



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103857904 B

(45)授权公告日 2017.06.13

(21)申请号 201280023230.9

(22)申请日 2012.05.04

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103857904 A

(43)申请公布日 2014.06.11

(30)优先权数据
61/483,397 2011.05.06 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2013.11.20

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/IB2012/002704 2012.05.04

(87)PCT国际申请的公布数据
W02013/027127 EN 2013.02.28

(73)专利权人 康道尔风能有限公司
地址 英国伦敦

(72)发明人 S·卡鲁索 M·贾库波斯基
L·蔡奥里

(74)专利代理机构 北京市铸成律师事务所
11313

代理人 孟锐

(51)Int.Cl.
F03D 7/02(2006.01)
F03D 1/06(2006.01)

(56)对比文件
CN 101189430 A,2008.05.28,
CN 101012809 A,2007.08.08,
CN 102022266 A,2011.04.20,
CN 200955471 Y,2007.10.03,
US 4815936 A,1989.03.28,

审查员 龚洋

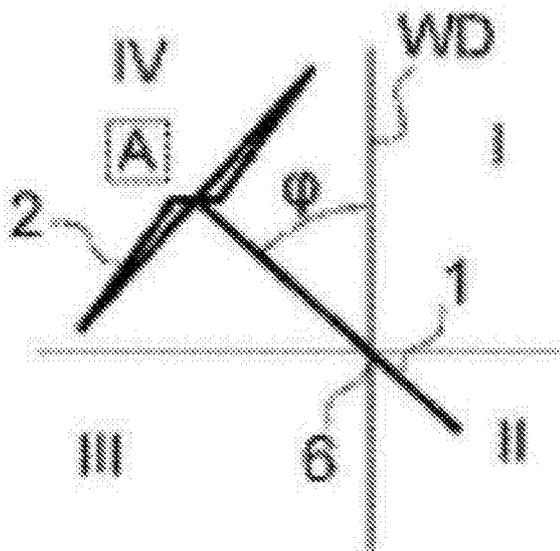
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

用于在两叶片式带摇摆铰链的风力涡轮机中使通过偏航控制功率所需的转矩最小化的系统

(57)摘要

本发明提供用于增加风力涡轮机、尤其是近海风力涡轮机的运行效率的系统和方法。本发明公开了用于减少相对于风向转动转子轴的轴线所需的转矩的系统和方法。还公开了用于控制所述转子轴的轴线的旋转速度的系统和方法。



1. 一种用于使得限制仅具有两个叶片以及摇摆铰链的逆风风力涡轮机的功率输出所需的偏航转矩最小化的方法,所述涡轮机具有被设计来在从进风来看时顺时针地运转并且被收纳在塔顶上的机舱中的转子,所述方法包含:

在风速高于额定值时,使转子轴线远离风向在从所述机舱上方来看时逆时针地偏航以便限制所述功率输出;以及

利用中央控制器和附属偏航致动系统控制所述偏航,其中所述中央控制器接收来自转子速度传感器和相对风向传感器的信号。

2. 一种用于使得限制仅具有两个叶片和摇摆铰链的逆风风力涡轮机的功率输出所需的偏航转矩最小化的方法,所述涡轮机具有被设计来在从进风来看时逆时针地运转并且被收纳在塔顶上的机舱中的转子,所述方法包含:

在风速高于额定值时,使转子轴线远离风向在从所述机舱上方来看时顺时针地偏航以便限制所述功率输出;以及

利用中央控制器和附属偏航致动系统控制所述偏航,其中所述中央控制器接收来自转子速度传感器和相对风向传感器的信号。

3. 如权利要求1或2所述的方法,进一步包括关闭所述风力涡轮机。

4. 如权利要求1-3中任一项所述的方法,其中所述中央控制器将实际额定运转速度与所需运转速度进行比较。

5. 如权利要求4所述的方法,其中所述所需运转速度等于所述额定转子运转速度。

6. 如权利要求1-3中任一项所述的方法,其中所述中央控制器通过对速度误差进行积分并且用非线性增益算法校正所述速度误差来计算所需偏航角度。

7. 如权利要求6所述的方法,其中所述中央控制器将所述所需偏航角度与所感测的相对风向进行比较,并且计算转子轴线改变的方向。

8. 如权利要求1-3中任一项所述的方法,其中所述中央控制器命令所述机舱在从上方来看时相对于风向以及所述转子的转动保持处于优选的功率限制或停机方向上。

9. 如权利要求8所述的方法,其中当所述风速增加并且引起所述转子运转速度增加,那么所述中央控制器命令偏航系统在所述优选的功率限制方向上进一步移动所述机舱,并且当所述风速降低并且引起所述转子运转速度降低,那么所述中央控制器命令所述偏航系统在与所述优选的功率限制方向相反的方向上移动所述机舱。

