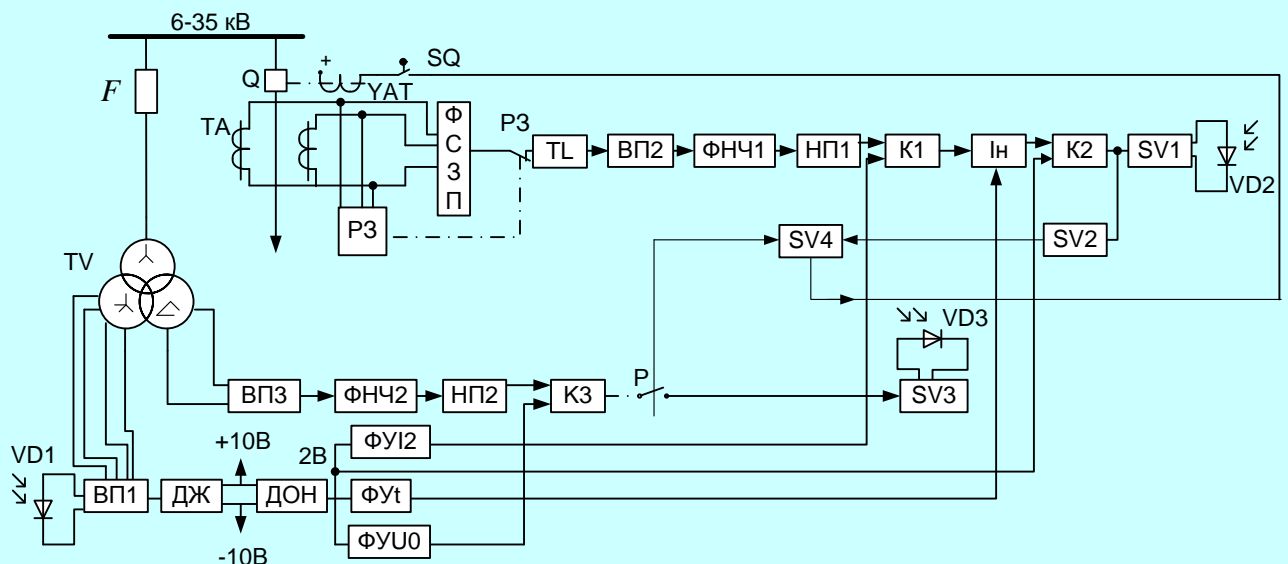


Рисунок 3 – Функціональна схема захисту від обриву проводу

На рис. 3: ВП1-3 – випрямлячі; TV – трансформатор напруги; ДЖ – джерело живлення; VD1-3 – світлодіоди; ДОН – джерело опорної напруги; ТА – трансформатори струму; ФСЗП – фільтр струму зворотної послідовності; Р3 – розмикаючий контакт релейного захисту від міжфазних к.з.; TL – проміжний трансформатор; ФНЧ1 – фільтр нижніх частот; НП1-2 – підсилювачі; К1, К2, К3 – компаратори. ФУ0, ФУ1, ФУ2 – відповідно, формувачі уставок

спрацювання захисту за напругою U_0 , струмом I_2 та часом; Ін – інтегратор; SV1-4 – ключі; Р – реле; YAT – котушка вимкнення; SQ – блок-контакт вимикача Q; PЗ – релейний захист від міжфазних к.з.

Для запобігання хибним спрацювань захисту від обриву, уставку спрацювання за струмом зворотної послідовності запропоновано вибирати виходячи з умови відстроювання від максимального значення струму небалансу зворотної послідовності $I_{1\dot{a}2\max}$ і мінімального розрахункового значення струму зворотної послідовності $I_{2\delta\dot{1}\varphi,\min}$ при обриві провода в кінці найбільш віддаленої ділянки мережі:

$$I_{\dot{n},\varphi,I} = k_1 I_{1\dot{a}2\max}, \quad (4)$$

$$I_{c,\varphi,II} = k_1 I_{2\delta\dot{1}\varphi,\min}, \quad (5)$$

де k_1 – коефіцієнт надійності, приймається 1,1-1,2, в залежності від елементної бази, на якій реалізовано релейний захист. Із двох розрахункових значень вибирають більше значення струму.

Уставку спрацювання захисту за напругою нульової послідовності при виникненні ОЗЗ після падіння провода, запропоновано визначати, як

$$U_{\dot{n},\varphi} = k_1 U_{1\dot{a}\max} = k_1 k_{\dot{A}\dot{A}U_0} U_1, \quad (6)$$

де $U_{1\dot{a}\max}$ – граничне допустиме значення напруги небалансу; $k_{\dot{A}\dot{A}U_0}$ – граничне допустиме значення коефіцієнта несиметрії за напругою нульової послідовності, що визначає стандарт; U_1 – номінальна напруга мережі.

