



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial



(11) PI 0600894-1 B1

(22) Data do Depósito: 14/03/2006

(45) Data de Concessão: 24/01/2023

(54) Título: MÉTODO PARA ALIMENTAR UM SISTEMA DE COMANDO DE MOTOR DE PASSO, SISTEMA PARA FORNECER ENERGIA PARA PELO MENOS UM MOTOR DE PASSO E TURBINA EÓLICA

(51) Int.Cl.: H02P 8/02; F03D 7/00.

(30) Prioridade Unionista: 15/03/2005 US 11/080,017.

(73) Titular(es): GENERAL ELECTRIC COMPANY.

(72) Inventor(es): DAVID GERARD WANNER JR; ANDREW SCOTT WILKINSON; CYRUS DAVID HARBOUR; JEFFREY ALAN MELIUS; AMY MARLENE RIDENOUR; HOWARD ROSS EDMUNDS.

(57) Resumo: "MÉTODOS E DISPOSITIVOS PARA A CONVERSÃO DE ENERGIA DO CONTROLE DE PASSO". Um método para alimentar um sistema de comando de motor de passo (400) para ao menos um motor de passo de corrente contínua (410) de uma turbina eólica (100) inclui retificar a tensão empregando um circuito em ponte (402) para assim alimentar uma tensão de link DC para uma ponte (404) compreendendo dispositivos ativos de chaveamento (406), e utilizar ao menos um capacitor de link (408) para reduzir as variações na tensão de link DC e agir como um reservatório de energia e como uma fonte para o motor ou motores de passo DC (410).

“MÉTODO PARA ALIMENTAR UM SISTEMA DE COMANDO DE MOTOR DE PASSO, SISTEMA PARA FORNECER ENERGIA PARA PELO MENOS UM MOTOR DE PASSO E TURBINA EÓLICA”

[001] Esta invenção se refere, em geral, ao controle de motores de corrente contínua (DC), e mais em particular aos métodos e aos dispositivos que são particularmente úteis para controlar de forma eficiente os motores de passo de corrente contínua em turbinas eólicas.

[002] Recentemente, as turbinas eólicas tem recebido uma atenção cada vez maior por serem uma fonte de energia alternativa segura do ponto de vista ambiental e por serem relativamente baratas. Com este interesse crescente, tem sido feitos esforços consideráveis no sentido de desenvolver turbinas eólicas que sejam confiáveis e eficientes.

[003] Em geral, uma turbina eólica inclui um rotor contendo múltiplas pás (ou lâminas). O rotor é montado em uma caixa ou nacela, a qual é posicionada no topo de uma torre tubular ou suporte. As turbinas eólicas para a grade útil (isto é, as turbinas eólicas destinadas para fornecer energia elétrica a uma grade útil ou de serviço) podem ter grandes rotores (p. ex., com 30 ou mais metros de diâmetro). As pás destes rotores transformam a energia eólica em torque rotacional ou força a qual move um ou mais geradores, os quais são acoplados em rotação com o rotor através de uma caixa de engrenagens ou que são diretamente acoplados ao motor. A caixa de engrenagens, quando presente, eleva a inerente baixa velocidade de rotação rotor da turbina para que o gerador possa converter, de forma eficiente, a energia mecânica em energia elétrica, a qual é alimentada para a grade útil.

[004] Em uma turbina eólica de passo controlado, um controlador eletrônico é empregado em conjunto com um mecanismo de controle do passo da pá, para variar o ângulo do passo das pás ao redor de seus respectivos eixos longitudinais para controlar a potência de saída da turbina eólica. São fornecidos

motores para variar o passo das pás enquanto o rotor está girando.

[005] Alguns novos sistemas de implementação do passo são necessários para uma regeneração contínua. Por exemplo, o uso de sistemas de comando do controle do passo em turbinas eólicas, com um ou mais links em corrente contínua como um link intermediário entre a fonte e a carga, necessita que os link(s) de corrente contínua absorvam energia regenerativa sob certas circunstâncias. Por exemplo, os link(s) DC alimentados por uma fonte de diodos pode necessitar absorver energia regenerativa quando os motores de comando do passo são desacelerados. A necessidade de absorver continuamente energia regenerativa é nova e não se acredita que esta tenha sido empregada para as configurações dos sistemas de passo das turbinas eólicas previamente conhecidas.

BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[006] Em um aspecto, algumas configurações da presente invenção portanto fornecem um método para alimentar um sistema de comando do motor de passo para ao menos um motor de passo de corrente contínua de uma turbina eólica. O método inclui retificar a tensão empregando um circuito em ponte para assim alimentar uma tensão de link DC para uma ponte compreendendo dispositivos ativos de chaveamento, e empregando ao menos um capacitor de link para reduzir as variações na tensão de link DC e agir como um reservatório de energia e como uma fonte para o motor ou motores de passo DC.

[007] Em outro aspecto, algumas configurações da presente invenção fornecem um sistema para fornecer energia para ao menos um motor de passo DC de uma turbina eólica. O sistema inclui um circuito em ponte, acoplado a uma fonte de energia, e configurado para produzir uma tensão de link DC retificada, uma ponte de dispositivos ativos de chaveamento configurada para chavear a tensão de link DC, e ao menos um capacitor de link em circuito

e configurado para reduzir as variações na tensão de link DC e para agir como um reservatório de energia e como uma fonte para o motor ou motores de passo DC.

[008] Em ainda outro aspecto, algumas configurações da presente invenção fornecem uma turbina eólica apresentando um rotor, o qual apresenta ao menos um pá operacionalmente acoplada a ao menos um motor de passo DC. Também é fornecido um sistema de alimentação incluindo um circuito em ponte operacionalmente acoplado a uma fonte de energia e configurado para produzir uma tensão de link DC retificada, uma ponte de dispositivos ativos de chaveamento configurada para chavear a tensão de link DC e alimentar a tensão de link DC ao motor ou motores de passo DC, e ao menos um capacitor de link em circuito e configurado para reduzir as variações na tensão de link DC e para agir como um reservatório e como uma fonte de energia.

