



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

(21) PI 1105062-4 A2



* B R P I 1 1 0 5 0 6 2 A 2 *

(22) Data de Depósito: 10/11/2011
(43) Data da Publicação: 07/01/2014
(RPI 2244)

(51) Int.Cl.:
H02P 25/02
H02P 27/06
H02K 9/00

(54) Título: SISTEMA DE ACIONAMENTO ELÉTRICO

(30) Prioridade Unionista: 19/11/2010 US 12/949,862

(73) Titular(es): GENERAL ELECTRIC COMPANY

(72) Inventor(es): AYMAN MOHAMED FAWZI EL-REFAIE,
ROBERT DEAN KING

(57) Resumo: SISTEMA DE ACIONAMENTO ELÉTRICO .Trata-se de um sistema de acionamento elétrico que compreende uma máquina elétrica compreendendo um rotor e um estator, um conversor de potência acopiado eletricamente à máquina elétrica e configurado para converter uma tensão de ligação de CC em uma tensão de saída de CA para acionar a máquina elétrica, e um circuito de refrigeração único, sendo que a máquina elétrica e o conversor de potência são integrados dentro do circuito de refrigeração único.

“SISTEMA DE ACIONAMENTO ELÉTRICO”

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

As realizações da invenção se referem de maneira geral a máquinas elétricas e, mais particularmente, a uma máquina elétrica e um
5 conversor de potência integrado dentro de um circuito de refrigeração, sendo que o conversor de potência compreende transistores de efeito de campo com semicondutor metal-óxido (MOSFETs) de carbeto de silício.

A necessidade por uma alta densidade de potência e máquinas elétricas de alta eficiência (isto é, geradores e motores elétricos) tem sido
10 predominante para uma variedade de aplicações, particularmente para aplicações em veículo de tração híbrida e/ou elétrica. Devido ao fornecimento de energia e às razões ambientais, tem havido um aumento na motivação para se produzirem veículos elétricos híbridos e/ou elétricos que são altamente eficientes e confiáveis, e também com preços razoáveis para o consumidor
15 médio. Entretanto, a tecnologia de motor de acionamento disponível para veículos elétricos híbridos e elétricos geralmente tem alto custo, reduzindo, desse modo, a acessibilidade do consumidor ou a rentabilidade do fabricante (ou ambas).

A maioria dos veículos elétricos híbridos e elétricos disponíveis
20 comercialmente depende de máquinas elétricas de ímã permanente interno (IPM) para aplicações de tração, já que se descobriu que as máquinas de IPM têm alta densidade de potência e alta eficiência em uma ampla faixa de velocidade, e também são dispostas facilmente em veículos de tração dianteira. Entretanto, as máquinas de IPM não são as únicas máquinas
25 elétricas usadas para aplicações de tração. Outros tipos de máquinas elétricas, como máquinas de indução, têm determinadas vantagens que as fazem desejáveis para aplicações de tração particulares.

Independentemente do tipo de máquina elétrica utilizada, vários

dispositivos eletrônicos de potência não necessários para proporcionar potência para a máquina elétrica durante a operação. Estes dispositivos eletrônicos de potência têm retificadores controlados de silício (SCRs), transistores bipolares de porta isolada (IGBTs) e/ou transistores de efeito de campo (FETs) convencionalmente incluídos. Em aplicações de veículos elétricos híbridos e/ou elétricos, uma fonte de corrente direta está tipicamente disponível a partir de uma bateria ou sistema de fornecimento de potência que incorpora uma bateria ou outro conversor de energia. Um conversor de potência é empregado para converter esta potência em formas de onda de corrente alternada (CA) para acionar um ou mais motores elétricos do veículo. Os motores elétricos, por sua vez, servem para acionar elementos de transmissão de potência para impulsionar o veículo.

