



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114930016 A

(43) 申请公布日 2022. 08. 19

(21) 申请号 202080091797.4

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

(22) 申请日 2020.12.11

专利代理师 王永建

(30) 优先权数据

PA201970771 2019.12.16 DK

(51) Int. Cl.

F03D 7/02 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

F03D 17/00 (2006.01)

2022.07.04

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/DK2020/050350 2020.12.11

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/121499 EN 2021.06.24

(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 K·汤姆森 C·T·S·安德烈亚森

C·K·尼尔森 S·K·沙提施

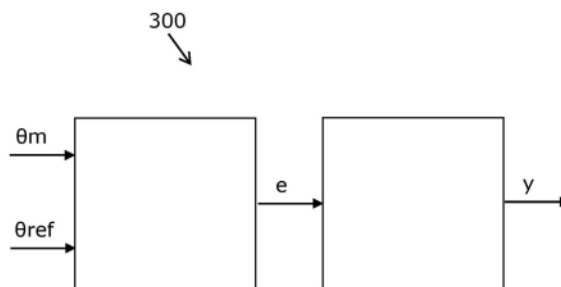
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

偏航管理

(57) 摘要

本发明涉及一种用于监测风力涡轮机的偏航系统的偏航故障事件的方法。该偏航系统包括用于驱动偏航系统的一个或多个致动器和用于抵抗偏航旋转的保持系统。该偏航系统被布置为响应于偏航控制信号提供偏航旋转。根据该方法，将监测到的偏航角与偏航控制信号进行比较，并且基于比较，确定监测到的偏航角的变化与偏航控制信号之间的相关性。依据确定的相关性来确定偏航故障事件。



1. 一种用于监测风力涡轮机(100)的偏航系统(130)的偏航故障事件的方法,所述风力涡轮机包括塔架、机舱和偏航系统(130),所述偏航系统(130)被布置为响应于偏航控制信号(350)提供所述机舱的偏航旋转,其中,所述偏航系统包括用于驱动偏航系统的一个或多个致动器(132)和用于抵抗偏航旋转的保持系统(131),所述方法包括:

- 监测所述偏航系统的偏航角(θ_m),
- 将所述偏航角与所述偏航控制信号(350)进行比较,
- 基于比较,确定监测到的偏航角的变化和偏航控制信号(350)之间的相关性,以及
- 依据确定的偏航角与偏航控制信号(350)之间的相关性记录偏航故障事件。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,将所述偏航角与所述偏航控制信号进行比较包括确定在位于监测到偏航角的变化时刻之前的时间窗口(ΔT)内是否发生了偏航控制信号(350)的变化。

3. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,将所述偏航角与所述偏航控制信号进行比较包括确定监测到的偏航角的变化幅度是否是由于所述偏航控制信号的对应变化引起的。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,确定相关性包括确定所述偏航角的变化是否不是响应于所述偏航控制信号生成的。

5. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,还包括:

- 获得对于监测到偏航角的变化时刻有效的风力条件(401),以及
- 依据所述偏航角与所述偏航控制信号的比较以及依据所述风力条件记录偏航故障事件。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中,所述偏航故障事件的记录依据风力条件的风速值与风速阈值的比较。

7. 一种用于监测风力涡轮机(100)的偏航系统的偏航故障事件的控制系统(400),所述风力涡轮机包括塔架、机舱和偏航系统,所述偏航系统被布置为基于偏航控制信号提供所述机舱的偏航旋转,其中,所述偏航系统包括用于驱动偏航系统的一个或多个致动器和用于抵抗偏航旋转的保持系统,其中所述控制系统被布置为执行根据权利要求1所述的方法的步骤。

8. 一种用于监测风力涡轮机(100)的偏航系统的偏航故障事件的监测系统(450),所述风力涡轮机包括塔架、机舱和偏航系统,所述偏航系统被布置为基于偏航控制信号提供所述机舱的偏航旋转,其中,所述偏航系统包括用于驱动偏航系统的一个或多个致动器和用于抵抗偏航旋转的保持系统,其中所述系统包括:

- 数据通信单元(451),所述数据通信单元(451)被布置为接收诸如偏航角 θ_m 和偏航控制信号(350)的数据,并且其中所述监测系统被布置为执行根据权利要求1所述的方法的步骤。

9. 一种风力涡轮机(100),其包括塔架、机舱和偏航系统,所述偏航系统被布置为基于偏航控制信号提供所述机舱的偏航旋转,其中,所述偏航系统包括用于驱动偏航系统的一个或多个致动器和用于抵抗偏航旋转的保持系统,其中所述风力涡轮机被布置为执行根据权利要求1所述的方法的步骤。

10. 一种计算机程序产品,其包括指令,当程序由计算机执行时,所述指令使计算机执

行权利要求1的方法的步骤。

偏航管理

技术领域

[0001] 本发明涉及风力涡轮机中的偏航系统,特别是涉及监测这种偏航系统的健康状况。

背景技术

[0002] 风力涡轮机中的偏航系统的功能是使风力涡轮机的转子逆风偏航并保持逆风定向。

[0003] 偏航系统具有诸如偏航摩擦轴承的保持系统、制动系统或其他负责在未调整偏航角的期间保持风力涡轮机的转子逆风的保持机构。

[0004] 可能会出现如下情况:保持系统的保持力矩无法保持机舱,并且风力涡轮机机舱被迫处于期望的偏航定向之外(例如由于阵风)。在这种情况下,偏航系统将被激活以将机舱和转子带回到逆风定向。在偏航角偏离正确偏航角的期间,存在能量生产损失,并且存在风力涡轮机的负载承载部件机械过载的风险。

