



УКРАЇНА

(19) UA (11) 42874 (13) C2

(51) 7 H01F27/34

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**(54) СИЛОВИЙ ТРАНСФОРМАТОР/РЕАКТОР, СПОСІБ ЙОГО ОХОЛОДЖЕННЯ, СПОСІБ КЕРУВАННЯ ЙОГО ЕЛЕКТРИЧНИМ ПОЛЕМ І СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА/РЕАКТОРА**

(21) 98126908

(22) 27.05.1997

(24) 15.11.2001

(31) 9602079-7, 9700335-4

(32) 29.05.1996, 03.02.1997

(33) SE, SE

(86) PCT/SE97/00875, 27.05.1997

(46) 15.11.2001, Бюл. № 10, 2001 р.

(72) Лейон Матс, SE

(73) АББ АБ, SE

(56) Franklin A.C., Franklin D.P. The J&P Transformer Book. A Practical Technology of the Power Transformer, Butterworths, 11, 1990

(57) 1. Силовий трансформатор/реактор, який містить принаймні одну обмотку, який **відрізняється** тим, що обмотка/обмотки містять/містять один або більшу кількість струмонесучих провідників, навколо якого/яких розміщений перший шар з напівпровідниковими властивостями, а навколо першого шару розміщена тверда ізоляція і навколо ізоляційної частини розміщений другий шар з напівпровідниковими властивостями.

2. Силовий трансформатор/реактор за п. 1, який **відрізняється** тим, що перший шар знаходиться в основному при тому ж потенціалі, як провідник.

3. Силовий трансформатор/реактор за пп. 1, 2, який **відрізняється** тим, що другий шар розміщено з можливістю утворення еквіпотенціальної поверхні, яка оточує провідник/провідники.

4. Силовий трансформатор/реактор за одним або більше з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що другий шар сполучений з потенціалом заземлення.

5. Силовий трансформатор/реактор за одним або більше з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що напівпровідникові шари і ізоляційна частина мають в основному однаковий коефіцієнт теплового розширення, такий, що при тепловому переміщенні в обмотці відсутні дефекти, тріщини або що-небудь подібне в прикордонному шарі між напівпровідниковими шарами і ізоляційною частиною.

6. Силовий трансформатор/реактор за одним або більше з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що кожний з напівпровідникових шарів прикріплений до суміжної твердої ізоляційної частини вздовж всієї примикаючої поверхні.

7. Силовий трансформатор/реактор за одним або більше з попередніх пунктів, який **відрізняється**

тим, що обмотка/обмотки виконані у формі гнучкого кабелю.

8. Силовий трансформатор/реактор за п. 7, який **відрізняється** тим, що кабель виготовлений з площею провідника, яка лежить між 30 і 3000 мм², і має зовнішній діаметр, який лежить між 20 і 250 мм.

9. Силовий трансформатор/реактор за одним або більше з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що тверда ізоляція сформована з полімерних матеріалів.

10. Силовий трансформатор/реактор за одним або більше з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що перший шар і/або другий шар сформовані з полімерних матеріалів.

11. Силовий трансформатор/реактор за одним або більше з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що тверда ізоляція отримана екструзією.

12. Силовий трансформатор/реактор за одним або більше з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що струмонесучий провідник включає ряд жил, вказані жили ізольовані одна від одної за винятком декількох жил, між якими відсутня ізоляція, щоб гарантувати електричний контакт з першим напівпровідниковим шаром.

13. Силовий трансформатор/реактор за одним або більше з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що принаймні у одній з жил провідника ізоляція відсутня, а жила сполучена з внутрішнім напівпровідниковим шаром.

14. Силовий трансформатор/реактор за одним або більше з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що силовий трансформатор/реактор включає осердя, яке складається з магнітного матеріалу.

15. Силовий трансформатор/реактор за одним або більше з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що силовий трансформатор/реактор включає залізне осердя, що складається з деталей осердя і ярем.

16. Силовий трансформатор/реактор за пп. 1-13, який **відрізняється** тим, що силовий трансформатор/реактор сформований без залізного осердя (повітряна обмотка).

17. Силовий трансформатор/реактор за будь-яким з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що принаймні дві гальванічно розділені обмотки розташовані концентрично навколо осердя.

18. Силовий трансформатор/реактор за одним або більше з попередніх пунктів, який **відрізняється**

(19) UA (11) 42874 (13) C2

тим, що силовий трансформатор/реактор з'єднаний з двома або більше рівнями напруги.

19. Силовий трансформатор/реактор за одним або більше з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що виводи високо- і/або низьковольтної обмотки сполучені з силовим кабелем і/або виконані подібно кінцевому обробленню(ням) силового кабелю.

20. Силовий трансформатор/реактор за одним або більше з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що в основному вся електрична ізоляція в трансформаторі/реакторі укладена між провідником і зовнішнім напівпровідниковим шаром обмотки і така ізоляція знаходиться в формі твердої ізоляції.

21. Силовий трансформатор/реактор за одним або більше з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що обмотка виконана з можливістю роботи з високою напругою, більше за 10 кВ, особливо більше за 36 кВ, і переважно більше ніж 72,5 кВ і для дуже високих напруг передачі, таких, як від 400 кВ до 800 кВ або вище.

22. Силовий трансформатор/реактор за одним або більше з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що трансформатор/реактор виконаний з мож-

ливістю роботи в діапазоні потужностей більше за 0,5 МВА, переважно більше за 30 МВА.

23. Спосіб охолодження силового трансформатора/реактора, який **відрізняється** тим, що силовий трансформатор/реактор охолоджують рідиною і/або газом при потенціалі заземлення.

24. Спосіб управління електричним полем в силовому трансформаторі/реакторі, що містить схему, яка генерує магнітне поле, яка має принаймні одну обмотку з принаймні одним електричним провідником і зовнішньою ізоляцією, який **відрізняється** тим, що ізоляція виготовлена з твердого ізоляційного матеріалу і що поза ізоляцією забезпечують зовнішній шар, який з'єднують з потенціалом заземлення або іншим порівняно низьким потенціалом, питома електропровідність якого вища, ніж електропровідність ізоляції, але нижча, ніж електропровідність електричного провідника, з метою вирівнювання потенціалу і утримування електричного поля в основному в обмотці всередині зовнішнього шару.

