



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112015005204-5 B1



(22) Data do Depósito: 09/09/2013

(45) Data de Concessão: 09/02/2021

(54) Título: APARELHO ELÉTRICO DE MÉDIA OU ALTA TENSÃO E USO DE HEPTAFLUOROISOBUTIRONITRILA

(51) Int.Cl.: H02B 13/055; H01H 33/22; H01B 3/56.

(30) Prioridade Unionista: 10/09/2012 FR 1258437.

(73) Titular(es): ALSTOM TECHNOLOGY LTD..

(72) Inventor(es): YANNICK KIEFFEL; ALAIN GIRODET; JACQUES PORTE.

(86) Pedido PCT: PCT EP2013068639 de 09/09/2013

(87) Publicação PCT: WO 2014/037566 de 13/03/2014

(85) Data do Início da Fase Nacional: 09/03/2015

(57) Resumo: APARELHO ELÉTRICO DE MÉDIA OU ALTA TENSÃO E USO DE HEPTAFLUOROISOBUTIRONITRILA A presente invenção concerne um aparelho elétrico de média ou alta tensão, de baixo impacto ambiental, que compreende um compartimento estanque no qual se encontram componentes elétricos recobertos de uma camada dielétrica sólida de espessura variável e um meio gasoso que assegura a isolamento elétrica e/ou a extinção dos arcos elétricos suscetíveis de ocorrer nesse compartimento e que compreende heptafluoroisobutironitrila em mistura com um gás de diluição.

**“APARELHO ELÉTRICO DE MÉDIA OU ALTA TENSÃO E USO DE
HEPTAFLUOROISOBUTIRONITRILA”**

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção pertence ao campo da isolação elétrica e da extinção dos arcos elétricos em aparelhos elétricos de média ou alta tensão e, em particular, de alta tensão.

[002] Mais particularmente, a presente invenção trata do uso em um aparelho elétrico de média ou alta tensão de uma isolação híbrida de baixo impacto ambiental baseada na combinação de um meio gasoso que compreende heptafluoroisobutironitrila em mistura com um gás neutro de tipo nitrogênio, oxigênio, dióxido de carbono, ar ou uma mistura desses gases utilizada como gás de isolação elétrica e/ou de extinção dos arcos elétricos e de uma isolação sólida de permissividade dielétrica baixa aplicada em camada de pequena ou grande espessura sobre peças condutoras submetidas a um campo elétrico superior ao campo de ruptura do sistema sem isolação sólida. Uma vez que a espessura da camada isolante é uma função do fator de uso do campo elétrico, η , definido como a relação do campo elétrico médio (U/d) dividido pelo campo elétrico máximo, E_{max} ($\eta = U / (E_{max} * d)$), a camada é espessa para fatores de uso próximos de 0,3 e a camada é fina para fatores de uso que se aproximam de 0,9.

[003] Ela trata igualmente um aparelho elétrico de média ou alta tensão no qual a extinção dos arcos elétricos é assegurada por um meio gasoso que compreende heptafluoroisobutiro-nitrila em mistura com um gás neutro de tipo nitrogênio, oxigênio, dióxido de carbono, ar ou uma mistura desses gases e a isolação elétrica é assegurada pelo menos gás em combinação com uma isolação sólida de permissividade dielétrica baixa aplicada em camada de pequena ou grande espessura sobre peças condutoras submetidas a um campo elétrico superior ao campo de ruptura do sistema sem isolação sólida.

Esse aparelho elétrico pode, em particular, ser um transformador elétrico tal como transformador de potência ou de medida, uma linha de isolamento gasosa (ou LIG) para o transporte ou a distribuição da eletricidade, um conjunto de barras ou ainda um aparelho elétrico de conexão/desconexão (também chamado aparelho de corte) tal como disjuntor, um interruptor, uma unidade que combina interruptor-fusíveis, um seccionador, um seccionador de aterramento ou um contator.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[004] Os aparelhos elétricos de subestação de média ou alta tensão, a isolamento elétrica e, se for o caso, a extinção de arco elétrico são tipicamente asseguradas por um gás que está confinado no interior desses aparelhos.

[005] Atualmente, o gás mais frequentemente usado nesse tipo de aparelho é o hexafluoreto de enxofre (SF_6). Esse gás apresenta, de fato, uma rigidez dielétrica relativamente alta, uma boa condutividade térmica e perdas dielétricas pouco elevadas. Ele é quimicamente inerte e não tóxico para o homem e os animais e, depois de ter dissociado por um arco elétrico, ele se recombina rapidamente e quase totalmente. Além disso, ele é não inflamável e seu preço encarece é ainda moderado.

[006] Todavia, o SF_6 tem como principal inconveniente apresentar um potencial de aquecimento global (PAG ou GWP para "Global Warming Potential") de 22 200 (em relação ao CO_2 ao longo de 100 anos) e um período de permanência na atmosfera de 3 200 anos, o que o coloca entre os gases com forte poder de efeito estufa. O SF_6 foi, portanto, inscrito pelo Protocolo de Kyoto (1997) na lista dos gases cujas emissões devem ser limitadas.

[007] O melhor meio de limitar as emissões do SF_6 consiste em limitar o uso desses gases, o que levou os industriais a procurar alternativas para o SF_6 .

[008] Os gases chamados “simples” como o ar ou o nitrogênio, que não têm um impacto negativo sobre o meio ambiente, apresentam uma rigidez dielétrica muito menor que a do SF₆. Assim, por exemplo, as rigidezes dielétricas em corrente alternada (50 Hz) do ar e do nitrogênio são sensivelmente três vezes menores que a do SF₆.

[009] Por esse motivo, o uso desses gases simples para isolamento elétrica e/ou a extinção de arco elétrico em aparelhos elétricos de subestação implica em aumentar de forma drástica o volume e/ou a pressão de enchimento desses aparelhos, o que contraria esforços que foram realizados durante as últimas décadas para desenvolver aparelhos elétricos compactos, seguros para o pessoal e cada vez menos volumosos.

[010] Misturas de SF₆ e de nitrogênio são utilizadas para limitar o impacto do SF₆ sobre o meio ambiente. De fato, a adição de SF₆ a 10 a 20% em volume permite melhorar significativamente a rigidez dielétrica do nitrogênio.

[011] Entretanto, devido ao PAG elevado do SF₆, o PAG dessas misturas continua muito elevado. Assim, por exemplo, uma mistura de SF₆ e de nitrogênio em uma relação volúmica de 10/90 apresenta uma rigidez dielétrica em corrente alternada (50 Hz) igual a 59% da rigidez do SF₆, mas seu PAG é de 8 650.

[012] Tais misturas não deveriam, portanto, ser utilizadas como gás de baixo impacto ambiental.

[013] O mesmo acontece com as misturas descritas no pedido de patente europeu publicada com o nº 0 131 922, [1], e que compreende aproximadamente 60 a 99,5% molar de SF₆ e aproximadamente de 0,5 a 40% molar de um fluorocarbono saturado e em particular, escolhido entre o C₂F₅CN, CBrClF₂, e c-C₄F₈.

[014] Os perfluorocarbonos (C_nF_{2n+2} e c-C₄F₈) apresentam, de

modo geral, propriedades de resistência dielétrica interessantes mas seus PAG se inscrevem tipicamente em uma faixa que varia de 5 000 a 10 000 (6500 para CF_4 , 7000 para C_3F_8 e C_4F_{10} , 8700 para C_4F_8 , 9200 para C_2F_6).

