УДК 621.311

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ТА МІСЦЬ ВСТАНОВЛЕННЯ ПОКАЖЧИКІВ МІСЦЬ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ В ПЛ 10 КВ НА БАЗІ PLC ТЕХНОЛОГІЙ

Пазій В. Г., Сиротенко М. О., Мірошник О. О.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Запропонована математична модель визначення оптимальної кількості покажчиків місць коротких замикань радіальних повітряних ліній електропередавання.

Постановка проблеми. Розподільні мережі 6 – 35 кВ характеризуються значною довжиною, мають велику кількістю розгалужень та ділянок з ускладненим доступом. Для зменшення незапланованих перерв у електропостачанні споживачів поряд з підвищенням надійності елементів системи електропостачання та їх належною експлуатацією досить важливим є і якнайшвидший пошук та усунення пошкодження. Одним із способів ефективного вирішення даного завдання є використання спеціальних технічних засобів, що визначають характер та відстань до місця пошкодження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Технічні засоби для визначення місць пошкодження – покажчики місць коротких замикань (ПМЗ) широко використовуються при експлуатації повітряних ліній (ПЛ) усіх класів напруг. Існує велика кількість ПМЗ різних виробників і різного призначення. Вони відрізняються величиною фіксованого струму однофазного короткого замикання (к.з.) в залежності від режиму нейтралі мережі, способом установки – на опорі чи на проводі, принципом роботи.

Методи та засоби ПМКЗ на ПЛ з великими струмами замикання на землю, що встановлюються в мережах 110 кВ і вище, ґрунтуються на вимірюванні та запам'ятовуванні параметрів аварійного режиму (струмів і напруг прямої, зворотної та нульової послідовності) і обчисленні відстані до місць пошкодження. Для вимірювання та запам'ятовування струмів і напруг використовуються напівпровідникові та мікропроцесорні фіксуючі прилади [1, 2, 3]. Такі прилади дозволяють реалізувати більш складні алгоритми ПМЗ, вони більш пристосовані до перепрограмування при зміні параметрів мережі, більш точні, їх похибка визначення відстані до місця пошкодження не перевищує 5 %.

У сільських розподільних мережах напругою 10 кВ знайшли застосування найпростіші прилади типу ФИП (ФИП-1, ФИП-2, ФИП-Ф), ЛИФП і ін. Широко використовується також пристрій типу ФМК-10 [1]. Однак ці прилади мають ряд недоліків, зокрема необхідність додаткових розрахунків чи попередня побудова еквіструмових кривих для визначення відстані до точки к.з. Також вони мають низьку точність.

Відстані до місць багатофазних замикань у розподільних мережах 6–35 кВ визначаються засобами ПМЗ, які встановлені на живильних підстанціях. Проте, внаслідок значної розгалуженості мереж 6–35 кВ, точно вказати місце пошкодження навіть при використанні високоточних засобів досить складно.

При пошкодженні на лінії і після відключення пошкодження вимикачем і визначенні відстані до місця пошкодження виникає завдання визначення аварійної ділянки оскільки можливо кілька варіантів внаслідок розгалуженості мережі. Для орієнтування при пошуку місця пошкодження в місцях розгалуження мережі встановлюються ПМКЗ, що фіксують факт протікання струму к.з.

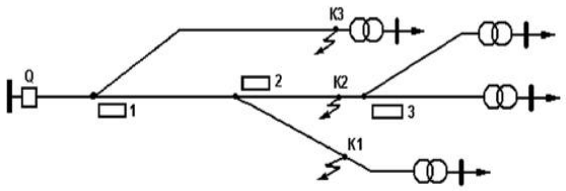

Рисунок 1 – Розміщення ПМЗ в розгалуженій мережі

За даними покажчиків 1, 2 і 3 можна правильно визначити напрямок пошуку місця к.з. Зокрема, при замиканні в точці К1 факт протікання струму к.з. буде зафіксований тільки покажчиком 1.

