



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 100050

(13) C2

(51) МПК

H02M 1/12 (2006.01)

H01F 30/12 (2006.01)

H02H 7/08 (2006.01)

H02J 3/01 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2010 13567

(22) Дата подання заявки: 15.11.2010

(24) Дата, з якої є чинними
права на винахід: 12.11.2012(41) Публікація відомостей
про заявку: 25.05.2012, Бюл.№ 10(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: 12.11.2012, Бюл.№ 21

(72) Винахідник(и):

Музиченко Олександр Дмитрович (UA),
Музиченко Юрій Олександрович (UA)

(73) Власник(и):

Музиченко Олександр Дмитрович,
вул. Незалежності, 64, с. Літки, Броварський
р-н, Київська обл., 07411 (UA),
Музиченко Юрій Олександрович,
вул. Незалежності, 26, кв. 124, м. Нетішин,
Хмельницька обл., 30100 (UA)(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

US 6043569; 28.03.2000;

UA 70732 A; 15.10.2004;

SU 1206881 A; 23.01.1986;

US 5406437; 11.04.1995;

US 7629786 B2; 08.12.2009;

UA 34225 A; 15.02.2001;

UA 70084 A; 15.09.2004;

UA 29262 A; 16.10.2000;

WO 2005/022716 A1; 10.03.2005;

Кузнецов В.Г., Капличный Н.Н., Третьак В.Т.
Симметрирование фазных напряжений в
сетях с нулевым проводом - Проблемы
технической электродинамики, вып. 45. - К.:
Наукова думка, 1974. - С. 150-153

(54) ФІЛЬТР СТРУМІВ НУЛЬОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ ОСНОВНОЇ ТА ВИЩИХ ГАРМОНІК

(57) Реферат:

Винахід належить до галузі електротехніки та призначений для використання в електричних трифазних мережах, у засобах управління, захисту та сигналізації. Фільтр струмів нульової послідовності містить затискачі лінійних та нульової фаз та три однофазні трансформатори, на кожному стрижні яких розміщені дві гальванічно розв'язані обмотки. Кожна перша обмотка, яка розміщена на магнітопроводі одного трансформатора, та кожна друга обмотка, яка розміщена на магнітопроводі другого трансформатора, з'єднані між собою однойменними, наприклад, кінцевими виводами. В результаті чого утворене послідовне з'єднання двох обмоток, три вказані послідовні з'єднання двох обмоток між собою ввімкнені у трипроменеву зірку, центральна точка якої приєднана до затискача нульової фази фільтра. Кожен промінь трипроменевої зірки приєднаний по одному до затискача лінійної фази фільтра. Технічним результатом винаходу є усунення адитивної похибки та зменшення мультиплікативної похибки.

UA 100050 C2

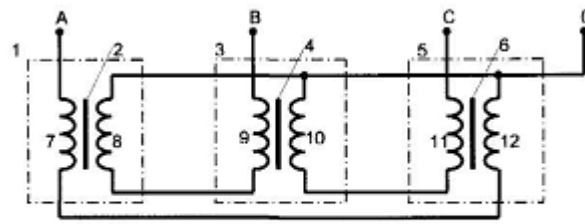


Fig. 1

Фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік призначений для використання в електричних трифазних мережах з метою силового заглушення складових напруг та струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік, вимірювання вказаних складових, перемикання ліній електропередач, стабілізації або/та регулювання напруг мережі, налагодження та перевірки силових фільтрів нульової послідовності. Фільтр заглушає струми та напруги нульової послідовності всіх гармонік: парних та непарних, кратних та дробових.

Відомий фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік [1-4], який виконано на основі трифазного автотрансформатора; обмотки його ввімкнені у зиг'заг і розміщені на трьох стрижнях тристрижневого магнітопроводу. Такий фільтр використовується здебільшого для параметричного зменшення несиметрії, викликані струмами основної та вищих гармонік трифазної мережі. Властивості фільтра ґрунтуються на малому опорі нульової послідовності. Недоліком цього фільтра є: неодмінна похибка 0,15-0,3 вольт напруги нульової послідовності між затискачем нульової фази фільтра та виводом точки перетину медіан трикутника лінійних напруг при відсутності вищих гармонік; при міжвитковому короткому замиканні принаймні однієї з обмоток цей фільтр виходить з ладу.