Час спрацювання захисту необхідно вибрати більшим, ніж час спрацювання захисту від міжфазних к.з. $t_{\dot{n},\dot{D}\varphi,\max}$ і час падіння провода на землю:

$$t_{\dot{n},\varphi,1} = t_{\dot{n},\dot{D}\varphi,\max} + \Delta t, \quad (7)$$

$$t_{\dot{n},\varphi,2} = k_1' t_{\dot{1}\max}, \quad (8)$$

де Δt – ступінь селективності, 0,5 с; $k_1' = 1,2$; $t_{\dot{1}\max}$ – максимальний час падіння провода на землю.

Розглянуто приклади вибору уставок спрацювання захисту від обриву провода для реальних ліній електропередачі 10 кВ ПАТ «Вінницяобленерго». Результати розрахунку показали, що коефіцієнт чутливості захисту за струмом не менший ніж 3,1, за напругою 2,2, що перевищує регламентоване значення 1,5 і свідчить про достатню чутливість вибраних величин до обриву провода. Останні можуть бути використані для формування керуючого впливу захисту лінії від обриву провода.

У третьому розділі розглянуто доцільність застосування локаційного методу в умовах розподільної мережі з складною деревоподібною топологією,

яку мають мережі напругою 6-35 кВ.

Пошук місця пошкодження є складною повсякденною задачею оперативного персоналу. Тому існує необхідність автоматизувати процес пошуку. Проведено дослідження впливу активного, індуктивного і ємнісного навантаження різних значень на форму зондувального імпульсу. Дослідження показали, що при імпульсному зондуванні повітряних ліній, якщо активний опір лінії (навантаження) R_f і хвильовий опір $Z_{\text{оа}}$ однакові, то не існує відбитого імпульсу; коли $R_f < Z_{\text{оа}}$, то відбитий імпульс змінює свою полярність; якщо $R_f > Z_{\text{оа}}$, то відбитий імпульс зберігає свою полярність; при $R_f = 0$ (коротке замикання на лінії) відбитий імпульс змінює свою полярність; якщо $R_f = \infty$ (обрив лінії), відбитий імпульс зберігає свою полярність і його амплітуда становить не більше ніж 0,8 від амплітуди зондувального імпульсу. У випадку, коли в лінії здійснюється перехід з меншого хвильового опору на більший, то імпульс зберігає свою полярність, інакше – змінює її. Описані ознаки дозволяють виявити місцезнаходження обриву провoda.

Відгалуження на лініях характеризуються ємнісним вхідним опором. При зондуванні додатним імпульсом, відбиті імпульси від місця приєднання відгалуження мають як додатну, так і від'ємну частини. При збільшенні довжини відгалуження додатна частина імпульсу зменшується, а при відгалуженнях довжиною до 100 м взагалі зникає.

Трансформатори в розподільних мережах з повітряними лініями електропередачі мають обмотки з індуктивностями за яких імпульс, відбитий від них, зберігає свою полярність, але зменшується за амплітудою.

Локаційне зондування може здійснюватись шляхом під'єднання рефлектометра РЕЙС-105Р безпосередньо до відключеної від напруги лінії, або через спеціальний високовольтний фільтр, який знаходиться під високою напругою, а також через конденсатор ВЧ зв'язку до лінії, що знаходиться під напругою.

Для розшифрування рефлектограм при визначенні місця пошкодження (ВМП) запропоновано різницевий метод. Він дозволяє визначити місце обриву провoda без детального розшифрування рефлектограми. При виникненні обриву провoda, рефлектограма змінює форму сигналу одразу після проходження імпульсом місця пошкодження, ця особливість і покладена в основу різницевого методу. Дослідження різницевого методу проводились в лабораторних умовах на макеті лінії, рис. 4.

Лінія має три відгалуження. Її загальна довжина становить 94,5 м. Першим кроком ВМП буде зняття рефлектограми в нормальному режимі роботи (рис. 4, б). На рис. 4, а зображена лінія з відгалуженнями і рефлектограма (рис. 4, б) за відсутності пошкодження на лінії. На інших рефлектограмах показано обрив, наприклад, в точці 2, а нижче різницева рефлектограма (рис. 4, в).

