

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

(21) **PI0901292-3 A2**



* B R P I O 9 0 1 2 9 2 A 2 *

(22) Data de Depósito: 30/04/2009
(43) Data da Publicação: 04/05/2010
(RPI 2052)

(51) *Int.Cl.*:
H02M 7/04 (2010.01)

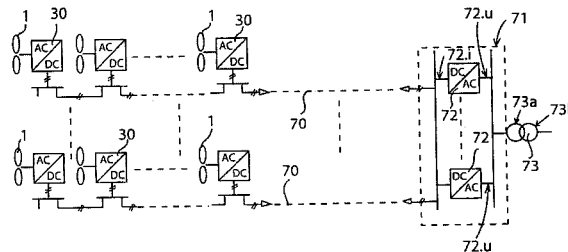
(54) Título: **CONVERSOR MODULAR PARA CONVERTER A ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA POR AEROGERADORES, E USINA EÓLICA QUE UTILIZA O REFERIDO CONVERSOR**

(30) Prioridade Unionista: 30/04/2008 IT TO2008A000324

(73) Titular(es): Trevi Energy S.p.A

(72) Inventor(es): Fabio Pallotti, Francesco Castelli Dezza, Gabriele Marghegiani

(57) Resumo: CONVERSOR MODULAR PARA CONVERTER A ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA POR AEROGERADORES, E USINA EÓLICA QUE UTILIZA O REFERIDO CONVERSOR. Trata-se de um conversor modular 30 para converter a energia elétrica produzida por aerogeradores, projetado para ser utilizado dentro de uma usina eólica, que é equipado com: terminais de entrada 30a projetados para serem conectados a um gerador de energia elétrica 3 do tipo monofásico ou multifásico; terminais de saída 30b; e dispositivos de controle 36 para controlar a potência do referido gerador de energia elétrica 3. O conversor modular possui multiplicidade de módulos 31 projetados para receber corrente alternada em suas entradas 31.1 e produzir corrente elétrica direta nas respectivas saídas 31 .2a, 31 .2b para ser distribuída dentro da referida usina eólica, e, além disso, os meios de controle 36 recebem um sinal dos módulos 31 e atuam sobre o gerador de energia elétrica 3.





PI0901292-3

Relatório Descritivo da Patente de Invenção
para “**CONVERSOR MODULAR PARA CONVERTER A
ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA POR
AEROGERADORES, E USINA EÓLICA QUE UTILIZA O
5 REFERIDO CONVERSOR**”.

A presente invenção se refere a um sistema de
conversão de energia para aerogeradores, e em particular se refere
a um conversor modular para converter a energia elétrica
produzida por aerogeradores, bem como à usina eólica
10 correspondente que o utiliza.

De modo a possibilitar um melhor entendimento
da descrição a seguir, é apresentada aqui uma lista completa dos
acrônimos utilizados no texto:

- c.a. – corrente alternada;
- 15 c.c. – corrente contínua;
- DCBUS – circuito intermediário de corrente
contínua;
- LV – baixa tensão;
- MV – média tensão;
- 20 HV – alta tensão;
- HVDC – corrente contínua de alta tensão,
transmissão de alta tensão e corrente contínua;
- DDPMSG – gerador síncrono de ímã
permanente de acionamento direto;
- 25 DFIG – gerador de indução duplamente
alimentado;

IGBT – transistor bipolar de porta isolada;
 MMSC – conversor estático modular
 multiníveis;

5 SCM – módulo conversor estático;
 DC – controlador digital;
 MDC – controlador digital mestre;
 SDC – controlador digital escravo;
 N_m – número de SCMs;
 N_{ms} – número de SCMs em série;
 10 N_{mp} – número de SCMs em paralelo;
 V_{mac} – tensão c.a. no lado de entrada do SCM;
 V_{mdc} – tensão c.c. no lado de saída do SCM;
 V_{dcn} – tensão c.c. total do circuito intermediário c.c.

O presente desenvolvimento das turbinas eólicas
 15 para a produção de corrente elétrica, também conhecidas pelo
 termo “aerogeradores”, idealiza níveis de potência cada vez
 maiores: em particular, isso é verdadeiro para usinas eólicas em
 alto mar, isto é, as usinas que ficam instaladas a alguns
 quilômetros da costa do mar ou dos bancos de lagos de lagos de
 20 modo a utilizar de forma mais eficaz sua exposição notável às
 correntes de ar nessas regiões.

Como ilustrado na Figura 1, os aerogeradores 1
 compreendem turbinas eólicas 2 equipadas com pás 2a e sistemas
 com engrenagens 2b, 2c contidas dentro de um corpo 4 montado
 25 em um mastro de suporte 5. Os aerogeradores 1 também
 compreendem, novamente dentro do corpo 4, geradores de

energia elétrica 3, projetados para a conversão da energia mecânica produzida pelo vento que colide com as pás da turbina em energia elétrica.

Em muitos casos, os aerogeradores 1 são também equipados com freios 6, que são projetados para reduzir a velocidade de rotação das pás 2a da turbina 2 no caso de um vento excessivamente forte.

Dentre os geradores de energia elétrica mais adequados à aplicação em turbinas eólicas estão:

10 - geradores de indução, com alimentação dupla e geralmente equipados com multiplicadores de r.p.m. acoplados ao eixo mecânico 7 conectado à própria turbina eólica 2; e

15 - geradores síncronos de ímã permanente de acionamento direto (DDPMSFs), neste caso, diretamente acoplados ao eixo mecânico da turbina.

Na Figura 2, é ilustrada em detalhes uma seção transversal de um gerador síncrono 10 com ímãs permanentes 11, que, neste caso, são orientados em 90° em relação um ao outro. Os ímãs permanentes 11, juntos com os enrolamentos 12 feitos de material condutor enrolados nos próprios ímãs permanentes 11, constituem o rotor 13 do gerador 10. O rotor é conectado ao eixo mecânico da turbina eólica 7 e é instalado dentro de um estator de metal magnetocondutor 14, dentro do qual as linhas de campo magnético 15 produzidas pelo rotor 13 são propagadas durante a
25 rotação.

O DDPMSG hoje em dia é menos comum do que o gerador de indução para esse tipo específico de aplicação. No entanto, o DDPMSG apresenta certas vantagens que estão longe de serem indiferentes em termos de eficiência, confiabilidade, simplicidade de controle, e, assim, representa a frente das técnicas de conversão de energia cinética mecânica em energia elétrica no campo dos aerogeradores 1.

