

ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ПОЗДОВЖНЬОГО ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ЛІНІЙ З ЦИФРОВИМИ КАНАЛАМИ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ НАПІВКОМПЛЕКТАМИ

*Бондарчук Д.В., магістрант, Дмитренко О.О., к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем*

Вступ. Сучасні лінії електропередач (ЛЕП) класифікуються за різними критеріями і всі вони потребують окремого захисту, що відповідав би економічно-технічним характеристикам. Відомо, що з існуючих принципів виконання захистів лінії тільки диференційний має можливість вимірювання струму в місці пошкодження на кожному кінці лінії, і тому поздовжні диференціальні захисти лінії (ДЗЛ) зазвичай мають вищу чутливість у порівнянні з іншими. Диференціальний захист заснований на принципі порівняння значень фаз і струмів на початку і кінці лінії і виконаний у вигляді двох напівкомплектів та зв'язком між ними. Лінії протяжністю до 15-20 км забезпечені ДЗЛ з провідниковим кабельним зв'язком, що використовується як основний захист. Проте значна частина сучасних ЛЕП досягає сотень кілометрів, і опір з'єднувального кабелю стає неприпустимо великим і впливає на роботу захисту, а саме зростає струм небалансу. Що призводить до перевищення допустимого навантаження трансформаторів струму (ТС), та спотворення порівняння струмів, а значна протяжність лінії сприяє їх затуханню, що у поєднанні з високою вартістю робіт з прокладання кабелю обмежують застосування даного захисту. Тому для протяжних ліній використовують диференційно-фазний захист ліній, що заснований на порівнянні фаз струму по кінцях лінії. Проте захист є дорогим і потребує нових рішень, наприклад, використання перспективного ДЗЛ з цифровим каналом зв'язку.

Мета роботи. Розглянути види каналів зв'язку, що застосовуються для організації передачі інформації між напівкомплектами ДЗЛ, визначити часові затримки, які виникають у каналі та методи блокування в різних ненормальних режимах роботи.

Матеріали дослідження. Сучасні пристрої ДЗЛ можуть порівнювати: миттєві значення струмів (вибірки струмів) по кінцях ЛЕП або вектори струмів по кінцях ЛЕП.

У першому випадку проводиться передача оцифрованих миттєвих значень струмів на інший кінець ЛЕП. Використання миттєвих величин струмів дозволяє мати малий час на спрацювання ДЗЛ. Однак це вимагає вживання додаткових заходів для запобігання неправильних дій захисту при насиченні вимірювальних ТС. У пристроях ДЗЛ, заснованих на порівнянні векторів струмів проводиться передача комплексних значень струмів, (векторів на комплексній площині), які обчислюються на підставі значень декількох вибірок. Обчислення векторів проводиться згідно дискретного перетворення Фур'є. Перевагою другого способу реалізації ДЗЛ є хороша фільтрація аперіодичної складової струму КЗ і всіх вищих гармонік. Використовувані

канали зв'язку для ДЗЛ обмежені за пропускнуою здатністю (типова швидкість 64 кбіт / с), тому пристрої ДЗЛ більшості виробників передають векторні величини струмів, так як в цьому випадку пред'являються менші вимоги до пропускнуої здатності каналу.

Сучасний рівень техніки дозволив розширити сферу застосування ДЗЛ за рахунок використання волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) для передачі інформації з одного кінця ЛЕП на інший. В результаті з'явилася можливість реалізувати захист ДЗЛ протяжних ліній, довжина яких може перевищувати сотні кілометрів. Завдяки пропускнуї здатності, безпеки і стійкості до електромагнітних перешкод оптоволоконний зв'язок можна застосовувати в будь-яких схемах захисту. Оптоволоконні з'єднання типу «точка - точка» ідеально підходять для захистів, але їх використання буде нераціональним при передачі одного / двох біт даних, тоді як вони здатні передавати гігабіти інформації. У зв'язку з цією причиною стає звичайним явищем застосування мультиплексивного зв'язку, в якій захист використовує тільки невелику частину всього наявного діапазону. В табл. 1 наведено різні канали передачі даних, де можемо побачити їхню доцільність для диференціального струмового захисту.

