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

(21) PI 0809577-9 A2

(22) Data de Depósito: 05/04/2008
(43) Data da Publicação: 23/09/2014
(RPI 2281)

(51) Int.Cl.:
H05B 6/02

(54) Título: FONTE DE ALIMENTAÇÃO E MÉTODO PARA SUPRIMENTO DE POTÊNCIA PARA PELO MENOS UMA CARGA RESSONANTE DE RLC.

(57) Resumo:

(30) Prioridade Unionista: 07/04/2007 US 60/910650, 01/02/2008 US 61/025466, 01/02/2008 US 61/025466, 07/04/2007 US 60/910650

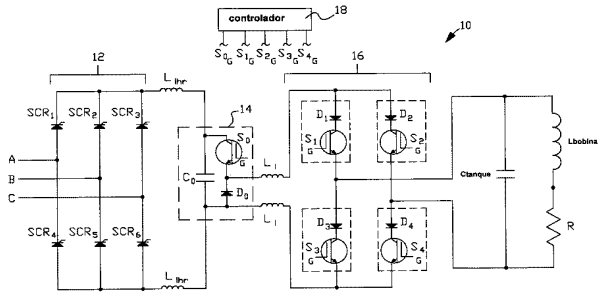
(73) Titular(es): Inductotherm Corp.

(72) Inventor(es): John H. Mortimer, Mike Maochang Cao, Oleg S. Fishman

(74) Procurador(es): Momsen, Leonardos & CIA.

(86) Pedido Internacional: PCT US2008059512 de 05/04/2008

(87) Publicação Internacional: WO 2008/124655de 16/10/2008



"FONTE DE ALIMENTAÇÃO E MÉTODO PARA SUPRIMENTO DE POTÊNCIA PARA PELO MENOS UMA CARGA RESSONANTE DE RLC"

Campo da Invenção

A presente invenção se refere a uma fonte de alimentação com inversores alimentados por corrente e regulação de tais inversores, e aplicação de tais fontes de alimentação em aplicações de agitação, fusão e aquecimento por indução elétrica.

Fundamentos da Invenção

FIG. 1 ilustra um inversor alimentado por corrente clássico 116 conectado a uma carga ressonante de RLC. A carga ressonante pode ser, por exemplo, uma bobina de indução, L_{bobina}, que é usada com um dispositivo de aquecimento ou forno de fundição elétrico industrial, em série com um elemento de resistência, R, que representa uma carga de teste magneticamente acoplada (por exemplo, metal em um forno de fundição ou uma engrenagem de metal colocado na bobina de indução) quando corrente de ca flui através da bobina de indução, e capacitor tanque (ressonante), C_{tanque}, conectado em paralelo com a bobina de indução e elemento de resistência. O inverso típico é ilustrado como uma ponte em H com dispositivos de comutação, S_1 à S_4 fornecendo corrente seqüencialmente através dos pares de comutadores S_1-S_4 e S_2-S_3 para a carga ressonante durante meios ciclos elétricos alternados. Corrente de cc regulada é alimentada ao inversor através do indutor de nivelamento, ou retentor, $L_{retentor}$, a qual corrente é fornecida de uma fonte adequada. Na Fig. 1 um retificador de voltagem variável, de onda completa, trifásico112, formado de retificadores controlados de silício, SCR_1 à SCR_6, ou outro tipos de comutadores elétricos controlados por fase, é usado para fornecer corrente de cc. Entrada para o retificador é de uma fonte de ca adequada, tal como um suprimento de utilidade trifásica de 50 ou 60 Hertz, (designada como linhas A, B e C na figura).

FIG. 2 de forma gráfica ilustra as características de desempenho do inversor mostrado na Fig. 1. Parâmetros são, magnitude de corrente de saída do inversor, $I_{saída}(INV)$, em ampéres, como uma função da freqüência; magnitude de potência de saída do inversor, $P_{saída}(INV)$ in kilowatts, como uma função da freqüência; magnitude de voltagem de saída do inversor, $V_{saída}(INV)$, em volts, como uma função da freqüência; corrente de cc máxima, I_{max}, em ampéres; potência máxima de saída do inversor, P_{max}, em kilowatts; e voltagem máxima de saída do inversor, V_{max}, in volts.

Condição de operação nominal (máximo) é definida pela interseção das curvas identificadas pela linha de operação L_2. Condição de operação ressonante é definida pelos valores mínimos da voltagem, corrente e potência de saída do inversor como definido pela linha de operação L_1. A voltagem de saída do inversor através da carga ressonante pode ser expressa pela fórmula:

$$V_{inv} = \frac{V_{dc}}{0.9 \bullet \cos\varphi},$$

onde V_{inv} é voltagem de saída do inversor, V_{cc} é a voltagem de cc fornecida, e φ é o deslocamento de fase entre a saída e voltagem e corrente de saída do inversor.

A potência de saída do inversor (Pinv) é proporcional ao quadrado da voltagem do inversor:

$$P_{inv} \approx V_{inv}{}^2.$$

Conseqüentemente para aumentar potência, a carga ressonante vai operar fora de ressonância, com a redução crescente da eficiência conforme o nível de potência aumenta. Para reduzir a potência de saída do inversor para um nível mais baixo do que aquele em ressonância, a saída de cc do retificador é reduzida através de controle de fase dos comutadores do retificador.

É um objeto da presente invenção fornecer controle de potência de um inversor alimentado por corrente enquanto mantendo a carga

em ressonância, por meio outros do que o controle de fase de um retificador de entrada. Um outro objeto da presente invenção é minimizar o tamanho dos componentes reativos usados no inversor.

Um outro objeto da presente invenção é fornecer mistura uniforme de um material eletricamente condutor, tal como um banho de metal fundido, colocado dentro de um forno de fundição de indução.

Um outro objeto da presente invenção é maximizar a área de superfície do banho de metal fundido que é exposta ao ambiente, particularmente quando aquele ambiente é substancialmente um vácuo, para promover retirada de vapor modulando o menisco convexo formando a área da superfície.

Breve Sumário da Invenção

Em um aspecto a presente invenção é um aparelho para, e método de, controlar a magnitude de potência de saída de um inversor alimentado por corrente através de regulação de ciclo de operação da corrente de cc para a entrada do inversor onde o período do ciclo de operação do regulador é sincronizado para o período da corrente de saída do inversor tal que há dois períodos reguladores para cada único período da corrente de saída do inversor. Regulação do ciclo de operação pode ser fornecido através de um único pulso no regulador período, ou uma série de pulsos no regulador período. Magnitude de potência de saída maior do que àquela disponível em ciclo de operação completo (unidade) pode ser fornecida operando o inversor fora das condições ressonantes.

O descrito acima e outros aspectos da invenção são estabelecidos nesta especificação e nas reivindicações anexas.

Descrição Breve dos Desenhos

O breve sumário anterior, assim como a seguinte descrição detalhada da invenção, é melhor entendido quando lido em conjunto com os desenhos anexos. Para o propósito de ilustrar a invenção, é mostrado nos

desenhos formas exemplares da invenção que são presentemente preferidas; contudo, a invenção não é limitada aos arranjos e instrumentalidades específicas divulgados nos seguintes desenhos anexos:

FIG. 1 é um diagrama simplificado esquemático de uma típica fonte de alimentação alimentada por corrente.

FIG. 2 é um gráfico dos parâmetros de operação típicos mostrados na Fig. 1.

FIG. 3 é um diagrama simplificado esquemático de um exemplo de uma fonte de alimentação com um inversor alimentado por corrente da presente invenção conectado a uma carga ressonante.

FIG. 4 é um diagrama simplificado esquemático de um outro exemplo de uma fonte de alimentação da presente invenção onde múltiplos de inversores alimentados por corrente, cada um individualmente regulado, estão cada um conectado a uma diferente carga ressonante e um único retificador.

FIG. 5 é um diagrama simplificado esquemático de um outro exemplo de uma fonte de alimentação da presente invenção onde múltiplos de inversores alimentados por corrente, regulados através de um regulador comum, estão cada um conectado a uma diferente carga ressonante e um único retificador.

FIG. 6 (a) e FIG. 6 (b) de forma gráfica ilustram o desempenho de um regulador de pulso único e pulsos múltiplos para um exemplo das fontes de alimentação de inversor alimentado por corrente da presente invenção.

FIG. 7 (a) e FIG. 7 (b) de forma gráfica ilustram parâmetros em unidade de ciclo de operação/de ressonância e unidade de ciclo de operação/fora de ressonância de um exemplo dos inversores alimentados por corrente da presente invenção.

FIG. 8 é um diagrama simplificado esquemático de um outro exemplo de uma fonte de alimentação com um inversor alimentado por

corrente da presente invenção.

FIG. 9 (a) e FIG. 9 (b) são ilustrações em forma de diagrama de um arranjo de agitação, fusão e aquecimento por indução elétrica usando as fontes de alimentação mostradas na Fig. 8.

FIG. 10 (a) e FIG. 10 (b) são ilustrações esquemáticas simplificadas ilustrações de um arranjo de agitação, fusão e aquecimento por indução elétrica usando a fonte de alimentação mostrada na Fig. 8.

FIG. 10 (c) é uma ilustração de um exemplo de um comutador de ponte de diodo usado no arranjo mostrado na Fig. 9 (a), FIG. 9 (b) e nos esquemáticos das FIG. 10 (a) e FIG. 10 (b).

FIG. 11 (a) é uma ilustração de um arranjo da presente invenção para agitação por indução elétrica.

FIG. 11 (b) é uma ilustração de um exemplo da presente invenção onde a superfície de menisco convexa do material de metal fundido no cadinho é modulado.

FIG. 12 (a) e FIG. 12 (b) respectivamente ilustram convenções de designação típicas para configurações de bobina de fluxo de corrente no sentido horário e anti-horário.

Descrição Detalhada da Invenção

Um exemplo da fonte de alimentação 10 da presente invenção é ilustrada na Fig. 3. A fonte de alimentação compreende três seções ativas, a saber, o retificador 12, o regulador de potência 14 e o inversor de corrente 16. Elementos de redução entre harmônicos opcionais, ilustrados na Fig. 3 como indutores passivos (retentores), L_{ihr}, conectam a saída de cc do retificador ao regulador de potência. Os elementos de armazenamento de energia, ilustrados na Fig. 1 como passivo indutores passivos (retentores), L_1, conectam a saída do regulador de potência para a entrada do inversor.

A entrada para o retificador trifásico 12 é de uma fonte de ca adequada, por exemplo, suprimento de utilidade de 50 ou 60 Hertz (designada

como linhas A, B e C na figura). Retificador 12 compreende um retificador de fase controlada de onda completa compreendendo seis dispositivos comutadores, tal como retificadores controlados de silício, SCR_1 à SCR6 neste exemplo não limitante. Em outros exemplos da invenção o retificador pode ser de um projeto de fase controlada de meia onda, ou outro tipo adequado. Como ainda explicado abaixo, o retificador opera como um retificador de voltagem constante exceto para início progressivo da fonte de alimentação para prevenir sobrecargas iniciais do dispositivo de armazenamento de energia do regulador, que é representado pelo elemento capacitivo, C_0, na Fig. 3.

