



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107709763 A

(43)申请公布日 2018.02.16

(21)申请号 201680039456.6

利

(22)申请日 2016.07.01

阿尔伯托·莫雷诺·罗布尔斯
卡罗斯·皮扎罗·德拉富恩特
雅伊姆·苏亚雷斯·阿兹朋

(30)优先权数据

15003253.0 2015.11.16 EP
P2015000494 2015.07.03 ES

(74)专利代理机构 北京金信知识产权代理有限公司 11225

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

代理人 黄威 王智

2018.01.03

(51)Int.Cl.

F03D 7/02(2006.01)

F03D 7/04(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/ES2016/000073 2016.07.01

(87)PCT国际申请的公布数据

W02017/005945 ES 2017.01.12

(71)申请人 歌美飒创新技术公司

权利要求书2页 说明书6页 附图4页

地址 西班牙纳瓦拉

(72)发明人 巴勃罗·维韬·阿姆查斯特归

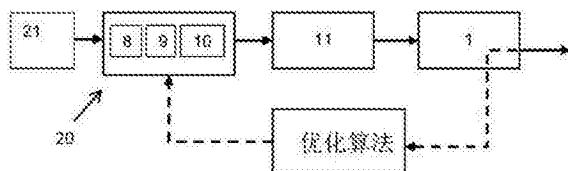
奥克塔维奥·埃尔南德斯·麦斯卡

(54)发明名称

防止风力涡轮机不对准的情况

(57)摘要

使用风力涡轮机控制器中实施的数学算法来防止风力涡轮机不对准情况的控制系统。已经分析了不同的优化算法，获得使风力涡轮机(1)的机舱(4)偏航到将使效率函数最大化的位置的结果。用于检测和防止风力涡轮机不对准情况的控制系统，其包括将风向与风力涡轮机机舱的偏差相关联的参数获取单元(8)、风力涡轮机效率函数计算单元(9)和机舱(4)的偏差比较单元(10)。



1. 一种控制系统,用于防止水平轴风力涡轮机(1)的不对准情况,配备有:

偏航系统,用于机舱(4)相对于风向偏航,所述偏航系统包括:通过使用所述风力涡轮机(1)中已经存在的硬件获取将风向(γ)和风力涡轮机机舱(4)的实际偏差(α)相关联的参数的值的获取单元(8)、风力涡轮机的效率函数 $y=f(\theta)$ 的计算单元(9)和用于所述机舱(4)偏差的比较单元,其特征在于,其是

通用的,

自动的,

安装在任何地点,和

除了已经存在的测量设备(速度测量传感器、风向测量、功率测量和转子旋转测量)之外,不需要额外的测量设备,

所述控制系统的特征在于,能够检测和防止风力涡轮机中机舱的不对准情况,实施使风力涡轮机效率最大化的效率函数 $y=f(\theta)$ 的数值分析的优化算法,其中 θ^* 是最佳对准,其包含滤波阶段以衰减产生风力和气象特征的低频(k/s)分量和风力涡轮机的高频(s/s+h)分量,并且其特征在于,通过所述算法,产生命令以允许偏航系统将所述风力涡轮机(1)的机舱(4)定向成将效率函数最大化的位置。

2. 根据权利要求1所述的控制系统,其特征在于,所述计算单元(9)通过所获得的发电功率与包括转子直径、最大功率和风速系数的理论发电功率之间的比率来计算所述效率函数。

3. 根据权利要求2所述的控制系统,其特征在于,通过将可配置参数相乘计算理论功率,所述可配置参数取决于每个风力涡轮机(1)固有的常数,所述常数包括转子直径和最大功率以及风速系数,所述可配置参数是空气密度、转子表面和最大功率系数 C_{pmax} 的乘积。

4. 根据权利要求1所述的控制系统,其特征在于,所述机舱(4)偏差的所述比较单元(10)计算由所述优化算法 $\hat{\theta}$ 计算的偏差值与由至少一个风力传感器(7)确定的偏差值(α)之间的不同,当该值超过配置值(在 5° 和 10° 之间)时,所述偏航系统将遵循累计偏航偏差和外部偏差之和的参考值移动所述机舱。

5. 一种控制系统,用于检测和防止风力涡轮机不对准情况,其特征在于,采用权利要求1所述的控制布局,其执行以下阶段:

-由所述风力涡轮机(1)中存在的硬件(21)获取参数值,所述参数值在以下参数中选择:风向、风速、机舱位置、发电功率、塔架与机舱之间的布线的扭曲限制条件、机舱的偏航条件和/或风力涡轮机运行模式;

-检查正常发电运行中的所述风力涡轮机(1)运行模式;

-检查所述机舱(4)的偏航和/或扭转限制条件的激活;

-启动功率优化算法;

-获得机舱(4)相对于风向的真实偏差;

