

CONVERSOR DE ENERGIA MULTINÍVEL, E, SISTEMA DE
CONVERSÃO DE ENERGIA

HISTÓRICO

[001] Os conversores de energia são utilizados para converter energia elétrica entrada de uma forma, para outra para acionar uma carga. Uma forma de sistema de conversão de energia é um acionamento de motor, que pode ser empregado para operação em velocidade variável de uma carga de motor elétrico. Para aplicações que requerem tensões de saída muito altas, as chamadas arquiteturas de fonte de tensão multinível têm sido desenvolvidas, incluindo projetos de capacitor flutuante, projetos de ponto neutro grampeado (NPC), bem como tipologias em cascata e híbridas. Os projetos de NPC incluem um par de capacitores conectados entre uma entrada CC provendo um nó neutro, com cada capacitor sendo carregado até metade do valor de entrada CC. Uma série de chaves é conectada em todo o barramento CC, com um par de diodos conectando nós de comutação intermediários ao ponto neutro. O conversor NPC vantajosamente provê uma estrutura de circuito relativamente simples, mas o aumento do número de níveis de saída em um conversor NPC aumenta as perdas por comutação e condução de diodo e leva a um maior fluxo de corrente de recuperação reversa. Além disso, os conversores NPC de alto nível de saída sofrem da distribuição desigual das perdas dos dispositivos de comutação, limitando, assim, a potência máxima nominal, a corrente de saída e a frequência de comutação para um determinado tipo de comutador. Além disso, o número de diodos de grampo aumenta substancialmente à medida que o número de níveis de saída aumenta. Os projetos de capacitor flutuante utilizam um ou mais capacitores que

são seletivamente interconectados para prover a tensão de saída. Este tipo de conversor multinível, entretanto, sofre da necessidade de altas frequências de comutação para manter os capacitores adequadamente equilibrados, e as tensões nos capacitores flutuantes devem ser inicializadas. As topologias de ponte H em cascata (CHB) podem ser utilizadas para atingir níveis de tensão de saída significativamente altos e altas potências nominais de saída, enquanto se permite o uso de frequências de comutação relativamente baixas e componentes de baixa tensão. Entretanto, os projetos de CHB necessitam de um número significativamente mais alto de componentes para atingir a operação regenerativa, e um conversor de CHB tipicamente requer um transformador de deslocamento de fase, levando a um custo mais elevado. Além disso, a abordagem de CHB requer um grande número de fontes CC isoladas. Portanto, permanece uma necessidade de projetos de conversores e sistemas de energia multinível melhorados capazes de prover capacidade de saída de inversor multinível para acionar a carga em velocidades e torques variáveis.

SUMÁRIO

[002] Diversos aspectos da presente revelação são agora resumidos para facilitar um entendimento básico da revelação, em que este sumário não é uma visão geral extensa da revelação, e se não se destina nem a identificar certos elementos da revelação, nem a delinear o escopo da mesma. Em vez disso, o propósito principal deste sumário é apresentar diversos conceitos da revelação em uma forma simplificada antes da descrição mais detalhada que é apresentada a seguir.

[003] A presente revelação provê estágios de conversor de energia multinível, bem como sistemas de

conversão de energia que empregam dois ou mais tais conversores multinível conectados em uma variedade de configurações. O conversor de energia multinível inclui um circuito de inversor tipo NPC aninhado em um circuito de capacitor comutado para formar um conversor de energia NPC aninhado (NNPC), com um controlador que opera as chaves do circuito de inversor e de capacitor comutado para prover uma tensão de saída multinível. O controlador em certas realizações emprega a escolha seletiva de estados redundantes para controlar a carga e a descarga dos capacitores comutados para atingir um valor de tensão de capacitor alvo predeterminado. Em certas implementações, o controle de comutação e a regulação de tensão do capacitor vantajosamente garantem tensões de capacitor menores que metade do valor de tensão de entrada CC, e facilitam a provisão da tensão de saída do conversor em um dentre múltiplos níveis distintos de degraus espaçados de maneira substancialmente igual, equilibrando, assim, a tensão vista pelos dispositivos de comutação individuais.

[004] Em certas realizações, o circuito de inversor inclui duas ou mais chaves de inversor conectadas em série entre nós de entrada do circuito de inversor, com um nó de saída de inversor conectando dois dos dispositivos de comutação de inversor. O inversor adicionalmente inclui um circuito de grampo com primeiro e segundo elementos de grampo, tal como chaves ou diodos de grampo, conectados em série entre primeiro e segundo nós internos do circuito de comutação de inversor, com um terceiro nó interno unindo os primeiro e segundo elementos de grampo. O circuito de capacitor comutado em certas implementações inclui duas ou

mais chaves individualmente conectadas entre um dos nós de entrada do circuito de inversor e uma entrada CC correspondente, bem como primeiro e segundo capacitores, individualmente conectados entre o nó de entrada de circuito de inversor correspondente e o terceiro nó interno. O controlador provê sinais de controle de comutação às chaves do inversor e aos dispositivos de comutação de circuito de capacitor comutado para prover saída multinível no nó de saída do inversor e para controlar o carregamento e o descarregamento dos primeiro e segundo capacitores. Diversas implementações são possíveis, tal como quatro ou mais níveis de tensão de saída linha-para-neutro distintos. Certas implementações provêm circuitos de capacitor comutado em cascata, incluindo múltiplos conjuntos de dois capacitores flutuantes e dispositivos de comutação associados para maiores números de possíveis níveis de saída.

[005] De acordo com aspectos adicionais da revelação, são providos sistemas de conversão de energia, que incluem dois ou mais estágios ou módulos de conversor NPC. Em certas realizações, as entradas CC de dois módulos NNPC são conectadas entre si, com a saída de inversor do primeiro estágio de conversor conectada a um nó neutro do sistema, e a saída de inversor do segundo estágio provendo uma saída CA para o sistema. Desta maneira, uma configuração em ponte H NNPC pode ser atingida, e duas ou mais tais configurações podem ser conectadas em cascata ou em série para atingir uma variedade de níveis de energia de saída e tensões de saída. Além disso, os sistemas de conversão de energia podem ser construídos utilizando múltiplos conjuntos de tais módulos ou grupos dos mesmos para prover as saídas multifásicas para

acionar uma carga. Nestes sistemas multiestágio, além disso, o controle de comutação pode ser provido para selecionar dentre diversos estados de comutação geral redundantes para atingir o controle sobre a carga e a descarga dos capacitores comutados individuais, e pode facilitar o equilíbrio de tensões vistas por dispositivos de comutação individuais e vantajosamente prover tensões de saída em qualquer número adequado de níveis de degrau espaçados de maneira substancialmente igual.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[006] A seguinte descrição e os desenhos estabelecem certas implementações ilustrativas da revelação em detalhes, que são indicativas de diversas maneiras exemplares nas quais os diversos princípios da revelação podem ser realizados. Os exemplos ilustrados, entretanto, não são exaustivos das muitas possíveis realizações da revelação. Outros objetos, vantagens e funcionalidades inovadoras da revelação serão estabelecidos na seguinte descrição detalhada quando considerada em conjunto com os desenhos, nos quais:

[007] A Figura 1 é um diagrama esquemático ilustrando um conversor de energia multinível grampeado de ponto neutro (NNPC) incluindo um circuito de inversor e um circuito de capacitor comutado com um controlador utilizando seleção de estado de chave redundante para controlar a carga e a descarga dos primeiro e segundo capacitores flutuantes para prover tensão de saída multinível e para regular os capacitores flutuantes a um terço do nível de tensão de entrada CC de acordo com um ou mais aspectos da presente revelação;

[008] A Figura 2 é um diagrama parcial

esquemático ilustrando um conjunto exemplar de estados de comutação para o conversor de energia NNPC da Figura 1 para prover uma saída de tensão de quatro níveis com degraus espaçados de maneira substancialmente igual;

[009] A Figura 3 é um diagrama esquemático ilustrando três conversores de energia NNPC e fontes CC associadas para prover uma saída de tensão trifásica para acionar uma carga do motor;

[010] A Figura 4 é um gráfico mostrando uma forma de onda de saída de tensão de linha-para-neutro de quatro níveis para o conversor de energia NNPC das Figuras 1 e 2;

[011] A Figura 5 é um gráfico ilustrando uma forma de onda de saída de tensão de linha-a-linha de sete níveis para a implementação acionamento de motor trifásico das Figura 3;

[012] A Figura 6 é um gráfico ilustrando uma implementação de modulação de largura de pulso de nível deslocado exemplar no controlador de conversor de energia NNPC das Figuras 1 e 2;

[013] A Figura 7 é um gráfico ilustrando uma técnica de modulação de vetor de espaço exemplar para prover sinais de controle de comutação modulados por largura de pulso no controlador de conversor de energia NNPC das Figuras 1 e 2;

[014] A Figura 8 é um fluxograma ilustrando um processo de modulação de largura de pulso exemplar no controlador de energia NNPC das Figuras 1 e 2 para prover sinais de controle de comutação a um ou mais conversores de energia NNPC para prover uma tensão de saída multinível no nó

de saída do inversor e para controlar a carga e a descarga dos capacitores flutuantes a um nível predeterminado;

[015] A Figura 9 é um diagrama esquemático ilustrando um sistema de conversão de energia de ponte H NNPC (NNPCHB) incluindo dois estágios de conversor de energia NNPC com uma saída de inversor do primeiro estágio provendo um neutro do sistema e a saída do inversor do segundo estágio provendo uma saída de tensão de linha para acionar uma carga de motor;

[016] As Figuras 10A a 10D ilustram uma tabela de estado de comutação para prover sinais de controle de comutação ao sistema de conversão de energia de ponte H NNPC da Figura 9 para gerar uma tensão de saída multinível e para controlar a carga e a descarga dos capacitores flutuantes de cada estágio de conversor de energia NNPC;

[017] A Figura 11 é um gráfico ilustrando uma forma de onda de saída de tensão de linha-para-neutro de sete níveis exemplar para o sistema de conversão de energia de ponte H NNPC da Figura 9;

[018] A Figura 12 é um gráfico ilustrando uma forma de onda de saída de tensão de linha-para-linha de 13 níveis exemplar para o sistema de conversão de energia de ponte H NNPC da Figura 9;

[019] A Figura 13 é um diagrama esquemático ilustrando um sistema de conversão de energia trifásico exemplar com três conversores de energia de NNPC configurados para prover retificação trifásica para gerar uma tensão de barramento CC, e três conversores de energia NNPC provendo uma saída CA trifásica, com um nó de ponto médio de barramento CC conectado através de ligações de impedância

opcionais a filtros de entrada e saída opcionais;

[020] A Figura 14 é um diagrama esquemático ilustrando outro sistema de conversão de energia trifásico exemplar com três conversores NNPC provendo retificação e três conversores NNPC provendo uma saída CA, com um transformador de entrada e um nó de ponto médio de barramento CC conectado através de uma ligação de impedância opcional a um filtro de saída;

[021] A Figura 15 é um diagrama esquemático ilustrando um sistema de conversão de energia multifásico utilizando três retificadores de entrada conectados em série provendo um barramento CC para energizar conversores NNPC para três fases de saída;

[022] A Figura 16 é um diagrama esquemático ilustrando outro sistema de conversão de energia trifásico exemplar com estágios de conversor de ponte H NNPC (NNPCHB) para cada uma das três fases de saída, individualmente acionados por um retificador multi-pulso;

[023] A Figura 17 é um diagrama esquemático ilustrando outro sistema de conversão de energia trifásico com múltiplos conversores de energia de ponte H NNPC (NNPCHB) em cascata para cada fase;

[024] A Figura 18 é um diagrama esquemático ilustrando outra realização de um estágio de conversor de energia NNPC tendo um capacitor integral tendo um capacitor integral conectado entre os terminais de entrada CC;

[025] A Figura 19 é um diagrama esquemático ilustrando dois estágios de conversor de energia NNPC da Figura 18 conectados em série com um indutor para formar uma fase de saída modular;

[026] A Figura 20 é um diagrama esquemático ilustrando um número inteiro de estágios de conversor de energia NNPC da Figura 18 conectados em série com um indutor para formar uma fase de saída modular;

[027] A Figura 21 é um gráfico ilustrando uma forma de onda de saída de tensão de linha-para-neutro de sete níveis para os estágios de conversor de energia NNPC da Figura 19;

[028] A Figura 22 é um gráfico ilustrando uma forma de onda de saída de tensão de linha-para-linha de 13 níveis para os estágios de conversor de energia NNPC da Figura 19;

[029] A Figura 23 é um diagrama esquemático ilustrando uma única fase de um sistema de conversão de energia baseado em NNPC em cascata com uma saída de inversor de um primeiro conversor de NNPC conectado a um nó de ponto médio de fonte CC de um segundo conversor de NNPC;

[030] A Figura 24 é um gráfico mostrando uma forma de onda de saída de tensão de linha-para-neutro de sete níveis exemplar para o sistema de conversão de energia baseado em NNPC em cascata da Figura 23;

[031] A Figura 25 é um gráfico ilustrando uma forma de onda de saída de tensão de linha-para-linha de 13 níveis exemplar para o sistema de conversão de energia da Figura 23;

[032] A Figura 26 é um diagrama esquemático parcial ilustrando outro conversor de energia NNPC exemplar e tabela de comutação associada na qual o controlador regula a tensão de capacitor comutado a um quarto da tensão de entrada CC;

[033] A Figura 27 é um diagrama esquemático parcial ilustrando outro conversor de energia NNPC exemplar e tabela de comutação associada na qual o controlador regula a tensão de capacitor comutado a um quinto da tensão de entrada CC;

[034] A Figura 28 é um diagrama esquemático ilustrando outro conversor de energia NNPC alternativo com múltiplos estágios de aninhamento de capacitor comutado de acordo com aspectos adicionais da presente revelação; e

[035] A Figura 29 é um diagrama esquemático ilustrando outro sistema de conversão de energia multifásico utilizando três retificadores de entrada conectados em série provendo um barramento CC para energizar conversores NNPC para três fases de saída, com enrolamentos auxiliares do transformador de energia principal ou um transformador separado para pré-carregar e equilibrar a tensão dos capacitores comutados.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[036] Referindo-se agora às figuras, diversas realizações ou implementações são a seguir descritas em conjunto com os desenhos em que numerais de referência semelhantes são utilizados para se referir a elementos semelhantes em todo o documento, e em que as diversas funcionalidades não são necessariamente desenhadas em escala. Os estágios de conversor de energia 100 são ilustrados e descritos abaixo, bem como sistemas de conversão de energia formados por diversas interconexões dos estágios de conversor ilustrados 100, em que os conversores de energia NPC aninhados (NNPC) descritos 100 podem ser utilizados para formar fontes de alimentação multifásicas para acionar

qualquer tipo de carga, e os conversores de energia e sistemas de conversão de energia descritos podem ser empregados em acionamentos de motor, embora diversos conceitos da presente revelação não sejam limitados a nenhuma aplicação específica.

[037] A Figura 1 ilustra um conversor de energia multinível exemplar 100, com primeira e segunda entradas CC 101 e 102, respectivamente, e uma saída CA 120 provendo uma tensão de saída CA monofásica e corrente de saída associada i_{OUT} para acionar uma carga (não mostrada). O conversor de energia ilustrado 100 é chamado neste documento de um conversor de energia de ponto neutro grampeado aninhado (NNPC), e inclui um circuito de capacitor comutado (por exemplo, capacitor flutuante) 104 aninhando um circuito de inversor de tipo NPC 110. Embora seja chamado neste documento de um conversor de energia NNPC, o nó central 119 do circuito de inversor de tipo NPC 110 não precisa estar conectado a nenhum "neutro" do sistema. O conversor de energia 100 é provido com energia elétrica CC de entrada de uma fonte CC 90 através dos terminais 101 e 102, onde a Figura 1 ilustra uma configuração de entrada exemplar incluindo duas baterias conectadas em série, cada uma tendo um valor de tensão de $V_{DC}/2$ com o conversor de energia 100, assim, sendo provido de uma tensão de entrada CC tendo um valor V_{DC} . Além disso, embora não seja um requisito rigoroso de todas as implementações do conversor de energia 100, a configuração mostrada na Figura 1 inclui um nó de neutro "N" conectado ao ponto de conexão das duas baterias da fonte de entrada CC 90. Qualquer fonte CC adequada 90 pode ser utilizada em conexão com o conversor de energia 100, incluindo, sem limitação, uma

ou mais baterias, retificadores ativos e/ou passivos, etc. Além disso, a fonte CC 90 pode incluir capacitâncias de barramento CC, seja um único capacitor ou qualquer combinação de múltiplos capacitores conectados em qualquer configuração em série e/ou paralelo. Além disso, conforme mostrado abaixo em conexão com a Figura 18, certas realizações do estágio de conversor NNPC 100 podem incluir uma capacitância na placa conectada entre os terminais de entrada CC 101 e 102.

[038] Conforme ilustrado na Figura 1, o circuito de inversor 110 inclui dispositivos de comutação S2-S5 conectados em série entre si entre primeiro e segundo nós de entrada de circuito de inversor 111 e 112, bem como um nó de saída de inversor 116 conectando dois dos dispositivos de comutação de inversor S3 e S4, onde o nó de saída de inversor 116 é conectado diretamente ou indiretamente ao terminal de saída CA 120 do conversor 100. O circuito de inversor 110, além disso, pode incluir qualquer número inteiro de dispositivos de comutação S conectados em série entre si entre os nós 111 e 112. No exemplo ilustrado, quatro dispositivos S2-S5 são providos, com o nó de saída 116 tendo dois dispositivos de comutação S2 e S3 entre a saída 116 e o nó de entrada superior 111, e duas chaves S4 e S5 conectadas entre o nó de saída 116 e o segundo nó de entrada do inversor 112. Além disso, o circuito de capacitor comutado 104 inclui chaves adicionais S1 e S6 conectadas conforme mostrado entre as entradas do inversor 111 e 112 e os terminais de entrada CC correspondentes 101 e 102. Qualquer tipo adequado de dispositivos de comutação S1-S6 pode ser utilizado nos circuitos 104 e 110 do estágio de potência 100, incluindo, sem limitação, chaves baseadas em semicondutor, tal como

transistores bipolares de gate isolado (IGBTs), retificadores controlados por silício (SCRs), tiristores de desligamento por gate (GTOs), tiristores comutados por gate integrado (IGCTs), etc. Além disso, conforme ilustrado na Figura 1, as chaves individuais S1-S6 incluem diodos para conduzir corrente em direções reversas quando a chave estiver desligada.