O inversor 16 compreende quatro dispositivos comutadores, que exemplo neste não limitante são configurados como uma ponte em H. Cada dispositivo de comutação é simbolicamente ilustrado como um transistor bipolar de porta lógica isolada (IGBT) em série com um diodo, embora outros tipos de dispositivos comutadores e configurações de ponte podem ser usados em outros exemplos da presente invenção. Geralmente na operação em estado estacionário, o par de comutador inversor S_1 e S_4 conduz para um meio ciclo elétrico (isto é, meio ciclo positivo) e par de comutador inversor S_2 e S_3 conduz para o meio ciclo elétrico seguinte (isto é, meio ciclo negativo), para entregar corrente de ca para um circuito de carga ressonante, que pode compreender um forno de fundição de indução elétrico, ou bobina de aquecimento, representada em forma de diagrama pelo elemento indutor L_{bobina}, em série com o elemento resistivo R geralmente representando a impedância da carga magneticamente acoplada sendo fundida ou aquecida; e capacitor tanque (ressonante) C_{tanque} conectado em paralelo com a combinação em série de L_{bobina} e R para formar uma carga ressonante de "RLC". Conforme a impedância da carga ressonante muda, a freqüência de saída do inversor 16 é ajustada pelo controlador 18 para manter a operação do inversor na ou perto da ressonância para maximizar transferência de potência

para o circuito de carga ressonante obtendo controle dos dispositivos comutadores do inversor.

O controlador 18 controla a duração e freqüências dos dispositivos comutadores do inversor e comutador do dispositivo regulador S_0, que é também simbolicamente ilustrado como um IGBT, mas pode ser qualquer outro tipo adequado de dispositivo de comutação. Na fonte de alimentação da presente invenção, o regulador 14 é sincronizado com a freqüência de saída do inversor pelo controlador 18 tal que o período do regulador 14 (período do regulador) é mantido em uma metade do período da freqüência de saída de ca do inversor 16. Tipicamente o inversor 16 vai operar em uma freqüência aproximadamente no intervalo de 100 Hertz à 1.000 Hertz para uma aplicação relacionada ao uso de um forno de fundição de indução elétrico industrial ou arranjo de bobina de aquecimento por indução para aquecer materiais eletricamente condutores. Conseqüentemente o regulador 14 vai operar com um período de aproximadamente no intervalo de 5 ms (1/100 Hertz) à 0,5 ms (1/1.000 Hertz).

Enquanto o regulador 14 opera em uma metade do período do inversor 16, o regulador 14 opera com um ciclo de operação variável dentro do período do regulador na operação do estado estacionário. Por exemplo, o comutador regulador S_0 pode estar conduzindo somente para 80 por cento do período regulador (0,8 do ciclo de operação), durante o qual tempo, dispositivo de armazenamento de energia do regulador, que neste exemplo não limitante é representado pelo indutor de armazenamento de energia (retentor), L_1, cargas de elemento capacitivo C_0, que é continuamente carregado da fonte de utilidade retificada. Durante o período regulador quando S_0 não conduz (dispositivo de comutação S_0 aberto), corrente é fornecida ao inversor proveniente da energia armazenada nos retentores L_1. A magnitude da potência de saída é controlada pelo ciclo de operação do comutador S_0; isto é, a proporção do período de tempo período que o

comutador S_0 está no estado ligado, ou estado de condução, para o período de tempo que o comutador está no estado desligado ou estado de não condução. Conforme o ciclo de operação diminui, o componente de variação de corrente de ca da corrente de entrada do inversor de cc fornecida a partir dos L_1 aumenta; conseqüentemente, se um único pulso regulador é usado em cada período regulador, retentor L_i precisa ser designada como um retentor de capacidade de armazenamento alta com um grande valor de indutância elétrica, e conseqüentemente, um grande tamanho físico. De modo a minimizar o tamanho do retentor, em ciclos de operação menores, múltiplos pulsos de regulador ligado/desligado são fornecidos no período regulador em alguns exemplos da presente invenção.

A magnitude de corrente fluindo através do comutador regulador S_0 em ciclos de operação baixos é, de forma significativa, menor do que a corrente fluindo através do comutador regulador S_0 em ciclos de operação altos. Conseqüentemente perdas de comutação no comutador S_0 será menor em ciclos de operação baixos. Na presente invenção, as menores perdas de comutação em ciclos de operação menores é tomar vantagem do fornecimento de corrente ao inversor nos múltiplos pulsos ligado/desligado dentro do período regulado do regulador para fornecer a mesma magnitude de variação de corrente como a variação de corrente que seria fornecida com um único pulso de ciclo de operação baixo. Este arranjo permite redução significativa na requerida graduação elétrica do retentor L_1 já que pulsos mais freqüentes em ciclo de operação baixo requerem, de forma significativa, menos capacidade de armazenamento de energia no retentor L_1 já que aquela energia armazenada será o suprimento de corrente para o inversor quando o dispositivo de comutação S_0 não está conduzindo para intervalos mais curtos. Um adequado, mas não limitante, algoritmo de controle é como a seguir:

$$N = \frac{W_{max} - W_{cond}}{W_{sw}}$$

onde N é igual ao número de pulsos de regulador permitido em

um período regulador;

W_{max} é igual à dissipação de potência máxima permitida especificada para um comutador regulador S_0 selecionado;

W_{cond} é igual as perdas de condução especificadas para um comutador regulador S_0 selecionado; e

W_{sw} é igual as perdas de comutação calculado com um único pulso de ciclo de operação ligado/desligado regulador em um período regulador.

Por conseguinte, por exemplo, para uma magnitude de potência de saída do inversor deseja em ressonância requerendo um único ciclo de operação ligado/desligado regulador de 0,3, W_{sw} é calculado para o comutador S_0 corrente para 0,3 do ciclo de operação e máximo N em 0,3 do ciclo de operação é calculado a partir da equação acima usando W_{max} e W_{cond} especificados para o comutador S_0 selecionado.

Por meio de ilustração e não limitação, FIG. 6 (a) e FIG. 6 (b) graficamente ilustram regulação de único pulso versus pulsos múltiplos, por exemplo, em 0,3 do ciclo de operação. Em ambas figuras, t_{inv} representa o período da freqüência de saída do inversor, e t_{reg} representa o período do regulador, que é uma metade do período da freqüência de saída do inversor. Na Fig. 6 (a) único pulso regulador em cada período regulador, t_{reg}, não é preferido, como explicado acima; múltiplos pulsos reguladores, como ilustrado pelos pulsos reguladores na Fig. 6 (b) são preferidos. O número de pulsos em um período regulador vai varia dependendo do intervalo de corrente de inversor requerida e perdas de comutação de um particular comutador regulador usado em uma aplicação. Cinco pulsos regulares são usados na Fig. 6 (b) para clareza. Geralmente o número de pulsos por período de regulador pode variar de dois a centenas, em um intervalo de ciclo de operação de menos do que a unidade para maior do que zero, respectivamente.

Se mais potência de saída do inversor é requerido do que aquela com um ciclo de operação de 1,0 em ressonância, potência de saída adicional pode ser fornecida para aumentar a freqüência de saída do inversor, que vai fornecer mais potência mas não em ressonância. FIG. 7 (a) e FIG. 7 (b) graficamente ilustra parâmetros do inversor em unidade de ciclo de operação/ressonância e unidade de ciclo de operação/fora de ressonância, respectivamente, quando maior potência de saída do inversor pode ser fornecida. FIG. 7 (a) ilustra magnitude de potência de saída ressonante do inversor de P_2, que é maior do que a magnitude de potência P_1, com ciclo de operação igual a 1,0 em ressonância. FIG 7 (b) ilustra magnitude de potência de saída ressonante do inversor de P_3, que é maior do que a magnitude de potência P_2, com ciclo de operação igual à 1,0 e um deslocamento de fase (ø) entre a voltagem e corrente de saída do inversor.

Para uma aplicação de forno de fundição de indução elétrico de não vácuo, os componentes de uma fonte de alimentação com o inversor alimentado por corrente da presente invenção geralmente seriam totalmente nominais para saída de potência máxima no intervalo de potência fora de ressonância; para uma aplicação de forno de fundição de indução elétrico de vácuo, os componentes de uma fonte de alimentação com o inversor alimentado por corrente da presente invenção geralmente seria totalmente nominais para potência máxima em operação de unidade de ciclo de ressonante.

Em um outro exemplo de uma fonte de alimentação com inversores alimentados por corrente da presente invenção, como ilustrado na FIG. 4, múltiplos inversores 16 e 16', cada um com um comutador regulador dedicado (S_0 e S'_0) e diodo (D_0 e D'_0), podem ser acionados a partir de um único retificador 12 e dispositivo de armazenamento de energia, capacitor C_o, que é conectado à saída do retificador. Neste arranjo, distribuição repartida, controlado de potência entre múltiplas cargas ressonantes LOAD 1 e LOAD 2

pode ser realizada através de regulação de pulso individual dos inversores 16 e 16' como descrito acima, submetidas a uma saída de potência total máxima estabelecida pela graduação do retificador 12. Enquanto dois circuitos de inversor/carga são mostrados na Fig. 4, qualquer número de circuitos de inversor/carga pode ser usado.

Em um outro exemplo de uma fonte de alimentação com inversores alimentados por corrente da presente invenção, como ilustrado na FIG. 5, múltiplos inversores 16 e 16', cada um servindo cargas ressonantes dedicadas LOAD 1 e LOAD 2, respectivamente, pode ser de forma seletiva acionada a partir de um único regulador 14, que é conectado à saída de um retificador operando em saída de onda completa como descrito acima. Com comutadores S_1, S_3, S'_1 e S'_4 conduzindo, e comutadores S_2, S_4, S'_2 e S'_3 não conduzindo, corrente é fornecido para a LOAD 2, mas não aplicada à LOAD 1, por exemplo, para um meio ciclo elétrico; enquanto no próximo meio ciclo elétrico, comutadores S_2, S_4, S'_2 e S'_3 estão conduzindo, e comutadores S_1, S_3, S'_1 e S'_4 não estão conduzindo para continuar o fornecimento de corrente para a LOAD 2.

Enquanto os esquemas de comutação são geralmente descritos acima para aquecimento e fusão indutora, em outros exemplos da invenção, os esquemas de comutação podem ser usados para afetar padrões de agitação induzidos quando usados como um inversor em uma aplicação de forno de fundição de indução. Tal uma aplicação é ilustrada no exemplo não limitante, mostrado na Fig. 8, FIG. 9 (a) e FIG. 9 (b). FIG. 8 é um exemplo de fonte de alimentação 20a, 20b e 20c que são usados para fornecer potência para cada uma das três bobinas de indução, a saber bobina inferior 22a, bobina intermediária 22b e bobina superior 22c, que envolvem o cadinho 90. Capacitores tanque C_{T1}, C_{T2} e C_{T3} são fornecidos na saída de cada uma das fontes de alimentação. Cada capacitor pode ter um valor de capacitância diferente. Elementos resistivos R1, R2 e R3 representam a resistência de uma

carga magneticamente acoplada sendo aquecida, fundida ou agitada no cadinho 90 que é envolvido por cada seção de bobina. Os comutadores SW_1 e SW_2 são usados para equilibrar correntes da bobina quando os comutadores estão fechados no modo de fusão como mostrado na Fig. 9 (a). Com ambos SW_1 e SW_2 fechados, a orientação estabelecida de fluxo magnético é conforme ilustrado pela linha de fluxo típico 94. Uma vantagem deste arranjo é que cada comutador pode ter uma graduação de corrente contínua de aproximadamente 10 por cento da graduação de corrente total (potência) do cadinho já que a impedância das seções de bobina de indução do forno de fundição são similares em valor, com um desvio típico entre bobinas de menos do que 10 por cento. Os comutadores SW_1 e SW_2 pode ser de um tipo mecânico ou elétrico. Os comutadores SW_1 e SW_2 pode ser combinados em um disponível de comutação arrumado de forma adequada. Um comutador eletrônico, mas não limitante, típico é ilustrado na Fig. 10 (c), como um comutador de ponto de diodo SCR. A corrente entre as seções de bobina é relativamente baixa, o que favorece a aplicação dos dispositivos de comutação eletrônicos. Com as condições de operação identificadas acima, o padrão de agitação eletromagnética induzida pode ser representada pelas linhas de fluxo exemplar 92a na Fig. 9 (a), que é um padrão de fluxo de anel de vórtice duplo, ou de vórtice toroidal com anéis de vórtice separados na metade superior e inferior do cadinho.

