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

(21) PI 0716911-6 A2

* B R P I 0 7 1 6 9 1 1 A 2 *

(22) Data de Depósito: 10/09/2007
(43) Data da Publicação: 05/11/2013
(RPI 2235)

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

(54) Título: TURBINA EÓLICA, MÉTODO PARA AMORTECIMENTO DE OSCILAÇÕES LATERIAS EM UMA OU MAIS PÁS DE UMA TURBINA EÓLICA, E USO DO MÉTODO

(57) Resumo:

(30) Prioridade Unionista: 02/10/2006 DK PA200601273

(73) Titular(es): Vestas Wind Systems A/S

(72) Inventor(es): Christopher John Spruce, Thomas Steiniche Bjertrup Nielsen

(74) Procurador(es): Walter de Almeida Martins

(86) Pedido Internacional: PCT DK2007000403 de 10/09/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/040347de 10/04/2008

TURBINA EÓLICA, MÉTODO PARA AMORTECIMENTO DE OSCILAÇÕES LATERAIS EM UMA OU MAIS PÁS DE UMA TURBINA EÓLICA, E USO DO MÉTODO

Antecedentes da Invenção

A presente invenção refere-se a uma turbina eólica de acordo com o preâmbulo da reivindicação 1, um método de amortecimento de oscilações no sentido da borda em uma ou mais pás de uma turbina eólica e uso respectivo.

Descrição da Técnica Associada

Uma turbina eólica conhecida na técnica compreende uma torre afilada de turbina eólica e uma nacela de turbina eólica posicionada no topo da torre. Um rotor de turbina eólica com várias pás de turbina eólica é acoplado à nacela através de um eixo de baixa velocidade, que se estende para fora da parte frontal da nacela conforme se encontra ilustrado na Figura 1.

As oscilações e vibrações das pás da turbina eólica são indesejáveis já que no pior dos casos podem danificar as pás. Em particular, as oscilações no sentido das bordas, que são oscilações ao longo da corda entre a borda traseira e aborda dianteira da pá, podem danificar a pá, na medida em que a pá tem pouca capacidade de amortecimento para este modo de oscilação.

Adicionalmente, as oscilações laterais ("edgewise oscillations") são particularmente danosas, já que entre outros problemas podem causar rachaduras na raiz da pá ou

ao longo da borda traseira. Em casos conhecidos essas oscilações fizeram a pá ficar avariada em tal grau que a pá se desintegrou da turbina.

As turbinas eólicas com controle tanto de estol quanto de passo correm riscos de serem danificadas por oscilações no sentido das bordas. A turbina com controle de estol está particularmente sujeita a este problema quando opera com ventos fortes superiores ao ponto de estol e a turbina com regulagem de passo está particularmente sujeita a este problema com ventos fortes em que súbitas rajadas de vento podem fazer as pás estolar momentaneamente.

Para eliminar as oscilações danosas das pás é conhecida a prática de interrupção da operação da turbina eólica durante um determinado período de tempo, caso sejam detectadas oscilações potencialmente danosas no sentido das bordas. Porém se estas oscilações forem detectadas freqüentemente, este método irá reduzir seriamente a produção em geral da turbina eólica.

É igualmente conhecida a provisão das pás com diferentes formas de amortecedores mecânicos, muito freqüentemente baseados no princípio de uma massa com montagem de mola combinada com um dispositivo de amortecimento ou podem ser providas com diferentes tipos de meios líquidos de amortecimento.

Um exemplo de um amortecedor líquido é divulgado no documento n° WO 99/32789, em que as pontas das pás são providas com um sistema de amortecimento líquido

sincronizado. Um líquido flui livremente em um número de câmaras dispostas tão próximo quanto possível da ponta da pá. As câmaras tem uma extensão específica, que é adaptada para a freqüência natural no sentido das bordas do tipo específico da pá. Apesar de estes tipos de amortecedores específicos de freqüência pesarem menos que os amortecedores tradicionais para múltiplas freqüências, eles possuem ainda a desvantagem de adicionar um peso considerável à ponta da pá, onde é menos desejada a existência de peso e em todas as circunstâncias é indesejável a provisão de qualquer elemento que possa se quebrar nas pás, tanto devido ao fato de o interior das pás ser muito difícil de acessar quanto devido ao fato de ser indesejável qualquer peso suplementar nas pás.

Um objeto da presente invenção consiste na provisão de uma turbina eólica compreendendo meios para amortecimento ou eliminação de oscilações laterais nas pás, que não apresente as desvantagens anteriormente mencionadas.

Adicionalmente, um objeto da presente invenção consiste na provisão de uma técnica simples e econômica para amortecimento ou eliminação de oscilações laterais ("edgewise oscillations") de uma ou mais pás de uma turbina eólica.

A invenção

A invenção proporciona uma turbina eólica compreendendo um rotor incluindo uma ou mais pás de passo

controlável, e meios de detecção para detecção de oscilações laterais em uma ou mais das referidas pás. A turbina eólica é caracterizada pelo fato de a turbina eólica compreender meios de controle para alteração do ângulo de passo de uma ou mais das pás caso os meios de detecção detectem oscilações laterais ("edgewise oscillations") em uma ou mais das pás, dessa forma amortecendo ou eliminando as oscilações laterais .

Determinadas condições têm que se encontrar presentes para que ocorram oscilações laterais nas pás de uma turbina eólica: o vento tem que ter uma determinada velocidade e/ou instabilidade, as pás têm que ter uma certa construção, as pás têm que ser dispostas com um determinado ângulo de passo, e outras condições. A maioria destas condições não pode ser controlada ou pelo menos não pode ser controlada de forma pouco dispendiosa - com exceção do ângulo de passo das pás.

As turbinas eólicas com controle ativo de estol e as turbinas eólicas com controle de passo são por natureza providas com uma capacidade de alteração do ângulo de passo das pás para controle da saída de potência do rotor ou da turbina eólica e para proteção das pás ou da turbina eólica relativamente a sobrecargas danosas.

A capacidade de controlar o passo das pás de turbinas eólicas encontra-se portanto já presente na maioria das turbinas eólicas modernas, e mediante utilização desta capacidade para alterar pelo menos uma das

condições necessárias para ocorrência de oscilações laterais ("edgewise oscillations") ou pelo menos efeito cumulativo de oscilações laterais é vantajosa, em que é dessa forma provido um meio simples e econômico de amortecimento ou eliminação das oscilações laterais nas pás de uma turbina eólica.

Em um aspecto da invenção, os referidos meios de controle compreendem meios para alteração do passo das referidas pás em uma direção que reduz a sustentação aerodinâmica das referidas pás durante a operação normal, se os referidos meios de detecção detectarem oscilações laterais em uma ou mais das referidas pás.