Таблиця 1 – Дані продуктивності каналів передачі даних

	ВЧ-канал	Радіозв'язок з передачею сигналів в широкому спектрі	Ліцензований радіозв'язок	Оптоволоконний зв'язок
Диференціальний струмовий захист	-	Не рекомендується	2,0-22,5 мс	2-4 мс

Визначення часу передачі даних по каналу зв'язку здійснюється за допомогою пінг-понг методу. Точність синхронізації положення векторів в пристроях на різних кінцях лінії визначається різницею часу передачі даних по каналу зв'язку в прямому і зворотному напрямках. Якщо зазначена різниця має стаціонарний характер, то вона може бути скомпенсована шляхом задання параметру несиметричності каналу. Надійність дії ДЗЛ може бути збільшена шляхом дублювання каналів зв'язку.

Для аналізу дії і блокування диференціального захисту лінії в різних аварійних і навантажувальних режимах зручно користуватися характеристиками спрацювання в комплексній площині відношення векторів струмів (I_1/I_2) (ОВТ) по кінцях ВЛ, що захищається (рис. 1), де $a = \text{Re}(I_1 / I_2)$ і $b = \text{Im}(I_1 / I_2)$. Зазначена площина служить для візуалізації стану ДЗЛ і її використання подібно застосуванню комплексної площини опорів для аналізу дистанційних захистів. У нормальному режимі по лінії протікає струм навантаження. У площині ОВТ, без урахування спотворюючих факторів вимірювальних трансформаторів струму, навантажувальний режим і зовнішні пошкодження представлені однією точкою з координатами $(-1 + j0)$.

Для ПЛ з одностороннім живленням, при внутрішніх КЗ через перехідний опір, можливе протікання струмів по кінцях лінії з напрямком, відповідному зовнішньому пошкодженню. У цьому випадку співвідношення між модулями струмів по кінцях лінії відрізняється від одиниці значно і цей режим розпізнається вибором відповідної характеристики блокування ДЗЛ.

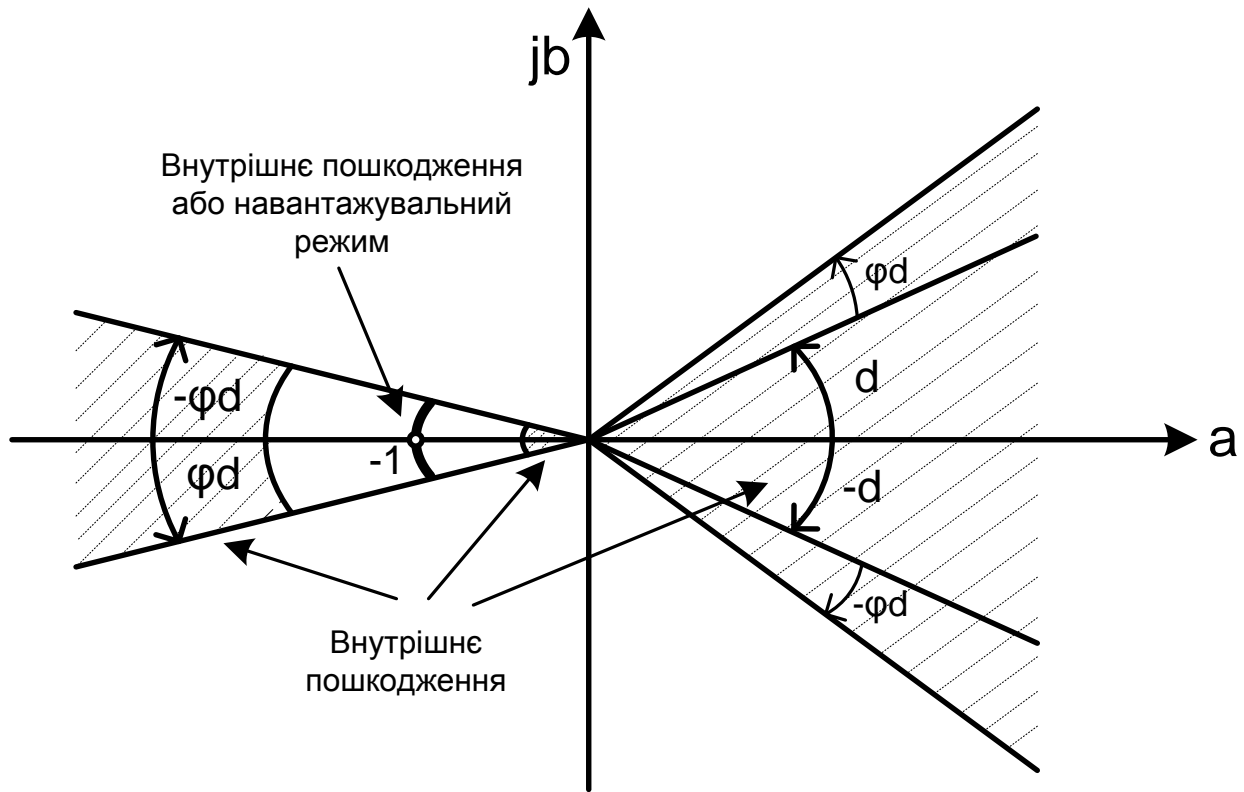


Рисунок 1 – Вплив несиметричного каналу зв'язку і величини перетоку потужності по ПЛ на положення характеристичних точок в площині ОВТ

