



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 90938

(13) C2

(51) МПК (2009)

H02H 9/00

H02H 1/00

H01F 30/00

H02J 3/01

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОФАЗНОГО, НАПРИКЛАД ТРИФАЗНОГО, АВТОТРАНСФОРМАТОРА АБО/ТА ТРАНСФОРМАТОРА ЯК ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗАХИСТУ БАГАТОФАЗНОЇ, НАПРИКЛАД ТРИФАЗНОЇ, МЕРЕЖІ ТА ЇЇ ПРИЙМАЧІВ (ВАРІАНТИ)

1

2

(21) а200810702

(22) 27.08.2008

(24) 10.06.2010

(46) 10.06.2010, Бюл.№ 11, 2010 р.

(72) МУЗИЧЕНКО ОЛЕКСАНДР ДМИТРОВИЧ, МУ-
ЗИЧЕНКО ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ(73) МУЗИЧЕНКО ОЛЕКСАНДР ДМИТРОВИЧ, МУ-
ЗИЧЕНКО ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

(56) CN 494094 A, 05.05.2004

CN 2739777 Y, 09.11.2005

JP 62224912 A, 02.10.1987

US 2007/0290670 A1, 20.12. 2007

DE 19829424 A1, 07.01.1999

US 6477025 B1, 05.11.2002

Зоричев А. Молниезащита: зонавая концепция //
Новости электротехники. - 2008. - № 3 (27).
www.news.elteh.ru

US 4577255 A, 18.03.1986

US 6477025 B1, 05.11.2002

US 7283341 B2, 16.10.2008

US 7349189 B2, 25.03.2008

US 7317603 B2, 08.01.2008

US 7298601 B2, 20.11.2007

US 7265961 B2, 04.09.2007

US 7254000 B1, 07.08.2007

US 7196889 B2, 27.03.2007

US 7193837 B1, 20.03.2007

US 6816350 B1, 09.11.2004

US 6798629 B1, 28.09.2004

US 6560086 B2, 06.05.2003

US 6657843 B1, 02.12.2003

US 6639774 B1, 28.10.2003

(57) 1. Застосування багатофазного, наприклад трифазного, автотрансформатора з обмотками міжфазного зв'язку як пристрою для захисту багатофазної, наприклад трифазної, мережі та її приймачів від імпульсних перенапруг комутаційного та грозового походження.

2. Застосування багатофазного, наприклад трифазного, трансформатора та/або автотрансформатора з обмотками міжфазного зв'язку як пристрою для захисту багатофазної, наприклад трифазної, мережі та її приймачів від імпульсних перенапруг та майже постійних струмів, викликаних електромагнітним імпульсом.

Застосування багатофазного автотрансформатора для захисту багатофазної, наприклад, трифазної мережі та її приймачів від перенапруги відноситься до електроенергетики та електротехніки. Багатофазний автотрансформатор та трансформатор призначені для використання за новим призначенням, а саме, для захисту електричної мережі і її приймачів від імпульсної перенапруги як на проводах повітряної та кабельної мереж, так і на приймачах, приєднаних до них, а також для захисту живильних трансформаторів від майже постійних струмів. Причинами указаної перенапруги та надструму можуть бути комутаційні та грозові явища, а також електромагнітний імпульс (EMI).

Відоме застосування грозозахисних тросів, мачтових блискавковідводів, заземлених металевих поверхонь, і т.і. для захисту електричної мережі [1, 2, 8, 11, 14, 17]. Але таке застосування не поширене на високовольтні та низьковольтні повітряні та кабельні мережі.

Відоме застосування високовольтних розрядників [1, 2, 11, 14, 15, 17], у тому числі - газових розрядників [14] для захисту електричної мережі. Таке застосування мало ефективне, оскільки не знижує напругу на проводах мережі та приймачах.

Відоме застосування повздовжніх елементів, наприклад, реакторів та напівпровідникових приладів типу стабілітрону, які ввімкнені паралельно

(13) C2

(11) 90938

(19) UA

до приймачів [3, 4, 6, 7]. Недолік такого застосування - вразливість напівпровідникових приладів до переднього фронту та амплітудного значення імпульсної перенапруги.

Відоме застосування швидкодіючих вимикачів [10] або автоматичного перемикачів лінії до іншої подібної лінії [10,12] з метою зменшення опору на землю у точці пробігу і зниження перенапруги. Недолік пристрою - потреба у додатковій лінії та швидкодіючій комутації.

Відоме застосування нелінійної вольтамперної характеристики діоду Зенера та L-C елементів для захисту мережі та її приймачів [5, 9, 13, 16]. Діоди Зенера вмикають послідовно для збільшення пробивної напруги та кращого розсіювання тепла. Пристрій не знайшов широкого поширення через вразливість самого діоду до дії імпульсної перенапруги.

Відоме застосування одного або декількох варисторів, з'єднаних послідовно та/або паралельно з резисторами [16-18] для захисту мережі та її приймачів. Пристрій не набув широкого поширення через малу потужність розсіювання варисторів.

Відоме застосування комплексного захисту, описаного в [16]. Пристрій включає захист входів і внутрішньої проводки приміщень та споруд з допомогою розрядників, діодів Зенера, L-C фільтрів, варисторів, демпферів R та керуючих елементів. Найбільшого поширення набув пристрій [17]. Недолік пристрою - складність виконання захисту, велика вартість, мала надійність та пропускну здатність лінії передачі за потужністю. Сам пристрій є вразливим до перенапруг грозового та комутаційного характеру.

Відоме застосування трансформаторів [19-21] для захисту трифазної мережі та її приймачів від перенапруг при грозових розрядах. Пристрій містить проміжну ланку (первинну обмотку), у якій лише частково компенсовані магнітні поля розсіювання у осьовому та радіальному напрямку обмотки.

Найближчим аналогом (прототипом) до застосування автотрансформатора для захисту багатофазної мережі та їх приймачів від імпульсних перенапруг, є застосування трансформатора [19] для захисту трифазної мережі та її приймачів від перенапруг грозового характеру. Недоліки прототипу: - недостатня ступінь подавлення перенапруг, обумовлена неоднаковістю витків в обмотках міжфазного зв'язку та наявність впливу некомпенсованої індуктивності більшої по кількості витків обмотки міжфазного зв'язку при прямому ударі блискавки або в режимі E1 та E2 електромагнітного імпульсу; - накид реактивної потужності у момент проходження майже постійних струмів у режимі E3 електромагнітного імпульсу, що має місце при геомагнітних бурях; - незбалансованість зарядних ємнісних струмів, що також викликає накид реактивної потужності.

У зв'язку зі вказаними недоліками була поставлена задача: захистити лінію багатофазної мережі та її приймачі від імпульсної перенапруги з допомогою тісного магнітного зв'язку.

За першим незалежним пунктом винаходу поставлена задача розв'язана шляхом зменшення

постійної часу зарядки конденсатора, утвореного провідниками обмоток міжфазного електромагнітного зв'язку, а саме:

шляхом застосування багатофазного, наприклад, трифазного автотрансформатора з обмотками міжфазного зв'язку як пристрою для захисту багатофазної, наприклад, трифазної мережі та її приймачів від імпульсних перенапруг комутаційного та грозового походження.

За другим незалежним пунктом винаходу поставлена задача розв'язана шляхом зменшення постійної часу зарядки конденсатора, утвореного провідниками обмоток міжфазного електромагнітного зв'язку та шляхом взаємної компенсації впливу майже постійних струмів на магнітне насичення стрижнів магнітопроводу трансформатора та/або автотрансформатора, а саме:

шляхом застосування багатофазних, наприклад, трифазних трансформатора та/або автотрансформатора з обмотками міжфазного зв'язку як пристрою для захисту багатофазної, наприклад, трифазної мережі та її приймачів від імпульсних перенапруг та майже постійних струмів, викликаних електромагнітним імпульсом.