25. Спосіб виробництва силового трансформатора/реактора, який **відрізняється** тим, що як обмотку використовують гнучкий кабель і що обмотку кабелю збирають на місці і здійснюють формування обмотки/обмоток трансформатора/реактора.

Даний винахід відноситься до силового трансформатора/реактора.

Трансформатори використовують для всієї передачі і розподілу електричної енергії, їх задача полягає в тому, щоб робити можливим обмін електричною енергією між двома або більшою кількістю електричних систем. Трансформатор є класичним електричним виробом, який існує, і теоретично і фактично, протязі більше ніж 100 років. Це явно видно з Німецького опису патенту DE 40414 1885 р. Трансформатори доступні для всіх діапазонів потужності від одиниць ВА до 1000 МВА. Відносно діапазону значень напруги, є спектр до самих високих напружень передачі, які сьогодні використовують.

Трансформатор належить до групи електричних виробів, які, внаслідок фундаментального способу роботи, порівняно просто зрозуміти. Для передачі енергії між електричними системами використовують електромагнітну індукцію. Існує велика кількість підручників і статей, які більш або менш теоретично та практично описують теорію, розрахунок, виробництво, термін служби і т. д., трансформатора. Крім того, є велика кількість патентних документів, які відносяться до послідовно поліпшених прикладів здійснення різних частин трансформатора, таких, наприклад, як обмотки, осердя, бак, комплектуюче приладдя, охолодження, і т. д.

Винахід відноситься до трансформатора, який належить до так званих силових трансформаторів з номінальною потужністю в межах від декількох сотень кВА до більше ніж 1000 МВА з номінальною напругою в межах від 3-4 кВ і до дуже високих напружень передачі, від 400 кВ до 800 кВ або вище.

Винахідницька концепція, яка є основою даного винаходу, застосовна також до реакторів. Нижченаведений опис рівня техніки, однак, відноситься головним чином до силових трансформаторів.

Як відомо, реактори розробляють як однофазні та трифазні реактори. Що стосується ізоляції і охолодження, для них є, в принципі, ті ж самі приклади здійснення, що і для трансформаторів. Таким чином, доступні реактори з повітряною ізоляцією і масляною ізоляцією, самоохолоджувані та ті, що охолоджуються маслом, і т. д. Хоч реактори мають одну обмотку (на фазу) і їх можна розробити як із залізними осердям, так і без нього, опис рівня техніки у великій мірі відноситься і до реакторів.

Щоб вмістити силовий трансформатор/реактор згідно з винаходом у властивий йому контекст і, отже, мати можливість описати новий підхід відповідно до винаходу в доповнення до переваг, що надаються винаходом відносно відомих рішень, нижче також буде спочатку наведено відносно повний опис силового трансформатора, як його конструюють в теперішній час, в доповнення до обмежень і проблем, які існують, коли доходить до розрахунку, конструювання, ізоляції, заземлення, виробництва, використання, випробувань, перевезення і т. д. цих трансформаторів.

Відносно внутрішньої електричної ізоляції обмоток і т. д., можна послатися наступне джерело:

Transformerboard. Die Verwendung von Transformerboard in Grossleistungstransformatoren by H.P. Moser, видавництво Weidman AG, CH-8640 Rapperswil.

Відносно вищезазначеного, існує всеосяжна література, яка описує трансформатори взагалі, і більш особливо силові трансформатори. Можна послатися на наступне джерело (прототип):

The J&P Transformer Book. A Practical Technology of the Power Transformer, автори A.C. Franklin і D.P. Franklin, видавництво Butterworths, видання 11, 1990.

Силовий трансформатор включає трансформаторне осердя, з ламінованих орієнтованих лис-

тів з крем'янистої сталі. Осердя включає ряд деталей, які з'єднують ярами, які разом утворюють одне або більшу кількість вікон осердя. Трансформатори з таким осердям називають трансформаторами на осерді. Навколо деталей осердя є ряд обмоток з одним або більшою кількістю струмонесучих провідників, на які посилаються як на первинну, вторинну і керуючу обмотки. Ці обмотки розподіляють вздовж довжини деталей осердя. Трансформатор на осерді має кругові витки, так само, як загострений перетин деталі осердя, щоб заповнити вікно настільки можливо ефективно.

Обмотки трансформатора формують з однієї або декількох з'єднаних послідовно котушок, які створюють деяку кількість з'єднаних послідовно витків. Крім того, витки забезпечують спеціальним пристроєм, щоб дати можливість перемикачів між відведеннями витків. Такий пристрій можна сконструювати для відведення за допомогою гвинтових зчеплень або більш часто за допомогою спеціального перемикача, який працює поряд з баком. Коли комутація може відбуватися для трансформатора під напругою, перемикач називають навантажувальним перемикачем відведення, в той час як інакше його називають безнавантажувальним перемикачем відведення.

Силовий трансформатор охолоджується маслом. Одна з причин для цього полягає в тому, що масло має дуже важливу додаткову функцію, як ізоляційний матеріал. Охолоджуваний маслом і ізольований маслом силовий трансформатор оточують зовнішнім баком.

В основу винаходу поставлено задачу створення простого по конструкції та виготовленню силового трансформатора/реактора з простою системою охолодження, та в якому не було б електричного поля зовні.

Поставлена задача досягається тим, що в силовому трансформаторі/реакторі, який містить принаймні одну обмотку, що містить один або більшу кількість струмонесучих провідників, навколо яких розміщений перший, внутрішній шар з напівпровідниковими властивостями, відповідно до винаходу навколо першого шару розміщена тверда ізоляційна частина і навколо ізоляційної частини розміщений другий, зовнішній шар з напівпровідниковими властивостями. Перший шар знаходиться при тому ж потенціалі, що і провідник. Другий шар є екіпотенціальною поверхнею, яка оточує провідник/провідники та може бути сполучений з потенціалом заземлення. Напівпровідникові шари, перший та другий і ізоляційна частина мають однаковий коефіцієнт теплового розширення, такий, що при тепловому переміщенні в обмотці відсутні дефекти, тріщини в прикордонному шарі між напівпровідниковими шарами і ізоляційною частиною. Кожний з напівпровідникових шарів прикріплений до суміжної твердої ізоляційної частини вздовж всієї примикаючої поверхні. Обмотка/обмотки виконана у формі гнучкого кабелю. Кабель виготовлений з площею провідника, яка лежить в межах 30 і 3000 мм² і зовнішній діаметр кабелю, який лежить в межах 20 і 250 мм. Тверда ізоляція сформована з полімерних матеріалів. Перший шар і/або другий шар сформовані з полімерних матеріалів. Тверду ізоляцію отримують екструзією. Струмонесучий провідник включає ряд