Варто відмітити вплив навантажувального режиму, адже пристрої ДЗЛ проводиться роздільне порівняння трьохфазних струмів по кінцях лінії, що захищається. Тому, при внутрішніх пошкодженнях на лінії з двостороннім живленням, є фазовий зсув між порівнюваними фазними струмами, який визначається кутом електропередачі (різницею фаз еквівалентних ЕРС по кінцях лінії $\pm \delta$).

Несиметричність цифрового каналу зв'язку між напівкомплектами ДЗЛ по кінцях лінії, що захищається також призводить до зміни взаємного кута між вимірювальними струмами по кінцях лінії. Під несиметричністю каналу зв'язку мається на увазі різниця часу передачі цифрового сигналу між напівкомплектами Δt_d в прямому і зворотному напрямку. Додатковий зсув фаз між вимірюваними струмами φ_d пропорційний Δt_d : $\varphi_d = 9000 \times \Delta t_d$. Однією з вимог застосування цифрових каналів зв'язку з використанням мультиплексорів є $\Delta t_d < 0,001$ с. Для цього випадку кут φ_d не перевищує 9° при частоті сигналів 50 Гц. При зовнішніх пошкодженнях і в навантажувальних режимах, за рахунок

різниці часу передачі цифрового сигналу між напівкомплектами Δt_d в прямому і зворотному напрямку, характеристична точка режиму ДЗЛ в комплексній площині ОВТ відхиляється від точки з координатами $(-1 + j0)$ по дузі на кут φ_d , як показано на рис. 1.

Також необхідно сказати про вплив насичення вимірювальних трансформаторів струму. Насичення ТС характеризується відхиленням співвідношення модулів векторів першої гармоніки первинного і вторинного струмів трансформатора від коефіцієнта трансформації і їх взаємного кута від нуля, причому ці зміни відбуваються в часі. Розглядається випадок, коли з одного боку ПЛ струм трансформується без спотворень, а з іншого боку лінії має місце насичення ТС. В цьому випадку, при зовнішньому пошкодженні в енергосистемі, в процесі насичення ТС змінюється співвідношення (I_1 / I_2) і характеристична точка режиму ДЗЛ в комплексній площині ОВТ відхиляється від точки з координатами $(-1 + j0)$. Це відхилення визначається ступенем насичення ТС і може бути значним. Ступінь насичення ТС при пошкодженні в енергосистемі залежить від кількох факторів: характеристик ТТ, кратності струму КЗ, наявності аперіодичної складової в струмі КЗ і її постійної часу загасання, від величини опору навантаження у вторинному ланцюзі ТС.

Для виключення зайвих відключень ПЛ при зовнішніх пошкодженнях з великими струмами КЗ і з насиченням ТС необхідно мати форму області блокування ДЗЛ при зовнішніх пошкодженнях такого виду, щоб кожна характеристична точка режиму ДЗЛ в комплексній площині ОВТ була всередині цієї зони.

Висновки. Для протяжних ЛЕП основним є диференційно-фазний захист, який окрім високих вартісних показників має ряд технологічних недоліків. Використання не менш ефективного повздовжнього диференційного захисту з провідним каналом зв'язку обмежено довжинами ЛЕП не більше 15-20 км. Причому, це обмеження пов'язано саме з наявністю провідного каналу зв'язку. Існуючий стан техніки релейного захисту та впровадження сучасних каналів зв'язку дозволяє істотно зменшити струми небалансу та повністю або частково зняти обмеження на довжину ЛЕП для ДЗЛ. Найбільш ефективним є оптоволоконний зв'язок, який дозволяє передавати інформацію без спотворень на сотні кілометрів і дозволяє використати ДЗЛ у якості основного швидкодіючого та селективного захисту для ЛЕП будь-якої довжини.

Перелік посилань

1. Циглер Г. Цифровая дифференциальная защита. Принципы и область применения. М., Знак, 2008;
2. Комплекты продольной дифференциальной защиты линий электропередачи типов ДЗЛ-2 УХЛ-4 и ДЗЛ-2 04. Техническое описание и руководство по эксплуатации.