

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

(21) **PI0800449-8 A2**



* B R P I 0 8 0 0 4 4 9 A 2 *

(22) Data de Depósito: 05/03/2008
(43) Data da Publicação: 27/10/2009
(RPI 2025)

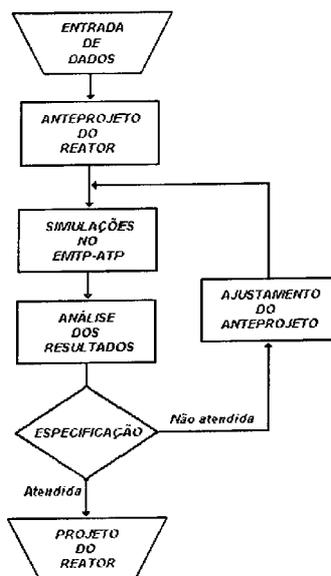
(51) *Int.Cl.:*
G05F 3/06 (2009.01)

(54) Título: **DISPOSITIVO ELETROMAGNÉTICO APLICADO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA**

(73) Titular(es): Companhia Energética de Pernambuco - CELPE,
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

(72) Inventor(es): Manoel Afonso de Carvalho Júnior, Wider
Basílio Santos

(57) Resumo: DISPOSITIVO ELETROMAGNÉTICO APLICADO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA. A presente invenção refere-se a construção de um dispositivo eletromagnético, o qual consiste em uma fonte variável de energia de potência reativa indutiva conectada em paralelo na rede elétrica, o qual foi desenvolvido com base em novas e modernas técnicas de projeto, as quais proporcionaram alterações significativas nos índices de desempenho do equipamento e numa simplificação das configurações de reatores usualmente conhecidos na técnica. Mais especificamente, no arranjo estrutural do referido reator algumas ligações dos enrolamentos assim como, alguns componentes suplementares, tais como, reatores auxiliares saturados para minimização de harmônicos, capacitores ligados em série para correção da inclinação e circuitos amortecedores não fazem parte da sua disposição.





Relatório Descritivo da Patente de Invenção para
“**DISPOSITIVO ELETROMAGNÉTICO APLICADO EM
SISTEMAS DE POTÊNCIA**”

CAMPO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção refere-se a construção de um dispositivo eletromagnético, o qual consiste em uma fonte variável de energia de potência reativa indutiva conectada em paralelo na rede elétrica.

TÉCNICAS RELACIONADAS

10 Os sistemas de potência devem ser projetados e operados de maneira a fornecer aos seus usuários níveis de qualidade dentro dos padrões predefinidos pelos agentes reguladores.

Entretanto, em determinadas situações específicas, como é o caso de sistemas providos de características radiais, 15 variações de tensão superiores a tais limites podem ser encontradas.

Dessa forma, uma compensação que se mostre tecnicamente efetiva no que tange a sua simplicidade construtiva e operacional, foi obtida pelo uso de um dispositivo eletromagnético.

20 O dispositivo eletromagnético é uma variação de um compensador estático. O referido dispositivo consiste na combinação de um núcleo magnético com características e enrolamentos especiais e um conjunto de capacitores em paralelo com o referido dispositivo.

25 Mais especificamente, o dispositivo eletromagnético é um reator com saturação natural constituído de um ou vários núcleos de material magnético dispendo de colunas envolvidas por enrolamentos elétricos, projetados de modo que, quando alimentados

pela rede elétrica, produzam um regime de intensa saturação magnética nas mesmas.

O material magnético empregado na confecção do núcleo deve ser provido de características tais que promovam uma alta permeabilidade na região não saturada. As referidas características são essenciais, para a definição das dimensões do núcleo assim como, as relações entre as partes que constituem o reator.

Os núcleos são preferencialmente construídos a partir de finas lâminas de aço magnético com espessura menor que 0,5 mm, as quais são isoladas eletricamente entre si, e posteriormente agrupadas em pacotes de chapas. Mais especificamente, o material usualmente utilizado para confecção dos núcleos é o aço-silício de grãos orientados laminados a frio.

Núcleos magnéticos envolvidos por enrolamentos, onde circulam correntes alternadas geram um fluxo magnético também alternado e por esse motivo, os núcleos ficam sujeitos a ação de correntes parasitas, as quais são responsáveis pela perda de potência.

As chapas de aço possibilitam a construção de núcleos em blocos maciços únicos, com elevada permeabilidade magnética e alta resistividade elétrica, o que reduz a corrente parasitas e conseqüentemente as perdas de potência. Essa característica resulta em um dispositivo com maior rendimento e maior economia de energia elétrica.

O reator com saturação natural geralmente compreende em seu arranjo estrutural a associação com outros

dispositivos regularmente fornecidos pela indústria eletroeletrônica, tais como capacitores e reatores lineares, para o atendimento de diversas necessidades dos sistemas de potência, destacando-se, como as mais notáveis, a supressão rápida das variações de tensão verificadas na rede.

O reator com saturação natural foi inicialmente desenvolvido na década de 70, por Erich Friedlander, conforme revelado no documento US 4.058.761. A partir de então, passou a ser largamente produzido, principalmente pela General Electric Company nas décadas de 1980/90 passadas.

Após esse período, com os avanços experimentados pela eletrônica de potência, a produção de tais equipamentos tornou-se extinta, de modo que atualmente, nenhuma indústria nacional ou internacional possui tal equipamento em sua carteira de produtos.

Um dos problemas enfrentado pelos reatores com saturação natural, revelados na técnica consiste no fato de que como não possui um controle externo, torna-se inadequado para aplicações relacionadas à estabilidade dinâmica, ou ainda, na correção da inclinação da característica operacional.

Contudo, de forma a superar o problema quanto à correção da inclinação, diversos aperfeiçoamentos foram realizados durante os projetos para construção dos reatores com saturação natural, e hoje a técnica é repleta de documentos que mostram tais aperfeiçoamentos. Dentre os quais, destacam-se US 3.544.885, US 3.621.376 e US 4.058.761.

Entretanto, os reatores com saturação natural propostos por tais documentos e de uma forma geral por toda a técnica revelada, compreendem arranjos de reatores complexos pois referidos reatores devem ser providos de características específicas, tais como, 5 apresentar robustez, ser economicamente viáveis e devem apresentar adicionalmente, baixo custo com manutenção. A busca pela qualidade de forma a atender a todas as exigências, gera um projeto oneroso, o que pode ser um dos principais fatores limitador para a produção dos referidos reatores com saturação natural.

10 Um outro problema comumente enfrentado pelos reatores revelados na técnica, consiste nos componentes harmônicos, as quais são normalmente produzidos pelos dispositivos que operam em regime de intensa saturação.