-基于特定的风力涡轮机特性(1)将所计算的实际偏差值与预设偏差值进行比较;

-将所述机舱(4)偏航到使效率函数最大化的位置。

6. 根据权利要求5所述的控制系统,其特征在于,检查所述风力涡轮机(1)的状态的阶段是迭代的,直到结果是基于根据所述风力涡轮机(1)的特定特性的预设值限定的所述风力涡轮机(1)的正常发电运行:在发电中、在预设的风力值范围内并且不探测警报。

7. 根据权利要求5所述的控制方法,其特征在于,所述检查阶段是迭代的,直到所述机舱(4)的偏航和/或扭转限制功能已被验证。

8. 根据权利要求5所述的控制方法,其特征在于,如果启动所述机舱(4)的偏航和/或扭转限制功能,则所述控制系统(20)防止所述机舱(4)的振荡以计算效率函数 $f(\theta)$ 。

9. 根据权利要求1所述的控制方法,其特征在于,所述功率优化算法包括滤波级以衰减所述风力涡轮机的低频分量和高频分量。

10. 根据权利要求5所述的控制方法,其特征在于,基于获得从每个风力涡轮机的气动功率模型获得的效率函数 $f(\theta^*)$ 的最优值的功率优化算法包括以下阶段:

- 通过对相对于基于风力涡轮机(1)特定特性的某些预设范围从风力涡轮机(1)的硬件(21)获得的参数的整数进行低通滤波而进行检查和适配;

- 通过计算获得的发电功率与基于风力涡轮机(1)特定特性计算的理论发电功率之间的比值确定风力涡轮机(1)的效率函数;

- 对效率函数进行高通滤波并对获得的信号进行解调;

- 通过将从前一步骤获得的信号乘以所述机舱(4)的实际偏差值来确定梯度信号,并且对产生的信号进行低通滤波;

- 将所述梯度信号的值累积在变量中,所述变量对前面的步骤进行积分,以确保相对于预设值的稳定的偏差值;

- 获得所述机舱(4)相对于风向的真实偏差。

11. 根据权利要求5和9中任一项所述的控制方法,其特征在于,所述功率优化算法是极值搜索控制ESC。

12. 根据权利要求5和9中任一项所述的控制方法,其特征在于,所述功率优化算法是基于偏航扫描的分级乐观优化HOO。

13. 根据权利要求5和9中任一项所述的控制方法,其特征在于,所述功率优化算法是基于Brent方法的修改Secant。

14. 根据权利要求5所述的控制方法,其特征在于,在用于比较实际偏差值和根据所述风力涡轮机(1)的特定特性确定的一些预设偏差值的阶段中,只要该值不超过所述预设值,控制系统(20)就将启动所述机舱(4)的振荡系统。

防止风力涡轮机不对准的情况

技术领域

[0001] 本发明涉及一种防止风力涡轮机不对准情况的装置和控制系统方法，基于操作变量采用实现在风力涡轮机控制器中的数学算法来最小化风力涡轮机在年发电量(AEP)中的损耗。

背景技术

[0002] 水平轴风力涡轮机由固定塔架组成，该固定塔架机械地提升附接到转子的具有发电机的机舱。该转子包括连接至少一个叶片的轮毂，其转化旋转的转子中的风的动能。

[0003] 在现有技术中已知，当转子轴平行于风的方向时，实现了水平轴风力涡轮机的最佳工作点，因为这使得产生的能量最大化，同时使负载最小化。然而，由于在转子平面中产生的速度不对称的任何风力条件，最佳生产和与风的最大垂直度通常不一致。每台风力发电机都依赖于风力而且不同。

[0004] 机舱能够在其支撑塔架上移动，以使转子能够通过机械系统将其自身(偏航)定位在风向上，该机械系统以最好地利用风和产生最大的功率的视角将其移动到理想位置(偏航系统)。该偏航系统使风力涡轮机机舱围绕垂直偏航轴旋转，该垂直偏航轴与塔架的竖直轴重合，直到叶片的旋转轴与风向平行。当未达到该最佳位置时，风力涡轮机具有由相对于所述最佳位置的偏离角确定的偏航误差。

[0005] 然而，考虑到风向的自然变化，需要不断检测风向并因此调整风力涡轮机的位置的系统，以便最佳地利用风来产生最大功率。然而，相对于风向极端不对准也会导致风力涡轮机部件的负载增加，导致其恶化。

[0006] 在这方面，偏航系统具有包括传感器的风向测量系统，该传感器通常安装在转子后面的风力涡轮机机舱的顶部。

[0007] 尽管如此，在风向测量中需要考虑各种因素，其可能会导致获取有缺陷的测量值，即转子对下行气流的影响、由于错误的安装和/或配置导致的传感器的错误操作、由于每个风力涡轮机的位置的下行气流以及最后的内部叶片部分设计的发展，这些设计已经朝向更大的空气动力学效果发展并且产生更大的气流偏转。上述情况导致风力涡轮机不能在期望的条件下运行。

