



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107820541 B

(45)授权公告日 2020.05.19

(21)申请号 201680037921.2

(22)申请日 2016.06.17

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107820541 A

(43)申请公布日 2018.03.20

(30)优先权数据  
PA201570409 2015.06.30 DK

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2017.12.27

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/DK2016/050197 2016.06.17

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02017/000947 EN 2017.01.05

(73)专利权人 维斯塔斯风力系统集团公司  
地址 丹麦奥胡斯

(72)发明人 F·卡波内蒂 A·K·雅各布森  
D·希尔顿 K·Z·厄斯特高

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司  
72002

代理人 李隆涛

(51)Int.Cl.  
F03D 17/00(2016.01)

(56)对比文件  
EP 1359321 A1,2003.11.05,  
US 2011158806 A1,2011.06.30,  
DE 102006041461 A1,2008.03.20,  
CN 104318070 A,2015.01.28,  
EP 2354538 A1,2011.08.10,

审查员 朱钰荣

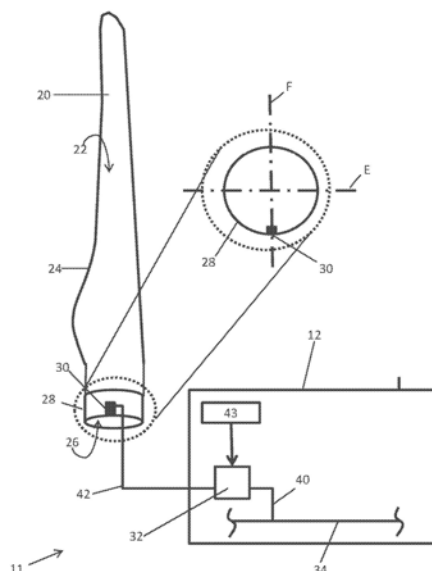
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

风力涡轮机叶片载荷传感系统

(57)摘要

本发明公开了一种用于风力涡轮机叶片的传感器系统,该系统包括:提供载荷测量的叶片载荷传感器;处理单元,其与叶片载荷传感器以接口连接并且被配置为提供校正的载荷参数作为输出。处理单元包括:轴向力估算模块,其确定风力涡轮机叶片沿叶片长度的方向上的估算出的轴向力;以及载荷计算模块10,其基于估算出的轴向力和叶片载荷传感器的载荷测量来确定校正的载荷参数。



1. 一种风力涡轮机叶片的传感器系统,所述系统包括:  
用于提供总的测量出的应变值的单一叶片载荷传感器;  
处理单元,其与叶片载荷传感器以接口连接并且被配置为在风力涡轮机的运行期间提供校正的载荷参数作为输出,其中处理单元包括:  
轴向力估算模块,其确定风力涡轮机叶片上的沿叶片的长度方向的估算出的轴向力;  
和  
载荷计算模块,其基于估算出的轴向力来确定引起的应变值,并且基于总的测量出的应变值和引起的应变值来确定校正的载荷参数。
2. 根据权利要求1所述的传感器系统,其中,轴向力估算模块基于以下方面中的至少一个确定作用在叶片上的轴向力:风力涡轮机的几何形状;叶片的机械性能;叶片方位位置,和转子速度。
3. 根据权利要求1或2所述的传感器系统,其中,轴向力估算模块通过确定 i) 在预定的叶片方位位置处的基于叶片重量的轴向力贡献以及 ii) 通过在叶片旋转时作用在叶片上的离心力得出的轴向力贡献,而确定作用在叶片上的轴向力。
4. 根据权利要求3所述的传感器系统,其中,载荷计算模块基于引起的应变值确定引起的弯矩值。
5. 根据权利要求1或2所述的传感器系统,其中载荷传感器是应变仪。
6. 一种风力涡轮机叶片,包括根据权利要求1至5中任一项所述的传感器系统。
7. 根据权利要求6所述的风力涡轮机叶片,其中,载荷传感器结合到风力涡轮机叶片的根部端。
8. 一种用于在风力涡轮机的运行期间确定风力涡轮机叶片的校正的载荷参数的方法,包括:  
使用单一风力涡轮机叶片载荷传感器测量总的测量出的应变值;  
估算风力涡轮机叶片上的作用在沿叶片长度的方向上的轴向力;以及  
基于估算出的轴向力来确定引起的应变值,并且基于总的测量出的应变值和引起的应变值来确定校正的载荷参数。
9. 一种机器可读介质,其上存储有计算机程序制品,所述计算机程序制品包括用于实施根据权利要求8所述的方法的程序代码指令。

## 风力涡轮机叶片载荷传感系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于确定风力涡轮机叶片所经受的载荷的系统和方法。

### 背景技术

[0002] 风力涡轮机的叶片在操作期间由于空气动力、重力和惯性力而经受载荷。过多的载荷会损坏叶片以及风力涡轮机的其他部件,因此重要的是确保叶片所经受的载荷保持在可接受的限度内。为了监测这一点,现代风力涡轮机通常设置有叶片载荷传感器系统。这样的系统通常包括设置在每个叶片中以测量该叶片所经受载荷的载荷传感器。载荷传感器通常以应变仪的形式提供,更确切地说以光学应变仪(例如类似于EP1230531中所述的应变仪)的形式提供。

