



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104411967 A

(43) 申请公布日 2015. 03. 11

(21) 申请号 201380036030. 1

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2013. 06. 06

F03D 7/02(2006. 01)

F03D 7/04(2006. 01)

(30) 优先权数据

PA201270300 2012. 06. 06 DK

61/656, 664 2012. 07. 06 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2015. 01. 06

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/DK2013/050172 2013. 06. 06

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/182200 EN 2013. 12. 12

(71) 申请人 维斯塔斯风力系统集团公司

地址 丹麦奥胡斯

(72) 发明人 A·扎伊博 K·T·西蒙森

(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

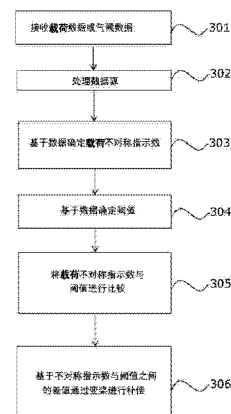
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

带有载荷控制器的风力涡轮机

(57) 摘要

本发明提供一种风力涡轮机、用于风力涡轮机的控制系统以及用于控制风力涡轮机的方法，其中通过将转子平面上的载荷分布与一阈值比较而补偿转子上载荷的非对称性。为了避免不必要的补偿，基于风力涡轮机的载荷或基于涡轮机运行的气候条件来调节阈值。



1. 一种风力涡轮机,其包括带有至少一个转子叶片的转子,转子能围绕转子轴线旋转并限定转子平面,风力涡轮机还包括载荷控制系统,所述载荷控制系统适于确定转子平面上的载荷分布并且为每个转子叶片单独地确定叶片变桨值,从而对载荷分布中的非对称性进行补偿,其中载荷控制系统适于基于确定出的载荷分布与阈值之间的差来执行补偿,并且载荷控制系统适于基于风力涡轮机载荷与气候条件中的至少一个来确定阈值。

2. 根据权利要求1所述的风力涡轮机,其特征在于,载荷控制系统适于基于其中一个叶片上的载荷与全部叶片上的平均载荷之间的差来确定阈值。

3. 根据权利要求1或2所述的风力涡轮机,其特征在于,载荷控制系统适于基于在预定时间周期中测量的平均风速来确定阈值。

4. 根据前述权利要求中任一所述的风力涡轮机,其特征在于,阈值被确定为使得补偿在竖直平面中抵消转子平面上的非对称力。

5. 根据前述权利要求中任一所述的风力涡轮机,其特征在于,阈值被确定为使得补偿在水平平面中抵消转子平面上的非对称力。

6. 根据前述权利要求中任一所述的风力涡轮机,其特征在于,阈值基于形成叶片与发电机之间传动系一部分的机械部件上的载荷来确定。

7. 根据前述权利要求中任一所述的风力涡轮机,其特征在于,阈值基于至少一个叶片的载荷来确定。

8. 根据前述权利要求中任一所述的风力涡轮机,其特征在于,阈值基于风力涡轮机的塔架与至少一个转子叶片之间的塔架间隙来确定。

9. 根据前述权利要求中任一所述的风力涡轮机,其特征在于,载荷控制系统以用于载荷分布、阈值、以及针对非对称性补偿中至少一个的更新频率运行,其中更新频率基于转子的旋转速度来确定。

10. 根据权利要求9所述的风力涡轮机,其特征在于,载荷控制系统适于确定叶片经过风力涡轮机塔架的持续时间,并且从持续时间计算所述更新频率。

11. 根据权利要求10所述的风力涡轮机,其特征在于,更新频率处于由1除以持续时间限定的频率的两倍与四倍之间。

12. 一种用于控制风力涡轮机的方法,风力涡轮机包括带有至少一个转子叶片的转子,转子限定转子轴线和转子平面,风力涡轮机还包括载荷控制系统,所述载荷控制系统适于确定转子平面上的载荷分布并且为每个转子叶片单独地确定叶片变桨值,从而对载荷分布中的非对称性进行补偿,其中载荷控制系统适于基于确定出的载荷分布与阈值之间的差来执行补偿,所述方法包括:测量风力涡轮机的载荷或气候条件,以及基于测量来确定阈值。