Além do mais, atualmente estão sendo desenvolvidos aerogeradores 1 com potência maior do que 3 MW, com um gerador de velocidade variável conectado à rede elétrica pública de 50/60-Hz por meio de um conversor de frequência estático.

Hoje em dia, os aerogeradores 1 são geralmente equipados com geradores de 400-V ou 690-V, que utilizam conversores de duplo estágio, com circuitos c.c. intermediários, conhecidos pelo acrônimo DCBUS, que possuem uma tensão de saída geralmente de 650 Vcc ou 1100 Vcc, e são obtidos com o uso de transistores bipolares de porta isolada (IGBTs) e são projetados para transmitir altas tensões.

Recentemente, algumas empresas propuseram um sistema gerador-conversor de média tensão, com uma tensão concatenada de 3000 Vca e 5000 Vcc no DCBUS.

A elevação da tensão do gerador/conversor é necessária para que seja possível obter aerogeradores de tamanho maior. Com uma tensão de 690 V, de fato, são obtidos aerogeradores com potências de até 3 MW de maneira

conveniente, dadas as soluções existentes no momento; para potências mais elevadas, é necessário elevar a tensão elétrica de modo a melhorar a eficiência elétrica do sistema.

Atualmente, os aerogeradores são conectados à rede elétrica pública por meio de uma rede interna à usina geradora de média tensão (MV) (subentende-se por “média tensão (MV)” uma tensão na faixa de 20-kV a 36-kV) por meio de transformadores LV-MV (isto é, que convertem a tensão elétrica de baixa tensão, LV, isto é, menor do que 20 kV, em tensão média, MV), que são instalados dentro do próprio aerogerador, e que elevam a tensão até o nível de 20-kV a 36-kV da rede MV.

Os aerogeradores 1, normalmente localizados dentro de uma usina eólica que contém uma certa quantidade deles, são então conectados à rede de eletricidade nacional via:

1. distribuição de tensão média c.a. com transmissão de média tensão c.a. com uma série de cabos;

2. distribuição por meio de subestações MV/HV (isto é, subestações para conversão de média tensão MV para alta tensão HV) em plataformas em alto mar e transmissão da energia elétrica de alta tensão c.a. para a rede pública de distribuição; e

3. distribuição de média tensão com uma plataforma de transmissão com linhas de transmissão HVDC (corrente direta de alta tensão).

Em todos os três casos acima, a rede de distribuição interna da usina de energia é novamente do tipo de média tensão, e, geralmente, a tensão de 36 kV nunca é

ultrapassada dentro da usina de energia elétrica. No entanto, o nível da tensão das linhas de transmissão de corrente da usina eólica que são conectadas entre o aerogerador e as estações terrestres da rede pública é em função da distância percorrida pelas próprias linhas; no caso em que as distâncias são curtas, isto é, de até 20 km, recorre-se à técnica mencionada no tópico 1; para distâncias maiores que 20 km mas inferiores a 100 km, as técnicas citadas no tópico 2 são utilizadas, com uma tensão c.a. de 150 kV a 50 Hz, enquanto que acima de 80-100 km, utilizam-se as técnicas citadas no tópico 3.

Os sistemas eólicos atuais, no entanto, estão sujeitos a altos custos devido à quantidade de equipamentos presentes nos aerogeradores 1, e por consequência, possuem um peso considerável. Como resultado, a estrutura de suporte, e, em particular, o mastro, devem ser construídos com cuidado e possuem custo elevado.

Além do mais, os sistemas de corrente alternada dentro das usinas eólicas não permitem o desacoplamento da usina eólica da rede elétrica e, portanto, são bem intolerantes a quedas na tensão, entrando parcialmente em conflito com certas cláusulas da lei Européia, dentre elas a CEI 11-32. Os sistemas de usina eólica de corrente alternada não necessitam de inversores de tensão, e isso limita a capacidade de produção de energia reativa durante falhas na rede de modo a contribuir para a rápida recuperação da rede.

Além disso, sabe-se que as redes c.a. são afetadas pelo fenômeno conhecido como *efeito pelicular*, por meio do qual a corrente elétrica flui exclusivamente ou pela maior parte na parte externa dos condutores, um fato que envolve 5 cálculos complexos que devem levar em conta, de um lado, a resistência estrutural dos condutores elétricos (que, conseqüentemente, não podem ser totalmente ocos nem ter um diâmetro pequeno demais). Sabe-se, de fato, que na profundidade δ com respeito à superfície externa de um condutor elétrico, a 10 densidade de corrente elétrica que percorre um condutor no regime sinusoidal é $1/e$ (aproximadamente 0,37) vezes a corrente presente na superfície externa.

Para calcular seu valor, utiliza-se a seguinte equação:

$$15 \quad \delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}} \quad (1)$$

em que:

ρ é a resistividade de um condutor (geralmente expressa em $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$),

ω é a freqüência angular (expressa em radianos 20 por segundo) da corrente elétrica, e finalmente

μ é a permeabilidade magnética absoluta do material condutor (expresso em H/m ou, de forma equivalente, em N/A^2).

Dessa forma, fica evidente que quanto maior a frequência da rede, mais prejudicial é o fenômeno, visto é possível mostrar que a resistência encontrada pela corrente elétrica no regime sinusoidal é proporcional à raiz quadrada de sua frequência. Por conseqüência, um efeito pelicular acentuado
5 implica ter uma perda ôhmica considerável na rede.

Em tal contexto, a possibilidade de transmitir energia elétrica c.c. de média tensão pode mostrar-se vantajosa, permitindo uma redução nos elementos presentes dentro do aerogerador, e, por conseqüência, nos pesos e cargas suportados
10 pelos mastros de suporte. Não menos importante, o uso de corrente alternada dentro da usina eólica implica que, no caso de falha, por exemplo, de um enrolamento de fase de um gerador 3, todo o aerogerador 1 deve ser colocado fora de serviço pois, senão, a forma de onda da corrente elétrica gerada não estaria
15 mais em consonância com as necessidades da estação de energia.

Por fim, atualmente não existem sistemas de transmissão c.c. de média tensão (MV) para cobrir distâncias curtas, isto é, de até 15-20 km no máximo.

20 O objetivo da presente invenção é oferecer um sistema modular para conversão da energia elétrica produzida por aerogeradores que esteja livre das desvantagens descritas acima.