10. 如权利要求1-3中任一项所述的方法,其中所述中央控制器被配置为滤出高频风湍流。

11. 如权利要求1至3中任一项所述的方法,其中使所述转子轴线偏航减少了叶片的摇摆幅度。

12. 如权利要求11所述的方法,其中减少所述摇摆幅度使轮毂凸悬最小化或者使叶片与塔之间的间隙最大化。

13. 如权利要求11所述的方法,其中所述叶片的节距是固定的。

用于在两叶片式带摇摆铰链的风力涡轮机中使通过偏航控制 功率所需的转矩最小化的系统

[0001] 相关申请声明

[0002] 本申请要求2011年5月6日提交的美国临时申请第61/483,397号的优先权,所述美国临时申请以引用的方式整体并入本文中。

发明领域

[0003] 本发明涉及用于增加偏航控制风力涡轮机的运行效率的系统和方法。

[0004] 背景

[0005] 大多数三叶片式和两叶片式涡轮机配备有偏转系统,从而能够改变转子轴线的定向,以便遵循风向并且确保转子面对着风。大多数三叶片式和两叶片式涡轮机对转子叶片的节距进行调节,以便控制涡轮机的速度并且因此控制涡轮机的功率输出,以及控制停机。

[0006] 在两叶片式风力涡轮机中,有可能将涡轮机偏航成向风或背风,以便在不需要任何节距控制的情况下同样控制涡轮机的速度并且因此控制涡轮机的功率输出。这在两叶片式涡轮机使用摇摆铰链(或,“跷跷板式”铰链)将涡轮机叶片附接到涡轮机的传动系上的情况下是可能的。摇摆铰链给予转子额外的自由度,从而允许涡轮机克服回转力并足够快地调节偏航角度以对涡轮机的转子速度进行控制。

[0007] 在使用偏航控制来控制转子的运转速度的涡轮机中,必须注意确保将摇摆角度控制并保持在特定界限内,以便避免撞击支撑结构,并且确保转子的有效动态性能,尤其是在因极端风力状况而经受快速偏航时。

[0008] 概述

[0009] 本专利申请公开了用于使得所必需的偏航转矩以及摇摆幅度最小化的某些技术。这允许转子、偏航系统以及摇摆铰链的动态控制和性能得到改进,从而使涡轮机的性能得到改进。这又减小在偏航系统和摇摆铰链上的应力,并且使涡轮机得到更大可靠性和设计改进。它还改进了涡轮机在极端风力状况下的安全性。

[0010] 本发明涉及两叶片式带摇摆铰链的偏航控制逆风涡轮机。在两叶片式带摇摆铰链的偏航控制风力涡轮机中,通过在风速高于额定值时将转子偏航成背风来控制功率。本发明主要涉及用于在要求偏航角度快速改变以便控制功率或要求快速偏航以便通过使转子轴线与风向成90度来停机时减小围绕塔轴线转动机舱所必需的转矩的系统。本发明公开了用于基于对转子轴速度、风向以及转子轴线方向的测量来控制偏航角度发生改变的的方向的系统。

[0011] 在风速不高于额定值时,涡轮机向风运行(转子轴线与风向对准),因此所述系统有遵循风向的作用。当风力高于额定值时,转子轴线发生偏航以便保持垂直于转子圆盘的风速分量恒定,因此所述偏航系统有控制转子运转速度的作用,同时转子转矩由其它装置(例如,发电机和功率转换器)控制。

[0012] 在两叶片式带摇摆铰链的偏航控制涡轮机中,叶片刚性连接到轮毂上,并且后者通过轴线垂直于轴的轴线的铰链来连接到所述轴上。通过所述铰链引入的自由度动态减小

所述涡轮机的回转负载,尽管这具有扭转刚度 $\neq 0$;因此,致动所必需的偏航速率以及后续加速所需的偏航转矩受到限制。进一步减少偏航转矩可以通过逆风转子相对于风向的位置与轴运转速度的方向之间的合适组合来实现。

[0013] 所公开的系统将会减少转动所述转子轴线所需的转矩量,即使在偏航速率高的情况下也是如此,从而还会导致在偏航操纵过程中对整个涡轮机系统充电的负载减小并使得偏航电动机寿命增加。本发明尤其对其中机舱壳体可以重达数千千克的大型涡轮机(例如,大于1MW)有用。