[0003] 在已知类型的叶片载荷传感器系统中,各成对的载荷传感器布置在叶片的圆柱形根部端中,并且在差分的基础上起作用。在US81575822中可以找到这种传感器设置的实施例。在这样的系统中,通常一对载荷传感器将靠近叶片的内部前缘和后缘定位,沿着弦轴以测量边缘方向弯矩,并且一对传感器将被放置到叶片在襟翼方向轴线上的内部下风和迎风叶片表面上。这在图1中示意性地示出,其中圆柱形根部端2覆盖在叶片翼型部分4上。这对襟翼方向传感器6彼此径向相对地定位并且在襟翼方向轴线“F”上对齐,并且这对边缘传感器8也彼此径向相对地定位并且在边缘方向轴线“E”上对齐。

[0004] 通过将成对的传感器排列在特定的轴上,可以确定由每个传感器测量的应变的差异,这确保了由于作用在叶片上的轴向力引起的不准确性可以被分解出来,使得只有由于襟翼或边缘方向力引起的弯矩被检测到。

[0005] 然而,这样的载荷传感器封装件可能昂贵、难以安装并且在风力涡轮机的使用寿命期间的维护也是有问题的,因此希望提供这种载荷传感器封装件的替代方案,但是不牺牲用这种成对的差分传感器可以实现的精度。

### 发明内容

[0006] 在此背景下,本发明的实施例提供了一种用于风力涡轮机叶片的传感器系统,该系统包括:提供载荷测量的叶片载荷传感器;处理单元,其与叶片载荷传感器以接口连接并且被配置为提供校正的载荷参数作为输出,其中处理单元包括:轴向力估算模块,其确定风力涡轮机叶片上的沿叶片长度方向的估算轴向力;以及载荷计算模块,其基于估算出的轴向力和叶片载荷传感器的载荷测量来确定校正的载荷参数。

[0007] 本发明扩展到,并且包括,一种用于确定风力涡轮机叶片上的载荷的方法,包括:使用风力涡轮机叶片载荷传感器测量叶片载荷;估算在叶片上沿其翼展方向轴线作用的轴向力;以及基于估算出的轴向力和测量出的叶片载荷来确定叶片的校正的载荷参数。

[0008] 本发明还在于可以从通信网络下载和/或存储在机器可读介质上的计算机程序制品,其包括用于实现如上定义的方法的程序代码指令,以及在其上存储有这样的计算机程序制品的机器可读介质。

[0009] 本发明的一个好处是只需要单一的载荷传感器,这使得其成为更节约成本并可靠的传感器装置。此外,即使只需要单一传感器,传感器输出仍然是准确的,因为它补偿了叶片在其旋转时的离心或重量效应而可能引起的任何应变。在没有这样的补偿的情况下,单一传感器系统将容易受到基于叶片方位位置的增益误差的影响,因此依赖于由单一传感器系统提供的载荷信号的任何风力涡轮机功能将类似地受到误差的影响。这可能导致这些功能的意外启动或失效,或增加的致动器活动,例如叶片载荷减小系统中的变桨致动器活动。

[0010] 轴向力估算模块可以基于以下方面中的至少一个或多个来确定作用在叶片上的轴向力:风力涡轮机的几何形状;叶片的机械性能;叶片方位位置和转子速度。

[0011] 此外,轴向力补偿模块可以通过确定 i) 在预定角位置处的基于叶片重量的轴向力贡献,以及 ii) 由在叶片旋转时作用在其上的离心力得出的轴向力贡献,而确定作用在叶片上的轴向力。

[0012] 载荷传感器可以是应变仪。这可能位于叶片的根部端,并与其配置测量的力轴线对齐。例如,传感器可以尽可能靠近叶片的襟翼方向轴线对齐,以便确定围绕该襟翼方向轴线的力或弯曲矩,并且类似地,传感器可以尽可能靠近叶片的边缘方向轴线对齐,以便确定围绕该边缘方向轴线的力或弯曲矩。

## 附图说明

[0013] 为了更容易理解本发明,现在将参考附图描述本发明的实施例,附图中:

[0014] 图1是风力涡轮机叶片从其根部端观察的示意图,示出了相对于边缘方向轴线和襟翼方向轴线的载荷传感器布置;

[0015] 图2是风力涡轮机的正视图;

[0016] 图3是根据本发明实施例的叶片载荷传感器系统的示意图;

[0017] 图4是更详细地示出该系统的特征的框图;

