(11) Número de Publicação: **PT 2057729 E**

(51) Classificação Internacional:
H02J 3/18 (2013.01) ***H02J 3/42*** (2013.01)
H02P 9/46 (2013.01) ***H02P 9/00*** (2013.01)

(12) **FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: **2006.08.30**

(30) Prioridade(s):

(43) Data de publicação do pedido: **2009.05.13**

(45) Data e BPI da concessão: **2014.01.01**
065/2014

(73) Titular(es):
ABB RESEARCH LTD
AFFOLTERNSTRASSE 52 8050 ZURICH CH

(72) Inventor(es):
LARS GERTMAR SE
ERIK K. NIELSEN DK
HANS C. CHRISTENSEN DK
LEIF ERIK WRAAE DK
JOUKO NIIRANEN FI

(74) Mandatário:
NUNO MIGUEL OLIVEIRA LOURENÇO
RUA CASTILHO, Nº 50 - 9º 1269-163 LISBOA PT

(54) Epígrafe: **ARRANJO E MÉTODO CONVERSOR DE POTÊNCIA**

(57) Resumo:
UM ARRANJO CONVERSOR DE POTÊNCIA PARA LIGAR UM GERADOR DE INDUÇÃO (23) A UMA REDE DE POTÊNCIA ELÉTRICA (29) COMPREENDE UM PRIMEIRO CAMINHO PROPORCIONADO PARA TRANSFERIR POTÊNCIA ELÉTRICA A PARTIR DO GERADOR DE INDUÇÃO PARA A REDE ELÉTRICA DE POTÊNCIA DURANTE UMA PRIMEIRA CONDIÇÃO DE FUNCIONAMENTO, E UM SEGUNDO CAMINHO PROPORCIONADO PARA TRANSFERIR POTÊNCIA ELÉTRICA DO GERADOR DE INDUÇÃO PARA A REDE ELÉTRICA DE POTÊNCIA DURANTE UMA SEGUNDA CONDIÇÃO DE FUNCIONAMENTO, EM QUE O PRIMEIRO CAMINHO COMPREENDE UM CONVERSOR AC-AC (25) E O SEGUNDO CAMINHO COMPREENDE UM INTERRUPTOR (27). UM ARRANJO DE CONDENSADORES (35) ESTÁ INTERLIGADO ENTRE O GERADOR DE INDUÇÃO E O PRIMEIRO E SEGUNDO CAMINHOS E UM PRIMEIRO DISPOSITIVO REATOR AC (37) ESTÁ INTERLIGADO ENTRE O ARRANJO DE CONDENSADORES E O PRIMEIRO E SEGUNDO CAMINHOS, EM QUE O GRUPO DE CONDENSADORES É PROPORCIONADO PARA COMPENSAR UMA CORRENTE DE MAGNETIZAÇÃO DO GERADOR DE INDUÇÃO.

RESUMO

"ARRANJO E MÉTODO CONVERSOR DE POTÊNCIA"

Um arranjo conversor de potência para ligar um gerador de indução (23) a uma rede de potência elétrica (29) compreende um primeiro caminho proporcionado para transferir potência elétrica a partir do gerador de indução para a rede elétrica de potência durante uma primeira condição de funcionamento, e um segundo caminho proporcionado para transferir potência elétrica do gerador de indução para a rede elétrica de potência durante uma segunda condição de funcionamento, em que o primeiro caminho compreende um conversor AC-AC (25) e o segundo caminho compreende um interruptor (27). Um arranjo de condensadores (35) está interligado entre o gerador de indução e o primeiro e segundo caminhos e um primeiro dispositivo reator AC (37) está interligado entre o arranjo de condensadores e o primeiro e segundo caminhos, em que o grupo de condensadores é proporcionado para compensar uma corrente de magnetização do gerador de indução.