[039] O circuito de inversor 110 do conversor NNPC 100 também inclui um circuito de grampo incluindo primeiro e segundo elementos de grampo, tal como diodos D1 e D2 conectados em série entre si, com o cátodo D1 conectado a um primeiro nó interno 114, e o ânodo de D2 conectado a um segundo nó interno 118. O cátodo de D2 é unido ao ânodo de D1 em um terceiro nó interno 119. Nesta configuração, D1 provê um caminho condutivo do terceiro nó interno 119 ao primeiro nó interno 114, e D2 provê um caminho condutivo do segundo nó interno 118 ao terceiro nó interno 119. Chaves de grampo ativas ou outros elementos de grampo podem ser utilizados em outras realizações em vez de diodos de grampo conforme mostrado nos desenhos. Outras configurações são possíveis nas quais diodos ou outros elementos de grampo são conectados em série entre si entre primeiro e segundo nós internos do circuito de comutação de inversor. Além disso, diodos únicos D1 e D2 podem ser utilizados conforme mostrado, ou múltiplos diodos ou outros elementos de grampo podem ser utilizados. Por exemplo, D1 pode ser substituído por dois ou mais diodos em qualquer configuração em série e/ou paralelo adequada entre os nós 119 e 114, e D2 pode ser substituído por dois ou mais diodos interconectados em qualquer maneira adequada entre os nós 118 e 119. Além disso, os diodos D1 e D2 e/ou os

diodos de grampo entre os dispositivos de comutação S1-S6 dos conversores NNPC 100 podem alternativamente ser chaves de grameamento (não mostradas). Os diodos de grampo D1 e D2 podem ser também substituídos por chaves ativas para atingir grameamento de ponto neutro ativo.

[040] O circuito de capacitor comutado 104 inclui chaves S1 e S6 conectados entre os possíveis terminais de entrada CC 101 e 102 e um dos nós de entrada 111 e 112 de circuito de inversor correspondente. Além disso, o circuito de capacitor comutado 104 inclui primeiro e segundo capacitores C1 e C2 individualmente conectados entre o terceiro nó interno 119 e os nós de entrada de circuito de inversor correspondentes 111 e 112 conforme mostrado. Qualquer tipo adequado e configuração dos capacitores C1 e C2 pode ser utilizado, onde os capacitores individuais C1 e C2 podem ser um único capacitor ou múltiplos capacitores conectados em qualquer configuração em série e/ou paralelo adequada para prover uma primeira capacitância C1 entre os nós 111 e 119, bem como uma segunda capacitância C2 entre os nós 119 e 112. Além disso, C1 e C2 são valores de capacitância preferivelmente ou substancialmente iguais, embora não seja uma exigência estrita da presente revelação.

[041] Também em referência às Figuras 2 a 5, um controlador 122 provê sinais de controle de comutação 124-2, 124-3, 124-4 e 124-5 aos respectivos dispositivos de comutação de inversor S2-S5 e provê sinais de controle de comutação 124-1 e 124-6 aos dispositivos de comutação de circuito de capacitor comutado S1 e S6. Se os dispositivos de grampo D1 e D2 forem dispositivos ativos, o controlador 122 também provê sinais de controle de comutação aos dispositivos

de grampo ativos D1 e D2. O controlador 122 também aceita sinais de realimentação, tal como tensões e/ou correntes que não são mostradas nas figuras. O controlador 122 pode ser implementado como parte do conversor 100 e/ou pode ser um componente ou sistema separado, e um único controlador 122 pode prover sinais 124 a múltiplos estágios de conversor 100. O controlador de conversor 122 pode ser implementado utilizando qualquer hardware adequado, software ou firmware executado por processador, ou combinações dos mesmos, em que uma realização exemplar do controlador 122 inclui um ou mais elementos de processamento, tal como microprocessadores, microcontroladores, FPGAs, DSPs, lógica programável, etc., com "memória eletrônica, memória de programa e circuitos de acionamento de condicionamento de sinal, com o(s) elemento(s) de processamento programado(s) ou configurado(s) de outra maneira para gerar os sinais de controle de comutação do inversor 124 adequados para operar os dispositivos de comutação dos estágios de potência 100, bem como realizar outras tarefas operacionais de acionamento de motor para acionar uma carga. Além disso, meios legíveis por computador são contemplados com outras instruções executáveis em computador para implementar os processos e as técnicas de controle de comutação de conversor de energia descritos, os quais podem ser armazenados como instruções de programa em uma memória eletrônica formando uma parte de, ou operativamente associados de outra maneira ao controlador 122.

[042] Conforme melhor visto na Figura 2, os sinais de controle 124 são providos às chaves S1-S6 em forma modulada por largura de pulso de maneira a prover uma tensão

de saída multinível (por exemplo, tensão linha-para-neutro V_{AN}) no nó de saída de inversor 116. Na realização ilustrada, por exemplo, o controlador 122 provê os sinais de controle de comutação 124 às chaves S1-S6 de modo a prover a tensão de saída V_{AN} em um dentre quatro níveis de tensão linha-para-neutro distintos. Um gráfico 210 na Figura 4 ilustra uma forma de onda de tensão linha-para-neutro de quatro níveis exemplar 212 (V_{AN}) no nó de saída de inversor 116 em relação ao nó de neutro "N". Conforme visto na Figura 3, além disso, três estágios de conversor NNPC diferentes 100 podem ser conectados a fontes CC correspondentes 90 para prover tensões de saída CA às linhas de fase do motor 202 para acionar uma carga de motor trifásica 200, com o controlador 122 provendo um conjunto de sinais de controle de comutação 124 a cada um dos estágios de NNPC 100. A Figura 5 ilustra um gráfico 220 mostrando uma forma de onda de tensão de linha-para-linha exemplar 222 no sistema da Figura 3, no qual a comutação controlada dos três estágios NNPC 100 em ângulos de fase relativos de 120° provê uma forma de onda de tensão de linha-para-linha de sete níveis 222.

[043] Além disso, a provisão dos sinais de controle de comutação 124 em certas realizações opera para controlar a carga e a descarga dos capacitores comutados C1 e C2 para regular as tensões de capacitor correspondentes V_{C1} e V_{C2} a uma fração alvo da tensão de entrada CC V_{DC} recebida na primeira e na segunda entradas CC 101, 102. O controle das tensões de capacitor V_{C1} e V_{C2} , além disso, facilita substancialmente a distribuição igual das tensões vistas nos dispositivos de comutação individuais S1-S6, assim, provendo vantagens significativas. A Figura 2 ilustra uma tabela de

estado de comutação exemplar 126 mostrando seis possíveis vetores de comutação V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 e V_6 correspondentes a diferentes estados de comutação dos dispositivos de comutação NNPC S_1 - S_6 , com "valores de tensão de linha-para-neutro correspondentes relativos ao nível CC de entrada V_{DC} , onde "1" indica que a chave correspondente S está 'ligada' ou condutiva. Em operação, o primeiro vetor V_1 provê um nível de tensão de saída de $+V_{DC}/2$, o segundo e o terceiro vetores de comutação V_2 e V_3 são redundantes entre si em relação à tensão de saída de linha-para-neutro, cada um produzindo um valor de $+V_{DC}/6$. Os vetores V_4 e V_5 são também um par de estado de comutação redundante, cada um provendo um valor de saída de $-V_{DC}/6$, e o estado de comutação final ou o vetor V_6 produz uma tensão de saída de $-V_{DC}/2$. Conforme visto na Figura 2, além disso, a carga e a descarga dos capacitores C_1 e C_2 são controladas através da seleção de vetor redundante, onde o efeito nas tensões de capacitor correspondentes pode ser diferente para os estados de comutação redundantes, permitindo que a seleção de vetor inteligente controle a carga e/ou descarga de capacitor. Por exemplo, se o nível de tensão de saída desejado deve ser $V_{DC}/6$, o vetor V_2 pode ser selecionado para carregar C_1 se a corrente de saída I_{OUT} for positiva (>0), ou para descarregar C_1 se a corrente de saída for negativa. Alternativamente, a seleção do vetor redundante V_3 descarrega C_1 e C_2 para corrente de saída positiva, e estes capacitores C_1 e C_2 se a corrente de saída for negativa. Conforme visto na tabela 126 da Figura 2, além disso, escolhas de carga e/ou descarga similares podem ser feitas pela seleção dentre os vetores redundantes V_4 e V_5 onde o nível de tensão de saída desejado é $-V_{DC}/6$.

[044] Também em referência às Figuras 6 e 7, qualquer forma adequada de técnica de geração de sinal de controle de comutação de modulação por largura de pulso pode ser utilizada no controlador 122. Um gráfico 230 na Figura 6 ilustra uma implementação de modulação por largura de pulso baseada em portadora exemplar, na qual sinais de modulação de polaridade opostos 231 e 232 são utilizados com "formas de onda portadoras triangulares de nível deslocado 233, 234 e 235 para gerar os sinais de controle de comutação 124 para as seis chaves de conversor S1-S6. Em outra possível realização, a modulação de vetor de espaço pode ser utilizada conforme mostrado no gráfico 240 da Figura 7, onde o controlador 122 determina tempos de acionamento relativos para três vetores de controle V_1 , V_2 e V_3 que cercam a posição atual de um vetor de referência V_{ref} conforme mostrado, onde o vetor de referência V_{ref} possui um índice de modulação (M) e um ângulo de fase correspondente θ , e gira em torno do diagrama de modulação de vetor de espaço 240 de acordo com uma posição e um torque de motor desejados em certas implementações de acionamento de motor.

[045] Em referência às Figuras 2 e 8, um processo 250 é ilustrado no fluxograma da Figura 8 para gerar sinais de controle de comutação modulados por largura de pulso 124, que podem ser implementados no controlador 122 do controlador de conversor de energia NNPC das Figuras 1 e 2. O processo 250 é ilustrado e descrito abaixo na forma de uma série de atos ou eventos, embora os diversos métodos da revelação não sejam limitados pela ordem ilustrada de tais atos ou eventos. A este respeito, exceto se especificamente provido a seguir, alguns atos ou eventos podem ocorrer em

ordem diferente e/ou simultaneamente com outros atos ou eventos que não os ilustrados e descritos neste documento de acordo com a revelação. Se for adicionalmente observado que nem todas as etapas ilustradas podem ser necessárias para implementar um processo ou método de acordo com a presente revelação, e um ou mais tais atos podem ser combinados. O método ilustrado 250 e outros métodos da revelação podem ser implementados em hardware, software executado em processador, ou combinações dos mesmos, tal como no controlador exemplar 122, e podem ser realizados na forma de instruções executáveis em computador armazenadas em um meio legível por computador tangível e não transitório, tal como em uma memória operativamente associada ao controlador 122 em um exemplo.

[046] Em operação, os sinais de controle de comutação 124 são providos às chaves NNPC S1-S6 para gerar a tensão de saída multinível V_{AN} e para controlar a carga e a descarga dos capacitores C1 e C2. O exemplo da Figura 8 é para um sistema trifásico (por exemplo, Figura 3 acima), no qual o controlador 122 realiza modulação de vetor de espaço para gerar os sinais de controle de comutação 124 para cada um dos três conversores NNPC 100 associados às fases do motor A, B e C. Em certas implementações, a seleção de vetores de comutação redundantes (por exemplo, a partir da tabela 126 na Figura 2) é feita com base em um ou mais valores de realimentação referentes à corrente de saída i_{OUT} (por exemplo, I_A , I_B , e I_C para o exemplo trifásico) e as tensões de capacitor comutado V_{C1} e V_{C2} para cada um dos conversores NNPC 100. Conforme visto na Figura 8, o processo ilustrado 250 mostra o processamento de modulação de vetor de espaço,

no qual o estado de saída desejado (por exemplo, posição e torque do motor) é determinado de acordo com um índice de modulação recebida "M" e ângulo de fase θ . Estes são recebidos e utilizados em 252 para identificar a localização do vetor de referência V_{ref} (Figura 7). O vetor de referência, por sua vez, é utilizado para identificar os três vetores de controle ao redor V_1 , V_2 e V_3 (por exemplo, Figura 7), e o processamento de modulação de vetor espaço é utilizado para determinar os intervalos de duração de "tempo de acionamento" correspondentes t_1 , t_2 e t_3 em 252 na Figura 8. Em 254, os vetores de controle e intervalo de duração são utilizados para determinar os estados de comutação redundantes (se houver) para cada fase de saída do motor que estiver associada a um, alguns ou todos os vetores ao redor V_1 , V_2 e V_3 . Por exemplo, a tabela de estado 126 na Figura 2 indica que os estados de comutação de vetor V_2 e V_3 são redundantes entre si, assim como V_4 e V_5 . A realimentação é recebida em 256 para as correntes de saída I_A , I_B e I_C , bem como as tensões de capacitor comutado V_{C1} e V_{C2} para cada fase.

[047] Em 258, na Figura 8, o controlador 122 avalia uma função de custo "J" para os estados de comutação redundantes disponíveis para cada fase do motor, e seleciona dentre os estados redundantes que minimizam a função de custo para as fases individuais. No exemplo ilustrado, a função de custo refere-se às tensões de capacitor (V_{ci}), tal como as tensões V_{C1} e V_{C2} na Figura 1 acima, e a função utiliza um valor de referência desejado ou predeterminado ao qual estas tensões de capacitor devem ser reguladas (V_{cref} na Figura 8). De acordo com certos aspectos da presente revelação, diferente de conversores de energia NPC convencionais, o

valor de tensão de capacitor flutuante regulado alvo V_{cref} em certas realizações é menor que $V_{DC}/2$. Por exemplo, no exemplo da Figura 1, as tensões de capacitor V_{C1} e V_{C2} são controladas ou reguladas através da seleção de vetor comutado redundante inteligente pelo controlador 122 para ser $V_{DC}/3$. Em outros exemplos não limitativos, o valor alvo V_{cref} pode ser outro valor que é menor que metade da tensão de entrada CC, tal como $V_{DC}/4$ (Figura 26 abaixo) ou $V_{DC}/5$ (Figura 27).

[048] Com os vetores de comutação selecionados para cada uma das três fases, a geração de sinal de disparo é realizada pelo controlador 122 em 260 na Figura 8 para gerar os três conjuntos de sinais de controle de comutação 124 para os dispositivos de comutação S1-S6 de cada estágio de conversor NNPC correspondente 100. Desta maneira, o controlador 122 opera para fazer com que as tensões de saída apropriadas sejam providas à carga do motor 200 (Figura 3) e também regula as tensões entre os capacitores C1 e C2 de cada um dos estágios de energia NNPC 100. Esta regulação cuidadosa das tensões de capacitor comutado V_{C1} e V_{C2} , por sua vez, facilita a operação dos conversores NNPC 100 para prover as tensões de saída (por exemplo, V_{AN} na Figura 2) em níveis de saída espaçados de maneira substancialmente igual. Por exemplo, no exemplo da Figura 2, as tensões de saída são providas em quatro níveis distintos, espaçados em degraus de $V_{DC}/3$. Assim, o uso de um nível de tensão de capacitor menor regulado nos conversores NNPC ilustrados 100 facilita a distribuição igual das tensões vistas pelos dispositivos de comutação S1-S6. Conseqüentemente, todos os dispositivos de comutação S1-S6 sofrem a mesma tensão, e nenhum dos dispositivos precisa ser superdimensionado.

[049] Também em referência às Figuras 9 a 12, um conversor de energia 300 é ilustrado na Figura 9 incluindo dois estágios NNPC 100A e 100B conforme descrito acima em conexão com as Figuras 1 e 2, conectados em uma configuração em ponte H, chamada neste documento de uma ponte H NNPC (NNPCHB). O conversor NNPCHB 300 inclui terminais de entrada CC 301 e 302 recebendo tensão CC de entrada de uma fonte 90 conforme descrito acima, com os terminais de entrada 301 e 302 sendo conectados às entradas CC de ambos os estágios NNPC 100A e 100B conforme mostrado. Similar ao estágio de conversor NNPC 100 da Figura 1, o primeiro estágio 100A na Figura 9 inclui dispositivos de comutação SA1, SA2, SA3, SA4, SA5 e SA6, bem como chaves de grampo ou outros elementos de grampo DA1 e DA2 e capacitores CA1 e CA2 tendo tensões correspondentes V_{CA1} e V_{CA2} (por exemplo, V_{DC}/k , onde $k > 2$). Da mesma forma, o segundo estágio 100B inclui as chaves SB1, SB2, SB3, SB4, SB5 e SB6, bem como os elementos de grampo DB1 e DB2 e capacitores CB1 e CB2 com tensões de capacitor correspondentes V_{CB1} e V_{CB2} (por exemplo, V_{DC}/k , onde $k > 2$). Os dispositivos de comutação DA1, DA2, DB1 e DB2 são mostrados como diodos no desenho, mas as chaves ativas, tal como IGBTs e IGCTs podem também ser utilizadas para elementos de grampo.

[050] O nó de saída de inversor 116 do conversor 100A na Figura 9 é conectado a um nó de neutro do sistema 306, e o nó de saída de inversor 116 do segundo conversor de energia multinível 100B provê uma saída CA 304 para o sistema de conversão de energia 300. O controlador 122 neste caso provê os sinais de controle de comutação 124A ao primeiro conversor NNPC 100A, bem como um conjunto de sinais de controle de comutação 124B ao segundo estágio NNPC 100B.

Em uma realização não limitativa, o controlador 122 provê os sinais de controle de comutação de acordo com uma tabela de estado ou vetor de comutação 310 mostrada nas Figuras 10A a 10D pela seleção de um dado vetor V1-V36 para prover uma tensão de linha-para-neutro desejada V_{AN} em um dos sete possíveis níveis. Conforme adicionalmente visto na Figura 9, além disso, três conjuntos de conversores NNPCHB 300 podem ser providos, com "fontes CC correspondentes 90 para prover tensões de saída para acionar uma carga do motor trifásica 200, com os controladores 122 dos conversores correspondentes 300 provendo sinais de controle de comutação 124 de acordo com a tabela 310, onde as tensões de saída para as fases do motor correspondentes são deslocadas em uma possível implementação em 120° .

[051] Conforme visto nas Figuras 10A-10D, com os capacitores comutados correspondentes regulados às tensões de $V_{DC}/3$, os possíveis níveis de tensão de saída igualmente espaçados (linha-para-neutro) incluem V_{DC} (vetor V1), $2V_{DC}/3$ (V2-V5), $V_{DC}/3$ (vetores V6-V13), 0 volts (vetores V14-V23), $-V_{DC}/3$ (vetores V24-V31), $-2V_{DC}/3$ (vetores V32-V35) e $-V_{DC}$ para o vetor V36. Além disso, conforme visto na tabela 310, os degraus de saída de tensão são todos iguais ($V_{DC}/3$). Um gráfico 320 na Figura 11 ilustra uma forma de onda de tensão de saída de linha-para-neutro de sete níveis exemplar 322 para o conversor de energia de ponte H NNPC 300 na Figura 9. Além disso, no exemplo trifásico ilustrado, a Figura 12 mostra um gráfico 330 com uma forma de onda de saída de tensão de linha-para-linha de 13 níveis 332.

