

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

(21) **PI0610827-0 A2**

(22) Data de Depósito: 16/05/2006  
(43) Data da Publicação: 27/07/2010  
(RPI 2064)



(51) *Int.Cl.:*  
G05F 1/70  
H02J 3/18

(54) Título: **FILTRO ATIVO EM MÚLTIPLOS NÍVEIS**

(30) Prioridade Unionista: 17/05/2005 US 60/681,621

(73) Titular(es): Siemens Energy & Automation, Inc.

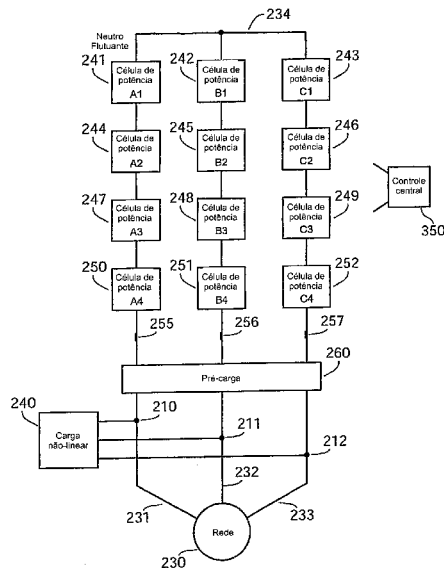
(72) Inventor(es): MUKUL RASTOGI, PETER W. HAMMOND,  
STAN R. SIMMS

(74) Procurador(es): Dannemann, Siemsen, Bigler &  
Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT US2006018875 de 16/05/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2006/124868 de 23/11/2006

(57) **Resumo:** FILTRO ATIVO EM MÚLTIPLOS NÍVEIS. A presente invenção refere-se a um filtro ativo em múltiplas fases que inclui um grupo de células de energia eletricamente conectadas em uma configuração trifásica, um circuito de pré-carregamento e um controlador que controla a tensão distribuída à pluralidade de células de energia. Cada célula de energia inclui um inversor dotado de um par de terminais de corrente direta (CC), ao menos um capacitor eletricamente conectado em paralelo ao inversor, e um circuito de dissipação de energia que é eletricamente conectado em paralelo ao inversor. O circuito de dissipação de energia de cada célula de energia auto-regula a tensão CC dentro da célula.





Relatório Descritivo de Patente de Invenção para "**FILTRO ATIVO EM MÚLTIPLOS NÍVEIS**".

Referência Cruzada aos Pedidos Relacionados

- 5 Este pedido reivindica a prioridade ao Pedido de Patente Provisório Pendente U.S. Nº 60/681.621, intitulado "Multi-level active filter for medium voltage applications", depositado em 17 de maio de 2005, e o incorpora a título de referência em sua totalidade.

Antecedentes da Invenção

- 10 Um filtro ativo é um dispositivo que modifica as características de amplitude e/ou de fase de um sinal em relação à frequência, e que inclui um dispositivo de amplificação que serve para amplificar o sinal em frequências relativamente baixas. Um filtro ativo pode ser eletricamente posicionado entre uma fonte de energia e uma carga, e pode ajudar a suavizar os problemas da qualidade de energia introduzidos por correntes harmônicas e
- 15 fator de potência baixa.

- Atualmente, as soluções de filtro ativo para aplicações industriais estão disponíveis em tensões nominais baixas (isto é, menor que, ou igual a, 690 volts). No entanto, as soluções existentes para filtros ativos em níveis de tensão abaixo dos 1000 volts apresentam desvantagens singulares. Por exemplo,
- 20 plo, as tentativas para proporcionar um filtro ativo híbrido, que incluía um inversor que seja proporcional a uma pequena fração da tensão da rede, exigiram capacitores maiores e componentes magnéticos dispendiosos, e tais sistemas absorvem um nível fixo de potência reativa fundamental (VARs), o que resulta em fator de potência pobre a cargas moderadas e leves.

- 25 O uso de inversores conectados em cascata ou em série para compensação da potência reativa fundamental (ou VARs) é conhecido. No entanto, os circuitos propostos até esta data têm rede limitada. Outras tentativas na utilização de inversores conectados em série sugeriram um modo de operação em onda quadrada, com a finalidade de reduzir as perdas nos inversores.
- 30 No entanto, em tais sistemas, o número de harmônicos que podem ser compensados é limitado pelo número de inversores conectados em série, já que os harmônicos requerem um número maior de inversores.

Conseqüentemente, é desejável proporcionar um filtro aprimorado para aplicações de tensão média.

### Sumário da Invenção

Em uma modalidade, um filtro ativo em múltiplas fases inclui ao menos três fases. Cada fase inclui um grupo de células de energia eletricamente conectadas em série. Cada fase tem uma primeira extremidade e uma segunda extremidade. As primeiras extremidades de cada fase são eletricamente acopladas umas às outras, e as segundas extremidades de cada fase são posicionadas de modo a serem eletricamente conectadas entre uma fonte de energia e uma carga em um ponto comum de acoplamento. Cada célula de energia inclui um inversor dotado de um par de terminais de corrente contínua (CC) e de um circuito de dissipação de energia que é eletricamente conectado através dos terminais CC do inversor. As células de energia podem filtrar a corrente harmônica e reativa geradas pela carga.

Em algumas modalidades, cada inversor é um inversor em ponte-H ou um inversor monofásico com ponto neutro grampeado. Cada inversor pode incluir, também, ao menos um capacitor eletricamente conectado em paralelo com o inversor. Um controlador central pode garantir um compartilhamento de tensão CC em cada inversor regulando-se o fluxo de potência, de tal modo que cada célula de energia auto-regule sua tensão CC utilizando seu circuito de dissipação de energia.

Em algumas modalidades, o filtro pode incluir um circuito de pré-carregamento. O pré-carregamento pode incluir um primeiro contactor, um primeiro indutor e um segundo indutor eletricamente conectado em série, de tal modo que o primeiro indutor fique entre o primeiro indutor e o segundo indutor. O circuito de pré-carregamento pode incluir, também, um segundo contactor eletricamente conectado em paralelo através do primeiro contactor e do primeiro indutor. O primeiro contactor se fecha para energizar as células de energia, o segundo contactor se fecha quando as células de energia forem carregadas até uma tensão CC nominal, e o primeiro contactor se abre depois que o segundo contactor estiver fechado.

Em algumas modalidades, o filtro inclui uma unidade controlado-

ra que monitora a tensão de cada célula de energia e ativa ou desativa o primeiro contactor e o segundo contactor com base nos dados que o mesmo recebeu do monitoramento. Em algumas modalidades, o circuito de dissipação de energia inclui um transistor e um resistor, sendo que o transistor causa um curto-circuito no inversor através do resistor para provocar dissipação de energia através do resistor. Cada célula pode ter um circuito de controle que ative o transistor da célula e auto-regule a tensão na célula.

Em uma modalidade alternada, um filtro ativo em múltiplas fases inclui ao menos três fases, sendo que cada fase inclui uma pluralidade de células de energia eletricamente conectadas em série. Cada fase tem uma primeira extremidade e uma segunda extremidade, as primeiras extremidades de cada fase são eletricamente acopladas umas às outras, e as segundas extremidades de cada fase são posicionadas de modo a serem eletricamente conectadas entre uma fonte de energia e uma carga em um ponto comum de acoplamento. Cada célula de energia inclui um inversor dotado de um par de terminais CC, de um retificador eletricamente conectado através dos terminais CC e de um capacitor que seja eletricamente conectado através dos terminais CC. Cada retificador recebe energia de um conjunto de enrolamentos secundários trifásicos dedicados de um transformador. O transformador é externo ao filtro e pode ter uma classificação volt-ampère que seja menor que uma classificação volt-ampère do filtro. Um controlador central pode comandar o fluxo de potência fora do filtro ativo.

