



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 105668

(13) C2

(51) МПК

H01B 3/56 (2006.01)

C07C 49/16 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

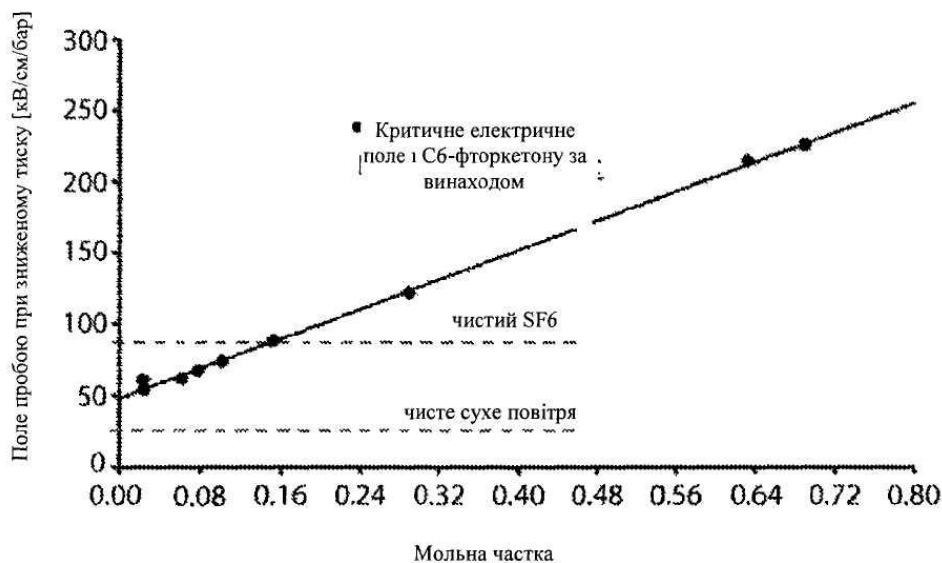
## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2012 00343	(72) Винахідник(и):	Классенс Макс-Штеффен (CH), Скарбі Пер (CH)
(22) Дата подання заявки:	12.06.2009	(73) Власник(и):	АББ ТЕКНОЛОДЖИ АГ, Affolternstrasse 44, CH-8050 Zurich, Switzerland (CH)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	10.06.2014	(74) Представник:	Мошинська Ніна Миколаївна, реєстр. №115
(41) Публікація відомостей про заявку:	10.04.2012, Бюл.№ 7	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	WO 2008/073790 A2, 19.06.2008 US 3185734 A, 25.05.1965
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.06.2014, Бюл.№ 11		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	РСТ/EP2009/057294, 12.06.2009		

## (54) ДІЕЛЕКТРИЧНЕ ІЗОЛЯЦІЙНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

## (57) Реферат:

Винахід стосується діелектричного ізоляційного середовища, яке характеризується тим, що містить фторкетон, який має від 4 до 12 атомів вуглецю.



Фіг. 1а

UA 105668 C2



Даний винахід стосується діелектричного ізоляційного середовища і застосування фторкетону в такому ізоляційному середовищі, апарату для генерації, розподілу або використання електричної енергії і способу визначення розмірів за незалежним пунктом формули винаходу.

5 Діелектричні ізоляційні середовища в рідкому або газоподібному стані звичайно застосовуються для ізоляції електричної активної частини в широкому різноманітті електричних апаратів, таких як розподільні пристрої (комутаційна апаратура) і трансформатори.

У поміщених в металеву оболонку розподільних пристроях середньої або високої напруги, наприклад, електрична активна частина розташована в газонепроникному корпусі, який утворює  
10 ізолюючий простір, що містить ізоляційний газ звичайно під тиском декілька бар і відділяє корпус від електричної активної частини, не дозволяючи електричному струму проходити крізь нього. Таким чином, поміщені в металеву оболонку розподільні пристрої забезпечують набагато більш просторово економічну конструкцію, ніж розподільні пристрої, які кріпляться зовні і ізолюються тільки навколишнім повітрям. При перериванні струму у високовольному  
15 розподільному пристрої ізоляційний газ додатково функціонує як газ гасіння електричної дуги.

Звичайно застосовувані ізоляційні газ з високими характеристиками ізоляції і перемикання впливають деяким чином на навколишнє середовище при виділенні в атмосферу. Досі з високим потенціалом глобального потепління (ПГП) цих ізоляційних газів справлялися за рахунок суворого контролю витоку газів в апаратурі з газовою ізоляцією і дуже пильного  
20 поведінки з газами. Традиційні сприятливі для навколишнього середовища ізоляційні газ, подібні, наприклад, до сухого повітря або  $\text{CO}_2$ , мають досить низькі характеристики ізоляції, так що тиск газу і/або ізоляційні відстані необхідно було збільшувати.

З вказаних вище причин в минулому робилися зусилля по заміні цих традиційних ізоляційних газів прийнятними замісниками.

25 Наприклад, WO 2008/073790 розкриває діелектричну газоподібну сполуку, яка - серед решти характеристик - має точку кипіння в інтервалі від приблизно  $-20^\circ\text{C}$  до приблизно  $-273^\circ\text{C}$ , яка є маловипускаючою, переважно не випускаючою озон і яка має ПГП менше ніж приблизно 22200. Більш конкретно, WO 2008/073790 розкриває ряд різних сполук, які не потрапляють під загальне хімічне визначення.

30 Крім того, US-A-4175048 стосується газоподібного ізолятора, який містить сполуку, вибрану з групи перфторциклогексену і гексафторазометану, а EP-A-0670294 розкриває використання перфторпропану як діелектричного газу.

EP-A-1933432 стосується трифторйодометану ( $\text{CF}_3\text{I}$ ) і його застосування як ізолюючого газу в розподільному пристрої з газовою ізоляцією. В цьому зв'язку, даний документ вказує, що для ізоляційного газу важливими вимогами є і діелектрична міцність, і характеристики переривання.  $\text{CF}_3\text{I}$  має, згідно з EP-A-1933432, ПГП, що дорівнює 5, і, таким чином, вважається таким, що чинить відносно низьке навантаження на навколишнє середовище. Однак, через відносно високу точку кипіння  $\text{CF}_3\text{I}$  ( $-22^\circ\text{C}$ ) пропонуються газові суміші з  $\text{CO}_2$ . Крім того, чистий  $\text{CF}_3\text{I}$ -газ має приблизно такі ж ізоляційні характеристики, як і традиційне ізоляційне середовище з  
40 високими характеристиками ізоляції і перемикання, так що запропоновані газові суміші мають приблизно 80% від питомих ізоляційних характеристик чистого традиційного ізоляційного середовища, що повинно компенсуватися збільшенням тиску заповнення і/або більшою ізоляційною відстанню.

Отже, існує збережувана необхідність в ізоляційному середовищі, яке чинить ще менше навантаження на навколишнє середовище, ніж  $\text{CF}_3\text{I}$ , і не вимагає збільшення тиску газу і/або ізоляційних відстаней вищих сьогоdnішніх звичайних величин.

Через це, завдання даного винаходу полягає в тому, щоб забезпечити ізолююче середовище, що має знижений ПГП, але має в той же час порівнянні або навіть покращені ізоляційні властивості в порівнянні з відомими ізоляційними середовищами без збільшення  
50 тиску газу і/або ізоляційних відстаней вище застосовуваних сьогодні величин.

Ця задача вирішується за допомогою ізоляційного середовища за відповідними незалежними пунктами формули винаходу. Переважні варіанти реалізації даного винаходу подані в залежних пунктах формули винаходу.

Даний винахід оснований на несподіваному відкритті того, що шляхом використання фторкетону, який має від 4 до 12 атомів вуглецю, може бути отримане ізоляційне середовище з високою ізоляційною здатністю, зокрема, високою діелектричною міцністю (або напруженістю поля пробою), і в той же час дуже низьким потенціалом глобального потепління (ПГП).

Загалом, фторкетон згідно з даним винаходом має загальну структуру  
R1-CO-R2,

де R1 і R2 являють собою щонайменше частково фторовані ланцюги, причому згадані ланцюги є незалежно один від одного лінійними або розгалуженими і мають від 1 до 10 атомів вуглецю. Дане визначення охоплює як перфторовані кетони, так і гідрофторовані кетони.

Загалом, фторкетон, який використовується згідно з даним винаходом, має точку кипіння щонайменше  $-5^{\circ}\text{C}$  при навколишньому тиску, що явно суперечить вказівкам рівня техніки і, зокрема, WO 2008/073790, який передбачає точку кипіння  $-20^{\circ}\text{C}$  або нижче як істотну ознаку прийнятної діелектричної сполуки.