[052] Além disso, conforme nas realizações de NNPC 100 descritas acima, o controlador 122 nos conversores

NNPCHB 300 vantajosamente seleciona dentre vetores redundantes, onde for possível, para regular as tensões de capacitor comutado sobre os capacitores dos estágios de NNPC constituintes 100A e 100B. Por exemplo, os vetores redundantes V2-V5 (Figura 10A) fornecem a capacidade de seletivamente carregar ou descarregar os capacitores componentes CA1, CA2, CB1 e CB2 dos estágios de NNPC 100A e 100B, com base na polaridade da corrente de saída IA para o nível de saída $2V_{DC}/3$, e outros grupos de vetores redundantes são mostrados na tabela 310 permitindo que o controlador 122 vantajosamente regule as tensões do capacitor V_{CA1} , V_{CA2} , V_{CB1} e V_{CB2} a um nível desejado. A este respeito, o controlador 122 pode empregar o processo 250 da Figura 8 conforme descrito acima na operação do conversor 300 em certas realizações. Além disso, técnicas de modulação de vetor de espaço ou de modulação por largura de pulso baseada em portadora podem ser empregadas para gerar os sinais de controle de comutação 124 no conversor NNPCHB 300.

[053] Também em referência às Figuras 13 a 17, aspectos adicionais da revelação fornecem sistemas de conversão de energia multinível 400, 420, 430, 440 e 450 tendo múltiplos conversores de energia NNPC 100 e/ou múltiplos conversores NNPCHB 300. A Figura 13 mostra um exemplo não limitativo 400 incluindo três conversores NNPC 100 acoplados a uma fonte de energia de entrada CA através de um filtro opcional 402 (indutor L, capacitor-indutor CL, LCL, etc.) que opera para receber tensões CA de entrada nos terminais de entrada CA correspondentes (por exemplo, terminal 120 na Figura 1 acima), com terminais CC conectados a trilhos de barramento CC positivo e negativo, em que o

primeiro conjunto de três conversores NNPC 100 provê um retificador ativo trifásico. A saída destes estágios de retificador provê uma tensão de barramento CC sobre as capacitâncias de barramento Ca e Cb conforme mostrado. Em certas implementações, um ponto neutro do filtro de entrada opcional 402 pode ser conectado ao ponto médio do barramento CC ou nó central que une os capacitores de barramento Ca e Cb através de uma ligação de impedância opcional 408. A tensão de barramento CC é provida como uma entrada aos terminais de entrada CC (terminais 101 e 102 na Figura 1 acima) de outro conjunto de três estágios NNPC 100, com as saídas de inversor destes estágios 100 provendo tensões de saída CA para acionar uma carga 406 através de um filtro opcional 404. Além disso, conforme visto na Figura 13, o ponto médio do barramento CC pode opcionalmente ser conectado a um neutro do filtro de saída 404 através de uma ligação de impedância opcional 410. A Figura 14 ilustra outro sistema trifásico 420 similar ao da Figura 13 acima, com um transformador de entrada 412 provendo a energia de entrada CA ao primeiro conjunto de conversores NNPC 100. Os sistemas 410 e 420 das Figuras 13 e 14 podem ser utilizados, em um exemplo não limitativo, para prover uma tensão de saída desejada, por exemplo, 2 kV a 7,2 kV, utilizando uma configuração sucessiva de seis estágios de NNPC 100 para um total de 36 chaves e 12 diodos de grampo que podem também ser chaves de grampo ativas, onde o exemplo 420 na Figura 14 adicionalmente provê isolamento através do transformador 412.

[054] A Figura 15 mostra outro sistema multifásico 430 tendo um transformador de entrada 432 provendo secundários trifásicos a cada um dentre um conjunto

de três retificadores 434 para prover um barramento CC sobre os capacitores Ca, Cb e Cc. A tensão CC sobre o barramento resultante é provida aos terminais de entrada CC de um conjunto de três estágios de NNPC 100 cujas saídas CA acionam uma carga trifásica 406 através de um filtro de saída opcional 404. Os retificadores 434 em certas realizações podem ser retificadores de diodo, retificadores de SCR, retificadores de IGBT/IGCT de dois níveis, de três níveis NPC ou de quatro níveis NNPC. O transformador 432 e os retificadores 434 podem também ser de diferentes números de pulso, tal como 6 pulsos, 12 pulsos, 24 pulsos, etc., em certas realizações.

[055] A Figura 16 mostra outro sistema de conversão de energia trifásico 440 com um transformador de entrada de deslocamento de fase 432 recebendo energia de uma fonte CA 20 através de um primário 32, e provendo seis secundários trifásicos separados em ângulos exemplares de 25°, 15°, 5°, -5°, -15° e -25°, onde cada secundário aciona um retificador correspondente 434 conforme descrito acima, e um conjunto de estágios NNPC 300 (por exemplo, Figura 9 acima) são acionados individualmente por dois dos retificadores 434 para prover saídas CA através de um filtro de saída opcional 404 para acionar uma carga de motor trifásico 406. Neste exemplo, um sistema de retificador multifásico de ponte H NNPC 440 é, assim, provido utilizando um transformador de 36 pulsos 432 para atingir a tensão de saída desejada, por exemplo, 10 kV a 15 kV. Em uma possível implementação alternativa, transformadores de 18 pulsos duplos podem ser providos, ou outras combinações de ângulos de deslocamento de fase para certos números de pulsos são

possíveis, ou utilizar diferentes números de fontes CC em série também é possível.

[056] A Figura 17 mostra um sistema NNPCHB em cascata com um retificador de pulsos múltiplos para uma tensão de saída desejada, por exemplo, 10 kV a 15 kV, novamente utilizando um transformador de 36 pulsos 432 conforme descrito acima em conexão com a Figura 16. Neste caso, cada estágio de ponte H NNPC 300 é energizado por um retificador correspondente 434 acionado a partir de um secundário correspondente do transformador 432, onde cada estágio 300 inclui um par estágios de NNPC conectados conforme mostrado acima na Figura 9. A este respeito, cada fase de saída é acionada por um par dos estágios de ponte H NNPC 300, com a saída CA de um primeiro estágio 300 conectada a uma fase de motor (através de um filtro de saída opcional 404), e o neutro desse estágio 300 é conectado à saída CA do segundo estágio 300, com o terminal neutro do segundo estágio 300 sendo conectado a um neutro do sistema N. O número de enrolamentos secundários do transformador e retificadores CC, os ângulos de deslocamento de fase entre os enrolamentos secundários do transformador, e outros parâmetros de projeto podem ser variados para esta topologia NNPCHB em cascata.

[057] Também em referência às Figuras 18 a 22, a Figura 18 mostra outra realização de estágio de conversor de energia NNPC 500 (NNPC') com um capacitor integral C3 conectado entre os terminais de entrada CC 101 e 102. A Figura 19 ilustra um sistema exemplar 510 empregando dois tais estágios de NNPC' 500 para prover uma saída de fase através de um indutor de saída 502, com uma tensão CC positiva sendo aplicada ao terminal CA 120 do primeiro

estágio 500, e o terminal CC inferior 102 do primeiro estágio 500 sendo conectado a uma extremidade do indutor 502. A extremidade inferior do indutor 502 é conectada ao terminal CA 120 do segundo estágio 500, cujo terminal CC inferior 102 é conectado ao terminal inferior (negativo) da fonte CC. Um a conexão de *tap* central do indutor 502 provê a saída de fase (A), e múltiplas tais configurações 510 podem ser utilizadas para energizar uma carga multifásica (não mostrada). A Figura 20 mostra um sistema multinível modular baseado em NNPC 520, no qual um número inteiro de estágios de NNPC' 500 são conectados conforme descrito acima, com um primeiro conjunto de estágios 500 sendo conectados entre a linha CC superior e a extremidade superior do indutor 502, e um segundo conjunto de estágios 500 sendo conectado entre o terminal de indutor inferior e a linha CC inferior. A Figura 21 provê um gráfico 530 mostrando uma forma de onda de saída de tensão de linha-para-neutro 532 para o sistema 510 da Figura 19 (utilizando dois estágios de NNPC' 500) provendo uma tensão de saída de linha-para-neutro de sete níveis. Além disso, o gráfico 540 na Figura 22 mostra uma forma de onda de saída de tensão de linha-para-linha 542 provendo 13 níveis de tensão.

[058] Também em referência às Figuras 23 a 25, a Figura 23 mostra uma fase única de outro sistema exemplar 600 utilizando uma configuração de NNPC em cascata de duas células ou estágios de NNPC 100 e fontes CC correspondentes 90. Outras implementações são também possíveis utilizando mais de duas células de NNPC 100 conectadas de maneira similar. Conforme visto no exemplo da Figura 23, um neutro do sistema "N" é conectado a um ponto médio da fonte de entrada CC 90 para uma primeira célula 100 cuja saída CA é conectada

ao ponto médio da fonte CC 90 para a (segunda) célula superior 100. A saída CA da segunda célula 100, por sua vez, provê a tensão de saída para a fase sendo acionada pelo sistema 600. Nesta configuração, a operação do(s) controlador(es) 122 provê uma forma de onda de tensão de saída de linha-para-neutro de sete níveis 612 conforme mostrado no gráfico 610 da Figura 24, bem como uma forma de onda de saída de linha-para-linha de 13 níveis 622 no gráfico 620 da Figura 25 para implementações multifásicas.

[059] A Figura 26 ilustra outra implementação de conversor de energia NNPC exemplar 100, na qual o controlador 122 provê os sinais de controle de comutação 124 de acordo com a tabela de estado de comutação ilustrada 700 para operar as chaves S1 a S6 para prover tensão de saída multinível no nó de saída de inversor (CA) bem como controlar a carga e a descarga do capacitor comutado C1 e C2. Nesta implementação, entretanto, a operação do controlador 122 regula as tensões de capacitor V_{C1} e V_{C2} a aproximadamente um quarto do nível de tensão de barramento CC ($V_{DC}/4$). Além disso, a saída (V_{AN}) da fase ilustrada na Figura 26 possui degraus igualmente espaçados de $V_{DC}/4$.

[060] Outra possível implementação é mostrada na Figura 27, na qual o controlador 122 opera de acordo com a tabela de estado 800 para prover os sinais de controle de comutação 124 para gerar uma saída de tensão multinível em um dentre seis diferentes níveis espaçados por aproximadamente um quinto da tensão de entrada CC ($V_{DC}/5$), com o controlador 122 operando para regular as tensões de capacitor em aproximadamente um quinto do nível de tensão de entrada CC.

[061] A Figura 28 mostra outro conversor de

energia NNPC 900, neste caso incluindo múltiplos estágios de aninhamento de capacitor comutado configurados ao redor de um circuito de núcleo de NPC 110. Este conversor de energia aninhado 900 inclui um circuito de inversor 110, um circuito de capacitor comutado 104 e um controlador 122. Conforme na célula de NNPC acima descrita 100 da Figura 1, o circuito de inversor 110 no conversor 900 da Figura 28 inclui dispositivos de comutação S3-S6 conectados em série entre si entre os nós de entrada do circuito de inversor 111 e 112, com "um nó de saída de inversor 116 conectando S4 e S5. Além disso, o circuito de inversor 110 inclui chaves de grampo ou outros elementos de grampo D1 e D2 conectados em série entre si entre primeiro e segundo nós internos 114 e 118 ao redor das chaves S4 e S5 conforme mostrado. O circuito de grampo também inclui um terceiro nó interno 119 unindo os elementos de grampo D1 e D2. Os dispositivos de grampo no desenho são mostrados como diodos. Entretanto, chaves ativas, tal como IGBTs e IGCTs, podem também ser utilizadas para propósitos de grampo. O conversor 900 também inclui um circuito de capacitor comutado duplamente aninhado 104, no qual uma primeira chave S1 conectada entre a primeira entrada CC 101 e um quarto nó interno 106, e uma segunda chave S2 conectada entre o nó 106 e o primeiro nó de entrada de inversor 111. Além disso, uma terceira chave S7 é conectada entre o segundo nó de entrada de circuito de inversor 112 e um quinto nó interno 108, e uma quarta chave S8 é conectada entre o quinto nó interno 108 e a segunda entrada CC 102.

[062] Dois níveis de capacitores comutados conectados em série C1/C2 e C3/C4 são providos na Figura 28, com C1 conectado entre os nós 111 e 119 e C2 conectado entre

os nós 119 e 112, bem como C3 conectado entre os nós 106 e um sexto nó interno 113, e C4 conectado entre os nós 113 e 108. Em certas implementações, os nós 113 e 119 podem ser unidos, embora não seja necessário em todas as realizações. O controlador 122 provê sinais de controle de comutação 124 para operar as chaves de inversor S3-S6 e os dispositivos de comutação de capacitor S1, S2, S7 e S8 para prover uma tensão de saída multinível no nó de saída de inversor 116, bem como para controlar a carga e a descarga dos capacitores C1-C4, por exemplo, utilizando a seleção de vetores de comutação redundantes conforme descrito acima.

[063] A Figura 29 ilustra outro sistema de conversão de energia multifásico 1000 que inclui um transformador 432 e três retificadores de entrada conectados em série para gerar um barramento CC, com os três estágios de NNPC 100 provendo formas de onda de tensão de saída CA através de um filtro de saída opcional 404 para acionar uma carga trifásica 406, similar ao sistema 430 na Figura 15 acima (controlador(es) 122 não separadamente mostrado(s) na Figura 29). Além disso, o sistema 1000 da Figura 29 inclui um transformador auxiliar 432' (ou um enrolamento secundário auxiliar do transformador principal 432) provendo entradas CA a seis retificadores adicionais 434, com a saída CC resultante de cada um dos retificadores 434 sendo conectada entre um dos capacitores C1, C2 dos estágios de NNPC 100 correspondente. Em operação, o transformador auxiliar ou secundário 432' é seletivamente energizado para pré-carregar os capacitores comutados C1 e C2 de cada um dos estágios 100 através dos retificadores intervenientes 434, tal como na energização do sistema geral 1000, e assim, pode ser

desenergizado uma vez que o sistema 1000 atinge a operação em estado estacionário.

[064] Os exemplos acima são meramente ilustrativos de diversas possíveis realizações de diversos aspectos da presente revelação, em que alterações e/ou modificações equivalentes ocorrerão a outros técnicos no assunto após ler e entender este relatório descritivo e os desenhos anexos. Em particular no que diz respeito às diversas funções realizadas pelos componentes acima descritos (conjuntos, dispositivos, sistemas, circuitos, e semelhantes), os termos (incluindo uma referência a um "meio") utilizados para descrever tais componentes se destinam a corresponder, salvo indicação em contrário, a qualquer componente, tal como hardware, software executado por processador, ou combinações dos mesmos, que realize a função especificada do componente descrito (isto é, que é funcionalmente equivalente), embora não estruturalmente equivalente à estrutura revelada que realiza a função nas implementações ilustradas da revelação. Além disso, embora uma característica específica da revelação possa ter sido revelada em relação a apenas uma dentre diversas implementações, tal característica pode ser combinada com uma ou mais características de outras implementações conforme pode ser desejado e vantajoso para qualquer determinada aplicação ou aplicação específica. Além disso, à medida em que os termos "incluindo", "inclui", "tendo", "tem", "com", ou variantes dos mesmos, são utilizados na descrição detalhada e/ou nas reivindicações, tais termos se destinam a ser inclusivos em uma maneira similar ao termo "compreendendo".

LISTA DE COMPONENTES

S2, S3, S4, S5, S6	dispositivos de comutação de inversor
D1, D2	diódos
C1, C2	primeiro e segundo capacitores
V1-V6	vetores de comutação
A, B, C	fases de motor
SA1-SA6	dispositivos de comutação
SB1-SB6	chaves
DB1, DB2	elementos de grampo
CB1, CB2	capacitores
IGBTs, IGCTs	chaves ativas
V1-V36	vetor
90	fonte CC
100	estágios de conversor de energia
100A, 100B	estágios de NNPC
101	primeira entrada CC
102	segunda entrada CC
104	circuito de capacitor comutado (por exemplo, capacitor flutuante)
110	circuito de inversor de tipo NPC
111, 112	primeiro e segundo nós de entrada de circuito de inversor
114	primeiro nó interno
116	nó de saída de inversor
118	segundo nó interno
119	nó central do circuito de inversor 110
120	terminal de saída CA
122	controlador

124A, 124B	sinais de controle de comutação
124-2, 124-3, 124-4, 124-5, 124-6	sinais de controle de comutação
126	tabela
212	gráfico
222	forma de onda de tensão de linha-para-linha
230	gráfico
231, 232	sinais de modulação de polaridade
233, 234, 235	formas de onda portadoras triangulares
240	gráfico
250	processo
252, 254, 256, 258, 260	degraus
300	conversor NNPCBH
301, 302	terminais de entrada CC
310	tabela
320	gráfico
322	forma de onda de tensão de saída de linha-para-linha de 7 níveis
330	gráfico
332	forma de onda de saída de tensão de linha-para-linha de 13 níveis
400, 420, 430, 440, 450	sistemas de conversão de energia multinível
402	filtro
404	filtro
406	carga
408	ligação de impedância

410	sistema
412	transformador de entrada
420	sistema trifásico
430	sistema multifásico
432	transformador de entrada
434	conjunto de três retificadores
440	sistema de conversão de energia trifásico
500	realização de estágio de conversor de energia NNPC (NNPC')
502	indutor de saída
510	sistema empregando dois estágios de NNPC'
520	sistema multinível modular baseado em NNPC
530	gráfico
532	forma de onda de saída de tensão de linha-para-neutro
540	gráfico
542	forma de onda de saída de tensão de linha-para-linha multifásica
600	sistema
610	gráfico
612	forma de onda de saída de linha-para-neutro de sete níveis
620	gráfico
622	forma de onda de saída de linha-para-linha de 13 níveis
700	tabela de estado de comutação
800	tabela de estado
900	conversor de energia NNPC
1000	sistema de conversão de energia multifásico

REIVINDICAÇÕES

1. CONVERSOR DE ENERGIA MULTINÍVEL (100), caracterizado por compreender:

um circuito de inversor (110), compreendendo:

um circuito de comutação de inversor incluindo: uma pluralidade de dispositivos de comutação de inversor (S2-S5) conectados em série entre si entre primeiro e segundo nós de entrada de circuito de inversor (111, 112), e um nó de saída de inversor (116) conectando dois dentre a pluralidade de dispositivos de comutação de inversor (S3, S4), e

um circuito de grampo incluindo primeiro e segundo elementos de grampo (D1, D2) conectados em série entre si entre primeiro e segundo nós internos (114, 118) do circuito de comutação de inversor, e um terceiro nó interno (119) unindo os primeiro e segundo elementos de grampo (D1, D2);

um circuito de capacitor comutado (104), compreendendo:

dispositivos de comutação de circuito de capacitor comutado (S1, S6) individualmente conectados entre uma entrada CC correspondente (101, 102) e um nó de entrada de circuito de inversor correspondente (111, 112), e

primeiro e segundo capacitores (C1, C2) individualmente conectados entre um dos nós de entrada de circuito de inversor correspondente (111, 112) e o terceiro nó interno (119); e

um controlador (122) provendo sinais de controle de comutação à pluralidade de dispositivos de comutação de inversor (S2-S5) e aos dispositivos de comutação de circuito de capacitor comutado (S1, S2) para prover uma tensão de saída multinível no nó de saída do inversor (116) e para

controlar o carregamento e o descarregamento dos primeiro e segundo capacitores (C1, C2).