Mais geralmente cada bobina de indução na Fig. 9 (a) e FIG. 9 (b) pode ser definida como tendo uma primeira, ou "inicio", terminação de extremidade, e uma segunda, ou "fim", terminação de extremidade. Por exemplo, na FIG. 12 (a) se a bobina de indução 70 representa uma bobina de indução orientada no sentido horário (direito para esquerdo surge em torno do cadinho 90), e na Fig. 12 (b) bobina de indução 72 representa uma bobina de indução orientada no sentido anti-horário (esquerdo to direito surge em torno do cadinho 90), terminais de início e fim de cada bobina podem ser

designadas como mostrado nas figuras. Alternativamente como mostrado na Fig. 9 (a) e FIG. 9 (b), os terminais de início das bobinas de indução 22a, 22b e 22c podem ser designado com um símbolo de " estrela circundada " como mostrado nas figuras, indicando, por exemplo, neste não limitante exemplo da invenção, as quais bobinas bobina 22a e 22c são orientadas no sentido horário e bobina 22b é orientada no sentido anti-horário, ou vice versa. Usando esta convenção, os terminais de início de todas as três bobinas de indução são de forma seletiva, conectadas juntas somente quando os comutadores SW_1 e SW_2 estão fechados, enquanto os terminais de fim de todas as três bobinas de indução estão sempre conectados juntos em comum. Em outros exemplos da invenção, mais do que três bobinas de indução podem ser usadas, com os terminais de início de todas as bobinas de indução de forma seletiva conectadas juntas através de um ou mais dispositivos de comutação, e os terminais de fim de todas as bobinas de indução sempre conectados juntos em comum ou vice e versa.

No modo de agitação qualquer duas das três fontes de alimentação pode ser configurado para estado inativo com as saídas de duas das três fontes de alimentação sendo zero tal que o capacitor tanque, resistência e seção de bobina associada com cada fonte de alimentação de estado inativo forma um circuito RLC em paralelo. No modo de agitação ambos os SW_1 e SW_2 estão abertos. Na Fig. 9 (b) e FIG. 10 (b) a fonte de alimentação 20a é selecionada como ativa e as fontes de alimentação 20b e 20c estão no estado desligado ou inativado (ilustrado pelo desenho dessas duas fontes de alimentação em linhas tracejadas). Conseqüentemente a corrente de saída da fonte de alimentação 20a fluindo através da bobina 22a gera um campo magnético representado pela linha de fluxo típica 98a. Este campo magnético acopla (diagramaticamente representado por "M") com o circuito RLC formado pela bobina 22b, resistência R_2 e capacitor C_{T2}, que por sua vez, resulta em um fluxo de corrente induzido através da bobina 22b que

gera um campo magnético secundário representado pela linha de fluxo típica 98b. O campo magnético secundário acopla com o circuito RLC formado pela bobina 22c, resistência R_3 e capacitor C_{T3}, que por sua vez, resulta em um fluxo de corrente induzido através da bobina 22c que gera um campo magnético secundário representado pela linha de fluxo típica 98c. A combinação desses campos magnéticos vai induzir um padrão de fluxo eletromagnético em material condutor fundido eletricamente no cadinho como mostrado na Fig. 9 (b). O padrão de agitação eletromagnética induzida pode ser representada pelas linhas de fluxo exemplares 92b na Fig. 9 (b) para criar um único padrão de fluxo de anel de vórtice no cadinho com um padrão de fluxo para baixo sobre o eixo Z poloidal (circular) do anel, ou rotação poloidal no sentido anti-horário. Este arranjo de agitação é particularmente útil quando adicionando carga adicional para a fusão, tal como metal chips 94, como ilustrado na FIG. 11 (a), tal que a carga adicionada é deformada rapidamente na fusão. A rotação poloidal pode ser revertida para o sentido horário ativando a fonte de alimentação 20c e desativando as fontes de alimentação 20a e 20b. Em alguns exemplos da invenção, alternar ou variar o nível de potência de saída da fonte de alimentação superior 20c pode ser usado para agitar (modular) a altura do menisco convexo 80 que define a superfície do banho de metal fundido, por exemplo, do menisco 80 para 80a como mostrado na Fig. 11 (b), para expor uma maior área de superfície de metal fundido para o ambiente atmosférico. Isto é de particular valor quando a aplicação é um forno de fundição á vácuo, e o ambiente atmosférico é um vácuo. Aumentando a área de superfície de metal fundido exposto ao vácuo acima da superfície, aumenta a eficiência da retirada de vapor.

O exemplo da invenção mostrado na Fig. 9 (a) e FIG. 9 (b) pode ser usado em ambas, aplicações de forno de fundição de indução de vácuo e de não vácuo e ou em um processo em lote, onde o cadinho é inicialmente preenchido com material eletricamente condutor sólido e/ou semi-sólido, ou um

processo de ressalto, onde carga sólida ou semi-sólida eletricamente condutora é gradualmente adicionada ao ressalto existente no fundo do cadinho. Tipicamente o modo de fuso e aquecimento (FIG. 9 (a) e FIG. 10 (a)) é usado para inicialmente fundir todo o material eletricamente condutor no cadinho. Então o modo de agitação (FIG. 9 (b) e FIG. 10 (b)) é usado, por exemplo, para melhorar aquecimento por condução através do banho de metal fundido; e/ou para promover retirada de vapor do banho de metal fundido circulando o volume de banho de metal fundido tal que a superfície do banho de metal fundido está continuamente trocando para promover transferência de gás a partir da fusão para o ambiente atmosférico ou vácuo; e/ou para promover a dissolução de carga adicional acrescentada ao banho de metal fundido deformando-a no vórtice central para baixo identificado como eixo Z na Fig. 9 (b).

Embora três seções de bobinas de indução são mostradas nos exemplos da invenção acima, outras quantidades de seções de bobina podem ser usadas nos outros exemplos da invenção.

Os exemplos da invenção acima foram fornecidos meramente para o propósito de explanação e não são de maneira alguma serem construídos como limitante da presente invenção. Enquanto a invenção foi descrita com referência à várias modalidades, as palavras usadas aqui são palavras de descrição e ilustração. Mais propriamente do que palavras de limitações. Embora a invenção aqui foi descrita com referência a particulares meios, materiais e modalidades, a invenção não é pretendida para ser limitada aos particulares divulgados aqui; mais propriamente, a invenção se estende para todas as funcionalidades equivalentes, estruturas, métodos e uso tais que estejam dentro do escopo das reivindicações anexas. Aqueles com qualificação na técnica, tendo o benefício dos ensinamentos desta especificação, podem efetuar numerosas modificações nela, e mudanças podem ser feitas sem fugir do escopo da invenção em seus aspectos.

REIVINDICAÇÕES

1. Fonte de alimentação para pelo menos uma carga ressonante de RLC, caracterizada pelo fato de compreender:

- um retificador de ca para cc tendo uma entrada do retificador conectada a uma fonte de ca e uma saída de cc do retificador;

- pelo menos, um dispositivo de armazenamento de carga conectado à saída de cc do retificador;

- pelo menos, um regulador, cada um do pelo menos, um dos reguladores tendo uma saída de regulador com um período de saída de cc do regulador e um ciclo de operação de saída variável dentro do período de saída de cc do regulador, cada um do pelo menos, um dos reguladores conectado ao pelo menos, um dispositivo de armazenamento de carga;

- pelo menos, um dispositivo de armazenamento de corrente, cada um do pelo menos, um dos dispositivos de armazenamento de correntes exclusivamente conectado à saída do regulador de um dos pelo menos, um dos reguladores; e

- pelo menos, um inversor, cada um do pelo menos, um dos inversores tendo uma entrada de inversor exclusivamente conectada a um dos pelo menos, um dispositivo de armazenamento de correntes, cada um do pelo menos, um dos inversores tendo uma saída de ca do inversor exclusivamente conectada a uma da pelo menos, uma das cargas ressonantes de RLC, o período de saída de ca do inversor de cada um do pelo menos, um dos inversores igual a duas vezes o período de saída do regulador do pelo menos, um regulador conectado ao pelo menos, um dos dispositivos de armazenamento de correntes conectados à entrada do inversor de cada um do pelo menos, um dos inversores.

2. Fonte de alimentação de acordo com a reivindicação 1 caracterizada pelo fato de que a saída do regulador de pelo menos, um do pelo menos, um dos reguladores compreende uma pluralidade de pulsos no ciclo

de operação de saída variável.

3. Fonte de alimentação de acordo com a reivindicação 1 caracterizada pelo fato de que a saída de cc do retificador de ca para cc tem uma magnitude de voltagem de saída controlada variavelmente.

4. Fonte de alimentação de acordo com a reivindicação 1 caracterizada pelo fato de que o pelo menos, um regulador compreende uma pluralidade de reguladores, o pelo menos, um inversor compreende uma pluralidade de inversores, a pelo menos, uma carga ressonante de RLC compreende uma pluralidade de cargas ressonantes de RLC, cada uma da pluralidade de cargas ressonantes de RLC exclusivamente conectada à saída de ca do inversor de um da pluralidade de inversores, cada um da pluralidade de reguladores exclusivamente conectado à pelo menos, um do pelo menos, um dos dispositivos de armazenamento de corrente, e a entrada do inversor de cada um da pluralidade de inversores exclusivamente conectada ao pelo menos, um do pelo menos, um dos dispositivos de armazenamento de corrente exclusivamente conectado a um da pluralidade de reguladores.

5. Fonte de alimentação de acordo com a reivindicação 1 caracterizada pelo fato de que a pelo menos, um regulador compreende um par de reguladores, o pelo menos, um inversor compreende um par de inversores, a pelo menos, uma carga ressonante de RLC compreende um par de cargas ressonantes de RLC, cada um do para de cargas ressonantes de RLC exclusivamente conectado à saída de ca do inversor de um do par de inversores, cada um do par de reguladores exclusivamente conectado à pelo menos, um do pelo menos, um dos dispositivos de armazenamento de corrente, e a entrada do inversor de cada um do par de inversores exclusivamente conectado ao pelo menos, um do pelo menos, um dos dispositivos de armazenamento de corrente exclusivamente conectado a um do par de reguladores.

6. Fonte de alimentação de acordo com a reivindicação 1

caracterizada pelo fato de que o pelo menos, um regulador compreende um único regulador, o pelo menos, um inversor compreende uma pluralidade de inversores, a pelo menos, uma carga ressonante de RLC compreende uma pluralidade de cargas ressonantes de RLC, cada uma da pluralidade de cargas ressonantes de RLC exclusivamente conectada à saída de ca do inversor de um da pluralidade de inversores, o único regulador conectado ao pelo menos, um dispositivo de armazenamento de corrente, e as entradas do inversor de toda a pluralidade de inversores conectadas ao pelo menos, um dispositivo de armazenamento de corrente.

7. Fonte de alimentação de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a pelo menos, um carga ressonante de RLC compreende pelo menos, três cargas ressonantes de RLC, cada uma da pelo menos, três cargas ressonantes de RLC tendo um elemento indutor exclusivamente compreendendo pelo menos, uma bobina de indução disposta em torno de um cadinho contendo um material eletricamente condutor.