As oscilações laterais em pás de turbinas eólicas ocorrem normalmente com velocidades de vento relativamente elevadas. Se - durante a operação normal das pás - o passo das pás for orientado em uma direção que aumenta a sustentação aerodinâmica, quando são detectadas oscilações no sentido das bordas, o risco de imposição de sobrecargas às pás ou à turbina eólica aumentará significativamente.

É portanto vantajoso controlar o passo das pás em uma direção que reduza a sustentação aerodinâmica das pás, isto é, girar as pás em uma turbina eólica com controle ativo de estol um pouco mais contra o vento relativo, dessa forma aumentando o efeito de arrasto e fazendo as pás irem mais profundamente para uma situação de estol ou girar as pás em uma turbina eólica de passo controlado em uma direção de maior afastamento do vento relativo, dessa forma

reduzindo o efeito de arrasto e tornando a corda de sentido de borda das pás mais paralela à direção do vento relativo.

Em um aspecto da invenção, o referido meio de controle compreende meios para alteração do ângulo de passo de todas as pás do referido rotor de forma substancialmente idêntica, caso os referidos meios de detecção detectem oscilações laterais em uma ou mais das referidas pás.

Poderá ser difícil e/ou dispendioso determinar quais das pás estão oscilando no sentido das bordas, e será portanto vantajoso alterar o passo de todas as pás se forem detectadas oscilações laterais em qualquer uma das pás do rotor.

Em um aspecto da invenção, os referidos meios de detecção consistem em um ou mais sensores de oscilação dispostos em uma nacela da referida turbina eólica.

Mediante a disposição de um sensor de oscilação na nacela é possível detectar oscilações laterais das pás de uma forma muito simples. Adicionalmente, o rotor inteiro roda durante a operação normal e é portanto vantajoso dispor os sensores de oscilação na nacela (que tem uma posição mais fixa).

Em um aspecto da invenção, os referidos sensores de oscilação consistem em um ou mais acelerômetros ligados à estrutura de reforço da referida nacela.

Os acelerômetros constituem uma forma simples e econômica de detecção de vibrações, e mediante disposição de um ou mais acelerômetros na estrutura de reforço da

nacela, é assegurado que as oscilações laterais das pás sejam transferidas de forma relativamente não perturbada para o sensor, proporcionando medições de sensor claras e confiáveis.

Em um aspecto da invenção, os referidos meios de controle compreendem meios para alteração do referido ângulo de passo de uma ou mais das referidas pás entre 0,5° e 30°, preferencialmente entre 2° e 15° e mais preferencialmente entre 3° e 8° se os referidos meios de detecção detectarem oscilações laterais em uma ou mais das referidas pás.

Se as pás forem submetidas a uma alteração excessivamente pequena de passo, quando forem detectadas oscilações no sentido das bordas, as oscilações poderão não ser amortecidas ou poderá ser necessário um período de tempo relativamente longo para que as oscilações parem. Caso as pás forem submetidas a alterações excessivas de passo, a produção de energia poderá ser interrompida ou poderá ser reduzida de forma relativamente excessiva.

As presentes faixas para alteração de ângulos de passo - quando são detectadas oscilações laterais - apresentam portanto uma relação vantajosa entre eficiência de amortecimento e potência de saída.

Deverá ser enfatizado que esta alteração de ângulo de passo é relativa - o que significa que constitui uma alteração suplementar dissociada da alteração de ângulo de passo sendo realizada para otimização do ângulo das pás

relativamente ao vento em chegada relativamente a saída de potência, carga, ruído ou outros fatores.

Em um aspecto da invenção, os referidos meios de controle compreendem meios para retorno das referidas uma ou mais pás para sua posição de ângulo de passo original, quando os referidos meios de detecção detectam que a magnitude das referidas oscilações laterais é inferior a um nível previamente definido.

Isto é vantajoso, no fato de ser possível restabelecer rapidamente a potência de saída da turbina eólica, dessa forma sendo assegurado que a produção de energia em geral da turbina eólica seja mantida em um nível elevado.

Em um aspecto da invenção, os referidos meios de controle compreendem meios para alteração apenas do ângulo de passo de uma ou mais das referidas pás caso as referidas oscilações detectadas no sentido das bordas se encontrarem acima de um nível previamente definido.

A alteração do ângulo de passo das pás a partir de sua posição substancialmente ideal em termos de produção de energia irá como é evidente reduzir a produção de energia da turbina eólica, e dessa forma se a magnitude das oscilações laterais for mínima e não apresentar risco de danos, será vantajoso não alterar o passo das pás caso a magnitude das oscilações se encontrar abaixo de um determinado nível.

Em um aspecto da invenção, os referidos meios de

controle compreendem adicionalmente um temporizador para produção de um sinal de alarme se a magnitude das referidas oscilações laterais não tiver decrescido abaixo de um nível previamente definido dentro de um período de tempo previamente definido.

Caso a magnitude das oscilações laterais não tiver decrescido abaixo de um nível previamente definido dentro de um período de tempo previamente definido, algo poderá estar errado ou as pás poderão encontrar-se danificadas pelas oscilações e será portanto vantajoso fazer o meio de controle produzir um alarme. Este sinal de alarme poderá então ativar um meio de interrupção de operação da turbina eólica ou poderá ser transferido para uma central de vigilância ou outra instalação com capacidade para avaliar a situação e tomar as medidas necessárias.

A invenção proporciona adicionalmente um método para amortecimento de oscilações laterais em uma ou mais pás de uma turbina eólica, o referido método compreendendo as etapas de

- detecção para determinar se uma ou mais das referidas pás oscila lateralmente, e
- alteração do ângulo de passo de uma ou mais das referidas pás se forem detectadas oscilações laterais em uma ou mais das referidas pás.

Desta forma é provido um método simples e econômico para amortecimento ou eliminação de oscilações laterais em pás de turbinas eólicas.

Em um aspecto da invenção, o referido ângulo de passo das referidas uma ou mais pás somente é alterado se a magnitude das referidas oscilações laterais se encontrar acima de um nível previamente definido em uma ou mais das referidas pás.

Em um aspecto da invenção, a(s) referida(s) uma ou mais pás é/são feita(s) retornar para sua(s) posição(ões) de ângulo de passo original(ais), quando a magnitude das referidas oscilações laterais tiver decrescido abaixo de um nível previamente determinado.

Em um aspecto da invenção, o ângulo de passo de todas as referidas pás da referida turbina eólica é alterado de forma substancialmente idêntica se forem detectadas oscilações laterais em uma ou mais das referidas pás.

Em um aspecto da invenção, é criado um sinal de alarme se a magnitude das referidas oscilações laterais não tiver decrescido abaixo de um nível previamente determinado dentro de um período de tempo previamente determinado.

Em um aspecto da invenção, o passo das referidas pás é alterado em uma direção que reduz o efeito de sustentação aerodinâmica das referidas pás durante uma operação normal, caso os referidos meios de detecção detectem oscilações laterais em uma ou mais das referidas pás.