[0008] US2015086357A1描述了一种用于在风力涡轮机的操作期间调节风力涡轮机中的偏航偏差的方法，该方法限定风力涡轮机的运行条件。这种方法很难自动化，需要后续的手动程序。

[0009] 现有技术中的解决方案通过将传感器定位在风力涡轮机转子的前方来解决不对准问题，例如专利EP2626549A1。

[0010] 专利US2013114067A1描述了用于风力涡轮机的光学控制系统，其包括在风力涡轮机转子的前部结合一些传感器，其提供一些测量，结合在风力涡轮机机舱传感器中获得的数据，使得将风力涡轮机定位在最佳位置。

[0011] 已知的现有技术包括其它解决方案，例如专利EP2267301B1，其描述了风力涡轮机

偏航控制系统,其结合了贯穿风力涡轮机轮毂的风道,并且包括空气流量测量装置以通过控制系统确定偏航误差。但是,这种解决方案不能应用于已经安装的风力涡轮机。

[0012] 现有技术中的解决方案基于相同的思想:测量转子中的风并且与机舱中的传感器的测量进行比较。这就要求除了需要被调整的每个风力涡轮机的每个测量装置的安装、拆卸和校准之外,还需要使用附加的传感器(速度测量传感器,风向测量,功率测量和转子旋转测量)来测量风力涡轮机中存在的那些,其中涉及成本。

[0013] 鉴于上述解决方案的缺陷,因此需要设想一种解决方案,该解决方案可以通过采用风力涡轮机上已经存在的装置来保证正确的偏航误差测量,从而能够将机舱风力涡轮机定位在最佳的操作位置来保证效率。优化算法的特征允许过程的完全自动化,这是相对于现有技术的许多手动过程的技术优势。

发明内容

[0014] 本发明的目的仅通过使用基本变量(诸如,功率、风速、风向或电机的转速)凭借优化发电的机舱风力涡轮机相对风向的对准中的系统误差控制系统来正确测量偏航不对准,其是通用的和自动的,从而其可以应用于安装在风电场任何位置的任何类型的水平轴风力涡轮机,并且其不意味着对已经就位的设备(用于测量风速和方向、功率和转子旋转的传感器)增加额外的测量设备。本发明的目的是检测现有定向装置相对于位置的系统不对准,将使效率函数最大化。

[0015] 因此,本发明需要对准方法的自动化,而不需要传统上存在于水平轴风力涡轮机中的附加传感器,需要指导最优结果搜索的数值方法,从而大大减少获得稳定结果所需的时间,并且需要低频滤波程序和自动收敛统计准则。

[0016] 从现有技术来看,已知由偏航误差引起的风力涡轮机的损耗遵循基于 \cos^2 定律的曲线(参见图2),并且可以基于不同的不对准角来估计功率损失角。

[0017] 在这方面,本发明的一个目的是控制系统确定需要测量偏航角并且不仅通过风向的直接测量而且还通过取决于风速的一组值来量化偏差值。

[0018] 本发明还通过校正措施来减轻不对准的影响,该校正措施应用在PLC或数据采集硬件的测量中获得的值。

[0019] 为此,机舱以不受气象变量(风暴、湍流、剪切变化、昼夜和季节性振荡)或风力涡轮机变化(塔架共振、转子旋转或振动模式)的影响的恒定速率振荡。这些振荡具有低于风力涡轮机的任何运行模式的频率范围,并且高于任何天气类型变量。

[0020] 此外,数值分析算法与效率优化算法之间有关联,该算法的目的是找到使风力涡轮机的效率最大化的函数 $y=f(\theta)$,其中 θ^* 是最佳对准,每个时刻的解决方案与分析函数f的变化或导数成比例,并且其包含滤波级以衰减产生风和气象特性的低频分量以及风力涡轮机的高频分量。

[0021] 本发明的目的在于数值分析方法与由机舱振荡引起的效率变化的关联。效率是每一瞬间相对于风产生的功率。

[0022] 为此,基于风力涡轮机的功率曲线(图2)中的未对准的影响来预见(图4B)数值效率优化算法的实现,并且包括滤波阶段,其中高频分量和低频分量被衰减。这种算法可以在任何现有的传统风力涡轮机中实现。