8. Fonte de alimentação de acordo com a reivindicação 7, caracterizada pelo fato de que cada um da pelo menos, três cargas ressonantes de RLC é conectada exclusivamente à saída de ca do inversor de um do pelo menos, um dos inversores, a entrada do inversor de cada um do pelo menos, um dos inversores conectado exclusivamente a um do pelo menos, um dos dispositivos de armazenamento de corrente, cada um do pelo menos, um dos dispositivos de armazenamento de correntes conectado exclusivamente à saída de um do pelo menos, um dos reguladores, cada um do pelo menos, um dos reguladores conectado exclusivamente a um dispositivo de armazenamento de carga conectado exclusivamente à saída de cc do retificador do retificador de ca para cc.

9. Fonte de alimentação de acordo com a reivindicação 8, caracterizada pelo fato de que todas de pelo menos, três bobinas de indução têm seus terminais de fim comumente conectado juntos e seus terminais de

início, de forma seletiva conectados junto através de pelo menos, um dispositivo de comutação para formar um circuito RLC paralelo combinado a partir de cada uma das pelo menos, três cargas ressonantes de RLC.

10. Fonte de alimentação de acordo com a reivindicação 9, caracterizada pelo fato de que um do pelo menos, um dos inversores está no estado inativo quando o pelo menos, um dispositivo de comutação está aberto.

11. Método para suprimento de potência para pelo menos uma carga ressonante de RLC, caracterizado pelo fato de compreender os estágios de:

- suprir potência de cc para um dispositivo de armazenamento de carga;

- regular um suprimento de corrente de cc a partir do dispositivo de armazenamento de carga para um dispositivo de armazenamento de corrente fornecendo corrente de cc para um inversor tendo sua saída de ca do inversor conectada a pelo menos, uma carga ressonante de RLC;

- operar o inversor em uma freqüência de saída do inversor tendo um período do inversor; e

- variar o ciclo de operação do suprimento de corrente de cc a partir do dispositivo de armazenamento de carga sobre um período igual a uma metade do período do inversor.

12. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente o estágio de gerar uma pluralidade de pulsos durante o ciclo de operação do suprimento de corrente de cc a partir do dispositivo de armazenamento de carga.

13. Método de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a pluralidade de pulsos durante o ciclo de operação é igual à quantidade da dissipação de potência máxima permitida de um dispositivo de comutação usado para regular o suprimento de corrente de cc a partir do

dispositivo de armazenamento de carga menos as perdas de condução do dispositivo de comutação dividido pelas perdas de comutação com um único pulso equivalente durante o ciclo de operação.

14. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente o estágio de variar a magnitude de voltagem da potência de cc fornecida para o dispositivo de armazenamento de carga.

15. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente o estágio de envolver as regiões inferior, intermediária e superior de um cadinho contendo um material eletromagneticamente condutor com uma bobina de indução compreendendo um elemento indutor em cada uma da pelo menos, uma carga ressonante de RLC.

16. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente o estágio de aumentar a freqüência de saída do inversor com unidade de ciclo de operação do suprimento de corrente de cc a partir do dispositivo de armazenamento de carga.

17. Método de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente o estágio de conectar cada uma das bobinas de indução a um ou mais elementos de comutação para, de forma seletiva comutar cada uma da pelo menos, uma carga ressonante de RLC separados circuitos de carga ressonante de RLC separados e circuitos de carga ressonante de RLC conectados em paralelo.

18. Método de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente o estágio de inativar a saída de ca do inversor associada com pelo menos uma das cargas ressonantes de RLC.

19. Método de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente o estágio de inativar a saída de ca do inversor associada com as cargas ressonantes de RLC tendo as bobinas de

indução inferior e intermediária como os elementos indutores.

20. Método de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente o estágio de variar a magnitude da potência de saída do inversor associada com a carga ressonante de RLC tendo a bobina de indução superior com o elemento indutor.

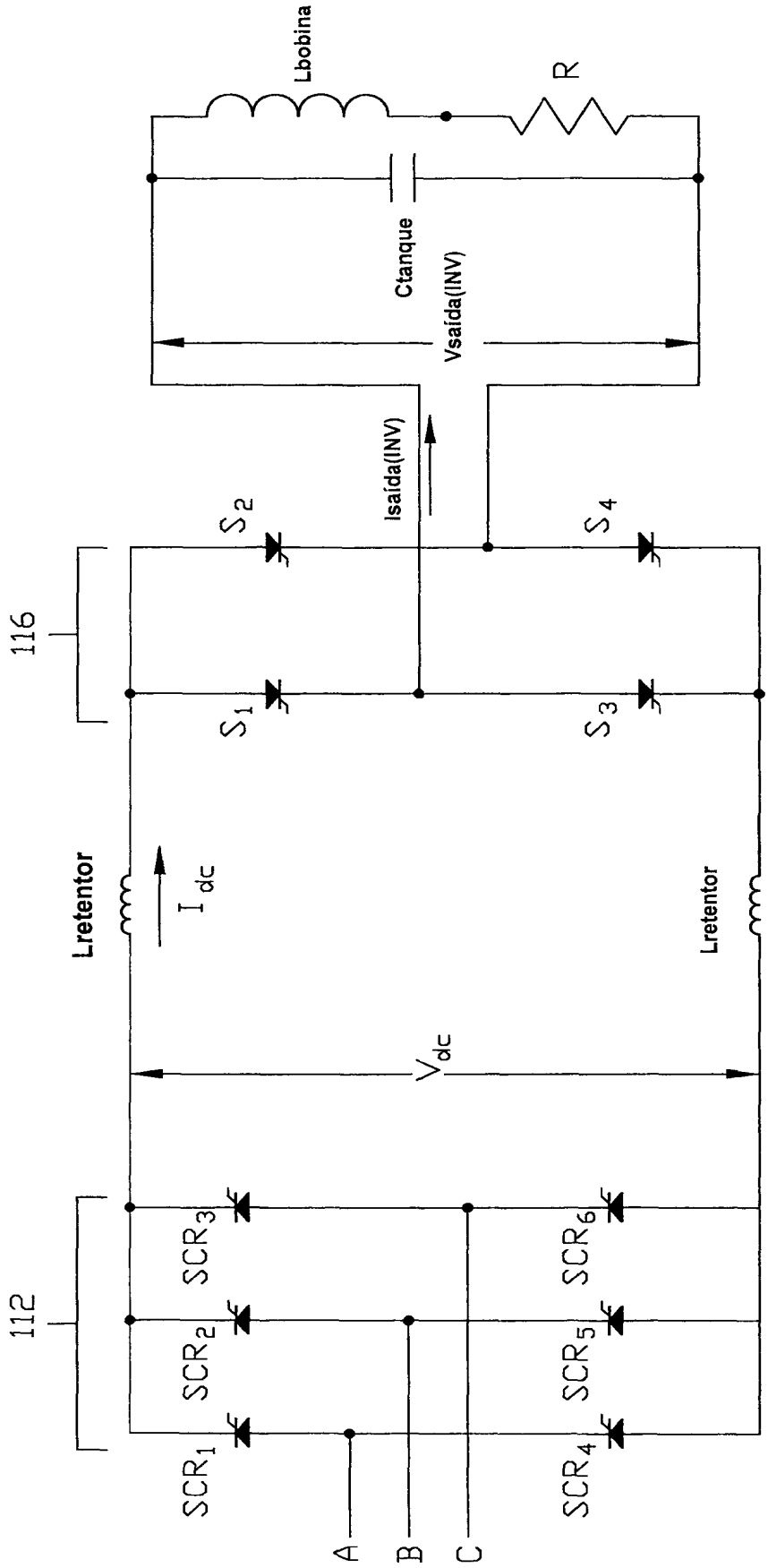


FIG. 1
Técnica anterior

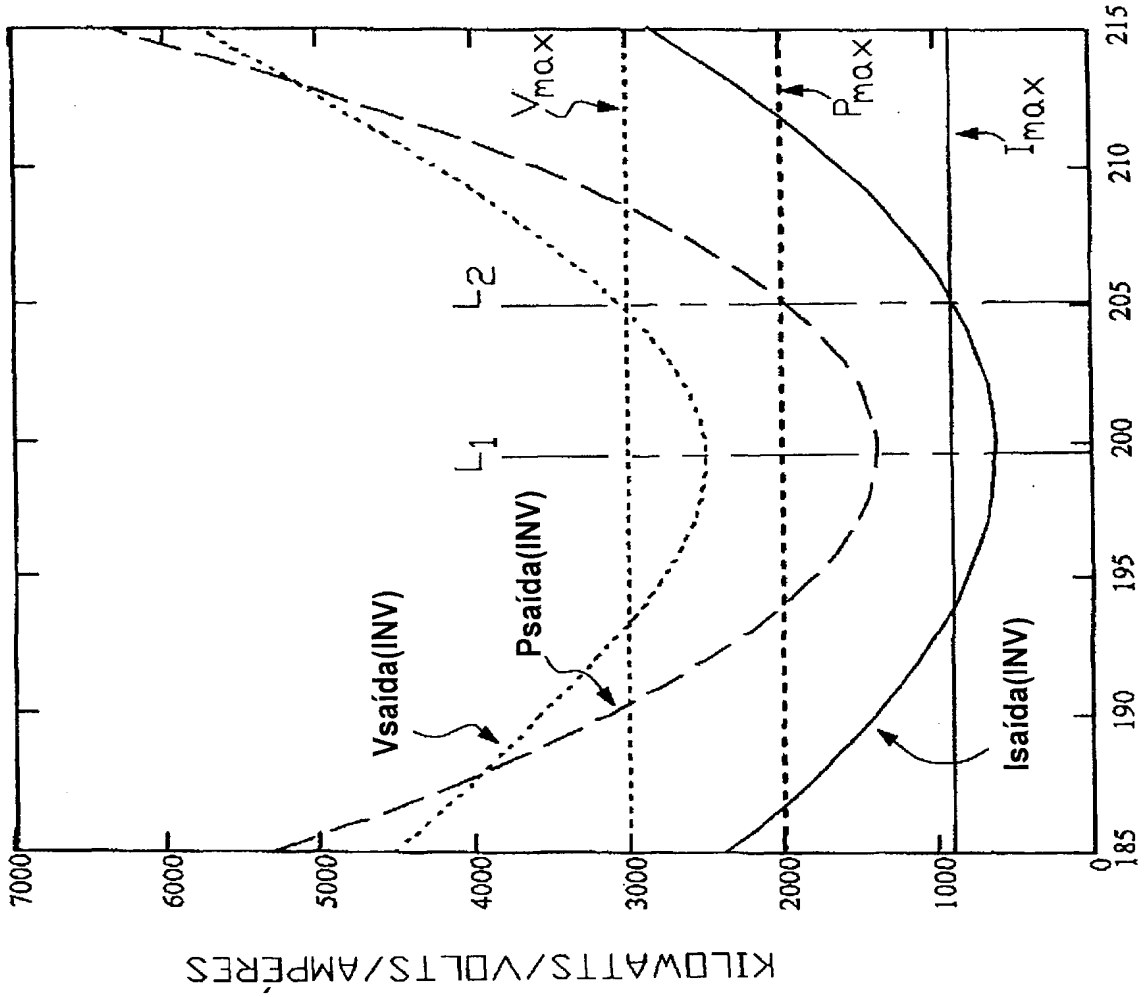

KILOWATTS/VOLTS/AMPÉRES
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
185
190
195
200
205
210
215
Freqüência (hertz)
V_{max}
P_{max}
I_{max}
L_1
L_2
Vsaída(INV)
Psaída(INV)
Isaída(INV)