[0014] 正在运转的转子的摇摆行为是这样的:当所述两个叶片是围绕其垂直位置(方位角 $=0$)时,摇摆角度总是较小,而其在所述叶片水平时达到最大值。所公开的系统也将进一步地减小叶片围绕零方位角的摇摆角度,因此允许减小轮毂凸悬(即,轮毂与塔轴线的距离),这对于在极端情况下保护右间隙叶片尖端塔是必要的。

[0015] 在一个实例中,本发明的一种系统包括中央处理器(CPU)、致动偏航系统(用于使涡轮机围绕塔来转动)、转子轴运转速度传感器、相对风向传感器(相对于涡轮机的轴线方向)、相对于所述塔的转子轴线方向(绝对方向)的传感器。

[0016] 所述偏航致动系统能够通过经由偏航电动机在所述转子轴的底板与下方的塔之间施加偏航转矩来顺时针或逆时针地改变所述转子轴线方向(如从上方来看,即如从所述机舱上方向下看)。

[0017] 表征涡轮机的转子运转方向源自对转子和发电机的特定设计。总体来说,逆风转子被设计成在从进风方向看时顺时针(CW)地运转。然而,所发明的系统也可应用于其中所述转子被设计成逆时针地(CCW)运转的情况。

[0018] 本发明的系统和方法还在涡轮机停放为转子轴线被定向为与风向成90度并且应当保持处于这个位置时对停机有用:针对任何风向改变校正机舱位置所需的小偏航转矩是非常有利的。

[0019] 附图简述

[0020] 图1示出两叶片式带摇摆铰链的风力涡轮机的概括性示意图。

[0021] 图2示出从上方来看的两叶片式带摇摆铰链的风力涡轮机的概括性示意图,其中转子位置定向在象限IV中,由此从进风方向WD为逆时针(CCW)。

[0022] 图3示出从上方来看的两叶片式带摇摆铰链的风力涡轮机的概括性示意图,其中转子位置定向在象限I中,由此从进风方向WD为顺时针(CW)。

[0023] 图4示出在转子轴已经以角度 Φ 逆时针地偏航远离风时与在转子轴上方垂直定向、顺时针地自旋的叶片相关联的风速矢量和角度。

[0024] 图5示出在从进风方向来看转子顺时针地运转时与主动偏航转矩的方向相关联的摇摆铰链保持转矩的方向。

[0025] 图6示出当在将转子偏航成背风的情况下风以角度 Φ 撞击叶片时上部叶片的攻角。

[0026] 图7示出当在将转子偏航成背风的情况下风以角度 Φ 撞击叶片时下部叶片的攻角。

[0027] 图8示出转子轴线从水平方向的倾斜,所述倾斜导致额外的偏航力矩。

[0028] 图9概念性地示出在顺时针地自旋并且转子轴线已经逆时针地偏航远离风时在两叶片式带摇摆铰链的转子的叶片上的平面内力。

[0029] 图10示出从上方来看的在涡轮机转子上的摆动位移,其中叶片水平地定向。

[0030] 图11示出用于执行本发明的示意性控制系统。

[0031] 图12示出本发明的示意性的更完整的控制系统。

[0032] 详述

[0033] 总体来说,本发明涉及两叶片式带摇摆铰链的偏航控制风力涡轮机。当风速低于额定值时,这些涡轮机是通过保持转子的风向并且通过调节轴抑制转矩来进行控制,以便维持最佳尖端速度比(也就是说,叶片尖端的外围速度与风速之间的比率)。通过由涡轮机控制器(CPU)致动的偏航系统来保持转子的风向。转子抑制转矩由其它装置(即,连接到涡轮机发电机上的电功率转换器,其中恰当的控制器的附属于涡轮机控制器)来调节。

[0034] 当风速高于额定值时,在转子转矩被保持“恒定”处于其额定值时,通过以下方式将转子运转速度保持“恒定”处于其额定值:始终将转子轴线从风向偏航,并且在风速减少时将转子轴线方向改变成迎着风向,或者在风速增加时将转子轴线方向改变成顺着风向。在两叶片式带摇摆铰链的转子中,改变转子轴线方向所必需的偏航转矩借助摇摆铰链进行限制,所述摇摆铰链消除涡轮机系统的回转负载。

[0035] 改变转子轴线方向所必需的偏航转矩越低,所得的偏航速率可能越快,因此功率控制的性能越好。对于停机,转子轴线被偏航(移动)成与风向成90度。停机要求最高偏航速率。

[0036] 所必需的偏航转矩往往会相对于涡轮机正在运行时所处的实际偏航角度(即,风向与转子轴线方向之间的角度)而增加;并且平均风速越高,所必需的偏航角度就越大。

