

УДК 621.316.925

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КІЛ ДИФЕРЕНЦІЙНО-ФАЗНОГО ЗАХИСТУ ЗБІРНИХ ШИН

В. В. Ніценко¹, Д. О. Кулагін²

¹ВП ДП «НЕК «Укренерго», Дніпровська ЕС

²Запорізький національний технічний університет

Анотація. У статті проаналізовані два методи реалізації вимірювальних кіл диференційно-фазного захисту збірних шин розподільчих установок: односистемний та трьохсистемний. Авторами проведені дослідження застосування кожного з цих методів шляхом моделювання функціонування захисту в аварійних режимах. Виявлені недоліки та переваги методів, одержана їх порівняльна характеристика, за якою обрано трьохсистемний метод як найбільш доцільний.

Ключові слова: диференційно-фазний захист шин, релейний захист, збірні шини, комбінований фільтр, формувач імпульсів, реле порівняння фаз струмів.

Вступ

На сьогоднішній день пристрої релейного захисту (РЗ) елементів електричних мереж (ЕМ), дія яких заснована на диференційно-фазному принципі, застосовуються переважно як комплектів основного швидкодіючого захисту з абсолютною селективністю повітряних ліній (ПЛ) напругою 110–750 кВ від всіх видів пошкоджень, що можуть виникати на ПЛ за тих чи інших обставин. Відповідно до [1, 2], зазначений тип виконання пристроїв РЗ може бути застосований також для забезпечення селективного захисту від всіх видів пошкоджень систем збірних шин (ЗШ) розподільчих установок (РУ) електричних станцій та мереж.

Принцип дії диференційно-фазного захисту шин (ДФЗШ) заснований на порівнянні фаз струмів всіх приєднань, підключених до спільної системи ЗШ, шляхом аналізу інформації, отриманої від ТС, до вторинних кіл яких підключено захист [1, 3, 4].

Визначення фаз струмів приєднань та їх наступне порівняння здійснюється безперервно шляхом застосування формувачів прямокутних імпульсів напруги позитивної та негативної полярності з відповідних їм напівхвиль вторинних струмів у момент переходу синусоїди струму через нуль, або через встановлене значення рівня формування імпульсів.

Більш детально механізм функціонування пристрою ДФЗШ та способи реалізації його логічних кіл розглянуті в [5].

Для забезпечення високонадійного та селективного функціонування пристрою ДФЗШ необхідно визначитись з методом реалізації його вимірювальних кіл, а зокрема обрати тип

аналогового сигналу, що застосовуватиметься реагуючим органом захисту для визначення співвідношень між фазами вторинних струмів трансформаторів струму (ТС) різних приєднань. У даному випадку необхідно розглянути доцільність реалізації односистемного або трьохсистемного пристрою ДФЗШ [2, 5]. Трьохсистемне виконання вимірювальних кіл ДФЗШ передбачає реалізацію порівняння фаз струмів приєднань роздільно у кожній із фаз (А, В, С) струмових кіл захисту, на відміну від їх односистемного виконання, за якого виникає необхідність застосування для порівняння фаз струмів комбінованих сигналів, сформованих із фазних струмів приєднань шляхом застосування комбінованих фільтрів симетричних складових. Так, наприклад, для порівняння фаз струмів у диференційно-фазному захисті (ДФЗ) ПЛ напругою 110–750 кВ застосовується комбінація струмів прямої та зворотної послідовностей $\overline{I_1} + k\overline{I_2}$, де k – коефіцієнт підсилення зворотної послідовності (коефіцієнт фільтру), $k=4-10$, [6,7]. Коефіцієнт фільтру k у зазначеному виразі застосовується переважно для відлаштування ДФЗ від впливу струмів навантаження у непошкоджених фазах ПЛ при несиметричних внутрішніх та зовнішніх коротких замиканнях (КЗ) на точність визначення співвідношень між фазами аварійних струмів по різних кінцях даної ПЛ. Значення коефіцієнту k обирається з урахуванням забезпечення достатньої чутливості маніпуляції високочастотним приєм-передавачем ДФЗ ПЛ при різних видах несиметричних КЗ [6, 7]. На багатокінцевих ПЛ, тобто на тих ПЛ, які мають одне або декілька відгалужень, відповідно до реко-

© Ніценко В. В., Кулагін Д. О., 2017

мендацій, наведених у [6], у зв'язку з нерівномірним розподілом струмів навантаження між декількома кінцями цих ПЛ, варто обирати максимально можливе значення коефіцієнту фільтру $k=10$. Саме за такого значення даного коефіцієнту авторами було проведено моделювання дії пристрою ДФЗШ з односистемним виконанням вимірювальних кіл, оскільки ЗШ РУ можна розглядати як багатокінцеву ПЛ відносно невеликої довжини з зосередженими параметрами.

Обидва зазначені методи реалізації вимірювальних кіл ДФЗШ можуть бути застосовані при розробці функціональних алгоритмів захисту. Проведене у статті дослідження направлене на виявлення найбільш доцільного методу, що буде реалізовано при наступній розробці алгоритмів функціонування пристрою ДФЗШ.

Актуальність роботи

Дослідження та розробка нових більш надійних та гнучких алгоритмів функціонування пристроїв РЗ, а також вдосконалення існуючих алгоритмів має важливе значення для забезпечення надійного та стійкого функціонування енергосистеми та її окремих частин, силового електроукомплектування електричних станцій та мереж, ліній електропередачі,

що перш за все забезпечується саме злагодженою та правильною роботою зазначених пристроїв. Усунення недоліків та невідповідностей сучасним вимогам існуючих пристроїв РЗ є надважливим в умовах розвитку магістральних та розподільчих ЕМ, поетапного оновлення основних виробничих фондів електроенергетичних підприємств: первинного електроукомплектування та пристроїв вторинної комутації з впровадженням передових технологій, що потребує проведення розробок нових технічних рішень, які повинні відповідати вимогам сучасних галузевих стандартів та нормативів, прийнятим в електроенергетиці. Зокрема принципи побудови та функціонування сучасних мікропроцесорних пристроїв РЗ визначені галузевим стандартом ДСТУ ІЕС 61850 «Комунікаційні мережі та системи на підстанціях».

Мета роботи – визначення найбільш доцільного методу виконання вимірювальних кіл пристрою диференційно-фазного захисту збірних шин.

Матеріали досліджень

Для проведення дослідження авторами була розроблена функціональна модель ДФЗШ, спрощена структурна схема якої приведена на рис.1.

