



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

(21) PI 1106664-4 A2

(22) Data do Depósito: 28/10/2011

(43) Data da Publicação: 01/12/2015

(RPI 2343)



**(54) Título:** AEROGERADOR COM UM CONTROLE ATIVO DE ÂNGULO DE PASSO DAS PÁS DURANTE UMA SITUAÇÃO DE MARCHA EM VAZIO

**(51) Int. Cl.:** F03D 7/02; F03D 7/04

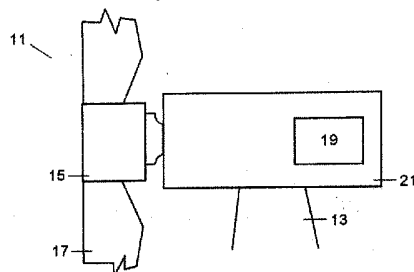
**(30) Prioridade Unionista:** 29/10/2010 ES P201001394

**(73) Titular(es):** GAMESA INNOVATION & TECHNOLOGY, S.L.

**(72) Inventor(es):** ENRIQUE GOMEZ DE LAS HERAS CARBONELL, OCTAVIO HERNANDEZ MASCARELL, JAIME SUAREZ AIZPUN

**(74) Procurador(es):** MARIA PIA CARVALHO GUERRA

**(57) Resumo:** AEROGERADOR COM UM CONTROLE ATIVO DE ÂNGULO DE PASSO DAS PÁS DURANTE UMA SITUAÇÃO DE MARCHA EM VAZIO. Aerogerador com controle ativo do ângulo de passo das pás durante uma situação de marcha em vazio, compreendendo: uma torre (13) e uma nacela (21) que abriga um gerador (19) acionado por um rotor eólico, dispositivos de medição da velocidade do vento  $V$ , da velocidade do gerador  $\Omega$  do ângulo de passo  $\beta_i$  de cada pá, da potência  $P$ , das acelerações do aerogerador em duas direções perpendiculares  $A_x$ ,  $A_y$ , do ângulo de guinada  $Y_w$ ; da posição de azimute do rotor eólico  $AZ$ ; com um sistema de controle dispostos para realizar o dito controle ativo, alterando o ângulo de passo  $\beta_i$  de cada pá para minimizar as vibrações do aerogerador em função dos valores medidos de velocidade do vento, as acelerações do aerogerador  $A_x$ ,  $A_y$ , o ângulo de guinada, a posição de azimute do rotor  $AZ$  e o ângulo de passo  $\beta_i$  de cada pá.



Resumo da Patente de Invenção para: "AEROGERADOR COM UM CONTROLE ATIVO DE ÂNGULO DE PASSO DAS PÁS DURANTE UMA SITUAÇÃO DE MARCHA EM VAZIO".

#### CAMPO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção se refere à métodos e sistemas para minimizar vibrações em aerogeradores eum uma situação de vazio com uma velocidade de vento acima da velocidade de corte.

#### ANTECEDENTES

10 Durante uma situação de marcha em vazio, ou seja, uma situação na qual não se produz energia, os aerogeradores possuem normalmente uma posição fixa do ângulo de passo das pás, em função da velocidade do vento, que se mantém constante para uma velocidade de vento constante.

15 Tipicamente essa posição do ângulo de passo das pás está em torno de 70° para baixas velocidades de vento e cerca de 90° para altas velocidades de vento para permitir uma lenta rotação do rotor que ajude a lubrificação do trem de potência, especialmente a caixa de velocidades.

20 Em situações de marcha em vazio do aerogerador acima da velocidade de corte  $V_{out}$  que determina a parada da produção de energia, uma posição das pás próxima a posição de bandeira envolve grandes cargas no aerogerador, especialmente nas pás e/ou na torre. Essas grandes cargas podem ter um componente não-estacionário importante, que pode contribuir significativamente para a fadiga e/ou as cargas extremas.

25 Em alguns locais dos parques de aerogeradores a distribuição do vento em longo prazo (geralmente definida com uma distribuição de probabilidade Weibull) provoca que o aerogerador está em uma situação de marcha em vazio acima de  $V_{out}$  durante uma parte significativa do seu tempo de vida. Neste caso, as cargas provocadas nestas situações de marcha em vazio podem contribuir de maneira importante para o nível geral de cargas do aerogerador.

