

РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ХВИЛЬОВИХ МЕТОДІВ

Тимохіна А.О., ас., Тимохін О.В., к.т.н., ст. викл., Литвиненко А.В., студентка

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Безперебійне та надійне транспортування електроенергії до споживача – це одна з основних задач, що постійно потребує вирішення енергетиками. З розвитком електроенергетичних мереж з'являється потреба у вдосконаленні релейного захисту. Серед причин пошкодження ліній електропередач слід відзначити грозовий удар, ожеледиця, сильний вітер, забруднення ізоляції тощо. Кабельні лінії, прокладені в землі, можуть отримати пошкодження через погіршення умов охолодження, корозії оболонок кабелю, осаду ґрунту, а також при земляних роботах [1]. Всі ці фактори призводять до аварійних відключень, що погіршує режим електроенергетичної мережі та зниження якості обслуговування споживачів [2].

Мета роботи. Висвітлення нового підходу реалізації релейного захисту на основі перехідних процесів, що виникають при пошкодженнях в електроенергетичній мережі.

Матеріали та результати досліджень. Функції постійного відстеження електричних параметрів стану всіх ліній електропередач (ЛЕП) та відключення аварійних ділянок при їх появі покладені на релейний захист. Принцип роботи класичного релейного захисту ґрунтується на основі контролю струму та напруги промислової частоти. До пристроїв РЗ висуваються наступні вимоги такі як забезпечення швидкодії, чутливості, селективності, ефективності і стійкості функціонування релейного захисту [1]. Сучасні пристрої РЗ, що побудовані на основі швидкісних мікропроцесорних системах дозволяють реалізувати більш складні принципи реалізації РЗ, що дозволяє покращити основні вимоги до РЗ, а саме швидкодію та чутливість, а також дають змогу отримати додаткову інформацію про пошкодження і, як наслідок, зменшити час ліквідації.

Коротке замикання (КЗ) – це електричне з'єднання, яке не передбачено умовами експлуатації обладнання між точками різних фаз, або нейтрального провідника з фазою або землі з фазою (при наявності контуру заземлення нейтралі джерела живлення) [1]. Для трифазної мережі змінного струму існують різновиди короткого замикання, а саме три- та двофазне замикання, а також три-, дво-, однофазне замикання на землю.

При виникненні КЗ на ЛЕП від місця пошкодження виникає і розповсюджується електромагнітна розповсюджується хвиля (рис.1), яка має складну форму, що залежить від цілого комплексу умов. Ця хвиля має імпульсний характер з шириною спектру до сотень кілогерц, а наростання її фронтів відбувається менш ніж за 3 мкс [3]. Внаслідок своєї високочастотної природи, її розповсюдження впродовж ЛЕП відбувається швидше, ніж ріст струму основної частоти мережі [3]. Слід зазначити, що напрямок поширення

хвиль перехідного процесу в різних точках системи в початковий момент його виникнення характеризує розташування місця пошкодження на ЛЕП і не залежить від характеристик електричного кола. Отримана при цьому з ЛЕП інформація в меншій мірі залежить від схеми, протяжності і режиму роботи передачі на відміну від величин промислової частоти. Забезпечення селективності захисту, особливо в замкнутих мережах з одним або декількома джерелами живлення, визначає необхідність контролю вимірювальними органами напрямки поширення хвиль при КЗ, що характеризується знаком миттєвої потужності у відповідно до напрямку вектору потоку енергії [4].

