

Винахід належить до галузі електротехніки і призначений для захисту електроустановок і ліній електропередач у мережах 6-220кВ з ізолюваною і 110-220кВ з ефективно заземленою нейтраллю шляхом обмеження до безпечних розмірів напруг, струмів і частот при мінливих режимах енергосистем, технологічних режимах підприємств, аварійних станах, ферорезонансних, резонансних, перехідних і коливальних процесах.

Відомий пристрій обмеження ферорезонансних процесів і резонансних перенапруг (див. авторське посвідчення колишнього СРСР №1834601, Н02Н9/04, 1990), що містить силовий трансформатор, нейтраль первинної обмотки якого заземлена через дугогасильну котушку, трансформатор напруги, нейтраль первинної обмотки якого заземлена через високоомний резистор. Нейтралі трансформаторів з'єднані між собою через низькоомний резистор, який шунтується вимикачем. Крім цього, до нейтралі силового трансформатора підключено однофазний трансформатор напруги, у вторинну обмотку якого включено реле напруги, у ланцюг заземлення дугогасильної котушки, включено реле струму, а виходи обох реле включені в ланцюг керування вимикача, що шунтує низькоомний резистор. Пристрій ефективно обмежує перенапруги і струми резонансних і ферорезонансних процесів підвищених потужностей у мережі, з силовими трансформаторами, чим забезпечується підвищена ефективність обмеження зазначених процесів у мережі промислових підприємств, особливо при наявності дугових печей.

Проте, пристрій не забезпечує зниження перенапруг до безпечних розмірів при тривалому впливі дугових замикань на землю, комутаційних процесів і резонансних явищ. Крім цього, застосування великої кількості складових елементів знижують надійність пристрою, підвищують його вартість.

Відомо комбінований трансформаторний пристрій високовольтних мереж з ізолюваною нейтраллю (див. патент колишнього СРСР №1838859, Н02Н9/06, 1990), що містить силовий трансформатор, високовольтний реактор, включений між нейтраллю високовольтної обмотки силового трансформатора і землею, а також низьковольтний, реактор, включений у розімкнутий ланцюг «трикутника» вторинної обмотки силового трансформатора. Для забезпечення спільної або роздільної роботи реакторів застосована схема автоматики з використанням блока високовольтних резисторів, підключених безпосередньо до нейтралі високовольтної обмотки силового трансформатора паралельно реактору.

Проте, даний пристрій також не усуває небезпечних впливів перехідних і коливальних процесів, не забезпечує необхідної якості електричної енергії при складних технологічних режимах у дугових печах або аварійних ситуаціях і не забезпечує належного симетрируючого ефекту, при змінах фазних напруг у процесі технологічного розплаву шихти в дугових і руднотермічних печах. До недоліків пристрою варто віднести складність системи керування, наявність достатньої кількості електронних і електромеханічних складових, що знижує надійність роботи. Наявність двох струмообмежуючих реакторів і системи керування їхніми параметрами підвищує вартість і знижує конкурентоздатність такого рішення.

Відомо пристрій обмеження параметрів електромагнітних процесів при технологічних і аварійних режимах у високовольтних електричних мережах промислових підприємств (див. патент України №29262А, Н02Н7/04, 9/00, 1998), що містить силовий трансформатор, первинна обмотка якого з'єднана за схемою «зірка» з виведеною нейтраллю, а вторинна обмотка - за схемою розімкнутий «трикутник», однофазний високовольтний реактор, підключений до виводів вторинної обмотки. Нейтраль первинної обмотки силового трансформатора підключена до високовольтного вводу реактора, а низьковольтний вивід реактора заземлений. Пристрій забезпечує підвищення надійності роботи високовольтних електричних мереж і зниження витрат на захист електроустановок.

Даний пристрій приймаємо за прототип.

Недоліками прототипу є:

- пристрій не забезпечує обмеження внутрішніх високочастотних перенапруг у режимі недокомпенсації однофазних струмів замикання на землю в аварійних режимах; пристрій придатний тільки для мереж 6-10-35кВ з ізолюваною нейтраллю і не може бути використаний для мереж 110-150-220кВ з ефективним заземленням нейтралі;

- пристрій недостатньо ефективно обмежує коливальні процеси в мережі при режимах недокомпенсації в зв'язку з відсутністю гасильних опорів.

В основу винаходу поставлена задача розробки пристрою обмеження параметрів електромагнітних процесів у високовольтних мережах, що забезпечує ефективний захист від перенапруг у мінливих технологічних, аварійних і післяаварійних режимах високовольтних мереж з ізолюваною й ефективно заземленою нейтраллю, підвищення якості електричної енергії і зниження електричних витрат.