Embora os dispositivos eletrônicos de potência sejam essenciais para a funcionalidade de sistemas de acionamento elétrico híbrido e elétrico, há limitações inerentes ao seu tamanho e posicionamento nestas aplicações. Devido à variação das condições ambientais nas regiões ao redor da máquina elétrica, como o calor gerado pela máquina elétrica durante a operação, o conversor de potência do sistema é tipicamente montado relativamente longe da máquina elétrica ao qual está acoplado. Este ponto de montagem distante ajuda a evitar a falha do componente no conversor de potência devido ao superaquecimento. Entretanto, também há várias desvantagens desta montagem distante. Uma desvantagem é a interferência eletromagnética (EMI) aumentada devido às conexões de cabos extensos necessárias para acoplar o conversor de potência à máquina elétrica. Outra desvantagem é a necessidade de um circuito de refrigeração dedicado a ser proporcionado para o conversor de potência em si, um circuito de refrigeração que é inteiramente separado de qualquer circuito de refrigeração utilizado para a máquina elétrica. Este circuito de refrigeração separado aumenta significativamente o custo, o peso e a

complexidade do sistema geral, bem como aumenta o peso geral do sistema.

Portanto, seria desejável ter um aparelho e um método para fabricar um motor elétrico e um conversor de potência integrado dentro de um único circuito de refrigeração.

5

BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

De acordo com um aspecto da invenção, um sistema de acionamento elétrico é mostrado, o sistema de acionamento elétrico compreende uma máquina elétrica, que compreende um rotor e um estator, um conversor de potência acoplado eletricamente à máquina elétrica e configurado para converter uma tensão de ligação de CC a uma tensão de saída de CA para acionar a máquina elétrica, e um circuito de refrigeração único, sendo que a máquina elétrica e o conversor de potência estão integrados dentro do circuito de refrigeração único.

De acordo com outro aspecto da invenção, mostra-se um método para fabricar um sistema de acionamento elétrico, o método compreende as etapas de proporcionar um conversor de potência de carbeto de silício (SiC), que tem uma pluralidade de dispositivos de comutação de SiC, o conversor de potência de SiC é acoplável a uma fonte de potência, que proporciona uma máquina elétrica que tem um rotor e um estator, que acopla o conversor de potência de SiC à máquina elétrica para acionar a máquina elétrica, e proporcionar um circuito de refrigeração, sendo que o conversor de potência de SiC e a máquina elétrica estão integrados dentro do circuito de refrigeração.

De acordo com outro aspecto da invenção, mostra-se um sistema de acionamento de veículo, o sistema de acionamento de veículo compreende um motor, que compreende um rotor e um estator, uma ligação de CC, um conversor de potência acoplado eletricamente entre a ligação de CC e o motor para acionar o motor, sendo que o conversor de potência compreende uma pluralidade de dispositivos de comutação de carbeto de silício (SiC) e um

circuito de refrigeração, sendo que o motor e o conversor de potência estão integrados dentro do circuito de refrigeração.

Vários outros atributos e vantagens serão evidenciados a partir da descrição detalhada a seguir e dos desenhos.

5

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Os desenhos ilustram realizações atualmente contempladas para realizar a invenção.

Nos desenhos:

10 A figura 1 ilustra um sistema de acionamento de máquina elétrica convencional.

A figura 2 ilustra um sistema de acionamento de máquina elétrica, de acordo com uma realização da invenção.

15 A figura 3 é uma vista esquemática de um circuito de refrigeração para um sistema de acionamento de máquina elétrica, de acordo com uma realização da invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA

A figura 1 ilustra um sistema de acionamento de máquina elétrica trifásico convencional 10. O sistema 10 inclui uma ligação de CC 12, que proporciona uma tensão de entrada de CC que é convertida ou invertida para
20 uma forma de onda de CA, que alimenta uma máquina elétrica de CA 14. Um capacitor de filtro de entrada 16 é acoplado através da ligação CC 12 para filtrar a tensão VCC (tensão de corrente contínua) na ligação CC 12, quando a potência flui da ligação CC 12 para a máquina elétrica CA 14. Esta direção do fluxo de potência é frequentemente chamada de operação em um modo
25 "automobilístico". Quando a direção do fluxo de potência é da máquina elétrica 14 para o conversor de potência 18, a tensão de entrada para o conversor de potência 18 é de CA a partir da máquina elétrica 14, enquanto a saída a partir do conversor de potência 18 é uma tensão CC na ligação de CC 12. A

