



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112709670 B

(45) 授权公告日 2025. 06. 24

(21) 申请号 202011145076.5

(22) 申请日 2020.10.23

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112709670 A

(43) 申请公布日 2021.04.27

(30) 优先权数据
16/662487 2019.10.24 US

(73) 专利权人 通用电气可再生能源西班牙有限公司
地址 西班牙巴塞罗那

(72) 发明人 P·K·R·瓦迪 D·C·帕图沃特
V·K·瓦拉穆迪

(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 尚恩垚 金飞

(51) Int.Cl.
F03D 7/04 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 104061123 A, 2014.09.24
US 2016138571 A1, 2016.05.19

审查员 王萌

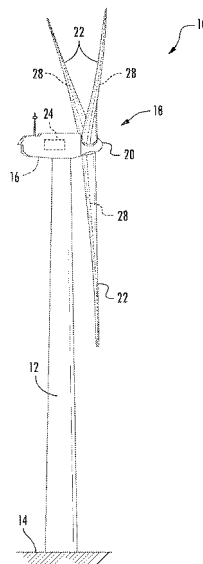
权利要求书2页 说明书11页 附图8页

(54) 发明名称

用于改进对风力涡轮构件的极端负载控制的系统和方法

(57) 摘要

一种用于减小作用在风力涡轮的构件上的极端负载的方法包括经由一个或多个传感器来测量风力涡轮的多个操作参数。此外,该方法包括基于多个操作参数来预测风力涡轮的至少一个转子叶片的至少一个叶片力矩。该方法还包括根据至少一个叶片力矩来预测至少一个转子叶片的负载和相关联的负载角。此外,该方法包括预测风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角。另外,该方法包括生成关于构件的负载包络,其包括关于桨距角和负载角的至少一个负载值。因此,该方法包括当负载在负载包络的外部时实施控制动作。



1. 一种用于减小作用在风力涡轮的构件上的极端负载的方法,所述风力涡轮具有至少一个转子叶片,所述方法包括:

经由所述至少一个转子叶片处的一个或多个传感器测量所述风力涡轮的多个操作参数;

经由处理器根据所述风力涡轮的多个操作参数来计算所述至少一个转子叶片的边缘方向叶片力矩和叶片摆动力矩;

经由所述处理器根据所述至少一个转子叶片的边缘方向叶片力矩和叶片摆动力矩来预测所述至少一个转子叶片的负载和相关联的负载角,其中,所述至少一个转子叶片的负载包括叶片根部合力矩;

经由所述处理器来预测所述风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角;

经由所述处理器来生成关于所述构件的负载包络,其包括关于所述桨距角和所述负载角的至少一个负载值;以及

当所述负载在所述负载包络的外部时经由控制器来实施控制动作,包括使所述至少一个转子叶片变桨。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述构件包括所述风力涡轮的转子叶片、变桨轴承或毂中的至少一个。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述风力涡轮的多个操作参数包括下者中的至少一个:转子位置、推力、负载、功率、速度、转矩、叶片重量、重力、桨距角、点动力矩、悬伸力矩、轴承润滑计划、转子方位角或偏航力矩。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,还包括根据所述风力涡轮的多个操作参数和估计状态来计算所述至少一个转子叶片的边缘方向叶片力矩。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,还包括根据所述转子位置、所述叶片重量和所述转矩来计算所述至少一个转子叶片的叶片摆动力矩。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,根据所述至少一个转子叶片的边缘方向叶片力矩和叶片摆动力矩来预测所述至少一个转子叶片的负载和相关联的负载角还包括:

通过将所述转子叶片的叶片摆动力矩除以所述转子叶片的边缘方向叶片力矩来计算所述相关联的负载角;以及

根据所述相关联的负载角计算所述负载。

7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,预测所述风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角还包括基于一个或多个控制器命令来计算所述风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角。

8. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,使所述至少一个转子叶片变桨还包括下者中的至少一个:使所述风力涡轮的多个转子叶片共同地变桨,使所述多个转子叶片中的每个独立地变桨,或使所述多个转子叶片中的每个周期性地变桨。

9. 一种用于减小作用在风力涡轮的构件上的极端负载的系统,所述风力涡轮具有至少一个转子叶片,所述系统包括:

在所述至少一个转子叶片处的一个或多个传感器,所述一个或多个传感器配置成测量所述风力涡轮的多个操作参数,其中,所述多个操作参数包括下者中的至少一个:转子位置、叶片重量和转矩;

控制器,所述控制器配置有所述一个或多个传感器,所述控制器包括配置成执行多个操作的处理器,所述多个操作包括:

根据所述风力涡轮的多个操作参数来计算所述至少一个转子叶片的边缘方向叶片力矩;

根据所述风力涡轮的至少一个转子的转子位置、叶片重量和转矩来计算所述至少一个转子叶片的边缘方向叶片力矩和叶片摆动力矩;

根据所述至少一个转子叶片的边缘方向叶片力矩和叶片摆动力矩来预测所述至少一个转子叶片的负载和相关联的负载角,所述负载对应于所述至少一个转子叶片的叶片根部合力矩;

预测所述风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角的至少一个负载值;

生成关于所述构件的负载包络,其包括关于所述桨距角和所述负载角的至少一个负载值;以及

当所述负载在所述负载包络的外部时,实施控制动作,包括使所述至少一个转子叶片变桨。

10. 根据权利要求9所述的系统,其特征在于,所述构件包括所述风力涡轮的转子叶片、变桨轴承或毂中的至少一个。

11. 根据权利要求9所述的系统,其特征在于,所述风力涡轮的多个操作参数还包括下者中的至少一个:推力、负载、功率、速度、重力、桨距角、点动力矩、悬伸力矩、轴承润滑计划、转子方位角或偏航力矩。

12. 根据权利要求9所述的系统,其特征在于,所述多个操作还包括根据所述风力涡轮的多个操作参数和估计状态来计算所述至少一个转子叶片的边缘方向叶片力矩。

13. 根据权利要求12所述的系统,其特征在于,根据所述至少一个转子叶片的边缘方向叶片力矩和所述叶片摆动力矩来预测所述至少一个转子叶片的负载和相关联的负载角还包括:

通过将所述转子叶片的叶片摆动力矩除以所述转子叶片的边缘方向叶片力矩来计算所述相关联的负载角;以及

根据所述相关联的负载角来计算所述负载。

14. 根据权利要求9所述的系统,其特征在于,预测所述风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角还包括基于一个或多个控制器命令来计算所述风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角。

15. 根据权利要求9所述的系统,其特征在于,所述一个或多个传感器包括接近传感器。

16. 根据权利要求9所述的系统,其特征在于,当所述负载在所述负载包络的外部时实施所述控制动作还包括下者中的至少一个:使所述风力涡轮的多个转子叶片共同地变桨,使所述多个转子叶片中的每个独立地变桨,或使所述多个转子叶片中的每个周期性地变桨。

用于改进对风力涡轮构件的极端负载控制的系统和方法

技术领域

[0001] 本主题大体上涉及风力涡轮,且更特别地涉及一种用于改进对风力涡轮构件(诸如转子叶片、变桨轴承和毂)的极端负载控制的系统和方法。

背景技术

[0002] 风力被认为是目前可获得的最清洁、最环境友好的能源中的一种,且风力涡轮在该方面获得了增加的关注。现代的风力涡轮典型地包括塔架、发电机、齿轮箱、机舱和一个或多个转子叶片。转子叶片是将风能转换成电能的主要元件。叶片典型地具有翼型的截面轮廓,使得在操作期间,空气流过叶片而在其两侧之间产生压力差。因此,方向从压力侧朝吸力侧的升力作用在叶片上。升力在主转子轴上产生转矩,该转矩连接到发电机上用于发电。

[0003] 可由风力涡轮产生的功率量典型地受各个风力涡轮构件的结构限制(即设计负载)所限制。例如,风力涡轮的叶片根部可经历与由于涡轮操作所造成的平均负载和由于环境状况所造成的动态波动负载相关的负载(例如,叶片根部合力矩)。此类负载可损坏涡轮构件,从而最终引起涡轮构件故障。波动的负载可每天或每个季节改变,且可基于风速、风峰、风湍流、风切变、风向上的改变、空气密度、偏航角错位、上流或类似物。特别地,例如,由风力涡轮所经历的负载可随风速来变化。