30 Por exemplo, naqueles parques de aerogeradores com fator de forma Weibull  $K$  próximo 3 o aerogerador está em uma situação de marcha em vazio acima de  $V_{out}$  durante grande quantidade de tempo, ocasionando, neste caso, uma carga lateral de fadiga  $M_x$  na torre ainda maior do que o componente longitudinal  $M_y$ . Isso é bastante incomum, porque normalmente o componente longitudinal  $M_y$  da carga de fadiga da torre é maior que o componente lateral  $M_x$  na maioria dos parques de aerogeradores.

A presente invenção é dirigida para encontrar uma solução para estes problemas.

#### RESUMO DA INVENÇÃO

35 É um objeto da presente invenção fornecer um aerogerador com um sistema de controle que permite que o aerogerador possa estar em uma situação de marcha em vazio acima da  $V_{out}$  minimizando cargas globais do aerogerador.

É um outro objeto da presente invenção, fornecer um aerogerador com um sistema de controle que permita que o aerogerador possa estar em uma situação de marcha em vazio acima de  $V_{out}$  minimizando as vibrações do aerogerador.

Estes e outros objetos são alcançados por meio de um aerogerador que compreende: uma torre e uma nacela que abriga um gerador acionado por um rotor eólico formado por um cubo do rotor e ao menos uma pá; dispositivos de medição de ao menos a velocidade do vento  $V$ , a velocidade do gerador  $\Omega$ , o ângulo de passo  $\theta_i$  de cada pá, a energia produzida  $P$ , as acelerações do aerogerador em duas direções perpendiculares  $A_x$ ,  $A_y$ , o ângulo de guinada  $Y_w$ ; a posição de azimuth do rotor eólico  $AZ$ ; um sistema de controle conectado aos dispositivos de medição e a, ao menos, os atuadores de controle do ângulo de passo das pás e do torque, estando disposto o sistema de controle para realizar uma regulação do aerogerador de acordo com uma determinada curva de potência para velocidades de vento abaixo da velocidade de corte  $V_{out}$ ; estando disposto também o sistema de controle para realizar uma regulação ativa do ângulo de passo das pás quando o aerogerador se encontra em uma situação de marcha em vazio acima de  $V_{out}$  mudando o ângulo de passo  $\theta_i$  de cada pá para minimizar as vibrações do aerogerador em função de, ao menos, os valores medidos da velocidade do vento, as acelerações do aerogerador em duas direções perpendiculares  $A_x$ ,  $A_y$ , o ângulo de guinada  $Y_w$ , a posição de azimuth do rotor eólico  $Az$  e o ângulo de passo  $\theta_i$  de cada pá.

Em uma modalidade para um aerogerador de três pás, a disposição do sistema de controle para realizar a dita regulação ativa do ângulo de passo das pás compreende um módulo para obter as referências do ângulo de passo das pás  $\theta_{ref1}$ ,  $\theta_{ref2}$ ,  $\theta_{ref3}$  que devem ser fornecidas aos atuadores de ângulo de passo das pás que inclui: um primeiro sub-módulo para calcular um primeiro ganho  $\Delta_1$ , comum a todos as pás, em função das medições da velocidade do vento  $V_{meas}$  e as acelerações do aerogerador  $A_{xmeas}$  e  $A_{ymeas}$ , um segundo sub-módulo para calcular um segundo ganho  $\Delta_2$ , individualmente para cada pá, em função do primeiro ganho  $\Delta_1$ , a medição do azimuth do rotor  $AZ_{meas}$  e a medição do ângulo de guinada  $Y_{wmeas}$ ; um terceiro sub-módulo para calcular um terceiro ganho  $\Delta_3$ , individualmente para cada pá, em função do segundo ganho  $\Delta_2$ , a medição da velocidade do gerador  $\Omega_{meas}$  e o ângulo de passo médio  $\theta_{mean}$ ; e um quarto sub-módulo (81) para obter as referências individuais do ângulo de passo das pás  $\theta_{ref1}$ ,  $\theta_{ref2}$ ,  $\theta_{ref3}$ , em função do terceiro ganho  $\Delta_3$  e a referência coletiva do ângulo de passo  $\theta_{ref}$ . Se consegue com ele um sistema de controle capaz de estabelecer dinamicamente referências de ângulo de passo de cada pá para reduzir as vibrações do aerogerador.