operação com fluxo de potência da máquina elétrica de CA 14 para o conversor de potência 18 é frequentemente chamada de operação em um modo de frenagem regenerativa que é útil, por exemplo, em um veículo, em que é desejável manter um dado valor de velocidade em um grau de descida, ou enquanto se desacelera o veículo. O conversor de potência 18 recebe a tensão de entrada da ligação de CC 12. O conversor de potência 18 é um inversor trifásico típico que tem dois dispositivos de comutação conectados em série por perna fase. Por exemplo, os dispositivos 20 e 22 de uma primeira perna fase, os dispositivos 24 e 26 de uma segunda perna fase e os dispositivos 28 e 30 de uma terceira perna fase. Os dispositivos 20 a 30 são dispositivos de comutação semicondutores de silício convencionais como, por exemplo, dispositivos do tipo IGBT de silício, MOSFET, transistor de potência Darlington bipolar de silício, GTO (tiristor de desligamento pela porta), SCR ou IGBT (tiristor integrado comutado pela porta). Os diodos 32, 34, 36, 38, 40 e 42 são acoplados em relação antiparalela através dos dispositivos de comutação de silício 20 a 30 respectivos.

A figura 2 ilustra um sistema de acionamento de máquina elétrica 44, de acordo com uma realização da invenção. O sistema de acionamento 44 inclui uma ligação de CC 46 que tem uma tensão da fonte de CC V_S 48. O sistema de acionamento 44 inclui uma fonte de potência 50 que proporciona a tensão da fonte de CC V_S 48. Em uma realização, a fonte de potência 50 inclui uma fonte de CC 52 e um retificador 54, configurados para converter uma tensão da fonte de CA 52 para a ligação de CC ou para a tensão da fonte V_S . Em outra realização (não mostrada), a fonte de potência 50 inclui uma fonte de potência de CC 54, como uma bateria, uma célula de combustível, um volante de motor com um conversor eletrônico de potência associado. Em ainda outra realização, a fonte de potência 50 inclui uma fonte de potência de CC 52, como uma bateria, uma célula de combustível, um ultracapacitor, um volante de

motor com um controle eletrônico de potência associado acoplado a um conversor de tensão bidirecional de CC para CC 54 que aumenta a tensão da fonte para a ligação de CC ou para a tensão da fonte V_s . A ligação de CC 46 fornece uma tensão de saída de CC VCC 56 para um conversor ou inversor de potência 58. Um capacitor de filtro de entrada 60 é ilustrado entre uma trilha de CC positiva 62 e uma trilha de CC negativa 64 e serve para proporcionar uma função de filtro para as correntes de alta frequência da fonte 50, para garantir a qualidade da potência entre as trilhas positiva e negativa 62 e 64.

O conversor de potência 58 recebe a tensão de entrada CC de VCC 56 a partir da ligação de CC 46 e é convertida ou invertida para proporcionar uma forma adequada de potência de CA para acionar a máquina elétrica 66, como descrito em detalhes abaixo.

De acordo com uma realização, o conversor de potência 58 é um inversor trifásico de CC para AC, que tem uma pluralidade de dispositivos de comutação 68, 70, 72, 74, 76 e 78. Cada dispositivo de comutação 68 a 78 inclui um MOSFET de carbeto de silício (SiC) 80, 82, 84, 86, 88 e 90 e um diodo antiparalelo associado 92, 94, 96, 98, 100 e 102.

O SiC é uma substância cristalina que tem propriedades materiais que fazem dele uma alternativa atraente para o silício para aplicações alta tensão e de alta potência. Por exemplo, o SiC tem uma grande lacuna na banda que proporciona uma corrente vazamento muito baixa, o que facilita a operação em temperatura elevada. De fato, dispositivos semicondutores fabricados em um substrato de SiC podem suportar temperaturas superiores a 200 graus Celsius. O SiC também tem um alto campo de ruptura que é cerca de dez vezes o do silício e uma condutividade térmica que é cerca de três vezes a do silício, o que permite densidades de potência mais altas para serem acomodadas com circuitos de SiC. Além disso, a alta mobilidade de elétrons possibilita comutação de alta velocidade. Assim, o SiC tem sido considerado

como um material vantajoso para usar na fabricação de dispositivos semicondutores de potência de nova geração. Estes dispositivos incluem, por exemplo, diodos de Schottky, tiristores e MOSFETs.