FIG. 2

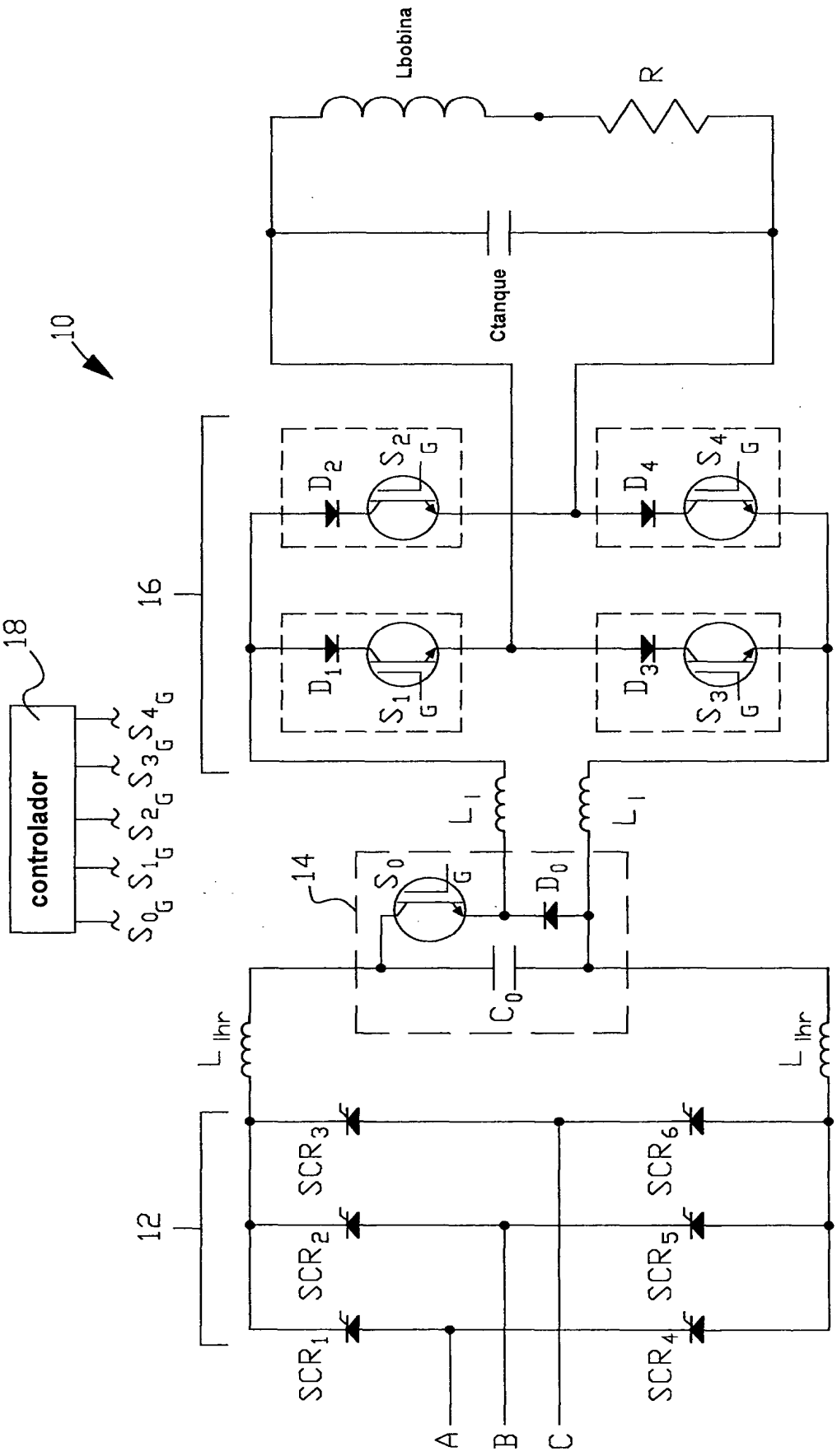

Lbobina
R
Ctanque
10
16
18
controlador
S_{0_G} S_{1_G} S_{2_G} S_{3_G} S_{4_G}
D_1 D_2 D_3 D_4
S_1 S_2 S_3 S_4
G
14
S_0
D_0
L_l
C_0
L_{lhr}
12
SCR_1 SCR_2 SCR_3 SCR_4 SCR_5 SCR_6
A
B
C

FIG. 3

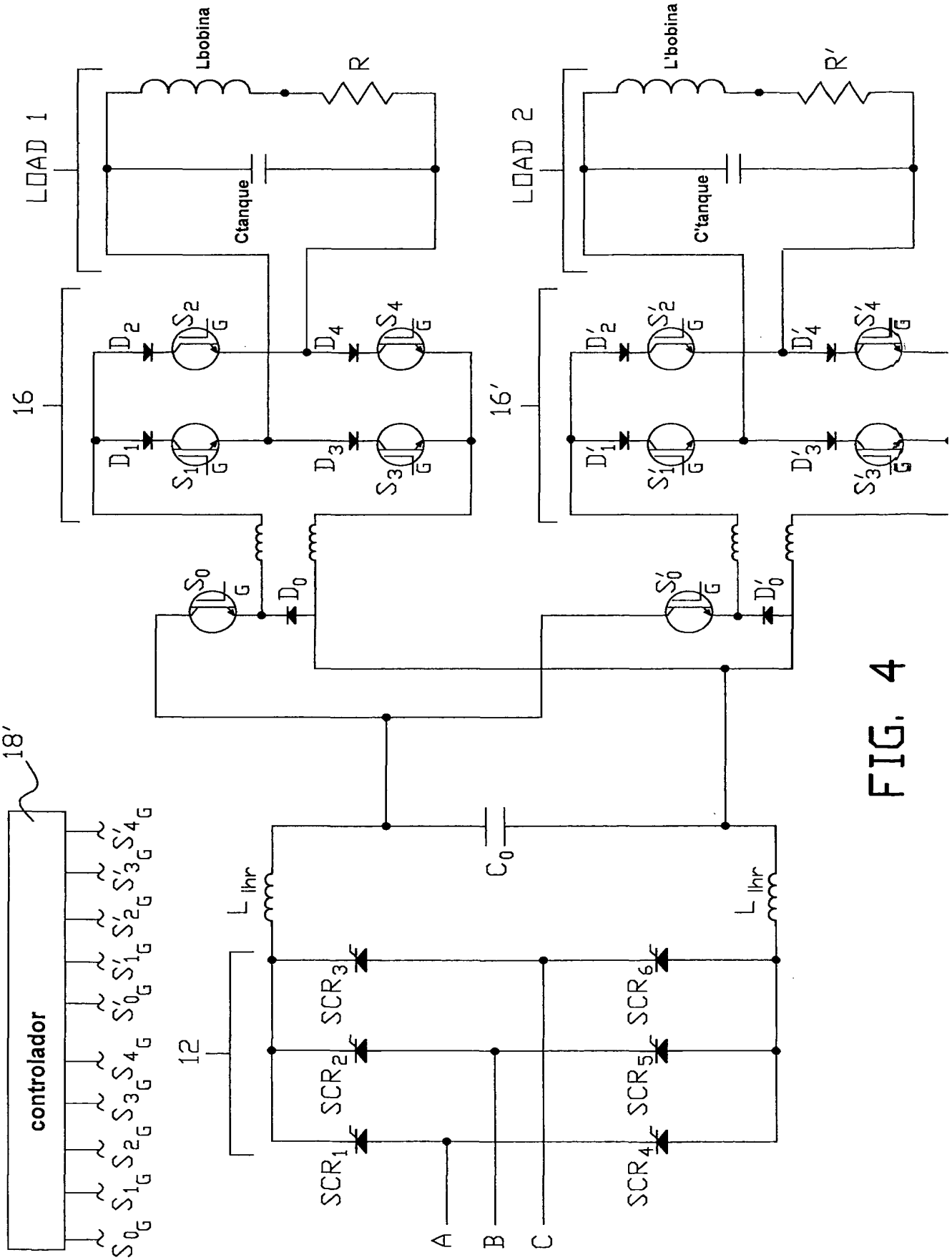

LOAD 1
Lbobina
R
Ctanque
LOAD 2
L'bobina
R'
C'tanque
16
16'
12
18'
controlador
A
B
C
C_0
L_{lhr}
L_{lhr}
SCR_1
SCR_2
SCR_3
SCR_4
SCR_5
SCR_6
D_0
D_1
D_2
D_3
D_4
S_0
S_1
S_2
S_3
S_4
D'_0
D'_1
D'_2
D'_3
D'_4
S'_0
S'_1
S'_2
S'_3
S'_4
S_{0G} S_{1G} S_{2G} S_{3G} S_{4G} S'_{0G} S'_{1G} S'_{2G} S'_{3G} S'_{4G}

FIG. 4

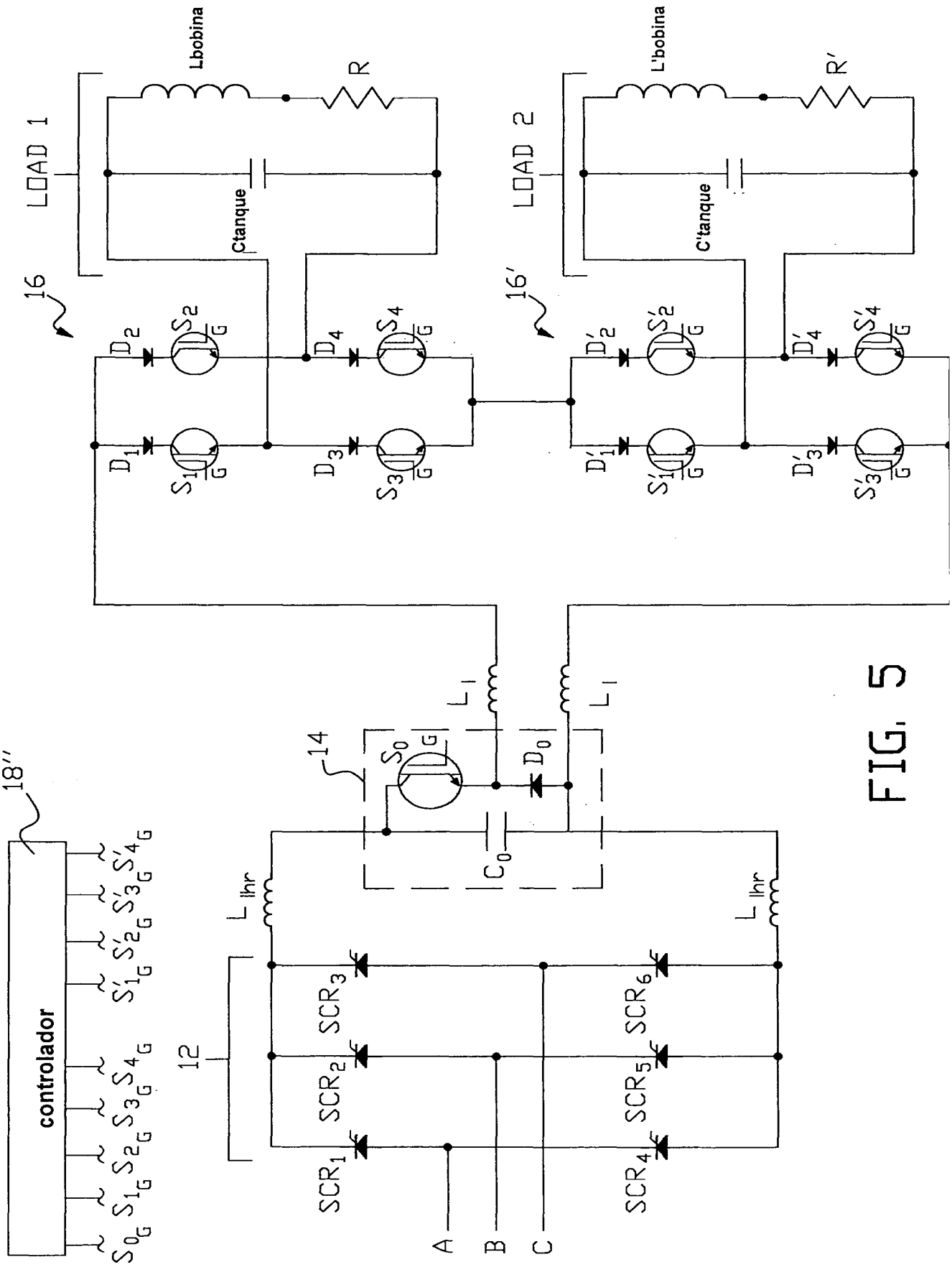

LOAD 1
Lbobina
R
Ctanque
16
LOAD 2
L'bobina
R'
C'tanque
16'
D2
S2
D4
S4
D1
S1
D3
S3
D'2
S'2
D'4
S'4
D'1
S'1
D'3
S'3
L l
L l
14
S0
D0
C0
L lhr
L lhr
12
SCR3
SCR2
SCR1
SCR6
SCR5
SCR4
A
B
C
18''
controlador
S0G S1G S2G S3G S4G
S'1G S'2G S'3G S'4G