В якості даних покажчиків можуть бути використані, наприклад, індикатори к.з. ИКЗ-3 [4], що призначені для визначення місця розташування к.з. та спостереження за станом ПЛ розподільних мереж напругою 6–35 кВ. Дані прилади встановлюються на опорах ПЛ. Дані пристрої реєструють міжфазні замикання та однофазні замикання на землю та дозволяють здійснювати візуальний або дистанційний контроль наявності аварійної ситуації. Параметри передаються по GPRS-каналу, що не завжди зручно, оскільки GPRS-канал потребує додаткової оплати, що зростає особливо при значній кількості пристроїв, та має обмежену зону дії.

Позбутися цього недоліку дозволяє використання ПМЗ з PLC-каналом передачі даних [1]. Передача даних відбувається в діапазоні частот 70-90 кГц, де мінімальні перешкоди та затухання сигналу. Даний пристрій містить датчик струму, який являє собою трансформатор струму з рознімним магнітопроводом, що дозволяє одягати його на провід ЛЕП. Датчик струму призначений для живлення пристрою, тобто за допомогою нього відбувається відбирання з лінії струму промислової частоти для заряджання акумуляторної батареї. Також датчик струму виконує функцію пристрою високочастотного приєднання, тобто за допомогою нього здійснюється введення в лінію електропередачі струмів високої частоти від PLC-модему. Проте, недоліком даних пристроїв є невелика відстань передачі, внаслідок малої потужності модему, що живиться через трансформатор струму.

Також останнім часом у розподільних мережах 6 (10) кВ Харківобленерго була впроваджена автоматизована система моніторингу розподільних мереж (СМ РЕМ) [5], модулі якої встановлюються на відгалуженнях, мають надійне живлення та оснащені GSM каналом зв'язку. Дана система моніторингу має завдання зменшити обсяги аварійних недовідпусків електроенергії споживачам.

Наявність СМ РЕМ не на одній, а на всіх розподільних лініях РРЕМ зменшує час очікування готовності ОВБ, порівняно з неавтоматизованою лінією за рахунок скорочення тривалості обслуговування однієї заявки внаслідок зменшення тривалості пошуку пошкодження.

Модулі СМ РЕМ дозволяють вимірювати велику кількість параметрів мережі, мають в своєму складі акумулятор та сонячну батарею, що забезпечує безперебійність живлення та надійність зв'язку з ними, проте оскільки вони встановлені лише на відгалуженнях, то точно визначити місце пошкодження з їх допомогою все ж досить складно.

Для підвищення точності визначення місць пошкоджень за допомогою СМ РЕМ, доцільно було б доповнити систему ПМЗ з PLC-каналом передачі даних, що описані в [1]. Пропонується на відгалуженнях із встановленими модулями СМ РЕМ встановити через певні відстані ПМЗ, що будуть реєструвати струми у даному відгалуженні і надсилати дані до модуля СМ РЕМ, що встановлений на цьому відгалуженні.

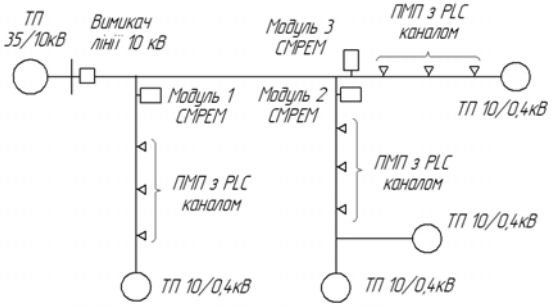

Рисунок 2 – Розміщення ПМЗ з PLC каналом в мережі спільно з СМ РЕМ

При використанні ПМЗ скорочення недовідпуску електроенергії від пошкодження повітряної лінії досягається за рахунок мінімізації часу пошуку місця аварії. Щоб вирішити дану задачу необхідно вибрати тип ПМЗ, що найбільше задовольняє конкретні умови, визначити оптимальну кількість та місце установки ПМЗ та вибрати оптимальний маршрут пошуку місця аварії.