- [0023] 控制系统相对于现有技术的优点是：
- [0024] -优化算法允许程序的完全自动化；
- [0025] -不需要额外的传感器(风力测量传感器、风速测量传感器、转子速度传感器和功率测量传感器)；
- [0026] -使用基本变量,诸如,功率、风速、转子转速；
- [0027] -算法的最小收敛时间和结果的不确定性较低。
- [0028] 这些数值分析的优化算法使得能够搜索电场的最优条件(对准角 θ^*)而无需提前了解发电场,并要求要优化的成本函数的输入信息。这种数值分析的优化算法应该具有滤波阶段,其滤波风力涡轮机的低频分量和高频分量,并且可以是以下类型的算法:
- [0029] -ESC算法:Extremum-Seeking Control (IEEE控制系统26 (1) :70–79)。
- [0030] -HOO算法:Hierarchical Optimistic Optimization (Bubeck,S等人,“Online Optimization in x-armed bandits”.OPT 2008 Optimization for Machine Learning.https://opt_2008.kyb.tuebingen.mpg.de/paper/bubeck.pdfbased on yaw sweeps.
- [0031] -Modified Secant algorithm, based on the Brent method (International Conference on Mechatronics&Automation, 2005, 第248–253页)
- [0032] 本发明的另一个目的是能够预测测量传感器中的任何可能的故障的控制系统,因此控制系统进行风向的冗余读数。
- [0033] 将在下面所示的附图的帮助下更详细地描述本发明的这些和其它方面。

附图说明

- [0034] 根据下面的详细描述以及以下示意图,可以更全面地理解本发明及其运行模式:
- [0035] 图1示出了传统风力涡轮机的透视图。
- [0036] 图2描绘了根据现有技术的风力涡轮机的发电功率和偏航角之间的现有关系的曲线。
- [0037] 图3a和图3b分别描绘了机舱偏离风向的风力涡轮机和机舱与风向对准的风力涡轮机的平面视图。
- [0038] 图4A示出了在根据本发明的风力涡轮机中实施的控制系统的图。
- [0039] 图4B示出了在控制系统中实施的算法的图。
- [0040] 图5显示了控制系统的操作流程图。

具体实施方式

- [0041] 图1是示出根据本发明的一个优选实施例的风力涡轮机(1)的侧视图。风力涡轮机(1)包括:竖立在基座(3)上的塔架(2)、安装在塔架(2)的顶部上的机舱(4)、以及安装在机舱(4)的前端上用于相对于基本上水平轴X1-X1旋转支撑的转子(5)。
- [0042] 如图1所示,转子(5)具有至少一个叶片(6),该叶片相对于其旋转轴以放射状安装。因此,当风从转子(5)的旋转轴的方向吹向风力涡轮机叶片(6)时,来自风的能量被转换为使转子(5)在旋转轴上旋转的动能。风速表(7)测量邻近区域的风速,并且一个风速表(7)测量风向,在风力涡轮机机舱(4)的外表面(例如,在顶部)的边缘上可获得适当的点。

[0043] 通过转子(5)的风流在与转子(5)的旋转相对的方向上获得转矩。由放置在机舱中的风速表(7)测量的风流偏离风力涡轮机原来的逆流方向。该效应取决于叶片根部的轮廓、机舱的形状以及传感器在机舱(4)中的定位。该现象可以在图3a中看到。

[0044] 风力涡轮机不对准被认为是风力涡轮机机舱在特定时刻与真实风向(γ)偏离角度(α)的状态。参考图3a。机舱(4)相对于风向(γ)的偏差(α)可以从不同的原因推测出来；当通过比较机舱(4)的实际位置(α)和本应该基于从风速表(7)获得的风的实际方向数据(γ)的位置而获得小于用于最佳运行条件的估计值的生成的功率曲线时，或当视觉地观察到与周围的风力涡轮机不同的对准时。

[0045] 图3a描绘了机舱相对于风向(γ)具有偏差(α)的风力涡轮机，其中风以正确的入射角不撞击叶片，因此降低了发电量，而图3b描绘了相对于风向(γ)正确偏航的风力涡轮机。在图3b中，传感器相对于入射在转子上的风没有对准，但是发送到对准逻辑的参考包括 α° 校正，因此机舱被正确地对准。

[0046] 在另一方面，从现有技术已知，由偏航误差引起的风力涡轮机的功率损耗遵循基于 \cos^2 定律的曲线(参见图2)，并且可以根据根据不同的不对准角度(α_i)估计功率损耗。

[0047] 在这方面，必须确定风力涡轮机(1)的机舱(4)相对于风向(γ)的偏差的实际值，从而可以对其进行校正。但是，已知机舱(4)的噪音、湍流、振动等因素会影响风速表(7)的风向读数(γ)，因此有必要将偏航角偏差(α)与另一个变量(诸如，风速)相关联。

