



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

(11) BR 112015031591-7 B1



(22) Data do Depósito: 09/06/2014

(45) Data de Concessão: 11/10/2022

(54) Título: MEDIÇÃO DE CAMPO DE VELOCIDADE DE FLUIDO DE TURBINA

(51) Int.Cl.: G01S 17/58; G01S 17/95; G01P 5/26; F03D 7/04.

(30) Prioridade Unionista: 30/06/2013 GB 1311711.4.

(73) Titular(es): WIND FARM ANALYTICS LTD.

(72) Inventor(es): THEODORE HOLTOM.

(86) Pedido PCT: PCT GB2014051770 de 09/06/2014

(87) Publicação PCT: WO 2015/001301 de 08/01/2015

(85) Data do Início da Fase Nacional: 16/12/2015

(57) Resumo: MEDIÇÃO DE CAMPO DE VELOCIDADE DE FLUIDO DE TURBINA. Trata-se de um método de velocimetria de Doppler tridimensional aplicável a turbinas, tais como turbinas eólicas, que alcança velocimetria aperfeiçoada através de uso de várias geometrias possíveis de feixe convergente e emprega fontes de feixe montadas na turbina tais como em uma nacela de turbina eólica, eixo de rotor ou pás de rotor.

“MEDIÇÃO DE CAMPO DE VELOCIDADE DE FLUIDO DE TURBINA”

[0001] A presente revelação se refere à medição de campo de velocidade de fluido de turbina e, em particular, a novos sistemas e métodos para medição de velocimetria de Doppler de um campo de velocidade de fluido.

ANTECEDENTES

[0002] Uma turbina é uma máquina que compreende um elemento rotatório que se move sob pressão de fluxo de fluido para gerar trabalho útil que é normalmente a geração de eletricidade. O fluido pode ser gás ou líquido ou outras fases não sólidas. Um exemplo de uma turbina é uma turbina eólica. Quando uma turbina eólica é mencionada na presente revelação, o fluido referido é o ar, e vento é o fluxo de ar. As turbinas eólicas são comumente de eixo geométrico horizontal ou eixo geométrico vertical, embora outros tipos de projeto tenham sido propostos. A presente revelação pode se aplicar a qualquer tipo de turbina.

[0003] Uma turbina eólica de eixo geométrico horizontal é bem conhecida para um indivíduo versado na técnica. O método de anemometria de Doppler é também bem conhecido para um indivíduo versado na técnica. Será verificado que sistemas de anemometria de Doppler LIDAR (Detecção e Medida de Alcance por Luz) podem empregar feixes de laser pulsados de porta de faixa ou alternativamente feixes de laser de onda contínua focada (CW), que tipicamente emprega ópticas de emissor e receptor localizadas substancialmente juntas, a fim de medir componentes de velocidade de extensão radial ao longo da direção de feixe de laser.

[0004] Será verificado que ópticas de emissor e receptor não necessitam necessariamente ser localizadas substancialmente juntas e que configurações biestáticas podem empregar ópticas de emissor e receptor substancialmente deslocadas uma da outra.

[0005] Um indivíduo versado na técnica está

familiarizado com o projeto de turbina eólica de eixo geométrico horizontal incluindo um alojamento de nacela montado no topo de uma torre vertical e que contem um eixo de rotação de eixo geométrico quase horizontal acionado por um sistema de rotor preso à nacela em um eixo a partir do qual se projetam uma pluralidade de pás projetadas de modo aerodinâmico. Um indivíduo versado também está familiarizado com sistemas de controle de passo que podem girar ou arfar as pás através de diferentes ângulos ao redor dos eixos geométricos longitudinais das mesmas que radiam lateralmente a partir do eixo geométrico de trem de acionamento quase horizontal. Sabe-se que tais sistemas podem incluir um eixo de velocidade baixa, caixa de engrenagens e um ou mais geradores de acionamento de eixos de velocidade alta ou, alternativamente, que o sistema pode ser de tipo de acionamento direto sem a necessidade de caixa de engrenagens e eixo de alta velocidade. Alternativamente, sabe-se também que projetos de trem de acionamento hidráulico podem ser implantados dentro de uma turbina eólica. Um indivíduo versado na técnica está familiarizado com projetos em que o alojamento de nacela pode ser acionado para girar ou guinar ao redor de um eixo geométrico vertical de modo que o eixo geométrico de rotor se alinhe substancialmente com a direção de vento e a turbina possa ser acionada para se voltar em direção ao vento ou em direção contrária ao mesmo. Será verificado que todos os tipos de trem de acionamento supramencionados fazem uso de sistemas de controle dependentes de medições de velocidade de vento e direção de vento e que o método de medição usual atualmente empregado faz uso de palheta eólica ou instrumentos de anemometria montados na nacela de turbina eólica.

[0006] Os sistemas LIDAR ou anemometria de Doppler atuais montados em nacela para turbinas eólicas de eixo geométrico horizontal experimentam apenas a velocidade de vento de linha de visão radial em um determinado ponto. Entretanto, a variação de campo de velocidade de vento tridimensional é significativa para a operação de uma turbina eólica. As técnicas atuais coletam informações de componente de velocidade de vento

através de uso de uma pluralidade de feixes divergentes, mas isso resulta em coleta de diferentes componentes de velocidade em pontos bastante separados no campo de vento incidente. As técnicas atuais podem concluir que o campo de velocidade de vento é substancialmente paralelo e uniforme. Visto que é bem conhecido que a variação substancial no campo eólico é possível através de uma área vasculhada de rotor de turbina eólica, essa suposição de uniformidade ou média do campo eólico leva a uma degradação de resolução de informações e elimina a possibilidade de medição detalhada de um campo de vetor de velocidade de vento variável.

[0007] A medição de intensidade de turbulência em um ponto no espaço dentro de um determinado período de média de tempo, definido como o desvio padrão de amostras de velocidade de vento divididas pela média das amostras de velocidade de vento dentro do período de média de tempo, também será submetida a erro de medição aumentado quando componentes de velocidade são amostrados não no ponto de medição pretendido, mas substancialmente deslocados do ponto de medição pretendido. O desvio padrão é, então, calculado sobre uma população de dados que se estende no espaço bem como ao longo do período de média de tempo. Nota-se que anemometria ultrassônica ou de copo giratório clássica envolve a coleta de dados substancialmente em um único ponto no espaço.

[0008] Vários sistemas de medição têm sido propostos, no documento n° US2012/0051907 (ROGERS); n°GB2477529 (VESTAS); n° EP1460266 (MITSUBISHI); n° WO2011/096928 (CATCH THE WIND); n° US2012/0274937 (HAYS); e US2013/0162974 (DAKIN); mas todos esses sofrem de uma ou mais desvantagens.

[0009] Portanto, um novo sistema de medição de velocidade de fluido seria benéfico.

SUMÁRIO DA REVELAÇÃO

[0010] De acordo com um primeiro aspecto da revelação, é fornecido um sistema de medição que compreende:

[0011] uma pluralidade de fontes de feixe montadas em uma turbina e dispostas de modo que os feixes das fontes de feixe entrecruzem em um ponto de medição;

[0012] um ou mais receptores para medir um deslocamento de Doppler de feixes refletidos ou dispersos; um processador para determinar uma velocidade de fluido no ponto de medição com base no deslocamento de Doppler medido.

[0013] De acordo com um segundo aspecto da revelação, é fornecido um método de medição que compreende:

[0014] emitir feixes de uma pluralidade de fontes de feixe em uma turbina de modo que os feixes das fontes de feixe entrecruzem em um ponto de medição;

[0015] receber um deslocamento de Doppler de feixes refletidos ou dispersos; e

[0016] determinar uma velocidade de fluido no ponto de medição com base no deslocamento de Doppler medido.

[0017] Os recursos a seguir podem se aplicar, em geral, tanto ao sistema ou ao método. Quando números inteiros de aparelho são citados, entende-se que um método para fornecer e/ou usar esses recursos é contemplado. Da mesma maneira, quando as etapas de método são citadas, entende-se que os números inteiros de aparelho que têm a capacidade de realizar as etapas de método ou que realizam as etapas de método em uso são contemplados.

[0018] Um "ponto" será, em prática, uma região de intersecção que tem um tamanho definido pelo tamanho lateral ou divergência dos feixes, bem como a extensão longitudinal do foco dos mesmos em caso de

[0019] Os feixes de laser de Onda Contínua (CW), ou a extensão longitudinal do comprimento de pulso dos mesmos e extensões de porta de faixa em caso de sistemas de laser com porta de faixa pulsados.

[0020] Uma fonte de feixe pode ser qualquer coisa

que emite um fluxo unidirecional estreito de radiação eletromagnética, partículas ou energia.

[0021] Velocidade é uma quantidade tridimensional, velocidade de vento tanto em planos horizontal e vertical pode ser medida, ou de fato em qualquer outro quadro de referência em três dimensões.

[0022] Opcionalmente, o ponto de medição é a montante da turbina em relação à direção de fluxo de um fluido que aciona a turbina.

[0023] Opcionalmente, um fator de correção é aplicado a uma velocidade de Doppler medida para levar em conta qualquer estatística de relação conhecida que indica uma diferença na velocidade de fluido com uma velocidade de partículas inserida no fluido.