[0005] 因此,需要减少风力涡轮机机舱被迫处于期望的偏航定向之外的情况的发生。因此,需要改进偏航系统或改进偏航系统管理,以提高偏航系统的保持系统的可靠性。

发明内容

[0006] 本发明的目的是改进风力涡轮机,特别是偏航系统和偏航系统的保持系统的可靠性,以减少风力涡轮机机舱被迫处于其定向之外的情况的发生。本发明的另一个目的是提高能量生产并减少瞬时负载和疲劳负载。

[0007] 在本发明的第一方面,提供了一种用于监测风力涡轮机的偏航系统的偏航故障事件的方法,所述风力涡轮机包括塔架、机舱和偏航系统,所述偏航系统被布置为响应于偏航控制信号提供所述机舱的偏航旋转,其中,所述偏航系统包括用于驱动偏航系统的一个或多个致动器和用于抵抗偏航旋转的保持系统,所述方法包括:

[0008] -监测所述偏航系统的偏航角,

[0009] -将所述偏航角与所述偏航控制信号进行比较,

[0010] -基于比较,确定监测到的偏航角的变化和偏航控制信号之间的相关性,

[0011] -依据确定的偏航角与偏航控制信号之间的相关性记录偏航故障事件。

[0012] 有利地,通过记录偏航故障事件,可以监测偏航系统、特别是保持系统的健康状况,从而可以在早期阶段检测到保持系统的问题,从而可以计划偏航系统的维护和修理。

[0013] 当使用固定的维护间隔时,偏航系统可能要么被维护得太早(即被不必要地维护),要么被维护得太晚(意味着能量生产和/或机械负载的不必要的损失)。

[0014] 通过监测偏航故障的发生,可以立即执行维护,或者可以计划稍后与其他维护操作一起进行维护以降低维护成本。因此,可以例如依据累积的偏航故障的数量来计划偏航系统的维护。

[0015] 通过这种方式,可以通过适当处理偏航故障来减少不必要的机械负载和不必要的

能量生产损失的情况。

[0016] 确定监测到的偏航角的变化与偏航控制信号之间的相关性的目的通常是确定偏航角的变化是预期的(即是响应于控制信号生成的)还是非预期的(即不是响应于控制信号生成的或不是仅响应于控制信号生成的)。因此,该相关性可以涉及确定偏航角和偏航控制信号之间的关系,或者相反地确定不存在关系或不存在强关系。

[0017] 偏航控制信号可以是任何参考信号、误差信号、控制器输出信号或其他控制相关信号(诸如启用/禁用受控偏航调整所需的偏航启用/禁用信号)。

[0018] 根据一个实施例,将偏航角与偏航控制信号进行比较包括确定在位于监测到偏航角的变化时刻之前的时间窗口内是否发生了偏航控制信号的变化。

[0019] 有利地,通过检查在给定时间段内(即在时间窗口中)是否不存在控制信号,这意味着偏航角的变化不可能是由于控制信号而引起的,而是表示偏航角的不期望的变化。在这种情况下,可以设置偏航故障。可以例如依据检查是否需要偏航角的变化频率设置时间窗口的长度,例如使得时间窗口的长度小于相对于风向的偏航角的检查之间的时间。

[0020] 根据一个实施例,将偏航角与偏航控制信号进行比较包括确定监测到的偏航角的变化幅度是否是由于偏航控制信号的对应变化引起的。

[0021] 例如,所产生的偏航角的变化可能与所请求的变化(即偏航角参考)相比太大或太小,即其中偏航控制信号请求变化,但变化与控制信号不一致。

[0022] 例如,所请求的偏航变化可能是1度,但所产生的偏航角可能由于风的影响已经增加到例如1.5度。这将需要额外的控制努力来将偏航角带回到期望的1度。

[0023] 因此,即使在监测到偏航角的变化时刻之前的时间窗口中存在控制信号,如果所产生的偏航角的变化与控制信号的变化不匹配,这也可能指示存在偏航故障事件。

[0024] 根据一个实施例,确定相关性包括确定偏航角的变化是否不是响应于偏航控制信号生成的。因此,如果偏航角的变化(无论是变化的一部分还是整个变化)与控制信号不相关或者不是由于控制信号而引起的,这可能指示存在偏航故障。即,偏航角的变化的一部分可能是对控制信号的响应,但剩余的变化可能不是与控制信号相对应的期望变化。

[0025] 根据一个实施例,该方法还包括:

[0026] -获得对于监测到偏航角的变化时刻有效的风力条件,以及

[0027] -依据偏航角与偏航控制信号的比较以及依据风力条件记录偏航故障事件。

[0028] 该风力条件可以是风速、风向、风湍流或对于风力涡轮机的位置有效的其他风力条件。有利地,通过依据诸如风速的风力条件记录偏航故障事件,即使偏航角与偏航控制信号之间不存在相关性,也可以忽略偏航故障事件。例如,在高风速的阵风的情况下(其中保持系统被配置为启用非受控偏航旋转来避免风力涡轮机上的大负载),这可能是相关的。