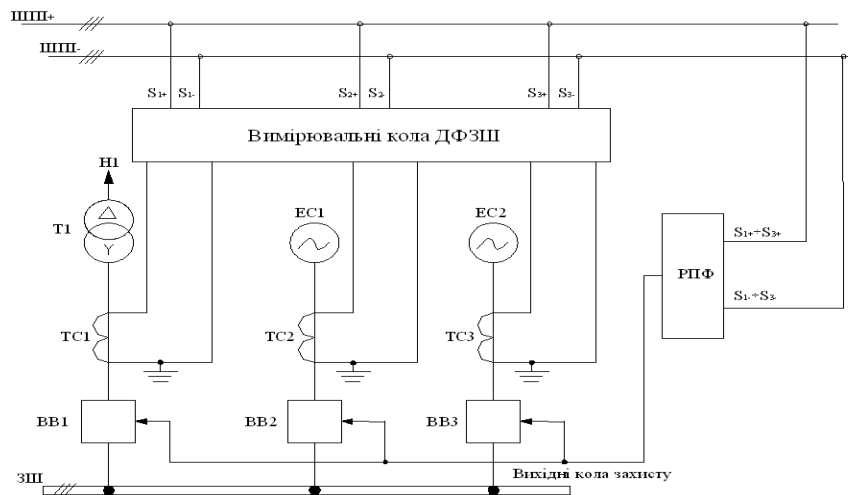


Рис.1

Структурна схема функціональної моделі ДФЗШ: ЗШ – збірні шини; ЕС1–ЕС2 – енергосистеми з живленням; ВВ1–ВВ3 – високовольтні вимикачі; ТС1–ТС3 – трансформатори струму; Т1 – силовий трансформатор, що живить навантаження Н1; РПФ – реле порівняння фаз струмів; ШПІ+, ШПІ- – шинки прийому імпульсів позитивної та негативної полярності; $S_{1+} \dots S_{3+}$ – імпульси напруги позитивної полярності; $S_{1-} \dots S_{3-}$ – імпульси напруги негативної полярності

Моделювання функціонування ДФЗШ в аварійних режимах проводилося при наступних допущеннях:

– ТС, до вторинних кіл яких підключено захист, при КЗ працюють на лінійній ділянці власних кривих намагнічування, незалежно від крат-

ності первинного струму КЗ та величини підключеного до їх вторинного кола навантаження;

– енергосистеми приєднань з живленням, що підключені до ЗШ, є системами нескінченної потужності, зсув фаз між векторами ЕДС цих енергосистем у момент виникнення КЗ відсутній;

– співвідношення між індуктивним та активним опором різних приєднань, підключених до ЗШ, при КЗ є однаковими, причому ємнісною провідністю приєднань нехтуємо;

– час згасання аперіодичної складової, що міститься у первинному струмі перехідного процесу КЗ, не перевищує 2–3 періодів цього струму;

– складові вищих гармонік у первинному і вторинному струмах ТС відсутні.

Для досліджень було обрано аварійний режим однофазного КЗ на землю ($K^{(1)}$) як найбільш поширений вид серед усіх пошкоджень, що можуть виникати в ЕМ, що працюють з ефективно, або глухозаземленою нейтраллю.

Моделювання функціонування ДФЗШ при застосуванні методів односистемного та трьохсистемного виконання його вимірювальних кіл було проведено за однакових умов аварійних процесів КЗ. На рис. 2 приведено структурну функціональну схему вимірювальних кіл ДФЗШ для їх односистемного рис. 2, а та трьохсистемного виконання рис. 2, б.

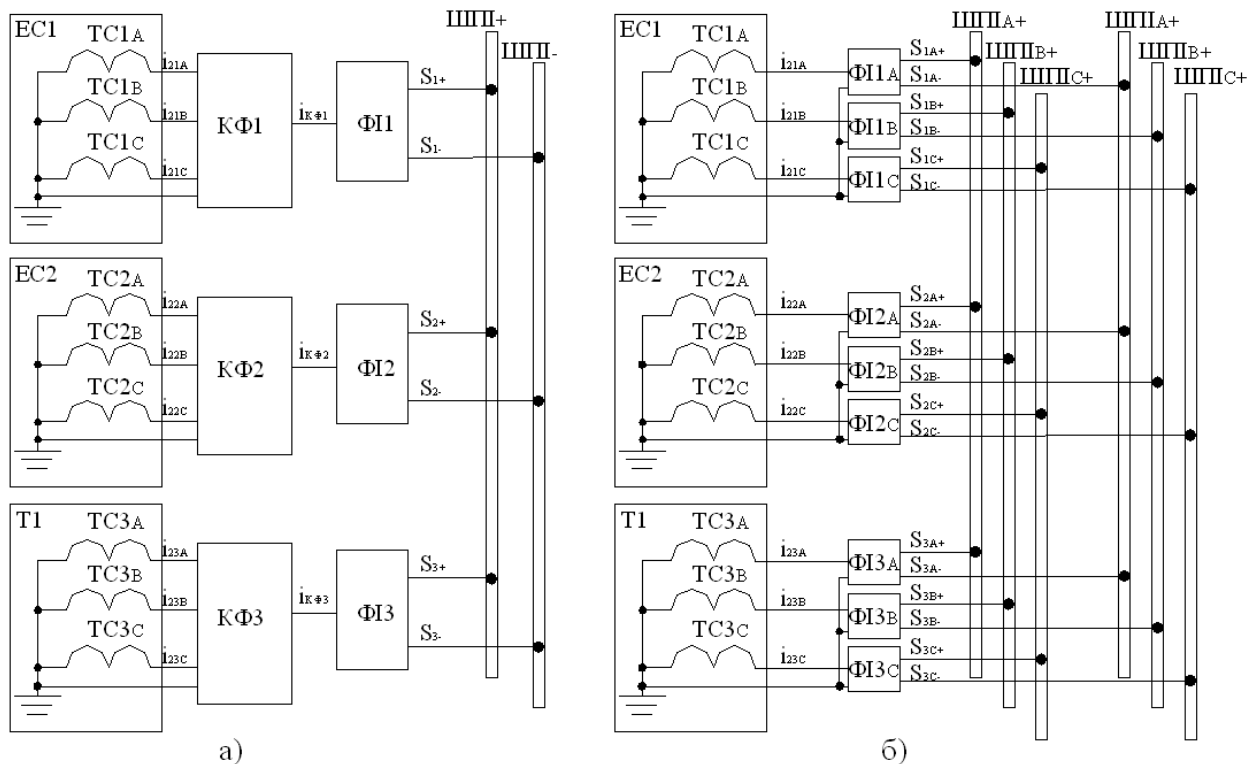


Рис. 2

Структурна функціональна схема виконання вимірювальних кіл ДФЗШ: а – односистемне виконання; б – трьохсистемне виконання; КФ1–КФ3 – комбіновані фільтри; ФІ1–ФІ3 (ФІ1_(А,В,С)- ФІ3_(А,В,С)) – формувачі прямокутних імпульсів позитивної та негативної полярності

