



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) PI 0912759-3 A2



(22) Data do Depósito: 12/05/2009

(43) Data da Publicação Nacional: 19/11/2009

(54) Título: MÉTODO PARA REDUZIR OSCILAÇÕES DE TORÇÃO NO TREM DE FORÇA DE UMA TURBINA EÓLICA.

(51) Int. Cl.: F03D 11/02; F03D 7/02.

(30) Prioridade Unionista: 14/05/2008 EP 08156209.2.

(71) Depositante(es): ECOTECNIA ENERGIAS RENOVABLES, S.L..

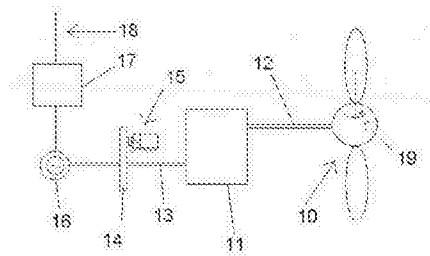
(72) Inventor(es): DANIEL CASTELL MARTÍNEZ; CARLOS CASANOVAS BERMEJO.

(86) Pedido PCT: PCT EP2009055736 de 12/05/2009

(87) Publicação PCT: WO 2009/138409 de 19/11/2009

(85) Data da Fase Nacional: 16/11/2010

(57) Resumo: "MÉTODO PARA REDUZIR OSCILAÇÕES DE TORÇÃO NO TREM DE FORÇA DE UMA TURBINA EÓLICA". A presente invenção refere-se a um método para reduzir oscilações de torção no trem de força de uma turbina eólica no caso de perda de rede. De acordo com o método, após a perda de rede, um torque de frenagem é aplicado ao trem de força durante um período de tempo e o dito período de tempo é determinado como uma função da frequência de ressonância de torção do trem de força.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "MÉTODO PARA REDUZIR OSCILAÇÕES DE TORÇÃO NO TREM DE FORÇA DE UMA TURBINA EÓLICA".

A presente invenção refere-se a um método de controle de uma turbina eólica. Mais precisamente, ele refere-se a um método de controle de uma turbina eólica no caso de perda de rede.

As modernas turbinas eólicas são comumente usadas para fornecer eletricidade à rede elétrica. As turbinas eólicas deste tipo geralmente compreendem um rotor com uma pluralidade de lâminas. O rotor com as pás é posto em rotação sob a influência do vento sobre as lâminas. A rotação do eixo do rotor diretamente impulsiona o rotor do gerador ("diretamente dirigido") ou através da utilização de uma caixa de velocidades.

Durante a operação normal, a velocidade de rotação da turbina eólica é controlada pelo torque magnético agindo sobre o gerador e o torque aerodinâmico agindo sobre o rotor. Além disso, os sistemas de frenagem são geralmente previstos.

Várias maneiras de controlar o torque aerodinâmico que age sobre o rotor de turbinas eólicas são conhecidas. Nas turbinas eólicas "reguladas por inclinação", as pás do rotor podem ser giradas em torno de seu eixo longitudinal para controlar o ângulo de ataque do vento sobre as lâminas. Nas turbinas eólicas reguladas por "perda passiva", a perda ocorre automaticamente nas pás quando a velocidade do vento aumenta acima de uma velocidade do vento predeterminada. O torque aerodinâmico é limitado.

Os sistemas de frenagem geralmente agem mecanicamente sobre o eixo de baixa velocidade ou sobre o eixo de alta velocidade. Também os sistemas de frenagem que atuam eletricamente sobre o gerador são conhecidos. Nas turbinas eólicas reguladas por inclinação, a inclinação das lâminas para a sua posição de plumagem é usada para frear a turbina eólica. O freio (mecânico) é usado apenas para chegar a uma parada completa da turbina eólica, ou para manter a turbina em sua posição de estacionamento.

Como mencionado anteriormente, durante a operação normal, a

velocidade de rotação da turbina eólica é controlada por, entre outros, o torque magnético atuando no gerador. Os componentes do trem de força (eixo do rotor ou eixo de baixa velocidade, caixa de engrenagem, eixo de alta velocidade, gerador), deformam elasticamente sob a influência do torque aerodinâmico que atua sobre o rotor e o torque magnético atuando no gerador. A energia potencial é armazenada nesta deformação elástica. Quando ocorre uma perda de rede, o torque magnético no gerador é subitamente perdido, e a energia potencial do trem de força é convertida em energia cinética. Como um resultado, o trem de força sofre de oscilações de torção. Essas oscilações podem ser muito prejudiciais, especialmente para a caixa de engrenagem e pode reduzir significativamente sua vida útil.

Na técnica anterior, vários métodos de lidar com a perda de rede e de reduzir as oscilações de torção são conhecidos. WO 2007/082642 descreve um método de lidar com a perda de rede, reduzindo o ângulo de inclinação das pás do rotor, seguido pela aplicação de um freio mecânico no eixo de alta velocidade. WO 2004/098968 descreve um método de frenagem no caso de falha de rede. O dispositivo de frenagem atua sobre o eixo de alta velocidade. A pressão hidráulica do freio é controlada até a turbina eólica chegar a uma parada completa. O dispositivo e seu método de controle são especialmente adaptados para serem utilizados em turbinas eólicas "reguladas por perda". WO 03/040556 descreve um método para reduzir a velocidade da turbina eólica dirigida em oscilações de torção evitadas. No método, o torque de desaceleração do freio é regulado em uma sequência de tempo predeterminado, com base na frequência natural do conversor de energia eólica. US 6.254.197 descreve um sistema de frenagem hidráulico alternativo e um método de controle. Um método específico descrito prescreve para primeiro aplicar os freios aerodinâmicos (tipos móveis das lâminas) e, após um período de 15 segundos, aplicar o freio mecânico.