[015] Deve-se notar US 4 547 316, [2], visa fornecer uma mistura gasosa isolante para dispositivos elétricos e que apresentam importantes propriedades isolantes e com uma toxidez moderada para os homens e animais, comparada com o $\text{C}_2\text{F}_5\text{CN}$. Assim, a mistura gasosa proposta compreende $\text{C}_2\text{F}_5\text{CN}$ e um nitrito de alquila mais particularmente escolhido no grupo constituído pelo nitrito de metila, o nitrito de etila, o nitrito de propila, o nitrito de butila e o nitrito de amila. Tal mistura pode ainda compreender SF_6 . Todavia, são fornecidas poucas informações quanto às propriedades isolantes dessa mistura.

[016] O pedido internacional WO 2008/073790, [3], descreve muitos outros gases dielétricos utilizáveis no campo de isolamento elétrica e da extinção dos arcos elétricos em aparelhos elétricos média ou alta tensão.

[017] Existem outras alternativas promissoras de um ponto de vista características elétricas e PAG, como o trifluoroiodometano (CF_3I). De fato, o CF_3I apresenta uma rigidez dielétrica superior à do SF_6 e isso se aplica tanto em campo homogêneo quanto em campo divergente, para um PAG inferior a 5 e uma tempo de permanência na atmosfera de 0,005 ano. Infelizmente, além do CF_3I ser caro, ele possui um valor médio de exposição (VME) da ordem de 3 a 4 ppm e é classificado entre as substâncias cancerígenas, mutagênicas e reprotóxicos (CMR) de categoria 3, o que é inaceitável para um uso em uma escala industrial.

[018] O pedido internacional WO 2012/080246, [4], descreve o uso de uma (ou mais) fluorocetona(s) em mistura com o ar como meio de isolamento elétrica e/ou de extinção do arco elétrico de baixo impacto ambiental. Devido aos pontos de ebulição elevados para os fluidos propostos, isto é, 49°C

para a fluorocetona C6 e 23°C para a fluorocetona C5, esses fluidos se encontram no estado líquido nas pressões e temperatura mínimas de serviço usuais para a aparelhagem elétrica média e alta tensão, obrigando assim os inventores a adicionar sistemas de vaporização da fase líquida ou de aquecimento externo da aparelhagem a fim de manter a temperatura do aparelho acima da temperatura de liquefação das fluorocetonas. Esse sistema externo de vaporização e sobretudo de aquecimento complica a concepção do aparelho elétrico, diminui sua confiabilidade em caso de ruptura de alimentação elétrica e gera um consumo elétrico adicional que pode atingir cem MWh ao longo do tempo de vida do aparelho elétrico, o que vai contra o objetivo de redução do impacto ambiental do aparelho e em particular, a redução das emissões carbono. Do ponto de vista da confiabilidade em baixa temperatura, em caso de ruptura da alimentação elétrica em baixa temperatura, a fase gasosa da(s) fluorocetona(s) se liquefaria abaixando fortemente a concentração de fluorocetona(s) na mistura gasosa e diminuindo assim o poder de isolamento do aparelho, que seria incapaz de suportar a tensão em caso de realimentação elétrica.

[019] Foi igualmente proposto usar sistemas híbridos de isolamento associando uma isolamento gasosa, por exemplo, ar seco, nitrogênio ou do CO₂, a uma isolamento sólida. Como descrito no pedido de patente europeu publicada com o n° 1 724 802, [5], essa isolamento sólida consiste, por exemplo, a recobrir as peças sob tensão que apresentam um forte gradiente elétrico por uma resina do tipo resina epóxida ou análoga, ce que permite reduzir o ao qual são submetidas as peças sob tensão .

[020] Entretanto, a isolamento assim obtida não é equivalente à que é fornecida pelo SF₆ e o uso desses sistemas híbridos requer o aumento do volume dos aparelhos elétricos em relação ao que é permitido por uma isolamento com SF₆.

[021] No que diz respeito ao corte de um arco elétrico sem SF₆, existem diferentes soluções: a corte em óleo, com corte no ar ambiente, a corte com ampola de vácuo. Todavia, os aparelhos com o corte em óleo apresentam o principal inconveniente de explodir em caso de não-corte ou de defeito interno. Os aparelhos com corte no ar ambiente são geralmente de grandes dimensões, dispendiosos e sensíveis ao meio ambiente (umidade, poluição), ao passo que os aparelhos, em particular, do tipo interruptor-seccionador, com ampola de vácuo são muito onerosos e muito pouco presentes no mercado no campo da alta tensão superior a 72,5 kV.

[022] Considerando o que foi dito acima, os inventores traçaram assim o objetivo geral de encontrar uma alternativa para o SF₆ que apresentasse um impacto ambiental baixo em relação a um aparelho idêntico ao SF₆ mantendo ao mesmo tempo as características do aparelho, do ponto de vista de sua capacidade de isolamento e do corte, próximas das do SF₆ sem aumentar, de forma significativa, o tamanho do aparelho e a pressão do gás no interior.

[023] Além disso, os inventores se propuseram igualmente a manter as faixas de temperatura de serviço do aparelho elétrico, próximas das faixas dos aparelhos equivalentes SF₆, sem meio de aquecimento externo.

[024] Mais especificamente, os inventores estabeleceram o objetivo de encontrar um sistema de isolamento que compreende pelo menos um gás ou uma mistura de gases que, ao mesmo tempo que apresentam propriedades de isolamento elétrica e de extinção de arco elétrico suficientes para uma aplicação no campo da aparelhagem elétrica alta tensão e em particular, comparáveis com as do SF₆, tenha um impacto sobre o meio ambiente que seja baixo ou inexistente.

[025] Eles traçaram também o objetivo de que sistema de isolamento e em particular, o gás ou a mistura de gases que ele compreende não seja

tóxico para o homem e os animais.

[026] Eles estabeleceram ainda o objetivo de que o sistema de isolamento e em particular, o gás ou a mistura de gases tenha um custo de fabricação ou de compra compatível com um uso em uma escala industrial.

Eles estabeleceram ainda o objetivo de que a aparelhagem elétrica média ou alta tensão baseada nesse sistema de isolamento e, em particular, o gás ou a mistura de gases tenha um tamanho e uma pressão próximas de aparelhos equivalentes isolados com SF₆ e não apresente liquefação na temperatura mínima de uso sem adição de fonte externa de aquecimento.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[027] As finalidades estabelecidas, além de outras, são atingidas pela invenção que propõe o uso de um sistema de isolamento híbrida particular que permite obter um aparelho elétrico de média ou alta tensão de baixo impacto ambiental.

[028] De fato, o sistema de isolamento híbrida implementado no contexto da presente invenção se baseia em um meio gasoso que compreende heptafluoroisobutironitrila em mistura com um gás neutro como gás de isolamento elétrica e/ou de extinção dos arcos elétricos em um aparelho elétrico de média ou alta tensão, em combinação com uma isolamento sólida, em particular, de permissividade dielétrica baixa, aplicada em camada de espessura variável sobre peças condutoras submetidas a um campo elétrico superior ao campo de ruptura do aparelho média ou alta tensão sem isolamento sólida. De fato, o aparelho elétrico de média ou alta tensão de acordo com a presente invenção apresenta componentes elétricos que não estão recobertos por uma camada dielétrica sólida.

[029] De modo geral, a presente invenção propõe um aparelho elétrico de média ou alta tensão que compreende um compartimento estanque no qual se encontram componentes elétricos recobertos de uma camada

dielétrica sólida de espessura variável e um meio gasoso que assegura isolamento elétrica e/ou a extinção dos arcos elétricos suscetíveis de ocorrer nesse recinto, o qual meio gasoso compreende heptafluoroisobutironitrila em mistura com um gás de diluição.

[030] No aparelho elétrico de acordo com a presente invenção, a isolamento gasosa utiliza uma mistura gasosa que compreende heptafluoroisobutironitrila .