[0024] Opcionalmente, a turbina é uma turbina eólica.

[0025] Opcionalmente, a turbina eólica é uma turbina eólica de eixo geométrico horizontal.

[0026] Opcionalmente, uma ou mais fontes de feixe são montadas sobre ou em um alojamento de nacela.

[0027] Opcionalmente, uma ou mais fontes de feixe são montadas sobre ou em uma estrutura fixa que se estende a partir do alojamento de nacela.

[0028] Opcionalmente, ângulo de guinada de nacela e curvatura de torre/nacela são levadas em conta para propósito de precisão de direção de feixe e/ou para calibrar as medições obtidas pelo receptor.

[0029] Opcionalmente, uma ou mais fontes de feixe são montadas sobre ou em um eixo de rotor.

[0030] Opcionalmente, uma ou mais fontes de feixe são montadas sobre ou em uma estrutura fixa que se estende a partir do eixo de rotor.

[0031] Opcionalmente, a estrutura fixa compreende

um invólucro que se estende a partir do eixo e cerca a haste de pá.

[0032] O invólucro pode ser cilíndrico e pode ou não incluir um ou mais mancais que retém o mesmo no lugar em relação à haste de pá interior que pode girar (passo) livremente dentro do invólucro e/ou mancal(s).

[0033] Opcionalmente, ângulo de rotação de rotor é levado em conta para propósito de precisão de direção de feixe.

[0034] Opcionalmente, uma ou mais fontes de feixe são montadas sobre ou em uma ou mais pás de rotor.

[0035] Opcionalmente, as fontes de feixe são montadas na pá por meio de tiras, parafusos, junta de travamento, fixador magnético ou agente de aglutinação.

[0036] Será verificado que outros métodos de montagem podem ser empregados se desejado.

[0037] Opcionalmente, uma ou mais fontes de feixe são montadas sobre ou em uma estrutura fixa que se estende a partir de uma ou mais pás de rotor.

[0038] Opcionalmente, a turbina eólica emprega pás de rotor que compreendem uma primeira porção de arfagem montada em uma segunda porção de extensão de pá de não arfagem e uma ou mais fontes de feixe são montadas nas ditas segundas porções de extensão de pá de não arfagem em um raio de um eixo geométrico de rotor principal que é maior do que a extensão radial do eixo de rotor.

[0039] Isso aumenta uma separação de linha de base das fontes de feixe com base em rotor que não são, desse modo, afetadas por passo de pá, enquanto as pás podem arfar conforme necessário além das seções de extensão fixas.

[0040] Opcionalmente, as pás de rotor compreendem uma pluralidade de seções de arfagem de modo independente.

[0041] Opcionalmente, as pás de rotor compreendem

uma seção interna que não realiza arfagem.

[0042] Opcionalmente, variação de passo de pá é levada em conta para propósito de precisão de direção de feixe.

[0043] Opcionalmente, uma pluralidade de pares de receptor e fonte de feixe dispostos juntos são fornecidos.

[0044] Opcionalmente, o sistema compreende adicionalmente uma ou mais fontes de feixe de localização fixa distanciadas da turbina.

[0045] Opcionalmente, as fontes de feixe são fornecidas em uma pluralidade de turbinas e têm os feixes das mesmas direcionados de modo independente de modo que os mesmos convirjam ou entrecruzem no ponto de medição.

[0046] Opcionalmente, o sistema compreende adicionalmente uma ou mais fontes de feixe posicionadas em veículos remotos tais como veículos aéreos não tripulados.

[0047] Opcionalmente, o sistema compreende um sistema de controle para as fontes de feixe que é disposto para selecionar feixes particulares que melhor proporcionam si próprios para fornecer amostras em posições particulares sem ser entrecruzadas pela passagem das pás de rotor, nacela ou torre, permitindo, desse modo, medição ininterrupta e liberando quaisquer feixes alternativos a fim de que os mesmos possam ser simultaneamente empregados em posições de medição alternativa.

[0048] Opcionalmente, o método de varredura de feixe pode mudar de acordo com um estado operacional da turbina permitindo a possibilidade de empregar a rotação das pás de rotor para varredura de feixe quando o rotor gira, mas comutando para um modo de medição alternativa quando o rotor para de girar.

[0049] O rotor pode parar de girar com muito pouco vento ou quando a turbina está em um estado de manutenção ou desligado.

[0050] Opcionalmente, o sistema compreende meio

de direção de feixe que pode ser controlado para variar o ponto de medição.

[0051] Opcionalmente, o sistema compreende um sistema de controle que fornece sinais necessários para os sistemas de deflexão ou direção de feixe individual, com base em um ou mais dentre: conhecimento de entrada de sensor e cálculo de posições relativas de fontes, informações de alinhamento e orientação de componente, posição relativa e velocidade de estruturas de referência de passo de pá e rotor geográfica, ângulos de guinada, ângulo de rotor, ângulos de passo de pá, velocidade de rotor, velocidade de vento e/ou direção de vento.

[0052] Opcionalmente, uma fonte de feixe ou janela de fonte de feixe se projeta minimamente a partir de, é moldada dentro ou incluída dentro da nacela de turbina eólica, eixo de rotor, pás ou outros componentes.

[0053] Isso significa que a fonte de feixe tem impacto mínimo na aerodinâmica dos componentes de turbina eólica.

[0054] Opcionalmente, as fontes de feixe são dispostas para medir um campo de velocidade de fluido em uma sucessão de amostragem ou pontos de medição a fim de fornecer amostras de dados que indicam a variação espacial do campo de velocidade de fluido ou as características do mesmo.

[0055] Opcionalmente, uma sucessão de medições de velocidade de Doppler que empregam feixes de intersecção são separadas espacial e/ou temporalmente e são combinadas a fim de caracterizar o campo de velocidade de fluido em termos de campo de intensidade de turbulência, campo de desvio de fluido horizontal ou vertical, campo de cisalhamento de fluido horizontal ou vertical, ângulo de campo de inclinação, campos de componente de fluido horizontal, lateral ou vertical, rajadas ou quaisquer outros recursos do campo de velocidade de fluido.

[0056] Opcionalmente, as medições são analisadas para derivar um valor de densidade de fluido.

[0057] Medir e levar em conta a densidade de fluido podem ter uma variedade de possíveis aplicações - a densidade de fluido governa a massa de fluido que passa em um rotor de turbina por segundo que relates à energia cinética total que passa através da turbina por segundo, isto é, a potência total disponível no fluido; um sistema de medição de Doppler mede velocidade de fluido, mas também pode ter a capacidade de

[0058] medir a densidade de fluido de acordo com a intensidade dos sinais refletidos de moléculas de fluido ou outras partículas. Então, essas informações (campo de velocidade de fluido, campo de densidade em combinação com potência medida de transformadores de corrente e tensão da turbina) podem fornecer eficiência de potência de turbina, e para turbinas eólicas, em particular, curvas de potência de média de rotor, previsões de torque/arrasto/elevação aerodinâmica. As medições de densidade podem ser úteis para medir um campo de intensidade de turbulência, campo de inclinação de fluxo e outros parâmetros.

[0059] Opcionalmente, as medições de velocidade sucessivas são empregadas a fim de produzir medições de aceleração de fluido, ou derivados de tempo maior de deslocamento de vetor permitindo que a medição de campo de aceleração de fluido seja empregada por sistemas de controle de turbinas que operam dentro de um fluido.

[0060] Opcionalmente, o ponto de medição é distanciado do plano de rotor de turbina por pelo menos uma distância mínima que é determinada com base na quantidade de tempo que sistemas de atuação de turbina levam para mover um componente de turbina por uma determinada quantidade; e em que a dita distância mínima é ajustada de modo dinâmico com base na velocidade de fluido medida.

[0061] Opcionalmente, informações reunidas são usadas para análise de diagnóstico em uma turbina ou aparelho sendo operado dentro ou em um fluido, a fim de identificar condições de desempenho aperfeiçoado ou piorado.

[0062] Opcionalmente, velocimetria de fluido é usada em combinação com outros instrumentos, tais como equipamento de monitoramento de condição a fim de auxiliar a identificação de mudança na condição de componentes de turbina ou distinguir entre sinais de monitoramento de condição que surgem devido a condições de fluido anormais daqueles devido à condição de componente alterada.

[0063] Opcionalmente, os dados de velocimetria são fornecidos a um sistema de controle de turbina a fim de fornecer uma medição de direção de fluido ou velocidade de fluido alternativa para substituir, alternar com ou aumentar medições de direção de fluido local ou velocidade de fluido local feitas por instrumentos montados na turbina.

[0064] As medições de velocidade de fluido local ou direção de fluido podem, por exemplo, compreender anemômetros, palhetas eólicas ou outros componentes montados em uma nacela de uma turbina eólica.

[0065] Opcionalmente, a turbina é uma turbina eólica e um sistema de controle é disposto para combinar os dados de velocimetria com entradas de sensores adicionais que coletam um ou mais dentre: dados operacionais de turbina eólica, dados de desempenho de potência, dados de condições de vento, dados de ruído, dados de monitoramento de condição, dados de vibração, dados de momento de curvatura de pá ou dados de momento de curvatura de torre.

