



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 45452

(13) C2

(51) 6 H02K3/40

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

(54) ВИСОКОВОЛЬТНА ЕЛЕКТРИЧНА МАШИНА ЗМІННОГО СТРУМУ (ВАРІАНТИ) ТА РОЗПОДІЛЬНА АБО МАГІСТРАЛЬНА МЕРЕЖА

1

(21) 98126367
(22) 27.05.1997
(24) 15.04.2002
(86) PCT/SE97/00891, 27.05.1997
(31) 9602078-9
(32) 29.05.1996
(33) SE
(31) 9602079-7
(32) 29.05.1996
(33) SE
(31) 9700335-4
(32) 03.02.1997
(33) SE
(31) 9700347-9
(32) 03.02.1997
(33) SE
(46) 15.04.2002, Бюл. № 4, 2002 р.
(72) Лейон Матс , SE, Берггрен Бертіль , SE, Гертмар Ларс , SE, Нюрен Ян-Андерс , SE, Сьоренсен Ерланд , SE
(73) АББ АБ, SE
(56) Патент США № 5036165, опубл. 1991
(57) 1. Високовольтна електрична машина змінного струму, що призначена для безпосереднього підключення до розподільної або магістральної мережі (16), яка має щонайменше одну обмотку, виконану щонайменше одним ізолюваним несучим струм провідником (4), яка **відрізняється** тим, що навколо зазначеного провідника (4) укладено перший шар (6) з напівпровідниковими властивостями, навколо зазначеного першого шару укладено суцільний ізолюючий шар (7), і навколо зазначеного ізолюючого шару укладено другий шар (8) з напівпровідниковими властивостями, причому передбачено засоби заземлення (18, 21, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34-40, 42, 44, 46, 48, 52) для з'єднання щонайменше однієї точки зазначеної обмотки з "землею".
2. Машина за п. 1, яка **відрізняється** тим, що потенціал зазначеного першого шару, по суті, дорівнює потенціалу провідника.
3. Машина за п. 1 або п. 2, яка **відрізняється** тим, що зазначений другий шар виконано таким чином, що він утворює суттєво еквівалентну поверхню навколо зазначеного провідника.
4. Машина за п. 3, яка **відрізняється** тим, що зазначений другий шар має певний потенціал.

2

5. Машина за п. 4, яка **відрізняється** тим, що зазначений певний потенціал є потенціалом землі.
6. Машина за будь-яким з п. п. 1 - 5, яка **відрізняється** тим, що щонайменше два суміжних шари мають суттєво однакові коефіцієнти теплового розширення.
7. Машина за будь-яким з п. п. 1 - 6, яка **відрізняється** тим, що зазначений несучий струм провідника є багатожильним, причому лише меншість жил не ізолювані одна від одної.
8. Машина за будь-яким з п. п. 1 - 7, яка **відрізняється** тим, що кожний з зазначених трьох шарів нерухомо сполучений з суміжним шаром, по суті, уздовж усієї поверхні з'єднання.
9. Високовольтна електрична машина змінного струму, що має магнітну систему, призначену для створення високої напруги, з магнітним осердям і щонайменше однією обмоткою, яка **відрізняється** тим, що зазначену обмотку виконано кабелем, що містить одну або більше несучих струм багатожильних провідників, причому навколо кожного провідника прокладено внутрішній напівпровідниковий шар, навколо зазначеного внутрішнього напівпровідникового шару прокладено шар з суцільного ізолюючого матеріалу, і навколо зазначеного ізолюючого суцільного шару прокладено зовнішній напівпровідниковий шар, причому передбачено засоби заземлення для з'єднання щонайменше однієї точки зазначеної обмотки з "землею".
10. Машина за п. 9, яка **відрізняється** тим, що зазначений кабель додатково має металевий екран і оболонку.
11. Машина за будь-яким з п. п. 1 - 10, яка **відрізняється** тим, що зазначені засоби заземлення включають засоби безпосереднього заземлення обмотки.
12. Машина за будь-яким з п. п. 1 - 10, яка **відрізняється** тим, що зазначені засоби заземлення включають засоби заземлення обмотки через малий активний опір.
13. Машина зап. 12, яка **відрізняється** тим, що має обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення через малий активний опір містять низькоомний резистор, включений між нейтральною точкою і "землею".
14. Машина за п. 12, яка **відрізняється** тим, що

(13) C2

(11) 45452

(19) UA

має обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення через малий активний опір містять резистор, приєднаний до вторинної обмотки трансформатора, первинну обмотку якого включено між нейтральною точкою і "землею".

15. Машина за будь-яким з п. п. 1 - 10, яка **відрізняється** тим, що зазначені засоби заземлення включають засоби заземлення обмотки через малу індуктивність.

16. Машина за п. 15, яка **відрізняється** тим, що має обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення через малу індуктивність містять котушку індуктивності малої індуктивності, включену між нейтральною точкою і "землею".

17. Машина за п. 15, яка **відрізняється** тим, що має обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення через малу індуктивність містять котушку індуктивності, приєднану до вторинної обмотки трансформатора, первинну обмотку якого включено між нейтральною точкою і "землею".

18. Машина за будь-яким з п. п. 1 -10, яка **відрізняється** тим, що зазначені засоби заземлення включають засоби заземлення обмотки через великий активний опір.

19. Машина за п. 18, яка **відрізняється** тим, що має обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення через великий активний опір містять високоомний резистор, включений між нейтральною точкою і "землею".

20. Машина за п. 18, яка **відрізняється** тим, що має обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення через великий активний опір містять резистор, приєднаний до вторинної обмотки трансформатора, первинну обмотку якого включено між нейтральною точкою і "землею".

21. Машина за будь-яким з п. п. 1-10, яка **відрізняється** тим, що зазначені засоби заземлення включають засоби заземлення обмотки через велику індуктивність.