[0037] 偏航角度在风速低于额定值时为零度,在风速处于切出值时为60度,在停机时为90度。因此,相对于风向来说,要求涡轮机在转子轴线方向位于同一象限的0度与90度之间时运行,而转子轴线的绝对方向取决于绝对风向。

[0038] 除了摇摆铰链的有益效果之外,还可以通过协调转子运转速度的方向和转子相对于风向运行所处的象限来进一步减少偏航转矩。这种协调还导致主要在两个叶片垂直定向时减小摇摆幅度,并且这允许限制由叶片尖端与逆风涡轮机的塔之间的必要间隙所规定的轮毂凸悬。

[0039] 本发明公开了用以使通过偏航控制两叶片式带摇摆铰链的涡轮机所需的偏航转矩最小化的系统和方法。通常,通过偏航对涡轮机进行控制所必需的传感器是:

[0040] -转子运转速度传感器(即,拾波器);

[0041] -转子轴线绝对方向传感器(即,在传动系底板与塔之间的编码器);

[0042] -相对风向传感器(即,由涡轮机顶支撑的风向轮叶);

[0043] 并不需要风速传感器来通过偏航控制功率;仅仅必须在风速低于切入值以及高于切出值时使涡轮机停机并且在风速高于切入值以及低于切出值时允许运行。

[0044] 图1示出经由塔顶上的机舱附接的两叶片式带摇摆铰链的转子的概括性示意图。

[0045] 图2和图3示出从上方(也就是说,从涡轮机的顶部到底部)来看的转子。在图2中,转子在象限IV中运行,也就是说,在12点钟与9点钟之间,其中风向WD是从12点钟吹出;在图3中,转子在象限I中运行,也就是说,在12点钟与3点钟之间。已经发现,为了使功率控制所必需的偏航转矩最小化,在图2的情况下,从A来看,转子必须顺时针地运转;在图3的情况下,转子必须逆时针地运转。

[0046] 转子转动方向由转子设计相关选择来规定。图4示出在象限IV中运行的转子2,所

述转子2顺时针地运转,其中叶片处于垂直位置。转子2包括顶部叶片3、底部叶片4以及摇摆铰链7。转子以角速度 ω 自旋。当以角度 Φ 将转子轴线移动成背风时,沿着法线分量 W_N 和侧向分量 W_C 来划分入射风力矢量 W 。在偏航控制的涡轮机中,偏航控制系统用以调整角度 Φ ,以便保持转子轴速度处于额定值,同时通过发电机和关联装置(即,功率转换器)将保持转矩 T 保持处于其额定值。当风速增加或者减少时,对 Φ 进行调整以便保持风的法线 W_N 恒定。通常,平均而言, Φ 可以在0至60度的范围内。60度角度对应于接近切出值的平均风速。然而,在因风度和风向的可变性引起的瞬变过程中, Φ 可以达到高于60度的值而不会造成不稳定性。在停机过程中, Φ 增加至90度,在这个值上,风不产生或者产生少量负的气动转矩,因而允许转子停止。在风速低于额定值时,同一控制系统保持偏航角度 Φ 为约0,或者直接与风对准,以便使能量产生最大化。

[0047] 考虑图4的在象限IV中顺时针地运转的转子,侧向分量 W_C 导致顶部叶片3(沿着 W_C 移动)与底部叶片4(逆着 W_C 移动)产生不同的攻角。这在两个叶片3和4上产生不同负载,并且转而在摇摆铰链7的周围产生抑制力矩 $M_{h\Delta\alpha}$,从而在将底部叶片从塔开始移动的方向上起作用。 Φ 越高, $M_{h\Delta\alpha}$ 就越高。当偏航转矩 M_y 经由机舱1(例如,经由机舱的底板)施加到转子轴上时,转子的回转效果产生铰链力矩 M_{hy} ,如图5所示。 M_{hy} 的方向取决于偏航转矩 M_y 的方向并且取决于转子转动的方向。偏航转矩越大,铰链力矩就越大。

[0048] 如图5所示,在转子顺时针地运转以在象限IV中运行的情况下,导致转子轴的轴线在逆时针方向上产生角位移 Φ (通常在停机时所发生的状况)的偏航转矩将会导致反作用的抑制($M_{h\Delta\alpha}$)和铰链(M_{hy})力矩。因此,对于针对功率控制所发生的逆时针偏航,以及对于以较高偏航速率和较高偏航转矩进行停机,所得的摆动幅度得以减小。