жил, вказані жили ізольовані одна від одної за винятком декількох жил, між якими відсутня ізоляція, щоб гарантувати електричний контакт з першим напівпровідниковим шаром. Одна з жил провідника сполучена з внутрішнім напівпровідниковим шаром. Силовий трансформатор/реактор включає залізне осердя, що складається з деталей осердя і ярем. Також силовий трансформатор/реактор може бути зроблений з осердям, яке складається з магнітного матеріалу або може бути зроблений без залізного осердя (повітряна обмотка). Обмотки можуть бути розташовані концентрично навколо осердя. Силовий трансформатор/реактор з'єднаний з двома або більше рівнями напруги. Вивід високо- і/або низьковольтної обмотки сполучені з силовим кабелем і/або зроблені подібно кінцевому обробленню(ням) силового кабелю. Електрична ізоляція в трансформаторі/реакторі укладена між провідником і другим шаром обмоток і така ізоляція знаходиться в формі твердої ізоляції. Обмотка виконана з можливістю роботи з високою напругою, застосовано більше за 10 кВ, особливо більше за 36 кВ, і переважно більше ніж 72,5 кВ і для дуже високих напружень передачі, таких, як від 400 кВ до 800 кВ або вище. Трансформатор/реактор виконаний з можливістю роботи в діапазоні потужностей більше за 0,5 МВА, переважно більше за 30 МВА. Завдяки зазначеному вище управлінню електричним полем в силовому трансформаторі/реакторі, що містить схему, яка генерує магнітне поле, яка має принаймні одну обмотку з, принаймні, одним електричним провідником і зовнішньою ізоляцією, здійснюють за допомогою того, що ізоляцію виготовляють з твердого ізоляційного матеріалу і що поза ізоляцією забезпечують зовнішній шар, який з'єднують з потенціалом заземлення або іншим порівняно низьким потенціалом, питома електропровідність, якого вища, ніж електропровідність ізоляції, але нижча, ніж електропровідність електричного провідника, з метою вирівнювання потенціалу і утримання електричного поля в основному, в обмотці всередині зовнішнього шару.

Звичайно забезпечують пристрій для водяного охолодження масла.

Наступна частина опису головним чином відноситься до заповнених маслом силових трансформаторів.

У випадку охолоджуваних маслом та ізольованих маслом силових трансформаторів у верхньому діапазоні потужностей, контакти навантажувальних перемикачів відведення вміщують в спеціальні заповнені маслом контейнери з прямим з'єднанням з трансформаторним баком. Контакти приводять в дію чисто механічно за допомогою вала обертання, що приводиться в рух двигуном і розміщують так, щоб отримати швидке переміщення під час комутації, коли контакт розмикають, і більш повільне переміщення, коли контакт замикають. Однак самі навантажувальні перемикачі відведення вміщують в діючий трансформаторний бак. Під час експлуатації відбувається горіння дуги та іскріння. Це веде до деградації масла в контейнерах. Щоб отримувати меншу кількість дуг і також, отже, утворення меншої кількості сажі та менший знос контактів, навантажувальні перемикачі відведення звичайно з'єднують з високовольт-

тною стороною трансформатора. Це роблять внаслідок того, що струми, які треба розмикати і з'єднувати, відповідно, є меншими на високовольтній стороні, ніж якщо навантажувальні перемикачі відведення з'єднувати з низьковольтною стороною. Статистика відмов традиційних маслonaповнених силових трансформаторів показує, що часто саме навантажувальні перемикачі відведення викликають пошкодження.

У нижньому діапазоні потужності охолоджуваних маслом та ізолюваних маслом силових трансформаторів і навантажувальні перемикачі відведення, і їх контакти вміщують всередині бака. Це означає, що вищезазначені проблеми відносно деградації масла через іскріння під час експлуатації, впливають на масляну систему загалом.

Трансформаторне масло має подвійну функцію, оскільки на додаток до ізоляційної функції воно активно сприяє охолодженню осердя, обмотки, за допомогою відведення теплових втрат трансформатора. Для масляного охолодження необхідні масляний насос, зовнішній охолоджувачий елемент, розширювальний бак.

З цілком загальної точки зору, первинна задача силового трансформатора полягає в тому, щоб допускати обмін електричною енергією між двома або більшою кількістю електричних систем, звичайно з різною напругою, з однаковою частотою.

У доповнення до трансформатора сердечникового типу існує так званий броньовий трансформатор. Останні часто конструюють з прямокутними витками і прямокутним перетином деталі осердя.

Традиційні силові трансформатори на нижньому кінці вищезазначеного діапазону потужностей іноді конструюють з повітряним охолодженням для розсіювання теплоти власних втрат. Для захисту проти контакту, і для можливого зменшення зовнішнього магнітного поля трансформатора, його часто забезпечують зовнішнім корпусом, який забезпечує вентиляційними отворами.

З точки зору прикладеної або наведеної напруги, можна загалом сказати, що напруга, яка є постійною уперек обмотки, розподілена однаково на кожний виток обмотки, тобто напруга витка однакова на всіх витках.

З точки зору електричного потенціалу, однак, ситуація повністю відрізняється. Один кінець обмотки звичайно з'єднують із заземленням. Це означає, однак, що електричний потенціал кожного витка збільшується лінійно від практично рівного нуля на витку, який є самим близьким до потенціалу заземлення, до потенціалу на витках, які знаходяться на іншому кінці обмотки, який відповідає прикладеній напрузі.

Цей розподіл потенціалу визначає побудову системи ізоляції, оскільки необхідно мати достатню ізоляцію і між суміжними витками обмотки і між кожним витком і заземленням.

Витки в індивідуальній котушці звичайно з'єднують в геометричні зв'язні секції, які фізично розмежовують від інших витків. Відстань між витками визначає також напругу на діелектрику, виникнення якої між витками можна допускати. Це означає, таким чином, що між витками необхідна деяка задана ізолююча відстань. Згідно зі сказаним вище, необхідна також достатня ізолююча відстань до інших електрично провідних об'єктів, які знахо-

дяться в межах електричного поля від електричного потенціалу, який локально виникає у витках.

