



**IPI** INSTITUTO  
NACIONAL  
DA PROPRIEDADE  
INDUSTRIAL  
**Assinado  
Digitalmente**

**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**  
MINISTÉRIO DA ECONOMIA  
**INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**

CARTA PATENTE Nº BR 102014007746-4

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

**(21) Número do Depósito:** BR 102014007746-4

**(22) Data do Depósito:** 31/03/2014

**(43) Data da Publicação Nacional:** 15/08/2017

**(51) Classificação Internacional:** H02M 7/483; H02M 3/00.

**(30) Prioridade Unionista:** US 13/853,335 de 29/03/2013.

**(54) Título:** MÉTODO DE OPERAÇÃO DE UM CONVERSOR MULTINÍVEL DE CAPACITOR FLUTUANTE E SISTEMA CONVERSOR MULTINÍVEL

**(73) Titular:** GE ENERGY POWER CONVERSION TECHNOLOGY LTD, Empresa Britânica. Endereço: Boughton Road, Rugby, Warwickshire CV21 1BU, REINO UNIDO(GB)

**(72) Inventor:** STEFAN SCHROEDER; QINGYUN CHEN.

**Prazo de Validade:** 20 (vinte) anos contados a partir de 31/03/2014, observadas as condições legais

**Expedida em:** 23/02/2021

Assinado digitalmente por:

**Liane Elizabeth Caldeira Lage**

Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

## **“MÉTODO DE OPERAÇÃO DE UM CONVERSOR MULTINÍVEL DE CAPACITOR FLUTUANTE E SISTEMA CONVERSOR MULTINÍVEL”**

### **CAMPO DA INVENÇÃO**

[001] As realizações da invenção referem-se a conversores multinível e, mais especificamente, a um sistema método para equilíbrio de tensão em conversores multinível.

### **ANTECEDENTES DA INVENÇÃO**

[002] Conversores multinível são geralmente usados em aplicações industriais de alta potência, como sistemas de acionamento de velocidade variável (VSD) ou em aplicações de conversão de energia como um sistema de geração de potência solar (ou fotovoltaico), geradores de turbinas eólicas e sistemas de transmissão de corrente contínua de alta tensão (HVDC). Um exemplo de um conversor multinível é um conversor multinível de capacitor flutuante (FC). O conversor multinível de capacitor flutuante inclui vários capacitores chamados de capacitores flutuantes. Os capacitores flutuantes são carregados a vários níveis de tensão e ao alterar estados de comutação, os capacitores flutuantes e uma fonte cc são conectados de diferentes formas e produzem várias tensões de saída de fase a neutro.

[003] O equilíbrio de tensão de capacitores flutuantes é um desafio quando da operação do conversor multinível de capacitor flutuante. O desequilíbrio de tensão de capacitores flutuantes (isto é, tensões desiguais ao longo de capacitores flutuantes) pode sobrepular os capacitores e dispositivos de comutação e causar picos de sobretensão e subtensão durante a operação do conversor. O desequilíbrio de tensão de capacitores flutuantes também causa o aumento da distorção harmônica total (THD) da tensão de saída e pode fazer com que a malha de controle se torne instável.

[004] Uma das soluções conhecidas utilizadas para equilibrar tensões de capacitores flutuantes usa um conjunto de circuitos adicional

equilibrador. Entretanto, o conjunto de circuitos equilibrador adiciona custos, perdas, volume ao conversor multinível de capacitor flutuante e necessita também ser projetado cuidadosamente.

[005] Portanto, é desejável fornecer um método e um sistema que trate dos problemas acima mencionados.

### **DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO**

[006] De acordo com uma realização da presente invenção, um método de operação de um conversor multinível de capacitor flutuante que inclui um enlace de corrente contínua e uma pluralidade de condutores de fase, sendo que cada um tem uma pluralidade de capacitores flutuantes, é fornecido. O método inclui empregar estados redundantes para equilibrar tensões de capacitor flutuante ao carregar ou descarregar capacitores flutuantes. Empregar estados redundantes inclui obter uma corrente de carga do conversor multinível de capacitor flutuante e utilizar uma corrente de capacitor de um capacitor terminal de fase para determinar estados redundantes quando um valor de corrente de carga for inferior a um valor limite. Quando o valor de corrente de carga for superior ao valor limite, a direção de corrente de carga é utilizada para determinar estados redundantes.

[007] De acordo com outra realização da presente invenção, um sistema conversor multinível que compreende um conversor que inclui um enlace de corrente contínua e uma pluralidade de condutores de fase, sendo que cada um tem uma pluralidade de capacitores flutuantes e um controlador de conversor é fornecido. O controlador de conversor é configurado para empregar estados redundantes para equilibrar tensões de capacitor flutuante ao carregar ou descarregar a pluralidade de capacitores flutuantes. O controlador de conversor emprega estados redundantes ao utilizar uma corrente de capacitor de um capacitor terminal de fase para determinar estados redundantes quando um valor de corrente de carga for inferior a um valor limite, e utilizar a direção de corrente

de carga para determinar estados redundantes quando o valor de corrente de carga for superior ao valor limite.

#### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

[008] Esses e outros aspectos, características, e vantagens da presente invenção se tornarão melhor compreendidos quando a descrição detalhada a seguir for lida com referência aos desenhos que a acompanham, nos quais caracteres semelhantes representam peças semelhantes através de desenhos.

[009] A Figura 1 é um diagrama esquemático de um condutor de um conversor multinível de capacitor flutuante exemplificativo e a forma de onda de saída para uso de acordo com uma realização da presente técnica.

[010] A Figura 2 é um diagrama esquemático de um condutor de um outro conversor multinível de capacitor flutuante para uso de acordo com uma realização da presente técnica.

[011] A Figura 3 é um diagrama esquemático de um conversor de capacitor flutuante trifásico de cinco níveis para uso de acordo com uma realização da presente técnica.

[012] A Figura 4 é um diagrama de máquina de estados para controle de operação de um condutor de um conversor de capacitor flutuante de cinco níveis de acordo com uma realização da presente técnica.

[013] A Figura 5 é um diagrama de circuito de um condutor de um conversor multinível de capacitor flutuante com um capacitor terminal de fase para uso de acordo com uma realização da presente técnica.

[014] A Figura 6 é um diagrama de blocos que representa um método de operação de um conversor multinível de capacitor flutuante de acordo com uma realização da presente técnica.