Os métodos da técnica anterior são complicados e, portanto, dispendioso. Além disso, eles nem sempre possuem dados resultados satisfatórios. Desse modo, existe uma necessidade por um método aperfeiçoado de controle de uma turbina eólica no caso de perda de rede, que é confiável

e de fácil aplicação para turbinas eólicas presentes.

A presente invenção se volta em atingir este objetivo. O objetivo é alcançado por um método de acordo com a reivindicação 1. Outras modalidades vantajosas são descritas nas reivindicações dependentes.

5 No caso de perda de rede, um torque de frenagem é aplicado ao trem de força durante um período de tempo, o dito período de tempo sendo determinado em função da frequência de ressonância de torção do trem de força. O trem de força da turbina eólica tem uma frequência de ressonância de torção que é única para cada trem de força e, assim, para cada tipo de
10 turbina eólica. Após a perda de rede, o torque magnético do gerador desaparece e o trem de força começa a oscilar com uma frequência que é a sua frequência de ressonância de torção. Na determinação do período de frenagem, esta frequência deve ser levada em conta. A maneira de colocar em prática a invenção é, desse modo para determinar a frequência de ressonância do trem de força, para determinar (calcular) o período desejado de
15 frenagem em função da frequência de ressonância e após a perda de rede, aplicar o freio durante o período determinado de frenagem.

Preferencialmente, o dito período de tempo também é determinado em função do atraso que ocorre entre o momento da perda de rede e o
20 momento da aplicação do torque de frenagem. Para obter os melhores resultados de redução de oscilações de torção, o freio deve ser ativado apenas no período imediatamente após a perda da rede em que o torque do eixo de baixa velocidade é decrescente, ou seja, o período em que o trem de força é "relaxado". Aplicando o freio quando o torque no eixo de baixa velocidade
25 está aumentando poderia ter o resultado do aumento das oscilações de torção. Portanto, preferencialmente, também o atraso que ocorre entre o momento da perda de rede e o momento da aplicação do torque de frenagem é levado em conta para determinar o período de frenagem. De acordo com este método preferido, o caminho para colocar em prática a invenção é, desse
30 modo para determinar a frequência de ressonância do trem de força, para determinar o atraso que ocorre entre o momento da perda de rede e o momento da aplicação do torque de frenagem, em seguida, para determinar

(para calcular) o período desejado de frenagem em função destes dois parâmetros e após a perda de rede, aplicar o freio durante o período determinado de frenagem.

5 Preferencialmente, o freio é ativado imediatamente de forma substancial após a perda de rede ser detectada.

Qualquer sistema de frenagem pode ser usado no método de acordo com a invenção e cada sistema de frenagem tem um tempo de reação inerente mínimo. Quanto mais cedo o sistema de frenagem reagir à perda de rede, mais o torque de frenagem pode ser aplicado enquanto o trem de força ainda está se desenrolando.

10 Preferencialmente, o dito período de tempo é determinado para ser entre 50 % e 100 % de um período máximo permitido, o dito período máximo permitido sendo determinado como a metade do período de ressonância de torção do trem de força menos o atraso entre o momento da perda de rede e o momento de aplicação do torque de frenagem.

Mais preferivelmente, o dito período de tempo é determinado para ser entre 70 % e 100 %, e mais preferivelmente entre 80 % e 100 % do referido período máximo permitido.

20 Em outras palavras, o dito período de tempo é idealmente escolhido para ser apenas menos de metade do período de ressonância de torção do trem de força menos o atraso que ocorre entre o momento da perda de rede e o momento de aplicação do torque de frenagem, isto é, o período máximo de frenagem é determinado para ser de acordo com a seguinte fórmula:

$$25 \quad t_{\text{máx_frenagem}} = 0,5 \cdot t_{\text{ressonância_período_trem_força}} - t_{\text{atraso}}$$

Como mencionado anteriormente, para obter os melhores resultados de redução de oscilações de torção, o freio deve ser ativado apenas no período imediatamente após a perda da rede em que o torque do eixo de baixa velocidade é decrescente, ou seja, o período em que o trem de força é "relaxado". O trem de força é relaxado durante a primeira metade do primeiro período de oscilação de torção. Idealmente, o freio deve ser ativado durante todo esse tempo. No entanto, nenhum sistema de frenagem pode rea-

gir sem atraso. Por conseguinte, este atraso (o tempo entre o momento da perda de rede e o momento de aplicação do torque de frenagem) deve ser deduzido a partir desta metade do período de oscilação para determinar o período máximo de frenagem. A fórmula dá, assim, o período máximo de frenagem. O freio é aplicado idealmente o maior tempo possível (para ter seu efeito máximo), dentro deste período máximo de frenagem.

Preferencialmente, o período de frenagem é de aproximadamente 0,4 segundos. Foi constatado que um período de frenagem de aproximadamente 0,4 segundos é suficientemente longo para reduzir significativamente as oscilações de torção e, ao mesmo tempo é tão curto que o torque do eixo de baixa velocidade ainda é decrescente.

Preferencialmente, o torque de frenagem é aplicado durante um único período de tempo curto. Depois que o freio foi desativado, não é necessário reativar o freio para reduzir ainda mais as oscilações de torção.

Preferencialmente, o torque de frenagem que é aplicado pelo freio é determinado levando em conta a velocidade do vento no momento da perda de rede. Mais preferivelmente, o torque de frenagem é determinado levando em conta o torque aerodinâmico que atua sobre o rotor. Alternativamente, o torque de frenagem é determinado levando em conta a energia elétrica gerada pelo gerador no momento da perda de rede. Os resultados mais vantajosos não são necessariamente alcançados através da aplicação de maior torque de frenagem disponível. Em vez disso existe um torque de frenagem ideal para ser utilizado no método.

Durante a operação de uma turbina eólica, as velocidades do vento predominantes são geralmente mensuradas. Portanto, uma maneira de determinar o torque de frenagem ideal é levar em conta a velocidade do vento no momento da perda de rede.