[0018] 图5是风力涡轮机叶片的示意图,示出了作用于其上的各主要力;以及

[0019] 图6是风力涡轮机的示意图,示出了机舱的倾斜角和叶片的锥角。

## 具体实施方式

[0020] 参考图2,示出了风力涡轮机10,其包括安装在塔架14的顶部上的机舱12,该塔架以通常方式固定到基座16中。机舱12容纳风力涡轮机10的各种发电部件,并且支撑包括轮毂18和三个叶片20的转子。图1所示的风力涡轮机装置是水平轴风力涡轮机(HAWT)装置,其是系统的常见类型,尽管也存在适用本发明的其他类型。众所周知,作用在各叶片20上的风的流动使转子旋转,该转子驱动容纳在机舱12内的发电设备。

[0021] 如上所述,在风力涡轮机10的运行期间,叶片20经受由于空气动力、重力和惯性力产生的载荷。为了监测这些载荷,风力涡轮机10设置有根据本发明的实施方式的叶片载荷传感器系统11,现在将参照图3描述其特征。

[0022] 在这个阶段应该注意的是附图是示意性的,并且为了清楚的目的已经被简化,并且避免了模糊本发明的原理形式的不必要细节。当然,在实践中,风力涡轮机将包括更多的部件。本领域技术人员将会理解,在风力涡轮机的实际实施中将存在额外的常规部件,因此隐含了它们的存在。

[0023] 在图3中,叶片20显示为具有由外壳24提供的翼型轮廓22,该外壳限定基本上中空的内部26。叶片20的翼型轮廓22在其根部端28处混合到基本上圆柱形的部分中,叶片20在基本上圆柱形的部分处连接到轮毂18。

[0024] 叶片20包括位于叶片20的根部端28附近的载荷传感器30,并且载荷传感器30以接口连接到处理单元32,该处理单元在该实施例中示出为容纳在机舱12中,尽管这不是必要的,因为它可能位于风力涡轮机的其他地方。如在图3的插图部分可以看到的那样,载荷传感器30位于根部端28的下部并且在襟翼方向轴线F上对齐。在这个位置上,载荷传感器30将只用一个传感器而不是如现有技术中的那样的一对传感器起到测量叶片上的襟翼方向载荷的作用。请注意,襟翼方向载荷和相应的襟翼方向弯矩在图5中分别以 $F_{\text{襟翼}}$ 和 $M_{\text{襟翼}}$ 示出。这里应该提到的是,虽然在该实施方式中载荷传感器30安装在襟翼方向轴线F上,但是其他实施方式可以使载荷传感器30安装在边缘方向轴线上。还应该注意的,尽管根部位置是方便的安装点,但是载荷传感器30并不是必须位于叶片的根部端。因此,只要传感器在叶片翼展方向轴线上对齐,它就可以安装在任何地方。

[0025] 本领域技术人员将理解,叶片上的襟翼方向载荷是由于由叶片产生的升力和阻力引起的沿襟翼方向轴线作用的力。这由载荷传感器检测为沿襟翼方向轴线的应变,该应变然后通过仪器因子转换成载荷。然而,由叶片重量以及离心力产生的轴向力(在图5中显示为 $F_{\text{轴向}}$ )也将在传感器30上沿叶片翼展方向轴线(也就是说叶片的沿叶片长度方向从根部到尖部延伸的纵向轴线)引起应变。在如此处所示的单一传感器系统中,这种力的混合可能导致传感器读数误报作用在叶片上的实际襟翼方向弯矩,因为该系统不能区分这两种力。这可能会导致依靠这种信号进行操作的任何功能中的进一步影响。例如,用于在检测到过多襟翼载荷时减小叶片桨距的系统可能过早地作用以减小叶片桨距,并且这也将具有减少能量产出的作用,由此降低风力涡轮机的整体发电效率并且减少制动器的使用寿命。

[0026] 本发明的实施方式通过确定对于由作用在叶片上的轴向力引起的应变进行补偿的叶片弯矩值来提供对此问题的解决方案。这样,得到的弯矩信号基本上不受叶片重量和离心效应的影响,这意味着确定出的弯矩的精确度更可靠。此外,本发明的实施方式提供的是,单一传感器系统可以以可接受的精确结果使用,这意味着传感器系统更简单(因为其具有更少的部件)、更容易地安装在叶片内、并且关于差分传感器系统更有成本效益。

[0027] 回到图3,处理单元32的作用是接收来自载荷传感器30的载荷信号,并输出叶片载荷参数或信号40,该叶片载荷参数或信号对于由叶片重量和离心力产生的轴向力进行补偿,如下文将解释的“轴向力补偿”。在图3中,处理单元32被示为连接到数据总线34,使得连接到该数据总线34的任何子系统可以从其中选择叶片载荷参数。然而,处理单元32可以可选地被配置成将载荷参数直接输出到任何相关的子系统。

[0028] 此处应该提到的是,在图2中仅示出单一叶片20,并且实际上处理单元32可以从其他叶片接收来自载荷传感器的数据输入。可选地,可为每个叶片提供专用处理单元。而且,虽然仅示出了单一载荷传感器30,但是应该理解,取决于应用,每个叶片可以配置有多于一个载荷传感器。