[031] A heptafluoroisobutironitrila de fórmula (I): $(CF_3)_2CFCN$ (I), designada a seguir $i-C_3F_7CN$, corresponde à 2,3,3,3-tetrafluoro-2-trifluorometil propanonitrila, com o número CAS: 42532-60-5, que apresenta um ponto de ebulição de $-3,9^\circ C$ a 1013 hPa (ponto de ebulição medido de acordo com ASTM D1120-94 "Standard Test Method for Boiling Point of Engine Codants") e uma resistência dielétrica relativa em relação a N_2 e comparada com a do SF_6 dada na Tabela I a seguir, a qual resistência dielétrica é medida à pressão atmosférica, sob tensão contínua, entre dois eletros de aço de diâmetro 2,54 cm e espaçadas de 0,1 cm.

TABELA I

N_2	SF_6	$i-C_3F_7CN$
1,0	2,5	5,5

[032] Assim, a heptafluoroisobutironitrila de fórmula (I) tal como definida acima, que não é tóxica, nem corrosiva, nem inflamável e que apresenta um PAG baixo em relação ao do SF_6 , é dotada de propriedades de isolamento elétrica e de extinção dos arcos elétricos próprios a permitir que ela substitua de forma muito vantajosa, em combinação com uma isolamento sólida, em mistura com um gás de diluição, o SF_6 como gás de isolamento e/ou de extinção de arco em aparelhos elétricos de média ou alta tensão.

[033] Mais particularmente, a presente invenção propõe uma isolamento híbrida de baixo impacto ambiental que combina (i) uma mistura

gasosa de baixo impacto ambiental (PAG baixo em relação ao SF₆) compatível com as temperaturas de uso mínimas da aparelhagem elétrica e que possui propriedades dielétricas, de corte e de dissipação térmica melhoradas em relação aos gases clássicos como o CO₂, o ar ou o nitrogênio e (ii) uma isolamento sólida de tipo depósito de permissividade dielétrica baixa efetuada nas peças elétricas submetidas a fortes campos elétricos.

[034] No texto acima, bem como no texto a seguir, os termos “média tensão” e “alta tensão” são utilizados em sua aceção habitual, ou seja, o termo “média tensão” designa uma tensão que é superior a 1 000 volts em corrente alternada e a 1 500 volts em corrente contínua, mas não ultrapassa 52 000 volts em corrente alternada e 75 000 volts em corrente contínua, ao passo que o termo “alta tensão” designa uma tensão que é estritamente superior a 52 000 volts em corrente alternada e a 75 000 volts em corrente contínua.

[035] No contexto da presente invenção, a heptafluoroisobutironitrila de fórmula (I) tal como definida acima é utilizada em mistura com um gás de diluição que será escolhido entre os gases que correspondem aos quatro critérios a seguir:

(1) apresentar uma temperatura de ebulição muito baixa, inferior à temperatura mínima de uso do aparelho;

(2) apresentar uma rigidez dielétrica superior ou igual à do dióxido de carbono em condições de ensaio idênticas (mesma aparelhagem, mesma configuração geométrica, mesmos parâmetros operatórios, ...) às usadas para medir a rigidez dielétrica do dióxido de carbono;

(3) ser destituídas de toxidez para o homem e os animais; e

(4) apresentar um PAG mais baixo que o da heptafluoroisobutironitrila de forma que a diluição da heptafluoroisobutironitrila pelo gás de diluição tenha igualmente por efeito abaixar o impacto ambiental da heptafluoroisobutironitrila uma vez o PAG de uma mistura gasosa é uma média

ponderada, derivada da soma da fração de massa de cada uma das substâncias multiplicada pelo PAG de cada um dos componentes.

[036] Em particular, um gás de diluição utilizável no contexto da presente invenção é um gás neutro cujo PAG é muito baixo, e mesmo nulo. Além disso, o gás de diluição é, tipicamente, dióxido de carbono cujo PAG é igual a 1, nitrogênio, oxigênio ou o ar, vantajosamente seco, cujo PAG é igual a 0, ou então misturas desses gases. Mais particularmente, um gás de diluição utilizável no contexto da presente invenção é escolhido entre o dióxido de carbono, o nitrogênio, o oxigênio, o ar, vantajosamente seco, e uma de suas misturas.

[037] Vantajosamente, a heptafluoroisobutironitrila tal como definida acima está presente na mistura heptafluoroisobutironitrila/gás de diluição em uma porcentagem molar (M_{he}) que é pelo menos igual a 80% da porcentagem molar M , determinada pela fórmula (II):

$$M = (P_{he}/P_{mistura}) \times 100 \text{ (II)}$$

na qual $P_{mistura}$ representa a pressão total da mistura a 20°C no aparelho elétrico e P_{he} representa a pressão parcial, expressa na mesma unidade, que equivale a 20°C à pressão de vapor saturante que apresenta heptafluoroisobutironitrila tal como definida acima à temperatura mínima de uso do aparelho elétrico.

[038] A pressão P_{he} é, por sua vez, aproximada pela fórmula (III):

$$P_{he} = (SVP_{he} \times 293)/(T_{min} + 273) \text{ (III)}$$

na qual PVS_{he} representa a pressão de vapor saturante da heptafluoroisobutironitrila tal como definida acima a à temperatura mínima T_{min} , expressa em graus Celsius, de uso do aparelho elétrico .

[039] Assim, as propriedades dielétricas do meio gasoso são as mais elevadas possíveis e estão próximas das propriedades dielétricas do SF_6 .

[040] Vantajosamente, no contexto da presente invenção, a

temperatura mínima de uso T_{\min} é escolhida entre 0°C, -5°C, -10°C, -15°C, -20°C, -25°C, -30°C, -35°C, -40°C, -45°C e -50°C e, em particular, escolhida entre 0°C, -5°C, -10°C, -15°C, -20°C, -25°C, -30°C, -35°C e -40°C.

[041] Em um primeiro modo de realização, o aparelho elétrico é um aparelho de média tensão ou alta tensão para o qual a presença parcial da mistura no estado líquido não é de natureza a reduzir a isolação. Nesse caso, é possível usar uma mistura na qual a heptafluoroisobutironitrila está presente em uma porcentagem molar M_{he} , superior à porcentagem molar M . Nesse caso, a porcentagem molar de heptafluoroisobutironitrila está, tipicamente, compreendida entre 95% e 130%, mais preferencialmente ainda entre 97% e 120%, idealmente entre 99% e 110% da porcentagem molar M tal como definida acima. Nesse caso, a resistência dielétrica do aparelho será testada a uma pressão parcial de heptafluoroisobutironitrila na mistura gasosa para a qual o gás não apresenta uma liquefação à temperatura mínima de serviço a fim de validar a resistência dielétrica do referido aparelho em toda sua faixa de temperatura.

[042] Em um segundo modo de realização, o aparelho elétrico é um aparelho médio ou alta tensão no qual a isolação pode ser afetada pela presença de fase líquida. Nessa forma de realização, é desejável que a mistura heptafluoroisobutironitrila/ gás de diluição seja exclusivamente ou quase exclusivamente no estado gasoso em toda a faixa das temperaturas de uso desse aparelho. É, portanto, vantajoso que a heptafluoroisobutironitrila esteja presente nessa mistura em uma porcentagem molar (M_{he}) que não ultrapasse 100% da porcentagem molar M a fim de não apresentar uma fase de liquefação à temperatura mínima de uso. Nesse caso, a porcentagem molar de heptafluoroisobutironitrila está, vantajosamente, compreendida entre 95% e 100% e, em particular, entre 98% e 100% da porcentagem molar M tal como definida acima.

[043] Com a finalidade de melhorar a resistência dielétrica do conjunto, a mistura gasosa que compreende heptafluoroisobutironitrila e um gás de diluição é utilizada, em um sistema de isolamento híbrido, em combinação com uma isolamento sólida aplicada em uma camada isolante de espessura variável sobre peças condutoras submetidas a um campo elétrico superior ao campo de ruptura do sistema sem isolamento sólida.