#### Breve Descrição dos Desenhos

Os aspectos, características, benefícios e vantagens da presente invenção ficarão evidentes levando em consideração a descrição e os desenhos em anexo, em que:

A figura 1 é um diagrama de circuito de um inversor em ponte-H exemplar.

A figura 2 é um diagrama de circuito de um circuito de filtro ativo exemplar eletricamente conectado entre uma fonte de energia e uma carga.

A figura 3 é um diagrama de circuito de uma célula de energia exemplar.

A figura 4 é um diagrama de circuito de uma aplicação exemplar de um filtro ativo da presente descrição.

A figura 5 é um diagrama de circuito de um circuito de pré-carregamento exemplar.

5 A figura 6 é uma ilustração de uma corrente nominal, corrente de carga e corrente de filtro ativo de uma implementação exemplar de um filtro ativo.

A figura 7 ilustra as formas de onda da figura 6 com um componente de comutação.

10 A figura 8 ilustra um filtro ativo alternado que inclui um transformador de entrada.

A figura 9 ilustra uma configuração de célula de energia alternada para o filtro ativo da figura 8.

#### Descrição Detalhada

15 Antes que os presentes métodos, sistemas e materiais sejam descritos, deve-se entender que esta descrição não é limitada a metodologias, sistemas e materiais particulares descritos, já que estes podem variar. Deve-se entender, também, que a terminologia usada na descrição serve para o propósito de descrever apenas as versões ou modalidades particulares, e sem se ater ao escopo. Por exemplo, para uso na presente invenção e nas reivindicações em anexo, as formas singulares "um", "uma", "o" e "a" incluem as referências no plural exceto onde o contexto indique claramente em contrário. Exceto onde definido em contrário, todos os termos técnicos e científicos usados na presente invenção têm o mesmo significado conforme  
20 comumente entendido por aqueles versados na técnica. Ademais, pretende-se que os termos a seguir tenham as seguintes definições na presente invenção:

30 *filtro ativo* – dispositivo que modifica as características de amplitude e/ou de fase de um sinal em relação à frequência, e que inclui um dispositivo de amplificação que serve para amplificar o sinal em frequências relativamente baixas;

*compreendendo* – incluindo, porém não se limitando;

*contactor* – um dispositivo que faz uma conexão elétrica quando ativado, e que interrompe um circuito ou, de outra forma, não faz conexão elétrica quando desativado;

*eletricamente conectado ou eletricamente acoplado* – conectado  
5 de forma que seja adaptado para transferir energia elétrica;

*extremidade* – em um elemento de um circuito elétrico, um ponto no qual o circuito termina ou se acopla a outro elemento;

*circuito de dissipação de energia* – um dispositivo ou uma combinação de dispositivos, como, porém não limitado a, um transistor e um resistor conectados em série, que possa ser ativado para causar um curto-circuito em um inversor ou em outro dispositivo, e dissipar energia através  
10 de um elemento resistivo do curto circuito;

*Inversor em ponte-H* – um circuito para fluxo controlado de energia entre os circuitos CA e CC dotado de quatro transistores e quatro diodos.  
15 Reportando-se à Figura 1, genericamente, um inversor em ponte-H inclui uma primeira perna condutora de fase 111 e uma segunda perna condutora de fase 112. Cada perna é eletricamente conectada em paralelo através de uma fonte de energia 122. Cada perna condutora de fase inclui duas combinações de transistor/diodo (como, 113/114 e 115/116) conectadas em série.  
20 Em cada combinação, o diodo 114 é eletricamente acoplado através da base e emissor do transistor. Uma carga 121 é eletricamente acoplada a cada perna entre cada uma das combinações de transistor/diodo da perna;

*distorção harmônica* – um sinal de potência CA, a razão de uma soma das potências de todas as frequências harmônicas acima e/ou abaixo  
25 de uma frequência de corrente fundamental com a potência da frequência fundamental;

*indutor* – um dispositivo que se torna eletricamente carregado quando posicionado próximo a um corpo carregado;

*inversor* - um dispositivo que converte potência CC em potência  
30 CA ou potência CA em potência CC;

*tensão média* – uma tensão nominal maior que 690 volts (V) e menor que 69 quilovolts (kV). Em algumas modalidades, a tensão média po-

de ter uma tensão entre cerca de 1000 V e cerca 69 kV;

*em paralelo* – um arranjo de dispositivos elétricos onde todos os pólos positivos, eletrodos e terminais são eletricamente acoplados uns aos outros, e todos os pólos negativos, eletrodos e terminais são, de preferência, acoplados uns aos outros;

*fase* – uma porção de um circuito que exhibe características elétricas que são distinguíveis em relação a outra porção do circuito;

*ponto de acoplamento comum* – um local ou área, onde uma pluralidade de dispositivos são eletricamente acoplados uns aos outros;

*potência nominal* – para um motor, a potência elétrica aplicada ao motor para sua operação normal em velocidade nominal, tipicamente, descrita em unidades de watts; para um transformador, retificador ou inversor, uma classificação de capacidade expressa em termos de potência reativa, como volts x amps (VA);

*corrente reativa* – uma medida de um componente vetorial e/ou imaginário de uma corrente alternada não adaptada para realizar a tarefa;

*enrolamento secundário* – uma bobina de fios compreendida em um transformador adaptada para receber energia transferida induzida a partir de uma corrente alternada conduzida através de um enrolamento primário compreendido no transformador;

*auto-regulação* – para um inversor ou célula de energia, com a capacidade de se ligar ou se desligar para regular a tensão interna usando um controle local;

*em série* – um arranjo dos elementos de um circuito elétrico, por meio desse, toda a corrente passa através de cada elemento sem se ramificar;

*substancialmente* – até uma extensão ou grau maior.

Em diversas modalidades, um filtro ativo usa uma topologia de modulação de largura de pulsos (PWM) com tensão média para suavizar os problemas de qualidade de energia introduzidos por correntes harmônicas ou fator de potência baixa. Na figura 2, uma fonte de energia CA 230, como uma utilidade elétrica ou outra fonte de energia, distribui potência com ten-

são média trifásica para uma carga 240 através das linhas de saída 231, 232 e 233.

Cada linha de saída é eletricamente acoplada a uma fase da carga 240 em um ponto de acoplamento 210, 211 e 212. Uma das três fases das células de energia conectadas em série também é conectada a cada linha de saída. Por exemplo, a linha de saída de fase 231 pode ser conectada em série às células de energia 241, 244, 247 e 250. De forma semelhante, a linha de saída de fase 232 pode ser conectada em série às células de energia 242, 245, 248 e 251. Similarmente, a linha de saída de fase 233 pode ser conectada em série às células de energia 243, 246, 249 e 252. Na presente modalidade, é preferencial que as linhas de saída e as ramificações de alimentação das células 231, 232 e 233 sejam unidas por uma conexão WYE 234 com um neutro flutuante.

Deve-se notar que o número de células por fase descrito na figura 2 é exemplar, e podem ser possíveis mais ou menos quatro células por fase em diversas modalidades. Por exemplo, em uma modalidade que pode ser aplicada a cargas indutivas motores de 2300 volts CA (VAC), três células de energia podem ser usadas para cada uma das três linhas de saída de fase. Em outra modalidade, que pode ser aplicada a uma carga indutiva de motor de 4160 VAC, cinco células de energia podem ser usadas para cada uma das três linhas de saída de fase. Tal modalidade pode ter onze estados de tensão, que podem incluir aproximadamente  $\pm 3000$  volts CC (VDC),  $\pm 2400$  VDC,  $\pm 1800$  VDC,  $\pm 1200$  VDC,  $\pm 600$  VDC e zero VDC.