#### **DESCRIÇÃO DE REALIZAÇÕES DA INVENÇÃO**

[015] A Figura 1 ilustra um esquema 10 de um condutor ou uma

fase de um conversor multinível de capacitor flutuante (FC) exemplificativo e a forma de onda de saída 12. Deveria ser notado que o esquema 10 é somente um exemplo do conversor multinível de capacitor flutuante, e outras variações de conversor multinível de capacitor flutuante tais como uma mostrada na Figura 2 estão bem dentro do escopo da presente técnica. Um condutor 14 do conversor multinível de capacitor flutuante inclui quatro dispositivos de comutação unidirecionais 16, 18, 20, e 22, dois dispositivos de comutação bidirecionais 24 e 26 e dois capacitores flutuantes 28 e 30. Em uma realização, dois capacitores 32 e 34 de enlace de corrente contínua (CC) são controlados para cada um ter uma tensão aproximadamente igual a  $V_{cc}/2$ , onde  $V_{cc}$  é a tensão de enlace CC total. Uma tensão de fase de saída  $V_{an}$  do condutor 14 é medida entre um ponto central ou ponto neutro 36 de um enlace CC 38 e um terminal de fase 40. Como mostrado na forma de onda de saída 12, a tensão de fase de saída  $V_{an}$  tem cinco níveis de tensão, sendo que são dois níveis de tensão positivos ( $V_{cc}/2$  e  $V_{cc}/4$ ), um nível de tensão zero (0) e dois níveis de tensão negativos ( $-V_{cc}/2$  e  $-V_{cc}/4$ ). Já que a tensão de fase de saída  $V_{an}$  tem cinco níveis, esse conversor é chamado de um conversor de cinco níveis. Deveria ser notado que nessa realização, uma tensão de saída linha a linha (isto é, uma tensão entre dois terminais de fase) terá nove níveis de tensão.

[016] No esquemático 10, se a tensão ao longo dos capacitores flutuantes 28 e 30 não for igual a  $V_{cc}/4$  então isso pode resultar em degraus de tensão desiguais na tensão de fase de saída. Geralmente, os dispositivos de comutação 18, 20 e 26 também são avaliados presumindo que a tensão ao longo dos capacitores flutuantes 28 e 30 é  $V_{cc}/4$ . Agora, quando a tensão ao longo do capacitor flutuante 28 ou 30 se torna superior a  $V_{cc}/4$ , os dispositivos de comutação 18, 20 e 26 podem também ver tensões superiores ao longo deles (isto é, eles serão sobrepujados). Desse modo, em uma realização da presente técnica um sistema e método de controle é revelado para equilibrar as tensões

ao longo dos capacitores flutuantes em um conversor multinível de capacitor flutuante.

[017] A Figura 2 ilustra um diagrama esquemático de um condutor ou uma fase 50 de outro conversor multinível de capacitor flutuante para uso de acordo com uma realização da presente técnica. Nessa realização, um condutor 50 do conversor multinível de capacitor flutuante inclui um enlace CC 52, capacitores flutuantes 54, dispositivos de comutação de cima 56 e dispositivos de comutação de baixo 58. Uma tensão de fase de saída medida no terminal de fase 59 terá cinco níveis de tensão, dois níveis de tensão positivos ( $V_{cc}/2$  e  $V_{cc}/4$ ), um nível de tensão zero (0) e dois níveis de tensão negativos ( $-V_{cc}/2$  e  $-V_{cc}/4$ ) obtidos com várias combinações de comutação de dispositivos de comutação do topo e de baixo 56 e 58 respectivamente.

[018] A Figura 3 ilustra um esquema de um conversor de cinco níveis de capacitor flutuante trifásico 60 para uso de acordo com uma realização da presente técnica. Em geral, o conversor 60 é uma representação trifásica do conversor mostrado na Figura 1. O conversor 60 inclui um enlace CC dividido 62 com um ponto neutro 64 e capacitores 66 e 68 e três condutores de comutação 70, 72, e 74 com três terminais de fase 76, 78, e 80 respectivamente (para as fases a, b, e c). Uma carga trifásica 82 é conectada ao longo dos terminais de saída trifásicos 76, 78, e 80. Um controlador de conversor 84 fornece comandos de pulso de comutação aos dispositivos de comutação dos condutores de comutação 70, 72, e 74 com base em várias entradas (não mostradas) tais como uma tensão trifásica de referência, uma direção de corrente de fase, uma tensão de enlace CC e tensões de capacitor flutuante, por exemplo. Em uma realização, o termo “controlador” refere-se a qualquer combinação de elementos de software e hardware, ou qualquer sistema, processo ou funcionalidade que execute ou facilite os processos descritos no presente documento. Como descrito acima, as tensões de fase de saída nos terminais de fase 76, 78, e 80 terão cinco níveis, a

saber  $V_{cc}/2$ ,  $V_{cc}/4$ , 0,  $-V_{cc}/4$  e  $-V_{cc}/2$ .

[019] A Figura 4 ilustra um diagrama de máquina de estados 100 para controle da operação de um condutor 14 (Figura 1) do conversor de cinco níveis de capacitor flutuante de acordo com uma realização da presente técnica. Em uma realização, a máquina de estados 100 pode ser empregada pelo controlador de conversor 84. A máquina de estados 100 inclui dois estados de comutação 102 e 118 para os dois níveis de tensão de saída  $V_{cc}/2$  e  $-V_{cc}/2$  respectivamente. Além disso, existem dois estados de comutação cada (104, 106 e 114, 116) para os dois níveis de tensão de saída  $V_{cc}/4$  e  $-V_{cc}/4$ . Em outras palavras, os estados de comutação 104 e 106 são redundantes e qualquer um dos dois pode ser utilizado para obter o nível de tensão de saída  $V_{cc}/4$ . Similarmente, os estados de comutação 114 e 116 são redundantes e podem ser utilizados para obter o nível de tensão de saída  $-V_{cc}/4$ . Para o nível de tensão de saída zero (0) há três estados de comutação redundantes 108, 110 e 112. Em cada estado, os capacitores flutuantes 28 e 30 podem ser carregados, descarregados ou permanecerem inalterados em dependência a uma direção da corrente. Se o carregamento e descarregamento de capacitores flutuantes não é regulado apropriadamente, então isso resultará em tensões desequilibradas ao longo dos mesmos. O desequilíbrio de tensão de capacitores flutuantes pode sobrepujar os capacitores e dispositivos de comutação e um aumento na distorção harmônica total (THD) de tensão de saída e pode fazer com que a malha de controle se torne instável. Em uma realização, a seleção de estados de comutação redundantes depende de carregar o capacitor flutuante ou descarregar o capacitor flutuante.

[020] Em outra realização, para um dado estado de comutação, se o estado de carga de capacitor flutuante permanece inalterado, então os outros estados de comutação redundantes para aquele nível de tensão não são considerados. Por exemplo, para o nível de tensão de saída zero, somente o estado 108 precisa ser utilizado como estado 108 nem carrega nem descarrega os

capacitores flutuantes.

