



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

(21) BR 102014021902-1 A2

(22) Data do Depósito: 04/09/2014

(43) Data da Publicação: 01/12/2015

(RPI 2343)



(54) **Título:** MÉTODOS PARA OPERAR UM CIRCUITO ELÉTRICO E PARA OPERAR UMA REDE INTERCONECTADA E CIRCUITO ELÉTRICO

(51) **Int. Cl.:** H02M 5/44

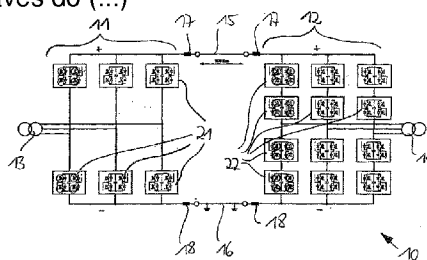
(30) **Prioridade Unionista:** 05/09/2013 DE 102013109714.6

(73) **Titular(es):** GE ENERGY POWER CONVERSION TECHNOLOGY LTD

(72) **Inventor(es):** JOERG JANNING

(74) **Procurador(es):** CAROLINA NAKATA

(57) **Resumo:** MÉTODOS PARA OPERAR UM CIRCUITO ELÉTRICO E PARA OPERAR UMA REDE INTERCONECTADA E CIRCUITO ELÉTRICO. Trata-se de um método para operar um circuito elétrico, em que é fornecido um comutador modular (21) que compreende quatro componentes semicondutores de potência e um capacitor. Com esse método, tanto o primeiro quanto o segundo componentes semicondutores de potência (V1, V2) são comutados de modo a conduzir e tanto o terceiro quanto o quarto componentes semicondutores de potência (V3, V4) são controlados de modo a bloquear, de modo que uma corrente (i) flua da primeira conexão (24) através do primeiro componente semicondutor de potência (V1), através do capacitor (C) e através do segundo componente semicondutor de potência (V2) para a segunda conexão (25) ou tanto o terceiro quanto o quarto componentes semicondutores de potência (V3, V4) são comutados de modo a conduzir e tanto o primeiro quanto o segundo componentes semicondutores de potência (V1, V2) são controlados de modo a bloquear, de modo que uma corrente (i) flua na direção inversa da segunda conexão (25) através do quarto componente semicondutor de potência (V4), através do (...)



**“MÉTODOS PARA OPERAR UM CIRCUITO ELÉTRICO E PARA OPERAR
UMA REDE INTERCONECTADA E CIRCUITO ELÉTRICO”**

[001] A invenção refere-se a um método para operar um circuito elétrico e um circuito elétrico correspondente.

[002] A partir da publicação nº DE 10 2010 046 142 A1, um circuito elétrico foi conhecido, sendo que o dito circuito é composto de uma pluralidade de comutadores modulares. Como um resultado de uma disposição apropriada e ativação dos componentes semicondutores de potência dos comutadores modulares, é possível, fazendo-se isso, incorporar o circuito elétrico como um conversor, isto é, para a conversão de uma tensão contínua em uma tensão alternada ou vice versa. Consequentemente, o circuito elétrico pode ser usado, particularmente, para a transmissão de energia com tensões contínuas altas.

[003] Referindo-se ao documento nº DE 10 2010 046 142 A1, a corrente pode fluir através dos comutadores modulares em somente uma direção. Portanto, se o circuito elétrico conhecido for usado, por exemplo, na transmissão de corrente contínua de alta tensão (HVDC), isso tem o resultado de que uma inversão da direção da transmissão de energia pode ser alcançada somente na medida em que a tensão contínua seja invertida. Entretanto, no caso de um cabo submarino unipolar, isso é possível somente dentro de restrições consideráveis.

[004] É o objetivo da presente invenção melhorar o circuito elétrico conhecido.

[005] A invenção alcança esse objetivo com um método conforme na reivindicação 1 e reivindicação 4, assim como com um circuito elétrico conforme na reivindicação 2.

[006] O circuito elétrico em concordância com a invenção compreende pelo menos um comutador modular, em que o comutador modular

é dotado de um primeiro circuito em série que compreende um primeiro componente semiconductor de potência controlável e um primeiro diodo, e de um segundo circuito em série que compreende um segundo diodo e um segundo componente semiconductor de potência controlável; em que o ponto de conexão do primeiro componente semiconductor de potência e do primeiro diodo formam uma primeira conexão e o ponto de conexão do segundo diodo e do segundo componente semiconductor de potência formam uma segunda conexão do comutador modular; em que, no primeiro circuito em série, o primeiro componente semiconductor de potência é conectado em paralelo a um terceiro diodo e o primeiro diodo é conectado em paralelo a um terceiro elemento semiconductor de potência controlável; em que, no segundo circuito em série, o segundo componente semiconductor de potência é conectado em paralelo a um quarto diodo e o segundo diodo é conectado em paralelo a um quarto componente semiconductor de potência controlável; em que as direções de condução do terceiro diodo e do terceiro componente semiconductor de potência correspondem às direções de condução do primeiro diodo e do primeiro componente semiconductor de potência e as direções de condução do quarto diodo e do quarto componente semiconductor de potência correspondem às direções de condução do segundo diodo e do segundo semiconductor de potência; em que o comutador modular é dotado de um capacitor; e em que o primeiro circuito em série e o segundo circuito em série e o capacitor do comutador modular são conectados em paralelo um em relação ao outro.

[007] Referindo-se ao método em concordância com a invenção, ou tanto o primeiro quanto o segundo componentes semicondutores de potência são conectados de modo a conduzir e tanto o terceiro quanto o quarto componentes semicondutores de potência são controlados de modo a bloquear, de modo que uma corrente da primeira conexão flua através do primeiro componente semiconductor de potência, através do capacitor e através

do segundo componente semiconductor de potência para a segunda conexão, ou tanto o terceiro quanto o quarto componentes semicondutores de potência são conectados de modo a conduzir e tanto o primeiro quanto o segundo componentes semicondutores de potência são controlados de modo a bloquear, de modo que uma corrente flua na direção inversa da segunda conexão através do quarto componente semiconductor de potência, através do capacitor e através do terceiro componente semiconductor de potência para a primeira conexão.

[008] A invenção exhibe a vantagem de que a corrente pode fluir através dos comutadores modulares em ambas as direções. Isso pode ser alcançado com uma ativação apropriada dos comutadores modulares. Fazendo-se isso, é possível que a energia elétrica na forma de uma corrente contínua seja carregada em ambas as direções através de conversores de potência que compreendem os comutadores modulares.