Відомий фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік [5], у якому шляхом перемикання частини обмоток зиг'загу досягається регулювання опору нульової послідовності. Недоліки фільтра: підвищена на 10-15 % встановлена потужність обмоток порівняно із зиг'загом; несиметричне виконання магнітопроводу; чутливість до міжвиткового короткого замикання однієї з обмоток.

Відомий фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік [6], у якому збільшена у 1,5 разу кількість послідовно ввімкнених обмоток зиг'загу. Недолік фільтра: підвищення удвічі кількості виводів обмоток, збільшення габаритів.

Відомий фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік [7-10], який складається із обмоток зиг'загу та автотрансформатора, через що у 1,5-2 рази збільшена кількість обмоток. Фільтр заглушає струми нульової послідовності гармонік, кратних трьом, а також взаємно компенсує струми гармонік прямої та зворотної послідовності, порядковий номер яких визначається з виразу $k=6m \pm 1$, де m - ціле число. Такі фільтри мають більші у 2-5 разів затухання гармонік струмів у широкому діапазоні частот. Недоліком цього фільтра є: неодмінна похибка 0,15-0,3 вольт напруги нульової послідовності між затискачем нульової фази фільтра та виводом точки перетину медіан трикутника лінійних напруг при відсутності вищих гармонік; при міжвитковому короткому замиканні принаймні однієї з обмоток цей фільтр виходить з ладу.

Відомий фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік [11-14], у якому схема зиг'загу замінена на схему зірки з відкритим трикутником. Недолік фільтра: тристрижневий магнітопровід у крайньому та середньому стрижнях має неоднакові магнітні потоки; через це у фільтрі завжди виникає неодмінна похибка 0,15-0,3 вольт напруги нульової послідовності між затискачем нульової фази фільтра та виводом точки перетину медіан трикутника лінійних напруг при відсутності вищих гармонік; при міжвитковому короткому замиканні принаймні однієї з обмоток цей фільтр виходить з ладу.

Відомий фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік [15, 16], обмотки якого ввімкнені за схемою Скота. Недоліки фільтра: фільтр має вади несиметричного фільтра; при міжвитковому короткому замиканні принаймні однієї з обмоток цей фільтр виходить з ладу.

Відоме застосування симетричних трифазних магнітопроводів [17], які використовуються для виготовлення трансформаторів, автотрансформаторів, перетворювачів кількості фаз і можуть бути використані для виготовлення фільтрів струмів нульової послідовності. Такі магнітопроводи мають два варіанти виконання. У першому (просторовому) варіанті верхні і нижні ярма магнітопроводу виконані у вигляді рівностороннього трикутника; однойменні вершини трикутників сполучені трьома стрижнями. У просторі стрижні та ярма магнітопроводу у першому варіанті подібні до ребер рівносторонньої трикутної призми. У другому (плоскому) варіанті нижні ярма магнітопроводу відсутні, верхні ярма розташовані на лінії кола, а стрижні магнітопроводу розташовані на лініях трьох радіусів, які виходять з центра кола, причому кути між напрямками радіусів складають $2\pi/3$ радіан, тобто 120° . В обох варіантах використані здвоєні стрижні. Таке виконання фільтра забезпечує ідеальну симетрію магнітопроводу, в результаті чого адитивна похибка напруги нульової послідовності між потенціалом затискача нульової фази 0 фільтра та уявною точкою перетину медіан трикутника лінійних напруг при відсутності вищих гармонік зменшена до нульового значення. Недолік фільтра: вартість виготовлення магнітопроводу та обмоток такого фільтра у чотири-п'ять разів перевищує вартість виготовлення найскладнішого з вище вказаних аналогів фільтра.

Відомий фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік (прототип) [18], виконаний на трьох однофазних зближених магнітопроводах, розташованих на площині так, що

кожен стрижень середнього однофазного магнітопроводу торкається одного із стрижнів крайнього однофазного магнітопроводу. Два стрижні, які розташовані впритул один до одного, утворюють один здвоєний стрижень. Крайні стрижні у плоскому виконанні (на відміну від вище розглянутого аналога) виконані одинарними (не здвоєними). Фільтр містить затискачі трьох

5 лінійних та нульової фаз. На двох одинарних та двох здвоєних стрижнях магнітопроводу розміщено вісім обмоток, розташованих по дві обмотки на кожному стрижні магнітопроводу.

Фільтр-прототип має такі недоліки: при міжвитковому короткому замиканні принаймні однієї з обмоток цей фільтр виходить з ладу; адитивна (постійна) похибка напруги нульової послідовності між затискачем нульової фази фільтра та виводом точки перетину медіан

10 трикутника лінійних напруг при відсутності вищих гармонік складає від 0,15 вольт до 0,25 вольт, а мультиплікативна (змінна) похибка може сягати 3-7 вольт.