Em modalidades preferenciais, as medições das acelerações do aerogerador  $A_{xmeas}$ ,  $A_{ymeas}$  são medições na nacela ou na torre em duas direções horizontais perpendiculares ou são obtidas pela combinação de ambas as medições. A medição do

ângulo de guinada  $Y_{w_{meas}}$  pode ser levada em conta adicionalmente para ajustar as ditas medições. São fornecidas várias alternativas para a medição das acelerações do aerogerador para adaptar a regulação ativa do ângulo de passo às necessidades particulares.

- 5            Outras características e vantagens da presente invenção se desprenderão a partir da seguinte descrição detalhada de uma realização ilustrativa e não limitativa de seu objeto em relação às figuras que o acompanham.

#### BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

- 10           A Figura 1 é uma vista esquemática em seção transversal de um aerogerador.  
               A Figura 2 mostra uma típica curva de produção de um aerogerador.  
               A Figura 3 é um diagrama esquemático do bloco de controle ativo de ângulo de inclinação das pás da presente invenção e;  
               A Figura 4 é um diagrama de blocos detalhado de uma modalidade preferida.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DAS MODALIDADES PREFERIDAS

- 15           Um aerogerador 11 convencional compreende uma torre 13 suportando uma nacela 21 que abriga um gerador 19 para converter a energia de rotação do rotor do aerogerador em energia elétrica. O rotor do aerogerador compreende um cubo do rotor 15 e, normalmente, três pás 17. O cubo do rotor 15 está conectado diretamente ou através de uma caixa de velocidades ao gerador 19 do aerogerador para transferir o torque gerado pelo  
 20           rotor 15 ao gerador 19 aumentando a velocidade do eixo a fim de alcançar uma velocidade rotacional apropriada do rotor do gerador.

- A energia produzida por um aerogerador moderno está geralmente controlada por meio de um sistema de controle para regular o ângulo de passo das pás do rotor e o torque do gerador. A velocidade de rotação do rotor e a produção de energia de um aerogerador  
 25           podem ser controladas inicialmente.

- Abaixo da velocidade de corte  $V_{out}$  o sistema de controle do aerogerador está disposto para regular a produção de energia de acordo com uma curva que define a relação funcional desejada entre potência e velocidade para alcançar uma produção ideal. Uma curva desse tipo é a curva 25 da Figura 2 que mostra que a produção de energia  $P$  aumenta  
 30           a partir de uma velocidade mínima de vento  $V_{min}$  até a velocidade nominal do vento  $V_n$  e depois permanece constante no valor nominal de produção de energia até a velocidade de corte do vento  $V_{out}$  onde diminui até 0.

- Para implementar esta regulação, uma unidade de controle recebe dados de entrada tais como a velocidade do vento  $V$ , a velocidade do gerador  $\Omega$ , o ângulo de passo das pás  $\theta_i$ , a produção de energia  $P$  a partir de dispositivos bem conhecidos de medição e  
 35           envia dados de saída  $\theta_{ref}$ ,  $T_{ref}$  a, respectivamente, o sistema atuador o ângulo de passo das pás para alterar a posição angular das pás 17 e uma unidade de comando do gerador para

alterar a referência para a produção de energia.

De acordo com a presente invenção, o sistema de controle também está disposto para aplicar um controle ativo do ângulo de passo das pás em uma situação de marcha em vazio com velocidades de vento acima da velocidade de corte  $V_{out}$ .

5 Conforme mostrado na Figura 3 para o caso de um aerogerador de três pás as entradas básicas para a unidade de controle 31 que implementa o dito controle ativo do ângulo de passo das pás em uma situação de marcha em vazio são as seguintes: a medição da velocidade do vento  $V_{meas}$ , as medições dos ângulos de passo das três pás  $\theta_{meas1}$ ,  $\theta_{meas2}$ ,  $\theta_{meas3}$ , a referência coletiva do ângulo de passo das pás  $\theta_{ref}$  gerada pelo controlador principal do aerogerador, as medições das acelerações do aerogerador  $A_{x_{meas}}$ ,  $A_{y_{meas}}$ , a medição da velocidade do gerador  $\Omega_{meas}$ , a medição da posição de azimute do rotor eólico  $AZ_{meas}$  e a medição do ângulo de guinada  $Y_{W_{meas}}$ . As saídas são as referências individuais do ângulo de passo das pás  $\theta_{ref1}$ ,  $\theta_{ref2}$ ,  $\theta_{ref3}$  que são fornecidas aos sistemas de atuação do ângulo de passo das pás.

