



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116241412 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 09

(21) 申请号 202211571241.2

(22) 申请日 2022.12.08

(30) 优先权数据

17/545006 2021.12.08 US

(71) 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 D·J·丹尼尔森

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

专利代理师 陈浩然 郭帆扬

(51) Int. Cl.

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

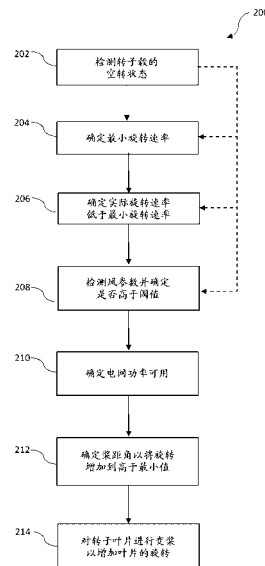
权利要求书1页 说明书11页 附图7页

(54) 发明名称

用于在转子毂的空转状态下控制风力涡轮转子叶片的叶片桨距的系统和方法

(57) 摘要

一种主动性方法在风力涡轮处于转子毂自由旋转的静止空转状态时防止风力涡轮的一个或多个转子叶片中的振动。该方法确定防止转子叶片的振动的转子叶片的最小旋转速率,并且确定转子叶片的实际旋转速率低于最小旋转速率。检测风参数并确定其高于阈值极限。该方法还检测电网功率是否可用于对转子叶片进行变桨。基于风参数,控制器确定转子叶片中的一个或多个转子叶片的桨距角,以将叶片的旋转增加到至少最小旋转速率。在转子叶片中诱导振动之前,控制器启动对转子叶片进行变桨以增加转子叶片的旋转速率。



1. 一种用于在风力涡轮处于转子毂自由旋转的静止空转状态时防止所述风力涡轮的一个或多个转子叶片中的振动的主动性方法,所述方法包括:

确定防止所述转子叶片的振动的所述转子叶片的最小旋转速率;

确定所述转子叶片的旋转速率低于所述最小旋转速率;

检测冲击所述转子叶片的风的一个或多个风参数,并确定所述风参数是否高于阈值极限;

确定电网功率对所述风力涡轮可用;

基于所述风参数,利用控制器确定所述转子叶片中的一个或多个转子叶片的桨距角,以将所述叶片的旋转增加到至少所述最小旋转速率;

利用所述控制器,将所述转子叶片变桨到所述桨距角;并且

其中,在所述转子叶片中诱导振动之前,对所述转子叶片进行变桨以增加所述转子叶片的旋转速率。

2. 根据权利要求1所述的主动性方法,其中,所述最小旋转速率是预先确定的、电子存储的并且能够由所述控制器访问。

3. 根据权利要求1所述的主动性方法,其中,针对所述风参数的多个组合的所述桨距角是预先确定的、电子存储的并且能够由所述控制器访问。

4. 根据权利要求1所述的主动性方法,其还包括在对所述转子叶片进行变桨之前确定偏航控制对所述转子毂不可用。

5. 根据权利要求1所述的主动性方法,其中,所述风参数包括风速和风向,并且所述方法还包括确定所述风速高于阈值速度作为对所述转子叶片进行变桨的先决条件。

6. 根据权利要求5所述的主动性方法,其中,所述风参数还包括作用在所述转子叶片上的风转向和风上升流中的一个或两个。

7. 根据权利要求1所述的主动性方法,其中,当电网功率对所述风力涡轮不可用时,利用备用功率供应装置对所述转子叶片进行变桨,所述方法还包括:

所述控制器确定待变桨以实现所述最小旋转速率的最小数量的所述转子叶片;以及
仅对所述最小数量的所述转子叶片进行变桨。

8. 根据权利要求7所述的主动性方法,其还包括:监测对所述转子叶片中的每个转子叶片的所述备用功率供应装置,以确保对每个单独的转子叶片可用的功率不低于最小功率值。

9. 根据权利要求8所述的主动性方法,其中,当被变桨的所述转子叶片接近所述最小功率值时,所述方法还包括将一个或多个不同的转子叶片重新指定为用于实现所述最小旋转速率的所述最小数量的转子叶片。

10. 根据权利要求8所述的主动性方法,其中,所述最小功率水平对应于对于将所述转子叶片顺桨到防止由所述转子叶片生成升力的顺桨定向所需的功率。

用于在转子毂的空转状态下控制风力涡轮转子叶片的叶片桨距的系统和方法

技术领域

[0001] 本公开总体上涉及风力涡轮功率生成系统,并且更特别地涉及用于阻尼风力涡轮中的振动和负载的系统和方法,特别是当转子毂处于转子毂空转的静止状态时。

背景技术

[0002] 现代风力涡轮通常用于向电力网供应电力。这种类型的风力涡轮大体上包括塔架和布置在塔架上的转子。典型地包括轮毂和多个叶片的转子在风对叶片的影响下开始旋转,其中,旋转生成扭矩,该扭矩通过转子轴直接地(“直接驱动”)或通过使用齿轮箱传递到发电机。这样,发电机产生可供应到电力网的电力。

[0003] 存在一种将风力涡轮叶片制造得越来越长以捕获更多的风并将风的能量转化为电力的趋势。这导致叶片更加柔性并且更容易出现气动弹性不稳定性,例如叶片的振动。振动的叶片在整个风力涡轮中产生重大潜在损坏的风险。

[0004] 当风力涡轮处于操作中时,风力涡轮控制器可直接地或间接地操作任何辅助驱动系统(诸如变桨系统或偏航系统),以减少叶片上的负载。这样,可抵消叶片的振动。然而,当风力涡轮处于静止状态下(空转或锁定)时,气动弹性不稳定性的问题也可能是严重的。在这种情况下,摆振振荡是特别值得关注的问题。

[0005] 在静止状态期间,可能发生至少两种类型的振动。第一种是当迎角在90度左右并且涡旋在接近叶片本征频率的频率下脱离时的涡激振动(VIV)。第二种是当迎角接近失速角(例如,15度至20度或取决于风力涡轮设计的其它范围)并且流动相互作用可能导致叶片振动时的失速诱导振动(SIV)。迎角可理解为在风的流动方向和转子叶片的翼弦之间的几何角度。

[0006] 涡激振动和失速诱导振动是如果没有充分设计或补偿则可导致叶片失效或加速叶片损坏的现象。

[0007] 对所述问题的当前解决方案包括使用附接到叶片的空气动力学设备来减少涡旋和/或增加阻尼。然而,这种解决方案增加了安装和移除的成本和时间。

[0008] 公开的美国专利申请2010/0301605提出了一种用于在风力涡轮处于空转状态时减少风力涡轮的转子叶片中的振动的方法。提供了用于登记风力涡轮相对于公用电网的空转功率产生情况的登记器件以及用于检测一个或多个叶片中的摆振振荡的检测器件。控制器件用来控制叶片的桨距角,并且当登记器件登记风力涡轮在空转发电情况下操作并且检测器件检测到一个或多个叶片中的摆振振荡时,控制器件适于改变桨距角。然而,该解决方案在本质上是被动性的,因为直到在叶片中实际上检测到振动之后才对桨距角进行校正。这些振动可能潜在地导致风力涡轮的关键部件上的过度疲劳和过量负载,诸如过量的转子推力和扭矩、单独叶片负载、塔架负载等。

[0009] 此外,当前解决方案没有考虑如下情况,其中,电网功率对空转的风力涡轮不可用,并且只有有限的功率的量(时间)可经由备用功率供应装置对偏航控制系统可用。

[0010] 本公开提供了用于风力涡轮的操作方法和系统的示例,其至少部分地解决了前述缺点中的一些缺点。

发明内容

[0011] 本发明的方面和优点将在下面的描述中部分地阐述,或者可从描述中显而易见,或者可通过本发明的实践获知。

[0012] 本公开包括一种用于在风力涡轮处于转子毂自由旋转的静止空转状态时防止或至少减少风力涡轮的一个或多个转子叶片中的振动的主动性方法。该方法是“主动性的”,因为它不依赖于在采取校正行动之前对实际振动的检测,而是在转子叶片中诱导出这样的振动之前采取行动。

