

**М. В. КУТІНА**  
**Вінницький національний технічний університет**  
**e-mail: marinakytina@meta.ua**

## **ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЛОКАЦІЙНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ В МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 6-35 кВ**

*Запропоновано застосування локаційного методу для визначення місць пошкоджень в мережах напругою 6-35 кВ зі складною топологією. Дано оцінку ефективності застосування локаційного методу при порівнянні його з існуючими методами пошуку місць пошкоджень в мережах напругою 6-35 кВ зі складною топологією.*

**Ключові слова:** локаційний метод, складна топологія, пошук місця пошкодження, автоматизація, ефективність застосування.

Обладнання шин підстанції 6-35 кВ засобами захисту від пошкоджень та локаційного зондування дозволяє отримати декілька ефектів: підвищення рівня надійності експлуатації розподільної мережі через зменшення часу пошуку пошкодження та недовідпуску електроенергії; підвищення рівня безпеки експлуатації завдяки зменшенню часу існування поля розтікання струму в місці падіння провада, та перенапруги; підвищення надійності функціонування споживачів завдяки зменшенню часу існування струму зворотної послідовності при обриві провада фази і інші.

Метою роботи є обґрунтування доцільності застосування локаційного методу з метою визначення місця пошкодження в мережах напругою 6-35 кВ.

Пріоритет того, чи іншого ефекту залежить від вибраного базового варіанта з яким порівнюють запропонований локаційний метод.

Для визначення базових варіантів приймемо, що розподільна мережа оснащена чутливим пристроєм контролю ізоляції мережі відносно землі [1]. Для пошуку місця виникнення однофазного замикання на землю (ОЗЗ) найбільш широке розповсюдження отримали пристрої, що ґрунтуються на використанні вищих гармонік в струмі нульової послідовності. До них належать; «Поиск-1», «Волна», «Зонд», «ВПП-1» та інші [2-5].

Якщо рівень сигналу вищих гармонік в струмі нульової послідовності чітко фіксується в мережі при ОЗЗ, то після спрацювання сигналізації і передачі сигналу на диспетчерський пункт, диспетчер направляє ОВБ на підстанцію, де виникло ОЗЗ, ОВБ після приїзду на підстанцію за допомогою пристрою пошуку пошкодження визначає пошкоджену лінію і поступово переміщується вздовж лінії, вимірюючи рівень сигналу в місці розгалуження. На це витрачається час:

$$t_{\text{ВМП}} = t_{\text{ПЛ}} + t_{\text{ПД}} + t_{\text{МП}},$$

де  $t_{\text{ПЛ}}$  – час, необхідний для пошуку пошкодженої лінії;  $t_{\text{ПД}}$  – час, який необхідний для визначення пошкодженої ділянки;  $t_{\text{МП}}$  – час, який необхідний для визначення місця пошкодження

Ймовірність визначення пошкодження на ділянці лінії між вузлами розгалуження може бути визначена, як відношення довжини пошкодженої ділянки до загальної довжини лінії. Процес визначення місця пошкодження локаційним методом передбачає приєднання приладу до лінії, налагодження пристрою зондування, обробку рефлектограми. Як показує досвід експлуатації [6], в середньому досвідчений оператор витрачає на визначення відстані до місця пошкодження  $t_{\text{ПЛ\_ЛМ}} = (10 \div 30) \text{хв}$ . Для розрахунку ефективності застосування ЛМ будемо розглядати випадок, коли  $t_{\text{ПЛ\_ЛМ}} = 0,5 \text{год}$ .

Коефіцієнт ефективності пошуку ОЗЗ при використанні ЛМ визначимо, як:

$$k_i = 10P_i t_{\sigma_i} / t_{\text{ПЛ\_ЛМ}}; k_{\text{ет}} = \sum_{i=1}^n k_i / n,$$

де  $n$  – кількість ділянок мережі.

