

## ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ ДЛЯ ЛІНІЙ 6 - 35 кВ

Дмитренко О.О., к.т.н., доцент, Ожиняк О.Р., бакалавр  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

**Вступ.** Надійність енергопостачання в значній мірі залежить від швидкого усунення виниклих ушкоджень на лініях електропередачі. У той же час до усунення пошкодження це місце потрібно ще розшукати. Це представляє важку задачу для працівників, обслуговуючих електричні мережі. До місця пошкодження потрібно дістатися, часто по бездоріжжю, в той же час довжина лінії часто вимірюється сотнями кілометрів.

Тому наявність засобів визначення місця пошкодження є обов'язковим для будь-якої електромережі. Директивними матеріалами наявність дистанційних засобів визначення місця пошкодження обов'язкова для ліній довжиною понад 20 км. Однак ці засоби бажано мати для ліній будь-якої протяжності.

Існує значна кількість розробок, програм і пристроїв для визначення місця пошкодження. Частина з них не відносяться до компетенції служб релейного захисту. До них відносяться покажчики протікання струму короткого замикання (УТКЗ), які розставляються вздовж лінії та спрацьовують при протіканні струму КЗ на даній ділянці лінії. Вони встановлюються поблизу проводів і на жилах силових кабелів. При обході встановлюють місце, де спрацював останній покажчик. Місце КЗ розташоване між останнім спрацюванням і першим, де покажчик вже не спрацьовує.

На електричних підстанціях України широко застосовуються застарілі покажчики «УКЗ», колишнього Ризького заводу «Енергоавтоматика». Крім того, подібні покажчики виготовляються різними підприємствами України.

**Мета роботи.** Задачею даного дослідження є аналіз основних підходів до визначення місця короткого замикання на землю в мережах 6-35 кВ, їх переваг та недоліків.

**Матеріали і результати досліджень.** Часто в енергосистемах застосовуються та в наш час ще серійно виготовляються прилади «Пошук-1», «Хвиля» і «Зонд». Однак вони мають суттєві недоліки, такі як: великі габарити і маса, складність застосування та налаштування, відмови при використанні приладу для визначення складних видів пошкоджень і т.д. Дані прилади здійснюють безперервний контроль за складовою електромагнітного поля тільки конкретної частоти, що є неприйнятним, оскільки в даному випадку неможливо гарантувати надійність відшукування місця пошкодження на лініях різної конфігурації.

Більш ефективним є використання індикаторів, що базуються на вимірюванні магнітного поля, індукованого струмом в проводі повітряної лінії (ПЛ). Принцип роботи таких індикаторів полягає в тому, що сигнал з приймальної обмотки індикатора подається на датчик зміни струму в часі, де виконується розпізнавання причини різкого зростання сили струму:

підключення нового навантаження чи поява струму КЗ. Отже, індикатор реагує на миттєве збільшення струму.

**Визначення місця пошкодження за рівнем струму КЗ.** Спосіб застосовується в мережах 6 -35 кВ, в основному при наявності ПЛ, що живлять сільськогосподарське навантаження. Відмітна особливість таких ПЛ - порівняно велика протяжність при малому перетині проводів (іноді навіть сталевих). Це призводить до різкого падіння рівня струму КЗ по мірі віддалення місця пошкодження від живильної підстанції (ПС).

Для наближеної оцінки відстані на живильній ПС на ввіді від трансформатора встановлюються прилади, що фіксують при КЗ значення фазних струмів. Показання приладів порівнюються із заздалегідь розрахованими очікуваними струмами при КЗ в різних точках ПЛ, на підставі чого і робиться висновок про відстань до точки замикання. Очевидно, що точність подібного способу невелика (значення струму КЗ залежить від напруги навантажувального режиму, від наявності перехідного опору, а при сталевих проводах і від нагрівання проводу), але наближені висновки про відстані зробити можна.

Спрямовані прилади дозволяють за показаннями індикатора визначити напрямок до місця пошкодження в точці мережі, якщо значення відповідної складової струму нульової послідовності в даній точці мережі достатнє для роботи приладу. Застосування приладів, які використовують складові основної частоти, досить складне із-за впливу магнітного поля струмів навантаження, напруженість якого співрозмірна з напруженістю магнітного поля струму замикання на землю. Наявність поблизу лінії некомпенсованого магнітного поля струмів навантаження пояснюється несиметричним розташуванням проводів лінії по відношенню до точки розташування переносного приладу.

