

República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior
Instituto Nacional de Propriedade Industrial

(11) (21) **PI 0602396-7 A**

(22) Data de Depósito: 20/04/2006
(43) Data de Publicação: 18/12/2007
(RPI 1928)



(51) Int. Cl.:
H02H 9/02 (2007.10)
H01F 6/00 (2007.10)

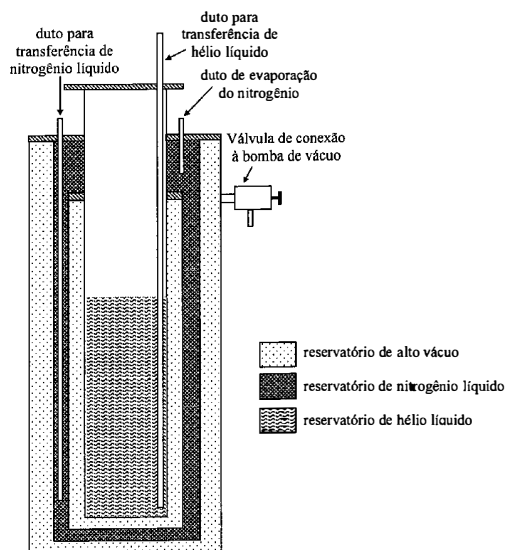
(54) Título: **LIMITADOR DE CORRENTE MONOFÁSICO RESISTIVO SUPERCONDUTOR AUTODESMAGNETIZANTE DE BOBINAS CONCÊNTRICAS**

(71) Depositante(s): Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP (BR/SP), Faculdade Engenharia Química de Lorena - FAENQUIL (BR/SP), Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (BR/RS)

(72) Inventor(es): Ernesto Ruppert Filho, Carlos Alberto Baldan, Carlos Yujiro Shigue, Daltro Garcia Pinatti, Rafael Cassiolato de Freitas, Roberto Petry Homrich

(74) Procurador: Maria Cristina Valim Lourenço Gomes

(57) Resumo: LIMITADOR DE CORRENTE MONOFÁSICO RESISTIVO SUPERCONDUTOR AUTODESMAGNETIZANTE DE BOBINAS CONCÊNTRICAS. A presente invenção refere-se a um ou mais tubos com bobinas concêntricas com oposição magnética. As bobinas concêntricas com oposição magnética são construídas de forma contínua, sem interrupção, cujo retorno é proporcionado por um sistema de olhal especialmente projetado. Os tubos que compõem a parte ativa do limitador são fixados através de flanges tensionados por tirantes de material não ferromagnético, isolante elétrico e resistente a baixas temperaturas criogênicas do fluido que banha a referida parte ativa do limitador. A parte ativa do limitador é fixada na tampa de um criostato que permite a conexão desta ao meio exterior. Sua aplicação pode ser adotada em concessionárias de energia elétrica e indústrias onde podem ocorrer situações de elevada corrente elétrica transitória nas instalações elétricas. O uso de limitadores de corrente supercondutor facilita e permite uma melhor coordenação da proteção nos sistemas de energia elétrica, permitindo reduzir o custo do redimensionamento e substituição dos disjuntores de proteção. Mais especificamente, a presente invenção é composta por tubos concêntricos com bobinas de polaridade magnética em oposição resultando em um fluxo magnético disperso praticamente nulo. Apresenta as vantagens de não acoplar-se magneticamente com estruturas metálicas presentes em suas proximidades, como pode ocorrer com os reatores convencionais; apresenta reatância significativa, devido ao fluxo magnético praticamente nulo no seu interior; e apresenta resistência elétrica equivalente muito reduzida devido à propriedade supercondutora do material de que são construídas cada uma de suas bobinas. Funciona baseado na propriedade de transição do material que está no estado supercondutor para o estado normal (ocorrência do "quençh") provocada pelo acréscimo da corrente no fio supercondutor o que acrescenta resistência das bobinas e limita a corrente na instalação elétrica. O desenvolvimento monofásico pode ser aplicado a um sistema trifásico utilizando três unidades como descritas acima.



**"LIMITADOR DE CORRENTE MONOFÁSICO RESISTIVO SUPERCONDUTOR
AUTODESMAGNETIZANTE DE BOBINAS CONCÊNTRICAS"**

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a um dispositivo que limita a sobre-corrente transitória de um circuito elétrico monofásico, proporciona a limitação de correntes transitórias elevadas com eficácia e rapidez, sem acréscimo significativo na impedância do sistema durante operação em regime permanente, com aplicação em concessionárias de energia elétrica e indústrias onde podem ocorrer situações de elevada corrente elétrica nas instalações. Esse dispositivo monofásico pode ser aplicado a um sistema trifásico utilizando três unidades monofásicas de bobinas concêntricas conforme será descrito adiante.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

O uso do limitador de corrente elétrica no sistema elétrico reduz a corrente de falta (corrente transitória ou de curto-circuito), de modo a preservar os equipamentos e reduzir custos associados à re-projeto ou substituição de equipamentos.

O crescimento da demanda dos sistemas de energia elétrica dos diversos países do mundo tem sido cada vez mais intenso assim como o número de interligações entre diferentes sistemas tem aumentado bastante e tende a crescer cada vez mais. Tanto o aumento da capacidade de geração, a elevação dos níveis de tensão, reforços no sistema de transmissão, instalação de novas linhas, instalações de dispositivos FACTS (*Flexible AC Transmission Systems*) para aumentar as capacidades do sistema e o fechamento de anéis alimentadores têm ocorrido de maneira cada vez mais intensa. Igualmente os sistemas elétricos industriais também crescem, via de regra acompanhando o aumento do faturamento e o investimento em ampliações e diversificação de produtos das empresas exigindo aumento da capacidade fabril.

Dessa forma observa-se um crescimento gradativo dos níveis de corrente de curto-circuito nas diversas barras,

superando as capacidades dos disjuntores instalados bem como as capacidades dos equipamentos a ela ligados de suportarem esforços eletromecânicos dinâmicos durante a ocorrência de defeitos. As correntes de curto-circuito têm aumentado, chegando a serem várias vezes maiores do que as correntes nominais, causando elevados níveis de solicitações transitórias elétricas, térmicas e mecânicas no sistema. Deste modo, todos os equipamentos dos sistemas elétricos, tais como cabos, transformadores, disjuntores, painéis e outros deveriam ser rigorosamente re-projetados, reconstruídos ou substituídos para suportarem tais solicitações o que, obviamente não seria, de maneira alguma, algo prático por razões econômicas.

As soluções clássicas convencionais para a limitação de corrente elétrica têm sido a instalação dos chamados limitadores de corrente que nada mais são do que reatores-série ou impedâncias de aterramento em instalações com elevada potência de curto-circuito. Os reatores-série, limitadores de corrente, podem ser utilizados na proteção elétrica de sistemas de energia elétrica e em sistemas de sincronização de alternadores.