[009] Referindo-se ao circuito elétrico em concordância com a invenção, uma inversão de tensão da tensão contínua não é necessária. Dentre outras coisas, isso traz a vantagem de que cabos unipolares podem ser usados na transmissão de tensão contínua.

[010] Se a invenção for aplicada, por exemplo, na transmissão de energia de tensões contínuas altas dentro de uma rede de tensão direta interconectada, é possível ajustar livremente as tensões contínuas que são usadas para a transmissão de energia. Dessa maneira, é possível – mesmo no caso de uma situação de erro – limitar a tensão contínua a uma seção de transmissão e poder, assim, responder à situação de erro.

[011] Ademais, a invenção exhibe vantagens substanciais em situações de erro e curto-circuito. Portanto, se, em uma rede de tensão contínua interconectada, o maior número possível ou todos os conversores de corrente puderem alterar a tensão contínua e limitar, assim, a corrente

contínua, é possível – após um erro ou um curto-circuito ter sido detectado – limitar primeiro a corrente de erro ou curto-circuito na localização de erro ou curto-circuito com o uso da invenção a fim de, por exemplo, quebrar subsequente e completamente e separar galvanicamente a corrente de erro ou corrente de curto-circuito, por exemplo, com a ajuda de disjuntores comuns, já comercialmente disponíveis.

[012] Os recursos adicionais, as possibilidades de uso e as vantagens da invenção podem ser inferidos a partir da descrição das realizações exemplificativas da invenção doravante, sendo que as ditas realizações exemplificativas são ilustradas nas figuras relacionadas. Fazendo-se isso, o objetivo da invenção é representado por cada um dos exemplos descritos ou ilustrados, individualmente ou em qualquer combinação e independentemente de seu resumo ou sua citação ou ilustração na descrição ou nas figuras. As mesmas mostram:

A Figura 1 é um diagrama de circuito de blocos esquemático de uma realização exemplificativa de um circuito elétrico;

As Figuras 2 e 3 são seções do circuito elétrico da Figura 1;

A Figura 4a é um diagrama de circuito de blocos esquemático de uma aplicação do circuito elétrico da Figura 1; e

A Figura 4b é um diagrama de dependência de tempo esquemático das características de corrente e tensão como na Figura 4a.

A Figura 1 mostra um circuito elétrico 10 que pode ser usado, de preferência, dentro de uma estrutura de uma assim chamada transmissão de corrente contínua de alta tensão (HVDC). Particularmente, o circuito 10 pode ser usado para conectar duas redes de fonte de alimentação elétrica existentes a fim de transmitir energia elétrica entre as redes de fonte de alimentação em ambas as direções. Doravante segue uma descrição da direção do fluxo de corrente durante uma operação normal, isto é, para a operação na qual a

corrente flui através de componentes semicondutores de potência cronometrados e não em seus diodos antiparalelos. Outros fluxos de corrente nas direções opostas são possíveis, entretanto, os mesmos não serão especificamente descritos aqui.

[013] O circuito 10 compreende um primeiro conversor 11 e um segundo conversor 12. O primeiro conversor 11 é conectado a um primeiro transformador 13 em seu lado de tensão alternada e o segundo conversor 12 é conectado a um segundo transformador 14 em seu lado de tensão alternada. Cada um dos conversores 11, 12, os transformadores 13, 14 e suas conexões elétricas são trifásicos na presente realização exemplificativa.

[014] Em seu lado de tensão contínua, os dois conversores 11, 12 são conectados um ao outro por meio de duas linhas elétricas 15, 16. As indutâncias 17, 18 podem existir entre os conversores 11, 12 e as linhas 15, 16.

[015] Cada um dos dois conversores 11, 12 é disposto para converter uma tensão contínua em uma tensão alternada ou vice versa. Os dois transformadores 13, 14 são dispostos para adaptar a tensão no lado de tensão alternada do conversor respectivamente associado 11, 12 às condições limite existentes.

[016] Uma tensão contínua é aplicada entre as duas linhas elétricas 15, 16. Especificamente, isso é uma tensão alta, por exemplo, 320 kV. O comprimento das duas linhas 15, 16 pode ser diversos quilômetros, por exemplo, 100 km. Uma das duas linhas 15, 16, por exemplo, a linha 16, pode ser aterrada. De preferência, uma transmissão de corrente contínua de alta tensão (HVDC) pode ser implantada por meio das duas linhas 15, 16.

[017] Cada um dos conversores 11, 12 é composto de uma pluralidade de comutadores modulares 21, 22. Devido à realização trifásica exemplificativa, os comutadores modulares 21, 22 em cada um dos dois conversores 11, 12 são dispostos em três grupos. Cada um dos grupos de

cada conversor 11, 12 inclui o mesmo número de comutadores modulares 21, 22. Conforme será ainda explicado doravante, uma realização de três etapas do respectivo conversor exige, respectivamente, dois comutadores modulares 21, 22 por grupo, uma realização de cinco etapas exige, respectivamente, quatro comutadores modulares 21, 22 e assim por diante.

[018] É entendido que o número de fases do circuito 10 pode também ser maior ou menor do que três. Igualmente, o número de fases dos dois conversores 11, 12 ou dos transformadores associados 13, 14 pode também ser diferente. Igualmente, o número de comutadores modulares 21, 22 por grupo nos dois conversores 11, 12 pode também ser diferente. Ao invés de um transformador, é também possível usar um acelerador para uma solução que não usa um transformador.

[019] A Figura 2a mostra o comutador modular 21 que é fornecido no conversor 11.

[020] O comutador modular 21 tem um primeiro circuito em série que compreende um primeiro componente semiconductor de potência controlável V1 e um primeiro diodo D1, assim como um segundo circuito em série que compreende um segundo diodo D2 e um segundo componente semiconductor de potência controlável V2.

[021] Em um primeiro circuito em série, o coletor do primeiro componente semiconductor de potência V1 e o ânodo do primeiro diodo D1 são conectados um ao outro. Esse ponto de conexão é referido como a primeira conexão 24. No segundo circuito em série, o emissor do segundo componente semiconductor de potência V2 e o cátodo do segundo diodo D2 são conectados um ao outro. Esse ponto de conexão é referido como a segunda conexão 25.

[022] Os dois circuitos em série são conectados em paralelo um em relação ao outro. Conseqüentemente, o cátodo do primeiro diodo D1 é conectado ao coletor do segundo componente semiconductor de potência V2 e

o emissor do primeiro componente semicondutor de potência V1 é conectado ao ânodo do segundo diodo D2.