Переважаю, фторкетон має від 4 до 10 атомів вуглецю, більш переважно від 4 до 8 атомів вуглецю, а найбільш переважно 6 атомів вуглецю (також позначається як C6-фторкетон). Як вказано вище, згаданий C6-фторкетон може бути перфторованим кетоном (що має молекулярну формулу  $\text{C}_6\text{F}_{12}\text{O}$ ) або гідрофторованим кетоном.

При застосуванні ізоляційне середовище може знаходитися як в рідкому, так і в газоподібному стані. Зокрема, ізоляційне середовище може бути двофазною системою, що містить фторкетон і в рідкому, і в газоподібному стані. Більш конкретно, ізоляційне середовище може бути аерозолем, що містить краплі фторкетону, дисперговані в газовій фазі, що містить фторкетон в газоподібному стані.

Для багатьох застосувань переважно, щоб ізоляційне середовище містило ізоляційний газ, що містить цей фторкетон при робочих умовах. Це, зокрема, має місце у разі ізоляційного середовища, що застосовується для високовольного перемикачання у відповідному розподільному пристрої.

Якщо використовується ізоляційний газ, то він може також бути газовою сумішшю, яка крім фторкетону переважно містить повітря або щонайменше один компонент повітря, зокрема вибраний з групи, яка складається з діоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ), кисню ( $\text{O}_2$ ) і азоту ( $\text{N}_2$ ), як буфер або газ-носії. Альтернативно, ізоляційний газ може практично складатися з фторкетону.

Ізоляційні властивості ізоляційного газу і, зокрема, його напруженість поля пробою, можуть регулюватися температурою, тиском і/або складом ізоляційного середовища. Якщо використовується двофазна система, що містить фторкетон і в рідкому, і в газоподібному стані, то збільшення температури приводить не тільки до збільшення абсолютного тиску, але і до збільшення концентрації фторкетону в ізоляційному газі через більш високий тиск пар.

Було виявлено, що для багатьох застосувань ізоляційного газу, таких як застосування в діапазоні середніх напружень, достатня мольна частка, тобто відношення числа молекул фторкетону до числа молекул інших компонентів середовища (звичайно газу-носія або буферного газу), а значить, і достатня напруженість поля пробою можуть бути досягнуті навіть при дуже низьких робочих температурах, наприклад, до приблизно  $-30^{\circ}\text{C}$  або навіть  $-40^{\circ}\text{C}$ , без додаткових заходів, таких як зовнішнє нагрівання або випаровування.

Якщо бажана більш висока концентрація фторкетону в ізоляційному газі, щоб збільшити напруженість поля пробою, що може мати місце, зокрема, у разі високовольних застосувань, тиск, склад і/або температура ізоляційного середовища можуть бути відповідно адаптовані. Те, як вивести параметри, необхідні для отримання бажаної напруженості поля пробою, буде далі показано як приклад в контексті фігур нижче.

Діелектричне ізоляційне середовище за даним винаходом може бути застосована в будь-якому апараті для генерації, розподілу або використання електричної енергії, особливо в розподільному пристрої або його частині і/або компоненті.

Для високовольного перемикачання, наприклад, особливу важливість має переривна здатність (або здатність гасіння електричної дуги) ізоляційного середовища. Несподівано було виявлено, що середовище згідно з даним винаходом не тільки має порівнянну або навіть поліпшену ізоляційну здатність в порівнянні з вищезгаданими традиційними ізоляційними середовищами, але і достатню здатність гасіння електричної дуги. Без якого-небудь наміру бути зв'язаними теорією, вважаємо, що ця здатність гасіння електричної дуги може бути щонайменше частково приписана рекомбінації продуктів дисоціації фторкетону всередині дугогасильної області, головним чином тетрафторметану ( $\text{CF}_4$ ), який добре відомий як високоефективне середовище гасіння електричної дуги.

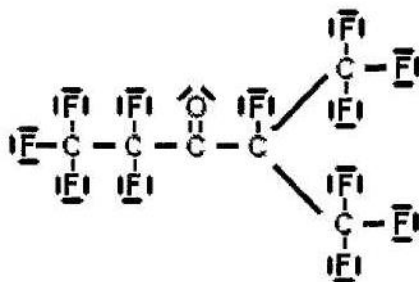
Іншим важливим аспектом під час переривання дуги є збільшення температури перемикаючого газу у всій посудині, що може приводити до пошкоджень ізоляції в заземленій посудині навіть після успішного переривання дуги всередині комутаційного проміжку, особливо після переривання важкого короткого замикання в поміщених в металеву оболонку переривниках ланцюга. Через розкладання фторкетонів при помірних температурах (наприклад, приблизно від  $550^{\circ}\text{C}$  до  $570^{\circ}\text{C}$  для C6-фторкетону) до нижчих фторовуглеців, підведена теплова енергія в розряджених об'ємах не приводить до температур вищих цих температур дисоціації, поки всі фторкетони не дисоціюють. Якщо є достатньо фторкетону, то температура

розрідженого газу тому не може перевищувати вищезгадані температури, приводячи до хороших характеристик ізоляції також відразу після переривання струму важкого короткого замикання в поміщеному в металеву оболонку високовольтному переривнику ланцюга.

Серед найбільш переважних фторкетонів, що мають 6 атомів вуглецю, додекафтор-2-метилпентан-3-он виявився особливо переважним завдяки своїм високим ізоляційним властивостям і своєму виключно низькому ПГП.

Додекафтор-2-метилпентан-3-он (який також називається 1,1,1,2,2,4,5,5,5-нонафтор-4-(трифторметил)-3-пентанон, перфтор-2-метил-3-пентанон або  $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{C}(\text{O})\text{CF}(\text{CF}_3)_2$ ) раніше вважали корисним тільки для абсолютно інших застосувань, а саме обробки розплавлених реакційноздатних металів (як вказано в WO 2004/090177), для очищення парового реактора (як вказано в WO 02/086191) і в системах гасіння вогню, або в рідкій формі для охолодження електронних систем, або для процесу Ренкіна в малих електростанціях (як вказано в EP-A-1764487).

Додекафтор-2-метилпентан-3-он є прозорим, безбарвним і майже не має запаху. Його структурна формула описується таким чином:



Додекафтор-2-метилпентан-3-он має середній час життя в атмосфері приблизно 5 днів, і його ПГП становить тільки приблизно 1. Крім того, його потенціал озонowego виснаження (ПОВ) є нульовим. Таким чином, навантаження на навколишнє середовище набагато нижче, ніж у традиційних ізоляційних газів.

Крім того, додекафтор-2-метилпентан-3-он є нетоксичним і демонструє видатні межі по безпеці для людей. Це контрастує з фторкетонами, що мають менше ніж 4 атоми вуглецю, такими як гексафторацетон (або гексафторпропанон), які звичайно токсичні і дуже реакційноздатні.

25 Додекафтор-2-метилпентан-3-он має точку кипіння 49,2°C при 1 бар. Тиск його пари, тобто тиск пари в рівновазі з його непаровими фазами, становить приблизно 40 кПа при 25°C. Враховуючи високий тиск пари додекафтор-2-метилпентан-3-ону, може загалом бути також отриманий ізоляційний газ з напруженістю поля пробою, достатньою для багатьох застосувань, зокрема, в діапазоні середніх напружень, при дуже низьких температурах аж до -30°C.

Якщо ізоляційне середовище являє собою ізоляційний газ, як це переважно має місце, наприклад, у разі переривника ланцюга високовольтного розподільного пристрою, додекафтор-2-метилпентан-3-он може також забезпечуватися в газовій суміші, яка переважно додатково містить повітря або щонайменше один компонент повітря, який діє як газ-носіє або буферний газ. Альтернативно, ізолюючий газ може практично складатися з додекафтор-2-метилпентан-3-ону.

На основі того виявленого факту, що при температурі 550<sup>0</sup>С або вище додекафтор-2-метилпентан-3-он розкладається на дуже реакційноздатні фторовуглецеві сполуки, що мають менше число атомів вуглецю, переважно, щоб ізолюючий газ містив достатньо кисню (O<sub>2</sub>), з яким фторовуглецеві сполуки, що утворилися, можуть реагувати, утворюючи інертні сполуки, такі як, наприклад, CO<sub>2</sub>.