13. 根据权利要求12所述的方法,其特征在于,载荷分布、阈值、以及针对非对称性补偿中至少一个以一更新频率来确定,所述更新频率基于转子的旋转速度来确定。

14. 根据权利要求13所述的方法,其特征在于,更新频率处于由叶片梢部经过风力涡轮机的塔架所用时间限定的频率的2倍与4倍之间。

15. 一种计算机程序产品,其适于使得计算机执行包括如下步骤的过程,即接收标识风力涡轮机的载荷或气候条件的标识符,以及基于测量确定风力涡轮机转子的非对称载荷的阈值。

16. 一种载荷控制系统,其适于确定风力涡轮机的转子平面上的载荷分布并且为风力

涡轮机的转子叶片确定叶片变桨值,以对载荷分布中的非对称性进行补偿,其中载荷控制系统适于基于确定出的载荷分布与阈值之间的差来执行补偿,控制系统适于基于风力涡轮机的载荷或气候条件来确定阈值。

## 带有载荷控制器的风力涡轮机

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于控制风力涡轮机运行的方法以及一种风力涡轮机,所述风力涡轮机包括带有至少一个转子叶片的转子。

### 背景技术

[0002] 使用风力涡轮机已成为发电的常规方法并且涡轮机的尺寸和性能已增加。

[0003] 风力涡轮机通常包括多个叶片,所述多个叶片将风能转化成传动系的旋转运动从而发电。现有的涡轮机由计算机化的控制器控制,所述控制器能修改各种设定以使得涡轮机达到有关产能、叶片和传动系上的载荷、以及涡轮机上的总体磨损方面的最佳状况。

[0004] 叶片通常能围绕它们的纵向轴线旋转并且从而转换各种程度的风能。该行为称作“变桨”,并且在传统的风力涡轮机中,变桨受到控制使得风力涡轮机利用尽可能多的可用风能直至达到额定产能为止。如果风力涡轮机已达到额定产能并且可用的风能进一步增加,那么叶片将被远离最优状况地变桨以维持额定产能。在特定的切出风能强度下,叶片被变桨至防止风能转化为旋转运动的位置。这通常称作“顺桨”。在通过将叶片从顺桨位置变桨回来而重新启动生产之前,旋转停止并且控制系统等待风力强度下降。

[0005] 风力涡轮机结构上的载荷高度地取决于涡轮机运转所在的气候条件以及主要部件(例如叶片)的尺寸。当前对风力涡轮机开发出不同的控制算法以减少基于气候条件的载荷。

[0006] 遍及转子的非对称载荷有责任对疲劳载荷做出显著贡献。非对称载荷例如由风剪切导致,并且当今风力涡轮机控制器有时适于通过分开地控制每个叶片的桨距而减少或消除风力涡轮机上的倾斜和偏航力矩。该行为可基于由每个叶片单独经历的状况、例如叶片弯曲。有时,这称作偏航和倾斜控制。在实践中,通过基于转子上的预估出/计算出的倾斜和偏航力矩使叶片周期变桨来平衡非对称载荷,并且在现有控制器中,载荷达到预定的静态参考级别,也被称作阈值。静态阈值通常在设计阶段期间基于风力涡轮机的结构限制、基于塔架与叶片碰撞的风险等来限定。

[0007] US 2011/0064573 公开一种用于控制风力涡轮机运行的方法,其中基于测量出的大气状况来确定设定点限度。

[0008] US 2006002792 公开一种用于在风力涡轮机中减少载荷和提供偏航定位的方法,所述方法包括测量风力涡轮机上的非对称载荷导致的位移或力矩。这些测量出的位移或力矩用于确定每个转子叶片的桨距,以减少或抵消非对称转子载荷和确定有利的偏航指向,以减少变桨行为。风力涡轮机的偏航定位依照有利的偏航指向来调节,并且每个转子叶片的桨距依照确定出的桨距来调节,以减少或抵消非对称转子载荷。