É proporcionado, de acordo com a presente invenção, um conversor modular para converter a energia elétrica
25 produzida por aerogeradores, conforme descrito na Reivindicação 1.

A invenção é descrita a seguir, com referência aos desenhos em anexo, os quais ilustram um exemplo não restritivo de sua concretização, e nos quais:

5 - A Figura 1 é uma vista de corte de um aerogerador de um tipo conhecido;

- A Figura 2 é uma vista em corte transversal de um motor elétrico do tipo síncrono;

10 - A Figura 3 representa um diagrama de blocos ilustrando uma possível configuração do conversor de acordo com a presente invenção;

- A Figura 4 é um diagrama de circuito elétrico de uma subparte do conversor de acordo com a presente invenção;

15 - As Figuras 5 e 6 representam algumas possíveis soluções da configuração do conversor de acordo com a presente invenção; e finalmente

- A Figura 7 é uma ilustração esquemática de um exemplo de usina eólica usando os conversores de acordo com a presente invenção.

20 Com referência à Figura 3, um conversor estático modular multinível (MMSC) é designado como um todo pelo número 30.

O MMSC 30 compreende:

25 - uma série N_m de módulos conversores estáticos (daqui em diante SCMs) 31, cada um dos quais é um conversor de energia estático tendo uma entrada c.^a 31.1 conectada ao gerador 3 e uma saída c.c. 31.2a, 31.2b;

- em série / paralelo combinados.

Cada SCM tem a entrada 31.1 em uma tensão c.a. de V_{mac} e uma saída c.c. com tensão média nominal V_{dcn} .

N_m é o número total de SCMs 31 pertencendo a um MMSC 30, e N_{ms} e N_{mp} são o número de conversores SCM 31 colocados em série e em paralelo, respectivamente, em relação um ao outro; o número N_m é dado por:

$$N_m = N_{ms} \cdot N_{mp} \quad (2)$$

Além do mais, claramente a tensão na saída de um MMSC é incrementada apenas pelo número de SCMs 31 colocados em série em relação uns aos outros. Portanto, indicando como V_{dcn} a tensão de saída de um MMSC 30, temos que:

$$V_{dcn} = N_{ms} \cdot V_{mdc} \quad (3)$$

Cada um dos SCMs 31 é configurado como um inversor em ponte trifásico (inversor de três pernas). Já a Figura 4 é um diagrama de blocos detalhado de um SCM 31.

Cada SCM 31 é constituído de vários IGBTs 41.1-41.6, cada um dos quais é equipado com um terminal coletor 43, um terminal emissor 44 e um terminal de porta 45. Acoplado a cada IGBT 41.1-41.6 está um diodo 42.1-42.6, tendo um anodo conectado ao terminal emissor 44 e um catodo conectado ao terminal coletor 43 do respectivo IGBT 41.1-41.6.

Em detalhes, a escolha de equipar cada MSC 31 com um IGBT é ditada pelo fato de que é universalmente conhecido na técnica que esses dispositivos são usados para

comutar cargas com correntes extremamente elevadas (até mesmo superiores a 1500 A) e com tensões elétricas elevadíssimas.

Na Figura 4, é representado um SCM 31 para geradores 3 do tipo trifásico, e conseqüentemente, o SCM 31 é
5 equipado com três pares de IGBTs 46.1-46.3, em que cada par de IGBTs tem o terminal emissor 44 de um dos dois transistores conectado à respectiva fase do gerador 3 e ao terminal coletor 43 do outro IGBT formando o par. Cada par de IGBTs tem dois terminais de saída, que formam os terminais de saída 31.2a e
10 31.2b do SCM 31, e os pares 46 são conectados um ao outro em paralelo.

Em detalhes, todos os IGBTs 41.4-41.6 que possuem o respectivo terminal coletor 43 conectado a uma das fases do gerador 3 possuem o respectivo terminal emissor 44
15 conectado à saída 31.2b do SCM 31; em vez disso, todos os IGBTs 41.1-41.6 que possuem o terminal emissor 44 conectado a uma fase do gerador 3 possuem o respectivo terminal coletor 43 conectado à saída 31.2a do SCM 31.

Finalmente, cada SCM 31 tem um controlador
20 digital do tipo escravo (SDC) 50, que é controlado pelo controlador DC 36, tornando possível, dessa forma, obter no gerador 3 o conjunto de correntes necessário para produzir o torque eletromagnético desejado e ainda manter as tensões de saída c.c. dos SCMs 31 equilibradas em relação uma à outra ao
25 agir sobre os terminais de porta 45 de cada IGBT individual 41.1-41.6. É ilustrado na Figura 5 um segundo exemplo do MMSC 30,

que utiliza nove SCMs 31 com a seguinte configuração: três SCMs 31 em paralelo, colocados em série com três SCMs 31 em paralelo, colocados em série com três SCMs adicionais 31 em paralelo. Para simplicidade de representação, as conexões na
5 entrada para cada SCM individual 31 foram omitidas.

Com essa configuração, com base no que foi dito anteriormente, a tensão de saída nominal c.c. média V_{cc} através dos terminais de saída 30a e 30b do MMSC 30 é $V_{dcn} = 3 \cdot V_{mdc}$.

10 Já na Figura 6, é ilustrada uma configuração adicional dos SCMs 31 dentro de um MMSC 30, em que, ainda assim a tensão de saída nominal c.c. média V_{cc} através dos terminais de saída 30a e 30b do MMSC 30 é novamente: $V_{dcn} = 3 \cdot V_{mdc}$.

15 A referida tensão é obtida conectando-se, em paralelo, três conjuntos de SCMs 31, em que cada conjunto é formado por três SCMs 31 colocados em série em relação uns aos outros.

Na Figura 7 aparece um diagrama de blocos
20 ilustrando, de forma simplificada, uma estação de energia elétrica eólica equipada com vários aerogeradores 1 conectados a um respectivo MMSC 30; Os MMSCs 30 são conectados uns aos outros e conectados eletricamente à rede MVDC em tensão média (MV), representada na Figura 7 pelas linhas 70, de modo a
25 alimentar uma energia igual à soma das energias individuais geradas pelos mesmos. Por exemplo, considerando cada

aerogerador 1 como tendo uma potência de 3 MW, e supondo uma conexão em série de dez aerogeradores 1 para cada linha, a potência resultante para cada linha 70 seria de 30 MW. A Figura 7 ilustra em detalhes uma usina eólica na qual está presente uma
5 série de linhas 70 em paralelo.