Згідно з особливо переважним варіантом реалізації даного винаходу, мольна частка фторкетону, зокрема додекафтор-2-метилпентан-3-ону, в ізоляційному газі складає щонайменше 1%, переважно, щонайменше 2%, більш переважно, щонайменше 5%, більш переважно, щонайменше 10%, найбільш переважно, щонайменше 15%. Ці переважні мольні частки стосуються деякої даної стандартної або встановленої робочої умови. При умовах, що відхиляються, мольна частка може також змінюватися від цих переважних значень.

Важливість ізолюючого середовища, що містить додекафтор-2-метилпентан-3-он з мольною часткою щонайменше 1% або 2% відповідно, основана на тому виявленому факті, що ізоляційний газ з цією мольною часткою може також бути отриманий при дуже низькотемпературних умовах аж до  $-30^{\circ}\text{C}$  для 2% і аж до  $-40^{\circ}\text{C}$  для 1% і що цей ізоляційний газ має достатню діелектричну міцність для, наприклад, апаратів середньої напруги, таких як

розподільні пристрої середньої напруги з газовою ізоляцією, які працюють при тиску ізоляційного газу приблизно 1 бар і, особливо, нижче 1,5 бар.

Як буде додатково проілюстровано за допомогою прикладів, ізолююча здатність ізоляційного газу, що має мольну частку додекафтор-2-метилпентан-3-ону щонайменше 15%,  
 5 навіть вище (при 1 бар), ніж у традиційних ізолюючих газів. Цей варіант реалізації, таким чином, є особливо переважним.

Ще одна задача даного винаходу полягає в тому, щоб забезпечити поліпшену діелектричну ізоляцію і поліпшені електричні апарати, що містять описане вище ізоляційне середовище. Ця  
 10 задача вирішується згідно з незалежним пунктом формули винаходу на застосування вищеописаного фторкетону для діелектричної ізоляції і, зокрема, для гасіння електричної дуги, і згідно з незалежним пунктом формули винаходу на апарат, що містить вищеописаний фторкетон. Переважні варіанти реалізації розкриті і заявлені в залежних пунктах формули винаходу.

Отже, в доповнення до описаного вище ізоляційного середовища, даний винахід додатково  
 15 стосується апарату для генерації, розподілу і використання електричної енергії, що містить корпус, який утворює ізолюючий простір, і електричну активну частину, розташовану в ізолюючому просторі. Цей ізолюючий простір містить ізоляційне середовище, описане вище.

Термін "або" у виразі "апарат для генерації, розподілу або використання електричної енергії"  
 20 в даному контексті не треба розуміти як такий, що виключає комбінації, а потрібно читати як "і/або".

Також термін "електрична активна частина" в даному контексті потрібно тлумачити широко, включаючи провідник, конструкцію проводів, вимикач (перемикач), провідний компонент, імпульсний розрядник (розрядник для захисту від атмосферних перенапруг) і тому подібне.

Зокрема, апарат за даним винаходом включає в себе розподільний пристрій, зокрема,  
 25 вміщений в металеву (або іншу) оболонку розподільний пристрій з повітряною або газовою ізоляцією, або його частину і/або компонент, зокрема, шину, ввід, кабель, кабель з газовою ізоляцією, кабельну муфту, трансформатор струму, трансформатор напруги, імпульсний розрядник, заземлюючий вимикач, роз'єднувач, вимикач навантаження і/або переривник ланцюга.

Розподільні пристрої, зокрема, розподільні пристрої з газовою ізоляцією (ГІР) або, інакше кажучи, комутаційна апаратура з газовою ізоляцією, добре відомі фахівцям в даній галузі  
 30 техніки. Приклад розподільного пристрою, для якого даний винахід особливо добре підходить, показаний, наприклад, в ЕР-А-1933432, абзаци [0011]-[0015], зміст яких включений сюди за допомогою посилання.

Більш переважно, коли даний апарат являє собою вимикач, зокрема, заземлюючий вимикач (наприклад, швидкодіючий заземлюючий вимикач), роз'єднувач, вимикач навантаження або  
 35 переривник ланцюга, зокрема, переривник ланцюга середньої напруги, переривник ланцюга генератора і/або високовольтний переривник ланцюга.

Згідно з іншим переважним варіантом реалізації даний апарат може являти собою  
 40 трансформатор, зокрема, розподільний трансформатор або силовий трансформатор.

Згідно з іншими варіантами реалізації даний апарат також може являти собою, наприклад, електричну обертову машину, генератор, двигун, привід, напівпровідниковий пристрій, обчислювальну машину, пристрій силової електроніки і/або їх компонент.

Даний винахід, особливо, стосується апарату середньої або високої напруги (середньо- або  
 45 високовольтного). Використовуваний тут термін "середня напруга" стосується напруги в діапазоні від 1 кВ до 72 кВ, тоді як термін "висока напруга" стосується напруги більшої ніж 72 кВ. Застосування в діапазоні низької напруги нижчої 1 кВ також можливі.

Щоб встановити відповідні параметри на необхідне значення для досягнення бажаної  
 50 напруженості поля пробою, апарат може містити блок керування (який також називається "системою керування текучим середовищем") для регулювання індивідуально або в комбінації складу - зокрема, хімічного складу або фізичного фазового складу, такого як двофазна система газ/рідина - і/або температури ізоляційного середовища, а також абсолютного тиску, густини газу, парціального тиску і/або парціальної густини газу ізоляційного середовища або щонайменше одного з її компонентів відповідно. Зокрема, блок керування може містити  
 55 нагрівник і/або випарник для того, щоб регулювати тиск пари фторкетону згідно з винаходом. Випарник може бути, наприклад, ультразвуковим випарником або може містити розпилювальні сопла для розпилювання ізоляційного середовища в апарат.

У зразковому варіанті реалізації для високовольтних застосувань парціальний тиск фторкетону може бути забезпечений в ізолюючому середовищі шляхом нагрівання і/або  
 60 випаровування, так що парціальний тиск фторкетону підтримується на рівні тиску щонайменше

0,6 бар в шинах розподільних засобів з газовою ізоляцією (ГІР) або лініях передачі з газовою ізоляцією (ГІЛП), що відповідає традиційним ізоляційним відстаням (з приблизно необхідними напруженостями поля приблизно 300 кВ/см) і традиційним рівням тиску, наприклад, приблизно 4 бар. Відповідно, у високовольтному переривнику ланцюга нагрівання і/або випаровування

5 необхідно адаптувати так, що парціальний тиск фторкетону підтримується на рівні тиску щонайменше 0,9 бар, що відповідає традиційним ізоляційним відстаням (з приблизно необхідними напруженостями поля приблизно 440 кВ/см) і традиційним рівням тиску, наприклад, приблизно 6 бар.

10 Якщо використовується випарник, він звичайно також містить блок дозування для встановлення концентрації фторкетону в ізоляційному середовищі згідно з потребами напруженості поля пробою. Це буде ілюстративно показано більш детально нижче для високовольтного розподільного пристрою з газовою ізоляцією. Крім того, блок керування може містити вимірювальний блок для вимірювання регульованих параметрів, таких як температура, тиск і/або склад -зокрема, рівень рідкої фази - і/або блок контролю для відстеження цих

15 параметрів. Винахід додатково ілюструється за допомогою наступного прикладу в поєднанні з фігурами, на яких:

20 Фігура 1а показує графічне представлення поля пробою при зниженому тиску ізолюючого середовища згідно з даним винаходом як функцію мольної частки в ньому додекафтор-2-метилпентан-3-ону в порівнянні з полем пробою традиційних ізоляційних газів;

Фігури 1b, 1c показують абсолютний тиск ізоляційного середовища як функцію парціального тиску додекафтор-2-метилпентан-3-ону;

Фігура 2 показує графічне представлення тиску пари додекафтор-2-метилпентан-3-ону як функцію температури;

25 Фігури 3a, 3b, 3c показують, для різних рівнів концентрації, тобто мольних часток, додекафтор-2-метилпентан-3-ону в повітрі як газ-носіє, що відповідні величини тиску і температури, при яких досягається зразкова напруженість поля пробою 440 кВ/см або 50 кВ/см;

Фігура 4 показує чисто схематичне представлення високовольтного розподільного пристрою з газовою ізоляцією згідно з даним винаходом, що містить блок керування температурою; і

30 Фігура 5 показує чисто схематичне представлення високовольтного розподільного пристрою з газовою ізоляцією згідно з даним винаходом, який містить блок керування текучим середовищем.