[023] No primeiro circuito em série, um terceiro diodo D3 é conectado em paralelo ao primeiro componente semicondutor de potência V1 e o primeiro diodo D1 é conectado em paralelo a um terceiro componente semicondutor de potência V3. As direções de condução do terceiro diodo D3 e do terceiro componente semicondutor de potência V3 correspondem às direções de condução do primeiro diodo D1 e dos primeiros componentes semicondutores de potência V1. De modo correspondente, o segundo componente semicondutor de potência V2 é conectado em paralelo a um quarto diodo D4 e o segundo diodo D2 é conectado em paralelo a um quarto componente semicondutor de potência V4.

[024] Um capacitor C é conectado em paralelo aos dois circuitos em série que são conectados em paralelo.

[025] Uma tensão contínua u_{dc} é aplicada ao capacitor C e uma tensão de conexão u_a existe entre as duas conexões 24, 25. A direção das tensões mencionadas anteriormente é indicada na Figura 2a. Ademais, uma corrente i flui a partir da primeira conexão 24 na direção para a segunda conexão 25.

[026] Referindo-se aos componentes semicondutores de potência V1, V2, V3, V4, os mesmos são comutadores controláveis, por exemplo, transistores, particularmente transistores de efeito em campo ou tiristores com um elemento protetor auxiliar opcionalmente exigido, particularmente tiristores de desativação de porta (GTO) ou transistores bipolares de porta isolada (IGBTs) ou componentes eletrônicos comparáveis. Dependendo da realização dos componentes semicondutores de potência V1, V2, V3, V4, suas conexões podem ser identificadas de diferentes modos. Os termos mencionados anteriormente coletor e emissor referem-se ao uso

exemplificativo de IGBTs. O capacitor C pode ser configurado de modo a ser unipolar.

[027] O comutador modular 21 pode assumir os estados a seguir:

- Se os componentes semicondutores de potência V1, V2, V3, V4 forem desativados (bloqueio), a corrente i pode fluir ou da primeira conexão 24 através do diodo D1, através do capacitor C e através do diodo D2 para a segunda conexão 25 ou, na direção inversa, da segunda conexão 25 através do diodo D4, através do capacitor C e através do diodo D3, para a primeira conexão 24. Em ambos os casos, o capacitor C é carregado pela corrente fluente i ou pela corrente fluente inversamente i de modo que a tensão contínua u_{dc} se torne maior. Independente das quedas de tensão nos diodos D1, D2 e D3, D4, respectivamente, a tensão de conexão u_a é igual à tensão contínua negativa $-u_{dc}$, portanto, $u_a = -u_{dc}$ ou igual à tensão contínua positiva u_{dc} ; portanto, $u_a = u_{dc}$.

- Se ambos os componentes semicondutores de potência V1, V2 forem ativados (condução) e ambos os componentes semicondutores de potência V3, V4 forem desativados (bloqueio), a corrente i – modo normal – flui da primeira conexão 24 através do primeiro componente semicondutor de potência V1, através do capacitor C e através do segundo componente semicondutor de potência V2 para a segunda conexão 25. O capacitor C é descarregado por essa corrente i de modo que a tensão contínua u_{dc} diminua. Independente das quedas de tensão nos componentes semicondutores de potência V1, V2, a tensão de conexão u_a é igual à tensão contínua positiva u_{dc} ; portanto, $u_a = u_{dc}$.

- Se ambos os componentes semicondutores de potência V3, V4 forem ativados (condução) e ambos os componentes semicondutores de potência V1, V2 forem desativados (bloqueio), a corrente i flui na direção inversa da segunda conexão 25 através do quarto componente semicondutor

de potência V4, através do capacitor C e através do terceiro componente semicondutor de potência V3 para a primeira conexão 24. O capacitor C é descarregado por essa corrente 1, de modo que a tensão contínua u_{dc} se torne menor. Independente das quedas de tensão nos componentes semicondutores de potência V3, V4, a tensão de conexão u_a é igual à tensão contínua negativa $-u_{dc}$; portanto, $u_a = -u_{dc}$.

- Se o primeiro componente semicondutor de potência V1 for ativado (condução) e os componentes semicondutores de potência V2, V3, V4 forem desativados (bloqueio), a corrente 1 flui da primeira conexão 24 através do primeiro componente semicondutor de potência V1 e através do segundo diodo D2 para a segunda conexão 25. A tensão contínua u_{dc} no capacitor C permanece constante. Independente das quedas de tensão no primeiro componente semicondutor de potência V1 e no segundo diodo 2, a tensão de conexão u_a é igual a zero; portanto, $u_a = 0$.

- Se os componentes semicondutores de potência V1, V3, V4 forem desativados (bloqueio) e o segundo componente semicondutor de potência V2 for ativado (condução), a corrente i flui da primeira conexão 24 através do primeiro diodo D1 e do segundo componente semicondutor de potência V2 para a segunda conexão 25. A tensão contínua u_{dc} no capacitor C permanece constante. Independente das quedas de tensão no primeiro diodo D1 e no segundo componente semicondutor de potência V2, a tensão de conexão u_a é igual a zero; portanto, $u_a = 0$.

- Se o terceiro componente semicondutor de potência V3 for ativado (condução) e os componentes supercondutores de potência V1, V2 forem desativados (bloqueio), a corrente i flui na direção inversa da segunda conexão 25 através do quarto diodo D4 e através do terceiro componente semicondutor de potência V3 para a primeira conexão 24. A tensão contínua u_{dc} no capacitor C é permanece constante. Independente das quedas de

tensão no terceiro componente semiconductor de potência V3 e no quarto diodo D4, a tensão de conexão u_a é igual a zero; portanto, $u_a = 0$.

- Se os componentes semicondutores de potência V1, V2, V3 forem desativados (bloqueio) e o quarto componente semiconductor de potência V4 for ativado (condução), a corrente i flui na direção inversa da segunda conexão 25 através do quarto componente semiconductor de potência V4 e do terceiro diodo D3 para a primeira conexão 24. A tensão contínua u_{dc} no capacitor C é permanece constante. Independente das quedas de tensão no terceiro diodo D3 e no quarto componente semiconductor de potência V4, a tensão de conexão u_a é igual a zero; portanto, $u_a = 0$.

[028] Consequentemente, a corrente através do comutador modular 21 pode fluir em ambas as direções.

[029] Em ambos os casos, isto é, independente da direção na qual a corrente flui através do comutador modular 21, a tensão de conexão u_a pode assumir essencialmente três valores, isto é, $u_a = -u_{dc}$ ou $u_a = u_{dc}$ ou $u_a = 0$. Fazendo-se isso, a tensão contínua u_{dc} no capacitor C pode aumentar ou diminuir.