[009] Assim, é também visível que das várias configurações da presente invenção resultam vantagens no custo do sistema, confiabilidade e/ou disponibilidade em particular quando empregadas nos sistemas de controle de passo de turbinas eólicas. Em adição, algumas das configurações da presente invenção empregadas nos sistemas de controle do passo de turbinas eólicas podem ser configuradas para vantajosamente prover mudanças de energia entre os sistemas de comando do motor de passo em um barramento DC único e/ou fornecer outras formas para se dissipar a energia regenerativa em um sistema único de comando do motor de passo e/ou vantajosamente permitir a troca de energia entre os conversores de energia do comando do passo. A troca de energia durante a operação possui vantagens em relação a operação de um conversor simples através da permissão de uma redução ou minimização do número e no rendimento dos resistores do freio dinâmico (DB) e dos capacitores de link DC.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

- A figura 1 é uma ilustração de uma configuração de exemplo de uma turbina eólica;
- A figura 2 é uma vista em perspectiva seccionada de uma nacela da configuração de exemplo da turbina eólica mostrada na figura 1;
- A figura 3 é um diagrama em blocos de uma configuração de exemplo de um sistema de controle para a configuração da turbina eólica mostrada na figura 1;
- A figura 4 é um diagrama de blocos esquemático representativo de algumas configurações para o sistema de conversão de energia do comando do passo da presente invenção;
- A figura 5 é um diagrama de blocos esquemático representativo de algumas configurações para o sistema de conversão de energia do comando do passo da presente invenção em turbinas eólicas apresentando uma pluralidade de motores de passo e de sistemas de comando do motor de passo;
- A figura 6 é um diagrama de blocos esquemático representativo de algumas configurações para o sistema de conversão de energia do comando do passo da presente invenção em turbinas eólicas apresentando uma pluralidade de motores de passo e de sistemas de comando do motor de passo e apresentando um resistor de freio dinâmico comum;
- A figura 7 é um diagrama de blocos esquemático representativo de algumas configurações para o sistema de conversão de energia do comando do passo da presente invenção em turbinas eólicas apresentando uma pluralidade de motores de passo e de sistemas de comando do motor de passo nos quais um conjunto de chaves de alimentação de energia substitui uma ponte de diodo não regenerativa; e
- A figura 8 é um diagrama de blocos esquemático

representativo de algumas configurações para o sistema de conversão de energia do comando do passo da presente invenção similar àquela da figura 7, mas com uma fonte MOSFET regenerativa individual fornecida para cada comando de passo.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[010] Em algumas configurações e com referência à figura 1, uma turbina eólica 100 em algumas configurações compreende uma nacela 102 que aloja um gerador (não mostrado na figura 1). A nacela 102 é montada no topo de uma alta torre 104, somente uma parte da qual sendo mostrada na figura 1. A turbina eólica 100 também compreende um rotor 106 o qual inclui uma pluralidade de pás de rotor 108 fixadas em um cubo rotatório 110. Apesar da turbina eólica 100 ilustrada na figura 1 incluir três pás de rotor, não existe um limite específico no número de pás de rotor 108 necessárias pela presente invenção.

[011] Em algumas configurações e com referência à figura 2, vários componentes estão alojados na nacela 102 no topo da torre 104 da turbina eólica 100. A altura da torre 104 é selecionada com base em fatores e em condições conhecidas na arte. Em algumas configurações, um ou mais microcontroladores dentro do painel de controle 112 compreendem um sistema de controle os quais são empregados para a monitoração e controle geral do sistema incluindo a regulagem do passo e da velocidade, o eixo de alta velocidade e a aplicação do freio de direcionamento (yaw break), a aplicação do motor da bomba e do direcionamento e a monitoração de falhas. Em algumas configurações são empregadas arquiteturas de controle distribuída ou centralizada.

[012] Em algumas configurações, o sistema de controle fornece sistemas de controle a um comando de passo da pá variável (o qual inclui um motor DC de comando do passo, não mostrado na figura 2) para controlar o

passo das pás 108 (também não mostradas na figura 2) que comanda o cubo como resultado do vento. Em algumas configurações, o cubo 110 recebe três pás 108, mas outras configurações podem utilizar qualquer número de pás. Em algumas configurações, os passos das pás 108 são individualmente controlados por meio do comando de passo da pá 114. O cubo 110 e as pás 108 juntos compreendem o rotor 106 da turbina eólica.

[013] O trem de comando da turbina eólica inclui um eixo principal do rotor 116 (também referido como o “eixo de baixa velocidade”) conectado ao cubo 110 e a uma caixa de engrenagens 118 a qual, em algumas configurações, emprega uma geometria de caminho duplo para comandar um eixo de alta velocidade envolvido dentro da caixa de engrenagens 118. O eixo de alta velocidade (não mostrado na figura 2) é empregado para comandar um primeiro gerador 120, o qual é suportado pelo quadro principal 132. Em algumas configurações, o torque do rotor é transmitido através do acoplamento 122. O primeiro gerador 120 pode ser de qualquer tipo apropriado, por exemplo e sem limitação, um gerador de indução com rotor por enrolamento. Outro tipo apropriado, dado a título de exemplo não limitativo, é um gerador de pólos múltiplos, o qual pode funcionar na mesma velocidade que a do eixo de baixa velocidade em uma configuração direta, sem necessitar de uma caixa de engrenagens.

[014] O comando do direcionamento 124 e a plataforma de direcionamento 126 fornecem um sistema de orientação do direcionamento para a turbina eólica 100. Em algumas configurações, o sistema de orientação do direcionamento é operado eletricamente e é controlado pelo sistema de controle de acordo com as informações recebidas os sensores usados para medir o deslocamento da flange do eixo, como descrito abaixo. Tanto de forma alternativa quanto em adição aos sensores de medição do deslocamento da flange, algumas configurações empregam um difusor eólico 128 para fornecer

informações para o sistema de orientação do direcionamento. O sistema de direcionamento é montado sobre uma flange provida no topo da torre 104.