Використання вищих гармонійних складових має ту перевагу, що їх відносний рівень в струмі замикання на землю в порівнянні з рівнем в струмі навантаження тим вище, чим вище номер гармоніки. Це пояснюється ємнісим характером опору в контурі протікання струму замикання на землю і в значній мірі індуктивним характером опору в контурі протікання струму навантаження. Тому при використанні вищих гармонійних складових вплив магнітного поля струмів навантаження істотно менше. Замикання на землю в більшості випадків відбуваються через перехідний опір.

У процесі протікання струму замикання на землю значення цього опору, як правило, не залишається незмінним. Зміни перехідного опору, часто значні, викликають зміни рівня гармонічних складових струму. Так як опір ємності в контурі проходження струму замикання на землю тим менше, чим вище номер гармоніки, вплив змін перехідного опору на зміну рівня вищих гармонік тим більше, чим вище номер гармоніки. Таким чином, хоча більш високі гармоніки дають можливість кращої відбудови від впливу струмів навантаження, нестабільність їх рівня внаслідок зміни перехідного опору ускладнює роботу з приладом, що використовують вищі гармоніки. Розглянемо деякі фактори, що впливають на появу і амплітуду вищих гармонік.

Вимірювання в мережах 6-10 кВ показують наявність значних фонових складових вищих гармонік напруги, причому домінуючими є 5 і 7 гармоніки. Пояснити появу таких гармонік відповідним їх проникненням з високовольтної живильної мережі вдається не завжди. Звісно ж, що однією з головних причин їх виникнення є вплив нелінійних шунтів намагнічування трансформаторів (6-10)/0,4 кВ, сумарна потужність яких може бути порівнянна з потужністю трансформаторів зв'язку з енергосистемою. Внаслідок сильної несиметрії трифазних стрижневих трансформаторів цього класу напруги, струми намагнічування крайніх фаз в 1,4 - 1,5 рази перевищують струм намагнічування в середній фазі. З цієї причини в струмі намагнічування присутні всі непарні гармоніки. Найбільшу вагу, як уже згадувалося вище, мають 5 і 7-а гармоніки. Наприклад, в розподільних мережах 6-35 кВ амплітуда п'ятої гармоніки напруги часто досягає величини  $(0,1-0,15)U_n$  навіть при незначному збільшенні напруги. При однофазному замиканні на землю напруги в фазах відрізняються від номіналів.

Залежність амплітуди вищих гармонік від напруги першої гармоніки досить складна, зокрема через резонансні явища. Щоб правильно визначити напрямок до місця замикання на землю, переносні прилади повинні мати здатність проводити порівняльний аналіз усього спектру частот, після чого вибирати складову тієї частоти, по якій буде проводитися подальший пошук місця аварії.

Всі наведені вище складності при пошуку місця однофазного КЗ можуть бути вирішені шляхом створення сучасних мікропроцесорних показників, де за рахунок алгоритмічних засобів, а не апаратних можна врахувати всі особливості гармонійного аналізу струму КЗ.

**Висновки.** Впровадження в електричних мережах 6-35 кВ сучасних приладів індикації пошкоджень та модернізація диспетчерських пунктів із запровадженням систем моніторингу дає можливість оперативно визначати місця пошкоджень ПЛ в важкодоступних місцях. Це дозволяє зменшити час ліквідації пошкодження. У процесі визначається лінія, на якій відбулося пошкодження та однозначно визначається вид короткого замикання на ній. Після цього селективно визначається місце пошкодження на ділянках. У разі пошкодження на відгалуженні, де відсутня інформація про координати аварійного режиму, точного місця пошкодження визначити не вдається, але можна визначити ділянку пошкодження.

#### Перелік посилань

1. Казанський С.В. Надійність електроенергетичних систем: навчальний посібник [Текст] / С.В. Казанський, Ю.П. Матеєнко, Б.М. Сердюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 218 с. – ISBN 978-966-622-453-1.
2. Релейная защита и автоматика распределительных сетей [Текст] / В.Г. Гловацкий, И.В. Пономарев, 2003. – 300-308с
3. Попов М.Г. Определение мест коротких замыканий на высоковольтных линиях передач // Энергетика. – 2004. – No 2.