15 A medição da posição de azimute do rotor eólico  $AZ_{meas}$  e medição do ângulo de guinada  $Y_{W_{meas}}$  são obtidas mediante qualquer sensor de posição angular apropriado, por exemplo, um sensor de posição sem contato indutivo ou um codificador rotatório.

Em uma modalidade da invenção, as medições das acelerações do aerogerador  $A_{x_{meas}}$ ,  $A_{y_{meas}}$  são medições das acelerações do aerogerador realizadas na nacela 21 em duas direções horizontais perpendiculares (sendo, por exemplo, as direções Norte-Sul/Leste-Oeste), utilizando acelerômetros convenientemente localizados.

Em uma outra modalidade da invenção, as medições das acelerações do aerogerador  $A_{x_{meas}}$ ,  $A_{y_{meas}}$  são medições das acelerações do aerogerador realizadas na torre 13 (em qualquer altura) em duas direções horizontais perpendiculares (sendo, por exemplo, as direções Norte-Sul/Leste-oeste) utilizando acelerômetros convenientemente localizados.

Em uma outra modalidade da invenção, as medições das acelerações do aerogerador são obtidas através da composição das acelerações na nacela 21 e na torre 13.

Nos três casos mencionados anteriormente a medição do ângulo de guinada  $Y_{W_{meas}}$  também pode ser levada em conta.

A dita unidade de controle 31 compreende um módulo implementando um algoritmo apropriado para determinar as referências individuais do ângulo de passo das pás  $\theta_{ref1}$ ,  $\theta_{ref2}$ ,  $\theta_{ref3}$  para minimizar as vibrações do aerogerador para cada conjunto das ditas variáveis de entrada.

35 Em uma modalidade preferencial (para acelerações do aerogerador medidas na nacela 21 ou na torre 13), o dito algoritmo é implementado mediante os módulos 41, 61, 71 e 81 mostrados na Figura 4.

No sub-módulo 41 um primeiro ganho  $\Delta_1$ , comum para todas as pás, é obtido a partir da medição da velocidade do vento  $V_{meas}$  e das medições das acelerações do aerogerador  $Ax_{meas}$ ,  $Ay_{meas}$ .

Os sinais das medições das acelerações  $Ax_{meas}$ ,  $Ay_{meas}$  (que são indicativas das vibrações que ocorrem no aerogerador) são filtrados com passo baixo nos blocos 43 e convertidos em sinais de velocidade  $V_{tx}$ ,  $V_{ty}$  mediante um algoritmo integrador (blocos 45) e uma constante de ganho apropriada (blocos 47). No bloco 51 é obtido um primeiro ganho  $\Delta_1$  através de um algoritmo de Realimentação de Velocidade Direta que realimenta os sinais de velocidade com um ganho limitado para o sistema de controle do ângulo de passo das pás. No Bloco 51 se acrescenta uma contribuição adicional proporcional à medição da velocidade do vento  $V_{meas}$  obtida no Bloco 49. Mediante a adição desta contribuição se adiciona um amortecedor para as vibrações ao longo das direções de medição. Também torna-se dependente da velocidade do vento  $\Delta_1$  com o propósito de torná-lo maior ou menor dependendo da velocidade do vento, ajudando assim na ativação ou desativação do controle ativo do ângulo de passo das pás abaixo ou acima de uma certa velocidade do vento.

No sub-módulo 61, é obtido um segundo ganho  $\Delta_2$  individualmente para cada pá em função do primeiro ganho  $\Delta_1$ , a medição da posição de azimuth do rotor  $AZ_{meas}$  e a medição do ângulo de guinada  $Yw_{meas}$ . Na Figura 4 se mostram apenas os sub-módulos 61, 71, 81 para uma pá.

No bloco 63 se calcula um ganho específico em função da medição da posição de azimuth do rotor  $AZ_{meas}$  e a medição do ângulo de guinada  $Yw_{meas}$ , e no bloco 65 se multiplica pelo primeiro ganho  $\Delta_1$  para obter o segundo ganho  $\Delta_2$ .