У зв'язку із вказаним недоліком була поставлена задача - підвищити живучість фільтра при витковому замиканні однієї з його обмоток та зменшити адитивну та мультиплікативну похибки напруги нульової послідовності між затискачем нульової фази фільтра та точкою перетину

15 медіан трикутника лінійних напруг.

Поставлена задача вирішена шляхом заміни трьох однофазних зближених магнітопроводів на три однофазні рознесені у просторі магнітопроводу, а саме тим, що:

до фільтра струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік, який містить затискачі трьох лінійних та нульової фаз та шість гальванічно розв'язаних обмоток, кожна пара

20 яких розміщена на кожному магнітопроводі, введено три рознесені у просторі однофазні магнітопроводу, на кожному однофазному магнітопроводі розміщено першу та другу гальванічно розв'язані обмотки, коефіцієнт трансформації напруг утвореного при цьому однофазного трансформатора дорівнює 1,0,

кожна перша обмотка, яка розміщена на магнітопроводі одного однофазного трансформатора, та кожна друга обмотка, яка розміщена на магнітопроводі другого однофазного трансформатора, з'єднані між собою однойменними, наприклад, кінцевими

25 виводами, в результаті чого утворене послідовне з'єднання двох обмоток,

три вказані послідовні з'єднання двох обмоток між собою ввімкнені у трипроменеву зірку, центральна точка якої приєднана до затискача нульової фази фільтра, а кожен промінь

30 трипроменевої зірки приєднаний по одному до затискача лінійної фази фільтра.

Шість гальванічно розв'язаних обмоток між собою ввімкнені за схемою зіг'заг'.

Шість гальванічно розв'язаних обмоток між собою ввімкнені за лямбдоподібною схемою (умовно несиметричним зіг'загом).

Кожен з трьох однофазних магнітопроводів виконано у вигляді тора.

35 Кожен з трьох однофазних магнітопроводів виконано з прямокутним вікном.

Кожна з шести гальванічно розв'язаних обмоток поділена на частини, при цьому кожна пара перших частин гальванічно розв'язаних обмоток розміщена на першому стрижні прямокутного магнітопроводу, а кожна пара других частин обмоток розміщена на другому стрижні прямокутного магнітопроводу, при цьому перша та друга частини кожної обмотки між собою

40 з'єднані однойменними виводами.

У кожному трансформаторі один провід або група проводів першої обмотки оточена проводами другої обмотки і навпаки - один провід або група проводів другої обмотки оточена проводами першої обмотки.

Кожна з шести гальванічно розв'язаних обмоток або їх частин виконана проводом, ширина

45 перерізу якого від 2 до 10000 разів більша від товщини перерізу проводу.

Гальванічно розв'язані обмотки виготовлені із мідної або алюмінієвої фольги.

Для пояснення суті винаходу подані креслення на фіг. 1 - фіг. 6.

На фіг. 1 подана принципова схема фільтра струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік, виконана за схемою зіг'заг' на трьох рознесених у просторі однофазних

50 магнітопроводах.

На фіг. 2 на площині комплексного потенціалу показане топографічне зображення розташування елементів фільтра, виконаного за принциповою схемою фіг. 1.

На фіг. 3 представлений випадок короткого замикання між витками обмотки 4 фільтра, принципова схема якого подана на фіг. 1.

55 На фіг. 4 на площині комплексного потенціалу показане топографічне зображення розташування елементів фільтра, виконаного за принциповою схемою фіг. 1, у випадку міжвиткового замикання в обмотці 4.

На фіг. 5 подана принципова схема фільтра струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік, виконана за схемою лямбда (умовно несиметричний зіг'заг') на трьох

60 рознесених у просторі однофазних магнітопроводах.

На фіг. 6 на площині комплексного потенціалу показане топографічне зображення розташування елементів фільтра, виконаного за принциповою схемою фіг. 5.

На фіг. 1 позначені: А, В, С - затискачі лінійних фаз фільтра; 0 - затискач нульової фази фільтра; 1, 3, 5 - три однофазні трансформатори, кожен з яких виконаний на рознесених у просторі однофазних магнітопроводах 2, 4, 6 відповідно; 7 та 8 - перша та друга обмотки, розміщені на однофазному магнітопроводі 2 трансформатора 1; 9 та 10 - перша та друга обмотки, розміщені на однофазному магнітопроводі 4 трансформатора 3; 11 та 12 - перша та друга обмотки, розміщені на однофазному магнітопроводі 6 трансформатора 5.