15 Como é de conhecimento geral, a evolução constante da rede elétrica quer para o atendimento de novos consumidores, quer para a introdução de melhorias na qualidade do fornecimento, resulta num sistema de transmissão cada vez mais “malhado”, de sorte a oferecer várias opções para a transferência de potência entre regiões.

20

Ainda mais, a necessidade de dispor de várias alternativas de fornecimento, como também a otimização das fontes geradoras disponíveis, sugere interligações entre as diversas redes elétricas em operação. Tudo isso conduz a um crescimento no nível da 25 corrente de curto-circuito do sistema, em parte pela redução da

impedância entre pontos, devido às malhas formadas, e em parte pelo aumento do número de fontes por conta das interligações.

Esse quadro, favorável por um lado, provoca, por outro, a superação da capacidade de interrupção de várias unidades de chaveamento das subestações do sistema.

Diante dessas circunstâncias, as alternativas existentes consistem em substituir todas as unidades de manobra com capacidade de interrupção ultrapassada ou, o emprego de um limitador para a corrente de curto-circuito (LCC), dispensando, assim, as substituições citadas, pois, agora, as unidades existentes estarão habilitadas para operação durante toda a vida operativa prevista para as mesmas.

A questão reduz-se, portanto, a um estudo econômico entre essas duas alternativas com o intuito de identificar aquela que proporcionará o maior benefício financeiro. Em geral, sempre que o número de unidades de interrupção em foco for superior a 3 (três), o emprego do limitador será a medida mais acertada economicamente.

Na atualidade, dois tipos de limitadores de curto-circuito (LCC) são intensamente investigados pelas instituições de pesquisa e pelos fabricantes de equipamentos:

Um primeiro tipo de limitador compreende os LCCs com base em supercondutores, os quais caracterizam-se por transitar do estado de supercondutor para um estado normal de condução quando a corrente ultrapassa determinados valores, o que resulta na introdução de uma impedância no circuito. Referidos LCCs são

extremamente rápidos, pois dispensam os elementos de detecção, já que a transição é uma característica inerente do material utilizado. O grande inconveniente, consiste no fato de que no momento, tais equipamentos ainda não estão disponíveis no mercado, pois a tecnologia para a sua produção ainda encontra-se em desenvolvimento.

Já o segundo tipo de limitador, compreende os LCCs com base em eletrônica de potência, os quais utilizam dispositivos ditos de estado sólido para inserir uma impedância no circuito. Referidos limitadores são mais lentos que aqueles que utilizam supercondutores, pois requerem um sistema de detecção para iniciar o processo de limitação. Diversos arranjos são ofertados comercialmente, embora ainda bastante dispendiosos.

Embora, alternativas de suprir a rede elétrica de dispositivos eficazes que promovam conforto e qualidade aos usuários, ainda há na técnica uma deficiência quanto a manufatura de tais dispositivos que possam ser arranjados estruturalmente de maneira simples, sem muita complexidade, minimizando todos os efeitos desvantajosos hoje existentes na técnica para a construção de um reator com saturação natural.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a construção de um dispositivo eletromagnético, o qual consiste em uma fonte variável de energia de potência reativa indutiva conectada em paralelo na rede elétrica. Referido dispositivo, mais especificamente, é um reator com saturação natural, desenvolvido com base em novas e modernas técnicas de projeto, as quais proporcionaram alterações significativas

nos índices de desempenho do equipamento e numa simplificação das configurações de reatores usualmente conhecidos na técnica. O arranjo estrutural do reator é provido de mais de um núcleo, o qual é constituído por um material magnético, além de adicionalmente ser provido de outros dispositivos que garantam a sua operação na rede, de modo que não absorvam energia reativa em condições normais de operação, minimizando as variações de tensões, respondendo apenas durante os afundamentos e elevações de tensão de curta duração. Mais especificamente, no arranjo estrutural do referido reator algumas ligações dos enrolamentos assim como, alguns componentes suplementares, tais como, reatores saturados auxiliares para minimização de harmônicos, capacitores ligados em série para correção da inclinação e circuitos amortecedores não fazem parte da sua disposição.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

A Figura 1 mostra uma primeira modalidade preferida do reator com saturação natural.

A Figura 2 mostra graficamente as forças magnetomotrizes (FMM), F , defasadas de 160° elétricos.

A Figura 3 mostra um fluxograma com o dimensionamento do reator com saturação natural.

A Figura 4 mostra uma segunda modalidade preferida do reator com saturação natural, a qual consiste em uma variação estrutural.

A Figura 5 mostra uma terceira modalidade preferida do reator com saturação natural.

A Figura 6 mostra um arranjo estrutural do reator com saturação natural associado em paralelo com capacitores.

A Figura 7 mostra o reator com saturação natural aplicado para a compensação transversal de linhas de transmissão.

5 A Figura 8 mostra um arranjo do circuito utilizado para o LCC, para atuação como auto-regulador magnético de tensão monofásico e de afundamentos (ARMT) em ramais e/ou alimentador de energia.

10 A Figura 9 mostra um arranjo do circuito utilizado para ser aplicado em um ponto de neutro como sistema de aterramento sintonizado (SAS).

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

15 A presente invenção refere-se a construção de um dispositivo eletromagnético com aplicações diversas nos sistemas de potência. Referido dispositivo consiste em uma fonte variável de energia de potência reativa indutiva, a qual esta conectada em paralelo na rede elétrica. Mais especificamente, o dispositivo está conectado em paralelo com um banco de capacitor.

20 Referido dispositivo eletromagnético é um reator com saturação natural (RSN), desenvolvido com base em novas e modernas técnicas de projeto, as quais proporcionaram alterações significativas nos índices de desempenho do equipamento e numa simplificação das configurações de reatores usualmente conhecidos na técnica.

25 O arranjo estrutural do reator desenvolvido na presente concretização é provido de características específicas que o

fazem diferir dos reatores revelados na técnica. Referido reator é provido de mais de um núcleo, o qual é constituído por um material magnético, além de adicionalmente ser provido de outros dispositivos que garantam a sua operação na rede, de modo que não absorvam energia reativa da rede em condições normais de operação, 5 minimizando as variações de tensões, ou seja, respondendo apenas durante os afundamentos e elevações de tensão de curta duração sendo ainda, mais especificamente, a minimização nas variações de tensão obtidas devido a velocidade de atuação do reator durante os 10 transitórios.

Mais especificamente, no arranjo estrutural do referido reator algumas ligações dos enrolamentos assim como, alguns componentes suplementares, tais como, reatores saturados auxiliares para minimização de harmônicos, capacitores ligados em 15 série para correção da inclinação e circuitos amortecedores não fazem parte da sua disposição.

A ausência desses componentes suplementares até hoje essenciais para a eficiência da operação do reator, é o grande diferencial do reator ora proposto. A inclinação obtida pela estrutura magnética proposta para o reator da presente concretização, mostrou-se adequada, uma vez que houve otimização da relação entre as suas 20 dimensões, e os harmônicos gerados foram aceitáveis pela norma – NBR-14519.