[0048] 为此，本发明的控制系统(图4A)通过相对于风向在机舱(4)的偏航中以恒定的速率进行周期性运动而使机舱振荡，其中不存在天气变量(诸如，风暴、湍流或剪切变化)的影响。振动的频率范围优选低于机器的任何运行模式，因此低于0.1Hz，并且优选高于气象类型的任何变量，因此高于0.0005Hz。当机舱振动时，也不会受到机器运行(诸如，塔架共振、转子旋转或其它振动模式)的干扰。利用已知的调制和滤波技术来提取功率变化数据，其与功率优化的数值算法(图4B)相结合，该数值算法基于获得每个风力涡轮机(1)的气动功率模型的效率函数f的最优值，并且其必须具有衰减风力涡轮机的低频和高频分量的滤波级。

[0049] 图4B所示的算法迫使机舱中的低频和高振幅的正弦振荡。这些振荡必须对风力涡轮机控制的其余部分不可见，以防止偏航控制试图抵消它们。f(θ)是效率，k是算法的增益，h是滤波器的特征参数，s是拉普拉斯变量，a和w分别是振幅和频率， θ^* 是机舱对准的最佳值，其使f(θ)最大化，所以f(θ^*)将是f*。k/s是衰减低频的滤波器，并且s/s+h是衰减高频的滤波器。

[0050] 值 θ^* 是与由算法引起的机舱的强制振荡中测得的最大功率相对应的值。

[0051] 目标是找到使效率函数f*最大化的最优值 θ^* 。

[0052] 优化算法确保结果的稳定性和收敛性。这种数值分析优化算法的类型可以是：ESC(极值搜索控制，Extremum Seeking Control)、基于偏航扫描的HOO(分级乐观优化，Hierarchical Optimistic Optimization)算法、或基于Brent方法的改进的Secant算法。

[0053] 该效率函数y=f(θ)是由风力涡轮机传感器测量的功率与风中可用的功率之间的比率。机舱(4)的偏航逐渐移动朝向使该效率函数最大化的位置，直到达到最大值f*，并保持稳定在预设的偏差值。

[0054] 优化算法以模块化组合方式实现，不会影响控制器。图4A显示了该算法如何被整合到风力涡轮机中的现有软件中。该算法与风力涡轮机的正常运行相兼容，包括维护行为、

警报等。风向传感器的不对准信号被发送到对准逻辑单元,该对准逻辑单元随后定向风力涡轮机机舱。优化算法的输出信号也发送到对准逻辑单元来计算误差和调制信号。

[0055] 如图4所示,本发明的控制系统(20)包括:将风向(γ)与风力涡轮机机舱(4)的偏差(a)相关联的参数获取单元(8)、风力涡轮机(1)的效率函数的风力涡轮机效率函数计算单元(9)和机舱(4)的偏差比较单元(10)、以及使风力涡轮机机舱(4)逐渐偏航到使效率函数最大化的位置的功率优化算法。

[0056] 如图5的流程图所示,控制系统(20)遵循以下步骤:

[0057] -利用现有风力涡轮机硬件(21)获取来自不同参数的值,该参数可以是风向、风速、机舱位置、产生的功率、塔架与机舱之间的布线的扭曲限制条件、机舱的偏航状态和/或风力涡轮机运行模式,即紧急状况、停机、暂停和发电。

[0058] -检查风力涡轮机运行模式,验证在正常运行中(即,发电模式)的能量产生,在预定的风速范围内而且没探测警报。

[0059] a)如果运行模式不合适,则再次进行检查,直到风力涡轮机处于发电模式。

[0060] b)如果运行模式合适,将检查偏航和/或扭转限制条件是否被激活。

[0061] -如果偏航和/或扭转限制条件被激活,则效率函数的计算偏航振荡被禁止。

[0062] -如果偏航和/或扭转限制条件被解除激活,则启动功率优化算法(图4B),并且从该算法获得被称为外部偏差的信号。

[0063] 优化算法(图4B)遵循以下步骤:

[0064] a.调整输入变量的完整性,过滤以检查它们是否在限度内;其中这些参数的限制是基于风力涡轮机(1)的特定特性确定的。

[0065] b.通过计算由相应的传感器获得的发电功率与理论上可产生的功率之间的比值来确定效率函数 $y=f(\theta)$,理论上可产生的发电功率基于每个风力涡轮机(1)特有的常数的可配置参数的乘积确定,包括最大功率和风速的转子直径和系数。所述参数是空气密度(kg/m^3)、转子表面(m^2)和最大功率系数(C_{pmax})(大气条件:参数 $=0.5 \cdot 1.225 \cdot \pi \cdot (\text{直径}/2)^2 \cdot C_{pmax}$)。