Розрахунки виконані для 10 підстанцій, від яких відходило 73 лінії, показали, що у випадку застосування ЛМ, коефіцієнт ефективності знаходиться в межах  $0,297 < k_i < 14,5$ , середнє арифметичне значення  $k_{\text{ет}} = 1,98$  разів, якщо рівень сигналу вищих гармонік в струмі нульової послідовності не достатній, то пошук пошкодження здійснюється методом послідовного поділу мережі і вимірювання рівня опору ізоляції відносно землі за допомогою пристрою контролю ізоляції, розташованого на шинах підстанції.

В даному випадку як функціональний елемент розглядають ділянку мережі, яку можна виділити

комутаційним апаратом. Перевірку його технічного стану здійснюють шляхом подачі напруги за допомогою вимикачів Q1 або Q2 (рис. 1) і розглядають реакцію пристрою контролю ізоляції [1, 7].

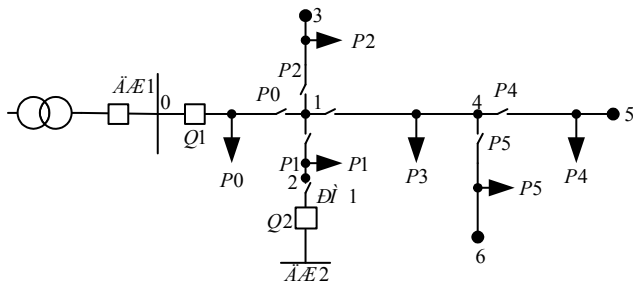


Рисунок 1 – Однолінійна схема заміщення

На рисунку 1 позначено: РМ –ДЖ джерело живлення; РК – роз’єднувач; Q– вимикач; Pk – потужність навантаження ділянки мережі.

Критерієм оптимізації процедури пошуку пошкодженої ділянки є недовідпуск електроенергії або затрати часу на її пошук, тобто,

$$W = \sum_{i=1}^n W_i = \sum_{i=1}^n t_i P_{B_i} \rightarrow \min; t_{\Pi} = \sum_{i=1}^n t_{\delta_i} \rightarrow \min,$$

де  $t_i, W_i$  – відповідно, проміжок часу, коли лінія залишається вимкненою, і недовідпуск електроенергії за цей час на  $i$ -тому кроці пошуку та

локалізуванню пошкодженої частини лінії;  $P_{B_i}$  – значення потужності навантаження, що вимикається на  $i$ -тому кроці.

Для визначення ваги (ціни) кожної перевірки формалізують процес перевірки у вигляді діаграми проходження сигналу [7]. Для виконання перевірки будь-якої ділянки, необхідно виконати 12 операцій. Тоді витратити часу складуть

$$t_{\text{Пк}} = I_{\text{ДЖ-РК}} V a^{-1} + n t_{\text{ОП}} + (n-1) t_c.$$

де  $I_{\text{ДЖ-РК}} V a^{-1}$  – час проїзду оператора до роз’єднувача;  $t_{\text{ОП}}$  – час необхідний на вимикання;  $t_c$  – час необхідний на передачу інформації диспетчеру.

Недовідпуск електроенергії під час виконання перевірки  $\Pi_k$  :

$$\Delta W_{\text{Пк}} = (n t_{\text{ОП}} + (n-1) t_c) \sum_{i=1}^{n'} P_i;$$

де  $n'$  – кількість вимкнених від джерела струму ділянок лінії після роз’єднувача РК.

Використовуючи програму «Find Opt» [5], визначимо оптимальну послідовність перевірок для розподільної мережі (рис. 1) за такими даними: кількість ділянок, які можна виділити комутаційними апаратами  $n = 6$ , тобто, множина перевірок буде  $\{\Pi_1 - \Pi_6\}$ ; параметри ділянок  $l_{0-1} = 6,6\text{км}$ ,  $P_{0-1} = 250\text{кВт}$ ,  $l_{1-2} = 2,44\text{км}$ ,  $P_{1-2} = 40\text{кВт}$ ,  $l_{1-3} = 1,22\text{км}$ ,  $P_{1-3} = 63\text{кВт}$ ,  $l_{1-4} = 4,565\text{км}$ ,  $P_{1-4} = 730\text{кВт}$ ,  $l_{4-5} = 2,707\text{км}$ ,  $P_{4-5} = 733\text{кВт}$ ,  $l_{4-6} = 0,83\text{км}$ ;  $P_{4-6} = 50\text{кВт}$ .