[0066] Isso pode aperfeiçoar controle de turbina eólica, ou alimentar em e informar projeto de turbina eólica aperfeiçoado, por razões de segurança aprimorada, desempenho de potência, campo de energia, saída, controle de ruído, integridade de componente, integridade de sistema, tempo de vida de componente ou tempo de vida de sistema.

[0067] Opcionalmente, o sistema de controle emprega os dados disponíveis a fim de calcular e atuar parâmetros de controle de turbina alterados.

[0068] Esses parâmetros de controle de turbina podem incluir, por exemplo, configurações de passo de pá coletivas ou independentes ou ângulos de guinada de nacela. Há centenas de possíveis parâmetros de controle de turbina e configurações de controle que podem ser alterados.

[0069] Opcionalmente, uma pluralidade de fontes de feixe transmitem em frequências diferentes, frequências de repetição de pulso ou com diferentes características de polarização a fim de distinguir entre medições de componente de Doppler separadas em espaço ou tempo.

[0070] Opcionalmente, uma determinada frequência de feixe ou frequência de repetição de pulso é do tipo chirp ou variada de outra maneira no tempo de modo que retornos de Doppler detectados possam ser diferenciados.

[0071] Opcionalmente, dados de velocimetria são empregados para fornecer mapeamento de campo de vento, que pode ser usado para prever saída de parque eólico para propósito de gerenciamento de rede ou para propósito de controle de armazenamento de energia ou para gerenciamento de cogeração através do qual a saída de parque eólico é combinada com a saída de outro gerador, um possível objeto sendo para entregar predição/previsão de potência precisa para propósito de gerenciamento de rede de eletricidade ou comercialização de energia.

[0072] Opcionalmente, dados de velocimetria são empregados para fornecer mapeamento de campo de vento para uma bomba eólica em que um eixo de rotor de turbina eólica aciona uma bomba hidráulica ou compressor.

[0073] Opcionalmente, a turbina está contida dentro de um alojamento em formato de anular, cilíndrico, cônico ou funil.

[0074] Opcionalmente, o alojamento ou a estrutura de montagem do mesmo compreende uma ou mais fontes de feixe.

[0075] Opcionalmente, o sistema inclui um sensor de

calibração montado na turbina e as fontes de feixe são dispostas para serem direcionadas de modo seletivo ou apontadas para mirar o sensor de calibração para propósitos de teste, a fim de confirmar que os feixes são direcionados de modo bem sucedido para a posição do sensor, oferecendo, desse modo, evidência de que a direção de feixe funciona corretamente em geral.

[0076] Opcionalmente, o sistema compreende uma fonte de feixe redundante adicional que não é necessária para a medição de velocidade de fluido que é direcionada de modo que o feixe da mesma entrecruze com os feixes que emanam de pelo menos três outras fontes de feixe; medições de velocidade das ditas pelo menos três outras fontes de feixe sendo usadas para calibração calculando-se o componente de vetor de velocidade medido na direção do feixe adicional (redundante), com a medição de Doppler (redundante) adicional do mesmo.

[0077] Opcionalmente, a turbina é uma turbina eólica e o sistema compreende meio para prever ou estimar quantidades físicas em diferentes pontos ao longo de pás de turbina eólica individuais com base no vetor de velocidade de vento relativo determinado.

[0078] Opcionalmente, as quantidades físicas compreendem um ou mais dentre: ângulo aerodinâmico de ataque como uma função de comprimento ao longo da pá, coeficientes de elevação ou arrasto como uma função de comprimento ao longo da pá, torque por comprimento unitário em diferentes posições ao longo da pá.

[0079] Opcionalmente, o meio para prever ou estimar quantidades físicas realiza uma previsão ou estimação levando em conta o perfil de formato de pá e dados de sensor de pá ou dados de componente de pá.

[0080] Opcionalmente, os dados de sensor de pá compreendem dados de sensor de deformação de formato de pá.

[0081] Opcionalmente, os dados de componente de pá compreendem dados de atuador de flape de pá.

[0082] Os dados de atuador de flape podem incluir demanda de ângulo de flape (um sinal ou valor transmitido para ou empregado por um sistema de controle de flape) ou outros dados.

[0083] Esses estresses físicos previstos ou estimados podem ser usados para propósitos incluindo aperfeiçoar desempenho de potência, ou para diminuir cargas, ou para aumentar tempo de vida de sistema, ou para reduzir custos de manutenção, ou para informar projeto de sistema aperfeiçoado futuro.

[0084] Opcionalmente, superfícies de pá ativas, flapes de pá ou dispositivos de controle de passo de pá são ajustados de acordo com os estresses físicos previstos.

[0085] Opcionalmente, os estresses físicos previstos são combinados com ou usados em conjunto com sistemas de monitoramento de condição.

[0086] Opcionalmente, a turbina é uma turbina eólica e uma velocidade de vento de média de rotor é medida de acordo com uma combinação de amostras de velocidade de vento coletadas ao redor da área de rotor.

[0087] Pode-se proporcionar às amostras diferentes ponderações conforme desejado. Essa técnica de média de rotor permite medição de curva de potência de turbina eólica mais significativa para propósito de monitoramento de desempenho, projeto contratual de garantia de desempenho ou reivindicação, ou outro propósito.

[0088] Opcionalmente, a turbina é uma turbina eólica e as medições de velocidade de vento são usadas para alterar a inclinação de turbina eólica ou controle de curvatura.

[0089] Opcionalmente, a orientação de eixo geométrico de turbina eólica pode ser ajustada a fim de levar em conta a velocidade de vento não horizontal variável, preferencialmente dentro de uma margem de segurança para evitar o risco de colisão de pá contra uma torre.

[0090] Opcionalmente, um eixo de rotor pode ser movido para frente a partir de uma torre de turbina eólica de eixo geométrico substancialmente horizontal a fim de permitir maior variação de curvatura de eixo geométrico de rotor para condições de vento correspondentes.

[0091] Opcionalmente, um contrapeso é fornecido na traseira da nacela para equilibrar o eixo de rotor movido.

[0092] Opcionalmente, a turbina eólica é uma turbina eólica de eixo geométrico vertical.

[0093] Uma turbina eólica de eixo geométrico vertical também pode ter vários tipos de pás incluindo aerofólio montado verticalmente ou projeto helicoidal, mas não limitado aos mesmos. As fontes de feixe podem ser montadas sobre ou em tais pás e/ou topo de um rotor e/ou em base fixa ou posição em outro lugar. Tais feixes podem ser dispostos para entrecruzar um ao outro a cada intervalo de tempo de acordo com ângulo de rotação, ou um ou mais dos feixes podem ser direcionáveis de modo a entrecruzar.

[0094] Opcionalmente, a turbina é uma turbina hidráulica, turbina de maré ou turbina a gás.

[0095] Opcionalmente, as fontes de feixe e receptores compreendem fontes de feixe e receptores LIDAR.

[0096] Opcionalmente, as fontes de feixe e receptores compreendem fontes de feixe e receptores RADAR.

[0097] Opcionalmente, as fontes de feixe e receptores compreendem fontes de feixe e receptores SODAR.

[0098] Opcionalmente, as fontes de feixe e receptores compreendem fontes de feixe e receptores SONAR.

[0099] Opcionalmente, o sistema compreende um componente de aprendizagem de máquina que pode adaptar uma turbina ou a operação de um sistema de controle de turbina de acordo com dados operacionais históricos.

[0100] Com esse componente de aprendizagem de

máquina, uma turbina pode registrar os parâmetros operacionais da mesma e aprender a partir de dados históricos. A turbina pode aprender a partir do próprio histórico de operação e a partir das próprias medições de eficiência para fornecer previsões de saída de potência configuradas, ou para melhor informar como a mesma deve ajustar a si em resposta a um determinado campo eólico para manter um perfil de potência desejado ou saída.

[0101] De acordo com um terceiro aspecto da revelação, é fornecido um produto de programa de computador para implantar o primeiro e segundo aspectos. O produto de programa de computador pode compreender um ou mais dentre:

[0102] um produto que compreende instruções para um sistema de controle para direcionar as fontes de feixe;

[0103] um produto que compreende instruções para um sistema de controle de turbina que é fornecido ou modificado de acordo com o ensinamento da revelação para receber entradas a partir das medições de velocimetria, fazer cálculos e fornecer sinais de comando para controlar componentes de turbina; ou

[0104] um produto que compreende instruções para analisar as saídas de um sistema de medição de velocimetria e realizar vários cálculos para realizar previsões e medições conforme ensinado no presente documento.