[0009] 在减少非对称载荷的尝试中,叶片有时在有关风能至旋转运动的转化方面被不利地变桨,并且因此传统的倾斜和偏航控制潜在地减少涡轮机的产能。通过变桨进行的倾斜和偏航控制还增加变桨系统的磨损以及从而增加维护成本。

## 发明内容

[0010] 为了减少例如在承载转子或转子轴的主轴承上的极端载荷,并且为了增加涡轮机的叶片塔架间隙,或者为了在没有不必要的功率降低、没有风力涡轮机停机、或没有增加的维护成本的情况下总体上允许更好的载荷分布,本发明在第一个方面提供一种风力涡轮机,所述风力涡轮机包括带有至少一个转子叶片的转子。转子能围绕转子轴线旋转并且限定转子平面。风力涡轮机还包括载荷控制系统,所述载荷控制系统适于确定转子平面上的载荷分布并且为每个转子叶片单独地确定叶片变桨值,以从而对载荷分布中的非对称性进行补偿。

[0011] 载荷控制系统适于基于确定出的载荷分布与阈值之间的差来实施所述补偿,并且载荷控制系统适于基于风力涡轮机的载荷和/或气候条件来确定阈值。

[0012] 该载荷控制系统提供如下能力,即通过使得控制行为与气候条件相适应来执行更多选择性控制行为,并且因此避免不必要行为,诸如叶片变桨。

[0013] 该载荷控制系统的好处会是以执行控制动作所需的致动器(即例如恒定地围绕叶片的纵向轴线往复地移动叶片的变桨系统以及相关联的液压或电动驱动器)的疲劳度最小限度地增加来减少载荷并且增加叶片塔架间隙。

[0014] 由于阈值被动态地调节,所以可将抵消非对称性的叶片变桨减少至最小,即仅减少到非对称性对于涡轮机上载荷而言扮演重要负面角色的情况。因此,能减少由于变桨而导致的不必要的产能损耗。

[0015] 作为示例,当载荷最大的叶片的载荷少于平均载荷的特定百分比时,可决定不对非对称载荷补偿,或者当风速或风湍流低于特定级别时,可决定不进行补偿。

[0016] 根据本发明,载荷控制器能基于风力涡轮机的载荷或基于测量出的气候条件来确定阈值。

[0017] 载荷状况可例如通过测量叶片弯曲、通过测量传动系中的转矩(例如转子轴上或变速器中的转矩)来确定,载荷状况可通过测量性能(诸如风力涡轮机中发电机的产能)来测量,或者可以任何类似的已知方式来确定。载荷也可涉及转子速度、转子加速度等。

[0018] 气候条件可通过外部传感器来确定,或者可从其它源接收,例如作为在互联网上接收的信号接收、通过无线通信从天气预报供应商接收、或以任何类似方式接收。气候条件可涉及风速、湍流度、空气密度、温度或测量风剪切等。

[0019] 阈值可例如基于叶片其中之一上的载荷与所有叶片上的平均载荷(例如在预先指定的持续时间上的载荷平均值,如1至10分钟上的载荷平均值)之间的差来确定。

[0020] 阈值也可基于预定时间周期(例如1至60分钟)中测量的平均风速、风加速度或湍流度来确定。

[0021] 叶片上的非对称载荷可大体上在竖直平面和/或水平平面中提供转子平面上的非对称力。

[0022] 转子平面上的负升力(即向下指向的力)可由竖直平面中的非对称力形成。为了抵消这样的负升力,适当的控制行为可气动地提升转子并且从而提高减少由转子质量驱使的载荷的能力。在此,措辞“提升”并非必需地规定转子平面的运动,而是转子受到转子平面上的与重力一起作用或克服重力作用的力。这样的力通常是竖直平面中的非对称力的结果。

[0023] 阈值可如此确定以使得补偿形成转子平面的正升力或负升力并且因而抵消竖直平面中的非对称力。为此目的,承载转子轴重量的主轴承上的载荷可尤其与观察有关,并且阈值可基于这些轴承的载荷来确定。

[0024] 阈值还可如此确定以使得载荷控制器在水平平面中针对偏航误差或大体上针对转子上的任何非对称力进行补偿。这样的非对称力通常形成围绕竖直旋转轴线(即偏航轴线)的扭矩,机舱能相对于塔架围绕所述竖直旋转轴线旋转。