No sub-módulo 71 é obtido um terceiro ganho  $\Delta_3$  individualmente para cada pá em função do segundo ganho  $\Delta_2$ , a medição da velocidade do gerador  $\Omega_{meas}$  e o ângulo de passo das pás médio  $\theta_{mean}$  (que é obtido a partir das três medições dos ângulos de passo das pás  $\theta_{meas1}$ ,  $\theta_{meas2}$ ,  $\theta_{meas3}$ ). Uma atuação descontrolada sobre o sistema de controle do ângulo de passo das pás durante uma situação de marcha em vazio pode conduzir a velocidades excessivas do rotor. Com a finalidade de reduzi-las, o segundo ganho  $\Delta_2$  é limitado (saturado) no bloco 77 por uns limites superiores e inferiores (limites de saturação) obtidos no bloco 73, 75 em função da medição da velocidade do gerador  $\Omega_{meas}$  e o ângulo de passo médio das pás  $\theta_{mean}$ .

Finalmente, no sub-módulo 81, no bloco 83 se calcula a referência do ângulo de passo da pá  $\theta_{ref1}$  para a pá 1, acrescentando o ângulo de passo coletivo  $\theta_{ref}$  das pás para o terceiro ganho  $\Delta_3$ .

Para modalidades da invenção que usam mais de uma medição da aceleração do

aerogerador em duas direções horizontais perpendiculares, o sub-módulo 61 terá blocos adicionais (não mostrados) para implementar a composição correspondente, tendo em conta as relações trigonométricas entre as posições da nacela e a torre com o ângulo de guinada.

- 5      Mediante a determinação de uma referência dinâmica do ângulo de passo de cada pá (que pode ser a mesma para as três pás) que se adiciona a referência coletiva do ângulo de passo das pás, se minimizam as vibrações do aerogerador, particularmente as vibrações devido as cargas horizontais sobre a torre, que são a fonte de vibrações durante situações em marcha em vazio e aumentam a carga de fadiga em alguns casos.

- 10     Como o aerogerador não produz energia em uma situação de marcha em vazio, a energia necessária para o dito controle ativo do ângulo de passo das pás deve ser fornecido por uma fonte de energia de reserva disponível no aerogerador tal como um dispositivo de Fornecimento Ininterrupto de Energia (UPS) ou por uma rede elétrica a qual o aerogerador está conectado.

- 15     Embora a presente invenção tenha sido totalmente descrita em conexão com as modalidades preferidas, é evidente que modificações podem ser feitas dentro do seu escopo, não considerando isso como limitado pelas modalidades anteriores, mas pelo conteúdo das reivindicações seguintes.

## REIVINDICAÇÕES

1. Aerogerador **caracterizado** pelo fato de que compreende:

- uma torre (13) e uma nacela (21) que abriga um gerador (19) alimentado por um rotor eólico que compreende um cubo do rotor (15) e pelo menos uma pá (17);
- 5       - dispositivos de medição de, pelo menos, a velocidade do vento  $V$ , a velocidade do gerador  $\Omega$ , e o ângulo de passo  $\theta_i$  de cada pá, a potência  $P$ , as acelerações do aerogerador em duas direções perpendiculares  $A_x$ ,  $A_y$ , o ângulo de guinada  $Y_w$ , a posição de azimute do rotor eólico  $AZ$ ;
- 10       - um sistema de controle conectado aos ditos dispositivos de medição e aos, pelo menos, atuadores de controle de ângulo de passo das pás e de torque, estando disposto o sistema de controle para aplicar uma regulação do aerogerador de acordo com uma determina curva de potência (25) para velocidades de vento abaixo da velocidade de corte  $V_{out}$ ;
- 15       - está disposto também o sistema de controle para realizar uma regulação ativa do ângulo de passo das pás quando o aerogerador está em uma situação de marcha em vazio acima de  $V_{out}$  mudando o ângulo de passo  $\theta_i$  de cada pá para minimizar as vibrações do aerogerador em função de, pelo menos, os valores medidos da velocidade do vento, as acelerações do aerogerador em dois sentidos perpendiculares  $A_x$ ,  $A_y$ , o ângulo de guinada  $Y_w$ , a posição de azimute do rotor eólico  $AZ$  e o ângulo de passo  $\theta_i$  de cada pá.
- 20       2. Aerogerador, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o sistema de controle disposto para realizar tal regulação ativa do ângulo de passo das pás de um aerogerador com três pás compreende um módulo para obter as referências do ângulo de passo das pás  $\theta_{ref1}$ ,  $\theta_{ref2}$ ,  $\theta_{ref3}$ , que devem ser fornecidos aos atuadores de ângulo de passo das pás, que inclui:
  - 25       - um primeiro sub-módulo (61) para calcular um primeiro ganho  $\Delta_1$ , comum para todas as pás, em função da medição da velocidade do vento  $V_{meas}$  e as medições das acelerações do aerogerador  $A_{x_{meas}}$ ,  $A_{y_{meas}}$ ;
  - 30       - um segundo sub-módulo (61) para calcular um segundo ganho  $\Delta_2$ , individualmente para cada pá, em função do primeiro ganho  $\Delta_1$ , a medição de azimute do rotor  $AZ_{meas}$  e a medição do ângulo de guinada  $Y_{w_{meas}}$ ;
  - um terceiro sub-módulo para calcular um terceiro ganho  $\Delta_3$ , individualmente para cada pá, de acordo com o segundo ganho  $\Delta_2$ , a medição da velocidade do gerador  $\Omega_{meas}$  e o ângulo de passo médio  $\theta_{mean}$ ; e
  - 35       - um quarto sub-módulo (81) para obter as referências individuais do ângulo de passo das pás  $\theta_{ref1}$ ,  $\theta_{ref2}$ ,  $\theta_{ref3}$ , em função do terceiro ganho  $\Delta_3$  e a referência coletiva do ângulo de passo das pás  $\theta_{ref}$ .