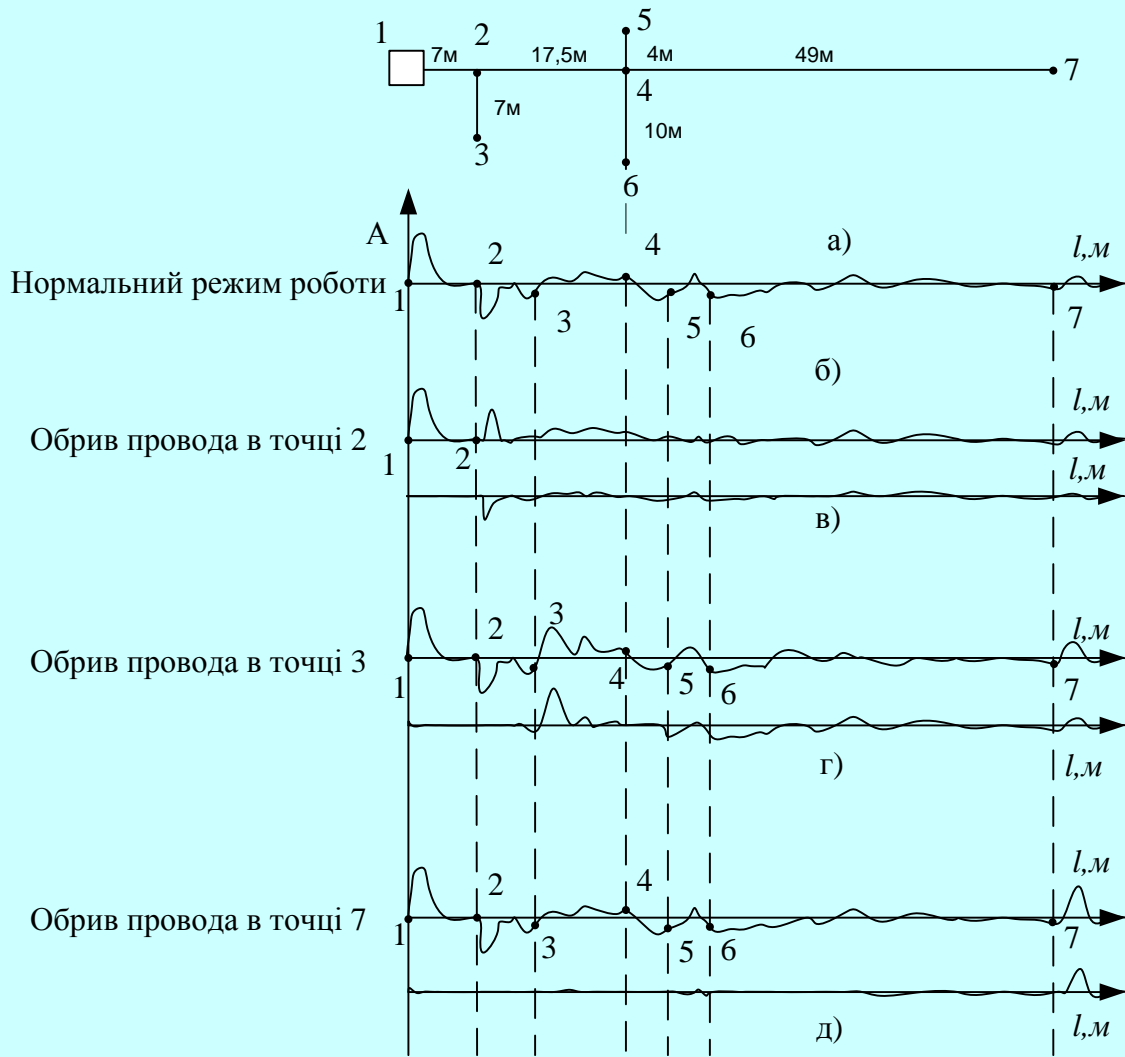


Рисунок 4 – Застосування різницевого методу для визначення місця обриву провода

Аналіз рефлектограм при обриві провода в точках 2-7 на магістралі і відгалуженнях показав, що на різницевій рефлектограмі завжди маємо пряму лінію до місця пошкодження (рис. 4, в, г, д). При виникненні обриву в кінці лінії (точка 7, рис. 4, д) на різницевій рефлектограмі відображається лише імпульс, відбитий від місця пошкодження.

У четвертому розділі запропонована автоматизована система керування аварійним режимом обриву провода (АСКАРОП), а також реалізація захисту від обриву провода на мікроелектронній та мікропроцесорній базах.

