



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 44489

(13) A

(51) 6 H02H3/00, H02H7/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) СПОСІБ ЗАХИСТУ РОЗПОДІЛЬЧОЇ МЕРЕЖІ ВІД ОДНОФАЗНИХ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ

1

2

(21) 2001042630

(22) 18 04 2001

(24) 15 02 2002

(46) 15 02 2002, Бюл. № 2, 2002 р.

(72) Музиченко Олександр Дмитрович, Музиченко  
Юрій Олександрович, Музиченко Оксана Олек-  
сандрівна(73) Музиченко Олександр Дмитрович, Музиченко  
Юрій Олександрович, Музиченко Оксана Олек-  
сандрівна

(57) 1 Спосіб захисту розподільчої мережі від од-  
нофазних коротких замикань на землю при  
приєднаному до мережі фільтрі нульової  
послідовності, при використанні якого вимірюють  
струми на виході живильного трансформатора  
мережі, порівнюють виміряні струми із заданими  
значеннями і при перевищенні допустимих зна-  
чень вимикають трансформатор з розподільчої  
мережі з допомогою комутуючого пристрою ме-  
режі, який відрізняється тим, що зменшення  
струмів короткого замикання проводять у два ета-  
пи, причому на першому етапі вимірюють величи-  
ни струмів у фільтрі нульової послідовності,  
порівнюють їх з допустимими значеннями і при  
перевищенні одного з допустимих значень призу-  
пиняють дію фільтра нульової послідовності, роз-  
микаючи принаймні одну фазу фільтра нульової  
послідовності з допомогою комутуючих пристроїв

фільтра, наприклад автоматичних вимикачів, після  
чого на другому етапі роз'єднують проводи  
лінійних фаз між розподільчою мережею та  
трансформатором з допомогою вказаного кому-  
туючого пристрою мережі, причому тривалість  
спрацювання комутуючих пристроїв фільтра при-  
наймні на 25 % менша тривалості спрацювання  
комутуючого пристрою мережі

2 Спосіб за п. 1, відрізняється тим, що вимірю-  
ють струм у проводі нульової фази фільтра нульо-  
вої послідовності, цей струм порівнюють з допус-  
тимим значенням і при перевищенні допустимого  
значення від'єднують провід нульової фази фільт-  
ра від розподільчої мережі з допомогою першого  
комутуючого пристрою фільтра

3 Спосіб за п. 1, відрізняється тим, що вимірю-  
ють лінійні струми у фільтрі нульової послідовнос-  
ті, лінійні струми порівнюють з допустимими зна-  
ченнями і при перевищенні допустимих значень  
від'єднують принаймні один з проводів лінійних  
фаз фільтра нульової послідовності від розподіль-  
чої мережі з допомогою другого комутуючого при-  
строю фільтра

4 Спосіб за п. 2, який відрізняється тим, що три-  
валість спрацювання другого комутуючого при-  
строю фільтра більша тривалості спрацювання  
першого комутуючого пристрою фільтра принаймні  
на 25 %

Спосіб відноситься до електротехніки і при-  
значений для використання в електричній розпо-  
дільчій низьковольтній мережі, наприклад 220 / 380  
вольт, при приєднаному до неї фільтрі нульової  
послідовності

В останні десятиріччя в електроенергетиці  
відбувається поступова, але масова, заміна ліній-  
них навантажень нелінійними (комп'ютери, теле-  
бачі, тиристорний привід, агрегати безперебійного  
живлення, освітлювальні лампи, і т.д.) Нелінійні  
навантаження вносять перерозподіл струмів у  
проводах трифазної чотирипроводної мережі, зок-  
рема, різко збільшують вміст вищих гармонік у  
напругах та струмах, особливо у нульовому про-  
воді. Це приводить до погіршення якості електрич-

ної енергії та різкого збільшення втрат енергії у  
трансформаторах та лінії розподільчої мережі

Для зниження вищих гармонік та несиметрії  
напруг та струмів розподільчої мережі до неї при-  
єднують спеціальні пристрої - фільтри нульової  
послідовності (синоніми - стабілізатори фаз, ней-  
тралери і т.д.), які мають низький опір нульової  
послідовності, менший 1% [1-5]. В результаті при-  
єднання фільтра струм короткого замикання у ме-  
режі на землю, у тому числі між лінійним та нульо-  
вим проводами, може зрости на 20 - 300%