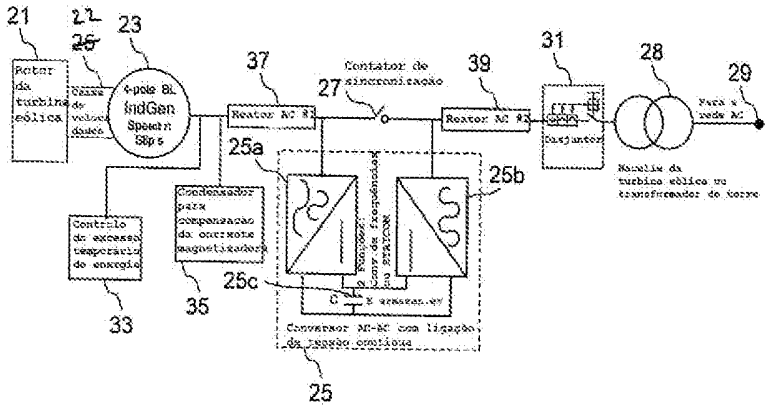

Fig. 2

DESCRIÇÃO

"ARRANJO E MÉTODO CONVERSOR DE POTÊNCIA"

CAMPO TÉCNICO DA INVENÇÃO

A presente invenção relaciona-se geralmente com instalações de potência elétrica, e mais especificamente a invenção relaciona-se com um arranjo conversor de potência e um método para transferir potência elétrica.

DESCRIÇÃO DA TÉCNICA RELACIONADA E ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

A exploração de recursos eólicos tem vindo a crescer rapidamente ao longo dos últimos anos. No entanto, o uso de energia eólica fornece não só energia, mas também um impacto negativo na rede de potência, à qual está ligada. Alterações não apenas no vento mas também as próprias turbinas dão origem a pulsações de potência.

Uma solução é utilizar um funcionamento de velocidade variável das turbinas através da utilização de conversores de transístores. A qualidade de potência pode ser melhorada, mas a velocidades de vento superiores o sistema de velocidade variável tem uma eficiência inferior comparativamente a um sistema de velocidade fixa.

Para ultrapassar tal limitação os conversores podem ser utilizados apenas a níveis de potência inferiores onde existe um ganho de energia e utilizando geradores de indução ligados diretamente a velocidades de vento superiores tal como divulgado em *Power Quality Impact of a Sea Located Hybrid Wind Park*, T. Thiringer, T. Petru, e C.

Liljegren, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 16, N°. 2, junho de 2001, p. 123.

Na fig. 1 é apresentado um arranjo de conversão de potência deste tipo para uma turbina eólica durante o funcionamento a velocidades de vento inferiores e superiores. O arranjo inclui dois conversores de potência 11a, 11b proporcionados para atingir o funcionamento de velocidade variável a velocidades de vento inferiores. Nas velocidades de vento superiores o funcionamento a velocidade constante é realizado pela ligação do gerador de indução 13 diretamente à rede de potência 15. Neste modo o conversor de potência do lado da grelha de potência funciona como uma fonte de potência reativa com o objetivo de fornecer uma quantidade pretendida de potência reativa e para reduzir as variações de tensão na rede de potência causadas pelas variações de potência ativa provenientes da turbina eólica.

Um arranjo conversor de potência semelhante é divulgado no documento US 7,012,409 B2 (SEMIKRON). Um método de disparo para compensação de potência em caso de um curto-circuito é também divulgado.

A utilização de um arranjo de condensadores ligados em triângulo entre um gerador de indução e um conversor PWM para reduzir a taxa do conversor PWM é divulgada no documento *Advanced control of PWM converter with variable-speed induction generator*, T. Ahmed, K. Nishida e M. Nakaoka, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 42, N°. 4, julho/agosto de 2006.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Para taxas de turbina superiores a 3 MW, a magnetização do espaço de ar em geradores de indução sem escovas vai resultar numa corrente de magnetização que é comparável à corrente que produz o binário. Nessas condições, o decréscimo de taxa disponível para o arranjo conversor de potência está limitado a cerca de 30%.

Para taxas de turbina maiores que 1 MW, é essencial ultrapassar a rigidez de binário-velocidade inerente nos geradores de indução com rotores de alta eficiência. Uma solução imediata para este problema é aumentar a resistência do rotor internamente no gerador de indução. Esta é, no entanto, limitada a pouco mais de 2 MW devido a capacidades de arrefecimento limitadas.