[0029] 根据一个实施例,偏航故障事件的记录依据风力条件的风速值与风速阈值的比较。例如,如果在偏航旋转被检测到与控制信号没有相关性时风速高于风速阈值,则不记录偏航故障。

[0030] 本发明的第二方面涉及一种用于监测风力涡轮机(100)的偏航系统的偏航故障事件的控制系统,所述风力涡轮机包括塔架、机舱和偏航系统,所述偏航系统被布置为基于偏航控制信号提供所述机舱的偏航旋转,其中所述偏航系统包括用于驱动偏航系统的一个或多个致动器和用于抵抗偏航旋转的保持系统,其中所述控制系统被布置为执行根据第一方

面的方法的步骤。

[0031] 本发明的第三方面涉及一种用于监测风力涡轮机的偏航系统的偏航故障事件的监测系统,所述风力涡轮机包括塔架、机舱和偏航系统,所述偏航系统被布置为基于偏航控制信号提供所述机舱的偏航旋转,其中,所述偏航系统包括用于驱动偏航系统的一个或多个致动器和用于抵抗偏航旋转的保持系统,其中所述系统包括:

[0032] 数据通信单元,其被布置为接收诸如偏航角 θ_m 和偏航控制信号的数据,并且其中所述监测系统被布置为执行根据第一方面的方法的步骤。

[0033] 该数据通信单元可以从风力涡轮机、风力发电厂的中央数据处理单元、天气数据处理单元或其他数据源单元接收数据。例如,数据通信单元可以接收偏航角值和/或偏航控制信号值形式的数据或与这些值相关的数据。

[0034] 监测系统(其可以是外部监测系统)可以包括第二方面的控制系统和数据通信单元。

[0035] 本发明的第四方面涉及一种风力涡轮机,所述风力涡轮机包括塔架、机舱和偏航系统,所述偏航系统被布置为基于偏航控制信号提供所述机舱的偏航旋转,其中,所述偏航系统包括用于驱动偏航系统的一个或多个致动器和用于抵抗偏航旋转的保持系统,其中所述风力涡轮机被布置为执行根据第一方面的方法的步骤。

[0036] 本发明的第五方面涉及一种计算机程序产品,所述计算机程序产品包括指令,当程序由计算机执行时,所述指令使计算机执行第一方面的方法的步骤。

[0037] 一般而言,本发明的各个方面和实施例可以在本发明的范围内以任何可能的方式组合和耦合。本发明的这些和其他方面、特征和/或优点将从下文中描述的实施例中变得明显并且参考下文中描述的实施例得到阐明。

附图说明

[0038] 本发明的实施例将仅通过示例的方式参考附图进行描述,其中:

[0039] 图1A显示了风力涡轮机,

[0040] 图1B显示了偏航系统的截面图,

[0041] 图2显示了被配置为多转子风力涡轮机的风力涡轮机,

[0042] 图3A显示了用于控制偏航系统的控制系统,

[0043] 图3B显示了响应于偏航参考的变化来控制偏航角的示例,

[0044] 图4A显示了用于基于偏航角监测风力涡轮机的偏航故障事件的控制系统,以及

[0045] 图4B显示了用于监测风力涡轮机的偏航故障事件的外部监测系统。

具体实施方式

[0046] 图1A显示了包括塔架101和具有至少一个转子叶片103(诸如三个叶片)的转子102的风力涡轮机100(WTG)。叶片103与被布置为随叶片旋转的轮毂105连接。转子连接到机舱104,该机舱104安装在塔架101的顶部并且适于经由传动系驱动位于机舱内部的发电机。转子102可通过风的作用而旋转。转子叶片103的由风引起的旋转能量经由轴传递到发电机。因此,风力涡轮机100能够借助于转子叶片将风的动能转换成机械能,并且随后借助于发电机将其转换成电能。发电机与功率转换器连接,功率转换器包括发电机侧转换器和电网侧

转换器。发电机侧转换器将发电机交流电转换为直流电,电网侧转换器将直流电转换为交流电,以经由风力涡轮机100的输出电感器注入到公用电网中。

[0047] 机舱104经由偏航系统130(仅在图1A中示出)安装在塔架101的顶部,该偏航系统130被布置为使得机舱能够围绕塔架101的纵向轴线旋转。

[0048] 图1B主要图示了具有偏航保持系统131和偏航致动器132的偏航系统130的截面图。

[0049] 偏航系统的目的是依据风向使机舱104旋转,使得转子102逆风定向,即,使得转子平面垂直或基本垂直于风向。偏航系统的旋转通过使用用于驱动偏航系统的偏航系统130所包括的一个或多个驱动致动器132来实现。一个或多个驱动致动器132(简称致动器132)可以包括电动机、液压致动器或其他。

[0050] 转子平面中的叶片103上的不均匀风分布不可避免地导致转子平面上的不均匀的负载分布,不均匀的负载分布导致形成作用在围绕塔架101的方向上的偏航力矩。偏航系统被配置为至少针对低于给定阈值的偏航力矩抵抗由于不均匀风分布而引起的偏航旋转。