Оскільки спільне вирішення даних задач потребує значного обсягу обчислювальних ресурсів, то в даній статті зосередимось на вирішенні задачі вибору оптимальної кількості та місць встановлення ПМЗ.

Мета статті. Обгрунтування вибору оптимальної кількості та місць встановлення ПМЗ на базі PLC каналу зв'язку.

Основні матеріали дослідження. В сучасних умовах розвитку енергетики при постановці задачі пошуку оптимальної схеми розташування пристроїв для виявлення місць к.з. та локалізації пошкоджених ділянок необхідно враховувати інтереси як споживачів електричної енергії, так і електропостачальних організацій.

Інтереси споживачів, у даному випадку, полягають у підвищенні надійності електропостачання, найбільш розповсюдженими показниками якої є SAIDI та SAIFI. Однак, як показано в [6], для мінімізації числа показників при визначенні рівня надійності доцільніше використовувати один індекс – SAIDI, який розраховується згідно наступної залежності:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{n} U_i \cdot N_i}{N_T}, \qquad (1)$$

де U_i – тривалість i-ої перерви у постачанні електричної енергії, год;

N_i – кількість відключених споживачів під час i-ої перерви у постачанні електричної енергії;

N_T – загальна кількість споживачів;

n – кількість перерв в електропостачанні за розрахунковий період (зазвичай один рік).

Збільшення техніко-економічного ефекту знаходяться в інтересах електропостачальних організацій. Його розрахунок з метою подальшого порівняння альтернатив може бути здійснено згідно наступних виразів:

$$Eff_i = Eff_{\Delta Wi} + Eff_{ZSi}, \qquad (2)$$

$$Eff_{\Delta Wi} = Inj_{БП} - Inj_i, \qquad (3)$$

$$Eff_{ZSi} = ZS_{БП} - ZS_i, \qquad (4)$$

де Eff_i – загальний ефект, що отриманий завдяки установці пристроїв згідно i-ої схеми розташування, у.о./рік;

$Eff_{\Delta Wi}$ – ефект, що отриманий від зменшення збитку, пов'язаного з недовідпуском електричної енергії, завдяки установці пристроїв згідно i-ої схеми розташування, у.о./рік;

Eff_{ZSi} – ефект, що отриманий від зменшення витрат на пошук місця пошкодження завдяки установці пристроїв згідно i-ої схеми розташування, у.о./рік;

$Inj_{БП}$ – збиток від недовідпуску електричної енергії в мережі без пристроїв, у.о./рік;

Inj_i – збиток від недовідпуску електричної енергії в мережі з установленими пристроями згідно i-ої схеми розташування, у.о./рік;

$ZS_{БП}$ – витрати на пошук місця пошкодження в мережі без пристроїв, у.о./рік;

ZS_i – витрати на пошук місця пошкодження в мережі з установленими пристроями згідно i-ої схеми розташування, у.о./рік.

Технічні рішення з максимізації ефекту від установки запропонованих пристроїв нерозривно пов'язані з матеріальними витратами. Для вирішення

статичних оптимізаційних задач в [7] запропонований наступний метод розрахунку приведених витрат:

$$Z_{нав.} = p_н \cdot K + I \,, \tag{5}$$

$$I = I_a + I_p + I_o \,, \tag{6}$$

де $Z_{нав.}$ – приведені витрати на установку пристроїв, у.о./рік;

$p_н$ – нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності капітальних вкладень, рік$^{-1}$;

K – капітальні вкладення на установку пристроїв, у.о.;

I – експлуатаційні витрати, у.о./рік;

I_a, I_p, I_o – витрати на амортизацію, поточний ремонт та обслуговування встановлених пристроїв відповідно, у.о./рік.