Em um aspecto ainda adicional a invenção proporciona o uso de um método de acordo com qualquer uma

das reivindicações 10 até 15, em que a referida turbina eólica é uma turbina eólica com controle ativo de estol compreendendo meios para detecção de oscilações no sentido das bordas.

A utilização do método mencionado em uma turbina eólica com controle ativo de estol é vantajosa, devido ao fato de as pás das turbinas eólicas com controle ativo de estol estolarem durante uma operação normal, e a possibilidade de ocorrência de oscilações laterais ser particularmente elevada com este tipo de turbina eólica. Adicionalmente, a construção das pás de turbinas eólicas com controle ativo de estol torna as mesmas particularmente vulneráveis a oscilações laterais e é portanto particularmente vantajoso utilizar este método em pás de uma turbina eólica com controle ativo de estol.

Figuras

A presente invenção será agora descrita a seguir com referência às figuras, nas quais

a Fig. 1 ilustra uma turbina eólica moderna de grande porte conhecida na técnica, vista de frente,

a Fig. 2 ilustra uma pá de turbina eólica, vista de frente,

a Fig. 3 ilustra um corte transversal de uma pá de turbina eólica em uma situação de não-estol, observada a partir da raiz da pá,

a Fig. 4 ilustra uma vista de corte transversal de

uma pá de turbina eólica em uma situação de estol, conforme observada a partir da raiz da pá,

a Fig. 5 ilustra uma vista de corte transversal de uma pá de turbina eólica em uma situação de profundo estol, conforme observada a partir da raiz da pá, e

a Fig. 6 ilustra uma vista simplificada de corte transversal de uma nacela, conforme observada de lado.

Descrição detalhada

A Fig. 1 ilustra uma turbina eólica moderna 1, compreendendo uma torre 2 e uma nacela 3 posicionada no topo da torre 2. O rotor 4 de turbina eólica, compreendendo três pás 5 de turbina eólica, é acoplado à nacela 3 através do eixo de baixa velocidade que se estende para fora da frente da nacela 3.

A Fig. 2 ilustra uma pá 5 de turbina eólica, conforme observada a partir do lado frontal/de pressão 11. A pá 5 de turbina eólica compreende uma borda dianteira 6, uma borda traseira 7, uma ponta 8 e uma raiz 9. Uma pá 5 de turbina eólica conhecida na técnica é tipicamente feita de um compósito de resina e fibra de vidro com reforço de fibra de carbono, madeira reforçada com fibra de carbono ou uma combinação das mesmas.

Uma pá 5 de turbina eólica conhecida na técnica possui um centro elástico que fica mais próximo da borda

dianteira 6 que da borda traseira 7, pelo menos com relação à maioria das peças da pá 5. Se ocorrerem oscilações laterais em uma freqüência idêntica ou próxima da primeira freqüência natural no sentido das bordas das pás, particularmente a borda traseira 7 é dessa forma exposta a um esforço considerável, que sob determinadas condições pode danificar a pá 5 e produzir como resultado rachaduras 10 ao longo da borda traseira 7.

A Fig. 3 é uma ilustração de corte transversal de uma pá 5 de turbina eólica em uma situação de não-estol, conforme observada a partir da raiz 9 da pá 5.

A pá 5 ilustrada na Fig. 3 é uma pá 5 em uma turbina eólica 1 de tipo comum com regulagem de passo, ilustrada durante uma operação normal. Em uma outra configuração poderia igualmente ser uma pá 5 em uma turbina eólica 1 com regulagem ativa de estol, operando com vento de baixa velocidade ou durante o início de operação antes de a pá 5 começar a estolar.

Em uma turbina eólica 1 de passo controlado, o controlador eletrônico das turbinas verifica a potência de saída da turbina 1, por exemplo, várias vezes por segundo. Quando a potência de saída se torna excessivamente elevada, o controlador envia um comando para o mecanismo 13 de controle de passo de pás, que imediatamente altera o passo (gira) as pás 5 do rotor ligeiramente para fora do curso do vento. Similarmente, as pás 5 são novamente voltadas na direção do vento quando o vento cai novamente de

intensidade. Durante a operação normal as pás 5 de uma turbina eólica 1 de passo regulado normalmente somente realizam uma alteração de passo correspondente a uma fração de grau a cada vez - e o rotor 4 estará girando ao mesmo tempo.

A maioria das turbinas eólicas 1 de passo controlado não compreendem meios de detecção 21 para detecção de oscilações ao longo das bordas das pás 5 e portanto não compreendem meios ativos nem para amortecimento nem para eliminação destas vibrações. Quando uma turbina eólica 1 de passo controlado é provida com meios de acordo com a invenção, é dessa forma possível aumentar a produção de saída das pás 5, devido ao fato de ser possível reduzir a margem de segurança para estol, pelo fato de serem providos meios para que a turbina eólica 1 amorteça ou elimine oscilações danosas no sentido das bordas caso estas últimas venham a ocorrer.

Em uma turbina eólica 1 de passo controlado, o controlador irá geralmente alterar ligeiramente o passo das pás 5 sempre que o vento sofrer alterações de forma a manter as pás 5 do rotor no ângulo ideal para maximização de produção de saída para todas as velocidades de vento ou pelo menos até uma determinada velocidade de vento tal como de 25 metros/segundo, quando as pás 5 são feitas girar completamente para fora do vento - tornando a corda C da pá (a linha entre a borda traseira 7 e a borda dianteira 6) substancialmente paralela à direção do vento, fazendo o

rotor 4 parar de rodar ou pelo menos colocando o mesmo em "ponto morto". Esta ação protege as pás 5 de sobrecargas danosas em condições de altas velocidades de vento e esta é uma das razões palas quais as pás 5 de uma turbina eólica 1 de passo controlado pode ser tornada relativamente longa e esbelta, em comparação com as pás 5 de uma turbina eólica 1 com regulagem ativa de estol.

As pás 5 em uma turbina eólica 1 com controle de passo não estolam normalmente durante uma operação normal, devido ao fato de as pás 5 serem submetidas a alteração de passo para evitarem o vento antes que o estol possa ocorrer. Porém sob determinadas circunstâncias podem ocorrer rajadas de vento de forma tão súbita que o meio de controle da turbina 1 não tem possibilidade de reagir com velocidade suficiente e durante um curto período de tempo poderá ocorrer um estol. Estes curtos períodos de estol podem induzir oscilações laterais na pá 5, que podem ser potencialmente muito danosas. Particularmente se estas rajadas ocorrerem ritmicamente a uma freqüência idêntica ou próxima da primeira freqüência natural no sentido das bordas das pás 5 a energia das oscilações laterais poderá sofrer um efeito de acumulação.