[0029] 载荷传感器30被配置为测量叶片20的机械变形。尽管在该实施方式中传感器30位于根部端28处或附近,但应该注意,原则上传感器30可以被安装在在叶片20内的其他位置。载荷传感器30可以被粘合到叶片20的内表面,或者可选地,传感器30可以被嵌入壳体24的

结构内或被粘合到外表面。合适的载荷传感器的实施例是光学应变计,例如在不同应变水平下反射不同波长光的光纤布拉格光栅 (FBG),其包括光纤芯部中的等距的反射点。这种传感器是技术人员所熟知的。

[0030] 如上所述,处理单元32与载荷传感器30以接口连接,以接收来自载荷传感器30的原始载荷信号42,并被配置为执行轴向力补偿功能,使得从处理单元32输出的载荷参数具有改进的精度。在此过程中,处理单元32被布置成监测一个或多个风力涡轮机参数(即,接收与所述一个或多个风力涡轮机参数有关的数据信号)。所述一个或多个风力涡轮机参数可以包括叶片角度位置和转子速度。该信息可以从数据总线34提取,或者可以通过直接传感器输入(如在图3中所示的通过标记为43的传感器输入)提供。为此目的,风力涡轮机10设置有向处理单元32提供数据信号的各种传感器。本领域技术人员将会理解,传感器可以酌情通过有线或无线连接向处理单元32提供信号。典型地,关于角位置和转子速度的这种信息可以从转子遥测获得。

[0031] 图4更详细地示出处理单元32。如图所示,处理单元32包括载荷计算模块44和轴向力估算模块48。

[0032] 载荷计算模块44基于两个输入来计算叶片载荷。第一输入是来自叶片载荷传感器30的输入,并且第二输入来自轴向力估算模块48。

[0033] 基于这两个输入,载荷计算模块44确定叶片上的襟翼方向载荷,更具体地为叶片襟翼方向弯矩( $M_{\text{弯曲}}$ ),其被校正以消除作用在叶片上的由于其自重和离心效应产生的轴向力的影响。请注意,作用在叶片上的襟翼方向力也可以替代地或附加地计算。

[0034] 轴向力估算模块48接收来自传感器43的输入。在该实施方式中,传感器提供与转子速度有关的信息,即叶片的角速度以及叶片的角位置。

[0035] 轴向力估算模块48的功能是根据叶片的位置和旋转速度来确定在叶片旋转时在叶片上引起的估算出的轴向力。在该实施方式中,轴向力估算模块48通过执行两个因素的在线确定来实现这一点,这两个因素是:由重力产生的轴向力贡献(“重力贡献”)以及由于叶片的转速产生的离心力贡献(“离心贡献”)。

[0036] 重力贡献,或 $F_G$ ,可以由以下表达式确定:

$$[1] F_G = M_B \times G \times \cos(\alpha_B) \times \cos(\alpha_N + \cos(\alpha_B) \times \alpha_C)$$

[0038] 其中:

[0039]  $F_G$ 是重力贡献;

[0040]  $M_B$ 是叶片的质量;

[0041]  $G$ 是由重力引起的加速度,即 $9.81\text{ms}^{-2}$ ;

[0042]  $\alpha_B$ 是相对于合适的基准位置的叶片方位位置,以弧度表示,即零度为笔直向下;

[0043]  $\alpha_N$ 是相对于水平位置的机舱倾斜角度,以弧度表示。

[0044]  $\alpha_C$ 是相对于倾斜的机舱轴线的垂直方向的叶片锥角,以弧度表示。

[0045] 请注意,为了完整性,角度 $\alpha_N$ 和 $\alpha_C$ 如图6所示。

[0046] 离心贡献可以由以下表达式确定:

$$[2] F_C = M_B \times \text{CoG}_B \times N_R^2$$

[0048] 其中:

[0049]  $\text{CoG}_B$ 是叶片的重心,是从叶根的长度;以及

[0050]  $N_R$ 是以弧度每秒表示的转子速度。

[0051] 最后,作用在叶片上的轴向力可以通过计算出重力贡献和离心贡献的以下表达式来确定:

$$[0052] \quad [3] F_{AXIAL} = F_G + F_C$$

[0053] 因此,如上所述,轴向力估算模块48连续地确定参数,并且因此向载荷计算模块44输出表示沿叶片的纵向轴线作用的估算出的力的连续信号。

[0054] 继而,载荷计算模块44用于根据其从叶片载荷传感器接收到的应变信号以及其从轴向力补偿模块48接收到的轴向力信号来确定叶片上的襟翼力,并且因此确定弯矩。

[0055] 载荷计算模块44可以通过执行以下表达式来确定叶片的襟翼弯矩:

$$[0056] \quad [4] \quad M_{\text{襟翼}} = \frac{S + O_S - (F_{AX} \times K_{AX})}{K_B}$$