As linhas 70 da rede MVDC são conectadas a uma estação de conversão de energia elétrica c.c./c.a. 71, que também forma parte da estação de energia elétrica.

Em detalhes, a estação de conversão de energia
10 elétrica 71 é equipada com vários conversores de alta potência e alta tensão 72, que recebem, em suas entradas 72.i, as linhas 70 da rede MVDC de média tensão, e cada um dos quais possui uma respectiva saída c.a. de média tensão ou alta tensão 72.u.

Via os conversores de tensão 72, é possível obter
15 o gerenciamento controlado da energia reativa durante falhas de energia de modo a contribuir para a rápida recuperação da rede.

Os conversores de tensão 72 são conectados, em seus terminais de saída, a um transformador elevador de tensão 73, compreendendo pelo menos um enrolamento primário 73a e
20 um enrolamento secundário 73b.

O transformador elevador de tensão 73 eleva a tensão c.a. alimentada em seu enrolamento primário 73a de tal maneira a alimentar uma tensão no enrolamento secundário 73b que seja consideravelmente maior, por exemplo, de 380 kV.

25 As vantagens da presente invenção descrita até então são claras.

Em particular, o sistema descrito aqui reduz o peso dos aerogeradores tanto quanto possível para eliminar do corpo 4 do aerogerador 1 todos os conversores c.c./c.a., redução de peso esta que resulta em redução nas cargas estáticas e dinâmicas na turbina, com melhorias conseqüentes também em termos de custo dos elementos estruturais, tal como, por exemplo, o mastro de suporte 5. Além do mais, o sistema descrito até então melhora a capacidade de tolerância tanto às falhas internas quanto externas da rede elétrica na medida em que o gerenciamento de c.c. da rede da usina eólica desacopla a própria estação de energia da rede e melhora sua resposta às quedas de tensão.

Graças à aplicação do inversor c.c./c.a. à estação de conversão de energia elétrica 71, é possível obter um controle eficaz da energia reativa na rede (por exemplo, via bancos de capacitores de inserção controlada ou com técnicas conhecidas como técnicas de “controle em malha fechada”) de modo a melhorar e acelerar a resposta da usina eólica a falhas. Além disso, o uso de redes c.c. permite a variação da velocidade de rotação de cada turbina eólica individual, sem afetar a tensão da rede na medida em que a própria turbina está desacoplada da rede MVDC em si e é controlada pelo controlador digital DC.

Mediante o uso de redes de média tensão c.c., é então possível reduzir as perdas de efeito pelicular nos condutores das estações de energia elétrica, possibilitando assim uma redução no desperdício de cobre para os condutores de corrente metálicos, que podem, de fato, ter uma seção consideravelmente menor do

que no caso em que eles são atravessados por corrente elétrica alternada. Finalmente, há vantagens em consequência da arquitetura modular. De fato, os vários SCMs 31 podem ser facilmente configurados com conexões em série e em paralelo combinadas, ou também, em configurações totalmente em série ou totalmente em paralelo. Dessa forma, o conversor estático modular multinível permite assim a construção de estações de energia elétrica equipadas com aerogeradores de um tipo diferente, também possuindo diferentes tensões de saída, com vantagens consideráveis em termos de viabilidade de projeto de uma usina eólica e de ausência de restrições de uso de apenas um tipo específico de aerogerador para cada estação de energia.

Outra vantagem decorrente do uso de uma arquitetura modular é que, no caso de falha em um setor do gerador de energia elétrica 3 (por exemplo, interrupção do cabo em uma das fases) ou diretamente do SCM 31, não há a necessidade de que todo o aerogerador seja colocado em condições inoperantes, sendo possível utilizá-lo em qualquer caso, ainda que com desempenho deteriorado.

Uma série de variações pode ser realizada no sistema descrito no presente relatório: por exemplo, é possível usar controladores digitais configurados de maneira diferente, por exemplo, não em uma configuração mestre-escravo, e agindo também sobre a própria mecânica da turbina eólica, por exemplo, variando-se a incidência de suas pás.

REIVINDICAÇÕES

1. – Conversor modular 30 para converter a energia elétrica produzida por aerogeradores, projetado para ser utilizado dentro de uma usina eólica, que compreende:

5 - terminais de entrada 30a, projetados para serem conectados a um gerador de energia elétrica 3 do tipo monofásico ou multifásico;

- terminais de saída 30b; e

10 - meios de controle 36 para controlar a potência do referido gerador de energia elétrica 3;

o referido conversor modular sendo caracterizado por compreender uma multiplicidade de módulos 31 projetados para receber corrente elétrica alternada em suas entradas 31.1 e produzir corrente elétrica direta nas respectivas saídas 31.2a, 31.2b para ser distribuída dentro da referida usina eólica, e pelo fato de que os referidos meios de controle 36 recebem um sinal dos módulos 31 e atuam sobre o gerador de energia elétrica 3.

2. – Conversor modular 30 para converter a energia elétrica produzida por aerogeradores, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que cada módulo 31 tem meios capacitivos 33 conectados a suas saídas 31.2a, 31.2b.

3. – Conversor modular 30 para converter a energia elétrica produzida por aerogeradores, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os referidos módulos 31 podem ser configurados em qualquer combinação em

série ou em paralelo um com o outro, e pelo fato de que os referidos terminais de entrada 31.1 dos referidos módulos 31 são conectados eletricamente aos terminais de entrada do referido conversor 30.

5 4. – Conversor modular 30 para converter a energia elétrica produzida por aerogeradores, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os referidos módulos 31 possuem, dentro deles, uma multiplicidade de transistores bipolares de porta isolada 41.1-41.6, que possuem um terminal
10 de porta 45, um terminal coletor 43 e um terminal emissor 44.

 5. – Conversor modular 30 para converter a energia elétrica produzida por aerogeradores, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que, acoplado a cada um dos transistores bipolares 41.1-41.6, está um respectivo diodo
15 retificador 42.1-42.6 conectado entre o terminal coletor 43 e o terminal emissor 44 do respectivo transistor bipolar 41.1-41.6.