FIG. 5

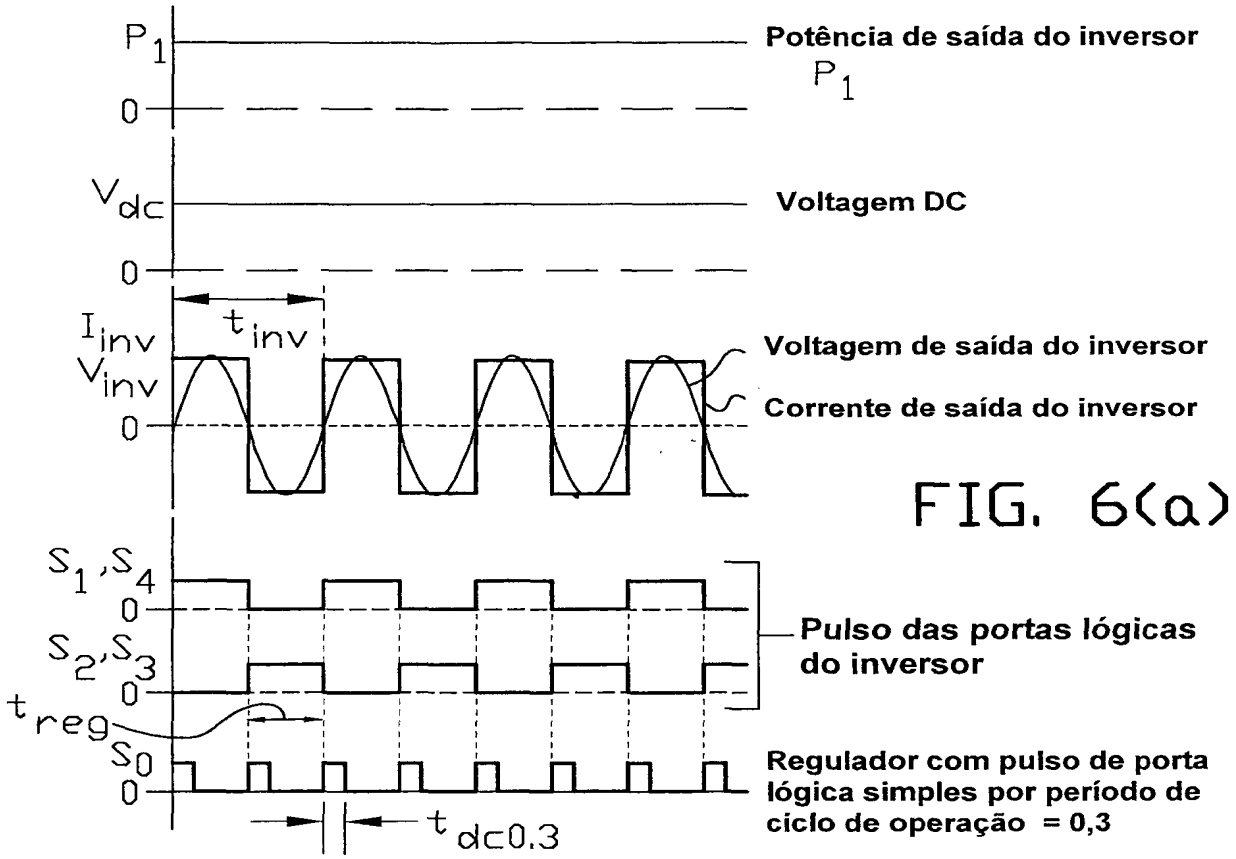

P1
0
Potência de saída do inversor
P1
Vdc
0
Voltagem DC
Iinv
Vinv
tinv
0
Voltagem de saída do inversor
Corrente de saída do inversor
S1,S4
0
S2,S3
0
treg
S0
0
tdc0.3
Pulso das portas lógicas do inversor
Regulador com pulso de porta lógica simples por período de ciclo de operação = 0,3

FIG. 6(a)

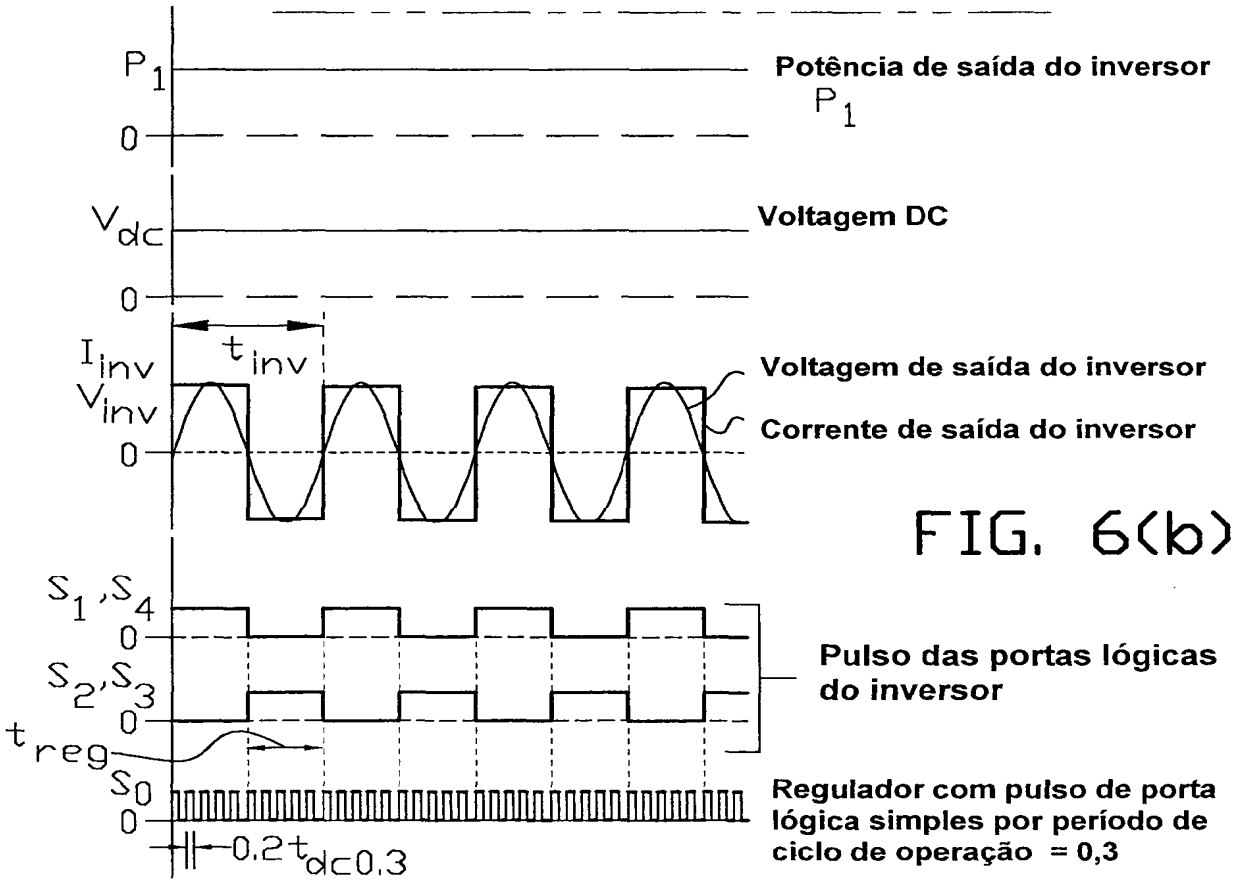

P1
0
Potência de saída do inversor
P1
Vdc
0
Voltagem DC
Iinv
Vinv
tinv
0
Voltagem de saída do inversor
Corrente de saída do inversor
S1,S4
0
S2,S3
0
treg
S0
0
0,2tdc0.3
Pulso das portas lógicas do inversor
Regulador com pulso de porta lógica simples por período de ciclo de operação = 0,3

FIG. 6(b)