[030] A Figura 2b mostra como o comutador modular 21 da Figura 2a é comutado dentro de um dos grupos do conversor 11. Fazendo-se isso, o grupo direito do conversor 11 da Figura 1 é mostrado como um exemplo. Os outros grupos do conversor 11 são configurados em conformidade.

[031] A Figura 2b mostra dois comutadores modulares 21 por grupo como um exemplo. Em concordância com a Figura 2b, os dois comutadores modulares 21 são conectados em série. A conexão 25 do comutador modular superior 21 é conectada a um polo positivo do conversor 11 no lado de tensão contínua e, assim, conectado à linha 15. A conexão 24 do comutador modular inferior é conectada a um polo negativo do conversor 11 no

lado de tensão contínua e, assim, conectado à linha 16. O ponto de conexão dos dois comutadores modulares 21 representa a fase associada do conversor 11 no lado de tensão alternada e é conectado ao transformador 13.

[032] A realização explicada do conversor 11 significa que o conversor 11 é um conversor trifásico. A tensão da fase de lado de tensão alternada associada do conversor 11 pode, assim, assumir essencialmente um estado positivo ou um estado negativo ou um estado zero.

[033] Referindo-se à Figura 3a, o comutador modular 22 é mostrado de modo a compreender o conversor 12.

[034] Considerando seu projeto, o comutador modular 22 da Figura 3a corresponde essencialmente ao comutador modular 21 da Figura 2a. Quando visualizado, o comutador modular 22 da Figura 3a representa uma vista especular do comutador modular 21 da Figura 2a no plano A da Figura 2a. Portanto, considerando seu projeto e a função do comutador modular 22 da Figura 3a, a referência é feita às explicações em relação ao comutador modular 21 da Figura 2a acima.

[035] A Figura 3b ilustra como o comutador modular 22 da Figura 3a é conectado dentro de um dos grupos do conversor 12. Por exemplo, o grupo direito do conversor 12 da Figura 1 é mostrado. Os outros grupos do conversor 12 são projetados em conformidade.

[036] A Figura 3b mostra a provisão de quatro comutadores modulares 22 por grupo como um exemplo. Em concordância com a Figura 3b, os quatro comutadores modulares 22 são conectados em série. A conexão 25 do comutador modular mais superior 22 é conectada ao polo positivo do conversor 12 no lado de tensão contínua e, assim, conectado à linha 15. A conexão 24 do comutador modular mais superior 22 é conectada à conexão 24 do comutador modular 22 conectado por baixo. A conexão 24 do comutador modular mais inferior é conectada a um polo negativo do conversor 12 no lado

de tensão alternada 12 e é, assim, conectada à linha 16. A conexão 25 do comutador modular mais inferior 22 é conectada à conexão 24 do comutador modular 22 conectado acima do mesmo. O ponto de conexão dos dois comutadores modulares intermediários 22 representa a fase associada no lado de tensão alternada do conversor 12 e é, assim, conectado ao transformador 14.

[037] A realização explicada do conversor 12 significa que o conversor 12 é configurado de modo a ter cinco fases. Isso significa que a tensão de cada fase de lado de tensão alternada do conversor 12 pode assumir essencialmente um estado positivo alto ou um estado positivo médio ou um estado negativo alto ou um estado negativo médio ou um estado zero.

[038] O circuito elétrico 10 da Figura 1 é associado a um dispositivo de controle não ilustrado. Esse dispositivo de controle pode ser fornecido diretamente nos componentes semicondutores de potência individuais ou em uma localização central independente dos componentes semicondutores de potência. Igualmente, é possível que uma pluralidade de dispositivos de controle seja fornecida, sendo que os ditos dispositivos são distribuídos localmente e, por exemplo, estabelecidos hierarquicamente.

[039] Esse(s) dispositivo(s) de controle ativa(m) os componentes semicondutores de potência do circuito elétrico 10 de uma maneira cronometrada de modo que cada um dos comutadores modulares 21, 22 fornecidos nos conversores 11, 12 assume um dos estados explicados. A seleção do estado a ser respectivamente ativado do comutador modular individual 21, 22, fazendo isso, é uma função da direção na qual a corrente i deve fluir através do respectivo comutador modular 21, 22, assim como da tensão de conexão u_a que deve existir no respectivo comutador modular 21, 22. Como uma função de uma alteração da tensão de conexão u_a , a corrente i que flui através do comutador modular 21, 22 também muda.

[040] Considerando o circuito elétrico explicado 10, os componentes semicondutores de potência V1, V2, V3, V4 dos comutadores modulares 21, 22 são sempre ativados somente em pares de uma maneira cronometrada. Conseqüentemente, dependendo da direção do fluxo de corrente, os componentes semicondutores de potência V1, V2 são controlados de uma maneira cronometrada no modo de condução e os outros dois componentes semicondutores de potência permanecem desativados ou bloqueados ou vice versa. Essa ativação pareada de ambos os componentes semicondutores de potência V1, V2 ou os componentes semicondutores de potência V3, V4 é consistente com o segundo e o terceiro estados, conforme tem sido descrito acima em relação aos componentes semicondutores de potência. Ao cronometrar um par semicondutor de potência V1-V2, os componentes semicondutores de potência V1 e V2 são individualmente ativados e desativados. Os componentes semicondutores de potência V1 e V2 podem ser condutores de modo síncrono ou assíncrono. (Os estados possíveis são: V1 e V2 Desativados, V1 ou V2 Desativado, assim como V1 e V2 Ativados.)

[041] Com a ativação cronometrada dos dois componentes semicondutores de potência assim como através da desativação dos respectivamente outros dois componentes semicondutores de potência, a corrente contínua na direção respectiva do fluxo de corrente pode ser controlada ou regulada de modo a satisfazer os valores desejados.

[042] A Figura 4a mostra uma rede interconectada 30 que é usada como um exemplo de duas redes de fonte de alimentação elétrica 31, 32 – que são conectadas entre si – e que representa um exemplo do projeto dos dois circuitos elétricos 10. Entende-se que a rede interconectada 30 pode também ser projetada de modo diferente, por exemplo, na forma de uma estrela. Igualmente, entende-se que a rede interconectada 30 pode também

compreender mais ou menos conversores, em comparação à Figura 4a.

[043] Considerando os conversores elétricos da rede interconectada 30 da Figura 4a, referência é feita às explicações em relação às Figuras 1 a 3 acima. Fazendo-se isso, os mesmos tipos de componentes são identificados com os mesmos símbolos de referência.

[044] Na rede interconectada 30 da Figura 4a, as duas linhas elétricas 15, 16 dos dois circuitos elétricos 10 são conectada entre si por duas linhas transversais 34, 35.