[044] A camada isolante utilizada na presente invenção apresenta uma permissividade relativa baixa. Por “permissividade relativa baixa”, entende-se uma permissividade relativa inferior ou igual a 6. Vale lembrar que a permissividade relativa, também chamada constante dielétrica, de um material, que é designada por ϵ_r , é uma grandeza sem dimensão que pode ser definida pelas seguintes fórmulas (IV) e (V):

$$\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0 \text{ (IV), com}$$

$$\epsilon = (e * C) / S \text{ e } \epsilon_0 = 1 / (36\pi * 10^9) \text{ (V)}$$

nas quais:

ϵ corresponde à permissividade absoluta (expressa em Farads/metro) do material;

- ϵ_0 corresponde à permissividade (expressa em Farads/metro) do vácuo;

- C corresponde à capacidade (expressa em Farads) de um condensador plano que compreende dois eletrodos paralelos entre os quais está disposta uma camada do material cuja permissividade deve ser determinada, e a referida camada representa um corpo de prova;

e corresponde à distância (expressa em metros) entre os dois eletrodos paralelos do condensador plano, o que corresponde, em nosso caso, à espessura do corpo de prova; e

- S corresponde à superfície (expressa em metros carrés) de cada eletrodo constitutivo do condensador plano.

[045] No contexto da presente invenção, a capacidade é determinada como na norma CEI 60250-edl.O, isto é, utilizando um condensador que compreende dois eletrodos circulares de um diâmetro que varia de 50 a 54 mm, conectados ao corpo de prova constituído pelo material, e esses eletrodos são obtidos por pulverização de uma pintura condutora com um dispositivo de guarda. O corpo de prova apresenta dimensões de 100 mm x 100 mm e uma espessura de 3 mm. A distância entre os eletrodos do condensador, que corresponde à grandeza e mencionada acima, é, portanto, de 3 mm.

[046] Além disso, a capacidade é determinada usando um nível de excitação de 500 volts RMS, a uma frequência de 50 hertz, a uma temperatura de 23°C e uma umidade relativa de 50%. O tempo de aplicação da tensão supramencionada é de 1 min.

[047] Por “camada isolante/dielétrica” de espessura variável”, entende-se no contexto da presente invenção que o material dielétrico, depositado ou aplicado sobre os componentes elétricos ou peças condutoras, apresenta espessuras variáveis em função da peça condutora ou parte de peça condutora sobre a qual está depositado. A espessura da camada não varia durante o uso do aparelho elétrico, mas é determinada durante a preparação dos elementos que constituem esse aparelho.

[048] No contexto da presente invenção, a camada isolante é aplicada em camada de pequena ou grande espessura sobre peças condutoras submetidas a um campo elétrico superior ao campo de ruptura do sistema sem isolação sólida.

[049] Mais particularmente, como a espessura da camada isolante utilizada no contexto da presente invenção é função do fator de uso do campo elétrico, η , definido como a relação do campo elétrico médio (U/d) dividido pelo campo elétrico máximo, ($\eta = U/(E_{max} \cdot d)$), a camada é espessa para fatores de

uso próximos de 0,3, isto é, compreendidos entre 0,2 e 0,4 e a camada é fina para fatores de uso que se aproximam de 0,9, isto é, superior a 0,5 e em particular, superior a 0,6.

[050] Em relação à Figura 3, as camadas espessas (6) são tipicamente depositadas sobre os eletrodos (5) na posição em que o coeficiente de uso do campo elétrico está próximo de 0,3 e as camadas finas (7) sobre os condutores (1) na posição em que o coeficiente de uso do campo elétrico é superior a 0,6.

[051] No contexto da presente invenção, entende-se por “camada espessa” uma camada de espessura superior a 1 mm e inferior a 10 mm e por “camada fina” uma camada de espessura inferior a 1 mm, vantajosamente inferior a 500 μm , em particular, compreendida entre 60 e 100 μm .

[052] A camada isolante sólida utilizada no contexto da presente invenção pode compreender um único material dielétrico ou vários materiais dielétricos diferentes. Além disso, a composição da camada isolante, isto é, a natureza do ou dos materiais dielétricos que ela compreende pode diferir em função da peça condutora ou parte de peça condutora sobre a qual a camada isolante sólida é depositada.

[053] Em particular, no contexto da presente invenção, os materiais selecionados para realizar as camadas isolantes espessas apresentam permissividades relativas baixas, isto é, inferiores ou iguais a 6. Em um modo de realização particular, as permissividades dielétricas dos materiais isolantes utilizados para realizar as camadas sólidas espessas apresentam permissividades relativas da ordem de 3, e mesmo inferiores, isto é, permissividades relativas inferiores ou iguais a 4 e em particular, inferiores ou iguais a 3. A título de exemplo de materiais utilizáveis para realizar as camadas dielétricas, sólidas e espessas do aparelho elétrico de acordo com a presente invenção, podem ser citados o politetrafluoroetileno, a poliimida, o

polietileno, o polipropileno, o poliestireno, o policarbonato, o polimetil metacrilato, a polissulfona, a polieterimida, a poliéter cetona, o parileno NTM, o NuflonTM, o silicone e a resina epóxida.

[054] No que diz respeito aos materiais utilizados para realizar as camadas finas, os materiais selecionados no contexto desta invenção apresentam permissividades relativas da ordem de 3, isto é, compreendidas entre 2 e 4 e em particular, entre 2,5 e 3,5. A título de exemplo de materiais utilizáveis para realizar as camadas dielétricas, sólidas e finas do aparelho elétrico de acordo com a presente invenção, podem ser citados o politetrafluoroetileno, a poliimida, o polietileno, o polipropileno, o poliestireno, o parileno NTM e o NuflonTM e também a poliamida, o etileno monocloro-fluoroetileno, o HALARTM e o HALAR CTM.

[055] De acordo com a presente invenção, esse aparelho elétrico pode ser, em primeiro lugar um transformador elétrico com isolamento gasosa como, por exemplo, um transformador de potência ou um transformador de medida.

[056] Ele pode igualmente ser uma linha de isolamento gasosa, aérea ou subterrânea, ou um conjunto de barras para o transporte ou a distribuição da eletricidade.

[057] Ele pode igualmente ser um elemento de conexão com os outros equipamentos da rede como, por exemplo, as linhas aéreas ou as conexões passantes.

[058] Finalmente, ele pode ser também um aparelho elétrico de conexão/desconexão (também chamado aparelho de corte) como, por exemplo, um disjuntor, um interruptor, um seccionador, uma unidade que combina interruptor-fusíveis, um seccionador de aterramento ou um contator.

[059] A presente invenção trata igualmente do uso de heptafluoroisobutironitrila em mistura com um gás de diluição tal como definida

acima como gás de isolamento elétrica e/ou de extinção dos arcos elétricos em um aparelho elétrico de média ou alta tensão cujos componentes elétricos estão recobertos por uma camada isolante sólida de espessura variável tal como definida acima.

[060] Outras características e vantagens da presente invenção aparecerão mais claramente na descrição adicional a seguir dada a título ilustrativo e não limitativo e que fazem referência às figuras anexas.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[061] A Figura 1 apresenta a geometria utilizada para realizar o cálculo dielétrico.

[062] A Figura 2 apresenta o perfil do campo elétrico na camada isolante sólida e a fase gasosa para uma permissividade relativa de 2,9 e 5,3.

[063] A Figura 3 apresenta uma esquematização de uma parte de um aparelho elétrico de acordo com a presente invenção.