Assim, um objeto geral da presente invenção é assim proporcionar um arranjo conversor de potência e um método para transferir potência elétrica, respetivamente, pelos quais os problemas e limitações acima referidos são pelo menos aliviados.

A este respeito há um objecto particular da invenção para proporcionar um arranjo e um método que sejam flexíveis, fiáveis e com custos aceitáveis.

Estes objetos, entre outros, são atingidos de acordo com a presente invenção por arranjos e métodos tal como especificado nas reivindicações de patente anexas.

De acordo com um primeiro aspeto da invenção é proposto um conversor de potência, que compreende dois caminhos paralelos proporcionados para transferir potência elétrica de um gerador de indução para uma rede de potência elétrica

durante diferentes condições de funcionamento, em que um primeiro dos caminhos compreende um conversor AC-AC e o segundo dos caminhos compreende um interruptor. Um arranjo de condensadores é interligado entre o gerador de indução e e o primeiro e segundo caminhos e um primeiro dispositivo reator AC é interligado entre o arranjo de condensadores e o primeiro e segundo caminhos, em que o arranjo de condensadores é proporcionado para compensar uma corrente de magnetização do gerador de indução.

Desta forma, o conversor AC-AC pode ter uma taxa de potência inferior a 30 % da taxa de potência da turbina e do gerador de indução, mesmo para taxas de turbina e gerador de indução superiores a cerca de 3 MW.

De preferência, um segundo dispositivo reator AC é interligado entre o primeiro e segundo caminhos e a rede de potência elétrica.

Desta forma, atinge-se um sistema de custo eficiente, que estabiliza ou destabiliza o gerador de indução para resolver o problema da rigidez binário-velocidade inerente a taxas superiores a 1 MW.

De acordo com um segundo aspeto da invenção um método é proporcionado para transferir potência elétrica de um gerador de indução para uma rede de potência elétrica através do arranjo acima descrito. O método compreende a etapa de compensação da corrente de magnetização do gerador de indução pelo arranjo de condensadores.

Outras características da invenção e vantagens dessa tornar-se-ão evidentes com a seguinte descrição detalhada das formas de realização e variantes da presente invenção apresentadas em seguida e da fig. 2 que acompanha, que é

fornecida por meio de ilustração e assim, não é limitativa da presente invenção.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A fig. 1 ilustra esquematicamente um arranjo conversor de potência de acordo com o estado da técnica.

A fig. 2 ilustra esquematicamente, em diagrama de linha única e de bloco, um arranjo conversor de potência trifásico de acordo com uma forma de realização da presente invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA DAS FORMAS DE REALIZAÇÃO

O arranjo conversor de potência tal como apresentado na fig. 2 liga um gerador de indução sem escovas trifásico 23 a uma rede ou grelha de potência elétrica trifásica 29. O gerador é alimentado por um rotor de turbina eólica 21 através de uma caixa de velocidades 22. O arranjo conversor de potência compreende dois caminhos paralelos: um primeiro caminho que inclui um conversor AC-AC 25 e um segundo caminho que inclui um interruptor 27.

O conversor AC-AC 25 compreende preferencialmente um conversor AC-DC 25a e um conversor DC-AC 25b interligados por um condensador 25c tal como divulgado no artigo acima citado *Power Quality Impact of a Sea Located Hybrid Wind Park*, T. Thiringer, T. Petru e C Liljegren, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 16, N°. 2, junho de 2001, p. 123, e em US 7,012,409 B2 (SEMIKRON). Alternativamente, o conversor AC-AC 25 pode ser realizado sem uma ligação de tensão DC. É possível utilizar qualquer conversor AC-AC que seja capaz de conversão de frequências

a partir de uma frequência baixa até à frequência da grelha de potência para sincronização, e capaz de produzir potência reativa. Um exemplo de conversor AC-AC sem ligação de tensão DC é o chamado conversor matricial. O conversor AC-AC é preferencialmente classificado para baixa tensão, e.g. 400-1000 V AC.