[045] Ademais, dois sistemas de comutação 37 são fornecidos, sendo que os ditos sistemas compreendem pares de disjuntores elétricos 39, 40, 41, 42, 43, 44 com os quais as linhas elétricas 15, 16 dos dois circuitos elétricos 10, assim como as duas linhas transversais 34, 35, podem ser interrompidas.

[046] As duas redes de fonte de alimentação 31, 32 são conectadas por meio de disjuntores elétricos adicionais 46 aos transformadores 13, 14 no lado de tensão alternada dos conversores 11, 12.

[047] Cada um dos quatro conversores 11, 12 mostrados como exemplos na Figura 4a podem estar a uma distância de diversas centenas de quilômetros um do outro, por exemplo, 100 km. Os dois sistemas de comutação 37 podem também estar a uma distância de diversos quilômetros um do outro, por exemplo, 100 km.

[048] É apontado que, dependendo da aplicação individual, potencialmente nem todos os disjuntores 39, 40, 41, 42, 43, 44 são exigidos. Por exemplo, é possível que os disjuntores 41, 42 fornecidos nas duas linhas transversais 34, 35 não sejam necessários.

[049] Os quatro conversores 11, 12 da Figura 4a são numerados consecutivamente com os símbolos de referência adicionais A, B, C, D. As quatro correntes i_{dcA} , i_{dcB} , i_{dcC} e i_{dcD} na Figura 4a são plotadas em

conformidade. Ademais, outra tensão u_{dcD2} e uma corrente i_{dcD2} são indicadas a montante do disjuntor, sendo que o dito disjuntor conecta o conversor D à rede CC.

[050] No modo de operação normal da rede interconectada 30, todos os disjuntores são fechados ou comutados de modo a estarem conduzindo. Portanto, referindo-se à realização exemplificativa retratada na Figura 4a, o seguinte se aplica à operação normal da rede interconectada 30: $i_{dcA} + i_{dcC} = i_{dcB} + i_{dcD}$. Fazendo-se isso, os quatro conversores A, B, C, D da Figura 4a são ativadas de uma maneira cronometrada em concordância com as descrições das Figuras 1 a 3 e são controladas ou reguladas dessa maneira para satisfazer os valores desejados da equação mencionada anteriormente.

[051] Se agora um, por exemplo, um curto-circuito, ocorrer nas linhas elétricas 15, 16 para o conversor D da rede interconectada 30 da Figura 4a em um tempo TK, conforme é indicado, por exemplo, por uma seta 48, isso resulta nas características de corrente e tensão conforme mostrado na Figura 4b.

[052] Na Figura 4b, as características da corrente i_{dcD2} e a tensão u_{dcD2} são plotadas ao longo do tempo t. Presume-se que cada uma, a corrente i_{dcD2} e a tensão u_{dcD2} , exibe inicialmente um valor essencialmente constante.

[053] O curto-circuito mencionado ocorre no tempo TK. Consequentemente, a tensão u_{dcD2} torna-se zero.

[054] Com o auxílio do conversor D associado ao curto-circuito e dos outros conversores A, B, C, as correntes i_{dcD2} e i_{dcD} são agora controladas ou reguladas de maneira que essa corrente irá primeiro aumentar opcionalmente a fim de, então, diminuir a zero ou pelo menos a quase zero. Portanto, essencialmente o seguinte se aplica: $i_{dcD} = 0$ e $i_{dcD2} = 0$.

[055] Isso exige um controle ou regulação de nível maior dos conversores, sendo que o dito controle ou regulação ajusta os valores pontuais

definidos para as correntes i_{dcA} , i_{dcB} , i_{dcC} e i_{dcD} de maneira que as correntes i_{dcD2} e i_{dcD} sejam diminuídas a aproximadamente zero. O controle ou a regulação dos conversores individuais converte esses valores pontuais definidos padrão de nível maior com o auxílio dos módulos descritos 21, 22, assim como com a atuação cronometrada em conformidade dos componentes semicondutores de potência. O controle ou regulação de nível maior dos conversores pode ser centralmente acomodado, por exemplo, no sistema de circuito ou de modo descentralizado nos conversores individuais. Em ambos os casos, trajetos de comunicação que exibem velocidade de transmissão suficiente são exigidos.

[056] Após a corrente i_{dcD} ter se tornado aproximadamente zero, os disjuntores 44 associados ao curto-circuito 48 ou conversor D são abertos. A seção de linha afetada pelo curto-circuito foi, assim, seletivamente desativada e separada galvanicamente da rede interconectada. Ademais, é agora possível também abrir o disjuntor 46, ao não ser que o mesmo já tenha sido iniciado anteriormente pelo controle ou regulação de nível maior dos conversores. O diagrama de dependência de tempo da Figura 4b mostra isso, por exemplo, em um tempo T_0 . Então, o seguinte se aplica: $i_{dcA} + i_{dcC} = i_{dcB}$. Isso significa que a operação da rede interconectada 30 é continuada com base na equação mencionada anteriormente. Fazendo-se isso, os três conversores A, B, C são ativadas de uma maneira cronometrada consistente com as explicações em relação às Figuras 1 a 3 e, dessa maneira, são controladas ou reguladas para satisfazer os valores desejados da equação mencionada anteriormente.

[057] Após os ditos disjuntores 44 terem sido abertos, a tensão u_{dcD2} pode aumentar novamente para o valor inicial aproximadamente constante em concordância com a Figura 4b, desde que isso seja desejável ou necessário. Alternativamente, a tensão u_{dcD2} dos conversores A, B, C pode também ser ajustada de um modo diferente.

[058] Em concordância com o diagrama de dependência de

tempo da Figura 4b, a tensão u_{dcD2} que se tornou zero tem um efeito na rede interconectada 30 começando somente no tempo TK, isto é, antes da ocorrência do curto-circuito, até o tempo TO, isto é, a abertura do disjuntor associado 44. Através do controle ou regulação apropriadamente rápida do conversor D, esse segmento de tempo pode ser limitado a um valor pequeno, por exemplo, menor do que 100 milissegundos. Conseqüentemente, o curto-circuito 48 tem efeitos similares nos conversores restantes A, B, C e as redes de fonte de energia 31, 32 conectadas a esses conversores, conforme seria o caso com a ocorrência de um curto-circuito em um sistema de potência trifásico convencional e pode, assim, ser gerenciado sem a interrupção substancial da transmissão de energia.

[059] Conseqüentemente, seguindo o curto-circuito 48 na região do conversor D, a operação da rede interconectada 30 é retomada e continuada pelos conversores restantes A, B, C.