[0049] 顶部叶片3与底部叶片4的攻角上的差异在图6和图7中更详细地示出。图6示出在顶部叶片3的尖端处的法线风速 W_N 、侧向风速 W_C ,以及外围速度 ωR 。在顶部叶片3的情况下, W_C 和 ωR 处于相反方向,从而导致产生攻角 α_1 。相反,底部叶片4(图7)因 W_C 和 ωR 的累加效果而产生攻角 α_2 。尽管所得矢量 V_1 和 V_2 的量值方面存在有利差异,但是攻角上的差异导致在叶片之间气动负载失去平衡,并且导致摇摆幅度(或者不具有摇摆轮毂的叶片中的应变)增加。

[0050] 除了图6至图7中所讨论的叶片的风力矢量和转动速度之外,其它力和力矩共同给出致动偏航角度改变所必需的所得偏航力矩。其它力和力矩是:轴转矩的垂直分量,其围绕偏航轴线作用于机舱上;转子风力作用的侧向力,其作用于转子轮毂上;在叶片几乎处于水平位置时与摇摆角度对应的摇摆抑制转矩;以及与所要偏航加速度对应的偏航转矩。

[0051] 如图8所示,通常使转子轴以 γ 略微升高,从而增加转子与塔之间的间隙。(顺时针地运转的转子的)轴转矩 M_s 的垂直分量 M_{sv} 围绕塔轴线在顺时针方向上起作用,并且将必须被考虑在内以计算改变轴的轴线相对于塔的角度 Φ 所必需的转矩。

[0052] 如图9所示,当顺时针地运转的转子轴在象限IV中运行时,平面负载8中的顶部叶片与平面负载9中的底部叶片之间的差异导致在转子7的轮毂处产生侧向力 F_{yu} 。侧向力的平均值造成反作用于轴转矩 M_s 的垂直分量 M_{sv} 的抑制偏航力矩分量(即,如图8所示),由此减少改变偏航角度所必需的平均偏航力矩。

[0053] 如上所述,最大摇摆角度 θ 在叶片围绕水平位置时达到(图10)。正好等于摇摆角度 θ 乘以扭转刚度 K 的对应摇摆铰链抑制转矩 $M_{y\theta}$ 是改变偏航角度 Φ 所必需的偏航转矩的分量。因所需的偏航加速度造成的转矩较少,这是因为转子质量用作定位在“轮毂”处(即,在图10的摇摆铰链7处)的半准确质量,而非用作刚性圆盘。

[0054] 当采用本发明的系统时,偏航机舱所必需的最大转矩实际上得到减少,并且摇摆角度也得到减少,这主要是在叶片围绕垂直位置时发生。本发明的系统所获得的偏航转矩减少的量级为50%。

[0055] 在所述系统的最简单实施方案中,两叶片式带摇摆铰链的偏航控制逆风涡轮机的转子运转速度的控制在图11中示出。图11涉及一种转子,所述转子被设计并且安装成如果从进风(例如,参见图2中的参考A)来看顺时针地运转,并且所述附图描述在风速高于额定速度并且因此必须将转子以相对于风在速度和方向上的变化而调节的角度 Φ 偏航成背风时对转子运转速度的控制模态。

[0056] 系统由控制器(例如,CPU)1.0和偏航致动系统2.0组成。控制器从转子运转速度传感器(多个传感器)1.2接收信号。所需的转子运转速度1.4是控制器的设定点。将实际转子运转速度1.2与所需转子运转速度1.4进行比较并且由处理器1.5积分相关速度误差1.1,从而给出所需逆时针偏航角度1.6(也就是说,根据图2,转子轴线方向与风向之间的所需角度,其中转子轴线方向是从风向逆时针地转动)。控制器从风向传感器(多个传感器)接收风向与机舱(转子轴线方向)之间的实际相对角度1.7。值1.6与1.7之间的比较给出所需转子轴线方向改变1.11(也就是说,与转子轴线方向对准的机舱与塔的绝对角度的改变)的值。

[0057] 如果值1.11是正的,那么偏航致动系统2.0命令偏航电动机2.1逆时针地转动机舱。如果值1.11是负的,那么偏航致动系统2.0命令偏航电动机2.1顺时针地转动机舱。偏航电动机2.1产生偏航转矩2.2,其效果是改变偏航角度2.3。因此,转子速度2.4将会改变,因而所感测的转子速度1.2发生改变,从而达到所需转子运转速度1.4,并且速度误差1.1得以消除。

[0058] 在系统的替代实施方案中,对两叶片式带摇摆铰链的偏航控制逆风涡轮机的转子运转速度的控制在图12中示出。所述附图涉及一种转子,所述转子被设计并且安装成如果从进风(例如,参见图2中的参考A)来看顺时针地运转,并且所述附图描述在风速高于额定速度并且因此必须将转子以相对于风在速度和方向上的变化而调节的角度偏航成背风时对转子运转速度的控制模态。

