

УДК 621.316

РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ З ВИКОРИСТАННЯМ ХВИЛЬОВИХ МЕТОДІВ

А.О. Тимохіна¹, А.В. Литвиненко²

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»,
тел. 204-86-14, e-mail: a.planida@ukr.net*

Розглянуто новий підхід до побудови релейних захистів (РЗ) з використанням хвильового методу, що у порівнянні з існуючими надає ряд переваг, як-от швидкодія, селективність і точність визначення місця пошкодження. Проведено аналіз застосування даного підходу в існуючих сучасних релейних захистах різних виробників.

Ключові слова: *релейний захист, хвильовий метод.*

RELAY PROTECTION USING WAVE METHODS

A. Tymokhina¹, A. Lytvynenko²

*National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic institute"*

A new approach to the construction of relay protections using the wave method is considered, which in comparison with the existing ones provides a number of advantages, in particular, speed, selectivity and accuracy of fault location. The analysis of application of this approach in the existing modern relay protections of various manufacturers is carried out.

Keywords: *relay protection, wave method.*

ORCID: 0000-0001-5892-0326¹, 0000-0001-6507-4965².

При виникненні коротких замикань (КЗ) на ЛЕП від місця пошкодження виникає і розповсюджується електромагнітна хвиля (рис. 1), яка має складну форму, що залежить від цілого комплексу умов. Ця хвиля має імпульсний характер з шириною спектра до сотень кілогерц, а наростання її фронтів відбувається менш ніж за 3 мкс [1]. Внаслідок її високочастотної природи її розповсюдження уздовж ЛЕП відбувається швидше, ніж ріст струму основної частоти мережі [1]. Напрямок поширення хвиль перехідного процесу характеризує розташування місця пошкодження на ЛЕП і не залежить від характеристик електричного кола. Забезпечення селективності захисту визначає необхідність контролю вимірювальними органами напрямків поширення хвиль при КЗ, що характеризується знаком миттєвої потужності відповідно до напрямку вектора потоку енергії [2].

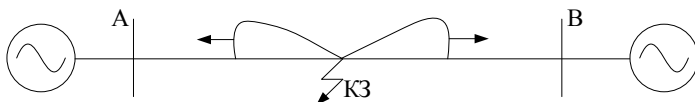


Рис. 1. Поширення електромагнітної хвилі внаслідок пошкодження ЛЕП

До переваг пристроїв РЗ, що ґрунтуються на хвильовому методі, належать: швидкодія; висока точність визначення місця несправності (похибка не більше 1 % довжини лінії); підвищену надійність роботи системи.

Для спрямованих хвильових захистів найважливішим параметром є знак, що характеризує полярність біжучої хвилі. Оцінюючи амплітуду і знак модуля максимуму вейвлет-перетворення сигналів напруги та струму ЛЕП, можна зробити висновок про наявність і вид КЗ. Алгоритм оцінки складових струму і напруги виконується за 1 мс, що привело до створення надшвидкодіючих пристроїв РЗ зі швидкістю спрацьовування 5 мс. Сучасні реалізації РЗ з використанням хвильового методу потребують складних

математичних алгоритмів, що ґрунтуються на математичних апаратах нечіткої логіки, нейронних мережах та вейвлет-перетвореннях [1].

На поточний момент існує ряд РЗ, що використовують хвильовий метод і широко застосовуються в таких країнах, як Китай, США, Шотландія, Канада тощо. Зокрема «реле D'Alembert», що контролює величину $\xi(t)$, що відповідає різниці струмів біжучих хвиль даного і протилежного кінця ЛЕП, інформація про яку передається по каналу зв'язку:

$$\xi(t) = \left\{ \frac{1}{z_B} \cdot u_k(t) - i_k(t) \right\} - \left\{ \frac{1}{z_B} \cdot u_m(t-\tau) + i_m(t-\tau) \right\} \quad (1)$$

У рівнянні (1) враховується взаємозв'язок миттєвих значень струмів і напруги по кінцях ЛЕП. У нормальному режимі і при зовнішніх КЗ $\xi(t) = 0$, а при КЗ в зоні $\xi(t) \neq 0$. Сигнали від трансформаторів струму і напруги перетворюються в цифрову форму і надходять в мікропроцесор разом з даними, переданими по каналу зв'язку з протилежного кінця ЛЕП [3].

Також існує підхід, при якому для забезпечення селективності контролюється послідовність сигналів, що визначається виразами (2):

$$s_1 = 2 \cdot u_{nao} \left(t - \frac{x}{v} \right); \quad s_2 = 2 \cdot u_{nao} \left(t - \frac{x}{v} \right) \frac{z_{e,ek} - z_e}{z_{e,ek} + z_e} \quad (2)$$

де u_{nao} – напруга падаючої хвилі, x – відстань від місця пошкодження до точки контролю, v – швидкість поширення хвилі, z_e і $z_{e,ek}$ – хвильовий опір ЛЕП і еквівалентний опір енергосистеми. При КЗ в момент переходу фазної напруги через нульове значення і при перехідних опорах в місці КЗ, що перевищують 100 Ом, захистом не охоплюється 15 % протилежного кінця довжини ЛЕП [4].

Останніми роками для захисту ЛЕП високої та надвисокої напруги в захистах із застосуванням хвильового методу використовуються сучасні методи цифрової обробки сигналів, технологій штучного інтелекту. Розробляються надшвидкісні захисти з часом спрацювання до 5 мс, у тому числі без використання зв'язку; гібридні пристрої, що захищають одночасно ЛЕП постійного струму, блоки силових інверторів та ЛЕП змінного струму [4].

Література:

1. Фёдор Иванов, Jennifer (Xinru) Liu, Hao Ruihua, Новые средства проверки устройств волновой релейной защиты URL: <https://ennlab.ru/wp-content/uploads/2020/10/EnergoStyle-N3-2020-New-tools-for-traveling-wave-protection.pdf> (дата звернення: 20.01.2021).
2. Лачугин В.Ф., Релейная защита объектов электроэнергетических систем, основанная на использовании волновых методов: Диссертация на соискание ученой степени д-а техн. наук: Специальность 05.14.02–Электрические станции и электроэнергетические системы, Москва 2015 г.
3. Chamia M., Liberman S. Ultra high speed relay for EHV/UHV transmission lines – development, design and application. IEEE Trans action on Power Apparatus and Systems. Nov/Dec. 1978. Vol. PAS – 97 A publication of the IEE Power Engineering Soc. – P. 2104–2116.
4. Jochio Jakagi, Jun-ichi Boba, Katsuhiko Vemura, Joshiaki Sakaguchi. Fault protection based on travelling wave theory. – Part II sensitivity, analysis and laboratory test. IEEE PES, Winter meeting, 1978 Paper A78.220-6.