[0013] 该方法包括确定防止转子叶片的振动的转子叶片的最小旋转速率。该速率可实时计算,或者可被预先确定并存储在由风力涡轮控制器访问的电子查找表中。该方法还包括确定转子叶片的旋转速率低于最小旋转速率。检测冲击转子叶片的风的一个或多个风参数,并且控制器确定风参数是否高于阈值极限。该方法包括确定电网功率对风力涡轮可用,并且基于风参数,控制器确定转子叶片中的一个或多个转子叶片的桨距角,以将叶片(即转子毂)的旋转增加到至少最小旋转速率。该桨距角可实时计算,或者可被预先确定并存储在由风力涡轮控制器访问的电子查找表中。控制器发出变桨命令以将指定的最小数量的转子叶片变桨到该桨距角。在转子叶片中诱导振动之前,对转子叶片进行变桨以增加转子毂的旋转速率。

[0014] 在特定实施例中,该方法包括在对转子叶片进行变桨之前确定偏航控制对转子毂不可用。假定如果偏航控制是可用的,则转子毂可偏航到相对于风的位置,以防止叶片振动,从而使叶片的变桨变得不必要。

[0015] 风参数可变化。例如,风参数可包括风速和风向,其中,该方法确定风速高于阈值速度作为对转子叶片进行变桨的先决条件。诸如作用在转子叶片上的风转向(wind veer)和风上升流(wind up-flow)的附加风参数也可用来确定对于实现叶片相对于风的特定定向所需的变桨命令。

[0016] 某些实施例可包括确定电网功率何时对风力涡轮不可用,其中,转子叶片使用备用功率供应装置来变桨。在这种情况下,该方法还可包括(利用控制器)确定待变桨以实现最小旋转速率的最小数量的转子叶片以及仅对该最小数量的转子叶片进行变桨。该实施例可包括监测对转子叶片中的每个转子叶片的备用功率供应装置,以确保对每个单独转子叶片可用的功率不低于最小功率值(该最小功率值可为对于将转子叶片顺桨到风向标定向所需的功率水平)。如果指定为最小数量的叶片中的一个叶片的转子叶片接近最小功率水平,则控制器可隔离该转子叶片以免进一步变桨,并将一个或多个不同的转子叶片指定为用于实现最小旋转速率的最小数量的转子叶片。

[0017] 本发明还包括用于在风力涡轮处于转子毂自由旋转的静止空转状态时防止一个或多个转子叶片中的振动的主动性方法的另一个实施例。该实施例包括确定防止或至少减少转子叶片的振动的转子叶片的最小旋转速率,以及确定转子叶片的旋转速率低于最小旋转速率。检测冲击转子叶片的风的一个或多个风参数并确定其高于阈值极限。如果确定电网功率对风力涡轮不可用以对转子叶片进行变桨,那么该方法使用备用功率供应装置对转

子叶片进行变桨。控制器确定待变桨以实现最小旋转速率的最小数量的转子叶片并且仅对该最小数量的转子叶片进行变桨。

[0018] 上述实施例可包括：监测对转子叶片中的每个转子叶片的备用功率供应装置，以确保对每个单独转子叶片的可用功率不低于将叶片顺桨可能需要的最小功率值。如果指定为该最小数量的叶片中的一个叶片的转子叶片接近最小功率水平，则控制器可隔离该转子叶片以免进一步变桨，并将一个或多个不同的转子叶片指定为用于实现最小旋转速率的最小数量的转子叶片。

[0019] 本发明还包括一种风力涡轮，该风力涡轮具有在可旋转转子毂上的多个转子叶片，以及定位成检测冲击转子叶片的风的风参数的一个或多个传感器。变桨系统构造造成改变转子叶片的桨距角，并且控制器与变桨系统可操作地通信。当转子毂处于静止空转状态并自由旋转时，控制器配置成：确定防止转子叶片的振动的转子叶片的最小旋转速率；确定转子叶片的旋转速率低于最小旋转速率；确定冲击转子叶片的风的一个或多个风参数是否高于阈值极限；确定电网功率对风力涡轮可用；基于风参数，确定转子叶片中的一个或多个转子叶片的桨距角，以将叶片的旋转增加到至少最小旋转速率；向变桨控制系统发出变桨命令，以将转子叶片变桨到该桨距角；并且其中，在转子叶片中诱导振动之前，对转子叶片进行变桨以增加转子叶片的旋转速率。

[0020] 该风力涡轮可包括用于变桨控制系统的备用功率供应装置，其中，控制器还配置成：确定电网功率何时对风力涡轮不可用；确定待变桨以实现最小旋转速率的最小数量的转子叶片；并且向变桨控制系统发出变桨命令，以使用备用功率供应装置仅对该最小数量的转子叶片进行变桨。在该实施例中，控制器还可配置成：监测对转子叶片中的每个转子叶片的备用功率供应装置，以确保对每个单独转子叶片可用的功率不低于最小功率值，并且当对转子叶片可用的功率达到最小功率水平时，隔离转子叶片以免进行变桨。控制器然后将把一个或多个其它转子叶片重新指定为用于实现最小旋转速率的最小数量的转子叶片。

[0021] 参考以下描述和所附权利要求书，本发明的这些和其它特征、方面和优点将变得更好理解。并入并构成本说明书的一部分的附图图示本发明的实施例，并与描述一起用于解释本发明的原理。

附图说明

[0022] 在参考附图的说明书中阐述了针对本领域普通技术人员的本发明的完整且能够实现的公开内容，包括其最佳模式，其中：

图1是根据一个示例的风力涡轮的透视图；

图2是根据一个示例的风力涡轮的机舱的简化内部视图；

图3是具有相关联的变桨控制系统部件的风力涡轮的叶片的图；

图4是根据一个示例的用于减小风力涡轮的转子叶片中的振动和负载的方法的流程图；

图5是用于减小风力涡轮的转子叶片中的振动和负载的备选方法的流程图；以及

图6a和图6b示出了描绘根据本发明的各种方法实施例的更详细的流程图。

[0023] 在本说明书和附图中重复使用附图标记旨在表示本发明的相同或相似的特征或元件。

具体实施方式

[0024] 现在将详细参考本发明的实施例,其一个或多个示例在附图中被图示。每个示例通过解释本发明的方式而不是限制本发明的方式被提供。事实上,对于本领域技术人员来说将显而易见的是,在不脱离本发明的范围或精神的情况下,可在本发明中进行各种修改和变型。例如,作为一个实施例的部分被图示或描述的特征可与另一个实施例一起使用,以产生又一另外的实施例。因此,意图是,本发明覆盖如归入所附权利要求书的范围内的这种修改和变型及其等同物。

[0025] 如本文中所用,术语“控制器”不仅指在本领域中被称为包含在计算机中的集成电路,还指微控制器、微型计算机、可编程逻辑控制器(PLC)、专用集成电路和其它可编程电路。控制器还配置成计算高级控制算法,并传送到各种以太网或基于串行的协议(Modbus、OPC、CAN等)。另外,配置有控制器的(多个)存储器设备大体上可包括(多个)存储器元件,包括但不限于计算机可读介质(例如,随机存取存储器(RAM))、计算机可读非易失性介质(例如,闪存存储器)、软盘、致密盘只读存储器(CD-ROM)、磁光盘(MOD)、数字多功能盘(DVD)和/或其它合适的存储器元件。(多个)这样的存储器设备140可大体上配置成存储合适的计算机可读指令,当由(多个)处理器402实现时,这些指令配置控制器来执行本文中所述的各种功能。

[0026] 图1图示了风力涡轮160的一个示例的透视图。如图所示,风力涡轮160包括从支撑表面150延伸的塔架170、安装在塔架170上的机舱161以及联接到机舱161的转子115。转子115包括可旋转的轮毂110和至少一个转子叶片120,转子叶片22联接到轮毂110并从轮毂20向外延伸。例如,在图示示例中,转子115包括三个转子叶片120。然而,在备选实施例中,转子115可包括多于或少于三个转子叶片120。每个转子叶片120与轮毂110间隔开,以有利于旋转转子115,从而使动能能够从风能转换成可用的机械能,并随后转换成电能。例如,轮毂110可能够旋转地联接到发电机162(图2),该发电机162定位在机舱161内或形成机舱4的一部分,以用于产生电能。