Позначення фіг. 2 співпадають з позначеннями фіг. 1.

На фіг. 3 позначено: 13 - короткий провідник, який зображує процес і місце виникнення міжвиткового короткого замикання в першій обмотці 7 трансформатора 1; решта позначень фіг. 3 співпадає з позначеннями фіг. 1.

Позначення фіг. 4 співпадають з позначеннями фіг. 1.

На фіг. 5 позначено: 14, 16, 18 - три однофазні трансформатори, виконані на рознесених у просторі однофазних магнітопроводах 15, 17, 19; 21 та 22 - перша та друга обмотки, розміщені на однофазному магнітопроводі 15 трансформатора 14; 23 та 24 - перша та друга обмотки, розміщені на однофазному магнітопроводі 17 трансформатора 16; 25 та 26 - перша та друга обмотки, розміщені на однофазному магнітопроводі 19 трансформатора 18; решта позначень фіг. 5 співпадає з позначеннями фіг. 1.

Позначення фіг. 6 співпадають з позначеннями фіг. 5.

Склад і будова фільтра струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік. До фільтра входять: затискачі лінійних А, В, С та нульової 0 фаз, а також три однофазні трансформатори 1, 3, 5 (фіг. 1). Однофазні трансформатори 1, 3, 5 виконані на рознесених у просторі однофазних магнітопроводах 2, 4 та 6. Тут і далі під поняттям "рознесені у просторі однофазні магнітопроводи" слід розуміти такі магнітопроводи, які не доторкуються один до одного і знаходяться між собою на відстані, при якій їх поля розсіювання не впливають на енергетичні процеси у однофазних трансформаторах. На магнітопроводі 2 однофазного трансформатора 1 розміщені перша обмотка 7 та друга обмотка 8. На магнітопроводі 4 однофазного трансформатора 3 розміщені перша обмотка 9 та друга обмотка 10. На магнітопроводі 6 однофазного трансформатора 5 розміщені перша обмотка 11 та друга обмотка 12.

Кожна перша обмотка, яка розміщена на магнітопроводі одного трансформатора, та кожна друга обмотка, яка розміщена на магнітопроводі другого трансформатора, з'єднані між собою однойменними, наприклад, кінцевими виводами, в результаті чого утворене послідовне з'єднання двох обмоток. Так, перша обмотка 7, яка розміщена на магнітопроводі 2 трансформатора 1, та друга обмотка 12, яка розміщена на магнітопроводі 6 другого трансформатора 5, з'єднані між собою кінцевими виводами, в результаті чого утворене послідовне з'єднання двох обмоток 7 та 12. Перша обмотка 9, яка розміщена на магнітопроводі 4 трансформатора 3, та друга обмотка 8, яка розміщена на магнітопроводі 2 іншого трансформатора 1, з'єднані між собою кінцевими виводами, в результаті чого утворене послідовне з'єднання двох обмоток 8 та 9. Перша обмотка 11, яка розміщена на магнітопроводі 6 трансформатора 5, та друга обмотка 10, яка розміщена на магнітопроводі 4 іншого трансформатора 3, з'єднані між собою кінцевими виводами, в результаті чого утворене послідовне з'єднання двох обмоток 10 та 11. Три послідовні з'єднання двох обмоток 7 та 12, 8 та 9, 10 та 11 між собою з'єднані у трипроменеву зірку, центральна (спільна) точка якої приєднана до затискача нульової фази 0. Кожен кінець променя цієї зірки по одному приєднаний до затискача лінійної фази (А, В, С). У першому варіанті фільтр виконаний за схемою зиг'заг, тобто кожен затискач лінійної фази фільтра приєднаний по одному до початкового (кінцевого) виводу першої обмотки кожного трансформатора, а початкові виводи других обмоток з'єднані між собою і приєднані до затискача нульової фази фільтра.