Для кращого розуміння суті винаходів за новим застосуванням на Фіг.1 - Фіг.7 подані принципові схеми та пояснюючі графічні зображення указаних застосувань. Одні і ті ж креслення Фіг.1 - Фіг.7 дають пояснення складу та будови автотрансформаторів та трансформаторів, виконаних як за першим, так і за другим незалежними пунктами формули винаходів.

На Фіг.1 показана принципова схема застосування шестифазного автотрансформатора для зменшення імпульсних перенапруг у шестифазній фазній мережі.

На Фіг.2 представлена принципова схема котушки з двома обмотками міжфазного зв'язку.

На Фіг.3 показана конструкція котушки з парю обмоток міжфазного зв'язку.

На Фіг.4 показане застосування трифазного автотрансформатора, обмотки якого ввімкнені у зигзаг, для зменшення імпульсних перенапруг у трифазній мережі.

На Фіг.5 показане застосування трифазного автотрансформатора, обмотки якого ввімкнені за схемою лямбда, для зменшення імпульсних перенапруг у трифазній мережі.

На Фіг.6 подані маршрути ємнісних струмів витоку при зарядці обмоток міжфазного зв'язку при прямому ударі блискавки або наведеній хвилі, обумовленій дією блискавки.

На Фіг.7 показане застосування двофазного симетричного трансформатора для зменшення імпульсних перенапруг у двофазній симетричній мережі.

На Фіг.1 позначено: L1-L6 - проводи лінійних фаз шестифазної живильної мережі; N - провід нульової фази (нейтралі); 1 та 2, 3 та 4, 5 та 6 - пари обмотки електромагнітного зв'язку на трьох стрижнях магнітопроводу відповідно; 7 - тристрижневий магнітопровід; 8 - кожух (бак) автотрансформатора; 9 - ємність між проводами обмоток міжфазного зв'язку; 10 - маршрут зарядки ємності обмоток міжфазного зв'язку; б - форма набігаючої

го імпульсу наднапруги; в - форма імпульсу напруги після проходження пункту приєднання автотрансформатора до мережі.

На Фіг.2 позначено: 11 та 12 - пара обмоток електромагнітного зв'язку; 13 та 14 - виводи першої обмотки; 15 та 16 - виводи другої обмотки; С11-12 - ємність пари обмоток міжфазного зв'язку; І1 та І2 - зарядний струм у першій та другій обмотках міжфазного зв'язку відповідно; * - позначення початкового виводу обмотки (зірочка).

На Фіг.3 позначення співпадають із позначеннями Фіг.2.

На Фіг.4 позначено: L1-L3 - лінійні фази трифазної живильної мережі; N - нульова фаза; 17 та 18, 19 та 20, 21 та 22 - три пари обмоток міжфазного зв'язку; 23 - магнітопровід трифазного автотрансформатора; 24 - кожух.

На Фіг.5 позначено: L1-L3 - лінійні фази трифазної живильної мережі; N - нульова фаза; 25 та 26, 27 та 28, 29 та 30 - три пари обмоток міжфазного зв'язку; 31 - магнітопровід тристрижневого автотрансформатора; 32 - кожух.

На Фіг.6 позначено: L1-L3 - лінійні фази трифазної живильної мережі; N - нульова фаза; С17-18 - ємність першої пари обмоток 17 та 18 міжфазного зв'язку; С19-20 - ємність другої пари обмоток 19 та 20 міжфазного зв'язку; ; С21-22 - ємність третьої пари обмоток 21 та 22 міжфазного зв'язку; І1 - струм зарядки ємності першої пари обмоток 17 та 18 міжфазного зв'язку; І2 - струм зарядки ємностей другої та третьої пар обмоток міжфазного зв'язку; решта позначень співпадає із позначеннями Фіг.4.

На Фіг.7 позначено: L1 та L2 - лінійні фази живильної лінії мережі; N - нульова фаза; 34 та 35 - пара обмоток міжфазного зв'язку; 36 - ємність пари обмоток 34 та 35 міжфазного зв'язку; 37 - маршрут зарядного струму, показаний стрілками; 38 - двострижневий магнітопровід двофазного симетричного автотрансформатора; 39 - бак (кожух).

Склад та будова автотрансформатора для захисту електричної мережі і її приймачів від імпульсних перенапруг за першим незалежним пунктом формули винаходів. До складу кожного автотрансформатора входить котушка, принципова схема якої показана на Фіг.2, а конструкція котушки подана на Фіг.3. Кожна котушка містить дві обмотки 11 та 12 міжфазного електромагнітного зв'язку. Обмотка 11 устаткована виводами 13 та 14, а обмотка 12 устаткована виводами 15 та 16. Виводи 13 та 15 є однойменними початковими, позначеними зірочкою, а виводи 14 та 16 є однойменними кінцевими. Виводи 13 та 16, а також 14 та 15 є різнойменними виводами. Проводи цих обмоток укладені у котушці так, що кожен провід однієї обмотки оточений проводами другої обмотки, і навпаки (Фіг.3). Поперечний переріз кожного провідника показаний на кресленні у вигляді прямокутника: поперечний переріз проводу обмотки 11 показаний у вигляді світлого прямокутника, а поперечний переріз проводу обмотки 12 показаний у вигляді темнішого прямокутника. Оскільки площа дотику (через ізоляцію) проводів обмоток значна, то взаємна ємність цих обмоток складає від 10 нанофарад до 200 нанофарад і більше. Для порів-

няння вкажемо, що ємність обмотки трансформатора Y/Yo складає менше 600 пікофарад.

З метою скорочення терміну обмотки міжфазного електромагнітного зв'язку умовно названі міжфазними. Пари міжфазних обмоток між собою можуть бути з'єднані за автотрансформаторною схемою (Фіг.1, Фіг.7) або за зигзагоподібною схемою (Фіг.4-Фіг.6).

Котушки міжфазних обмоток розташовуються на стрижнях. Автотрансформатори містять лише котушки із міжфазними обмотками.

У шестифазному автотрансформаторі (Фіг.1) різнойменні виводи пар міжфазних обмоток (1 та 2, 3 та 4, 5 та 6) приєднані до нульової фази N живильної мережі, а всі інші виводи пар міжфазних обмоток по одному приєднані до однієї лінійної фази (L1, L2, L3, L4, L5, L6) шестифазної системи напруг.

У трифазному автотрансформаторі (Фіг.4-Фіг.6) одна міжфазна обмотка однієї пари послідовно з'єднана однойменними, наприклад, кінцевими виводами з одною обмоткою другої пари, в результаті чого утворені послідовні з'єднання двох міжфазних обмоток. Три такі послідовні з'єднання двох міжфазних обмоток між собою сполучені у трипроменеву зірку. Спільний вузол зірки приєднаний до нульової фази N мережі, а виводи променів зірки по одному приєднані до однієї лінійної фази (L1, L2, L3) трифазної мережі. Схеми з'єднання міжфазних обмоток, наведені на Фіг.4-Фіг.6, називають зигзагоподібними.

У пристрої, показаному на Фіг.7, застосований двофазний симетричний автотрансформатор, який має автотрансформаторну схему з'єднання міжфазних обмоток 34 та 35. Одна пара різнойменних виводів міжфазних обмоток 34 та 35 приєднана до нульового проводу N симетричної двофазної мережі, а другі різнойменні виводи обмоток 34 та 35 приєднані по одному до однієї з лінійних фаз L1 та L2 двофазної симетричної системи напруг.

Кожен багатофазний автотрансформатор виконаний симетричним.

Обмотки міжфазного електромагнітного зв'язку виконані проводом, поперечний перетин якого має прямокутну або круглу форми, а також мідною або алюмінієвою фольгою. При виготовленні обмотки міжфазного електромагнітного зв'язку площа поперечного перетину зменшена шляхом паралельного ввімкнення декількох провідників. У варіантах виконання у багатофазному автотрансформаторі принаймні частина обмоток містить провідники, які складаються із декількох провідників меншого поперечного перерізу.