[0025] 为了将传动系和转子平面定向成直接迎风,主动偏航系统通常包括使得机舱旋转的偏航电机。可尤其相关的是观察这种马达上的载荷,并且基于偏航系统的载荷确定阈值。

[0026] 高风力运行中的一个具体方面是确保叶片梢部与塔架之间的安全距离。当叶片朝着塔架地而后弯曲时,该叶片更接近塔架,并且可能必要的是在该叶片经过塔架时使得叶片变桨以释放叶片上的压力。根据本发明,阈值可基于风力涡轮机的塔架与至少一个转子叶片之间的塔架间隙来调节,例如基于测量出的最大偏转来调节,或者被测量为叶片梢部与塔架之间的实际观察到的距离与最小安全距离之间的差。

[0027] 载荷控制系统更新阈值的频率(更新频率)和/或载荷控制系统将阈值与观察到的非对称性比较的频率,和/或载荷控制系统基于载荷感测信号更新计算出的非对称性的频率应优选地处于频率  $f$  的 0.5 至 5 倍的范围内,其中  $f$  如下确定:

[0028]  $f = \frac{1}{t_p}$ , 其中  $t_p$  为叶片梢部经过塔架所用的时间。

[0029] 因此,载荷控制系统可以更新频率运行,所述更新频率取决于转子旋转速度并且因而取决于转子叶片梢部在经过塔架时的速度。

[0030] 尤其地,更新频率可处于频率  $f$  的 2 至 4 倍的范围内,例如约为频率  $f$  的三倍。

[0031] 在第二个方面,本发明提供一种用于控制如上所述风力涡轮机的方法。根据该方法,转子的非对称载荷被确定并与阈值比较,并且阈值基于风力涡轮机的载荷或气候条件来确定。

[0032] 根据所述方法,载荷分布、阈值以及针对非对称性补偿的至少其中之一以更新频率来确定,所述更新频率基于转子的旋转速度来确定。

[0033] 尤其地,所述更新频率可为由叶片梢部经过风力涡轮机的塔架所用时间限定的频率的 2 至 4 倍,例如为已相对于本发明第一方面所描述的频率  $f$  的 3 倍。

[0034] 在第三个方面,本发明提供一种计算机程序产品,其中程序为使得计算机执行包括如下步骤的过程,即接收标识风力涡轮机的载荷或气候条件的标识符,以及基于测量确定风力涡轮机转子的非对称载荷的阈值。

[0035] 在第四个方面,本发明提供一种用于风力涡轮机的控制系统,所述风力涡轮机包括带有至少一个转子叶片的转子,所述转子限定转子轴线和转子平面。控制系统适于为每个转子叶片单独地设定叶片变桨值以通过将转子平面上的载荷分布与阈值比较来对转子上载荷的非对称性进行补偿。控制系统适于基于风力涡轮机的平均载荷或气候条件来调节阈值。

[0036] 有关本发明第一方面描述的任何特征可等同地应用于本发明的第二、第三和第四方面。

## 附图说明

[0037] 现在将以示例的方式参照以下附图描述本发明,在所述附图中:

[0038] 图 1 示出风力涡轮机;

[0039] 图 2 图解地示出载荷控制系统的细节;以及

[0040] 图 3 为示出根据本发明实施方式的方法的流程图。

## 具体实施方式

[0041] 本发明进一步的适用范围将从以下详细说明和具体示例而变得显而易见。然而,应当理解的是,尽管详细说明和具体示例表示本发明的优选实施方式,然而详细说明和具体示例仅以图示的方式给出,是因为从该详细说明出发,本发明范围内的各种改变和改型对于本领域技术人员而言将变得显而易见。

[0042] 图 1 示出风力涡轮机,其包括塔架 2、机舱 3、以及带有三个转子叶片 5、6、7 的转子 4。

[0043] 转子 4 和叶片能围绕由虚线 8 直观化的方位轴线旋转。

[0044] 机舱 3 经由偏航系统 9 承载在塔架上,所述偏航系统使得机舱能相对于塔架围绕由虚线 10 直观化的偏航轴线旋转。

[0045] 当转子旋转时由叶片限定的转子平面由编号 11 表示。通过使用偏航系统和风向传感器,机舱能恒定地围绕偏航轴线 10 旋转,由此转子轴保持迎风并且由此转子平面变得与风向垂直。