Para o reator com saturação natural objeto da 25 presente invenção, o material ferromagnético selecionado para ser empregado na constituição do núcleo do reator foi um aço magnético

de grão orientado em chapas com não mais do que 0,5mm de espessura. Mais especificamente, referidas chapas de aço devem ter preferencialmente 0,37mm de espessura. Entretanto, o reator da presente concretização não esta limitado ao uso desse material para
5 constituição no núcleo magnético.

A presente invenção permite ainda que seja utilizado outros tipos de materiais, desde que possuam alta permeabilidade magnética relativa, a saber material de aço baixo carbono aço silício de grão não-orientado.

10 O uso do material ferromagnético de grão orientado para confecção do núcleo magnético, otimiza o processo de confecção do núcleo, proporciona um menor gasto de energia durante o processo de fabricação do reator com saturação natural, promove núcleos com maior resistividade elétrica sujeitos a menores correntes parasitas logo
15 com menores perdas, implicam na fabricação de reatores mais leves com menor consumo de energia e maior rendimento.

Após a seleção do material magnético a ser empregado no núcleo, a próxima etapa do processo de fabricação do reator com saturação natural da presente concretização, consiste na
20 escolha de um parâmetro de particular relevância para um projeto de fabricação do reator com saturação natural, a indução magnética de trabalho a ser imposta aos núcleos.

Para a presente concretização, a escolha da referida indução foi realizada, por meio da avaliação da influência da indução
25 nas dimensões estruturais e no desempenho dos reatores e, ao mesmo tempo, por meio da obtenção das informações necessárias para a

seleção do valor mais apropriado para essa grandeza. Dessa forma, um estudo prévio foi realizado onde a indução magnética mínima para promover o início da saturação dos referidos núcleos, ou seja, para a condição de vazio foi realizada de forma a variar entre 1,70 e 2,0T.

5 Todavia, o valor preferencial de indução magnética para a presente concretização foi estabelecido em 1,85T. O referido valor mostrou um maior compromisso entre os custos de produção representados pelo peso dos materiais ativos utilizados e o desempenho operacional dos reatores, perdas no ferro e cobre e
10 distorção harmônica da corrente.

 Componentes suplementares tais como travessas e retornos, em conjunto com os núcleos, completam a estrutura magnética do reator de saturação natural da presente concretização. O dimensionamento desses componentes deve ser realizado de modo a
15 exibirem permanentemente um funcionamento isento de saturação. Este fato é uma condição imposta pelo princípio da mútua compensação harmônica.

 Os enrolamentos presentes no arranjo estrutural do reator com saturação natural desenvolvido pela presente concretização
20 são confeccionados com fita de cobre com secção retangular, isolados como nos transformadores de força.

 Os enrolamentos presentes no arranjo estrutural do reator com saturação natural desenvolvido pela presente concretização, compreendem pequenos transformadores, os quais são confeccionados
25 em fio esmaltado de secção redonda e montados diretamente sob um carretel de material isolante.

Para a fabricação do reator com saturação natural da presente concretização, folhas de aço providas de uma espessura preferencial de 0,37mm foram empregadas na obtenção dos núcleos magnéticos. Referidas folhas foram cortadas em peças com formatos
5 retangulares e com as suas dimensões previamente estabelecidas e apropriadas, as quais foram montadas pela técnica de superposição simples. Todavia, a forma de corte das referidas folhas não está limitada a forma retangular, podendo ser realizada ainda em qualquer outro formato solicitado.

10 **MODALIDADES PREFERIDAS DE CONCRETIZAÇÃO DO REATOR COM SATURAÇÃO NATURAL:**

1. Primeira Modalidade Preferida de Concretização

Uma modalidade preferida da presente concretização é mostrada na Figura 1. A Figura 1 mostra um reator com saturação
15 natural provido de um arranjo estrutural planar de 9 (nove) núcleos dispostos na forma de colunas paralelas. Na referida modalidade, o núcleo consiste em um monobloco único reunindo as trajetórias de retorno do fluxo. Os núcleos são providos de enrolamentos primários, N_0 , N_1 e N_2 , dispostos em ligações em série, e ainda adicionalmente
20 provido de enrolamentos secundários, N_3 .

Os núcleos deverão ser excitados por meio de forças magnetomotrizes (FMM), F , defasadas de 160° elétricos como mostrado na Figura 2. A quantidade de espiras dos enrolamentos primários, deverá ser selecionada de modo a suportar a corrente
25 elétrica empregada, pois a presença de espiras nos enrolamentos minimiza o fluxo elétrico nos jugos e nas trajetórias de retorno. A

quantidade de espiras do enrolamento secundário é selecionada de modo a satisfazer duas exigências; a redução do teor harmônico e a inclinação da característica operacional do reator.

O número de espiras em um enrolamento para um reator provido de N núcleos, é determinado pelas expressões abaixo relacionadas:

$$C_1 = \{n : n \in N, \text{múltiplo de 3 e ímpar}\} \quad (1)$$

$$C_2 = \{n : n \in N, \text{múltiplo de 3 e par}\} \quad (2)$$

$$C_3 = \{n : n \in N, \text{não múltiplo de 3 e ímpar}\} \quad (3)$$

$$10 \quad C_4 = \{n : n \in N, \text{não múltiplo de 3 e par}\} \quad (4)$$

$$n \in C_1 \Rightarrow N_i = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right) N_0 \cos\left(\frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{n} i\right) \quad \forall i = 0, 1, 2, 3, \dots, \left(\frac{n}{3} - 1\right)$$

$$n \in C_2 \Rightarrow N_i = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right) N_0 \cos\left(\frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{n} \left(i - \frac{1}{2}\right)\right) \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, \left(\frac{n}{3}\right)$$

$$n \in C_3 \Rightarrow N_i = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right) N_0 \cos\left(\frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{3n} i\right) \quad \forall i = 0, 1, 2, 3, \dots, (n - 1)$$

$$n \in C_4 \Rightarrow N_i = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right) N_0 \cos\left(\frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{3n} \left(i - \frac{1}{2}\right)\right) \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, n$$

15 Entretanto, a distribuição de FMMs mostrada na Figura 2 somente será observada na estrutura em monobloco da Figura 1 se o jugo da mesma representar um curto-circuito magnético. Isso significa que, esse elemento deverá, ao contrário dos núcleos, operar isento de saturação em toda a faixa operativa do reator.

Os indutores lineares (L) mostrados na Figura 1, estão conectados de modo a formar um triângulo com os enrolamentos secundários.

O dimensionamento do reator com saturação natural da presente concretização é mostrado na Figura 3 por meio de um fluxograma e segue procedimentos distintos dos utilizados para o dimensionamento dos transformadores de força.