Оптимальною буде така послідовність перевірок:  $\Pi_3, \Pi_4, \Pi_1, \Pi_5, \Pi_0$ .

Розрахуємо коефіцієнти ефективності зменшення часу пошуку ОЗЗ та зменшення недовідпуску електроенергії, як:

$$k_{W_i} = W_{i0} / W_{i\_ЛМ}; k_{eW} = \sum_{i=1}^n k_{W_i} / n;$$

де  $W_{i0}$  – недовідпуск електроенергії при визначенні місця пошкодження на  $i$ -ій ділянці в базовому варіанті;  $W_{i\_ЛМ}$  – недовідпуск електроенергії при визначенні пошкодження на  $i$ -ій ділянці мережі при застосуванні

$$\text{ЛМ}; W_{i\_ЛМ} = t_{\text{ПЛ}} \sum_{i=1}^n P_i.$$

Результати обчислення показали, що в даному випадку  $k_{eT} = 9,99$ раз;  $k_{eW} = 2,91$ раз.

Розглянемо вплив ЛМ на вихідні характеристики надійності: коефіцієнт готовності  $k_r$ , коефіцієнт простою  $k_{\text{пр}}$ , коефіцієнт технічного використання  $k_{\text{ТВ}}$ , коефіцієнт оперативної готовності  $k_{\text{ОГ}}$  розподільної мережі.

Частоту відмов ПЛ 10 кВ можна визначити, як:  $\omega = L(\omega_{\text{ОП}}^0 + \omega_{\text{П}}^0 + \omega_{\text{ІЗ}}^0 + \omega_{\text{СП}}^0 + \omega_{\text{ІН}}^0)$ , де  $\omega_{\text{ОП}}^0, \omega_{\text{П}}^0, \omega_{\text{ІЗ}}^0, \omega_{\text{СП}}^0, \omega_{\text{ІН}}^0$  – відповідно, частота відмов через пошкодження опор, провода, ізоляції, складних пошкоджень та інших причин, що визначаються за статистичними даним [8, 9];  $L$  – загальна довжина лінії, зображеної на рисунку 1,  $\omega_{\text{ОП}}^0 = 0,04$ ;  $\omega_{\text{П}}^0 = 0,035$ ;  $\omega_{\text{ІЗ}}^0 = \omega_{\text{ІЗ}}^0 + \omega_{\text{ОЗЗ}}^0 = 0,25 + 0,85 = 1,1$ ;  $\omega_{\text{СП}}^0 = 0,025$ ;  $\omega_{\text{ІН}}^0 = 0,05(\text{рік} * \text{км})$

Час відновлення можна визначити, як:

$$t_{\text{Відн}} = t_{\text{ПРБ}} + t_{\text{П}} + t_p,$$

де  $t_{\text{ПРБ}}, t_{\text{П}}, t_{\text{р}}$  – відповідно, затрати часу на прибуття ремонтної бригади на підстанцію, пошук місця пошкодження та увімкнення резервного джерела живлення, на ремонт пошкодження.

Середні затрати часу на ремонт

$$t_{\text{р}} = (1/\omega) (\omega_{\text{ОП}}^0 \tau_{\text{ОП}} + \omega_{\text{П}}^0 \tau_{\text{П}} + \omega_{\text{ІЗ}}^0 \tau_{\text{ІЗ}} + \omega_{\text{СП}}^0 \tau_{\text{СП}} + \omega_{\text{ІН}}^0 \tau_{\text{ІН}}), \quad (1)$$

де  $\tau_{\text{ОП}} = 2,8; \tau_{\text{П}} = 2,2; \tau_{\text{ІЗ}} = 1; \tau_{\text{СП}} = 4,9; \tau_{\text{ІН}} = 3,1$  – затрати часу, відповідно, на ремонт опор, проводів, ізоляції, складних пошкоджень і інших причин в годинах, що визначаються за статистичними даними.