[0057] 其中:

[0058]  $M_{\text{襟翼}}$ 是叶片的襟翼弯矩;

[0059]  $S$ 是来自叶片载荷传感器的应变信号;

[0060]  $O_S$ 是传感器校准补偿,用于针对温度影响和任何固有和/或安装效应校准应变信号;

[0061]  $F_{AX}$ 是上述等式[3]中计算出的轴向力;

[0062]  $K_{AX}$ 是轴向力校准系数,其实际上将轴向力值转换成引起的应变值,从而其可以有效地从载荷传感器测得的应变信号中减去;

[0063]  $K_B$ 是弯矩校准系数,其实际上将补偿的应变转换成期望的弯矩值。

[0064] 注意,上述各种校准系数可以使用已知的校准技术得出,例如通过将转子与3点钟位置处的待测试叶片固定在一起,从而被测叶片在其整个变桨范围内变桨。叶片上的最大和最小载荷因此是已知的且可预测的量,允许限定在原始传感器数据和载荷量之间的限定关系。本领域技术人员将理解这样的技术,因此这里将不给出进一步的解释。

[0065] 一旦载荷计算模块已经确定了襟翼方向弯矩 $M_{\text{襟翼}}$ ,则其经由输出信号50将参数输出到数据总线34上,尽管在其他实施方式中,其可以被配置为将信号直接提供给风力涡轮机的所选子系统。

[0066] 从上面的讨论可以理解,处理单元32利用单一载荷传感器提供了不受由于叶片重量而在叶片上引起的应变以及在叶片旋转时作用在叶片上的离心力影响的侧向弯矩信号50。提供更具成本效益的传感器系统,而且更容易配置和维护。此外,重要的是要注意,没有手段来补偿在传感器上引起的轴向应变的“标准”单传感器系统实际上将导致襟翼载荷信号具有增益误差,该增益误差是叶片方位位置的函数。使用该传感器信息的任何控制器将不可避免地在受控的输出上出现误差,该误差也是叶片方位位置的函数。这可能表现出的一种方式是在周期性变桨控制变化中,其中控制动作通过将每个叶片独立于其它叶片以转子每旋转一圈一次的频率变桨来减轻误差。补偿这个误差将明显增加致动器变桨机构上的磨损。此外,具有依赖于不准确襟翼载荷信号的致动策略的任何载荷控制功能可能在不正确的时间触发。

[0067] 本领域技术人员将会理解,在不脱离由权利要求限定的发明构思的情况下,可以对上述特定实施方式的变化和修改。例如,在上述实施方式中,已经描述了轴向力补偿模

块48计算被发送到载荷计算模块44进行处理的轴向力值。继而,载荷计算模块44实际上将轴向力值转换成在载荷传感器(应变仪)30上引起的等效应变的值,从而其可以从总的测量出的应变值中减去。然而,在替代实施方式中,可以设想的是,轴向力补偿模块48可以输出轴向力值,其然后将被转换为等效襟翼方向弯矩值以从总的测量出的载荷值中减去。此外,可以设想的是,轴向力补偿模块可以被配置为基于估算出的轴向力来计算引起的襟翼方向弯矩的值,其中载荷计算模块简单地将引起的弯矩值从测量出的总的弯矩值中减去。

[0068] 例如,在上述实施方式中,载荷传感器在襟翼方向轴线上对齐以检测襟翼载荷。然而,可以设想其他实施方式,其中将相同的原理应用于单一边缘方向传感器,在这种情况下,可以使用相同的估算出的轴向力来补偿边缘方向弯矩。