2. CONVERSOR DE ENERGIA MULTINÍVEL (100), de acordo com a reivindicação 1:

em que o circuito de comutação de inversor é caracterizado por compreender:

um primeiro dispositivo de comutação de inversor (S2) com um primeiro terminal conectado ao primeiro nó de entrada de circuito de inversor (111) e um segundo terminal conectado ao primeiro nó interno (114),

um segundo dispositivo de comutação de inversor (S3) com um primeiro terminal conectado ao primeiro nó interno (114) e um segundo terminal conectado ao nó de saída de inversor (116),

um terceiro dispositivo de comutação de inversor (S4) com um primeiro terminal conectado ao nó de saída de inversor (116) e um segundo terminal conectado ao segundo nó interno (118), e

um quarto dispositivo de comutação de inversor (S5) com um primeiro terminal conectado ao segundo nó interno (118) e um segundo terminal conectado ao segundo nó de entrada de circuito de inversor (112);

em que o primeiro elemento de grampo (D1) inclui um primeiro terminal conectado ao terceiro nó interno (119), e um segundo terminal conectado ao primeiro nó interno (114);

em que o segundo elemento de grampo (D2) inclui um primeiro terminal conectado ao segundo nó interno (118) e um segundo terminal conectado ao terceiro nó interno (119);

em que o circuito de capacitor comutado (104) compreende:

um primeiro dispositivo de comutação de circuito de capacitor comutado (S1) com um primeiro terminal conectado a uma primeira entrada CC (101), e um segundo terminal conectado ao primeiro nó de entrada de circuito de inversor (111), e

um segundo dispositivo de comutação de circuito de capacitor comutado (S6) com um primeiro terminal conectado ao segundo nó de entrada de circuito de inversor (112), e um segundo terminal conectado a uma segunda entrada CC (102);

em que o primeiro capacitor (C1) inclui um primeiro terminal conectado ao primeiro nó de entrada de circuito de inversor (111) e um segundo terminal conectado ao terceiro nó interno (119); e

em que o segundo capacitor (C2) inclui um primeiro terminal conectado ao terceiro nó interno (119) e um segundo terminal conectado ao segundo nó de entrada de circuito de inversor (112).

3. CONTROLADOR DE ENERGIA MULTINÍVEL (100), de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por o controlador (122) prover os sinais de controle de comutação aos dispositivos de comutação de inversor (S2-S5) e aos dispositivos de comutação de circuito de capacitor comutado (S1, S2) para prover a tensão de saída em um dentre quatro níveis distintos.

4. CONTROLADOR DE ENERGIA MULTINÍVEL (100), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o controlador (122) prover os sinais de controle de comutação aos dispositivos de comutação de inversor (S2-S5) e aos dispositivos de comutação de circuito de capacitor comutado

(S1, S2) para prover a tensão de saída em um dentre quatro níveis distintos.

5. CONVERSOR DE ENERGIA MULTINÍVEL (100), de acordo com a reivindicação 4, caracterizado em que o controlador (122) seleciona dentre uma pluralidade de estados de comutação redundantes para pelo menos um dos níveis de tensão de saída distintos na provisão dos sinais de controle de comutação para controlar a carga e a descarga dos primeiro e segundo capacitores (C1, C2) para regular as primeira e segunda tensões de capacitor correspondentes (V_{C1} , V_{C2}) a menos que a metade de uma tensão de entrada CC (V_{DC}) entre a primeira e a segunda entradas CC (101, 102).

6. CONTROLADOR DE ENERGIA MULTINÍVEL (100), de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por o controlador (122) prover os sinais de controle de comutação aos dispositivos de comutação de inversor (S2-S5) e aos dispositivos de comutação de circuito de capacitor comutado (S1, S2) para prover a tensão de saída em um dentre quatro níveis distintos de etapas espaçadas de maneira substancialmente igual.

7. CONTROLADOR DE ENERGIA MULTINÍVEL (100), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o controlador (122) prover os sinais de controle de comutação aos dispositivos de comutação de inversor (S2-S5) e aos dispositivos de comutação de circuito de capacitor comutado (S1, S2) para prover a tensão de saída em um dentre uma pluralidade de níveis distintos de etapas espaçadas de maneira substancialmente igual.

8. CONVERSOR DE ENERGIA MULTINÍVEL (100), caracterizado por compreender:

um circuito de inversor (110), compreendendo:

um circuito de comutação de inversor incluindo: uma pluralidade de dispositivos de comutação de inversor (S3-S6) conectados em série entre si entre primeiro e segundo nós de entrada de circuito de inversor (111, 112), e um nó de saída de inversor (116) conectando dois dentre a pluralidade de dispositivos de comutação de inversor (S4, S5), e

um circuito de grampo incluindo primeiro e segundo elementos de grampo (D1, D2) conectados em série entre si entre primeiro e segundo nós internos (114, 118) do circuito de comutação de inversor, e um terceiro nó interno (119) unindo os primeiro e segundo elementos de grampo (D1, D2);

um circuito de capacitor comutado (104), compreendendo:

um primeiro dispositivo de comutação de circuito de capacitor comutado (S1) com um segundo terminal conectado a uma primeira entrada CC (101), e um segundo terminal conectado a um quarto nó interno (106),

um segundo dispositivo de comutação de circuito de capacitor comutado (S2) com um segundo terminal conectado ao quarto nó interno (106), e um segundo terminal conectado ao primeiro nó de entrada de circuito de inversor (111),

um terceiro dispositivo de comutação de circuito de capacitor comutado (S7) com um primeiro terminal conectado ao segundo nó de entrada de circuito de inversor (112), e um segundo terminal conectado a um quinto nó interno (108),

um quarto dispositivo de comutação de circuito de capacitor comutado (S8) com um primeiro terminal conectado ao quinto nó interno (108), e um segundo terminal conectado a uma segunda entrada CC (102),

um primeiro capacitor (C1) incluindo um primeiro terminal conectado ao primeiro nó de entrada de circuito de inversor (111), e um segundo terminal conectado ao terceiro nó interno (119),

um segundo capacitor (C2) incluindo um primeiro terminal conectado ao terceiro nó interno (119), e um segundo terminal conectado ao segundo nó de entrada de circuito de inversor (112),

um terceiro capacitor (C3) incluindo um primeiro terminal conectado ao quarto nó interno (106), e um segundo terminal conectado a um sexto nó interno (113), e

um quarto capacitor (C4) incluindo um primeiro terminal conectado ao sexto nó interno (113), e um segundo terminal conectado ao quinto nó interno (108); e

um controlador (122) provendo sinais de controle de comutação à pluralidade de dispositivos de comutação de inversor (S3-S6) e aos dispositivos de comutação de circuito de capacitor comutado (S1, S2, S7, S8) para prover uma tensão de saída multinível no nó de saída do inversor (116) e para controlar o carregamento e o descarregamento dos primeiro, segundo, terceiro e quarto capacitores (C1, C2, C3, C4).

9. SISTEMA DE CONVERSÃO DE ENERGIA (300, 400, 420, 430, 440, 450, 1000), caracterizado por compreender uma pluralidade de conversores de energia multinível (100), os conversores de energia multinível individuais (100) compreendendo:

um circuito de inversor (110), compreendendo:

um circuito de comutação de inversor incluindo: uma pluralidade de dispositivos de comutação de inversor (S2-S5) conectados em série entre si entre primeiro e segundo nós de

entrada de circuito de inversor (111, 112), e um nó de saída de inversor (116) conectando dois dentre a pluralidade de dispositivos de comutação de inversor (S3, S4), e

um circuito de grampo incluindo primeiro e segundo elementos de grampo (D1, D2) conectados em série entre si entre primeiro e segundo nós internos (114, 118) do circuito de comutação de inversor, e um terceiro nó interno (119) unindo os primeiro e segundo elementos de grampo (D1, D2);

um circuito de capacitor comutado (104), compreendendo:

dispositivos de comutação de circuito de capacitor comutado (S1, S6) individualmente conectados entre uma entrada CC correspondente (101, 102) e um nó de entrada de circuito de inversor correspondente (111, 112), e

primeiro e segundo capacitores (C1, C2) individualmente conectados entre um dos nós de entrada de circuito de inversor correspondente (111, 112) e o terceiro nó interno (119); e

um controlador (122) provendo sinais de controle de comutação à pluralidade de dispositivos de comutação de inversor (S2-S5) e aos dispositivos de comutação de circuito de capacitor comutado (S1, S2) para prover uma tensão de saída multinível no nó de saída do inversor (116) e para controlar o carregamento e o descarregamento dos primeiro e segundo capacitores (C1, C2).

10. SISTEMA DE CONVERSÃO DE ENERGIA (300), de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por o controlador (122) prover os sinais de controle de comutação aos dispositivos de comutação de inversor (S2-S5) e aos dispositivos de comutação de circuito de capacitor comutado

(S1, S2) para prover a tensão de saída de cada conversor de energia multinível (100) em um dentre pelo menos quatro níveis distintos.

ROKZ200111 / 13AB064

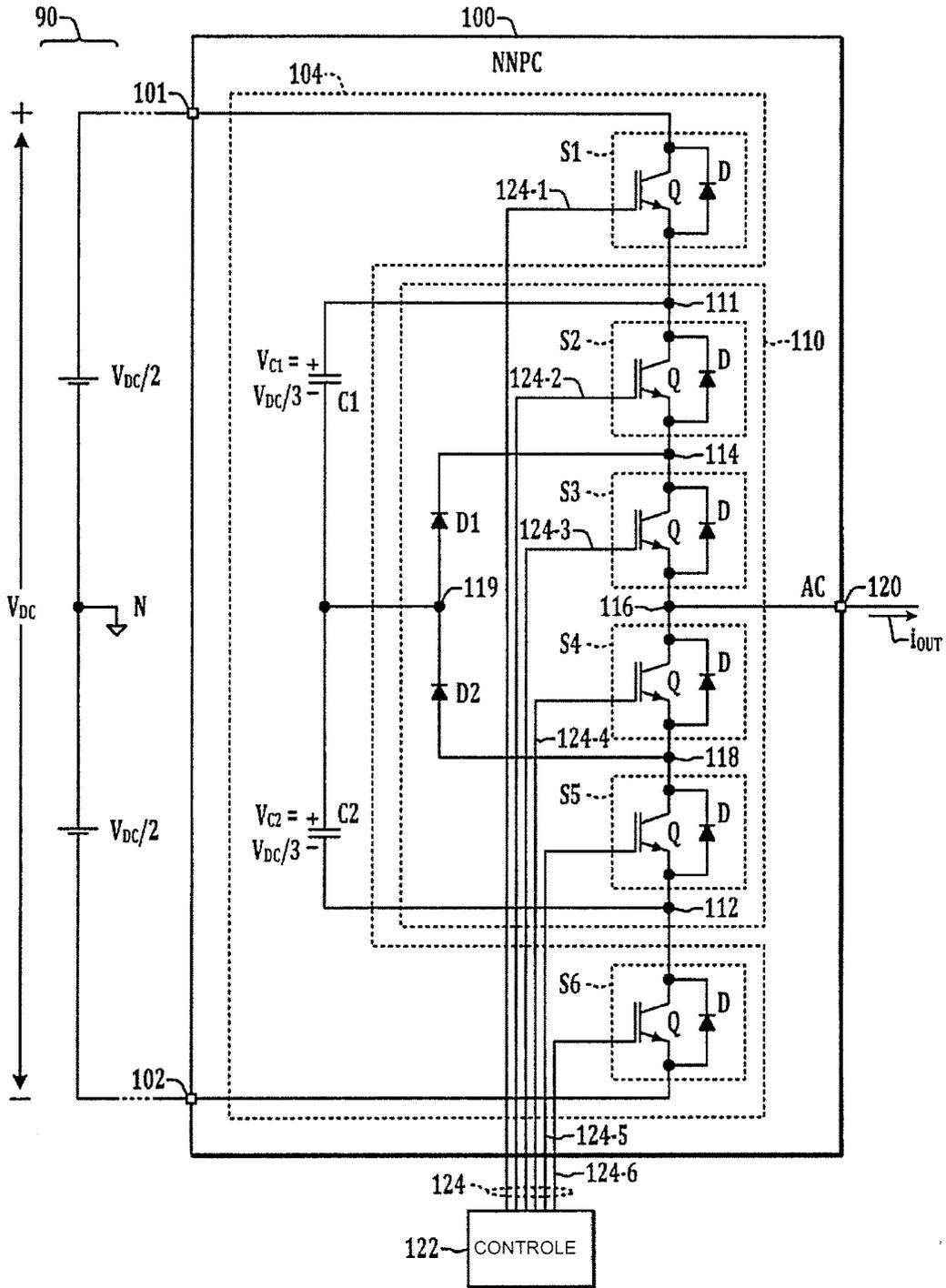
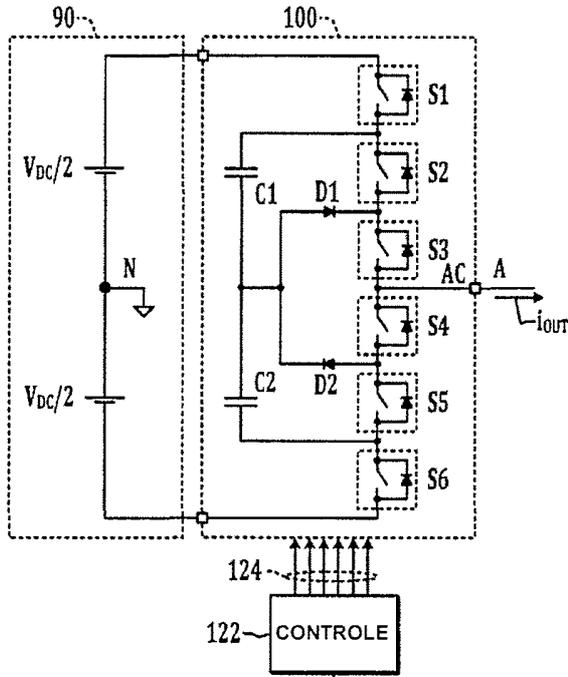


FIG. 1

ROKZ200111 / 13AB064



126

	124-1	124-2	124-3	124-4	124-5	124-6	IMPACTO EM V_{c1}	IMPACTO EM V_{c2}	V_{AN}
	S1	S2	S3	S4	S5	S6			
V1	1	1	1	0	0	0	N/A	N/A	$V_{DC}/2$
V2	1	0	1	1	0	0	CARGA $I_{OUT} > 0$ DESCARGA $I_{OUT} < 0$	N/A	$V_{DC}/6$
V3	0	1	1	0	0	1	DESCARGA $I_{OUT} > 0$ CARGA $I_{OUT} < 0$	DESCARGA $I_{OUT} > 0$ CARGA $I_{OUT} < 0$	$V_{DC}/6$
V4	1	0	0	1	1	0	CARGA $I_{OUT} > 0$ DESCARGA $I_{OUT} < 0$	CARGA $I_{OUT} > 0$ DESCARGA $I_{OUT} < 0$	$-V_{DC}/6$
V5	0	0	1	1	0	1	N/A	DESCARGA $I_{OUT} > 0$ CARGA $I_{OUT} < 0$	$-V_{DC}/6$
V6	0	0	0	1	1	1	N/A	N/A	$-V_{DC}/2$