Найбільш прийнятним для розподільної мережі 6-35 кВ є змішаний спосіб будови АСКАРОП (рис. 5), згідно з яким на підстанції (ОК) розташовують пристрій релейного захисту від обриву провода – РЗ (рис. 5), який згрупований в один блок. Робота останнього залежить від величини та послідовності подачі сигналів на його вхід від трансформаторів струму (i_k) і напруги нульової послідовності (U_0) після падіння провода на землю. Третій сигнал $x(t)$ блокує дію релейного захисту. Він виникає при спрацюванні

захисту від міжфазних к.з. (на рисунку не показано). Центральна частина АСКАРОП є автономною і утворює підсистему визначення місця обриву (ПВМП). Вона включає в себе оперативно-виїзну бригаду (ОВБ), оснащену транспортними засобами, пристрій для ВМП локаційним методом і засоби радіозв'язку ОВБ з центром керування (ЦК). Інформація про спрацювання захисту – сигнал $\gamma(t)$ подається на привод вимикача пошкодженої лінії (ОК) і каналами телемеханіки $k(t)$ в центр керування (ЦК) (диспетчерський пункт). Диспетчер, керуючись нормативними документами, інструкціями, технічними засобами та можливостями оперативного та ремонтного персоналу, які відображені в блоку «зовнішнє середовище (ЗС)», (сигнали $\beta(t)$ і $Q(t)$), направляє оперативно-виїзну бригаду з технічними засобами (сигнал $Z(t)$) на підстанцію, від якої живиться пошкоджена лінія.

Оперативно-виїзна бригада, використовуючи ПВМП, здійснює пошук місця пошкодження (сигнал $\xi(t)$), обмінюючись інформацією (сигнал $Z(t)$) з центром керування.

Таким чином, в процесі керування аварійним режимом обриву провода між технічними засобами, диспетчером і ОВБ розподіляються функції, виконання яких визначається програмою, побудованою на взаємопов'язаних математичних і логічних операціях, що утворюють окремі алгоритми.

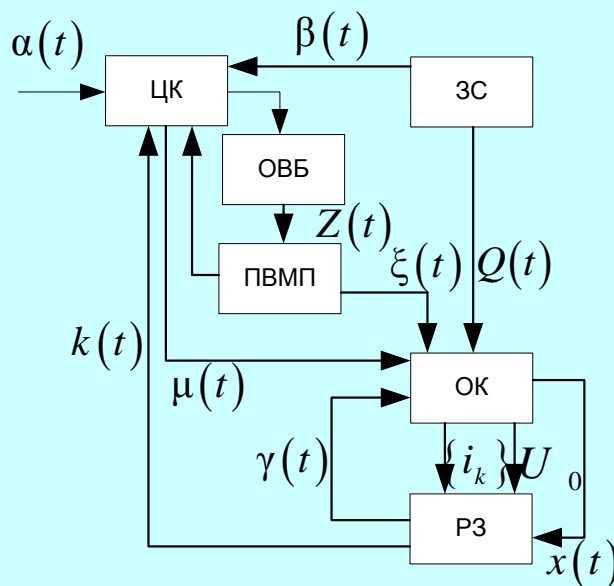


Рисунок 5 – Структура АСКАРОП

Алгоритм функціонування системи АСКАРОП забезпечує підтримку заданого рівня надійності, безпеки і ефективності використання розподільної мережі в процесі її експлуатації (сигнал $\alpha(t)$).

Алгоритм керування $\mu(t)$ виявляє обрив провода $k(t)$ і локалізує пошкоджену лінію на підстанції від іншої частини системи електропостачання -

$\gamma(t)$, визначає місце пошкодження $\xi(t)$ з урахуванням існуючої системи технічного обслуговування і ремонту ($\alpha(t)$, $Z(t)$), тобто:

$$\mu(t) = f[\alpha(t)\bar{x}(t), \beta(t), \gamma(t), k(t), Z(t), \xi(t)]. \quad (9)$$

Для зменшення похибки визначення місця обриву в розгалужених електричних мережах з високою неоднорідністю, пропонується алгоритм, в якому застосовано перетворення Фур'є (рис. 6, 7), що дозволяє усунути завади.