У кожному автотрансформаторі один або декілька провідників принаймні однієї обмотки міжфазного електромагнітного зв'язку оточені провідниками другої обмотки міжфазного електромагнітного зв'язку і, навпаки, кожен один або декілька провідників другої обмотки міжфазного електромагнітного зв'язку оточені провідниками першої обмотки міжфазного електромагнітного зв'язку.

Робота багатофазного автотрансформатора за першим незалежним пунктом формули винаходу проходить так. Після приєднання автотрансфо-

матора до багатофазної мережі із симетричною та синусоїдною напругою в ньому протікають лише струми намагнічування; ці струми малі, вони істотно не впливають на процеси в автотрансформаторі і їх далі не розглядаємо. При приєднанні симетричного автотрансформатора до багатофазної мережі він проявляє симетруючі та фільтруючі властивості, що й поклато початок широкого застосування таких автотрансформаторів в електроенергетиці. Ознакою таких автотрансформаторів є тісний електромагнітний зв'язок між лінійними та нульовою фазами, властивий фільтрам струмів нульової послідовності.

У разі виникнення у багатофазній мережі не-симетричних режимів, які супроводжуються появою симетричних складових напруг та/або струмів нульової послідовності у лінійних проводах, або виникненні струмів у нульовому проводі, в обмотках автотрансформатора протікають струми I_m , величина яких визначається виразом (1).

$$I_m = -IN/m, \quad (1)$$

де: IN - струм у проводі нульової фази; m - кількість лінійних фаз багатофазної мережі. Вираз (1) свідчить про унікальну властивість передавати струми з проводу нульової фази у провід лінійної фази зі знаком «мінус».

Другою особливістю таких автотрансформаторів є властивість виявляти та вловлювати струми нульової послідовності основної та вищих гармонік, спричинені однофазними приймачами. Друга властивість ґрунтується на виразі (2).

$$U_0 = I_0 \cdot Z_0, \quad (2)$$

де: U_0 та I_0 - симетрична складова напруги та струму нульової послідовності відповідно; Z_0 - опір нульової послідовності. Оскільки у першому наближенні опір Z_0 прямує до нуля, то це означає, що струми I_0 автотрансформатор вловлює, компенсує з лінійними струмами, а отже не пропускає їх у багатофазну мережу.

Вище вказані властивості автотрансформатора використовуються у фільтрах струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік.

Крім цих властивостей нами виявлена властивість автотрансформатора знижувати високочастотні короточасні імпульсні напруги, викликані комутаційними та грозовими напругами. Ця властивість базується на виразі (3).

$$\Delta U = q/C, \quad (3)$$

де: ΔU та q - напруга та електричний заряд на конденсаторній батареї ємністю C відповідно. Чим більша зарядна ємність C , тим до меншої напруги зарядиться конденсатор при $q = \text{const}$. Роль конденсатора C виконують просторово зближені провідники обмоток, які створюють міжфазний електромагнітний зв'язок.

На Фіг.1 показана форма кривої імпульсної перенапруги у проводі лінійної фази $L1$ живильної мережі до (б) та після (в) пункту приєднання автотрансформатора до вказаної мережі. Як видно з Фіг.1, імпульсна напруга після пункту приєднання автотрансформатора має меншу амплітуду на величину ΔU , обумовлену зарядом ємності C , утвореної міжфазними обмотками відповідно до (3). При проходженні, наприклад, грозового імпульсу струму із проводу фази $L1$ у провід нульової

фази N заряджається міжобмоточна ємність 9. Обкладками конденсатора є провідники обмоток 1 та 2. Шлях проходження зарядного струму показаний стрілками 10. Заряд q рухається від пункту приєднання лінії $L1$ до шестифазного автотрансформатора у напрямі до нульової фази N , з'єднаної через контур заземлення із землею. Розрахунки показали, що тісний магнітний зв'язок міжфазних обмоток, намотаних проводом прямокутного та круглого перетину, або металевую фольгою, має у десятки і тисячі раз більше зарядну ємність ніж при відсутності тісного магнітного зв'язку. Прикладом для порівняння можуть бути схеми з'єднання обмоток автотрансформаторів зигзаг та зірка. Заряд q не може швидко протекти по міжфазній обмотці 1 до нейтралі N , оскільки ця обмотка має велику індуктивність. Тому рух заряду q по маршруту: $L1$ - обмотка 1 - N відсутній. Однак у заряду q є можливість швидко протекти до нейтралі N по другому маршруту: $L1$ - 9 - N , де 9 ємність між міжфазними обмотками 1 та 2. Маршрут руху заряду співпадає із напрямком струму і показаний на Фіг.1 з допомогою стрілок 10. Зазначимо, що рух заряду q по другому маршруту є швидким, оскільки індуктивності обмоток 1 та 2 є взаємно компенсовані для струму розряду q .

Принципова схема тісного електромагнітного зв'язку показана на Фіг.2, а конструктивне виконання подане на Фіг.3. Із розгляду Фіг.2 випливає, що у першому наближенні зарядний струм I_{11} від початкового виводу 13 обмотки 11 доходить до середини обмотки 11; по тому через ємність C_{11-12} потрапляє до середини обмотки 12, а від середини обмотки 12 струм I_{12} протікає у напрямку до початкового виводу 15, причому $I_{11} = I_{12}$. Це означає, що струм I_{11} для стрижня магнітопроводу є намагнічувальним, а струм I_{12} - розмагнічувальним. Тому зарядний струм ємності C_{11-12} не затягується у часі через багаторазове зменшення накопичення енергії $W_{\text{магн}}$ у магнітному полі стрижнів та магнітному полі розсіювання міжфазних обмоток.

$$W_{\text{магн}} = L \cdot (I_{11})^2 - L \cdot (I_{12})^2 \approx 0, \quad (4)$$

де: L - індуктивність обмоток 11 та 12. Це є ще одна нова властивість симетричного автотрансформатора зі зближеними міжфазними обмотками. Постійна часу заряду C_{11-12} може складати 0,001-0,1 мікросекунди. Отже заряд q внаслідок заряду ємності C_{11-12} переходить від провідника $L1$ на обкладинки конденсатора C_{11-12} , утвореного провідниками зближених міжфазних обмоток.

Величина напруги U_{11-12} на обкладинках конденсатора C_{11-12} залежить від величини заряду q та ємності C_{11-12} .

$$U_{11-12} = q_{11-12} / C_{11-12}. \quad (5)$$

Із (5) випливає висновок 1: ємність міжфазних обмоток зменшує імпульсну наднапругу у мережі.

Суть винаходу полягає у зменшенні не тільки наднапруги, але і енергії блискавки або блукаючої хвилі, яка (енергія) запасается в лінії або автотрансформаторах. Енергію W , яка запасается після наведення блукаючої хвилі або блискавки між обкладинками конденсатора, утвореного міжфазними обмотками, дорівнює:

$$W = U \cdot I \cdot t = U \cdot q = (q_{11-12})^2 / C_{11-12}. \quad (6)$$

Із (6) випливає висновок: більша ємність між обмотками міжфазного електромагнітного зв'язку обмежує енергію від блискавки та блукаючих хвиль на об'єкті, тобто яка накопичується у лінії та автотрансформаторі. Це значно полегшує процес відведення та поглинання накопиченої енергії.

Енергія блискавки завжди поділяється на дві частини: одна частина енергії витрачається в повітрі, а друга частина переноситься на найближчий об'єкт, наприклад, мережу, яка містить лінію, живильний трансформатор та додатковий автотрансформатор. Тому завдяки зарядній ємності обмоток міжфазного зв'язку блискавка вносить у автотрансформатор на два-три порядки меншу енергію.