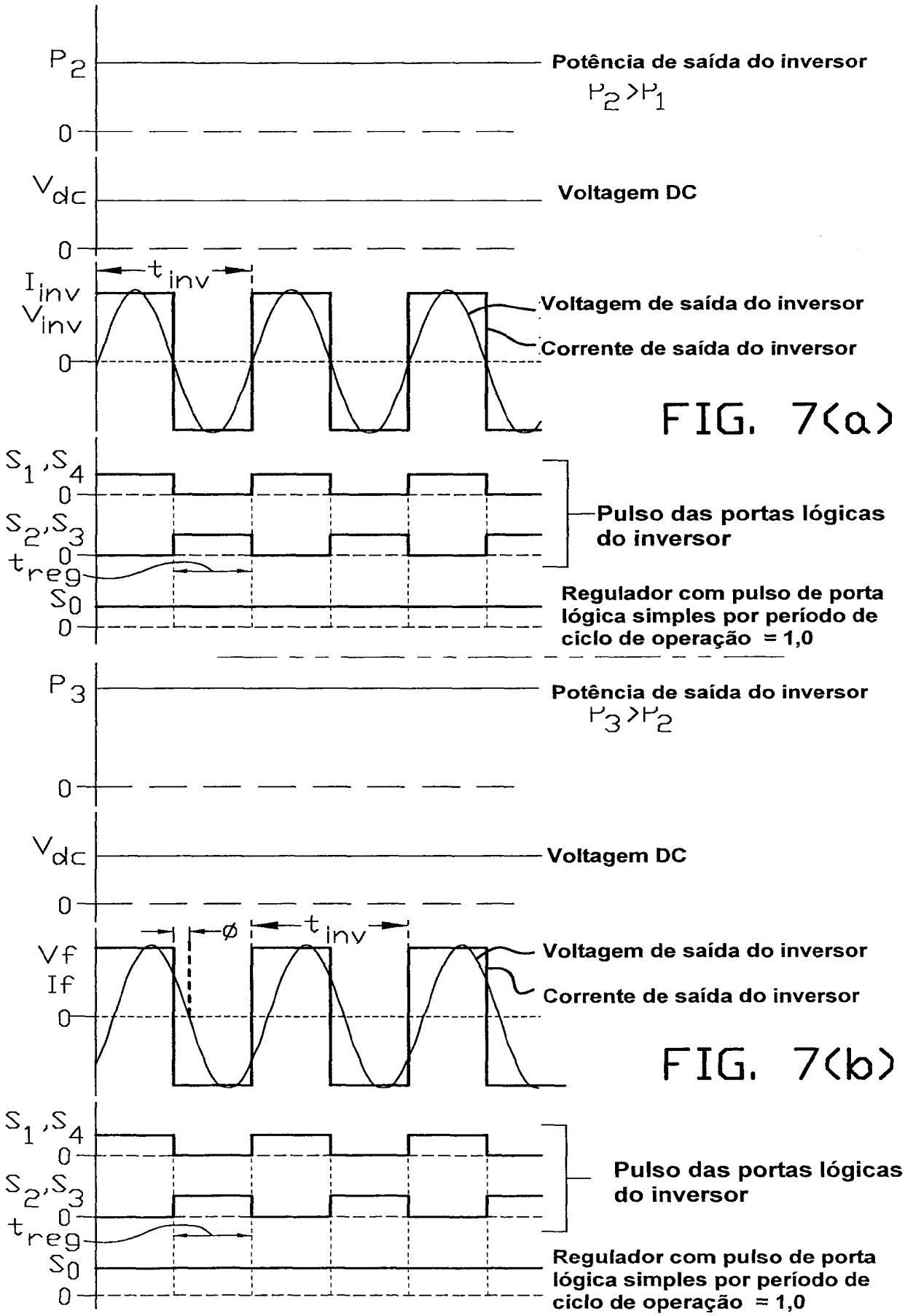

P2
Potência de saída do inversor
P2>P1
0
Vdc
Voltagem DC
0
tinv
Iinv
Vinv
Voltagem de saída do inversor
Corrente de saída do inversor
0
S1,S4
0
S2,S3
0
treg
Pulso das portas lógicas do inversor
S0
Regulador com pulso de porta lógica simples por período de ciclo de operação = 1,0
0
P3
Potência de saída do inversor
P3>P2
0
Vdc
Voltagem DC
0
ø
tinv
Vf
If
Voltagem de saída do inversor
Corrente de saída do inversor
0
S1,S4
0
S2,S3
0
treg
Pulso das portas lógicas do inversor
S0
Regulador com pulso de porta lógica simples por período de ciclo de operação = 1,0
0

FIG. 7(a)

FIG. 7(b)

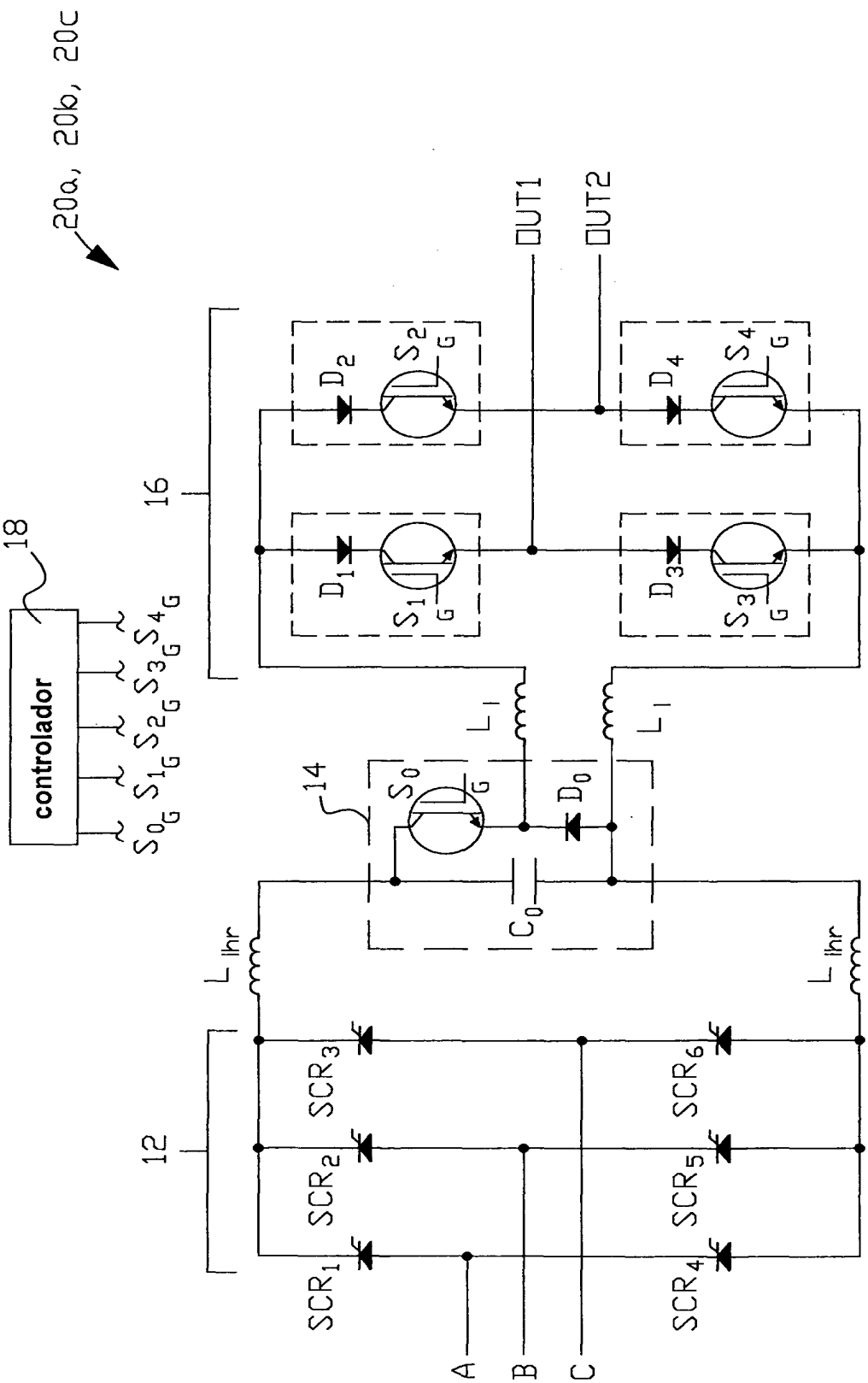

20a, 20b, 20c
controlador
18
16
12
14
OUT1
OUT2
A
B
C
SCR1
SCR2
SCR3
SCR4
SCR5
SCR6
L lhr
L l
C0
D0
D1
D2
D3
D4
S0
S1
S2
S3
S4
G

FIG. 8

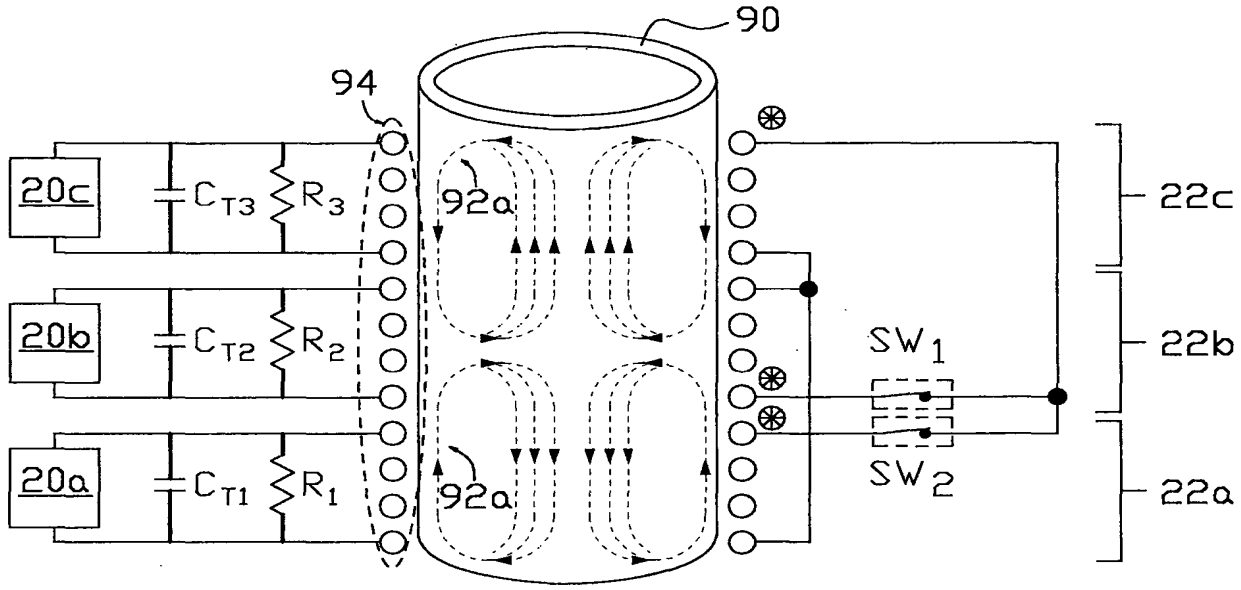

90
94
20c
20b
20a
C_{T3}
R_3
C_{T2}
R_2
C_{T1}
R_1
92a
92a
SW_1
SW_2
22c
22b
22a

FIG. 9(a)

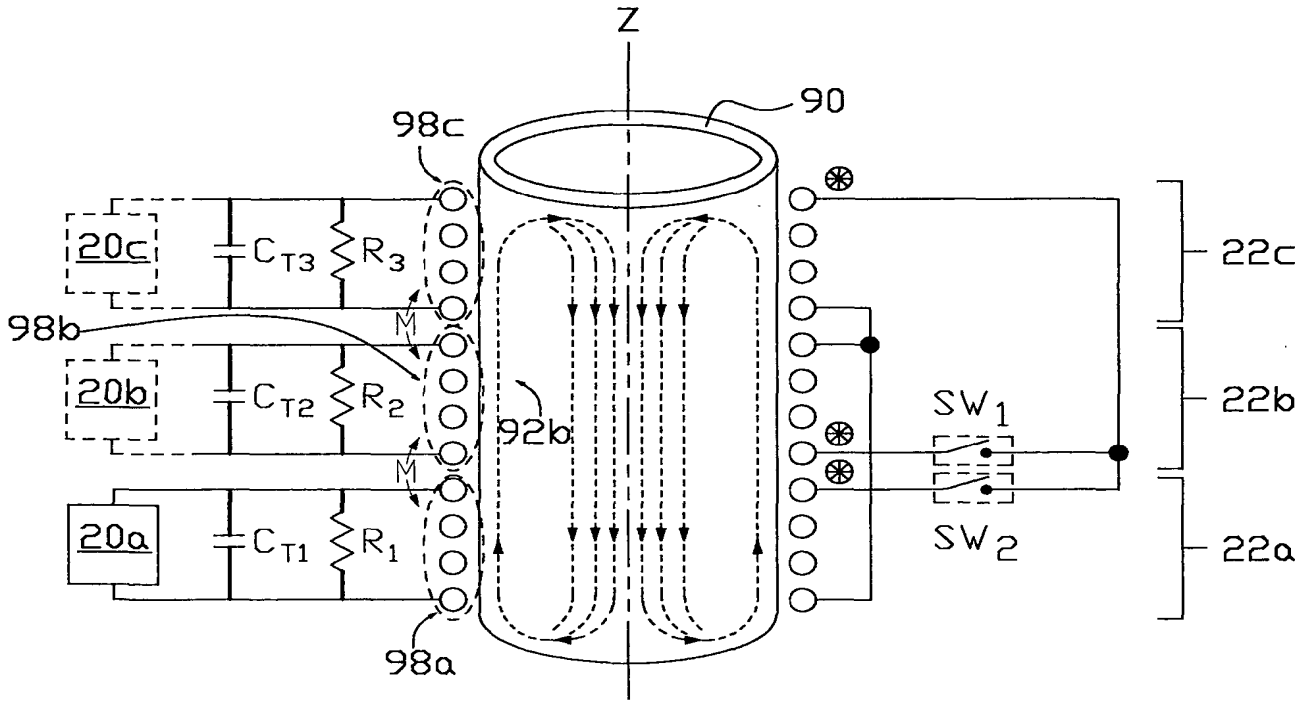

Z
90
98c
20c
20b
20a
C_{T3}
R_3
C_{T2}
R_2
C_{T1}
R_1
98b
M
M
92b
SW_1
SW_2
22c
22b
22a
98a