Movendo-se da esquerda para a direita na figura 2, os dispositivos de comutação 68 e 70 são associados a uma primeira fase de saída 104, os dispositivos de comutação 72 e 74 são associados a uma segunda fase de saída 106 e os dispositivos de comutação 76 e 78 são associados a uma terceira fase de saída 108. Embora um conversor de potência trifásico seja ilustrado na figura 2, alguém versado na técnica entenderá que as realizações da presente invenção são igualmente aplicáveis a qualquer conversor de potência multifásico. Por exemplo, realizações alternativas incluem configurações com um número variado de fases, por exemplo, n fases, em que $n = 1, 2, 4, 5$, ou um número maior, em que cada fase do conversor de potência inclui uma pluralidade de dispositivos de comutação semelhantes aos dispositivos 68 e 70, cada um com diodos antiparalelos associados 92 e 94.

O Conversor de potência 58 é configurado para acionar a máquina elétrica 66. Em uma realização, a máquina elétrica 66 é configurada para ser uma máquina elétrica de ímã permanente que tem um rotor de ímã permanente 110 e um estator 112. Em modalidades alternativas, entretanto, a máquina elétrica 66 pode ser configurada para ser uma máquina de indução ou qualquer outra máquina elétrica adequada capaz de operar em aplicações de tração. Além disso, a máquina elétrica 66 também pode ser acoplada a um motor de calor dentro de uma Unidade de Potência Auxiliar (APU) para gerar potência elétrica para auxiliar na operação de um Veículo Elétrico Híbrido (HEV) ou um Veículo Elétrico Híbrido de Conexão na Tomada (PHEV).

Conforme mencionado previamente, dispositivos semicondutores fabricados em um substrato de SiC são capazes de suportar temperaturas superiores a 200 graus Celsius. Assim, os MOSFETs de SiC 86 a 96 têm uma

classificação de temperatura de pelo menos 200 graus Celsius, uma classificação que é significativamente mais alta do que a dos componentes eletrônicos de potência convencionais. Enquanto os conversores de potência convencionais acoplados às máquinas elétricas são montados a uma distância significativa da máquina elétrica e equipados com seu próprio circuito de refrigeração, devido à sensibilidade à alta temperatura dos componentes eletrônicos de potência, o conversor de potência 58, que é equipado com os MOSFETs de SiC 80 a 90, não exige este posicionamento remoto.

Em conformidade, em referência à figura 3, outra realização da invenção é mostrada. A figura 3 ilustra uma vista esquemática de um sistema de acionamento 200, que compreende um circuito de refrigeração único 202 que tem uma entrada de refrigerante 204 e uma saída de refrigerante 206. O refrigerante que entra no circuito de refrigeração único 202 através da entrada de refrigerante 204 pode ser qualquer refrigerante adequado (por exemplo, líquido, ar etc.). Especificamente, o refrigerante usado no circuito de refrigeração 202 pode ser um líquido anticongelamento ou um fluido de transmissão automotivo. Uma máquina elétrica 208 é disposta dentro do circuito de refrigeração 202. Um conversor de potência 210 é acoplado à máquina elétrica 208 e também é disposto dentro do circuito de refrigeração 202. É mostrado que o conversor de potência 210 tem uma conexão trifásica com a máquina elétrica 208, mas a invenção não está limitada a esta conexão. Por exemplo, é previsto que o conversor de potência 210, bem como a máquina elétrica 208, usem outro número de fases múltiplas, incluindo 3, 5, 7, 9 ou até um número maior de fases.

Embora não seja mostrado na figura 3, deve-se entender que o conversor de potência 210 é configurado de modo similar ao conversor de potência 58, conforme mostrado e descrito em relação à figura 2. Ou seja, o conversor de potência 210 compreende uma pluralidade de MOSFETs de SiC