[015] Em algumas configurações e com referência à figura 3, um sistema de controle 300 para uma turbina eólica 100 inclui um barramento 302 ou outro dispositivo de comunicação para transmitir informações. O processador(es) 304 é acoplado ao barramento 302 para processar informações, incluindo as informações dos sensores configurados para medir os deslocamentos ou os momentos. O sistema de controle 300 ainda inclui uma memória de acesso aleatório (RAM) 306 e/ou outro dispositivo(s) de armazenagem 308. A memória RAM 306 e os dispositivos de armazenagem 308 são acoplados ao barramento 302 para armazenar e transferir as informações e as instruções a serem executadas pelo processador(es) 304. A memória RAM 306 (e também o dispositivo(s) de armazenagem 308, se necessário) também pode ser empregada para armazenar variáveis temporárias ou outras informações temporárias durante a execução das instruções pelo processador(es) 304. O sistema de controle 300 também pode incluir uma memória de tipo somente leitura (ROM) e/ou outro dispositivo estático de armazenagem 310, o qual é acoplado ao barramento 302 para armazenar e fornecer informações e instruções estáticas (isto é, que não mudam) para o processador(es) 304. O dispositivo(s) de entrada/saída 312 (I/O) pode incluir qualquer dispositivo conhecido na arte para fornecer os dados de entrada para o sistema de controle 300 e fornecer as saídas para o controle de direcionamento e para o controle do passo. As instruções são fornecidas para a memória pelo dispositivo de armazenagem, tal como um disco magnético, um circuito integrado de memória tipo somente leitura (ROM), um CO-ROM, um DVD, através de uma conexão remota, que tanto pode ser via cabo quanto sem fio, fornecendo acesso a uma ou mais mídias eletronicamente acessíveis, etc. Em algumas formas de realização, uma placa pode ser usada no lugar de ou em combinação com as

instruções de software. Assim, a execução das sequências de instruções não está limitada a qualquer combinação específica de circuito/equipamento e de instruções de software. A interface com sensor 314 é uma interface pode ser ou pode compreender, por exemplo, um ou mais conversores analógico digital, o qual converte os sinais analógicos em digitais, os quais podem ser usados pelo processador(es) 304.

[016] Em algumas configurações da presente invenção, e com referência à figura 4, um sistema único de comando do motor de passo 400 é alimentado a partir de uma fonte de energia (não mostrada) empregando um transformador (também não mostrado) operacionalmente acoplado a uma ponte de diodos não regenerativa 402 a qual retifica a tensão do secundário do transformador e que fornece uma tensão de link DC a uma ponte H 404 compreendendo quatro dispositivos ativos de chaveamento 406, por exemplo, MOSFET em paralelo ou IGBTs em paralelo ou individuais. Ao menos um capacitor de link DC 408 atenua as variações da tensão de link DC V_{DL} e age como um reservatório de energia e como uma fonte para uma série de motores DC 410, os quais operam os motores de passo das pás variáveis 114 (o qual é mostrado na figura 2). Em algumas configurações também é fornecido um sistema de passo de emergência 412, compreende ao menos uma bateria 414 e chaves 416, para mudar o passo das pás da turbina eólica (não mostrado na figura 1) para uma posição de novo passo quando a energia DC não está mais disponível.

[017] O sistema 400 da figura 4 tem alguma capacidade de absorver energia regenerativa de uma série de motores DC 410. Assim, o sistema único de comando do motor de passo 400 é suficiente para aplicações as quais necessitam que as pás 108 tenham seu passo alterado para um ângulo determinado e que então realizam ajustes muito pequenos no ângulo do passo ao mesmo tempo em que a turbina eólica 100 está operando.

[018] Em algumas configurações da turbina eólica 100, o controlador do passo poderia necessitar de uma alteração significativa na posição(ões) da pá durante cada revolução do cubo 110, e portanto necessitar que o sistema de comando do motor de passo 400 dissipasse continuamente a energia regenerativa. Assim, algumas (mas não necessariamente todas as) configurações do sistema de comando do motor de passo 400 são ainda dotadas com ao menos um resistor 418 de freio dinâmico (DB), os quais são usados para dissipar a energia regenerativa do motor 410. O resistor(es) 418 de freio dinâmico é eletricamente acoplado ao link DC 419 através de uma chave de energia 420 (MOSFET ou IGBT) quando a tensão de link DC V_{DL} aumenta até um limite predeterminado. Esta solução tinha sido empregada em alguns comandos para motores de indução LV ou MV da General Electric no passado.

[019] Algumas configurações do sistema de controle do passo para turbinas eólicas apresentam necessidades ambientais únicas, as quais tornam desvantajosa a dissipação da energia regenerativa em resistores de freio dinâmico. Assim, alguns (mas não necessariamente todas as) configurações do sistema de comando do motor de passo 400 também são fornecidas com capacitores adicionais 408 adicionados ao link DC 409 para permitir, de forma vantajosa, que a tensão de link DC V_{DL} fique dentro dos limites predefinidos sem uma dissipação excessiva de energia e sem um acréscimo no aquecimento do ambiente próximo ao sistema de comando do motor de passo 400.

[020] Em algumas configurações das turbinas eólicas 100, vários sistemas de comando do motor de passo 400 são usados para mudar o passo de pás 108 diferentes. Cada sistema de comando do motor de passo 400 é derivado dos demais através dos transformadores de entrada (não mostrados nas figuras), os quais isolam cada ponte de alimentação, baseada nos diodos 422 da grade trifásica de alimentação de energia alternada AC 424.

[021] Em algumas configurações e com referência à figura 5, é

evitado um aquecimento extra no cubo da turbina eólica 110 produzido pelos resistores 418 de freio dinâmico e do aumento de partes consideradas resultante dos capacitores do link DC 408 e/ou dos resistores de freio dinâmico. Mais em particular, um link DC 419 comum e uma tensão de link DC V_{DL} são compartilhados entre uma pluralidade de motores de passo 410 e de sistemas de comando 400. Por exemplo, três de ditos sistemas 400 compartilham um link DC 419 comum na configuração representada na figura 5. O link DC 419 comum permite a troca da energia entre os sistemas 400.

[022] Em algumas configurações da presente invenção, representadas pela figura 5, uma pluralidade de sistemas de comando do passo 400 são interconectadas com um link DC 419 comum, e são fornecidos resistores DB individuais 418 para cada um dentre a pluralidade de sistemas de comando do passo do motor 400. A interconexão fornecida pelo link DC 419 permite que os resistores DB 418 tenham um menor rendimento na dissipação de energia que aquela que seria necessária. Algumas configurações fornecem uma pluralidade de capacitares 408 de link DC. Em tais configurações, a troca de energia entre a pluralidade de sistemas de comando do motor de passo 400 permite que se obtenha uma redução na capacitância total no link DC 419 e reduz o rendimento necessário para os resistores DB418.