22. Машина за п. 21, яка **відрізняється** тим, що має обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення через велику індуктивність містять котушку індуктивності великої індуктивності, включену між нейтральною точкою і "землею".

23. Машина за п. 21, яка **відрізняється** тим, що має обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення через велику індуктивність містять котушку індуктивності, приєднану до вторинної обмотки трансформатора, первинну обмотку якого включено між нейтральною точкою і "землею".

24. Машина за будь-яким з п. п. 1 - 10, яка **відрізняється**

мається там, що має обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення включають реактор, приєднаний до вторинної обмотки трансформатора, первинну обмотку якого включено між нейтральною точкою і "землею", причому зазначений реактор має такі характеристики, що ємкісний струм під час короткого замикання на землю суттєво нейтралізується рівнозначною йому індуктивною складовою струму, зумовленою реактором.

25. Машина за будь-яким з п. п. 1-10, яка **відрізняється** тим, що зазначені засоби заземлення включають засоби зміни імпедансу з'єднання із "землею" під час короткого замикання на "землю".

26. Машина за будь-яким з п. п. 1 -10, яка **відрізняється** тим, що зазначені засоби заземлення включають активну схему.

27. Машина за будь-яким з п. п. 1 -10, яка **відрізняється** тим, що зазначені засоби заземлення включають заземлюючий трансформатор, виконаний по схемі зірка-трикутник.

28. Машина за будь-яким з п. п. 1 -10, яка **відрізняється** тим, що зазначені засоби заземлення включають заземлюючий трансформатор, виконаний по схемі "зигзаг" і з'єднаний з машиною з боку мережі.

29. Машина за будь-яким з п. п. 1 - 10, яка **відрізняється** тим, що має обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення включають режекторний фільтр, настроєний на n-у гармоніку.

30. Машина за будь-яким з п. п. 1 - 10, яка **відрізняється** тим, що має обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення включають режекторний фільтр, що може бути перемкнутий і відстроєний від n-ої гармоніки.

31. Машина за п. 29 або п. 30, яка **відрізняється** тим, що зазначена n-а гармоніка є третьою гармонікою.

32. Машина за будь-яким з п. п. 1 - 10, яка **відрізняється** тим, що має обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення включають пристрій захисту від перенапруг, включений між зазначеною нейтральною точкою і "землею".

33. Машина за будь-яким з п. п. 18-31, яка **відрізняється** тим, що має обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а між зазначеною нейтральною точкою і "землею" паралельно зазначеним засобам заземлення включено пристрій захисту від перенапруг.

34. Розподільна або магістральна мережа, до якої безпосередньо підключена щонайменше одна високовольтна машина змінного струму, яка **відрізняється** тим, що містить щонайменше одну машину за будь-яким з п. п. 1-33.

Винахід стосується високовольтної електричної машини змінного струму з щонайменше однією обмоткою, призначеної для безпосереднього під-

ключення до розподільної або магістральної мережі.

Такі генератори з номінальною напругою до

36кВ описано в роботі "Paul R. Siedler. 36kV Generators Arise from Insulation Research, Electrical World, October 15, 1932, pp. 524 - 527. Ці генератори мають обмотки, виконані провідником з відносно високовольтною ізоляцією, яка складається з шарів з різними діелектричними постійними. Ізоляційний матеріал, що використовується, являє собою різні комбінації трьох компонентів: листової слюди, лаку і паперу.

У публікації Інституту дослідження енергії (Power Research Institute) EPRI, EL-3391, April 1984 запропоновано конструкцію генератора для створення таких високих напружень, що генератор може бути безпосередньо включений в електричну мережу без проміжного трансформатора. Передбачається, що такий генератор має надпровідний ротор. Намагніченість, що створюється полем надпровідника, уможливорює використання обмотки достатньої товщини з повітряними зазорами для протидії електричним силам. Однак запропонований ротор має складну структуру з дуже товстою ізоляцією, яка значно збільшує розмір машини. Крім того, для ізоляції і охолодження торцевих секцій котушки необхідно вдаватися до спеціальних заходів.

Згідно з винаходом, високовольтними електричними машинами змінного струму вважаються обертальні електричні машини, наприклад, генератори на електростанціях, призначені для вироблення електроенергії, машини подвійного живлення, машини із зовнішніми полюсами, синхронні машини, каскади асинхронних конверторів, а також силові трансформатори. При приєднанні таких машин (за винятком трансформаторів) до розподільних або магістральних мереж (тобто електромереж) для перетворення напруги до рівня напруги мережі, яке лежить у діапазоні 130 - 400кВ, раніше використовували трансформатор.

Виготовлення обмоток таких машин з ізолюваного провідника з високовольтною твердою ізоляцією, подібною тій, що застосовується у кабелях для передачі електроенергії, дозволяє збільшити напругу машини до таких величин, що ці машини можуть бути безпосередньо з'єднані з будь-якою електромережею без використання проміжного трансформатора. Таким чином, необхідність в цьому трансформаторі відпадає. Типовим робочим діапазоном напруг для таких машин є 30 - 800кВ.

У машинах цього типу особлива увага має бути надана проблемі заземлення.

Заземлення генераторних систем і інших аналогічних електричних систем включає спеціальні заходи для з'єднання електричної системи з нульовим потенціалом. Коли в системі є так звана нейтральна точка, її часто з'єднують із "землею" безпосередньо або через відповідний опір.

Часто інші точки системи також з'єднують з "землею". Якщо з "землею" з'єднано одну точку системи, то система є заземленою доти, поки існує цей гальванічний зв'язок.