 6. – Conversor modular 30 para converter a energia elétrica produzida por aerogeradores, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que os transistores
20 bipolares 41.1-41.6 são dispostos em pares 36.1-46.3, cada par 46.1-46.3 tendo dois transistores bipolares, respectivamente, 41.1 e 41.2, 41.3 e 41.4, 41.5 e 41.6, sendo que o terminal coletor 43 de um dos dois transistores bipolares formando o referido par é conectado ao terminal emissor 44 do outro transistor bipolar
25 formando o referido par e a uma das fases do referido gerador de

energia elétrica 3 de modo que, para cada par 46, seja conectada uma fase diferente do referido gerador de energia elétrica 3.

7. – Conversor modular 30 para converter a energia elétrica produzida por aerogeradores, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que todos os transistores bipolares 41.1-41.6 contendo o respectivo terminal coletor 43 conectado a uma fase do referido gerador de energia elétrica 3 possuem o respectivo terminal emissor 44 conectado à saída 31.2b do referido módulo 31, e, respectivamente, todos os transistores bipolares 41.1-41.6 contendo o respectivo terminal emissor 44 conectado a uma fase do referido gerador de energia elétrica 3 possuem o respectivo terminal emissor 43 conectado à referida saída 31.2a do referido módulo 31.

8. – Conversor modular 30 para converter a energia elétrica produzida por aerogeradores, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que cada módulo 31 compreende um respectivo controlador secundário 50, projetado para interagir com o referido controlador 36 e manter equilibradas, em relação umas às outras, as tensões de saída c.c. dos módulos 31 ao agir sobre os terminais de porta 45 de cada transistor individual 41.1-41.6.

9. – Conversor modular 30 para converter a energia elétrica produzida por aerogeradores, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os referidos módulos 31 são projetados para receber, em suas respectivas

entradas 31.1, a energia elétrica c.a. proveniente de um gerador de energia elétrica do tipo síncrono.

10. – Usina eólica, compreendendo:

5 - uma multiplicidade de aerogeradores 1, que possuem uma turbina eólica 2, um suporte 5 e um corpo 4, dentro do qual um gerador de energia elétrica 3 é conectado à referida turbina eólica 2 através de um eixo mecânico 6;

- uma rede interna 70 para conduzir energia elétrica; e

10 - uma estação de conversão de energia elétrica 71, conectada a montante à referida rede interna 70;

a referida usina eólica sendo caracterizada pelo fato de que, na rede interna 70 c.c., é conduzida energia elétrica, pelo fato de que para cada aerogerador 1, está presente um
15 conversor modular 30 compreendendo meios de controle 36 e uma multiplicidade de módulos 31 projetados para receber uma corrente elétrica alternada em suas entradas 31.1 e para produzir, nas respectivas saídas 31.2a, 31.2b, corrente elétrica direta para ser distribuída dentro da referida usina eólica, e pelo fato de que
20 os referidos meios de controle 36 recebem um sinal dos referidos módulos 31 e atuam sobre o gerador de energia elétrica 3.

11. – Estação de energia elétrica, de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de que, a jusante da referida estação de conversão de energia elétrica 71, está conectado direta
25 e eletricamente um meio transformador 73, projetado para elevar a tensão elétrica que chega em suas entradas.

12. – Estação de energia elétrica, de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de que cada módulo 31 do referido conversor modular 30 tem meios capacitivos 33 conectados a suas saídas 31.2a, 31.2b.

5 13. – Estação de energia elétrica, de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de que os referidos módulos 31 podem ser configurados em qualquer combinação em série ou em paralelo um com os outros, e pelo fato de que os referidos terminais de entrada 31.1 dos referidos módulos 31 são conectados
10 eletricamente aos terminais de entrada do referido conversor 30.

14. – Estação de energia elétrica, de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de que os referidos módulos 31 possuem, dentro deles, uma multiplicidade de transistores bipolares de porta isolada 41.1-41.6, que possuem um terminal
15 de porta 45, um terminal coletor 43 e um terminal emissor 44.

15. – Estação de energia elétrica, de acordo com a reivindicação 14, caracterizada pelo fato de que, acoplado a cada um dos transistores bipolares 41.1-41.6, está um respectivo diodo retificador 42.1-42.6 conectado entre o terminal coletor 43
20 e o terminal emissor 44 do respectivo transistor bipolar 41.1-41.6.

16. – Estação de energia elétrica, de acordo com a reivindicação 14, caracterizada pelo fato de que os transistores bipolares 41.1-41.6 são dispostos em pares 36.1-46.3, cada par 46.1-46.3 tendo dois transistores bipolares, respectivamente, 41.1
25 e 41.2, 41.3 e 41.4, 41.5 e 41.6, em que o terminal coletor 43 de um dos dois transistores bipolares formando o referido par é

conectado ao terminal emissor 44 do outro transistor bipolar formando o referido par e a uma das fases do referido gerador de energia elétrica 3 de modo que, para cada par 46, seja conectada uma fase diferente do referido gerador de energia elétrica 3.

5 17. – Estação de energia elétrica, de acordo com a reivindicação 16, caracterizada pelo fato de que todos os transistores bipolares 41.1-41.6 contendo o respectivo terminal coletor 43 conectado a uma fase do referido gerador de energia elétrica 3 possuem o respectivo terminal emissor 44 conectado à
10 saída 31.2b do referido módulo 31, e, respectivamente, todos os transistores bipolares 41.1-41.6 contendo o respectivo terminal emissor 44 conectado a uma fase do referido gerador de energia elétrica 3 possuem o respectivo terminal emissor 43 conectado à referida saída 31.2a do referido módulo 31.

15 18. – Estação de energia elétrica, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que cada módulo 31 compreende um respectivo controlador secundário 50, projetado para interagir com o referido controlador 36 e manter equilibradas as tensões de saída c.c. dos módulos 31 em relação umas às outras
20 ao agir sobre os terminais de porta 45 de cada transistor individual 41.1-41.6.

 19. – Estação de energia elétrica, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o referido gerador de energia elétrica 3 é um gerador de energia elétrica
25 síncrono, do tipo trifásico ou com um número maior de fases.