Na função de proteção elétrica o reator-série limitará rapidamente a corrente de defeito evitando danos elétricos e eletromecânicos ao sistema permitindo que o disjuntor mais próximo e de menor capacidade de operação possa atuar adequadamente. Destina-se, enfim, a limitar as correntes elétricas no sistema durante a ocorrência de faltas. Para atender a sua função é necessário que a saturação do núcleo magnético, devido aos elevados valores de corrente de falta, não reduza a reatância de seu enrolamento. Normalmente, os reatores-série, limitadores de corrente, utilizam núcleo de ar, que mantém constante sua permeabilidade magnética e, conseqüentemente, a reatância do enrolamento.

Os reatores-série podem apresentar, tradicionalmente, dois tipos construtivos: imersos em óleo e secos.

▪ Imersos em óleo. Estes reatores-série imersos em óleo são refrigerados da mesma maneira que os transformadores de força. Podem ser aplicados em instalações de alta tensão, abrigadas ou ao tempo, e apresentam como características:

5 resistênciã elevada contra descargas disruptivas e confinamento de campos magnéticos no interior do tanque, impedindo a ocorrência de aquecimento ou esforços em estruturas metálicas próximas durante curtos-circuitos e alta capacidade térmica; e

10 ▪ Secos. Os reatores-série secos, figura 1, podem ser refrigerados por ventilação forçada ou natural. Nestes reatores a isolação e a refrigeração são proporcionadas pelo ar circundante e, portanto necessitam de livre circulação de ar para prover troca térmica satisfatória, a fim de remover o

15 calor devido ao efeito Joule em seus enrolamentos. A instalação destes reatores não deve ser feita próxima a materiais condutores, que formem circuitos elétricos fechados, para evitar o aparecimento de forças mecânicas intensas quando fluem, em seus enrolamentos, correntes elétricas elevadas.

20 Existem limitadores de corrente convencionais, os reatores limitadores de corrente convencionais, que são constituídos de bobinas de cobre ou alumínio com ou sem núcleo magnético. Em ambos os casos estes dispositivos convencionais sempre incorporam uma impedância no sistema. Apresentam

25 dissipação de energia por efeito Joule devido à presença da resistênciã elétrica do material de que é feito o condutor da bobina. Além disso, o reator convencional reduz a potência transferida de um extremo da linha devido à presença da componente reativa em sua impedância. No caso dos reatores

30 limitadores de corrente convencionais sem núcleo magnético ocorre elevada dispersão do fluxo magnético o que impede sua instalação nas proximidades de estruturas metálicas, como torres e malhas de aterramento.

É interessante que não exista qualquer impedância

35 adicional entre a fonte de tensão e a carga elétrica, além da

inevitável impedância própria da linha, durante a operação no regime permanente com corrente eficaz nominal. No caso do reator-série a impedância do mesmo está sempre presente e, neste caso dois são os aspectos negativos, sob o ponto de vista elétrico uma vez que: (i) a componente reativa da impedância do reator-série provoca um incremento no deslocamento angular entre a corrente elétrica e a tensão gerada, o que resulta em uma pior regulação elétrica da linha; e (ii) a componente resistiva da impedância do reator-série provoca permanentemente a dissipação de calor por efeito Joule.

Os reatores-série convencionais têm problemas quanto ao fluxo magnético disperso e exigem grande espaço físico onde possam ser instalados, o que em subestações situadas nos centros urbanos, subterrâneas ou não, pode ser considerado um aspecto agravante.

Existe, por conseguinte, a necessidade de uma solução que permita suprir as deficiências anteriormente citadas, isto é, um limitador que apresente uma impedância extremamente baixa durante a operação em regime permanente, o que constitui uma vantagem significativa do ponto de vista econômico e também da estabilidade do sistema elétrico. Que apresente viabilidade do espaço físico para a instalação do dispositivo limitador, seja através de reator-série convencional ou limitador supercondutor. Com a parte ativa mais leve e compacta que não apresente dispersão de fluxo magnético devido à geometria e configuração interna dos enrolamentos, facilitando ou possibilitando sua instalação em locais de reduzido espaço físico. Na ocorrência de um curto-circuito este atue muito rápido, assim introduz uma resistência elétrica no circuito, no momento que a falta ocorre, quase que instantaneamente, limitando assim a corrente de falta a valores previamente projetados, sem perturbar o sistema em situação normal de operação. Um limitador que aumente a confiabilidade do sistema elétrico com um custo mais reduzido, assim evite a

substituição de equipamentos cujas capacidades nominais possam estar superadas possibilitando ainda uma maior flexibilidade quanto à coordenação da proteção do sistema (ou parte) do sistema elétrico envolvido.

5 BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

A figura 1 apresenta um reator série convencional 230 kV, 900 kV NBI, 900 A, 145,9 mH, 2,54 kA/3 s da Trench Electric.

A figura 2 apresenta os canais de alojamento e terminal de corrente construído.

10 A figura 3 apresenta um olhal de retorno do fio supercondutor.

A figura 4 apresenta um desenho esquemático do terminal de corrente onde (a) vista frontal (b) vista posterior.

A figura 5 apresenta os enrolamentos com polarização magnética oposta.

A figura 6 apresenta um flange de fixação.

A figura 7 apresenta a parte ativa do limitador de corrente.

A figura 8 apresenta a parte ativa do limitador de corrente fixada na tampa do criostato.

A figura 9 apresenta o criostato genérico de aço inoxidável.

A figura 10 apresenta a seção transversal do fio empregado.

25 A figura 11 apresenta o passo de torção do fio empregado.

A figura 12 apresenta o circuito monofásico genérico em condição de curto-circuito com reator série.

A figura 13 apresenta o curto-circuito pleno em um gerador síncrono sem limitador de corrente.

30 A figura 14 apresenta o curto-circuito pleno em um gerador síncrono com limitador de corrente.

BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

A presente patente tem por objetivo apresentar um modelo Limitador de Corrente Monofásico Resistivo Supercondutor Autodesmagnetizante, LCMRSA, de bobinas concêntricas. A

configuração construtiva apresentada possui supercondutor de baixa temperatura, entretanto sua concepção pode ser aplicada ao uso de supercondutor de alta temperatura que empregue, neste caso, o nitrogênio líquido como fluido criogênico. O uso de limitadores de corrente supercondutor facilita e permite uma melhor coordenação da proteção nos sistemas de energia elétrica, permitindo reduzir o custo do redimensionamento e substituição dos disjuntores de proteção.

O LCMRSA de bobinas concêntricas é composto por tubos concêntricos com bobinas de polaridade magnética em oposição resultando em um fluxo magnético disperso praticamente nulo. Apresenta a vantagem de não acoplar-se magneticamente com estruturas metálicas presentes em suas proximidades. Não apresenta reatância significativa, devido ao fluxo magnético praticamente nulo no seu interior e apresenta resistência elétrica equivalente muito reduzida devido à propriedade supercondutora do material de que são construídas cada uma de suas bobinas. Funciona baseado na propriedade de transição do material que está no estado supercondutor para o estado normal (ocorrência do "quenched"). Esta transição é provocada pelo acréscimo da corrente no fio supercondutor e ocorre em um intervalo de tempo muito pequeno. Após a ocorrência do "quenched" a resistência das bobinas é acrescida e o circuito onde o limitador está instalado tem sua corrente limitada.