Таким чином, з вищезазначеного опису ясно, що для індивідуальних витків внутрішня різниця потенціалів між фізично суміжними елементами провідника є порівняно низькою, в той час як зовнішня різниця потенціалів відносно інших металевих об'єктів - включаючи інші котушки - може бути порівняно високою. Різниця потенціалів визначає напругу, яку наводить магнітна індукція, також, як розподілені ємнісні напруги, які можуть бути результатом приєднаної зовнішньої електричної системи на зовнішніх з'єднаннях трансформатора. Типи напруги, які можуть поступати ззовні, включають, в доповнення до робочої напруги, перенапруги від блискавки і перенапруження комутації.

У провідниках струму котушок виникають додаткові втрати внаслідок магнітного поля розсіювання навколо провідника. Щоб зберегти ці втрати настільки низькими, наскільки це можливе, особливо для силових трансформаторів у верхньому діапазоні потужностей, провідники звичайно розділяють на ряд елементів провідника, які часто згадують як жили, які під час експлуатації з'єднують паралельно. Ці жили необхідно переплітати згідно з таким узором, при якому наведена напруга на кожній жилі стає наскільки можливо однаковою і так, щоб різниця в наведеній напрузі між кожною парою жил стала як можна менше для того, щоб заглушувати внутрішні циркулюючі складові струму до прийнятного рівня з точки зору втрат.

При проектуванні трансформаторів згідно з відомими рішеннями загальна мета полягає в тому, щоб мати наскільки можливо велику кількість матеріалу провідника в межах заданого майданчика, обмеженого так званим трансформаторним вікном, що звичайно описують як наявність наскільки можливо високого коефіцієнта заповнення. Доступний простір повинен містити в собі, в доповнення до матеріалу провідника, також пов'язаний з котушками ізоляційний матеріал, частково всередині між витками і частково до інших металевих компонентів, включаючи магнітне осердя.

Систему ізоляції, частково в межах котушки/обмотки і частково між котушками/обмотками і іншими металевими частинами, звичайно проектують як тверду засновану на целюлозі або лаку ізоляцію, найближчу до індивідуальних елементів провідника, а поза ним як тверду целюлозу і рідинну, можливо також газоподібну, ізоляцію. Таким чином, обмотки з ізоляцією і можливими опорними частинами являють собою великі об'єми, які піддають впливу високих напруг електричного поля, які виникають в активних електромагнітних частинах трансформатора і навколо них. Щоб заздалегідь визначати напруги, які виникають на діелектриках, і досягти визначення розмірів з мінімальним ризиком пробою, необхідне хороше знання властивостей ізоляційних матеріалів. Також важливо отримати таке навколишнє середовище, що не змінює і не зменшує ізоляційні властивості.

Переважаючи в цей час система ізоляції для високовольтних силових трансформаторів включає целюлозний матеріал, як тверду ізоляцію і трансформаторне масло, як рідинну ізоляцію. Трансформаторне масло засноване на так званих нафтопродуктах.

Електричне з'єднання між зовнішніми з'єднаннями трансформатора і безпосередньо приєднаними котушками/обмотками називають вводом, який призначений для струмопровідного з'єднання через стінку бака, який, у випадку заповнених маслом силових трансформаторів, оточує власне трансформатор. Ввід часто являє собою окремий компонент, який прикріплюють до стінки бака і конструюють так, щоб витримати вимоги ізоляції і на зовнішній частині і всередині бака, в той час як він при цьому повинен витримати виникаючі струменеві навантаження, і результуючі струменеві зусилля.

Потрібно указати, що ті ж вимоги для системи ізоляції, як описано вище відносно обмоток, відносяться також до необхідних внутрішніх з'єднань між котушками, між вводами і котушками, різними типами перемикачів і вводами як такими.

Всі металеві компоненти всередині силового трансформатора за винятком струмонесучих провідників звичайно з'єднують з даним потенціалом заземлення. Таким чином, уникають ризику небажаних і важко контрольованих збільшень потенціалу внаслідок ємнісного розподілу напруги між струмоводами з високим потенціалом і заземленням. Таке небажане збільшення потенціалу може викликати часткові розряди, так звану корону, які можна виявити під час нормальних приймальних випробувань, які частково виконують, в порівнянні з номінальними даними, із збільшеними напругою і частотою. Корона може викликати пошкодження під час експлуатації.

Індивідуальні котушки в трансформаторі повинні мати такі механічні розміри, що вони можуть витримувати будь-які напруги, які виникають як наслідок виникнення струмів, і результуючі струменеві зусилля під час процесу короткого замикання. Котушки звичайно конструюють таким чином, що виникаючі зусилля поглинають в межах кожної індивідуальної котушки, що в свою чергу може означати, що розміри котушки неможливо визначити оптимально для нормального функціонування під час нормального режиму експлуатації.

У межах вузького діапазону напруги і потужності заповнених маслом силових трансформаторів обмотки конструюють як так звані гвинтові обмотки. Мається на увазі, що згадані вище індивідуальні провідники заміняють тонкими листами. Силкові трансформатори з гвинтовим намотуванням виготовляють для напружень до 20-30 кВ і потужностей до 20-30 МВт.

Система ізоляції силових трансформаторів в межах верхнього діапазону потужностей вимагає також, в доповнення до порівняно складної конструкції, спеціальних виробничих заходів, щоб використати властивості системи ізоляції найкращим можливим способом. Щоб отримати хорошу ізоляцію, яку необхідно отримати, система ізоляції повинна мати низьку вологість, тверда частина ізоляції повинна бути добре насичена навколишнім маслом, і ризик збереження "газових" кишень в твердій частині повинен бути мінімальний. Щоб гарантувати це, на повному осерді з обмотками виконують спеціальні процеси сушки і насичення, перш ніж його опускають в бак. Після цих процесів сушки і насичення трансформатор опускають в бак, який потім герметизують. Перед заповненням

маслом з бака з навантаженим трансформатором необхідно видалити все повітря, що міститься в ньому. Це виконують в зв'язку зі спеціальною вакуумною обробкою. Після виконання цього бак заповнюють маслом.

Щоб отримати обіцяний строк служби і т. д., під час вакуумної обробки необхідний майже абсолютний вакуум. Це таким чином передбачає, що бак, який оточує трансформатор, проектується для повного вакууму, що тягне за собою значну витрату матеріалу і часу виготовлення.