Для односистемного методу виконання вимірювальних кіл ДФЗШ як у функції вихідного сигналу комбінованого фільтра (КФ) $i_{K\Phi 1} - i_{K\Phi 3}$ було застосовано комбінований сигнал струмів прямої та зворотної послідовності $\bar{I}_1 + k\bar{I}_2$ для кожного із приєднань, що подібно вихідному сигналу комбінованих фільтрів, застосованих у ДФЗ ПЛ, при цьому коефіцієнт $k=10$, що обрано відповідно до вказівок [6, 7]. Формування прямокутних імпульсів напруги здійснюється з комбінованих сигналів струмів приєднань

$\bar{I}_1 + k\bar{I}_2$ для односистемного виконання вимірювальних кіл ДФЗШ та з вторинних фазних струмів ТС для трьохсистемної їх реалізації при переході синусоїд зазначених сигналів через нуль. Виконання даної функції покладається на формувачі імпульсів (ФІ). Для спрощення аналізу отриманих результатів при моделюванні функціонування ДФЗШ в аварійних режимах формування імпульсів здійснювалось лише з позитивних напівхвиль вхідних синусоїдальних сигналів.

На рис. 3 та рис. 4 наведені осцилограми, що отримані при реєстрації аналогових та дискретних сигналів у вимірювальних колах пристрою

ДФЗШ за їх односистемного (рис.4) та трьохсистемного (рис.3) виконання за моделювання режимів внутрішнього та зовнішнього КЗ.

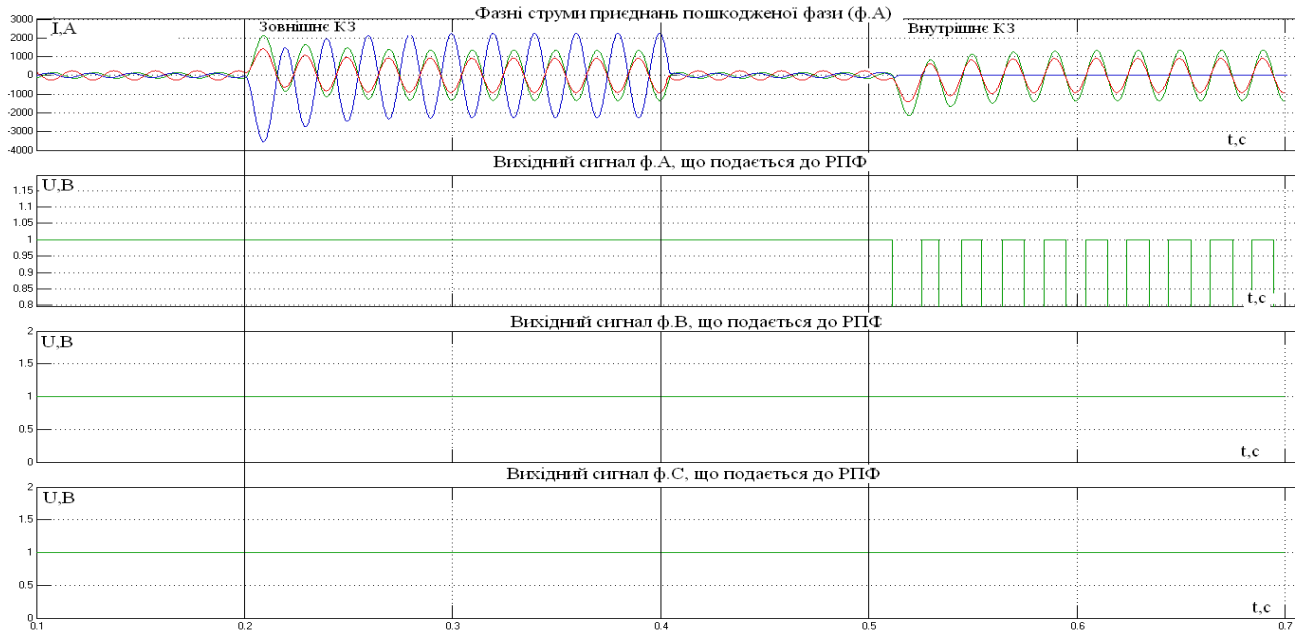


Рис. 3

Осцилограма реєстрації аналогових та дискретних сигналів у вимірювальних колах трьохсистемного пристрою ДФЗШ