Pode-se conectar uma carga não-linear trifásica 240 às ramificações de alimentação ou de saída 231, 232 e 233. Mediante a conexão da carga 240 desta forma, a carga é conectada à saída do inversor em uma extremidade de cada série de células de energia, enquanto a outra extremidade de cada série de células de energia funciona como o neutro flutuante na WYE 254. A carga não-linear 240 pode funcionar como uma fonte de corrente harmônica sob condições não-filtradas. Uma vez configuradas, as células de energia 241 até 249 podem filtrar ativamente os componentes harmônicos distribuídos a partir da fonte 230 até a carga 240.

Um diagrama esquemático de uma célula de energia exemplar é ilustrado na figura 3. Reportando-se à Figura 3, cada célula de energia 300 pode incluir um inversor em ponte-H 310 compreendendo quatro combinações de transistor/diodo para gerar uma tensão de saída CA. Em outras modalidades, outros inversores podem ser usados ao invés do inversor em ponte-H, como um inversor monofásico com ponto neutro grampeado (NPC) ou outro inversor monofásico CC em CA. Cada célula também pode incluir um capacitor ou um banco de capacitor 320 eletricamente conectado em paralelo ao (isto é, através dos terminais CC do) inversor 310 para proporcionar filtragem dos componentes de alta frequência e armazenamento de energia. Além disso, cada célula pode incluir um circuito de dissipação de energia 330 eletricamente conectado em paralelo ao inversor em ponte-H. O circuito de dissipação de energia 330 pode incluir um transistor 331, como um transistor bipolar de porta isolada (IGBT), um transistor de efeito de campo de metal-óxido (MOSFET) ou um tiristor comutado por porta integrada (IGCT) e um resistor 332, com o propósito de ajudar a regular a tensão de barramento CC na célula de energia. O circuito de dissipação de energia 330, como um freio ou outro dispositivo, pode ser ativado para dissipar energia através do elemento resistivo 332. Um circuito de controle local 340 para cada célula recebe comandos de um sistema de controle central 340 através de uma conexão de fibra óptica, linha de comunicações, comunicação sem fio ou quaisquer redes de comunicação, ou dispositivo 345 para fornecer sinais de comutação aos dispositivos do inversor. O transistor 331 do circuito de dissipação de energia é controlado pelo circuito de controle local 340 que tenta manter a tensão CC através do capacitor 320 em um valor predeterminado. O circuito de controle local 340 pode ser qualquer circuito com a capacidade de ativar e desativar o circuito de dissipação de energia, como uma combinação de diodo/resistor Zener. No entanto, o circuito de controle local 340 não se limita a esta função ou combinação, outras funções e elementos de circuito são possíveis.

Referindo-se mais uma vez à Figura 2, o filtro ativo tem um sistema de controle central que fornece comandos a cada célula de energia

através de controladores locais. O sistema de controle central usa a corrente de carga e a tensão medidas no ponto de acoplamento comum (PCC) para determinar os comandos de comutação dos dispositivos do inversor. A figura 4 ilustra um circuito exemplar em que um filtro ativo da presente descrição  
 5 pode ser implementado junto a um sistema de controle. Reportando-se à Figura 4, um filtro ativo 220 é conectado entre uma fonte de energia CA 230 e uma carga 240. Na figura 4, a carga exemplar inclui um retificador de 6 pulsos com um capacitor CC e uma fonte de corrente CC. Um pequeno indutor linear 410 está presente para controlar as harmônicas de controle na corrente de carga  $i_L$ . O circuito de controle 400 é descrito mais adiante. Outros  
 10 circuitos de controle podem ser usados.

O objetivo no exemplo da figura 4 é controlar a corrente do filtro ativo ( $i_f$ ) para cancelar todos, ou substancialmente todos, os componentes harmônicos da corrente de carga ( $= i_{L,har}$ ). Portanto, a tensão gerada pelo  
 15 filtro ativo é dada por:

$$v_f = v_{cc} + i_f Z_f = v_{cc} + (i_L - i_{L1}) Z_f \quad (1)$$

em que,

$$i_f = i_{L,har} = i_L - i_{L1} \text{ e } Z_f = \omega L_f \quad (2)$$

Nas equações anteriores,  $Z_f$  é a impedância da indução do filtro ativo,  $i_{L1}$  é o componente fundamental da corrente de carga e  $v_{cc}$  é a tensão no ponto de acoplamento comum 415 (correspondente às referências numéricas 210, 211 e 212 na figura 2). O controle para o filtro ativo é baseado na  
 20 equação (1). O circuito de controle exige a medição da corrente de acionamento ( $i_L$ ), da corrente do filtro ativo ( $i_f$ ) e da tensão no ponto de acoplamento comum ( $v_{cc}$ ). Um filtro de cavidade 420 remove o componente fundamental da corrente de carga medida. Adiciona-se um componente de corrente fundamental defasado em  $180^\circ$  em relação à tensão no PCC utilizando-se o  
 25 dispositivo 422 para a saída do filtro de cavidade. Este componente fundamental representa a pequena quantidade de potência que precisa ser absorvida para garantir que a tensão CC em cada célula de energia esteja em um nível predeterminado ou acima deste. A soma destes dois sinais, da saída do filtro de cavidade e do componente fundamental, é comparada através de

um comparador 425 junto à corrente do filtro ativo para se obter um erro de corrente que forma uma entrada para um regulador proporcional + derivativo (PD) 430. A alimentação ao controle do filtro ativo 450 é fornecida mediante o uso (a) de um ou mais dispositivos 440 para escalonar e filtrar a tensão PCC, e (b) de um ou mais dispositivos 445 para diferenciar o sinal de corrente harmônica de carga e escalonar com o valor conhecido da indução do filtro ( $L_f$ ). A soma da saída do regulador 430 junto aos sinais de alimentação forma um sinal referencial de tensão aos comparadores de modulação por largura de pulso (PWM) do sistema de controle 450. Os controladores de PWM convertem os comandos de tensão trifásica em sinais de comutação por deslocamento de fase para cada célula de energia resultando em uma saída de tensão que tem múltiplos níveis de saída.

O controle central exemplar descrito na presente invenção obriga que uma pequena quantidade de potência real seja absorvida pelas células de energia, para ajudá-lo na tarefa pesada de controlar a tensão CC dentro de cada célula de energia. Ao contrário, o sistema de controle central regula o fluxo de energia dentro do filtro ativo, garantindo que a tensão CC seja compartilhada entre as células de energia/inversores. A potência real absorvida por cada célula de energia obriga que a tensão CC aumente acima do nível de tensão predeterminado, que é captado pelos controladores da célula locais individuais. Estes controladores locais então controlam o transistor do circuito de dissipação de energia para reduzir a tensão CC, desse modo, mantendo um valor constante próximo. Portanto, o sistema de controle central precisa enviar somente os comandos de comutação para todos os dispositivos do inversor para as células de energia.

Reportando-se de volta à Figura 2, o filtro ativo pode incluir um ou mais indutores opcionais 255, 256 e 257 em cada fase e um circuito de pré-carregamento 260 na lateral de saída do inversor 220. O circuito de pré-carregamento 260 pode ajudar a limitar o pico de corrente durante a energização. A figura 5 ilustra um circuito de pré-carregamento exemplar que pode estar presente em cada fase. Referindo-se à Figura 5, o circuito de pré-carregamento pode incluir um primeiro indutor 255 para servir como um filtro

e um segundo indutor 510 conectado em série ao primeiro indutor 255. O primeiro contactor 520 é eletricamente conectado em série ao segundo indutor 510, e o segundo contactor 530 é eletricamente conectado em paralelo à combinação do segundo indutor/primeiro contactor.