[0027] 风力涡轮160包括风力涡轮控制器180,该风力涡轮控制器可居中地位于机舱161内或在机舱的外部。然而,在其它示例中,风力涡轮控制器180可位于风力涡轮160的任何其它部件内或者风力涡轮外部的的位置处。此外,控制器180可通信地联接到风力涡轮160的任何数量的部件,以便控制这样的部件的操作。

[0028] 例如,控制器180可通信地联接到一个或多个辅助驱动系统,诸如用于调节叶片桨距的变桨系统107。辅助驱动系统107可包括用于使机舱161围绕旋转轴线相对于塔架旋转的偏航系统20。

[0029] 本公开涉及如下情况,其中转子115处于转子毂110被解锁并在空转模式下自由旋转的静止状态。本公开设想控制器180在转子115的锁定状态下保持通信地联接到至少变桨系统107。

[0030] 本公开还设想,在转子的锁定状态期间,“控制器”功能也可由单独的专用控制器提供,如公开的美国专利申请2022/0173418中所述,该专利申请为所有目的以其全文并入本文中。专用控制器可配置成至少在一些操作条件下自主地(即独立于风力涡轮控制器180)操作,并且可能够在风力涡轮控制器180处于转子115锁定的静止状态时执行诸如接收和发射信号以及处理数据的任务。

[0031] 图1的风力涡轮160可放置在海上或陆上位置。

[0032] 风力涡轮控制器(或“中央控制系统”)180可包括一个或多个处理器和(多个)相关联的存储器设备,其配置成执行各种计算机实现的功能(例如,执行本文中公开的方法、步骤、计算等和存储相关数据)。风力涡轮控制器可执行各种不同的功能,诸如接收、发送和/或执行风力涡轮控制信号以及控制风力涡轮的整体操作。风力涡轮控制器可进行编程以基于从传感器接收的信息来控制整体操作,该信息指示例如负载、风速、风向、部件的湍流失效等。

[0033] 风力涡轮控制器180还可包括通信模块,以有利于在控制器180与风力涡轮的部件与其单独的控制系統(例如,用于变桨系统107的控制器、用于偏航系统20的控制器、转换器控制系统以及其它控制设备和部件)之间的通信。

[0034] 此外,通信模块可包括传感器接口(例如,一个或多个模数转换器),以允许将从一个或多个风参数传感器或负载传感器传输的信号转换成可由控制器180理解和处理的信号。应当理解的是,传感器可使用任何合适的手段(如例如有线连接或无线连接)通信地联接到通信模块。

[0035] 图2图示了图1的风力涡轮160的机舱161的一个示例的简化内部视图。如图所示,发电机162可设置在机舱161内并联接到转子115,用于从由转子115生成的旋转能量生成电功率。例如,转子115可包括联接到轮毂110以与其一起旋转的主转子轴163。发电机162可然后联接到转子轴163,使得转子轴163的旋转驱动发电机162。例如,在图示实施例中,发电机162包括通过齿轮箱164可旋转地联接到转子轴163的发电机轴166。

[0036] 应当理解的是,转子轴163、齿轮箱164和发电机162可大体上由定位在风力涡轮塔架170顶部的支撑框架或底板165支撑在机舱161内。

[0037] 机舱161通过偏航系统20可旋转地联接到塔架170,使得机舱161能够围绕旋转轴线或“偏航轴线”RA旋转,如图2中所绘。偏航系统20包括偏航轴承,该偏航轴承具有构造成相对于另一个旋转的两个轴承部件。塔架170联接到轴承部件中的一个轴承部件,并且机舱161的底板或支撑框架165联接到另一个轴承部件。偏航系统20包括环形齿轮21和多个偏航驱动器22,所述偏航驱动器具有马达23、齿轮箱24和小齿轮25,该小齿轮用于与环形齿轮21啮合,用于使轴承部件中的一个相对于另一个旋转。

[0038] 叶片120利用变桨控制系统107联接到轮毂110,该变桨控制系统包括在叶片120和轮毂110之间的变桨轴承100。变桨轴承100包括内环和外环(在图2中示出)。风力涡轮叶片120可附接在内轴承环处或外轴承环处,而轮毂连接在另一个轴承环处。当变桨控制系统107被致动时,叶片120可相对于轮毂110进行相对旋转移动。旋转移动围绕变桨轴线PA执行,并且因此能够以度为单位来测量。因此,内轴承环可相对于外轴承环进行旋转移动。图2的变桨控制系统107包括可驱动的小齿轮108,该可驱动的小齿轮与设置在内轴承环上的环形齿轮109啮合,以使风力涡轮叶片120进入旋转。设置有单独的马达用于旋转地驱动小齿轮108。在其中风力涡轮产生功率并连接到电网的风力涡轮160的操作状态下,用于驱动变桨马达的功率从电网或发电机输出部供应。

[0039] 尽管变桨轴线仅针对单个叶片120示出,但应当清楚的是,叶片120中的每个叶片都具有这样的变桨轴线。单个变桨系统或多个单独的变桨系统可用来使相应的叶片120围绕其相应的纵向轴线旋转。

[0040] 在转子115自由旋转的风力涡轮160的静止空转状态下,风力涡轮不生成电功率并且很可能不从电网接收电功率。在这样的情况下,风力涡轮160还包括专用功率源140(图1),该专用功率源可包括电池或超级电容器(未图示),其存储预定义量的能量以在预定义的时间段内供应控制器180(或专用控制器)和辅助驱动系统20,107。在备选示例中,专用功率源140可包括诸如柴油发电机的燃料发电机。如下文关于图3更详细地讨论的那样,专用功率源140可包括用于变桨马达中的每个变桨马达的单独的功率源。

[0041] 如下面更详细地讨论的那样,本公开的方面依赖于对作用在叶片120上的风参数(诸如风向和风速)的检测。参考图1和图2,风力涡轮10可包括一个或多个风参数传感器125,用于测量风力涡轮160的上风的各种风参数。例如,如图2中所示,一个传感器125可位于轮毂110上,以便测量风力涡轮160的上风的(多个)实际风参数。(多个)实际风参数可为以下任何一个或其组合:阵风(wind gust)、风速、风向、风加速度、风湍流、风切变、风转向、尾流和风上升流。此外,一个或多个传感器125可包括用于测量上风参数的至少一个LIDAR传感器。例如,轮毂110中的传感器125可为LIDAR传感器,该传感器是配置成扫描风力涡轮160周围的环形区域并基于来自气溶胶的由LIDAR传感器透射的光的反射和/或散射来测量风速的测量雷达。可适当地选择LIDAR传感器的锥角(θ)和量程(R),以提供期望的测量精度以及可接受的灵敏度。

[0042] 在如图2中所描绘的另外的实施例中,一个或多个LIDAR传感器还可位于风力涡轮塔架170上、风力涡轮叶片120中的一个或多个上、机舱161上、风力涡轮的气象桅杆上或任何其它合适的位置处。在另一些实施例中,一个或多个风参数传感器125可位于靠近风力涡轮160的任何合适的位置中。传感器125可配置成测量至少一个特定部分(典型地在对叶片120上的空气动力学扭矩的贡献方面叶片120的最重要区段)之前的风参数。这些区段可包括例如靠近叶片的尖端的区段。

[0043] 在备选实施例中,传感器125不必是LIDAR传感器,并且可为能够测量风力涡轮160的上风的风参数的任何其它合适的传感器。例如,传感器可为加速度计、压力传感器、迎角传感器、振动传感器、MIMU传感器、相机系统、光纤系统、风速计、风向标、声波探测和测距(SODAR)传感器、红外激光器、辐射计、皮托管、无线电探空测风仪、其它光学传感器和/或任何其它合适的传感器。应当理解的是,如本文中所示,术语“确定”及其变体指示风力涡轮的各种传感器可配置成提供被监测参数的直接测量或这样的参数的间接测量。因此,传感器125可例如用来生成与被监测的参数相关的信号,所述信号然后可由控制器利用来确定实际风条件。