Розв'язання поставленої задачі забезпечує пристрій обмеження параметрів електромагнітних процесів у високовольтних мережах, який містить силовий трансформатор, первинна обмотка якого з'єднана за схемою «зірка» з виведеною нейтраллю, а вторинна обмотка - за схемою розімкнутий «трикутник», реактор, підключений до виводів розімкнутого ланцюга вторинної обмотки і при цьому високовольтним вводом - до нейтралі, а низьковольтним вводом - до заземлюючого контуру, за рахунок того, що містить комутаційний апарат з ланцюгом керування й опір, які з'єднані послідовно і призначені для шунтування реактора, трансформатор напруги, високовольтна обмотка якого з'єднана одним виводом з нейтраллю, іншим - з заземлюючим контуром, а до низьковольтної обмотки підключено ланцюг керування комутаційного апарата, заземлюючий комутаційний апарат з ланцюгом керування, що містить струмові і проміжні реле, трансформатор струму, через первинну обмотку якого з'єднується низьковольтний вивід реактора з вторинною обмоткою силового трансформатора, а до вторинної обмотки підключено ланцюг керування заземлюючого комутаційного апарата, другий опір підключено послідовно в заземлюючий ланцюг реактора, і який шунтується заземлюючим комутаційним апаратом, другий трансформатор струму, первинна обмотка якого підключена в заземлюючий ланцюг реактора, а до вторинної обмотки підключено ланцюг керування заземлюючого комутаційного апарата.

Технічний результат, що досягається при використанні винаходу:

- забезпечується обмеження внутрішніх високочастотних перенапруг у режимі недокомпенсації однофазних струмів замикання на землю в аварійних режимах; застосовується не тільки для мереж 6-10-35кВ з ізолюваною нейтраллю, але і може бути використане для мереж 110-150-220кВ з ефективним заземленням нейтралі;

- ефективно обмежуються коливальні і перехідні процеси в мережі при режимах недокомпенсації, завдяки наявності гасильних опорів;
- знижуються внутрішні перенапруги високих частот, що виникають через наявність ємкісних зв'язків між обмотками високої напруги, які живлять, і обмотками низької напруги, які живляться, силових трансформаторів;
- обмежуються до регламентованих розмірів перенапруги при однофазних струмах короткого замикання в мережах 110÷220кВ з ефективним заземлюванням нейтралі;
- забезпечується електромагнітна сумісність пристрою, який заявляється, з лінійними струмообмежуючими реакторами і батареями статичних конденсаторів;
- забезпечується симетрируючий ефект при технологічних коливаннях фазних напруг.

Пристрій, що заявляється, пояснюється наведеним нижче описом і схемою (див. Фіг.). По винаходу пристрій обмеження параметрів електромагнітних процесів у високовольтних мережах містить силовий трифазний трансформатор Т, у якого первинна обмотка 1 з'єднана за схемою «зірка» з виведеною нейтраллю 2 і за допомогою комутаційного апарата QF підключена до системи шин 3, а вторинна обмотка 4 з'єднана за схемою розімкнутий «трикутник», регульований реактор L, підключений високовольтним вводом до нейтралі 2 і до одного з виводів розімкнутого «трикутника» вторинної обмотки 4, а низьковольтним виводом через первинну обмотку 5 трансформатора ТА1 до іншого виводу розімкнутого «трикутника» вторинної обмотки 4, комутаційний апарат 6 і опір R1, які з'єднані послідовно і призначені для шунтування реактора, трансформатор напруги TV, високовольтна обмотка 7 якого підключена одним виводом до нейтралі 2, іншим - до заземлюючого контуру, а до низьковольтної обмотки 8 підключено ланцюг керування комутаційним апаратом 6, що містить реле напруги KV і проміжне реле KL1.

У заземлюючий ланцюг реактора послідовно через первинну обмотку 9 другого трансформатора струму ТА2 підключено заземлюючий опір R2, який шунтується заземлюючим комутаційним апаратом 10. До вторинних обмоток 11 і 12 трансформаторів струму ТА1, ТА2 підключено ланцюг керування заземлюючим комутаційним апаратом 10, що містить реле струму KA1, KA2 і проміжні реле KL2 і KL3.

Пристрій працює в такий спосіб. У вихідному стані при нормальному режимі експлуатації електричних мереж 6÷220кВ з ізолюваною і 110÷220кВ з ефективно заземленою нейтраллю пристрій знаходиться в режимі «очікування», тобто при включеному комутаційному апараті QF силовий трансформатор Т знаходиться під напругою живлючої секції 3 у режимі холостого ходу. Пристрій працює в автономному режимі зі своїми функціональними зв'язками керування від трансформатора напруги TV і трансформаторів струму ТА1 і ТА2 через відповідні реле напруги KV і реле струму KA1, KA2, а також проміжні реле KL1, KL2, KL3 і не залежить від існуючих на підстанції засобів релейного захисту, автоматики і телемеханіки, маючи тільки індивідуальну струмову відсічку без витримки часу, яка діє на відключення у випадку можливого uszkodження його елементів.