Para os transformadores de força, dada uma especificação, cada fabricante já dispõe de um projeto básico otimizado em termos de dimensões e de materiais, o qual carece, apenas, de alguns aprimoramentos. Enquanto que para os reatores com saturação natural, cada projeto é único e, portanto, o dimensionamento não pode ser realizado de uma maneira generalizada.

O fluxograma da Figura 3 mostra o dimensionamento do reator com saturação natural da presente invenção, o qual consiste em inicialmente se estabelecer uma arquitetura eletromagnética para a estrutura do referido reator. Etapa ora denominada como anteprojetado.

A estrutura do referido reator ora desenvolvido, por razões econômicas, deverá estar ajustada às práticas e técnicas de cada fabricante tanto em termos das máquinas, ferramentas, dos materiais em uso e da instalação industrial disponível.

Dessa forma, o anteprojetado será submetido a uma modelagem matemática por meio da técnica da dualidade e simulado em um programa de computador específico para estudos transitórios,

tal como o programa EMTP. Assim, é possível obter informações sobre o desempenho operacional do anteprojeto.

Caso os resultados obtidos por meio da modelagem não atendam a especificação prescrita para o reator, o anteprojeto original deve ser submetido a seqüenciais reajustamentos. Referidos reajustamentos devem ser realizados até o momento em que as informações fornecidas pelo EMTP sejam suficientes para uma plena satisfação quanto ao desempenho operacional.

2. Segunda Modalidade Preferida de Concretização

Uma segunda modalidade preferida da presente concretização consiste em uma variante para a estrutura magnética em monobloco do reator com saturação natural ora desenvolvido. Referida variação estrutural é mostrada na Figura 4.

Referida modalidade é aplicada a produção de reatores de grande porte, os quais são projetados para acoplamento a sistemas submetidos à elevada tensão de trabalho. Referida modalidade visa superar as desvantagens relacionadas aos reatores de grande porte, tais como, o aumento no comprimento e/ou peso do monobloco.

O arranjo estrutural para o reator com saturação natural proposto nessa modalidade preferida, consiste no monobloco de estrutura planar dividido em pelo menos três unidades magneticamente independentes.

A repartição do referido monobloco, promove uma redução nas dimensões do reator e, conseqüentemente, o peso de cada

unidade, facilitando assim, o manuseio e o transporte na fabricação, instalação e manutenção.

No arranjo estrutural mostrado na Figura 4, os núcleos deverão ser excitados por meio de forças magnetomotrizes (FMM), F , defasadas eletricamente de 120° .

Um diferencial da presente concretização esta relacionada ao fato de que o mesmo resultado obtido com o arranjo estrutural de reator com saturação natural proposto pela segunda modalidade preferida, Figura 4, é também obtido caso o arranjo estrutural de reator com saturação natural proposto pela primeira modalidade preferida, Figura 1, fosse repartida em 3 (três) unidades diretamente, ou seja, sem ocorrer rearranjo estrutural na ordem dos núcleos e com uma excitação dos referidos núcleos de por FMM, defasadas eletricamente em 160° .

A escolha da alternativa quanto ao uso da modalidade preferencial mais apropriada dependerá das exigências impostas pela aplicação pretendida para o reator com saturação natural.

3. Terceira Modalidade Preferida de Concretização

Uma terceira modalidade preferida da presente concretização, consiste em um outro arranjo estrutural para o reator com saturação natural. Referido arranjo estrutural compreende um circuito magnético próprio para cada núcleo. Assim, para um reator provido de 9 (nove) núcleos, um número igual de circuitos magnéticos individuais devem ser constituídos, ou seja, devem ser constituídos 9 (nove) circuitos magnéticos, como é mostrado na Figura 5, a qual exemplifica 2 (dois) circuitos magnéticos.

A opção da referida modalidade é útil em situações em que são requeridas o uso de um reator provido com número de núcleos inferior a 9 (nove).

O reator com saturação natural ora desenvolvido para a presente concretização, independente da modalidade estrutural utilizada, quando associado em paralelo com capacitores tal como mostra a Figura 6, constitui um dispositivo, tal como o Supressor Magnético Rápido de Variação de Tensão (SMRVT), o qual é capaz de manter, em estado permanente, a tensão no ponto de conexão da rede elétrica dentro de limites previamente selecionados, $[V_s, V_n]$.

Referidos limites, devem ser selecionados, de modo a considerar as normas em vigor no setor elétrico brasileiro. Atualmente, a tensão nas barras de consumo de um sistema elétrico deve ser mantida numa faixa máxima de $\pm 5\%$ em torno da tensão nominal.

O reator com saturação natural objeto da presente concretização é capaz de assegurar esse controle da tensão sem requerer o uso de capacitores ou outros recursos para correção da inclinação. Entretanto, o referido reator não está limitado as normas em vigor no Brasil, podendo ser submetido a outros valores de tensão.

Adicionalmente, o arranjo do referido reator com saturação natural associado em paralelo com capacitores para a estabilização da tensão em estado permanente é bastante eficiente para controlar transitoriamente a tensão em pontos determinados da rede elétrica, desde que o referido reator seja adequadamente projetado com essa finalidade.

Referida disposição estrutural, associação do reator com os capacitores, é utilizada quando se deseja evitar que as variações de tensão de curta duração (VTCD) produzam danos aos equipamentos dos consumidores industriais ou residenciais, os quais
5 estão conectados à rede da concessionária de energia, coibindo a transição da tensão para patamares considerados críticos e reduzindo o tempo de permanência nessas regiões limítrofes.

O reator com saturação natural ora proposto, adicionalmente pode ser utilizado para a compensação transversal de
10 linhas de transmissão. Para essa aplicação, o referido reator com saturação natural está conectado diretamente a linha de transmissão sem dispor de qualquer outro recurso adicional como mostra a Figura 7. Essa disposição minimiza a perda de capacidade de transmissão, o que ocorre quando o fator de potência da carga passa da região
15 capacitiva para a indutiva.

Uma grande vantagem para se utilizar o reator com saturação natural para compensação transversal ao invés dos reatores lineares, consiste no fato de que nos reatores com saturação natural, a interrupção da transmissão da tensão elétrica impede a circulação da
20 potência reativa em um determinado trecho da linha de transmissão nos sistemas radiais e este fato, repercute ao longo de todo o sistema.

Assim, o perfil de tensão não somente exibirá uma melhoria local, mas em todos os barramentos por onde deveria transitar a potência consumida pelos reatores lineares.

25 O uso do reator com saturação natural pode vir a proporcionar elevados ganhos financeiros pois, dependendo da

disposição estrutural do reator, os investimentos para elevar a capacidade dos eixos de transmissão existentes ou para a construção de novos eixos poderão ser postergados ou mesmo eliminados.