[0004] 因而,必须保证作用在风力涡轮上的负载不超过设计负载。因此,许多风力涡轮采用一个或多个传感器,该一个或多个传感器配置成测量作用在各个风力涡轮构件上的负载。虽然传感器可提供期望的信息,安装新的传感器系统可复杂且昂贵。此外,传感器可提供不正确的信息,且容易出故障。

[0005] 另外,风力涡轮使用配置成基于风力涡轮推力来估计作用在风力涡轮上的负载的控制系统。如本文中使用的用语“推力”、“推力值”、“推力参数”或类似物意在包含由于风造成的作用在风力涡轮上的力。推力来自在风经过风力涡轮且减速时压力上的改变。此类控制策略通过使用多个涡轮操作状况(诸如,例如桨距角、功率输出、发电机速度和空气密度)来确定估计的推力来估计作用在风力涡轮上的负载。操作状况是该算法的输入,其包括一系列方程式、一个或多个空气动力学性能图以及一个或多个查找表(LUT)。例如,LUT可代表风力涡轮推力。还可计算估计推力的 \pm 标准偏差,以及操作最大推力和推力极限。因而,可基于最大推力与推力极限之间的差来控制风力涡轮。

[0006] 然而,无论负载方向和桨距角如何,都要对此类现有控制装置进行调谐以最大限度地减小叶片根部合力矩,因此始终针对最坏的情况。因此,此类控制使用额外的变桨行程保守地操作,且还放弃该过程中的年度能量产生。

[0007] 鉴于前述内容,本领域不断寻求新的和改进的系统来控制风力涡轮构件(诸如转子叶片、变桨轴承和毂)的极端负载,以解决上述问题。

发明内容

[0008] 本发明的方面和优点将在以下描述中部分地阐述,或可从描述中清楚,或可通过实施本发明来学习。

[0009] 在一方面,本主题涉及一种用于减小作用在风力涡轮的构件上的极端负载的方法。该方法包括经由一个或多个传感器来测量风力涡轮的多个操作参数。此外,该方法包括经由处理器基于多个操作参数来预测风力涡轮的至少一个转子叶片的至少一个叶片力矩。该方法还包括经由处理器根据至少一个叶片力矩预测至少一个转子叶片的负载(例如,诸如叶片根部合力矩)和相关联的负载角。此外,该方法包括经由处理器来预测风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角。另外,该方法包括经由处理器来生成关于构件的负载包络,其包括关于桨距角和负载角的至少一个负载值。因此,该方法包括当负载在负载包络的外部时经由控制器来实施控制动作。

[0010] 在实施例中,该构件可包括例如风力涡轮的转子叶片、变桨轴承或毂。在另一实施例中,风力涡轮的多个操作参数可包括下者中的任一个或组合:转子位置、推力、负载、功率、速度、转矩、叶片重量、重力、桨距角、点动力矩、悬伸力矩、轴承润滑计划、转子方位角和/或偏航力矩。

[0011] 在其它实施例中,预测风力涡轮的转子叶片的叶片力矩可包括根据多个操作参数和风力涡轮的估计状态来计算转子叶片的边缘方向的叶片力矩。另外,预测风力涡轮的转子叶片的叶片力矩可包括根据转子位置、叶片重量和转矩来计算转子叶片的叶片摆动力矩。

[0012] 在若干实施例中,根据叶片力矩预测负载和相关联的负载角可包括根据转子叶片的边缘方向叶片力矩和转子叶片的叶片摆动矩来计算负载和相关联的负载角。在此类实施例中,根据转子叶片的边缘方向叶片力矩和转子叶片的叶片摆动力矩来计算负载和相关联的负载角可包括通过将转子叶片的叶片摆动力矩除以转子叶片的边缘方向叶片力矩来计算相关联的负载角,以及根据相关联的负载角来计算负载。

[0013] 在特定实施例中,预测风力涡轮的转子叶片的桨距角可包括基于一个或多个控制器命令来计算风力涡轮的转子叶片的桨距角。

[0014] 在其它实施例中,当负载在负载包络的外部时实施控制动作可包括使转子叶片变桨。在此类实施例中,使一个或多个转子叶片变桨可包括使风力涡轮的多个转子叶片共同地变桨,使多个转子叶片中的每个独立地变桨,和/或使多个转子叶片中的每个周期性地变桨。

[0015] 在另一方面,本公开内容涉及一种用于减小作用在风力涡轮的构件上的极端负载的系统。该系统包括配置成测量风力涡轮的多个操作参数的一个或多个传感器以及配置有一个或多个传感器的控制器。该控制器包括处理器,该处理器配置成执行多种操作,包括但不限于基于多个操作参数来预测风力涡轮的至少一个转子叶片的至少一个叶片力矩,根据叶片力矩预测转子叶片的负载和相关联的负载角,负载对应于转子叶片的叶片根部合力矩,预测风力涡轮转子叶片的桨距角,生成关于构件的负载包络,其包括关于桨距角和负载角的至少一个负载值,以及当负载在负载包络的外部时实施控制动作。

[0016] 技术方案1. 一种用于减小作用在风力涡轮构件上的极端负载的方法,所述方法包括:

[0017] 经由一个或多个传感器来测量所述风力涡轮的多个操作参数；

[0018] 经由处理器基于所述多个操作参数来预测所述风力涡轮的至少一个转子叶片的至少一个叶片力矩；经由所述处理器根据所述至少一个叶片力矩来预测所述至少一个转子叶片的负载和相关联的负载角；经由所述处理器来预测所述风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角；

[0019] 经由所述处理器来生成关于所述构件的负载包络，其包括关于所述桨距角和所述负载角的至少一个负载值；以及

[0020] 当所述负载在所述负载包络的外部时经由控制器来实施控制动作。

[0021] 技术方案2. 根据技术方案1所述的方法，其中所述构件包括所述风力涡轮的转子叶片、变桨轴承或毂中的至少一个。

[0022] 技术方案3. 根据技术方案1所述的方法，其中所述风力涡轮的多个操作参数包括下者中的至少一个：转子位置、推力、负载、功率、速度、转矩、叶片重量、重力、桨距角、点动力矩、悬伸力矩、轴承润滑计划、转子方位角，或偏航力矩。

[0023] 技术方案4. 根据技术方案3所述的方法，其中预测所述风力涡轮的转子叶片的至少一个叶片力矩还包括：

[0024] 根据所述风力涡轮的多个操作参数和估计状态来计算所述转子叶片的边缘方向叶片力矩。

[0025] 技术方案5. 根据技术方案4所述的方法，其中预测所述风力涡轮的转子叶片的至少一个叶片力矩还包括：

[0026] 根据所述转子位置、所述叶片重量和所述转矩来计算所述转子叶片的叶片摆动力矩。

[0027] 技术方案6. 根据技术方案5所述的方法，其中根据所述至少一个叶片力矩来预测所述负载和所述相关联的负载角还包括：

[0028] 根据所述转子叶片的边缘方向叶片力矩和所述转子叶片的叶片摆动力矩来计算所述负载和所述相关联的负载角。

[0029] 技术方案7. 根据技术方案6所述的方法，其中根据所述转子叶片的边缘方向叶片力矩和所述转子叶片的叶片摆动力矩来计算所述负载和所述相关联的负载角还包括：

[0030] 通过将所述转子叶片的叶片摆动力矩除以所述转子叶片的边缘方向叶片力矩来计算所述相关联的负载角；以及

[0031] 根据所述相关联的负载角来计算所述负载。

[0032] 技术方案8. 根据技术方案1所述的方法，其中预测所述风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角还包括基于一个或多个控制器命令来计算所述风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角。

[0033] 技术方案9. 根据技术方案1所述的方法，其中所述至少一个转子叶片的负载包括叶片根部合力矩。

[0034] 技术方案10. 根据技术方案1所述的方法，其中当所述负载在所述负载包络的外部时实施所述控制动作还包括使所述至少一个转子叶片变桨。

[0035] 技术方案11. 根据技术方案10所述的方法，其中使所述至少一个转子叶片变桨还包括下者中的至少一个：使所述风力涡轮的多个转子叶片共同地变桨，使所述多个转子叶