Um modo mais preciso para determinar o torque de frenagem ideal leva em conta o torque aerodinâmico no momento da perda de rede em conta. O torque aerodinâmico, naquele momento, não depende apenas da velocidade do vento, mas também, por exemplo, do ângulo das pás. Mais preferivelmente, o torque de frenagem ideal é determinado levando em conta

o período de frenagem, o atraso que ocorre entre o momento da perda de rede e o momento da aplicação do torque de frenagem e o torque aerodinâmico no momento da rede. Este pode ser expresso pela seguinte fórmula:

$$M_{\text{freio ideal}} = k \cdot M_{\text{aero}}$$

- 5 Nesta fórmula, $M_{\text{freio ideal}}$ é o torque de frenagem ideal e M_{aero} é o torque aerodinâmico do rotor no momento da perda de rede. k é um coeficiente que é determinado para cada tipo de turbina eólica de acordo com o período de frenagem, e o atraso que ocorre entre o momento da perda de rede e o momento de aplicação do torque de frenagem. k terá, assim, um
- 10 valor único para cada tipo de turbina eólica.

Uma complicação é que as turbinas eólicas geralmente não incluem um sistema de medição do torque aerodinâmico diretamente. Para superar essa complicação, a energia elétrica é medida e o torque aerodinâmico pode então ser determinado através da seguinte fórmula:

15
$$M_{\text{aero_HSS}} = \frac{P_{\text{electr}}}{\omega_{\text{HSS}}}$$

- Nesta fórmula, $M_{\text{aero_HSS}}$ é o torque (aerodinâmico) no eixo de alta velocidade, P_{electr} é a energia elétrica gerada pelo gerador no momento da perda de rede e ω_{HSS} é a velocidade de rotação do eixo de alta velocidade. A fórmula dá uma estimativa muito boa do torque aerodinâmico. Portanto, o
- 20 uso da energia elétrica gerada pelo gerador no momento da perda de rede (que é assim mesmo medido em turbinas eólicas atuais) é uma boa maneira de determinar o torque de frenagem ideal.

- Em conclusão, o torque de frenagem ideal pode ser determinado usando o torque aerodinâmico que atua sobre o rotor no momento da perda
- 25 de rede em consideração. Uma etapa intermediária neste método pode ser a estimativa do torque aerodinâmico utilizando a fórmula acima. Alternativamente, o torque de frenagem ideal é determinado diretamente através da medida da energia elétrica gerada pelo gerador no momento da perda de rede.

- 30 Opcionalmente, o freio é ativado somente se a perda de rede ocorrer em um momento de ventos fortes. A complexidade do sistema é bem reduzida, levando à redução de custos. Esta opção é preferível, especial-

mente se for determinado que o efeito das oscilações de torção na baixa velocidade do vento não causar danos inaceitáveis.

Outra opção é aplicar o método de frenagem, sempre que ocorrer a perda de rede, independente da velocidade do vento. O sistema será mais complexo, uma vez que um algoritmo de controle mais complexo será necessário. No entanto, as oscilações de torção podem ser vantajosamente reduzidas em qualquer situação da perda de rede.

Preferencialmente, um sistema de inclinação é fornecido na turbina e o sistema de inclinação também é ativado imediatamente após a perda substancial da rede, para que depois de o freio ser lançado, o controle de inclinação das pás do rotor ser usado para retardar ainda mais a turbina eólica. O freio mecânico atua mais diretamente sobre o trem de força do que o sistema de inclinação. O freio mecânico é, portanto, mais adequado para a redução de oscilações de torção imediatamente. Após liberar o freio, só apenas o sistema de inclinação é necessário para retardar adicionalmente a turbina eólica. No caso de perda de rede, ambos os sistemas são ativados. A combinação do freio mecânico e a inclinação das pás reduzem significativamente as oscilações de torção e pode garantir desligamento da turbina eólica. O freio é utilizado novamente para chegar a um ponto final completo da turbina eólica, ou para manter a turbina em uma posição de estacionamento.

Qualquer tipo de freio pode, em princípio, ser usado no método. Vantajosamente, o freio, que está presente para trazer a turbina eólica para um completo desligamento, também é usado no método de frenagem no caso de perda de rede de acordo com a invenção. Nenhum freio separado deve ser fornecido.

Em princípio, qualquer forma de mecanismo de acionamento (hidráulico, elétrico, etc.) pode ser usada para o sistema de frenagem. No entanto, o sistema deve estar operacional no caso de perda de rede. Isso significa que o sistema deve ser capaz de trabalhar na ausência de fornecimento de eletricidade a partir da rede. Uma bateria no caso de um sistema elétrico de frenagem pode ser previsto. Para uma turbina eólica compreen-

dendo um freio hidráulico, um reservatório de fluido hidráulico pode ser previsto.

Outras possíveis modalidades da invenção e suas vantagens serão explicadas com referência aos números. As figuras mostram:

5 Figura 1 uma turbina eólica com um sistema de frenagem no qual o método de acordo com a invenção pode ser aplicado.

Figura 2 uma simulação de oscilações de torção no eixo do rotor após a perda de rede em uma velocidade do vento de 7 m / s.

10 Figura 3 uma vista mais detalhada dos dois segundos depois da perda da rede da figura 2

Figura 4 simulação de oscilações de torção no eixo do rotor após a perda de rede, a uma velocidade de vento de 12 m / s.

Figura 5 vista mais detalhada dos dois segundos depois da perda da rede da figura 4

15 Figura 6 simulação de oscilações de torção no eixo do rotor depois da perda da rede a uma velocidade de vento de 25 m / s.

Figura 7 simulação de oscilações de torção no eixo do rotor após a perda de rede em uma velocidade do vento de 7 m / s para diferentes torques de frenagem, ambos aplicando o método de acordo com a presente
20 invenção.