Durante o funcionamento a velocidades de vento inferiores, o interruptor 27 está aberto e o conversor AC-AC 25 é proporcionado para atingir o funcionamento de velocidade variável. A potência reativa é desta forma fornecida tanto em direção ao gerador de indução 23 e em direção à rede de potência.

Adicionalmente, uma *nacelle* de turbina eólica ou transformador de torre 28 e um disjuntor 31 podem ser interligados entre os caminhos paralelos e a grelha ou rede de potência elétrica 29. O transformador é proporcionado para transformar a saída de potência baixa ou baixa-para-média-tensão do gerador de indução, por exemplo 690 V, para potência de alta tensão tal como por exemplo 10 kV.

Um sistema de controlo (sem ilustração especifica), preferencialmente um controlador computorizado, é proporcionado para o controlo da turbina e do arranjo conversor de potência.

Durante o funcionamento a velocidades de vento superiores, o interruptor 27 está fechado e a velocidade de funcionamento constante (ou semi-variável) é mantida. O conversor AC-AC 25 funciona aqui como um elemento de derivação, para ainda fornecer potência reativa quer em direção ao gerador de indução e em direção à rede de potência.

Quando a frequência da rede de potência é atingida a partir do extremo de baixa velocidade/potência, o gerador de indução 23 é sincronizado com a rede de potência 29 e o interruptor 27 é fechado. Quando o modo de baixa potência é atingido a partir do extremo de alta potência/velocidade, o gerador de indução 23 é dessincronizado da rede de potência 29 e o dispositivo/função interruptor é aberto.

O arranjo conversor de potência compreende ainda, de acordo com a presente invenção, um arranjo de condensadores 35 interligado entre o gerador de indução 23 e os caminhos paralelos. Convenientemente, o arranjo de condensadores compreende condensadores ligados numa configuração em Y ou Δ.

Por meio da ligação dos condensadores aos terminais do gerador de indução 23 a corrente de magnetização do gerador de indução 23 pode ser compensada, e enquanto uma consequência disso, o conversor AC-AC 25 pode ter uma taxa de potência inferior a 30% da taxa de potência da turbina e do gerador de indução 23 mesmo quando taxa de potência da turbina e do gerador de indução 23 é superior a aproximadamente 3 MW. É provável que seja possível atingir uma taxa de potência tão baixa quanto 15% das taxas de potência da turbina e do gerador de indução.

Um primeiro dispositivo reator AC 37 é interligado entre o arranjo de condensadores 35 nos terminais do gerador de indução 23 e os caminhos paralelos que incluem o conversor AC-AC 25 e o interruptor 27, respetivamente. O primeiro dispositivo reator AC 37 funciona como um filtro de adaptação tal que a ligação direta do arranjo de condensadores a um retificador ativo, tal como o conversor AC-DC 25a ou o conversor DC-AC 25b, possa ser evitada.

Adicionalmente, um segundo dispositivo reator AC 39 é interligado entre os caminhos paralelos e a rede de potência elétrica. O primeiro e segundo dispositivos reatores AC 37, 39 podem em conjunto com o conversor AC-AC 25, assemelhar-se a uma linha de potência muito longa com um dispositivo de compensação VAr situado a meio da linha de potência para compensação de potência reativa. Desta forma, uma forma eficiente em termos de custos de estabilizar ou desestabilizar o gerador de indução 23 para resolver o problema da rigidez binário-velocidade inerente a taxas de turbina e gerador de indução superiores acima de cerca de 1 MW é atingida.

Dispositivos de compensação VAr estáticos poderão ser acrescentados em locais adequados na grelha coletora de forma a coordenar a compensação de potência reativa nas *nacelles* das turbinas como também na grelha coletora. Por exemplo, um condensador de filtro fixo FC pode ser proporcionado para assegurar os requisitos de potência reativa.

O conversor de frequência AC-AC pode assim ser utilizado como um filtro ativo, como um eliminador de flutuações e/ou como um alisador através de pequenas variações em torno de um ponto de regime estacionário desejado. Pode ainda controlar a tensão de condensador num condensador de filtro fixo para que traga essa tensão de condensador quase instantaneamente ao seu valor pré-avaria.