5 O reator com saturação natural ora desenvolvido, ainda pode ser utilizado em sistemas onde se deseja uma limitação da corrente de curto-circuito dos sistemas de potência.

O arranjo mostrado na Figura 8, transcreve em termos de elementos de circuito, a idéia conceitual do limitador de corrente de curto-circuito associado ao reator ora proposto.

10 De uma forma geral, os elementos de circuito, do referido supressor que atua como um limitador de corrente de curto-circuito compreende pelo menos 3 elementos básicos, a saber:

- Um reator linear;
- Um capacitor;
- 15 - Um reator com saturação natural

A configuração estrutural do limitador de corrente de curto circuito ora proposto, deve prever que o reator linear e o capacitor estejam dispostos de forma sintonizada, ou seja, a reatância indutiva do reator linear deverá igualar-se a reatância capacitiva do referido capacitor.

20

O reator com saturação natural, por sua vez, quando em operação, deve apresentar um comportamento similar ao mostrado na Figura 6. Pela observação da referida Figura, enquanto a tensão nos terminais do reator com saturação natural não alcançar o valor especificado para o início de saturação, V_s , o reator não irá consumir qualquer corrente, ou seja, comportar-se-á como um circuito aberto.

25

Por outro lado, uma vez iniciada a saturação, o referido reator com saturação natural irá operar como um dispositivo de impedância constante, a qual é exatamente estabelecida pela inclinação eleita para a curva $V \times I$.

5 Na faixa normal de operação, a corrente que circula no limitador de curto circuito - LCC é insuficiente para produzir uma queda de tensão no capacitor capaz de saturar o referido reator com saturação natural. Nessas circunstâncias, o limitador de curto circuito estará fora do circuito, ou seja “aberto”, de modo que a sintonia entre
10 o reator linear e o capacitor resultará numa impedância nula para o referido LCC, a impedância nula, significa que o circuito poderá ser considerado um curto-circuito.

Por outro lado, quando uma corrente, acima de um valor previamente definido, circular no LCC, como ocorre por ocasião
15 de um curto-circuito, a tensão nos terminais do capacitor atingirá o valor de saturação do referido reator.

Nessas circunstâncias, a baixa impedância oferecida por esse equipamento “quebrará” a sintonia antes existente entre o capacitor e o reator linear, de sorte que o LCC oferecerá, agora, uma
20 impedância à passagem da corrente.

Adicionalmente, o arranjo mostrado na Figura 8 consiste em um arranjo do circuito utilizado para o LCC, para atuar como auto-regulador magnético de tensão monofásico e de
afundamentos (ARMT) em ramais e/ou alimentador de energia.

25 Como mostra a Figura 8, o funcionamento operativo do auto-regulador magnético de tensão monofásico e de afundamentos

(ARMT) é caracterizado por se sintonizar o arranjo de forma tal que a impedância série do conjunto, reator linear e capacitor, tenha como resultante uma característica capacitiva.

5 O valor da impedância capacitiva é tal que garanta a tensão, em um ponto distante ao longo do ramal de alimentação, um valor para a faixa de tensão adequada para atender os critérios operativos desejados.

Essa auto-regulação é atendida pela variação normal da corrente de carga ao longo de sua curva de variação característica
10 diária ou por outro período considerado.

Quando da ocorrência de um afundamento de tensão decorrente de um aumento da corrente, causado, por exemplo, por um curto-circuito, o reator com saturação natural deixará seu estado normal de operação no arranjo, que é de não saturação, passando para
15 um estado de profunda saturação decorrente do aumento de tensão em seus terminais, alterando assim a característica indutiva capacitiva do circuito sintonizado. Dessa forma diminuindo o afundamento de tensão, decorrente do aumento não desejado da corrente.

No limite quando toda reatância capacitiva estiver
20 completamente curto-circuitada naturalmente pela reatância de saturação do referido reator a reatância do reator linear será o limitador das altas corrente e conseqüentemente dos afundamentos de tensão.

E ainda, o arranjo estrutural do reator com saturação
25 natural juntamente com o reator linear e o capacitor, podem ser aplicados em sistemas de aterramento sintonizado (SAS).

O efetivo aterramento de um sistema de potência é obtido quando o ponto de neutro é solidamente conectado a terra, ou seja, a impedância de aterramento nula.

5 O atendimento dessa condição ideal é muitas vezes impedido de ser implementada pela elevação dos níveis da corrente de curto-circuito e os indesejáveis efeitos que as correntes de seqüência zero criam nas redes de potências e em alguns casos chega até a superação da capacidade de disjunção dos elementos da rede elétrica.

10 Nas redes de alta e extra-alta tensão as correntes de seqüência zero induzem tensões nas fases sãs que podem levar a queima de equipamentos, ou submete-los a estresse que comprometem sua vida útil e por esses motivos devem ser evitados.

15 Para atender as situações conflitantes, as quais consistem no aterramento com impedância nula e corrente de seqüência zero limitada, é necessário o uso do sistema de aterramento sintonizado (SAS), o qual consiste na conexão dos terminais do circuito sintonizado, como mostra a Figura 9, no ponto de neutro que se quer aterrar e sua outra extremidade no ponto de aterramento.

20 O efetivo aterramento com impedância é obtido na condição em que a reatância do reator linear seja igual a reatância do capacitor ($X=0$) e essa condição deve ser garantida na faixa normal de desequilíbrio dos sistemas de potência, ou seja a corrente de neutro normalmente encontrada não é suficiente para causar uma elevação de tensão nos terminais do capacitor que venha a tirar o reator com
25 saturação natural do seu estado normal de operação, não saturado.

Na eventualidade do aumento do desequilíbrio que tem seu máximo sob condição de curto-circuito, essa corrente de seqüência zero, leva o reator saturado a um estado de profunda saturação, curto-circuitando o capacitor, deixando como resultante no arranjo a reatância do reator linear (X_l) que oferece uma impedância não nula, tal como $3 \cdot X_l$, a circulação da corrente de seqüência zero e conseqüente diminuição de suas amplitudes e seus efeitos adversos.

A invenção aqui descrita não está limitada a essa concretização e, aqueles com habilidade na técnica irão perceber que, qualquer característica particular nela introduzida, deve ser entendida apenas como algo que foi descrito para facilitar a compreensão e não podem ser realizadas sem se afastar do conceito inventivo descrito. As características limitantes do objeto da presente invenção estão relacionadas às reivindicações que fazem parte do presente relatório.

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo eletromagnético provido de pelo menos um núcleo, constituído por um material magnético, provido adicionalmente de outros dispositivos que garantam a sua operação na rede, caracterizado por consistir em uma fonte variável de energia de potência reativa indutiva, conectada em paralelo na rede elétrica e algumas ligações dos enrolamentos assim como, alguns componentes suplementares, tais como, reatores saturados auxiliares para minimização de harmônicos, capacitores ligados em série para correção da inclinação e circuitos amortecedores não compreenderem o seu arranjo estrutural.