FIG. 2

ROKZ200111 / 13AB064

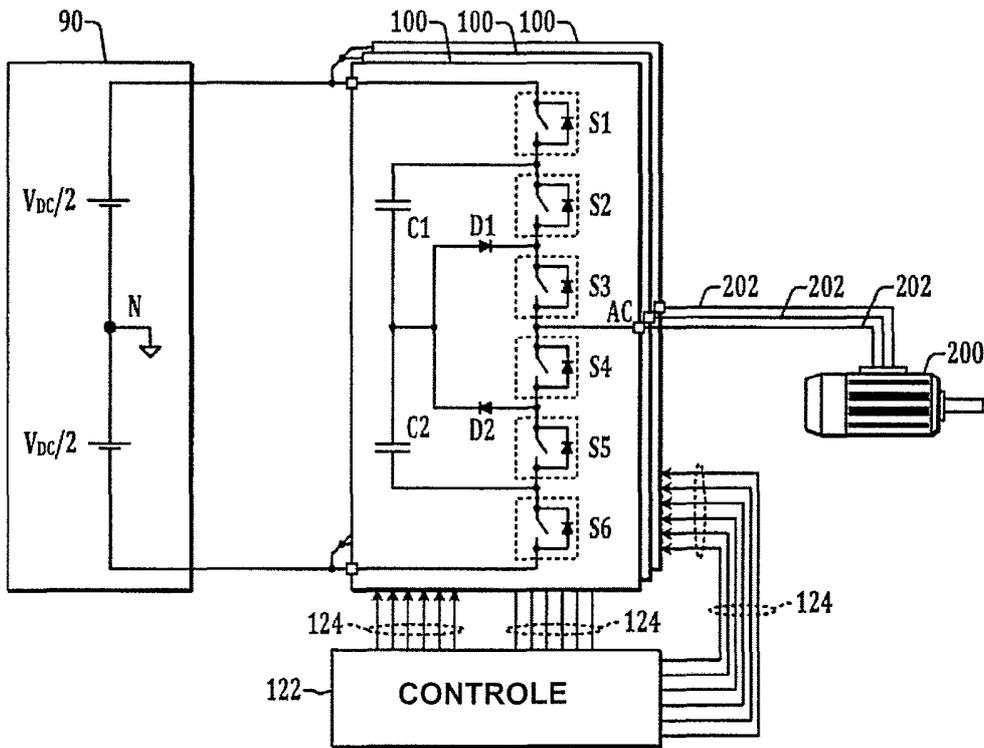


FIG. 3

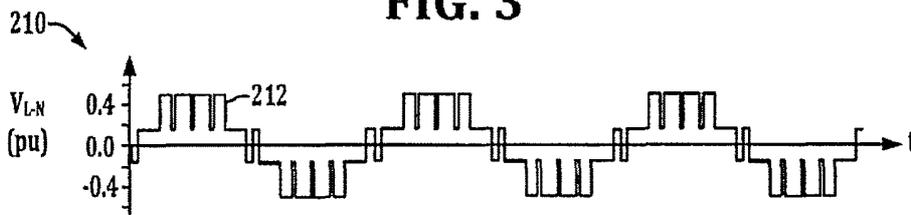


FIG. 4

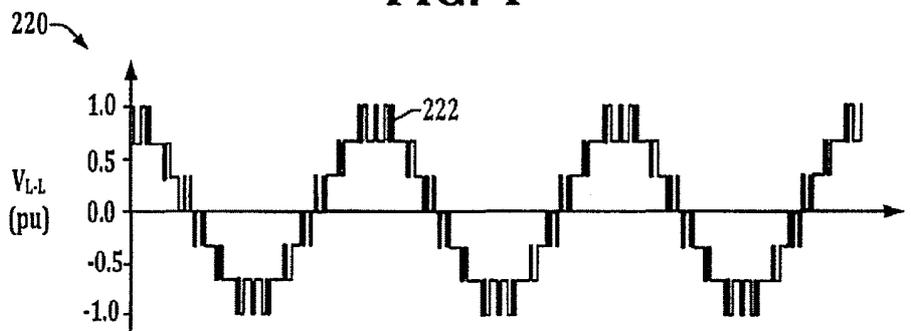


FIG. 5

ROKZ200111 / 13AB064

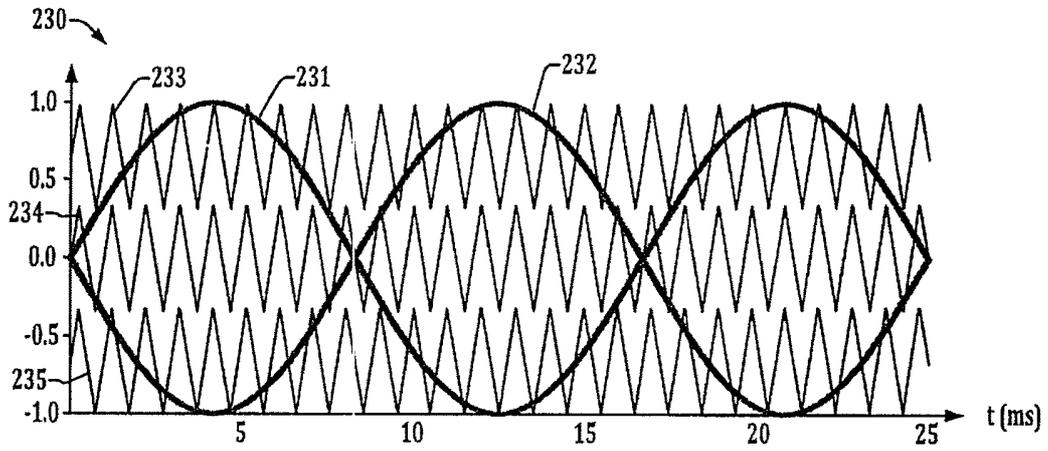


FIG. 6

Setor II

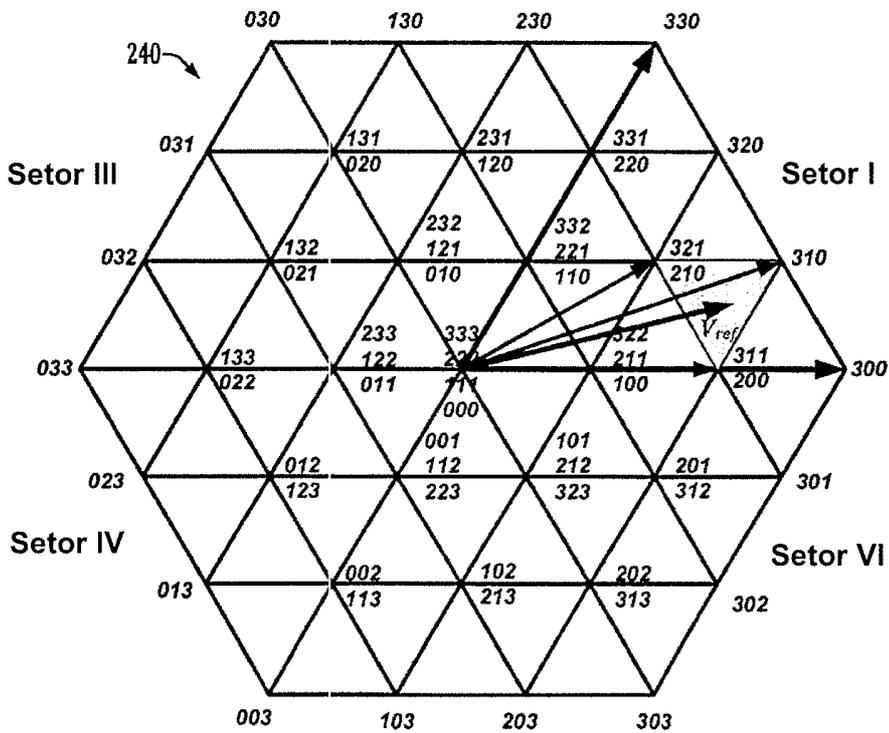


FIG. 7

ROKZ200111 / 13AB064

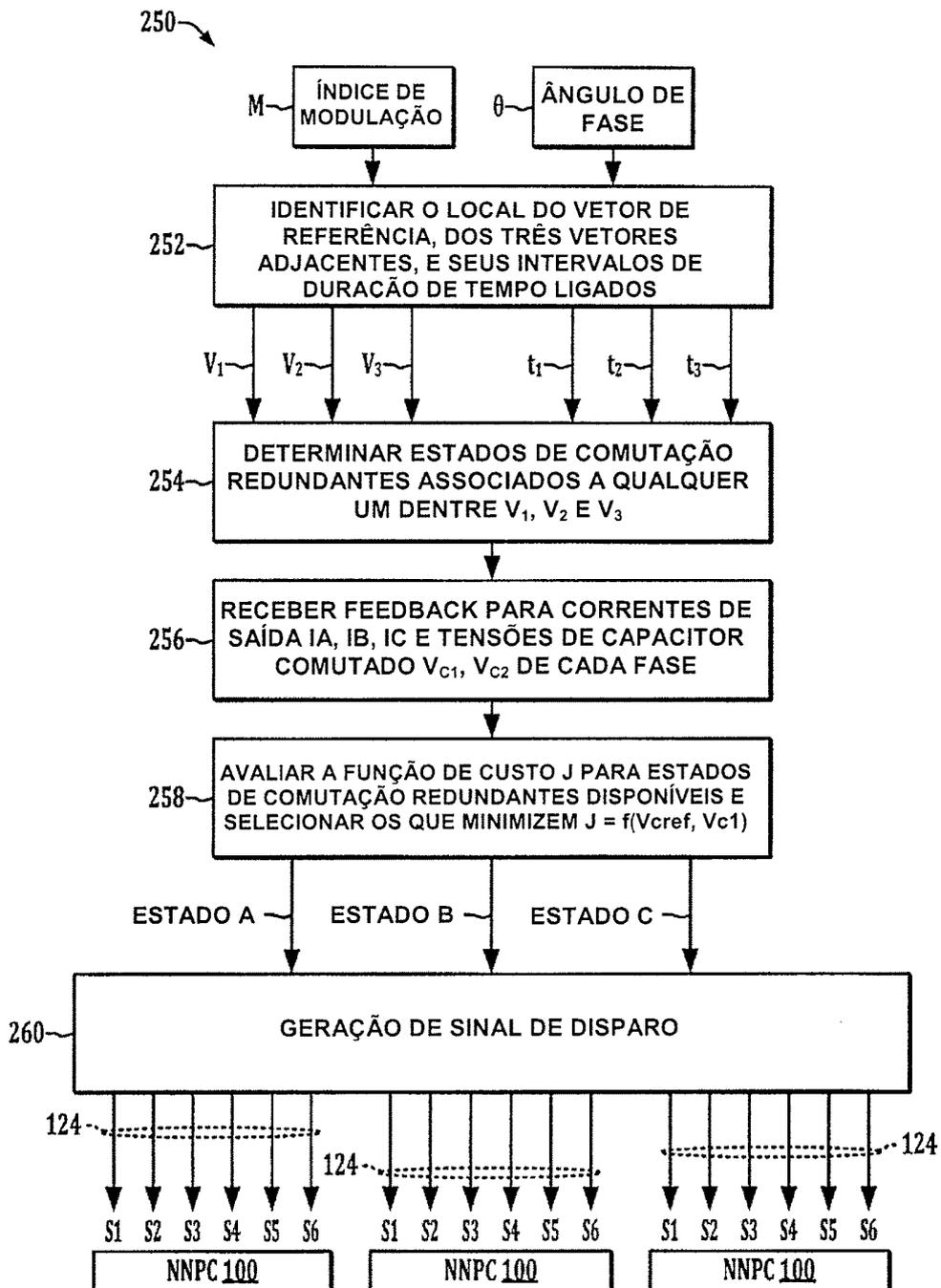


FIG. 8

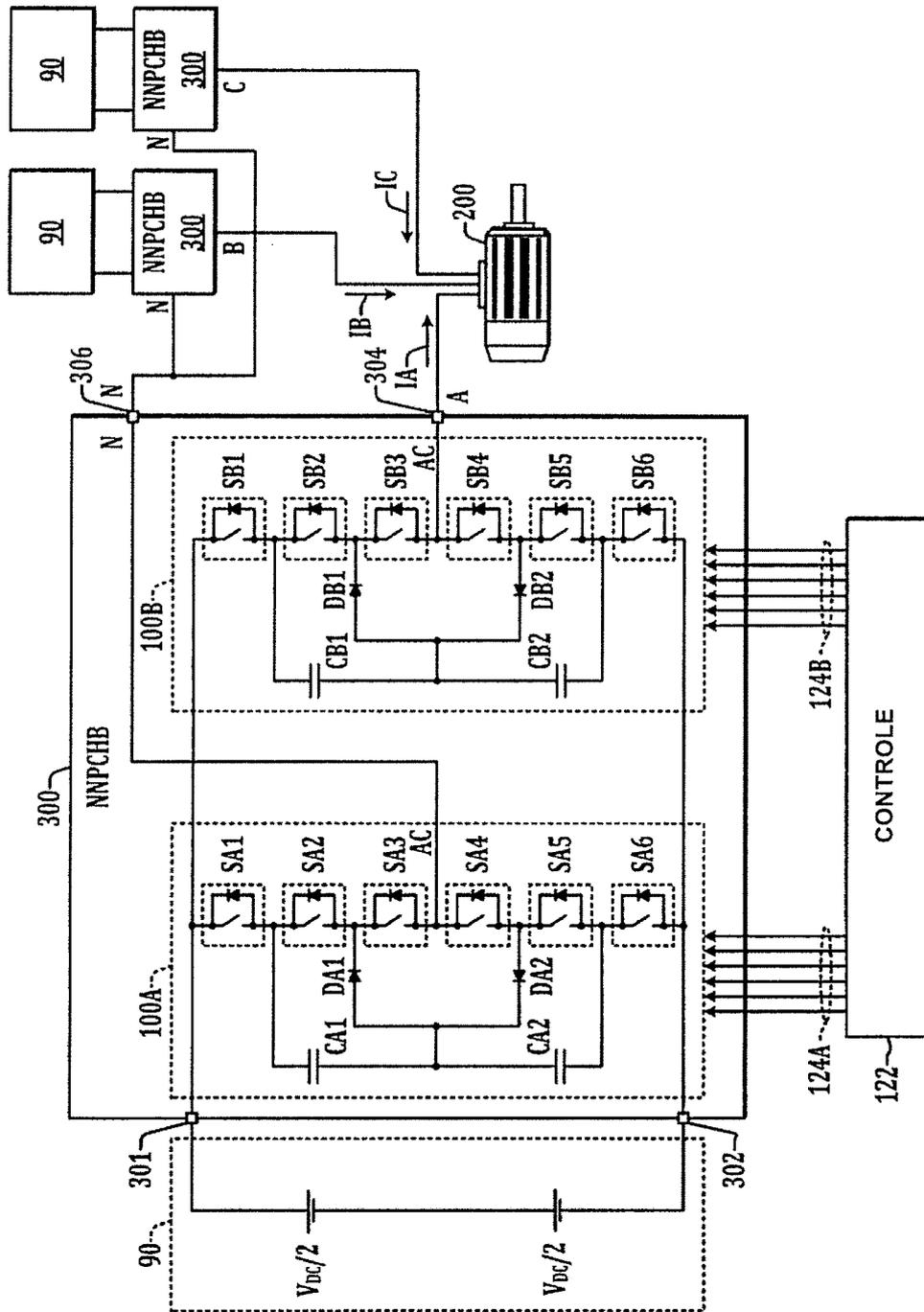


FIG. 9

ROKZ200111 / 13AB064

310 →

	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	V _{CA1}	V _{CA2}	V _{CB1}	V _{CB2}	V _N	V _A	V _{AN}
V1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	N/A	N/A	N/A	N/A	-V _{DC} /2	V _{DC} /2	V _{DC}
V2	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	N/A	N/A	-V _{DC} /6	V _{DC} /2	2V _{DC} /3
V3	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	N/A	D _{loop} >0 C _{loop} <0	N/A	N/A	-V _{DC} /6	V _{DC} /2	2V _{DC} /3
V4	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	N/A	N/A	C _{loop} >0 D _{loop} <0	N/A	-V _{DC} /2	V _{DC} /6	2V _{DC} /3
V5	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	N/A	N/A	D _{loop} >0 C _{loop} <0	D _{loop} >0 C _{loop} <0	-V _{DC} /2	V _{DC} /6	2V _{DC} /3
V6	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	N/A	N/A	N/A	V _{DC} /6	V _{DC} /2	V _{DC} /3
V7	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	D _{loop} >0 C _{loop} <0	D _{loop} >0 C _{loop} <0	N/A	N/A	V _{DC} /6	V _{DC} /2	V _{DC} /3
V8	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	N/A	-V _{DC} /6	V _{DC} /6	V _{DC} /3
V9	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	N/A	D _{loop} >0 C _{loop} <0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	-V _{DC} /6	V _{DC} /6	V _{DC} /3	

FIG. 10A

ROKZ200111 / 13AB064

310 →

	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	VC41	VC42	VCB1	VCB2	V _N	V _A	V _{AN}
V10	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	D _{loop} >0 C _{loop} <0	D _{loop} >0 C _{loop} <0	-V _{DC} /6	V _{DC} /6	V _{DC} /3
V11	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	N/A	D _{loop} >0 C _{loop} <0	D _{loop} >0 C _{loop} <0	D _{loop} >0 C _{loop} <0	-V _{DC} /6	V _{DC} /6	V _{DC} /3
V12	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	N/A	D _{loop} >0 C _{loop} <0	N/A	N/A	-V _{DC} /2	-V _{DC} /6	V _{DC} /3
V13	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	N/A	N/A	N/A	D _{loop} >0 C _{loop} <0	-V _{DC} /2	-V _{DC} /6	V _{DC} /3
V14	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	N/A	N/A	N/A	N/A	V _{DC} /2	V _{DC} /2	0
V15	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	-V _{DC} /6	-V _{DC} /6	0			
V16	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	N/A	D _{loop} >0 C _{loop} <0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	-V _{DC} /6	-V _{DC} /6	0
V17	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	N/A	C _{loop} >0 D _{loop} <0	N/A	V _{DC} /6	V _{DC} /6	0
V18	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	D _{loop} >0 C _{loop} <0	D _{loop} >0 C _{loop} <0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	N/A	V _{DC} /6	V _{DC} /6	0

FIG. 10B

ROKZ200111 / 13AB064

310 →

	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	V _{CA1}	V _{CA2}	V _{CB1}	V _{CB2}	V _W	V _A	V _{AN}
V19	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	N/A	D _{loop} >0 C _{loop} <0	D _{loop} >0 C _{loop} <0	V _{dc} /6	V _{dc} /6	0
V20	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	D _{loop} >0 C _{loop} <0	V _{dc} /6	V _{dc} /6	0			
V21	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	C _{loop} >0 D _{loop} <0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	N/A	D _{loop} >0 C _{loop} <0	-V _{dc} /6	-V _{dc} /6	0
V22	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	N/A	D _{loop} >0 C _{loop} <0	N/A	D _{loop} >0 C _{loop} <0	-V _{dc} /6	-V _{dc} /6	0
V23	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	-V _{dc} /2	-V _{dc} /2	0
V24	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	N/A	N/A	D _{loop} >0 C _{loop} <0	D _{loop} >0 C _{loop} <0	V _{dc} /2	V _{dc} /6	-V _{dc} /3
V25	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	N/A	C _{loop} >0 D _{loop} <0	D _{loop} >0 C _{loop} <0	V _{dc} /6	-V _{dc} /6	-V _{dc} /3
V26	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	D _{loop} >0 C _{loop} <0	D _{loop} >0 C _{loop} <0	C _{loop} >0 D _{loop} <0	D _{loop} >0 C _{loop} <0	V _{dc} /6	-V _{dc} /6	-V _{dc} /3
V27	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	C _{loop} >0 D _{loop} <0	N/A	N/A	D _{loop} >0 C _{loop} <0	V _{dc} /6	-V _{dc} /6	-V _{dc} /3