Спосіб заземлення обирають відповідно до конструкції системи. Для системи, що включає генератор, безпосередньо з'єднаний з підвищуючим трансформатором, виконаним за схемою "зірка-трикутник", де обмотки трансформатора, з'єд-

нані трикутником, знаходяться під напругою генератора, найчастіше використовуються такі варіанти:

заземлення через великий активний опір, відсутність заземлення, резонансне заземлення.

Заземлення через великий активний опір звичайно виконують шляхом включення низькоомного резистора у вторинну обмотку розподільного трансформатора, в той час, як первинну обмотку трансформатора з'єднано з нейтральною точкою генератора і "землею". Таке заземлення ілюстровано фіг.1, на якій генератор 2 з'єднано з мережею 9 через підвищуючий трансформатор 3, виконаний за схемою зірка-трикутник. Первинну обмотку 11 розподільного трансформатора включено між нейтральною точкою генератора 2 і "землею". У вторинну обмотку 10 трансформатора включено резистор 12.

Таке ж заземлення може бути отримане при включенні високоомного резистора безпосередньо між нейтральною точкою генератора і землею.

Незаземлена електрична система не має ніякого спеціального з'єднання із "землею". Таким чином, незаземлений генератор не має ніякого з'єднання між нейтральною точкою і "землею", за винятком, можливо, трансформаторів напруги для подачі електроенергії до різних реле та приладів.

Резонансне заземлення звичайно здійснюють, як показано на фіг.1, однак резистор 12 замінюється реактором 12а. Реактивний опір реактора обирають таким, щоб ємнісний струм у лінії при короткому замиканні на "землю" нейтралізувався рівною індуктивною складовою струму, зумовленою реактором 12а.

Можливе також ефективне заземлення через низькоомний або активно-реактивний опір. Таке заземлення зменшує перехідні перенапруги, але збільшує струми короткого замикання на землю, які можуть викликати внутрішні пошкодження машини.

Заземлення через низькоомний активний опір досягається включенням спеціального резистора між нейтраллю генератора і "землею". Резистор може бути з'єднаний землею безпосередньо або непрямо, тобто включенням у вторинну обмотку трансформатора, первинну обмотку якого включено між нейтраллю генератора і "землею" (див. фіг.1).

Заземлення через низькоомний активно-реактивний опір виконується аналогічно заземленню через низькоомний активний опір з заміною резистора на котушку індуктивності. Величина індуктивного опору котушки (у омах) менша за опір при резонансному заземленні, згаданому вище.

Заземлення через реактивний опір (індуктивне заземлення) виконують як і заземлення через низькоомний активний опір, замінюючи активний опір індуктивністю. Значення індуктивного опору (у омах) менше, ніж для резонансного заземлення.

У системах з кількома генераторами, з'єднаними роз'єднувачами з загальною лінією живлення або шиною, використовують низькоомне активне або реактивне заземлення.

Ефективне заземлення нейтралі генератора має загалом ті ж переваги і недоліки, що і зазем-

лення через низькоомний активний опір або через низькоомний активно-реактивний опір при деяких відмінностях.

Система вважається ефективно заземленою, якщо виконані певні вимоги, щодо імпеданса заземлення. У ефективно заземленій системі максимальна напруга між фазою і "землею" у незакорочених фазах у разі замикання на "землю" обмежується 80% міжфазної напруги.

Систему електропостачання заземлюють, головним чином, з'єднанням з "землею" нейтральних точок трансформаторів системи, і таке заземлення може не включати ніяких опорів (за винятком контактних опорів), тобто бути так званим безпосереднім заземленням, або ж включати деякий опір.

Відомі способи заземлення описано, наприклад, в публікації Інституту інженерів електротехніки і радіоелектроніки IEEE C62.92-1989, IEEE Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems, Part II - Grounding of Synchronous Systems, Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, USA, September, 1989.

Якщо нейтраль генератора заземлено через низькоомний активний опір або індуктивність, як обговорювалося вище, то створюється шлях для третьої гармоніки струму з нейтралі генератора у "землю". Якщо з генератором безпосередньо з'єднано безпосередньо заземлену обмотку трансформатора або інший генератор, заземлений через малий опір, у нормальних умовах між ними будуть циркулювати струми третьої гармоніки.

Способи розв'язання проблем, пов'язаних з третьою гармонікою і виникаючих при роботі генераторів-двигунів змінного струму, яких стосується винахід, описано у заявках на патент Швеції 9602078-9 і 9700347-9.

Також відомий пат. США 5036165, в якому описана електрична машина змінного струму, призначена для безпосереднього підключення до розподільної або магістральної мережі та розподільна або магістральна мережа з такою машиною. Машина має щонайменше одну обмотку, виконану щонайменше одним ізолюваним несучим струм провідником. Однак назовні обмотки вказаної електричної машини утворюються електричні поля, що викликає виникнення токів третьої гармоніки, а це в свою чергу викликає необхідність використання додаткових засобів запобігання впливу токів третьої гармоніки на роботу електричної машини, що ускладнює конструкцію та викликає зростання витрат її монтаж. Крім того, наявність у електричних мережах таких машин веде до втрат потужності.

Задачею винаходу є створення високовольтної електричної машини змінного струму, придатної для безпосереднього підключення до розподільних або магістральних мереж, конструктивні особливості якої забезпечують запобігання виникнення токів третьої гармоніки.

Поставлена задача, вирішується тим, що у високовольтній електричній машині змінного струму, призначеної для безпосереднього підключення до розподільної або магістральної мережі, яка має щонайменше одну обмотку, виконану щонайменше одним ізолюваним несучим струм провідни-

ком, згідно з винаходом, що навколо зазначеного провідника укладено перший шар з напівпровідниковими властивостями, навколо зазначеного першого шару укладено суцільний ізолюючий шар, і навколо зазначеного ізолюючого шару укладено другий шар з напівпровідниковими властивостями, причому передбачено засоби заземлення з'єднання щонайменше однієї точки зазначеної обмотки з "землею". Важлива перевага машини згідно з винаходом заснована на тому, що електричне поле у торцевих частинах обмоток назовні від другого напівпровідникового шару майже дорівнює нулю. Таким чином, немає необхідності контролювати електричні поля поза обмоткою, а концентрація поля не виникає ні в межах шару, ні в торцевих частинах обмотки, ні в проміжних зонах між ними.