片中的每个独立地变桨,或使所述多个转子叶片中的每个周期性地变桨。

[0036] 技术方案12. 一种用于减小作用在风力涡轮的构件上的极端负载的系统,所述系统包括:

[0037] 一个或多个传感器,所述一个或多个传感器配置成测量所述风力涡轮的多个操作参数;

[0038] 控制器,所述控制器配置有所述一个或多个传感器,所述控制器包括配置成执行多个操作的处理器,所述多个操作包括:

[0039] 基于所述多个操作参数来预测所述风力涡轮的至少一个转子叶片的至少一个叶片力矩;

[0040] 根据所述至少一个叶片力矩来预测所述至少一个转子叶片的负载和相关联的负载角,所述负载对应于所述至少一个转子叶片的叶片根部合力矩;

[0041] 预测所述风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角;

[0042] 生成关于所述构件的负载包络,其包括关于所述桨距角和所述负载角的至少一个负载值;以及

[0043] 当所述负载在所述负载包络的外部时实施控制动作。

[0044] 技术方案13. 根据技术方案12所述的系统,其中所述构件包括所述风力涡轮的转子叶片、变桨轴承或毂中的至少一个。

[0045] 技术方案14. 根据技术方案12所述的系统,其中所述风力涡轮的多个操作参数包括下者中的至少一个:转子位置、推力、负载、功率、速度、转矩、叶片重量、重力、桨距角、点动力矩、悬伸力矩、轴承润滑计划、转子方位角,或偏航力矩。

[0046] 技术方案15. 根据技术方案14所述的系统,其中预测所述风力涡轮的转子叶片的至少一个叶片力矩还包括:

[0047] 根据所述风力涡轮的多个操作参数和估计状态来计算所述转子叶片的边缘方向叶片力矩;以及

[0048] 根据所述转子位置、所述叶片重量和所述转矩来计算所述转子叶片的叶片摆动力矩。

[0049] 技术方案16. 根据技术方案15所述的系统,其中根据所述至少一个叶片力矩来预测所述负载和所述相关联的负载角还包括:

[0050] 根据所述转子叶片的边缘方向叶片力矩和所述转子叶片的叶片摆动力矩来计算所述负载和所述相关联的负载角。

[0051] 技术方案17. 根据技术方案16所述的系统,其中根据所述转子叶片的边缘方向叶片力矩和所述转子叶片的叶片摆动力矩来计算所述负载和所述相关联的负载角还包括:

[0052] 通过将所述转子叶片的叶片摆动力矩除以所述转子叶片的边缘方向叶片力矩来计算所述相关联的负载角;以及

[0053] 根据所述相关联的负载角来计算所述负载。

[0054] 技术方案18. 根据技术方案12所述的系统,其中预测所述风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角还包括基于一个或多个控制器命令来计算所述风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角。

[0055] 技术方案19. 根据技术方案12所述的系统,其中所述一个或多个传感器包括接近

传感器。

[0056] 技术方案20. 根据技术方案12所述的系统,其中当所述负载在所述负载包络的外部时实施所述控制动作还包括使所述至少一个转子叶片变桨,其中使所述至少一个转子叶片变桨还包括下者中的至少一个:使所述风力涡轮的多个转子叶片共同地变桨,使所述多个转子叶片中的每个独立地变桨,或使所述多个转子叶片中的每个周期性地变桨。

[0057] 参照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。结合在该说明书中且构成该说明书的一部分的附图示出本发明的实施例,且连同描述一起用来解释本发明的原理。

附图说明

[0058] 针对本领域普通技术人员的本发明的完整且开放(enabling)的公开内容(包括其最佳模式)在参照附图的说明书中阐述,在附图中:

[0059] 图1示出根据本公开内容的风力涡轮的一个实施例的透视图;

[0060] 图2示出根据本公开内容的风力涡轮的机舱的一个实施例的简化内部视图;

[0061] 图3示出根据本公开内容的控制器的一个实施例的示意图;

[0062] 图4示出根据本公开内容的用于减小作用在风力涡轮的构件上的极端负载的方法的一个实施例的流程图;

[0063] 图5示出根据本公开内容的风力涡轮的一个实施例的透视图,特别地示出各种旋转轴线以及作用在风力涡轮上的对应的力和力矩;

[0064] 图6A示出根据本公开内容的在RIC始终开启的情况下,来自接近额定风速的时间序列的叶片合力矩(MrB)(y轴)与负载角(x轴)的一个实施例的图;

[0065] 图6B示出根据本公开内容的在RIC没有开启的情况下,来自接近额定风速的时间序列的叶片合力矩(MrB)(y轴)与负载角(x轴)的一个实施例的图;以及

[0066] 图7示出根据本公开内容的用于减小作用在风力涡轮的构件上的极端负载的系统的一个实施例的示意图。

具体实施方式

[0067] 现在将详细地参照本发明的实施例,其一个或多个示例在图中示出。每个示例提供作为本发明的解释,不是本发明的限制。实际上,对本领域技术人员将显而易见的是,在不脱离本发明的范围或精神的情况下,可在本发明中作出各种修改和变化。例如,示出或描述为一个实施例的部分的特征可供另一实施例使用,以产生又另外的实施例。因此,意图的是,本发明覆盖如落入所附权利要求书和其等同物的范围内的此类修改和变化。

[0068] 大体上,本公开内容涉及用于改进对风力涡轮构件(诸如转子叶片、变桨轴承和毂)的极端负载控制的改进系统和方法。更特别地,该方法意在在每个负载角和桨距角处使用极端构件包络。例如,使用不平衡负载测量值、推力估计值和转子位置以及桨距角预测值来预测负载大小和负载角。将预测的负载大小与负载包络比较,以确定必要的控制措施。因此,本公开内容限制与对单个极限负载的控制相关联的不必要的变桨和能量损失。

[0069] 在特定实施例中,例如,使用负载角和叶片桨距角的负载包络来确定某些风力涡轮构件上的裕度。数据在控制器中用于确定风力涡轮有多接近应力极限操作。控制器使用

接近传感器信息和估计状态来预测边缘方向叶片负载。类似地,可基于转子位置、存储的重量数据和转子转矩来预测扭矩。组合的信息用于预测负载角度和大小。桨距角也可基于控制器命令来预测。然后可将此类信息用于与包络信息比较。然后,当预测到超出时,控制器使用此信息来减小负载。

[0070] 现在参照图1,示出可实施根据本公开内容的控制技术的风力涡轮10的一个实施例的透视图。如示出的,风力涡轮10大体上包括从支承表面14延伸的塔架12、安装在塔架12上的机舱16,以及联接到机舱16的转子18。转子18包括可旋转毂20以及联接到毂20且从毂20向外延伸的至少一个转子叶片22。例如,在示出的实施例中,转子18包括三个转子叶片22。然而,在备选实施例中,转子18可包括多于或少于三个转子叶片22。每个转子叶片22可围绕毂20间隔,以便于旋转转子18,以使动能能够从风转换成可用的机械能,且随后转换成电能。例如,毂20可旋转地联接到定位在机舱16内的发电机24(图2),以允许产生电能。

[0071] 风力涡轮10还可包括集中在机舱16内的风力涡轮控制器26。然而,在其它实施例中,控制器26可位于风力涡轮10的任何其它构件内或风力涡轮外部的的位置处。此外,控制器26可通信地联接到风力涡轮10的任何数量的构件,以便控制此类构件的操作和/或实施校正动作。因而,控制器26可包括计算机或其它合适的处理单元。因此,在若干实施例中,控制器26可包括合适的计算机可读指令,该指令在实施时使控制器26配置成执行各种不同的功能,诸如,接收、传送和/或执行风力涡轮控制信号。因此,如下文将更详细论述的,控制器26大体上可配置成控制各种操作模式(例如,启动或关闭序列)、使风力涡轮降额,和/或控制风力涡轮10的各种构件。

[0072] 现在参照图2,示出图1中示出的风力涡轮10的机舱16的一个实施例的简化内部视图。如示出的,发电机24可联接到转子18,以用于从由转子18生成的旋转能产生电功率。例如,如所示出的实施例中示出的,转子18可包括转子轴34,该转子轴34联接到毂20以用于与其旋转。转子轴34继而可通过齿轮箱38可旋转地联接到发电机24的发电机轴36。如大体上理解的,转子轴34可响应于转子叶片22和毂20的旋转来向齿轮箱38提供低速高转矩输入。齿轮箱38然后可配置成将低速高转矩输入转换成高速低转矩输出,以驱动发电机轴36和因此发电机24。