Figura 8 simulação de oscilações de torção no eixo do rotor após a perda de rede, a uma velocidade de vento de 12 m / s para diferentes torques de frenagem, ambos aplicando o método de acordo com a presente
25 invenção.

30 Com referência à figura 1, um desenho esquemático de uma turbina eólica é mostrado. O rotor 10 compreende uma pluralidade de lâminas. As lâminas são montadas sobre o eixo do rotor (também: eixo de baixa velocidade) 12. A caixa de engrenagens 11 transforma o movimento giratório do eixo do rotor em movimento giratório do eixo de alta velocidade 13. Um disco de freio 14 é montado sobre o eixo de alta velocidade. Um freio hidráulico é indicado com um sinal de referência 15. Nesta figura, uma modalidade possível do sistema de frenagem que pode ser utilizada no método de acordo

com a presente invenção é mostrada. Em princípio, porém, qualquer forma de freio pode ser aplicada no método de acordo com a invenção.

O eixo de alta velocidade 13 ajusta o rotor do gerador 16 em movimento. A eletricidade gerada pelo gerador é fornecida na rede elétrica 18, por intermédio dos componentes elétricos, geralmente indicados com o sinal de referência 17. O sinal de referência 19 indica um sistema de inclinação das pás, que pode girar as pás ao longo de seu eixo longitudinal. No método de acordo com a presente invenção, um sistema de inclinação não é necessário. No entanto, é preferível ter um.

A figura 2 mostra os resultados de uma simulação da oscilação de torção no trem de força de uma turbina eólica. Uma perda de rede ocorre em $t = 5$. A velocidade do vento predominante no momento em que ocorre a perda de rede é de 7 m/s . As oscilações de torção no trem de força são mostradas para dois casos diferentes. No primeiro caso (linha pontilhada na figura 2), o torque de frenagem não é aplicado, ou seja, o freio não está ativado. Pode-se observar que as oscilações de torção são de grande magnitude e as oscilações apenas morrem muito gradualmente. No segundo caso (linha contínua na figura 2), um torque de frenagem é aplicado por um período de 0,4 segundos, com um atraso após a perda de rede de 0,05 segundos. O freio é aplicado, preferencialmente o mais rapidamente possível após a perda de rede. O atraso de 0,05 segundos foi utilizado na simulação, uma vez que foi estimada para ser o tempo de reação mínima do sistema de frenagem.

Para o método de acordo com a invenção, o período de frenagem não tem necessariamente de ser de 0,4 segundos. Os resultados vantajosos também podem ser obtidos com diferentes tempos de frenagem (abrangidos dentro do âmbito das reivindicações).

Pode ser visto na figura 2 que a aplicação do torque de frenagem para um único período curto de tempo reduz a magnitude das oscilações de torção significativamente. Adicionalmente, e, como um resultado disso as oscilações de torção morrem mais cedo.

A figura 3 mostra os resultados da mesma simulação como na

figura 2, mas mostra uma vista mais detalhada dos primeiros 2 segundos após a perda de rede ocorrer.

As figuras 4 e 5 mostram simulações semelhantes, mas a uma velocidade de vento de 12 m / s. Também aqui, a perda de rede ocorre em $t = 5$, um período de frenagem de 0,4 segundos é aplicado após um atraso de 0.05 segundos. Os resultados semelhantes foram obtidos. Aplicando o método de acordo com a invenção, as oscilações de torção são reduzidas. Comparando os resultados das figuras 4 e 5 com aqueles das figuras 2 e 3, é evidente que a magnitude das oscilações de torção é maior em uma velocidade de vento de 12 m / s do que em uma velocidade do vento de 7 m / s.

A figura 6 mostra as oscilações de torção quando a perda de rede ocorre a uma velocidade de vento de 25 m / s. Uma vez mais, a redução possível em oscilações de torção (linha contínua na figura 6) utilizando o método de acordo com a invenção é mostrada.

As oscilações de torção resultantes em velocidades do vento variam em magnitude. Em velocidades mais altas do vento, as oscilações de torção são maiores e, portanto, o potencial de danos aos componentes do trem de força também é maior. Se a redução de custos for o objetivo mais importante, pode ser escolhida para implementar o método de frenagem apenas se a perda de rede ocorrer em um momento predominante de alta velocidade do vento. Se a perda de rede ocorrer em baixas velocidades do vento, os freios não seriam ativados e as oscilações de torção continuariam por muito tempo. Isso poderia, em certos casos, ser considerado aceitável.

Se isto não for considerado como aceitável, no entanto, o método de frenagem pode ser aplicado a qualquer ocorrência de perda de rede, tanto em alta e em baixa velocidade do vento.

A figura 7 mostra os resultados de uma simulação de oscilações de torção no trem de força após a perda de rede em uma velocidade do vento de 7 m / s para diferentes torques de frenagem, ambos aplicando o método de acordo com a presente invenção. A partir desta figura pode-se observar que os resultados mais vantajosos não são necessariamente alcançados aplicando o maior torque de frenagem. As oscilações de torção são reduzi-

das se um torque de frenagem de 3000 N.m for aplicado comparado com quando um torque de frenagem de 4000 N.m é aplicado.

A figura 8 mostra os resultados de uma simulação de oscilações de torção no trem de força após a perda de rede, a uma velocidade de vento de 12 m / s para diferentes torques de frenagem, ambos aplicando o método de acordo com a presente invenção.

As figuras 7 e 8 mostram que aplicando método de acordo com a invenção, um certo torque de frenagem ideal de frenagem existe. Aumentando o torque de frenagem para além deste ideal aumenta as oscilações de torção em relação à situação ideal. É preferível no método de acordo com a invenção determinar o torque de frenagem, levando em conta a velocidade do vento. É mais preferível levar em conta o torque aerodinâmico que atua sobre o rotor no momento da perda de rede para determinar o torque de frenagem ideal.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para reduzir oscilações de torção no trem de força de uma turbina eólica no caso de perda de rede, caracterizado pelo fato de que, após a perda de rede um torque de frenagem é aplicado ao trem de força durante um período de tempo, o dito período de tempo sendo determinado em função da frequência de ressonância de torção do trem de força.