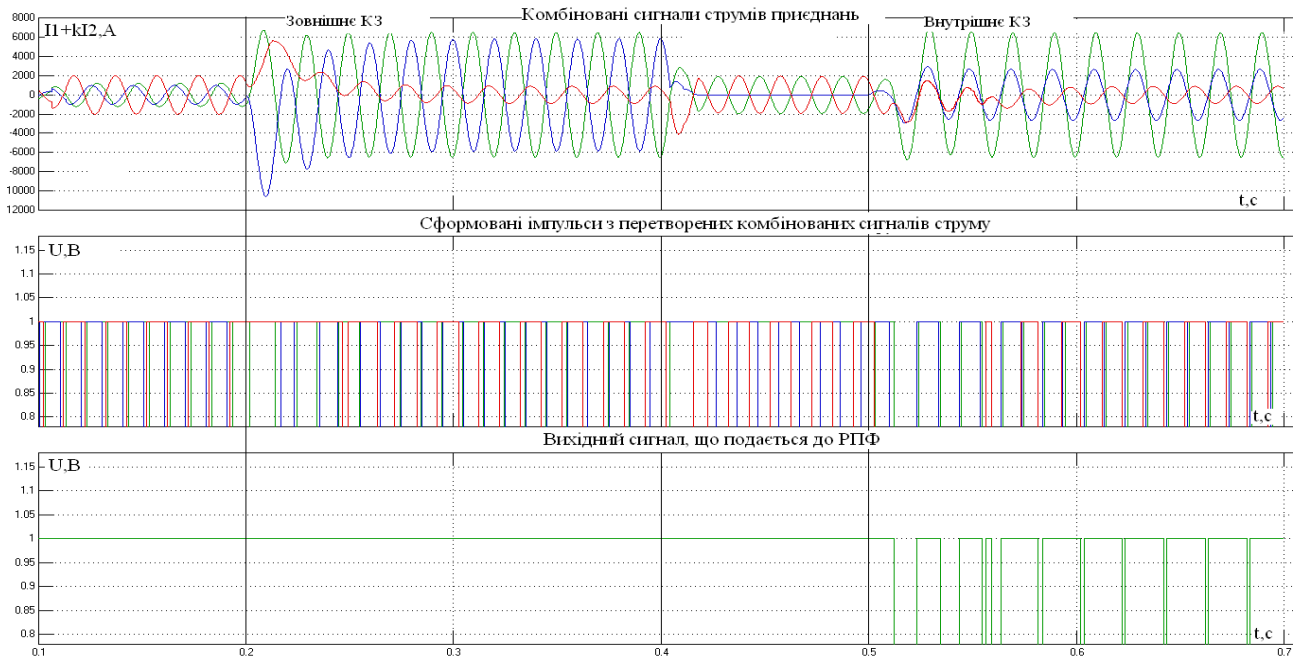


Рис. 4

Осцилограма реєстрації аналогових та дискретних сигналів у вимірювальних колах односистемного пристрою ДФЗШ

За приведеними на рис. 3 та рис. 4 осцилограмами можна зробити висновок, що за нормального режиму роботи ЕМ та при зовнішніх КЗ забезпечується правильне функціонування пристрою ДФЗШ як за односистемного, так і за трьохсистемного виконання його вимірювальних

кіл, про що свідчить наявність неперервного дискретного сигналу, який подається до реагуючого органу захисту – реле порівняння фаз струмів (РПФ) [1, 5, 7]. Відсутність пауз між імпульсами напруги у вихідному сигналі, що подається до РПФ, пояснюється відмінністю фаз

струмів приєднань, що у нормальному режимі та при зовнішніх КЗ зсунуті між собою на кут, близький до 180° [1,5,7]. Осцилограми реєстрації аналогових та дискретних сигналів у вимірювальних колах ДФЗШ за їх односистемного та трьохсистемного виконання при виникненні внутрішнього однофазного КЗ мають певні відмінності. Як показано на рис. 3, трьохсистемний пристрій ДФЗШ при виникненні однофазного КЗ на ЗШ функціонує правильно, про що можна зробити висновок виходячи із наявності переривчастого вихідного сигналу, який подається до РПФ та який свідчить про синфазність всіх струмів приєднань, тобто всі фазні струми підживлення КЗ у пошкодженій фазі (в даному випадку у фазі А) мають напрямок від джерела живлення до місця пошкодження, яке знаходиться на ЗШ. Функціонування односистемного пристрою ДФЗШ при виникненні несиметричних КЗ на ЗШ має деякі особливості, що будуть розглянуті нижче. Важливо відзначити, що правильна робота захисту в цьому випадку може бути забезпечена лише у початковий період з моменту виникнення КЗ, на протязі близько 1–2 періодів струму промислової частоти, про що можна зробити висновок виходячи із наявності переривчастого вихідного сигналу з шириною пауз близько 10 мс на протязі зазначеного інтервалу часу (рис. 4), скважність якого поступово зменшується та сигнал набуває дискретного вигляду. Якщо за даний проміжок часу пристроєм ДФЗШ не буде сформована команда на вимкнення вимикачів приєднань пошкодженої системи ЗШ, то у подальшому його дія може бути заблокована, що призведе до загальної відмови захисту, що є одним із основних недоліків застосування методу односистемного виконання вимірювальних кіл ДФЗШ [5].

Відповідно до [5], односистемні пристрої ДФЗШ, функціонування вимірювальних кіл яких забезпечується шляхом застосування у якості ФІ суматорів або комбінованих фільтрів симетричних складових, мають наступні недоліки:

- ймовірність блокування дії захисту струмами навантаження непошкоджених фаз або фази при несиметричних КЗ на ЗШ, що, як наслідок, призводить до його відмови;

- ймовірність відмови захисту у спрацюванні при виникненні складних видів пошкоджень в ЕМ, до яких зокрема належить КЗ у зоні дії захисту з обривом фазного проводу;

- необхідність додаткового вводу уповільнення дії захисту в перехідних режимах зовнішніх КЗ з метою недопущення його зайвої дії в початковий момент виникнення КЗ.

Блокування дії захисту струмами навантаження непошкоджених фаз або фази ЕМ може здійснюватись при виникненні несиметричних КЗ на ЗШ та відсутності його підживлення зі сторони підключеного до ЗШ навантаження, про що було зроблено висновок із аналізу осцилограм, приведеної на рис. 4. Проте блокуюча дія струмів навантаження можлива не у всіх випадках. Згідно з [3, 5, 8, 9], в початковий момент часу несиметричного КЗ на ЗШ матиме місце підживлення дуги, що виникає в місці КЗ, асинхронними електродвигунами навантаження, що може тривати декілька періодів струму промислової частоти та сприяє при цьому правильній роботі захисту. По мірі затухання перехідного процесу, підживлення КЗ змінюється споживанням струму з ЕМ, що призводить в свою чергу до збільшення зсувів між фазами аварійних струмів приєднань з живленням та фазами струмів навантаження, які протікають непошкодженими фазами приєднань без живлення. Після зміни підживлення КЗ режимом споживання струму з ЕМ аварійні струми та струми навантаження опиняються у протифазі один до одного, як показано на рис. 4, що є умовою для блокування дії ДФЗШ. У тому випадку, коли ДФЗШ має досить високу швидкодію, що не перевищує час існування підживлення КЗ асинхронним навантаженням, вплив струмів навантаження непошкоджених фаз на роботу односистемного пристрою ДФЗШ можна не враховувати та не розглядати зазначений випадок з точки зору недоліку методу односистемної реалізації вимірювальних кіл захисту.

Розглянемо випадок ймовірної відмови у спрацюванні односистемного пристрою ДФЗШ при виникненні однофазного КЗ (замикання фази «С» на землю) на системі ЗШ з обривом фазного проводу, як показано на рис. 5.