[0073] 每个转子叶片22还可包括桨距调整机构32,桨距调整机构32配置成使每个转子叶片22围绕其变桨轴线28旋转。此外,每个桨距调整机构32可包括变桨驱动马达40(例如,任何合适的电动、液压或气动马达)、变桨驱动齿轮箱42和变桨驱动小齿轮44。在此类实施例中,变桨驱动马达40可联接到变桨驱动齿轮箱42,使得变桨驱动马达40将机械力给予变桨驱动齿轮箱42。类似地,变桨驱动齿轮箱42可联接到变桨驱动小齿轮44以用于与其旋转。变桨驱动小齿轮44继而可与联接在毂20与对应的转子叶片22之间的变桨轴承46旋转接合,使得变桨驱动小齿轮44的旋转引起变桨轴承46的旋转。因此,在此类实施例中,变桨驱动马达40的旋转驱动变桨驱动齿轮箱42和变桨驱动小齿轮44,从而使变桨轴承46和转子叶片22围绕变桨轴线28旋转。类似地,风力涡轮10可包括通信地联接到控制器26的一个或多个偏航驱动机构66,其中每个偏航驱动机构66配置成改变机舱16相对于风的角度(例如,通过接合风力涡轮10的偏航轴承68)。

[0074] 仍参照图2,风力涡轮10还可包括一个或多个传感器48、50以用于测量对于各种叶片力矩可需要的各种操作参数(如下文更详细描述)。例如,在各种实施例中,传感器可包

括用于测量转子叶片22中的一个的桨距角或用于测量作用在转子叶片22中的一个上的负载的叶片传感器48;用于监控发电机24(例如,转矩、旋转速度、加速度和/或功率输出)的发电机传感器(未示出);用于测量转子不平衡负载的传感器(例如,主轴弯曲传感器);和/或用于测量各种风参数(诸如,风速、风峰、风湍流、风切变、风向上的改变、空气密度或类似物)的各种风传感器50。此外,传感器可位于风力涡轮的地面附近、机舱上或风力涡轮的气象桅杆上。还应理解的是,任何其它数量或类型的传感器都可使用且在任何位置。例如,传感器可为微惯性测量单元(MIMU)、应变计、加速度计、压力传感器、攻角传感器、振动传感器、接近传感器、光检测和测距(LIDAR)传感器、相机系统、光纤系统、风速计、风向标、声波检测和测距(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。应了解的是,如本文中使用的用语“监测”和其变型指示各种传感器可配置成提供监测的参数的直接测量或此类参数的间接测量。因此,例如,传感器可用于生成关于监测的参数的信号,其然后可由控制器26用于确定实际参数。

[0075] 现在参照图3,示出根据本公开内容的控制器26的各种构件的一个实施例的框图。如示出的,控制器26可包括一个或多个处理器58和相关联的存储器装置60,其配置成执行多种计算机实施的功能(例如,如本文中公开的那样执行方法、步骤、计算等以及存储相关数据)。另外,控制器26还可包括通信模块62,以便于控制器26与风力涡轮10的各种构件之间的通信。此外,通信模块62可包括传感器接口64(例如,一个或多个模数转换器),以允许从传感器48、50传送的信号转换成可由处理器58理解和处理的信号。应了解的是,传感器48、50可使用任何合适的器件来通信地联接到通信模块62。例如,如图3中示出的,传感器48、50经由有线连接来联接到传感器接口64。然而,在其它实施例中,传感器48、50可经由无线连接来联接到传感器接口64,诸如通过使用本领域中已知的任何合适的无线通信协议。

[0076] 如本文中使用的,用语“处理器”不仅是指本领域中被认为是包括于计算机中的集成电路,而且是指控制器、微型控制器、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。另外,存储器装置60大体上可包括存储器元件,其包括但不限于: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、光盘-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。此类存储器装置60大体上可配置成存储合适的计算机可读指令,该指令在由处理器58实施时使控制器26配置成执行各种功能,包括但不限于基于多个操作数据确定风力涡轮10的一个或多个当前风力涡轮参数、确定最大风力涡轮参数、传送合适的控制信号以实施控制动作以减小作用在风力涡轮上的负载,以及各种其它合适的计算机实施的功能。

[0077] 现在参照图4,示出根据本公开内容的一个实施例的用于减小作用在风力涡轮的构件上的极端负载的方法100的流程图。在实施例中,例如,该构件可包括例如转子叶片22、变桨轴承46或风力涡轮10的毂20中的一个。方法100在本文中描述为例如使用上文描述的风力涡轮10来实施。然而,应了解的是,公开的方法100可使用本领域中现在已知或以后开发的任何其它合适的风力涡轮来实施。另外,虽然图4出于说明和论述的目的来描绘以特定顺序执行的步骤,本文中描述的方法不限于任何特定的顺序或布置。使用本文中提供的公开内容,本领域技术人员将了解,可以以各种方式省略、重排、组合和/或改变方法的各种步骤。

[0078] 如(102)处示出的,方法100包括经由一个或多个传感器来测量风力涡轮10的多个操作参数。例如,在一个实施例中,传感器48、50配置成测量或以其它方式监测风力涡轮10的各种操作参数。更特别地,如提到的,操作参数可包括下者中的一个或组合:转子位置、推力、负载、功率、速度、转矩、叶片重量、重力、桨距角、点动力矩、悬伸力矩、轴承润滑计划、转子方位角和/或偏航力矩。

[0079] 因此,如(104)处示出的,方法100包括经由处理器58基于多个操作参数来预测风力涡轮10的转子叶片22的至少一个叶片力矩。例如,如图5中示出的,示出风力涡轮10的一个实施例的分解视图,特别地示出各种旋转轴以及作用在风力涡轮10上的对应的力和力矩。风力涡轮10的峰值负载可在涡轮之间变化,但大体上,典型地对应于下者中的至少一个:叶片根部合力矩(例如, M_{rB} ,其包括桨距和毂负载 M_{xB} 、 M_{yB} 和 M_{zB})、主轴负载(例如 M_{yR} 、 M_{zR})、主轴承负载(例如 M_{xR} 、 M_{yR})、偏航驱动负载(例如 M_{xk})、偏航螺栓/轴承/凸缘负载(例如 M_{yk} 、 M_{zk})或塔架弯曲负载(例如 M_{xt} 、 M_{yt} 和 M_{zt})。应理解的是,如本文中描述的峰值负载还可包括由风力涡轮10所经历的任何额外负载,且图5中示出的负载仅出于示例的目的来提供。

[0080] 因此,在特定实施例中,处理器58可配置成根据风力涡轮10的操作参数和估计状态来计算转子叶片22的边缘方向叶片力矩(M_{yB})。另外,处理器58可配置成根据转子位置、叶片重量和转矩来预测计算转子叶片22的叶片摆动力矩(M_{zB})。

[0081] 返回参照图4,如(106)处示出的,方法100包括经由处理器58根据本文中描述的叶片力矩预测负载(例如,诸如叶片根部合力矩, M_{rB})和转子叶片22的相关联的负载角。例如,在若干实施例中,处理器58可配置成根据转子叶片22的边缘方向叶片力矩和转子叶片22的叶片摆动力矩来计算负载和相关联的负载角。更特别地,在此类实施例中,处理器58可配置成通过将转子叶片22的叶片摆动力矩除以转子叶片22的边缘方向叶片力矩来计算相关联的负载角,并根据相关联的负载角计算负载来。

[0082] 如(108)处示出的,方法100包括经由处理器58预测风力涡轮10的转子叶片22的桨距角。在特定实施例中,例如,处理器58配置成通过根据一个或多个控制器命令计算风力涡轮的转子叶片的桨距角来预测转子叶片22的桨距角。

[0083] 如(110)处示出的,方法100包括经由处理器58生成关于构件的负载包络,该负载包络包括桨距角和负载角的一个或多个负载值。例如,图6A和图6B分别示出根据本公开内容的负载包络的示例。