Рекомендовано, щоб потенціал зазначеного першого шару, по суті, дорівнював потенціалу провідника.

Можливо, щоб зазначений другий шар було виконано таким чином, що він утворював суттєво еквівалентну поверхню навколо зазначеного провідника.

Доцільно, щоб зазначений другий шар мав певний потенціал.

Бажано, щоб зазначений певний потенціал був потенціалом землі.

Переважно, щоб щонайменше два суміжних шари мали суттєво однакові коефіцієнти теплового розширення.

Пропонується, щоб зазначений несучий струм провідник був багатожилливим, причому лише меншість жил не ізолювані одна від одної.

Кожний з зазначених трьох шарів може бути нерухомо сполученим з суміжним шаром, по суті, уздовж усієї поверхні з'єднання.

Поставлена задача вирішуються також тим, що у високовольтній електричній машині змінного струму, що має магнітну систему, призначену для створення високої напруги, з магнітним осердям і щонайменше однією обмоткою, згідно з винаходом, зазначену обмотку виконано кабелем, що містить один або більше несучих струм багатожилливих провідників, причому навколо кожного провідника прокладено внутрішній напівпровідниковий шар, навколо зазначеного внутрішнього напівпровідникового шару прокладено шар з суцільного ізолюючого матеріалу, і навколо зазначеного ізолюючого суцільного шару прокладено зовнішній напівпровідниковий шар, причому передбачено засоби заземлення для з'єднання щонайменше однієї точки зазначеної обмотки з "землею".

Рекомендовано, щоб зазначений кабель додатково мав металевий екран і оболонку.

Бажано, щоб зазначені засоби заземлення включали засоби безпосереднього заземлення обмотки.

Зазначені засоби заземлення можуть включати засоби заземлення обмотки через малий активний опір.

Доцільно, щоб електрична машина мала обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення через малий активний опір містять низькоомний резистор, включений між нейтральною точкою і "землею".

Переважно, щоб машина мала обмотки, з'єд-

нані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення через малий активний опір містять резистор, приєднаний до вторинної обмотки трансформатора, первинну обмотку якого включено між нейтральною точкою і "землею".

Зазначені засоби заземлення можуть включати засоби заземлення обмотки через малу індуктивність.

Машина також може мати обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення через малу індуктивність містять котушку індуктивності малої індуктивності, включену між нейтральною точкою і "землею".

Обмотки, можуть бути також з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення через малу індуктивність містять котушку індуктивності, приєднану до вторинної обмотки трансформатора, первинну обмотку якого включено між нейтральною точкою і "землею".

Зазначені засоби заземлення також можуть включати засоби заземлення обмотки через великий активний опір.

Найбільш доцільно, щоб машина мала обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення через великий активний опір містять високоомний резистор, включений між нейтральною точкою і "землею".

Також доцільно, щоб машина мала обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення через великий активний опір містять резистор, приєднаний до вторинної обмотки трансформатора, первинну обмотку якого включено між нейтральною точкою і "землею".

Зазначені засоби заземлення можуть включати засоби заземлення обмотки через велику індуктивність.

Обмотки можуть бути з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення через велику індуктивність містять котушку індуктивності великої індуктивності, включену між нейтральною точкою і "землею".

Також доцільно, щоб обмотки, були з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення через велику індуктивність містили котушку індуктивності, приєднану до вторинної обмотки трансформатора, первинну обмотку якого включено між нейтральною точкою і "землею".

Обмотки, можуть бути з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення можуть включати реактор, приєднаний до вторинної обмотки трансформатора, первинну обмотку якого включено між нейтральною точкою і "землею", причому зазначений реактор має такі характеристики, що ємкісний струм під час короткого замикання на землю суттєво нейтралізується рівнозначною йому індуктивною складовою струму, зумовленою реактором.

Бажано, щоб зазначені засоби заземлення включали засоби зміни імпедансу з'єднання із "землею" під час короткого замикання на "землю".

Зазначені засоби заземлення можуть включати активну схему.

Зазначені засоби заземлення можуть також

включати заземлюючий трансформатор, виконаний по схемі зірка-трикутник.

Окрім того, зазначені засоби заземлення можуть включати заземлюючий трансформатор, виконаний по схемі зигзаг і з'єднаний з машиною з боку мережі.

Пропонується також, щоб машина мала обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення включали режекторний фільтр, настроєний на n-у гармоніку.

Обмотки також мають обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення включають режекторний фільтр, що може бути перемкнутий і відстроєний від n-ої гармоніки.

Вказується, що зазначена n-я гармоніка є третьою гармонікою.

Переважно, щоб машина мала обмотки, з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а зазначені засоби заземлення включали пристрій захисту від перенапруг, включений між зазначеною нейтральною точкою і "землею".

Пропонується, щоб обмотки були з'єднані зіркою, з доступною нейтральною точкою, а між зазначеною нейтральною точкою і "землею" паралельно зазначеним засобам заземлення було включено пристрій захисту від перенапруг.

Задачею винаходу є також створення розподільної або магістральної мережі, в якій використовується обладнання, яке може бути підключено безпосередньо до неї і конструктивні особливості якого забезпечує запобігання виникнення токів третьої гармоніки, а цим самим запобігання втра-там потужності.

Поставлена задача вирішується тим, що розподільна або магістральна мережа до якої безпосередньо підключена щонайменше одна високовольтна машина змінного струму, згідно з винаходом містить щонайменше одну машину за будь-яким з пп.1 - 33.