5 O segundo indutor 510 pode limitar a corrente de pré-carregamento e é, em geral, maior em indução, em algumas modalidades até diversas vezes maior, do que o primeiro indutor 555. Em algumas modalidades onde as limitações de espaço são desejáveis, o primeiro indutor 555 e o segundo indutor 510 podem incluir um único núcleo, sendo que o primeiro indutor 255 tem menos curvas que o segundo indutor 510. Além disso, em  
10 algumas modalidades, o segundo indutor 510 pode usar uma medida de fio para suas curvas menor que o primeiro indutor 255, já que o segundo indutor 510 pode ser usado por períodos de tempo relativamente curtos.

Uma seqüência para operar o circuito de pré-carregamento pode  
15 incluir: (1) fechar o primeiro contactor 520; (2) quando se estabelece uma tensão máxima nos terminais do inversor e todas as células de energia forem carregadas até uma tensão CC nominal, fechar o segundo contactor 530; (3) depois da confirmação de que o segundo contactor 530 se encontra fechado, abrir o primeiro contactor 520; e (4) após a confirmação de que o  
20 primeiro contactor se encontra aberto, a seqüência de pré-carregamento é completada.

Um sistema de controle pode monitorar as tensões da célula de energia e ativar os contadores de acordo com a seqüência mencionada anteriormente. O sistema de controle pode ser local com relação ao inversor, ou  
25 pode ser remoto a partir do inversor, com dispositivos de monitoramento local comunicando-se com o equipamento de controle através de uma rede de comunicações.

### Exemplos

Como um exemplo, um filtro ativo pode incluir um total de nove  
30 células (três por fase), cada uma com tensão de barramento de 1150V CC. Em tal configuração, a capacidade total de tensão CA do filtro pode ser de 4,88kV. A figura 6 mostra as formas de onda da corrente nominal exemplar

610, da corrente de carga 620 e da corrente do filtro ativo 630. A distorção harmônica total (THD) da corrente da rede é de 4,6%, e a corrente do filtro ativo RMS é de 109A neste exemplo. A distorção de carga a 62% representa a distorção de carga máxima que este filtro ativo exemplar pode compensar enquanto mantém uma THD de 5% ou menor na corrente da rede. A figura 7 mostra as formas de onda da tensão de saída do filtro ativo 710 e da tensão do indutor 720 para este exemplo.

Em uma modalidade alternativa, conforme ilustrado na figura 8, uma configuração similar à configuração da figura 2 inclui, também, um transformador 800 com um enrolamento primário 801, mostrado em uma configuração em estrela, porém, opcionalmente em uma configuração delta, e uma pluralidade de enrolamentos secundários 805 a 816. O filtro ativo terá uma classificação de sua capacidade para conduzir potência reativa, expressa em termos como uma classificação volt-ampère (VA). Nas modalidades aqui descritas, a classificação do transformador 800 VA não precisa ser compatível à classificação do filtro ativo, e, de fato, esta pode ser relativamente pequena quando comparada ao filtro ativo. Em algumas modalidades, o transformador pode ter uma classificação VA que seja menor que 100% da classificação do filtro ativo. Por exemplo, a classificação do transformador pode ser menor que 75%, menor que 50% ou menor que 40% da classificação do filtro ativo. Para se reduzir os custos, a classificação do transformador pode ser relativamente pequena quando comparada à classificação do filtro ativo. Por exemplo, a classificação do transformador pode ser menor que 20% da classificação do filtro ativo, menor que 10% da classificação do filtro ativo, ou entre cerca de 1% e cerca de 5% da classificação do filtro ativo. No entanto, não há uma condição de que a classificação do transformador seja menor que a classificação do filtro em todas as modalidades.

Cada enrolamento secundário do transformador é eletricamente conectado a uma célula de energia, sendo que a última configuração do inversor é similar à configuração da figura 2, exceto pelo fato de um pré-carregador não ser necessária conforme descrito em maiores detalhes mais adiante. Diversas opções para tal configuração são descritas, por exemplo, nas

colunas 4 a 6 da Patente U.S Nº 5.625.545, a descrição da mesma está aqui incorporada a título de referência. Em tal configuração, com referência à Figura 9, cada célula de energia 900 pode incluir um inversor em ponte-H 902, um capacitor ou banco de capacitor 904 conectado em paralelo ao (isto é, através dos terminais CC do) inversor em ponte-H 902, e um retificador de entrada 906 com uma classificação relativamente baixa, como uma classificação similar à classificação do transformador. Nesta modalidade, o transformador 800 com uma classificação VA baixa pode funcionar como um dispositivo de pré-carregamento para as células de energia, desse modo, evitando a necessidade por componentes adicionais para realizar a pré-carga. Cada célula de energia é eletricamente conectada a um conjunto de enrolamentos secundários trifásicos do transformador para receber potência em uma entrada 910 da célula de energia. Em algumas modalidades, as classificações de potência dos retificadores dentro de cada célula podem ser substancialmente baixas para satisfazer as condições das perdas do sistema do filtro ativo e as condições de compartilhamento de tensão. Por exemplo, um retificador pode ter uma classificação VA que seja menor que 100% da classificação de sua célula de energia correspondente. Por exemplo, um retificador pode ter uma classificação que possa ser menor que 75%, menor que 50%, ou menor que 40% da classificação de sua célula. Opcionalmente, a classificação de um retificador pode ser menor que 20%, menor que 10%, ou entre cerca de 1% a cerca de 5% da classificação de sua célula de energia correspondente. No entanto, não há uma condição de que a classificação do transformador seja menor que a classificação do filtro em todas as modalidades.

O controle de tal arranjo pode ser semelhante àquele mostrado na figura 4, com uma diferença no deslocamento de fase do componente de corrente fundamental que precisa ser fornecido pelo filtro ativo. O componente de corrente fundamental do dispositivo 422 pode ser de tal forma que a potência real será produzida a partir de cada inversor forçando os retificadores de diodo em cada célula de energia para conduzir e, portanto, manter tensões CC substancialmente iguais. Desta forma, mesmo nessa segunda

modalidade, o sistema de controle central (850 na figura 8) pode não exigir que se mantenha as tensões individuais da célula, porém, pode controlar indiretamente as células através do fluxo de potência de cada inversor.

Deve-se entender que diversas variações, modificações e modalidades adicionais são possíveis e, conseqüentemente, todas essas variações, modificações e modalidades devem ser levadas em consideração no espírito e escopo deste pedido. Por exemplo, independente do conteúdo de qualquer parte deste pedido, exceto onde claramente especificado em contrário, como através de uma definição explícita, não há condições para a inclusão em qualquer reivindicação da presente invenção de nenhuma característica particular descrita ou ilustrada.

## REIVINDICAÇÕES

1. Filtro ativo em múltiplas fases, que compreende:

uma pluralidade de fases, sendo que cada fase compreende uma pluralidade de células de energia eletricamente conectada em série;

5 em que cada fase tem uma primeira extremidade e uma segunda extremidade, sendo que as primeiras extremidades de cada fase são eletricamente acopladas umas às outras, e as segundas extremidades de cada fase são posicionadas de modo a serem eletricamente conectadas entre uma fonte de energia e uma carga em um ponto comum de acoplamento;

10 em que cada célula de energia compreende um inversor dotado de um par de terminais de corrente direta (CC) e de um circuito de dissipação de energia que é eletricamente conectado através dos terminais CC do inversor.

15 2. Filtro de acordo com a reivindicação 1, em que as células de energia filtram a corrente harmônica gerada pela carga.

3. Filtro de acordo com a reivindicação 1, em que cada inversor compreende um inversor em ponte-H ou um inversor monofásico com ponto neutro grampeado.

20 4. Filtro de acordo com a reivindicação 1, onde cada célula compreende, também, ao menos um capacitor eletricamente conectado em paralelo com o inversor.