Якщо в заповненому маслом силовому трансформаторі відбуваються електричні розряди, або якщо відбувається локальне значне збільшення температури в будь-якій частині трансформатора, масло розпадається і газоподібні продукти розчиняються в маслі. Трансформатори, отже, звичайно забезпечують контрольними приладами для виявлення розчиненого в маслі газу.

З міркувань ваги великі силові трансформатори транспортують без масла. Встановлення трансформатора на місці у замовника вимагає, в свою чергу, поновлення вакуумної обробки. Крім того, це процес, який до того ж необхідно повторювати кожний раз, коли бак відкривають для деякої ремонтної роботи або огляду.

Очевидно, що ці процеси є дуже трудомісткими і такими, що дорого коштують, а отже, становлять значну частину загальних витрат часу на виробництво і ремонт, і в той же час вимагають доступу до великих ресурсів.

Ізоляційний матеріал в традиційних силових трансформаторах становить велику частину загального об'єму трансформатора. Для силового трансформатора в межах верхнього діапазону потужностей не є незвичайними кількості масла порядку декількох десятків кубічних метрів трансформаторного масла. Масло, яке виявляє деяку схожість з дизельним паливом, є легкорухливою рідиною і виявляє порівняно низьку температуру спалаху. Таким чином очевидно, що масло разом з целюлозою складає пожежонебезпечність у разі випадкового нагріву, наприклад, при внутрішньому іскрінні і виникаючому в результаті витоку масла, яким не можна нехтувати.

Також очевидно, що особливо для заповнених маслом силових трансформаторів, існує дуже велика транспортна проблема. Такий силовий трансформатор в межах верхнього діапазону потужностей може мати загальний об'єм масла, який дорівнює декільком десяткам кубічних метрів і може мати вагу до декількох сотень тонн. Зрозуміло, що зовнішню конструкцію трансформатора іноді необхідно адаптувати до даного профілю транспортування, тобто для будь-якого проходження мостів, тунелів і т. д.

Далі слідує коротке резюме відомих рішень відносно заповнених маслом силових трансформаторів, в якому описані і обмеження і проблемні області:

Заповнений маслом традиційний силовий трансформатор:

- включає зовнішній бак, який призначають для вміщення трансформатора, який містить трансформаторне осердя з котушками, масло для ізоляції і охолодження, механічні опорні пристрої різних видів і т. д. На бак накладають дуже вели-

кі механічні вимоги, оскільки без масла, але з трансформатором, він повинен бути здатний витримати вакуумну обробку до фактично повного вакууму. Бак вимагає дуже тривалих процесів виготовлення і випробування, а великі зовнішні розміри бака також звичайно спричиняють за собою значні транспортні проблеми;

- звичайно включає так зване масляне охолодження під тиском. Цей спосіб охолодження вимагає забезпечення масляного насоса, зовнішнього охолоджуючого елемента, розширювального бака і з'єднання для розширення і т. д.;

- включає електричне з'єднання між зовнішніми з'єднаннями трансформатора і безпосередньо приєднаними котушками/обмотками в формі вводу, який закріплюють на стінці бака. Ввід конструюють так, щоб витримати вимоги ізоляції і на зовнішній частині і всередині бака;

- включає котушки/обмотки, провідники яких розділяють на деяку кількість елементів провідника, жил, які необхідно переплітати згідно з таким узором, при якому наведена напруга на кожній жилі стає настільки можливо однаковою і так, щоб різниця в наведеній напрузі між кожною парою жил стала як можна менше;

- включає систему ізоляції, частково в межах котушки/обмотки і частково між котушками/обмотками і іншими металевими частинами, яку проєктують як тверду засновану на целюлозі або лаку ізоляцію, найближчу до індивідуальних елементів провідника, а поза ним як тверду целюлозу і рідинну, можливо також газоподібну, ізоляцію. Крім того, надзвичайно важливо, що система ізоляції виявляє дуже низьку вологість;

- включає, як інтегровану частину, навантажувальний перемикач відведень, який оточують маслом і звичайно з'єднують з високовольтною обмоткою трансформатора для регулювання напруги;

- містить масло, яке може спричинити собою пожежонебезпечність в зв'язку з внутрішніми частковими розрядами, так званою короною, іскрінням в навантажувальних перемикачах відведень і іншими дефектними станами, якими не можна нехтувати;

- звичайно містить контрольний прилад для поточного контролю газу, розчиненого в маслі, який виникає у випадку електричних розрядів в ньому або у випадку локальних збільшень температури;

- містить масло, яке у разі пошкодження або нещасного випадку, може приводити до протокі масла і великих пошкоджень навколишнього середовища.

В основу даного винаходу поставлена задача запропонувати концепцію трансформатора в межах діапазону потужностей, так званих силових трансформаторів з номінальною потужністю в межах від декількох сотень кВА до більш ніж 1000 МВА з номінальною напругою в межах від 3-4 кВ і до дуже високих напруг передачі, таких, як від 400 кВ до 800 кВ або вище, яка досягається за допомогою конструювання обмотки або обмоток в трансформаторі/реакторі так, що вона включає тверду ізоляцію, яку оточують зовнішнім і внутрішнім вирівнюючим потенціал напівпровідниковим шаром, в межах внутрішнього шару розміщують

електричний провідник, забезпечують можливість утримання електричного поля всього пристрою в межах обмотки. Електричний провідник потрібно, згідно з винаходом, розміщувати так, щоб він мав такий провідний контакт з внутрішнім напівпровідниковим шаром, що в прикордонному шарі між самою внутрішньою частиною твердої ізоляції і навколишнім внутрішнім напівпровідником вздовж довжини провідника не може виникати ніяка шкідлива різниця потенціалів. Тим самим за допомогою конструювання обмотки згідно з відмітними особливостями, описаними в формулі винаходу, в тому, що стосується твердої ізоляції і навколишніх вирівнюючих потенціал шарів, можна отримати трансформатор/реактор, в якому електричне поле втримують в межах обмотки.

Істотна відмінність між традиційними заповненими маслом силовими трансформаторами/реакторами і силовим трансформатором/реактором згідно з винаходом полягає в тому, що обмотка/обмотки таким чином включає тверду ізоляцію, яку оточують зовнішнім і внутрішнім потенційним шаром, також як принаймні один електричний провідник, який розміщують всередині внутрішнього потенційного шару, який конструюють як напівпровідники. Визначення того, що включає концепція напівпровідника, буде описане нижче. Згідно з переважним прикладом здійснення, обмотку/обмотки конструюють в формі гнучкого кабелю.