Також при формулюванні задачі пошуку необхідно враховувати декілька обмежень, які накладаються на множину вихідних альтернатив Y, створюючи похідну множину $X \subset Y$:

- місця потенційної установки пристроїв, згідно з [1], знаходяться одразу ж після точок відгалуження лінії та на довгих відгалуженнях через певну відстань $l_{\min}$;

- в якості альтернатив для установки розглядаються запропоновані пристрої для виявлення місць к.з. як з приладом для локалізації пошкоджених ділянок, так і без нього.

У загальному вигляді дана багатокритеріальна оптимізаційна задача може бути сформульована наступним чином

$$\begin{cases} SAIDI\left(X\right) \to \min \\ Eff\left(X\right) \to \max \\ Z_{нав.}\left(X\right) \to \min \end{cases} \tag{7}$$

при виконанні умов:

$$\left\{ x_i \in X \left| Eff\left(x_i\right) > Z_{нав.}\left(x_i\right) \right. \right\},$$

$$\left\{ x_i \in X \left| SAIDI\left(x_i\right) \geq SAIDI_{\min} \right. \right\},$$

де $SAIDI_{\min}$ – мінімальний рівень $SAIDI$, що влаштовує особу, яка приймає рішення, год.

Висновки. Таким чином, сформульована задача пошуку оптимальної схеми розташування пристроїв для виявлення місць к.з. та локалізації пошкоджених ділянок, яка дозволяє враховувати інтереси як споживачів електричної енергії, так і електропостачальних організацій.

Список використаних джерел

1. Пазій В. Г. Підвищення ефективності пристроїв контролю адресності місць коротких замикань в електричних розподільних мережах 6-10 кВ на базі PLC технологій. Вісник ХНТУСГ. Вип. 153. "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ, 2014. – С. 29–31.

2. Тарасов Е. В. Монтаж, наладка, эксплуатация электрооборудования. Часть I. Воздушные и кабельные линии электропередачи: учебное пособие / В. В. Тарасов; Томський політехнічний університет. – Томск: Вид-во Томського політехнічного університету, 2010. – 146 с.

3. Блинов И. В., Парус Е. В., Танкевич С. Е., Журавлев И. В. Применение индикаторов повреждений для определения аварийных участков радиальных воздушных линий электропередачи // Элекрические сети и системы, 2015. – №6. – С. 8–12.

4. ИКЗ-3 Индикаторы короткого замыкания. [Електронний ресурс]: http://mirmsk.ru/ikz-3-indikatory-korotkogo-zamykani.

5 Мірошник О. О., Моніторинг навколишнього середовища на основі системи відомчих автоматизованих метеопостів в енергетиці України / О. О. Мірошник , М. М. Черемісін // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України" – Харків: ХНТУСГ, 2005. – Вип. 37, Т. І. – С. 3–7.

6. Сердюк Б. М. Використання показників SAIDI, SAIFI для економічної оцінки надійності електропостачання промислових підприємств / Б. М. Сердюк, А. А. Ліщук, [Електронний ресурс]: http://www.economy. nayka. com.ua /?op=1&z=957

7. Черемісін, М. М. Економічні розрахунки в інженерній діяльності (на прикладах задач електроенергетики): навч. посіб. / М. М. Черемісін, В. І. Романченко. – Харків: Факт, 2006. – С. 17-22.

Аннотация

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА И МЕСТ УСТАНОВКИ УКАЗАТЕЛЕЙ МЕСТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ВЛ 10 КВ НА БАЗЕ PLC ТЕХНОЛОГИЙ

Пазий В. Г., Сиротенко М. О., Мирошник А. А.

Предложена математическая модель определения оптимального количества указателей мест коротких замыканий радиальных воздушных линий электропередач.

Abstract

JUSTIFICATION OF THE CHOICE THE OPTIMAL QUANTITY AND PLACE OF INSTALLATION INDEX OF SHORT CIRCUIT IN THE OVERHEAD LINE 10 KV BASED ON PLC TECHNOLOGY

V. Paziy, M. Syrotenko, O. Miroshnyk

A mathematical model-definition of the optimal number of pointers to the places-short circuits radial overhead power lines.