3. Aerogerador, de acordo com qualquer das reivindicações 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de que as medições das acelerações  $A_{x_{meas}}$ ,  $A_{y_{meas}}$ , são feitas na nacela (21) em duas direções perpendiculares horizontais.
- 40 4. Aerogerador, de acordo com qualquer das reivindicações 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de as medições das acelerações  $A_{x_{meas}}$ ,  $A_{y_{meas}}$ , são feitos na torre (13) em duas direções perpendiculares horizontais.
- 45 5. Aerogerador, de acordo com qualquer das reivindicações 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de as medições das acelerações  $A_{x_{meas}}$ ,  $A_{y_{meas}}$ , são o resultado de uma composição trigonométrica das acelerações do aerogerador medidas na nacela (21) e na torre (13) em duas direções perpendiculares horizontais.
6. Aerogerador, de acordo com qualquer das reivindicações 3 a 5, **caracterizado** pelo fato de que as ditas medições das acelerações  $A_{x_{meas}}$ ,  $A_{y_{meas}}$ , se modificam tendo em conta a medição do ângulo de guinada  $\gamma_{W_{meas}}$ .
- 50 7. Aerogerador, de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 6, **caracterizado** pelo fato de que o aerogerador também compreende um dispositivo para Fornecimento Ininterrupto de Energia (UPS), para proporcionar energia ao sistema atuador do ângulo de passo das pás na dita situação de marcha em vazio.
- 55 8. Aerogerador, de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 6, **caracterizado** pelo fato de que a energia fornecida ao sistema atuador do ângulo de passo das pás na dita situação de marcha em vazio é fornecida por um sistema de rede elétrica à qual o aerogerador está conectado.