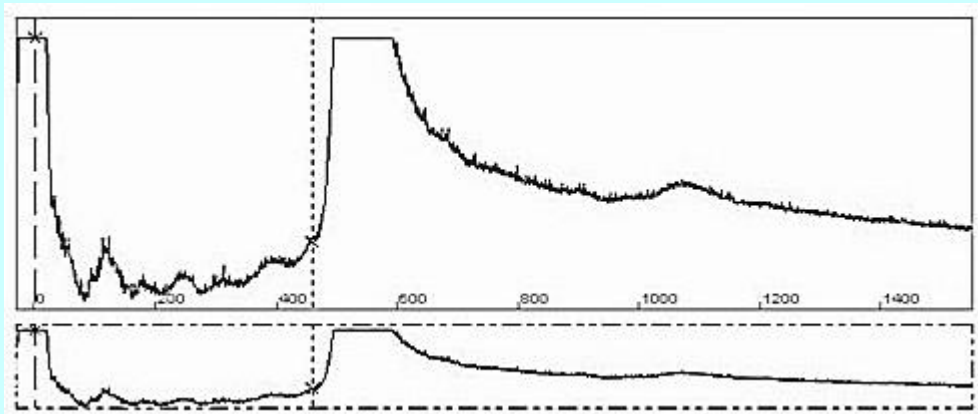


Рисунок 6 – Зображення рефлектограми до застосування перетворення Фур'є

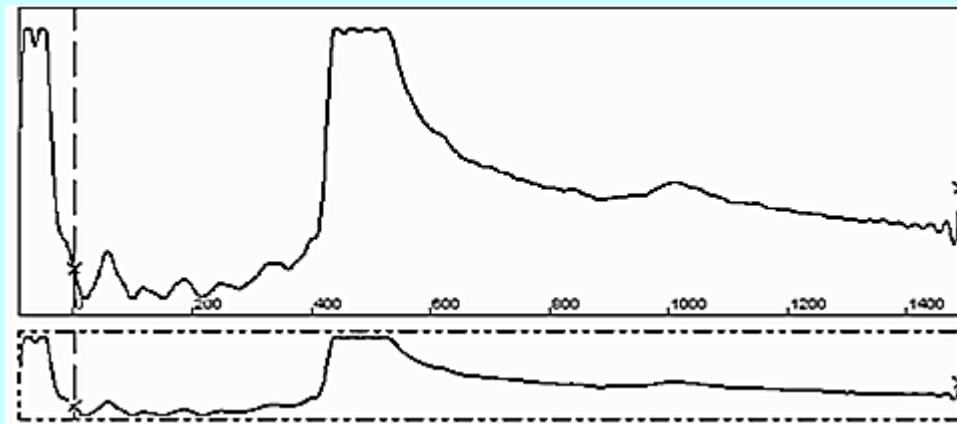


Рисунок 7 – Зображення рефлектограми після застосування перетворення Фур'є

Запропоновано методику оцінювання ефективності АСКАРОП. Оцінювання ефективності застосування АСКАРОП здійснюється шляхом порівняння її з двома базовими варіантами: застосування пристроїв, що ґрунтуються на використанні вищих гармонік в струмі нульової послідовності, («Поиск-1», «Волна», «Зонд», «ВП-1» та інші), та методом послідовного ділення мережі з оптимальною послідовністю перевірок.

ВИСНОВКИ

В роботі розв'язано актуальну науково-прикладну задачу, яка присвячена розвитку методів і засобів дослідження, розрахунку, проектуванню автоматизованої системи керування аварійним режимом обриву провода розподільних мереж зі складною топологією, як засобу підвищення рівня надійності, безпеки і ефективності їх експлуатації. Основні висновки, наукові та практичні результати полягають в наступному.

1. Проаналізовано характер та причини пошкоджень розподільних мереж з повітряними лініями електропередачі. Показано, що основна кількість пошкоджень пов'язана з порушенням ізоляції мережі відносно землі та обриву проводів розподільних мереж з подальшим падінням їх на землю. Існуючі засоби захисту розподільних мереж реагують на міжфазні к.з. і не чутливі до виникнення обриву провода. Засоби захисту від ОЗЗ діють на сигнал, а в ряді випадків не спрацьовують через значний перехідний опір в місці пошкодження. В місці обриву утворюється небезпечне поле розтікання струму. Ефективним залишається лише метод послідовного поділу мережі, який вимагає значних витрат часу.

2. Проведено дослідження значень струму зворотної послідовності і напруги нульової послідовності в залежності від місця обриву провода в розгалуженій мережі та в прольоті, а також перехідного опору в місці падіння провода для ПЛЕП 10 кВ. Побудовано модель процесу обриву провода і падіння його на землю. Установлено, що час падіння, в залежності від місця обриву, може змінюватись в межах 1,2-1,7 с. Тому перехідними процесами при визначенні струму зворотної послідовності можна знехтувати. Значення струму зворотної послідовності, визначене на початку лінії, залежить від місця обриву і може в десятки разів відрізнятись від значення струму при обриві до першого відгалуження чи в кінці лінії. Струм зворотної послідовності при міжфазних к.з. на два-три порядки перевищує струм зворотної послідовності при обриві провода на початку лінії.

3. Розроблено математичну модель для визначення перехідного опору в місці падіння провода на землю. Проведені дослідження показали, що значення перехідного опору в місці падіння провода на землю може знаходитись в межах від 5 Ом до 10 кОм. В залежності від часу існування аварійного режиму і струму замикання на землю, температура ґрунту в місці падіння провода може сягати 80-100 °С. За такої температури відбувається спікання ґрунту.

4. Розроблено математичну модель для визначення напруги нульової послідовності в залежності від місця обриву провода на лінії та в прольоті. Доведено, що значення напруги нульової послідовності змінюється в залежності від місця обриву на лінії і в прольоті. Найбільш небезпечним є обрив лінії на початку прольоту.