[0051] 因此,偏航系统130配置有保持系统131,该保持系统131被布置为提供保持力矩以防止偏航旋转或针对低于偏航力矩阈值的偏航力矩防止偏航旋转。非常高的偏航力矩会损坏风力涡轮机的部件,因此偏航系统130可以被配置为针对高于给定的最大偏航力矩阈值的偏航力矩提供偏航滑移。

[0052] 在本文中,施加在例如风力涡轮机或偏航系统上的力矩被理解为等效于扭矩。类似地,保持系统131的保持力矩被理解为等效于保持扭矩。

[0053] 保持系统131可以是被动或主动摩擦制动器或保持机构,其可以利用偏航系统130的接触部件131a、131b之间的摩擦接触来提供期望的保持特性。例如,在偏航系统的制动部件之间建立的接触力133——其中在偏航旋转期间在部件之间生成相对运动或旋转——生成抵抗偏航旋转所需的保持力矩。接触力可以通过布置为将制动部件压在一起的系统来建立,该系统例如是其中接触力例如通过压缩弹簧生成的被动系统,或者是其中接触力通过诸如液压线性致动器(其在需要时将部件压在一起)的致动器生成的主动系统。保持系统131的制动器的具体示例包括液压偏航制动器、具有被动或主动制动摩擦系统的偏航摩擦轴承以及具有制动器和离合系统的偏航驱动器或它们的组合。保持系统131不必是单独的系统(即与包括一个或多个致动器132和/或偏航齿轮的驱动系统分开的系统)。也就是说,保持系统131可以由这种驱动系统包括,或者单独的保持系统(例如,摩擦制动器)可以由驱动系统所包括的另一个保持系统来补充。偏航系统不需要配置有偏航摩擦轴承,而是可以配置有滚子轴承。

[0054] 为了使接触力和保持力矩在期望的限度内,用于提供接触力的系统可能需要定期维护或在保持力矩超出限度时维护。

[0055] 保持系统也可以被配置为电动制动器,其中电机生成的扭矩经由供应给电机的电力被控制,以生成所需的保持力矩。

[0056] 在图1B中,偏航系统130的接触部件131a、131b包括分别与塔架101和机舱104连接的法兰,并布置有相邻布置的摩擦面摩擦表面。保持系统也可以被配置为类似于具有液压致动的制动活塞的卡盘式制动器。

[0057] 显然,保持系统可以配置为上述示例或其他保持系统的组合。

[0058] 图2显示了被配置为多转子风力涡轮机的替代风力涡轮机100。多转子风力涡轮机包括多个机舱104。如上面的图所示,机舱104可以经由塔架101和从塔架101向外延伸的支撑臂支撑,使得机舱远离塔架并在塔架的相反侧放置。替代地,如下面的图所示,机舱104可以由从基底230(例如地面或浮动基底)延伸的倾斜塔架101支撑,使得两个或更多个机舱104在给定高度彼此充分分离。多转子风力涡轮机可以配置有与风力涡轮机100类似的偏航系统130。例如,偏航系统130可以布置用于机舱中的每一个。替代地或附加地,偏航系统130可以布置为布置在塔架和支撑臂之间或基底230和倾斜塔架101之间的公共偏航机构。本发明的实施例可以与多转子风力涡轮机或单转子风力涡轮机一起使用。

[0059] 图3A显示了用于控制偏航系统130的可能的控制系统300,为了解释本发明的实施例而图示了该控制系统300。提供相同或类似功能的其他不同配置的控制系统对于控制偏航系统130的偏航角的目的也是可行的。期望的偏航角 θ_{ref} 和监测的偏航角 θ_m 被作为输入提供给控制系统300。误差 $e = \theta_{ref} - \theta_m$ 被确定并被用于确定偏航致动器信号 y 。偏航致动器信号 y 被提供给偏航系统130,偏航系统130使用偏航致动器信号 y 来控制偏航致动器132。在偏航系统使用主动或机动制动器的情况下,控制系统还可以确定用于制动器(未显示)的偏航制动信号。偏航致动器信号 y 被确定,使得偏航系统的受控致动使误差 e 最小化。基于偏航致动器信号 y 的偏航致动器的控制可以连续地或周期性地执行。当致动器不是经由偏航致动器信号 y 控制时,例如当误差 e 低于某个阈值时,偏航角借助于保持系统131被维持。

[0060] 图3B显示了响应于偏航参考 θ_{ref} 的变化或者等效地响应于误差 e 的变化来控制偏航角 θ_m 的示例。图3B还显示了依据确定的偏航角 θ_m 与偏航控制信号351(诸如偏航致动器信号 y 或偏航误差信号 e)的比较来记录偏航故障事件的示例。所有信号都被示出为时间的函数,没有按比例显示,并且尽管它们的单位不同,但它们都沿相同的纵坐标轴显示。

[0061] 在 t_0 处,参考信号 θ_{ref} 增加到一个新值。参考信号 θ_{ref} 的变化可能是由于风向的变化引起的,风向的变化需要偏航角的对应变化。误差信号 $e = \theta_{ref} - \theta_m$ 立即增加并导致偏航致动器信号 y 的变化,偏航致动器信号 y 的变化导致监测的偏航角 θ_m 的增加。在 t_1 处,监测的偏航角 θ_m 已达到与偏航参考 θ_{ref} 匹配的水平,并且误差信号 e 已返回到零值。