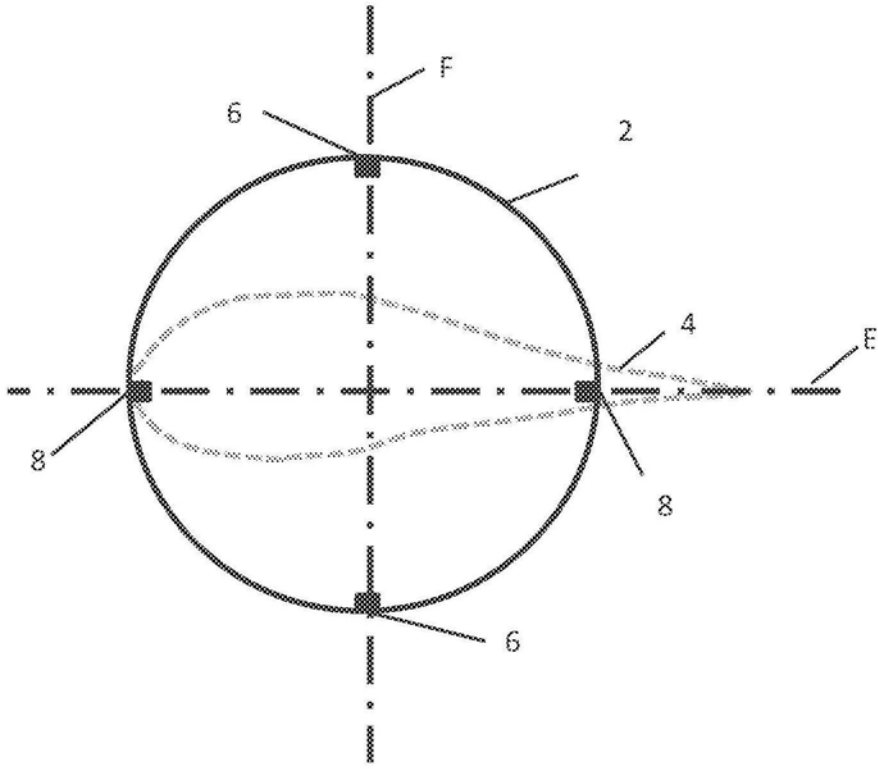


图1

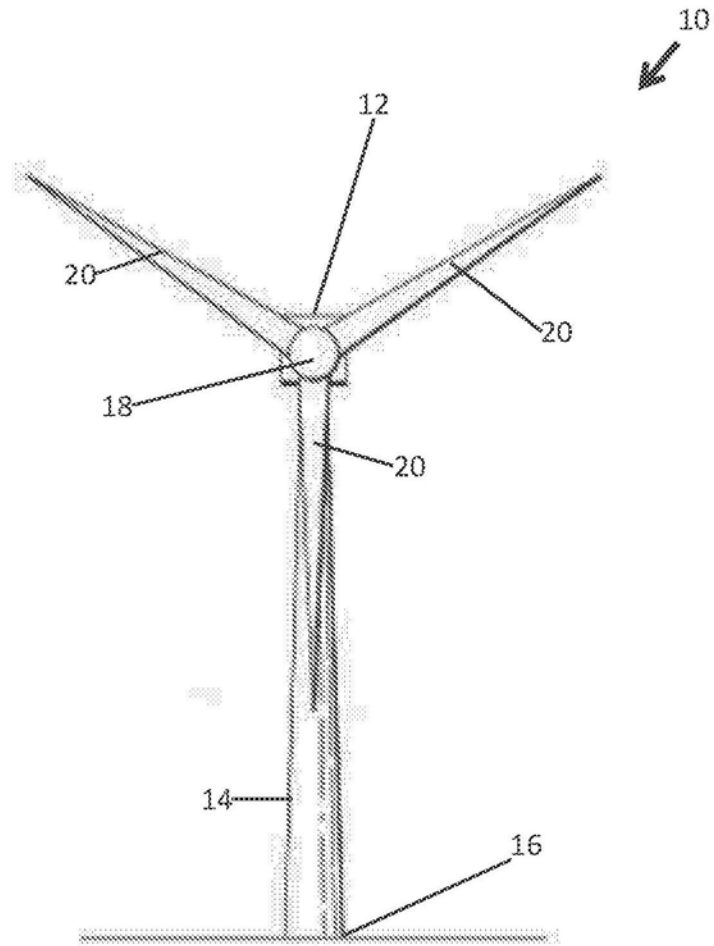


图2