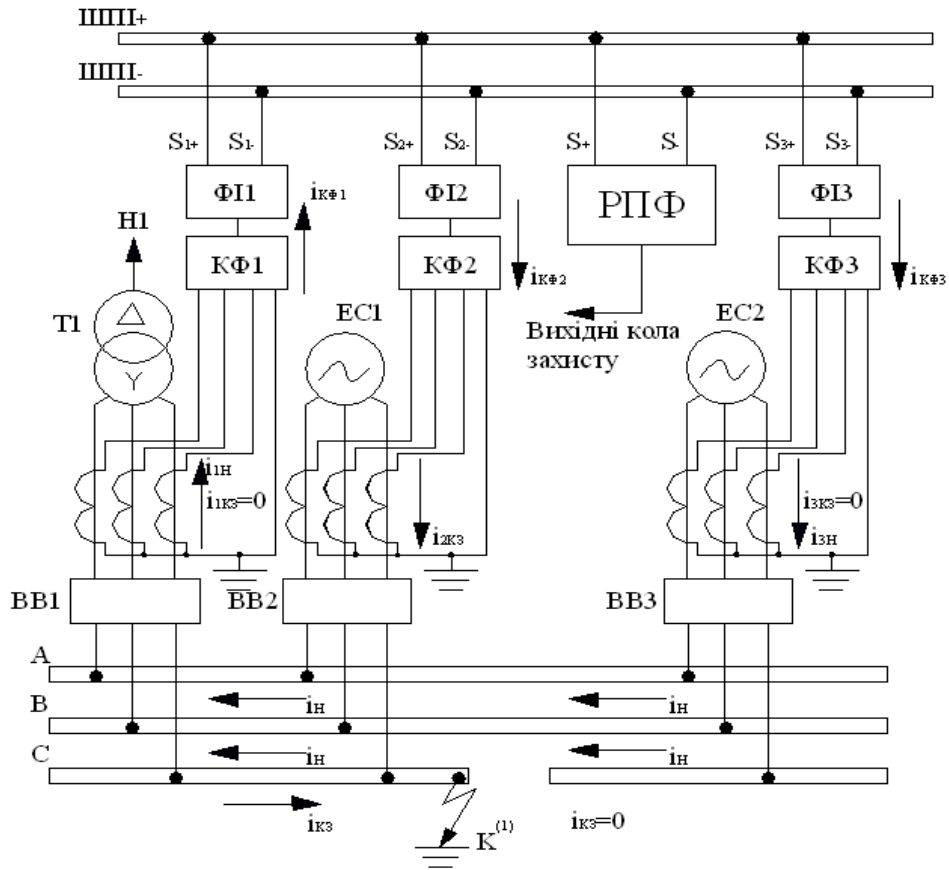


Рис. 5

Структурна функціональна схема односистемного пристрою ДФЗШ при виникненні внутрішнього однофазного КЗ на землю з обривом фазного проводу ЗШ

Осцилограми аварійного процесу КЗ фази С на землю з обривом фазного проводу ЗШ, що отримані при реєстрації аналогових та дискрет-

них сигналів у вимірювальних колах односистемного та трьохсистемного пристрою ДФЗШ, приведені на рис. 6 та рис. 7 відповідно.

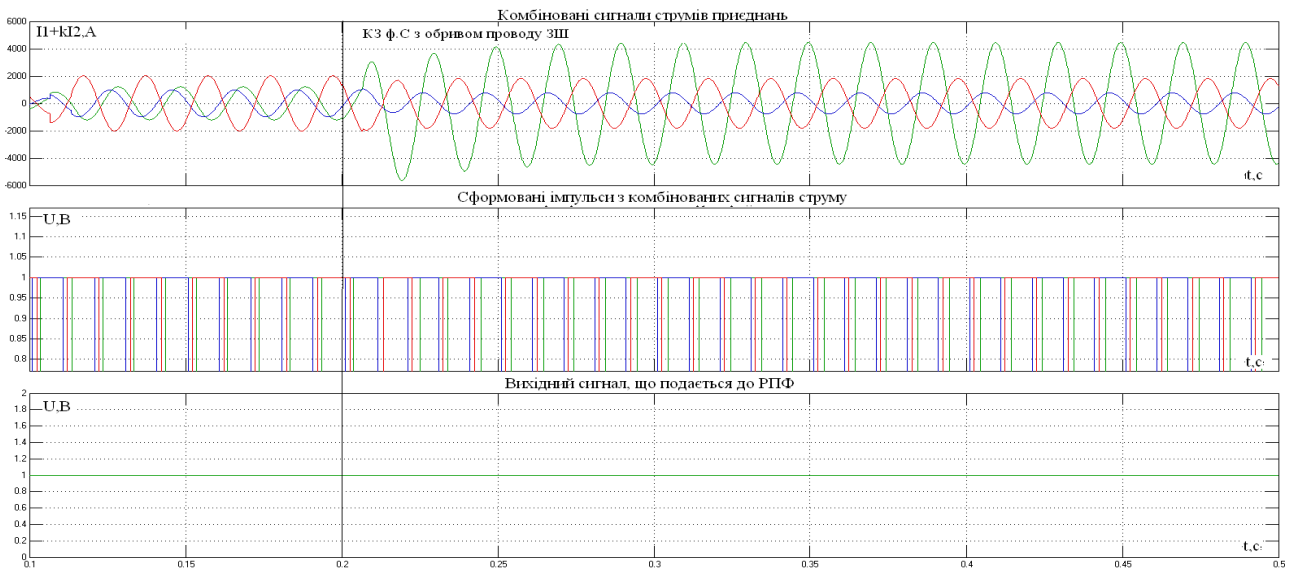


Рис. 6

Осцилограма реєстрації аналогових та дискретних сигналів у вимірювальних колах односистемного пристрою ДФЗШ при однофазному КЗ фази С з обривом фазного проводу ЗШ