[0059] 系统由控制器(例如,CPU)1.0和偏航致动系统2.0组成。控制器从转子运转速度传感器(多个传感器)1.2接收信号。所需的转子运转速度1.4是控制器的设定点。将任选地由高频滤波器1.3滤波的实际转子运转速度1.2与所需转子运转速度1.4进行比较并且由处理器1.5积分相关速度误差1.1,从而给出所需逆时针偏航角度1.6(也就是说,根据图2,转子轴线方向与风向之间的所需角度,其中转子轴线方向是从风向逆时针地转动)。控制器从风向传感器(多个传感器)接收风向与机舱(转子轴线方向)之间的实际相对角度1.7。控制器还接收转子轴线绝对方向感测器1.10的信号。控制器将值1.7与1.10进行比较,以便获得绝对风向1.12。在高端流的情况下,绝对风向可以通过高频滤波器1.8来进行滤波。与所需偏航角度1.6相比,绝对滤波风向给出所需转子轴线方向1.9。所感测的轴线方向1.10与所需转子轴线方向1.9之间的差异给出对转子轴线方向1.11(即,机舱(又被称为转子轴线方向)

与塔的绝对角度的改变)的需要。

[0060] 如果值1.11是正的,那么偏航致动系统2.0命令偏航电动机2.1逆时针地转动机舱。如果值1.11是负的,那么偏航致动系统2.0命令偏航电动机2.1顺时针地转动机舱。偏航电动机2.1产生偏航转矩2.2,其效果是改变偏航角度2.3。因此,转子速度2.4将会改变,因而所感测的转子速度1.2发生改变,从而达到所需转子运转速度1.4,并且速度误差1.1得以消除。

[0061] 通过使用所述系统,使调整两叶片式带摇摆铰链的偏航控制风力涡轮机的偏航以及摇摆幅度所需的转矩最小化是可行的。实行本发明的系统和方法的额外方法将对本领域的技术人员来说是显而易见的并且意图由所附权利要求书涵盖。

[0062] 以引用的方式并入

[0063] 在本公开中,已经参考并引用了如专利、专利申请、专利公开、期刊、书籍、论文、网络内容等其它文献。所有此类文献出于所有目的以引用的方式整体并入本文中。

[0064] 等效物

[0065] 本发明可以通过其它特定形式来实施而不会脱离其精神或基本特性。因此,上述实施方案应在所有方面均被视为说明性的,而非是对本文所描述的本发明的限制。因此,本发明的范围由所附权利要求书指示,而非是由前述描述指示,并且因此,本文意图涵盖落入与权利要求书等效的意义和范围内的所有改变。