dentro do mesmo, os MOSFETs de SiC têm uma classificação de temperatura de pelo menos 200 graus Celsius e baixas perdas de comutação. Em uma realização, é previsto que o acondicionamento do conversor de potência 210 e o conversor de tensão bidirecional CC-CC 54 que aumenta a tensão da fonte 5 52 para a ligação de CC 46 podem ser totalmente integrados dentro de um alojamento da máquina elétrica e refrigerados com um circuito de refrigeração único. Também é previsto que cada dispositivo de comutação (não mostrado) no conversor de tensão bidirecional CC-CC 54 inclui um MOSFET de carbeto de silício (SiC) e um diodo antiparalelo associado com uma capacidade de 10 comutação térmica e de alta frequência semelhante como no conversor de potência 210. É devido a estes atributos únicos que o conversor de potência 210 é capaz de ser totalmente integrado com a máquina elétrica 208 dentro do circuito de refrigeração 202, já que o conversor de potência 210 não adiciona qualquer carga de calor significativa ao circuito de refrigeração. A classificação 15 de alta temperatura dos MOSFETs de SiC dentro do conversor de potência 210 também possibilita que o conversor de potência 210 seja posicionado bem próximo da máquina elétrica 208. De fato, embora não mostrado na figura 3, o conversor de potência 210 pode ser integrado dentro do mesmo alojamento que a máquina elétrica 208, criando, desse modo, um sistema de acionamento 20 ainda mais compacto e simplificado. O circuito de refrigeração único 202 é configurado para regular a temperatura da máquina elétrica 208 e o conversor de potência 210 para ter, no máximo, 150 graus Celsius, bem dentro das classificações de temperatura para os dois dispositivos.

Adicionalmente, embora não mostrado na figura 3, deve-se 25 entender que o sistema de acionamento 200 ainda compreende uma fonte de tensão (por exemplo, pelo menos a de uma bateria, um ultracapacitor, um volante de motor etc.) acoplada através da ligação de CC ao conversor de potência 210, como é mostrado e descrito em relação à figura 2. A fonte de

tensão deve ser disposta fora do circuito de refrigeração 202.

O peso, custo e complexidade totais do sistema de acionamento podem ser reduzidos significativamente quando se utiliza o circuito de refrigeração 202, como mostrado na figura 3. Adicionalmente aos benefícios de custo, peso e complexidade reduzidos possibilitados consolidando-se a máquina elétrica 208 e o conversor de potência 210 em um circuito de refrigeração único 202, o sistema de acionamento 200 também proporciona uma redução na interferência eletromagnética (EMI) em comparação com sistemas de acionamento elétrico convencionais. Esta redução da EMI se deve à possibilidade do conversor de potência 210 ser montado bem próximo (ou integrado com) da máquina elétrica 208, o que elimina a necessidade de cabos de blindagem longos para acoplar o conversor de potência à máquina elétrica. Estes cabos de blindagem longos, e a distância extensa entre o conversor de potência e a máquina elétrica em geral, são conhecidos por causar EMI significativa. Eliminando-se a necessidade destes cabos, reduz-se a EMI.

Portanto, de acordo com uma realização da invenção, um sistema de acionamento elétrico é mostrado, o sistema de acionamento elétrico compreende uma máquina elétrica, que compreende um rotor e um estator, um conversor de potência acoplado eletricamente à máquina elétrica e configurado para converter uma tensão de ligação de CC para uma tensão de saída de CA para acionar a máquina elétrica, e um circuito de refrigeração único, sendo que a máquina elétrica e o conversor de potência são integrados dentro do circuito de refrigeração único.

De acordo com outra realização da invenção, mostra-se um método para fabricar um sistema de acionamento elétrico, o método compreende as etapas de proporcionar um conversor de potência de carbeto de silício (SiC), que tem uma pluralidade de dispositivos de comutação de SiC, o conversor de potência de SiC é acoplável a uma fonte de potência, que

proporciona uma máquina elétrica que tem um rotor e um estator, que acopla o conversor de potência de SiC à máquina elétrica para acionar a máquina elétrica, e proporcionar um circuito de refrigeração, sendo que o conversor de potência de SiC e a máquina elétrica estão integrados dentro do circuito de refrigeração.

De acordo com ainda outra realização da invenção, mostra-se um sistema de acionamento de veículo, o sistema de acionamento de veículo compreende um motor, que compreende um rotor e um estator, uma ligação de CC, conversor de potência acoplado eletricamente entre a ligação de CC e o motor para acionar o motor, sendo que o conversor de potência compreende uma pluralidade de dispositivos de comutação de carbeto de silício (SiC), e um circuito de refrigeração, sendo que o motor e o conversor de potência são integrados dentro do circuito de refrigeração.