Зауважимо, що автотрансформатори, виконані за схемами Y/Y_0 , Δ/Y_0 , Y_0 , T (Скота), які не містять тісного міжфазного зв'язку, на два-три порядки гірше подавляють імпульсні перенапруги, оскільки ємність міжфазного зв'язку між L_1 , L_2 , L_3 та N у першому випадку не перевищує 100-600 пікофарад, а при міжфазному зв'язку зарядна ємність становить 10-200 нанофарад. У випробуваному нами пристрої ємність C_{11-12} міжфазних обмоток 11 та 12 складає 130 нанофарад.

Міжфазні зв'язки діляться на два види: автотрансформаторні та зіг'загоподібні. В автотрансформаторах Фіг.1 та Фіг.7 має місце автотрансформаторний міжфазний зв'язок, а в автотрансформаторах Фіг.4-Фіг.6 - зіг'загоподібний.

До автотрансформаторів зі зіг'загоподібним зв'язком належать схеми їх виконання Z_0 , (зіг'заг (Фіг.4)), λ_0 (лямбда (Фіг.5)), Z_6 , та A_0 . Маршрути зарядних струмів автотрансформаторів цього класу подані на Фіг.6. У випадку появи імпульсної перенапруги на лінійній фазі L_1 пристрій відтягує від мережі на себе дві частини від всього заряду q (L_1). Перша частина заряду - q_{17-18} , яка відтягується із проводу лінійної фази L_1 і заряджає ємність C_{17-18} . Ця ємність заряджається струмом 11, маршрут якого вказано на Фіг.6. Друга частина заряду q_{19-22} , який відтягується від проводу лінійної фази L_1 і заряджає дві послідовно з'єднані конденсатори, які мають ємність C_{19-20} та ємність C_{21-22} . Послідовне з'єднання ємностей заряджається струмом 12, маршрут якого вказано на Фіг.6. Через симетрію схеми між струмами зарядки існує залежність: $I_2 = I_1/2$. Протікання струму I_1 по міжфазних обмотках 17 та 18 не супроводжується підмагнічуванням першого зліва стрижню магнітопроводу 7 (Фіг.4), на якому розміщені міжфазні обмотки 17 та 18, оскільки магнітні потоки, викликані протіканням зарядного струму I_1 в міжфазних обмотках 17 та 18, у цьому стрижні взаємно компенсуються. Подібно до цього зарядка ємностей C_{19-20} та C_{21-22} струмом I_2 також не приводить до підмагнічування ні першого, ні другого, ні третього стрижнів. Отже зарядка ємностей C_{17-18} , C_{19-20} , C_{21-22} є швидкодіючою через взаємну компенсацію магнітних потоків, які викликані струмами зарядки I_1 та I_2 в міжфазних обмотках.

Загальна зарядна ємність C_Σ струмам I_1 та I_2 складає (Фіг.6)

$$C_\Sigma = 3/2 * C_{17-18} \quad (7)$$

Індуктивності міжфазних обмоток практично закорочені у процесі зарядки ємностей. Завдяки вкрай малому значенню постійної часу кола заряду конденсатора, утвореного міжфазними обмотками, проходження заряду від лінійної фази L_1 до всіх ємностей відбувається у першому наближенні практично миттєво.

Відтік заряду із поверхні провідника лінійної фази L_1 супроводжується зниженням амплітудного та вольтсекундного значення імпульсної напруги на провіднику фази L_1 відповідно до (5).

Особливістю автотрансформатора з тісним міжфазним електромагнітним зв'язком є також те, що в такому автотрансформаторі зменшена шляхом екранування міжвиткова ємність (між сусідніми витками однієї і тієї ж обмотки).

Практичний інтерес становить також випадок прямого попадання блискавки у лінію передачі з дуговим перекриттям трьох лінійних проводів. У цьому випадку пристрій забезпечує низький опір заряду блискавки не тільки у моменти проходження переднього фронту, а і в наступні моменти часу (від долей мікросекунд до нескінченності). Це пояснюється тим, що:

- у перший момент струм блискавки відтягують на себе зарядні ємності;
- компенсовані практично всі індуктивності обмоток;

- опір нульової послідовності пристрою близький до резистивного опору обмоток (0.001-0,1 Ом).

Натурні випробування автотрансформаторного фільтру струмів нульової послідовності СФТЗ 40кВА, 380/220 вольт проводились блискавкою від генератора імпульсних напруг. При цьому довжина блискавки регулювалась у межах від 300мм до 600мм, що відповідає імпульсній напрузі від 150кВ до 300кВ. Після нанесення 15 ударів блискавки указаних амплітуд напруг у різні проводи, приєднані до затискачів лінійних фаз автотрансформаторного фільтру струмів нульової послідовності СФТЗ, він не був пошкодженим. Цей автотрансформаторний фільтр нульової послідовності більше трьох років продовжує нормально працювати і до тепер. Зазначимо, що ізоляція між впритул притиснутими провідниками обмоток міжфазного зв'язку, яка була розрахована на 220В діючого значення, витримала імпульсні перенапруги, які перевищують у 482...964 раз амплітудне значення 311,1В номінальної напруги 220В.

Таке застосування автотрансформатора має дві особливості:

- автотрансформатор, знижуючи багатократно напругу на входних затискачах, тим самим захищає ізоляцію не тільки приймачів та мережі, а і ізоляцію власних обмоток від пробою;

- автотрансформатор виконує свої функції параметрично, переключаючись із захисту напруг на захист від струмів; автотрансформатор не вимагає додаткового керування і додаткового устаткування.

Досвід експлуатації описаних автотрансформаторів у повітряних та кабельних мережах показав високу захищеність електронної та електромашинної техніки. Отже застосування автотрансформатора підвищує надійність роботи

як самого автотрансформатора, так і лінії мережі 380/220В та її приймачів.

Склад та будова трансформатора та/або автотрансформатора для захисту електричної мережі і її приймачів від імпульсних перенапруг за другим незалежним пунктом формули винаходів. У цьому варіанті виконання пристрою для захисту багатофазної, наприклад, трифазної мережі та її приймачів від імпульсних перенапруг та майже постійних струмів, викликаних електромагнітним імпульсом (EMI), застосований багатофазний, наприклад, трифазний трансформатор або автотрансформатор. Їх спільною ознакою є присутність тісних міжфазних електромагнітних зв'язків у первинних обмотках багатофазного трансформатора та наявність цих же зв'язків у обмотках багатофазного автотрансформатора.

Варіанти виконання первинних обмоток багатофазних трансформаторів та обмоток автотрансформаторів показані на Фіг.1, Фіг.4, Фіг.5 та Фіг.7. Вторинні обмотки трансформаторів можуть бути виконані за довільною схемою, наприклад, зиг'заг'.

Характерною особливістю багатофазного трансформатора є виконання первинної обмотки. Найбільш перспективним при застосуванні є трансформатор, обмотки якого виконані за схемою зиг'заг-зиг'заг' (Z_0/Z_0), або автотрансформатор, обмотки якого виконані за схемою зиг'заг' Z_0 або Z_6 . Помітимо, що схеми зиг'заг'ів Z_0 та Z_6 відрізняються тим, що у першій схемі (Z_0) обмотки між собою з'єднані однойменними виводами, у другій схемі (Z_6) обмотки між собою з'єднані різнойменними виводами.