[023] Em algumas configurações da presente invenção e com referência à figura 6, é fornecido um resistor DB 418 comum. Algumas configurações também fornecem uma chave de energia comum 420 usada para controlar a magnitude da corrente através do resistor DB 418.

[024] Em algumas configurações da presente invenção e com referência à figura 7, a necessidade de se adicionar os resistores DB 418 ou uma pluralidade de capacitores de link DC 408 pode ser eliminada através da adição de uma fonte regenerativa para a tensão de link DC V_{DL} . Por exemplo, a configuração de exemplo representada na figura 7 é configurada para absorver

toda a energia regenerativa que não circula entre os sistemas de comando do motor de passo 400 empregando um conjunto 700 de chaves elétricas de entrada 420 o qual substitui a ponte de diodos 402 não regenerativa. Assim, é regulada a tensão de link DC V_{DL} que é aplicada a todos os sistemas de comando do motor de passo 400.

[025] Em algumas configurações e com referência à figura 8, é fornecido para cada comando de passo, um circuito 800 com ponte de alimentação 700 tipo MOSFET regenerativa e separada usando os MOSFETs 420. Podem ser usados dispositivos IGBT no lugar dos MOSFETs 420 se é desejado um maior rendimento. O circuito ilustrado na figura 7 difere daquele da figura 8 pelo fato de que o circuito da figura 7 apresenta em geral um custo mais efetivo e emprega uma fonte regenerativa única configurada para absorver toda ou a maior parte da energia regenerativa que não circula entre os sistemas de comando do motor de passo. No circuito 800 da figura 8, os ramais separados 802, 804, 806 são fornecidos para o controle do passo do eixo 1, para o controle do passo do eixo 2 e para o controle de passo do eixo 3, respectivamente.

[026] Desta forma, em algumas configurações da presente invenção, os comandos do motores para um ou mais (por exemplo, três) motores de passo podem compreender MOSFETs ou IGBTs. São fornecidas fontes não regenerativas em algumas configurações para um ou mais motores de passo, sendo que em outras configurações são fornecidas fontes regenerativas compreendendo MOSFETs ou IGBTs. Em algumas configurações, é fornecida uma fonte única (por exemplo, uma fonte regenerativa) para uma pluralidade de motores de passo (p. ex., três motores de passo), sendo que, em algumas configurações, é fornecida uma fonte individual (por exemplo, uma fonte regenerativa) para cada motor de passo individual.

[027] O uso de sistemas de comando do controle de passo com um link DC como um link alternativo entre a fonte e as cargas, em algumas

configurações, requer que o link DC absorva a energia regenerativa sob certas condições, tais como quando os motores são desacelerados quando o link(s) DC é alimentado por uma fonte a diodo. Como pode ora ser apreciado a partir das configurações de exemplo aqui descritas, as configurações da presente invenção vantajosamente absorvem esta energia empregando capacitores e/ou resistores chaveados no link DC, elou através do uso de uma fonte ativa totalmente regenerativa de tensão contínua.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para alimentar um sistema de comando de motor de passo (400) para pelo menos um motor de passo de corrente contínua (410) de uma turbina eólica (100), em que o dito pelo menos um motor de passo de corrente contínua (410) opera um comando de passo de uma pá variável, sendo que o dito método é caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

- retificar a tensão empregando um circuito em ponte (402) para assim alimentar uma tensão de link DC retificada para uma ponte (404) compreendendo dispositivos ativos de chaveamento (406) configurados para chavear a tensão de link DC;

- configurar a dita ponte (404) de dispositivos ativos de chaveamento para chavear a tensão de link DC (419) e alimentar a tensão de link DC para o pelo menos um motor de passo DC (410);e

- empregar pelo menos um capacitor de link (408) conectado à dita ponte (404) de dispositivos para reduzir as variações na tensão de link DC (419) e agir como um reservatório de energia e como uma fonte de energia para o pelo menos um motor de passo DC (410).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender a etapa de utilizar ao menos um resistor (418) de freio dinâmico para dissipar a energia regenerativa de a menos um motor de passo DC (410) e utilizar uma pluralidade de capacitores de link (408) para reduzir as variações na tensão de link DC e agir como um reservatório de energia e como uma fonte para ao menosum motor de passo DC.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a turbina eólica (100) compreende uma pluralidade de motores de passo DC (410), cada qual comandado por um sistema de comando de motor de passo (400) separado, e dito método ainda compreendendo compartilhar a tensão de link DC entre uma pluralidade de sistemas de comando do motor de passo.

4. Sistema para fornecer energia para pelo menos um motor de passo DC (410) de uma turbina eólica (100), em que o dito pelo menos um motor de passo de corrente contínua (410) opera um comando de passo de uma pá variável, sendo o dito sistema caracterizado pelo fato de compreender:

- um circuito em ponte (402), acoplado a uma fonte de energia, e configurado para alimentar uma tensão de link DC (419) retificada para uma ponte (404) compreendendo dispositivos ativos de chaveamento (406);

- dita ponte (404) de dispositivos ativos de chaveamento (406) configurada para chavear a tensão de link DC (419) e alimentar a tensão de link DC chaveada a ao menos um motor de passo DC (410); e

- pelo menos um capacitor de link (408) conectado à dita ponte (404) de dispositivos ativos de chaveamento (406) em circuito, dito capacitor de link (408) configurado para reduzir as variações na tensão de link DC e para agir como um reservatório de energia e como uma fonte para ao menos um motor de passo DC.

5. Sistema, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de compreender pelo menos um resistor (418) de freio dinâmico em circuito e configurado para dissipar a energia regenerativa do sistema de comando do motor de passo.

6. Sistema, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de apresentar uma pluralidade de motores de passo DC (410) comandados por sistemas de comando do motor de passo (400), e dito sistema sendo configurado para compartilhara tensão de link DC entre dita pluralidade de sistemas de comando do motor de passo.