[021] Os estados de comutação que correspondem à tensão de saída positiva, negativa e zero da máquina de estados 100 e posições de comutação relacionadas dos dispositivos de comutação no condutor 114 são dados abaixo na Tabela 1. A Tabela 1 fornece também informações sobre se os capacitores flutuantes 28, 30 (Figura 1) serão carregados (+), descarregados (-) ou permanecerão inalterados (\*) para um dado estado de comutação quando uma corrente de fase flui para fora do conversor (isto é, a corrente de fase saindo do terminal de fase 40). Quando a direção de corrente de fase for oposta (isto é, a corrente de fase flui para dentro do conversor ou do terminal de fase 40), então o estado de carregamento ou descarregamento do capacitor se reverte. Em outras palavras, quando a direção de corrente de fase se reverte, o capacitor que está sendo carregado começa a descarregar, o capacitor que está sendo descarregado começa a carregar e esse capacitor que permanecia inalterado, permanece inalterado. Em uma realização da presente técnica, a corrente de fase pode ser uma corrente de carga do conversor se essa exceder um valor limite, ou a corrente de fase pode ser uma corrente de carregamento de capacitor terminal de fase se essa não exceder os valores limite, como será descrito subsequentemente. Para o nível de tensão de saída zero, somente um estado de comutação 108 que nem carrega nem descarrega os capacitores flutuantes é mostrado.

**TABELA 1**

Estado de Comutação	Dispositivo de Comutação (S.D.) 16	S. D. 18	S. D. 20	S. D. 22	S. D. 24	S. D. 26	Tensão de Saída	Cap 28	Cap 30
102	ATIV	ATIV	DESATIV	DESATIV	DESATIV	DESATIV	+Vcc/2	*	*
104	ATIV	DESATIV	DESATIV	DESATIV	DESATIV	ATIV	+Vcc/4	+	*
106	DESATIV	ATIV	DESATIV	DESATIV	ATIV	DESATIV	+Vcc/4	-	*
108	DESATIV	DESATIV	DESATIV	DESATIV	ATIV	ATIV	zero	*	*
114	DESATIV	DESATIV	ATIV	DESATIV	ATIV	DESATIV	-Vcc/4	*	+
116	DESATIV	DESATIV	DESATIV	ATIV	DESATIV	ATIV	-Vcc/4	*	-
118	DESATIV	DESATIV	ATIV	ATIV	DESATIV	DESATIV	-Vcc/2	*	*



[022] Como pode ser visto pela Tabela 1, para uma corrente de fase direcionada para fora, 2 estados de comutação redundantes cada para níveis de tensão de saída  $+V_{cc}/4$  e  $-V_{cc}/4$  podem ser utilizados seguindo os requerimentos de carregamento ou descarregamento dos capacitores flutuantes. Para o nível de tensão de saída zero, somente um estado de comutação (108) é utilizado já que isso não resulta em qualquer carregamento ou descarregamento de capacitores flutuantes. Entretanto, em outra realização, outros estados de comutação redundantes para o nível de tensão zero podem também ser empregados para alcançar requerimentos de carregamento e descarregamento dos capacitores flutuantes. Como discutido acima, para corrente de fase de entrada, carregamento e descarregamento de capacitores flutuantes meramente reverte. Durante a operação normal, isto é, quando a corrente de fase for a corrente de carga, estados de comutação redundantes são utilizados para equilibrar as tensões de capacitor flutuante com a ajuda da corrente de carga. Entretanto, quando não há carga ou há baixa carga no conversor, utilizar a corrente de carga para carregar ou descarregar os capacitores flutuantes, e assim, para equilibrar as tensões de capacitor flutuante, é um desafio. De acordo com uma realização da presente técnica, um sistema de controle que utiliza uma corrente em um capacitor terminal de fase (por exemplo, capacitor filtro ou capacitância parasita nos terminais de saída do conversor) é utilizado para equilibrar tensões de capacitor flutuante em condições sem carga ou de baixa carga.

[023] A Figura 5 mostra um diagrama de circuito 140 de um condutor de um conversor multinível de capacitor flutuante com um capacitor terminal de fase 144. Em uma realização, o capacitor terminal de fase 144 pode ser parte de um filtro de saída 146 que também inclui um resistor 142 e um indutor 143. Em outra realização, um capacitor dedicado ou adicional pode também ser adicionado no terminal de fase. Em ainda outra realização, o

capacitor terminal de fase 144 pode não ser um componente separado anexado ao conversor, ao invés disso pode simplesmente ser um capacitor formado devido a sua capacitância parasita no terminal de fase, por exemplo, capacitâncias do cabo anexo ou os enrolamentos de motor. Em outras palavras, o capacitor terminal de fase 144 pode ser definido tanto como um capacitor filtro, um capacitor adicional ou uma capacitância parasita formada nos terminais de fase do conversor. De acordo com uma realização da presente técnica, a corrente de carregamento ou descarregamento de capacitor terminal de fase 144 é utilizada para determinar estados de comutação apropriados na Tabela 1 para equilibrar tensões de capacitor flutuante durante condições de baixa carga ou nenhuma carga.

[024] Em geral, uma constante de tempo de capacitor terminal de fase 144 é muito menos que o período de portador. A constante de tempo refere-se a um tempo levado por um capacitor para carregar a 63% de uma tensão de degrau e o período de portador refere-se a um período de tempo de um ciclo de comutação (isto é, período de portador =  $1/\text{frequência de comutação}$ ). Desse modo, o capacitor terminal de fase 144 pode carregar ou descarregar com um ciclo de comutação. Em uma realização da presente técnica, essa corrente de carregamento e descarregamento de capacitor terminal de fase 144 é utilizada para determinar estados redundantes para equilibrar as tensões de capacitor flutuante durante correntes com baixa carga ou sem carga.

[025] Uma carga  $Q$  necessária para o capacitor terminal de fase 144 para atingir um nível de  $V_{\text{degrau}}$  é dado por  $Q = V_{\text{degrau}} \times C_s$ , onde  $V_{\text{degrau}}$  é uma tensão de degrau aplicada ao longo do filtro 146 em volts e  $C_s$  refere-se ao valor de capacitância do capacitor 144 em Farads. A carga  $Q$  é medida em Coulombs e o sinal da carga  $Q$  depende do sinal  $V_{\text{degrau}}$ , isto é, se a tensão  $V_{\text{degrau}}$  está indo para cima ou para baixo. Além disso, o valor de  $V_{\text{degrau}}$  depende da tensão no terminal de fase 40 do conversor. O valor de  $V_{\text{degrau}}$ , e

se essa está indo para cima ou para baixo é conhecido por um controlador 148 que determina os estados de comutação para o conversor. Em outras palavras, o controlador 148 determina a tensão esperada no terminal de fase do conversor multinível a partir de um valor de referência de tensão que esse recebe como uma entrada e então com base na tensão esperada, determina a direção da corrente de fase. Finalmente, o controlador 148 utiliza a direção da corrente de fase para decidir o estado de comutação redundante que equilibrará as tensões de capacitor flutuante.