DESCRIÇÃO DE REALIZAÇÕES DA INVENÇÃO

[064] A presente invenção se baseia no uso de um sistema de isolamento híbrida de baixo impacto ambiental que combina a heptafluoroisobutironitrila tal como definida acima e utilizada para os seguintes exemplos comparativos, com pelo menos um gás de diluição, novamente denominado gás neutro ou gás tampão, de tipo dióxido de carbono, ar, nitrogênio, oxigênio ou uma mistura desses gases, e de uma isolamento sólida de permissividade dielétrica baixa aplicada em camada de pequena ou grande espessura sobre peças condutoras submetidas a um campo elétrico superior ao campo de ruptura do sistema sem isolamento sólida.

[065] Na presente invenção, as expressões “gás de diluição”, “gás neutro” ou “gás tampão” são equivalentes e podem ser usadas de forma intercambiável.

[066] Vantajosamente, a heptafluoroisobutironitrila está presente

no aparelho elétrico em fora inteiramente gasosa qualquer que seja a temperatura de uso desse aparelho. Convém, portanto, que a pressão da heptafluoroisobutironitrila no interior do aparelho elétrico seja escolhida em função da pressão de vapor saturante (PVS) apresentada pela heptafluoroisobutironitrila à temperatura mais baixa de uso do referido aparelho.

[067] Todavia, como os aparelhos elétricos são geralmente enchidos com gás à temperatura ambiente, a pressão heptafluoroisobutironitrila à qual é feita referência para encher o aparelho elétrico é a pressão que corresponde, à temperatura de enchimento, por exemplo 20°C, à PVS apresentada pela heptafluoroisobutironitrila à temperatura mais baixa de uso do referido aparelho elétrico.

[068] A título de exemplo, a Tabela II a seguir indica as pressões de vapor saturante, designadas por $SVP_{i-C_3F_7CN}$ e expressas em hectopascals, apresentadas pela heptafluoroisobutironitrila nas temperaturas de 0°C, -5°C, -10°C, -15°C, -20°C, -25°C, -30°C e -40°C, bem como as pressões, designadas por $P_{i-C_3F_7CN}$ e expressas em hectopascals, que correspondem a 20°C nessas pressões de vapor saturante.

TABELA II

PRESSÕES DE VAPOR SATURANTE DO I-C₃F₇CN

Temperaturas	SVP_{i-C₃F₇CN} (hPa)	P_{i-C₃F₇CN} (hPa)
0°C	1177	1264
-5°C	968	1058
-10°C	788	877
-15°C	634	720
-20°C	504	583

Temperaturas	SVP_{i-C3F7CN} (hPa)	P_{i-C3F7CN} (hPa)
-25°C	395	466
-30°C	305	368
-35°C	232	286
-40°C	173	218

EXEMPLO DE APLICAÇÃO E ENCHIMENTO

[069] De acordo com o aparelho elétrico, a pressão recomendada de enchimento em um meio de isolamento elétrica e/ou de extinção dos arcos elétricos varia. Ela é, todavia, tipicamente de vários bars (isto é, vários milhares de hectopascals).

[070] A heptafluoroisobutironitrila é utilizada em mistura com um gás de diluição para poder obter o nível de pressão de enchimento recomendado.

[071] Assim, por exemplo, um aparelho previsto para, de um lado, ser utilizado a uma temperatura mínima de -30°C, e, de outro lado, ser enchido a 5 bars (isto é, 5 000 hPa), será enchido com 0,368 bar (isto é, 368 hPa) de heptafluoroisobutironitrila e 4,632 bars (isto é, 4632 hPa) de um gás de diluição.

[072] Tal aparelho é, em particular, um aparelho alta tensão de tipo GIS 145 kV vendido pela Alstom com a referência B65 concebido para uma aplicação a -30°C enchido com um gás de diluição/i-C3F7C. Para esse aparelho de temperatura mínima de aplicação de -30°C, a heptafluoroisobutironitrila estará a uma pressão de 0,368 bar absoluto medida a 20°C. Um complemento de gás tampão será efetuado para obter as propriedades finais do gás mistura. Como a pressão parcial da heptafluoroisobutironitrila é de 0,368 bar absoluto medida a 20°C e a pressão

total do gás de 5 bars absolutos, a razão molar de 1-C3F7CN é então de 0,368/5, ou seja, aproximadamente 7,4%.

[073] Tipicamente, o gás de diluição é escolhido entre os gases que apresentam, de um lado, uma temperatura de ebulição muito baixa, inferior ou igual à temperatura mínima de uso do aparelho, e, de outro lado, uma rigidez dielétrica superior ou igual à do dióxido de carbono em condições de ensaio idênticas (mesma aparelhagem, mesma configuração geométrica, mesmo parâmetros operatórios, ...) às utilizadas para medir a rigidez dielétrica do dióxido de carbono.

[074] Vantajosamente, o gás de diluição é escolhido entre o dióxido de carbono cujo PAG é igual a 1, o nitrogênio, o oxigênio, o ar, vantajosamente seco, cujo PAG é igual a 0, ou então suas misturas. Em particular, o gás de diluição é escolhido entre o dióxido de carbono, o nitrogênio, o ar, vantajosamente seco, ou então suas misturas.

[075] A fim de determinar a composição da mistura gasosa durante o enchimento, a porcentagem molar M é determinada para heptafluoroisobutironitrila à pressão de enchimento do aparelho elétrico recomendada, que representa a proporção máxima de heptafluoroisobutironitrila que a mistura hepta-fluoroisobutironitrila/gás de diluição deve comportar para que não haja líquido no compartimento do aparelho elétrico. A porcentagem molar M é dada pela fórmula $M = (P_{he}/P_{mistura}) \times 100$, com P_{he} representando a pressão equivalente, à temperatura de enchimento (tipicamente da ordem de 20 °C), à pressão de vapor saturante PVS heptafluoroisobutironitrila à temperatura mínima de uso T_{min} do aparelho ($P_{he} = (SVP_{he} \times 293)/(273 + T_{min})$).

[076] Em seguida, a porcentagem molar M_{he} de enchimento em função de M é escolhida. Em certos casos, é imperativo que M_{he} não ultrapasse M para evitar qualquer presença de líquido.

[077] Em compensação, é às vezes possível, por exemplo em média tensão ou para certos aparelhos elétricos alta tensão para os quais a isolação não é afetada pela presença de fase líquida, ter um pouco de líquido em baixa ou baixíssima temperatura, nesse caso M_{he} pode atingir 110% ou mesmo 130% de M . Além disso, como a heptafluoroisobutironitrila possui uma melhor resistência dielétrica que os gás neutros, é desejável otimizar o enchimento usando heptafluoroisobutironitrila: Logo, de preferência, M_{he} é escolhida, de sorte forma que ela seja superior ou igual a 80% de M , mais preferencialmente superior ou igual a 95% de M , mais preferencialmente ainda superior ou igual a 98% -de M , por exemplo igual a 99% de M .

[078] O enchimento do aparelho é efetuado com um misturador de gás que permite controlar a relação entre a heptafluoroisobutironitrila e gás de diluição, e essa relação é mantida constante e igual a aproximadamente 7,4% em pressão ao longo de todo do enchimento graças ao uso de um fluxômetro mássico de precisão.

**RESULTADOS ELÉTRICOS: ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À FREQUÊNCIA INDUSTRIAIS E
AOS IMPACTOS DE RAIOS EM ALTA TENSÃO**

[079] Esses ensaios foram realizados um conjunto de barras de uma estação blindada B65 da ALSTOM de 145 kV de tensão nominal de acordo com a norma CEI 62271-1 relativa às aparelhagens de alta tensão.