2. Método para reduzir oscilações de torção, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que,

o dito período de tempo também é determinado em função do atraso que ocorre entre o momento da perda de rede e o momento de aplicação do torque de frenagem.

3. Método para reduzir oscilações de torção, de acordo com qualquer reivindicação anterior, caracterizado pelo fato de que,

o torque de frenagem é aplicado de forma substancial imediatamente após a perda de rede ocorrer.

4. Método para reduzir oscilações de torção, de acordo com a reivindicação 2 ou 3, caracterizado pelo fato de que,

o dito período de tempo é determinado para ser entre 50 % e 100% de um período máximo permitido,

o dito período máximo permitido sendo determinado como a metade do período de ressonância de torção do trem de força menos o atraso que ocorre entre o momento da perda de rede e o momento de aplicação do torque de frenagem.

5. Método para reduzir oscilações de torção, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que,

o dito período de tempo é determinado para ser entre 70% e 100%, e preferencialmente entre 80 % e 100 % do dito período máximo permitido.

6. Método para reduzir oscilações de torção, de acordo com qualquer reivindicação anterior, caracterizado pelo fato de que,

o dito período é de aproximadamente 0,4 segundos.

7. Método para reduzir oscilações de torção, de acordo com qualquer reivindicação anterior, caracterizado pelo fato de que,

o torque de frenagem é aplicado durante um único período de tempo.

5 8. Método para reduzir oscilações de torção, de acordo com qualquer reivindicação anterior, caracterizado pelo fato de que,

o torque de frenagem, que é aplicado ao trem de força é determinado tendo a velocidade do vento no momento da perda da rede em consideração.

10 9. Método para reduzir oscilações de torção, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de,

o torque de frenagem, que é aplicado ao trem de força é determinado levando em conta o torque aerodinâmico que age sobre o rotor no momento da perda de rede.

15 10. Método para reduzir oscilações de torção, de acordo com qualquer reivindicação anterior, caracterizado pelo fato de que,

o torque de frenagem, que é aplicado ao trem de força é determinado levando em conta a energia elétrica gerada pelo gerador no momento da perda de rede.

20 11. Método para reduzir oscilações de torção, de acordo com a reivindicação 8, 9 ou 10, caracterizada pelo fato de que,

o torque de frenagem, que é aplicado ao trem de força é determinado levando em conta também o atraso que ocorre entre o momento da perda de rede e o momento de aplicação do torque de frenagem, e o período
25 de frenagem.

12. Método para reduzir oscilações de torção, de acordo com qualquer reivindicação anterior, caracterizado pelo fato de que,

o torque de frenagem só é aplicado se a perda de rede ocorrer a uma velocidade de vento superior a uma velocidade do vento mínima prede-
30 terminada.

13. Método para reduzir oscilações de torção, de acordo com qualquer reivindicação anterior, caracterizado pelo fato de que,

o torque de frenagem é aplicado independentemente da velocidade do vento predominante na perda de rede.

14. Método para reduzir oscilações de torção, de acordo com qualquer reivindicação anterior, caracterizado pelo fato de que,

5 um sistema de controle de inclinação das pás de turbinas eólicas também é ativado imediatamente após a perda substancial da rede, de modo que após o freio ser lançado, o controle de inclinação das pás do rotor é usado para retardar ainda mais a turbina eólica.

15. Método para reduzir oscilações de torção, de acordo com
10 qualquer reivindicação anterior, caracterizado pelo fato de que,

o torque de frenagem atua sobre o eixo de alta velocidade do trem de força.