#### Приклади

35 Для вимірювання напруженості поля пробою ізоляційного середовища згідно з даним винаходом тестову посудину, що містить додекафтор-2-метилпентан-3-он (Novec 649, доступний від 3M), вакуумували до приблизно 140 мбар, і даний тиск потім збільшували шляхом додавання навколишнього повітря як буферного газу аж до приблизно 5 бар. Для вибраних мольних часток додекафтор-2-метилпентан-3-ону в ізоляційному газі, що вийшов, напруженість поля пробою визначали в пристосуванні з електродами голка-пластина при подачі постійної

40 напруги.

Як показано на фіг. 1а, напруженість поля пробою при зниженому тиску для ізоляційного середовища згідно з даним винаходом лінійно збільшується як функція збільшеної мольної частки фторкетону за даним винаходом, тут вибраного являючим собою додекафтор-2-метилпентан-3-он. При мольній частці вище 15% ізоляційне середовище згідно з даним

45 винаходом має напругу пробою вищу, ніж найтрадиційніший ізоляційний газ згідно з рівнем техніки.

Фіг. 1b і 1c показують абсолютний тиск заповнення ізоляційного середовища згідно з даним винаходом як функцію мольної частки фторкетону за даним винаходом, тут вибраного являючим собою додекафтор-2-метилпентан-3-он. Фіг. 1b і 1c отримували з фіг. 1а вибором

50 допустимої напруженості поля електричного апарату, перетворенням абсциси (осі у) фіг. 1а розподілом величин допустимої напруженості поля і перетворенням отриманих величин, щоб прийти до шкали абсолютного тиску і, отже, кривої абсолютного тиску, і множенням ординати (осі х) на криву абсолютного тиску, щоб прийти до парціального тиску фторкетону за винаходом, тут переважно додекафтор-2-метилпентан-3-ону. Допустиму напруженість поля

55 вибирали такою, що складає як приклад 440 кВ/см на фіг. 1b і 50 кВ/см на фіг. 1c. На фіг. 2 показаний тиск пари додекафтор-2-метилпентан-3-ону як функцію температури. Цей (абсолютний) тиск ізолюючого газу потрібно вибирати так, щоб, враховуючи парціальний тиск газу фторкетону (заданий мінімальною робочою температурою згідно з фігурою 2), виходила бажана напруженість поля пробою.

Також, робоча температура може бути визначена для даної напруженості поля пробую і абсолютного тиску в системі. Наприклад, напруженість поля пробую в 440 кВ/см при абсолютному тиску 2,5 бар досягається згідно з фіг. 1 при мольній частці додекафтор-2-метилпентан-3-ону 0,5. Парціальний тиск додекафтор-2-метилпентан-3-ону в ізоляційному газі складає при цьому 1,25 бар. Згідно з фіг. 2 цей парціальний тиск виходить при температурі 56°C.

З фігур 1b або 1c в поєднанні з фігурою 2 може бути виведений спосіб вибору параметрів ізоляційного середовища, таких як абсолютний тиск заповнення, мольна частка або парціальний тиск фторкетону, і керування текучим середовищем, зокрема, нагріванням і/або випаровуванням рідкофазного фторкетону, і/або керування резервом текучого середовища рідкофазного фторкетону.

Даний спосіб містить етапи:

- визначення для даного електричного апарату допустимої напруженості електричного поля бажаного ізоляційного середовища і мінімальної допустимої робочої температури бажаного ізоляційного середовища,

- визначення по напруженості поля пробую при зниженому тиску бажаного ізоляційного середовища як функції мольної частки фторкетону за винаходом (дивись, наприклад, фіг. 1a), далі переважно з 6-9 C-атомами і більш переважно додекафтор-2-метилпентан-3-ону, а по допустимій напруженості поля - кривою абсолютного тиску ізоляційного середовища як функції парціального тиску фторкетону (дивись, наприклад, фіг. 1b або фіг. 1c),

- вибору бажаного абсолютного тиску заповнення ізоляційного середовища (яке звичайно задається для деяких стандартних умов і може бути основане, наприклад, на конструктивних і/або експлуатаційних обмеженнях електричного апарату),

- визначення по кривій абсолютного тиску мінімального необхідного парціального тиску фторкетону, а по кривій тиску пари - відповідної температури випаровування фторкетону, і

- визначення, чи вища ця температура випаровування, ніж мінімальна допустима робоча температура бажаного ізоляційного середовища, і

- тільки якщо ця температура випаровування нижче, ніж мінімальна допустима робоча температура бажаного ізоляційного середовища, забезпечення системи керування текучим середовищем, зокрема, засоби для нагрівання і/або випаровування і/або керування запасом текучого середовища рідкофазного фторкетону, для підтримки парціального тиску вище мінімального необхідного парціального тиску.

Додатковий докладний приклад показаний на фіг. 1c в зв'язку з фіг. 2 для апарату середньої напруги, що стосується даного рівня напруги, виходячи з якого може бути виведена допустима напруженість електричного поля бажаного ізоляційного середовища (наприклад, 50 кВ/см), і що стосується навколишньої температури, виходячи з якого може бути виведена мінімальна допустима робоча температура бажаного ізоляційного середовища (наприклад, -25°C). Згідно з фіг. 2, екстрапольованої до -25°C, парціальний тиск фторкетону за винаходом, тут як приклад додекафтор-2-метилпентан-3-ону, при -25°C становить приблизно 0,025 бар, що згідно з фіг. 1c вимагає приблизно 0,95 бар абсолютного тиску заповнення. Це нижче допустимого (наприклад, що залежить від апарату) тиску заповнення, наприклад, 1,2 бар, так що ніякого активного випаровування рідкого фторкетону не потрібно.

Ще одне правило визначення розмірів стосується максимальної допустимої робочої температури бажаного ізоляційного середовища, наприклад, 105°C у високовольтних або середньовольтних апаратах. Згідно з фіг. 2 точка 105°C відповідає парціальному тиску фторкетону 5 бар, що може приводити до абсолютного тиску, що перевищує всі допустимі (наприклад, що залежать від апарату) межі тиску. Цього потрібно уникати шляхом обмеження кількості наявного рідкого фторкетону і/або обмеження температури, наприклад, шляхом активного охолодження. Отже, в апараті резервний об'єм рідкого фторкетону і/або максимальна допустима робоча температура бажаного ізоляційного середовища повинні бути обмежені так, що абсолютний тиск заповнення підтримується нижчим деякої даної межі тиску в апараті (максимальний допустимий робочий тиск). Апарат повинен, таким чином, мати резервний об'єм рідкого фторкетону і/або засіб обмеження максимальної допустимої робочої температури бажаного ізоляційного середовища, так щоб абсолютний тиск заповнення підтримувався нижчим даної межі тиску в апараті.

Фіг. 3a, 3b і 3c додатково показують співвідношення між абсолютним тиском заповнення і температурою ізоляційного газу, необхідними, щоб отримати деяку дану напруженість поля пробую (= допустимої напруженості електричного поля, тут як приклад 440 кВ/см і 50 кВ/см відповідно), для різних мольних часток М фторкетону за винаходом. Очевидно, що напруженість поля в діелектриці ізоляційного газу може бути збільшена шляхом збільшення



мольної частки М фторкетону, в даному конкретному випадку - додекафтор-2-метилпентан-3-ону, і/або шляхом збільшення загального або абсолютного тиску заповнення. На фіг. 3а, наприклад, напруженість поля пробою високої напруги 440 кВ/см досягається при тиску приблизно 7 бар і температурі приблизно 22°C, причому мольна частка фторкетону становить 5%. Така ж напруженість поля пробою досягається при тиску меншому ніж 2 бар, але при температурі 60°C, причому мольна частка фторкетону становить 100%.

На фіг. 3b, наприклад, напруженість поля пробою середньої напруги 50 кВ/см досягається при абсолютному тиску заповнення приблизно 0,8 бар і температурі приблизно -20°C, причому мольна частка фторкетону становить 5%. Така ж напруженість поля пробою досягається при тиску приблизно 0,1 бар і температурі приблизно 5°C, причому мольна частка М фторкетону становить 100%.

Фіг. 3с ще раз показує допустимий діапазон параметрів для випадку напруженості поля пробою високої напруги 440 кВ/см. Горизонтальна пунктирна лінія між точками 1 і 2 представляє максимальний допустимий абсолютний тиск, що залежить від апарату, тут, наприклад, 6 бар. Вертикальна пунктирна лінія між точками 2 і 3 представляє максимальну допустиму робочу температуру, тут, наприклад, 105°C. Обмежуюча крива абсолютного тиску для мольної частки М= 100% тягнеться між точками 4 і 3. Проведена крива між точками 1 і 4 являє собою криву абсолютного тиску як функції температури і мольної частки фторкетону за винаходом, тут, наприклад, додекафтор-2-метилпентан-3-ону, взяту з фіг. 3а. Окреслена область, тобто область, обмежена лініями, що з'єднують послідовно точки 1-2-3-4-1, задає діапазон допустимих параметрів, а саме абсолютний тиск заповнення, робочі температури бажаного ізоляційного середовища і мольні частки (або відповідно парціальні тиски) фторкетону за винаходом для вибраної напруженості поля пробою або допустимої напруженості електричного поля.