При виникненні у мережі ємкісного струму однофазного замикання на землю суцільно металевих між виводами реактора L виникає фазна напруга, яка забезпечує появу у ланцюзі його обмотки, а, отже, і у місці замикання індуктивного струму, який є рівним по величині ємкісному струму замикання на землю, або незначно перевищує його, що виключає можливість виникнення великих uszkodжень ізоляції, особливо кабельної ізоляції між фазами в результаті теплового ефекту. Режим ефективної компенсації виключає виникнення міжфазних коротких замикань, що призводять до аварійного відключення uszkodженого фідера від джерела живлення з порушенням технологічних процесів споживачів.

В умовах експлуатації мереж напругою 6÷35 и 110÷220кВ в більшості випадків виникають дугові замикання на землю при пробоях компаундної ізоляції кабелів або перекритті поверхні зовнішньої ізоляції, забрудненої промисловими виносками в період туманів або мряки, які призводять до перенапруг між неушкодженими фазами та землею до рівня як мінімум  $3,6 \div 5,5 U_{\phi}$  і  $2,5 \div 3,5 U_{\phi}$  відповідно, а між ізолюваною нейтраллю первинних обмоток силових трансформаторів до рівня  $2,1 \div 2,8 U_{\phi}$  при частотах порядку  $2,5 \div 3,8 \text{ кГц}$  зазначених перенапруг. При виникненні внутрішніх перенапруг зазначених розмірів і частот з метою вникнуто можливості uszkodження ізоляції нейтралі 2 первинної обмотки 1 і виводів розімкнутого «трикутника» вторинної обмотки 4 силового трансформатора Т, а також безпосередньо реактора L, у вторинному ланцюзі однофазного трансформатора напруги TV спрацьовує реле напруги KV, що через проміжне реле KL1 включає шунтуючий комутаційний апарат 6, який підключає шунтуючий опір R1 паралельно реактору L і вторинній обмотці 4, чим забезпечується підвищення ефективності заземлення нейтралі 2 первинної обмотки 1, а, отже, зниження до безпечного розміру напруги між виводами вторинної обмотки 4 при зберіганні припустимого режиму максимального насичення й ефективності не тільки компенсації однофазних струмів дугових замикань на землю, але і зниження супутніх їм внутрішніх перенапруг до розмірів на неушкоджених фазах не більше  $1,9 \div 2,0 U_{\phi}$ , а в нейтралі 2 до  $1,1 \div 1,2 U_{\phi}$  при практично промисловій частоті.

У випадку струмового перевантаження вторинної обмотки 4 спрацьовує реле струму KA1 у вторинному ланцюзі трансформатора струму ТА1 і через проміжне реле KL2 відключається заземлюючий комутаційний апарат 10, чим забезпечується автоматичне підключення в нейтраль 2 заземлюючого опору R2, що забезпечує необхідне зниження напруги між виводами реактора L і вторинної обмотки 4 до зникнення дугового замикання.

Автоматичне підключення активних опорів R1 і R2 у залежності від режиму компенсації дугових замикань на землю виключає можливість виникнення ферорезонансних явищ у трансформаторах напруги контролю ізоляції, встановлених на живлячих системах шин, а також усувають можливість появи перенапруг при неповнофазних режимах. Після усунення дугових замикань на землю виключається поява перехідних і коливальних процесів на живлячих секціях.

При повному знеструмленні системи шин 110÷220кВ з ізолюваною або ефективно заземленою нейтраллю комутаційним апаратом, наприклад, повітряним вимикачем із ємкісними дільниками напруг (на схемі не показаний), на відділках виникають ферорезонансні явища між індуктивністю трансформатора контролю ізоляції типу НКФ і результуючою ємністю віддільників повітряного вимикача, що призводять до появи на шинах перенапруг, що досягають розмірів порядку  $2,1 \div 2,2 U_{\phi}$  з частотами 3,5 і 7 гармонік.

Наявність напруги, що перевищує фазний розмір, виключає можливість роботи автоматичного повторного вмикання (АПВ) (на схемі не показане) системи шин 3 під напругу з боку джерел живлення, що призводить до необґрунтованого і тривалого обмеження споживачів електричної енергії, порушенню технологічних процесів на підприємствах, а також можливого виникнення аварійних режимів. Більше того, зазначені високочастотні перенапруги призводять до електричних пробів ізоляції зазначених трансформаторів напруги, підключених до живлючих систем шин, а перенасичення їх магнітопроводів магнітним потоком з відповідним зниженням індуктивних опорів високовольтних обмоток є причиною теплового пробоя їхньої ізоляції.