При рівнях високої напруги, яка необхідна в силовому трансформаторі/реакторі згідно з винаходом, який з'єднують з високовольтними мережами з дуже високими робочими напругами, електричні і теплові навантаження, які можуть виникати, накладають надзвичайні вимоги на ізоляційний матеріал. Відомо, що так звані часткові розряди, ЧР, звичайно складають серйозну проблему для ізоляційного матеріалу у високовольтних установках. Якщо в ізолюючому шарі виникають раковини, пори або щось подібне, при високій електричній напрузі може виникати внутрішній коронний розряд, внаслідок чого ізоляційний матеріал поступово деградує і що зрештою може привести до електричного пробоя через ізоляцію. Зрозуміло, що це може приводити до серйозної аварії, наприклад, силового трансформатора.

Винахід заснований на тому, що напівпровідникові потенціальні шари виявляють схожі теплофізичні властивості в тому, що стосується коефіцієнта теплового розширення, і що шари прикріплюють до твердої ізоляції. Переважно, напівпровідникові шари згідно з винаходом об'єднують з твердою ізоляцією, щоб гарантувати, що ці шари і суміжна ізоляція виявляють подібні теплофізичні властивості, щоб гарантувати хороший контакт незалежно від змін в температурі, які виникають в лінії при різних навантаженнях. При температурних градієнтах ізоляційна частина з напівпровідниковими шарами становить монолітну частину і дефекти, які викликає різне теплове розширення ізоляції і навколишніх шарів, не виникають. Електричне навантаження на матеріалі знижують як наслідок тієї обставини, що напівпровідникові частини навколо ізоляції складають еквіпотенціальні поверхні, і що електричне поле в ізолюючій частині, отже, розподілене майже однорідно по товщині ізоляції.

Згідно з винаходом, необхідно забезпечити, щоб ізоляцію не зруйнували описані вище явища. Цього можна досягти за допомогою використання як ізоляції шарів, які виготовляють таким способом, при якому ризик раковин і пір є мінімальним, наприклад, екструдованих шарів придатного термопластичного матеріалу такого, як зшитий ПЕ (поліетилен), СВПЕ і ПЕК (каучук пропілену етилену). Ізоляційний матеріал, таким чином, являє собою матеріал з малими втратами з високою міцністю на злам, який під навантаженням демонструє усадку.

Електричне навантаження на матеріалі знижують внаслідок того, що напівпровідникові частини навколо ізоляції складають еквіпотенціальні поверхні, і що електричне поле в ізоляційній частині, отже, розподілене майже однорідно по товщині ізоляції.

У зв'язку з передачними кабелями для високої напруги і для передачі електричної енергії, відомі конструкції провідників з екструдованою ізоляцією, які самі по собі засновують на передумові, що ізоляція повинна бути без дефекту. У цих передаючих кабелях потенціал лежить, в принципі, на одному рівні вздовж всієї довжини кабелю, що забезпечує високе електричне напруження в ізоляційному матеріалі. Передаючий кабель забезпечують одним внутрішнім і одним зовнішнім напівпровідниковим шаром для вирівнювання потенціалу.

Додаткові удосконалення можна також отримати за допомогою конструювання провідника з менших ізольованих частин, так званих жил. Завдяки тому, що ці жили роблять маленькими і круглими, магнітне поле уперек жил виявляє постійну геометрію відносно поля, і мінімізують виникнення вихрових струмів.

Згідно з винаходом, обмотку/обмотки, таким чином, переважно роблять в формі кабелю, який включає принаймні один провідник, який містить деяку кількість жил і з внутрішнім напівпровідниковим шаром навколо жил. Зовні цього внутрішнього напівпровідникового шару знаходиться основна ізоляція кабелю в формі твердої ізоляції і навколо цієї твердої ізоляції знаходиться зовнішній напівпровідниковий шар. Кабель може в деяких контекстах мати додаткові зовнішні шари.

Згідно з винаходом, зовнішній напівпровідниковий шар повинен виявляти такі електричні властивості, щоб забезпечити вирівнювання потенціалу вздовж провідника. Напівпровідниковий шар не повинен, однак, виявляти такі властивості провідності, при яких індуктивний струм викликає небажане теплове навантаження. Далі, провідні властивості шару повинні бути достатні, щоб гарантувати отримання еквіпотенціальної поверхні. Питомий опір ρ напівпровідникового шару повинен показувати мінімальне значення $\rho_{\min}=1$ Ом·см і граничне значення $\rho_{\max}=100$ кОм·см, і, крім того, опір напівпровідникового шару на одиницю довжини в осьовому напрямі, R , кабелю повинен показувати мінімальну величину $R_{\min}=50$ Ом/м і граничне значення $R_{\max}=50$ МОм/м.

Внутрішній напівпровідниковий шар повинен показувати для цього достатню питому електропровідність, щоб функціонувати вирівнюючим потенціал способом і, отже, вирівнювання відносно

зовнішньої частини електричного поля внутрішнього шару. У цьому відношенні важливо, що шар має такі властивості, що він вирівнює будь-які неоднорідності поверхні провідника і що він формує еквіпотенціальну поверхню з високою якістю обробки поверхні у прикордонного шару з твердою ізоляцією. Шар можна, як такий, сформувати із змінною товщиною, але так, щоб гарантувати рівну поверхню по відношенню до провідника і твердої ізоляції, його належна товщина лежить між 0,5 і 1 мм. Однак, шар не повинен виявляти таку велику провідність, щоб давати внесок в індуквання напруги. Для внутрішнього напівпровідникового шару, таким чином, $\rho_{\min}=10^{-6}$ Ом·см, $R_{\min}=50$ мОм/м і, відповідним образом, $\rho_{\max}=100$ кОм·см, $R_{\max}=50$ МОм/м.

Такий кабель, який використовують згідно з винаходом, являє собою удосконалення термопластичного кабелю, і/або зшитого термопласту типу СВПЕ або кабелю з ізоляцією з каучуку пропілену етилену (ПЕ) або іншого каучуку, наприклад, силіконового. Удосконалення включає, між іншим, нову конструкцію і відносно жил провідників і в тому, що кабель не має ніякої зовнішньої оболонки для механічного захисту кабелю.