[0105] O produto de programa de computador pode ser armazenado ou transmitido como uma ou mais instruções ou código em um meio legível por computador. Meios legíveis por computador incluem ambos meio de armazenamento de computador e meio de comunicação que inclui qualquer meio que pode ser habilitado para transferir um programa de computador proveniente de um local para outro. Um meio de armazenamento pode ser qualquer meio disponível que pode ser acessado por um computador. A título de exemplo, tais meios legíveis por computador podem compreender RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM ou outro armazenamento de disco óptico,

armazenamento de disco magnético ou outros dispositivos de armazenamento magnético, ou qualquer outro meio que pode ser usado para portar ou armazenar código de programa desejado na forma de instruções ou estruturas de dados e que pode ser acessado por um computador. Além disso, qualquer conexão pode ser propriamente denominada um meio legível por computador. Por exemplo, se o software for transmitido a partir de um site da web, servidor ou outra fonte remota com o uso de um cabo coaxial, cabo de fibra óptica, par trançado, linha de inscrição digital (DSL) ou tecnologias sem fio como infravermelha, rádio e micro-onda, então, o cabo coaxial, o cabo de fibra óptica, o par trançado, um DSL ou as tecnologias sem fio como infravermelho, rádio e micro-onda estão incluídos na definição de mídia. Disco magnético e disco óptico, conforme usado no presente documento, inclui disco compacto (CD), disca laser, disco ótico, disco versátil digital (DVD), disquete e disco blu-ray onde discos magnéticos normalmente reproduzem dados magneticamente, enquanto discos ópticos reproduzem dados opticamente com lasers. As combinações dos supracitados também devem ser abrangidas pelo escopo de meios legíveis por computador. As instruções ou código associado com um meio legível por computador do produto de programa de computador pode ser executada por um computador, por exemplo, por um ou mais processadores, tais como um ou mais processadores de sinal digital (DSPs), microprocessadores de propósito geral, ASICs, FPGAs, ou outro conjunto de circuito lógico discreto ou integrado equivalente.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0106] A Figura 1 mostra uma típica turbina eólica de eixo geométrico horizontal.

[0107] A Figura 2 mostra uma vista frontal com fontes de feixe convergentes montadas na nacela.

[0108] A Figura 3 mostra uma vista frontal com fontes de feixe convergentes montadas no eixo.

[0109] A Figura 4 mostra fontes de feixe

convergentes montadas em partes de extensão de não arfagem entre eixo e pás.

[0110] A Figura 5 mostra fontes de feixe convergentes dentro das próprias pás de arfagem junto com uma série de pontos de medição que amostram o campo eólico incidente.

[0111] A Figura 6 mostra a rotação do rotor sendo empregada para varrer um local circular com fontes de feixe convergentes.

[0112] A Figura 7 mostra medição de velocimetria de Doppler direta de componentes de velocidade de vento ortogonais bem como o uso de múltiplos conjuntos de feixe de Doppler convergentes para medir simultaneamente em diferentes localizações incluindo velocidade de vento que colide de modo iminente em uma pá de rotor.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0113] Um novo projeto de sensor será benéfico em que o projeto possibilita amostragem de velocidade de vento tridimensional em um ou mais pontos no espaço e que isso pode ser alcançado através da intersecção ou convergência de feixes de fontes separadas espacialmente.

[0114] Um receptor mede um deslocamento de Doppler dos feixes refletidos ou dispersos, e um processador determina uma velocidade de fluido no ponto de medição em que os feixes convergem com base no deslocamento de Doppler medido. As fontes de feixe podem ser denominadas "fontes de feixe de Doppler" em que as mesmas são usadas como parte de um sistema de medição de Doppler.

[0115] A medição de velocidade de fluido pode ser feita por fontes de feixe montadas na turbina. Preferencialmente, as mesmas são montadas em partes de componente da turbina que podem ajustar a posição das mesmas para levar em conta a mudança de direção de fluxo de fluido. Isso é vantajoso porque as fontes de feixe, então, tendem naturalmente a apontar ao longo de um eixo geométrico de fluxo de fluido (tanto a montante ou a jusante da turbina).

[0116] No exemplo de uma turbina eólica de eixo geométrico horizontal (HAWT), as fontes de feixe podem ser, por exemplo montadas em uma nacela, eixo de rotor ou pá(s) de turbina; ou em estruturas associadas ou componentes de extensão conforme descrito alhures.

[0117] Por exemplo, um HAWT nacela ou eixo de rotor é tipicamente controlado (por um conjunto de motores de guinada) de modo a apontar substancialmente para o vento, então, se todas as fontes de feixe forem montadas nesses componentes, pode-se evitar de modo conveniente a situação em que a torre HAWT (sustentação) irá obscurecer pontos de medição potenciais das fontes de feixe, receptores ou transceptores.

[0118] Pode haver outra vantagem de empregar fontes de feixe e receptores na estrutura de referência do rotor no chão que essa é a estrutura de referência das pás que significa que medições feitas dentro dessa estrutura de referência fornecem uma "medição direta" da velocidade de vento em relação a qualquer seção de pá determinada. Essa velocidade relativa determina o ângulo de ataque e velocidade de vento relativa que governa o coeficiente de elevação e coeficiente de arrasto do elemento de pá.

[0119] Usando-se técnicas de varredura, dentro ou sem a estrutura de referência de rotação do eixo de rotor, é possível empregar feixes convergentes de modo sequencial e simultâneo para amostrar velocidade de vento tridimensional em um ou mais pontos, em que as fontes de feixe são todas baseadas na nacela de turbina eólica, eixo de rotor ou pás, mas em que as fontes de feixe são substancialmente separadas uma da outra.

[0120] A separação das fontes de feixe de Doppler é importante a fim de resolver de modo adequado os três componentes de velocidade ortogonal. Será verificado que três feixes mutuamente não paralelos são suficientes para formar uma base para especificar um vetor tridimensional.

[0121] Portanto, três medições de Doppler não paralelas de velocidade radial de um objeto podem ser combinadas para

especificar a velocidade tridimensional do objeto. Três medições de Doppler não paralelas em um ponto de intersecção de feixe fornece, portanto, medição de velocidade tridimensional de velocidade de aerossol ou outra partícula que pode ser levada em conta para indicar a velocidade de vento naquele ponto de medição, sendo que o aerossol ou outra partícula é portada pelo vento em ou próximo à velocidade de vento local.

[0122] Empregar fontes de feixe na nacela de turbina eólica, eixo de rotor ou pás de rotor significa que fontes de feixe guinam ou giram ao redor de um eixo geométrico vertical conforme fazem a nacela de turbina eólica e montagem de rotor de modo que esteja voltado, em geral, para o vento. Isso possibilita a medição tridimensional ou amostragem do campo de vetor de velocidade de vento incidente à frente da turbina e as pás da mesma.

[0123] De modo similar, fontes de feixe podem ser empregadas para medir em um ou mais pontos atrás da turbina eólica, em pontos dentro da esteira dos mesmos ou, de fato, em qualquer posição escolhida em relação à turbina eólica.

[0124] Pode ser possível empregar três feixes ortogonais que se originam de pontos no eixo de rotor, extensão radial do eixo ou pás, as pás por si só, ou uma estrutura associada de modo que o ponto de intersecção esteja em um ponto no eixo geométrico de rotor de rotação em alguma faixa fixa em frente à turbina. Essa disposição possibilita a medição direta dos componentes de vetor de velocidade de vento ortogonais e pode ser alcançada com feixes de miragem e sem a necessidade de direcionamento de feixe. A faixa a qual tais feixes podem ser feitos para entrecruzar de modo ortogonal será limitada pela extensão do diâmetro de rotor. As medições em faixas maiores podem ser obtidas também com feixes de entrecruzamento de miragem, sendo de posição fixa dentro da estrutura de referência do rotor, em que os feixes convergem com ângulos agudos menores do que 90 graus.

[0125] Os sistemas de controle de turbina eólica e filosofia de controle exigem entradas de medição de direção de vento incidente

e velocidade de vento incidente precisas. Entretanto, as medições de direção e velocidade de vento são tipicamente fornecidas por palhetas eólicas montadas em nacela, anemômetros de copo ou anemômetros ultrassônicos. Fatores de correção ou parâmetros de função de transferência são usados para transformar as medições de nacela em estimativas de medição contra vento.

[0126] A posição de tais instrumentos na nacela, atrás do rotor e submetidos a linhas de corrente de fluxo de vento ao redor da nacela incluindo efeitos de esteira e onda de proa, dá origem a erros na estimação das quantidades contra o vento. Portanto, uma vantagem adicional de um sistema LIDAR em nacela, que emprega feixes convergentes para precisão de medição aperfeiçoada, é fornecer medição direta mais precisa das quantidades contra o vento, possibilitando, desse modo, aderência mais precisa à filosofia de controle de turbina eólica.

[0127] Desalinhamento de guinada de turbina eólica devido à medição imprecisa de direção de vento pode causar perdas de potência significativas. Portanto, dados de direção de vento aperfeiçoados, fornecidos por LIDAR montado em nacela mais preciso que emprega feixes convergentes, podem aumentar saída de turbina eólica oferecendo-se alinhamento de guinada aperfeiçoado com a direção de vento.

[0128] LIDAR montado em nacela possibilita a caracterização de condições de vento futuras incidentes na turbina eólica e rotor através de medições feitas contra o vento da turbina. As medições de LIDAR de nacela mais precisa, através de uso de feixes convergentes, podem possibilitar estimação mais eficaz de condições de vento futuras, aperfeiçoando, desse modo, a eficácia de possível resposta de sistema de controle.