[0044] 本公开的其它方面可依赖于作用在风力涡轮160的某些部件上的负载的确定。参考图1和图2,负载传感器121可用于测量诸如叶片120、塔架170、底板等的相关部件中的一个或多个部件的变形。这样的传感器可为检测部件的变形/应变参数的应变传感器。

[0045] 在其它实施例中,风力涡轮160的各种部件上的加载条件可间接地确定。例如,控制器180(或与控制器180通信的其它控制器)可接收操作数据,该操作数据可由以下任何一个或其组合组成:桨距角、发电机速率、功率输出、扭矩输出、温度、压力、叶尖速比、空气密度或其它类似的操作条件。控制器然后计算作为操作数据的各种组合的函数的估计负载条件。在一个实施例中,例如,控制器可利用具有一系列方程的控制算法来实现估计器功能,以确定作为桨距角、发电机速率、功率输出和空气密度的函数的估计负载条件。此外,可使

用操作数据和一个或多个空气动力学性能图来求解方程。在一个实施例中,空气动力学性能图是描述在给定条件(例如,密度、风速、转子速率、桨距角等)下的转子加载和性能(例如,功率、推力、扭矩或弯矩或类似物)的有量纲表或无量纲表。照此,空气动力学性能图可包括功率系数、推力系数、扭矩系数和/或关于桨距角、转子速率或叶尖速比的偏导数。备选地,空气动力学性能图可为有量纲的功率、推力和/或扭矩值而不是系数。

[0046] 图3描绘了变桨控制系统的构造,其中,配属有单独的变桨马达130以驱动在每个转子叶片120处的小齿轮108(图2)。控制器180与和每个变桨马达130相关联的控制器可操作地通信。如所提及的那样,在风力涡轮的操作状态下,功率从电网功率132供应到变桨马达130。针对其中电网功率不可用的情况,备用功率供应装置140(图1)由与每个变桨马达130相关联的单独的备用功率供应装置134(诸如电池、超级电容器、柴油或汽油发电机等)提供。单独的备用功率供应装置134与控制器130通信。还可为控制器180提供备用功率供应装置135。

[0047] 参考图4,以流程图的形式描绘了根据本发明的方面的方法200的实施例。在步骤202,由控制器检测转子毂的空转状态。具体地,确定转子毂没有被锁定并且可自由旋转。图4中的虚线意图表达该步骤202可与该过程中的任何数量的其它步骤一起执行。

[0048] 在步骤204,确定将防止或显著减少在转子叶片中诱导的振动的转子毂(和叶片)的最小旋转速率。该旋转速率可被预先确定(例如,根据经验或经由建模)并存储在控制器可访问的电子查找表中。备选地,该值可由控制器实时计算。

[0049] 在步骤206,确定转子毂以小于来自步骤204的最小旋转速率的速率旋转。转子毂的旋转速率可直接测量或从其它参数导出。如果转子毂的旋转速率高于步骤204的最小旋转速率,那么该方法不进一步进行。

[0050] 在步骤208,经由上面讨论的传感器确定一个或多个感兴趣的风参数(例如,风速)。这些参数可包括例如风向、风速、风转向和风上升流中的任何一个或组合。风转向应理解为表示风向相对于垂直高度的变化。风上升流应理解为表示风相对于水平面的角度。步骤208还包括确定感兴趣的(多个)风参数是否高于阈值。例如,如果检测风速,则确定风速处于已知在叶片中诱导振动的值。如果风速低于阈值,那么该方法不进一步进行。

[0051] 图4中的虚线指示步骤202到208可基本上并行地执行。

[0052] 在步骤210,确定电网功率可用于变桨控制系统。如果电网功率不可用,那么该方法依赖于备用功率供应装置,如下文更详细地讨论的那样。

[0053] 在步骤212,确定转子叶片的桨距角,该桨距角将生成高于步骤204的最小旋转速率的转子毂的旋转。由于电网功率可用,因此可能优选的是对所有叶片进行变桨,使得每个叶片有助于增加转子毂的旋转。对少于所有叶片进行变桨也是一种选择。针对各种风参数的桨距角可由控制器实时计算,或者可预先确定(例如,基于建模或根据经验确定)并存储在控制器可访问的电子数据库(即,查找表)中。因此,确定桨距角的步骤包括访问和检索针对检测到的风参数的变桨迎角的存储值。

[0054] 在步骤214,控制器向转子叶片发出变桨命令以实现在步骤212中确定的桨距角。

[0055] 图5以流程图的形式描绘了备选的方法实施例300。在步骤302,由控制器检测转子毂的空转状态。具体地,确定转子毂没有被锁定并且可自由旋转。图5中的虚线意图表达该步骤302可与该过程中的任何数量的其它步骤一起执行。

[0056] 在步骤304,确定将防止或显著减少在转子叶片中诱导的振动的转子毂(和叶片)的最小旋转速率。该旋转速率可被预先确定(例如,根据经验或经由建模)并存储在控制器可访问的电子查找表中。备选地,该值可由控制器实时计算。

[0057] 在步骤306,确定转子毂以小于来自步骤304的最小旋转速率的速率旋转。转子毂的旋转速率可直接测量或从其它参数导出。如果转子毂的旋转速率高于步骤204的最小旋转速率,那么该方法不进一步进行。

[0058] 在步骤308,经由上面讨论的传感器125确定一个或多个感兴趣的风参数(例如,风速)。这些参数可包括例如风向、风速、风转向和风上升流中的任何一个或组合。风转向应理解为表示风向相对于垂直高度的变化。风上升流应理解为表示风相对于水平面的角度。步骤308还包括确定感兴趣的(多个)风参数是否高于阈值。例如,如果检测风速,则确定风速处于已知在叶片中诱导振动的值。如果风速低于阈值,那么该方法不进一步进行。

[0059] 图5中的虚线指示步骤302到308可基本上并行地执行。

[0060] 在步骤310,确定电网功率对变桨控制系统不可用。如果电网功率不可用,那么在步骤312,该方法依赖于备用功率供应装置。

[0061] 在步骤314,确定需要进行变桨以生成步骤304的最小旋转速率的最小数量的叶片(和桨距角)。因为备用功率供应装置受到容量(和因此操作时间)的限制,所以目标是尽可能多地保留来自备用功率供应装置的容量。例如,如果仅可对一个叶片进行变桨以实现最小旋转速率,那么可保留与其它叶片相关联的功率供应装置。可监测备用功率供应装置,以确保在每个供应装置中保持足够的储备,以确保相应的叶片可顺桨到一定向,以便停止转子毂的旋转。

[0062] 在步骤316,仅对在步骤314中确定的最小数量的叶片进行变桨以增加转子毂(和叶片)的旋转。

[0063] 图6a和图6b是表示各种其它方法实施例的框图。应当理解的是,并非图6a和图6b中描绘的所有步骤对于任何一个实施例而言都是必要的。图6a和图6b中描绘的步骤的各种组合都在本公开的范围之内。

[0064] 参考图6a,方法400包括步骤402,其中,由控制器检测转子毂的初始状态,以确定转子毂是否正在空转并自由旋转(即,不被锁定以防止旋转)。

[0065] 在步骤404,如果转子毂不空转,那么过程直接进行到步骤406,其中,变桨控制过程关闭(未激活)。这种情况可出现在例如其中转子被锁定的风力涡轮的静止状态中。

[0066] 在步骤404,如果由控制器确定转子毂空转,那么过程进行到步骤408,其中,控制器确定转子的偏航状态。如果转子能够偏航,那么在步骤410,过程返回到步骤406,并且不激活变桨控制过程。当确定对转子毂偏航的能力提供足够的能量以将叶片放置在防止叶片振动的相对于风的相对位置中时,该步骤可能是期望的。