[060] É descrito no presente documento um método para operar um circuito elétrico, em que um comutador modular 21 que compreende quatro componentes semicondutores de potência e um capacitor é fornecido. Com esse método, ou tanto o primeiro quanto o segundo componentes semicondutores de potência V1, V2 são comutados de modo a conduzir e tanto o terceiro quanto o quarto componentes semicondutores de potência V3, V4 são controlados de modo a bloquear, de modo que uma corrente i flua da primeira conexão 24 através do primeiro componente semicondutor de potência, através do capacitor C e através do segundo componente semicondutor de potência para a segunda conexão 25 ou tanto o terceiro quanto o quarto componentes semicondutores de potência V3, V4 são comutados de modo a conduzir e tanto o primeiro quanto o segundo componentes semicondutores de potência V1, V2 são controlados de modo a bloquear, de modo que uma corrente i flua na direção inversa da segunda

conexão 25 através do quarto componente semicondutor de potência, através do capacitor C e através do terceiro componente semicondutor de potência para a primeira conexão 24.

REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO PARA OPERAR UM CIRCUITO ELÉTRICO, em que o circuito elétrico (10) compreende pelo menos um comutador modular (21, 22),

em que o comutador modular (21, 22) é dotado de um primeiro circuito em série que compreende um primeiro componente semicondutor de potência controlável (V1) e um primeiro diodo (D1) e de um segundo circuito em série que compreende um segundo diodo (D2) e um segundo componente semicondutor de potência controlável (V2);

em que o ponto de conexão do primeiro componente semicondutor de potência (V1) e o primeiro diodo (D1) formam uma primeira conexão (24) e o ponto de conexão do segundo diodo (D2) e o segundo componente semicondutor de potência (V2) formam uma segunda conexão (25) do comutador modular (21, 22);

em que, no primeiro circuito em série, o primeiro componente semicondutor de potência (V1) é conectado em paralelo a um terceiro diodo (D3) e o primeiro diodo (D1) é conectado em paralelo a um terceiro elemento semicondutor de potência controlável (V3);

em que, no segundo circuito em série, o segundo componente semicondutor de potência (V2) é conectado em paralelo a um quarto diodo (D4) e o segundo diodo (D2) é conectado em paralelo a um quarto componente semicondutor de potência controlável (V4);

em que as direções de condução do terceiro diodo (D3) e do terceiro componente semicondutor de potência (V3) correspondem às direções de condução do primeiro diodo (D1) e do primeiro componente semicondutor de potência (V1) e as direções de condução do quarto diodo (D4) e do quarto componente semicondutor de potência (V4) correspondem às direções de condução do segundo diodo (D2) e do segundo semicondutor de potência (V2);

em que o comutador modular (21, 22) é dotado de um capacitor (C); e

em que o primeiro circuito em série e o segundo circuito em série e o capacitor (C) do comutador modular (21, 22) são conectados em paralelo um em relação ao outro,

caracterizado pelo fato de que

tanto o primeiro quanto o segundo componentes semicondutores de potência (V1, V2) são comutados, individualmente ou em conjunto, de modo a conduzir e tanto o terceiro quanto o quarto componentes semicondutores de potência (V3, V4) são comutados de modo a bloquear, de modo que uma corrente (i) flua da primeira conexão (24) através do primeiro componente semicondutor de potência (V1), através do capacitor (C) e através do segundo componente semicondutor de potência (V2) para a segunda conexão (25) ou que tanto o terceiro quanto o quarto componentes semicondutores de potência (V3, V4) são comutados de modo a conduzir e tanto o primeiro quanto o segundo componentes semicondutores de potência (V1, V2) são comutados de modo a bloquear, de modo que uma corrente (i) flua na direção inversa da segunda conexão (25) através do quarto componente semicondutor de potência (V4), através do capacitor (C) e através do terceiro componente semicondutor de potência (V3) para a primeira conexão (24).

2. CIRCUITO ELÉTRICO (10), caracterizado pelo fato de que compreende pelo menos um comutador modular (21, 22),

em que o comutador modular (21, 22) é dotado de um primeiro circuito em série que compreende um primeiro componente semicondutor de potência controlável (V1) e um primeiro diodo (D1), e de um segundo circuito em série que compreende um segundo diodo (D2) e um segundo componente semicondutor de potência controlável (V2);

em que o ponto de conexão do primeiro componente

semicondutor de potência (V1) e o primeiro diodo (D1) formam uma primeira conexão (24) e o ponto de conexão do segundo diodo (D2) e o segundo componente semicondutor de potência (V2) formam uma segunda conexão (25) do comutador modular (21, 22);

em que, no primeiro circuito em série, o primeiro componente semicondutor de potência (V1) é conectado em paralelo a um terceiro diodo (D3) e o primeiro diodo (D1) é conectado em paralelo a um terceiro elemento semicondutor de potência controlável (V3);

em que, no segundo circuito em série, o segundo componente semicondutor de potência (V2) é conectado em paralelo a um quarto diodo (D4) e o segundo diodo (D2) é conectado em paralelo a um quarto componente semicondutor de potência controlável (V4);

em que as direções de condução do terceiro diodo (D3) e do terceiro componente semicondutor de potência (V3) correspondem às direções de condução do primeiro diodo (D1) e do primeiro componente semicondutor de potência (V1) e as direções de condução do quarto diodo (D4) e do quarto componente semicondutor de potência (V4) correspondem às direções de condução do segundo diodo (D2) e do segundo semicondutor de potência (V2);

em que o comutador modular (21, 22) é dotado de um capacitor (C); e

em que o primeiro circuito em série e o segundo circuito em série e o capacitor (C) do comutador modular (21, 22) são conectados em paralelo um em relação ao outro.

3. CIRCUITO ELÉTRICO (10), de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que uma pluralidade de comutadores modulares (21, 22) forma pelo menos um conversor (11, 12).

4. MÉTODO PARA OPERAR UMA REDE INTERCONECTADA (39), em que a rede interconectada (30) compreende pelo

menos um circuito elétrico (10), conforme definido na reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que, no caso de um erro, a corrente (i_{dc}) no lado de tensão contínua do pelo menos um conversor é controlada ou regulada essencialmente a zero com o auxílio do comutador modular (21, 22).

5. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o disjuntor é aberto quando a corrente (i_{dc}) está essencialmente em zero.

6. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 4 ou 5, caracterizado pelo fato de que os componentes semicondutores de potência ($V1$, $V2$, $V3$, $V4$) são ativados em pares de uma maneira cronometrada.