Durante ocorrências de transitório como avarias de grelha, o arranjo conversor de potência da invenção pode ainda ser disposto para qualquer uma das seguintes tal como divulgado no pedido de patente provisório US N° 60/712,125 (GERTMAR ET AL.), publicado após a data de registo como US 2010 292 852.

Em condições de potência elevada e velocidades constantes ou semi-variáveis, realiza-se rápida dessincronização e um controlo resistivo temporário de potência excedente 33 é ativado (i.e. o arranjo conversor de potência é utilizado de forma a fornecer potência reativa para o gerador de indução, que é temporariamente carregado pelo controlo resistivo temporário de potência excedente) ou um reforço de transitório é rapidamente ativado. O reforço de transitório também está detalhado em WO 2005/062438 (ABB RESEARCH).

Em potência baixa e velocidades baixas variáveis, a velocidade variável é mantida e num certo ponto o controlo resistivo temporário de potência excedente 33 é ativado ou então o reforço de transitório é rapidamente ativado e o controlo resistivo temporário de potência excedente 33 é ativado numa fase posterior.

Enquanto a avaria é resolvida o controlador de inclinação longitudinal da turbina eólica traz a velocidade do rotor para valores de regime estacionário normais, e o controlo resistivo temporário de potência excedente é desengatado quando os valores de regime estacionário normais são atingidos.

O arranjo conversor de potência da presente invenção poderá adicionalmente, ou alternativamente, compreender o mecanismo de ativação da compensação da potência reativa no caso de um curto-circuito de rede tal como divulgado em US 7,012,409 B2 (SEMIKRON).

Lisboa, 24 de Março de 2014

REIVINDICAÇÕES

1. Um arranjo conversor de potência para ligar um gerador de indução (23) a uma rede de potência elétrica (29), o arranjo de conversão de potência compreendendo:

- um primeiro caminho proporcionado para transferir potência elétrica do referido gerador de indução para a referida rede de potência elétrica durante uma primeira condição de funcionamento, compreendendo o primeiro caminho um conversor AC-AC (25); e

- um segundo caminho proporcionado para transferir potência elétrica do referido gerador de indução para a referida rede de potência elétrica durante uma segunda condição de funcionamento, compreendendo o segundo caminho um interruptor (27), **caracterizado por**

- um arranjo de condensadores (35) interligado entre o referido gerador de indução e os referidos primeiro e segundo caminhos, tendo o arranjo de condensadores sido proporcionado para compensar uma corrente de magnetização do gerador de indução;

- um primeiro dispositivo reator AC (37) interligado entre o referido arranjo de condensadores e os referidos primeiro e segundo caminhos; e

- uma unidade de controlo resistivo temporário de potência excedente (33).

2. O arranjo da reivindicação 1 em que um segundo dispositivo reator AC (39) é interligado entre os referidos primeiro e segundo caminhos e a referida rede de potência elétrica.

3. O arranjo da reivindicação 1 ou 2 em que o referido conversor AC-AC tem uma taxa de potência inferior a 30% da taxa de potência do referido gerador de indução.

4. O arranjo de qualquer uma das reivindicações 1-3 em que a taxa de potência do gerador de indução é no mínimo de cerca de 1 MW.

5. O arranjo de qualquer uma das reivindicações 1-3 em que a taxa de potência do gerador de indução é no mínimo de cerca de 3 MW.

6. O arranjo de qualquer uma das reivindicações 1-5 em que o referido arranjo é proporcionado para compensação de potência reativa durante ambas a primeira e segunda condições de funcionamento.

7. O arranjo de qualquer uma das reivindicações 1-6 compreendendo um dispositivo condensador de filtro fixo para potência reativa, em que o referido conversor AC-AC controla uma tensão de condensador do referido dispositivo condensador de filtro fixo.

8. O arranjo de qualquer uma das reivindicações 1-7 em que um arranjo de compensação de potência reativa é proporcionado para compensação de potência reativa no caso de queda de tensão na rede de potência elétrica.