До складу кожного трансформатора та або автотрансформатора входить котушка, принципова схема якої показана на Фіг.2, а конструкція котушки подана на Фіг.3. Кожна котушка містить дві обмотки 11 та 12 міжфазного електромагнітного зв'язку. Обмотка 11 устаткована виводами 13 та 14, а обмотка 12 устаткована виводами 15 та 16. Виводи 13 та 15 є однойменними початковими, позначеними зірочкою, а виводи 14 та 16 є однойменними кінцевими. Виводи 13 та 16, а також 14 та 15 є різнойменними виводами. Проводи цих обмоток укладені у котушці так, що кожен провід однієї обмотки оточений проводами другої обмотки, і навпаки (Фіг.3). Оскільки площа дотику (через ізоляцію) проводів обмоток значна, то взаємна ємність цих обмоток складає від 10 нанофарад до 200 нанофарад і більше. Для порівняння вкажемо, що ємність обмотки трансформатора Y/Y_0 складає менше 600 пікофарад.

Пари міжфазних обмоток між собою можуть бути з'єднані за автотрансформаторною схемою (Фіг.1, Фіг.7) або за зиг'загоподібною схемою (Фіг.4-Фіг.6).

Котушки міжфазних обмоток розташовуються на стрижнях. Трансформатор та автотрансформатор містять лише котушки із міжфазними обмотками.

У шестифазному трансформаторі, первинна обмотка якого показана на Фіг.1, та автотрансформаторі, виконаному за тією ж схемою Фіг.1, різнойменні виводи пар міжфазних обмоток (1 та 2, 3 та 4, 5 та 6) приєднані до нульової фази N живильної

мережі, а всі інші виводи міжфазних обмоток по одному приєднані до однієї лінійної фази (L_1 , L_2 , L_3 , L_4 , L_5 , L_6) шестифазної системи напруг.

У первинній обмотці трифазного трансформатора (Фіг.4-Фіг.6) та в обмотках автотрансформатора (Фіг.4-Фіг.6) одна міжфазна обмотка однієї пари послідовно з'єднана однойменними, наприклад, кінцевими виводами з однією обмоткою другої пари, в результаті чого утворені послідовні з'єднання двох міжфазних обмоток. Три такі послідовні з'єднання двох міжфазних обмоток між собою сполучені у трипроменеву зірку, спільний вузол якої приєднаний до нульової фази N мережі, а виводи променів зірки по одному приєднані до однієї лінійної фази (L_1 , L_2 , L_3) трифазної мережі. Схеми з'єднання міжфазних обмоток, які наведені на Фіг.4-Фіг.6, називають зиг'загоподібними.

Кожен багатофазний трансформатор або автотрансформатор виконаний симетричним.

Обмотки міжфазного електромагнітного зв'язку виконані проводом, поперечний перетин якого має прямокутну або круглу форми. Такі обмотки можуть бути виконані із мідної або алюмінієвої фольги. При виготовленні обмоток між фазного електромагнітного зв'язку площа поперечного перетину може бути зменшена шляхом паралельного ввімкнення декількох провідників. Тому у варіантах виконання у багатофазному трансформаторі або автотрансформаторі принаймні частина обмоток містить провідники, які складається із декількох провідників меншого поперечного перерізу.

У кожному трансформаторі або/та автотрансформаторі один або декілька провідників принаймні однієї обмотки міжфазного електромагнітного зв'язку оточені провідниками другої обмотки міжфазного електромагнітного зв'язку і, навпаки, кожен один або декілька провідників другої обмотки міжфазного електромагнітного зв'язку оточені провідниками першої обмотки міжфазного електромагнітного зв'язку.

Робота багатофазного трансформатора та/або автотрансформатора за другим незалежним пунктом формули винаходу виконується так. Після приєднання первинної обмотки трансформатора або автотрансформатора до багатофазної мережі із симетричною та синусоїдною напругою в ньому протікають лише струми намагнічування; ці струми малі, вони істотно не впливають на процеси в автотрансформаторі і їх далі не розглядаємо. При приєднанні симетричного трансформатора або автотрансформатора до багатофазної мережі вони проявляють симетруючі та фільтруючі властивості, що й поклало початок широкому застосуванню таких автотрансформаторів в електроенергетиці. Ознакою таких трансформаторів та автотрансформаторів є тісний електромагнітний зв'язок між лінійними та нульовою фазами, властивий, наприклад, фільтрам струмів нульової послідовності.

У разі виникнення у багатофазній мережі не-симетричних режимів, які супроводжуються появою симетричних складових напруг та/або струмів нульової послідовності у лінійних проводах, або виникненні струмів у нульовому проводі, в первинній обмотці трансформатора або обмотках автотрансформатора

рансформатора протікають струми I_m , величина яких визначається виразом (8).

$$I_m = -IN/m, \quad (8)$$

де: IN - струм у проводі нульової фази; m - кількість лінійних фаз багатофазної мережі. Вираз (1) свідчить про унікальну властивість передавати струми з проводу нульової фази у провід лінійної фази зі знаком «мінус».

Другою особливістю таких трансформатора або автотрансформатора є властивість виявляти та вловлювати струми нульової послідовності основної та вищих гармонік, спричинених однофазними приймачами. Друга властивість ґрунтується на виразі (9).

$$U_0 = I_0 \cdot Z_0 \quad (9)$$

де: U_0 та I_0 - симетричні складові напруги та напруги нульової послідовності; Z_0 - опір нульової послідовності. Оскільки у першому наближенні опір Z_0 прямує до нуля, то це означає, що струми I_0 трансформатор або автотрансформатор вловлює і не пропускає їх у багатофазну мережу.

Властивість трансформатора та/або автотрансформатора знижувати високовольтні короточасні імпульсні напруги, викликані комутаційними та грозовими напругами, ґрунтується на виразі (10).

$$\Delta U = q/C \quad (10)$$

де: ΔU та q - напруга та електричний заряд на конденсаторній батареї ємністю C . Чим більша зарядна ємність C , тим до меншої напруги зарядиться конденсатор при $q = \text{const}$. Роль конденсатора C виконують просторово зближені провідники обмоток, які створюють міжфазний електромагнітний зв'язок.

На Фіг.1 показана форма кривої імпульсної перенапруги в режимі Е1 електромагнітного імпульсу (ЕМІ) у проводі лінійної фази $L1$ живильної мережі: криві б в показують форму та розміри напруг до пункту приєднання первинної обмотки трансформатора та автотрансформатора до вказаної мережі та після неї відповідно. Як видно з Фіг.1, імпульсна напруга після пункту приєднання первинної обмотки трансформатора та автотрансформатора має меншу амплітуду на величину ΔU , обумовлену зарядом ємності C , утвореної міжфазними обмотками відповідно до (10). При проходженні, наприклад, грозового імпульсу із проводу фази $L1$ у провід нульової фази N заряджається міжобмоточна ємність 9. Обкладками конденсатора є провідники обмоток 1 та 2. Шлях проходження зарядного струму показаний стрілками 10. Заряд q рухається від пункту приєднання лінії $L1$ до первинної обмотки трансформатора та автотрансформатора у напрямі до нульової фази N , з'єднаної через контур заземлення із землею. Розрахунки показали, що тісний магнітний зв'язок міжфазних обмоток, намотаних проводом прямокутного та круглого перетину, або металевою фольгою, має у десятки і тисячі раз більшу зарядну ємність ніж при відсутності тісного магнітного зв'язку. Прикладом для порівняння можуть бути схеми з'єднання обмоток зигзаг та зірка первинної обмотки трансформатора та автотрансформатора. Заряд q не може швидко протекти по міжфазній обмотці 1 до нейтралі N , оскільки ця обмотка має велику індуктивність. Тому рух заряду q по маршруту: $L1$ - обмотка 1 - N

відсутній. Однак у заряду q є можливість швидко протекти до нейтралі N по другому маршруту: $L1$ - 9 - N , де 9 ємність між міжфазними обмотками 1 та 2. Маршрут руху заряду співпадає із напрямком струму і показаний на Фіг.1 з допомогою множини стрілок 10. Зазначимо, що рух заряду q по другому маршруту є швидким, оскільки індуктивності обмоток 1 та 2 є взаємно компенсовані для струму розряду q . Зазначимо, що при такому виконанні міжфазного зв'язку міжвиткова ємність відсутня.