Відомий спосіб захисту розподільчої мережі  
від збільшення струму однофазних коротких зами-  
кань на землю при приєднаному до мережі фільтрі  
нульової послідовності, у якого кількість витків

(13) A

(11) 44489

(19) UA

намагнічуючої обмотки вибирають нерівною кількості витків розмагнічуючої обмотки [1]. Намагнічуючі та розмагнічуючі обмотки попарно розташовані на кожному стрижні тристрижневого магнітопроводу фільтру нульової послідовності. Зниження струму короткого замикання, яке при цьому отримують, прямо пропорційне різниці витків намагнічуючих та розмагнічуючих обмоток. Недолік цього способу полягає у тому, що пропорційно до зниження струмів короткого замикання на землю різко знижується позитивний ефект від приєднання фільтру нульової послідовності до розподільчої мережі, а саме - фільтри нульової послідовності втрачають властивості знижувати струми у нульовій фазі та компенсувати третю та дев'яту гармоніки напруг та струмів у проводах мережі та трансформаторі через збільшення опору нульової послідовності фільтру, яке має місце при нерівності кількостей намагнічуючих та розмагнічуючих обмоток.

Відомий спосіб захисту розподільчої мережі від збільшення струмів однофазних коротких замикань на землю (прототип), згідно з яким вимірюють лінійні струми розподільчої мережі, порівнюють ці струми із заданими значеннями (уставкою) і при перевищенні збільшених значень струмів відмикають розподільчу мережу від живильного трансформатора шляхом розмикання комутуючого пристрою мережі більшого габариту [5]. У способі - прототипі при приєднанні фільтру до мережі вказано, що збільшення струмів короткого замикання при приєднаному фільтрі може привести до виходу з ладу існуючого комутуючого пристрою мережі. Тому перед приєднанням до мережі необхідно привести у відповідність термічну стійкість комутуючого пристрою з новим (збільшеним у 1,5 рази при схемі обмоток трансформатора  $Y/\Delta$ ) значенням струму короткого замикання на землю. Через це недоліком способу є необхідність заміни комутуючого пристрою мережі на більший габарит, здатний комутувати більші струми короткого замикання на землю.

У зв'язку із вказаним недоліком прототипу була поставлена задача досягти максимального подавлення вищих гармонік напруг та струмів у лінії та живильному трансформаторі розподільчої мережі без заміни комутуючого пристрою мережі на більший габарит.

Поставлена задача розв'язана тим, що у способі захисту розподільчої мережі від однофазних коротких замикань на землю при приєднаному до мережі фільтрі нульової послідовності, при використанні якого вимірюють струми на виході живильного трансформатора, порівнюють виміряні струми із заданими значеннями і при перевищенні допустимих значень відмикають розподільчу мережу від трансформатора з допомогою комутуючого пристрою мережі, зменшення струмів короткого замикання на землю проводять у два етапи, причому на першому етапі вимірюють величини струмів у фільтрі нульової послідовності, порівнюють їх з допустимими значеннями і при перевищенні одного з допустимих значень призупиняють дію фільтру нульової послідовності розмикаючи принаймні одну фазу фільтру нульової послідовності з допомогою комутаційних пристроїв фільтру, на-

приклад автоматичних вимикачів, після чого на другому етапі роз'єднують проводи лінійних фаз між розподільчою мережею та трансформатором з допомогою вказаного комутаційного пристрою мережі, причому тривалість спрацювання комутаційних пристроїв фільтру принаймні на 25% менша тривалості спрацювання комутаційного пристрою мережі.

При використанні першого з пріоритетних варіантів вимірюють струм у проводі нульової фази фільтру нульової послідовності, цей струм порівнюють з допустимим значенням і при перевищенні допустимого значення від'єднують провід нульової фази фільтру від розподільчої мережі з допомогою першого комутуючого пристрою фільтру.