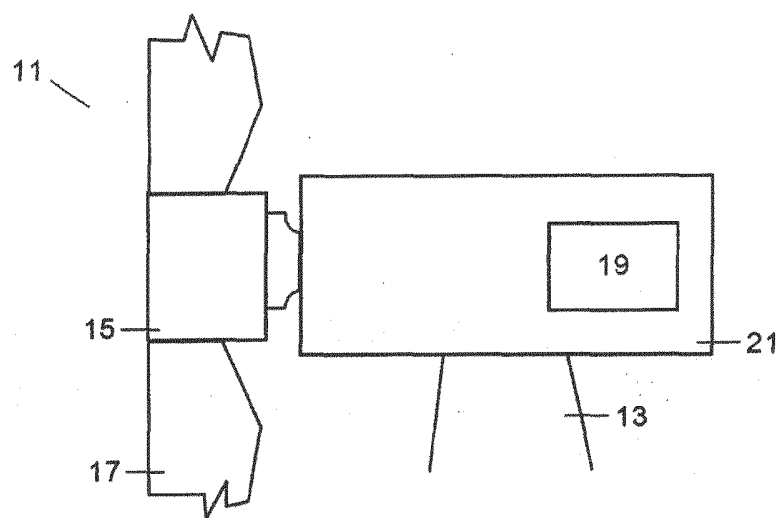


FIG. 1

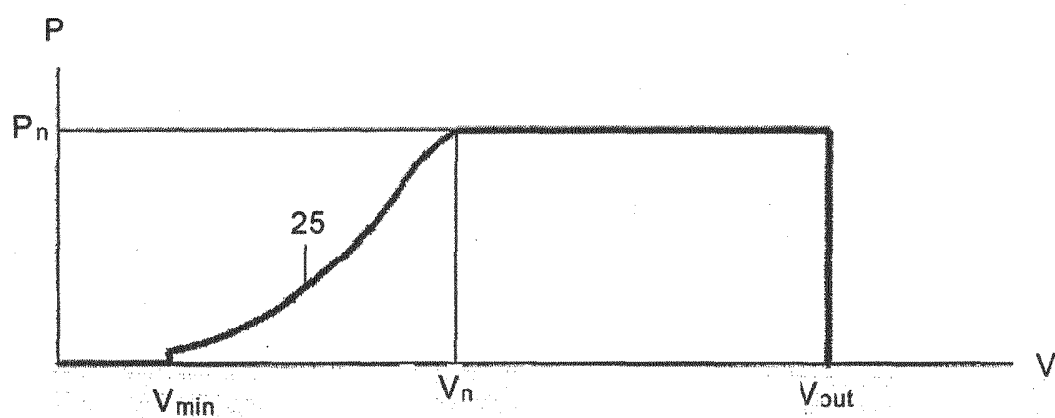


FIG. 2

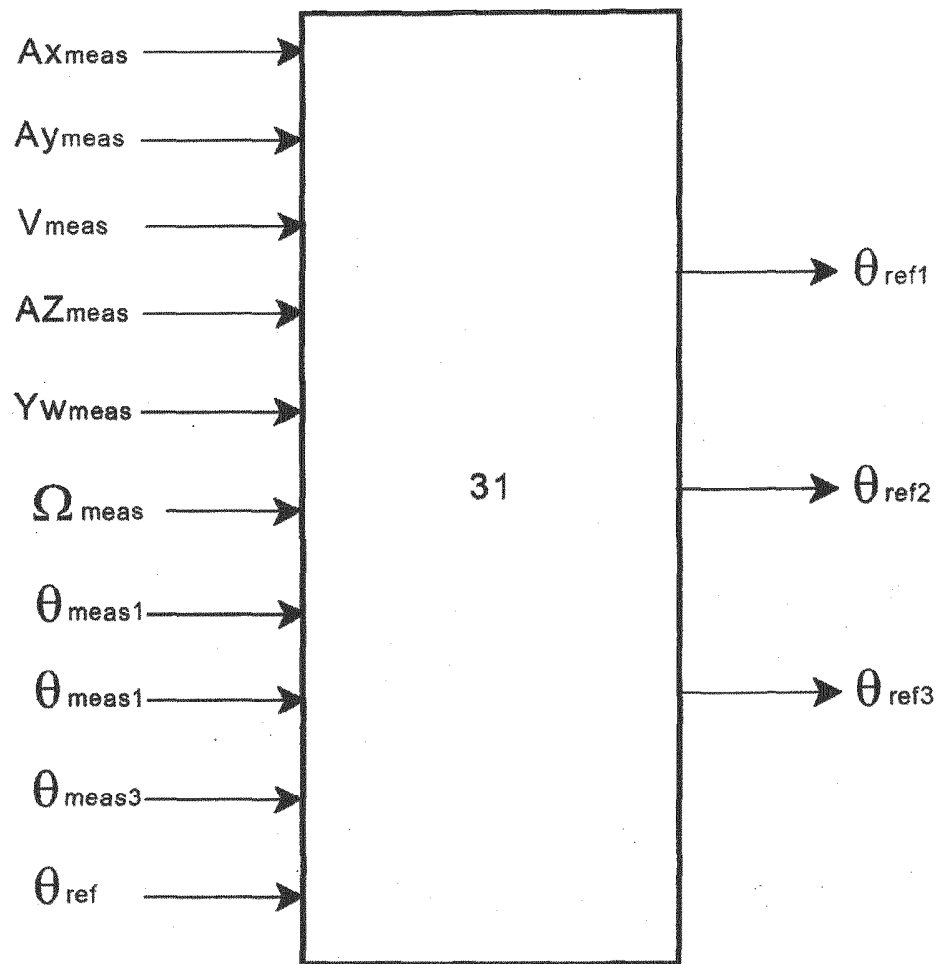


FIG. 3

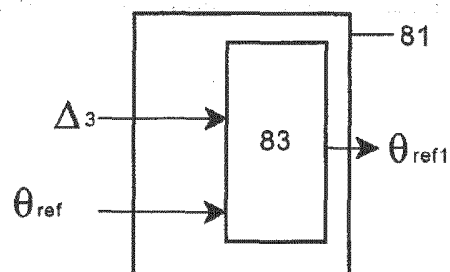
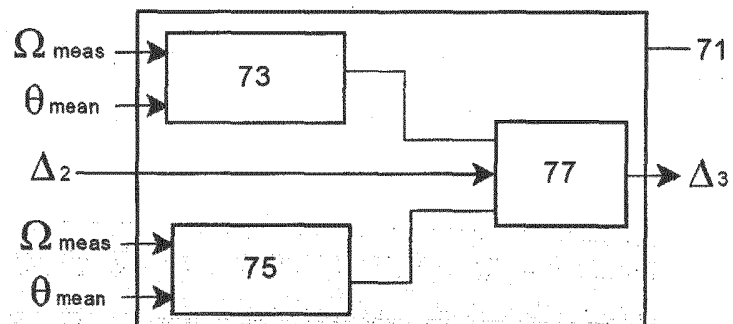
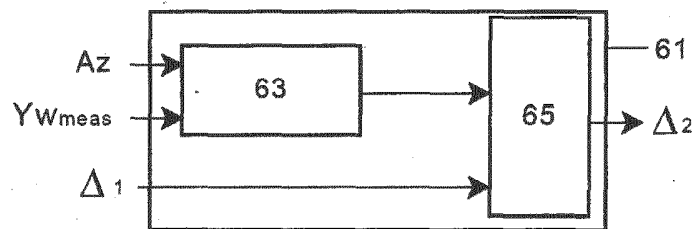
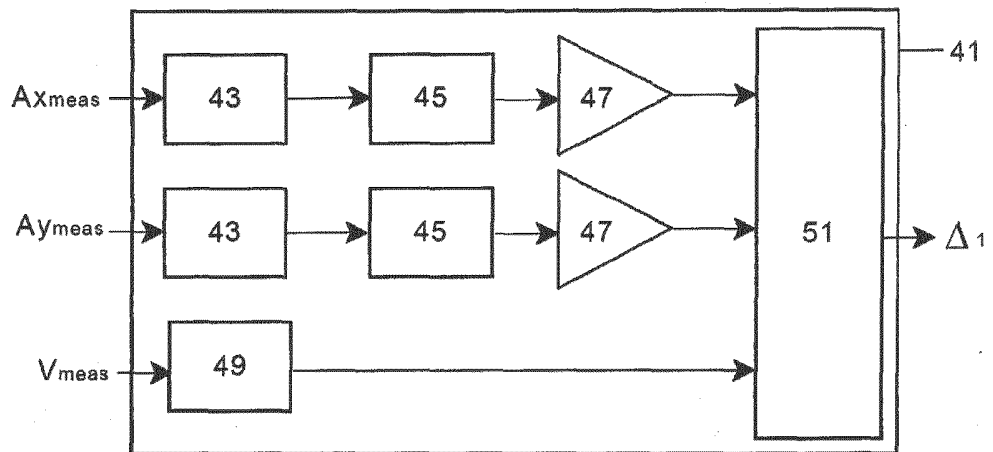


FIG. 4

Resumo da Patente de Invenção para: **~~“AEROGERADOR COM UM CONTROLE ATIVO DE ÂNGULO DE PASSO DAS PÁS DURANTE UMA SITUAÇÃO DE MARCHA EM VAZIO”~~**.

5 Aerogerador com controle ativo do ângulo de passo das pás durante uma situação de marcha em vazio, compreendendo: uma torre (13) e uma nacela (21) que abriga um gerador (19) acionado por um rotor eólico, dispositivos de medição da velocidade do vento  $V$ , da velocidade do gerador  $\Omega$ , do ângulo de passo  $\theta_i$  de cada pá, da potência  $P$ , das acelerações do aerogerador em duas direções perpendiculares  $A_x$ ,  $A_y$ , do ângulo de guinada  $Y_w$ ; da posição de azimuth do rotor eólico  $AZ$ ; com um sistema de controle  
10 dispostos para realizar o dito controle ativo, alterando o ângulo de passo  $\theta_i$  de cada pá para minimizar as vibrações do aerogerador em função dos valores medidos de velocidade do vento, as acelerações do aerogerador  $A_x$ ,  $A_y$ , o ângulo de guinada, a posição de azimuth do rotor  $AZ$  e o ângulo de passo  $\theta_i$  de cada pá.

Fig.3