Як указано вище, електричний апарат за даним винаходом може містити блок керування (або "систему керування текучим середовищем") для того, щоб адаптувати тиск, склад і/або температур)- ізолюючого середовища.

Як приклад, високовольтний розподільний пристрій, що містить блок керування температурою, показаний на фіг. 4. Розподільний пристрій 2 містить корпус 4, який утворює ізолюючий простір 6, і електричну активну частину 8, розташовану в ізолюючому просторі 6. Розподільний пристрій 2 додатково містить блок 10а керування температурою для встановлення корпусу 4, або щонайменше частини корпусу 4, розподільного пристрою і, таким чином, ізоляційного середовища, що міститься в ізолюючому просторі 6, на бажану температуру. Звичайно, може нагріватися будь-яка інша частина в контакті з ізоляційним середовищем для того, щоб доводити ізоляційне середовище до бажаної температури. Таким чином, тиск пари фторкетону - і отже його мольна частка в ізоляційному газі - а також абсолютний тиск ізоляційного газу можуть бути відповідно адаптовані. Як показано на фіг. 4, фторкетон в цьому варіанті реалізації не розподілений рівномірно по ізолюючому простору через температурний градієнт, заданий в ізоляційному просторі. Концентрація фторкетону, таким чином, вища поблизу стінок 4' корпусу 4.

Альтернативний блок керування або система керування текучим середовищем схематично показаний(а) на фіг. 5, де блок 10b керування текучим середовищем доданий розподільному пристрою з газовою ізоляцією як блок керування. Згідно з цим блоком керування, склад ізолюючого середовища і, зокрема, концентрація фторкетону в ньому регулюються у відповідному блоці дозування, що міститься в блоці 10b керування текучим середовищем, і ізоляційне середовище, що вийшло, впорскується або вводиться, зокрема розпилюється, в ізолюючий простір 6. В показаному на фіг. 5 варіанті реалізації ізоляційне середовище розпилюється в ізолюючий простір в формі аерозолу 14, в якому дрібні капельки рідкого фторкетону дисперговані у відповідному газі-носії. Аерозоль 14 розпилюється в ізолюючий простір 6 за допомогою сопел 16, і фторкетон легко випаровується, таким чином, приводячи в ізолюючому просторі 6 до нерівномірної концентрації фторкетону, більш конкретно, відносно високої концентрації поблизу стінки 4' корпусу, яка містить сопла 16. Альтернативно, ізоляційне середовище, зокрема його концентрація, тиск і температура, можуть регулюватися в блоці 10b керування текучим середовищем до уприскування в ізоляційний простір. Щоб забезпечити циркуляцію газу, у верхній стінці 4" корпусу 4 передбачені додаткові отвори 18, які ведуть до каналу 20 в корпусі 4 і дозволяють видаляти ізолююче середовище з ізолюючого простору 6. Розподільний пристрій з блоком 10b керування текучим середовищем, показаний на фіг. 5, може бути скомбінований з блоком 10а керування температурою, описаним в зв'язку з фіг. 4. Якщо блок керування температурою не передбачений, може відбуватися конденсація

фторкетону. Конденсований фторкетон може бути зібраний і повторно введений в циркуляцію ізоляційного середовища.

У контексті розподільних пристроїв, показаних на фіг. 4 і 5, відмітимо, що номінальне навантаження по струму звичайно сприяє випаровуванню фторкетону за рахунок омичного нагрівання струмонесучих провідників.

Перелік посилальних позицій

2 - розподільний пристрій

4 - корпус

4' - стінка корпусу

4" - верхня стінка корпусу

6 - ізолюючий простір

8 - електрична активна частина

10a - блок керування температурою

10b- блок керування текучим середовищем

14 - аерозоль

16 - сопло

18 - отвір

M - мольна частка фторкетону.

## ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Діелектричне ізоляційне середовище, що містить ізоляційний газ, причому вказаний ізоляційний газ містить при робочих умовах фторкетон, що має від 4 до 12 атомів вуглецю, яке **відрізняється** тим, що фторкетон має точку кипіння щонайменше  $-5^{\circ}\text{C}$  при навколишньому тиску.

2. Діелектричне ізоляційне середовище за п. 1, яке **відрізняється** тим, що фторкетон має загальну структуру

$R_1\text{-CO-R}_2$ ,

де  $R_1$  і  $R_2$  являють собою щонайменше частково фторовані ланцюги, причому вказані ланцюги є незалежно один від одного лінійними або розгалуженими і мають від 1 до 10 атомів вуглецю.

3. Діелектричне ізоляційне середовище за будь-яким з попередніх пунктів, яке **відрізняється** тим, що фторкетон має від 4 до 10 атомів вуглецю, більш переважно від 4 до 8 атомів вуглецю, а найбільш переважно 6 атомів вуглецю.

4. Діелектричне ізоляційне середовище за п. 3, яке **відрізняється** тим, що фторкетон являє собою додекафтор-2-метилпентан-3-он.

5. Діелектричне ізоляційне середовище за будь-яким з попередніх пунктів, яке **відрізняється** тим, що мольна частка фторкетону в ізоляційному газі складає щонайменше 1 %, переважно щонайменше 2 %, більш переважно щонайменше 5 %, більш переважно щонайменше 10 %, найбільш переважно щонайменше 15 %.

6. Діелектричне ізоляційне середовище за будь-яким з попередніх пунктів, яке **відрізняється** тим, що ізоляційний газ являє собою газову суміш, яка додатково містить повітря або щонайменше один компонент повітря, зокрема вибраний з групи, яка складається з діоксиду вуглецю, кисню і азоту.

7. Діелектричне ізоляційне середовище, що містить ізоляційний газ, причому вказаний ізоляційний газ містить при робочих умовах фторкетон, що має від 4 до 12 атомів вуглецю і що має загальну структуру

$R_1\text{-CO-R}_2$ ,

де  $R_1$  і  $R_2$  являють собою щонайменше частково фторовані ланцюги, причому вказані ланцюги є незалежно один від одного лінійними або розгалуженими і мають від 1 до 10 атомів вуглецю.

8. Діелектричне ізоляційне середовище за п. 7, яке **відрізняється** тим, що фторкетон має точку кипіння щонайменше  $-5^{\circ}\text{C}$  при навколишньому тиску.

9. Діелектричне ізоляційне середовище за будь-яким з пп. 7-8, яке **відрізняється** тим, що фторкетон має від 4 до 10 атомів вуглецю, більш переважно від 4 до 8 атомів вуглецю, а найбільш переважно 6 атомів вуглецю.

10. Діелектричне ізоляційне середовище за п. 9, яке **відрізняється** тим, що фторкетон являє собою додекафтор-2-метилпентан-3-он.

11. Діелектричне ізоляційне середовище за будь-яким з пп. 7-10, яке **відрізняється** тим, що мольна частка фторкетону в ізоляційному газі складає щонайменше 1 %, переважно щонайменше 2 %, більш переважно щонайменше 5 %, більш переважно щонайменше 10 %, найбільш переважно щонайменше 15 %.