[0046] 每个叶片能围绕沿叶片的纵向方向延伸的变桨轴线 12、13、14 旋转。

[0047] 为了理解转子平面上的非对称载荷并且抵消这样的载荷,所述非对称性通常被分为两种,所述两种非对称性一般称作为倾斜和偏航。偏航是在水平平面中关于偏航轴线作用的力,而倾斜是在竖直平面中垂直于方位轴线作用的力。

[0048] 风力涡轮机包括由框 15 直观化的载荷控制系统。载荷控制系统显示为在塔架以内,但该载荷控制系统可以位于任意处,甚至位于塔架以外且远离涡轮机。载荷控制系统接收来自定位在每个叶片中的叶片弯曲传感器 16、17、18 的载荷信号。

[0049] 基于载荷信号,载荷控制系统能确定转子平面上的载荷分布并且从而检测导致所提及的不希望倾斜或偏航的非对称载荷。

[0050] 倾斜通常由风剪切导致,即由从转子平面的底部朝着顶部增加的风速导致,或者该倾斜可由未在水平平面中限定的风向引起,例如由逆风导致。

[0051] 偏航通常能由偏航误差引起,所述偏航误差意味着机舱没有正确地迎风旋转。在偏航系统不能够足够快地移动以使得旋转轴迎风且因而使得转子平面垂直于风向的情况下,该偏航再次能由快速改变风向导致。

[0052] 变桨由位于轮毂中并单独地作用于每个叶片的变桨马达(通常是液压致动器)执行。由于叶片的桨距角确定风能与作用于转子轴的力之间的转化程度,所以单独的变桨能用于控制转子平面上的载荷分布。

[0053] 载荷控制系统能为每个转子叶片单独地设定叶片桨距值以对转子或转子平面上载荷的非对称性进行补偿。在该过程中,载荷控制系统将确定出的转子平面上的载荷分布与阈值比较。如果确定出的非对称性超过阈值,则载荷控制系统将通过进一步对叶片单独

变桨来继续进行补偿,并且如果确定出的非对称性低于阈值,则载荷控制系统将维持各叶片之间的独立变桨比。

[0054] 风力涡轮机可包括传感器 19,所述传感器外部地定位并能够测量气候条件,例如测量风速、气压、温度、风湍流等。

[0055] 根据本发明,载荷控制器能基于风力涡轮机的载荷或基于测量出的气候条件来调节阈值。

[0056] 载荷控制器通常被实施为计算机系统软件。载荷控制器可对一个单一的风力涡轮机操作,或者其可对多个风力涡轮机操作,例如对特定地域内的风力涡轮机、相同的风力涡轮机、由同一所有者拥有的涡轮机或以相同气候条件运行的风力涡轮机等操作。

[0057] 图 2 和图 3 图解地示出根据实施方式的载荷控制系统的主要功能。载荷控制器在计算机单元 20 中实施,所述计算机单元接收来自传感器 A、B 和 C 的载荷信号和 / 或表示气候条件的信号。传感器可包括转子轴上或齿轮箱中的扭矩传感器、每个叶片中的叶片弯曲传感器、提供风速的风力计等。

[0058] 来自传感器 A、B 和 C 的信号例如通过有线或无线通信馈送到计算机单元 20 中。

[0059] 计算机单元 20 还连接至云端 21,所述云端可表示因特网、风力涡轮机所有者的内部网、风力涡轮机所有者或涡轮机供应商的封闭式计算机网络等。

[0060] 计算机单元包括被标记为 DB 的数据存储器。数据存储器包括形式为固定值或形式为数学模型的阈值,所述数学模型能提供可与来自传感器 A、B、C 或与来自云端 21 的数据相比的阈值。基于数据存储器中数据和传感器数据,计算机单元计算与变桨驱动器 22 通信的一组桨距角  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 。变桨驱动器 22 控制液压缸 x、y 和 z,所述液压缸再次使叶片单独地围绕变桨轴线 12、13、14 旋转。