7. Turbina eólica (100), caracterizada pelo fato de compreender um rotor (106) apresentando ao menos um pá (108) operacionalmente acoplada a ao menos um motor de passo DC (410), e um sistema de alimentação incluindo um circuito em ponte (402) operacionalmente acoplado a uma fonte de energia

e configurado para produzir uma tensão de link DC (419) retificada para uma ponte (404) que compreende dispositivos ativos de chaveamento (406), dita ponte (404) de dispositivos ativos de chaveamento (406) configurada para chavear a tensão de link DC (419) e para alimentar a tensão de link DC a pelo menos um motor de passo DC (410), e pelo menos um capacitor de link (408) conectado à dita ponte (404) de dispositivos ativos de chaveamento (406) em circuito, dito capacitor de link (408) configurado para reduzir as variações na tensão de link DC (419) e para agir como um reservatório de energia e como uma fonte de energia para o pelo menos um motor de passo DC (410).

8. Turbina eólica (100), de acordo com a reivindicação 7, caracterizada pelo de que o dito sistema de energia ainda compreende um resistor (418) de freio dinâmico configurado para dissipar a energia regenerativa.

9. Turbina eólica (100), de acordo com a reivindicação 7, caracterizada pelo fato de que o dito sistema de energia ainda compreende uma pluralidade de capacitores de link (408) configurado para reduzir as variações na tensão de link DC e para agir como um reservatório e como uma fonte de energia.

10. Turbina eólica (100), de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de apresentar uma pluralidade de ditas pás (108), cada qual operacionalmente acoplada a um dentre uma pluralidade de motores de passo DC (410) comandados por sistemas de comando do motor de passo (400), os quais são configurados de modo a compartilhar a tensão de link DC entre dita pluralidade de motores de passo DC.