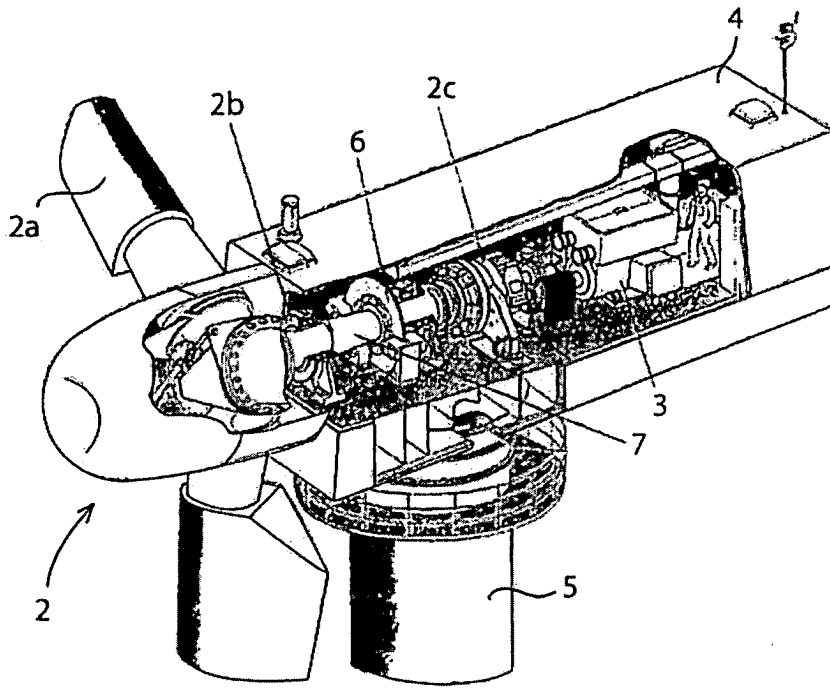


Fig.1

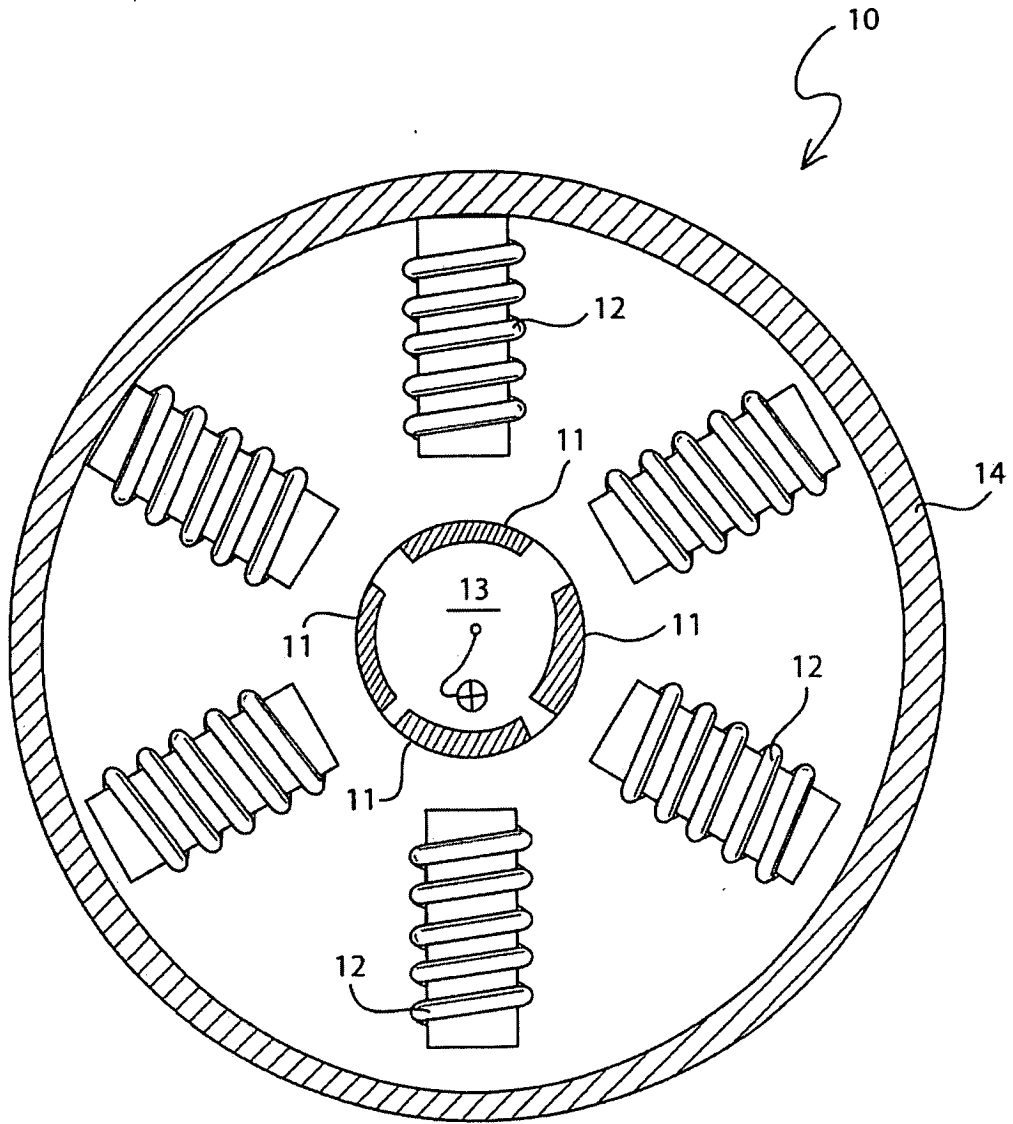


Fig.2

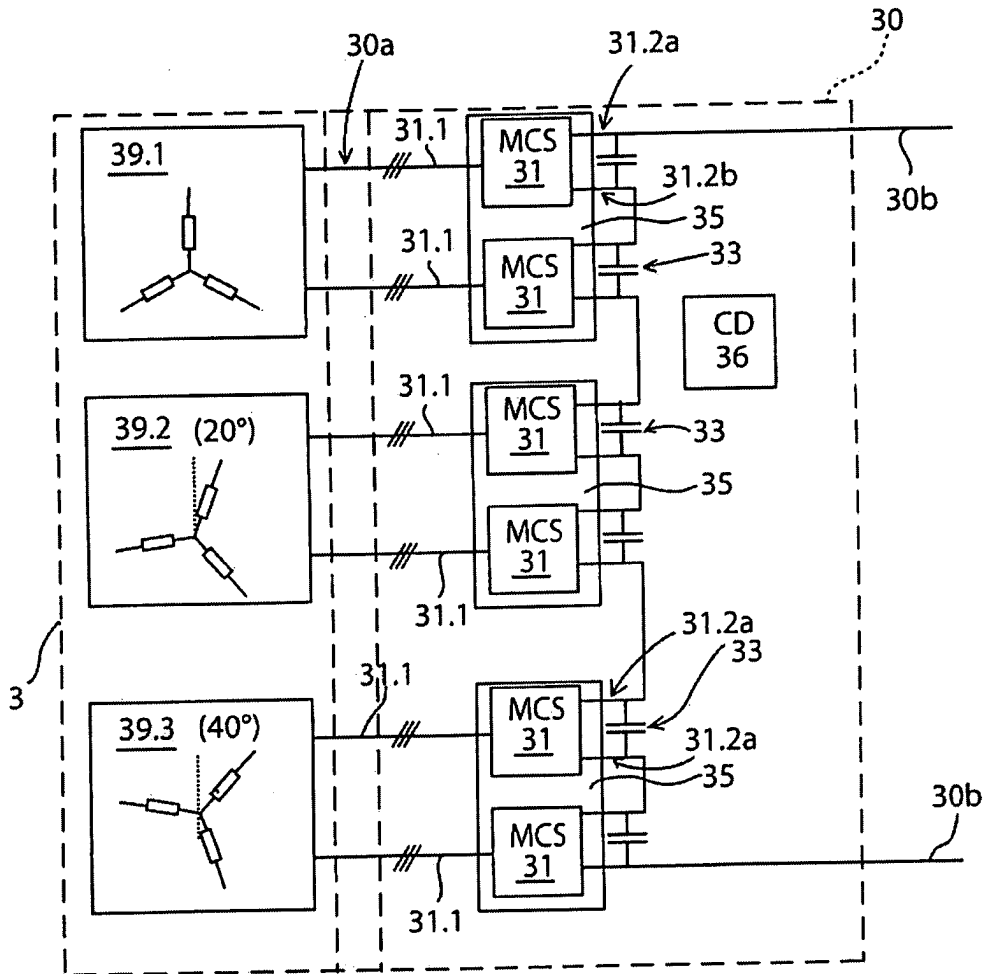


Fig.3

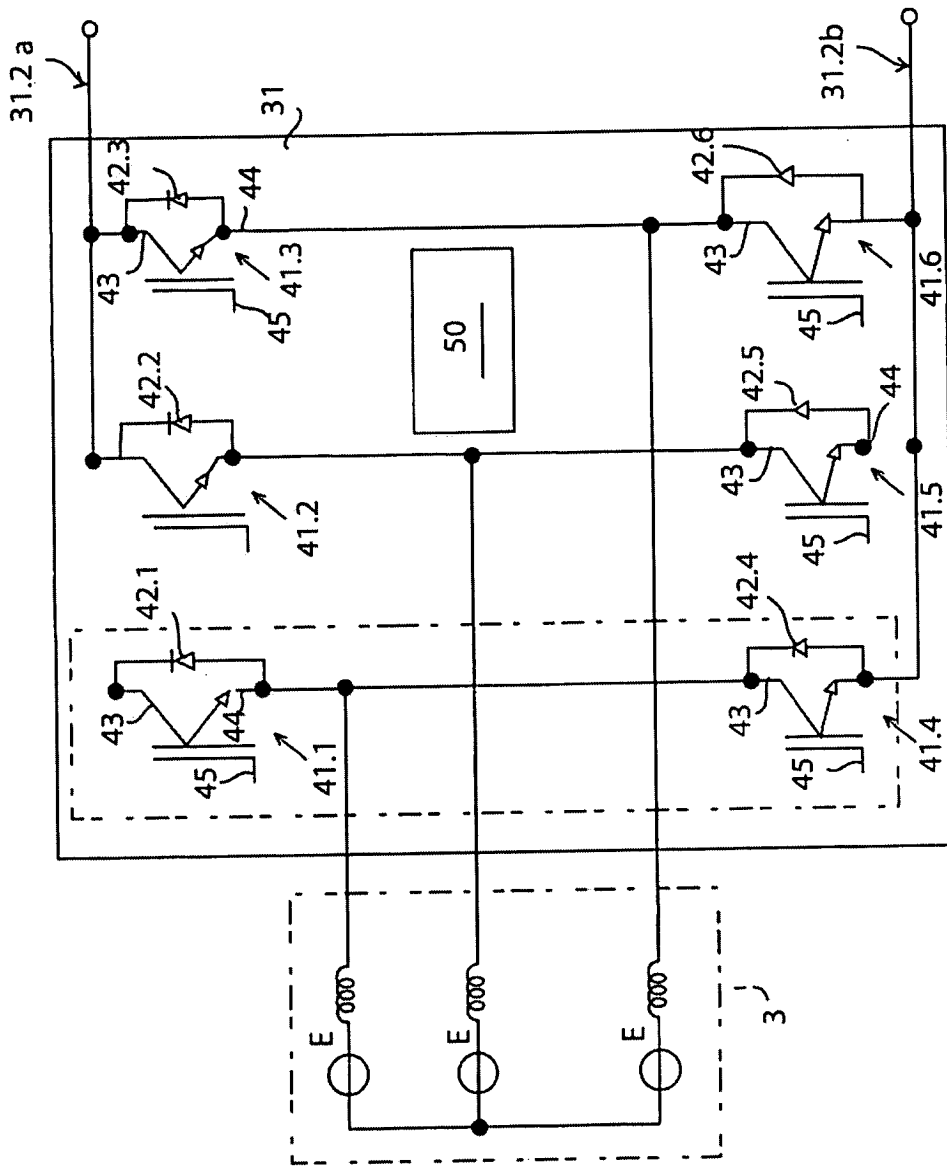


Fig.4

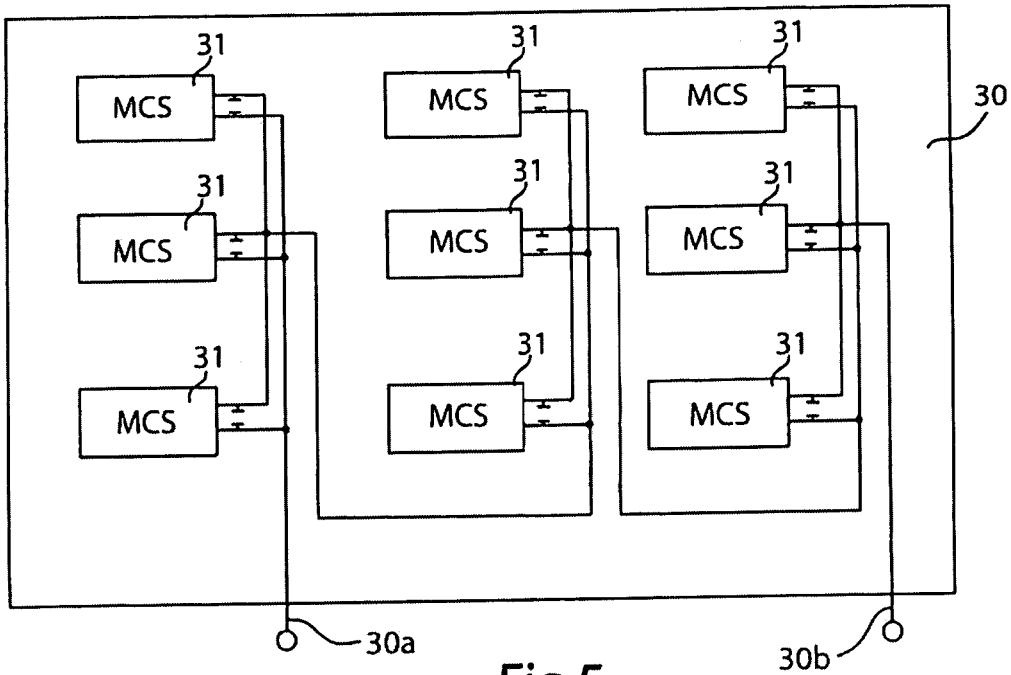


Fig.5

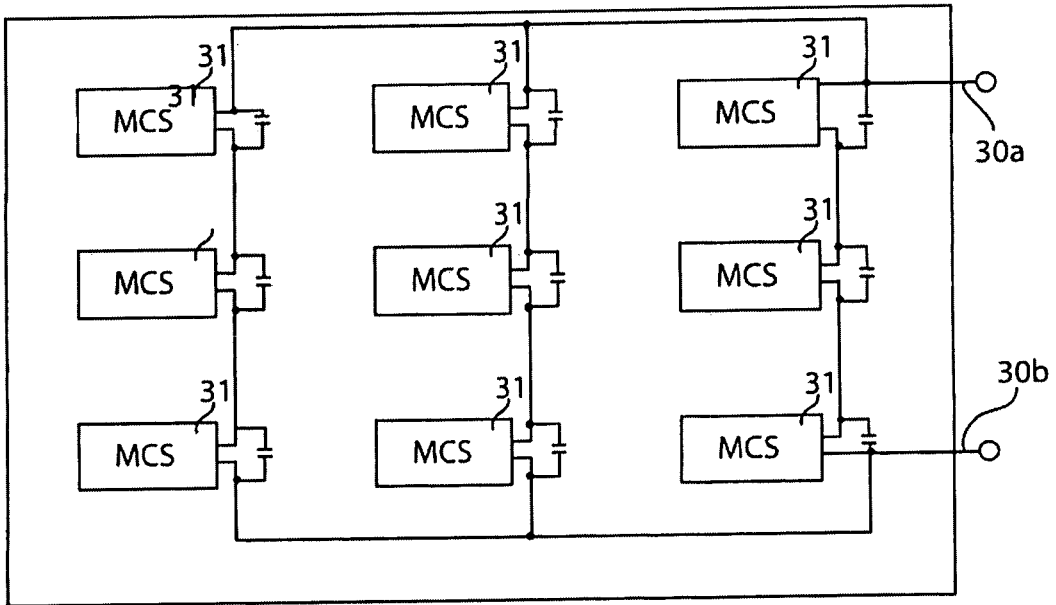


Fig.6

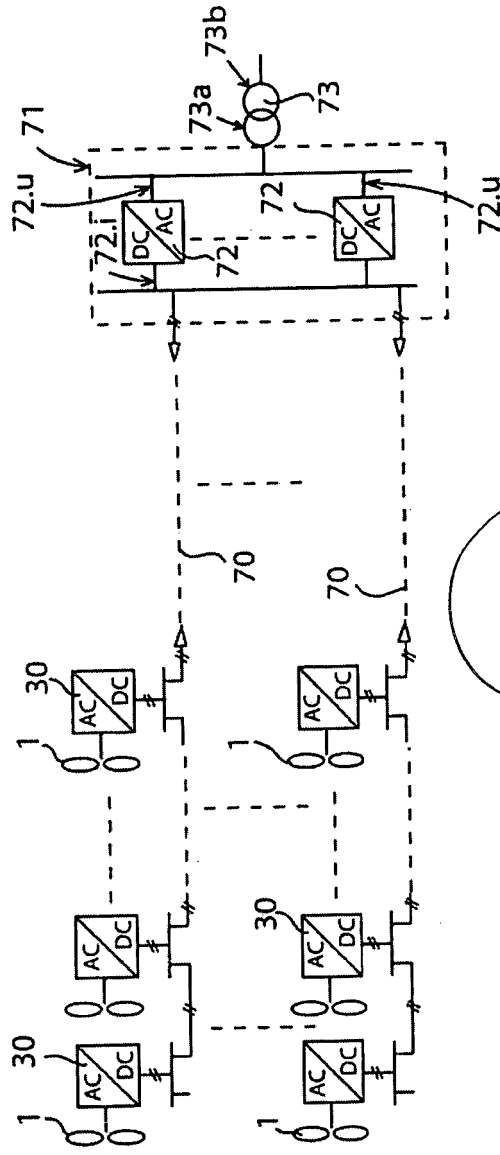


Fig. 7

RESUMO

Patente de Invenção para “**CONVERSOR MODULAR PARA CONVERTER A ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA POR AEROGERADORES, E USINA EÓLICA QUE UTILIZA O REFERIDO CONVERSOR**”.

Trata-se de um conversor modular 30 para converter a energia elétrica produzida por aerogeradores, projetado para ser utilizado dentro de uma usina eólica, que é equipado com: terminais de entrada 30a projetados para serem conectados a um gerador de energia elétrica 3 do tipo monofásico ou multifásico; terminais de saída 30b; e dispositivos de controle 36 para controlar a potência do referido gerador de energia elétrica 3. O conversor modular possui multiplicidade de módulos 31 projetados para receber corrente alternada em suas entradas 31.1 e produzir corrente elétrica direta nas respectivas saídas 31.2a, 31.2b para ser distribuída dentro da referida usina eólica, e, além disso, os meios de controle 36 recebem um sinal dos módulos 31 e atuam sobre o gerador de energia elétrica 3.