[0084] 返回参照图4,如(112)处示出的,方法100包括当负载在负载包络的外部时经由控制器26实施控制动作。例如,在特定实施例中,控制动作可包括使转子叶片22变桨。更特别地,在此类实施例中,使一个或多个转子叶片22变桨可包括使风力涡轮10的多个转子叶片22共同地变桨,使多个转子叶片22中的每个独立地变桨和/或使多个转子叶片22中的每个周期性地变桨。

[0085] 相对于图6A和图6B可更好地理解本公开内容的优点。更特别地,如示出的,图200、图300示出根据本公开内容的来自接近额定风速的时间序列的叶片合力矩(M_{rB}) (y轴)与负载角(x轴)。图6A的图200示出RIC始终开启的场景,而图6B的图300示出RIC没有开启的场景。在图6A和图6B中的每个中,常规负载阈值分别表示为线202、302,而本公开内容的负载阈值分别表示为线204、304。因此,如示出的,本公开内容的负载阈值204、304避免对区域206、306内的所有点的 M_{rB} 控制激活。这是有利的,因为激活的次数与能量损失和来自 M_{rB} 控

制的额外变桨相关。

[0086] 还应理解的是,如本文中描述的控制动作可包含控制器26的任何合适的命令或约束。例如,在若干实施例中,控制动作可包括使风力涡轮暂时降额或升额,以防止一个或多个风力涡轮构件上的过大负载。使风力涡轮升额(诸如通过使转矩升额)可暂时使风力涡轮的速度变慢且用作制动器以帮助减小或防止负载。使风力涡轮降额可包括速度降额、转矩降额或两者的组合。此外,如提到的,可通过使一个或多个转子叶片22绕其变桨轴线28变桨来使风力涡轮10降额。更特别地,控制器26大体上可控制每个桨距调整机构32,以便在0度(即,转子叶片22的功率位置)到90度(即,转子叶片22的顺桨位置)之间改变每个转子叶片22的桨距角。因而,在一个实施例中,控制器26可命令新的桨距设定(例如,从0度到5度),而在另一实施例中,控制器26可指定新的桨距约束(例如,用于保证后续的桨距命令至少为5度的约束)。

[0087] 在又一实施例中,可通过修改发电机24上的转矩需求来使风力涡轮10暂时降额。大体上,转矩需求可使用本领域中已知的任何合适的方法、过程、结构和/或手段来改变。例如,在一个实施例中,发电机24上的转矩需求可使用控制器26通过将合适的控制信号/命令传送到发电机24来控制,以便调制发电机24内产生的磁通量。

[0088] 风力涡轮10还可通过使机舱22偏航以改变机舱16相对于风向的角度来暂时地降额。在另外的实施例中,控制器26可配置成促动一个或多个机械制动器,以便减小转子叶片22的旋转速度,从而减小构件负载。在又另外的实施例中,控制器26可配置成执行本领域中已知的任何适当的控制动作。此外,控制器26可实施两个或更多个控制动作的组合。

[0089] 现在参照图6,示出根据本公开内容的用于减小作用在风力涡轮的构件上的极端负载的系统400的特定实施例的示意性流程图。如示出的,系统400可包括控制器402,其接收D和Q力矩404、转子方位角406和重力负载408。然后,控制器402可基于所接收的输入来确定MyB和MzB力矩410、412。如414处示出的,控制器402可使用MyB力矩410和MzB力矩412来确定MrB负载。此外,如416处示出的,控制器402还可使用MyB和MzB力矩410、412确定负载角。如418处示出的,控制器402还可预测桨距角。因此,如420处示出的,控制器402可基于负载角和桨距角来确定MrB阈值/包络。MrB负载414和MrB阈值/包络420然后可用于确定变桨动作(例如,共同/独立/周期性)。

[0090] 本发明的各个方面和实施例由以下编号的条款所限定:

[0091] 条款1. 一种用于减小作用在风力涡轮构件上的极端负载的方法,该方法包括:

[0092] 经由一个或多个传感器来测量风力涡轮的多个操作参数;

[0093] 经由处理器基于多个操作参数来预测风力涡轮的至少一个转子叶片的至少一个叶片力矩;

[0094] 经由处理器根据至少一个叶片力矩来预测至少一个转子叶片的负载和相关联的负载角;

[0095] 经由处理器来预测风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角;

[0096] 经由处理器来生成关于构件的负载包络,其包括关于桨距角和负载角的至少一个负载值;以及

[0097] 当负载在负载包络的外部时经由控制器来实施控制动作。

[0098] 条款2. 条款1的方法,其中构件包括风力涡轮的转子叶片、变桨轴承或毂中的至

少一个。

[0099] 条款3. 前述条款中的任一项的方法,其中风力涡轮的多个操作参数包括下者中的至少一个:转子位置、推力、负载、功率、速度、转矩、叶片重量、重力、桨距角、点动力矩、悬伸力矩、轴承润滑计划、转子方位角,或偏航力矩。

[0100] 条款4. 前述条款中的任一项的方法,其中预测风力涡轮的转子叶片的至少一个叶片力矩还包括:

[0101] 根据风力涡轮的多个操作参数和估计状态来计算转子叶片的边缘方向叶片力矩。

[0102] 条款5. 前述条款中的任一项的方法,其中预测风力涡轮的转子叶片的至少一个叶片力矩还包括:

[0103] 根据转子位置、叶片重量和转矩来计算转子叶片的叶片摆动力矩。

[0104] 条款6. 前述条款中的任一项的方法,其中根据至少一个叶片力矩来预测负载和相关联的负载角还包括:

[0105] 根据转子叶片的边缘方向叶片力矩和转子叶片的叶片摆动力矩来计算负载和相关联的负载角。

[0106] 条款7. 前述条款中的任一项的方法,其中根据转子叶片的边缘方向叶片力矩和转子叶片的叶片摆动力矩来计算负载和相关联的负载角还包括:

[0107] 通过将转子叶片的叶片摆动力矩除以转子叶片的边缘方向叶片力矩来计算相关联的负载角;以及

[0108] 根据相关联的负载角来计算负载。

[0109] 条款8. 前述条款中的任一项的方法,其中预测风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角还包括基于一个或多个控制器命令来计算风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角。

[0110] 条款9. 前述条款中的任一项的方法,其中至少一个转子叶片的负载包括叶片根部合力矩。

[0111] 条款10. 前述条款中的任一项的方法,其中当负载在负载包络的外部时实施控制动作还包括使至少一个转子叶片变桨。

[0112] 条款11. 前述条款中的任一项的方法,其中使至少一个转子叶片变桨还包括下者中的至少一个:使风力涡轮的多个转子叶片共同地变桨,使多个转子叶片中的每个独立地变桨,或使多个转子叶片中的每个周期性地变桨。

[0113] 条款12. 一种用于减小作用在风力涡轮的构件上的极端负载的系统,该系统包括:

[0114] 一个或多个传感器,该一个或多个传感器配置成测量风力涡轮的多个操作参数;

[0115] 控制器,该控制器配置有一个或多个传感器,该控制器包括配置成执行多个操作的处理器,该多个操作包括:

[0116] 基于多个操作参数来预测风力涡轮的至少一个转子叶片的至少一个叶片力矩;

[0117] 根据至少一个叶片力矩来预测至少一个转子叶片的负载和相关联的负载角,负载对应于至少一个转子叶片的叶片根部合力矩;

[0118] 预测风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角;

[0119] 生成关于构件的负载包络,其包括关于桨距角和负载角的至少一个负载值;以及

[0120] 当负载在负载包络的外部时实施控制动作。

[0121] 条款13. 条款12的系统,其中构件包括风力涡轮的转子叶片、变桨轴承或毂中的至少一个。

[0122] 条款14. 条款12-13的系统,其中风力涡轮的多个操作参数包括下者中的至少一个:转子位置、推力、负载、功率、速度、转矩、叶片重量、重力、桨距角、点动力矩、悬伸力矩、轴承润滑计划、转子方位角,或偏航力矩。

[0123] 条款15. 条款12-14的系统,其中预测风力涡轮的转子叶片的至少一个叶片力矩还包括:

[0124] 根据风力涡轮的多个操作参数和估计状态来计算转子叶片的边缘方向叶片力矩;以及

[0125] 根据转子位置、叶片重量和转矩来计算转子叶片的叶片摆动力矩。

[0126] 条款16. 条款12-15的系统,其中根据至少一个叶片力矩来预测负载和相关联的负载角还包括:

[0127] 根据转子叶片的边缘方向叶片力矩和转子叶片的叶片摆动力矩来计算负载和相关联的负载角。

[0128] 条款17. 条款12-16的系统,其中根据转子叶片的边缘方向叶片力矩和转子叶片的叶片摆动力矩来计算负载和相关联的负载角还包括:

[0129] 通过将转子叶片的叶片摆动力矩除以转子叶片的边缘方向叶片力矩来计算相关联的负载角;以及

[0130] 根据相关联的负载角来计算负载。

[0131] 条款18. 条款12-17的系统,其中预测风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角还包括基于一个或多个控制器命令来计算风力涡轮的至少一个转子叶片的桨距角。

[0132] 条款19. 条款12-18的系统,其中一个或多个传感器包括接近传感器。

[0133] 条款20. 条款12-19的系统,其中当负载在负载包络的外部时实施控制动作还包括使至少一个转子叶片变桨,其中使至少一个转子叶片变桨还包括下者中的至少一个:使风力涡轮的多个转子叶片共同地变桨,使多个转子叶片中的每个独立地变桨,或使多个转子叶片中的每个周期性地变桨。

[0134] 该书面描述使用示例来公开本发明(包括最佳模式),且还使本领域的任何技术人员能够实施本发明,包括制作和使用任何装置或系统以及执行任何结合的方法。本发明的可申请专利的范围由权利要求书限定,且可包括本领域技术人员想到的其它示例。如果此类其它示例包括不异于权利要求书的字面语言的结构元件,或如果它们包括带有与权利要求书的字面语言非实质差异的等同结构元件,此类其它示例意在处于权利要求书的范围内。