A Fig. 4 ilustra uma vista de corte transversal de uma pá 5 de turbina eólica em uma situação de estol, conforme observada a partir da raiz 9 da pá 5.

A pá 5 ilustrada na Fig. 4 é uma pá 5 em uma turbina eólica 1 com regulagem ativa de estol, ilustrada

durante uma operação normal. Em uma outra configuração, a mesma poderá igualmente constituir uma pá 5 de uma turbina eólica 1 com regulagem de passo, ilustrada durante uma súbita rajada de vento que cria uma situação de estol indesejável.

Tecnicamente uma turbina eólica 1 com controle ativo de estol assemelha-se a uma turbina eólica 1 com controle de passo, no fato de ambas possuírem pás passíveis de controle de passo, e para obtenção de um torque (força de rotação) razoavelmente grande com baixas velocidades de vento, a turbina eólica 1 com controle ativo de estol será normalmente programada para controlar o passo das pás 5 de uma forma muito semelhante à de uma turbina eólica 1 com controle de passo em baixas velocidades de vento. Quando a turbina eólica 1 com controle ativo de estol alcança sua potência nominal, entretanto, nota-se uma importante diferença com relação às turbinas eólicas 1 com controle de passo: Se o gerador estiver prestes a entrar em sobrecarga, a turbina eólica 1 com controle ativo de estol irá alterar o passo de suas pás 5 na direção oposta à de uma turbina eólica 1 com controle de passo. Em outras palavras, irá aumentar o ângulo de ataque das pás 5 do rotor para fazer as pás 5 entrarem em um estol mais profundo, dessa forma desperdiçando o excesso de energia no vento. Em altas velocidades de vento as pás 5 de uma turbina eólica 1 com controle ativo de estol serão portanto capazes de suportar uma carga extrema muito mais elevada que as pás 5 de uma

turbina eólica 1 com controle de passo, tanto para impedir que as pás 5 se quebrem quanto para impedir uma deflexão das pás 5 que acarretaria um risco de as mesmas atingirem a torre 2. As pás 5 de uma turbina eólica 1 com controle ativo de estol são portanto tornadas mais robustas e pesadas que as pás 5 de uma turbina eólica 1 com controle de passo.

Adicionalmente, o estol cria ruído e para reduzir a emissão de ruído da turbina eólica 1 com controle ativo de estol, o rotor 4 roda mais lentamente que o rotor 4 de uma turbina eólica 1 com controle de passo. As pás 5 de uma turbina eólica 1 com controle ativo de estol têm portanto que ser maiores e mais largas para utilizarem com eficiência a energia do vento.

Uma das vantagens das turbinas eólicas 1 com controle ativo de estol em comparação com as turbinas eólicas 1 com controle passivo de estol consiste no fato de a saída de potência poder ser controlada com maior precisão, para evitar ultrapassar a potência nominal da turbina eólica 1 no início de uma rajada de vento. Uma outra vantagem reside no fato de as turbinas eólicas 1 com controle ativo de estol poderem ser operadas quase exatamente à potência nominal em todas as velocidades elevadas de vento pelo menos até uma certa velocidade máxima do vento. Uma turbina eólica 1 com controle passivo de estol de tipo normal sofrerá normalmente uma queda de produção de energia elétrica para velocidades de vento mais

elevadas, quando as pás 5 do rotor entram em estol mais profundo.

A Fig. 5 ilustra uma vista de corte transversal de uma pá 5 de turbina eólica em situação de estol profundo, conforme observada a partir da raiz 9 da pá 5.

A pá 5 ilustrada na Fig. 5 é uma pá 5 em uma turbina eólica 1 com regulagem ativa de estol, ilustrada durante uma operação em velocidades de vento muito elevadas.

Nesta configuração a pá 5 tem seu passo regulado na direção do vento fazendo a mesma estolar e perder substancialmente toda a energia do vento como forma de proteger a turbina eólica 1 de sobrecargas danosas.

A Fig. 6 ilustra uma vista simplificada de corte transversal de uma nacela 3 de uma turbina eólica 1 com regulagem ativa de estol, observada lateralmente. As nacelas 3 existem em múltiplas variações e configurações porém na maioria dos casos o conjunto de acionamento na nacela 3 compreende um ou mais dos seguintes componentes: uma engrenagem 15, um elemento de acoplamento (não ilustrado), algum tipo de sistema de frenagem 16 e um gerador 17. Uma nacela 13 de uma turbina eólica 1 moderna pode igualmente incluir um conversor 18 (também designado como um inversor) e equipamentos periféricos adicionais tais como equipamentos adicionais de processamento de energia, gabinete de controle, sistemas hidráulicos, sistemas de refrigeração e outros mais.

O peso da nacela 3 inteira incluindo os componentes de nacela 15, 16, 17, 18 é suportado por uma estrutura de reforço 19. Os componentes 15, 16, 17, 18 são normalmente dispostos sobre e/ou ligados a esta estrutura 19 comum de suporte de carga. Nesta configuração simplificada a estrutura de reforço 19 estende-se somente ao longo do fundo da nacela 3, por exemplo na forma de uma estrutura de leito 20 à qual alguns ou todos os componentes 15, 16, 17, 18 são acoplados. Em uma outra configuração a estrutura de reforço 19 pode compreender uma engrenagem de campânula que transfere a carga do rotor 4 para a torre 2, ou a estrutura de suporte de carga 19 pode compreender várias peças interligadas tais como em uma estrutura de treliça.

Nesta configuração da invenção o sistema de acionamento é estabelecido em um ângulo em relação a um plano horizontal. O sistema de acionamento é entre outros motivos disposto em ângulo para permitir que o rotor 4 possa ser correspondentemente disposto em ângulo, por exemplo para assegurar que as pás 5 não atinjam a torre 2, para compensar as diferenças de velocidade de vento no topo e no fundo do rotor 4 e por outros motivos.

Nesta configuração da invenção são dispostos meios de detecção 21 na parte traseira da nacela na forma de um acelerômetro 22 acoplado à parte traseira da estrutura de leito 20. Nesta configuração o acelerômetro 22 é montado de tal forma que quaisquer oscilações horizontais ou substancialmente horizontais da nacela - provenientes de

oscilações laterais das pás - serão detectadas.

As oscilações laterais das pás 5 fazem a nacela 3 oscilar ligeiramente em torno do centro da torre, por exemplo, em uma direção de guinada, e é por este motivo que estas oscilações podem ser detectadas de forma relativamente confiável na parte traseira da nacela 3. As freqüências típicas das oscilações laterais (primeira freqüência natural) situam-se no intervalo de 0,9 - 1,8 Hz. Como exemplo as freqüências de oscilações laterais para algumas turbinas eólicas da marca Vestas são: V90: 1,45 Hz, V100: 1,08 Hz, e V120: 1,00 Hz.