[0129] Conhecimento avançado de condições extremas de vento tais como rajadas ou eventos extremos de cisalhamento de vento permite que um sistema de controle de turbina eólica ajuste parâmetros de controle a fim de evitar as cargas aumentadas associadas em componentes

de turbina eólica. Portanto, LIDAR montado em nacela mais preciso que emprega feixes convergentes possibilita controle de carga de turbina eólica mais eficaz.

[0130] Conhecimento avançado de condições de vento incidente pode ser empregado por controle de passo independente ou coletivo preditivo. Portanto, LIDAR montado em nacela mais preciso que emprega feixes convergentes possibilita controle de passo mais eficaz.

[0131] A fim de resolver componentes de velocidade de vento tridimensionais em um ponto específico dentro do campo eólico, é necessário entrecruzar pelo menos três feixes. Mais do que três feixes podem ser fornecidos a fim de permitir múltiplas medições simultânea. Em outras palavras, uma pluralidade de pontos de medição podem ser medidos em qualquer um tempo.

[0132] Se os feixes estiverem quase paralelos, então, os mesmos estão medindo essencialmente o mesmo componente de velocidade de linha de vista radial e pouca ou nenhuma informação é obtida nos componentes de velocidade lateral. Portanto, é preferencial que os feixes tenham ângulo grande entre os mesmos e que os mesmos devem convergir ou entrecruzar em um determinado ponto de medição no espaço, que pode ser alcançado através de grande deslocamento espacial entre as respectivas fontes de feixe dos mesmos junto com controle de direção de feixe adequado.

[0133] A revelação compreende uma pluralidade de feixes emitidos de fontes de feixe que estão dentro ou montadas nesses componentes de turbina eólica de eixo geométrico horizontal que guina ou gira ao redor de um eixo geométrico vertical visto que a turbina eólica é controlada para estar voltada para o vento.

[0134] Tais componentes incluem a nacela de turbina eólica, eixo de rotor ou pás de rotor. As fontes de feixe são substancialmente deslocadas uma da outra e os feixes são mirados em direção ao ponto de medição de modo que os mesmos entrecruzem ou convirjam no ponto de

medição, possibilitando, desse modo, velocimetria de Doppler radial ao longo de pelo menos três eixos geométricos não paralelos a fim de reconstruir a velocidade de vento tridimensional no ponto de medição. Cada faixa de medição de feixe pode ser controlada de modo independente através de uso de óptica de focagem ou através de uso de temporização de porta de faixa.

[0135] Preferencialmente, a fonte de feixe é um laser. Cada fonte de feixe pode ser substancialmente localizada junto com um sistema de receptor-detector permitindo a medição de velocidade radial ao longo do eixo geométrico de feixe e no ponto de medição.

[0136] As fontes de feixe podem ser de uma variedade de diferentes tipos. Em uma modalidade, lasers de fibra óptica dopados podem ser empregados. Esses podem ser escolhidos para operar com comprimento de onda e potência que é considerado seguro para o olho humano. Entretanto, verifica-se que outros tipos de laser e óptica podem ser empregados incluindo lasers semicondutores, lasers de cavidade óptica bombeada, espelhos, lentes, etc.

[0137] Será verificado que uma fonte de laser pode ou não ser localizada junto com um ou mais telescópios de feixe de laser. Por exemplo, seria possível transmitir e/ou amplificar feixes de laser através de sistema de espelhos ou fibras ópticas de nacela ou base de turbina eólica ou através de eixo de rotor de turbina eólica e também em pás de turbina eólica. Componentes tais como anel coletar óptico ou outro podem ser empregados no sistema se exigido. Portanto, feixes de laser podem ser direcionados ou transmitidos de telescópios ou janelas ópticas em qualquer localização exigida sobre ou dentro dos subcomponentes de turbina eólica tais como peça de base/transição, torre, nacela, eixo de rotor, pás de rotor, etc.

[0138] A radiação da fonte de laser pode ser replicada ou repartida a fim de fornecer uma referência óptica de frequência conhecida que pode ser misturada com ou interferida com o feixe refletido. O feixe refletido é refletido a partir de partículas, aerossóis ou moléculas dentro

do ar que são consideradas estarem se deslocando com a mesma velocidade do vento. Mistura ou interferência da frequência de feixe refletido com a frequência de referência possibilita que o deslocamento de Doppler em frequência seja medido. A frequência de referência ou a frequência refletida também pode ser deslocada por uma quantidade conhecida antes de mistura. O deslocamento de Doppler em frequência indica a velocidade relativa da partícula refletora, aerossol ou molécula. Esse princípio é usado para inferir o componente de velocidade de vento ao longo de uma determinada linha de visão de medição de feixe de Doppler.

[0139] No caso em que há uma relação estatística conhecida ou medida indicando uma diferença em velocidade de vento com velocidade de tais partículas, aerossóis ou moléculas transportadas no vento, então, um fator de correção correspondente pode ser aplicado à velocidade de Doppler medido a fim de corrigir a medição para a verdadeira velocidade de vento. Uma técnica similar pode ser empregada para turbinas que operam em líquido ou outros fluidos.

[0140] Uma inovação dessa revelação encontra-se no fato de que as fontes de feixe montadas em nacela ou rotor são feitas para convergir no ponto de medição permitindo medição juntamente localizada de componentes independentes do vetor de velocidade de vento, enquanto métodos existentes de velocimetria de Doppler de LIDAR montado em nacela empregam feixes divergentes que captam os componentes de velocidade de vento independentes em diferentes localizações no espaço, ou ainda simplesmente coletam dados no componente de velocidade de vento radial apenas com o uso de um único feixe.

[0141] Uma vantagem de empregar feixes convergentes a partir de fontes de feixe na nacela ou rotor é que amostras de velocidade de vento tridimensionais precisas podem ser medidas contra o vento do rotor de turbina eólica, independente da posição de guinada de turbina.

[0142] Um "ponto" será, em prática, uma região de intersecção que tem um tamanho definido pelo tamanho ou foco dos feixes. Para um sistema de laser de Onda Contínua (CW) um sistema de focagem ajustável seria normalmente empregado a fim de realizar medição de Doppler em uma determinada faixa de foco; ou em que um sistema de laser pulsado é usado o comprimento de pulso e resolução de porta de temporização determinará a resolução de faixa a qual medição de Doppler pode ser realizada em uma série de diferentes faixas (para uma série de portas de temporização de acordo com a velocidade da luz se deslocando para e de volta a partir da faixa de medição).

[0143] No ar, normalmente um sistema pulsado seria empregado por uma faixa longa (por exemplo, 50 m a alguns quilômetros) enquanto um sistema de CW pode ser mais bem empregado sobre faixa curta (por exemplo, menos do que 100 m) visto que a resolução de faixa de sistema de CW pode ser muito boa em faixa baixa - da ordem de 1 metro ou menos, quanto típicos sistemas pulsados teriam resolução de faixa talvez em torno de 10 metros.

[0144] Isso significa que um sistema de CW pode ser muito bom para proximidade em medições precisas para ser usado para ajustes de passo rápidos ou para alimentar em controle de superfície ativa tal como flapes de pá controláveis.

[0145] Essas considerações dependem do comprimento de onda de laser e/ou do pulso ou comprimento de onda de porta de faixa. Fala-se, normalmente de comprimento de onda de 1,5 a 2 micrometro que é "seguro para os olhos".

[0146] Em uma modalidade da revelação, os feixes de Doppler podem ser direcionados de modo deliberado de modo que os mesmos sejam feitos para entrecruzar em vários pontos de medição escolhidos. Isso pode ser com ou sem tempos de intervalo deliberados do sistema de varredura de feixe/ sistema de direção por ponto de medição.

Através de medições sucessivas, isso permite a amostragem do campo de velocidade de vento variável em diferentes faixas contra o vento relativas, alturas e deslocamentos laterais a partir do centro de eixo de rotor de turbina eólica. Essas informações de medição podem ser usadas para alimentar no sistema de controle de turbina eólica por razões incluindo aderência aperfeiçoada à filosofia de controle de turbina eólica, monitoramento de desempenho de turbina eólica aperfeiçoado, controle de guinada aperfeiçoado, controle antecipatório ou preditivo bem como gerenciamento de carga ou proteção contra eventos extremos dentro do campo de velocidade de vento incidente .

[0147] Em outra modalidade da revelação, um ou mais feixes fixos em relação ao eixo de rotor vasculham um ou mais cones à medida que o rotor gira e tais feixes são entrecruzados por feixes fixos ou de varredura que emanam de telescópios montados sobre/na nacela/torre/base, ou em outro lugar. Por exemplo, se o rotor está girando lentamente a apenas 6 rpm (uma rotação a cada 10 segundos) então, um dentre dez feixes independentes fixados em relação ao eixo de rotor pode ser disposto para entrecruzar qualquer ponto determinado no cone vasculhado dos mesmos uma vez a cada segundo fornece uma frequência de medição de 1 Hz. No caso de feixes fixos ou de varredura adicionais que entrecruzam o mesmo ponto, então, será possível reconstruir um vetor de velocidade de vento tridimensional nesse ponto de medição.