FIG. 10C

ROKZ200111 / 13AB064

310 ↗

	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	V _{CA1}	V _{CA2}	V _{CB1}	V _{CB2}	V _N	V _A	V _{AN}
V28	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	D _{lovr} >0 C _{lovr} <0	D _{lovr} >0 C _{lovr} <0	N/A	D _{lovr} >0 C _{lovr} <0	V _{DC} /6	-V _{DC} /6	-V _{DC} /3
V29	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	N/A	N/A	C _{lovr} >0 D _{lovr} <0	N/A	V _{DC} /2	V _{DC} /6	-V _{DC} /3
V30	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	C _{lovr} >0 D _{lovr} <0	C _{lovr} >0 D _{lovr} <0	N/A	N/A	-V _{DC} /6	-V _{DC} /2	-V _{DC} /3
V31	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	N/A	D _{lovr} >0 C _{lovr} <0	N/A	N/A	-V _{DC} /6	-V _{DC} /2	-V _{DC} /3
V32	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	C _{lovr} >0 D _{lovr} <0	N/A	N/A	N/A	V _{DC} /6	-V _{DC} /2	-2V _{DC} /3
V33	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	D _{lovr} >0 C _{lovr} <0	D _{lovr} >0 C _{lovr} <0	N/A	N/A	V _{DC} /6	-V _{DC} /2	-2V _{DC} /3
V34	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	N/A	N/A	N/A	D _{lovr} >0 C _{lovr} <0	V _{DC} /2	-V _{DC} /6	-2V _{DC} /3
V35	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	N/A	N/A	C _{lovr} >0 D _{lovr} <0	C _{lovr} >0 D _{lovr} <0	V _{DC} /2	-V _{DC} /6	-2V _{DC} /3
V36	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	V _{DC} /2	-V _{DC} /2	-V _{DC}

