

ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ СТРУМОВИХ ЗАХИСТІВ ЗБІРНИХ ШИН РОЗПОДІЛЬЧИХ УСТАНОВОК

¹ВП ДП «НЕК «Укренерго» Дніпровська ЕС

²Запорізький національний технічний університет

Анотація

Проведено аналіз причин зафіксованих випадків технологічних порушень, що сталися на енергетичних об'єктах ОЕС України внаслідок неправильної дії пристроїв релейного захисту збірних шин розподільчих установок, заснований на диференційному струмовому принципі дії. Виявлені основні недоліки пристроїв диференційного струмового захисту шин та проаналізовані чинники електричної мережі, що призводять до наявності цих недоліків, та вплив яких необхідно враховувати при розрахунку та виборі параметрів налаштування захисту. Запропоновані можливі заходи щодо усунення виявлених недоліків сучасних пристроїв релейного захисту збірних шин.

Ключові слова: розподільча установка, збірні шини, релейний захист, диференційний струмовий захист.

Abstract

The analysis of the causes of recorded cases of technical violations that occurred at energy facilities OES Ukraine as a result of improper actions of busbar's protection based on the differential current principle. The basic disadvantages devices differential busbar's protection and analyzed the factors of power grid, leading to available to these disadvantages, and whose impact must be considered in the calculation and choice of configuration settings of protection. The possible measures to eliminate disadvantages of modern relays of busbar's protection were proposed.

Keywords: switchgear, busbars, relay protection, differential protection.

Вступ

На сьогоднішній день на об'єктах об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС) України, у відповідності із загальносвітовою практикою, для забезпечення швидкодіючого релейного захисту (РЗ) з абсолютною селективністю збірних шин (ЗШ) розподільчих установок (РУ) від всіх можливих видів пошкоджень переважно застосовуються релейні пристрої, принцип дії яких заснований на диференційному порівнянні векторних величин вторинних фазних струмів трансформаторів струму (ТС) різних приєднань, підключених до спільної системи ЗШ – пристрої диференційного струмового захисту шин (ДЗШ), [1], які набули широкого розповсюдження завдяки наступним своїм перевагам:

- абсолютна селективність дії при КЗ у межах зони, що захищається, та поза її межами;
- висока швидкодія, що, як правило, не перевищує 1-2 періодів струму промислової частоти;
- наявність механізму відлаштування захисту від перехідних та усталених диференційних струмів небалансу, що виникають при зовнішніх КЗ, кидку струму намагнічування та за функціонування ТС з підвищеними похибками внаслідок насичення їх магнітних систем.

У сучасних пристроях ДЗШ у якості механізму для відлаштування захисту від диференційних струмів небалансу переважно застосовується принцип відсоткового гальмування, що дозволяє забезпечити мінімально необхідну чутливість цих пристроїв до пошкоджень, що виникають у межах системи ЗШ, та який заснований на використанні спеціальних пристроїв та алгоритмів їх роботи, які дозволяють забезпечити пропорційне співвідношення між уставкою спрацювання диференційного органу захисту (уставкою диференційного струму I_{dif}) та абсолютною величиною струму зовнішнього КЗ (величиною гальмівного струму I_{rest}). У якості додаткового алгоритму також може бути застосований принцип гальмування вищими гармоніками диференційного струму, якому властивий несинусоїдальний характер, обумовлений перш за все несинусоїдальністю струму намагнічування ТС з замкну-

тими феромагнітними осердями.

Багаторічний досвід експлуатації пристроїв ДЗШ на енергетичних об'єктах ОЕС України [2, 3], вказує на те, що зазначений принцип дії РЗ ЗШ має певні недоліки, що можуть бути виявлені при виконанні аналізу технологічних порушень, безпосередньо пов'язаних з неправильною дією ДЗШ, які описані у протиаварійних циркулярах та інформаційних повідомленнях підприємств електроенергетики, в електроустановках яких були зафіксовані випадки відмови або хибного (надлишкового) спрацювання пристроїв ДЗШ.

Метою роботи є аналіз причин виникнення технологічних порушень, що сталися внаслідок неправильної дії пристроїв ДЗШ, виявлення властивих цим пристроям недоліків на підставі проведеного аналізу цих причин та чинників електричної мережі, які здійснюють вплив на селективність функціонування захисту, надання пропозиції заходів щодо усунення виявлених недоліків.

Результати дослідження

Згідно з [2,3], випадки відмови дії ДЗШ переважно фіксувалися внаслідок порушення вимог технічної експлуатації цих пристроїв, регламентованих [4], а також при порушенні порядку виконання робіт у вторинних колах захисту, пов'язаних з їх розбіркою та наступною збіркою, оперуванням перемикальними пристроями та налаштуванням уставок реле захисту.