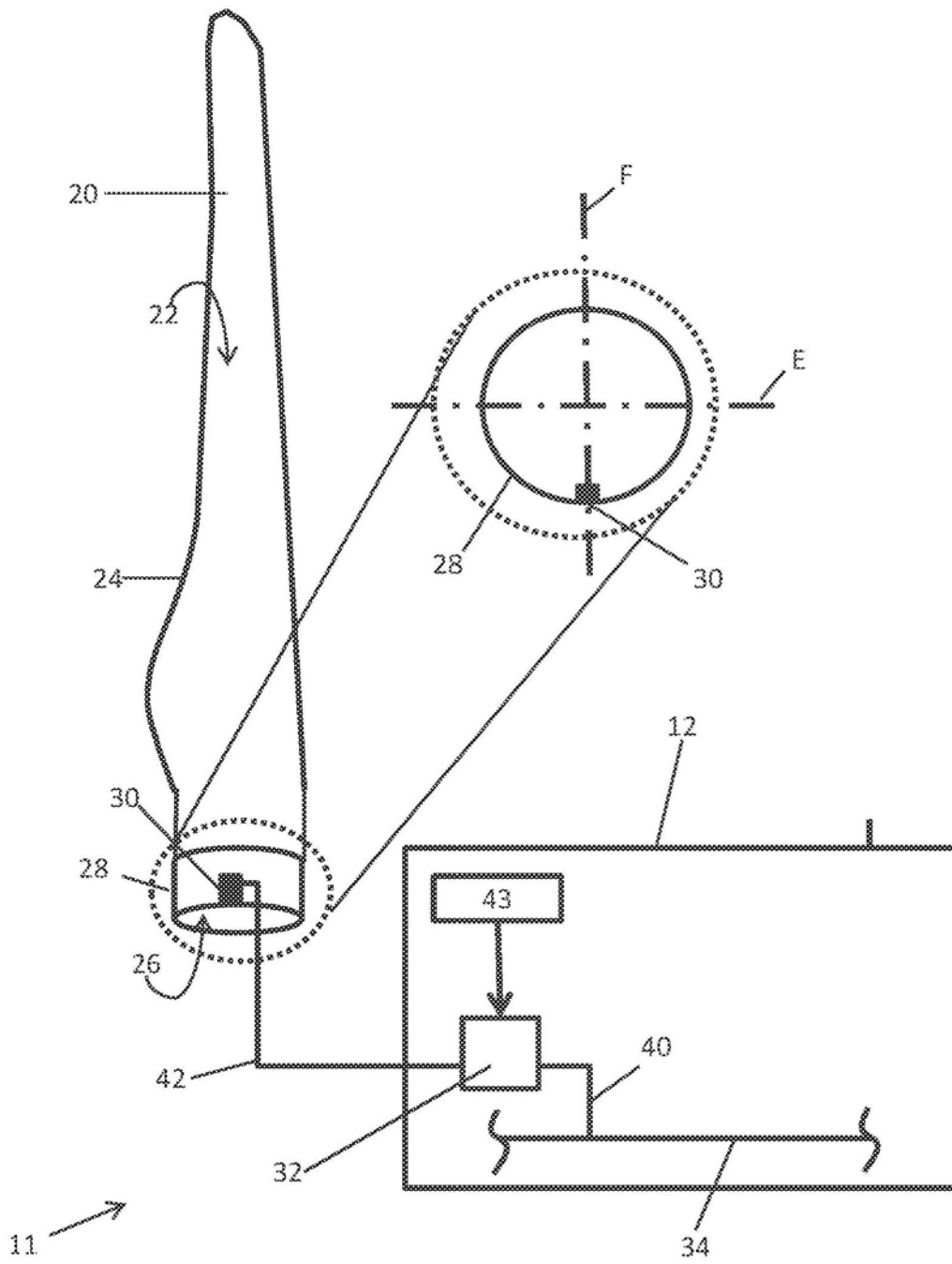


图3

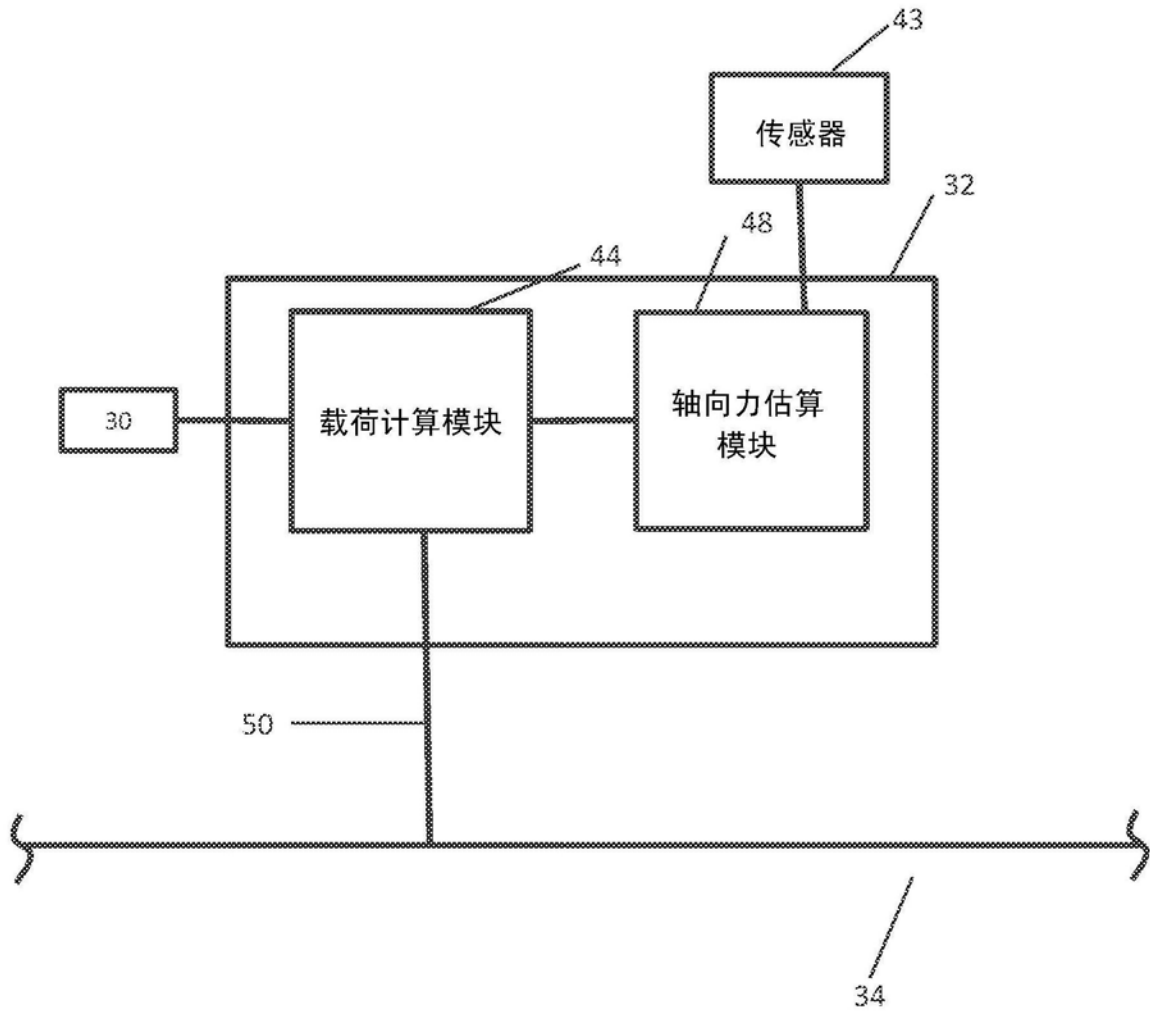


图4