5. Для автоматизації процесу пошуку пошкодження в розподільній мережі з деревоподібною топологією доцільно використовувати локаційний метод зондування на основі приладу РЕЙС-105Р. В результаті проведених

досліджень визначено параметри та діагностичні ознаки для імпульсного діагностування. Якщо активне навантаження лінії R_1 і хвильовий опір $Z_{\text{об}}$ однакові, то не існує відбитого імпульсу.

6. Запропоновано автоматизовану систему керування аварійним режимом обриву провoda, яка ґрунтується на змішаному способі побудови, коли на підстанції розташовують засіб релейного захисту від обриву провoda, що утворює окремий блок, робота якого узгоджена з алгоритмом роботи засобів РЗА, а центральна частина є автономною і утворює підсистему для автоматизації процесу пошуку пошкодження. До складу підсистеми входить ОВБ, оснащена приладом для ВМП та радіозв'язком з диспетчером. Запропоновано принципову схему релейного захисту від обриву як на мікроелементній основі на базі реле РС40М і УЗА-АН, що випускаються серійно, так і на мікропроцесорній основі. Мікропроцесорний варіант захисту від обриву створено на базі реле УЗА-АН з контролером *ATmega8515*.

Локаційне зондування здійснюється рефлектметром РЕЙС-105Р, шляхом його безпосереднього під'єднання до відключеної від напруги лінії, або через спеціальний високочастотний фільтр. Для розшифрування отриманих рефлектограм застосовано різницевий метод, який дає найбільш точні результати.

7. Запропоновано методику розрахунку економічної ефективності від застосування АСКАРОП. Застосування АСКАРОП дозволяє підвищити коефіцієнт готовності в середньому на 0,6 %, коефіцієнт простою зменшити в середньому на 40 %, коефіцієнт технічного використання і оперативної готовності підвищити на 0,7 %, знизити час пошук і недовідпуск електроенергії майже втричі. Річний економічний ефект від використання АСКАРОП при прийнятих умовах складає 552 грн на одну лінію.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кутіна М. В. Захист від аварійних режимів розподільних мереж зі складною топологією / М. В. Кутіна // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2007. – №3 (44) – С. 129–131.

2. Кутіна М. В. Однофазне замикання на землю при обриві провoda в мережах напругою 6-35 кВ / М. В. Кутіна // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2010. – №3 (62), Ч.2. – С.103–106. – ISSN 1995 – 0519.

3. Кутіна М. В. Визначення ознак аварійного режиму обриву провoda в повітряних лініях електропередачі напругою 6-35кВ / М. В. Кутіна // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. Кременчук. – 2011. – №2 (14) – С.145–149. – ISSN 2072 – 2052.

4. Кутіна М. В. Система керування аварійним режимом, спричиненим обривом провoda в розподільних мережах / М. В. Кутіна // Вісник Вінницького

політехнічного інституту. – 2011. – №6 – С. 60–63. – ISSN 1997–9266.

5. Кутіна М. В. Система захисту від обриву провода та пошук місця пошкодження в розподільних мережах напругою 6-35кВ/ М. В. Кутіна // Технічна електродинаміка. – 2012. – №2. – С. 46–48. – ISSN 1997–9266.

6. Кутін В. М. Оцінка ефективності системи діагностичного контролю електротехнічних комплексів / В. М. Кутін, М. О. Ілюхін, М. В. Кутіна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – №3 – С. 51–54

7. Кутін В. М. Метод визначення залежності між параметрами структури та діагностичними ознаками складних об'єктів / В. М. Кутін, М. В. Кутіна // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2006. – №3/2006 (38), Ч. 2. – С. 99–100.

8. Кутін В. М. Комбінований принцип діагностування технічного стану систем електропостачання / В. М. Кутін, М. О. Ілюхін, М. В. Кутіна // Наукові вісті. Інститут менеджменту та економіки “Галицька академія ” м. Івано-Франківськ – 2007. – №1(11) – С.62–66.

9. Кутін В. М. Комбінована система керування технічним станом розподільних мереж / В. М. Кутін, С. В. Матвієнко, М. В. Кутіна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – №1. – С. 37–41

10. Кутін В. М. Вибір діагностичних параметрів на основі топологічної моделі об'єкта / В. М. Кутін, М. В. Кутіна, М. О. Ілюхін // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. — 2008. — №4 (51), Ч.2. – С.70–73. – ISSN 1995 – 0519.

11. Кутіна М. В. Метод виявлення обриву лінії в повітряних розподільних мережах напругою 6-35 кВ / М. В. Кутіна, М. О. Ілюхін // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2009. – №4 (57), Ч.1. – С.166–167. – ISSN 1995 – 0519.