25 5. Filtro de acordo com a reivindicação 1, que compreende, ainda, um controlador central que garante um compartilhamento de tensão CC em cada inversor regulando-se o fluxo de potência, onde cada célula de energia auto-regula sua tensão CC utilizando seu circuito de dissipação de energia.

6. Filtro de acordo com a reivindicação 1, que compreende, ainda, um circuito de pré-carregamento.

30 7. Filtro de acordo com a reivindicação 6, em que cada circuito de pré-carregamento compreende:

um primeiro contactor, um primeiro indutor e um segundo indutor eletricamente conectados em série, de tal modo que o primeiro indutor fique

entre o primeiro indutor e o segundo indutor;

um segundo contactor eletricamente conectado em paralelo através do primeiro contactor e do primeiro indutor;

em que o primeiro contactor se fecha para energizar as células de energia, o segundo contactor se fecha quando as células de energia forem carregadas até uma tensão CC nominal, e o primeiro contactor se abre depois que o segundo contactor estiver fechado.

8. Filtro de acordo com a reivindicação 6, que compreende, ainda, uma unidade controladora que monitora a tensão de cada célula de energia e ativa ou desativa o primeiro contactor e o segundo contactor com base nos dados que o mesmo recebeu do monitoramento.

9. Filtro de acordo com a reivindicação 1, em que o circuito de dissipação de energia compreende um transistor e um resistor, e em que o transistor causa um curto-circuito no inversor através do resistor para provocar dissipação de energia através do resistor.

10. Filtro de acordo com a reivindicação 9, que compreende, ainda, um circuito de controle para cada célula que ative o transistor da célula e auto-regule a tensão na célula.

11. Filtro ativo em múltiplas fases, que compreende:  
uma pluralidade de fases, sendo que cada fase compreende uma pluralidade de células de energia eletricamente conectadas em série;

em que cada fase tem uma primeira extremidade e uma segunda extremidade, sendo que as primeiras extremidades de cada fase são eletricamente acopladas umas às outras, e as segundas extremidades de cada fase são posicionadas de modo a serem eletricamente conectadas entre uma fonte de energia e uma carga em um ponto comum de acoplamento;

em que cada célula de energia compreende um inversor dotado de um par de terminais CC, um retificador eletricamente conectado através dos terminais CC, e um capacitor que é eletricamente conectado através dos terminais CC;

em que cada retificador recebe potência de um conjunto de enrolamentos secundários trifásicos dedicados de um transformador.

12. Filtro de acordo com a reivindicação 11, em que o transformador é externo ao filtro e tem uma classificação volt-ampère que é menor que uma classificação volt-ampère do filtro.

13. Filtro de acordo com a reivindicação 12, em que a classificação do transformador é de cerca de 5 por cento ou menor que a classificação volt-ampère do filtro.

14. Filtro de acordo com a reivindicação 11, que compreende, ainda, um controlador central que comanda o fluxo de potência fora do filtro ativo.

15. Filtro ativo em múltiplas fases, que compreende:  
uma pluralidade de células de energia eletricamente conectadas em uma configuração trifásica;

um circuito de pré-carregamento; e

um controlador que controla a tensão distribuída à pluralidade de células de energia;

em que cada célula de energia compreende um inversor dotado de um par de terminais de corrente direta (CC), ao menos um capacitor eletricamente conectado em paralelo ao inversor, e um circuito de dissipação de energia que é eletricamente conectado em paralelo ao inversor;

em que o circuito de dissipação de energia de cada célula de energia auto-regula a tensão CC dentro da célula.

16. Filtro de acordo com a reivindicação 15, em que as células de energia filtram a corrente harmônica gerada por uma carga.

17. Filtro de acordo com a reivindicação 15, em que cada inversor compreende um inversor em ponte-H e um inversor monofásico com ponto neutro grampeado.

18. Filtro de acordo com a reivindicação 15, que compreende, ainda, um ponto comum de acoplamento que conecta eletricamente uma saída do circuito de pré-carregamento, uma fonte de potência e uma carga.

19. Filtro de acordo com a reivindicação 15, em que o circuito de pré-carregamento compreende:

um primeiro contactor, um primeiro indutor e um segundo indutor

eletricamente conectados em série, de tal modo que o primeiro indutor fique entre o primeiro indutor e o segundo indutor; e

um segundo contactor eletricamente conectado em paralelo através do primeiro contactor e do primeiro indutor;

- 5                    em que o primeiro contactor se fecha para energizar as células de energia, o segundo contactor se fecha quando as células de energia forem carregadas até uma tensão CC nominal, e o primeiro contactor se abre depois que o segundo contactor estiver fechado.

- 10                   20. Filtro de acordo com a reivindicação 19, que compreende, ainda, um controlador que monitora a tensão de cada célula de energia e ativa ou desativa o primeiro contactor e o segundo contactor com base nos dados que o mesmo recebeu do monitoramento.