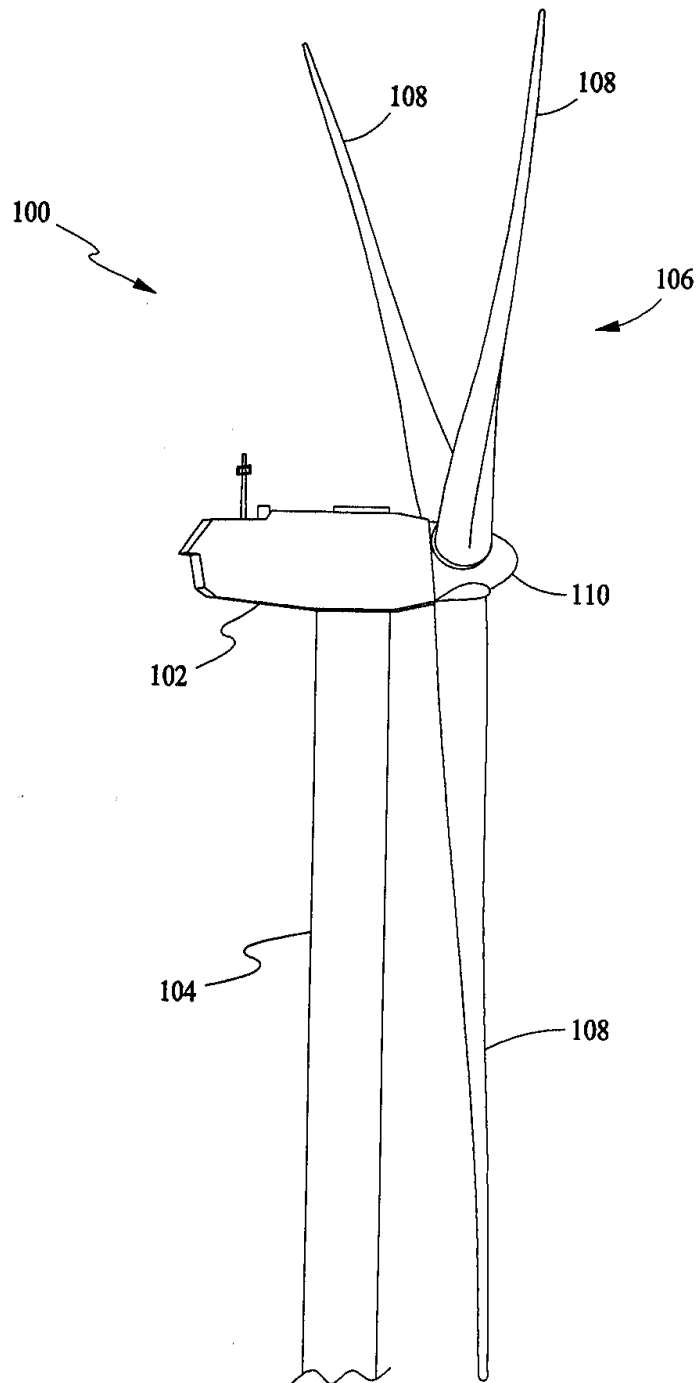


FIG. 1

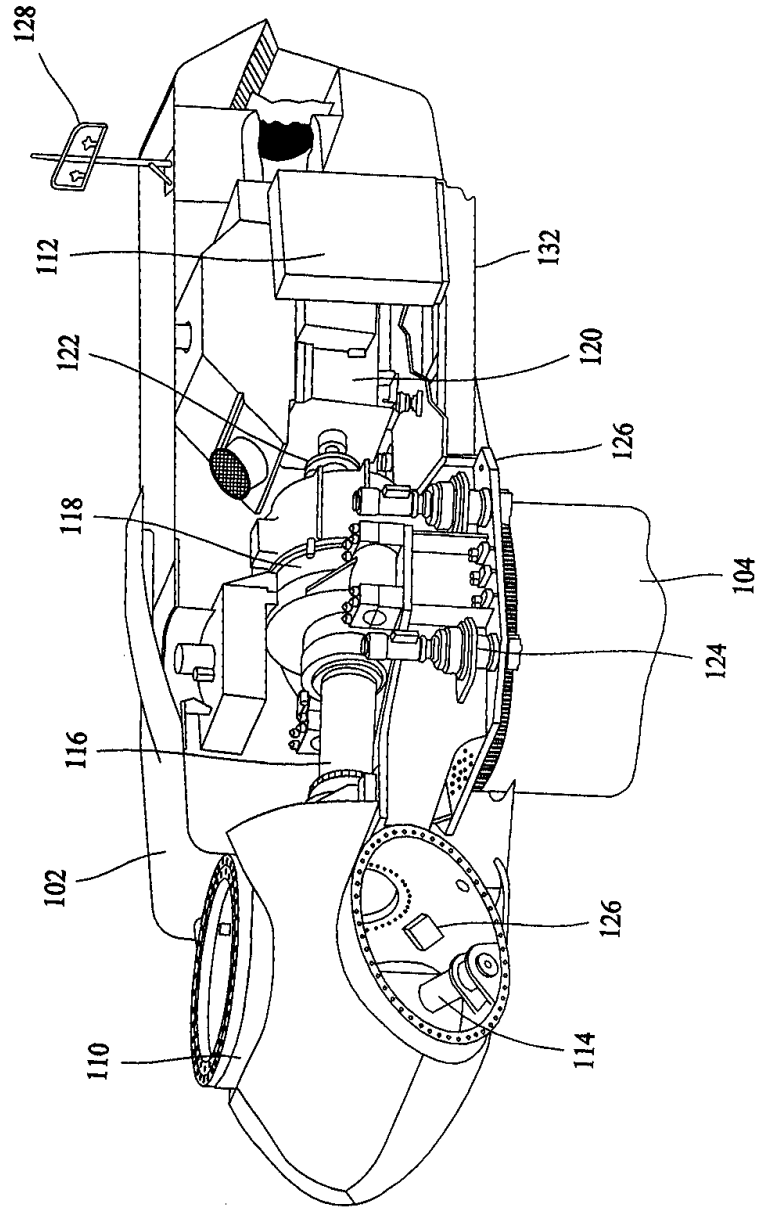


FIG. 2

26