O modelo de LCMRSA de bobinas concêntricas, consiste de um ou mais tubos com bobinas de polaridade magnética em oposição, enroladas em um tubo de material isolante e resistente as baixas temperaturas. A parte ativa do limitador pode ser constituída de um ou mais destes tubos, instalados de forma concêntrica e fixados entre si através de flanges devidamente projetados. Toda a parte ativa é instalada no interior de um criostato a fim de que seja imersa em fluido criogênico. A capacidade de limitação de corrente está associada à geometria das bobinas e do número de bobinas que compõem a parte ativa do limitador propriamente dito.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

O Limitador de Corrente Monofásico Resistivo Supercondutor (LCMRSA) é constituído por uma ou mais bobinas cilíndricas, helicoidais, com uma única camada de fio supercondutor. Cada bobina anteriormente mencionada é constituída de um tubo de tecido de fibra de vidro impregnado em resina epóxi, denominada de G10 pela NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*). Sobre cada tubo são executados dois canais de alojamento paralelos para posterior instalação do fio supercondutor, conforme a figura 2. Podem ser associados vários tubos concêntricamente dispostos, um no interior do outro, constituindo a parte ativa do limitador.

O fio supercondutor é enrolado de forma contínua desde o início de um dos canais de alojamento até o fim deste, entrando e percorrendo totalmente o outro canal de alojamento até a sua outra extremidade. A transferência do fio supercondutor de um canal para o outro é feita de forma contínua, sem que haja interrupção do fio, através de um sistema de olhais de retorno apropriadamente desenvolvido, conforme a figura 3.

Nas extremidades do tubo G10 são parafusados dois terminais para fixação do fio supercondutor. Estes terminais têm a função de permitir a conexão de outras bobinas entre si (se houver mais de uma), bem como destas com os transportadores de corrente que permitem a ligação externa do limitador ao sistema elétrico no qual será inserido.

Os terminais são constituídos de uma barra de cobre, banhada com estanho, com um rasgo central onde o fio supercondutor se encaixa para ser posteriormente fixado através de solda. O rasgo central apresenta um trecho inclinado, formando uma rampa, que permite com que o fio passe da parte posterior do terminal para a frontal. O terminal ainda conta com um arco de circunferência, na sua parte posterior, a fim de que o fio supercondutor modifique

suavemente sua posição de fixação em relação à de alojamento no canal do tubo G10, figuras 2, 3 e 4.

No tubo G10 são confeccionados furos rosqueados para fixação dos terminais através de parafusos de aço inoxidável com contra-porca, para evitar afrouxamento durante a montagem e operação.

Uma vez que os canais de alojamento são paralelos e que o fio supercondutor entra formando uma bobina por um canal e retorna formando outra bobina pelo outro canal, a corrente que flui nas duas bobinas é a mesma em qualquer instante de tempo, porém, com os sentidos opostos.

Pode-se verificar que o fluxo magnético produzido pela circulação da corrente de uma bobina é quase que totalmente neutralizado pela circulação da corrente na outra bobina, pois ambas bobinas são construtivamente o mais idênticas possível, porém ligeiramente deslocadas axialmente. Este pequeno deslocamento axial confere uma indutância mútua entre as bobinas muito próximas, numericamente, das indutâncias próprias de cada bobina, e o resultado final é uma indutância equivalente muito reduzida da parte ativa do limitador. O aspecto final de um tubo de bobinas opostas pode ser visto na figura 5.

Havendo a necessidade de instalar várias bobinas, formando a parte ativa de um limitador com mais alta capacidade de corrente, adota-se um sistema de fixação através de flanges com canais de encaixe que garantem a concentricidade das várias bobinas, figura 6.

Na figura 7 podem ser observados os flanges que posicionam os tubos axialmente, e também radialmente, assim como os tirantes que fixam o conjunto mantendo suas partes solidárias.

O conjunto ativo é fixado no flange intermediário que dá acesso aos tirantes de fixação solidários à tampa do criostato, como pode ser visto na figura 8. O flange intermediário é confeccionado em G10, podendo ser empregado

outro material que resista mecanicamente a baixa temperatura de operação.

5 Todo o conjunto é introduzido em um criostato apropriado para posterior imersão em fluido refrigerante, neste caso o hélio líquido. A temperatura do banho de hélio líquido é de 4,2 K ($\cong 268,8$ °C), sob pressão atmosférica ($\cong 1$ kgf/m²).

10 O criostato, construído de chapa de aço inoxidável, figura 9, pode ser construído em outro material que resista ao alto vácuo necessário ($\cong 1,7 \times 10^{-6}$ mbar) para o isolamento térmico entre o seu interior e o ambiente externo, como por exemplo, a fibra de vidro, G10 ou outro material.

15 Enquanto a parte ativa do limitador está sendo preparada para ser introduzida no criostato o sistema de vácuo está conectado e ativo, proporcionando o alto vácuo necessário no reservatório de vácuo do criostato. Já com a parte ativa do limitador introduzida no criostato, é feita a transferência do nitrogênio líquido na temperatura de 77 K e a partir desta transferência aguarda-se por cerca de doze horas para que o sistema criogênico entre em equilíbrio térmico. Este
20 procedimento reduz a evaporação do hélio durante a sua transferência.

Atingido o equilíbrio térmico é feita a transferência do hélio líquido que vai deixar totalmente imersa a parte ativa do limitador.

25 Tão logo seja transferido o hélio líquido, a operação do limitador pode ser iniciada. Deve-se permanentemente verificar o nível de hélio no interior do reservatório a fim de que as bobinas do limitador não percam seu banho.

30 O fio supercondutor, do Tipo II e fabricado pela Alsthom-França, é constituído de seis sub-fios, denominados tipo R, de um compósito multi-filamentar composto por uma liga de nióbio-titânio (NbTi) e embutido em uma matriz de cobre-níquel (CuNi). Cada sub-fio apresenta um passo de torção de dois milímetros. O fio, composto pelos seis sub-fios, apresenta,

por sua vez, um passo de torção de seis milímetros, o que resulta no que se dá o nome de fio estabilizado.

Esta estabilização está associada à redução das perdas do fio supercondutor quando submetido a campos magnéticos e correntes elétricas alternadas. A seção transversal e o passo de torção do fio empregado são ilustrados na figura 10 e na figura 11 respectivamente.

O LCMRSA opera inserido em uma linha ou circuito elétrico, introduzindo, ou não, uma impedância ao fluxo da corrente elétrica no circuito.

Um circuito elétrico considerando um reator série convencional é mostrado na figura 12.

O módulo da corrente elétrica pode ser calculado pela equação 1:

$$|I_{reator}^{cc}| = \frac{|U|}{|(r_l + r_{reator}) + j(x_l + x_{reator}) + Z_{cc}|} \quad (1)$$

onde: U é a tensão do gerador;

r_l e x_l são a resistência e a reatância da linha respectivamente;

Z_{cc} é a impedância de curto-circuito;

Z_c é a impedância de carga;

r_{reator} e x_{reator} são a resistência e a reatância do reator série respectivamente; e

I_{reator}^{cc} é a corrente de curto-circuito com o reator série inserido.