Esta descrição por escrito usa exemplos para revelar a invenção, incluindo o melhor modo, e também para possibilitar que qualquer pessoa versada na técnica pratique a invenção, incluindo fabricar e usar quaisquer dispositivos ou sistemas e executar quaisquer métodos incorporados. O escopo patenteável da invenção é definido pelas reivindicações, e pode incluir outros exemplos que ocorrerem àqueles versados na técnica. Estes outros exemplos são destinados a estar dentro do escopo das reivindicações, se eles tiverem elementos estruturais que não sejam diferentes da linguagem literal das reivindicações, ou se eles incluírem elementos estruturais equivalentes com diferenças insubstanciais em relação à linguagem literal das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. SISTEMA DE ACIONAMENTO ELÉTRICO (44), que compreende:

5 uma máquina elétrica (66, 208) que compreende um rotor (110) e um estator (112);

um conversor de potência (58, 210) acoplado eletricamente à máquina elétrica (66, 208) e configurado para converter uma tensão de ligação de CC em uma tensão de saída de CA, para acionar a máquina elétrica (66, 208); e

10 um circuito de refrigeração único (202), sendo que a máquina elétrica (66, 208) e o conversor de potência (58, 210) são integrados dentro do circuito de refrigeração único (202).

2. SISTEMA DE ACIONAMENTO ELÉTRICO (44), de acordo com a reivindicação 1, em que o conversor de potência (58, 210) compreende
15 uma pluralidade de dispositivos de comutação de carbeto de silício (SiC) (80, 82, 84, 86, 88, 90).

3. SISTEMA DE ACIONAMENTO ELÉTRICO (44), de acordo com a reivindicação 2, em que a pluralidade de dispositivos de comutação de (SiC) (80, 82, 84, 86, 88, 90) compreende uma pluralidade de transistores de
20 efeito de campo com semicondutor metal-óxido (MOSFETs) de SiC.

4. SISTEMA DE ACIONAMENTO ELÉTRICO (44), de acordo com a reivindicação 3, em que a pluralidade de MOSFETs de SiC tem uma classificação de temperatura de pelo menos 200 graus Celsius.

5. SISTEMA DE ACIONAMENTO ELÉTRICO (44), de acordo com a reivindicação 1, em que o circuito de refrigeração único (202) é
25 configurado para regular a temperatura da máquina elétrica (66, 208) e do conversor de potência (58, 210) para ter, no máximo, 150 graus Celsius.

6. SISTEMA DE ACIONAMENTO ELÉTRICO (44), de acordo

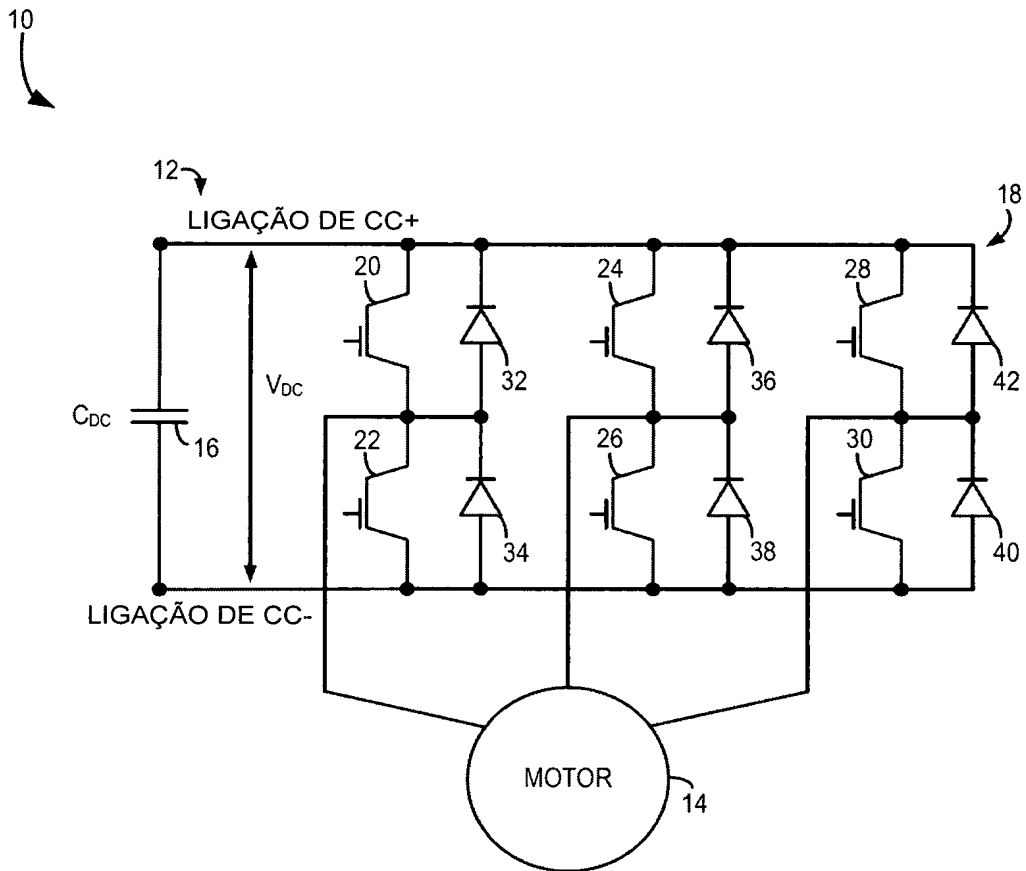
com a reivindicação 1, em que a máquina elétrica (66, 208) é uma dentre uma máquina de ímã permanente e uma máquina de indução.

