

## АЛГОРИТМ «КОНЦЕНТРИЧНИХ КІЛ» ДЛЯ БЛОКУВАННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗАХИСТУ ПРИ ХИТАННЯХ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ

Дмитренко О.О., к.т.н., доцент, Литвиненко А.В., магістрантка  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

**Вступ.** Дистанційний захист (ДЗ), за принципом роботи, контролює значення опору лінії в реальному часі. Визначення опору, як правило, здійснюється непрямим способом – відношенням вимірних напруги до струму лінії. Якщо з тієї чи іншої причини на пристрій ДЗ не надходить напруга з трансформатору напруги (ТН), то при досягненні певного значення струму навантаження захист спрацює помилково, знеструмивши лінію електропередачі фактично за відсутності будь-яких пошкоджень. Для запобігання подібним ситуаціям у пристроях ДЗ передбачено функцію контролю цілісності ланцюгів напруги, у разі відсутності яких захист автоматично блокується. Також дистанційний захист блокується у разі виникнення хитань в енергосистемі.

Хитання виникають внаслідок збурень, що викликають зміни кута ЕРС  $E_1$  та  $E_2$  двох частин системи. Причинами таких збурень можуть бути короткі замикання (КЗ) та різкі зміни навантаження споживачів. В результаті збурення синхронна частота обертання генераторів у двох частинах енергосистеми стає різною, а вектори  $E_1$  та  $E_2$  починають повертатися один щодо одного. Під дією різниці потенціалів, створеної ЕРС  $E_1$  і  $E_2$ , по міжсистемному зв'язку починає протікати зрівняльний струм, який змінюватиметься в часі. Максимальним значення зрівняльного струму, що називається струмом хитань  $I_x$ , буде в момент часу, коли  $E_1$  і  $E_2$  знаходяться в протифазі, а мінімальним – при куті  $= 0^\circ$ . В результаті хитань значно змінюється і модуль напруги вздовж лінії. Крім періодичних змін у часі струму та напруги відбувається також періодична зміна опору на затискачах ДЗ. Графіки зміни параметрів  $I_x$ ,  $U_c$ ,  $Z$  і  $P$  при змінах кута представлені на рис. 1.

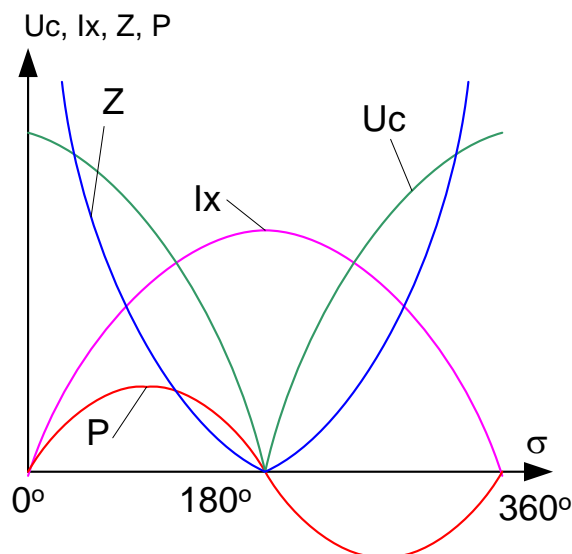


Рисунок 1 – Зміна електричних параметрів при хитаннях

Місце в енергосистемі, де напруга при хитанні є найменшою, називається електричним центром хитань (ЕЦХ). Хитання можуть бути синхронними (коли кут  $\delta$  не перевищує  $180^\circ$ ) і асинхронними (коли має місце провертання вектору  $E_1$  щодо  $E_2$  і кут між ними  $\delta > n \cdot 360^\circ$ ). Період хитань  $T_s$  для реальних енергосистем знаходиться в діапазоні 0,5-10 с. При хитаннях виникають умови для неправильних дій релейного захисту (РЗ), які можуть призвести до важких аварійних наслідків. Максимальне значення струму хитання може навіть перевищувати струм трифазного КЗ, а вимірний опір може бути нижчим, ніж  $Z_{сз}$  перших миттєвих ступенів спрацювання ДЗ. В цьому випадку захист може помилково відключити лінію, і в результаті відбудеться розділ енергосистеми з незбалансованими навантаженнями в двох частинах. Тому при хитаннях РЗ не повинен спрацьовувати шляхом застосування спеціальних налаштувань, блокувань або затримок часу.