Em uma outra configuração da invenção os meios de detecção podem consistir em outros tipos de sensores diversos de acelerômetros 22 - tais como microfones, manômetros de tensão, fibras óticas ou outros, podendo ser dispostos diferentemente na nacela 3, ou os meios de detecção 21 podem ser dispostos fora da nacela 3 tal como no cubo ou em uma ou mais das pás 5.

Os meios de detecção 21 nesta configuração da invenção são ligados aos meios de controle 25. Se forem detectadas oscilações laterais ("edgewise oscillations") das pás 5 ou se forem detectadas oscilações laterais acima de um determinado nível, os meios de controle 25 podem iniciar a alteração de passo das pás 5.

Conforme foi anteriormente explicado as pás 5 de uma turbina eólica 1 com regulagem ativa de estol ou uma turbina eólica com regulagem de passo são providas com um

mecanismo de controle de passo 13. Na configuração ilustrada as pás 5 da turbina eólica 1 são acopladas ao cubo através de rolamentos de passo 23, permitindo que as pás 5 possam rodar em torno de seus eixos geométricos longitudinais.

Nesta configuração o mecanismo de passo 13 compreende meios para rotação das pás na forma de atuadores lineares 24 acoplados ao cubo e às respectivas pás 5. Em uma configuração preferencial os atuadores lineares 24 consistem em cilindros hidráulicos. Em uma outra configuração o mecanismo de controle de passo 13 pode compreender motores escalonadores ou outros meios para rotação das pás 5.

Nesta configuração o meio de controle 25 é disposto no cubo porém em uma configuração mais preferencial o meio de controle 25 seria disposto na nacela 3, na torre 2, em um compartimento vizinho ou em outro lugar, por exemplo na mesma localização do meio de controle de passo geral (não ilustrado) para controle do passo relativamente à carga ou potência ou até mesmos integrado neste meio de controle geral de passo.

Nesta configuração os meios de controle são ligados aos atuadores lineares 24 para controle do ângulo de passo das pás 5 em resposta às medições dos meios de detecção 21.

Se a magnitude das oscilações laterais - detectada pelo acelerômetro 22 na nacela 3 - for superior a um determinado nível tal como 0,35 metros/segundo, os meios de

controle 25 fornecem um sinal assegurando que todas as pás 5 se encontram em situação de passo controlado, por exemplo, 6,5° e uma direção que reduz a capacidade das pás 5 para "absorverem" a energia do vento, isto é, as pás encontram-se voltadas em uma direção que faz com que a corda C da pá fique mais paralela com a direção do vento relativo em uma turbina eólica 1 de passo controlado e em uma direção que torna a corda C da pá mais perpendicular à direção do vento relativo em uma turbina eólica 1 com controle ativo de estol.

Em uma outra configuração da invenção os meios de detecção 21 podem ser dispostos nas pás 5, permitindo que a magnitude das oscilações laterais seja detectada individualmente para cada pá 5. Desta forma é igualmente tornado possível que somente uma pá 5 específica ou pás 5 específicas que oscilam acima de um nível previamente determinado tenham seu passo alterado.

Em uma configuração da invenção as pás 5 são feitas retornar para sua posição original ou substancialmente para sua posição original, imediatamente ou após um período de tempo específico previamente determinado, porém em uma configuração preferencial as pás 5 são feitas retornar quando os meios de detecção 21 detectam que a magnitude das oscilações decresceu novamente para um nível inferior a um determinado nível previamente definido.

Se as oscilações laterais não forem eliminadas ou tiverem decrescido para um nível inferior a um nível

previamente determinado dentro de um período de tempo previamente determinado os meios de controle 25 irão produzir um alarme. Similarmente, se as oscilações laterais continuarem a crescer em magnitude - mesmo apesar de os meios de controle 25 terem enviado um sinal para alterar o passo das pás 5 - é enviado um sinal de alarme.

A invenção foi exemplificada acima com referência a exemplos específicos de turbinas eólicas 1, meios de detecção 21, métodos para amortecimento de oscilações laterais e outros. Entretanto, deverá ser entendido que a invenção não se encontra limitada aos exemplos específicos descritos acima podendo ser projetada e alterada em uma multiplicidade de variedades no âmbito do escopo da invenção conforme especificado nas reivindicações.

Lista

1. Turbina eólica
2. Torre
3. Nacela
4. Rotor
5. Pá
6. Borda dianteira ou de ataque
7. Borda traseira
8. Ponta
9. Raiz
10. Rachadura
11. Lado de pressão
12. Lado de sotavento

13. Mecanismo de passo

14.

15. Engrenagem

16. Sistema de frenagem

17. Gerador

18. Conversor

19. Estrutura de reforço

20. Estrutura de leito

21. Meios de detecção

22. Acelerômetro

23. Mancal de passo

24. Atuador

25. Meios de controle

C. Corda

- REIVINDICAÇÕES -

1. TURBINA EÓLICA, compreendendo um rotor (4) incluindo uma ou mais pás (5) passíveis de alteração de passo, e meios de detecção (21) para detecção de oscilações laterais ("edgewise oscillations") em uma ou mais das referidas pás (5), caracterizada por a referida turbina eólica (1) compreender meios de controle (25) para alteração do ângulo de passo de uma ou mais das referidas pás (5) se os referidos meios de detecção (21) detectarem oscilações laterais em uma ou mais das referidas pás (5), dessa forma amortecendo ou eliminando as referidas oscilações laterais.

2. Turbina eólica, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por os referidos meios de controle (25) compreenderem meios para alteração do passo das referidas pás (5) em uma direção que reduz a sustentação aerodinâmica das referidas pás (5) durante a operação normal, se os referidos meios de detecção (21) detectarem oscilações laterais em uma ou mais das referidas pás (5).

3. Turbina eólica, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 e 2, caracterizada por os referidos meios de controle (25) compreenderem meios para alteração do ângulo de passo de todas as pás (5) do referido rotor (4) de forma substancialmente idêntica, caso os referidos meios de detecção (21) detectem oscilações laterais em uma ou mais das referidas pás (5).

4. Turbina eólica, de acordo com qualquer uma das

reivindicações 1 a 3, caracterizada por os referidos meios de detecção (21) consistirem em um ou mais sensores de oscilação dispostos em uma nacela (3) da referida turbina eólica (1).

5. Turbina eólica, de acordo com a reivindicação 4, caracterizada por os referidos sensores de oscilação consistirem em um ou mais acelerômetros (22) acoplados à estrutura de reforço (19) da referida nacela (3).

6. Turbina eólica, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizada por os referidos meios de controle (25) compreenderem meios para alteração do referido ângulo de passo de uma ou mais das referidas pás (5) entre 0,5° e 30°, preferencialmente entre 2° e 15° e mais preferencialmente entre 3° e 8° caso os referidos meios de detecção (21) detectem oscilações laterais em uma ou mais das referidas pás (5).