Fig. 2

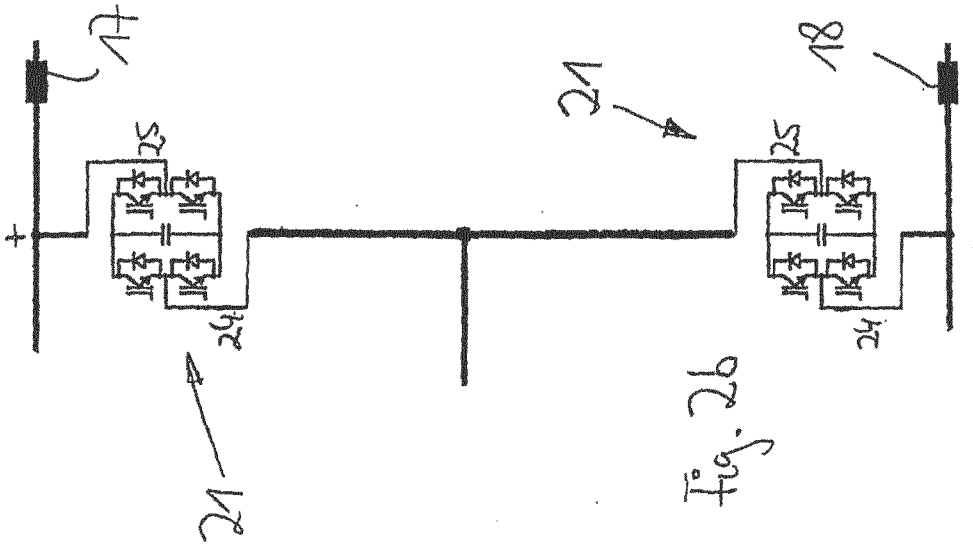
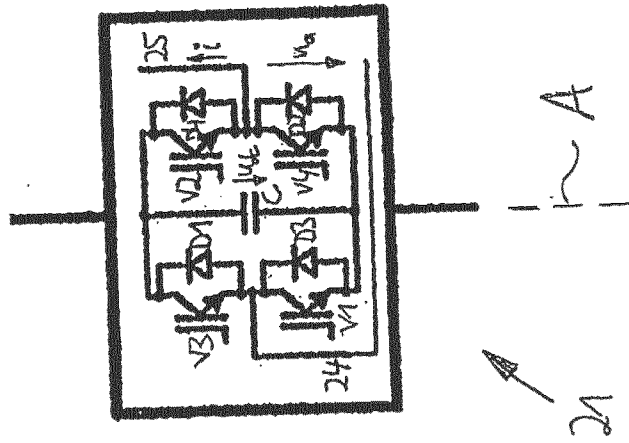