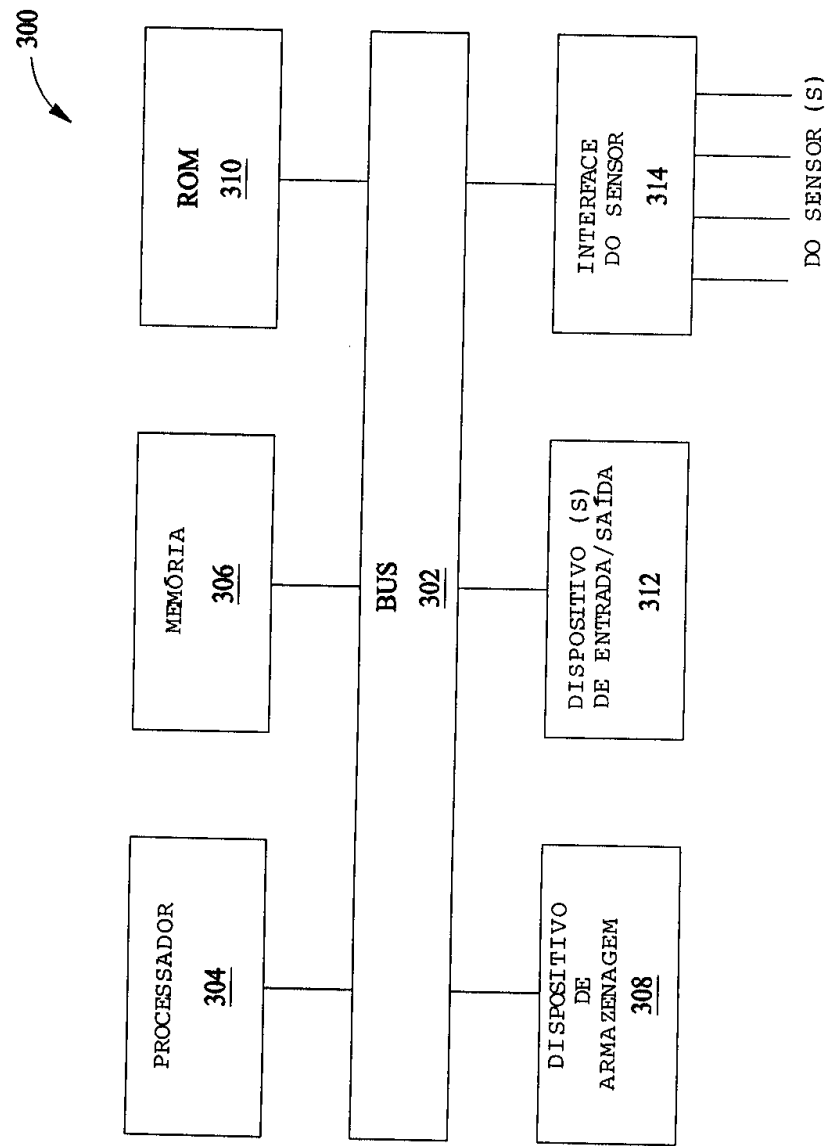


FIG. 3

82

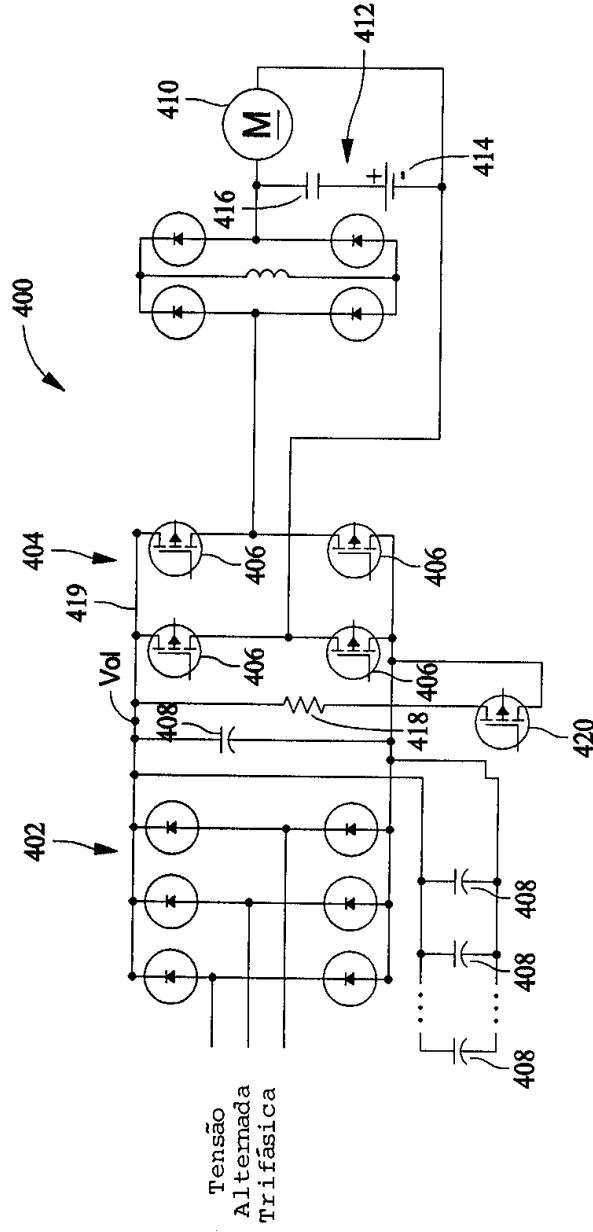


FIG. 4

28



FIG. 5

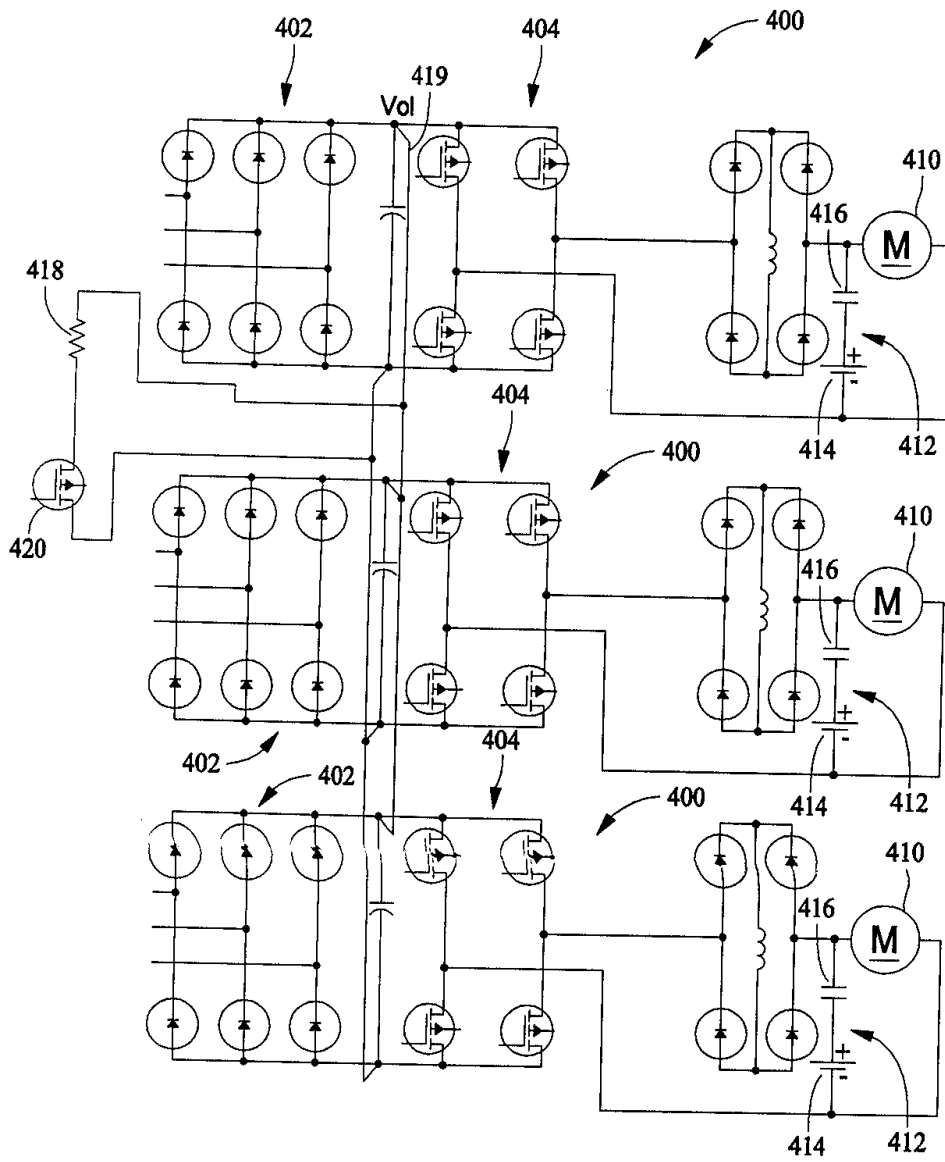