Як вказано вище, щонайменше два суміжних шари мають, по суті, однакові коефіцієнти теплового розширення. Таким чином, не виникають дефекти, тріщини або інші порушення, що можуть бути викликані тепловими зсувами у обмотці.

Згідно з іншим втіленням, як вказано вище, зазначені засоби заземлення включають засоби заземлення обмотки через малий активний опір. Таким чином, зводяться до помірних величин перехідні перенапруги і струм короткого замикання на "землю".

Згідно з ще одним бажаним втіленням машина має обмотку, з'єднану зіркою, і, маючи доступну нейтральну точку, заземлюється через великий активний опір, тобто резистор, підключений до вторинної обмотки трансформатора, первинну обмотку якого включено між нейтральною точкою і "землею". При цьому резистор, що використовується у вторинній обмотці трансформатора, є порівняно низькоомним і має жорстку конструкцію. Прийнятні величини резистора уможливають зменшення перехідних перенапруг до безпечних рівнів. Крім того, під час короткого замикання завдяки зменшенню струмів короткого замикання обмежуються механічні напруження і пошкодження. Такий заземлюючий пристрій більш економіч-

ний, ніж безпосереднє включення високоомного резистора між нейтраллю генератора і "землею".

Згідно з ще одним втіленням машина має обмотку, сполучену зіркою, і має доступну нейтральну точку, а заземлення виконується через реактор, підключений до вторинної обмотки трансформатора, первинна обмотка якого включена між нейтральною точкою і "землею", причому зазначений реактор має такі характеристики, що ємкісний струм під час короткого замикання на землю, по суті, нейтралізується рівною індуктивною складовою струму, зумовленою реактором. При цьому результуючий струм короткого замикання значно зменшується завдяки утвореному таким чином паралельному резонансному контуру, причому струм знаходиться, по суті, у фазі з напругою короткого замикання. У цьому випадку відновлення напруги у закороченій фазі відбувається дуже повільно, і тому у резонансній системі заземлення будь-яке замикання на землю перехідного характеру буде автоматично погашене.

Згідно з іншими втіленнями машини, засоби заземлення включають заземлюючий трансформатор, виконаний за схемою зірка-трикутник, або заземлюючий трансформатор, виконаний за так званою схемою "зигзаг" і з'єднаний з машиною з боку мережі. Використання таких заземлюючих трансформаторів еквівалентне заземленню через малу індуктивність або через малий активний опір і створює однакові струми короткого замикання і перехідні перенапруги.

Далі для більш докладного пояснення винаходу на прикладах описано варіанти втілення машини згідно з винаходом з посиланнями на супроводжуючі креслення, де:

фіг.1 ілюструє відомий спосіб заземлення синхронного генератора,

на фіг.2 наведено приклад ізолюваного провідника, що використовується в обмотках машини згідно з винаходом,

на фіг.3 наведено незаземлену трифазну машину (генератор або двигун, з'єднаний зіркою і приєднаний до системи електропостачання),

на фіг.4 - 13 наведено різні приклади заземлення машини, виконаної по схемі зірка і зображеної на фіг.3,

на фіг.14 показано машину згідно з винаходом, а саме, генератор або двигун, з'єднаний трикутником і приєднаний до системи електропостачання, і

фіг.15 ілюструє використання заземлюючого трансформатора у системі фіг.14.

Фіг.2 містить приклад ізолюваного провідника, який може використовуватися в обмотках машини згідно з винаходом. Такий ізолюваний провідник 4 містить кілька неізолюваних і, можливо, ізолюваних жил 5. Навколо провідника 4 укладено внутрішній напівпровідниковий шар 6, який знаходиться в контакт з щонайменше з деякими з неізолюваних жил 5. Цей напівпровідниковий шар 6 у свою чергу оточений основною ізоляцією кабелю у вигляді виготовленого екструзією суцільного ізолюючого шару 7. Ізолюючий шар обгорнуто зовнішнім напівпровідниковим шаром 8. Площа перетину провідника у кабелі може складати від 80 до 3000 мм², а зовнішній діаметр кабелю - від 20 до 250 мм.

На фіг.3 схематично показано незаземлену

високовольтну електричну машину змінного струму, тобто генератор або двигун 14, виконані по схемі зірка і безпосередньо підключені до системи 16 електропостачання.

На фіг.4 показано засоби заземлення, призначені для захисту від перенапруги, у вигляді захисного розрядника 18 на нелінійному опорі, включеного між нейтральною точкою 20 машини 14, з'єднаної зіркою, і "землею". Такий розрядник 18 на нелінійному опорі, з'єднаний з нейтральною точкою, захищає ізолюваний провідник обмотки машини від короткочасних перенапруг, наприклад перенапруг, викликаних ударом блискавки.

На фіг.5 наведено втілення винаходу з використанням високоомного резистора 22, включеного паралельно розряднику 18 на нелінійному опорі. Розрядник 18 на нелінійному опорі працює в цьому втіленні таким же чином, як і у варіанті, показано на фіг.4, причому резистор 22 використовується для виявлення замикань на "землю" шляхом вимірювання напруги на ньому.

На фіг.6 показано втілення винаходу з заземленням нейтральної точки 20 через великий активний опір. У цьому варіанті використано принцип, аналогічний відомому рішення, описаному для фіг.1. Резистор 24 підключено до вторинної обмотки 26 трансформатора, первинна обмотка 28 якого з'єднує нейтральну точку 20 машини 14 з землею. Резистор 24 має жорстку конструкцію і є низькоомним у порівнянні з високоомним резистором, який був би потрібен при безпосередньому з'єднанні нейтральної точки 20 і "землі" для отримання аналогічного результату. Отже, вимоги до резистора, що стосуються напружень, які він може витримати, можуть бути знижені. Крім того, у цьому випадку розрядник 18 на нелінійному опорі включено паралельно первинній обмотці 28. У цьому втіленні винаходу механічні напруження і пошкодження під час короткого замикання фази на землю зменшуються завдяки обмеженню струму короткого замикання. Перехідні перенапруги знижуються до безпечного рівня, і пристрій заземлення є більш економічним, ніж пристрій з безпосереднім включенням резистора.