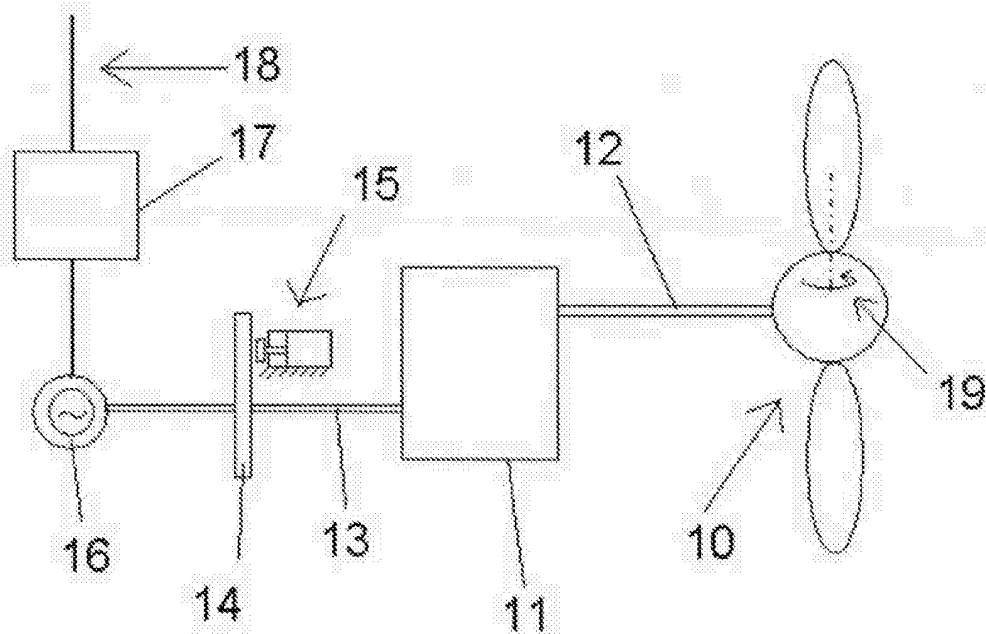


Fig. 1

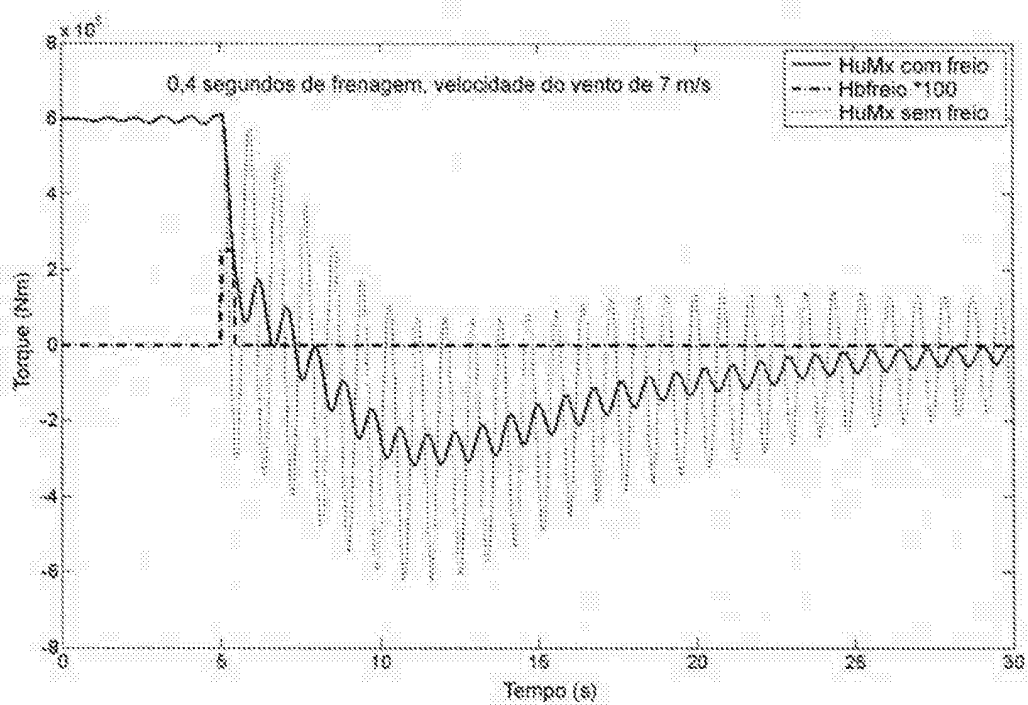


Fig. 2

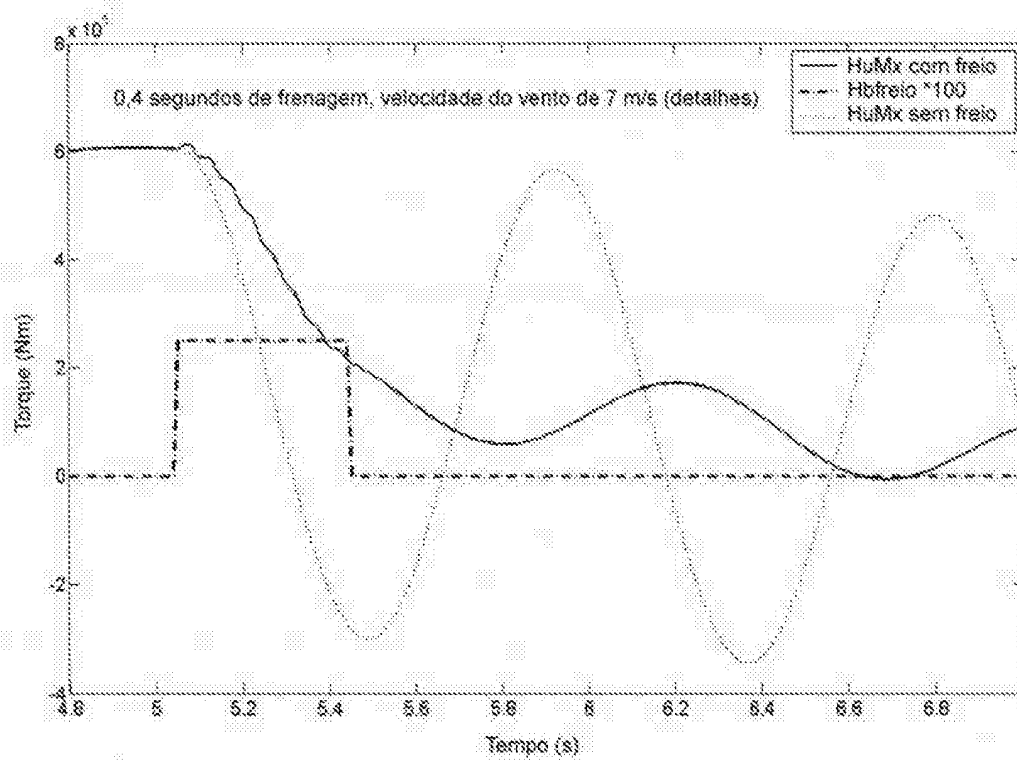


Fig. 3

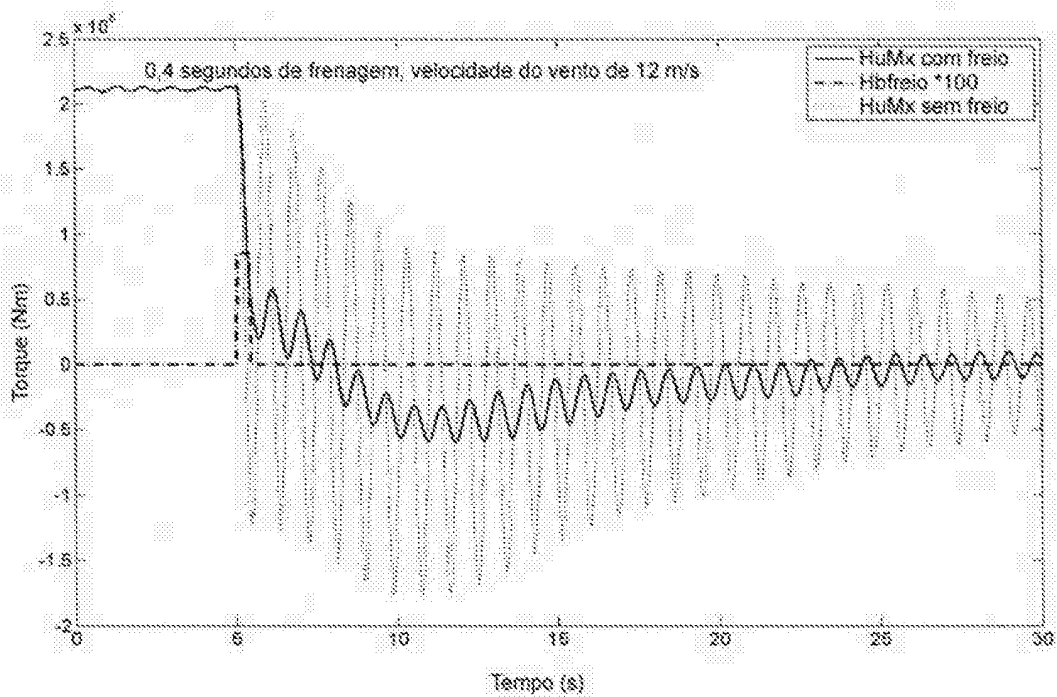


Fig. 4

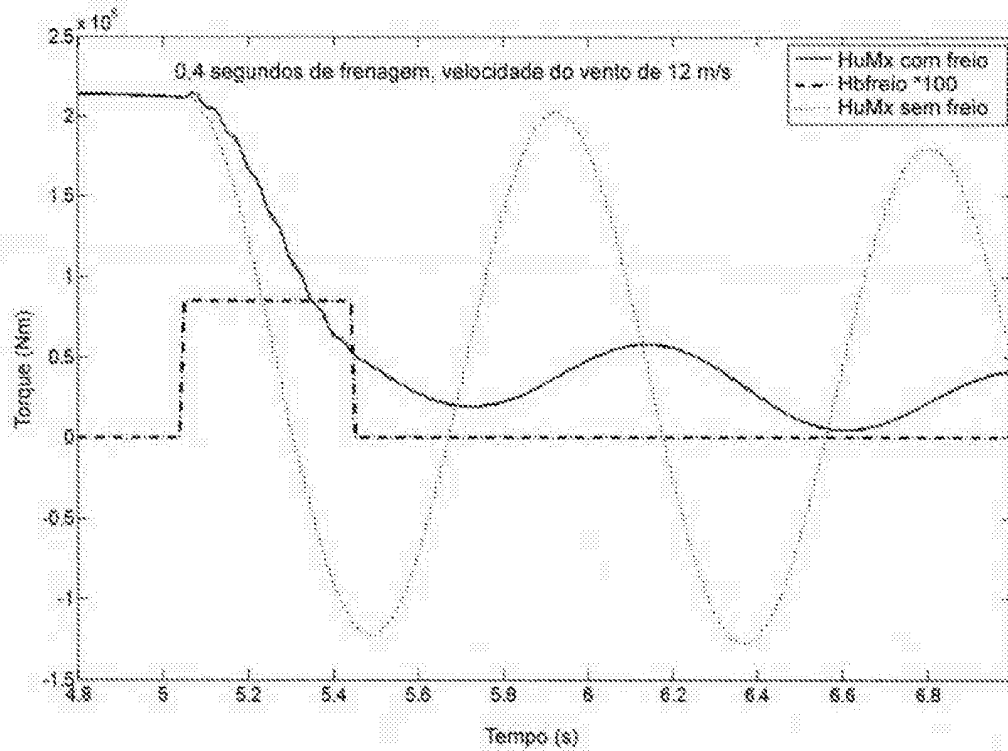


Fig. 5

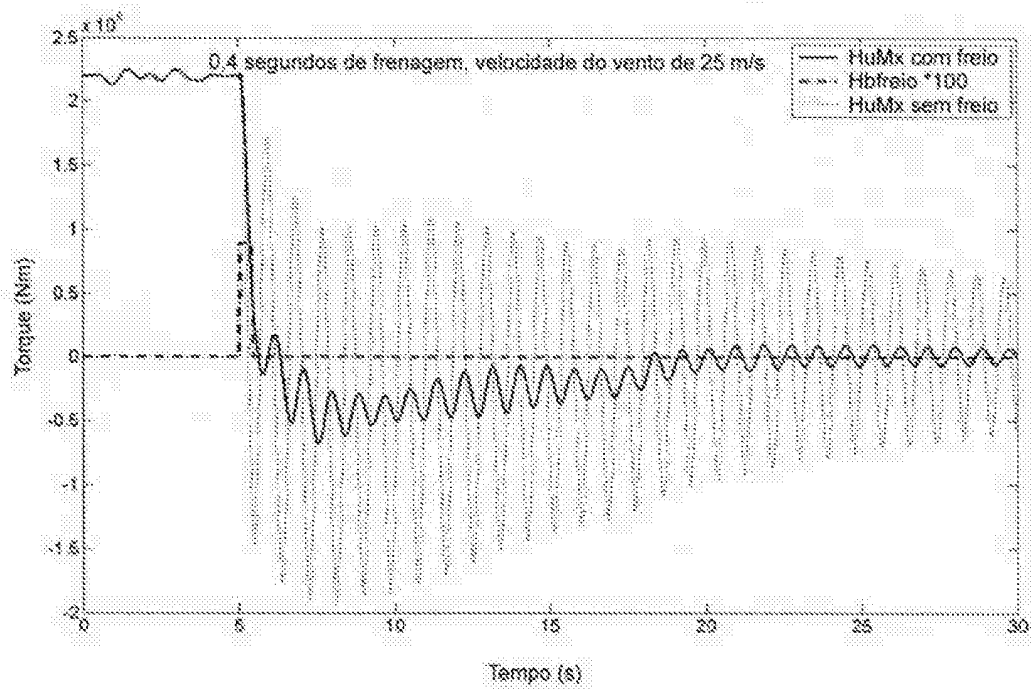