12. Діелектричне ізоляційне середовище за будь-яким з пп. 7-11, яке **відрізняється** тим, що ізоляційний газ являє собою газову суміш, яка додатково містить повітря або щонайменше один компонент повітря, зокрема вибраний з групи, яка складається з діоксиду вуглецю, кисню і азоту.
- 5 13. Діелектричне ізоляційне середовище, що містить ізоляційний газ, причому вказаний ізоляційний газ містить при робочих умовах фторкетон, яке **відрізняється** тим, що фторкетон має 6 атомів вуглецю.
14. Діелектричне ізоляційне середовище за п. 13, яке **відрізняється** тим, що фторкетон має загальну структуру
- 10  $R_1\text{-CO-R}_2$ ,  
де  $R_1$  і  $R_2$  являють собою щонайменше частково фторовані ланцюги, причому вказані ланцюги є незалежно один від одного лінійними або розгалуженими і мають від 1 до 10 атомів вуглецю.
15. Діелектричне ізоляційне середовище за п. 13 або 14, яке **відрізняється** тим, що фторкетон має точку кипіння щонайменше  $-5^\circ\text{C}$  при навколишньому тиску.
- 15 16. Діелектричне ізоляційне середовище за будь-яким з пп. 13-15, яке **відрізняється** тим, що фторкетон являє собою перфторований кетон, що має молекулярну формулу  $\text{C}_6\text{F}_{12}\text{O}$ , а найбільш переважно додекафтор-2-метилпентан-3-он.
17. Діелектричне ізоляційне середовище за будь-яким з пп. 13-16, яке **відрізняється** тим, що мольна частка фторкетону в ізоляційному газі складає щонайменше 1 %, переважно
- 20 щонайменше 2 %, більш переважно щонайменше 5 %, більш переважно щонайменше 10 %, найбільш переважно щонайменше 15 %.
18. Діелектричне ізоляційне середовище за будь-яким з пп. 13-17, яке **відрізняється** тим, що ізоляційний газ являє собою газову суміш, яка додатково містить повітря або щонайменше один компонент повітря, зокрема вибраний з групи, яка складається з діоксиду вуглецю, кисню і азоту.
- 25 19. Застосування фторкетону за будь-яким з пп. 1-18 в діелектричному ізоляційному середовищі.
20. Застосування фторкетону за п. 19, яке **відрізняється** тим, що ізоляційне середовище застосовується для гасіння електричної дуги в електричному вимикачі, зокрема у вимикачі
- 30 низької напруги, вимикачі середньої напруги або вимикачі високої напруги, зокрема переривнику ланцюга.
21. Апарат для генерації, розподілу або використання електричної енергії, причому вказаний апарат містить корпус, який утворює ізолюючий простір, і електричну активну частину, розташовану в ізолюючому просторі, причому цей ізолюючий простір містить ізоляційне
- 35 середовище, що характеризується як діелектричне ізоляційне середовище за будь-яким з пп. 1-18.
22. Апарат за будь-яким з попередніх пунктів, що є апаратом середньої або високої напруги.
23. Апарат за п. 21 або 22, який **відрізняється** тим, що апарат являє собою розподільний пристрій, зокрема поміщений в металеву оболонку розподільний пристрій з повітряною або
- 40 газовою ізоляцією, або його частину, або компонент, зокрема шину, ввід, кабель, кабель з газовою ізоляцією, кабельну муфту, трансформатор струму, трансформатор напруги і/або імпульсний розрядник.
24. Апарат за будь-яким з пп. 21-23, який **відрізняється** тим, що апарат являє собою вимикач, зокрема заземлюючий вимикач, роз'єднувач, вимикач навантаження і/або переривник ланцюга.
- 45 25. Апарат за п. 24, який **відрізняється** тим, що апарат являє собою переривник ланцюга високої напруги, що має нагрівальну камеру для забезпечення ефекту самопіддування, і що при операції перемикання фторкетон розкладається до фторовуглецевих сполук з меншим числом атомів вуглецю в нагрівальній камері під час фази саморозігрівання.
26. Апарат за п. 25, який **відрізняється** тим, що фторкетон має 6 атомів вуглецю, і зокрема,
- 50 являє собою додекафтор-2-метилпентан-3-он.
27. Апарат за будь-яким з пп. 21-23, який **відрізняється** тим, що апарат являє собою трансформатор, зокрема розподільний трансформатор або силовий трансформатор.
28. Апарат за будь-яким з пп. 21-23, який **відрізняється** тим, що апарат являє собою електричну обертову машину, генератор, двигун, привід, напівпровідниковий пристрій,
- 55 обчислювальну машину, пристрій силової електроніки і/або їх компонент.
29. Апарат за будь-яким з пп. 21-28, який **відрізняється** тим, що він додатково містить блок керування для регулювання індивідуально або в комбінації складу, температури, абсолютного тиску, парціального тиску, густини газу і/або парціальної густини газу ізоляційного середовища або щонайменше одного з його компонентів відповідно.

30. Апарат за п. 29, який **відрізняється** тим, що блок керування містить нагрівник і/або випарник для регулювання парціального тиску фторкетону і, зокрема, для підтримки його вище необхідного рівня парціального тиску.

31. Апарат за будь-яким з пп. 29-30, який **відрізняється** тим, що блок (10а, 10b) керування містить блок (10а) керування температурою, що містить систему нагрівання для встановлення корпусу (4), або щонайменше частини корпусу (4), апарата на бажану температуру, і/або блок (10а, 10b) керування містить блок (10b) керування текучим середовищем для дозування концентрації фторкетону або для вприскування ізоляційного середовища, що вийшло, в апарат.

32. Апарат за будь-яким з пунктів 21-31, який **відрізняється** тим, що апарат має резервний об'єм рідкого фторкетону і/або засіб для обмеження максимальної допустимої робочої температури бажаного ізоляційного середовища, так що абсолютний тиск заповнення підтримується нижчим заданої межі тиску апарата.

33. Спосіб визначення параметрів електричного апарата за будь-яким з пп. 21-31, що характеризується етапами, на яких

- визначають для цього апарата допустиму напруженість електричного поля бажаного ізоляційного середовища і мінімальну допустиму робочу температуру бажаного ізоляційного середовища,

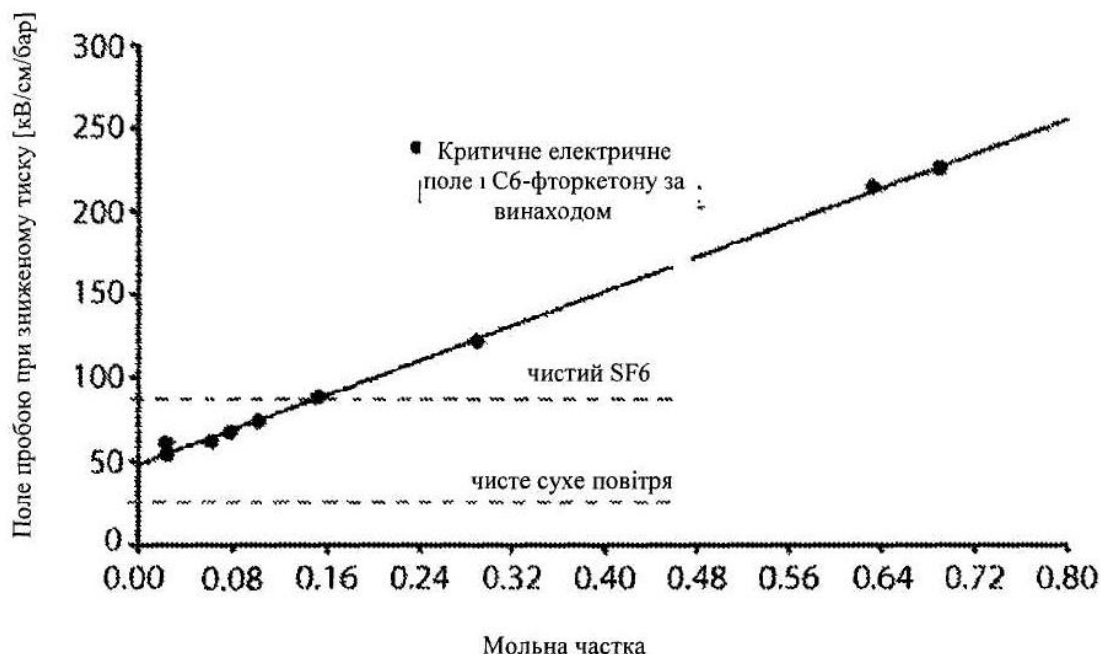
- визначають по напруженості поля пробою при зниженому тиску бажаного ізоляційного середовища як функції мольної частки фторкетону і по допустимій напруженості поля криву абсолютного тиску ізоляційного середовища як функцію парціального тиску фторкетону,