Проте, наявність пристрою виключає можливість виникнення даних явищ, завдяки шунтуванню існуючих трансформаторів напруги контролю ізоляції первинною 1 і вторинною 4 обмотками силового трансформатора Т, опори яких можуть ефективно знижуватися, завдяки припустимому перенасиченню їхньої магнітної системи.

У випадку недостатньої ефективності зниження напруги між нейтраллю 2 і заземлюючим контуром зростає напруга на високовольтній обмотці трансформатора напруги TV, яка знову призводить до спрацьовування реле напруги KV і проміжного реле KL1 з наступним вмиканням шунтуючого комутаційного апарата 6, а, отже, підключенням шунтуючого опору R1, що забезпечує часткове шунтування реактора L і вторинної обмотки 4, підвищення результативної ефективності заземлення нейтралі, що призводить до зниження напруги до безпечних розмірів, що виключають цілком можливість виникнення зазначеного явища.

Якщо в процесі повного знеструмлення системи шин 3 виникають неповнофазні режими в результаті відмови однієї або двох фаз комутаційного апарата з боку джерел живлення, то виникає резонанс напруги, при якому напруга на реакторі L і виводах вторинної обмотки 4 може перевищувати припустимий розмір, а, отже, з'являється необхідність вмикання вже зазначеного електричного зв'язку вторинного ланцюга.

У випадку виникнення резонансу струму спрацьовує реле струму KA2 у вторинному ланцюзі трансформатора струму ТА2 і через проміжне реле KL3 відключається заземлюючий комутаційний апарат 10, чим забезпечується введення в ланцюг опору R2, падіння напруги на якому знижує напругу на виводах вторинної обмотки 4 і реактора L до безпечного розміру.

При виникненні в мережах 110÷220кВ з будь-яким режимом заземлення нейтралі однофазних струмів короткого замикання на відстані до 15-20км від живлючої підстанції можуть виникати явища, так званих, «кілометричних ефектів», що представляють собою резонансні коливальні контури між результативною індуктивністю і ємністю мережі. У процесі відключення зазначених струмів короткого замикання на розбіжних контактах комутаційного апарата (на схемі не показаний) неушкоджених фаз виникають високочастотні напруги, що перевищують розмір напруги їхньої електричної міцності, а між розбіжними контактами комутаційного апарата закороченої фази з'являється пульсуюча дуга, струм якої сумірний по розміру з однофазним струмом короткого замикання. Зазначені режими призводять до ушкодження комутаційних апаратів, повному знеструмленню системи шин і розвитку аварій у багатьох випадках у циклічно-каскадній послідовності з великими економічними збитками.

Проте, і при даних аварійних режимах, вже в початковий період виникнення однофазного короткого замикання пристрій знижує можливість появи «кілометричних ефектів», завдяки тому, що резонансні напруги обмежуються підвищенням ефективності заземлення нейтралі мережі шунтуючим опором R1 при вмиканні шунтуючого комутаційного апарата 6 у результаті спрацьовування його ланцюга керування (реле напруги KV і проміжне реле KL1), а резонансні струми обмежуються заземлюючим опором R2 при відключенні заземлюючого комутаційного апарата 10 в результаті спрацьовування його ланцюга керування (реле струму KA2 і проміжне реле KL3).

У вищевідзначених аварійних режимах у процесі виникаючих комутацій цілого ряду комутаційних апаратів у електрично пов'язаній мережі високих напруг можливо виникнення перехідних і коливальних процесів з перенапругами і струмами небезпечних розмірів. Проте, і в цьому випадку припустиме перенасичення магнітної системи пристрою з одночасним зниженням індуктивних опорів первинної 1 і вторинної 4 обмоток, а також шунтування виводів реактора L і вторинної обмотки 4 забезпечують у комплексі зниження перенапруг до безпечних розмірів, у той час, як введення опору R2 у нейтраль 2 первинної обмотки 1 силового трансформатора Т обмежує до регламентованого рівня розмір струму.

При зникненні (усуненні) ненормальних режимів пристрій автоматично повертається у вихідний стан.

Джерела інформації:

1. Авторське посвідчення колишнього СРСР №1834601, Н02Н9/04, 1990.
2. Патент колишнього СРСР №1838859, Н02Н9/06, 1990.
3. Патент України №29262А, Н02Н7/04, 9/00, 1998.