Можливі наступні три способи, що запобігають помилковій роботі РЗ при хитаннях:

1. Параметри спрацювання РЗ вибираються такими, щоб пускові органи РЗ не діяли при хитаннях, тобто  $I_{сз.рз} > I_{х.макс}$ ;  $z_{сз.рз} < z_{х.мін}$ . Однак використання цих умов знижує чутливість РЗ, практично неможливо відбудувати  $z_{сз.рз}$  від  $z_{х.мін}$ , т.я. останнє може набувати нульового значення.

2. Відбудова від хитань за допомогою витримки часу  $t_{сз.рз} = (1 \div 2)c$ , якщо це уповільнення РЗ допустимо за умовами стійкості. Принаймні  $t_{сз.рз}$  має бути не менше періоду хитань  $T_s$ . Використання цього способу відбудови від хитань знижує швидкодію захисту.

3. Коли перші два способи відбудови є неприйнятними, то застосовуються спеціальні блокування при хитаннях, що виводять РЗ з дії. Блокування повинні задовольняти двом вимогам: виводити РЗ з дії при хитаннях і дозволяти РЗ діяти, якщо при хитання сталосся к.з.

Зазвичай використовують два типи блокувальних пристроїв:

1) блокування, що відрізняють режим КЗ від режиму хитань за появою асиметрії струму або напруги. Режим хитань – симетричний, а більшість режимів КЗ – несиметричні, з виникненням струмів та напруг оберненої та нульової послідовностей. Недолік – відсутність блокувань від хитань при 3-фазних КЗ.

2) блокування, що відрізняють КЗ від хитань за швидкістю зміни електричних параметрів ( $I$ ,  $U$ ,  $Z$ ) у місці встановлення захисту. При КЗ швидкість зміни зазначених параметрів набагато вища, ніж при Хитаннях. Недолік – відсутність блокувань при хитання поблизу ЕЦК на довгих сильно навантажених лініях, при хитання з малим періодом.

**Мета.** Запропонувати спосіб покращення алгоритму блокування ДЗ при хитаннях шляхом використання додаткової затримки часу спрацювання при застосуванні методу «концентричних кіл».

**Матеріали і результати досліджень.** Існує досить багато алгоритмів блокування ДЗ при хитаннях. Частина з них є складними і не могли бути впроваджені на електромеханічних та мікроелектронних пристроях РЗ. Але

зараз, за рахунок впровадження надійних програмних та апаратних платформ в мікропроцесорних пристроях РЗ, ці алгоритми можуть бути реалізованими.

В сучасних пристроях РЗ часто використовується спосіб обчислення швидкості зміни опору –  $dr/dt$ , яка при КЗ близька до нуля. Надійний і відносно простий спосіб забезпечує блокування ДЗ при більшості випадків хитання. Але не при всіх. Наприклад, при куті між ЕРС близьким до  $180^\circ$  швидкість зміни опору незначна і ДЗ може хибно відключити лінію.

Одним з методів, який складно було реалізувати в епоху аналогових пристроїв РЗ, є метод «концентричних кіл». Основні недоліки – невисока чутливість із-за завеликих інтервалів часу, зумовлених апаратними можливостями аналогових пристроїв РЗ. Цей недолік легко можна подолати за допомогою сучасних можливостей мікропроцесорної техніки. Нижче наведено основні підходи до даного методу (рис. 2).