[0062] 依据偏航系统130的配置,偏航致动器信号 y 可以设置为零、可以不变或设置为其他非活动状态361,如虚线所示。致动器信号 y 的非活动状态361意味着通过使用致动器132对偏航角的调整实际上被禁用。在 t_1 到 t_2 期间或致动器被禁用的其他时段期间,保持系统131可以负责维持偏航角不变。

[0063] 在 t_2 处,生成参考信号 θ_{ref} 的新变化,该变化导致形成误差信号 e 的非零值。致动器信号 y 发生变化(例如从 t_2 之前的先前值或从其他值),以导致偏航角 θ_m 的变化。在 t_3 处,已达到偏航角 θ_m 的期望值。

[0064] 在 t_4 处,偏航参考 θ_{ref} 没有变化,但偏航角反正是发生了如通过监测的偏航角 θ_m 观察到的变化。这可能是由于阵风生成了超过保持系统131的保持力矩的力矩而引起的。误差信号 e 显示了由于偏航角 θ_m 和参考 θ_{ref} 之间的偏差而引起的变化。

[0065] 在 t_5 处,控制信号基于误差信号 e 确定,并因此发生变化以将偏航信号 θ_m 带回到偏航参考 θ_{ref} 。如果尚未启用,则将例如经由启用信号,致动器信号 y 的值或以其他方式来启用致动器132。在 t_6 处,转子102已经旋转回到期望的偏航角 θ_m 。

[0066] 在偏航参考 θ_{ref} 没有变化的情况下发生的偏航角 θ_m 的变化通常是不期望的,因为

在机舱104被迫从其逆风位置到机舱返回逆风方向期间,存在能量生产的损失并且存在风力涡轮机100的负载承载部件(诸如偏航齿轮和致动器132)的机械过载的风险。偏航角 θ_m 的这种非预期变化被称为偏航故障事件。

[0067] 为了避免或限制未来发生这种不期望的偏航未对准,需要维护包括其保持系统131的偏航系统130。本发明的实施例公开了能够检测偏航故障事件,从而可以在维护之前计划维护并预定相关备件的偏航管理方法。

[0068] 在上述示例中,致动器信号 y 响应于参考信号 θ_{ref} 或误差信号 e 确定或响应于参考信号 θ_{ref} 或误差信号 e 的变化确定。因此,期望的、即计划的偏航角 θ_m 的变化响应于参考信号 θ_{ref} 、误差信号 e 、致动器信号 y 或偏航系统130或控制系统300的其他偏航控制信号350的状态的变化(诸如值的变化)而发生。这样的其他偏航控制信号350可以是控制系统300的任何输入信号(诸如参考 θ_{ref})或响应于该输入信号生成的任何信号。

[0069] 根据一个实施例,用于监测偏航故障事件的方法是监测偏航系统的偏航角 θ_m 。可以通过监测与偏航角相关的传感器输出来监测偏航角 θ_m 。例如,编码器或其他位置传感器可以与偏航系统130的可旋转部件一起布置以测量偏航角 θ_m 。

[0070] 将监测的偏航角 θ_m 与偏航控制信号350进行比较以确定偏航角的变化是否是对偏航控制信号350的响应。

[0071] 为了避免对偏航角 θ_m 的微小变化的反应,可以仅考虑高于阈值的 θ_m 的变化。

[0072] 因此,如果检测到偏航角 θ_m 的变化并且偏航控制信号350没有变化,则偏航角的变化是非预期的并且指示偏航故障事件。

[0073] 也有可能检测到偏航角 θ_m ,但偏航角的变化幅度与偏航角 θ_m 的预期变化不匹配,即偏航角 θ_m 的变化不对应于偏航控制信号350。例如,偏航角 θ_m 的变化可能小于或大于偏航角 θ_m 的预期变化。这种监测到的偏离偏航角的预期变化的偏航角 θ_m 的变化可以类似地指示偏航故障事件。

[0074] 因此,将监测的偏航角 θ_m 与偏航控制信号350进行比较以确定监测的偏航角 θ_m 的变化与偏航控制信号350之间的相关性。

[0075] 该相关性可以包括确定是否偏航角 θ_m 的变化不是响应于偏航控制信号350生成的和/或偏航角 θ_m 的变化幅度与偏航角 θ_m 的预期的变化幅度不对应,即与应该由诸如参考 θ_{ref} 的偏航控制信号350产生的偏航角不对应。

[0076] 例如,如图3B所示,在 t_4 处的偏航角 θ_m 的非预期变化不是响应于偏航控制信号350生成的,因为在位于监测到偏航角的变化时刻 t_4 之前的时间窗口 ΔT 内,偏航控制信号350没有变化。

[0077] 图3B中在 t_4 处开始的偏航故障导致形成误差信号,但误差信号的变化是在偏航角 θ_m 在 t_4 处的第一次变化之后开始的。因此,在指示存在偏航故障事件的 t_4 之前的时间窗口 ΔT 中,致动器信号 y 、误差信号 e 或偏航参考 θ_{ref} 中的任何一个都没有变化。