12. Математична модель для визначення перехідного опору в місці обриву провода повітряної ЛЕП : [Електронний ресурс] / П. Д. Лежнюк, М. В. Кутіна // Наукові праці ВНТУ. – 2011. – №2 – Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2011_2/2011-2.files/uk/11pdlotl_ua.pdf.

13. Кутіна М. В. Оцінка ефективності автоматичного пошуку несправностей в електроустановках / М. В. Кутіна // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації: IV Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених і спеціалістів: матеріали конференції. – Кременчук, 2006. – С. 100.

14. Кутін В. М. Комбінована система керування технічним станом розподільних мереж / В. М. Кутін, С. В. Матвієнко, М. В. Кутіна // Автоматичне управління (Автоматика-2006): XIII Міжнародна конференція: матеріали конференції. – Вінниця, 2006. – С. 116.

15. Кутіна М. В. Застосування локаційних методів для визначення виду і місця ушкоджень в розподільних мережах напругою 6-10 кВ / М. В. Кутіна // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації: V Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених і спеціалістів: матеріали конференції. – Кременчук, 2007. – С. 189.

16. Кутіна М.В. Діагностичні ознаки рефлектометрії повітряних розподільних мереж напругою 6-35 кВ / М. В. Кутіна // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації: VI Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів: матеріали конференції. – Кременчук, 2008. – С. 250–251.

17. Кутіна М. В. Захист від аварійних режимів роботи повітряних розподільних мереж напругою 6 – 35 кВ / М. В. Кутіна, М.О. Ілюхін // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2008): IX Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали конференції. – Вінниця, 2008. Електронний ресурс. Режим доступу: http://www.vstu.vinnica.ua/mccs2008/materials/subsection_3.1.pdf.

18. Кутіна М. В. Дослідження параметрів розподільної мережі при обриві проводу і короткому замиканні / М. В. Кутіна // XXXVII науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ. Електронне наукове видання матеріалів конференції. – Вінниця, 2008. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2008/ineeem/txt/kutina.pdf>.

19. Кутіна М. В. Визначення місця пошкодження при обриві проводу повітряних розподільних мереж напругою 6-35 кВ / М. В. Кутіна // Проблеми і перспективи енергозбереження комунального господарства і промислових підприємств: науковий семінар: тези доповіді. – Луцьк, 2009. – С. 93–97.

20. Лежнюк П. Д. Математична модель для визначення перехідного опору в місці обриву проводу повітряної ЛЕП / П. Д. Лежнюк, М. В. Кутіна // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2010): X Міжнародна конференція: матеріали конференції. – Вінниця, 2010. – С. 204.

21. Кутіна М. В. Визначення ознак аварійного режиму обриву проводу в повітряних лініях електропередачі напругою 6-35кВ / М. В. Кутіна // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах: Міжнародна конференція: матеріали конференції. – Кременчук, 2011.– №1(1). – С. 310.

АНОТАЦІЯ

Кутіна М. В. Методи і засоби захисту від обриву проводу та пошук місця пошкодження в розподільній мережі зі складною топологією напругою 6-35 кВ. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – Електричні станції, мережі і системи. – Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2012.

Запропоновано метод виявлення обриву проводу та автоматизації процесу пошуку місця обриву в розподільній мережі 6-35 кВ, який ґрунтується на вимірюванні струму зворотної послідовності до моменту падіння проводу на землю та напруги нульової послідовності після падіння проводу на землю, а також застосуванні локаційного методу для визначення місця обриву проводу. Розроблено математичну модель для визначення перехідного опору в місці падіння проводу на землю та часу падіння проводу на землю.

Створено автоматизовану систему керування аварійним режимом обриву провода, та пошуку місця пошкодження. Запропоновано методику розрахунку економічного ефекту від застосування автоматизованої системи керування аварійним режимом роботи обриву провода.

Результати роботи впроваджено в ПАТ «Вінницяобленерго» у вигляді експериментального зразка автоматизованої системи керування аварійним режимом обриву провода.

Ключові слова: розподільна мережа зі складною топологією, захист від обриву провода, автоматизація процесу пошуку місця пошкодження, однофазне замикання на землю, поле розтікання струму.

ABSTRACT

Kutina M. V. Methods and means of protection against breakage of wires and finding fault location in distribution network with complex topology voltage 6-35 kV. – A manuscript.

Dissertation for scientific degree of Candidate of Science (Engineering) on Specialty 05.14.02 - Electric power stations, networks and systems. – Vinnytsia National Technical University, – Vinnytsia, 2012.

A method of detecting wire breakage and automate the process of determination places to breakage distribution network 6-35 kV, which is based on measuring the current reverse sequence to the fall-to-ground and overvoltage after falling to the ground wire, and use location method for finding wire brook has been done here. A mathematical model for determining the transition resistance at the place of wire fall on the ground has been done here.