[026] Um desvio de tensão  $\Delta V_{fc}$  de um capacitor flutuante  $C_{fc}$  em relação ao capacitor terminal de fase  $C_s$  será dado pela seguinte equação:

$$\Delta V_{fc} = C_s * \Delta V_{fase} / C_{fc} \quad (1)$$

[027] Em outras palavras, o desvio de tensão  $\Delta V_{fc}$  do capacitor flutuante  $C_{fc}$  é diretamente proporcional ao valor de capacitância do capacitor terminal de fase 144 e o desvio em uma tensão de fase de saída  $V_{fase}$  (ou  $V_{degrau}$ ), ao mesmo tempo que é inversamente proporcional ao valor de capacitância do capacitor flutuante  $C_{fc}$ . Desse modo, quanto maior o valor de capacitância do capacitor flutuante, menor o desvio de tensão  $\Delta V_{fc}$  do capacitor flutuante  $C_{fc}$ .

[028] Como exemplo, presuma que a tensão  $V_{fase}$  no terminal de fase 40 do conversor é de 0 volts. Desse modo, o capacitor terminal de fase 144 é também carregado a 0 volts. Agora, se a tensão de fase esperada  $V_{fase}$  é para ser mudada de 0 para  $V_{cc}/4$  de acordo com o requerimento de tensão de referência do conversor, então à nenhuma carga ou baixa cara, o capacitor terminal de fase 144 necessita carregar de forma que possa alcançar o nível de tensão de  $V_{cc}/4$ . Desse modo, o controlador 148 determina que, já que o capacitor terminal de fase 144 necessita carregar, a corrente no terminal de fase 40 pode fluir para fora do conversor. Agora, a partir da Tabela 1, é sabido que para uma corrente de fase direcionada para fora e para o nível de tensão  $V_{cc}/4$ ,

há dois estados de comutação redundantes 104 e 106. Entretanto, a partir da Tabela 1, também é sabido que o estado 104 resulta no carregamento do capacitor flutuante 28, ao mesmo tempo que o estado 106 resulta no descarregamento do capacitor flutuante 28. Desse modo, se um sensor de tensão de capacitor flutuante (não mostrado) detectar que o capacitor flutuante 28 está sobrecarregado, então o estado de comutação 106 será selecionado pelo controlador 148, de outra forma o estado de comutação 104 será selecionado.

[029] Como discutido acima, a presente técnica utiliza uma direção de corrente de carga durante condições normais e uma direção de corrente do capacitor terminal de fase durante correntes sem carga ou de baixa carga para decidir entre estados de comutação redundantes para equilibrar as tensões de capacitor flutuante. Em uma realização, um valor limite de corrente é utilizado para diferenciar entre a condição normal e a condição de corrente sem carga ou de baixa carga. Em uma realização, o valor limite de corrente é decidido ao equiparar a carga  $Q$  do capacitor terminal de fase 144, que é dado por  $V_{\text{degrau}} \cdot C_s$ , com uma carga  $Q_{\text{carga}}$ , que pode ser gerada pelo corrente limite de carga  $I_{\text{limite}}$ . A carga  $Q_{\text{carga}}$  da corrente limite de carga  $I_{\text{limite}}$  pode ser dada como  $Q_{\text{carga}} = I_{\text{limite}} \cdot d / f_c$ , onde  $f_c$  é uma frequência de comutação e  $d$  é um ciclo de trabalho. O valor de  $d$  pode ser um valor efetivo ou um valor médio ou um valor determinado por um operador. Agora, equacionar  $Q_{\text{carga}}$  e  $Q$  fornece:

$$I_{\text{limite}} \cdot d / f_c = V_{\text{degrau}} \cdot C_s \quad (2)$$

$$I_{\text{limite}} = V_{\text{degrau}} \cdot C_s \cdot f_c / d \quad (3)$$

[030] Desse modo, o valor limite de corrente depende de um valor de capacitância de terminal de fase, da tensão no terminal de fase do conversor e da frequência de comutação e ciclo de trabalho do conversor multinível de capacitor flutuante. Em uma realização, a corrente de carga é comparada contra esse valor limite de corrente e, quando a corrente de carga for inferior ao valor

limite de corrente, estados de comutação redundantes são determinados com base na direção de corrente do capacitor terminal de fase. Os desvios das equações acima presumem que os cabos de retorno de todos os capacitores são conectados ao enlace cc e, conseqüentemente, que o degrau de tensão total de um inversor de fase é transferida a seu capacitor respectivo. Se os cabos de retorno de cada capacitor são conectados um com o outro mas não são conectados ao enlace cc, então somente uma fração da tensão total de inversor de fase é aplicada ao capacitor respectivo, por exemplo  $2/3$  no caso de um sistema trifásico. Esse fator deve ser incorporado nas equações (2) e (3) em tal configuração.

[031] A Figura 6 mostra um método 160 de operação de um conversor multinível de capacitor flutuante de acordo com uma realização da presente técnica. Na etapa 168, o método inclui empregar estados de comutação redundantes de forma a equilibrar tensões de capacitor flutuante ao carregar ou descarregar capacitores flutuantes. Em uma realização, estados de comutação redundantes para um dado nível de tensão referem-se aos estados de comutação que podem ser empregados no lugar um do outro já que resultam no mesmo nível de tensão. Etapas 162 a 166 referem-se a etapas que podem estar envolvidas no emprego dos estados de comutação redundantes. Por exemplo, empregar estados de comutação inclui medir uma corrente de carga de um conversor multinível de capacitor flutuante na etapa 162. Na etapa 164, um valor de corrente de carga é comparado contra um valor limite e se o valor de corrente de carga for inferior ao valor limite então uma corrente de capacitor de um capacitor terminal de fase é utilizada para determinar estados de comutação redundantes. Em uma realização, o capacitor terminal de fase pode ser um capacitor filtro ou, em outra realização, o capacitor terminal de fase pode ser uma capacitância parasita. Em outra realização, o valor limite de corrente depende de parâmetros que incluem o valor do capacitor terminal de fase, a frequência de

comutação, o ciclo de trabalho e a tensão no terminal de fase do conversor. A utilização da corrente de capacitor de terminal de fase compreende primeiro determinar a direção de corrente do capacitor terminal de fase, com base em uma transição de tensão esperada em um terminal de fase do conversor. Em uma realização, se for esperado que a tensão no terminal de fase do conversor vá de alta a baixa, então a direção de corrente do capacitor terminal de fase é marcada como fluindo para dentro do terminal de fase, em outra situação a direção de corrente do capacitor terminal de fase é marcada como fluindo para fora do terminal de fase. Na etapa 166, o método 160 inclui utilizar uma direção de corrente de carga para determinar estados de comutação redundantes caso o valor de corrente de carga esteja acima do valor limite.