Fig. 2b

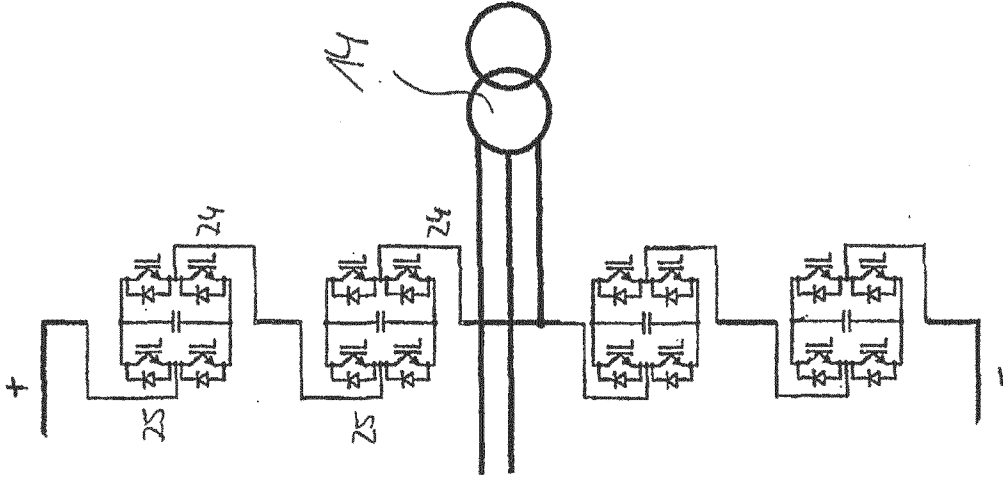


Fig. 3b

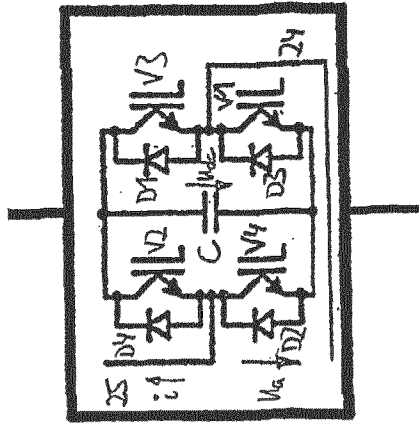


Fig. 3a

22

Fig. 4a

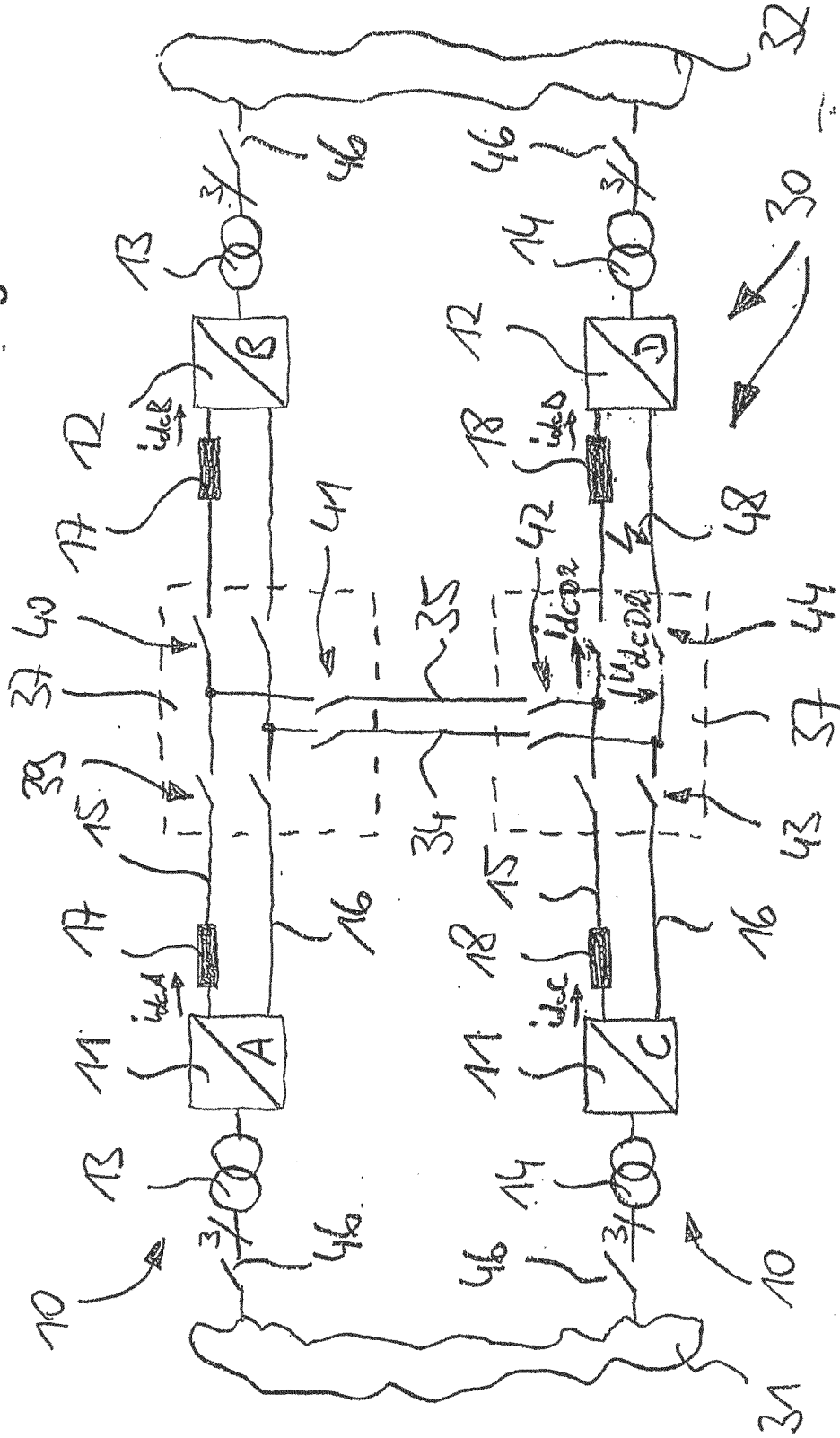
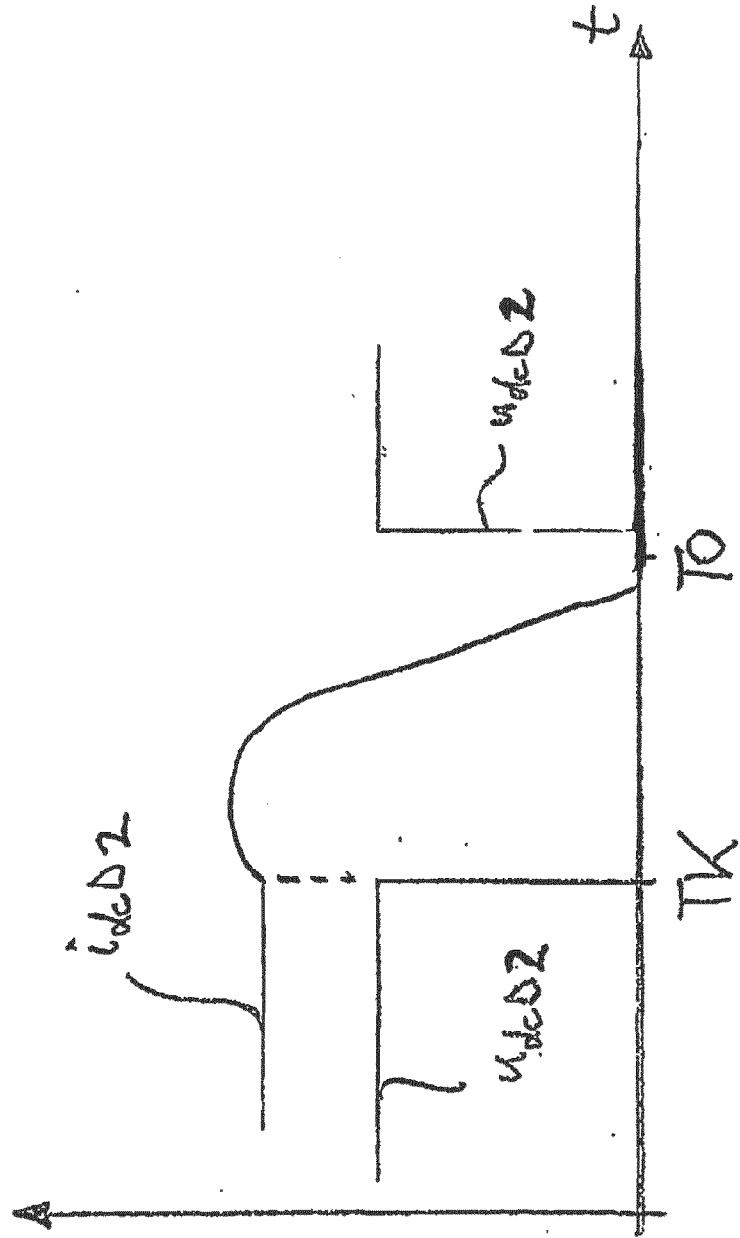


Fig. 4b



RESUMO**“MÉTODOS PARA OPERAR UM CIRCUITO ELÉTRICO E PARA OPERAR
UMA REDE INTERCONECTADA E CIRCUITO ELÉTRICO”**

Trata-se de um método para operar um circuito elétrico, em que é fornecido um comutador modular (21) que compreende quatro componentes semicondutores de potência e um capacitor. Com esse método, tanto o primeiro quanto o segundo componentes semicondutores de potência (V1, V2) são comutados de modo a conduzir e tanto o terceiro quanto o quarto componentes semicondutores de potência (V3, V4) são controlados de modo a bloquear, de modo que uma corrente (i) flua da primeira conexão (24) através do primeiro componente semicondutor de potência (V1), através do capacitor (C) e através do segundo componente semicondutor de potência (V2) para a segunda conexão (25) ou tanto o terceiro quanto o quarto componentes semicondutores de potência (V3, V4) são comutados de modo a conduzir e tanto o primeiro quanto o segundo componentes semicondutores de potência (V1, V2) são controlados de modo a bloquear, de modo que uma corrente (i) flua na direção inversa da segunda conexão (25) através do quarto componente semicondutor de potência (V4), através do capacitor (C) e através do terceiro componente semicondutor de potência (V3) para a primeira conexão (24).