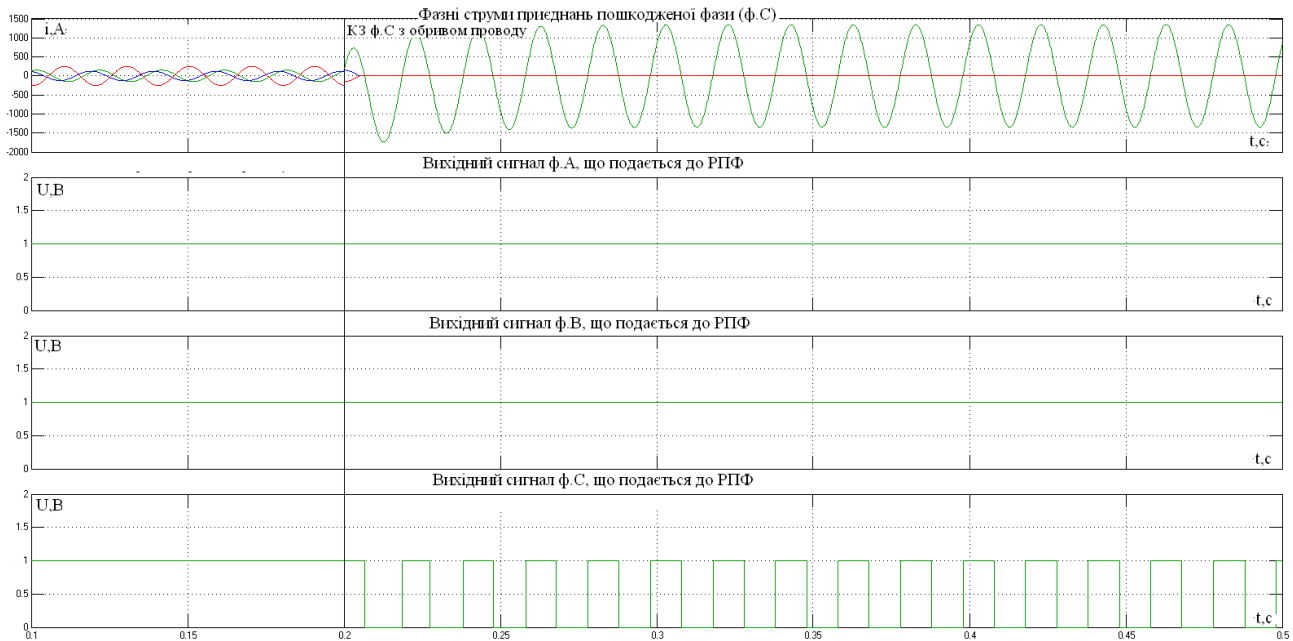


Рис. 7

Осцилограма реєстрації аналогових та дискретних сигналів у вимірювальних колах трьохсистемного пристрою ДФЗШ при однофазному КЗ фази *C* з обривом фазного проводу ЗШ

Приведена на рис. 6 осцилограма функціонування вимірювальних кіл односистемного пристрою ДФЗШ при виникненні однофазного КЗ з обривом проводу ЗШ підтверджує вищезазначений недолік застосування даного методу їх виконання. В даному випадку при виникненні аварійного режиму струм КЗ від джерела живлення ЕС1 протікатиме лише по пошкодженій фазі другого приєднання, як це показано на рис. 5, у пошкоджених фазах двох інших приєднань струми КЗ не протікатимуть через відсутність гальванічного зв'язку джерела живлення ЕС2 з місцем пошкодження та відсутність підживлення КЗ від приєднання з навантаженням Н1. У цьому випадку струми навантаження непошкоджених фаз (фази *A* та *B*) приєднань, якими не протікає аварійний струм КЗ, також блокуватимуть дію захисту на відключення вимикачів, про що свідчить наявність неперервного вихідного сигналу, що подається з вимірювальних кіл односистемного пристрою ДФЗШ до РПФ (рис. 6).

Правильна робота трьохсистемного пристрою ДФЗШ в режимі однофазного КЗ з обривом фазного проводу не порушуватиметься, про що свідчить наявність пауз між імпульсами у вихідному сигналі вимірювального кола фази. Струми навантаження, що протікають непошкодженими фазами приєднань, не здійснюватимуть жодного впливу на функціонування трьохсистемного пристрою ДФЗШ, оскільки порівняння фаз струмів здійснюється окремо за кожною із фаз, в результаті чого у

вимірювальному колі пошкодженій фазі *C* існуватиме лише один періодичний сигнал вторинного фазного струму ТС другого приєднання, з напівхвиль якого формуються імпульси. За фактом наявності переривчастого імпульсного сигналу РПФ формує команду на вимкнення вимикачів приєднань пошкодженої системи ЗШ.

Необхідність уповільнення дії ДФЗШ в початковий момент перехідного процесу зовнішніх КЗ пояснюється негативним впливом на функціонування його вимірювальних органів аперіодичної складової первинного струму КЗ, яка спотворює форму останнього та у деяких випадках може призводити до відсутності позитивних або негативних напівхвиль у вторинному струмі ТС приєднань. Реагуючим органом ДФЗШ відсутність напівхвиль тої чи іншої полярності одного або декількох приєднань у вихідному сигналі сприймається неоднозначно (можуть скластися умови, що подібні процесу внутрішнього КЗ), що може призвести до надлишкового спрацювання захисту при зовнішніх КЗ. У цьому випадку правильне функціонування ДФЗШ може бути забезпечене шляхом уповільнення його дії на час затухання аперіодичної складової, що є досить небажаним, оскільки може призвести до суттєвого зниження швидкодії захисту, або ж шляхом застосування спеціальних заходів, направлених на відлаштування вимірювальних органів ДФЗШ від впливу аперіодичної складової, що більш детально розглянуті в [5].

При цьому варто відзначити, що цей недолік односистемних пристроїв ДФЗШ характерний також і для пристроїв, заснованих на трьохсистемному виконання їх вимірювальних кіл [3].

Як вже було зазначено, для трьохсистемного виконання вимірювальних кіл ДФЗШ не є характерними перші два розглянуті недоліки, властиві односистемним пристроям. Проте важливо відзначити, що іншим, характерним для даного методу виконання вимірювальних кіл ДФЗШ, недоліком є висока ймовірність його хибної дії при виникненні несправності у струмових колах захисту, а зокрема при розкорочуванні або замиканні однієї або декількох фаз одного із його плечей, що призводить до відсутності одного або декількох періодичних сигналів струму, які застосовуються для визначення співвідношень між фазами струмів приєднань реагуючим органом захисту. За тої умови, якщо у нормальному режимі роботи ЕМ, або при зовнішньому КЗ буде втрачено блокуючий сигнал, наприклад сигнал аварійного струму КЗ у фазі А ТС другого приєднання при зовнішньому однофазному КЗ на ньому, вихідний сигнал, який аналізується РПФ, матиме переривчастий характер, що буде сприйнято захистом як внутрішнє КЗ та призведе до його надлишкової дії. За тих самих обставин односистемний пристрій ДФЗШ має меншу ймовірність виникнення надлишкової дії, оскільки при цьому комбінований сигнал струму, що застосовується РПФ для визначення співвідношень між фазами стру-

мів приєднань, не втрачається. Виділення симетричних складових прямої та зворотної послідовностей та визначення певної їх комбінації здійснюється із двох фазних струмів навантаження, що протікають непошкодженими фазами струмових кіл односистемного пристрою ДФЗШ. Визначений при цьому вектор комбінованого сигналу струму може мати різний напрям (фазу) залежно від ряду наступних факторів: пошкоджена фаза або фази струмових кіл захисту, пошкоджене плече захисту, вид зовнішнього КЗ, напрям та абсолютна величина векторів струмів навантаження у непошкоджених фазах струмових кіл захисту.