2. Dispositivo eletromagnético de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por minimizar as variações de tensões, responder apenas durante os afundamentos e elevações de tensão de curta duração.

3. Dispositivo eletromagnético de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o material ferromagnético selecionado para a constituição do núcleo do reator ser um aço magnético de grão orientado em chapas com não mais do que 0,5mm de espessura.

4. Dispositivo eletromagnético de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a espessura do material ferromagnético ser mais preferencialmente 0,37mm.

5. Dispositivo eletromagnético de acordo com as reivindicações 1 e 3, caracterizado por outros tipos de materiais para confecção do núcleo poderem ser utilizados, desde que possuam alta

permeabilidade magnética relativa, a saber material de aço de baixo carbono e aço silício de grão não-orientado.

5 6. Dispositivo eletromagnético de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a indução magnética mínima para promover o início da saturação dos referidos núcleos variar entre 1,70 e 2,0T.

7. Dispositivo eletromagnético de acordo com as reivindicações 1 e 6, caracterizado por a indução magnética ser preferencialmente 1,85T.

10 8. Dispositivo eletromagnético de acordo com a reivindicação 1 caracterizado por componentes suplementares tais como travessas e retornos, em conjunto com os núcleos, completarem a estrutura magnética do reator de saturação natural e serem dimensionamento de modo a exibirem permanentemente um
15 funcionamento isento de saturação.

9. Dispositivo eletromagnético de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser provido de um arranjo estrutural planar de 9 (nove) núcleos em um monobloco providos de enrolamentos primários e secundários, nos quais os indutores lineares
20 L estão conectados de forma a formar um triângulo e referidos núcleos dispostos na forma de colunas paralelas reunindo as trajetórias de retorno do fluxo.

10. Dispositivo eletromagnético de acordo com as reivindicações 1 e 9, caracterizado por os núcleos serem excitados por
25 meio de forças magnetomotrizes (FMM), F , defasadas de 160° elétricos.

11. Dispositivo eletromagnético de acordo com as reivindicações 1 e 9, caracterizado por consistir em inicialmente se estabelecer uma arquitetura eletromagnética com uma modelagem matemática por meio da técnica da dualidade e simulado em um programa de computador específico para estudos transitórios.

12. Dispositivo eletromagnético de acordo com as reivindicações 1, 9 e 11, caracterizado por reajustes serem realizados ao anteprojeto até o momento em que as informações fornecidas pelo programa de computador sejam suficientes para uma plena satisfação quanto ao desempenho operacional do dispositivo.

13. Dispositivo eletromagnético de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por uma variante estrutural magnética consistir em monobloco de estrutura planar dividido em pelo menos três unidades magneticamente independentes e ser aplicada a reatores de grande porte, projetados para acoplamento a sistemas submetidos à elevada tensão de trabalho.

14. Dispositivo eletromagnético de acordo com as reivindicações 1, e 13, caracterizado por os núcleos serem excitados por meio de forças magnetomotrizes (FMM), F , defasadas eletricamente de 120° .

15. Dispositivo eletromagnético de acordo com as reivindicações 1, 9 e 14, caracterizado por estruturas monobloco de 9(nove) núcleos que seja repartido em 3 (três) unidades diretamente, sem rearranjo estrutural na ordem dos núcleos e com uma excitação dos referidos núcleos por FMM, defasadas eletricamente em 160° , resultado semelhante ao monobloco não repartido.

16. Dispositivo eletromagnético de acordo com as reivindicações 1, e 14, caracterizado por um terceiro arranjo estrutural compreender um circuito magnético próprio para cada núcleo e ser utilizado em situações em que é requerido o uso de um reator provido com número de núcleos inferior a 9 (nove).