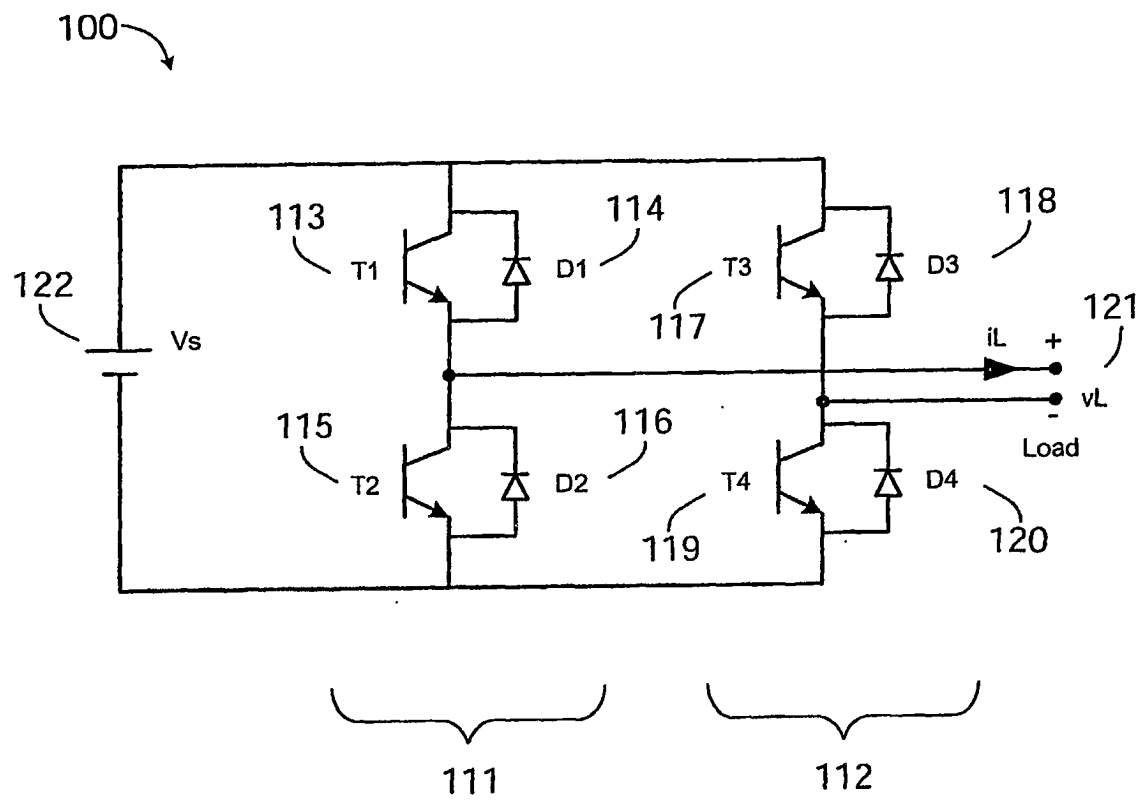


FIG. 1

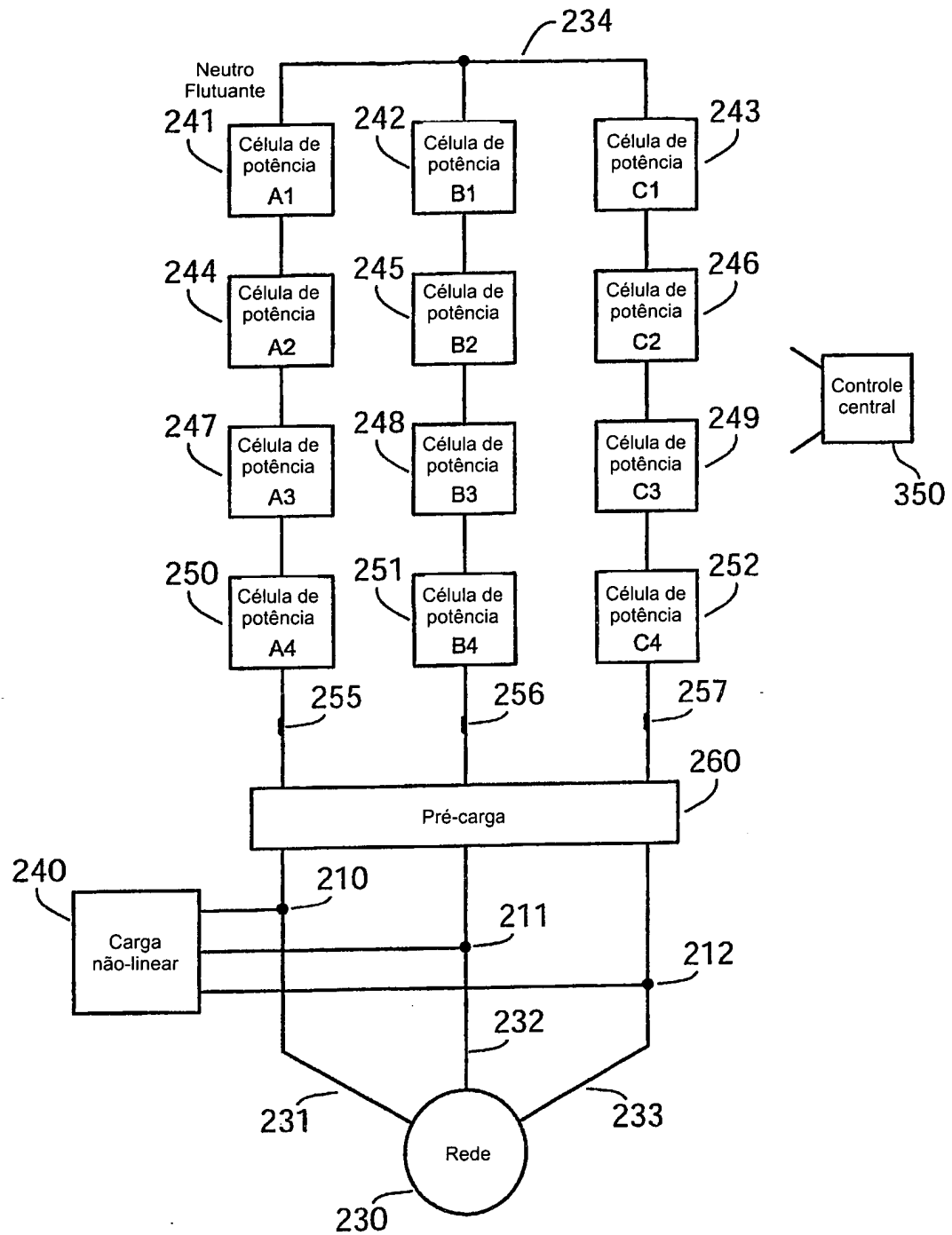


FIG. 2

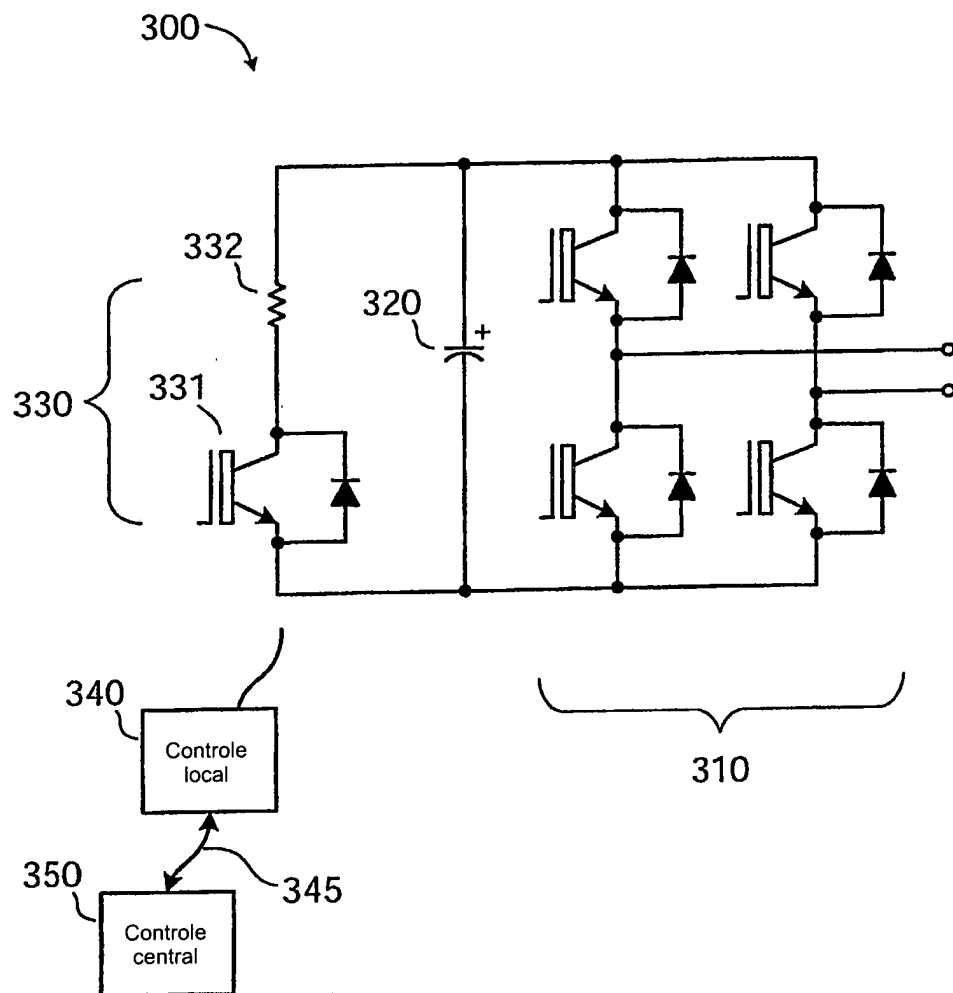


FIG. 3

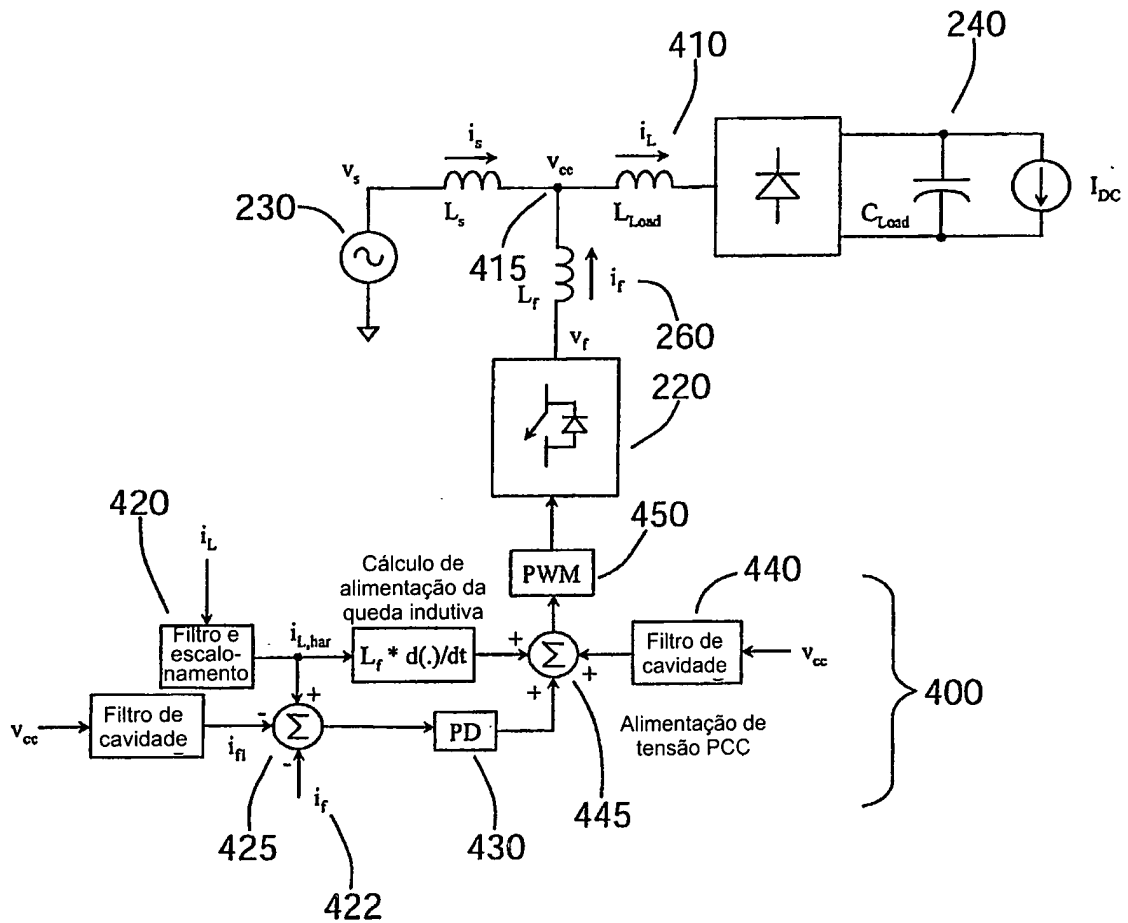


FIG. 4

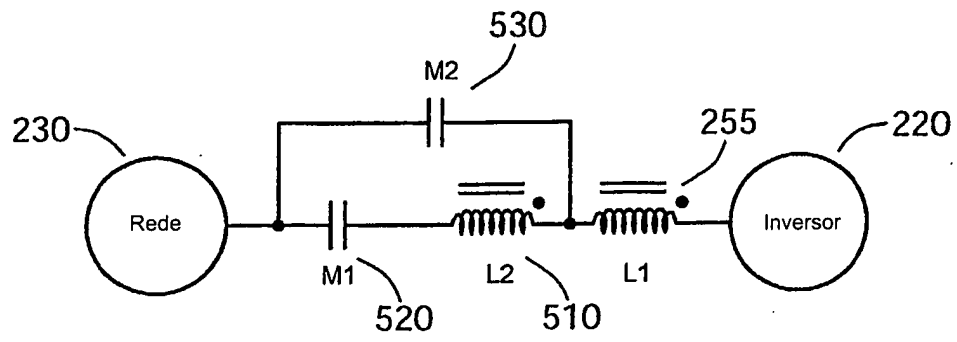


FIG. 5

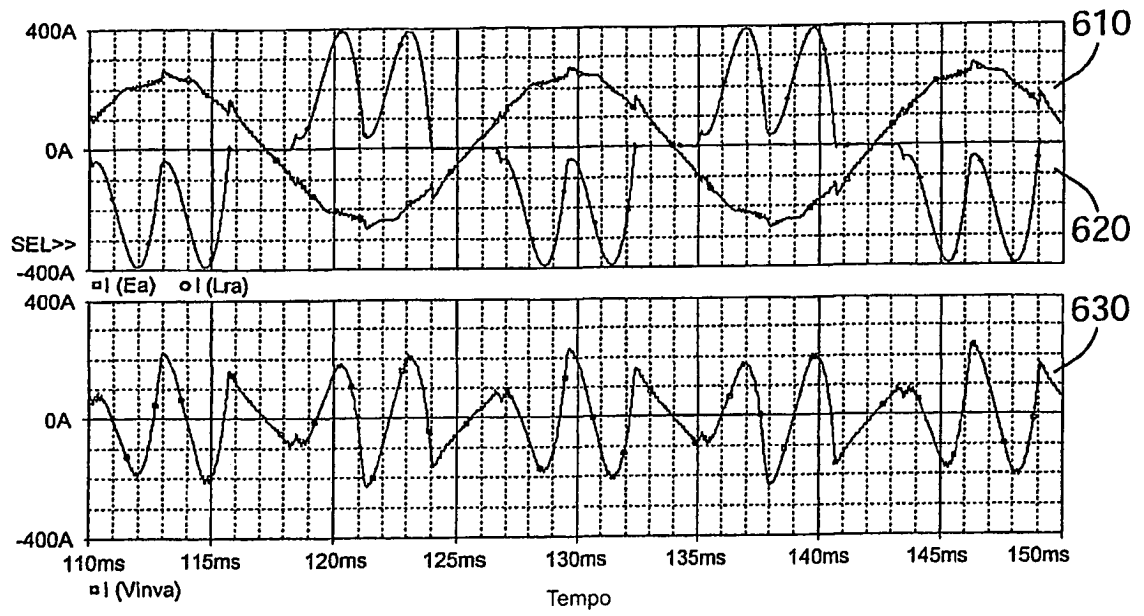


FIG. 6

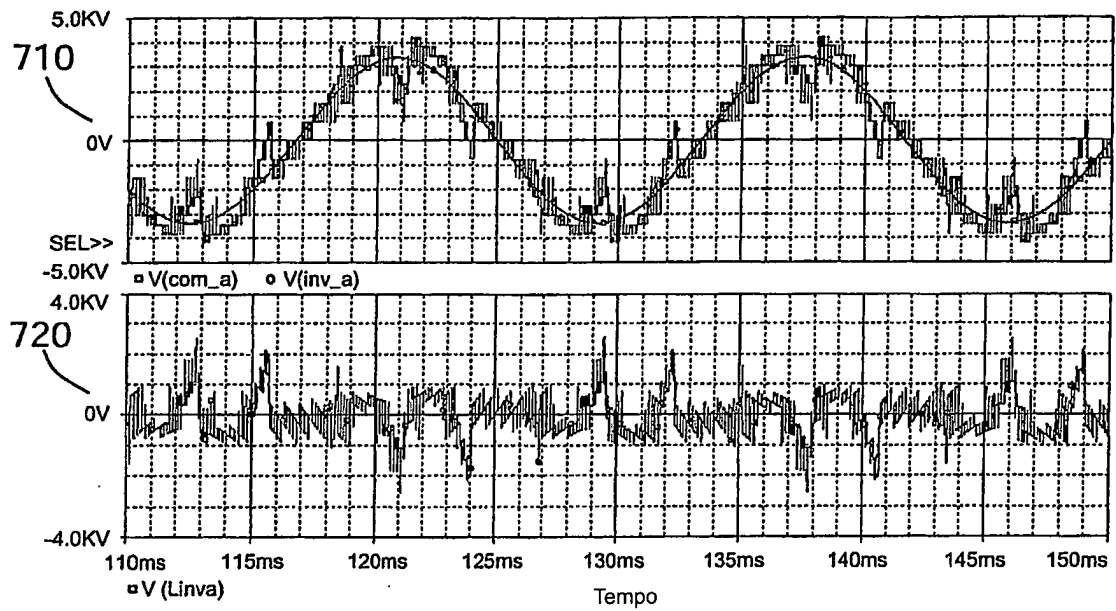


FIG. 7

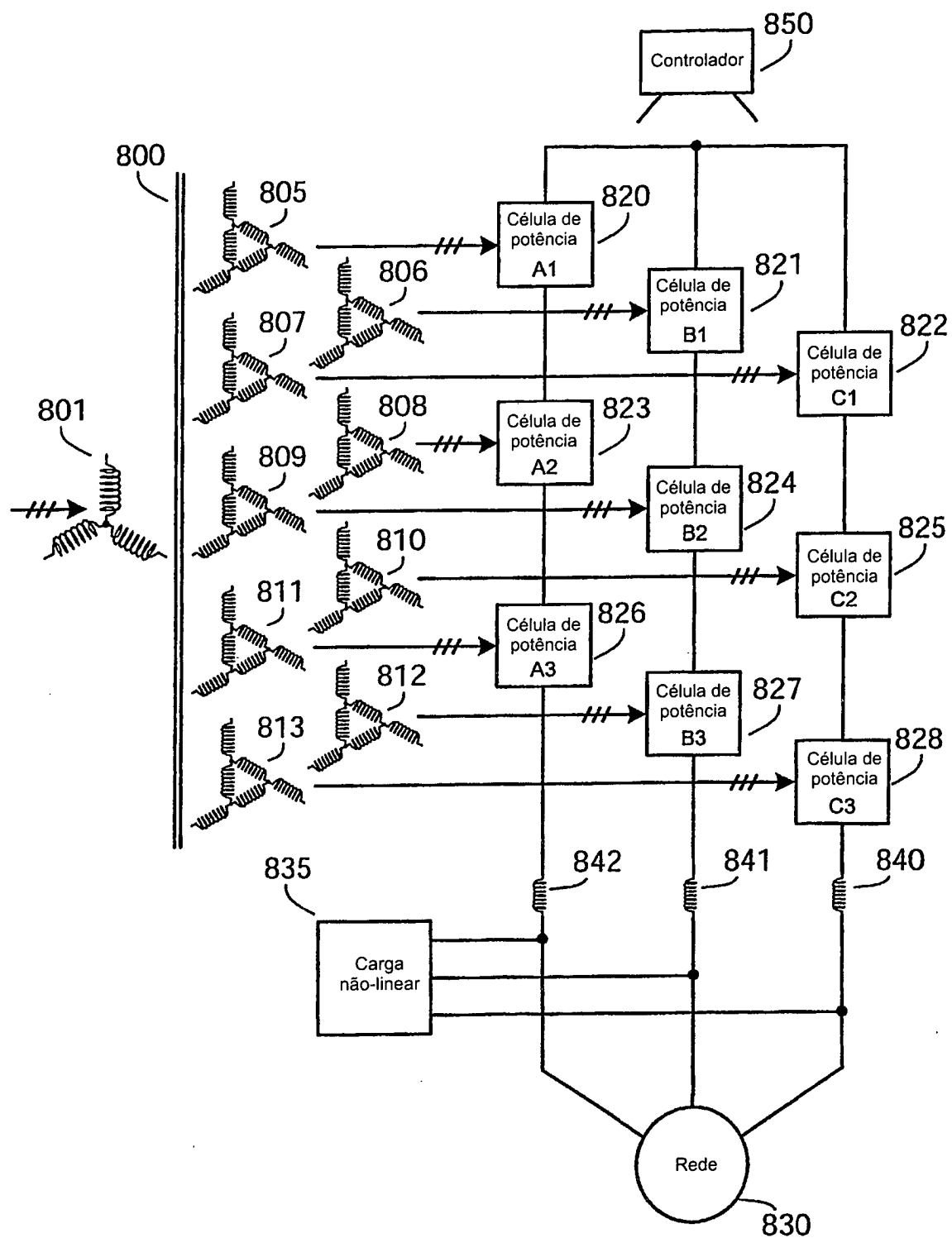