[032] O exemplo mencionado acima ou parte das etapas de método e exemplo mencionados acima podem ser implantados por um código de programa de computador adequado em um sistema baseado em processador, como um computador de aplicação geral ou aplicação especial. O código de programa de computador pode ser armazenado ou adaptado para armazenamento em uma ou mais mídias tangíveis, legíveis por máquina, como chips de memória, discos rígidos locais ou remotos, discos ópticos (isto é, CDs ou DVDs), ou outras mídias, que possam ser acessadas pelo sistema baseado em processador para executar o código armazenado.

[033] Embora somente alguns recursos da invenção tenham sido ilustrados e descritos no presente documento, muitas modificações e mudanças podem ocorrer àqueles técnicos no assunto. Deve-se, portanto, entender que as reivindicações anexas se destinam a cobrir todas as tais modificações e mudanças conforme se enquadrem no escopo da invenção.

### **REIVINDICAÇÕES**

1. MÉTODO (160) DE OPERAÇÃO DE UM CONVERSOR MULTINÍVEL DE CAPACITOR FLUTUANTE (60) que inclui um enlace de corrente contínua (62) e uma pluralidade de condutores de fase (14, 50, 70, 72, 74), sendo que cada um tem uma pluralidade de capacitores flutuantes (28, 30, 54), um terminal de fase (40, 76, 78, 80) e um capacitor terminal de fase (144), sendo o método caracterizado por compreender as etapas de:

a) empregar estados redundantes para equilibrar tensões de capacitor flutuante ao carregar ou descarregar capacitores flutuantes, sendo que empregar estados redundantes inclui as etapas de:

a1) obter (162) uma corrente de carga do conversor multinível de capacitor flutuante (60);

a2) utilizar (164) uma corrente de capacitor do capacitor terminal de fase (144) para determinar estados redundantes quando um valor de corrente de carga for inferior a um valor limite; e

a3) utilizar (166) uma direção de corrente de carga para determinar estados redundantes quando o valor de corrente de carga for superior ao valor limite,

em que a etapa de utilizar (164) a corrente de capacitor do capacitor terminal de fase (144) compreende determinar uma direção de corrente do capacitor terminal de fase (144) com base em uma transição de tensão esperada no terminal de fase (40, 76, 78, 80) do conversor multinível de capacitor flutuante (60).

2. MÉTODO (160), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo valor limite ser determinado com base em parâmetros que incluem um valor de capacitância do capacitor terminal de fase (144), uma mudança de tensão em um terminal de fase (40, 76, 78, 80) do conversor multinível de capacitor flutuante (60), e a frequência de comutação e ciclo de

trabalho do conversor multinível de capacitor flutuante (60).

3. MÉTODO (160), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo valor limite ser determinado ao equiparar uma carga do capacitor terminal de fase (144) com uma carga gerada por uma corrente de carga.

4. MÉTODO (160), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela etapa de determinar a direção de corrente do capacitor terminal de fase (144) incluir marcar a direção de corrente do capacitor terminal de fase (144) como fluindo para dentro do terminal de fase (40, 76, 78, 80) caso a transição de tensão esperada seja de alta para baixa.

5. MÉTODO (160), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 4, caracterizado pela etapa de determinar a direção de corrente do capacitor terminal de fase (144) incluir marcar a direção de corrente do capacitor terminal de fase (144) como fluindo para fora do terminal de fase (40, 76, 78, 80), caso a transição de tensão esperada seja de baixa para alta.

6. MÉTODO (160), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 4 ou 5, caracterizado pela transição de tensão esperada em um terminal de fase (40, 76, 78, 80) do conversor multinível de capacitor flutuante (60) ser determinada com base em um valor de referência de tensão.

7. MÉTODO (160), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado por os estados de comutação redundantes incluírem pelo menos dois estados de comutação que geram tensões iguais.

8. MÉTODO (160), de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pela determinação do estado redundante ser decidida com base em requerimento de carregamento ou descarregamento do capacitor flutuante.

9. MÉTODO (160), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado por uma constante de tempo do capacitor terminal de fase (144) ser menor que um período de portador.



10. MÉTODO (160), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo capacitor terminal de fase (144) carregar ou descarregar dentro de um ciclo de comutação.

11. SISTEMA CONVERSOR MULTINÍVEL, caracterizado por compreender:

- um conversor (60) que inclui um enlace de corrente contínua (62), uma pluralidade de condutores de fase (14, 50, 70, 72, 74) sendo que cada um tem pluralidade de capacitores flutuantes (28, 30, 54), um terminal de fase (40, 76, 78, 80) e um capacitor terminal de fase (144); e

- um controlador de conversor (148) configurado para:

- empregar estados redundantes para equilibrar tensões de capacitor flutuante ao carregar e descarregar a pluralidade de capacitores flutuantes (28, 30, 54), em que o controlador emprega estados redundantes ao:

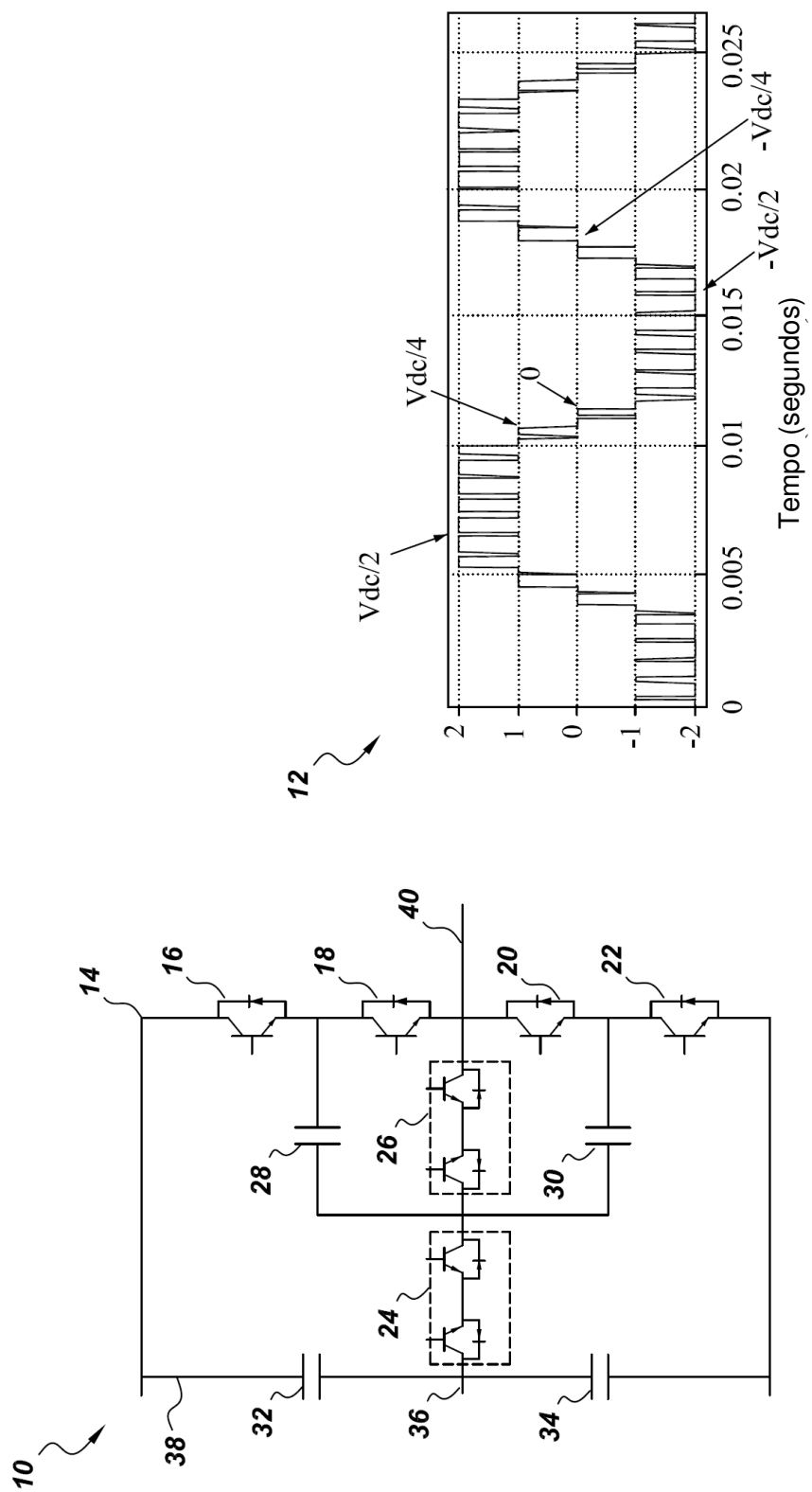
- utilizar uma corrente de capacitor do capacitor terminal de fase (144) para determinar estados redundantes quando um valor de corrente de carga do conversor (60) for inferior a um valor limite; e

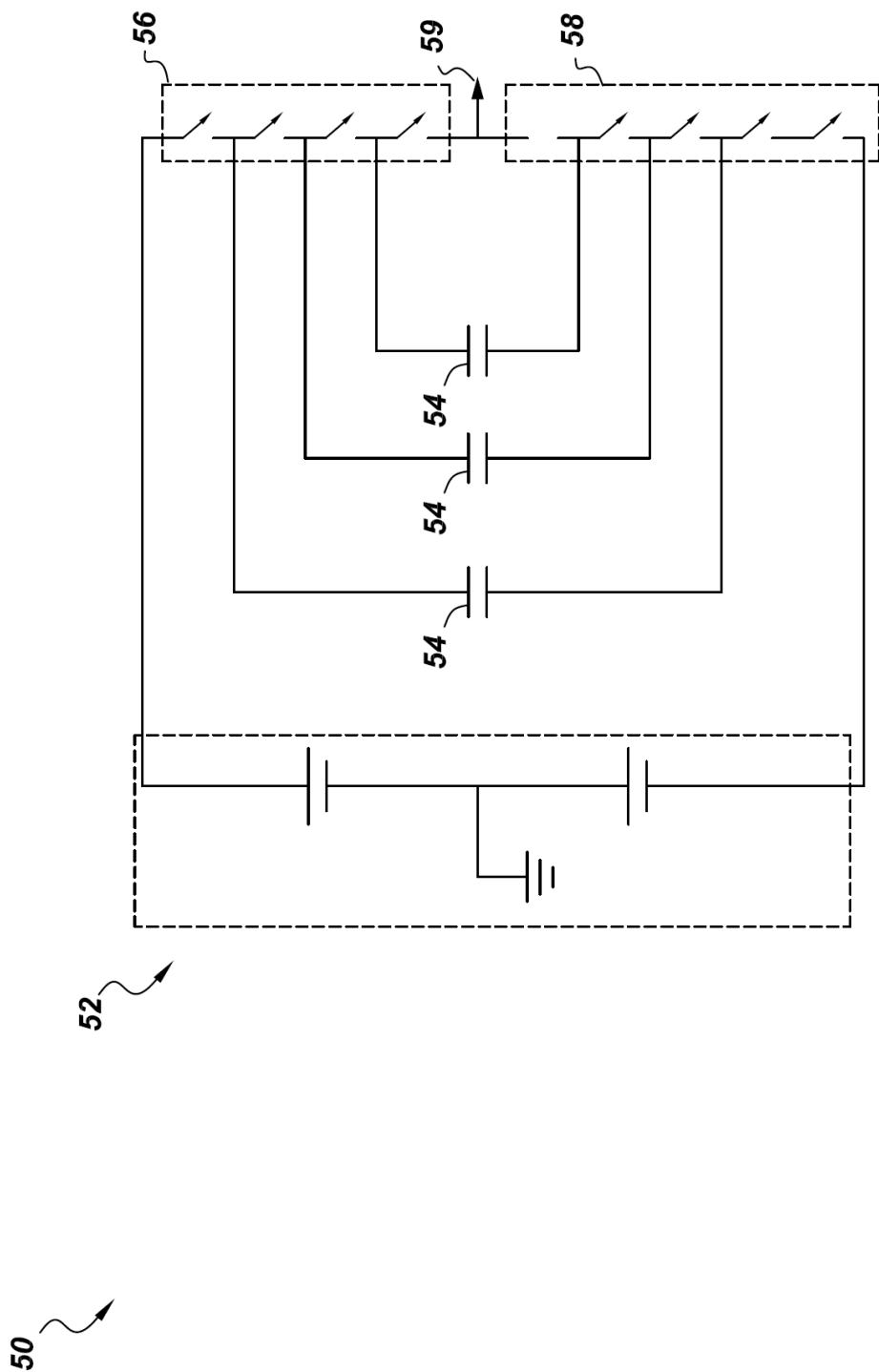
- utilizar uma direção de corrente de carga para determinar estados redundantes quando o valor de corrente de carga for superior ao valor limite,

- em que o controlador de conversor (148) é configurado para utilizar a corrente de capacitor do capacitor terminal de fase (144) ao determinar uma direção de corrente do capacitor terminal de fase com base em uma transição de tensão esperada em um terminal de fase (40, 76, 78, 80) do conversor (60).