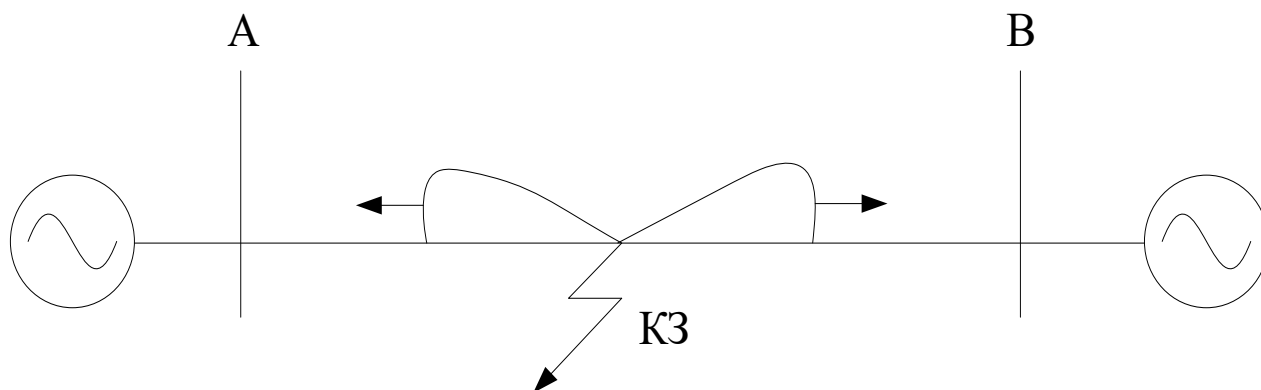


Рисунок 1 – Поширення електромагнітної хвилі внаслідок пошкодження ЛЕП

Хвильові процеси в ЛЕП при виникненні пошкоджень можуть бути використані при побудові нових принципів побудови РЗ, які дозволяють покращити ефективність роботи РЗ, зокрема ефективність спрацьовування при внутрішніх КЗ; ефективність неспрацьовування при зовнішніх КЗ та в режимах, не пов'язаних з КЗ [4].

До ефективності спрацьовування при внутрішніх КЗ необхідно віднести забезпечення захистом таких вимог:

- охоплення всієї довжини ділянки, що захищається лінії;
- необхідну швидкодію (з урахуванням часу відключення вимикача) з метою забезпечення стійкості роботи енергосистеми;
- достатня чутливість при всіх видах КЗ на захищається ділянці;
- незалежність дії захисту від режимів роботи і зміни схеми енергосистеми.

РЗА з використанням хвильових методів при контролі органами напрямку потужності в умовах КЗ необхідно забезпечити збереження закономірності співвідношення знаків сигналів $Unp(s)(t)$ і $Inp(s)(t)$ в інтервалі часу, що достатній для формування стійких сигналів необхідних рівнів з урахуванням вимог до завадостійкості.

Слід зазначити що при грозах, що не супроводжується ушкодженнями, можуть виникати напруги і струми на ЛЕП, співмірні з струмами і напругами при КЗ. Оскільки при проривах блискавки крізь тросовий захист ЛЕП співвідношення напруги нульового і міжфазного каналів аналогічно співвідношенням при однофазному КЗ, то для відбудови хвильової захисту від грозових збурень потрібна розробка спеціального вимірювального органу. Наприклад, амплітуда грозової хвилі при пробігу відстані 600 км по ПЛ 750 кВ

зменшується в міжфазних каналах приблизно в 4 рази, а в нульовому - в 10 разів. Однак струми і напруги грозових хвиль залишаються порівнянними за амплітудою з струмами і напругами при КЗ в широкому діапазоні довжин пробігу, оскільки розрядна грозова напруга на ЛЕП надвисоких напруг приблизно в шість разів перевищує максимальну робочу напругу. Тому розпізнавання грозових проривів і КЗ має здійснюватися з використанням інших параметрів, наприклад, частотних і тимчасових ознак [5].

До переваг пристроїв РЗА, що ґрунтуються на хвильовому методі є:

- швидкодія і, як наслідок, мінімізація наслідків аварійної ситуації;
- високу точність визначення місця несправності (похибка 1% і менше від довжини лінії);
- підвищену надійність роботи системи.

За принципами побудови хвильові спрямовані захисту ПЛ надвисокої напруги змінного струму розрізняються:

- способами формування аварійних складових;
- вибором системи координат для контролю електричних величин перехідного процесу;
- видами контролю сигналів перехідного процесу при КЗ, що визначають селективність дії захисту з урахуванням необхідності використання каналів зв'язку;
- способами запобігання спрацьовування хвильових захистів при грозових збурення, не пов'язаних з КЗ;
- способами вибору пошкодженої фази;
- реалізацією захисту при включенні лінії [3].

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 призвело до створення надшвидкодіючих пристроїв релейного захисту зі швидкістю спрацьовування 5 мс. Однак слід зазначити, що сучасні реалізації РЗ із використанням хвильового методу потребують складних математичних алгоритмів, що ґрунтуються на математичних апаратах нечіткої логіки, нейронних мережах та вейвлет-перетвореннях [3].

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.

$$\xi(t) = \left\{ \frac{1}{z_B} \cdot u_k(t) - i_k(t) \right\} - \left\{ \frac{1}{z_B} \cdot u_m(t-\tau) + i_m(t-\tau) \right\} \quad (1.1)$$

У рівнянні (1.1) враховується взаємозв'язок миттєвих значень струмів і напруги u по кінцях k і m ПЛ з хвильовим опором z_g . У нормальному режимі і при зовнішніх КЗ $\xi(t) = 0$, а при КЗ в зоні $\xi(t) \neq 0$. Сигнали від трансформаторів струму (ТС) і трансформаторів напруги (ТН) перетворюються в цифрову форму і надходять в мікропроцесор разом з даними, переданими по ВЧ каналу з протилежного кінця ПЛ [6].