[080] A Tabela III a seguir indica os resultados obtidos para um meio gasoso que consiste de uma mistura de heptafluoroisobutironitrila e de CO_2 ($i-C_3F_7CN/CO_2$) ou de heptafluoroisobutironitrila e de ar ($i-C_3F_7CN/Ar$) em uma relação molar de 7,4/92,6, comparados com os resultados obtidos para um meio gasoso que contém apenas CO_2 (CO_2), apenas ar (Ar) ou apenas SF_6 para uma pressão total idêntica, ou seja, 4 bars relativos.

TABELA III

Meio gasoso	Frequência industrial (kV)	Impacto de raio positivo (kVc)	Impacto de raio negativo (kVc)
i-C ₃ F ₇ CN/CO ₂	362	694	-653
i-C ₃ F ₇ CN/Ar	380	695	-646
CO ₂	176	366	-310
Ar	211	334	-369
SF ₆	456	890	-889

[081] As Tabelas IV, V e VI a seguir apresentam, a partir dos resultados da Tabela III, a resistência dielétrica relativa em relação ao gás tampão CO₂ e ar e em relação ao SF₆ respectivamente.

TABELA IV

Meio gasoso	Frequência industrial (kV)	Impacto de raio positivo (kVc)	Impacto de raio negativo (kVc)
i-C ₃ F ₇ CN/CO ₂	2,1	1,9	-2,1
CO ₂	1	1	-1

TABELA V

Meio gasoso	Frequência industrial (kV)	Impacto de raio positivo (kVc)	Impacto de raio negativo (kVc)
i-C ₃ F ₇ CN/Ar	1,8	2,1	-1,75
Ar	1	1	-1

TABELA VI

Meio gasoso	Frequência industrial (kV)	Impacto de raio positivo (kVc)	Impacto de raio negativo (kVc)
i-C ₃ F ₇ CN/CO ₂	0,79	0,78	-0,73
i-C ₃ F ₇ CN/Ar	0,83	0,78	-0,73

Meio gasoso	Frequência industrial (kV)	Impacto de raio positivo (kVc)	Impacto de raio negativo (kVc)
SF ₆	1	1	-1

[082] As Tabelas IV e V mostram que meios gasosos que consistem de misturas de heptafluoroiso-butironitrila e de um gás dotado de propriedades dielétricas tal o dióxido de carbono ou o ar seco, apresentam uma resistência aos impactos de raio em alta tensão bem superior à que apresentam esses gases quando são usados sozinhos.

[083] A Tabela VI mostra que meios gasosos que consistem de misturas de heptafluoroisobutiro-nitrila e de um gás dotado de propriedades dielétricas tal como o dióxido de carbono ou o ar seco, apresentam uma resistência aos impactos de raio em alta tensão próxima à resistência do SF₆ usado sozinho, permitindo substituir o SF₆ na aparelhagem elétrica alta tensão.

[084] Assim, para temperaturas mínimas em serviço de -30°C, ou seja, uma pressão absoluta de heptafluoroisobutironitrila de 0,368 bar, ensaios complementares realizados no mesmo conjunto de barras de uma estação blindada B65 da ALSTOM que possui uma tensão nominal de 145 kV, de acordo com a norma CEI 62271-1 relativa às aparelhagens de alta tensão mostram que, para as misturas de heptafluoroisobutironitrila e de CO₂, a equivalência dielétrica a 4 bars relativos de SF₆ é obtida para uma pressão total de mistura de 6 bars, ou seja, uma razão de mistura i-C₃F₇CN/CO₂, $368/7 = 5, 25\%$.

TOXIDEZ

[085] A heptafluoroisobutironitrila não apresenta uma toxidez específica para o homem com uma LC50 superior a 15000 ppm. Além disso, por uma diluição a aproximadamente 5% (exatamente 5,25%) no CO₂ ou mp ar, a toxidez fica ainda mais reduzida na razão volúmica de mistura para atingir uma LC50 da ordem de 78000 ppm para a mistura e que a classifica no campo dos gases “praticamente não tóxicos” (classe de toxidez 5, de acordo com a

escala de toxidez de Hodge e Sterner.

FLAMABILIDADE

[086] A heptafluoroisobutironitrila pura bem como i-C₃F₇CN/CO₂ e i-C₃F₇CN/Ar são inflamáveis.

IMPACTO AMBIENTAL / PAG

[087] O potencial de aquecimento global, ou PAG, da heptafluoroisobutironitrila é da ordem de 2 400, ou seja, 9,5 ou seja, mais baixo do que o do SF₆ e mais de 3,1 vezes mais baixo que o de uma mistura de SF₆ e de nitrogênio a 10% volúmico de SF₆.

[088] A heptafluoroisobutironitrila apresenta uma massa molar de 195 gr/mol.

[089] O PAG da mistura gasosa é calculado de acordo com o Regulamento (CE) No. 842/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 maio de 2006 relativo a certos gases com efeito estufa fluorados, Parte 2 “Método de cálculo do potencial de aquecimento planetário (PAG) total de uma preparação”. De acordo com esse texto, o fator PAG de uma mistura gasosa é uma média ponderada em relação à fração mássica de cada substância multiplicada por seu fator PAG.

[090] Em uso em uma mistura a 5,25% molar no CO₂ (44 gr/mol), a fração mássica da hepta-fluoroisobutironitrila é de 19,7%, ao passo o PAG da mistura é da ordem de 474, o que representa uma redução da ordem de 98% do equivalente carbono em relação ao SF₆ puro (Tabela VII) .

TABELA VII

Gás	Massa molar	PAG	% molar (%P)	Fração mássica (%w)
i-C ₃ F ₇ CN	195	2400	5,3%	19,7%

Gás	Massa molar	PAG	% molar (%P)	Fração mássica (%w)
CO ₂	44	1	94,7%	80,3%
PAG da mistura =		474		
Redução/SF ₆ =		97,9%		

[091] Em uso em uma mistura a 5,25% molar no ar (28,8 gr/mol) , a fração mássica da hepta-fluoroisobutironitrila é de 27%, ao passo o PAG da mistura é da ordem de 655, o que representa uma redução da ordem de 97% do equivalente carbono em relação ao SF₆ puro (Tabela VIII) .

TABELA VIII

Gás	Massa molar	PAG	% molar (%P)	Fração mássica (%w)
i-C ₃ F ₇ CN	195	2400	5,3%	27,3%
Ar	28,8	0	94,7%	72,7%
PAG da mistura =		655		
Reduções/SF ₆ =		97,1%		

FIM DE VIDA

[092] No fim de sua ou após os ensaios de corte, o gás é recuperado pelas técnicas convencionais de recuperação utilizando um compressor e uma bomba de vácuo. A heptafluoroisobutironitrila é então separada do gás tampão por meio de um zeólito capaz de reter unicamente o gás tampão, de tamanho inferior; de modo alternativo, uma membrana

com separação seletiva deixar escapar o gás tampão tal como o nitrogênio, o CO₂, ou o ar e a garheptafluoroisobutironitrila que possui um tamanho e uma massa molar mais elevados; e qualquer outra opção pode ser considerada.

ASSOCIAÇÃO COM UMA ISOLAÇÃO SÓLIDA

[093] A fim de obter a equivalência dielétrica em relação ao SF₆, sem degradar seus desempenhos em baixa temperatura, nem aumentar sua pressão total, a mistura gasosa apresentada acima é utilizada em combinação com uma isolação sólida de permissividade dielétrica baixa aplicada sobre peças condutoras submetidas a um campo elétrico superior ao campo de ruptura do sistema sem isolação sólida.

[094] A isolação sólida utilizada no contexto da presente invenção se apresenta em forma de camada cuja espessura varia para um aparelho elétrico dada. De fato, a camada isolante utilizada pode apresentar uma espessura pequena (camada fina ou delgada) ou uma espessura grande (camada espessa).