FIG. 10D

ROKZ200111 / 13AB064

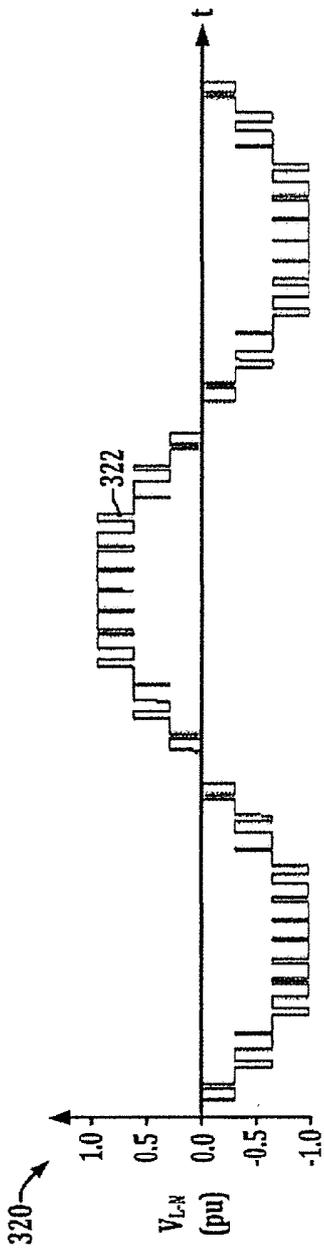


FIG. 11

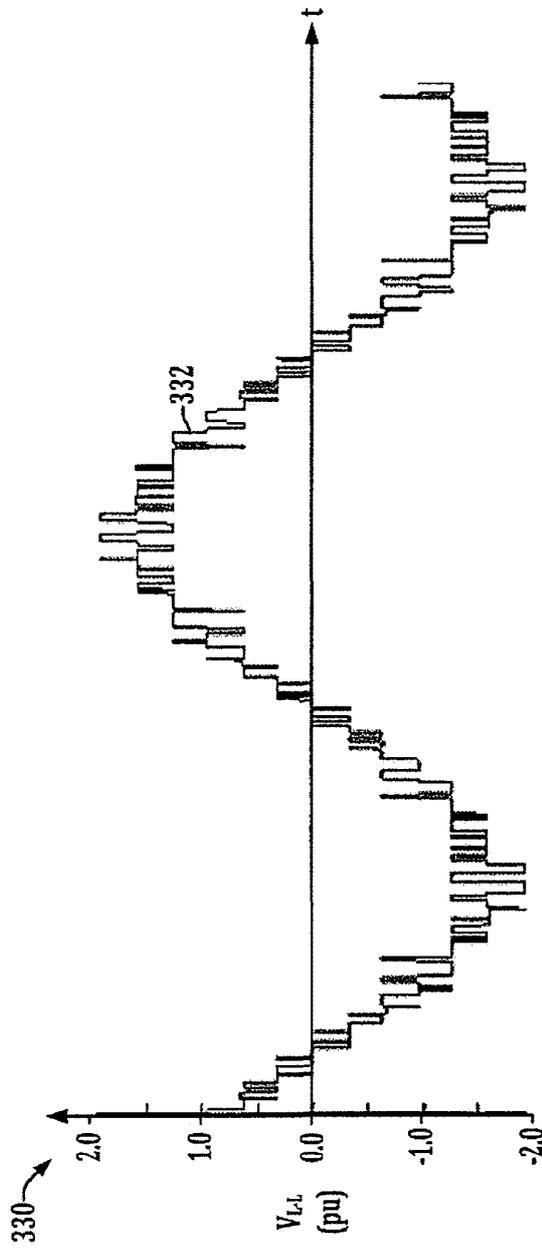


FIG. 12

ROKZ200111 / 13AB064

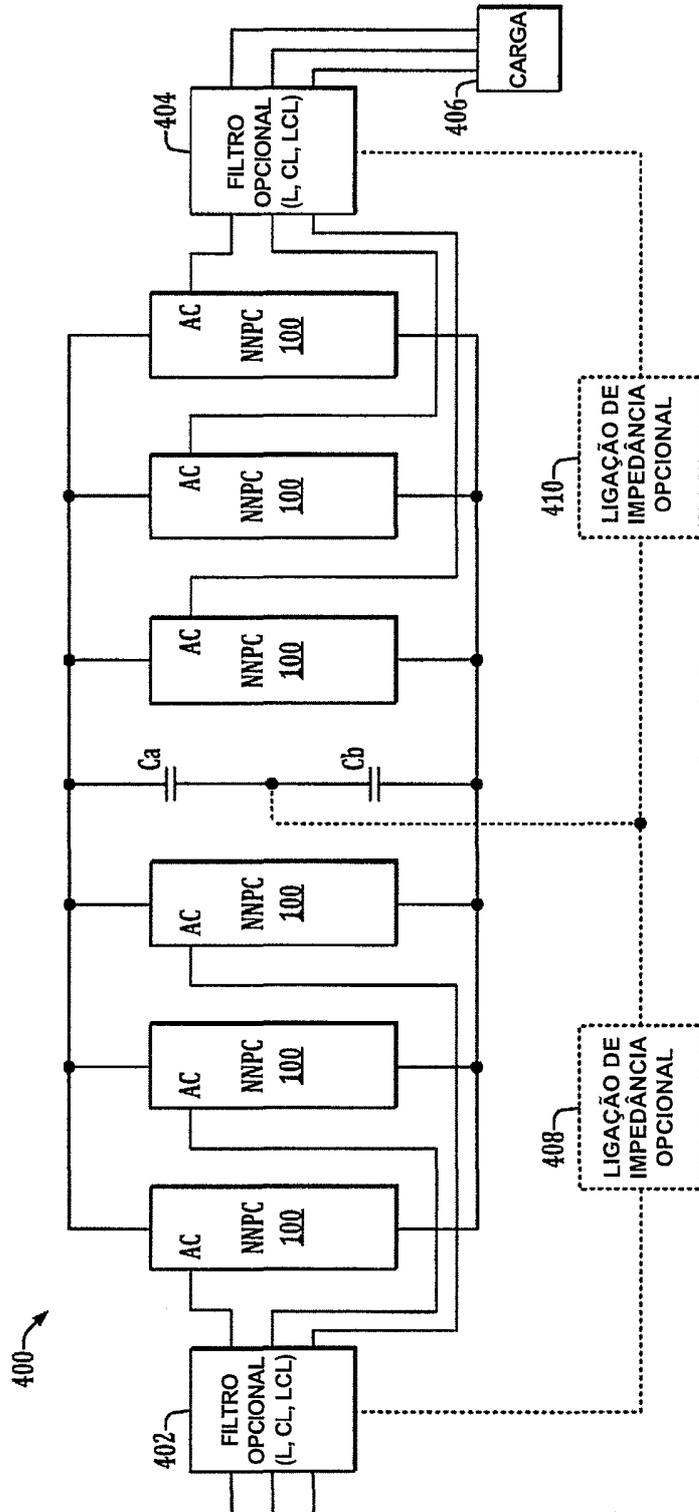


FIG. 13

ROKZ200111 / 13AB064

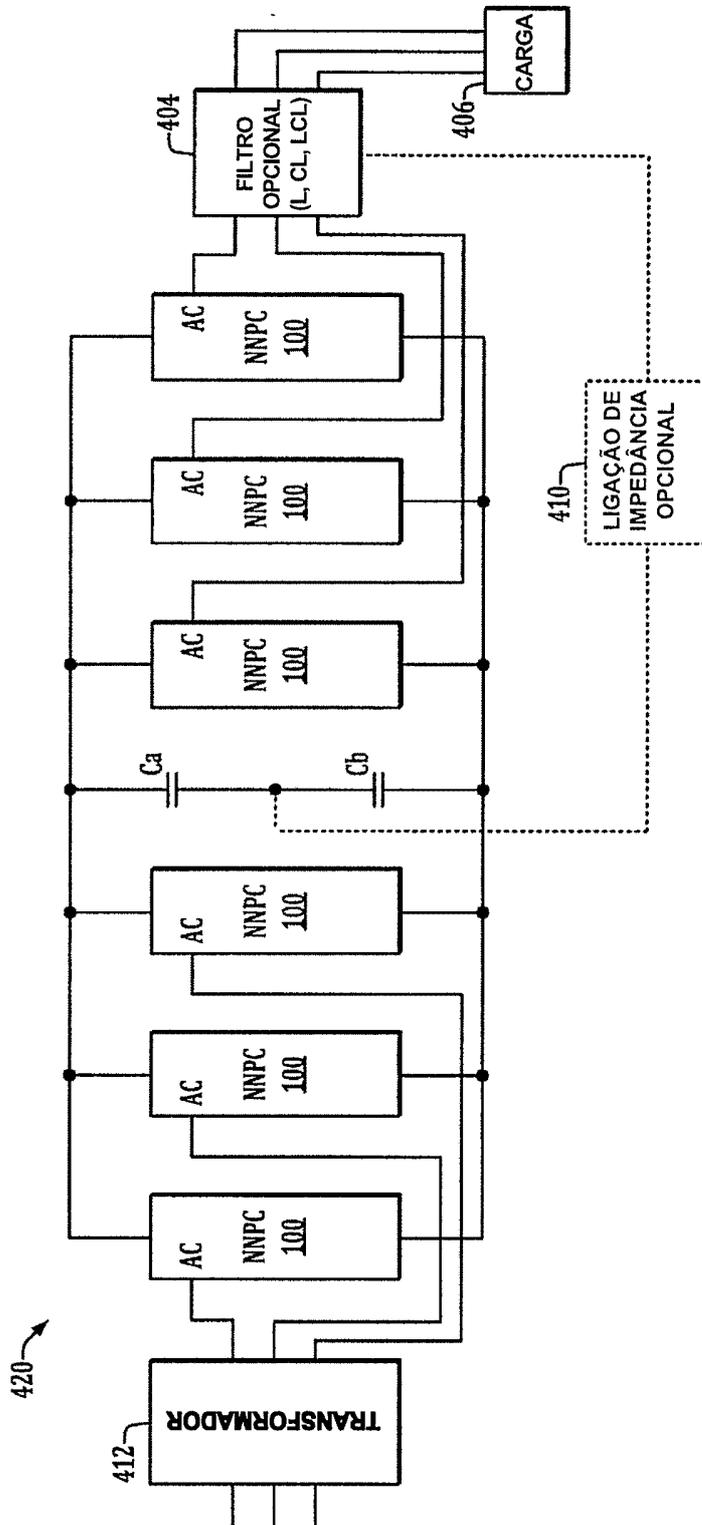


FIG. 14

ROKZ200111 / 13AB064

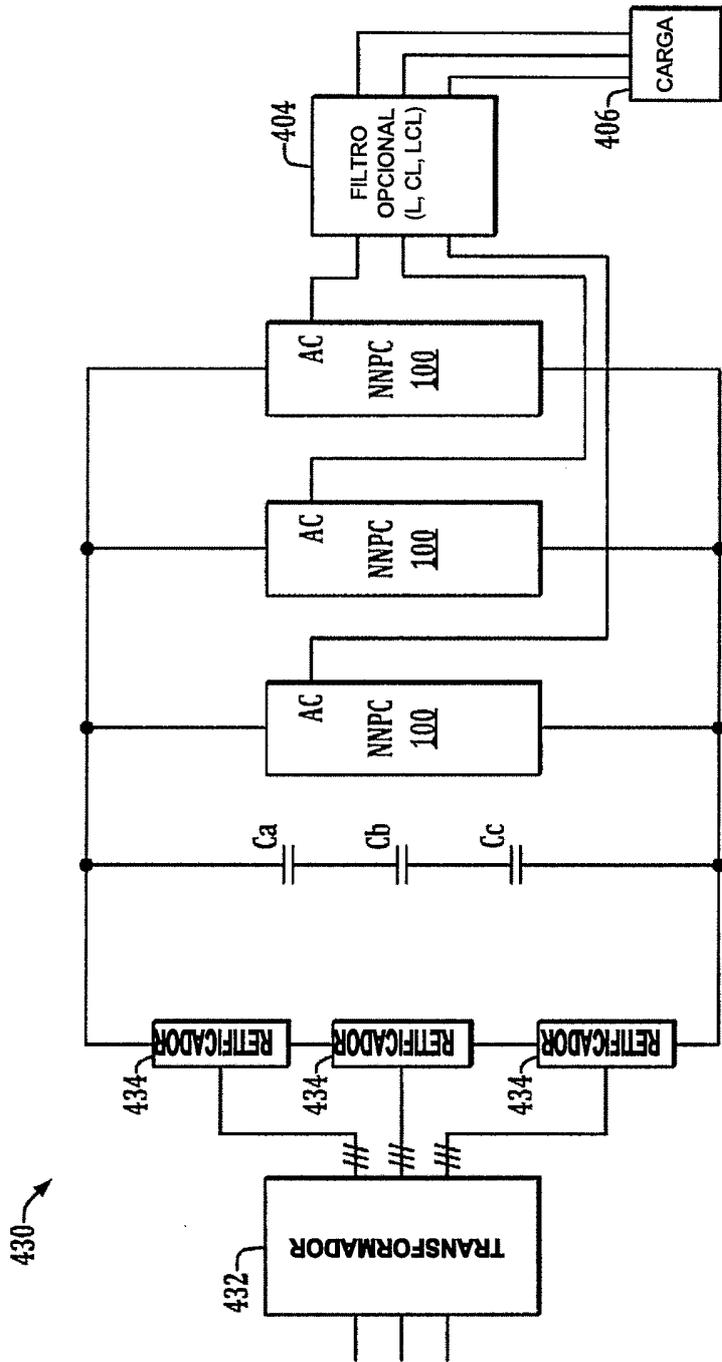


FIG. 15

ROKZ200111 / 13AB064

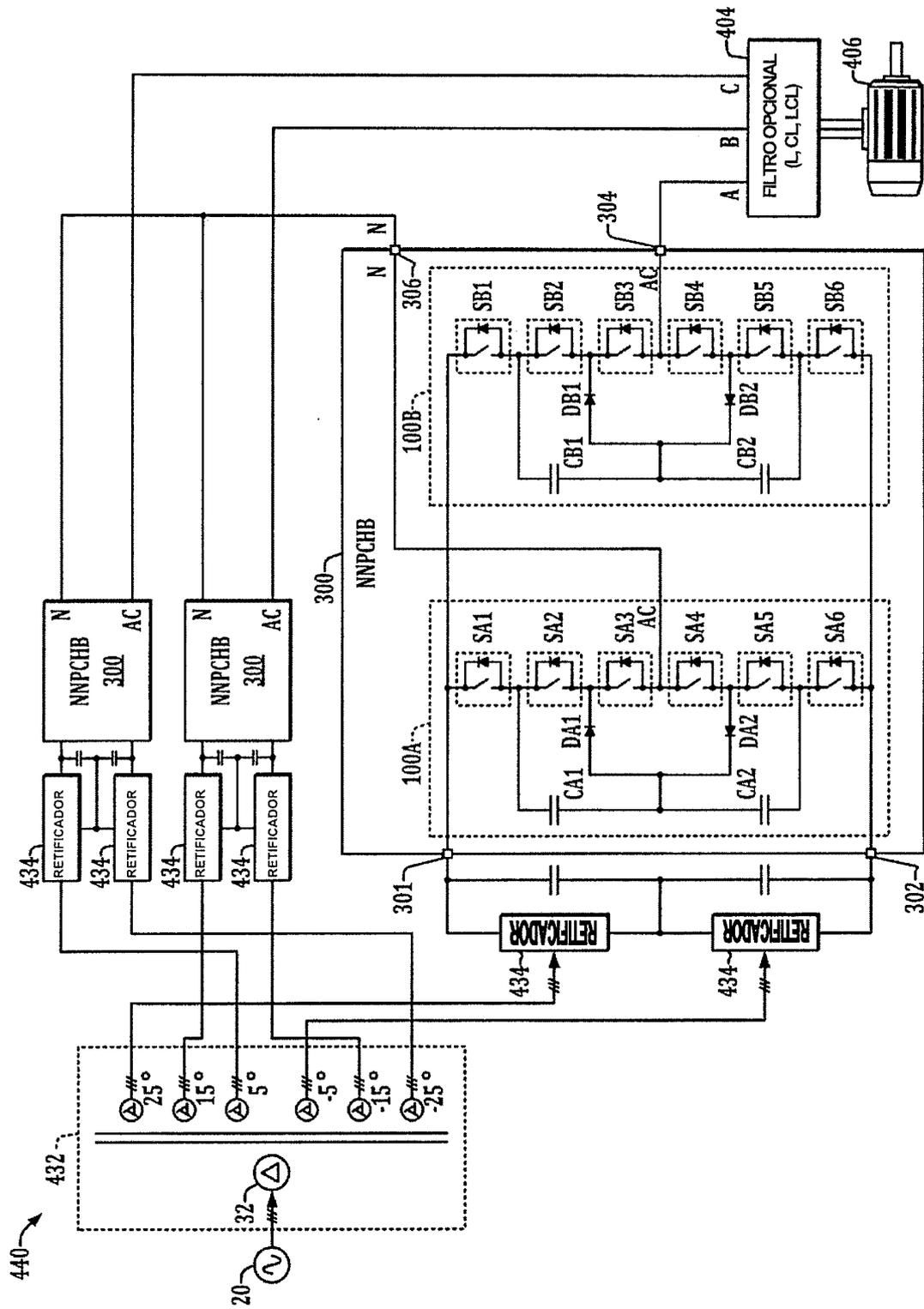


FIG. 16

ROKZ200111 / 13AB064

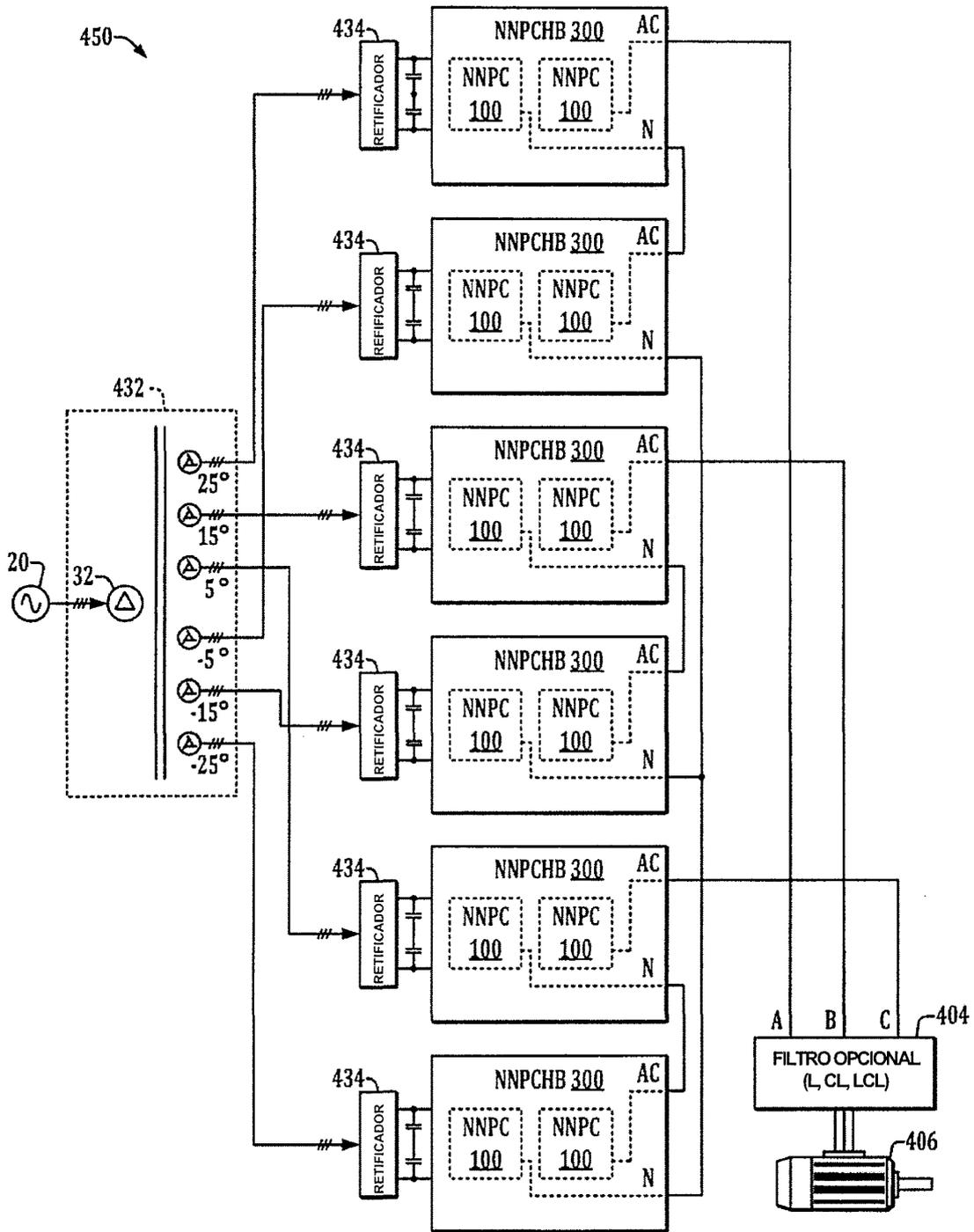


FIG. 17

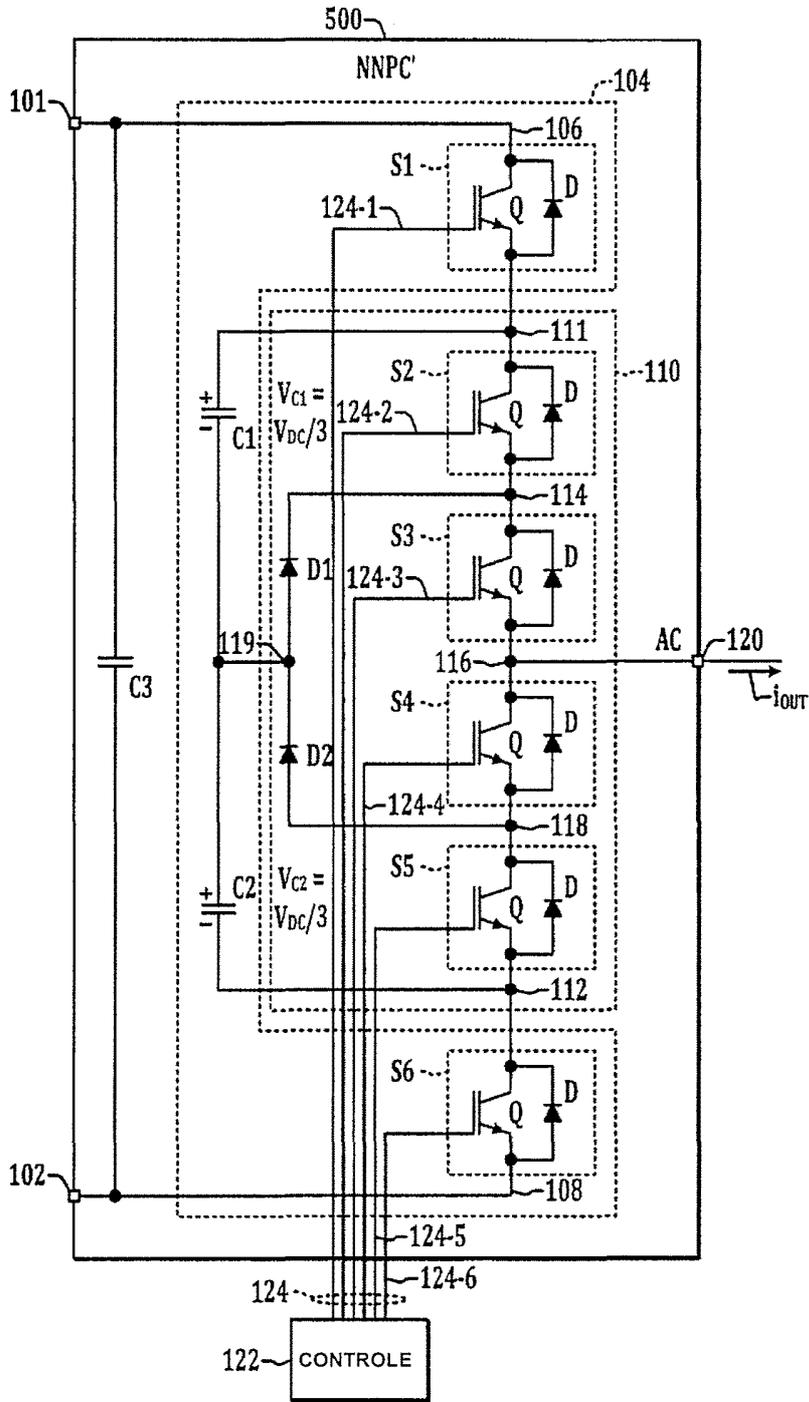


FIG. 18

ROKZ200111 / 13AB064

510

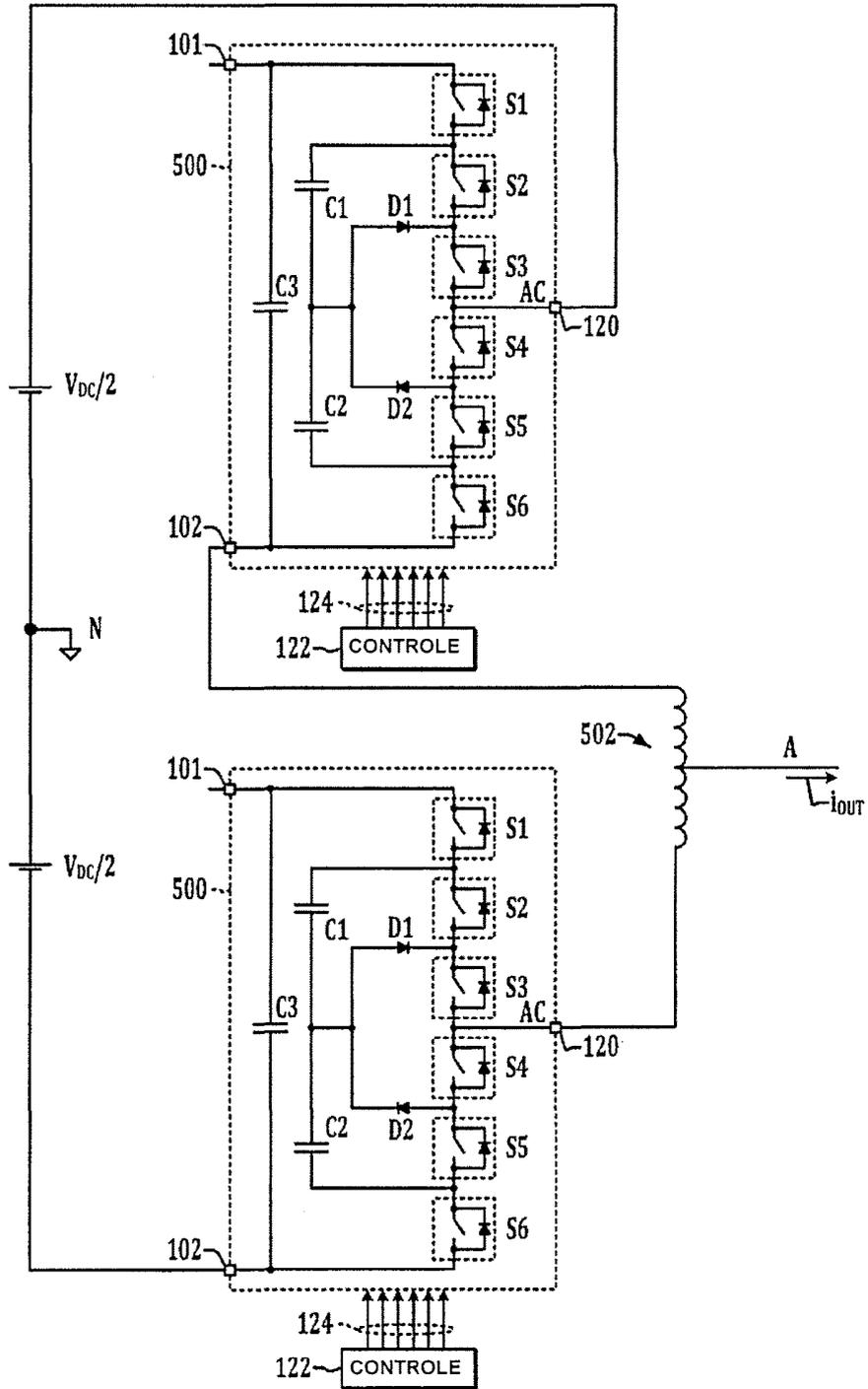


FIG. 19

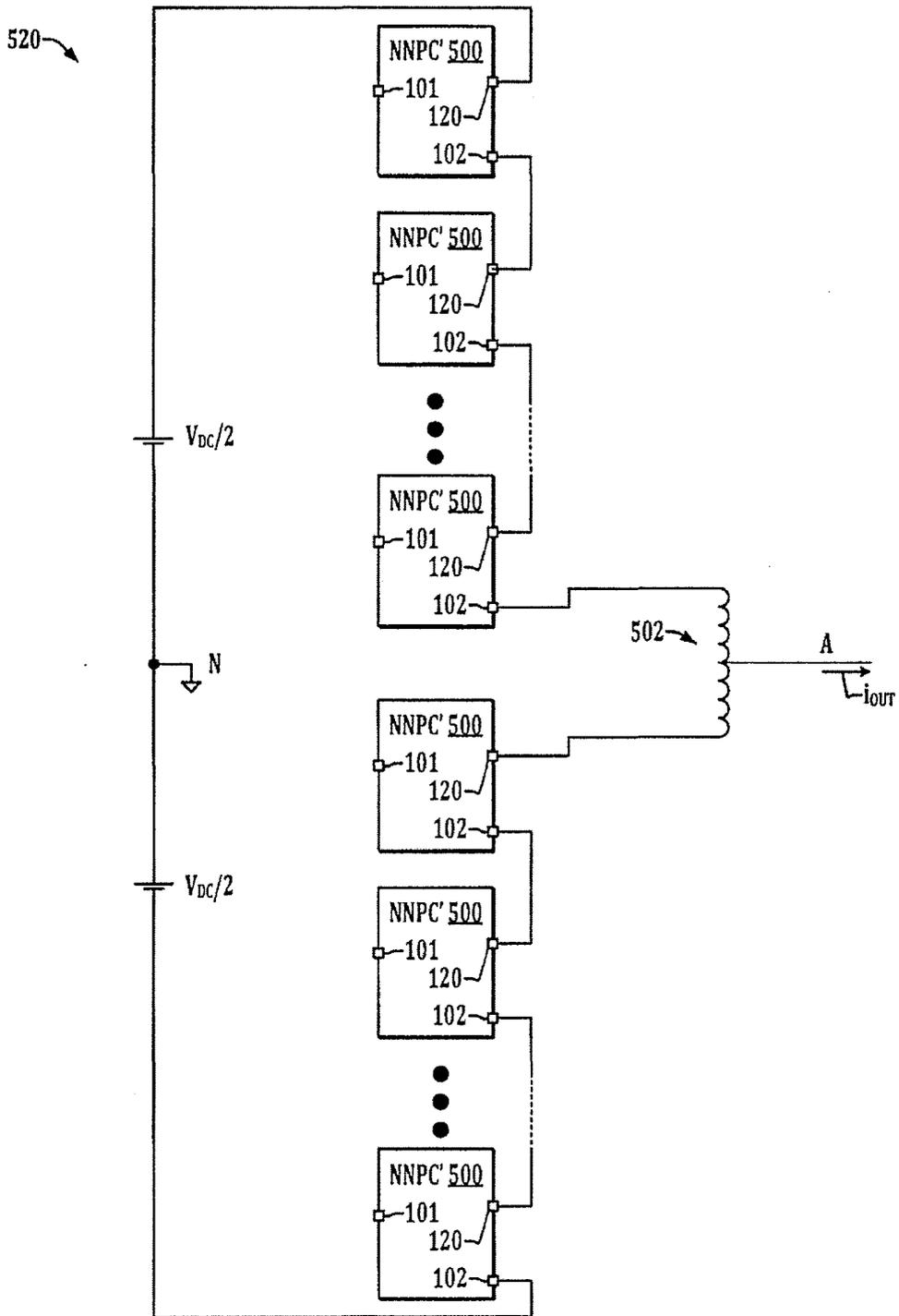


FIG. 20

ROKZ200111 / 13AB064

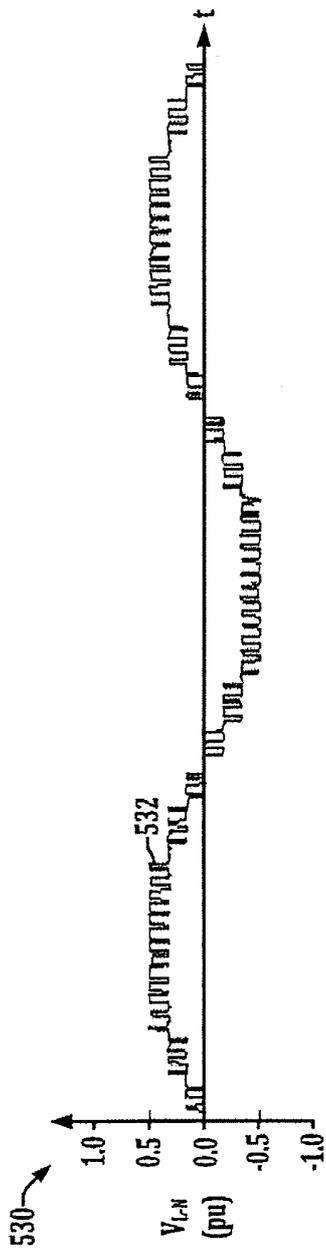


FIG. 21

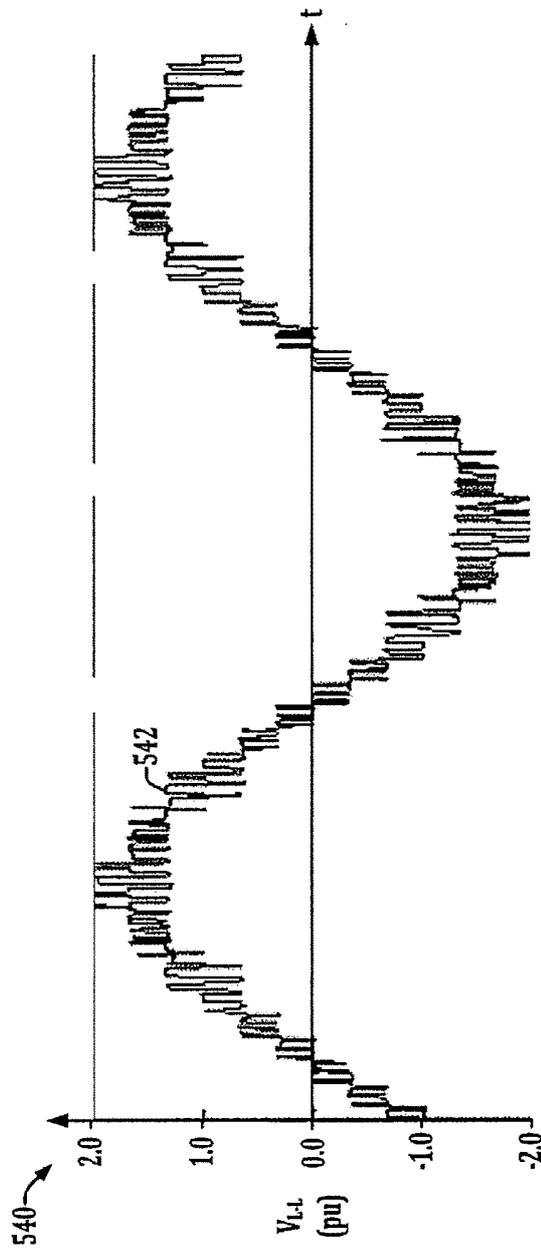


FIG. 22

ROKZ200111 / 13AB064

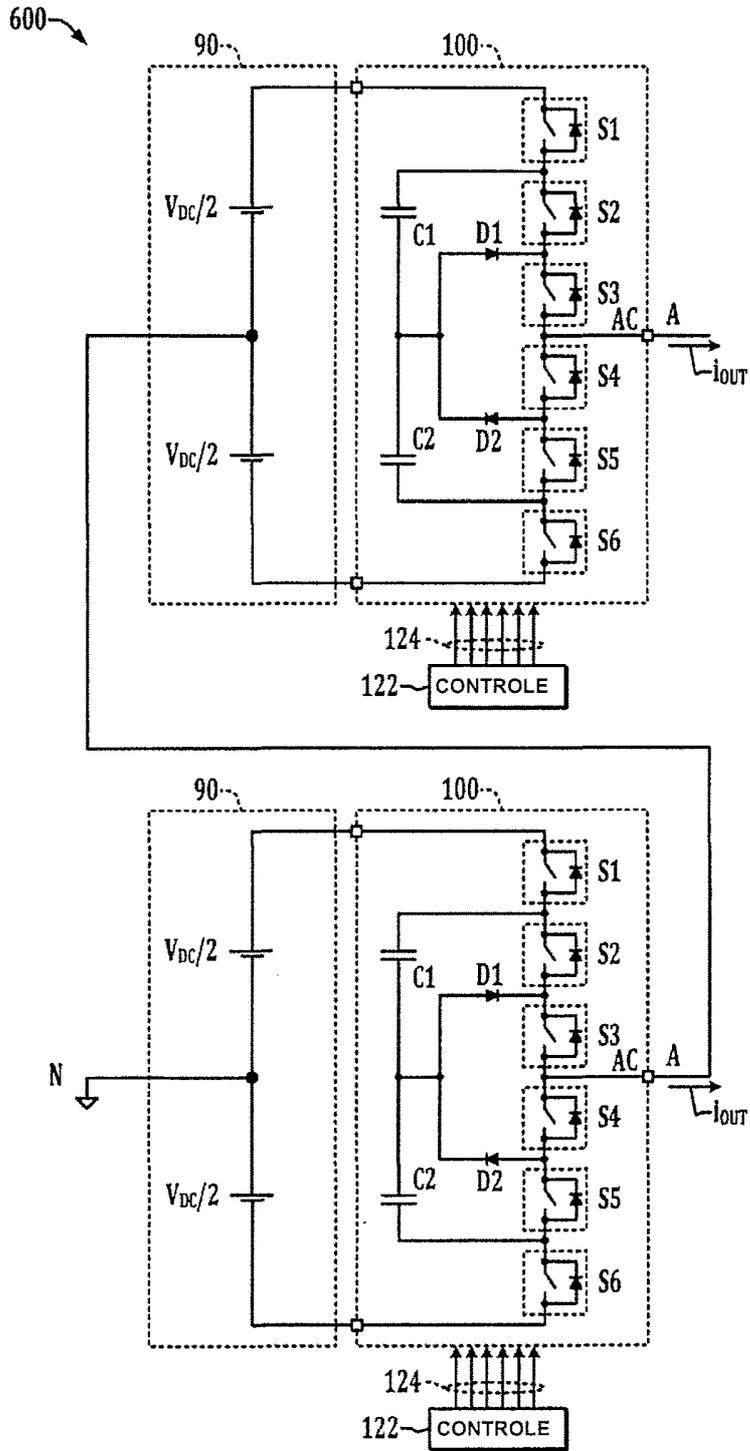


FIG. 23

ROKZ200111 / 13AB064



FIG. 24

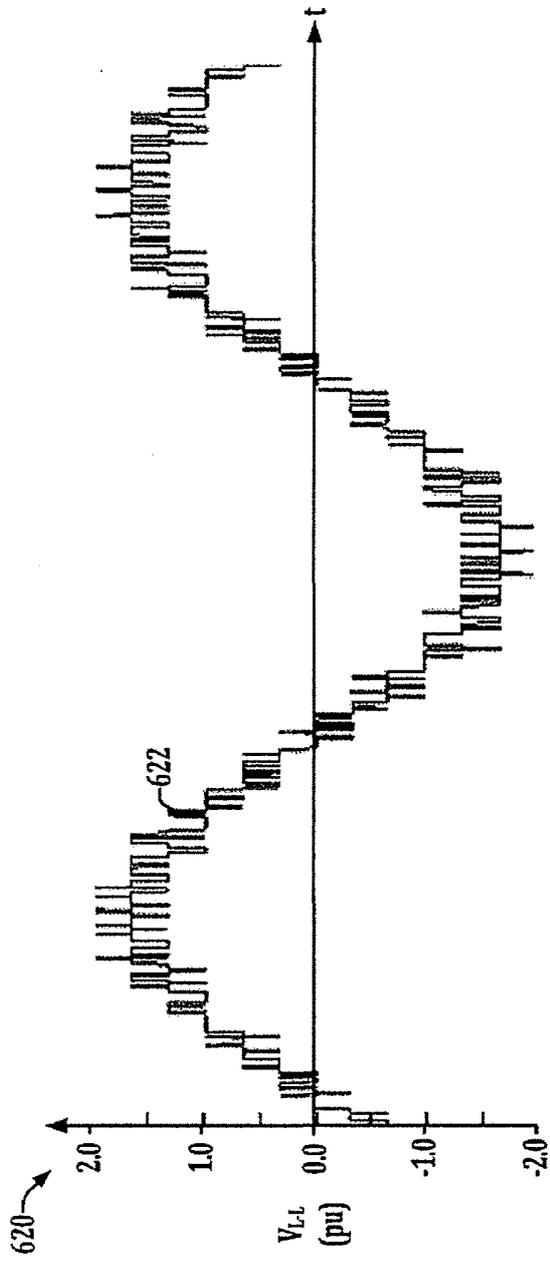
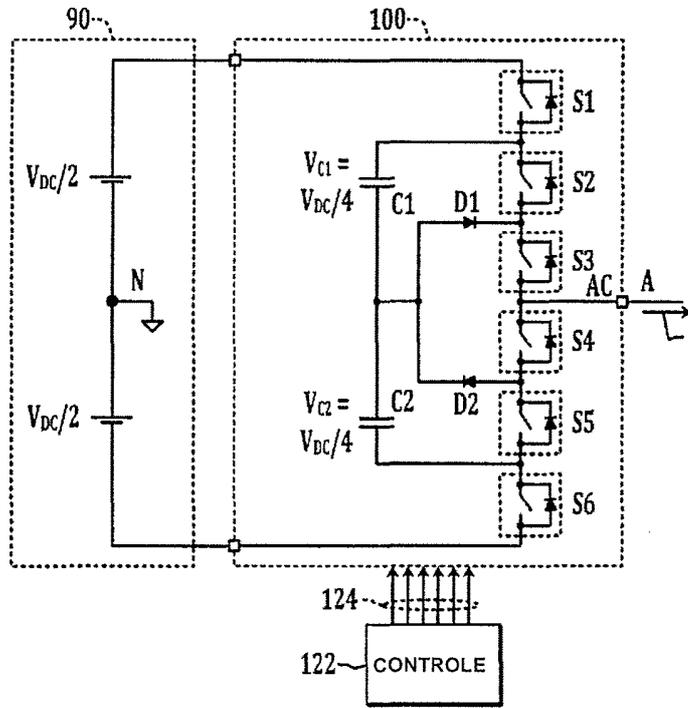


FIG. 25

ROKZ200111 / 13AB064

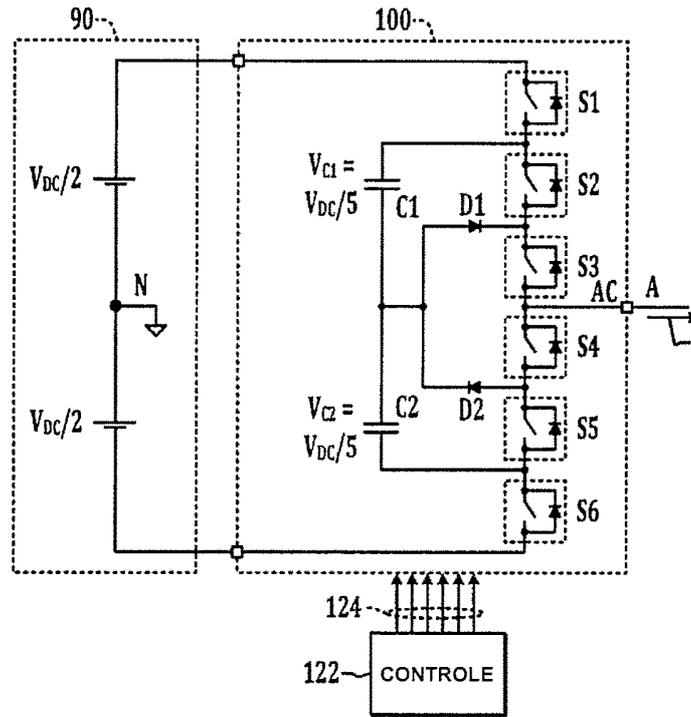


700

	124-1	124-2	124-3	124-4	124-5	124-6	V_{AN}
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
V1	1	1	1	0	0	0	$V_{DC}/2$
V2	1	0	1	1	0	0	$V_{DC}/4$
V3	1	0	0	1	1	0	0
V4	0	1	1	0	0	1	0
V5	0	0	1	1	0	1	$-V_{DC}/4$
V6	0	0	0	1	1	1	$-V_{DC}/2$

FIG. 26

ROKZ200111 / 13AB064



800

	124-1	124-2	124-3	124-4	124-5	124-6	V_{AN}