A equação 1 mostra que um aumento na impedância do reator reduz a corrente elétrica de curto-circuito. Além disso, mesmo em condição de regime permanente, a impedância do reator resulta em uma queda de tensão sobre o reator, reduzindo o fluxo de potência disponível entre os extremos do circuito além de, permanentemente, provocar dissipação e perda de energia por efeito Joule, P_{reator} , conforme a equação 2:

$$P_{reator} = r_{reator} |I_c^{reator}|^2 \quad (2)$$

O LCMRS não apresenta queda de tensão significativa durante a operação em regime permanente, somente acrescentando ou inserindo uma impedância na ocorrência transitória de um curto-circuito no circuito em que estiver instalado.

Em virtude deste comportamento o funcionamento do LCMRSA deve ser analisado em duas situações: de regime permanente e de regime transitório.

(A) SITUAÇÃO DE REGIME PERMANENTE: Nesta situação o LCMRSA apresenta uma distribuição de corrente entre suas bobinas de forma que a impedância equivalente do conjunto ativo seja muito reduzida devido à auto-desmagnetização obtida através da geometria construtiva dos enrolamentos.

A auto-desmagnetização leva a uma reduzida reatância indutiva e a propriedade supercondutora implica em uma reduzida resistência elétrica do enrolamento. Em outras palavras, a impedância equivalente da parte ativa do limitador é muito reduzida, quando comparada com a impedância apresentada por um reator série convencional.

Como a impedância equivalente é muito baixa, a queda de tensão no limitador é muito reduzida, conforme a equação 3, e o efeito da impedância do mesmo na transferência de potência entre os extremos da linha é desprezível. Da mesma forma, a dissipação de potência por efeito joule no fio supercondutor, conforme a equação 4, representa uma parcela muito pequena em relação ao mesmo efeito presente no reator série convencional.

$$|U_{z_{LCMSCA}}| = (r_{LCMSCA} |I_c^{LCMSCA}|^2 + x_{LCMSCA} |I_c^{LCMSCA}|^2)^{1/2} \quad (3)$$

$$P_{LCMSCA} = r_{LCMSCA} |I_c^{LCMSCA}|^2 \quad (4)$$

Durante a operação em regime permanente, embora esteja fisicamente presente, o LCMRSA praticamente não tem efeito sobre o circuito elétrico no qual está instalado.

5 **(B) SITUAÇÃO DE REGIME TRANSITÓRIO:** Nesta situação o LCMRSA apresenta uma distribuição de corrente bastante desequilibrada entre suas bobinas de forma que a impedância equivalente do conjunto ativo torna-se muito oscilante.

10 Na ocorrência de um incremento na corrente elétrica do circuito em que está instalado o limitador, devido a um curto-circuito, por exemplo, a corrente que flui através de cada bobina do limitador é também incrementada. Entretanto o incremento de corrente nas bobinas modifica o valor instantâneo do fluxo magnético que cada bobina produz na
15 superfície do fio supercondutor de todas as bobinas. Este aumento na indução magnética superficial do fio supercondutor leva à transição do fio para o estado normal. Obviamente que esta transição não ocorre em todas as bobinas simultaneamente e o desequilíbrio das correntes provoca um desequilíbrio na
20 autodesmagnetização da parte ativa do dispositivo. Com o decorrer do tempo, todas as bobinas transitam para o estado normal e o conjunto ativo passa a apresentar uma impedância com um forte teor resistivo, daí o nome de LCMRSA. A partir do instante em que todas as bobinas já transitaram para o estado
25 normal, estabelece-se uma nova condição de regime permanente, se o circuito permanecer eletricamente fechado.

A equação 5 mostra que um aumento na resistência equivalente da parte ativa do limitador provoca uma redução na corrente de curto-circuito do circuito, por exemplo.

30

$$35 \quad |I_{reator}^{cc}| = \frac{|U|}{|(r_l + r_{reator}) + j(x_l + x_{reator}) + Z_{cc}|} \quad (5)$$

aumenta

reduz

Antes, porém, que a nova condição de regime permanente seja atingida, a proteção do sistema elétrico atua, pois o limitador não é projetado para atender esta situação de
5 operação em intervalo de tempo prolongado.

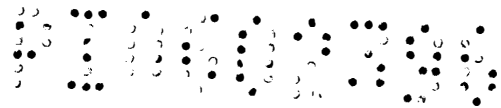
Com a interrupção da corrente elétrica através da atuação do sistema de proteção, o fio supercondutor, que compõe as bobinas do limitador e havia transitado para o estado normal, retorna automaticamente para o estado supercondutor.

10 Nesta condição o dispositivo está pronto para novamente operar na situação de regime permanente no circuito em que está inserido até que ocorra um novo transitório de corrente que leve o fio à transitar do estado supercondutor para o estado normal.

15 O ensaio de curto-circuito bifásico pleno em um gerador síncrono trifásico é mostrado na figura 13, onde pode-se observar uma corrente de pico de cerca de 1200 A. Com o limitador instalado, o curto-circuito é limitado à cerca de 420 A, quando o mesmo gerador síncrono é curto-circuitado,
20 conforme ilustrado na figura 14.

A descrição acima da presente invenção foi apresentada com o propósito de ilustração e descrição. Além disso, a descrição não tenciona limitar a invenção à forma aqui revelada. Em consequência, variações e modificações compatíveis com os ensinamentos acima, e a habilidade ou conhecimento da técnica
25 relevante, estão dentro do escopo da presente invenção.

Assim sendo, as modificações acima descritas tencionam melhor explicar os modos conhecidos para a prática da invenção e para permitir que os técnicos na área utilizem a invenção em
30 tais, ou outras, modalidades e com várias modificações necessárias pelas aplicações específicas ou usos da presente invenção. É a intenção que a presente invenção inclua todas as modificações e variações da mesma, dentro do escopo descrito no relatório e nas reivindicações anexas.