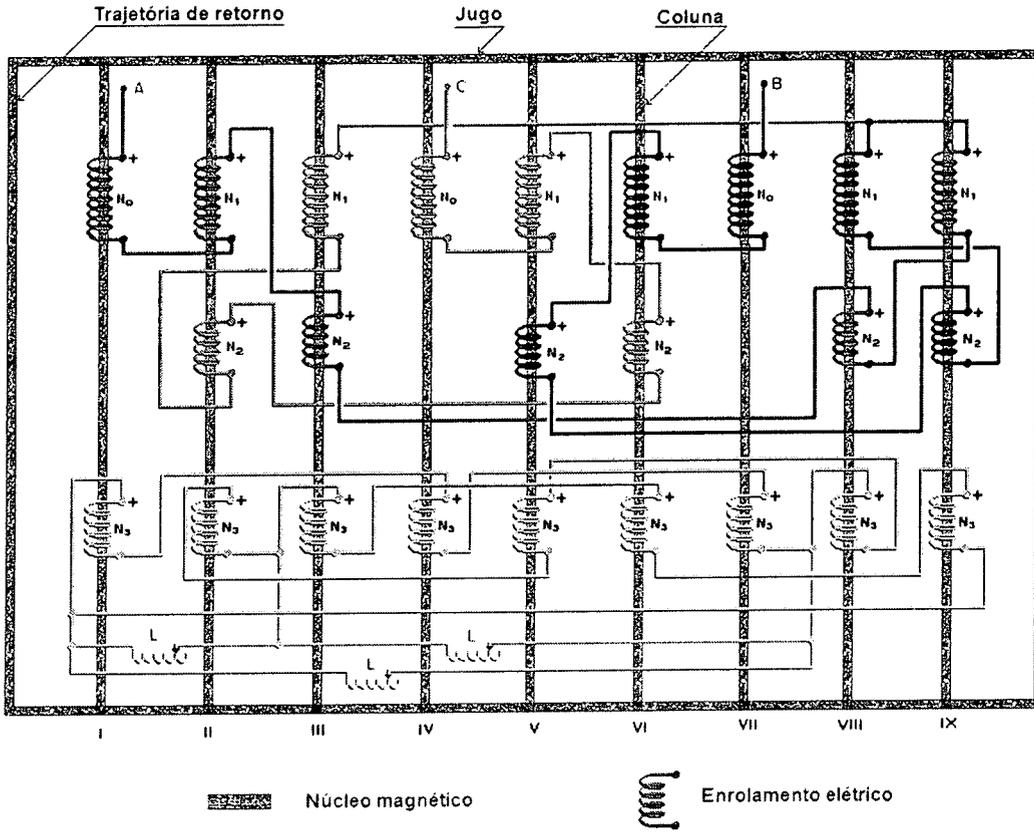


FIGURA 1

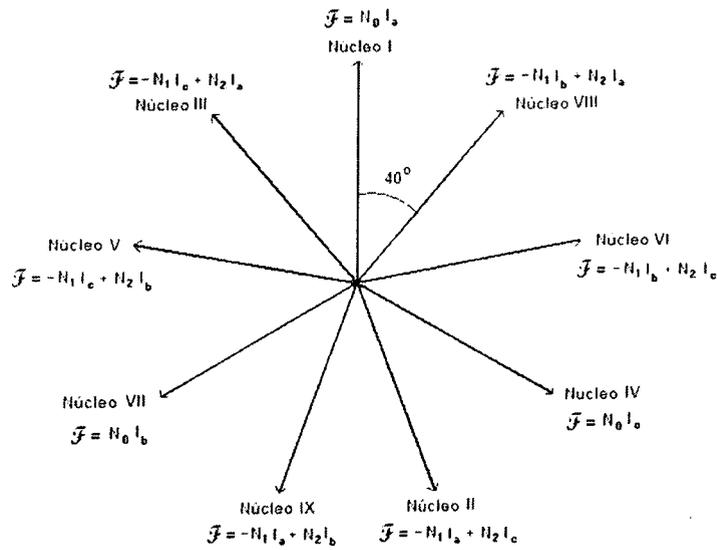


FIGURA 2

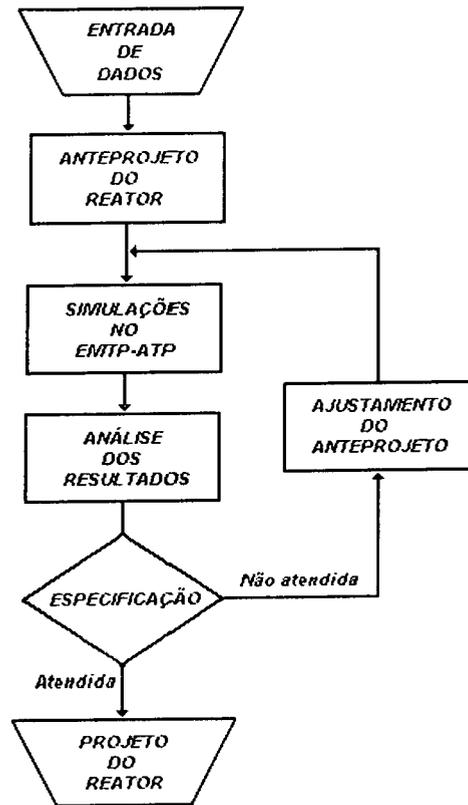


FIGURA 3

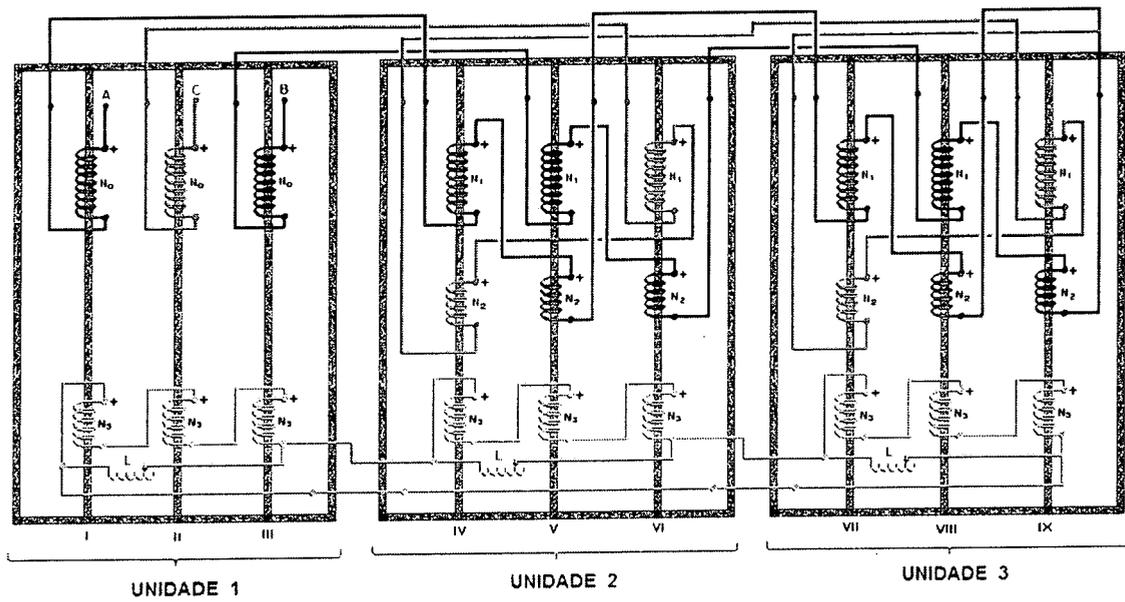
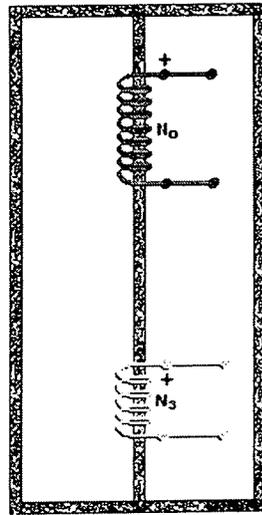
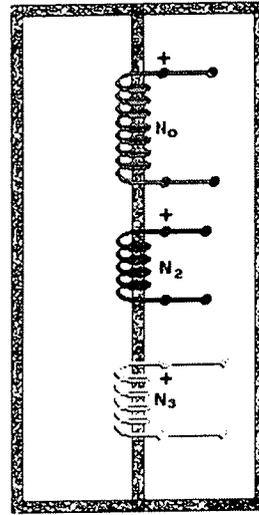