Обмотка, яка містить такий кабель, спричиняє за собою абсолютно відмінні умови з точки зору ізоляції від тих, які застосовують до обмоток традиційних трансформаторів/реакторів завдяки розподілу електричного поля. Є інші можливі приклади здійснення для того, щоб використати переваги, які надає використання згаданого кабелю, в тому, що стосується заземлення трансформатора/реактора згідно з винаходом ніж ті, які застосовують до традиційних заповнених маслом силових трансформаторів.

Істотним і необхідним для обмотки в силовому трансформаторі/реакторі згідно з винаходом є те, що принаймні одну з жил провідника не ізолюють і розміщують так, що досягають хорошого електричного контакту з внутрішнім напівпровідниковим шаром. Внутрішній шар, таким чином, завжди зберігає потенціал провідника. Як альтернатива, можна по чергово провести в електричний контакт з внутрішнім напівпровідниковим шаром різні жили.

Що стосується іншої частини жил, всі з них, або деякі з них можна покривати лаком і, отже, ізолювати.

Згідно з винаходом, затиски високовольтних і низьковольтних обмоток можуть або мати тип роз'єднання (коли відбувається з'єднання з кабельною системою) або тип кінцевої кабельної муфти (коли відбувається з'єднання з комутаційним пристроєм або з повітряною лінією електропередачі). Ці частини також складаються з твердого ізоляційного матеріалу, і, таким чином, виконують ті ж вимоги ЧР, як вся система ізоляції.

Згідно з винаходом, трансформатор/реактор може або мати зовнішнє або внутрішнє охолодження, причому зовнішнє означає газове або рідинне охолодження при потенціалі заземлення, а внутрішнє означає газове або рідинне охолодження всередині обмотки.

Виробництво обмоток трансформатора або реактора з кабелю згідно з вищезазначеним спричиняє за собою глибокі відмінності відносно розподілу електричного поля між традиційними сило-

вими трансформаторами/реакторами і силовим трансформатором/реактором згідно з винаходом. Вирішальна перевага з утвореною кабелем обмоткою згідно з винаходом полягає в тому, що електричне поле замикають в обмотці і що таким чином не існує електричного поля поза напівпровідниковим шаром. Електричне поле з струмонесучого провідника присутнє тільки в твердій основній ізоляції. І з точки зору конструкції і з точки зору виробництва це має значні переваги:

- обмотки трансформатора можна сформувати без необхідності розглядати який-небудь розподіл електричного поля, а переплетення жил, згадане в рівні техніки, можна опустити;
- конструкцію осердя трансформатора можна сформувати без необхідності розглядати який-небудь розподіл електричного поля;
- не треба ніякого масла для електричної ізоляції обмотки, тобто середовищем, яке оточує обмотку, може бути повітря;
- не треба ніякого масла для охолодження обмотки. Охолодження можна виконувати при потенціалі заземлення і як охолоджуюче середовище можна використати газ або рідину;
- не потрібні ніякі спеціальні з'єднання для електричного з'єднання між зовнішніми з'єднаннями трансформатора і безпосередньо приєднаними котушками/обмотками, оскільки електричне з'єднання, на противагу традиційним пристроям, об'єднують з обмоткою;
- не потрібні традиційні вводи трансформатора/реактора. Замість цього, перетворення поля від радіального до осьового поля трансформатора/реактора можна здійснити подібно традиційному кінцевому обробленню кінця кабелю;
- технологія виробництва і випробувань, яка необхідна для силового трансформатора згідно з винаходом, значно більш проста, ніж для традиційного силового трансформатора/реактора, оскільки не потрібні насичення, сушка і вакуумна обробка, описані згідно з описом рівня техніки. Це забезпечує значно більш короткі часи виготовлення;
- за допомогою використання способу ізоляції згідно з винаходом забезпечують значні можливості для формування такого магнітного ланцюга трансформатора, який наданий згідно з відомими рішеннями.

Винахід далі буде описаний з посиланнями на супутні креслення, в яких:

фіг. 1 показує розподіл електричного поля навколо обмотки традиційного силового трансформатора/реактора,

фіг. 2 показує приклад здійснення обмотки в формі кабелю в силових трансформаторах/реакторах згідно з винаходом, і

фіг. 3 показує приклад здійснення силового трансформатора згідно з винаходом.

Фіг. 1 показує спрощений і фундаментальний вигляд розподілу електричного поля навколо обмотки традиційного силового трансформатора/реактора, де 1 означає обмотку, 2 означає осер-

рдя і 3 ілюструє еквіпотенціальні лінії, тобто лінії, де електричне поле має однакову величину. Передбачається, що нижня частина обмотки знаходиться при потенціалі заземлення.

Розподіл потенціалу визначає склад системи ізоляції, оскільки необхідно мати достатню ізоляцію і між суміжними витками обмотки і між кожним витком і заземленням. Таким чином, фігура показує, що верхню частину обмотки піддають впливу самої високої напруги діелектрика. Конструкцію і розташування обмотки відносно осердя, таким чином, визначає в основному розподіл електричного поля у вікні осердя.

Фіг. 2 показує приклад кабелю, який можна використовувати в обмотках, які включають в силові трансформатори/реактори згідно з винаходом. Такий кабель включає принаймні один провідник 1, який складається з ряду жил 2 з внутрішнім напівпровідниковим шаром 3, який розташовується навколо жил. Поза цим внутрішнім напівпровідниковим шаром знаходиться основна ізоляція 4 кабелю в формі твердої ізоляції і оточуючий цю тверду ізоляцію зовнішній напівпровідниковий шар 5. Як попередньо згадано, кабель можна забезпечувати іншими додатковими шарами для спеціальних цілей, наприклад, для запобігання дуже високих електричних напруг на інших областях трансформатора/реактора. З точки зору геометричного вимірювання, обговорювані кабелі мають площу провідника, яка лежить між 30 і 3000 мм² і зовнішній діаметр кабелю, який лежить між 20 і 250 мм.

Обмотки силового трансформатора/реактора, які виготовляють з кабелю, описаного в резюме винаходу, можна використовувати для однофазних, трифазних і багатофазних трансформаторів/реакторів незалежно від того, яку форму має осердя. Один приклад здійснення показаний на фіг. 3, яка показує трифазний трансформатор з багатошаровим осердям. Осердя включає, стандартним способом, три деталі осердя 1, 2 і 3 і утримуючі ярма 4 і 5. В показаному прикладі здійснення і деталі осердя і ярма мають загострений поперечний перетин.