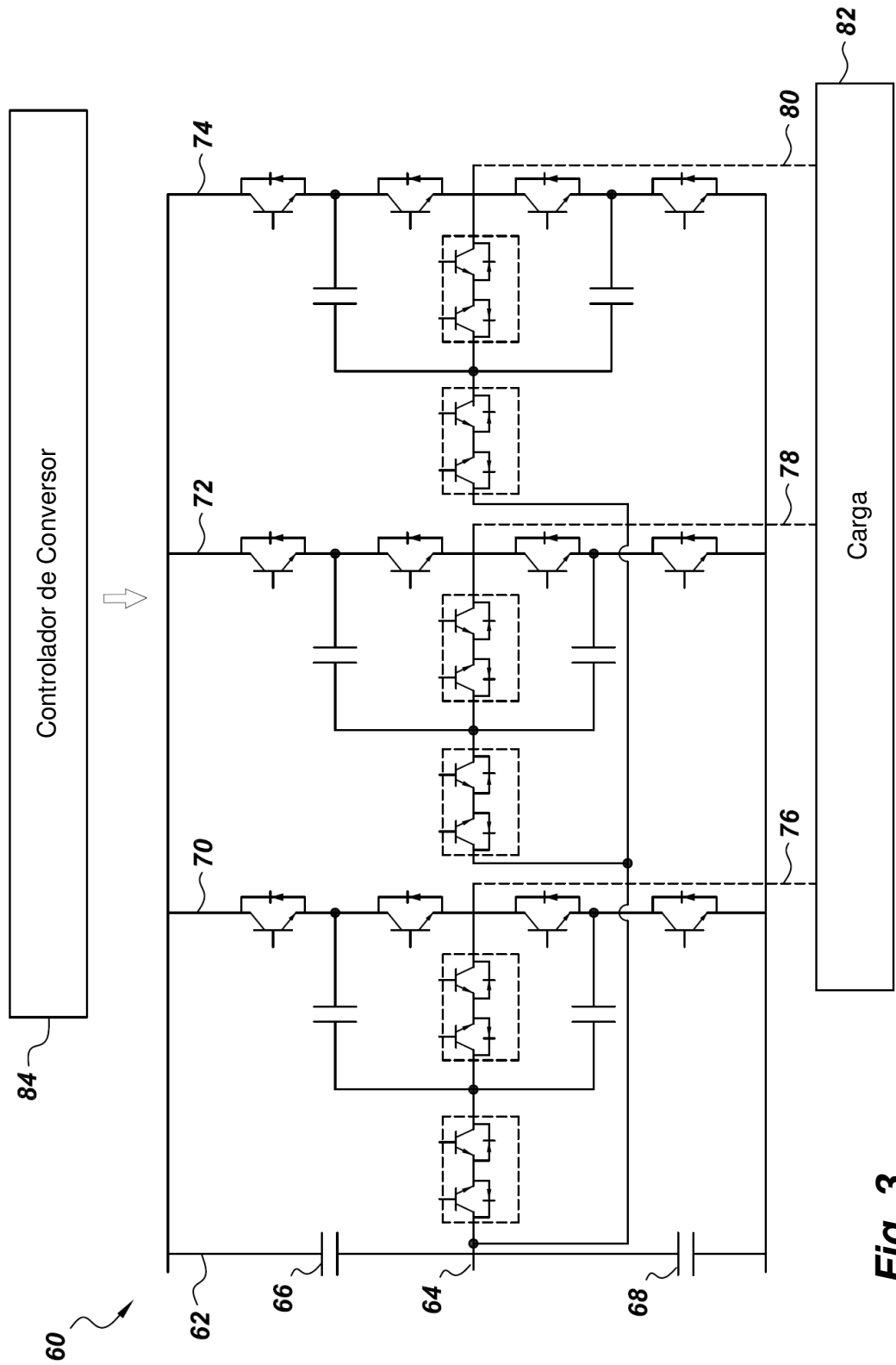
12. SISTEMA CONVERSOR MULTINÍVEL, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo capacitor terminal de fase (144) compreender um capacitor filtro ou uma capacitância parasita de terminal de fase.

13. SISTEMA CONVERSOR MULTINÍVEL, de acordo com qualquer uma das reivindicações 11 ou 12, caracterizado pelo controlador (148) ser configurado para determinar o estado redundante com base em requerimentos de carregamento ou descarregamento do capacitor flutuante (28, 30, 54).

