

# ВИКОРИСТАННЯ ІНДИКАТОРІВ ПОШКОДЖЕНЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ У МЕРЕЖАХ 6-35 кВ

Дмитренко О.О., к.т.н., доцент, Лобза Д.С., магістрант  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

**Вступ.** В розгалужених розподільних електричних мережах 6 – 35 кВ з багатьма відпайками виявлення місця виникнення однофазного КЗ (ОЗЗ) є непростю задачею. Значення струмів КЗ невеликі, у багатьох випадках вони на один або навіть два порядки менші струмів навантаження. У компенсованих мережах струм замикання на землю залежить і від ступеню компенсації ємнісного струму. Тривала робота мережі з ОЗЗ небажана. При ОЗЗ можлива поява значних дугових перенапруг із-за зміни струму через канал дуги в процесі горіння і перезарядження ємності мережі. Вони можуть досягати п'ятикратних величин. Тривала робота мережі в режимі ОЗЗ може призвести до замикання на землю у другій точці. Друге замикання на землю зазвичай виникає на ділянці з найбільш ослабленою ізоляцією та супроводжується збільшенням струму та падінням напруги в пошкоджених фазах, появою в контурі пошкодження струмів нульової послідовності. Однак, як показує практика, величина струму подвійного замикання на землю недостатня для спрацьовування струмових захистів від міжфазних пошкоджень, а захисти нульової послідовності, як правило, діють на сигнал. Тому визначення місця пошкодження або пошкодженої ділянки є задачею актуальною.

**Мета.** Впровадження на всіх важливих ділянки мережі відносно недорогих індикаторів несправностей, що виявляють пошкодження вимірюванням електромагнітного поля під лінією. Це дасть можливість швидко визначити пошкоджену ділянку та індикувати її за допомогою світлодіодів, або системи на основі GSM.

**Матеріали і результати досліджень.** Способи визначення місця пошкодження при ОЗЗ та пристрої, побудовані на їх основі, можна розділити на дві великі групи. Перша – топографічний метод та різноманітні індикатори для визначення аварійної ділянки. Друга – дистанційний метод, який базується на вимірюванні параметрів аварійного режиму, наприклад, петлі короткого замикання, гармонійного складу струмів та напруг нульової послідовності. Це досить поширені фіксатори «Хвиля», «Зонд», ФІС, ФМК-10. Для виявлення та локалізації ОЗЗ використовується декілька методів в мережах 6-35 кВ з компенсованою нейтраллю, і вони, зазвичай, класифікуються відповідно до параметрів вхідного сигналу пристрою. Один з методів виявлення КЗ на землю є вимірювання параметрів перехідних процесів. Найпоширенішим застосуванням є використання детектора напруги нульової послідовності [1] для підключення паралельного резистора до котушки дугогасильного реактора і збільшення струму нульової послідовності з метою застосування ватметричного методу [2] для визначення місця пошкодженого фідера. Це робиться тому, що скомпенсований струм нульової послідовності занадто малий, щоб його можна було виявити.

Пристрої другої групи мають ряд переваг, в основному пов'язаних з тим, що пошкоджена ділянка визначається дистанційно без виїзду на місце. Але вони набагато більш дорожчі від пристроїв першої групи. Оскільки у розподільних мережах встановлення дорогих фіксаторів не є пріоритетною задачею через високу собівартість, то раціональним рішенням можуть стати індикатори пошкодження.

**Методика.** Метод виявлення ґрунтується на виникненні перехідних процесів внаслідок замикання фази на землю. Потім відбувається перерозподіл напруги фаза-земля по всій системі. Виникаючі при цьому перехідні процеси можна розділити на дві складові:

- Перехідний процес розряду (лінія з пошкодженням)
- Перехідний процес перезарядки (непошкоджені лінії)

Індикатор пошкодження вимірює електромагнітне поле під лінією, щоб виключити несправності від операцій перемикавання. Вимірюються горизонтальна (струм нульової послідовності) складова магнітного поля і вертикальна складова електричного поля (напруга нульової послідовності). Ці поля оцінюються за допомогою суперпозиції: внесок кожної лінії сумується для обчислення сумарного електричного і магнітного поля в місці розташування індикатора пошкодження. Напруженість магнітного поля  $B$  розраховується за допомогою Закону Ампера (1):

$$\oint B \cdot ds = B \cdot 2\pi r = \mu_0 I \rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (1)$$

Оскільки потрібна горизонтальна складова, то (2) застосовується для опису повної напруженості поля в точці  $(x, y)$  індикатора для набору з  $n$  провідників у положеннях  $(x_i, y_i)$ :

$$B_x = \sum_{i=1}^n \left[ -\frac{\mu_0 I}{2\pi r} \cdot \frac{(y-y_i)}{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \right] \quad (2)$$

Напруженість електричного поля  $E$  в точці  $(x, y)$  визначається за законом Гауса, а вертикальна складова знаходиться за формулою (3):

$$E_y = \sum_{i=1}^m \left[ -\frac{\varepsilon_0 q_i}{2\pi} \cdot \frac{(y-y_i)}{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \right] \quad (3)$$

Робота індикатора пошкодження базується на порівнянні полярності між вимірюваною напругою і перехідним струмом ( $E_y$  та  $B_x$  відповідно), як показано на рис. 1. Якщо ці два перехідні процеси збігаються за фазою, то пошкодження вважається прямим, а якщо два перехідні процеси в протифазі, то пошкодження вважається зворотним (перед фідером).