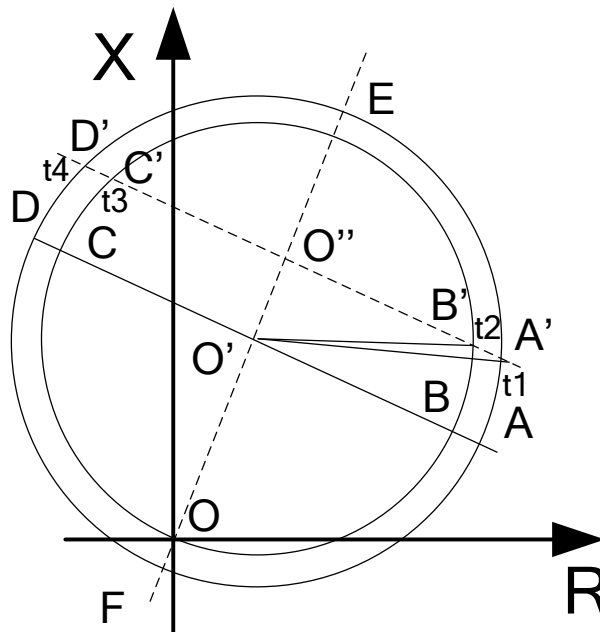


Рисунок 2 – Зміна імпедансу на площині (R, X)

Встановлюємо концентричні кола на площині (R, X). Внутрішнє коло – це зона I ДЗ, діаметр якого, як правило, становить  $z_1 = 0.8 \cdot z_n$ . Зовнішнє коло має той самий центр, що і внутрішнє коло, і його діаметр –  $1,2Z_L$  і відповідає колу зміщеного імпедансу зони II. Встановлюємо радіус зовнішнього кола як  $r_1$  і радіус внутрішнього – як  $r_2$ . В нормальному режимі роботи енергосистеми кут між еквівалентними джерелами на двох кінцях лінії є малим і сталим, і координати видимого імпедансу завжди стабільно розташовуються в позиції, далекій від цих двох концентричних кіл. Цей кут поступово зростає під час появи хитань.

При КЗ і хитаннях видимий імпеданс починає наближатися до двох концентричних кіл на площині (R, X). Захист зони I може спрацювати лише тоді, коли траєкторія перетинає зовнішнє і внутрішнє кола за дуже короткий

період часу і потрапляє у внутрішнє коло, тобто ця ситуація розглядається як випадок КЗ. Спрощено аналіз проводиться у випадку, коли траєкторією зміни імпедансу є коло або пряма лінія.

Спочатку розглянемо умову прямої лінії. Встановимо реальну лінію ABCD на рис. 2 як рухому траєкторію видимого імпедансу, яка проходить через центр двох кіл  $O'$  під час коливань напруги. Вона перетинається з двома колами в точках A, B, C, D відповідно. Пунктирна лінія A'B'C'D' – це довільна траєкторія коливань, яка не проходить через центр. Вона перетинається з двома колами в точках A', B', C', D', а також з вертикальною лінією, яка ділить BC пополам, і називається EF, в точці  $O''$ . Видимий імпеданс позначається як  $Z_j = R_j + jX_j$ . Загальноприйнято припускати, що траєкторія видимого імпедансу є пунктирною лінією на рис. 2.

Кут зростає до  $\delta_1$  в момент часу  $t_1$  під час коливань напруги, і траєкторія перетинається з зовнішнім колом. У цей момент реле імпедансу, відповідне зовнішньому колу, знаходиться в передпусковому стані. Потім кут продовжує зростати до  $\delta_2$  і траєкторія перетинається з внутрішнім колом. Відбувається пуск зони I ДЗ. Потім кут продовжує зростати, і зона I ДЗ є активною. У момент часу  $t_3$  кут збільшується до  $\delta_3$ , і відбувається повернення зони I ДЗ. Після цього, коли кут досягає  $\delta_4$ , відбувається повернення ДЗ по зовнішньому колу. Потім кут  $\delta$  продовжує зростати до  $360^\circ$ , і цикл завершується.

Таким чином, інтервал часу траєкторії видимого імпедансу, яка послідовно перетинає зовнішнє та внутрішнє коло, складає  $\Delta t_1 = t_2 - t_1$ , а час, протягом якого вона перебуває в межах внутрішнього кола,  $\Delta t_2 = t_3 - t_2$ . Таким чином, протягом певного циклу коливань, коли рухома траєкторія видимого імпедансу наближається до двох концентричних кіл в будь-якому напрямку, існують лише три можливі варіанти:

- 1)  $\Delta t_1$  і  $\Delta t_2$  близькі до нуля, таймери захисту не запускаються.
- 2)  $\Delta t_2$  дорівнює нулю, а  $\Delta t_1$  не дорівнює нулю.
- 3) Обидва  $\Delta t_1$  і  $\Delta t_2$  не дорівнюють нулю.