An automated control system emergency mode wire breakage, which provides reliable and efficient operation of the device protection from breakage of wires and using location method has been done here. The method of calculating the economic impact of the automated control system emergency mode wire brook is worked out.

The results are introduced in JSC "Vinnitsaoblenergo" as an experimental model of an automated control system emergency mode wire brook.

Keywords: distribution network with complex topology, protection of breakage of wires, automation process of detecting wire breakage, single-phase ground fault, field of spreading of current.

АННОТАЦИЯ

Кутина М. В. Методы и средства защиты от обрыва провода и поиск места повреждения в распределительной сети со сложной топологией напряжением 6-35 кВ. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции, сети и системы. – Винницкий национальный технический университет. – Винница, 2012.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной задачи повышения уровня надежности функционирования релейной защиты от обрыва провода распределительной сети с древовидной топологией, а также автоматизации

процесса определения места повреждения и повышению безопасности эксплуатации воздушных распределительных сетей.

Предложен метод определения обрыва провода и автоматизации процесса поиска места обрыва в распределительной сети со сложной топологией. Метод определения обрыва провода основан на измерении тока обратной последовательности до момента падения провода на землю и напряжения нулевой последовательности после падения провода на землю. Для определения места обрыва в распределительных воздушных сетях со сложной топологией применяется локационный метод. Разработана математическая модель для определения переходного сопротивления в месте падения провода на землю и времени падения провода на землю. Предложено устройство релейной защиты от обрыва провода для распределительных воздушных сетей со сложной топологией. Предложена принципиальная схема релейной защиты от обрыва как на микроэлементной основе на базе реле РС40М и УЗА-АН, выпускаемых серийно, так и на микропроцессорной основе. Микропроцессорный вариант защиты от обрыва создан на базе реле УЗА-АН с контроллером АТmega8515.

Для автоматизации процесса поиска повреждения в распределительной сети с древовидной топологией целесообразно использовать локационный метод зондирования на основе прибора РЕЙС-105Р. Локационное зондирования осуществляется рефлектометром РЕЙС-105Р путем его непосредственного подключения к отключенной от напряжения линии, или через специальной высокочастотный фильтр. Для расшифровки полученных рефлектограм применен разностный метод, который дает наиболее точные результаты.

Проведены исследования: характера изменения токов и напряжений при обрыве провода, изменения величины переходного сопротивления в месте падения провода на землю, времени падения провода на землю, чувствительность выбранных параметров к обрыву провода, импульсных реакций локационного метода на разный тип и величину нагрузки, с применением методов расшифровки рефлектограмм и определения места повреждения, эффективности применения прямого и обратного преобразования Фурье, надежности работы предлагаемой автоматизированной системы управления аварийным режимом обрыва провода.

Предложена методика выбора уставок срабатывания защиты от обрыва провода и определения места обрыва провода локационным методом. Значение тока срабатывания защиты при обрыве фазного провода до момента падения его на землю необходимо выбрать из условия отстройки тока обратной последовательности от максимального тока небаланса обратной последовательности (ГОСТ 13109 – 97) и от расчетного значения тока обратной последовательности при обрыве на наиболее отдалённом участке сети. Уставку по напряжению нулевой последовательности целесообразно выбирать путем отстройки от максимального значения напряжения нулевой последовательности, которое рекомендуется государственным стандартом.

Создана автоматизированная система управления аварийным режимом

обрыва провода, которая обеспечивает надежную и эффективную работу устройства защиты от обрыва провода и поиска места повреждения локационным методом. Предложена методика расчета экономического эффекта от применения автоматизированной системы управления аварийным режимом работы обрыва провода.

Применение автоматизированной системы управления аварийным режимом обрыва провода позволяет повысить коэффициент готовности в среднем на 0,6 %, коэффициент простоя уменьшить в среднем на 40 %, коэффициент технического использования и оперативной готовности повысить на 0,7 %, снизить время поиска и недоотпуск электроэнергии почти втрое (по сравнению с применением приборов, основанных на принципе появления высших гармоник в токе нулевой последовательности).

Практическим достижением является повышение надежности работы релейной защиты от обрыва провода, безопасности эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 6-35 кВ со сложной топологией и автоматизация процесса определения места обрыва. Результаты работы внедрены в ПАО «Вінницяоблэнерго» в виде экспериментального образца автоматизированной системы управления аварийным режимом обрыва провода.

Ключевые слова: распределительная сеть со сложной топологией, защита от обрыва провода, автоматизация процесса поиска места повреждения, однофазное замыкание на землю, поле растекания тока.

Підписано до друку 06.11.2012 р. Формат 29,7 x 421/4.

Наклад 100 прим. Зам. № 2012-174

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-39