Також існує підхід, запропонований у Великобританії, він полягає у тому, що для селективного визначення КЗ контролюється послідовність сигналів, що визначається виразами (1.2) та (1.3).

$$s_1 = 2 \cdot u_{nad} \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (1.2)$$

$$s_2 = 2 \cdot u_{nad} \left(t - \frac{x}{v} \right) \frac{z_{g,ек} - z_g}{z_{g,ек} + z_g} \quad (1.3)$$

де u_{nad} - напруга падаючої хвилі, x - відстань від місця пошкодження до точки контролю, v - швидкість поширення хвилі, z_g і $z_{g,ек}$ - хвильовий опір ЛЕП і еквівалентний опір енергосистеми. Детектор послідовності сигналів порівнює сигнал при КЗ з попереднім за період промислової частоти сигналом і тим самим виділяє аварійну складову. Вказується, що захист відбудована від хитань. 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 [7].

В останні роки при розробці пристроїв РЗ для захисту ЛЕП високої та надвисокої напруги з'явилася тенденція в розвитку хвильових захистів, а саме:

- використання сучасних методів цифрової обробки сигналів,
- використання технологій штучного інтелекту
- Розробка надшвидких захистів з часом спрацювання 5мс, в тому числі без використання каналів зв'язку
- Розробка гібридних пристроїв, що захищають одночасно ЛЕП постійного струму, блоки перетворювачі та ЛЕП змінного струму.

Хвильовий метод також може бути використаний для визначення місць пошкодження мережі, що спрямовано на оперативне виявлення пошкодження ЛЕП з метою якнайшвидшого відновлення електропостачання. На відміну від імпедансного методу на зміну сили струму та падіння напруги на ЛЕП не звертають увагу. Вимірюється час проходження електромагнітної хвилі, що виникає в результаті пробою в розсосереджених мережах. Місце пробою визначається з похибкою в 1% і менше від довжини лінії. Це суттєво пришвидшує роботу по відновленню електропостачання. Пристрої, що використовують хвильовий метод для визначення місця пошкодження бувають як односторонні, так і двосторонні [8].

Для оперативного визначення місць пошкоджень призначені сучасні системи, які бувають:

- імпульсними (локаційним і хвильовими);
- ємнісними;
- петльовими;
- що працюють за параметрами аварійного режиму.

Висновки. Хвильовий метод є новим методом, що може застосовуватись для побудови РЗ та має ряд переваг над існуючими методами побудови РЗ та має ряд переваг, а саме:

- швидкодія і, як наслідок, мінімізація наслідків аварійної ситуації;
- високу точність визначення місця несправності (похибка 1% і менше від довжини лінії);
- підвищену надійність роботи системи.

При виконанні необхідних досліджень метод може бути використаний для побудови як нових окремих пристроїв РЗ так і у складі комплексних систем захисту поруч із традиційними підходами до побудови РЗ. Також хвильовий метод може бути використаний для побудови пристроїв захисту його можна використовувати і для визначення місць пошкоджень, що забезпечує більш швидку його ліквідацію.

Перелік посилань

1. Н.В. Чернобровов Релейная защита Учебное пособие для техникумов. 5-е издание переработанное и дополненное, - М.:Энергия, 1974г.- 680 с.
2. Циганенко Б.В. Эффективность работы розподільчих електричних мереж при підвищенні класу напруги: Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата наук: Спеціальність 05.14.02 – електричні станції, мережі та системи. Київ, 2017р.
3. Фёдор Иванов, Jennifer (Xinru) Liu, Hao Ruihua, Новые средства проверки устройств волновой релейной защиты [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://ennlab.ru/wp-content/uploads/2020/10/EnergoStyle-N3-2020-New-tools-for-traveling-wave-protection.pdf> (дата звернення: 20.11.2020)
4. Лачугин В. Ф., Релейная защита объектов электроэнергетических систем, основанная на использовании волновых методов: Дисертація на соискание ученой степени доктора технических наук: Специальность 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы, Москва 2015г.
5. Попов И. Н. Об использовании переходных процессов и внешних источников контроля для выполнения устройств релейной защиты// Вопросы оптимального развития энергосистем и новые технические средства их защиты. М.: Наука, 1970. - С. 43 - 73.
6. 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.
7. 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.
8. Применение волнового метода определения ОМП [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://www.bo-energo.ru/press-center/articles-and-publications/volnovoe-omp/> (дата звернення: 21.11.2020р.)