REIVINDICAÇÕES

1. Limitador de Corrente Monofásico Resistivo Supercondutor (LCMRSA) caracterizado por ser constituído por um ou mais tubos com bobinas cilíndricas, helicoidais, de polaridade magnética em oposição, enroladas em um tubo de material isolante e resistente as baixas temperaturas, com uma única camada de fio supercondutor, sendo toda a parte ativa do limitador instalada no interior de um criostato a fim de que seja imersa em fluido criogênico.
2. Limitador de Corrente Monofásico Resistivo Supercondutor, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por cada bobina mencionada na reivindicação 1 ser constituída, preferencialmente, de um tubo de tecido de fibra de vidro impregnado em resina epóxi, denominada de G10 pela NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*).
3. Limitador de Corrente Monofásico Resistivo Supercondutor, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de ser executado, mais especificamente, em cada tubo da reivindicação 2, dois canais de alojamento paralelos para posterior instalação do fio supercondutor, podendo ser associados vários tubos concêntricamente dispostos, um no interior do outro, constituindo a parte ativa do limitador.
4. Limitador de Corrente Monofásico Resistivo Supercondutor, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelos fios supercondutores serem fixados, opcionalmente, nas extremidades do tubo G10 através de parafusos.
5. Limitador de Corrente Monofásico Resistivo Supercondutor, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelos terminais serem constituídos, mais especificamente, de uma barra de cobre, banhada com estanho, com um rasgo central onde o fio supercondutor se encaixa para ser posteriormente fixado através de solda, apresentando o rasgo central um trecho inclinado, formando uma rampa, que permite com que o fio passe da parte posterior do terminal para a frontal; e um arco de circunferência, na sua parte posterior, a fim de que o fio

supercondutor modifique suavemente sua posição de fixação em relação à de alojamento no canal do tubo G10.

5 6. Limitador de Corrente Monofásico Resistivo Supercondutor, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fio supercondutor ser enrolado de forma contínua desde o início de um dos canais de alojamento até o fim deste, entrando e percorrendo totalmente o outro canal de alojamento até a sua outra extremidade.

10 7. Limitador de Corrente Monofásico Resistivo Supercondutor, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por introduzir todo o conjunto ativo do limitador em um criostato apropriado para posterior imersão em fluido refrigerante, neste caso o hélio líquido.

15 8. Limitador de Corrente Monofásico Resistivo Supercondutor, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por poder ser utilizado o nitrogênio líquido quando utilizar material cerâmico como supercondutor.

20 9. Limitador de Corrente Monofásico Resistivo Supercondutor, de acordo com todas as reivindicações acima, caracterizado pelo desenvolvimento monofásico pode ser aplicado a um sistema trifásico utilizando três unidades como descritas acima.

FIGURA 1

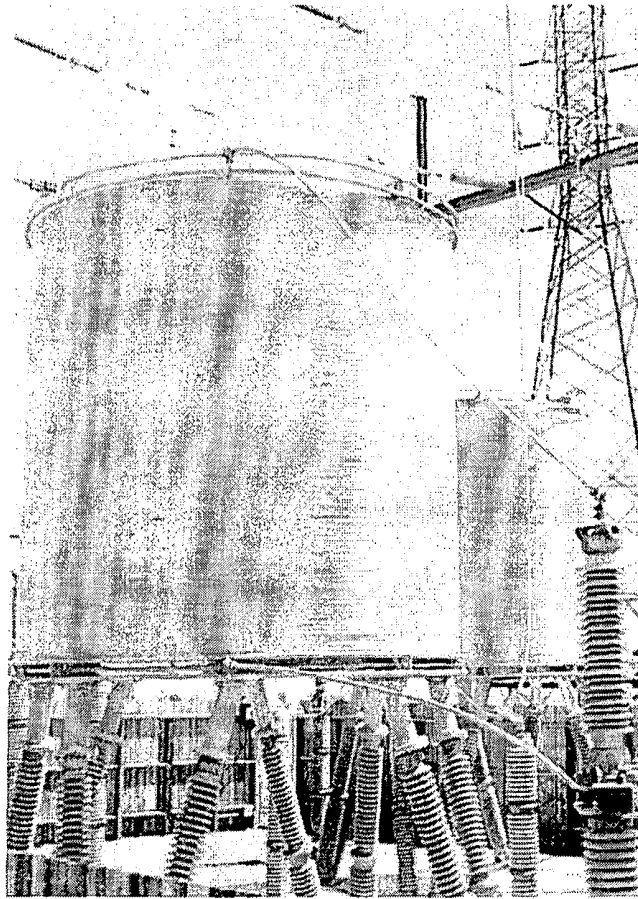


FIGURA 2

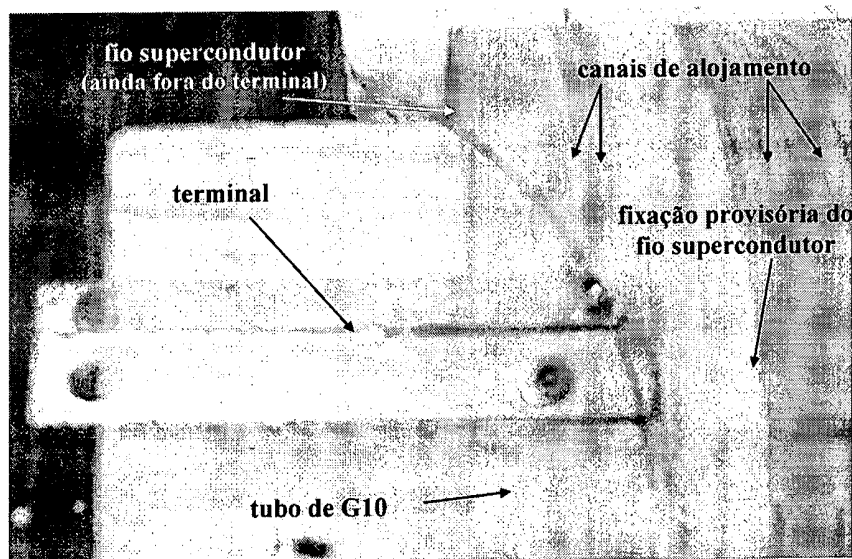


FIGURA 3

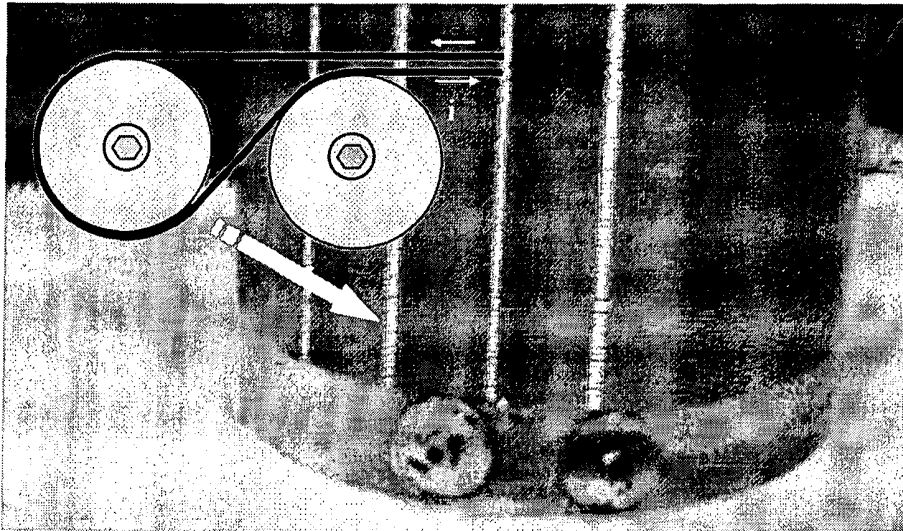
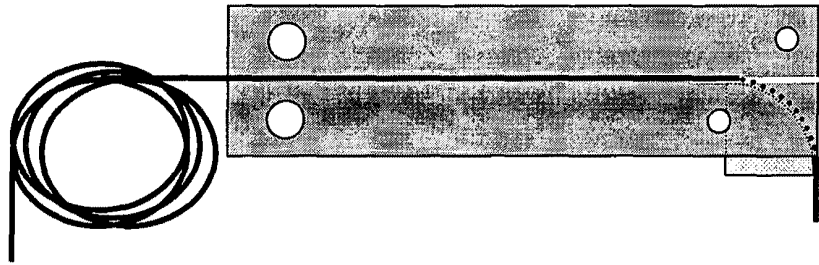