Резонансне заземлення машини здійснюється подібним чином, а саме, шляхом заміни резистора 24 реактором з такими характеристиками, що ємнісний струм під час короткого замикання фази на землю нейтралізується рівною індуктивною складовою струму, зумовленою реактором. Таким чином, повний струм короткого замикання зменшується дією паралельного резонансного контуру і знаходиться, по суті, у фазі з напругою короткого замикання. Після припинення замикання відновлення напруги на закороченій фазі буде відбуватися дуже повільно і визначатися відношенням індуктивності до ефективного опору з'єднаних трансформатора і реактора. Відповідно, у резонансній системі заземлення будь-яке замикання на землю перехідного характеру буде автоматично погашене. Таким чином, резонансні засоби заземлення зменшують струм замикання на землю фактично до нуля, зменшуючи механічні напруження. Припускається продовження роботи машини після виникнення короткого замикання фази на "землю" доти, поки не буде здійснене належне відклю-

чення.

На фіг.7 наведено втілення винаходу з розрядником 18 на нелінійному опорі, включеному між нейтральною точкою 20 і "землею", і заземлюючим трансформатором 30, з'єднаним з машиною 14 з боку системи електропостачання. Заземлюючий трансформатор 30, виконаний по схемі зірка-трикутник, має нейтральну точку зірки, сполучену з "землею", в той час, як обмотки, сполучені трикутником, ізольовані. Заземлюючі трансформатори звичайно використовуються в системах, які не мають заземлення або мають з'єднання з землею через високий опір. Як компонент системи заземлюючий трансформатор не несе ніякого навантаження і у нормальних умовах не впливає на роботу системи. У випадках дисбалансу заземлюючий трансформатор швидко забезпечує низький опір у схемі нульової послідовності. Таким чином, заземлюючий трансформатор еквівалентний заземленню через малу індуктивність або малий активний опір, тобто створює такі ж струми короткого замикання і перехідні перенапруги.

Заземлюючий трансформатор може також бути виконаний по так званій схемі зигзаг, з спеціальною конфігурацією обмоток (див., наприклад, Paul M. Anderson, "Analysis of Faulted Power Systems", The Iowa State University Press/Ames, 1983, pp. 255 - 257).

Крім того, для заземлення можна використати допоміжний силовий трансформатор.

На фіг.8 показано втілення винаходу з використанням низькоомного резистора 32, включеного між нейтральною точкою 20 машини 14 і "землею". Головною перевагою такого заземлення є його здатність обмежувати перехідні і тимчасові перенапруги. Однак, у разі замикання на землю однієї фази струми будуть вищими. Крім того, у нормальних умовах струми третьої гармоніки будуть підвищеними.

На фіг.9 показано альтернативне втілення машини згідно з винаходом, у якому резистор 32 заміщено котушкою 34 з малою індуктивністю, включеною між нейтральною точкою 20 і "землею". Заземлення через малу індуктивність працює, по суті, таким же чином, як заземлення через низькоомний опір. Індуктивний опір 34 (у омах) менший за величину, необхідну при резонансному заземленні (фіг.6).

Як альтернатива безпосереднього з'єднання нейтральної точки 20 із "землею" через резистор 32 або котушку індуктивності 34, вони можуть бути з'єднані за допомогою трансформатора, первинна обмотка якого включена між нейтральною точкою 20 і "землею", а у вторинну обмотку включено резистор-або котушку індуктивності (фіг.6).

На фіг.10 показано втілення винаходу, у якому два послідовно з'єднаних активно-реактивні опори 36 і 38 включено між нейтральною точкою 20 машини 14 і "землею", причому опір 36 малий, а опір 38 великий. Опір 38 може бути закорочений пристроєм 40. При нормальній роботі короткозамикаючий пристрій 40 розімкнено для мінімізації струмів третьої гармоніки. У разі короткого замикання на землю пристроєм 40 керують таким чином, щоб він закоротив опір 38, внаслідок чого потенціал у нейтральній точці 20 буде малим, а струм на "зем-

лю" великим.

У разі внутрішнього замикання на землю у машині 14 опір 38 не закорочується. Тому напруга у нейтральній точці 20 буде високою, але струм на землю буде обмежений. Такий варіант є бажаним, оскільки високий струм може викликати пошкодження.

Щоб вирішити проблеми, зумовлені наявністю струмів третьої гармоніки при безпосередньому підключенні електричної машини змінного струму до трифазної електромережі, тобто коли між машиною і мережею немає підвищуючого трансформатора, можуть бути використані засоби заземлення у вигляді режекторного фільтра 35, 37, настроєного на третю гармоніку, разом з пристроєм 39 захисту від перенапруги (фіг.11). Фільтр містить паралельний резонансний контур, що складається з індуктивного опору 35 і ємнісного опору 37. Параметри фільтра 35, 37 і пристрою 39 обирають такими, щоб при нормальній роботі паралельний резонансний контур був здатний поглинати третю гармоніку машини 14, обмежуючи в той же час перехідні і тимчасові перенапруги. У разі замикання пристрій 39 обмежує напругу замикання тим, що при значному замиканні струм замикання тече через нього. У разі однофазного замикання на землю струми будуть вищими у порівнянні, наприклад, з варіантом заземлення через великий активний опір, оскільки загальний опір малий.