До фільтра за другим варіантом виконання входять: затискачі лінійних А, В, С та нульової 0 фаз, а також три однофазні трансформатори 14, 16, 18 (фіг. 5). Однофазні трансформатори 14, 16, 18 виконані на рознесених у просторі однофазних магнітопроводах 15, 17 та 19. На магнітопроводі 15 однофазного трансформатора 14 розміщені перша обмотка 21 та друга обмотка 22. На магнітопроводі 17 однофазного трансформатора 16 розміщені перша обмотка 23 та друга обмотка 24. На магнітопроводі 19 однофазного трансформатора 18 розміщені перша обмотка 25 та друга обмотка 26. Початковий вивід першої обмотки 21 однофазного трансформатора 14 з'єднаний із затискачем лінійної фази А. Кінцевий вивід другої обмотки 22 однофазного трансформатора 14 з'єднаний із затискачем лінійної фази В. Початковий вивід першої обмотки 25 однофазного трансформатора 18 з'єднаний із затискачем лінійної фази С.

Початкові виводи других обмоток 24 та 26 однофазних трансформаторів 16 та 18 та кінцевий вивід першої обмотки однофазного трансформатора 16 приєднані до затискача нульової фази 0. Кінцевий вивід першої обмотки 7 однофазного трансформатора 1 приєднаний до кінцевого виводу другої обмотки 12 однофазного трансформатора 5. У другому варіанті виконання фільтр

5

У решті варіантів:

10

- кожен з трьох однофазних магнітопроводів виконано у вигляді тора;

- кожен з трьох однофазних магнітопроводів виконано з прямокутним вікном;

- кожна з шести гальванічно розв'язаних обмоток поділена на частини, при цьому кожна пара перших частин гальванічно розв'язаних обмоток розміщена на першому стрижні прямокутного магнітопроводу, а кожна пара других частин обмоток розміщена на другому стрижні прямокутного магнітопроводу, при цьому перша та друга частини кожної обмотки між собою з'єднані однойменними виводами;

15

- у кожному трансформаторі один провід або група проводів першої обмотки оточена проводами другої обмотки і навпаки - один провід або група проводів другої обмотки оточена проводами першої обмотки;

- кожна з шести гальванічно розв'язаних обмоток або їх частин виконана проводом, ширина перерізу якого від 2 до 10000 разів більша від товщини перерізу проводу;

20

- гальванічно розв'язані обмотки виготовлені із мідної або алюмінієвої фольги.

Робота фільтра струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік. Для включення фільтра в роботу затискачі лінійних А, В, С та нульової фаз 0 (фіг. 1) приєднують до трифазної мережі. Завдяки протіканню струмів намагнічування на обмотках фільтра виникають напруги, топографічне зображення яких показане на фіг. 2. Розглянемо перший варіант виконання фільтра струмів нульової послідовності.

25

Перший позитивний ефект полягає у досягненні симетричного режиму роботи. Дійсно, однофазні трансформатори можуть бути виконані з великою вірогідністю однаковими, а фільтр симетричним: стрижні та ярма однофазних магнітопроводів мають однакові розміри; обмотки фільтра мають однакові кількості витків і намотані проводом однакового перерізу. За таких умов індукції магнітного потоку у всіх стрижнях однакові і однакові падіння напруг на резистивних та індуктивних опорах схем заміщення трансформаторів. В режимі холостого ходу, який має місце при приєднанні затискачів тільки лінійних фаз до чітко симетричної системи напруг потенціал затискача нульової фази 0 знаходиться точно на перетині медіан трикутника вхідних напруг. Внаслідок симетричного виконання фільтра відхилення потенціалу затискача нульової фази 0 від точки перетину медіан трикутника напруг у режимі холостого ходу не перевищує 0,000-0,002 В. Одержана постійна (адитивна) похибка напруги нульової послідовності на два порядки менша від неодмінної похибки 0,15-0,3 вольт у сучасних промислових фільтрах струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік.

30

В режимі навантаженого фільтра до трифазної мережі крім затискачів лінійних фаз приєднується також і затискач нульової фази 0. Мультиплікативна похибка фільтра (в режимі навантаження) складається з двох частин: перша з них виникає через несиметрію магнітопроводу у несиметричних тристрижневих магнітопроводах. Її величина досягає від 5 до 10 вольт в результаті різної довжини шляху магнітного потоку в аналогах. Довжина шляху магнітного потоку складається із суми довжин стрижня та ярма. Довжина шляху магнітного потоку середнього стрижня у 1,5-2,5 рази менша довжини шляху магнітного потоку крайнього стрижня. Через це в аналогах потенціал затискача нульової фази фільтра відхиляється від потенціалу точки перетину медіан трикутника напруг. У запропонованому винаході довжини шляху магнітного потоку у всіх однофазних магнітопроводах однакові. Тому перша складова змінної (мультиплікативної) похибки напруги нульової послідовності фільтру дорівнює нулеві.