[0067] 在步骤410,如果由控制器确定偏航系统不可操作,那么过程进行到步骤412,其中,确定一个或多个风参数,所述风参数可包括风向和风速中的一个或两个。

[0068] 在步骤414,确定风参数(例如,风速)是否超过阈值,该阈值要求由变桨控制系统采取进一步行动以防止叶片振动。如果风参数不超过阈值,那么不需要校正行动,并且变桨控制过程返回到步骤406并且不被激活。

[0069] 如果在步骤414风参数超过阈值,那么过程进行到步骤416,其中,转子的旋转速率

由控制器确定。

[0070] 在步骤418,确定转子的旋转速率是否超过限定的阈值。如果超过,那么假设转子正在以足够的速率旋转以防止在叶片中诱导振动,并且过程返回到步骤406,并且变桨控制过程停止。如果速率不超过阈值,那么过程进行到多个步骤420-426,所述步骤可同时或顺序地执行。

[0071] 在步骤420和422,如果在步骤412没有完成,则测量风向和风速。还可测量附加风参数,诸如在步骤424的风上升流和在步骤426的风转向。

[0072] 在步骤423,叶片的定向可基于许多因素来确定,诸如转子位置(例如,由转子位置传感器确定)、相对于风向的偏航位置、涡轮几何形状(例如,轴倾斜、锥形形状、叶片预弯、叶片扭转等)和桨距角。叶片定向可用作确定单独的叶片的变桨命令的考虑因素。

[0073] 参考图6b,过程继续到步骤428,其中,控制器确定所有叶片的变桨命令,该命令足以将转子的旋转速率增加到高于阈值。

[0074] 在步骤430,检测对风力涡轮可用的电网功率的状态。如果在步骤432电网功率可用于驱动变桨马达,那么过程进行到步骤434,其中,控制器向所有叶片发出变桨命令。然后对叶片进行变桨以增加转子的旋转速率。

[0075] 如果在步骤432电网功率不可用,则过程进行到步骤438,其中,确定备用功率是否可用于对叶片进行变桨。如果备用功率不可用(并且电网功率不可用),则过程返回到步骤406并停止。

[0076] 如果在步骤438备用功率可用,那么过程进行到步骤440,其中,控制器确定对于将转子的旋转增加到至少阈值所需的最小数量的叶片(和桨距角)。例如,如果在步骤430电网功率可用,那么可使用所有转子叶片。然而,如果电网功率不可用,那么可期望使用最小数量的叶片(例如,其中的一个叶片)来保留对其它叶片的备用功率。

[0077] 在步骤442,控制器向最小数量的叶片发出桨距角命令,然后对所述叶片进行变桨。

[0078] 在步骤428,过程继续以监测用于叶片的备用功率供应装置,特别是用于正在变桨的叶片的备用功率供应装置。意图是确保存在足够的功率用于最终变桨,其中,将叶片顺桨到防止升力的位置。当用于叶片变桨的功率供应装置达到限定的最小水平时,控制器将隔离该叶片并重新指定其它叶片中的一个或多个叶片用于变桨。

[0079] 本发明的另外的方面由以下条款的主题提供:

条款1:一种用于在风力涡轮处于转子毂自由旋转的静止空转状态时防止所述风力涡轮的一个或多个转子叶片中的振动的主动性方法,所述方法包括:确定防止所述转子叶片的振动的所述转子叶片的最小旋转速率;确定所述转子叶片的旋转速率低于所述最小旋转速率;检测冲击所述转子叶片的风的一个或多个风参数,并确定所述风参数是否高于阈值极限;确定电网功率对所述风力涡轮可用;基于所述风参数,利用控制器确定所述转子叶片中的一个或多个转子叶片的桨距角,以将所述叶片的旋转增加到至少所述最小旋转速率;利用所述控制器,将所述转子叶片变桨到所述桨距角;并且其中,在所述转子叶片中诱导振动之前,对所述转子叶片进行变桨以增加所述转子叶片的旋转速率。

[0080] 条款2:根据条款1所述的主动性方法,其中,所述最小旋转速率是预先确定的、电子存储的并且能够由所述控制器访问。

[0081] 条款3:根据前述条款中任一项所述的主动性方法,其中,针对所述风参数的多个组合的所述桨距角是预先确定的、电子存储的并且能够由所述控制器访问。

[0082] 条款4:根据前述条款中任一项所述的主动性方法,其还包括在对所述转子叶片进行变桨之前确定偏航控制对所述转子毂不可用。

[0083] 条款5:根据前述条款中任一项所述的主动性方法,其中,所述风参数包括风速和风向,并且所述方法还包括确定所述风速高于阈值速度作为对所述转子叶片进行变桨的先决条件。

[0084] 条款6:根据前述条款中任一项所述的主动性方法,其中,所述风参数还包括作用在所述转子叶片上的风转向和风上升流中的一个或两个。

[0085] 条款7:根据前述条款中任一项所述的主动性方法,其中,当电网功率对所述风力涡轮不可用时,利用备用功率供应装置对所述转子叶片进行变桨,所述方法还包括:所述控制器确定待变桨以实现所述最小旋转速率的最小数量的所述转子叶片;以及仅对所述最小数量的所述转子叶片进行变桨。

[0086] 条款8:根据前述条款中任一项所述的主动性方法,其还包括:监测对所述转子叶片中的每个转子叶片的所述备用功率供应装置,以确保对每个单独的转子叶片可用的功率不低于最小功率值。

[0087] 条款9:根据前述条款中任一项所述的主动性方法,其中,当被变桨的所述转子叶片接近所述最小功率值时,所述方法还包括将一个或多个不同的转子叶片重新指定为用于实现所述最小旋转速率的所述最小数量的转子叶片。

[0088] 条款10:根据前述条款中任一项所述的主动性方法,其中,所述最小功率水平对应于对于将所述转子叶片顺桨到停止在所述叶片中生成升力的定向所需的功率。

[0089] 条款11:一种用于在风力涡轮处于转子毂自由旋转的静止空转状态时防止所述风力涡轮的一个或多个转子叶片中的振动的主动性方法,所述方法包括:确定防止所述转子叶片的振动的所述转子叶片的最小旋转速率;确定所述转子叶片的旋转速率低于所述最小旋转速率;检测冲击所述转子叶片的风的一个或多个风参数,并确定所述风参数是否高于阈值极限;确定电网功率对所述风力涡轮不可用以对所述转子叶片进行变桨;利用备用功率供应装置对所述转子叶片进行变桨;确定待变桨以实现所述最小旋转速率的最小数量的所述转子叶片;以及仅对所述最小数量的所述转子叶片进行变桨以实现所述最小旋转速率。

[0090] 条款12:根据条款11所述的主动性方法,其还包括:监测对所述转子叶片中的每个转子叶片的所述备用功率供应装置,以确保对每个单独的转子叶片的功率不低于最小功率值。

[0091] 条款13:根据条款11或12所述的主动性方法,其中,当被变桨的所述转子叶片接近所述最小功率值时,将一个或多个不同的转子叶片重新指定为待变桨以实现所述最小旋转速率的所述最小数量的转子叶片。

[0092] 条款14:根据条款11至13中任一项所述的主动性方法,其中,所述最小功率水平对应于对于将所述转子叶片顺桨到防止由所述叶片生成升力的定向所需的功率。

[0093] 条款15:一种风力涡轮,其包括:在可旋转转子毂上的转子叶片;一个或多个传感器,其定位成检测冲击所述转子叶片的风的风参数;变桨系统,其配置成改变所述转子叶片

的桨距角;控制器,其与所述变桨系统可操作地通信;其中,在所述转子毂处于自由旋转的静止空转状态的情况下,所述控制器配置成:确定防止所述转子叶片的振动的所述转子叶片的最小旋转速率;确定所述转子叶片的旋转速率低于所述最小旋转速率;确定冲击所述转子叶片的风的一个或多个风参数是否高于阈值极限;确定电网功率对所述风力涡轮可用;基于所述风参数,确定所述转子叶片中的一个或多个转子叶片的桨距角,以将所述叶片的旋转增加到至少所述最小旋转速率;向所述变桨控制系统发出变桨命令,以将所述转子叶片变桨到所述桨距角;并且其中,在所述转子叶片中诱导振动之前,对所述转子叶片进行变桨以增加所述转子叶片的旋转速率。