7. SISTEMA DE ACIONAMENTO ELÉTRICO (44), de acordo com a reivindicação 6, em que a máquina elétrica (66, 208) compreende pelo menos uma das 3, 5, 7, e 9 fases.

8. SISTEMA DE ACIONAMENTO ELÉTRICO (44), de acordo com a reivindicação 1, em que o conversor de potência (58, 210) compreende, ainda, uma pluralidade de diodos (92, 94, 96, 98, 100, 102) conectados em uma disposição antiparalela à pluralidade de MOSFETs de SiC.

9. SISTEMA DE ACIONAMENTO ELÉTRICO, de acordo com a reivindicação 1, em que o conversor de potência (58, 210) compreende pelo menos uma das 3, 5, 7, e 9 fases.

10. SISTEMA DE ACIONAMENTO ELÉTRICO, de acordo com a reivindicação 1, em que o conversor de potência (58, 210) é totalmente integrado dentro de um alojamento da máquina elétrica (66, 208).

**Fig. 1****(TÉCNICA ANTERIOR)**

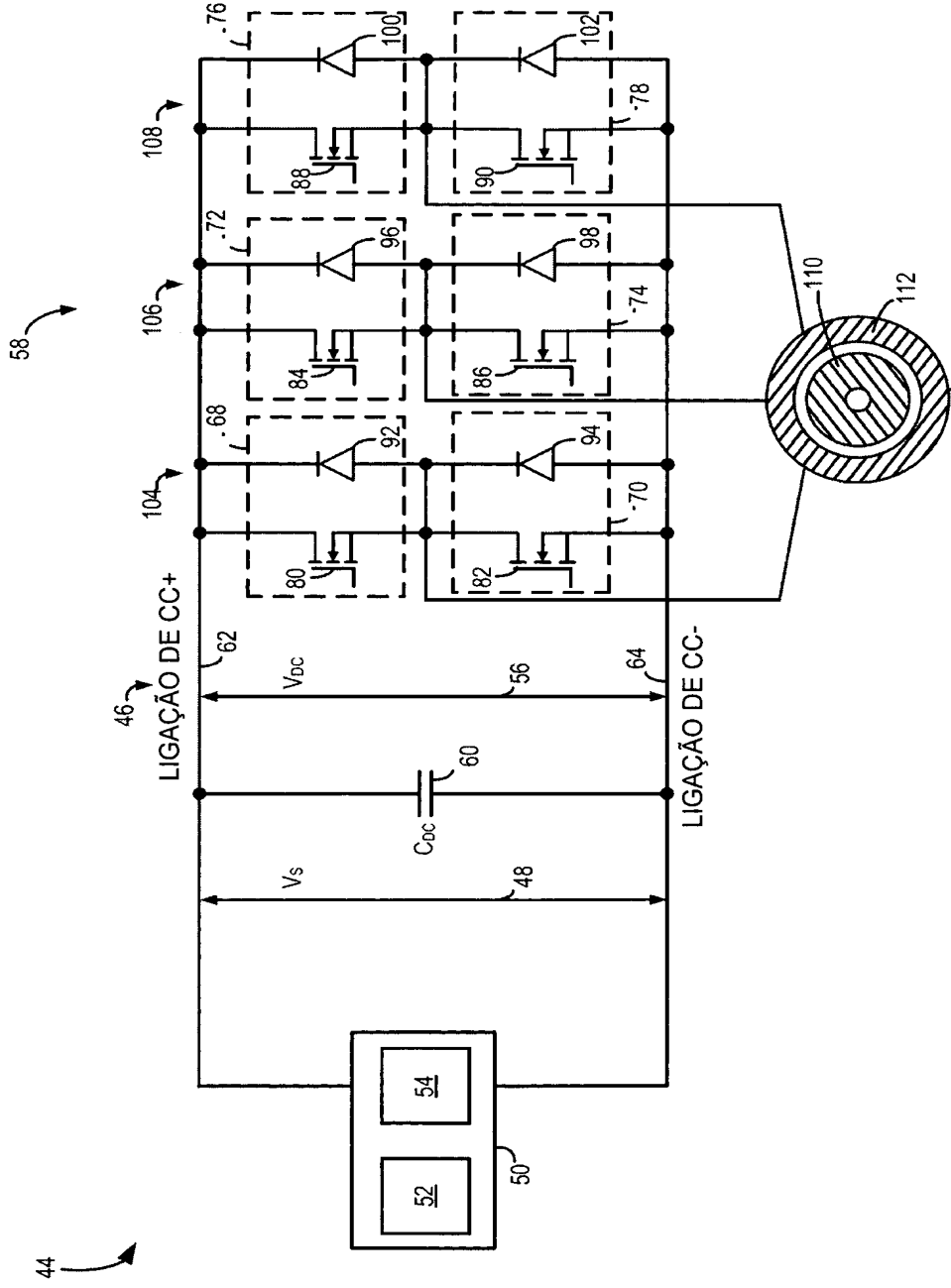


Fig. 2

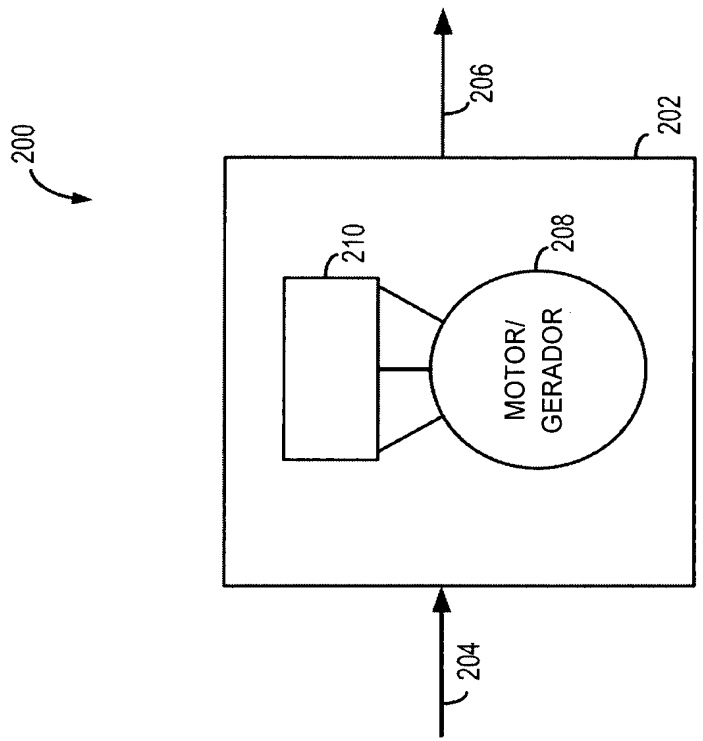


Fig. 3

RESUMO**“SISTEMA DE ACIONAMENTO ELÉTRICO”**

Trata-se de um sistema de acionamento elétrico que compreende uma máquina elétrica compreendendo um rotor e um estator, um conversor de potência acoplado eletricamente à máquina elétrica e configurado para converter uma tensão de ligação de CC em uma tensão de saída de CA para acionar a máquina elétrica, e um circuito de refrigeração único, sendo que a máquina elétrica e o conversor de potência são integrados dentro do circuito de refrigeração único.