FIGURA 4

vista
frontal



vista
posterior

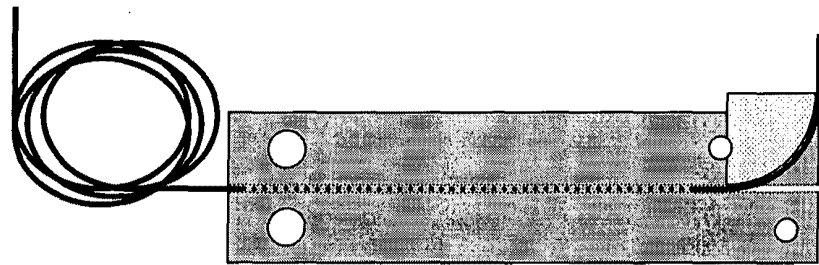


FIGURA 5

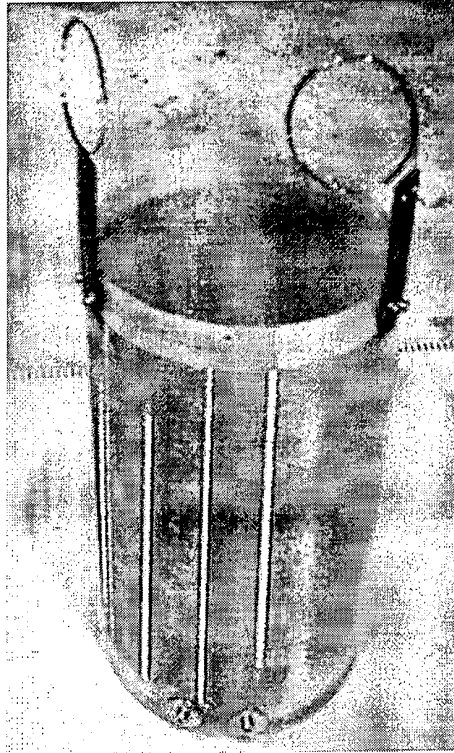


FIGURA 6

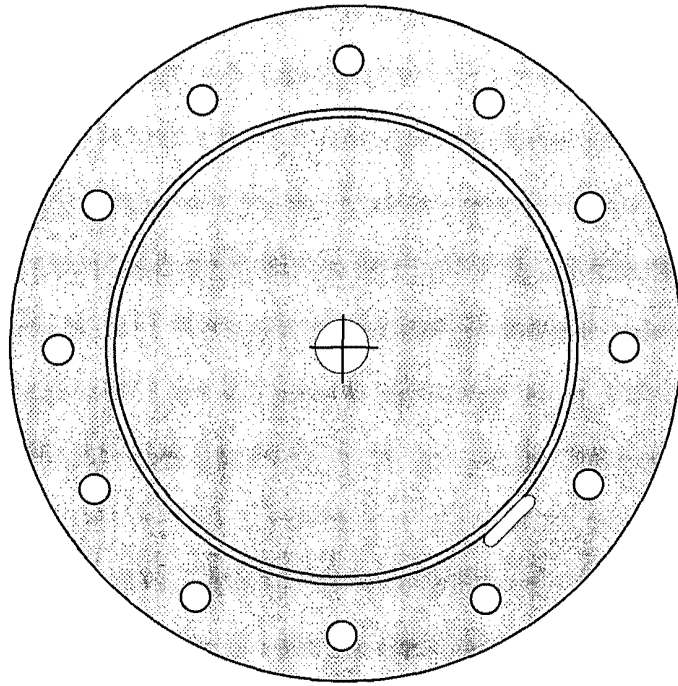


FIGURA 7

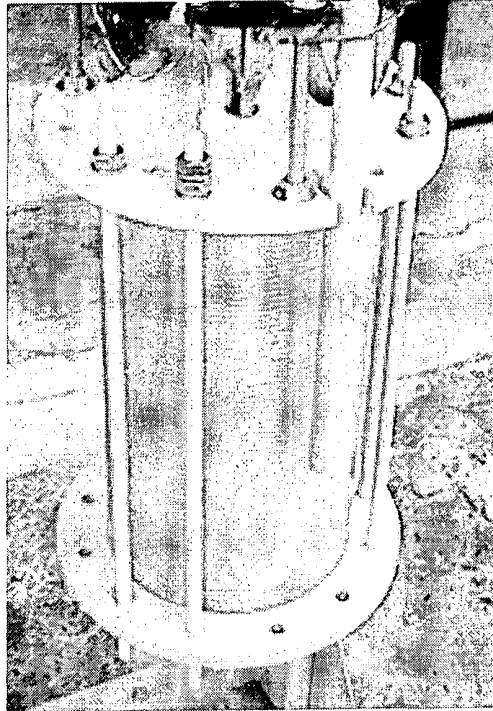


FIGURA 8

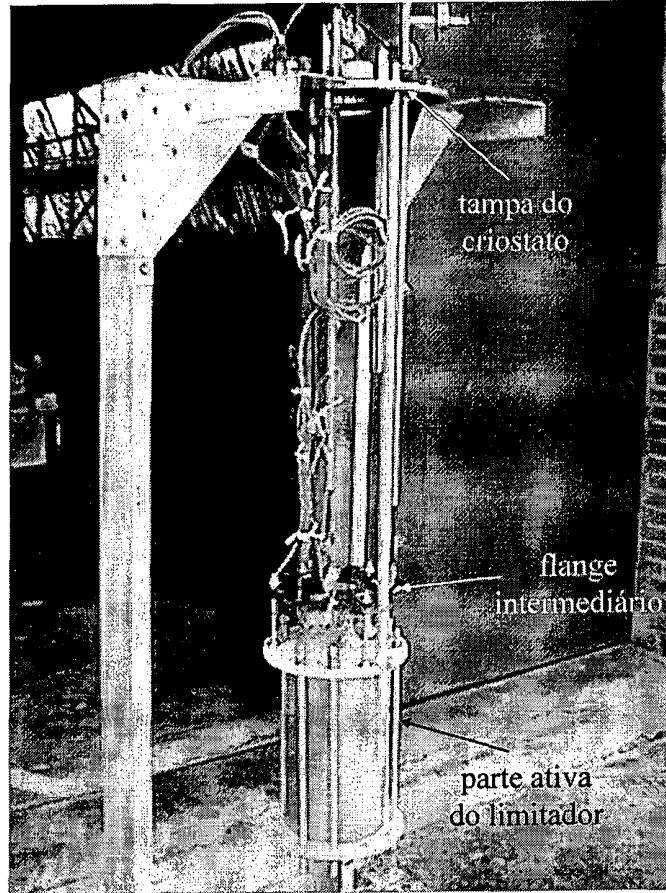


FIGURA 9

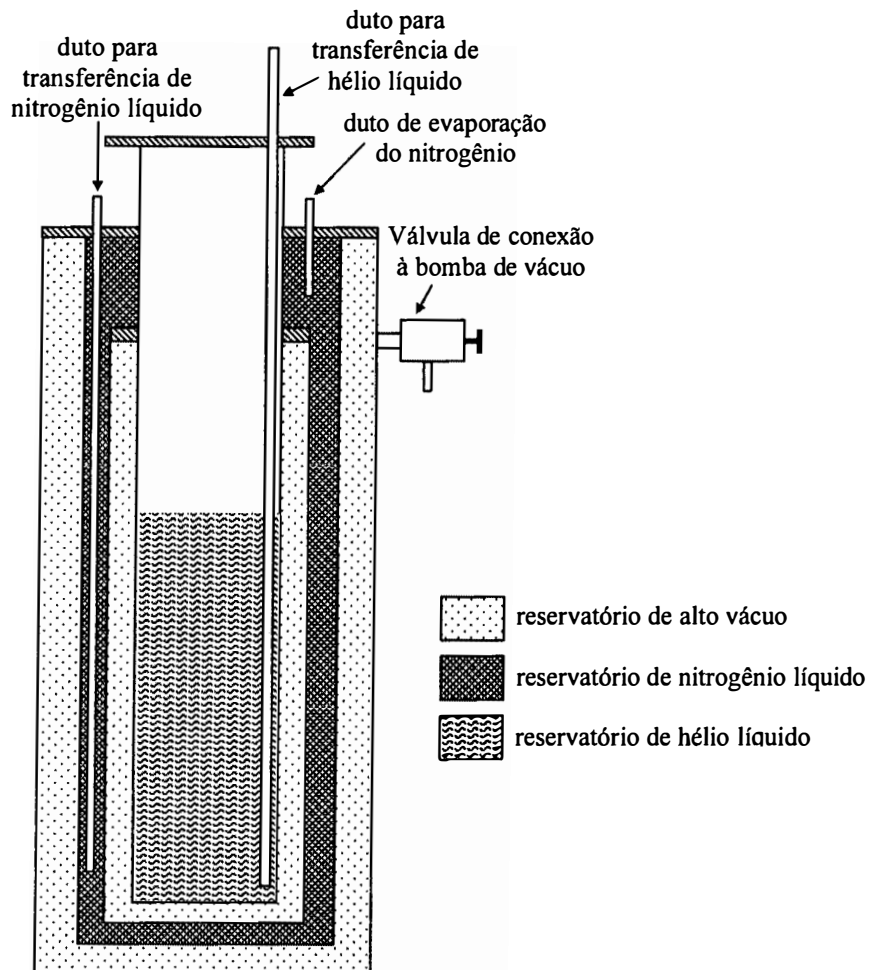


FIGURA 10

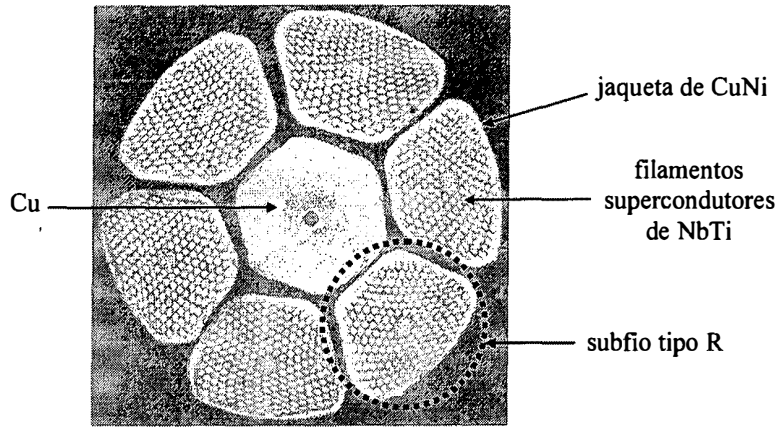


FIGURA 11

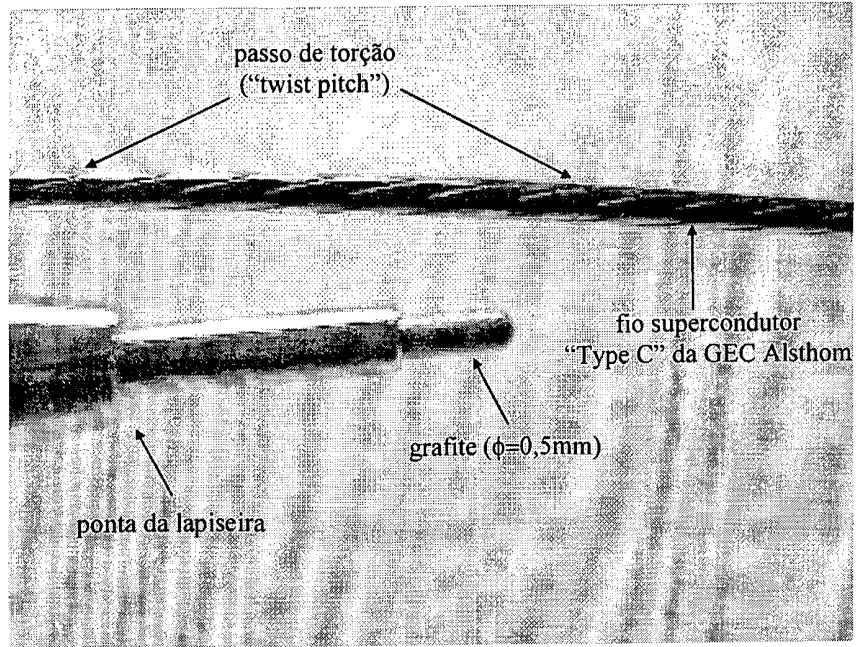


FIGURA 12

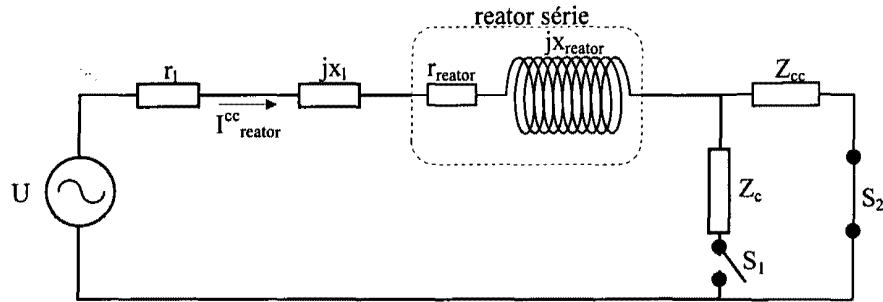


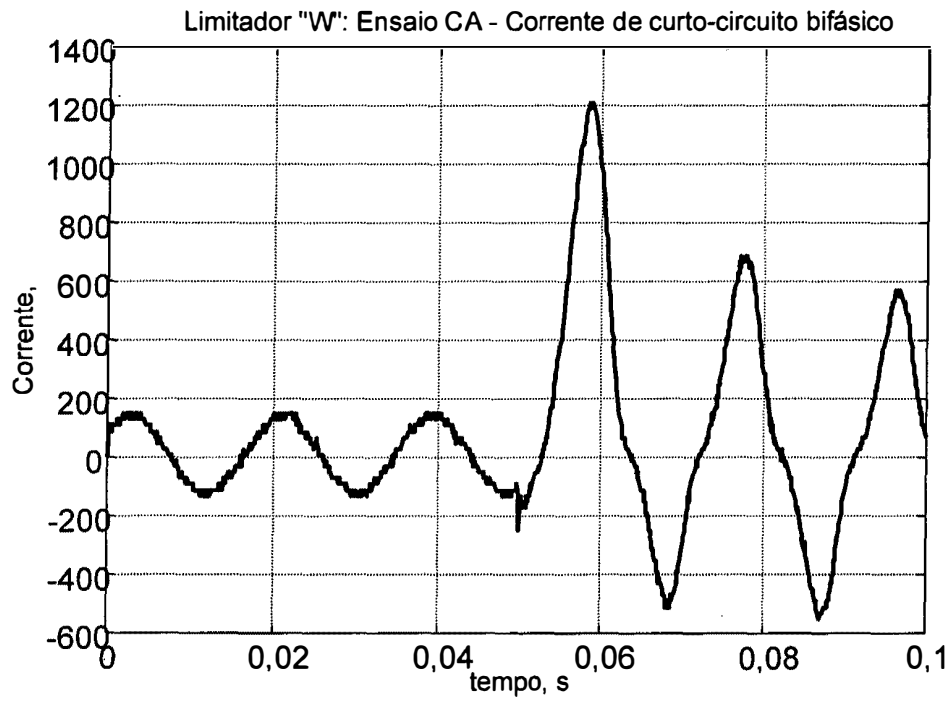
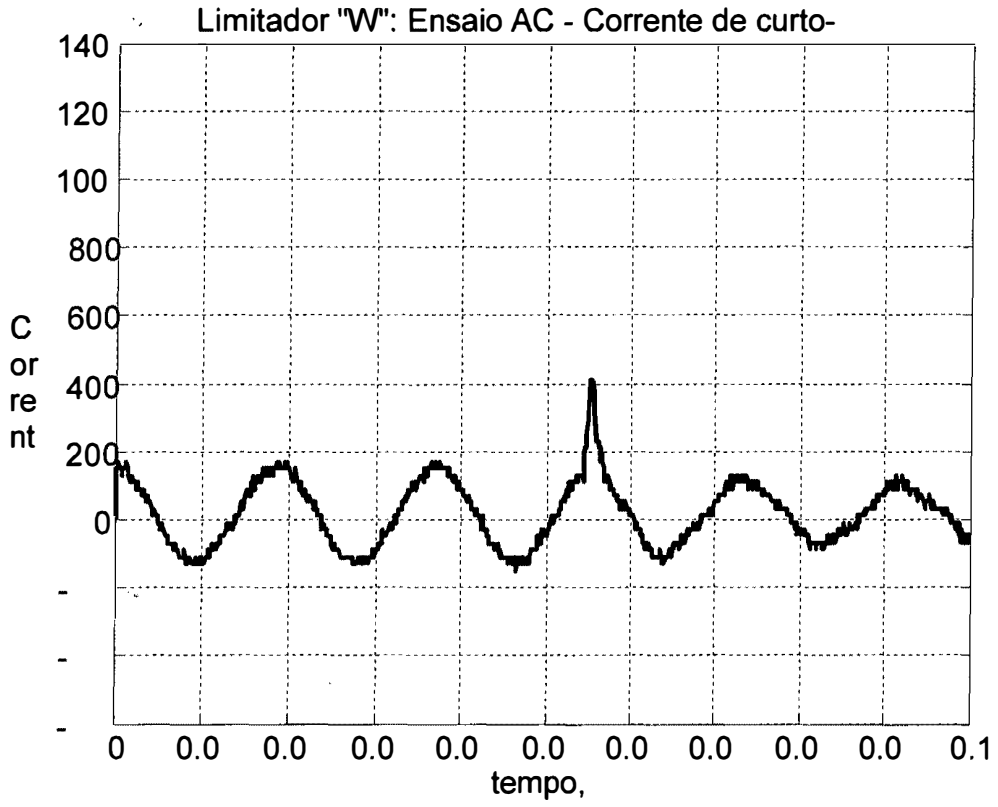
FIGURA 13

FIGURA 14



RESUMO

**LIMITADOR DE CORRENTE MONOFÁSICO RESISTIVO SUPERCONDUTOR
AUTODESMAGNETIZANTE DE BOBINAS CONCÊNTRICAS**

A presente invenção refere-se a um ou mais tubos com bobinas
5 concêntricas com oposição magnética. As bobinas concêntricas com
oposição magnética são construídas de forma contínua, sem