[0094] 条款16:根据前述条款中任一项所述的风力涡轮,其还包括用于所述变桨控制系统的备用功率供应装置,所述控制器还配置成:确定电网功率何时对所述风力涡轮不可用;确定待变桨以实现所述最小旋转速率的最小数量的所述转子叶片;以及向所述变桨控制系统发出变桨命令,以使用所述备用功率供应装置仅对所述最小数量的所述转子叶片进行变桨。

[0095] 条款17:根据前述条款中任一项所述的风力涡轮,其中,所述控制器还配置成:监测对所述转子叶片中的每个转子叶片的所述备用功率供应装置,以确保对每个单独的转子叶片可用的功率不低于最小功率值。

[0096] 条款18:根据前述条款中任一项所述的风力涡轮,其中,所述控制器还配置成:当对所述转子叶片可用的功率达到所述最小功率水平时,隔离所述转子叶片以免进行变桨,以及将待变桨的一个或多个其它转子叶片重新指定为用于实现所述最小旋转速率的所述最小数量的转子叶片。

[0097] 本书面描述使用示例来公开包括最佳模式的本发明,并且还使得本领域的任何技术人员能够实践本发明,包括制造和使用任何设备或系统以及执行任何并入的方法。本发明的可专利性范围由权利要求书限定,并且可包括本领域技术人员想到的其它示例。如果这些其它示例包括不异于权利要求书的字面语言的结构要素,或者如果它们包括与权利要求书的字面语言具有非实质性差异的等效结构要素,则这些其它示例旨在处于权利要求书的范围内。