7. Turbina eólica, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizada por os referidos meios de controle (25) compreenderem meios para promoverem o retorno da(s) referida(s) uma ou mais pá(s) (5) para sua(s) posição(ões) original(ais) de ângulo de passo, quando os referidos meios de detecção (21) detectarem que a magnitude das referidas oscilações laterais é inferior a um nível previamente definido.

8. Turbina eólica, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizada por os referidos meios de controle (25) compreenderem meios para somente alterarem

o ângulo de passo de uma ou mais das referidas pás (5) se as referidas oscilações laterais detectadas apresentarem um valor acima de um nível previamente definido.

9. Turbina eólica, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizada por os referidos meios de controle (25) compreenderem adicionalmente um temporizador para produção de um sinal de alarme se a magnitude das referidas oscilações laterais não tiver caído abaixo de um nível previamente definido dentro de um período de tempo previamente definido.

10. MÉTODO PARA AMORTECIMENTO DE OSCILAÇÕES LATERAIS EM UMA OU MAIS PÁS DE UMA TURBINA EÓLICA, o referido método sendo caracterizado por compreender as etapas de

- detecção para determinar se uma ou mais das referidas pás (5) oscila lateralmente, e
- alteração do ângulo de passo de uma ou mais das referidas pás (5) se forem detectadas oscilações laterais em uma ou mais das referidas pás (5).

11. Método, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por o referido ângulo de passo das referidas uma ou mais pás (5) somente ser alterado se a magnitude das referidas oscilações laterais for superior a um nível previamente definido em uma ou mais das referidas pás (5).

12. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 10 e 11, caracterizado por a(s) referida(s) uma ou mais pá(s) (5) ser(em) feita(s) retornar para sua(s)

posição(ões) de ângulo de passo original(ais), quando a magnitude das referidas oscilações laterais tiver decrescido para um valor inferior a um nível previamente determinado.

13. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 10 a 12, caracterizado por os ângulos de passo de todas as referidas pás (5) da referida turbina eólica serem alterados de forma substancialmente idêntica se forem detectadas oscilações laterais em uma ou mais das referidas pás (5).

14. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 10 a 13, caracterizado por ser criado um sinal de alarme se a magnitude das referidas oscilações laterais não tiver caído para um nível inferior a um nível previamente determinado dentro de um período de tempo previamente determinado.

15. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 10 a 14, caracterizado por as referidas pás (5) terem seu passo alterado em uma direção que reduz a sustentação aerodinâmica das referidas pás (5) durante a operação normal, se os referidos meios de detecção (21) detectarem oscilações laterais em uma ou mais das referidas pás (5).

16. USO DO MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 10 a 15, caracterizado por a referida turbina eólica (1) consistir em uma turbina eólica (1) do tipo de controle ativo de estol compreendendo meios para

detecção de oscilações laterais.