Fig. 6

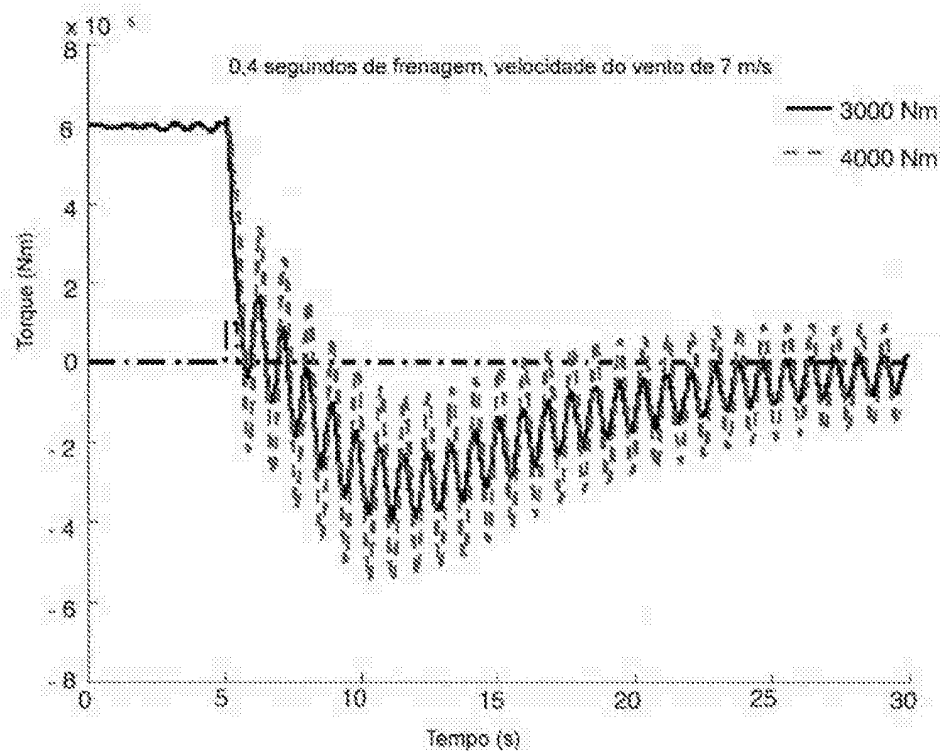


Fig.7

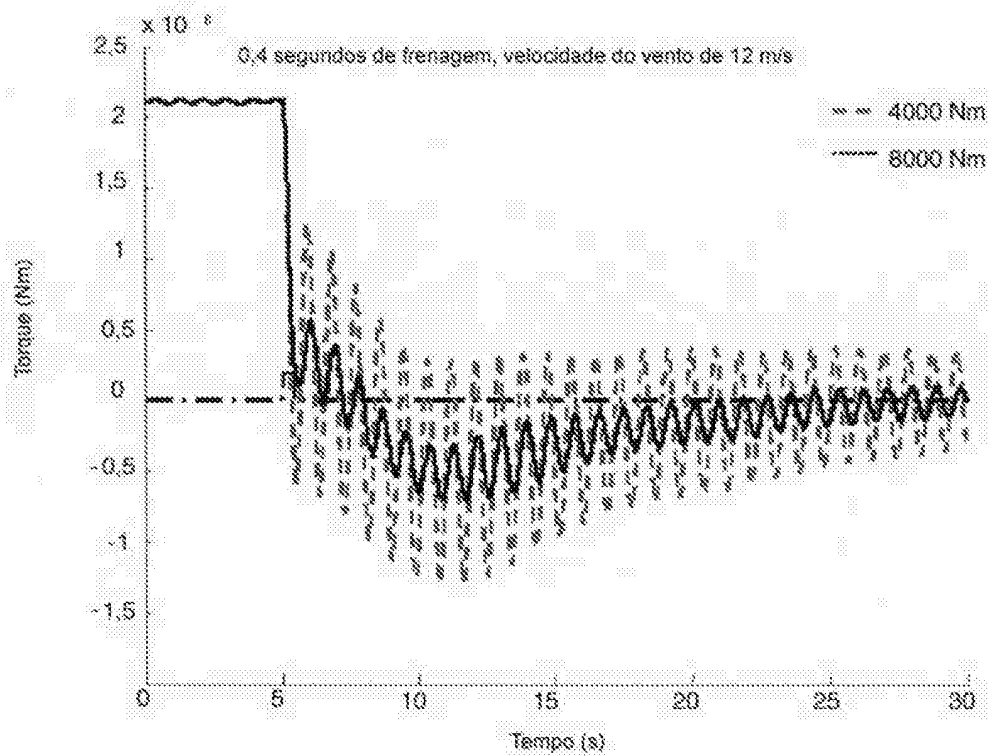


Fig. 8

RESUMO

Patente de Invenção: "MÉTODO PARA REDUZIR OSCILAÇÕES DE TORÇÃO NO TREM DE FORÇA DE UMA TURBINA EÓLICA".

- 5 A presente invenção refere-se a um método para reduzir oscilações de torção no trem de força de uma turbina eólica no caso de perda de rede. De acordo com o método, após a perda de rede, um torque de frenagem é aplicado ao trem de força durante um período de tempo e o dito período de tempo é determinado como uma função da frequência de ressonância de torção do trem de força.