[0148] O meio de varredura de feixe pode, por exemplo, empregar um torno rotatório com janela óptica em que o feixe é varrido por meio de sistema de um ou mais espelhos de rotação e/ou fixos e/ou por meio de um ou mais prisma/lente de rotação e/ou fixa. Entretanto, será verificado que outros métodos de direção de feixe podem ser empregados.

[0149] É possível medir um mapa tridimensional do campo de vento dispondo uma série de amostras de medição a serem coletadas em um conjunto escolhido de pontos através do campo de medição.

Em uma modalidade preferencial, três feixes de varredura que emanam da nacela e/ou eixo e/ou pás de rotor são direcionados individualmente de modo que os mesmos entrecruzem no mesmo ponto no tempo e espaço (no ponto de medição) e que esse processo é repetido em pontos de medição sucessivos amostrados através do campo de medição escolhido.

[0150] Em uma modalidade, um conjunto de pontos de medição são escolhidos de modo que os mesmos sejam o mais próximo possível do plano de rotor, mas separados por uma distância que é calculada para permitir sistemas de passo ou outros atuadores (por exemplo, atuadores de flapes/ superfície ativa) para preparar para o campo eólico iminente que está para colidir nas pás.

[0151] Em uma modalidade, um conjunto de pontos de medição são escolhidos de modo a amostrar o campo eólico a uma distância significativa em frente ao rotor de turbina eólica, tal como à distância de 2,5 diâmetros de rotor de acordo com a noção de que medir à tal distância em frente ao rotor pode ser considerado uma medição de "corrente livre" .

[0152] Em uma modalidade, os pontos de varredura são dispostos de modo a amostrar de modo denso o campo eólico através de todo o rotor a fim de fornecer medições que contribuem para uma medição de velocidade de vento média de rotor para estimação de curva de potência média de rotor ou outro propósito.

[0153] Em uma modalidade, conjuntos de pontos de medição podem ser coletados em múltiplas faixas a fim de verificar a persistência de recursos de vento potencialmente danosos tais como turbulência extrema, remoinhos localizados, rajadas ou outros recursos com o potencial de possibilitar sinalizações de aviso de severidade crescente no caso de um recurso danoso persistir e abordar a turbina eólica e, eventualmente, um alarme para iniciar desligamento ou medidas protetoras alternativas tais como através de controle de passo.

[0154] Em geral, a revelação permite a medição em

múltiplas faixas e pontos ao longo do campo de fluido incidente a fim de caracterizar simultaneamente o campo de fluido para múltiplos propósitos diferentes.

[0155] Mapas eólicos podem ser construídos os quais são seções planas através do campo eólico geral tal como um plano paralelo ao plano de rotor em uma ou mais distâncias em frente ao rotor. Em geral, um mapa de velocidade de vento pode incluir uma pluralidade de amostras ao longo do campo eólico circundante ou incidente.

[0156] Em geral, um sistema de varredura que controla as fontes de feixe é programável de modo que qualquer conjunto de pontos de medição possa ser amostrado de modo sucessivo e/ou simultâneo para um ou mais propósitos específicos.

[0157] Os princípios da revelação não são limitados a medições a montante de uma turbina e podem ser igualmente aplicados na medição atrás/a jusante da turbina a fim de caracterizar condições de esteira, que podem colidir em outra turbina.

[0158] As informações de esteira coletadas por esse meio podem permitir a deflexão, desvio ou alteração deliberada da esteira (ou condições de esteira tais como turbulência) de modo que possa ser defletido ou direcionado para longe de outras turbinas.

[0159] A direção de feixe de miliradianos muito precisa de lasers é possível com equipamento existente, empregando galvanômetros, grades MEMS, microespelhos, arranjos de lente decentralizada, cunhas de rotação ou outros sistemas de direção de feixe.

[0160] Ao montar um sistema de direção LI DAR sobre/em uma nacela de turbina eólica, então, o movimento de nacela precisará ser medido e levado em conta - por exemplo, com o uso de acelerômetros de MEMS ou outros métodos equivalentes. De modo similar, ao montar sobre/no eixo de rotor então, o ângulo de rotação de rotor também precisa ser medido e levado em consideração; e ao montar em uma seção de

pá de arfagem, então, passo de pá também precisa ser levado em conta. Se uma seção de pá também for flexível, então, correção de direção de feixe ou captação adicional pode ser exigida.

[0161] Múltiplas transformações/correções podem ser aplicadas para levar em conta todos os graus possíveis de movimento, e são combinadas em um sinal de comando resultante para os atuadores de direção de feixe onde quer que os mesmos estejam.

[0162] Em uma modalidade, o projeto de conexão de eixo e pá é por si modificado e uma parte de extensão de não arfagem fixa é inserida entre o ponto de montagem de pá e o eixo além do qual permite-se que a pá arfe. Esse projeto possibilita que as fontes de feixe sejam montadas no rotor em raios substancialmente maiores a partir do eixo geométrico de rotação de rotor enquanto evita ser submetido a movimento de passo de pá que pode afetar a capacidade de direção de feixe.

[0163] Os grandes raios do eixo geométrico de rotação de rotor possibilitam que pares de tais fontes sejam separados com linha de base grande, facilitando, desse modo, medição de velocidade tridimensional aperfeiçoada através de resolução de componentes de velocidade de vento ortogonais. Esse projeto também pode se beneficiar do possível uso de pás menores exigidas para fornecer um determinado torque.

[0164] Em outra modalidade exemplificativa, a turbina eólica tem três pás e cada pá de arfagem é montada em uma peça de extensão de não arfagem fixa com os três feixes mirando, cada um, em uma direção fixa em relação à estrutura de referência de rotor de modo que os mesmos entrecruzem de modo substancialmente ortogonal no eixo geométrico de rotor. Esse projeto possibilita uma única medição de velocidade tridimensional em uma localização fixa dentro da estrutura de referência do rotor.

[0165] Os feixes adicionais podem ser entrecruzados em diferentes posições fixas dentro da estrutura de referência do rotor, tanto no

eixo geométrico de rotor por si e deslocados do eixo geométrico de rotor. Essa disposição pode unir de modo conveniente medições tridimensionais do campo de velocidade de vento estendido à frente do rotor de turbina eólica, com varredura passiva fazendo-se uso da rotação de rotor.

[0166] Em uma modalidade, as localizações de medição podem ser fixas ou direcionadas de modo que as mesmas sejam miradas para pontos no campo eólico antecipados para engatar de modo iminente com uma pá de turbina eólica, contribuindo, desse modo, para o controle de velocidade de ponta de pá ou controle de passo de pá preditiva. Nesse caso, pode ser benéfico empregar fontes de feixe de Doppler adicionais montadas na traseira da nacela de turbina eólica, sobre ou dentro do topo, fundo ou lados do alojamento de nacela, bem como feixes montados na pá ou eixo de rotor que convergem no ponto de medição.

[0167] A Figura 1 mostra componentes de uma típica turbina eólica de eixo geométrico horizontal incluindo torre 1, nacela 2, eixo de rotor 3, pás 4 e anemometria 11 montada em nacela.

[0168] A Figura 2 ilustra a vista frontal da turbina eólica que é apresentada ao vento, e mostra um exemplo de como uma pluralidade de fontes de feixe de Doppler 5 podem ser dispostas para serem montadas no topo, fundo e lados da nacela 2 e que pode ser possível dispor os feixes das mesmas para entrecruzarem em um determinado ponto de medição 6.

[0169] A Figura 3 mostra novamente a vista frontal da turbina eólica, mas em que uma pluralidade de fontes de feixe Doppler são montadas no eixo de rotor rotatório 3 a fim de evitar obstrução dos feixes pelas pás de rotor que passam 4 quando os feixes são dispostos para entrecruzar em um determinado ponto de medição 6.

[0170] A Figura 4 mostra um exemplo que envolve um novo método de montagem de pá em que os pontos de montagem de pá não são no eixo de rotor em si, mas na extremidade da tubulação 12 cilíndrica

ou conformada de modo alternativo que se estende radialmente para fora a partir do eixo de rotor 3 e que possibilita o posicionamento de fontes de feixe de Doppler 5 no rotor, mas com separação de linha de base maior do que o diâmetro de eixo de rotor. Empregar as seções de tubo de extensão fixas, de não arfagem 12 garante que as fontes de feixe de Doppler não girem adicionalmente ao redor do eixo geométrico de passo que pode impedir ou complicar a intersecção dos feixes das mesmas no ponto de medição. A Figura 5 ilustra a possibilidade de realizar varredura nos feixes a fim de que os mesmos convirjam de modo sucessivo e simultâneo em uma série de pontos de medição que podem ser dispostos em uma rede regular ou de outra maneira e podem ser em diferentes faixas em frente à turbina eólica. Nessa Figura, as fontes de feixe são mostradas serem montadas sobre ou dentro das pás de arfagem por si só implicando que passo de pá, bem como rotação de rotor, necessitarão ser levados em conta na varredura.

[0171] A Figura 6 ilustra um método de varredura que faz uso da rotação do rotor em cujo caso é possível convergir os feixes a um ponto fixo relativo na estrutura de referência do eixo de rotor, mas que isso permite coleta de dados sucessiva em numerosos pontos em um local circular.