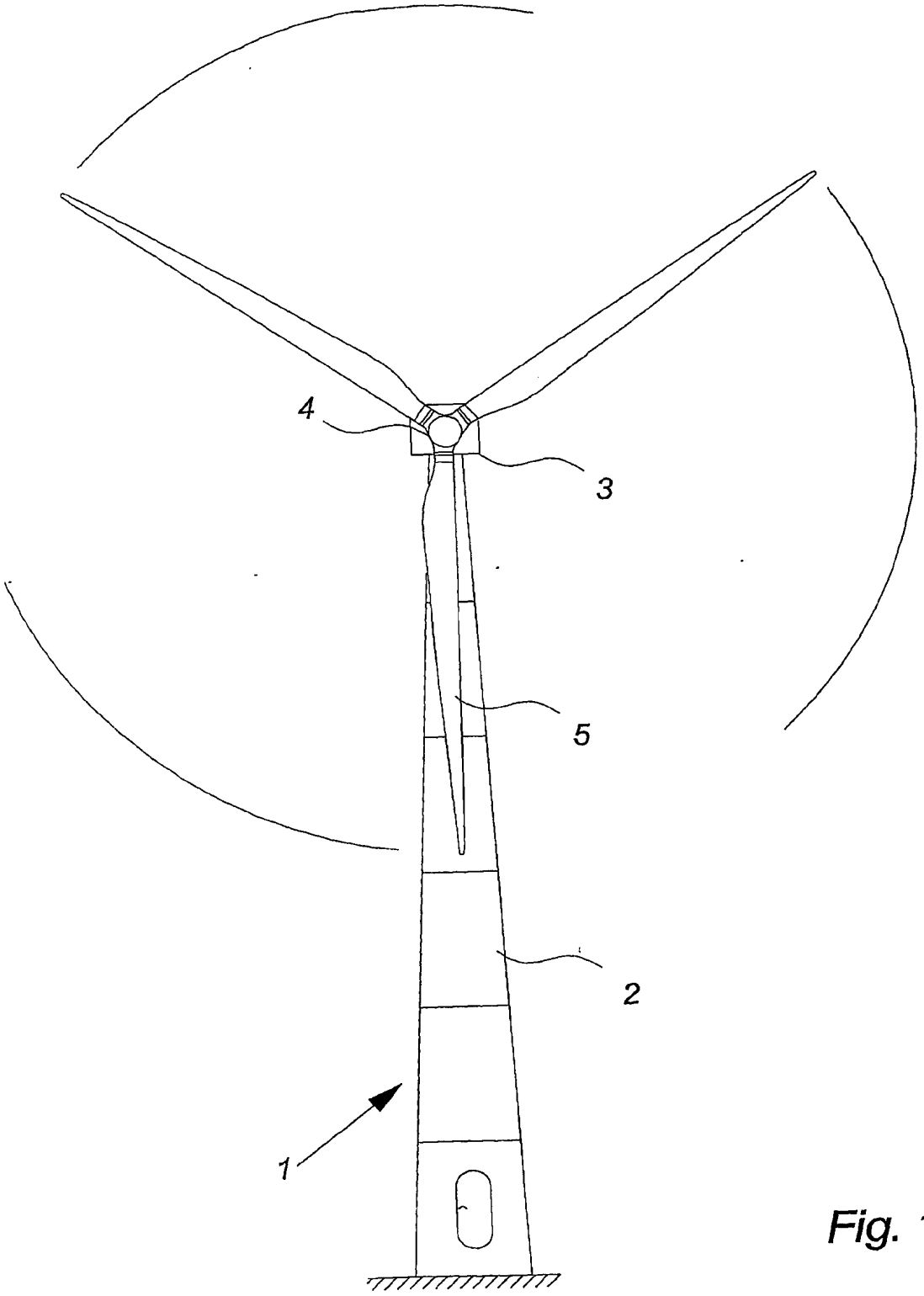


Fig. 1

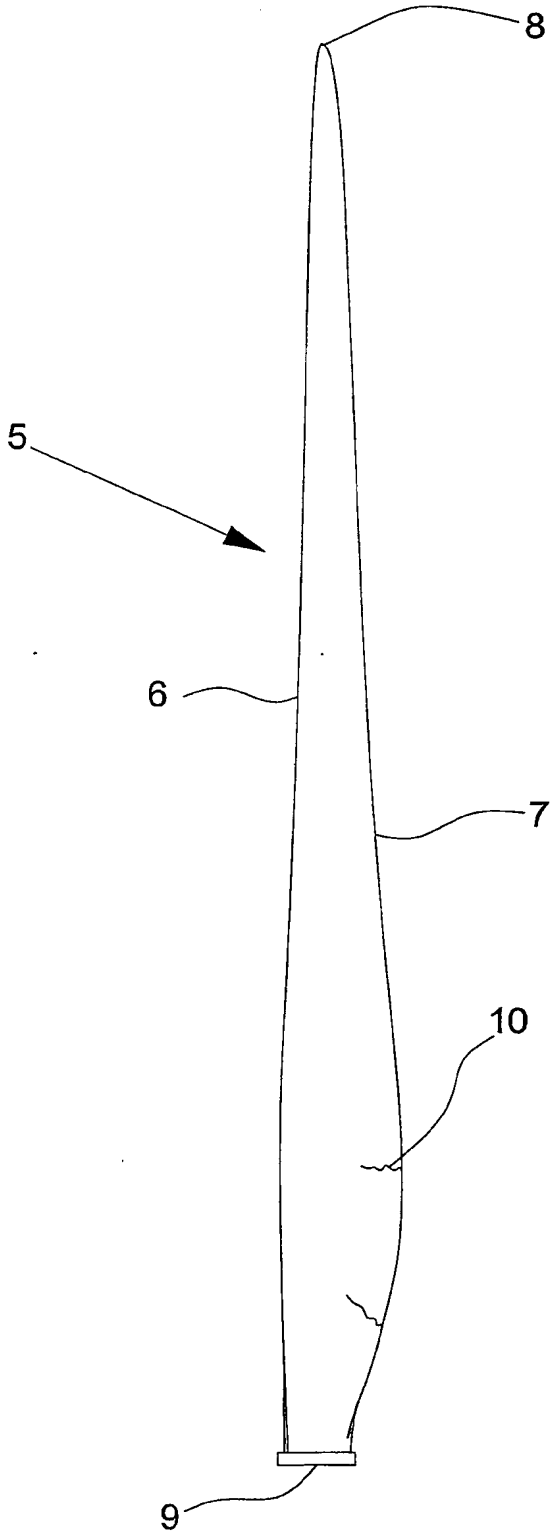


Fig. 2

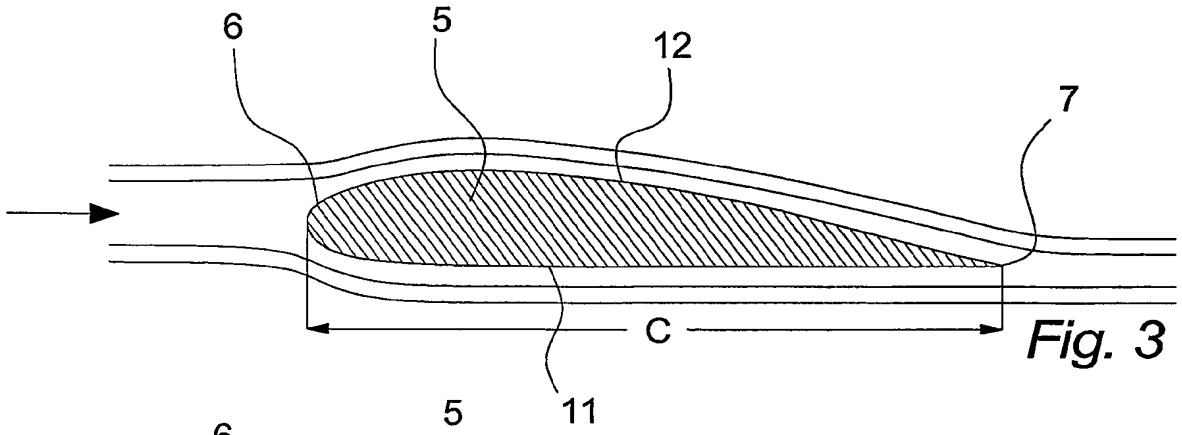


Fig. 3

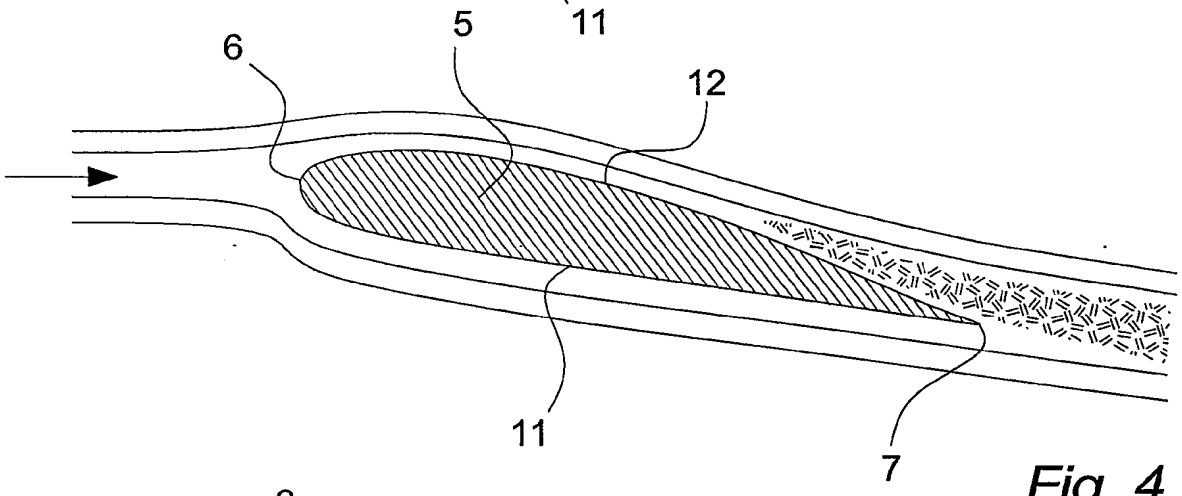


Fig. 4

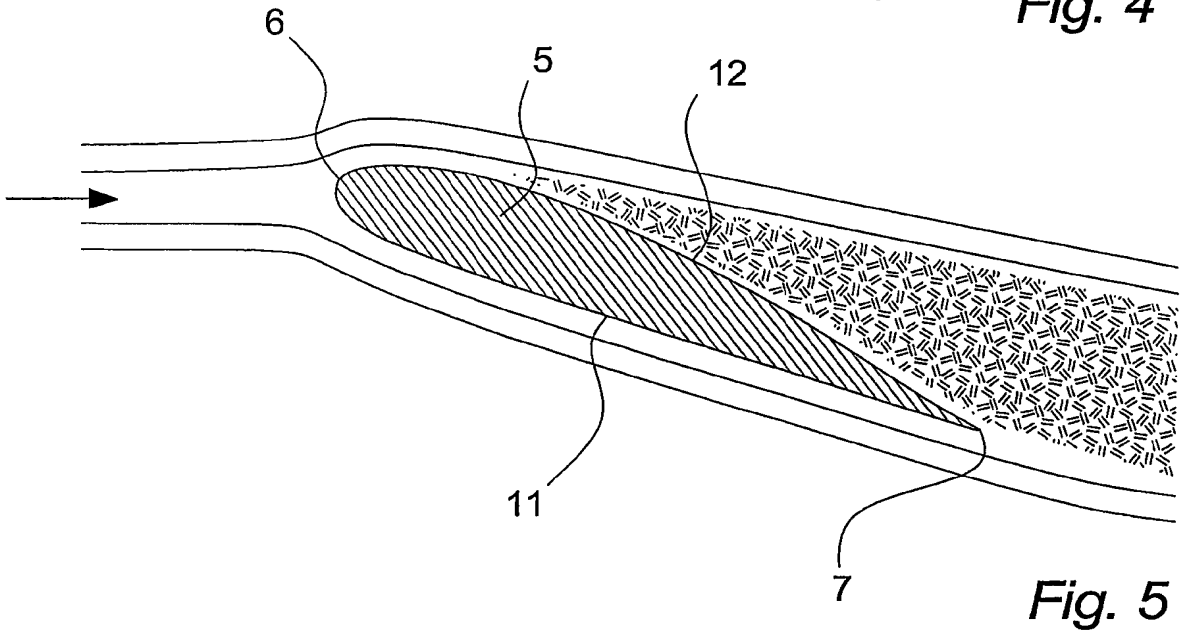


Fig. 5

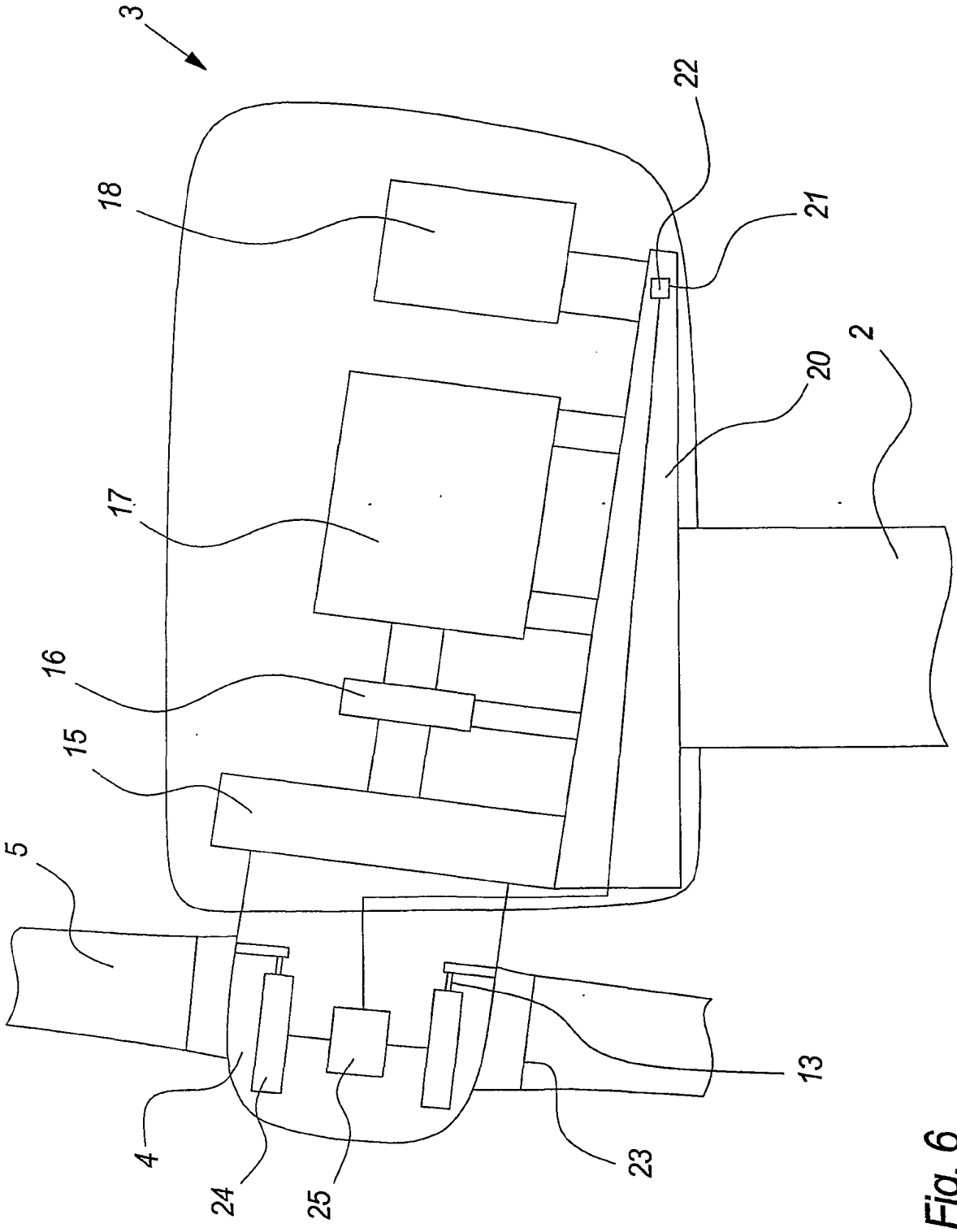


Fig. 6

- RESUMO -

TURBINA EÓLICA, MÉTODO PARA AMORTECIMENTO DE OSCILAÇÕES LATERAIS EM UMA OU MAIS PÁS DE UMA TURBINA EÓLICA, E USO DO MÉTODO

Trata-se de uma turbina eólica (1) compreendendo um rotor (4) incluindo uma ou mais pás (5) passíveis de controle de passo, e meios de detecção (21) para detecção de oscilações laterais ("edgewise oscillations") em uma ou mais das referidas pás (5). A turbina eólica (1) é caracterizada pelo fato de a turbina eólica (1) compreender meios de controle (25) para alteração do ângulo de passo de uma ou mais das pás (5) se os meios de detecção (21) detectarem oscilações laterais em uma ou mais das pás (5), dessa forma amortecendo ou eliminando as oscilações laterais. São igualmente descritos um método para amortecimento de oscilações laterais em uma ou mais pás (5) de uma turbina eólica (1), e o uso respectivo.