Випадки надлишкової або хибної дії пристроїв ДЗШ мали місце за наступних умов [2,3]:

- невиявлена заздалегідь технічна несправність пристрою, а зокрема його оперативних, струмових кіл або кіл живлення;
- розкорочування або замикання струмових кіл захисту в режимі номінального навантаження або при зовнішніх КЗ за неправильного налаштування вузла контролю справності струмових кіл або за технічної несправності даного вузла;
- неправильне налаштування параметрів спрацювання та робочих характеристик захисту при його введенні в експлуатацію або при наступних експлуатаційних перевірках, планових чи позапланових переглядах розрахункових параметрів;
- порушення контакту струмових кіл ДЗШ з землею чи наявність декількох заземлених точок, що категорично не допускається [1].

Особливої уваги заслуговують випадки неправильної дії пристроїв ДЗШ, що мали місце за умови функціонування ТС одного або декількох приєднань з підвищеними похибками трансформації первинного струму в усталених та перехідних режимах КЗ внаслідок глибокого насичення магнітних систем цих ТС через їх несправність (виткові замикання у вторинних обмотках), перевищення допустимого навантаження $Z_{2ном}$, вплив аперіодичної складової та вищих гармонік первинного струму КЗ.

З огляду на це, основними причинами виникнення неправильної дії пристроїв ДЗШ є наступні:

- відсутність досконалих методів забезпечення надійної та селективної дії захисту при функціонуванні ТС, до вторинних кіл яких підключено пристрій, з підвищеними похибками при насиченні цих ТС;
- недосконалість методик з організації та проведення робіт у вторинних колах захисту, пов'язаних з їх розбіркою та наступною збіркою, оперуванням перемикальними пристроями та налаштуванням уставок окремих реле захисту;
- недосконалість існуючих методів діагностики справності оперативних та струмових кіл захисту;
- недосконалість, складність та важкодоступність сучасних методик з налаштування параметрів спрацювання та робочих характеристик за якими здійснюється функціонування захисту;
- відсутність методів контролю та виявлення порушення контакту струмових кіл ДЗШ з землею чи наявності декількох заземлених точок, чого категорично не допускається згідно з [1].

За результатами аналізу причин виникнення випадків неправильної дії ДЗШ можна виділити наступні їх недоліки:

- відсутність досконалих, структурованих та легкодоступних методик з розрахунку та вибору параметрів налаштування і робочих характеристик реагуючих органів захисту за умовою забезпечення його достатньої чутливості в мінімальних режимах внутрішніх КЗ;
- відсутність засобів автоматизації трудомісткого процесу виконання первинного розрахунку і позапланових переглядів параметрів налаштування захисту (робочих уставок), обумовлених зміною

режиму роботи енергетичного об'єкта, конфігурації або режиму прилеглої до ЗШ електричної мережі (ЕМ), складу навантаження або генерації, які не завжди виконуються належним чином;

- відсутність методів з компенсації похибок, що дозволяють знизити вимоги до технічних характеристик і умов експлуатації ТС, які використовуються для підключення ДЗШ, зокрема до забезпечення функціонування цих ТС в заданому класі точності в аварійних режимах;

- відсутність методів з компенсації похибок вимірювального тракту захисту, обумовлених необхідністю балансування вторинних струмів приєднань, що мають ТС з різними коефіцієнтами трансформації;

- недосконалість існуючих методів з забезпечення блокування дії захисту у разі виникнення замикання або розкорочування його струмових кіл.

Труднощі, що виникають під час розрахунку параметрів налаштування ДЗШ за умови забезпечення нормованої у [1] його чутливості ($K_{\text{ч}} \geq 2$), обумовлені в першу чергу впливом ряду чинників ЕМ, врахування яких є обов'язковим при виконанні розрахунку і виборі уставок реле захисту. До цих чинників, згідно [5,6,7], належать наступні:

- струми намагнічування силових трансформаторів і автотрансформаторів;
- ємнісна провідність протяжних ліній електропередачі (ЛЕП) високої та надвисокої напруги;
- абсолютне значення аперіодичної складової, що міститься у первинному струмі перехідного процесу КЗ, та тривалість часу її затухання;

- кратність первинного аварійного струму в ustalених та перехідних режимах КЗ;
- струми намагнічування та активні втрати в ТС, які обумовлюють наявність струмових та кутових похибок трансформації первинного струму у вторинне коло ТС.