Принципова схема тісного електромагнітного зв'язку показана на Фіг.2, а конструктивне виконання подане на Фіг.3. Із розгляду Фіг.2 випливає, що у першому наближенні зарядний струм I_{11} від початкового виводу 13 обмотки 11 доходить до середини обмотки 11; по тому через ємність C_{11-12} потрапляє до середини обмотки 12, а від середини обмотки 12 струм I_{12} протікає у напрямку від кінцевого виводу 16 до початкового виводу 15, причому $I_{11} = I_{12}$. Це означає, що струм I_{11} для стрижня магнітопроводу є намагнічуючим, а струм I_{12} - розмагнічуючим. Для струмів I_1 та I_2 опір обмоток має резистивний характер (індуктивний опір відсутній). Тому зарядний струм ємності C_{11-12} не затягується у часі через багатократне зменшення накопичення енергії $W_{\text{магн}}$ у магнітному полі розсіювання міжфазних обмоток.

$$W_{\text{магн}} = L \cdot (I_{11})^2 - L \cdot (I_{12})^2 \approx 0, \quad (11)$$

де: L - індуктивність обмоток 11 та 12. Це є ще одна нова властивість симетричних трансформатора та автотрансформатора зі зближеними міжфазними обмотками. Як показали наші дослідження, постійна часу заряду C_{11-12} може складати 0,001-0,1 мікросекунди. Отже заряд q внаслідок заряду ємності C_{11-12} без затримки переходить від провідника $L1$ на обкладки конденсатора C_{11-12} , утвореного провідниками зближених міжфазних обмоток.

Величина напруги U_{11-12} на обкладках конденсатора C_{11-12} залежить від величини заряду q та ємності C_{11-12} .

$$U_{11-12} = q_{11-12} / C_{11-12} \quad (12)$$

Із (12) випливає висновок: ємність міжфазних обмоток зменшує імпульсну наднапругу у мережі.

Суть винаходу в режимі Е1 електромагнітного імпульсу полягає у зменшенні у тисячі раз не тільки наднапруги, але і енергії, яка запасается в лінії, в трансформаторі та/або автотрансформаторі. Енергія W , яка запасается у процесі режиму Е1, дорівнює:

$$W = U \cdot I \cdot t = U \cdot q = (q_{11-12})^2 / C_{11-12} \quad (13)$$

Із (13) випливає висновок: більша ємність між обмотками міжфазного електромагнітного зв'язку у тисячі разів різко обмежує наднапругу та енергію в режимі Е1 на об'єкті, тобто енергію, яка накопичується у лінії, в трансформаторі та/або автотрансформаторі. Це значно полегшує процес відведення та поглинання накопиченої енергії.

Енергія ЕМІ у режимі Е2 поділяється на дві частини: одна частина енергії витрачається в повітрі, а друга частина переноситься на найближчий об'єкт, наприклад, мережу, яка містить лінію, живильний трансформатор та/або додатковий автотрансформатор. Завдяки зарядній ємності обмоток міжфазного зв'язку блискавка або ЕМІ у режимі Е1

та Е2 вносить у трансформатор та/або автотрансформатор на три порядки меншу енергію в об'єкт, тобто у мережу та трансформатор та/або автотрансформатор.

Трансформатори та автотрансформатори, виконані за схемами Y/Y_0 , Δ/Y_0 , Y_0 , T (Скота), які не містять тісного міжфазного зв'язку, на два-три порядки гірше подавляють імпульсні перенапруги, оскільки ємність міжфазного зв'язку між фазами L1, L2, L3 та N у першому випадку не перевищує 100-600 пікофарад, а при міжфазному зв'язку зарядна ємність становить 10-200 нанофарад. У випробуваному нами пристрої ємність C11-12 міжфазних обмоток 11 та 12 складає 130 нанофарад.

Міжфазні зв'язки діляться на два види: автотрансформаторні та зіг'загоподібні. В автотрансформаторах Фіг.1 та Фіг.7 має місце автотрансформаторний міжфазний зв'язок, а в автотрансформаторах Фіг.4-Фіг.6 - зіг'загоподібний.

До трансформаторів, які містять зіг'загоподібний зв'язок, належать схеми їх виконання Z_0/Z_0 , λ_0/λ_0 , Z_6/Z_6 , Z_{II}/Y_0 . До автотрансформаторів із зіг'загоподібним зв'язком належать схеми їх виконання Z_0 (зіг'заг (Фіг.4)), λ_0 (лямбда (Фіг.5)), Z_6 , та A_0 . Маршрути зарядних струмів цих пристроїв показані на Фіг.6. У випадку появи імпульсної перенапруги на лінійній фазі L1 пристрій відтягує із мережі на себе дві частини від всього заряду q (L1). Перша частина заряду - q 17-18, яка відтягується із проводу лінійної фази L1, заряджає ємність C17-18. Ця ємність заряджається струмом 11, маршрут якого вказано на Фіг.6. Друга частина заряду q 19-22, який відтягується із проводу лінійної фази L1, заряджає два послідовно з'єднані конденсатори, а саме, ємність C19-20 та ємність C21-22. Послідовне з'єднання ємностей заряджається струмом I2, маршрут якого вказано на Фіг.6. Через симетрію схеми між струмами зарядки існує залежність: $I2=I1/2$. Протікання струму I1 та I2 по міжфазних обмотках 17 та 18 не супроводжується підмагнічуванням стрижнів магнітопроводу 7 (Фіг.4, Фіг.6), на якому розміщені міжфазні обмотки 17 та 18, оскільки магнітні потоки, викликані протіканням зарядних струмів I1 та I2 в міжфазних обмотках взаємно компенсуються. Отже зарядка ємностей C17-18, C19-20, C21-22 є швидкодіючою через взаємну компенсацію магнітних потоків, які викликані струмами зарядки I1 та I2 в міжфазних обмотках.

Загальна зарядна ємність C_Σ струмам I1 та I2 складає (Фіг.6)

$$C_\Sigma = 3/2 * C17-18 \quad (14)$$

Індуктивності міжфазних обмоток практично «закорочені» у процесі зарядки ємностей. Завдяки вкрай малому значенню постійної часу кола заряду конденсатора, утвореного міжфазними обмотками, проходження заряду від лінійної фази L1 до всіх ємностей відбувається у першому наближенні практично миттєво. Особливістю автотрансформатора з тісним міжфазним електромагнітним зв'язком є також те, що в такому автотрансформаторі зменшена шляхом екранування міжвиткова ємність (між сусідніми витками однієї і тієї ж обмотки).

Отже застосування трансформатора та автотрансформатора як у режимі Е1 так і в режимі Е2 тисячократно знижує імпульсні напруги ЕМІ у мережі та її приймачах. Цей ефект досягнуто завдяки зарядній ємності міжфазних обмоток та взаємної компенсації магнітних потоків, викликаних зарядними струмами.