35

40

45

50

Друга складова мультиплікативної похибки фільтра викликана наявністю опору нульової послідовності Z_0 . Через це потенціал затискача нульової фази фільтра також відхиляється від потенціалу точки перетину медіан трикутника напруг. Друга частина мультиплікативної похибки фільтра рівна добутку струму нульової послідовності I_0 на опір нульової послідовності Z_0 . Домінуюча складова опору нульової послідовності Z_0 має резистивний характер; домішка індуктивної складової є незначною. Фазний кут опору нульової послідовності Z_0 складає від 5° до 20° у залежності від потужності та конструкції фільтра. Величина опору нульової послідовності Z_0 фільтра знаходиться у межах від 0,1 Ом до 0,001 Ом, а струми нульової послідовності I_0 знаходяться у межах від 1,0 ампера до 5000 ампер. Через це друга складова мультиплікативної похибки може знаходитися у межах від 0,1 вольт до 5 вольт.

55

60

Третій позитивний ефект полягає у підвищенні живучості фільтра при витковому замиканні однієї з його обмоток. Покажемо, що при виникненні виткового замикання однієї з його обмоток фільтр продовжує виконувати функцію фільтра нульової послідовності. На фіг. 3 показана принципова схема фільтра, обмотки якої з'єднані за схемою зигзаг. Виткове замикання на фіг. 3 показане за допомогою короткого провідника 13, який перемкнув частину витків обмотки 7. Із-за виткового замикання напруги на обмотках 7 та 8 трансформатора 1 зменшуються до нульового значення.

$$U_7=0; \quad (1)$$

$$U_8=0. \quad (2)$$

Через рівності (1) та (2) на обмотки 9 та 12 подаються напруги U_9 та U_{12} , які рівні фазним напругам U_B та U_A відповідно (фіг. 4).

$$U_9=U_B; \quad (3)$$

$$U_{12}=U_A. \quad (4)$$

Напруги U_9 та U_{12} трансформуються в трансформаторах 3 та 5 і наводять в обмотках 10 та 11 напруги U_{10} та U_{11} .

$$U_{10}=U_9=U_B; \quad (5)$$

$$U_{11}=U_{12}=U_A. \quad (6)$$

За даними рівностей (1) - (6) на фіг. 4 побудоване топографічне зображення режиму фільтра, який утворився після виткового короткого замикання в обмотці 7. Аналіз показує, що після виткового замикання обмотки 7 між лінійними фазами А, В, С утворилось електричне коло, яке також жорстко пов'язане із нульовою фазою 0. Електричне коло, що утворилось після виткового замикання обмотки 7, має малий опір нульової послідовності (0,075-0,00075 Ом). А це означає, що фільтр струмів нульової послідовності успішно продовжує свою роботу після виткового короткого замикання. Дійсно, електричне коло, яке утворилось після виткового короткого замикання, відоме в електротехніці і дійсно є фільтром нульової послідовності.

Важливим також є те, що опір нульової послідовності фільтра після виткового короткого замикання зменшився на 25 %, що також є позитивним ефектом.

Отже після виткового короткого замикання однієї з обмоток фільтра його робота продовжується у нормальному режимі. Тому слід вважати, що фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік, виконаний на рознесених магнітопроводах і обмотки якого з'єднані за схемою зигзаг, має високу живучість за умови міжвиткового короткого замикання однієї з його обмоток.

Пояснення цього явища криється в одному додатковому ступені свободи схем кіл, які містять послідовні з'єднання двох обмоток, розміщених на магнітопроводах трансформаторів, які живляться від різних фазних напруг (U_a , U_b , U_c).

Другий варіант виконання фільтра струмів нульової послідовності виконаний за схемою лямбда (умовно несиметричний зигзаг) і його принципова схема подана на фіг. 5. Схему з'єднань та режим цього фільтра можна визначити за топографічним зображенням режиму його роботи, показаним на фіг. 6. Принципова різниця між фільтрами, виконаними за фіг. 1 та 5, полягає у тому, що один із трьох трансформаторів, наприклад трансформатор 16, ввімкнений за автотрансформаторною схемою. Властивості другого варіанта виконання фільтра струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік за схемою фіг. 6 аналогічні до властивостей фільтра, показаного на фіг. 1. Тому всі описані вище позитивні ефекти у фільтрі струмів нульової послідовності, виконаному за схемою зигзаг, обмотки якого розміщені на рознесених магнітопроводах, мають місце також і у фільтрі струмів нульової послідовності, виконаному за схемою лямбда за умови, що обмотки схеми лямбда також розміщені на рознесених магнітопроводах.

Фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік призначений для використання: в електричних трифазних мережах з метою заглушення та/або вимірювання симетричних складових напруг та струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік, у засобах перетворювальної техніки, а також у засобах управління, захисту та сигналізації електроенергетичних об'єктів, наприклад, у засобах перемикачів та/або регулювання напруги.

Джерела інформації:

1. Кузнецов В. Г., Капличный Н. Н., Третьяк В. Т. Симметрирование фазных напряжений в сетях с нулевым проводом.- Проблемы технической электродинамики, вып.45. - К.: Наукова думка, 1974. - С. 150-153.

2. Arrillaga J., Densem T. J., Harker B.J. Zero sequence harmonic current generation in transmission lines connected to large convertor plant. "IEEE Trans. Power Appar. and Syst." 1983, 102, N7, 2357-2363.

3. Электрическая трехфазная сеть с нулевой фазой. Авторское свидетельство СССР № 1304124, МКИ H02J3/26, 1986.

4. Электрическая трехфазная сеть с нулевой фазой. Авторское свидетельство СССР № 1575266, МКИ H02J 3/26, 1990.

5. Фільтр струмів нульової послідовності. Patent USA N 5406437, МПК H02H 3/26, 11.04.1995.

6. Matsumura M. Three-phase transformer with a balancing function. Patent USA N 5574418, MI-INK01F 17/02. Публіковано 12.11.1996.

7. Levin M. I. Phase shifting transformer with low zero phase sequence impedance. Patent USA N 5,801,610, МПК H01F 33/00. Публіковано 01.09.1998

8. Музиченко О. Д., Музиченко Ю. О., Музиченко О. О. Фільтр струмів вищих гармонік трифазної мережі. Патент України № 34225, МПК H02F 30/12. Публіковано 15.02.2001. Бюл. № 1, 2001.

9. Музиченко О. Д., Музиченко Ю. О., Музиченко О. О. Фільтр струмів вищих гармонік трифазної мережі. Патент України № 34224, МПК H01F 30/12. Публіковано 15.02.2001. Бюл. № 1, 2001.

10. Музиченко Ю. О., Музиченко О. Д. Фільтр струмів вищих гармонік трифазної мережі (Варіанти). Патент України № 74671, МПК H02M 1/12. Публіковано 16.01.2006. Бюл. № 1, 2006.

11. Lee S.H. Device for reducing harmonics in three-phase poly-wire power lines. Patent USA N 7,629,786, МПК H01F 30/12; G05F 1/12; H02J 1/02; H02H 7/04, 8.12.2009. 12. Larsen E. Filter for removing harmonic current from a neutral conductor. Patent USA N 5914540, МПК H02M 1/12. Публіковано 22.06.1999.

13. AF Klercker Alakula M. Transformer with protection against direct current magnetization caused by zero sequence current. US Patent №7432699. МПК G01R 15/18. Оpubліковано 7.10.2008.

14. AF Klercker Alakula M., Lindhal S. Method and equipment for the protection of power system against geomagnetically induced currents. US Patent № 489485 МПК H03H 7/04. Оpubліковано 10.02.2009

15. Бамдас А.М., Кулинич В.А. и Шапиро С.В. Статические электромагнитные преобразователи частоты и числа фаз. - М.Л. - ГЭИ.-1961. - с. 208.

16. Круг К.А. Основы электротехники. 4.2. Теория переменных токов. - М.Л. - ГЭИ.-1961. - С. 342-343, с. 208.

17. Greif M.J., Stevens C.E. Three phase transformer with reduced harmonic currents. Patent US No 5,537,089; МПК H01F 27/24. Публіковано 16.07.1996.

18. Музиченко О. Д., Музиченко Ю.О., Музиченко О.О. Фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік. Патент України № 70732, МПК H01F 30/06, H02H 07/08. Публіковано 15.10.2004, Бюл. № 10, 2004.

ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

1. Фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік, який містить затискачі трьох лінійних та нульової фаз та шість гальванічно розв'язаних обмоток, кожна пара яких розміщена на кожному магнітопроводі, який **відрізняється** тим, що

до фільтра введено три рознесені у просторі однофазні магнітопроводи, на кожному однофазному магнітопроводі розміщено першу та другу гальванічно розв'язані обмотки, коефіцієнт трансформації напруг утвореного при цьому однофазного трансформатора дорівнює 1,0,

кожна перша обмотка, яка розміщена на магнітопроводі одного трансформатора, та кожна друга обмотка, яка розміщена на магнітопроводі другого трансформатора, з'єднані між собою однойменними, наприклад, кінцевими виводами, в результаті чого утворене послідовне з'єднання двох обмоток,

три вказані послідовні з'єднання двох обмоток між собою ввімкнені у трипроменеву зірку, центральна точка якої приєднана до затискача нульової фази фільтра, а кожен промінь трипроменевої зірки приєднаний по одному до затискача лінійної фази фільтра.

2. Фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік за п. 1, який **відрізняється** тим, що шість гальванічно розв'язаних обмоток між собою ввімкнені за схемою зигзаг'.

3. Фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік за п. 1, який **відрізняється** тим, що шість гальванічно розв'язаних обмоток між собою ввімкнені за лямбдоподібною схемою, тобто умовно несиметричним зіг'загом.
4. Фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік за будь-яким з пп. 1-3, який **відрізняється** тим, що кожен з трьох однофазних магнітопроводів виконано у вигляді тора.
5. Фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік за будь-яким з пп. 1-3, який **відрізняється** тим, що кожен з трьох однофазних магнітопроводів виконано з прямокутним вікном.
6. Фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік за будь-яким з пп. 1-3, 5, який **відрізняється** тим, що кожна з шести гальванічно розв'язаних обмоток поділена на частини, при цьому кожна пара перших частин гальванічно розв'язаних обмоток розміщена на першому стрижні магнітопроводу з прямокутним вікном, а кожна пара других частин обмоток розміщена на другому стрижні магнітопроводу з прямокутним вікном, при цьому перша та друга частини кожної обмотки між собою з'єднані однойменними виводами.
7. Фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік за будь-яким з пп. 1-5, який **відрізняється** тим, що у кожному трансформаторі один провід або група проводів першої обмотки оточена проводами другої обмотки і навпаки - один провід або група проводів другої обмотки оточена проводами першої обмотки.
8. Фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік за будь-яким з пп. 1-7, який **відрізняється** тим, що кожна з шести гальванічно розв'язаних обмоток або їх частин виконана проводом, ширина перерізу якого від 2 до 10000 разів більша від товщини перерізу проводу.
9. Фільтр струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік за будь-яким з пп. 1-8, який **відрізняється** тим, що гальванічно розв'язані обмотки виготовлені із мідної або алюмінієвої фольги.

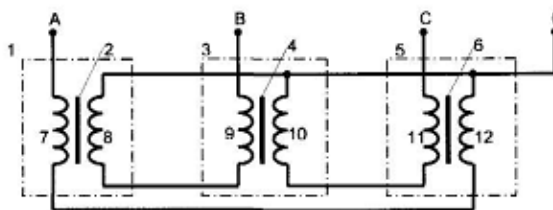


Fig. 1

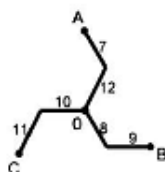


Fig. 2

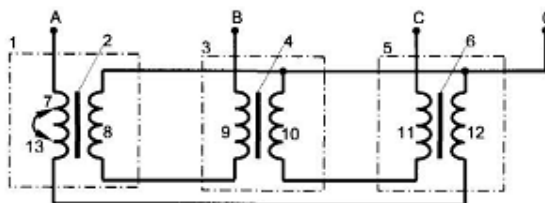


Fig. 3

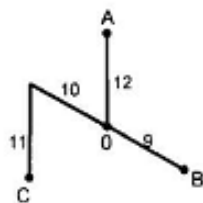


Fig. 4

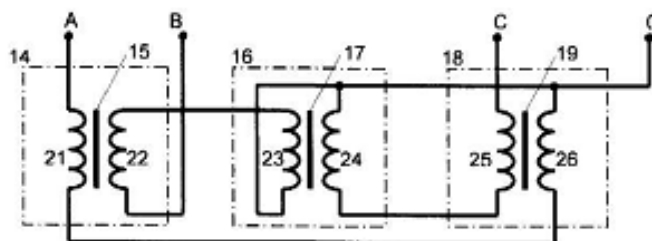


Fig. 5

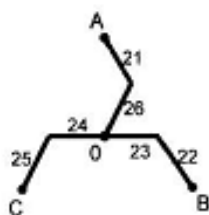


Fig. 6

Комп'ютерна верстка Л. Купенко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601