Очевидно, що умови 1 і 2 не приведуть до хибної дії захисту. Загалом, якщо лише  $\Delta t_2$  не дорівнює нулю (коли виконується умова 3), дистанційний захист (особливо швидка зона) може спрацювати неправильно.

Коли центр хитань знаходиться в межах захищеної лінії,  $\Delta t_1$  не буде нульовим. Загалом ця схема має наступні недоліки в аналогових захистах: через низьку точність реле часу, коли  $\Delta t_1$  менший за мінімальний час спрацювання реле часу, при дуже швидких хитаннях, сигнал блокування не сформується і захист помилково відключить лінію. З іншого боку, якщо перехідний процес при КЗ під час хитань розвивається повільно, то  $\Delta t_1$  буде більшим за уставку, що призведе до помилкової ідентифікації несправності як хитання, і захист буде помилково заблоковано.

Насправді  $\Delta t_2$  та  $\Delta t_1$  мають однозначне співвідношення в індивідуальному циклі хитань. Під час хитань, коли траєкторія коливань проходить через центр кола, при тривалих вимірюваннях  $\Delta t_1$  завжди має певне значення, і  $\Delta t_2$  не буде нескінченним. Отже,  $\Delta t_2/\Delta t_1$  завжди має максимум. Якщо цей максимум можна

знайти, до останнього значення  $\Delta t_2$  може бути додана затримка захисту  $\Delta t_1$ , що відповідає останньому значенню  $\Delta t_1$ . Такий підхід дасть можливість уникнути помилкової дії захисту при будь-яких хитаннях. З іншого боку, коли під час хитань виникає КЗ, в більшості випадків захист може відключити його з відповідною швидкістю і задовільною селективністю.

**Висновок.** Традиційні методи блокування дистанційного захисту в мікропроцесорних пристроях мають ряд недоліків. Наприклад, при куті між ЕРС по кінцях лінії електропередачі, близьким до  $180^\circ$  швидкість зміни опору незначна і ДЗ може хибно відключити лінію. Традиційний критерій «концентричного кола» використовує вимірювання інтервалу часу між перетинами траєкторії хитань і концентричних кіл характеристики спрацювання. Даний метод складно було реалізувати засобами електромеханіки або аналогової техніки. Але з використанням сучасної мікропроцесорної техніки з'явилась можливість його реалізації. Цей метод також має ряд недоліків, а саме: можливість хибного неблокування ДЗ при хитаннях з центром в межах захищеної лінії та можливість хибного блокування ДЗ при повільному перехідному процесі при КЗ під час хитань. Запропоновано шляхом введення незначної витримки часу позбавитись вказаних недоліків. Встановлено, що співвідношення між часом, протягом якого траєкторія хитань перебуває всередині внутрішнього кола, і часом, коли вона проходить через концентричні кола, є обмеженим числом, і завжди існує максимальне значення, з використанням якого можна встановити додаткову затримку. При КЗ під час хитань час проходження траєкторії імпедансу через відстань між двома колами дорівнює нулю, що робить додаткову затримку часу рівною нулю і не впливає на швидкодію захисту.

#### Перелік посилань

1. Xiangning Lin, Zhengtian Li, Shuohao Ke, Yan Gao. Theoretical Fundamentals and Implementation of Novel Self-Adaptive Distance Protection Resistant to Power Swings. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 25, NO. 3, JULY 2010, pp. 1372-1383.
2. H. Khoradshadi-Zadeh. Evaluation and performance comparison of power swing detection algorithms. Proc. IEEE Power Eng. Soc. General Meeting, 2005, vol. 2, pp. 1842–1848.
3. M. J. Reddy, D. K. Mohanta. Adaptive-neuro-fuzzy inference system approach for transmission line fault classification and location incorporating effects of power swings. Proc. Inst. Eng. Technol. Gen, Transm. Distrib, vol. 2, no. 2, pp. 235–244, 2008.