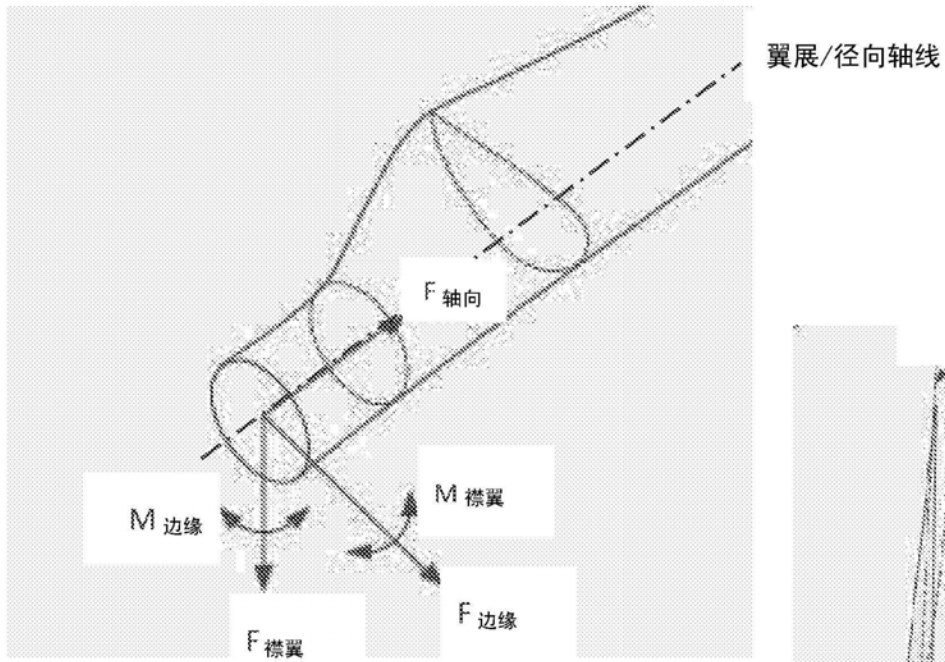


图5

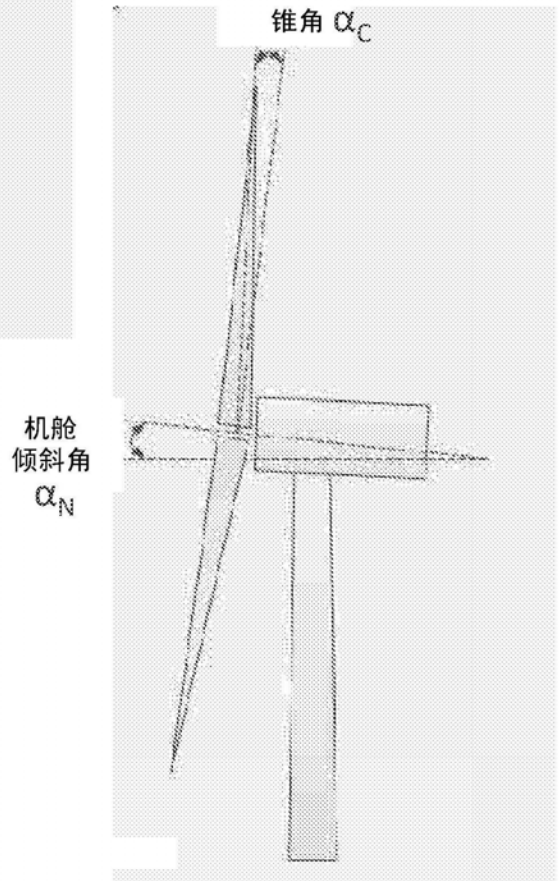


图6