Для виключення ймовірності хибної або надлишкової дії односистемного та трьохсистемного пристрою ДФЗШ при виникненні несправності (розкорочування або замикання) у його струмових колах необхідно застосовувати спеціальний пристрій для контролю справності струмових кіл захисту, який сигналізує про виникнення будь-якої несправності у цих колах та без витримки часу виконує автоматичну дію, направлену на блокування захисту.

Висновки

За результатами проведених авторами досліджень методів односистемної та трьохсистемної реалізації вимірювальних кіл ДФЗШ одержано їх порівняльну характеристику, що наведена у табл.1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика методів реалізації вимірювальних кіл пристрою ДФЗШ

Недоліки методу реалізації вимірювальних кіл ДФЗШ	Односистемне виконання	Трьохсистемне виконання	Заходи щодо усунення виявленого недоліку
Ймовірність блокування дії захисту при внутрішніх несиметричних КЗ	Має місце за низької швидкодії захисту, у разі якщо час його спрацювання перевищує тривалість підживлення дуги КЗ асинхронним навантаженням.	Відсутня	Забезпечення достатньо високої швидкодії захисту, що не перевищує тривалості підживлення КЗ асинхронним навантаженням
Ймовірність відмови захисту при внутрішніх КЗ на «землю» з обривом фазного проводу ЗШ	Має місце за відсутності підживлення КЗ хоча б від одного із приєднань з живленням внаслідок обриву фазного проводу ЗШ та за умови протилежного напрямку струмів навантаження даного приєднання до аварійних струмів КЗ інших приєднань.	Відсутня	Є принциповим недоліком диференційно-фазних захистів, у яких застосовано для порівняння фаз струмів комбінований сигнал, та не може бути усунений шляхом застосування відомих сучасних методів.
Ймовірність зай-	Можливе надлишкове спрацювання захисту		Зниження швидкодії захисту

вої дії захисту в перехідних режимах зовнішніх КЗ	в початковий момент виникнення перехідного процесу зовнішнього КЗ внаслідок впливу на функціонування його вимірювальних органів аперіодичної складової первинного струму КЗ	або заходи щодо його відлаштування від впливу аперіодичної складової перехідного струму КЗ
Ймовірність хибної або надлишкової дії захисту за несправності його струмових кіл	Низька ймовірність	Висока ймовірність
		Застосування ДФЗШ у комплексі з автоматичним пристроєм, призначеним для контролю справності його струмових кіл

За результатами порівняння характеристики двох можливих методів реалізації вимірювальних кіл ДФЗШ, наведеними у табл. 1, можна зробити загальний висновок, що найбільш доцільним методом є реалізація вимірювальних кіл пристрою ДФЗШ у трьохсистемному виконанні, що у межах розподільчого пристрою одного класу напруги будь-якого енергетичного об'єкту не створює жодних труднощів забезпеченню процесів збирання, обміну та використання інформації щодо фаз первинних струмів приєднань, підключених до системи ЗШ, які вимірюються ТС, до вторинних кіл яких підключено пристрій ДФЗШ.

Перелік використаної літератури

1. Ниценко, В. В. Перспективы использования дифференциально-фазного принципа для защиты систем сборных шин распределительных устройств 110–750 кВ / В. В. Ниценко, Д. А. Кулагин [Текст] // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. – Кременчук : КрНУ, 2015. – Вип. 3/2015 (31). – С. 158-166.
2. Ниценко, В. В. Проблемы использования продольной дифференциальной защиты систем сборных шин электростанций и подстанций / В. В. Ниценко, Д. А. Кулагин [Электронный ресурс] // *Актуальні проблеми сучасної енергетики : матеріали всеукраїнської наук.-практ. конф. студентів, аспірантів, молодих вчених, 25–27 трав. 2016 р., Херсон, Україна / Херсонський нац. техн. ун-т. – Херсон, 2016. – 163 с. <http://kntu.net.ua/Conference/APME>*
3. Ниценко, В. В. Исследование основных расчетных параметров дифференциально-фазной защиты сборных шин энергообъектов и факторов электрической сети, оказывающих влияние на их выбор / В. В. Ниценко, Д. А. Кулагин, П. В. Махлин, А. Н. Клишко [Электронный ресурс] // *Електротехніка та електроенергетика*. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2015. – Вип. 2/2015. – С. 87–94. [http://journal.zntu.edu.ua/et/files/ET22015/ET\(2\)_2015.pdf](http://journal.zntu.edu.ua/et/files/ET22015/ET(2)_2015.pdf)
4. Кужеков, С. Л. Дифференциальные защиты сборных шин / С. Л. Кужеков, Б. Т. Грызлов, В. Г. Кудин [Текст] // *Электрические станции*. – М : Минэнерго СССР, 1978. – Вып. 9/1978. – С. 51-58.
5. Кужеков, С. Л. Защита шин электростанций и подстанций / С. Л. Кужеков, В. Я. Синельников [Текст]. – М : Энергоатомиздат, 1983. – 184 с.
6. Кожин, А. Н. Релейная защита линий с ответвлениями / А. Н. Кожин, В. А. Рубинчик [Текст]. – М : Энергия, 1967. – 264 с.
7. Будаев, М. И. Высокочастотные защиты линий 110–220 кВ / М. И. Будаев [Текст]. – М : Энергоатомиздат, 1989. – 112 с.
8. Кулагин, Д. О. Математична модель тягового асинхронного двигуна з урахуванням насичення / Кулагин Д. О. [Електронний ресурс] // *Технічна електродинаміка*. – 2014. – № 6. – С. 49–55. http://techned.org.ua/2014_6/st7.pdf
9. Кулагин, Д. О. Математична модель тягового асинхронного двигуна з урахуванням насичення магнітних кіл / Кулагин Д. О. [Електронний ресурс] // *Науковий вісник НГУ*. – 2014. – № 6. – С. 103–110. <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/informatsijni-resursi/998-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2014/zmist-6-2014/elektrotekhnichni-kompleksi-ta-sistemi/2821-matematichna-model-tyagovogo-asinkhronnogo-dviguna-z-urakhuvannyam-nasichennya-magnitnikh-kil>