[0078] 时间窗口 ΔT 的长度可以是几秒,可能是一分钟左右。偏航系统130可以被配置为使得偏航参考 θ_{ref} 的任何变化或偏航角 θ_m 的监测在给定的控制时段内发生。因此,时间窗口 ΔT 可以被选择为小于控制时段。

[0079] 依据确定的偏航角 θ_m 和偏航控制信号350之间的相关性,可以记录偏航故障事件。

[0080] 图4A显示了用于基于偏航角 θ_m 、偏航控制信号350和可选地经由输入端提供给控

制系统400的风力条件信号401来监测风力涡轮机100的偏航故障事件的控制系统400。偏航故障事件可以由控制系统400记录并经由输出端402可用。控制系统400被配置为例如借助于控制系统和计算机程序所包括的数字处理器执行本文描述的各种实施例的方法步骤。因此,基于输入,控制系统400可以被配置为将偏航角 θ_m 与偏航控制信号350进行比较,从而基于比较确定监测到的偏航角 θ_m 的变化和偏航控制信号350之间的相关性,以及基于确定的相关性确定偏航故障事件。

[0081] 控制系统400可以包括在风力涡轮机100中或者是风力涡轮机外部的系统。

[0082] 图4B显示了用于监测风力涡轮机100的偏航故障事件的监测系统450形式的这种外部控制系统400。监测系统450接收用于基于所接收的数据(诸如偏航角 θ_m ,偏航控制信号350,以及可选的风力条件信号401)确定是否存在偏航故障事件所必需的数据。监测系统450可以包括数据通信单元451,数据通信单元451被布置为例如经由有线或无线连接来接收诸如上述数据的数据。数据可以从一个或多个风力涡轮机100提供。例如,偏航角 θ_m 和偏航控制信号350可以从一个或多个风力涡轮机提供,而风力条件数据401可以从诸如风监测系统的另一系统提供。类似地,偏航参考 θ_{ref} 可以从除风力涡轮机之外的其他系统提供。监测系统450被布置为执行与控制系统相同的方法步骤,并且因此可以包括控制系统400或被布置为执行本文描述的实施例的方法步骤的数字处理器。

[0083] 如上所述,对于高于给定最大偏航力矩阈值的高偏航力矩,偏航系统130可以被配置为提供偏航滑移,以防止潜在的破坏性偏航力矩。这种高偏航力矩可能在特殊的风力条件下(例如在高风速或湍流风下)生成。

[0084] 为了避免在预期进行偏航滑移的情况下记录故障事件,控制系统400可以被布置为经由输入端获得风力条件401。可以定期提供风力条件401,使得可获得对于监测到偏航角的变化时刻有效或对于确定潜在偏航故障事件有效的风力条件。然后,可以依据偏航角 θ_m 与偏航控制信号350的比较以及依据风力条件401来确定偏航故障事件的记录。例如,控制系统400可以被配置为依据风力条件401的风速值与风速阈值的比较来记录偏航故障事件,使得即使实际风速值高于风速阈值,潜在的偏航故障事件也不会被记录为偏航故障事件。

[0085] 尽管本发明已结合特定实施例进行了描述,但不应将其解释为以任何方式限于所呈现的示例。本发明的范围应根据所附权利要求来解释。在权利要求的上下文中,术语“包括”或“包含”不排除其他可能的元件或步骤。此外,提及诸如“一”或“一个”等的引用不应被解释为排除多个。权利要求中关于附图中所示的元件的附图标记的使用也不应被解释为限制本发明的范围。此外,在不同权利要求中提及的各个特征可以有利地组合,并且在不同权利要求中提及这些特征不排除这些特征的组合是不可能的和有利的。