[095] Como a espessura da camada isolante é função do fator de uso do campo elétrico, η , definido como a relação do campo elétrico médio (U/d) dividido pelo campo elétrico máximo, E_{max} ($\eta = U/(E_{max} \cdot d)$), a camada é espessa para fatores de uso próximos de 0,3 e a camada é fina para fatores de uso que se aproximam de 0,9.

[096] Os cálculos apresentados na Figura 1 chamam a atenção para a redução do campo elétrico máximo ao qual o gás de isolação é submetido no caso de uma isolação mista que combina isolação sólida aplicada em camada sobre as partes submetidas a campos elétricos fortes, tipicamente nos eletrodos.

[097] Essa solução permite, portanto, diminuir, de forma significativa, o campo elétrico máximo na fase gasosa e aumentar, assim, a

resistência elétrica da isolação total chamada mista e composta em série da isolação sólida e da isolação gasosa. Esse fenômeno de redução do campo elétrico na fase gasosa é mais acentuado quando a permissividade dielétrica da camada sólida for baixa.

[098] De fato, no exemplo apresentado, a isolação híbrida é composta de uma isolação esférica sólida de uma espessura de 10 mm em combinação com uma isolação gasosa de espessura de 15 mm, sendo que isolação total tem uma espessura 25 mm. O cálculo de campo elétrico foi realizado para duas isolações sólidas diferentes que apresentam permissividades relativas significativamente diferentes, tipicamente 5,3 e 2,9.

[099] Para esse caso preciso, o fator de redução do campo elétrico na fase gasosa é da ordem de 15% para uma isolação sólida de permissividade dielétrica 5,3 e da ordem de 30% para uma isolação sólida de permissividade dielétrica 2,9 (Figura 2). No contexto desta invenção, um material que apresenta uma permissividade relativa da ordem de 3 e mesmo inferior será preferido para realizar as camadas espessas nos eletrodos.

[0100] Todos esses cálculos dielétricos foram confirmados por medidas realizadas em uma aparelhagem elétrica, que apresenta um fator de melhoramento da ordem de 20% em resistência dielétrica (em relação a um eletrodo não revestido) para uma camada espessa realizada em resina epóxida que apresenta uma permissividade relativa da ordem de 5 e um fator de melhoramento da ordem de 30% (em relação a um eletrodo não revestido) em resistência dielétrica para uma camada espessa realizada em silicone que apresenta uma permissividade relativa da ordem de 3.

[0101] No caso das camadas finas realizadas nas peças elétricas submetidas a campos elétricos mais fracos, os materiais utilizados apresentam permissividades dielétricas da ordem de 3 e são aplicados em forma de camadas finas cuja espessura é tipicamente da ordem de 60 a 100 μm . Os

resultados obtidos em aparelhos elétricos com depósitos em camadas finas da ordem de 60 a 100 μm de espessura em Nuflon™ (permissividade relativa de 2,7) ou em parileno N™ (permissividade relativa de 2,65) depositados sobre eletrodos mostram fatores de melhoramento da resistência dielétrica da ordem de 8% em relação a um eletrodo não revestido.

[0102] No contexto da presente invenção, o aparelho elétrico esquematizado em parte da Figura 3 apresenta um compartimento metálico (3) e um isolador (2) e dos componentes elétricos que compreendem um condutor (1) e eletrodos (5). Nesse aparelho elétrico, a isolação híbrida é constituída por uma isolação gasosa que consiste em uma mistura gasosa sob pressão (4) de heptafluoroisobutironitrila e de um gás de diluição tais como definidos acima e por uma isolação sólida que se apresenta na forma de uma camada dielétrica espessa (6) ou de uma camada dielétrica fina (7) tais como definidas acima.

REFERÊNCIAS

[1] Pedido de patente europeu, em nome de Mitsubishi Denki Kabushi Kaisha, publicado com o nº 0 131 922 em 23 de janeiro de 1985.

[2] Patente US 4 547 316, em nome de Mitsubishi Denki Kabushi Kaisha, publicado em 15 de outubro de 1985.

[3] Pedido internacional WO 2008/073790, em nome de Honeywell International Inc., publicado em 19 de junho 2008.

[4] Pedido internacional WO 2012/080246, em nome de ABB Technology AG., publicado em 21 de junho 2012.

[5] Pedido de patente europeu, em nome de Mitsubishi Denki Kabushi Kaisha, publicado com o nº 1 724 802 em 22 de novembro 2006.

REIVINDICAÇÕES

1. APARELHO ELÉTRICO DE MÉDIA OU ALTA TENSÃO, que compreende um compartimento estanque no qual se encontram componentes elétricos recobertos de uma camada dielétrica sólida de espessura variável e um meio gasoso que assegura isolação elétrica e/ou a extinção dos arcos elétricos suscetíveis de se ocorrer nesse compartimento, caracterizado pelo meio gasoso compreender heptafluoroisobutironitrila em mistura com um gás de diluição.

2. APARELHO ELÉTRICO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo gás de diluição ser escolhido entre o dióxido de carbono, o nitrogênio, o oxigênio, o ar e uma de suas misturas.

3. APARELHO ELÉTRICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, caracterizado pela heptafluoroisobutironitrila estar presente na mistura heptafluoroisobutironitrila/gás de diluição em uma porcentagem molar (M_{he}) que é pelo menos igual a 80% da porcentagem molar M , determinada pela fórmula (II):

$$M = (P_{he}/P_{mistura}) \times 100 \text{ (II)}$$

na qual $P_{mistura}$ representa a pressão total da mistura a 20°C no aparelho elétrico e P_{he} representa a pressão parcial, expressa na mesma unidade, que equivale a 20°C à pressão de vapor saturante que apresenta heptafluoroisobutironitrila tal como definida acima à temperatura mínima de uso do aparelho elétrico.

4. APARELHO ELÉTRICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pela heptafluoroisobutironitrila estar presente na mistura heptafluoroisobutironitrila/gás de diluição em uma porcentagem molar (M_{he}) que está compreendida entre 95% e 130%, mais preferencialmente ainda entre 97% e 120%, idealmente entre 99% e 110% da porcentagem molar M , o qual aparelho elétrico é um aparelho de média tensão

ou de alta tensão para o qual a presença parcial da mistura no estado líquido não é de natureza a reduzir a isolação.

5. APARELHO ELÉTRICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pela heptafluoroisobutironitrila estar presente na mistura heptafluoroisobutironitrila/gás de diluição em uma porcentagem molar (M_{he}) que está compreendida entre 95% e 100% e, em particular, entre 98% e 100% da porcentagem molar M , o qual aparelho elétrico é um aparelho de média tensão ou de alta tensão no qual a isolação pode ser afetada pela presença de fase líquida.

6. APARELHO ELÉTRICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado por, como a espessura da camada dielétrica sólida ser uma função do fator de uso do campo elétrico, n , definido como a relação do campo elétrico médio (U/d) dividido pelo campo elétrico máximo, E_{max} ($\eta = U / (E_{max} * d)$), a camada dielétrica sólida é uma camada espessa (6) que apresenta uma espessura superior a 1 mm e inferior a 10 mm para fatores de uso compreendida entre 0,2 e 0,4.

7. APARELHO ELÉTRICO, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelos materiais selecionados para realizar a camada dielétrica sólida espessa (6) apresentarem uma permissividade relativa inferior ou igual a 6.

8. APARELHO ELÉTRICO, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelos materiais selecionados para realizar a camada dielétrica sólida espessa apresentarem uma permissividade relativa inferior ou igual a 4 e em particular, inferior ou igual a 3.

9. APARELHO ELÉTRICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 8, caracterizado pelos materiais serem escolhidos entre o politetrafluoroetileno, a poliimida, o polietileno, o polipropileno, o poliestireno, o policarbonato, o polimetil metacrilato, a polissulfona, a polieterimida, a poliéter cetona, o parileno N™, o Nuflon™, o silicone e a resina epóxida .