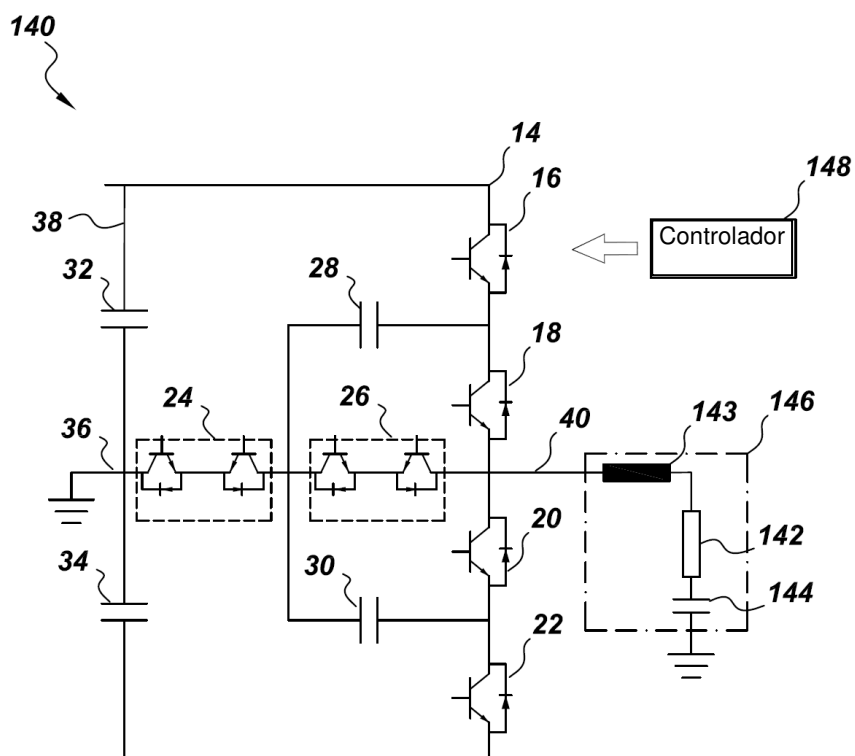
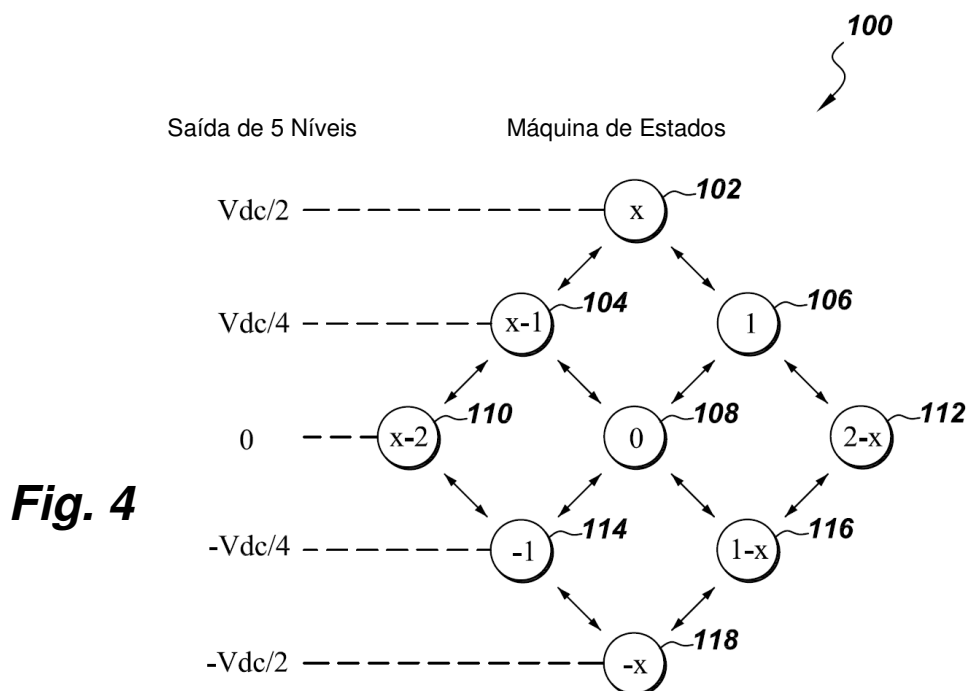
**Fig. 1**

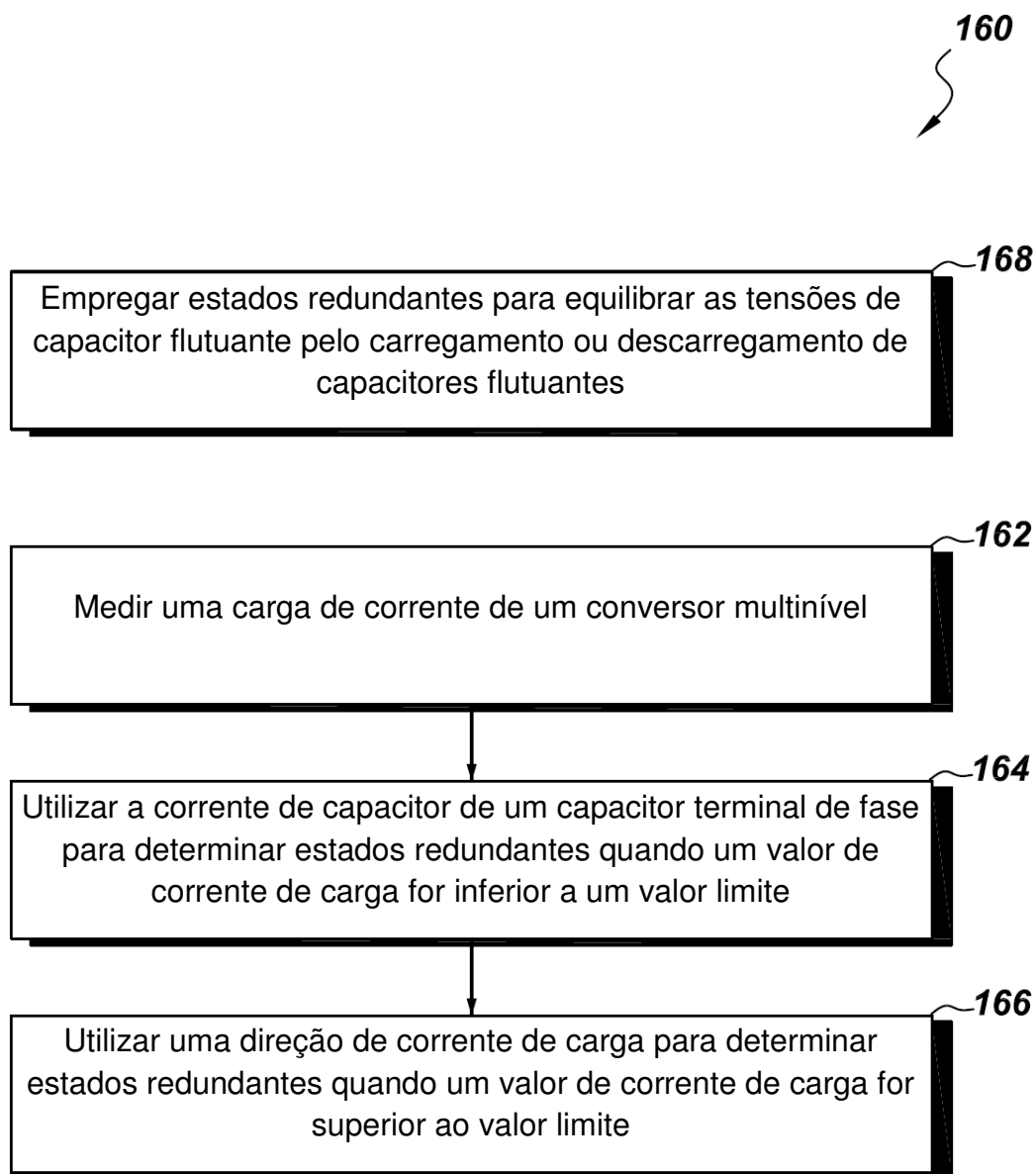


**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 6**