Концентрично навколо деталей осердя розташовують обмотки, які формують з кабелю. Ясно, що приклад здійснення, показаний на фіг. 3, має три концентричних витки обмотки 6, 7 і 8. Самий внутрішній виток обмотки 6 може являти собою первинну обмотку, і інші два витки обмотки 7 і 8 можуть являти собою вторинні обмотки. Щоб не переважувати фігуру дуже багатьма деталями, з'єднання обмоток не показані. Інакше фігура показує, що в показаному прикладі здійснення, розпірні стержні 9 і 10 з декількома різними функціями розміщують в деяких точках навколо обмоток. Розпірні стержні можна сформувати з ізоляційного матеріалу, який призначають для забезпечення деякого простору між концентричними витками обмотки для охолодження, підтримки, і т. д. Їх можна також сформувати з електропровідного матеріалу, щоб утворити частину заземлення обмоток.

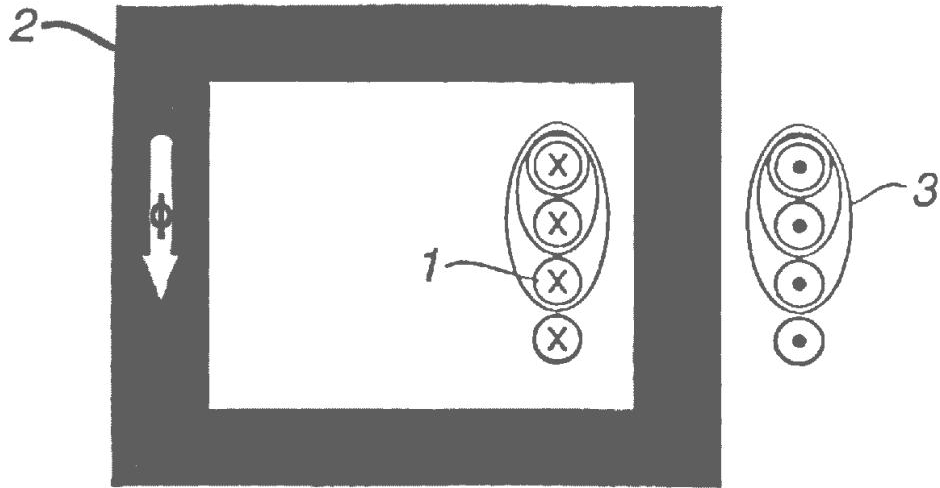


Fig. 1

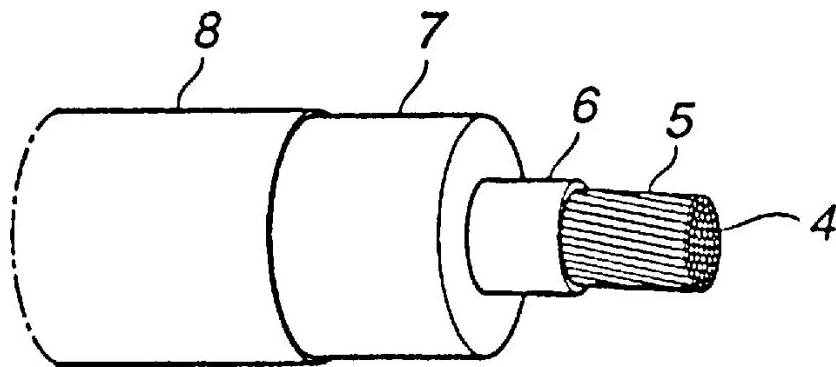
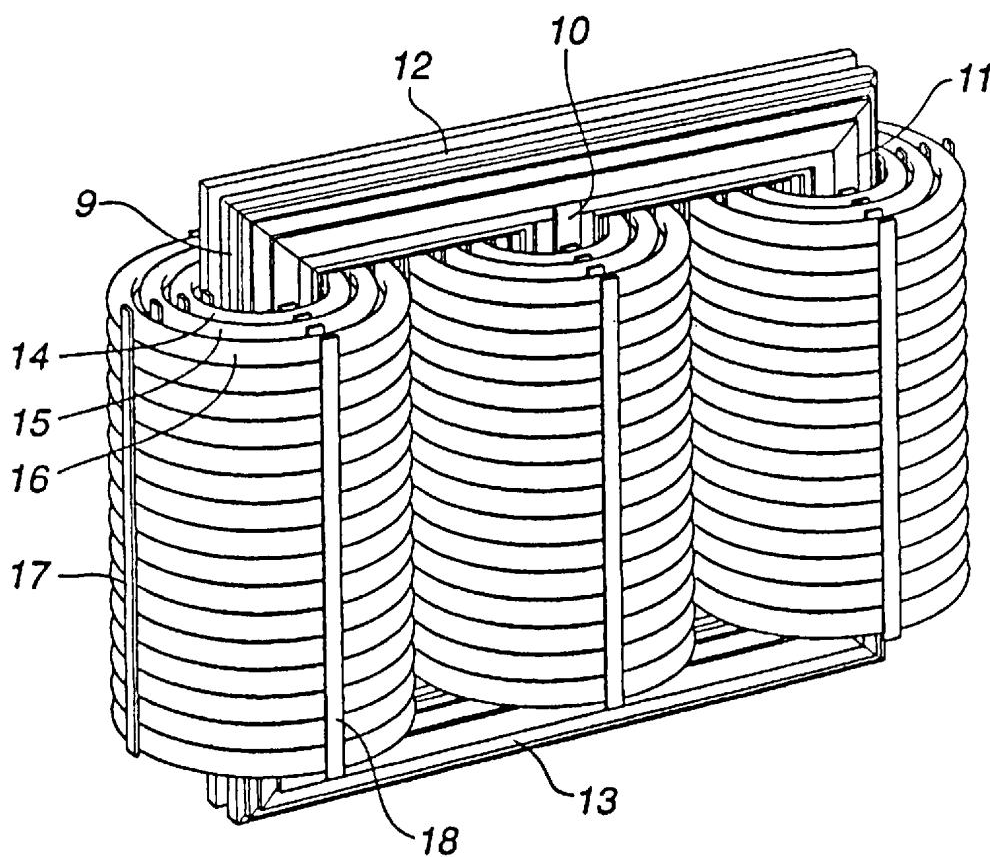


Fig. 2



Фіг. 3

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
(044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2002 р. Формат 60x84 1/8.
Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
(044) 268-25-22