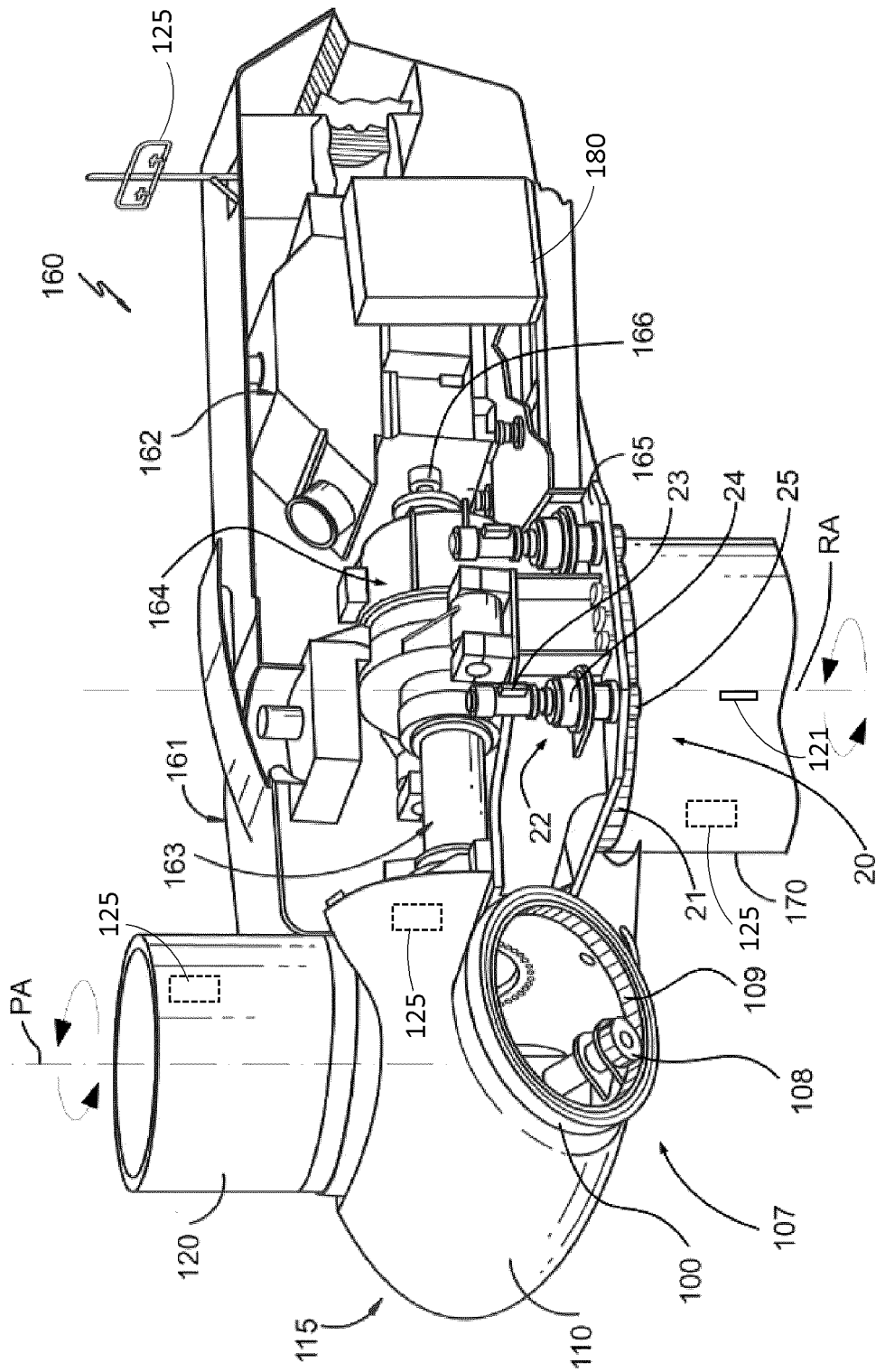


图 2

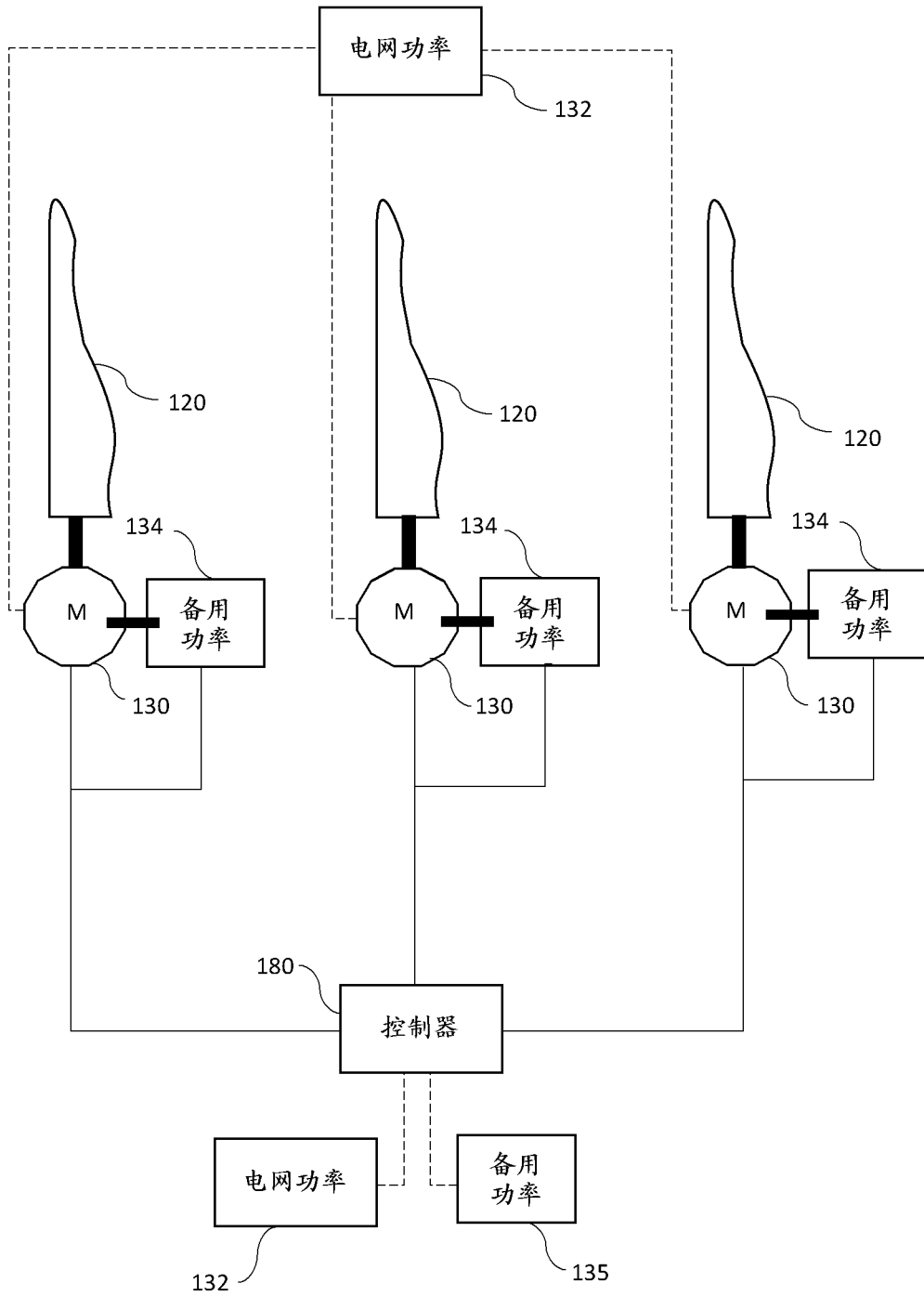


图 3

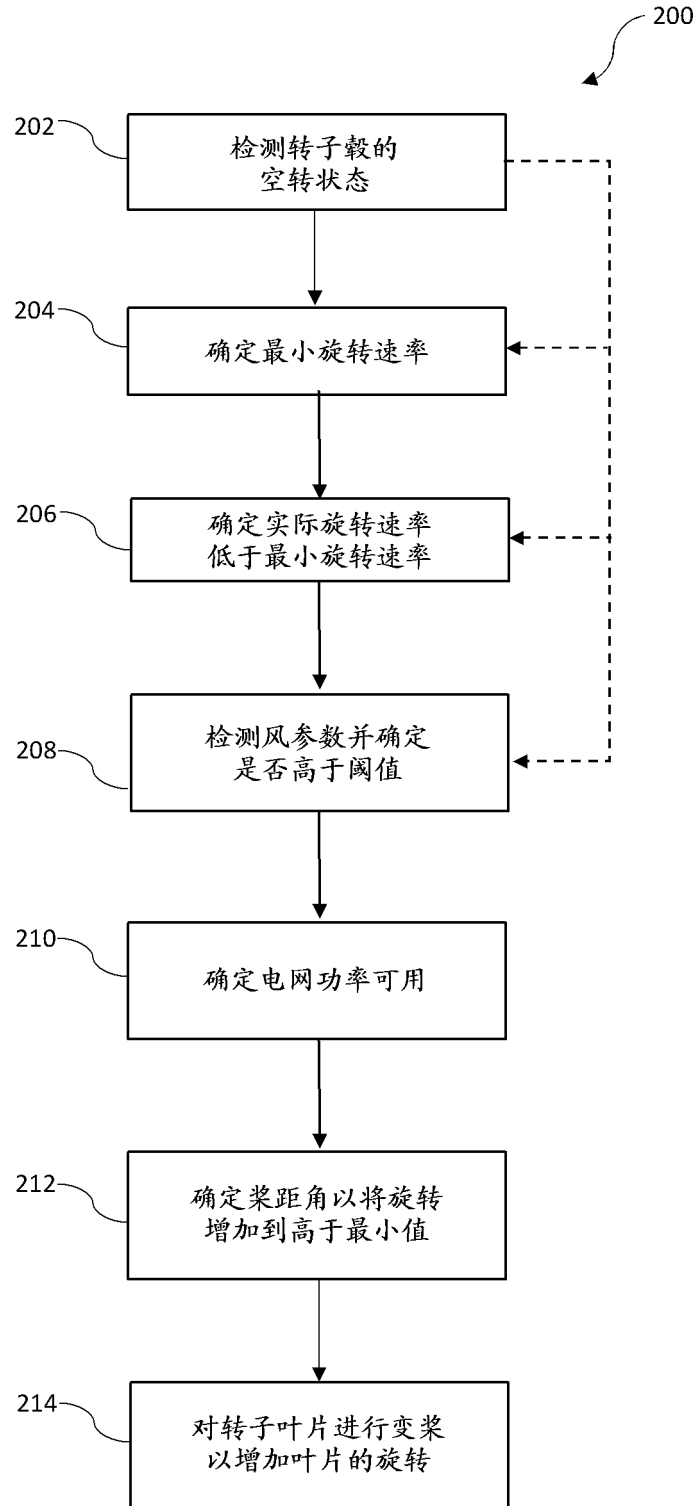


图 4