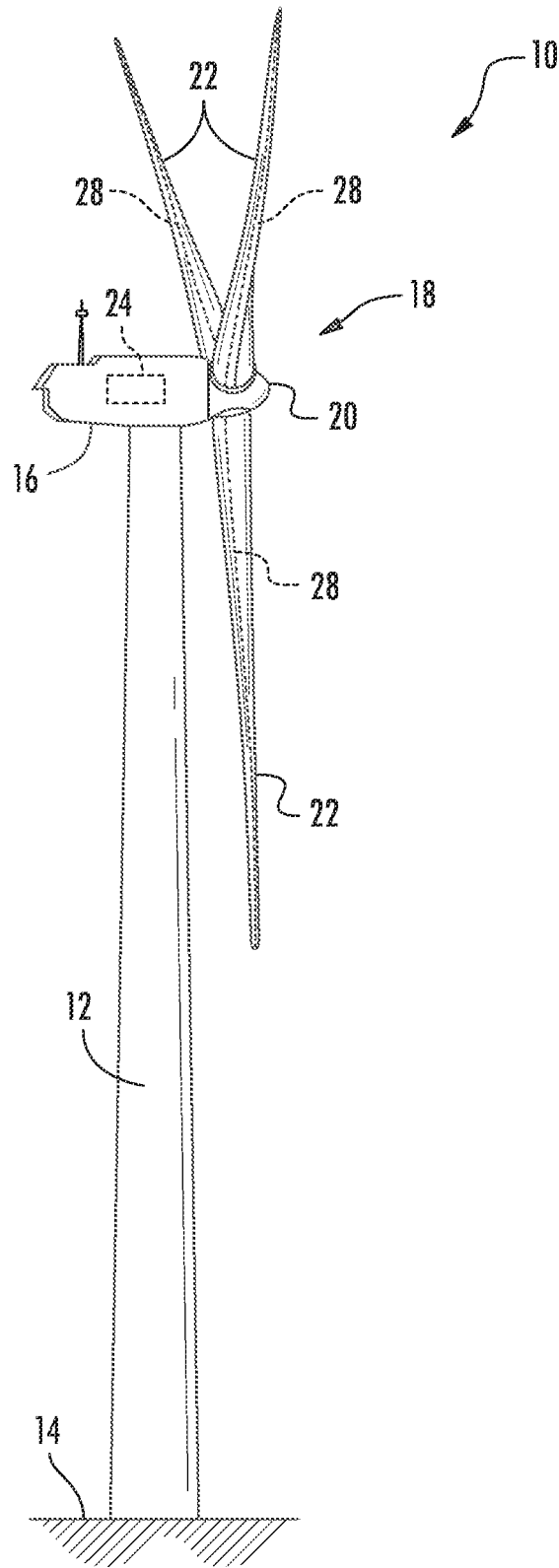


图 1

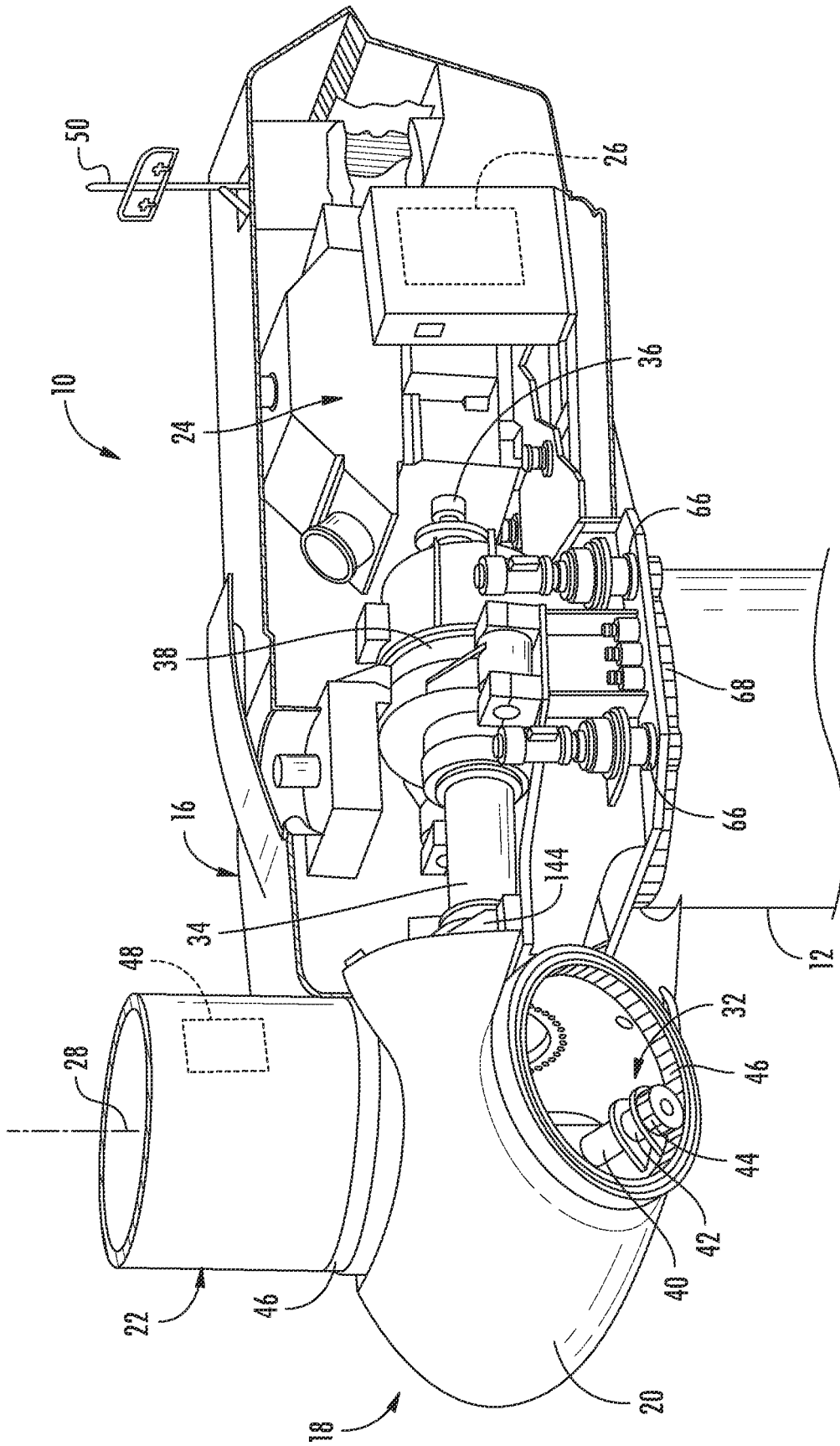


图 2

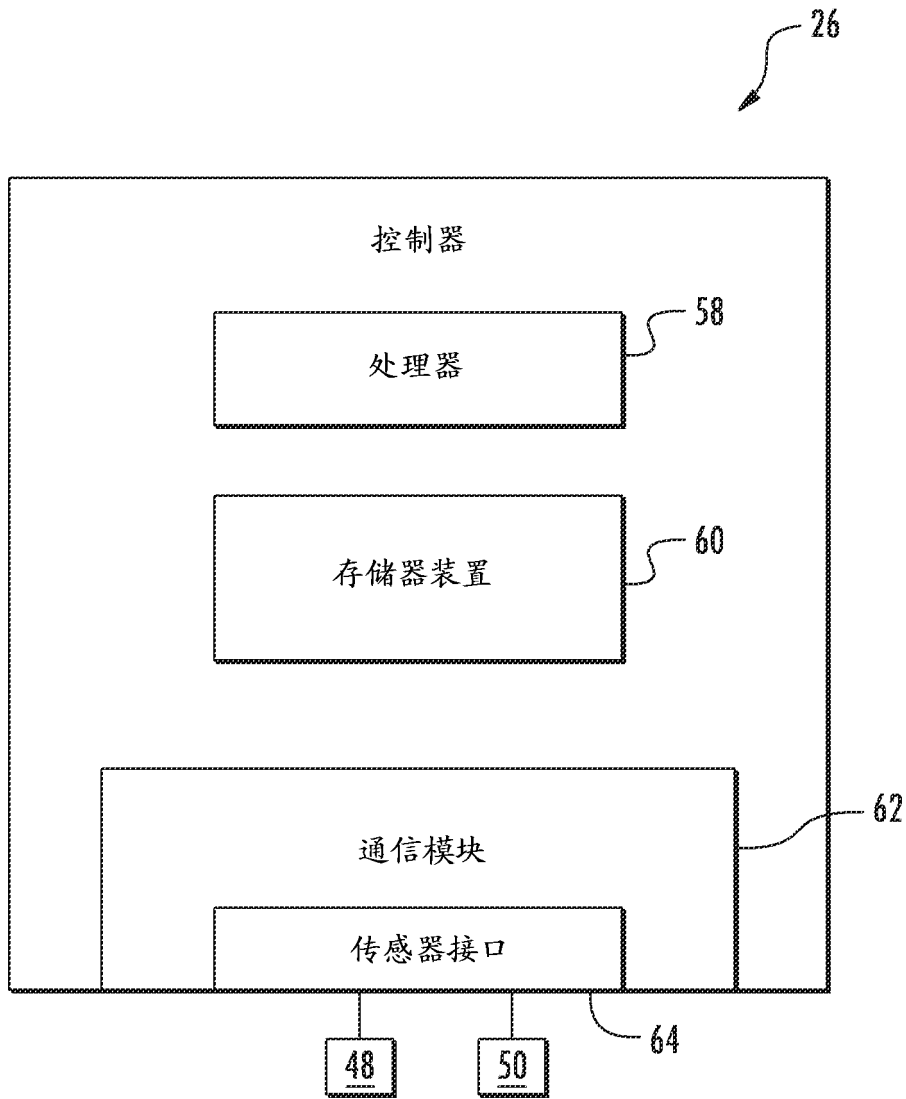


图 3

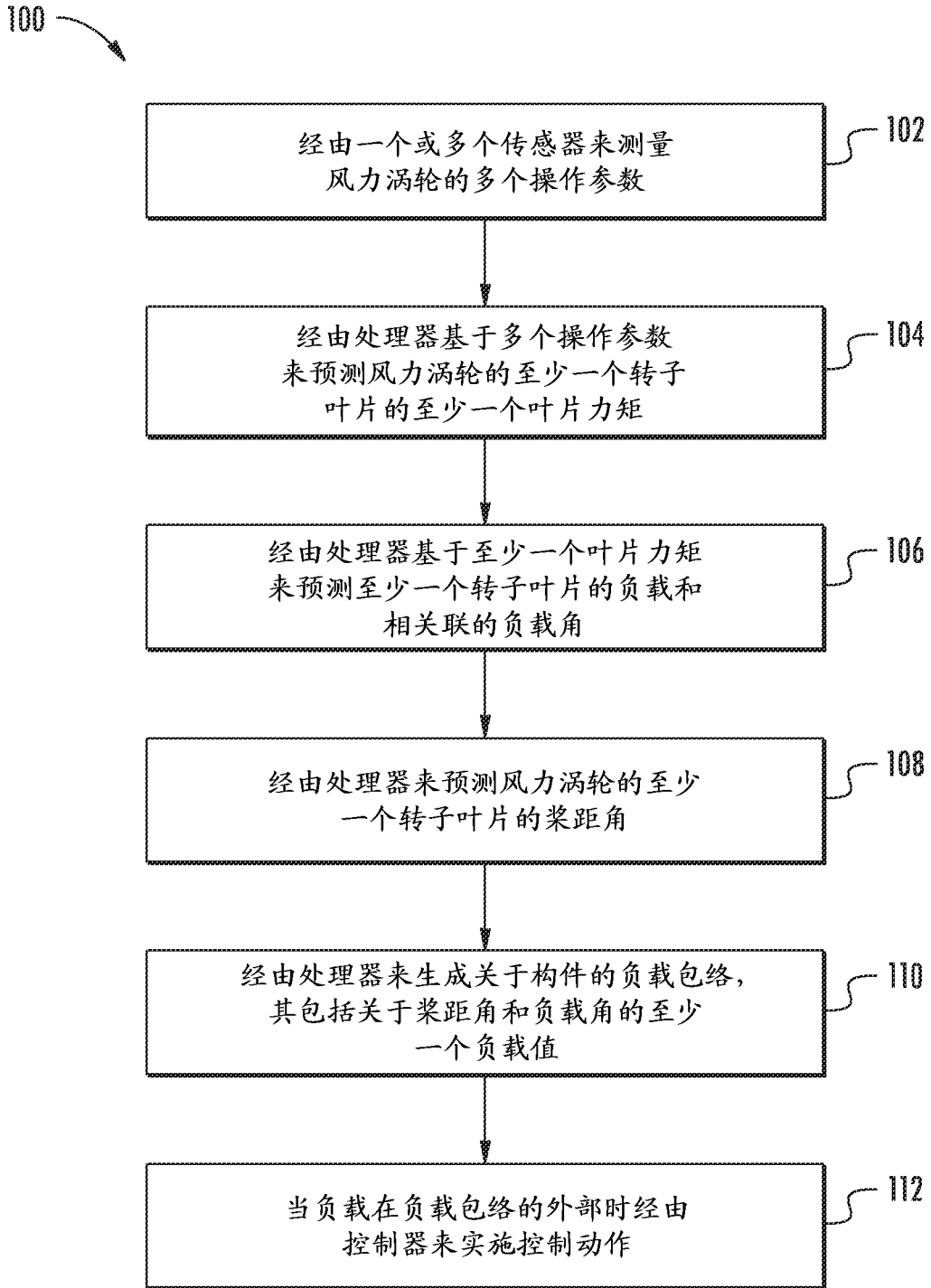