- вибирають бажаний абсолютний тиск заповнення ізоляційного середовища,

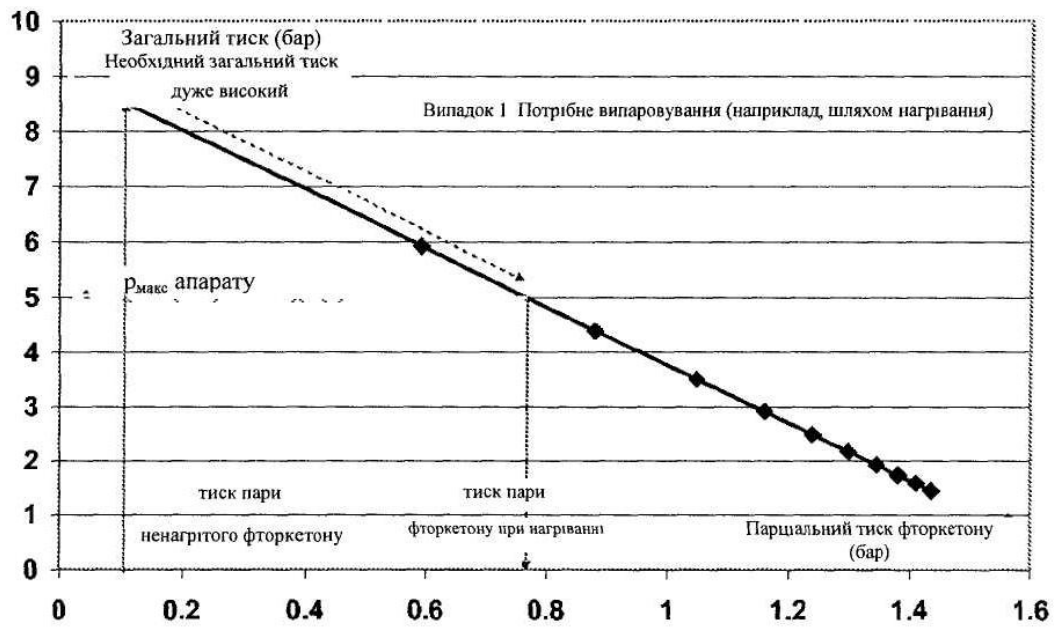
- визначають по кривій абсолютного тиску мінімальний необхідний парціальний тиск фторкетону, а по кривій тиску пари - відповідну температуру випаровування фторкетону, і

- визначають, чи вища ця температура випаровування мінімальної допустимої робочої температури бажаного ізоляційного середовища.

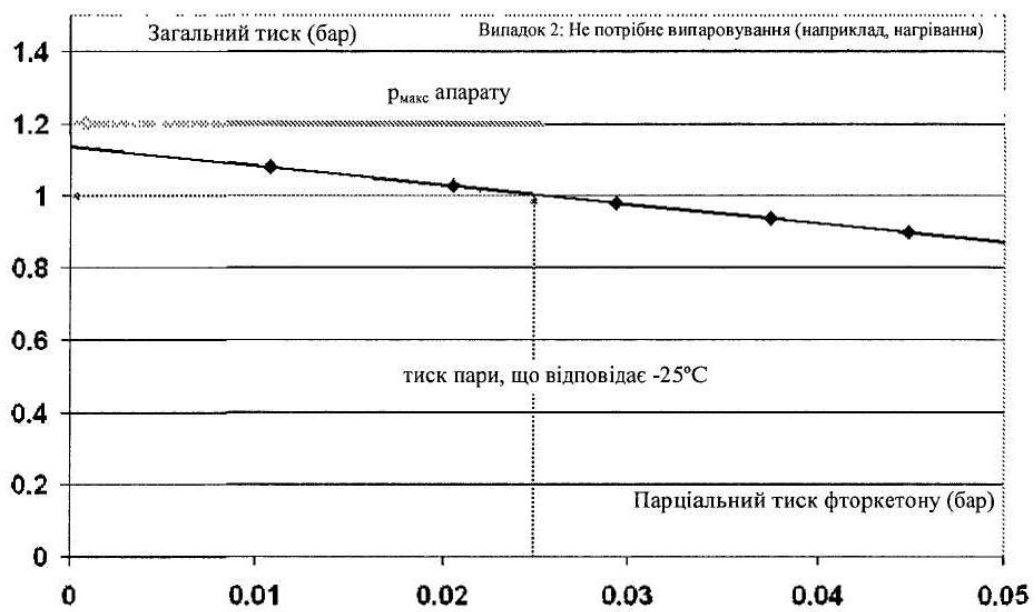
34. Спосіб визначення параметрів електричного апарата за п. 33, що характеризується додатковим етапом, на якому, якщо температура випаровування нижча мінімальної допустимої робочої температури бажаного ізоляційного середовища, забезпечують систему керування текучим середовищем, зокрема систему керування текучим середовищем за будь-яким з пунктів 29-32, що переважно містить засіб для нагрівання і/або випаровування, і/або керування запасом текучого середовища рідкофазного фторкетону, для підтримки парціального тиску вищим мінімального необхідного парціального тиску.