[0172] A Figura 7 ilustra a possibilidade de empregar múltiplos feixes fixos de fontes 5 no eixo de rotor ou extensões do mesmo que podem interceptar de modo ortogonal em um ponto 14 no eixo geométrico de rotor, ou convergir com ângulos agudos adicionalmente contra o vento em um ponto 15 também no eixo geométrico de rotor, ou que feixes fixos ou de varredura podem ser feitos para entrecruzar em pontos 16 deslocados do eixo geométrico de rotor que podem ou não ser pontos no campo eólico incidente que podem ser engatados de modo iminente por uma pá. No caso em que o ponto de medição 16 está próximo ao plano de pá de rotor, então, pode ser benéfico empregar feixes adicionais de fontes montadas na traseira da nacela tanto no topo, abaixo ou no lado do alojamento de nacela, a fim de resolver de modo adequado o componente de velocidade de vento paralelo ao eixo

geométrico de rotor.

[0173] Vários aperfeiçoamentos e modificações podem ser feitos sem se afastar do escopo da presente revelação. Por exemplo, será verificado que muitos pontos de montagem diferentes de fonte de feixe, estruturas ou pontos de inclusão são possíveis dentro das reivindicações desta revelação. As figuras mostradas são apenas alguns exemplos.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de medição, **caracterizado** por compreender:
uma pluralidade de fontes de feixe montadas em uma turbina e dispostas de modo que os feixes das fontes de feixe entrecruzem em um ponto de medição;

um ou mais receptores para medir um deslocamento de Doppler de feixes refletidos ou dispersos;

um processador para determinar uma velocidade de fluido no ponto de medição com base no deslocamento de Doppler medido.

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pela turbina eólica ser uma turbina eólica de eixo horizontal, uma turbina eólica de eixo vertical, uma bomba eólica ou um compressor eólico.

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** por uma ou mais fontes de feixe serem montadas:

(i) sobre ou em um alojamento de nacela, ou sobre ou em uma estrutura fixa que se estende a partir do alojamento de nacela e/ou

(ii) sobre ou em um eixo de rotor, ou sobre ou em uma estrutura fixa que se estende a partir do eixo de rotor,

(iii) sobre ou em uma ou mais pás de rotor ou sobre ou em uma estrutura fixa que se estende a partir de uma ou mais pás de rotor.

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** por um ou mais de:

(i) ângulo de guinada de nacela;

(ii) curvatura de torre

(iii) curvatura de nacela;

(iv) ângulo de rotação de rotor;

(v) curvatura de pá;

(vi) ângulos de passo de pá;

(vii) ângulo de inclinação do rotor

são levados em consideração para propósito de precisão

de direção de feixe e/ou para calibrar as medições feitas pelo receptor.

5. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 4, **caracterizado** pelo fato de que a turbina eólica emprega pás de rotor que compreendem uma primeira porção de arfagem montada em uma segunda porção de extensão de pá de não arfagem e uma ou mais fontes de feixe são montadas sobre as ditas segundas porções de extensão de pá de não arfagem em um raio a partir de um eixo geométrico de rotor principal que é maior do que a extensão radial do eixo de rotor, as pás de rotor compreendem uma pluralidade de seções de arfagem de modo independente, as pás de rotor opcionalmente compreendem uma pluralidade de seções de arfagem de modo independente, e a variação de arfagem da pá é levada em conta para propósito de precisão de direção de feixe.

6. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que uma pluralidade de pares de receptor e fonte de feixe dispostos juntos são fornecidos.

7. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que as fontes de feixe são fornecidas em uma pluralidade de turbinas e têm os feixes das mesmas direcionados de modo independente de modo que os mesmos convirjam ou entrecruzem no ponto de medição.

8. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 a 7, **caracterizado** por compreender um sistema de controle para as fontes de feixe que é disposto para selecionar feixes particulares que são usados, da melhor forma possível, para fornecer amostras em posições particulares sem ser entrecruzado pela passagem das pás de rotor, nacela ou torre, permitindo, desse modo, medição ininterrupta e liberando quaisquer feixes alternativos a fim de que os mesmos possam ser empregados simultaneamente em posições de medição alternativas.

9. Sistema, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de que o método de varredura de feixe pode mudar de acordo com um estado operacional da turbina permitindo a possibilidade de

empregar a rotação das pás de rotor para varredura de feixe quando o rotor gira, mas comutando para um modo de medição alternativa quando o rotor para de girar.

10. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** por compreender uma direção de feixe que pode ser controlada para variar o ponto de medição, compreendendo um sistema de controle que fornece sinais necessários para os sistemas de deflexão ou direção de feixe individual, com base em um ou mais dentre: conhecimento de entrada de sensor e cálculo de posições relativas de fontes, informações de alinhamento e orientação de componente, posição relativa e velocidade de estruturas de referência de passo de pá, rotor e geográficas, ângulos de guinada, ângulo de rotor, ângulos de passo de pá, velocidade de rotor, velocidade de vento e/ou direção de vento.

11. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que as fontes de feixe são dispostas para medir um campo de velocidade de fluido a uma sucessão de amostragem ou pontos de medição a fim de fornecer amostras de dados indicando a variação espacial do campo de velocidade de fluido ou as características do mesmo.

12. Sistema, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado** pelo fato de que uma sucessão de medições de velocidade de Doppler que emprega feixes de intersecção são separadas espacial e/ou temporalmente e são combinadas a fim de caracterizar o campo de velocidade de fluido em termos de campo de intensidade de turbulência, campo de desvio de fluido horizontal ou vertical, campo de cisalhamento de fluido horizontal ou vertical, ângulo de campo de inclinação, campos de componente de fluido horizontal, lateral ou vertical, rajadas ou quaisquer outros recursos do campo de velocidade de fluido.

13. Sistema, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** pelo fato de que as medições são analisadas para derivar um valor de densidade de fluido.

14. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 13, **caracterizado** pelo fato de que um sistema de controle é disposto para combinar os dados de velocimetria com entradas de sensores adicionais que coletam um ou mais dentre: dados operacionais de turbina eólica, dados de desempenho de potência, dados de condições de vento, dados de ruído, dados de monitoramento de condição, dados de vibração, dados de momento de curvatura de pá ou dados de momento de curvatura de torre e em que o sistema de controle emprega os dados disponíveis para calcular e atuar parâmetros de controle de turbina alterados.

15. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que os dados de velocimetria são empregados para fornecer mapeamento de campo de vento, que pode ser usado para prever saída de parque eólico para propósito de gerenciamento de rede ou para propósito de controle de armazenamento de energia ou para gerenciamento de cogeração em que a saída de parque eólico é combinada com a saída de outro gerador, um possível objeto sendo para entregar previsão/predição de potência precisa para propósito de gerenciamento de rede de eletricidade ou comercialização de energia.

16. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 15, **caracterizado** pelo fato de que uma velocidade de vento média de rotor é medida de acordo com uma combinação de amostras de velocidade de vento coletadas ao redor da área de rotor.

17. Sistema, de acordo com a reivindicação 16, **caracterizado** pelo fato de que as medições de velocidade de vento são usadas para alterar a inclinação de turbina eólica ou controle de curvatura, a orientação de eixo geométrico de turbina eólica pode ser ajustada a fim de dar conta da velocidade de vento não horizontal variável, preferencialmente dentro de uma margem de segurança para evitar o risco de colisão de pá contra uma torre, e em que um eixo de rotor pode ser movido para frente a partir de uma torre de turbina eólica de eixo geométrico substancialmente horizontal a fim de permitir maior variação de curvatura de eixo geométrico de rotor para

condições de vento correspondentes.

18. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que as fontes de feixe e receptores compreendem fontes de feixe e receptores LIDAR, fontes de feixe e receptores RADAR, fontes de feixe e receptores SODAR ou fontes de feixe e receptores SONAR.

19. Método de medição **caracterizado** pelo fato de que compreende:

emitir feixes de uma pluralidade de fontes de feixe em uma turbina de modo que feixes das fontes de feixe entrecruzem em um ponto de medição;

receber um deslocamento de Doppler de feixes refletidos ou dispersos; e

determinar uma velocidade de fluido no ponto de medição com base no deslocamento de Doppler medido.

20. Suporte de gravação lido por computador que armazena instruções executáveis por computador, **caracterizado** pelo fato de que executa o método conforme definido na reivindicação 19.