9. Um método para transferir potência elétrica de um gerador de indução (23) para uma rede de potência

elétrica (29), compreendendo esse método as seguintes etapas:

- transferir potência elétrica do referido gerador de indução para a referida rede de potência elétrica através de um primeiro caminho durante uma primeira condição de funcionamento, o primeiro caminho compreendendo um conversor AC-AC (25); e

- transferir potência elétrica do referido gerador de indução para a referida rede de potência elétrica através de um segundo caminho durante uma segunda condição de funcionamento, o segundo caminho compreendendo um interruptor (27), em que o referido método é **caracterizado por** as etapas:

- compensar uma corrente de magnetização do gerador de indução por um arranjo interligado entre o referido gerador de indução e os referidos primeiro e segundo caminhos, o arranjo compreendendo um arranjo de condensadores (35) ligado ao gerador de indução e um primeiro dispositivo reator AC (37) ligado aos referidos primeiro e segundo caminhos; e

- absorver potência numa unidade de controlo resistivo temporário de potência excedente (33) quando uma ocorrência de transitório é detetada.

Lisboa, 24 de Março de 2014

Estado da técnica

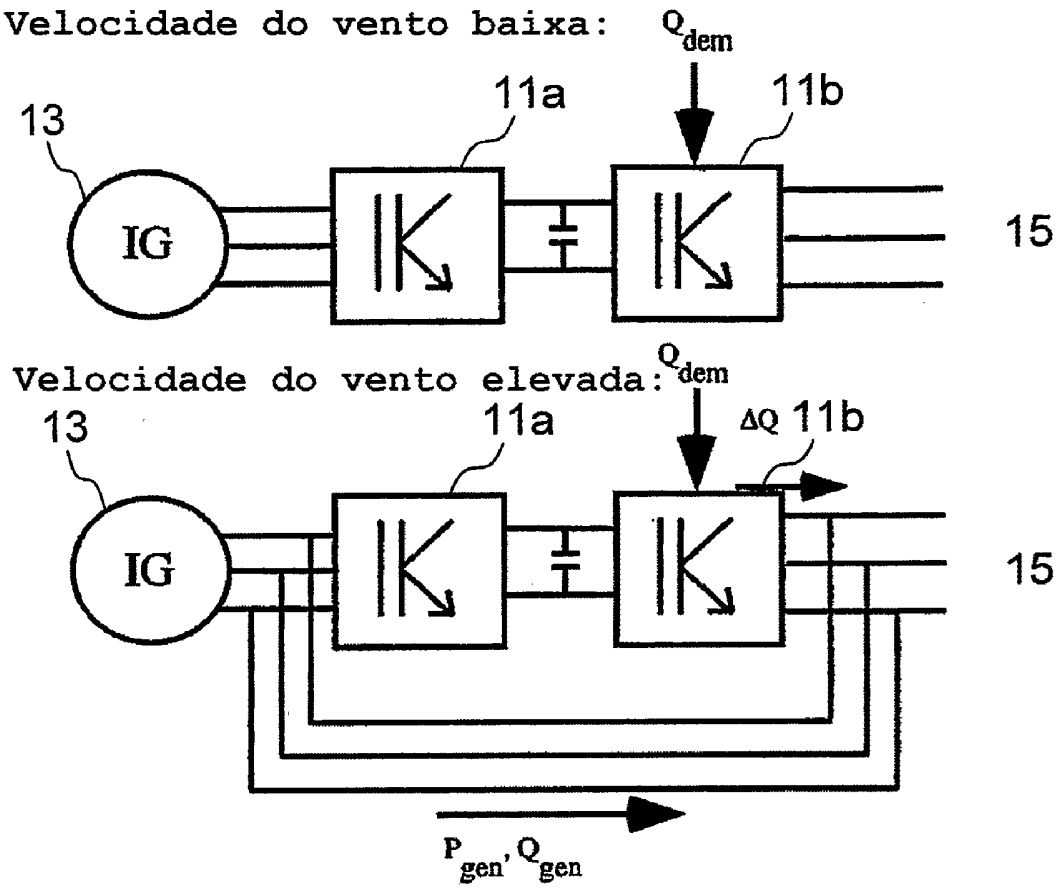

Fig. 1

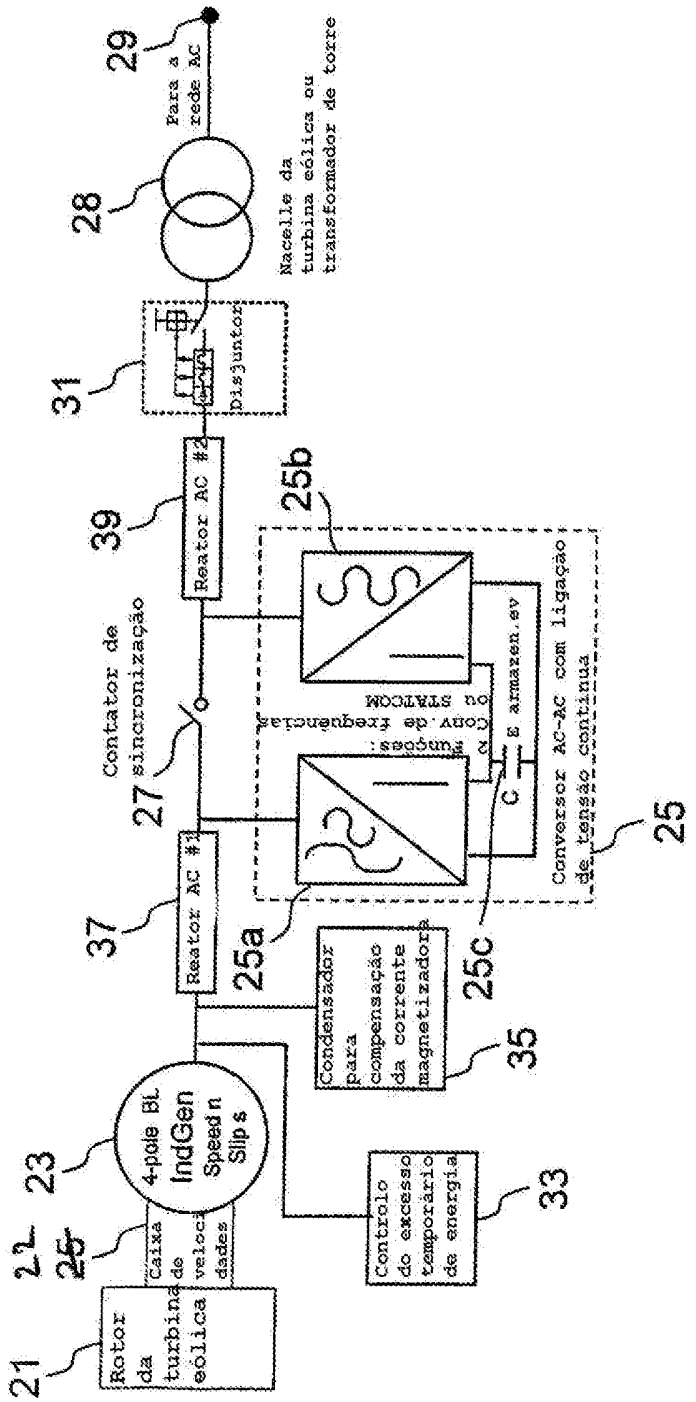
29
Para a rede AC
28
Nacelle da turbina eólica ou transformador de torre
31
Disjuntor
39
Reator AC #2
25b
Contator de sincronização
27
Funções:
Conv. de frequência ou STATCOM
C
E armazen.ev
Conversor AC-AC com ligação de tensão contínua
25
37
Reator AC #1
25a
25c
Condensador para compensação da corrente magnetizadora
35
23
4-pole BL IndGen
Speed n
Slip s
Caixa de velocidades
21
Rotor da turbina eólica
Controlo do excesso temporário de energia
33

Fig. 2