[0061] 图 3 示出了载荷控制系统的关于决定是否抵消非平衡载荷的主要功能。

[0062] 系统接收例如来自叶片弯曲传感器、偏航马达或风力涡轮机中其它传感器的载荷数据(步骤 301)。附加地或替代地,系统接收例如来自传感器或气候广播供应商的数据。数据受到处理(步骤 302)并且系统确定载荷非对称性表示数(步骤 303),所述载荷非对称性表示数表示作用于风力涡轮机转子平面的载荷非对称性。

[0063] 系统进一步基于接收到的数据确定阈值(步骤 304)。阈值通常表示为期望的最大非对称载荷,或者表示非对称载荷的抵消应启动的限度。

[0064] 系统将载荷非对称性表示数与阈值相比较(步骤 305),并且系统基于所述比较通过使叶片变桨来对非对称性进行补偿(步骤 306)。

[0065] 应当指出的是,在步骤 306 中系统可决定不对非对称性补偿。例如,当载荷最大的叶片的载荷小于平均载荷的特定百分比时,系统可决定不对非对称载荷补偿,或者当风速或风湍流低于特定级别时,系统可决定不进行补偿。



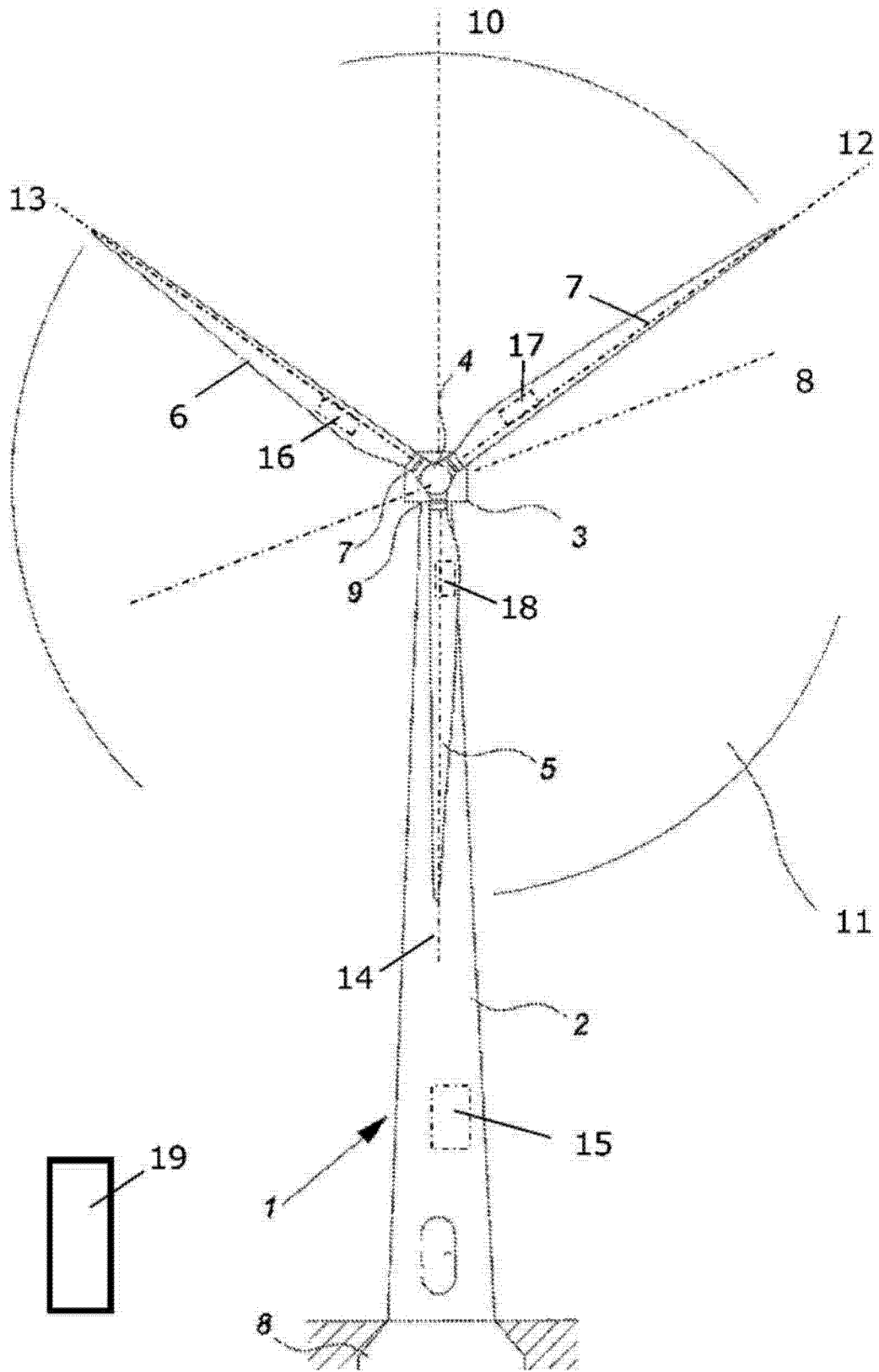


图 1

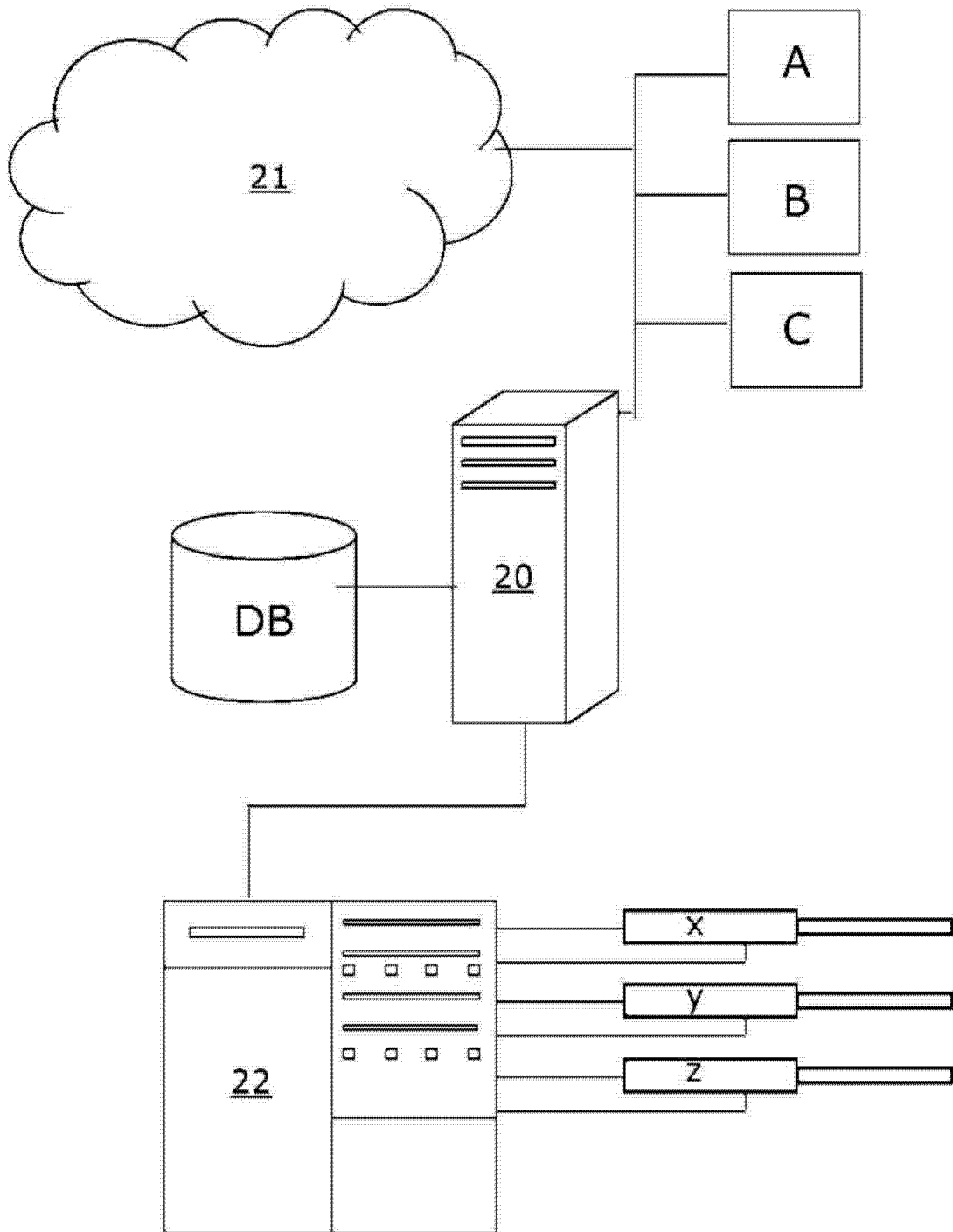


图 2

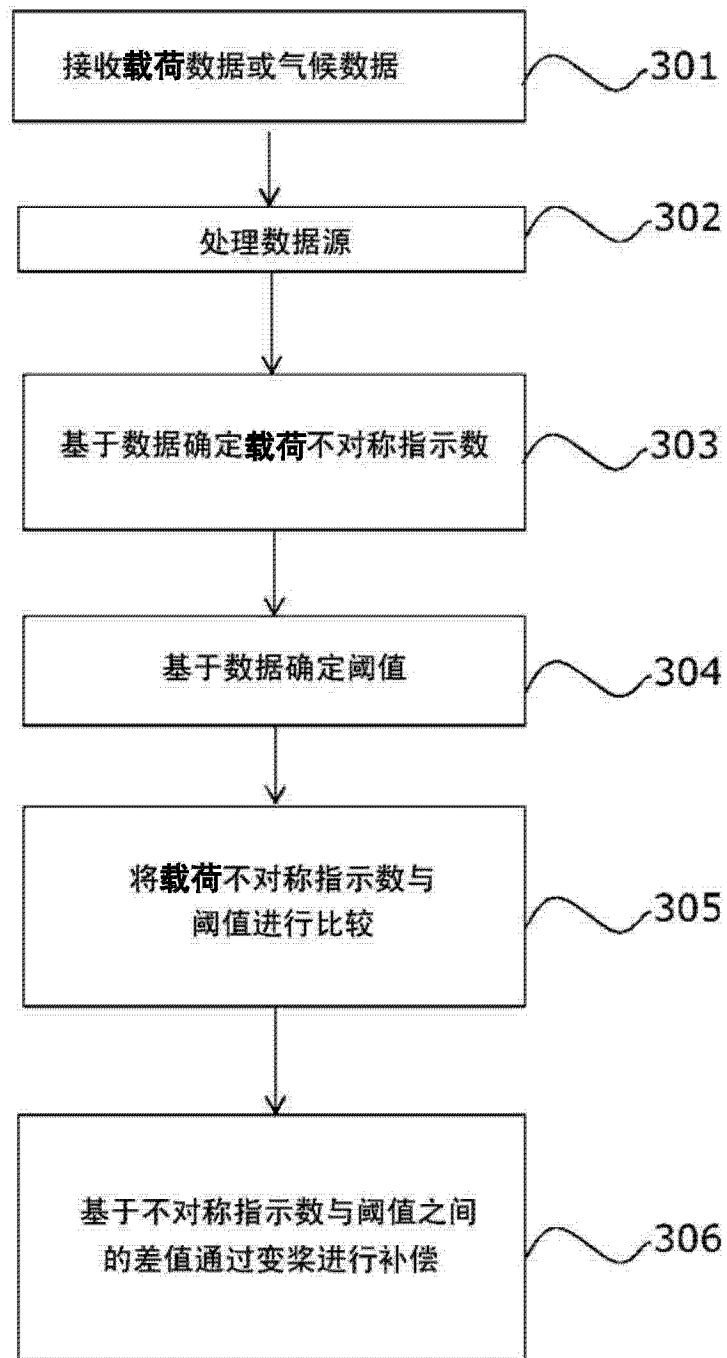


图 3