Характер і ступінь впливу зазначених чинників на селективність функціонування РЗ ЗШ, а відповідно і на вибір його уставок, визначається параметрами режиму ЕМ, її конфігурацією та розгалуженістю, імпедансним опором ЛЕП та силових трансформаторів (автотрансформаторів, шунтувальних реакторів тощо), потужністю і відносним розташуванням генеруючих джерел в ЕМ, тощо.

Похибки ТС є вирішальним чинником при здійсненні відлаштування пускових органів ДЗШ від перехідних і ustalених значень диференційного струму небалансу, який має місце при зовнішніх КЗ та в інших ненормальних режимах ЕМ [8,9,10] внаслідок наявності цих похибок. За різних умов та режимів експлуатації ТС їх струмові та кутові похибки змінюються нелінійно, причому похибки ТС, які мають відмінні характеристики намагнічування, змінюються неоднаково, що особливо стає помітним при значних кратностях первинного струму КЗ, що призводить до суттєвого збільшення диференційного струму небалансу, від максимальної величини якого має бути відлаштований ДЗШ, [8,10]. З огляду на це, відповідно до [1,4], встановлюються вимоги щодо однотипності ТС, які застосовуються для підключення струмових кіл схем ДЗШ.

Варто відзначити, що виконання вищезазначених вимог до ТС повною мірою не може бути забезпечене, що пов'язано з труднощами вибору таких ТС, що мають досить схожі між собою криві намагнічування, що в свою чергу призводить до появи похибок та необхідності закруглення комплексу ДЗШ або реалізації спеціальних заходів щодо забезпечення його чутливості відповідно до вимог [1]. До цих заходів зокрема належить застосування принципу відсоткового гальмування та гальмування вищими гармоніками диференційного струму. Зазначені заходи хоча і мають певну ефективність, проте їх реалізація потребує проведення складних розрахунків (з урахуванням впливу вищезгаданих чинників) з метою виключення ймовірності відмови захисту при внутрішніх КЗ та його надлишкового спрацювання при КЗ поза межами зони, що захищається. Найбільшого впливу на функціонування пристроїв ДЗШ завдають саме струмові похибки ТС, що не повинні перевищувати 10%, згідно з вимогами [1, 11]. Відповідно до [8,10], струмові похибки ТС в аварійних режимах енергосистеми змінюються в значно більшому ступені ніж їх кутові похибки та в перехідних режимах КЗ з максимальною аперіодичною складовою аварійного струму та тривалим часом її затухання струмові похибки ТС досягають 81-90%, у той час як їх кутові похибки не перевищують 46-50°, що у відсотковому співвідношенні складає близько 51-56%, з розрахунку того, що значення кутової похибки у 90° відповідає 100%. Також, за результатами проведених у [12] досліджень зміни струмових та кутових похибок ТС в ustalених та перехідних режимах енергосистеми, було встановлено, що у початковий момент виникнення перехідного процесу КЗ кутові похибки ТС подібно до струмових, можуть досягати достатньо високих значень (більш як 60% або 54°), проте динаміка їх зміни характеризується швидким зменшенням значень цих похибок разом із затуханням перехідного процесу, причому швидкість цієї зміни складає приблизно 5% або 4,5° за один період струму промислової частоти.

На підставі узагальненої статистичної інформації за випадками неправильної дії пристроїв ДЗШ [2,3], встановлено також той факт, що провідна роль у виникненні відмови, надлишкової або хибної дії РЗ ЗШ належить людському чиннику та налічує понад 60% випадків, які сталися з вини персоналу проектної, монтажно-налагоджувальної та експлуатаційної організації або заводу-виробника. Мінімізація долі участі персоналу цих організацій при розробці, проектуванні, розрахунку та виборі параметрів, налагодженні та подальшій технічній експлуатації пристроїв РЗ ЗШ дозволить уникнути виникнення ряду небажаних випадків, пов'язаних з неправильною дією цих пристроїв, наслідками яких можуть виявитись порушення електропостачання споживачів та транзиту електричної потужності через ЗШ РУ електричних станцій та підстанцій, неприпустиме перевантаження міжсистемних і внутрішньосистемних зв'язків, порушення балансу електричної потужності в енергосистемі або окремих її частинах, зниження запасу динамічної стійкості окремих її вузлів тощо.