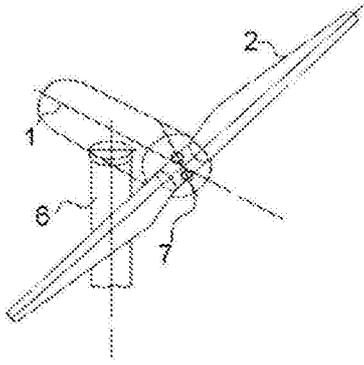


图1

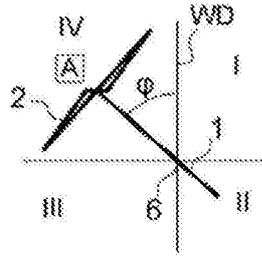


图2

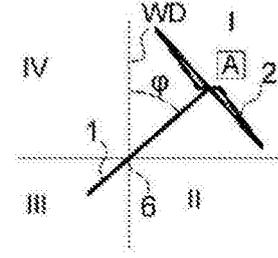


图3

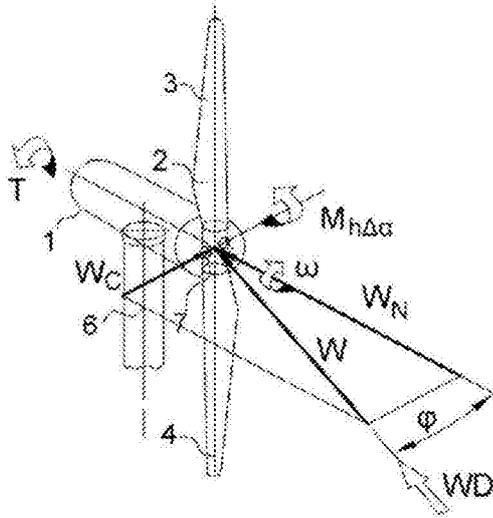


图4

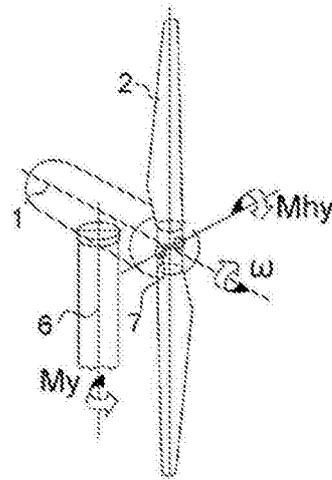


图5

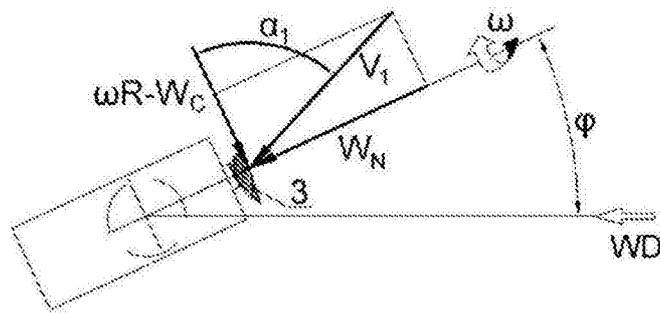


图6