FIGURA 4



Núcleo com 2 enrolamentos



Núcleo com 3 enrolamentos

FIGURA 5

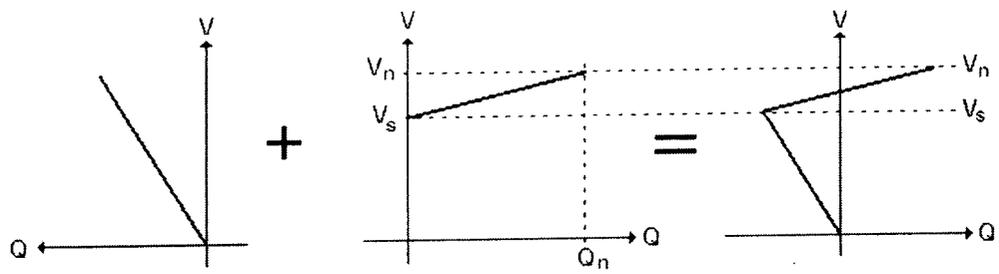
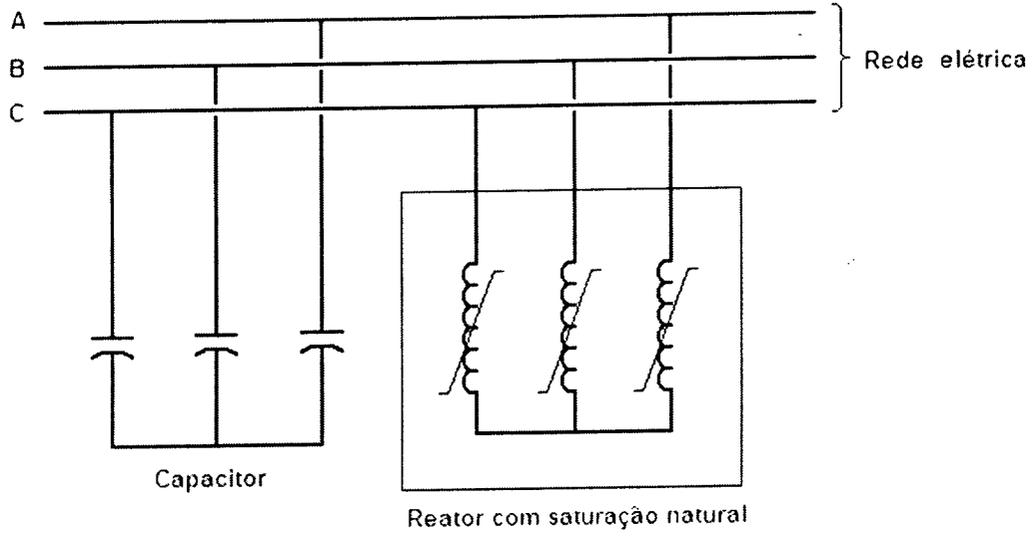


FIGURA 6

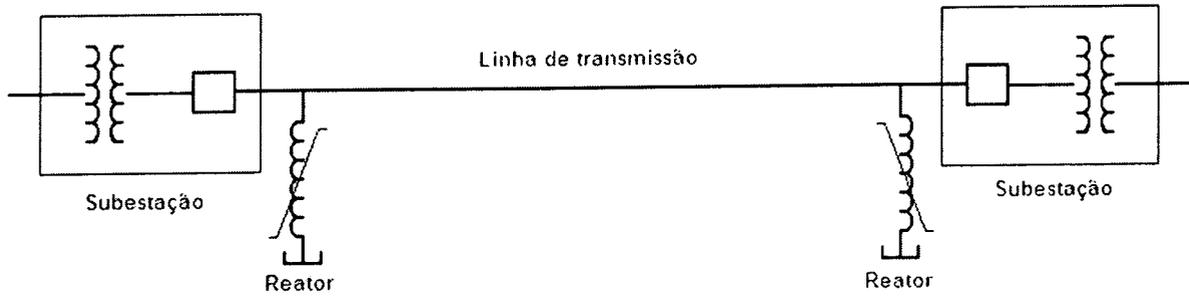


FIGURA 7

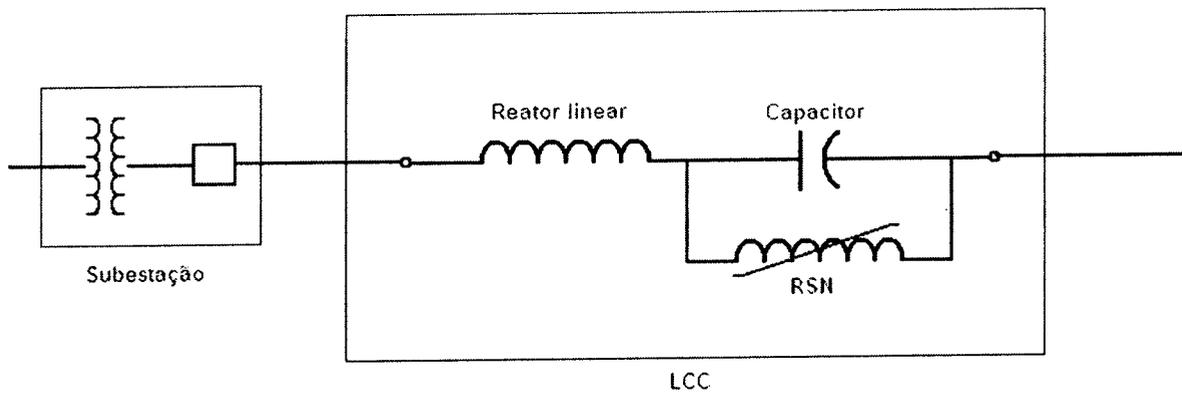


FIGURA 8

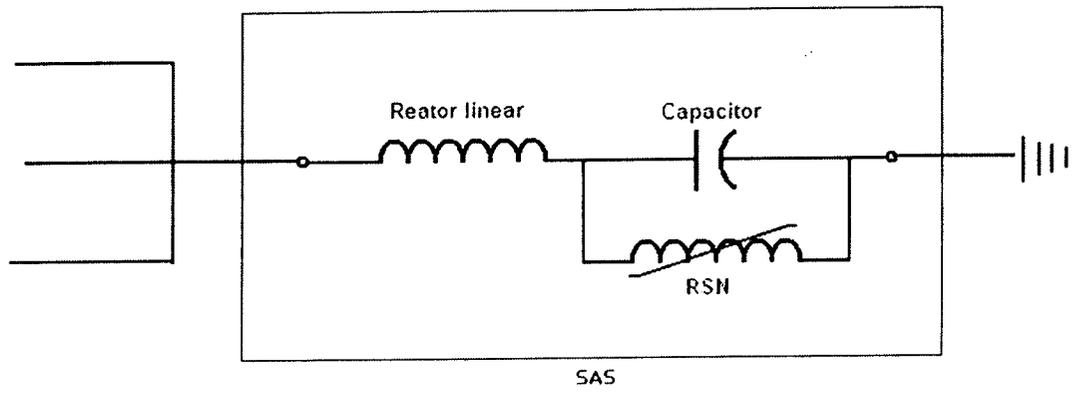


FIGURA 9

RESUMO**Patente de Invenção para “DISPOSITIVO
ELETROMAGNÉTICO APLICADO EM SISTEMAS DE
POTÊNCIA”**

5 A presente invenção refere-se a construção de um dispositivo eletromagnético, o qual consiste em uma fonte variável de energia de potência reativa indutiva conectada em paralelo na rede elétrica, o qual foi desenvolvido com base em novas e modernas técnicas de projeto, as quais proporcionaram alterações significativas
10 nos índices de desempenho do equipamento e numa simplificação das configurações de reatores usualmente conhecidos na técnica. Mais especificamente, no arranjo estrutural do referido reator algumas ligações dos enrolamentos assim como, alguns componentes
15 suplementares, tais como, reatores auxiliares saturados para minimização de harmônicos, capacitores ligados em série para correção da inclinação e circuitos amortecedores não fazem parte da sua disposição.