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
V1	1	1	1	0	0	0	$0.5V_{DC}$
V2	1	0	1	1	0	0	$0.3V_{DC}$
V3	1	0	0	1	1	0	$0.1V_{DC}$
V4	0	1	1	0	0	1	$-0.1V_{DC}$
V5	0	0	1	1	0	1	$-0.3V_{DC}$
V6	0	0	0	1	1	1	$-0.5V_{DC}$

FIG. 27

ROKZ200111 / 13AB064

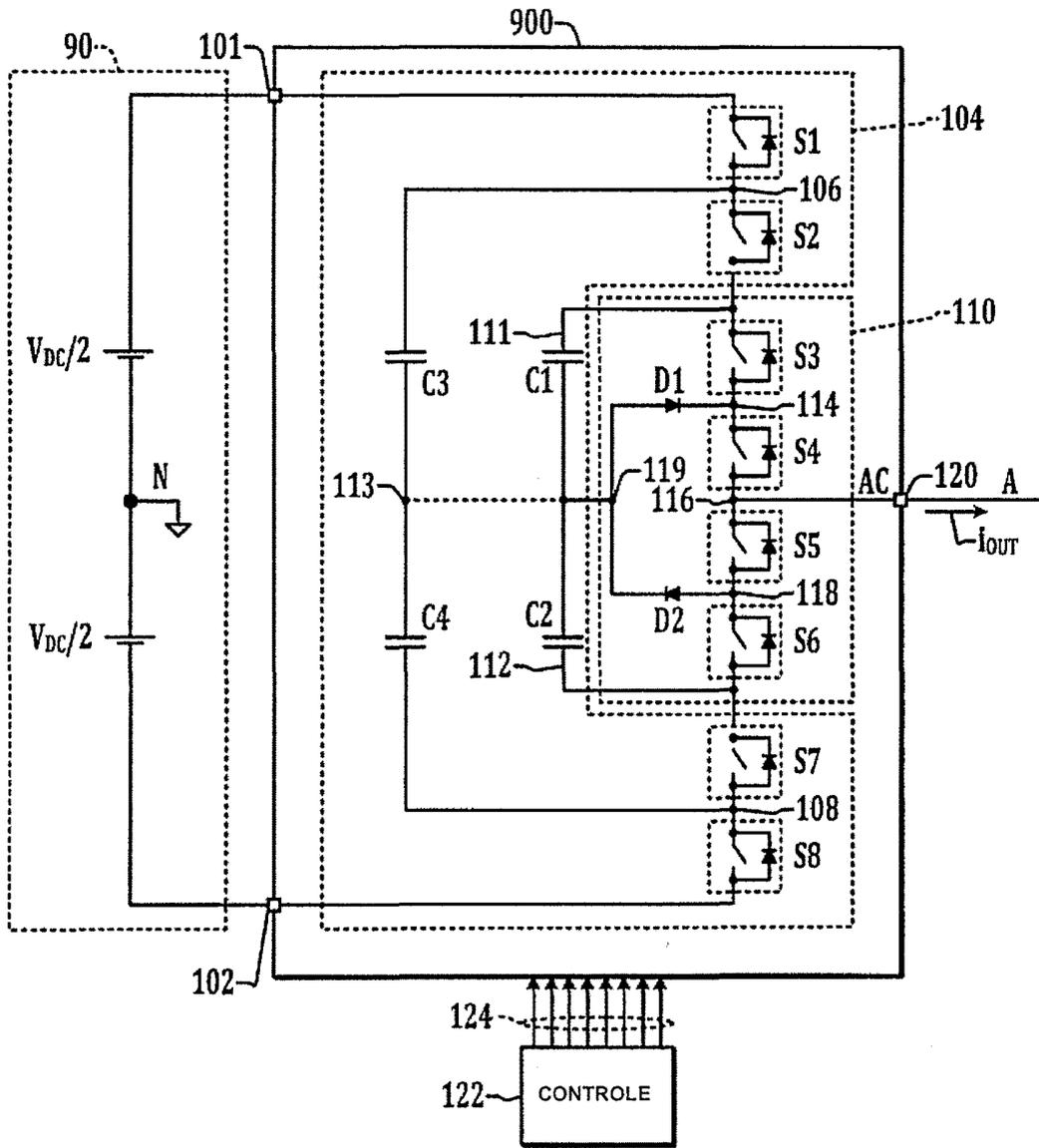


FIG. 28

ROKZ200111 / 13AB064

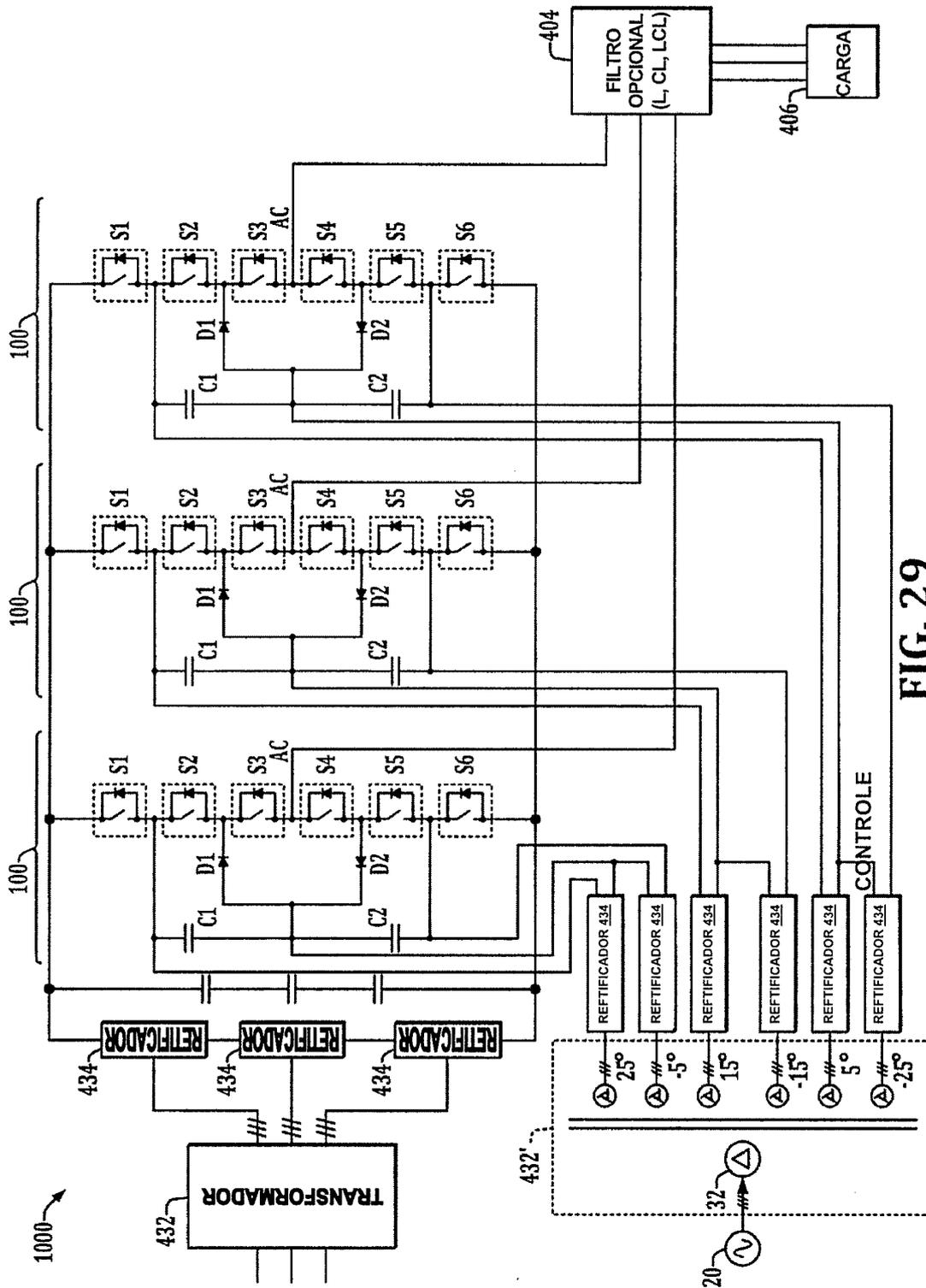


FIG. 29

RESUMOCONVERSOR DE ENERGIA MULTINÍVEL, E, SISTEMA DE
CONVERSÃO DE ENERGIA

Estágios (100) e sistemas (300) de conversor de energia multinível de ponto neutro grampeado aninhado (NNPC) são apresentados, nos quais o estágio de conversor inclui um circuito de núcleo de inversor NPC (110) com um circuito de aninhamento de capacitor (comutado) flutuante (104), com as chaves do núcleo NPC (110) e o circuito de capacitor comutado (104) sendo disparadas utilizando estados de comutação redundantes selecionados para controlar a tensão dos capacitores comutados ou atingir uma tensão de saída multinível tendo valores de degrau de tensão espaçados igualmente. Múltiplos estágios de inversor (100) podem se encontrar em cascata ou conectados em diversas configurações para implementar sistemas de conversão de energia monofásicos ou multifásicos, e tensões de saída mais altas podem ser atingidas ao formar dois estágios de conversor (100) em uma configuração de ponte H, e conectar múltiplos estágios de ponte H em série uns com os outros.