[0066] c.对上一步中获得的效率函数进行滤波($s/s+h$)。

[0067] d.将上一步获得的信号解调,乘以偏航振荡信号($\sin \omega t$)的实际值,得到 ξ 。

[0068] e.滤波由 k/s 获得的信号,并确定称为梯度 θ 的信号。

[0069] f.累计从计算和积分开始以来从梯度信号获得的所有值,从而获得称为外部偏差 θ 的信号。

[0070] 2.将外部偏差 θ 信号发送到偏航控制系统(11)。

[0071] 3.比较计算的外部偏差值和由风力传感器(7)确定的偏差值(a)。

[0072] -如果获得的值超过依赖风力涡轮机(1)特定特性的某个预设值,则偏航系统将根据累计的偏航和外部偏差的总和移动机舱(4)。

[0073] -如果所获得的值不超过预设值,则只要风力条件在预设的安全限制内,控制系统(20)除了前一步骤的移动之外还将在偏航系统上施加摆动运动。

[0074] 所描述的偏航运动的总和连同风本身的变化将决定风力涡轮机(1)的新的运行和工作模式,其将由硬件(21)记录,并且新的循环将以这些数据开始。

[0075] 尽管已经结合优选实施例完整地描述了本发明,但是在其范围内可以清楚地进行

修改,该范围不受前述实施例的限制,而受到所附权利要求的内容的限制。

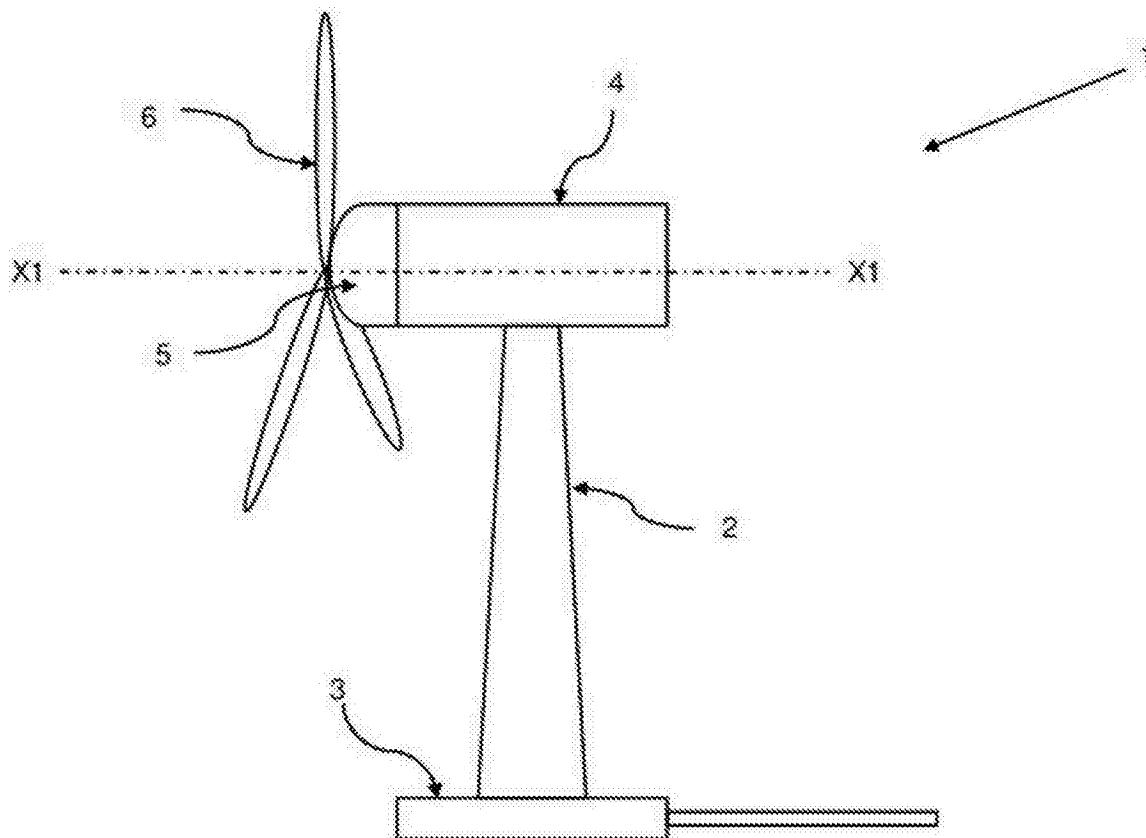