Для підтвердження наявності таких перехідних процесів, розглянемо результати вимірювання у мережі з компенсованою нейтраллю [3]. Виміряні напруги фаза-земля в місці пошкодження сумуються (рис. 2) для отримання напруги нульової послідовності на рис. 3:

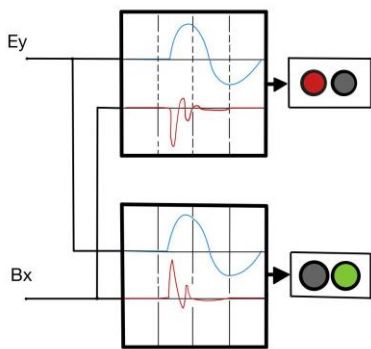


Рисунок 1 – Процес виявлення пошкодження

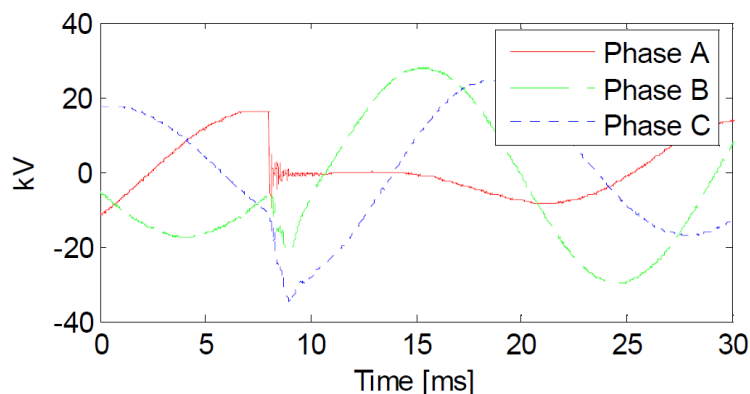


Рисунок 2 – Напруги між фазою та землею на місці пошкодження

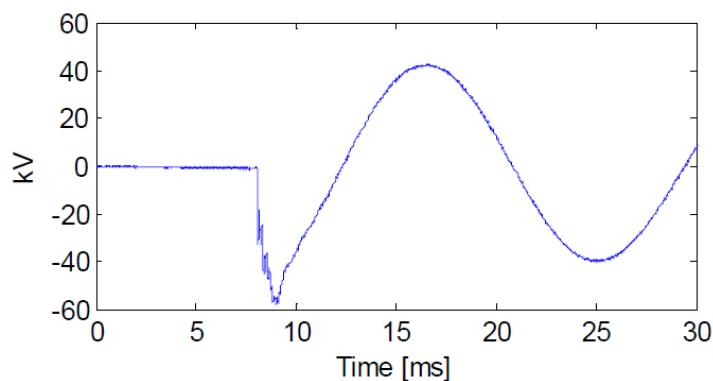


Рисунок 3 – Напруга нульової послідовності, обчислена з суми фазних напруг

**Результати:** Розглянутий метод виявлення КЗ на землю, що ґрунтується на виникненні перехідних процесів внаслідок встановлення замикання фази на землю з подальшим перерозподілом напруги фаза-земля по всій системі, може бути використаний у індикаторах пошкоджень. Теоретичне припущення наявності закономірності у перехідному процесі під час виникнення такого замикання на землю було підтверджене дослідними вимірами на мережі з компенсованою нейтраллю.

**Висновок:** Індикатори пошкоджень однофазного КЗ на лінії, аналізують перехідний процес при КЗ на лінії шляхом вимірювання електромагнітного поля під лінією. Ці пристрої є економічно ефективним рішенням для підвищення надійності електропостачання, полегшення пошуку місця пошкодження, а також локалізації несправностей з можливостями локальної автоматизації та дистанційної сигналізації.

#### Перелік посилань

1. E. T. B. Gross, "Sensitive Fault Protection for Transmission Lines and Distribution Feeders," AIEE Transactions, Vol. 60, Nov. 1941, pp. 968–972.
2. L. F. Hunt and J. H. Vivian, "Sensitive Ground Protection for Radial Distribution Feeders", AIEE Transactions, Vol. 59, February 1940, pp. 84–90.
3. Bjerkan, E., & Venseth, T. (2005, June). Locating earth-faults in compensated distribution networks by means of fault indicators. In International Conference on Power Systems Transients (Vol. 21).