Розглянемо роботу трансформатора та автотрансформатора в режимі Е3 ЕМІ. В цьому режимі в проводах лінійних фаз індукуються майже (квазі) постійні струми однакової полярності у всіх фазах. Розглянемо роботу первинних обмоток трансформатора та обмоток автотрансформатора, які містять обмотки міжфазного електромагнітного зв'язку трансформаторного типу (Фіг.1 та Фіг.7). Індуковані майже постійні однакові за величиною струми протікають від проводів лінійних фаз мережі L1-L6 (Фіг.1) через первинні обмотки трансформатора або/та обмотки автотрансформатора до проводу нульової фази N. Індуковані струми створюють магнітні поля як у стрижнях магнітопроводів, так і магнітні поля розсіювання в просторі обмоток. У трансформаторах, які мають слабкий міжфазний зв'язок, наприклад, Y/Y_0 стрижні магнітопроводу насичуються, що викликає різке збільшення струмів та реактивної потужності. Внаслідок цього такі трансформатори відключається від мережі, а енергосистема розвалюється. При застосуванні пропонуваного трансформатора або/та автотрансформатора насичення магнітопроводу не відбувається через важливу властивість обмоток міжфазного електромагнітного зв'язку. Вона проявляється у взаємній компенсації магнітних полів у стрижнях та компенсації магнітних полів розсіювання у просторі обмоток. Так, майже постійні струми в обмотках 1 та 2 (Фіг.1) викликають магнітні потоки в лівому крайньому стрижні магнітопроводу 7, які повністю компенсуються; майже постійні струми в обмотках 3 та 4, викликають магнітні потоки в середньому стрижні магнітопроводу 7, які повністю компенсуються; майже постійні струми в обмотках 5 та 6, викликають магнітні потоки в правому крайньому стрижні магнітопроводу 7, які теж повністю компенсуються, через те що направлені в різноіменні виводи обмоток. Подібним чином через тісний магнітний зв'язок (Фіг.3) компенсуються магнітні поля розсіювання.

Розглянемо роботу первинних обмоток трансформатора та обмоток автотрансформатора, які містять обмотки міжфазного електромагнітного зв'язку зіг'загоподібного типу (Фіг.4-Фіг.6). При протіканні індукованих майже постійних однакових по фазах струмів від проводів лінійних фаз мережі L1-L3 (Фіг.4, Фіг.6) через первинні обмотки трансформатора або/та обмотки автотрансформатора до проводу нульової фази N індуковані струми створюють магнітні поля як у стрижнях магнітопроводів, так і магнітні поля розсіювання в просторі обмоток. При цьому проявляється також важлива властивість обмоток міжфазного електромагнітного зв'язку. Вона проявляється у двох компенсаціях: магнітних полів у стрижнях та магнітних полів розсіювання у просторі обмоток. Так, майже постійні струми в обмотках 17 та 18 (Фіг.4 та Фіг.6) викликають магнітні потоки в лівому крайньому стрижні

магнітопроводу 23, які повністю компенсуються; майже постійні струми в обмотках 19 та 20 викликають магнітні потоки в середньому стрижні магнітопроводу 23, які повністю компенсуються; майже постійні струми в обмотках 21 та 22 викликають магнітні потоки в правому крайньому стрижні магнітопроводу 23, які теж повністю компенсуються. Подібним чином через тісний магнітний зв'язок (Fig.3) компенсуються магнітні поля розсіювання. Отже при проходженні майже постійних струмів через первинну обмотку трансформатора та через автотрансформатор в режимі ЕЗ ЕМІ магнітопроводу трансформатора та автотрансформатора не заходять у насичення, не викликають накиду реактивної потужності, не призводять до різкого зростання струмів трансформатора та автотрансформатора і тим підвищують живучість в умовах ЕМІ і продовжують нормально працювати не реагуючи на ЕМІ.

У режимах Е1, Е2 та Е3 ЕМІ трансформатор та автотрансформатор забезпечує низький опір нульової послідовності потужним високовольтним зарядам та постійним струмам, які не впливають на їх працездатність.

Проведені експериментальні дослідження підтвердили нечутливість запропонованих трансформатора або/та автотрансформатора із міжфазними електромагнітними зв'язками до майже постійних струмів, подібних до виникаючих у режимі ЕЗ ЕМІ.

Різні варіанти схеми виконання трансформаторів та автотрансформаторів по різному реагують на всі стадії проходження ЕМІ. Найбільш перспективними схемами захисту є:

- застосування трифазних трансформатора Z_0/Z_0 та/або автотрансформатора Z_0 з обмотками міжфазного зв'язку як пристрою для захисту трифазних мереж 220/380В та 110кВ-750кВ з глухо заземленою нейтраллю від імпульсних перенапруг блискавки, а також від імпульсних перенапруг і майже постійних струмів, викликаних ЕМІ;

- застосування трифазного автотрансформатора Z_0 з обмотками міжфазного зв'язку як пристрою для захисту трифазної мережі 6кВ-35кВ із ізольованою нейтраллю від імпульсних перенапруг, викликаних блискавкою та ЕМІ.

Трансформатор та автотрансформатор із міжфазними електромагнітними зв'язками можуть бути застосовані для захисту електропостачання військових, державних, економічно-промислових, атомних і т.і. об'єктів, наприклад, атомних електростанцій від дії блискавки та режимів Е1, Е2 та ЕЗ ЕМІ.

Список посилань.

1. Р.Рюдербег. Переходные процессы в электроэнергетических системах. Изд. иностр. лит., М., 1955.

2. V.Rakov, M.Uman. "Lightning". Cambridge.2005.

3. B. Mechanic. Transient voltage surge suppressor. Патент США № 6560086 МПК H02H 9/00. Публ.06.05.2003.

4. H.-P.Stroebele, W.Meissner, U.Guenther, B.Hilgenberg, J.Reinhardt. Damping circuit for a two-wire DUS system. Патент США №6639774, МПК H02H 3/16. Опыбл.28.10.2003circuit for a two-wire DUS system. Патент США № 6639774 МПК H02H3/16. Публ.28.10.2003.

5. F.Girard. Lightning arrestor device for high power electric installations. Патент США №6657843, МПК H01C 7/12, H02H 3/20. Публ.02.12.2003.

6. R.Proebsting. Overvoltage protection circuits that utilize capacitively bootstrapped variable voltages. Патент США №6798629, МПК H02H 3/22. Публ.28.09.2004.

7. M.L.Hoopers. AC voltage protection circuit. Патент США №6816350, МПК H02H. 3/24. Публ.09.11.2004

8. B.Epstein. Plug and circuitry for grounding AN element. Патент США №7193837, МПК H02H 9/00. Публ.20.03.2007.

9. Gerrish, et al. Zenner triggered overvoltage protection device. Патент США №7196889, МПК H02H 9/00. Публ. 27.03.2007.

10. Smith, et al. Over voltage protection scheme for synchronous buck converter. Патент США №7254000, МПК H02H 9/00. Публ. 7.08.2007.

11. F. D'Alessandro. Lightning protection device and method. Патент США №7265961, МПК H02H 1/00). Публ.04.09.2007.

12. Covi, et al. Over-voltage protection for voltage regulator modules of a parallel power system. Патент США №7298601, МПК H02H 9/00. Публ.20.11.2007.

13. H.Fischer, J.Lindolf, M.B.Sommer. Integrated circuit with electrostatic discharge protection. Патент США №7317603, МПК H02H 9/00. Публ.8.01.2008.

14. J.M.Hopkins. Electrical surge protection using in-package has discharge system. Патент США №7349189, МПК H02H 9/00. Публ.25.03.2008.

15. P.L.Lehuede. Protection for over tensions of industrial and home networks. Патент США №7283341, МПК H02H 9/00. Публ.16.10.2008.

16. Goldbach, et al. Surge protection device with thermal protection, current limiting, failure indication. Патент США №6477025, МПК H05K 9/00. Опыбл.05.11.2002.