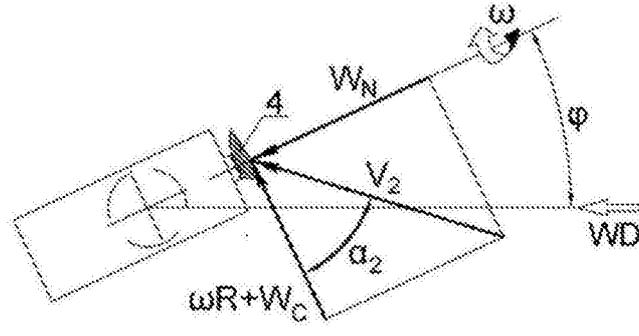


图7

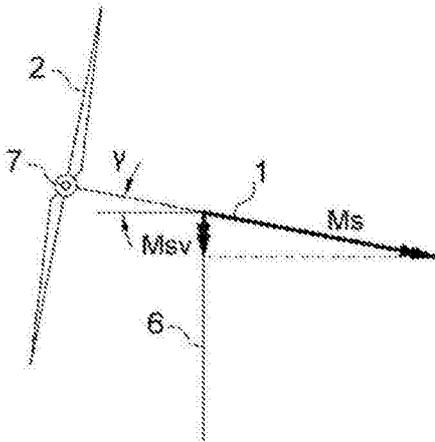


图 8

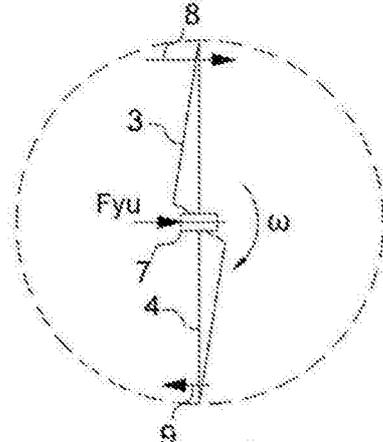


图 9

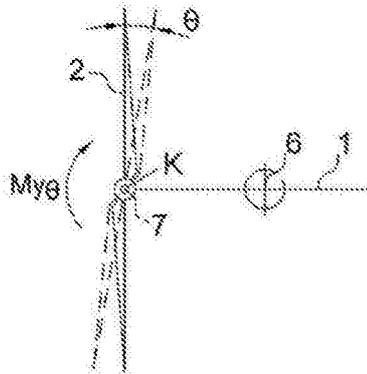


图 10

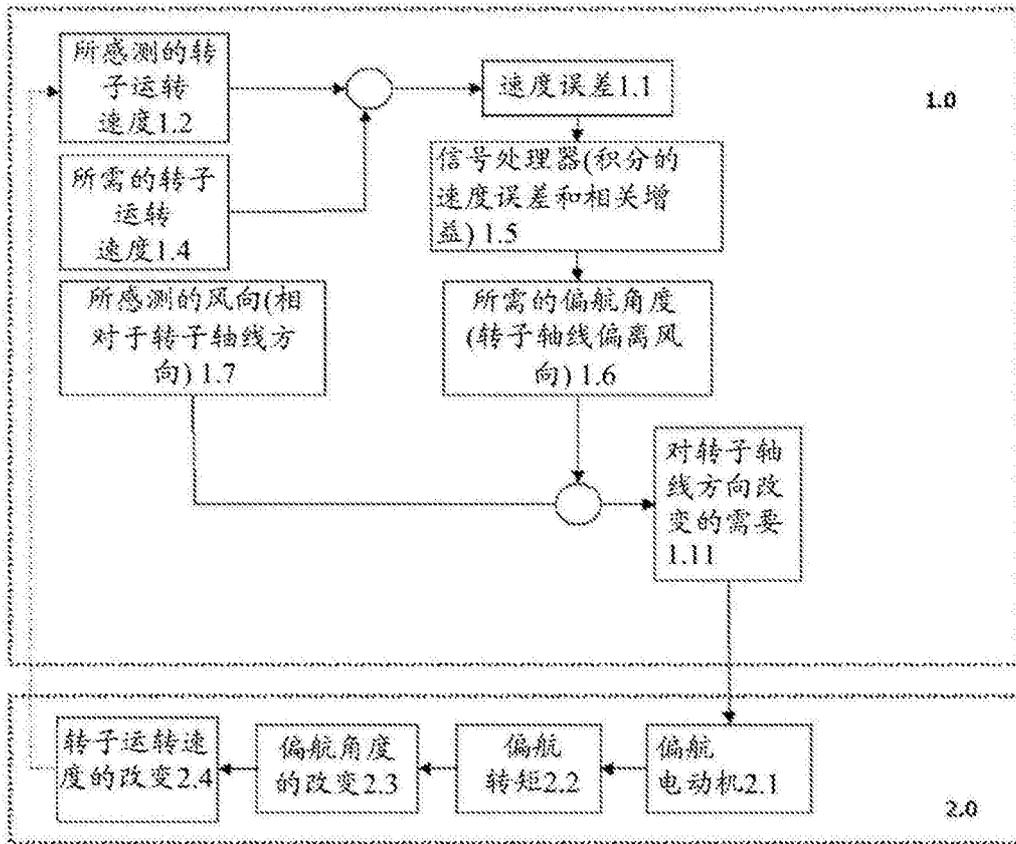


图11

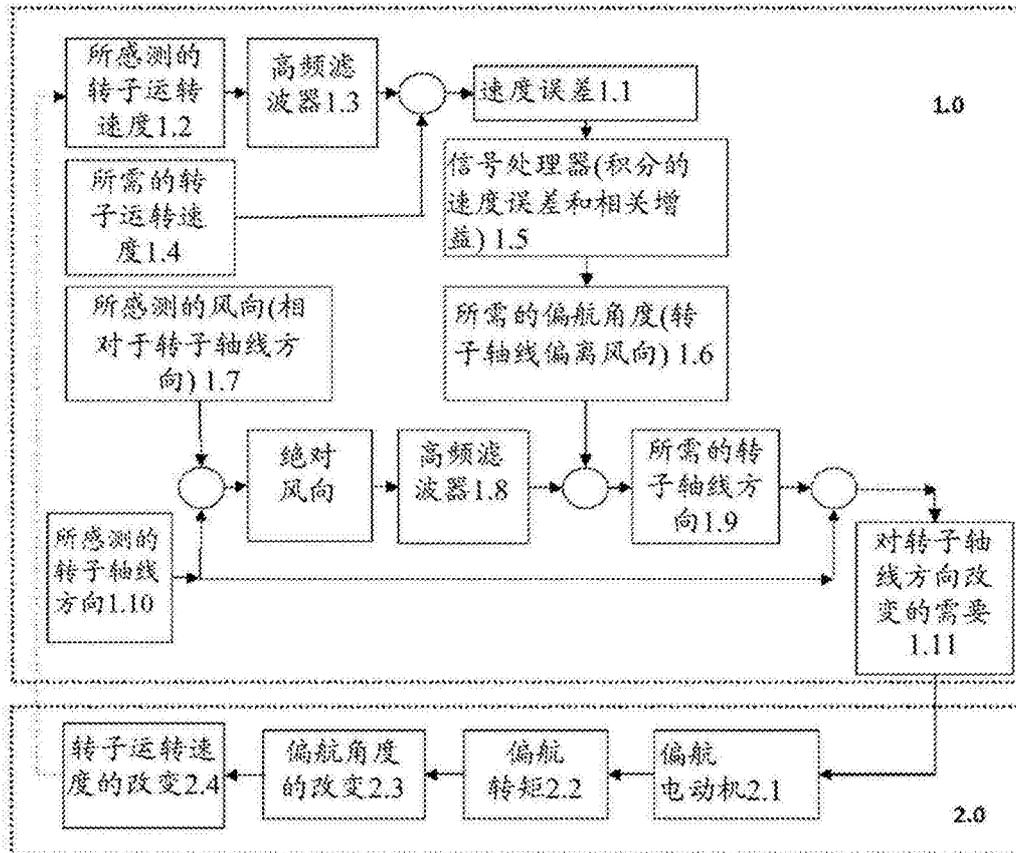


图12