При використанні другого з пріоритетних варіантів способу вимірюють лінійні струми у фільтрі нульової послідовності, лінійні струми порівнюють з допустимими значеннями і при перевищенні допустимих значень від'єднують принаймні один з проводів лінійних фаз фільтру нульової послідовності від розподільчої мережі з допомогою другого комутуючого пристрою фільтру.

Тривалість спрацювання другого комутуючого пристрою фільтру більша тривалості спрацювання першого комутуючого пристрою фільтру принаймні на 25%.

Пояснимо суть способу захисту розподільчої мережі від однофазних замикань на землю більш детально. Для кращого розуміння суті винаходу розглянемо фіг.

На фіг 1 показана блок-схема розподільчої мережі.

На фіг 1 позначено 1 - живильний трансформатор розподільчої мережі, 2 - комутуючий пристрій мережі, 3 - перший комутуючий пристрій фільтру нульової послідовності, 4 - другий комутуючий пристрій фільтру нульової послідовності, 5 - фільтр струмів нульової послідовності, А, В, С, О - проводи лінійних та нульової фаз розподільчої мережі.

Відомо, що величина струму ( $I_{кз}$ ) при коротких замиканнях між лінійними та нульовими проводами може бути обчислена з виразу (1)

$$I_{кз} = 3U / (Z_1 + Z_2 + Z_0), \quad (1)$$

де  $U$  - фазна напруга трансформатора при холостому ході,  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_0$  - сумарні опори прямої, зворотної та нульової послідовностей лінії та трансформатора мережі відповідно. Опори  $Z_1$  та  $Z_2$  трансформатора рівні між собою, а опір  $Z_0$  більший за опір  $Z_1$  в 1 - 10 разів у залежності від схеми з'єднань обмоток трансформатора. Фільтр нульової послідовності різко зменшує опір  $Z_0$ . Тому струм  $I_{кз}$  після приєднання фільтру нульової послідовності до мережі може збільшитися відповідно до (1) на величину

від 30% до 300%, якщо фільтр нульової послідовності безпосередньо приєднаний до виводів трансформатора, перше число відноситься до трансформаторів «трикутник - зигзаг», а друге - до трансформаторів «зірка - зірка з нулем»,

від 20% до 120%, якщо фільтр нульової послі-

довності приєднаний до кінця розподільчої лінії

Отже при приєднанні фільтру нульової послідовності до розподільчої мережі зростає струм однофазного короткого замикання на землю

При такому зростанні струму короткого замикання термічна стійкість комутуючого пристрою 2 може виявитись недостатньою. Внаслідок цього виникає потреба у заміні комутуючого пристрою 2 на більший габарит, який має більшу термічну стійкість

Заміна комутуючого пристрою 2 передбачає його придбання, демонтаж старого та монтаж нового, більшого габариту. Крім того, монтажні роботи пов'язані із знеструмленням розподільчої лінії, а отже - перервою електропостачання

Для уникнення цих незручностей при короткому замиканні на землю від'єднання мережі від живильного трансформатора проводять у два етапи. На першому етапі вимірюють струми фільтру нульової послідовності, порівнюють їх з допустимою величиною і в разі перевищення допустимої величини призупиняють дію фільтру нульової послідовності розмикаючи принаймні одну фазу фільтру нульової послідовності з допомогою комутаційних пристроїв фільтру, наприклад автоматичних вимикачів. При вимкненому фільтрі нульової послідовності знаменник (1) зростає. Отже після відключення фільтру нульової послідовності струм короткого замикання І<sub>кз</sub> знижується до допустимої (раніше існуючої) величини і може бути відімкнений з допомогою комутуючого пристрою 2

У процесі виведення з дії фільтру нульової послідовності під час короткого замикання на землю виникає основний позитивний ефект даного способу зниження напруги електричної дуги, при якій проходить перерва струму у комутуючих пристроях 3 або 4. Наприклад, усталена напруга на вимикачі 3 в момент розриву струму не перевищує 30 - 50 вольт, тоді як при розриві дуги на вимикачі 2 напруга дорівнює 220 вольт. Зниження напруги пояснюється близькістю потенціалів нульових фаз трансформатора та фільтру нульової послідовності в робочих і аварійних режимах. Тому термічна стійкість вимикачів 3 та 4 менша у 3 - 4 рази від термічної стійкості вимикача 2