FIG. 9(b)

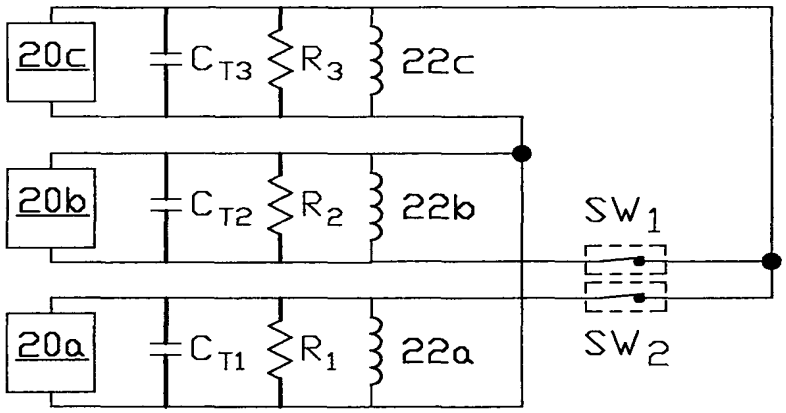


FIG. 10(a)

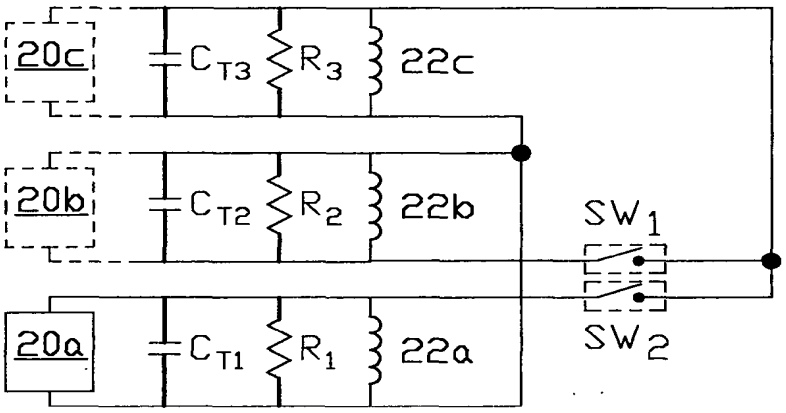


FIG. 10(b)

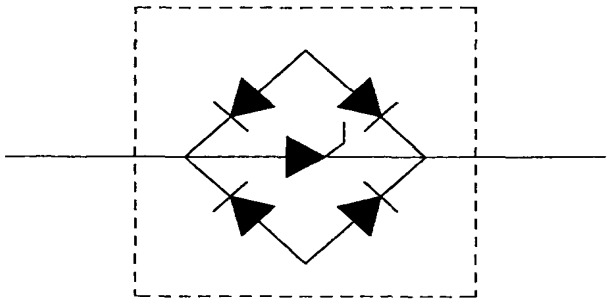


FIG. 10(c)

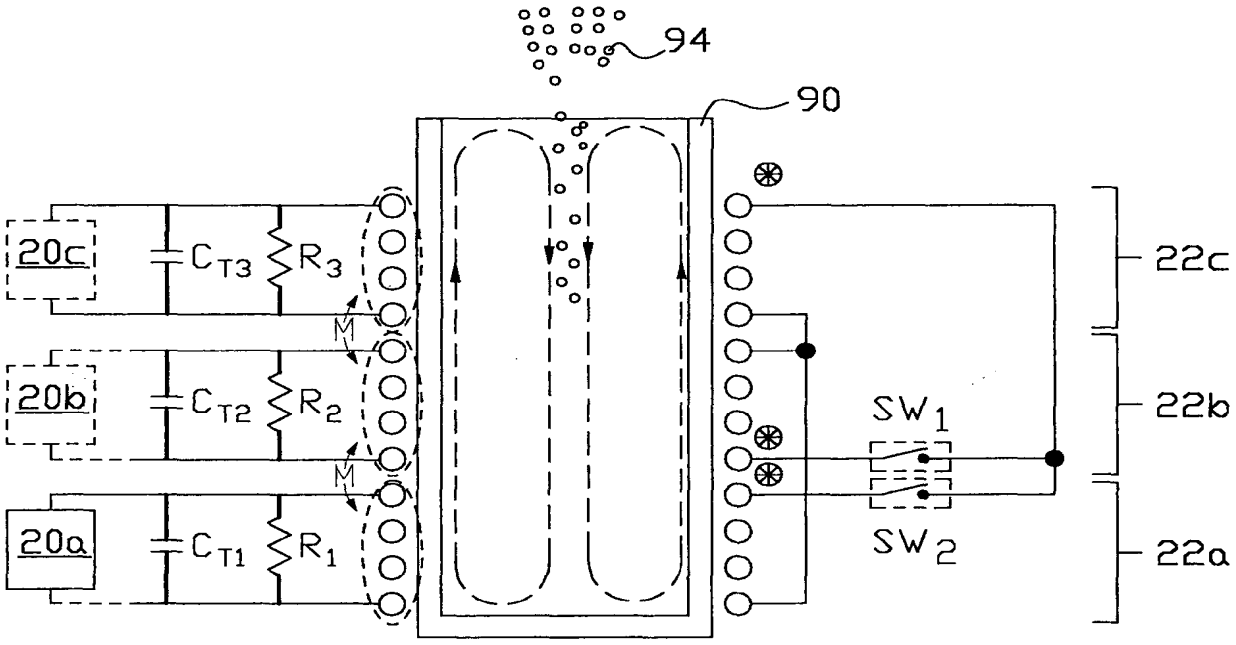


FIG. 11(a)

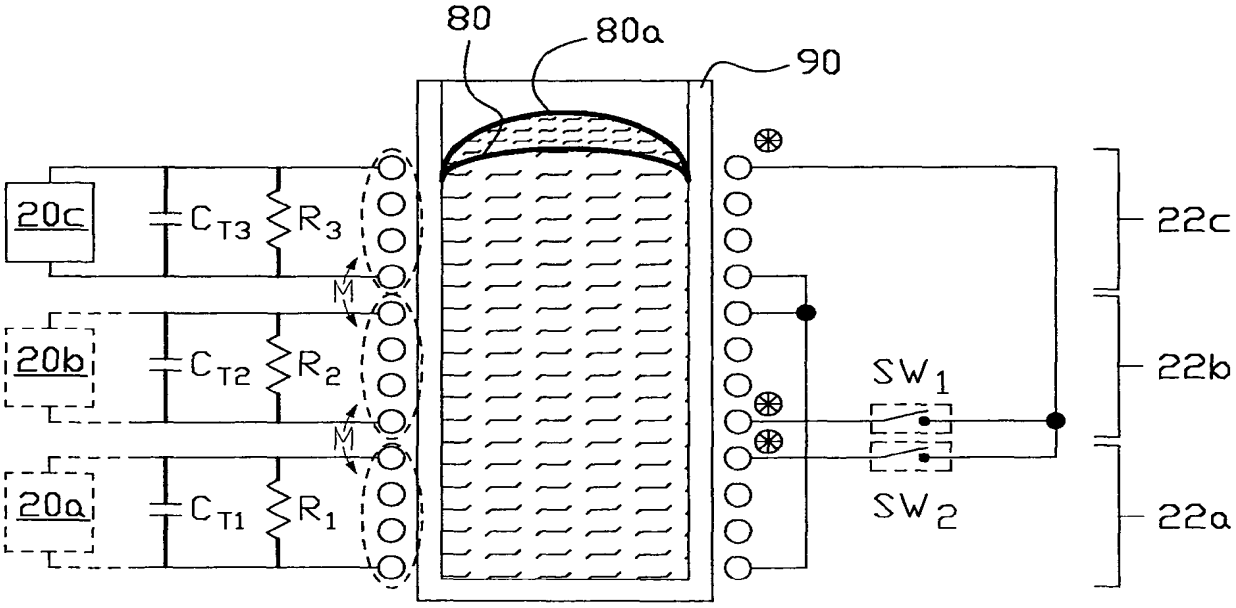


FIG. 11(b)

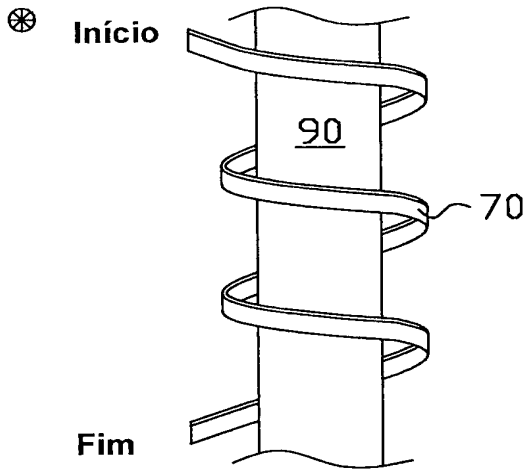


FIG. 12(a)

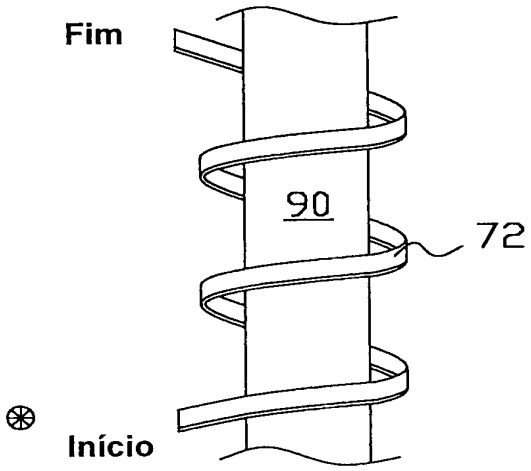


FIG. 12(b)

RESUMO

"FONTE DE ALIMENTAÇÃO E MÉTODO PARA SUPRIMENTO DE POTÊNCIA PARA PELO MENOS UMA CARGA RESSONANTE DE RLC"

Um inversor alimentado por corrente com regulação do ciclo de operação de corrente de cc para a entrada do inversor é fornecido para aumentar a magnitude da potência de saída do inversor enquanto operando uma carga ressonante em freqüência ressonante. O período do ciclo de operação do regulador é sincronizado para o período da corrente de saída do inversor tal que há dois períodos reguladores para cada único período de corrente de saída do inversor. Regulação do ciclo de operação pode ser fornecida por um único pulso no regulador período, ou uma série de pulsos no regulador período. Magnitude de potência de saída maior do que aquela disponível no ciclo de operação completo pode ser fornecido operando o inversor fora de ressonância. Múltiplos inversores alimentados por corrente podem ser conectados à seções de bobina individual em torno de um cadinho e de forma seletiva interconectados para um modo de aquecimento e fusão, ou um modo de agitação.