图1

由偏航误差导致的功率年损耗

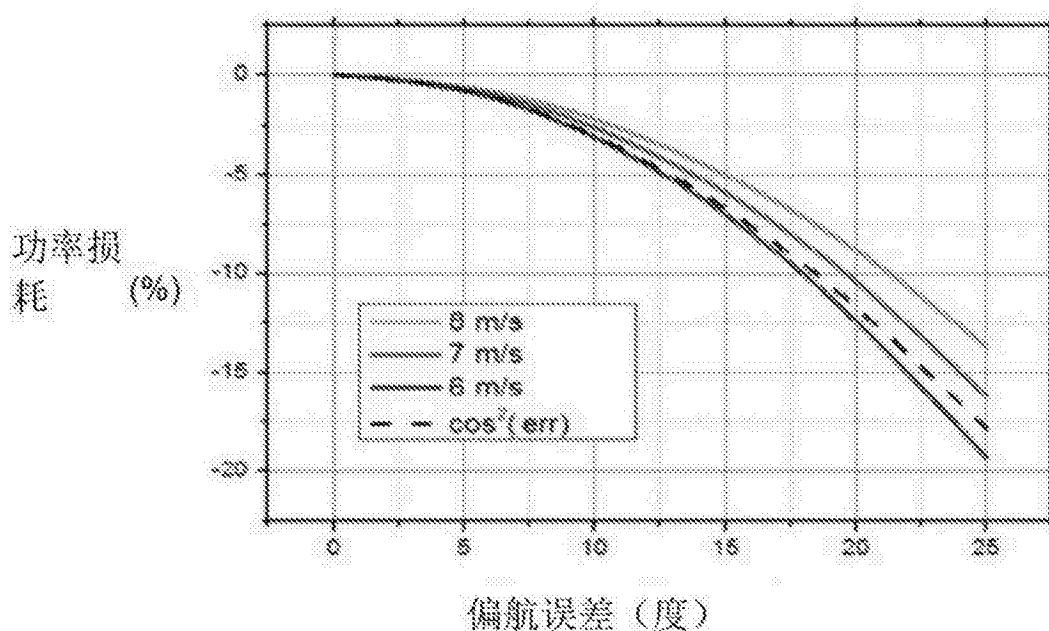


图2

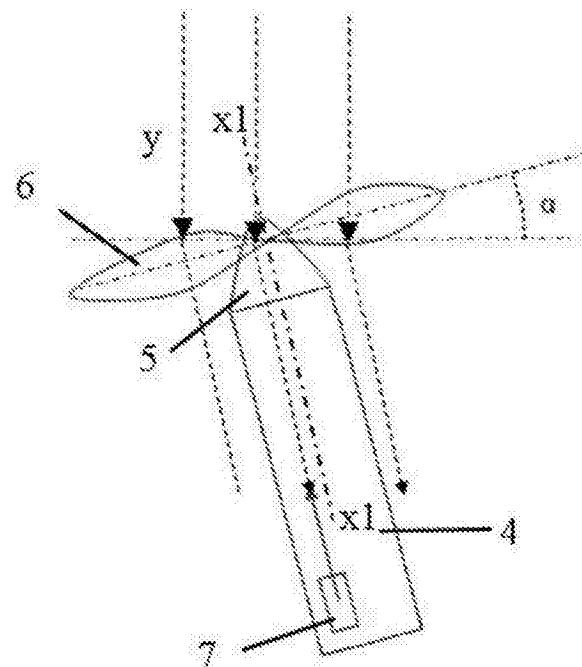


图3a

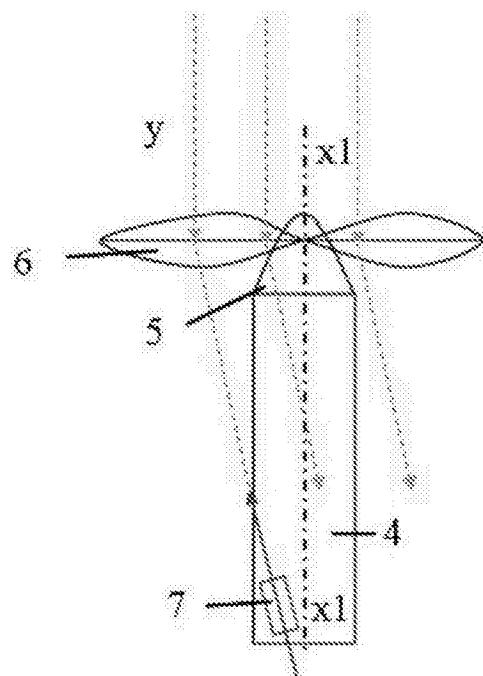


图3b

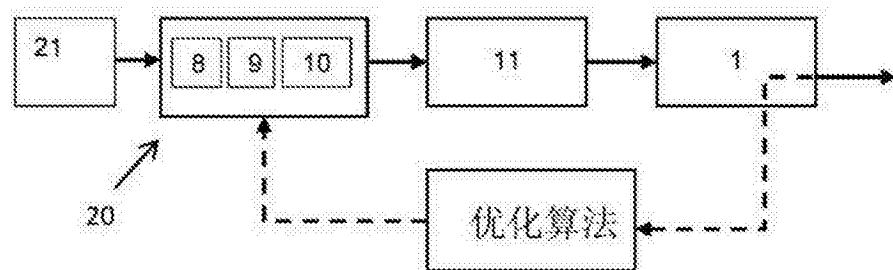


图4A

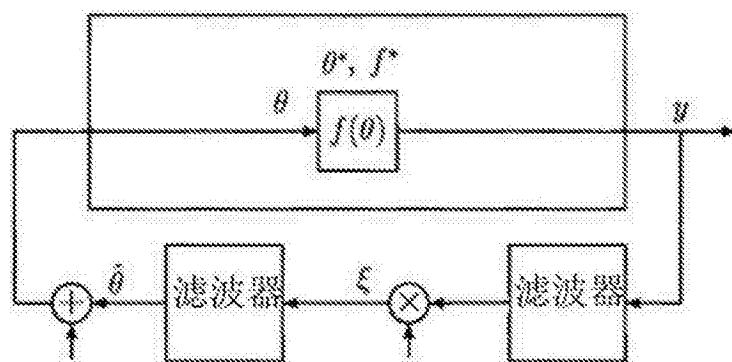


图4B

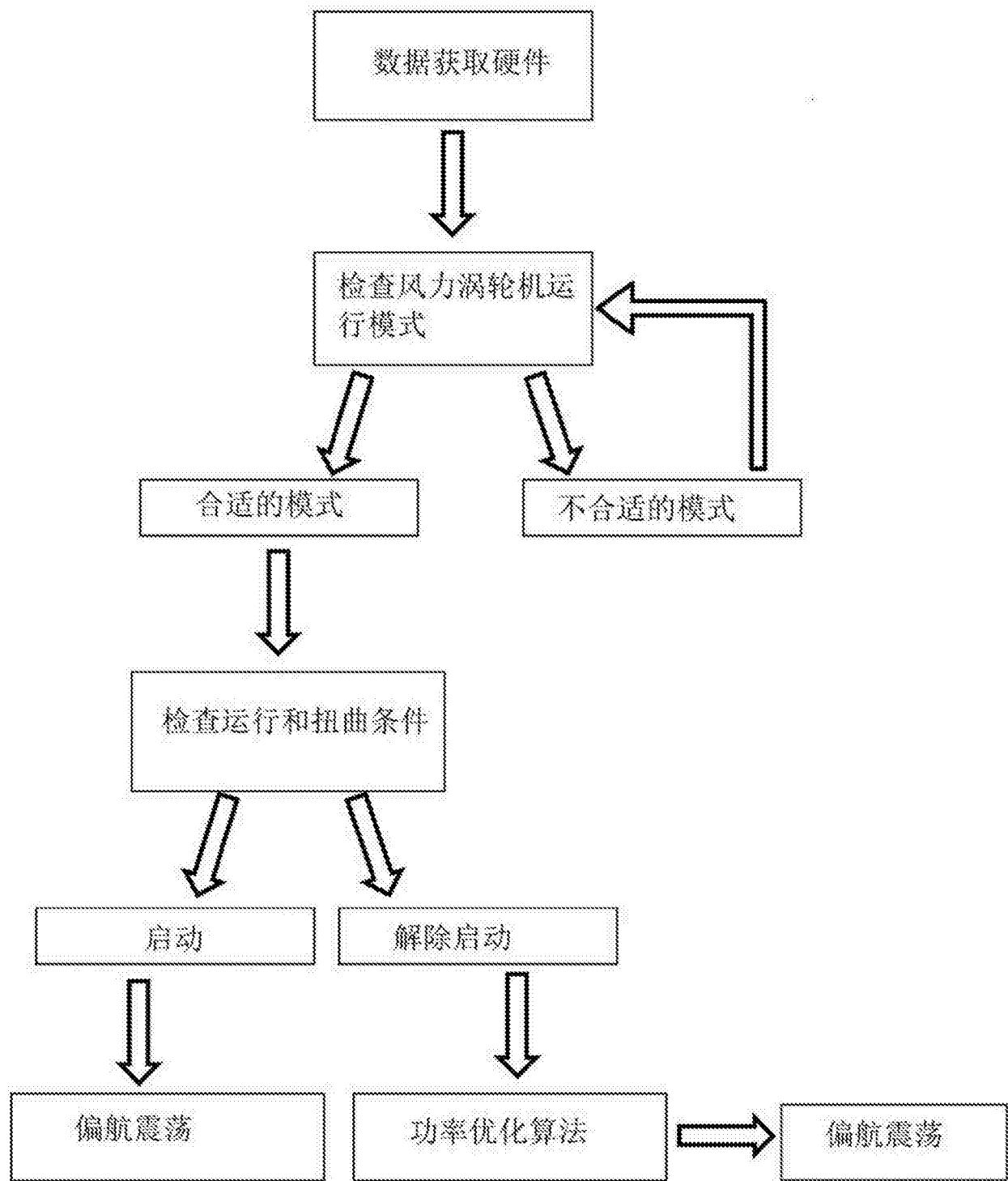


图5