Для розподільної мережі, схему якої зображено на рисунку 1, в базовому варіанті  $\omega_{\text{с}} = 22,924$ , а за (1)  $t_{\text{р}} = 1,25$  год

В разі застосування ЛМ, за умовним алгоритмом будемо враховувати тільки зменшення частоти відмов завдяки зменшення кількості ОЗЗ, що переходять в стійкі відмови - к.з.  $\omega_{\text{ІЗ}} = 1,012$ ,

Результати оцінювання надійності приведені в таблиці

Таблиця 1 – Показники надійності

Середній час відновлення	Середній час безвідмовної роботи	Коефіцієнт готовності	Коефіцієнт простою	Коефіцієнт технічного використання, при $\eta = 5,8$ год	Коефіцієнт оперативної готовності
$t_{\text{срб}} = 7,69$	$T_{\text{сб}} = 382,19$	$k_{\text{Гсб}} = 0,98$	$k_{\text{прсб}} = 0,02$	$k_{\text{ТВсб}} = 0,965$	$k_{\text{ОГсб}} = 0,977$
$t_{\text{ср\_ЛМ}} = 5,66$	$T_{\text{с\_ЛМ}} = 411,8$	$k_{\text{Г\_ЛМ}} = 0,99$	$k_{\text{пр\_ЛМ}} = 0,014$	$k_{\text{ТВ\_ЛМ}} = 0,972$	$k_{\text{ОГ\_ЛМ}} = 0,984$
-	-	$\Delta k_{\text{Г}} = 0,61\%$	$\Delta k_{\text{пр}} = 42,85\%$	$\Delta k_{\text{ТВ}} = 0,73\%$	$\Delta k_{\text{ОГ\_ЛМ}} = 0,7\%$

Висновок: впровадження ЛМ, крім соціального ефекту підвищення рівня безпеки експлуатації РМ, дозволяє в порівнянні з першим базовим варіантом, в середньому знизити час пошуку місця пошкодження в 2 рази; підвищити коефіцієнт готовності в середньому на 0,6%, знизити коефіцієнт простою в середньому на 40%, підвищити коефіцієнт технічного використання і коефіцієнт оперативної готовності в середньому на 0,7%.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кутін В. М. Інформаційно-вимірювальна система визначення місць пошкодження в розподільних мережах змінного струму напругою 6-35 кВ / В. М. Кутін, В. В. Вашковський // Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2000. – №5 – С. 24-31.
2. Стасенко Р. Ф. Автоматизация сельских электрических сетей / Р. Ф. Стасенко, П. П. Фещенко. – К.: Техника, 1982. – 128 с.
3. Кискачи В. М. Селективная сигнализация замыканий на землю с использованием высших гармоник тока нулевой последовательности / В. М. Кискачи // Электричество – 1967. – №9 – С. 24-30.
4. Карпов И. В. Прибор для отыскания места замыкания в воздушных сетях 6-10 кВ / И. В. Карпов, С. П. Борисов, В. С. Парнацкий // Энергетика – 1967. – №12 – С. 25-27.
5. Кутин В. М. Поиск поврежденных в распределительных электрических сетях / В. М. Кутин, П. К. Пискарьов – К.: Техника, 1994 – 138 с.
6. Мишуллин Р. Г. Методы и аппаратура определения мест повреждения в электросетях / Р. Г. Мишуллин – Казань: ИЦ «Энергопрогресс» – 2002. – 152 с.
7. Кутин В. М. Выбор оптимальной стратегии при поиске поврежденных в распределительных сетях 6-35 кВ / В. М. Кутин, Мохамед Аль-Нсур, Али Мусбах // Энергетика и электрификация – 1995. – №5 – С. 46-49.
8. Зорин В. В. Надежность систем электроснабжения / В. В. Зорин, В. В. Тесленко, Ф. Клеппель, Г. Адлер. – К.: Высш. шк., главное изд-во, 1984. – 192 с.
9. Прусс В. Л. Повышение надёжности электрических сетей / В. Л. Прусс, В. В. Тесленко –Л.: Энергоатомиздат: Ленинградское отделение, 1989. – 208 с.