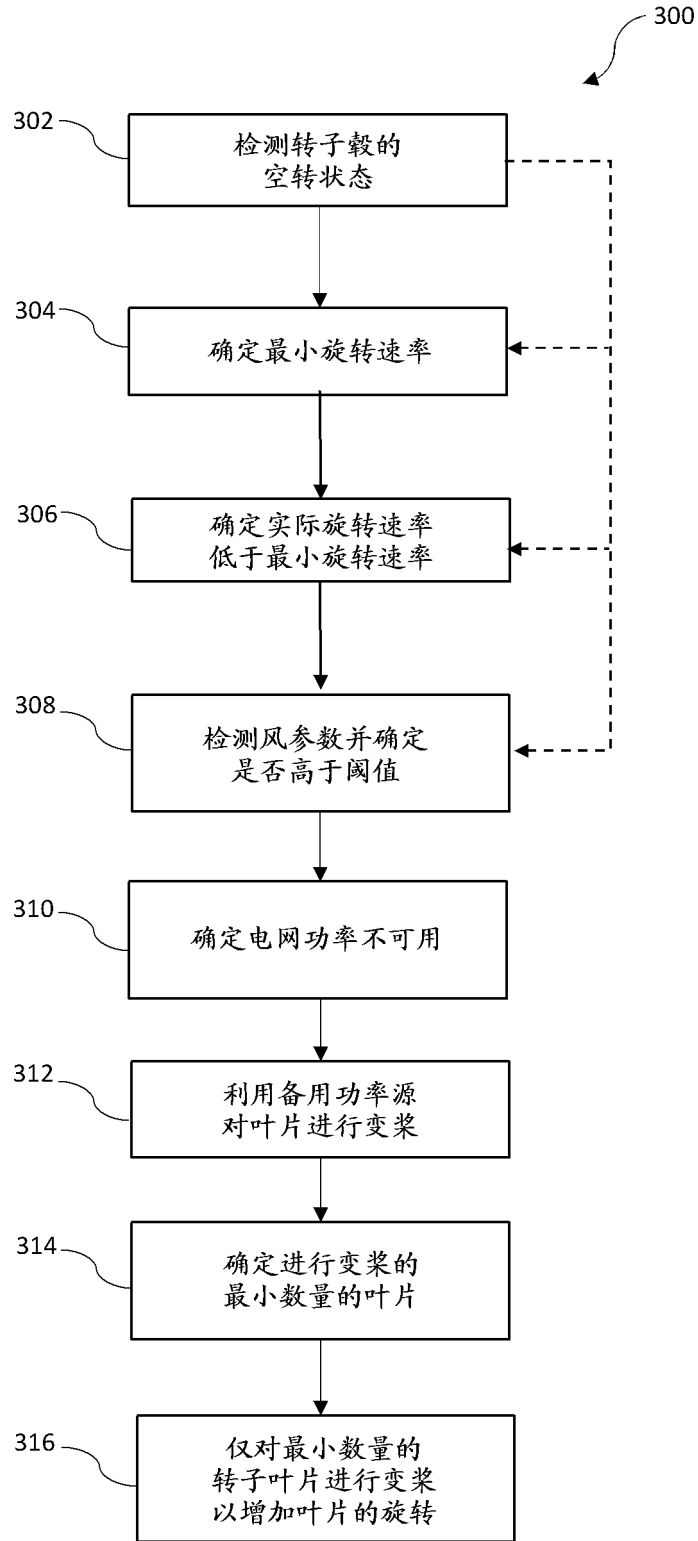


图 5

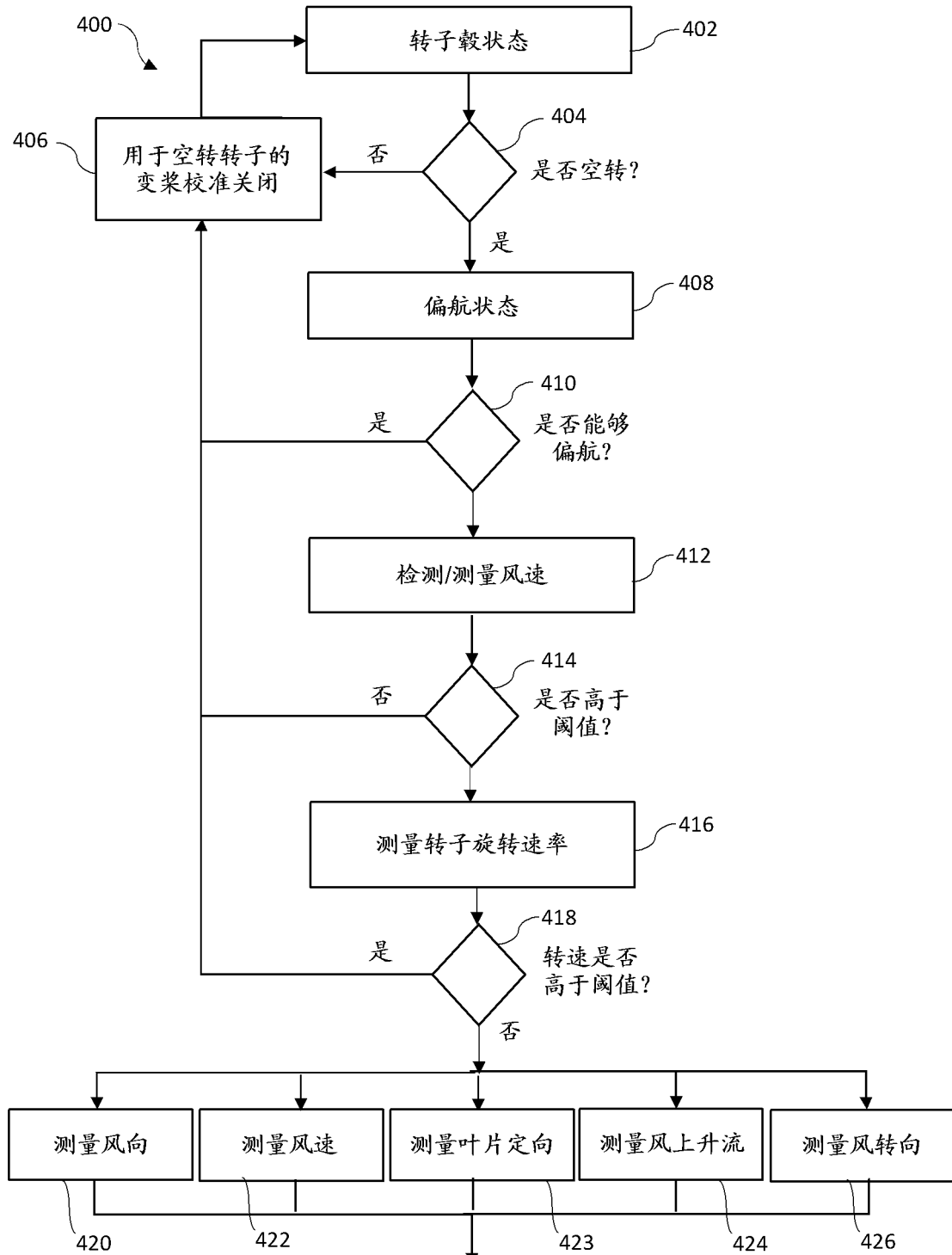


图 6b

图 6a

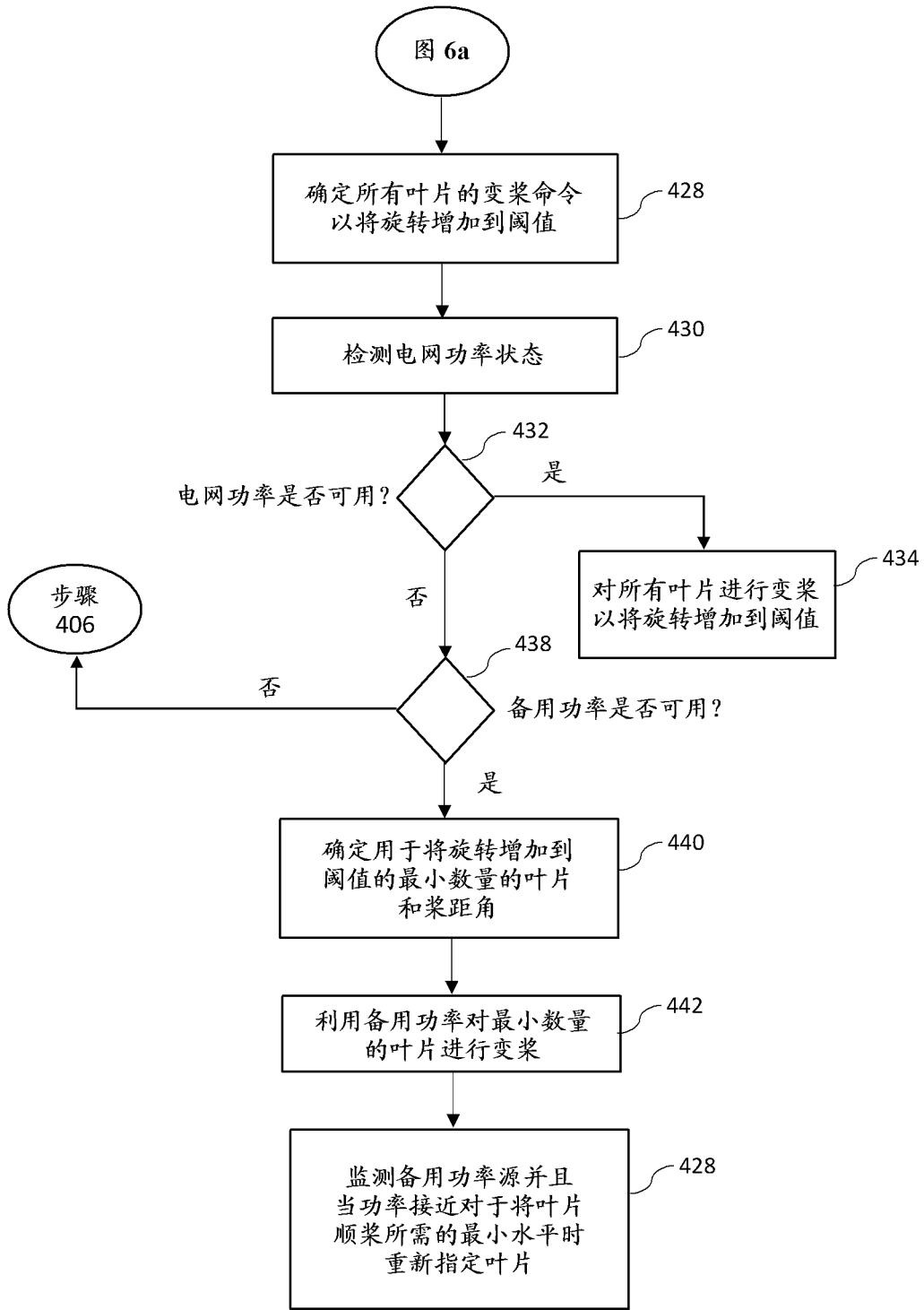


图 6b