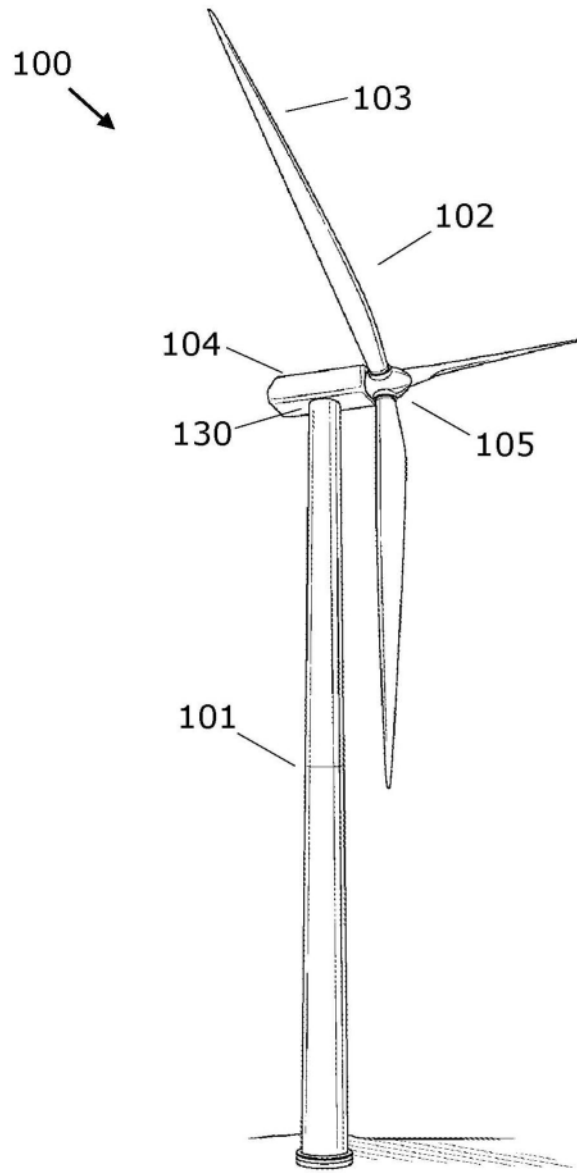


图1A

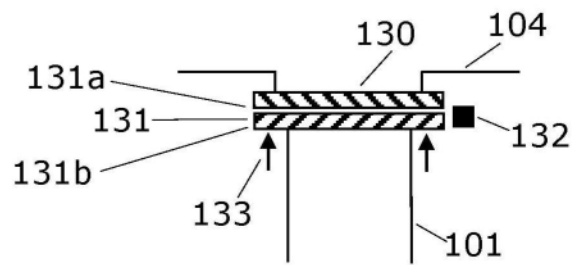


图1B

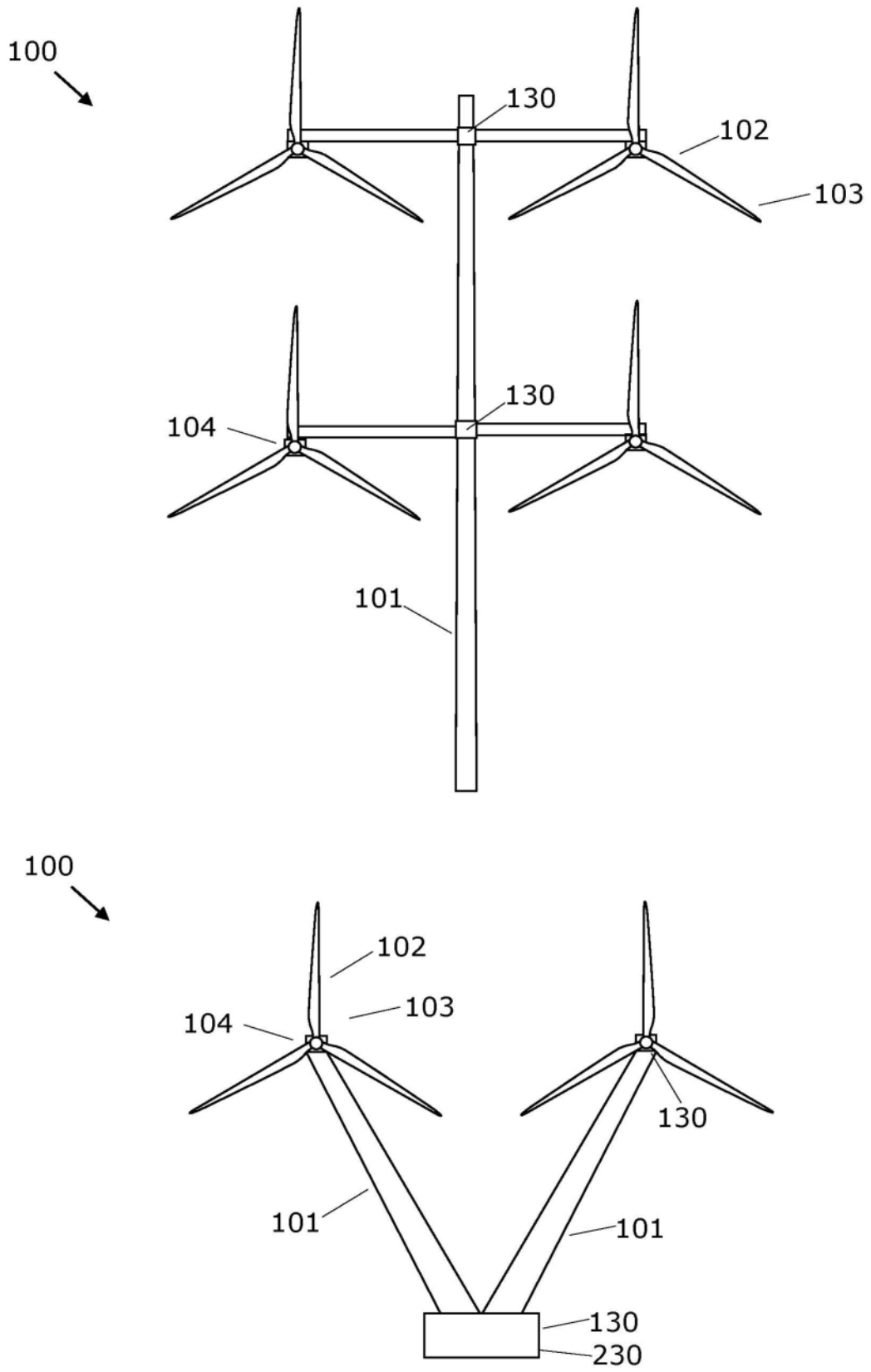


图2

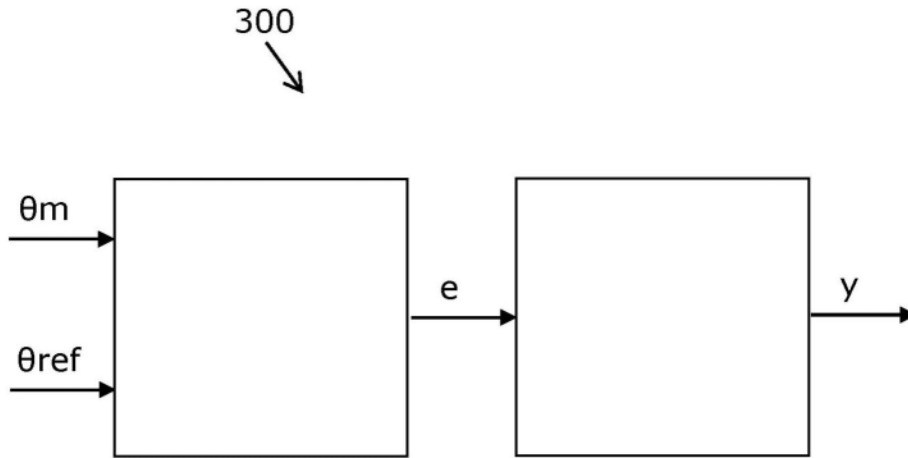