М. В. КУТИНА

Винницкий национальный технический университет

**Оценка эффективности использования локационного метода для определения места повреждения в сетях напряжением 6-35 кВ.** Предложено применение локационного метода для определения мест повреждений в сетях напряжением 6-35 кВ со сложной топологией. Дана оценка эффективности применения локационного метода при сравнении его с существующими методами поиска мест повреждений в сетях напряжением 6-35 кВ со сложной топологией.

Ключевые слова: локационный метод, сложная топология, поиск места повреждения, автоматизация, эффективность применения.

**Evaluating the effectiveness of the use of lokation method for determining the location of the damage in the network voltage of 6-35 kV.** In this article the evaluation of the effectiveness of lokation method for fault location in distribution power networks with complex topology voltage 6-35 kV. Evaluation of the effectiveness of lokation method is carried out by determining and comparing the reliability of the proposed method for determining the damage with two basic, which elected based on the need to achieve a certain effect. As a first basic option are used devices "Search-1", "wave", "probe", "VPI-1" and others. As a second basic variant of the method proposed successive divide network with optimized algorithm. The calculations for 10 real substations from which retreated 73 lines showed that the application of lokation method, except social effect to enhance safety operation of distribution networks, allowing comparison with the first base variant, reducing the average search time of the injury site at 2 times the coefficient efficiency is 1.98, increase availability factor by an average of 0.6%, lower coefficient of downtime on average by 40%, increase the ratio of technical applications and operational readiness rate by an average of 0.7%. Compared with the second base variant, using lokation method reduces loss electricity almost 3 times, coefficients efficiency of decreasing search time location of the damage and loss of electricity are respectively 9.99 and 2.91.

**Keywords:** *lokation method, complex topology, search the damage, automation, efficiency application.*

#### REFERENCES

1. Kutin V. M., Vashkovskiy V. V. Information-measuring system fault location in distribution networks alternating current with voltage 6-35 kV. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu.* 2000; 5: 24-31.
2. Stasenko R. F., Feschenko P. P. *Avtomatizatsiya selskih elektricheskikh setey* [Automation of electrical networks rural]. K.: Tehnika, 1982. 128 p.
3. Kyskachy V. M. Selective signaling ground faults with harmonic current residual. *Elektrichestvo.* 1967; 9: 24-30.
4. Karpov I. V., Borisov S. P., Parnatskiy V. S. A device for finding fault location in air networks 6-10 kV. *Energetika.* 1967; 12: 25-27.
5. Kutin V. M., Pisklyarov P. K. *Poisk povrezhdeniy v raspredelitelnykh elektricheskikh setyakh* [Search damages in distribution networks]. K.: Tehnika, 1994. 138 p.
6. Minullin R. G. *Metody i apparatura opredeleniya mest povrezhdeniya v elektrosetyakh* [Methods and equipment fault location in power networks]. Kazan: ITs «Energoprogress», 2002. 152 p.
7. Kutin V. M., Mohamed Al-Nsur, Ali Musbah. Optimal strategy of fault location in distribution networks 6-35 kV. *Energetika i elektrifikatsiya.* 1995; 5: 46-49.
8. Zorin V. V., Teslenko V. V., Kleppel F., Adler G. *Nadezhnost sistem elektrosnabzheniya.* [Reliability of power supply systems]. K.: Vyssh. shk., glavnoe izd-vo, 1984. 192 p.
9. Pruss V. L., Teslenko V. V. *Povyshenie nadyozhnosti elektricheskikh setey.* [Improving the reliability of electrical networks] /—L.: Energoatomizdat: Leningradskoe otdelenie, 1989. 208 p.

*Надійшла до редколегії*

*Рецензент:*