References

1. Nitsenko, V. V. and Kulagin, D. A. (2015), Prospects differential-phase principle to protect busbar system swichgears 110–750 kV [Perspektivi ispolzovaniya differentsialno-faznogo printsipa dlya zashiti sistem sbornish shin raspredelitelnish ustroistv 110–750 kV], *Electromechanicheskie i energosberigaushie sistemi*, Vol. 3, pp. 158-166 (In Russian).
2. Nitsenko, V. V. and Kulagin, D. A. (2016), Problems of appication of longitudinal differential busbar's protection of power station and substation [Problemyi ispolzovaniya prodolnoy differentsialnoy

zaschityi sistem sborniyh shin elektrostantsiy i podstantsiy], *Actualnie problemi suchasnoi energetiki: materiali vseukrainskoi nauk-pract konf. Studentiv, aspirantiv, molodikh vchenikh, Kherson national technical university*, 163 p. (In Russian).

3. Nitsenko, V. V., Kulagin, D. A., Makhlin, P. V. and Klimko, A. N. (2015), Investigations of main counted parametr of differential-phase busbars protection and factors of power grid, which influences for its setting [Issledovanie osnovnykh raschetnykh parametrov differentsialno-faznoy zaschityi sborniyh shin energoob'ektov i faktorov elektricheskoy seti, okazyivayuschih vliyanie na ih vyibor], *Electrotekhnika i electroenergetika*, Vol. 2, pp. 87–94 (In Russian).

4. Kuzhekov, S. L., Gryzlov, V. G. and Kudin, B. T. (1978), Differential busbar protection [Differentsialnyie zaschityi sborniyh shin], *Elektricheskie stantsiy*, Vol. 9, pp. 172–177 (In Russian).

5. Kuzhekov, S. L. and Sinelnikov, V. Y. (1967), Relay protection of lines with branches

[Zachita shin electrostantsiy i podstantsiy], Moscow, USSR, *Energia* (In Russian).

6. Kozhin, A. N. and Rubinchik, V. A. (1983), Busbar protection powerstation and substation [Releynaya zashita linii s otvetvleniyami], Moscow, USSR, *Energoatomizdat* (In Russian).

7. Budaev, M. I. (1989), Highfrequency protections of lines voltafe of 110–220 kV [Visokochastotnie zashiti linii 110-220 kV], Moscow, USSR, *Energoatomizdat* (In Russian).

8. Kulagin, D. O. (2014), Mathematical model of traction asynchronous motor considering saturation [Matematichna model tyagovogo asinhronnogo dviguna z urahuvannyam nasichennya], *Tekhnichna elektrodinamika*, Vol. 6, pp. 49–55 (In Ukrainian).

9. Kulagin, D. O. (2014), Mathematical model of traction asynchronous motor considering the saturation of magnetic circuits [Matematichna model tyagovogo asinhronnogo dviguna z urahuvannyam nasichennya magnitnih kil], *Naukovii visnuk NGU*, Vol. 6, pp.103–110 (In Ukrainian).

INVESTIGATION METHODS OF IMPLEMENTATION MEASUREMENT CIRCUITS OF BUSBAR'S PROTECTION SYSTEM

V. V. Nitsenko¹, D. O. Kulagin²

¹DP "NEC "Ukrenergo" Dniprovska ES

²Zaporizhzhya national technical university

Abstract. Investigation and development of new, more reliable and flexible algorithms of relay protection and improving existing algorithms is essential to ensure reliable and stable operation of Ukrainian united power system and its individual parts, power stations and power grids, transmission lines, which provided coordinated and proper operation of protection devices. Elimination of disadvantages and any inconsistencies present requirements to existing protection devices is crucially important in the development of magistral and distribution grids, the gradual replacement of fixed assets of energy companies: the primary electrical equipment and devices secondary switching with the introduction of advanced technologies, which calls for development of new technical solutions, which must comply with current industry standards and specifications adopted in the power sector.

The main purpose of paper is identifying of the most perfect technical method for realizing measurement circuits of differential-phase busbar's protection.

The paper identified the most perfect method of realizing measurement circuits of differential-phase busbar's protection, which used in switchgears of power stations and power grids. To achieve this purpose the authors have studied the application of methods a single-phase and three-phase implementation of measurement circuits of busbar's protection by simulating its operation in emergency conditions, in particular in the internal and external faults. Some advantages and disadvantages of each method were identified and analyzed on the basis of the investigation, carried out their comparative characteristics and selected as the most technically advanced method of three-phase realization of measurement circuits, which can be used for further design of functionality of differential-phase busbar's protection.

Key words: differential-phase busbar's protection, relay protection, busbar, combined filter, formers of impulses, phase comparison relay.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНОЙ ЗАЩИТЫ СБОРНЫХ ШИН

В. В. Ниценко¹, Д. А. Кулагин²

¹ОП ГП «НЭК «Укрэнерго», Днепропетровская ЭС

²Запорожский национальный технический университет

Аннотация. В статье проанализированы два метода реализации измерительных цепей дифференциально-фазной защиты сборных шин распределительных устройств: односистемный и трехсистемный. Авторами проведены исследования применения каждого из этих методов путем моделирования функционирования защиты в аварийных режимах. Выявлены недостатки и преимущества методов, выполнена их сравнительная характеристика, по которой выбран трехсистемный метод как наиболее целесообразный.

Ключевые слова: дифференциально-фазная защита шин, релейная защита, сборные шины, комбинированный фильтр, формирователь импульсов, реле сравнения фаз токов.

Получено 12.12.16



Ниценко Володимир Вікторович, інженер оперативно-розрахункової служби релейного захисту та протиаварійної автоматики ДП «НЕК «Укрэнерго», Дніпропетровська ЕС, вул. Гребельна, 2, м. Запоріжжя, Україна, 69096, e-mail: nicenkovladimir@gmail.com, контактний тел.: +38(099)4506556.

Nitsenko Volodimir Victorovich, engineer of operative and settlement service of relays protection and emergency automatics DP "NEC" Ukrenergo " Dniprovsk ES st. Grebelna 2, Zaporizhzhya, Ukraine, 69096, e-mail: nicenkovladimir@gmail.com, contact phone: +38 (099) 4506556

ORCID ID: 0000-0002-3450-7649



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, контактний тел.: 066-236-52-71.

Kulagin Dmytro 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, contact phone: 066-236-52-71.

ORCID ID: 0000-0003-3610-4250