10. APARELHO ELÉTRICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado por, uma vez que espessura da camada dielétrica sólida ser uma função do fator de uso do campo elétrico, η , definido como a relação do campo elétrico médio (U/d) dividido pelo campo elétrico máximo, E_{max} ($\eta = U / (E_{max} * d)$), a camada dielétrica sólida ser uma camada fina (7) que apresenta uma espessura inferior a 1 mm, vantajosamente inferior a 500 μm , em particular, compreendida entre 60 e 100 μm para fatores de uso superiores a 0,5 e em particular, superiores a 0,6.

11. APARELHO ELÉTRICO, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelos materiais selecionados para realizar a camada dielétrica sólida fina (7) apresentarem uma permissividade relativa compreendida entre 2 e 4 e em particular, entre 2,5 e 3,5.

12. APARELHO ELÉTRICO, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelos materiais serem escolhidos entre o politetrafluoroetileno, a poliimida, o polietileno, o polipropileno, o poliestireno, a poliamida, o etileno monoclorofluoro-etileno, o parileno NTM, o NuflonTM, o HALARTM e o HALAR CTM.

13. APARELHO ELÉTRICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, caracterizado pelo aparelho ser um transformador elétrico a isolação gasosa, uma linha de isolação gasosa para o transporte ou a distribuição da eletricidade ou um aparelho elétrico de conexão/desconexão.

14. USO DE HEPTAFLUOROISOBUTIRONITRILA, caracterizado por ser em mistura com um gás de diluição, conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 5 como gás de isolação elétrica e/ou de extinção dos arcos elétricos em um aparelho elétrico de média ou alta tensão cujos componentes elétricos estejam recobertos por uma camada isolante sólida de espessura variável conforme definida anteriormente em qualquer uma das reivindicações 6 a 12.

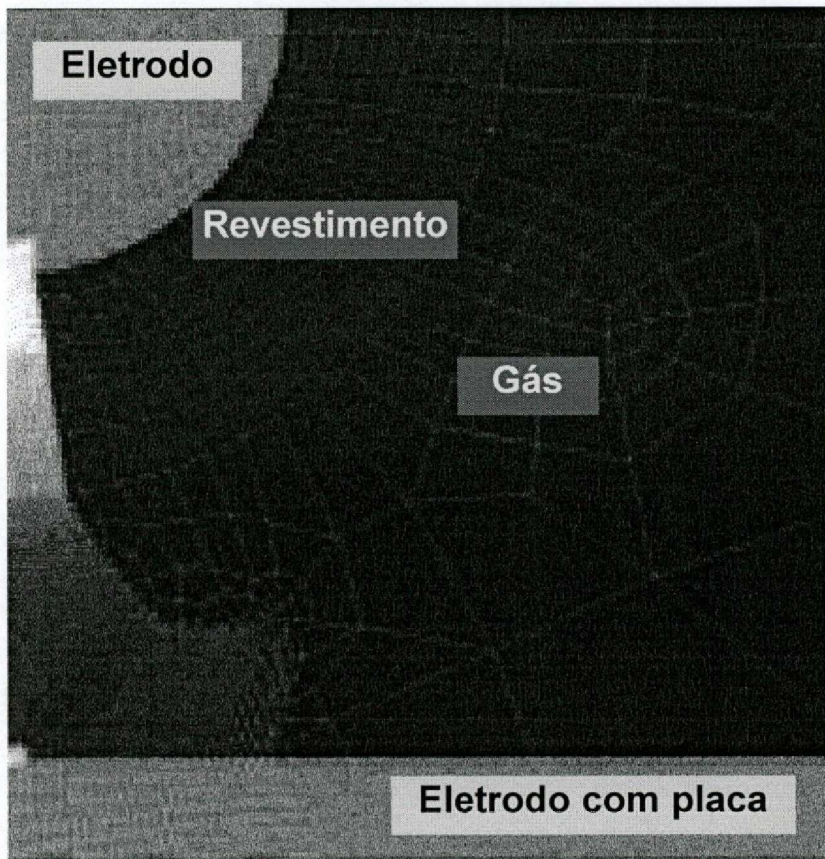


Fig. 1

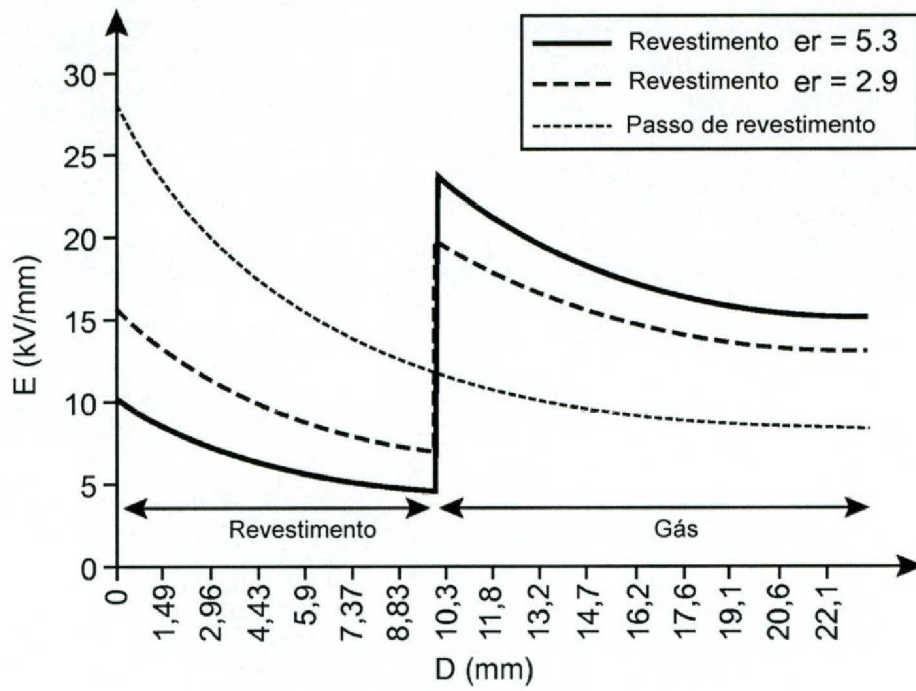


Fig. 2

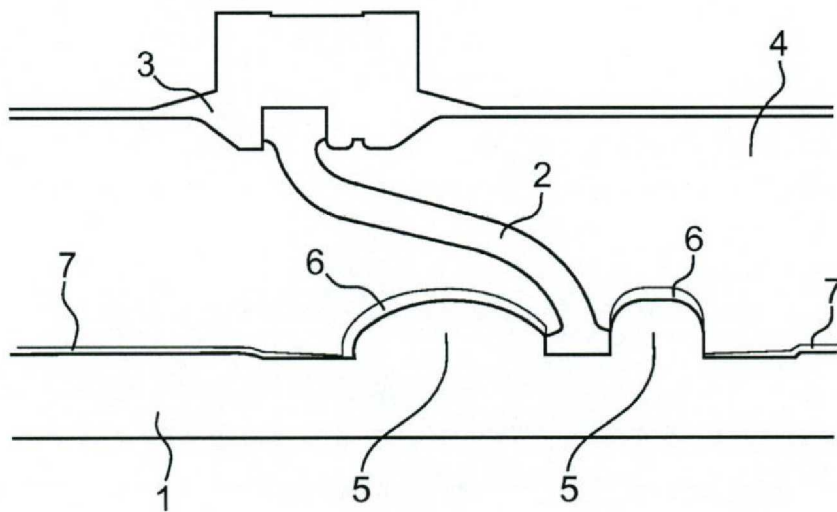


Fig. 3