На фіг.12 показано втілення винаходу, згідно з яким засоби заземлення включають розстроєний фільтр, включений паралельно пристрою 40 захисту від перенапруги, який перемикається для придушення третьої гармоніки. Такі фільтри можуть бути виконані різними способами. На фіг.12 наведено приклад, де дві котушки індуктивності 42, 44 включені послідовно, а конденсатор 46 включений паралельно котушкам 42, 44. Крім того, паралельно котушці 44 включено короткозамикаючий пристрій 48.

Короткозамикаючим пристроєм 48 керують таким чином, щоб змінити характеристики фільтра, замикаючи накоротко індуктивний опір 44 у випадку виявлення можливості резонансу для третьої гармоніки між фільтром, машиною 14 і мережею 16. Див. заявку на патент Швеції 9700347-9. Таким чином, при нормальній роботі струми третьої гармоніки значно обмежуються. У разі однофазного замикання на землю перехідні і тимчасові перенапруги будуть обмежені, а струми будуть підвищеними, як і для випадку фіг.11.

Фіг.13 ілюструє втілення винаходу, в якому нейтральну точку 20 машини 14 безпосередньо з'єднано з "землею" з'єднанням 21. Таке безпосереднє заземлення у випадку замикання на землю обмежує перехідні і тимчасові перенапруги, але створює великі струми. При нормальній роботі струм третьої гармоніки від нейтральної точки 20 машини на "землю", буде порівняно великим.

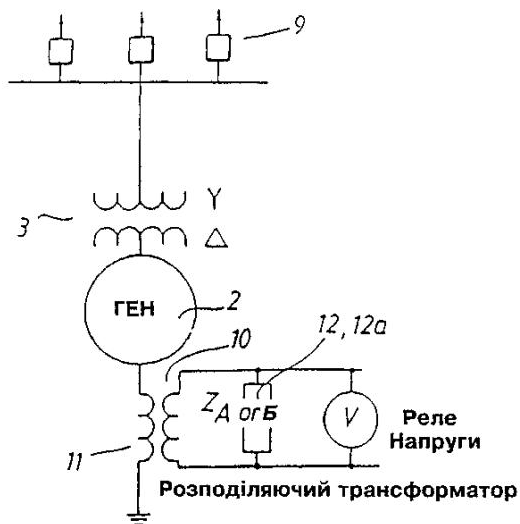
Згідно з винаходом, засоби заземлення машини для забезпечення з'єднання нейтральної точки з землею можуть містити активну схему з необхідним імпедансом.

На фіг.14 показано трифазну машину 50, з'єднану трикутником і підключену безпосередньо до розподільної або магістральної мережі 16.

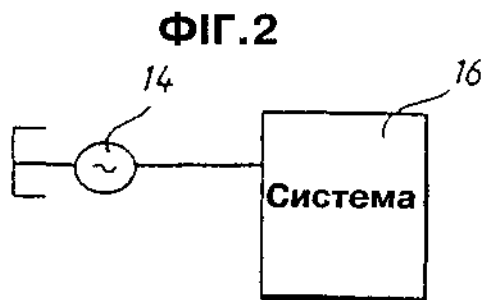
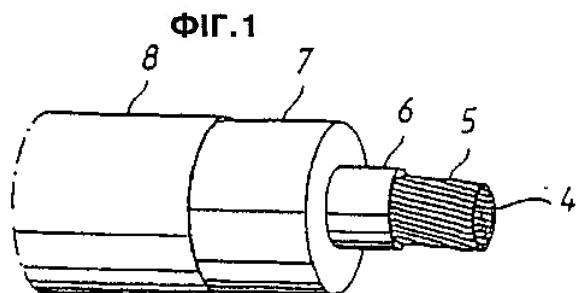
У цьому випадку до машини 50 з боку мережі може бути підключений заземлюючий трансформатор типу, що використовується у втіленні винаходу, ілюстрованому на фіг.7. Як і у втіленні винаходу фіг.7, заземлюючий трансформатор може бути з'єднаним за схемою трикутник-зірка з заземленою нейтральною точкою зірки, або бути вико-

наним за так звану схему зигзаг, тобто мати з'єднання $Z - 0$, де Z заземлено. Заземлюючий трансформатор обмежує тимчасові перенапруги.

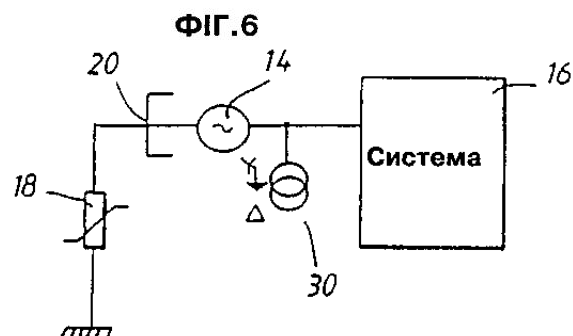
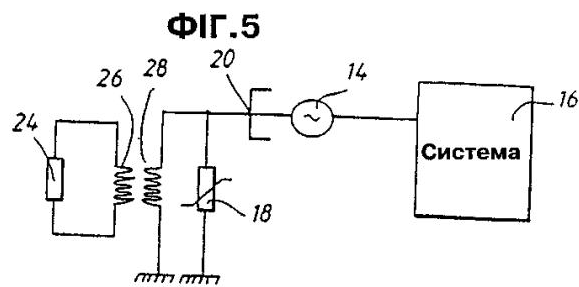
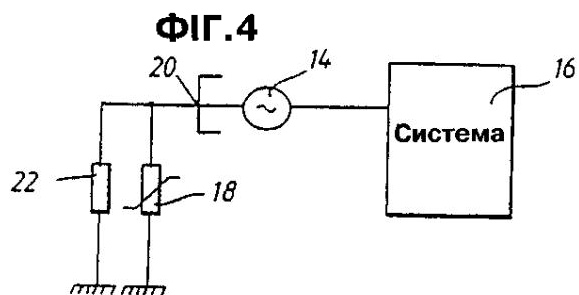
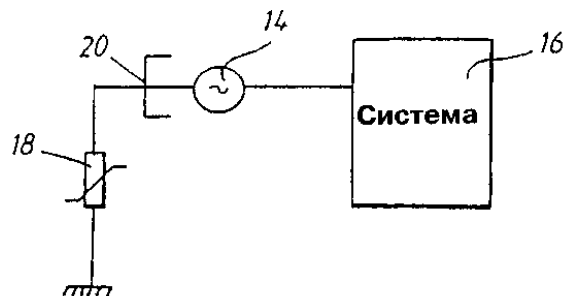
Як і у втіленні згідно з фіг.7, для цієї мети можна використати допоміжний силовий трансформатор.