Висновки

Авторами проведений аналіз та узагальнення причин виникнення випадків відмови, надлишкової або хибної дії сучасних пристроїв РЗ ЗШ, заснованих на диференційному струмовому принципі дії, які перебувають в експлуатації на переважній більшості енергетичних об'єктів ОЕС України. З огляду на низку виявлених недоліків, властивих цим пристроям, можна зробити висновок про актуальність окресленої проблеми з забезпечення високонадійного та селективного функціонування РЗ ЗШ в усталених та перехідних режимах енергосистеми за умови збереження на достатньо високому рівні показників чутливості та швидкодії захисту. Для вирішення даної проблеми можна запропонувати наступні шляхи:

- подальший розвиток та технічне вдосконалення існуючих, а також розробка нових методик налаштування робочих параметрів пристроїв ДЗШ, методів побудови функціональних алгоритмів їх дії з метою підвищення показників ефективності функціонування захисту, зокрема селективності, надійності та чутливості;

- створення нової концепції стосовно принципу виконання вимірювальних та логічних кіл РЗ ЗШ, розробка нових методів та методик у межах даної концепції, направлених на впровадження **диференційно-фазного принципу дії захисту шин**, що на нашу думку є більш доцільним рішенням актуальної на сьогодні проблеми застосування РЗ систем ЗШ електроустановок [13].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила устройства электроустановок: Глава 3.2. Релейная защита / Минэнерго Украины. – 7-е изд., перераб. и доп. - Х: Форт, 2009. – 704 с.
2. Сборник директивных материалов по эксплуатации энергосистем: Электротехническая часть / Минэнерго СССР. – 2-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоиздат, 1981. – 632 с.
3. Сборник директивных материалов главтехуправления минэнерго СССР: Электротехническая часть / Минэнерго СССР. – 3-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 1985. – 304 с.
4. Технічна експлуатація електричних станцій та мереж. Правила / Мінпаливенерго України. Київ : НТУКЦ, 2003. – 597 с.
5. Таубес И. Р. Дифференциальная защита шин 110-220 кВ : библиотека электромонтера, выпуск №560 / И. Р. Таубес. – М: Энергоатомиздат, 1984. – 96 с.
6. Федосеев А. М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей: учебное пособие для вузов / А. М. Федосеев. – М: Энергоатомиздат, 1984. – 520 с.
7. Thompson M. (2001), “Secure Application of Transformer Differential Relays for Bus Protection”, ELECSAR Engineering and Schweitzer Engineering Laboratories : Vol. 14, pp. 75-93 (Eng).
8. Кужеков С. Л. Защита шин электростанций и подстанций / С. Л. Кужеков, В. Я. Синельников. – М: Энергоатомиздат, 1983. – 184 с.
9. Zocholl S. E. (2012), “Current Transformer Concepts”, Journal of Reliable Power : Vol. 5, pp. 31-55 (Eng).
10. Афанасьев В. В. Трансформаторы тока / В. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев, В. М. Кибель, И. М. Сирота, Б. С. Стогний – Л: Энергоатомиздат, 1989. – 416 с.
11. Трансформатори вимірювальні. Частина 1. Трансформатори струму (IEC 60044-1:2003, IDT) : ДСТУ IEC 60044-1:2008. — [Чинний від 2010-01-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 2010. — 38 с. — (Національний стандарт України).

12. Ніценко В. В. Дослідження похибок трансформаторів струму у системах релейного захисту в усталених та перехідних режимах енергосистеми / В. В. Ніценко, Д. О. Кулагін, П. В. Махлін // Електротехніка та електроенергетика. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – Вип.1/2016. – С. 87-94.

13. Ніценко В. В. Перспективы использования дифференциально-фазного принципа для защиты систем сборных шин распределительных устройств 110–750 кВ / Ниценко В. В., Кулагин Д. А. // Електротехнічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 3/2015 (31). – С. 158-166.

Ніценко Володимир Вікторович - інженер оперативно-розрахункової служби релейного захисту та протиаварійної автоматики ДП «НЕК «Укренерго» Дніпровська ЕС, вул. Гребельна, 2, м. Запоріжжя, Україна, 69096, e-mail: nicenkovladimir@gmail.com.

Науковий керівник: **Кулагін Дмитро Олександрович**, кандидат технічних наук, професор кафедри «Електропостачання промислових підприємств» Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського 64, м. Запоріжжя, Україна, 69063, e-mail: kulagindo@gmail.com.

Nitsenko Volodimir Victorovich - engineer of operative and settlement service of relays protection and emergency automatics DP "NEC" Ukrenergo " Dniprovska ES st. Dams 2, Zaporizhzhya, Ukraine, 69096, e-mail: nicenkovladimir@gmail.com

Supervisor: **Kulagin Dmitro Oleksandrovich**, candidate of technical Sciences, professor, the Department "Power Supply of industrial enterprises" Zaporizhzhya national technical University, street Zhukovsky 64, Zaporozhye, Ukraine, 69063, e-mail: kulagindo@gmail.com