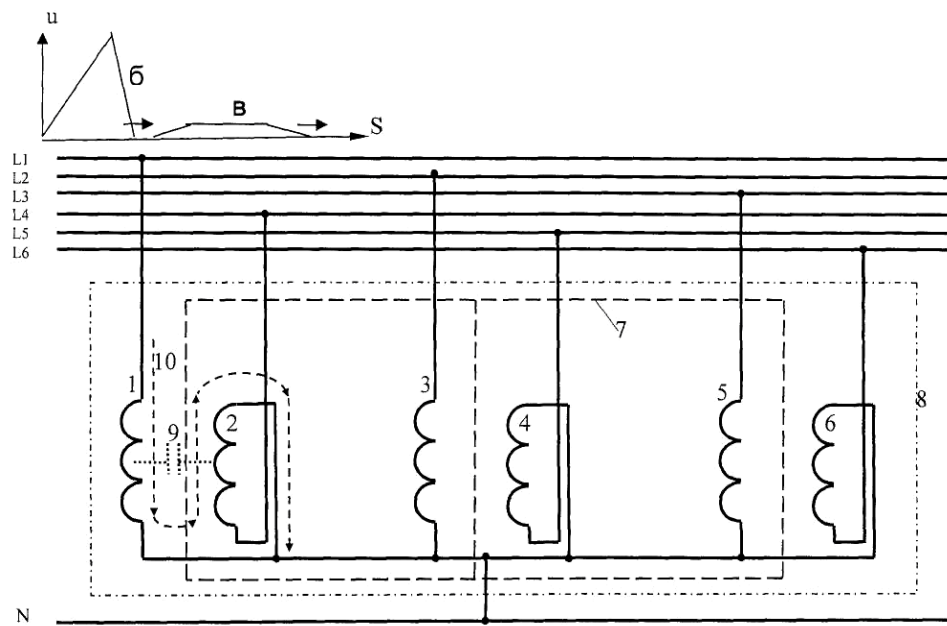
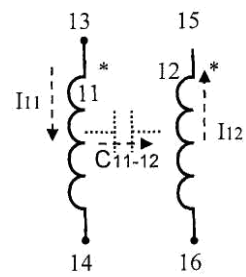
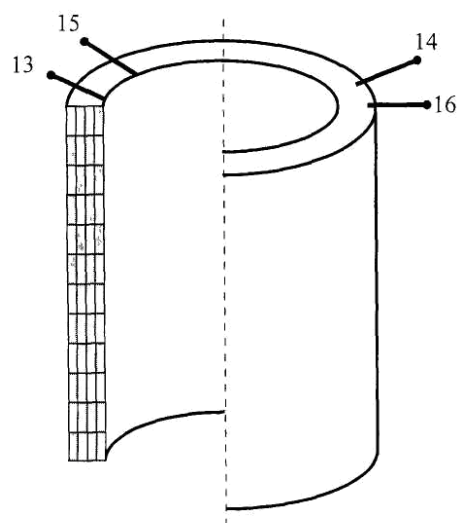
17. А.Зоричев. Молниезащита: зонавая концепция. «Новости электротехники», 2008, №3(27). www.news.elteh.ru.

18. Martin P.T. Lightning protection circuit for digital subscriber loop interface. Патент США №4577255, МПК H02H 9/04. Публ.18.03.1986.

19. Wang Jie. Power symmetrical anti-lightning energy-saving three phase transformer. Патент Китаю №2739777, МПК H01F 30/12. Публ.09.11.2005.

20. Shioda Hireshi. Transformer winding with phase-shifting winding. Патент Японії №62224912, МПК H02M 5/14; H01F 30/12; H02M 5/02; H01F 30/06. Публ.02.10.1987.

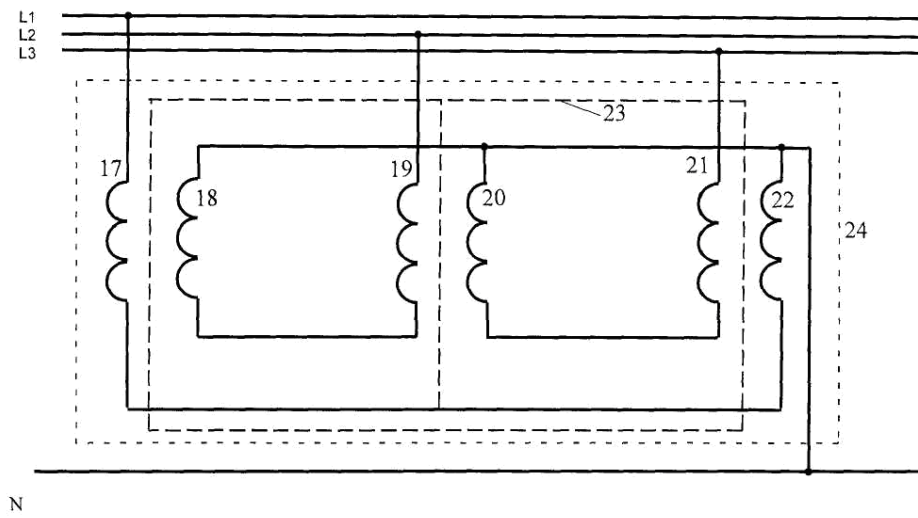
21. You Dagian. Lightning protection antiinterference capacitive transformer.Патент Китаю №1494094, МПК H01F 27/28; H01F 30/06; H01F 30/10; H01F 30/12. Публ.05.05.2004.

 Φ ir.1 Φ ir.2 Φ ir.3

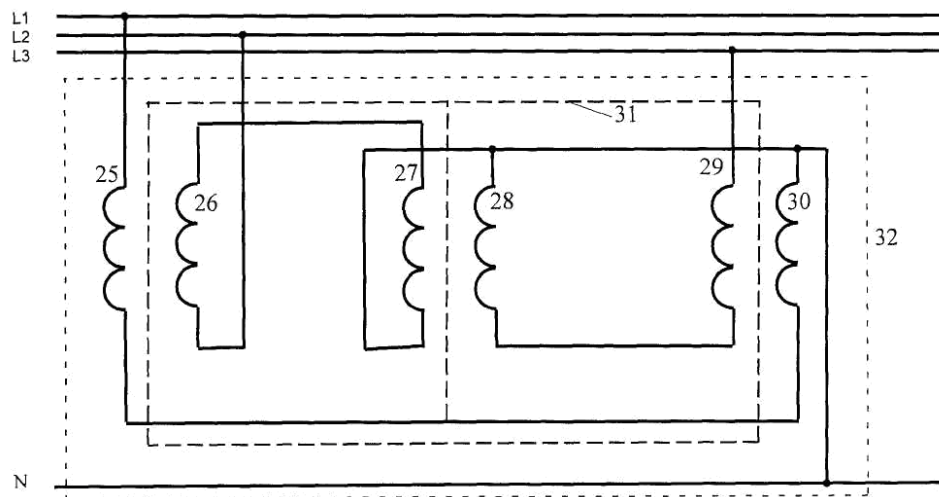
21

90938

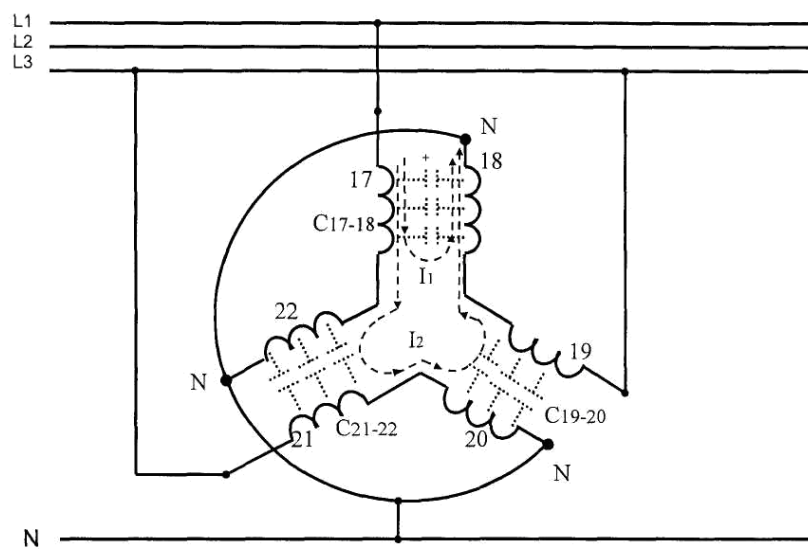
22



Φir.4



Φir.5



Φir.6