Спосіб придатний для використання при умові, якщо тривалість спрацювання комутуючого пристрою фільтру принаймні на 25% менша тривалості спрацювання комутуючого пристрою мережі. Як правило, комутуючі пристрої, які від'єднують розподільчу мережу від трансформатора, можуть настроюватись на певну тривалість спрацювання, наприклад, від 0,25 до 0,6 секунди. Тому тривалість вимикання фільтру нульової послідовності доцільно вибирати у межах 0,05 - 0,1 секунди

У загальному випадку для призупинення фільтруючої здатності фільтру нульової послідовності і зниження струму короткого замикання до допустимих величин достатньо розімкнути принаймні один з чотирьох проводів, які приєднують фільтр до мережі. Але пріоритетними є варіанти, при яких від'єднують одну нульову фазу або три лінійні фази від фільтру. Спосіб, при якому від'єднують нульову фазу фільтру, є дещо перспективнішим через найнижчу напругу та потужність при короткому замиканні

Робота пристрою за даним способом відбувається так. У процесі виникнення короткого замикання між лінійним та нульовим проводами мережі, наприклад між фазами А та О, струм короткого замикання поділяється на дві частини. Більша частина цього струму замикається через провід нульової фази фільтру 5, а менша - через нульовий провід трансформатора 1. Фільтр нульової послідовності 5 приєднаний до розподільчої мережі через комутуючі пристрої 3 та 4. При зростанні струму у обох комутуючих пристроях 3 та 4 до рівню відсічки першим спрацює комутуючий пристрій 3 і від'єднує фільтр від мережі, через що струм короткого замикання знижується до допустимої величини у відповідності до (1)

У другому пріоритетному варіанті комутуючий пристрій 3 відсутній, а зменшення струму короткого замикання досягається за рахунок спрацювання комутуючого пристрою 4, причому тривалість спрацювання комутуючого пристрою 4 фільтру менший від тривалості спрацювання комутуючого пристрою 2 мережі

Зниження потужності короткого замикання на першому етапі веде до зниження вимог до термічної стійкості комутуючих пристроїв 3 та / або 4. Пристрій, який реалізує даний спосіб, може мати один з комутуючих пристроїв 3 або 4. Як комутуючі пристрої фільтру нульової послідовності можуть використовуватись автоматичні вимикачі, тиристори або плавкі вставки. Мінімальна тривалість вимкнення фільтру нульової послідовності має місце при використанні плавких вставок. У першому з пріоритетних варіантів доцільно використовувати комутуючі пристрої 3 та 4 одночасно. При цьому комутуючий пристрій 4 роз'єднує фільтр та мережу при міжфазних коротких замиканнях, які виникають всередині фільтру нульової послідовності. У цьому варіанті комутуючий пристрій 4 виконує додаткову функцію

Спосіб пройшов експериментальну перевірку при робочих струмах фільтру нульової послідовності. При використанні автоматичних вимикачів АК - 63 тривалість вимкнення комутуючого пристрою 3 або 4 не перебільшує 0,05 секунди

Спосіб розрахований на використання у розподільчих мережах, потужність нелінійного та несиметричного навантаження яких складає більше 20% потужності трансформатора. При використанні способу відпадає необхідність у заміні комутуючого пристрою мережі

Список посилань

1 Левін М. І. Фільтр струмів нульової послідовності. Патент США № 5406437, МКВ H02H, публ. 11.04.1995

2 Музиченко О. Д., Музиченко Ю. О., Музиченко О. О. Фільтр струмів нульової послідовності. Патент України № 34226, МКВ H02H, 02.2001

3 Музиченко О. Д., Музиченко Ю. О., Музиченко О. О. Фільтр струмів вищих гармонік трифазної мережі. Патент України № 34225, МКВ H01F, 02.2001

4 Музиченко О. Д., Музиченко Ю. О., Музиченко О. О. Фільтр вищих гармонік струмів трифазної мережі. Патент України № 34224, МКВ H02J, 02.2001

5 [http // www.powersmiths.com](http://www.powersmiths.com) Розділ "Pow-

ersmiths. Newsletter 3".