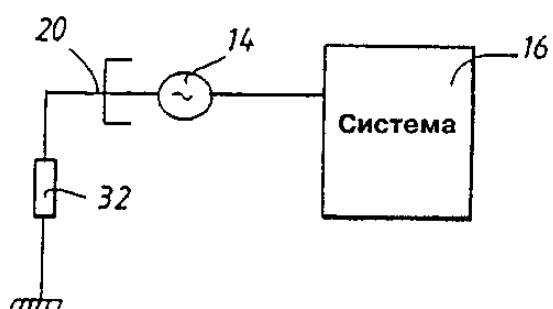
А - Високоомне заземлення, коли Z активне
Б - Резонансне заземлення, коли Z індуктивне



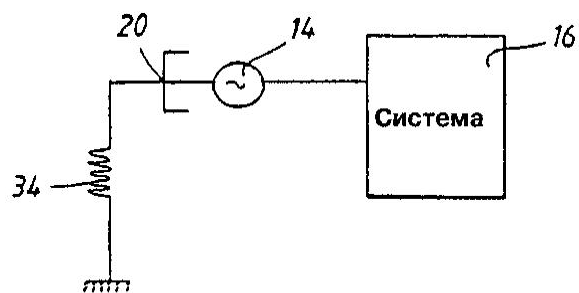
ФІГ.3



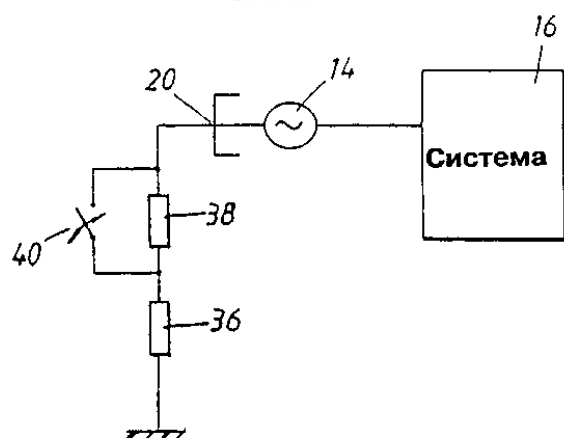
ФІГ.7



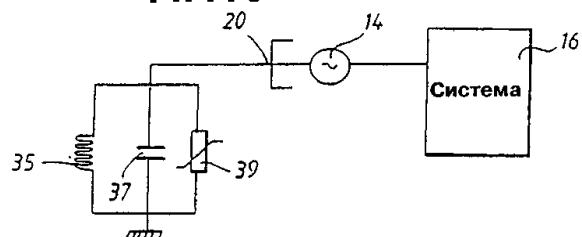
ФИГ. 8



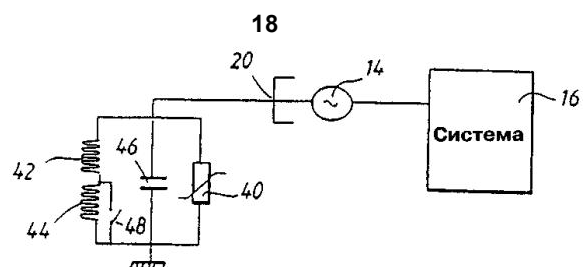
ФИГ. 9



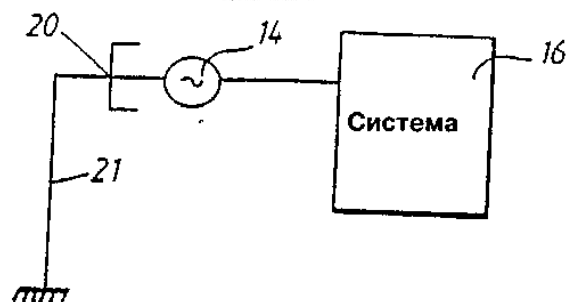
ФИГ. 10



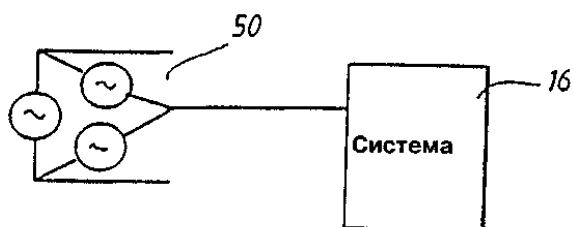
ФИГ. 11



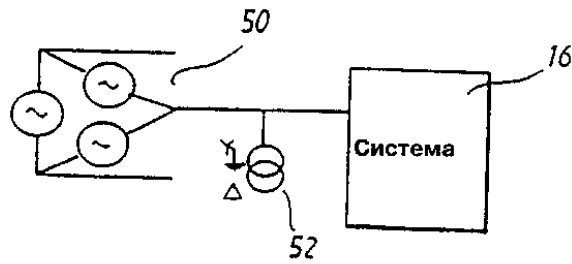
ФИГ. 12



ФИГ. 13



ФИГ. 14

**ФІГ.15**