interrupção, cujo retorno é proporcionado por um sistema de
olhal especialmente projetado. Os tubos que compõem a parte
ativa do limitador são fixados através de flanges tencionados
10 por tirantes de material não ferromagnético, isolante elétrico e
resistente a baixas temperaturas criogênica do fluido que banha
a referida parte ativa do limitador. A parte ativa do limitador
é fixada na tampa de um criostato que permite a conexão desta ao
meio exterior. Sua aplicação pode ser adotada em concessionárias
15 de energia elétrica e indústrias onde podem ocorrer situações de
elevada corrente elétrica transitória nas instalações elétricas.
O uso de limitadores de corrente supercondutor facilita e
permite uma melhor coordenação da proteção nos sistemas de
energia elétrica, permitindo reduzir o custo do
20 redimensionamento e substituição dos disjuntores de proteção.
Mais especificamente, a presente invenção é composta por tubos
concêntricos com bobinas de polaridade magnética em oposição
resultando em um fluxo magnético disperso praticamente nulo.
Apresenta as vantagens de não acoplar-se magneticamente com
25 estruturas metálicas presentes em suas proximidades, como pode
ocorrer com os reatores convencionais; apresenta reatância
significativa, devido ao fluxo magnético praticamente nulo no
seu interior; e apresenta resistência elétrica equivalente muito
reduzida devido à propriedade supercondutora do material de que
30 são construídas cada uma de suas bobinas. Funciona baseado na
propriedade de transição do material que está no estado
supercondutor para o estado normal (ocorrência do "quençh")
provocada pelo acréscimo da corrente no fio supercondutor o que
acrescenta resistência das bobinas e limita a corrente na
35 instalação elétrica. O desenvolvimento monofásico pode ser

aplicado a um sistema trifásico utilizando três unidades como descritas acima.