图3A

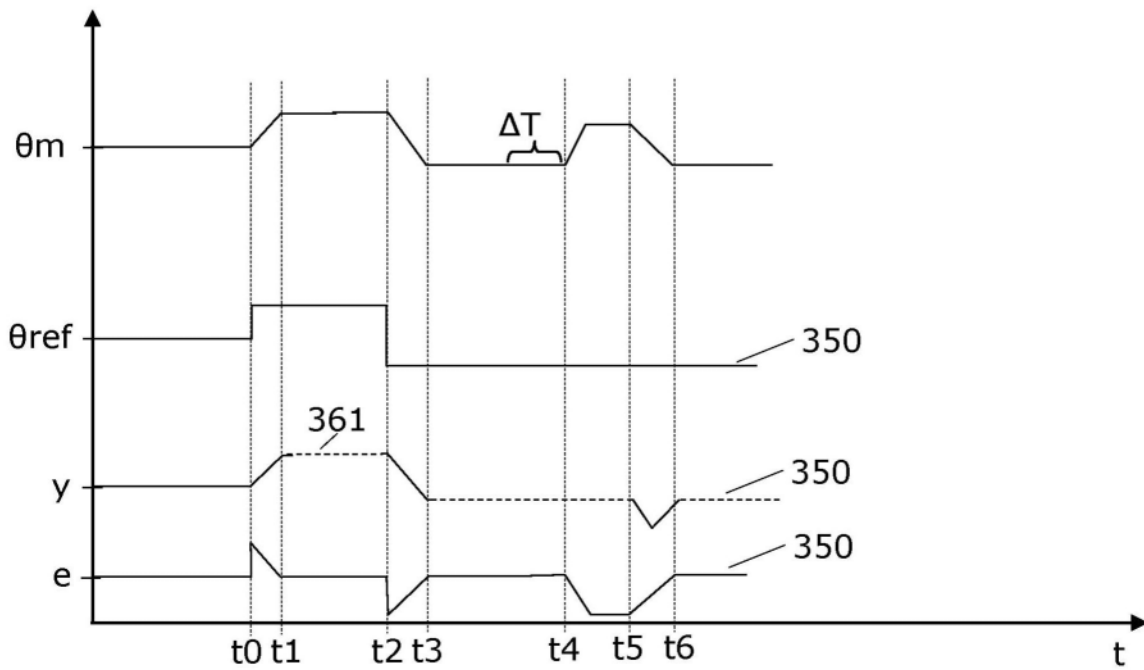


图3B

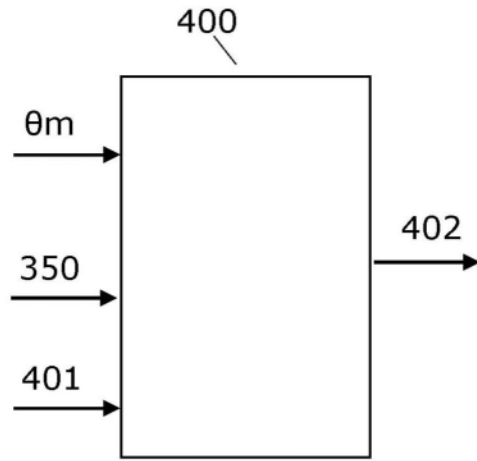


图4A

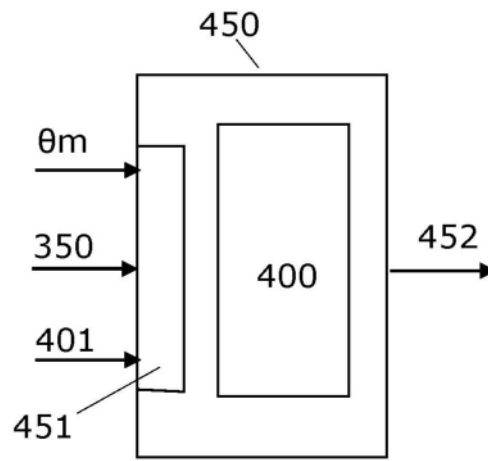


图4B