FIG. 8

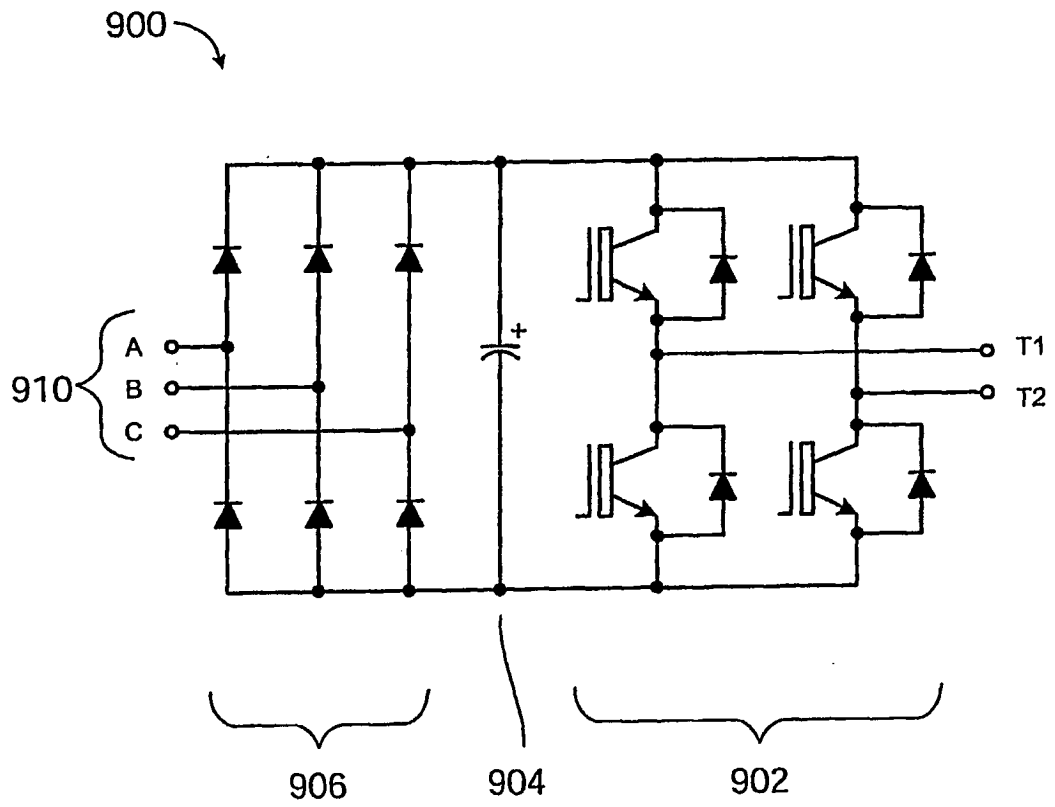


FIG. 9

## RESUMO

Patente de Invenção: "**FILTRO ATIVO EM MÚLTIPLOS NÍVEIS**".

A presente invenção refere-se a um filtro ativo em múltiplas fases que inclui um grupo de células de energia eletricamente conectadas em uma  
5 configuração trifásica, um circuito de pré-carregamento e um controlador que controla a tensão distribuída à pluralidade de células de energia. Cada célula de energia inclui um inversor dotado de um par de terminais de corrente direta (CC), ao menos um capacitor eletricamente conectado em paralelo ao  
10 inversor, e um circuito de dissipação de energia que é eletricamente conectado em paralelo ao inversor. O circuito de dissipação de energia de cada célula de energia auto-regula a tensão CC dentro da célula.