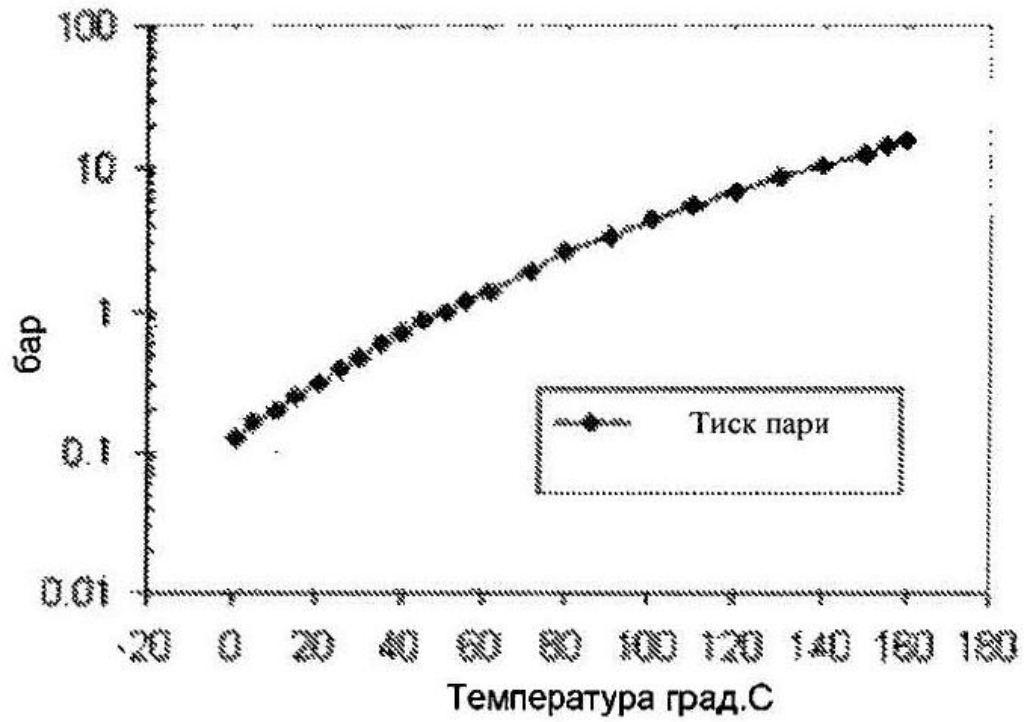
Фіг. 1а



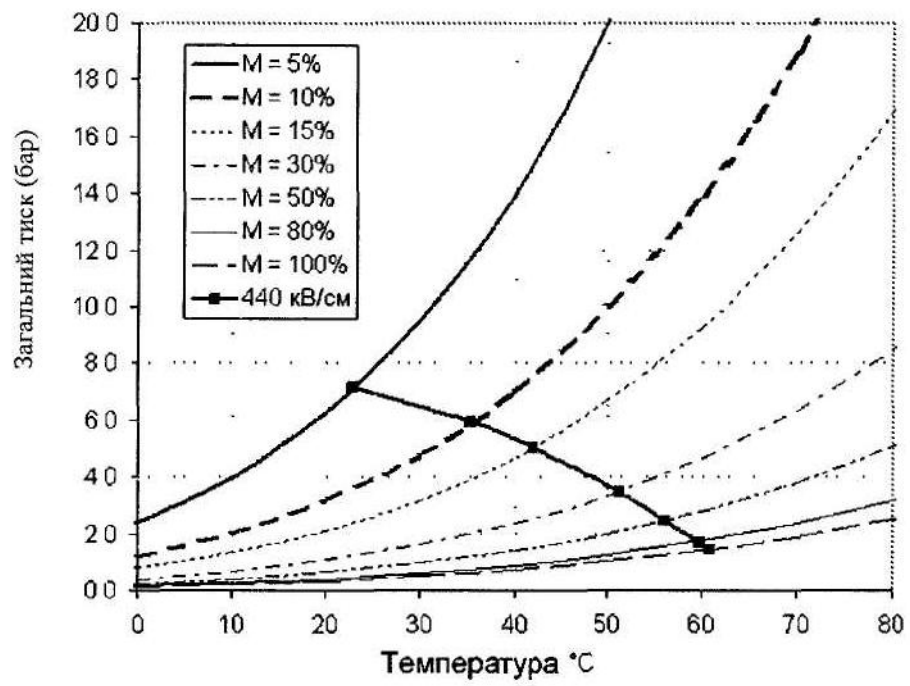
Фіг. 1b



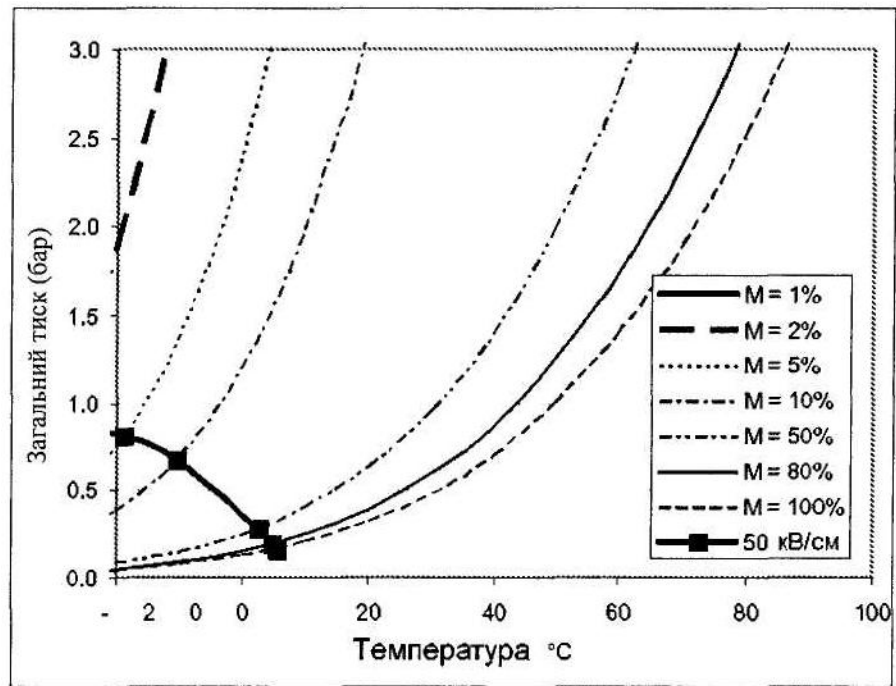
Фіг. 1c



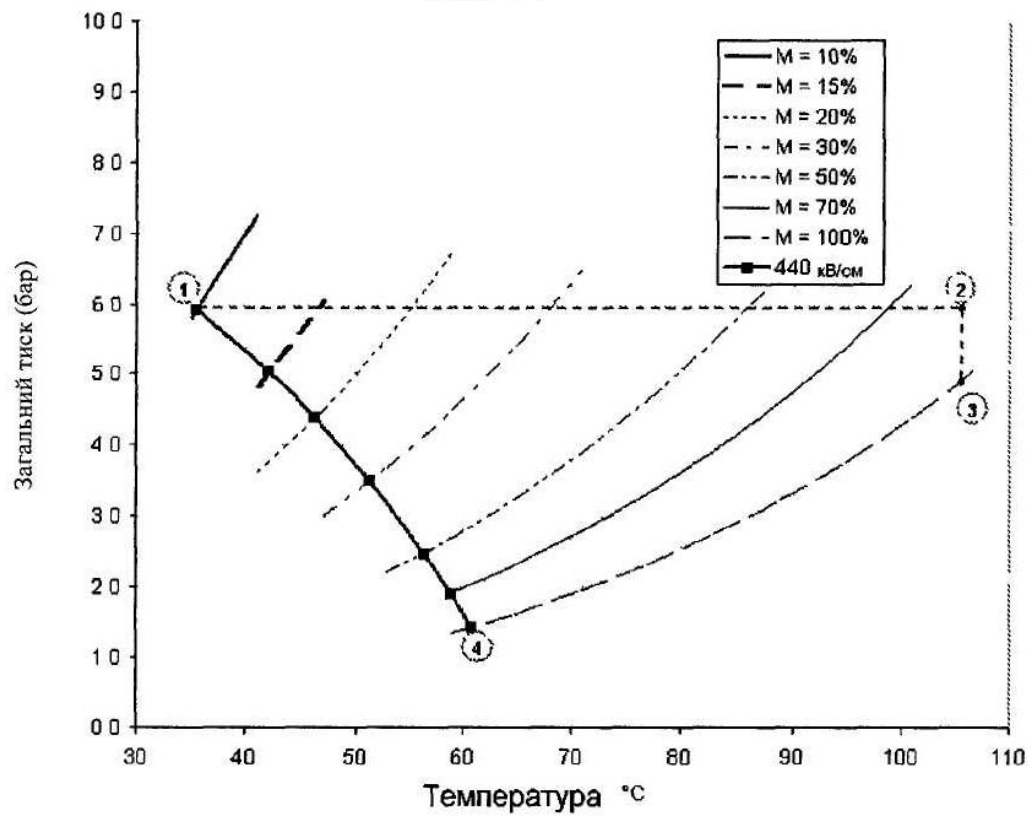
Фіг. 2



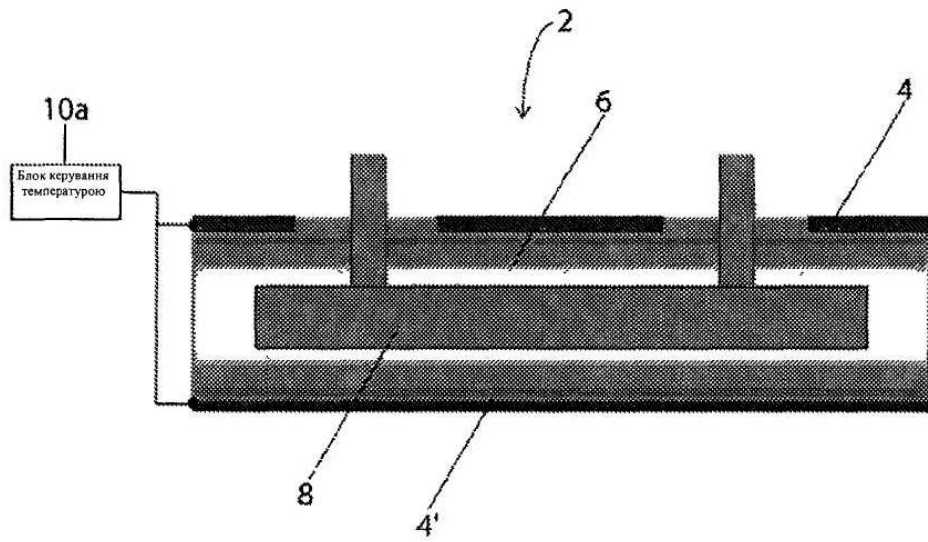
Фіг. 3а



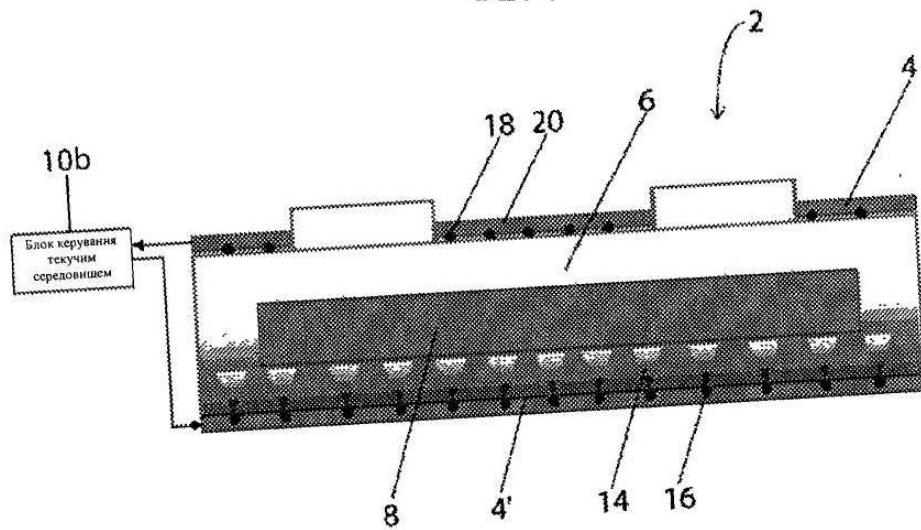
Фіг. 3b



Фіг. 3c



Фіг. 4



Фіг. 5

Комп'ютерна верстка С. Чулій

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

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