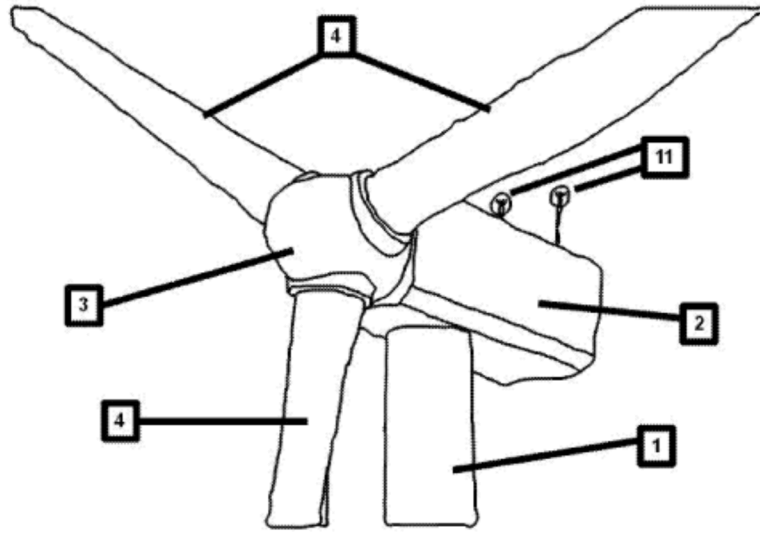


FIGURA 1

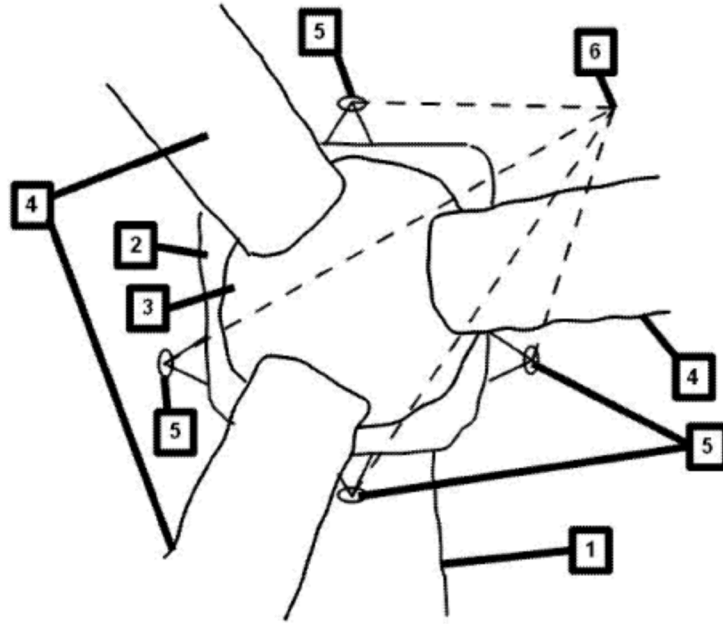


FIGURA 2

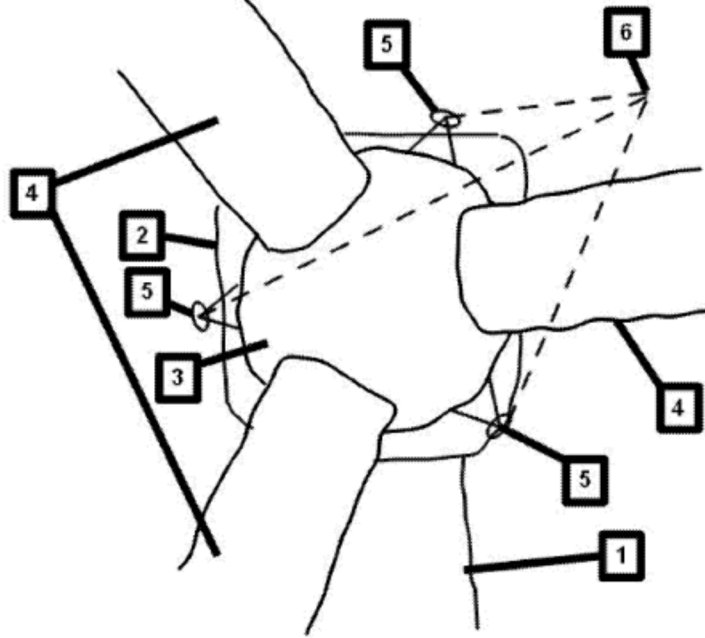


FIGURA 3

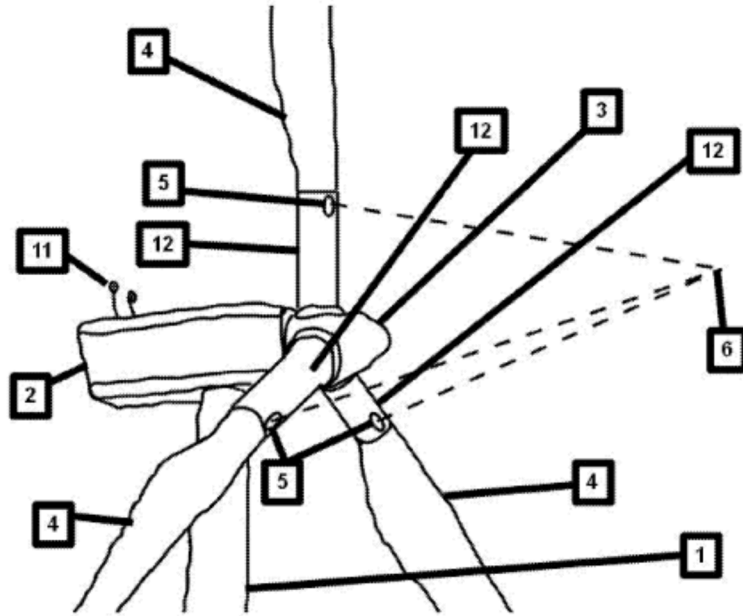


FIGURA 4

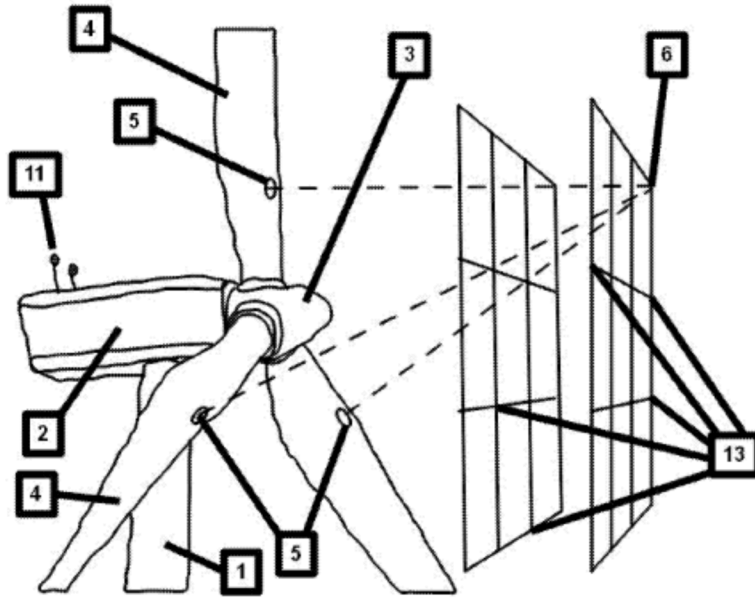


FIGURA 5

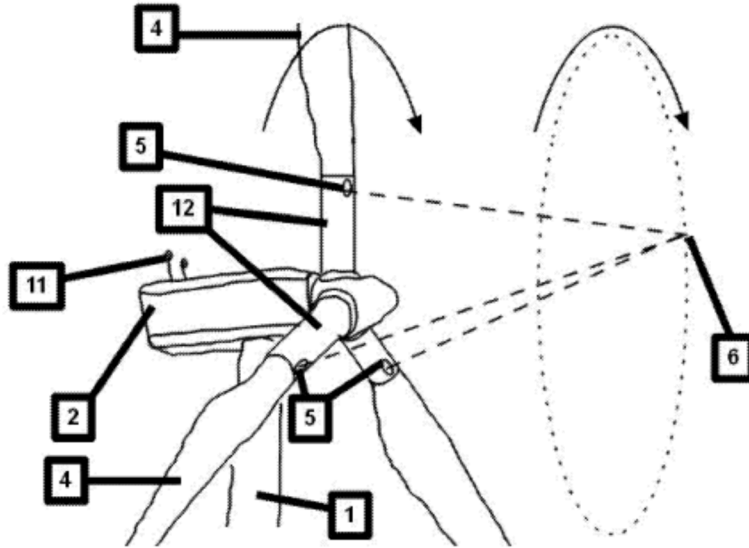


FIGURA 6

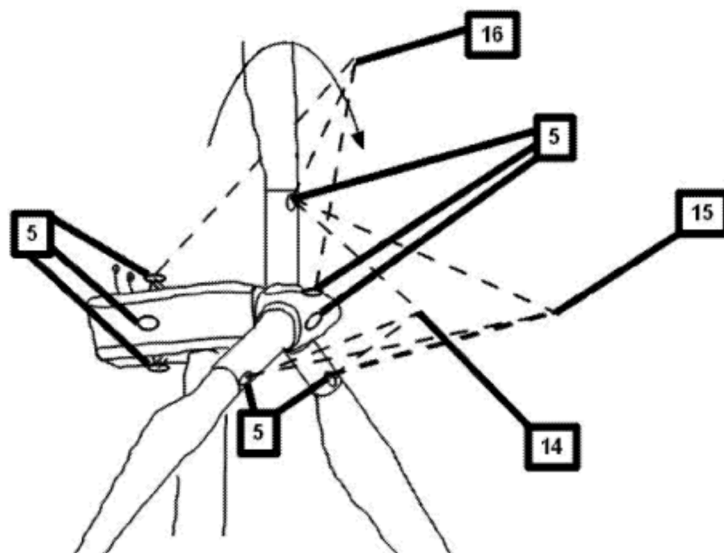


FIGURA 7