FIG. 6

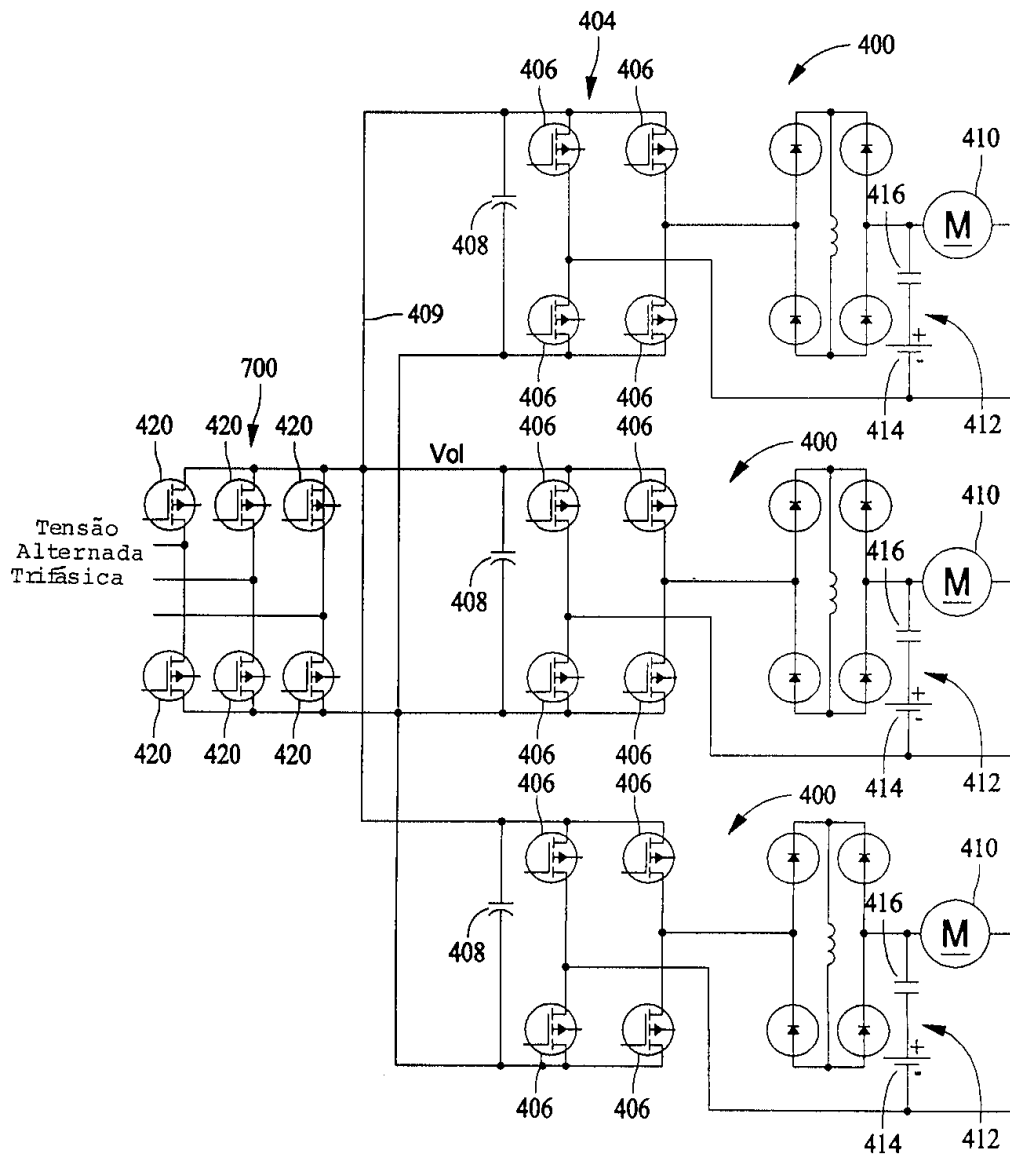


FIG. 7

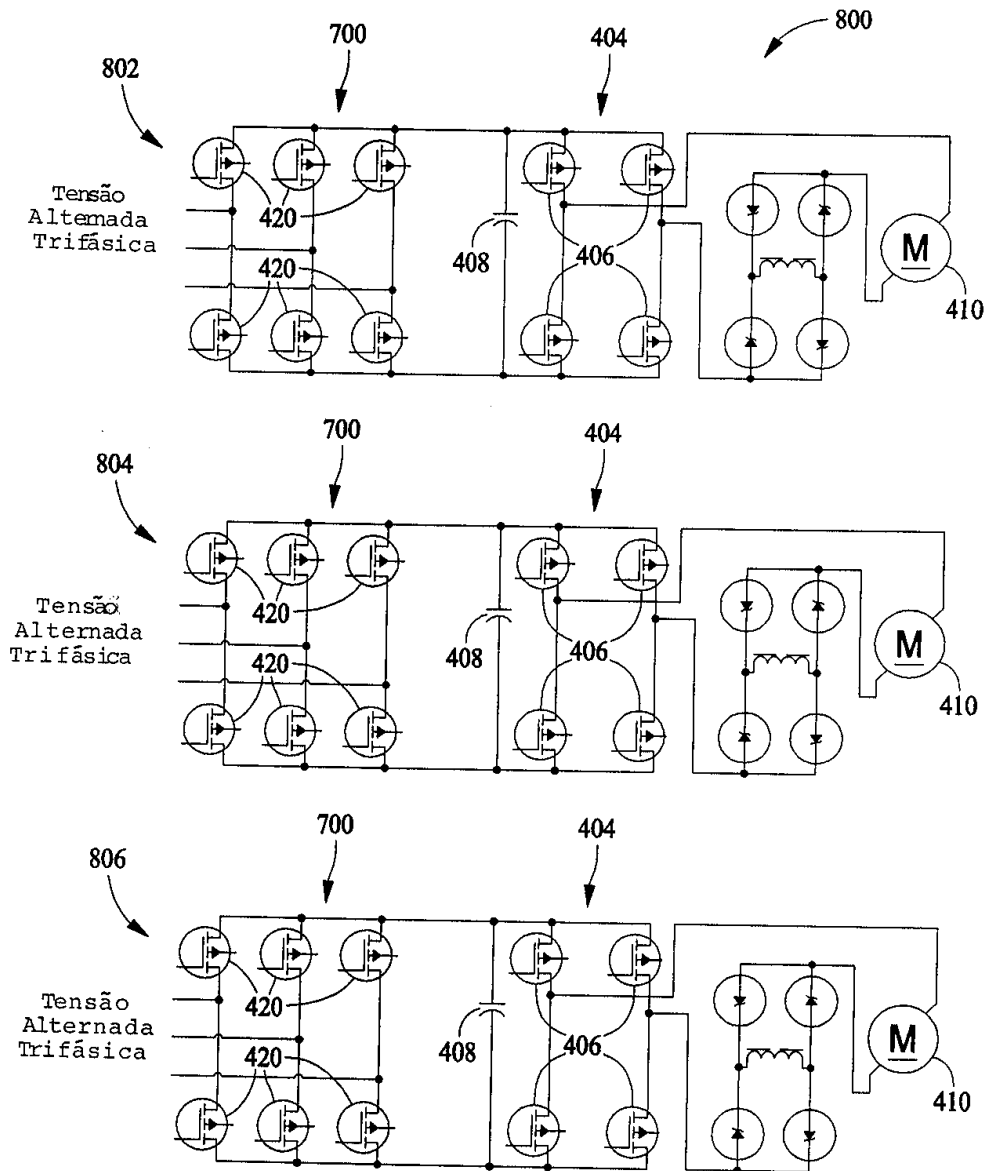


FIG. 8