图 4

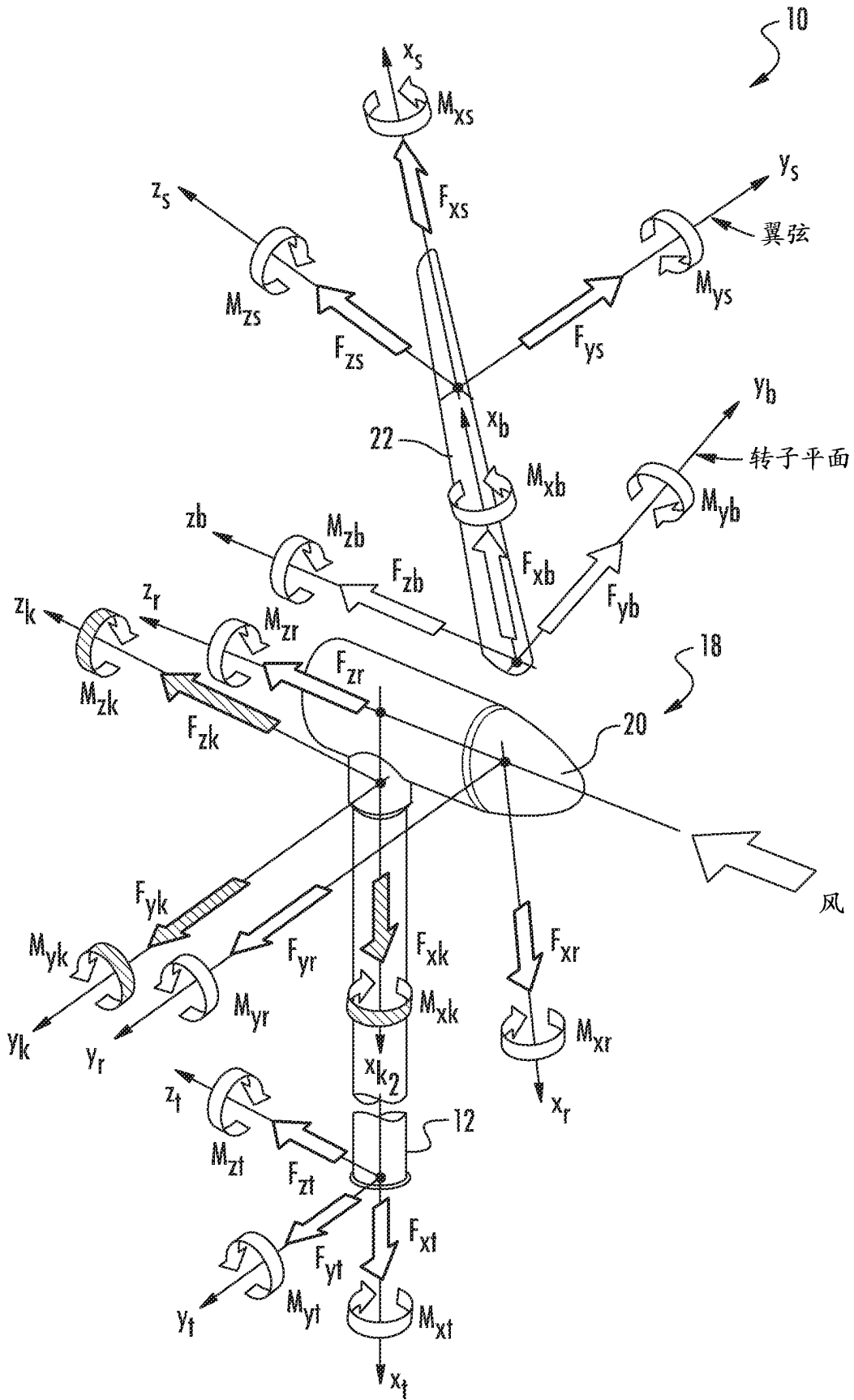


图 5

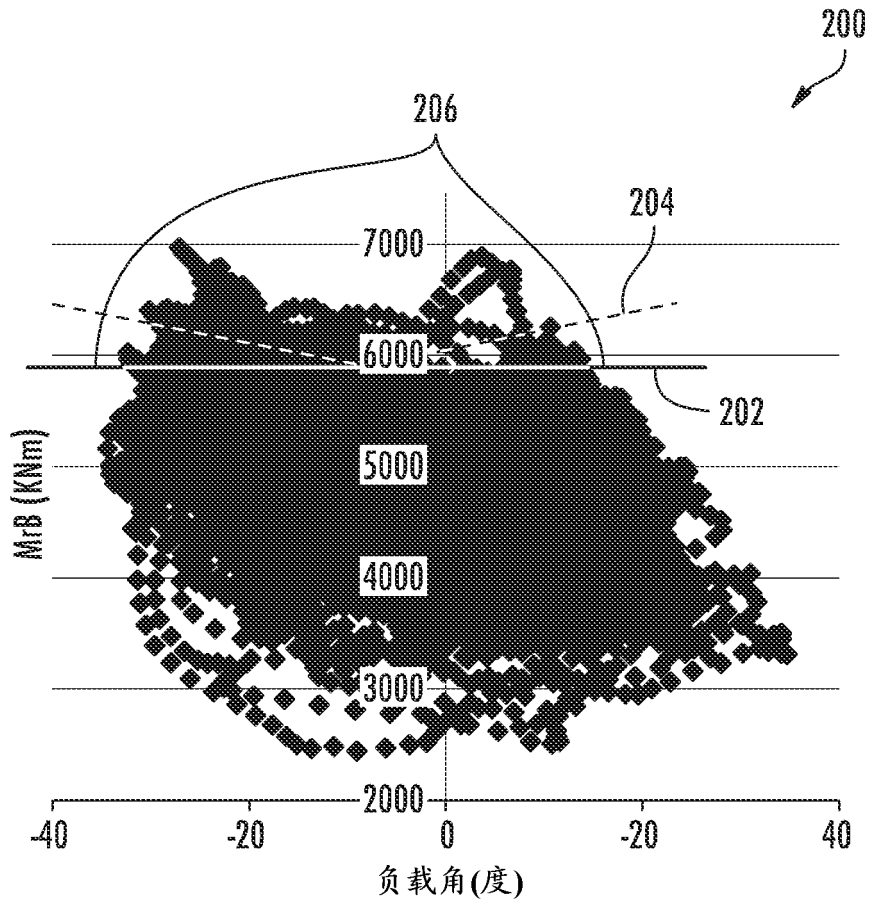


图 6A

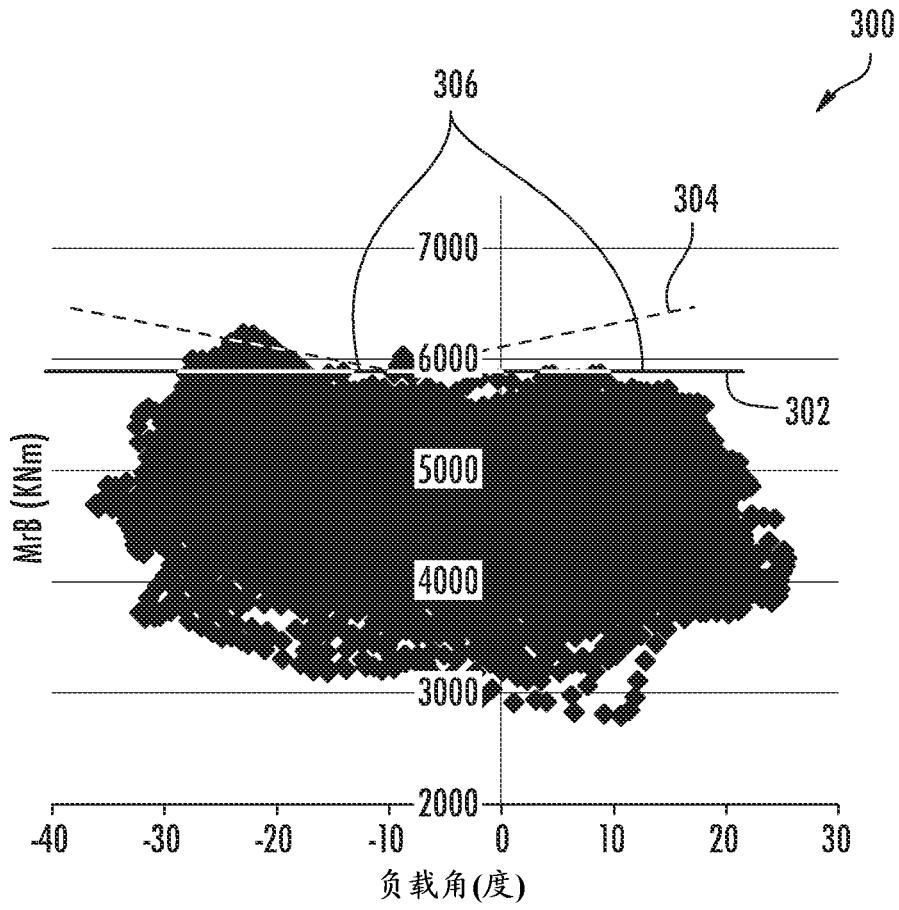


图 6B

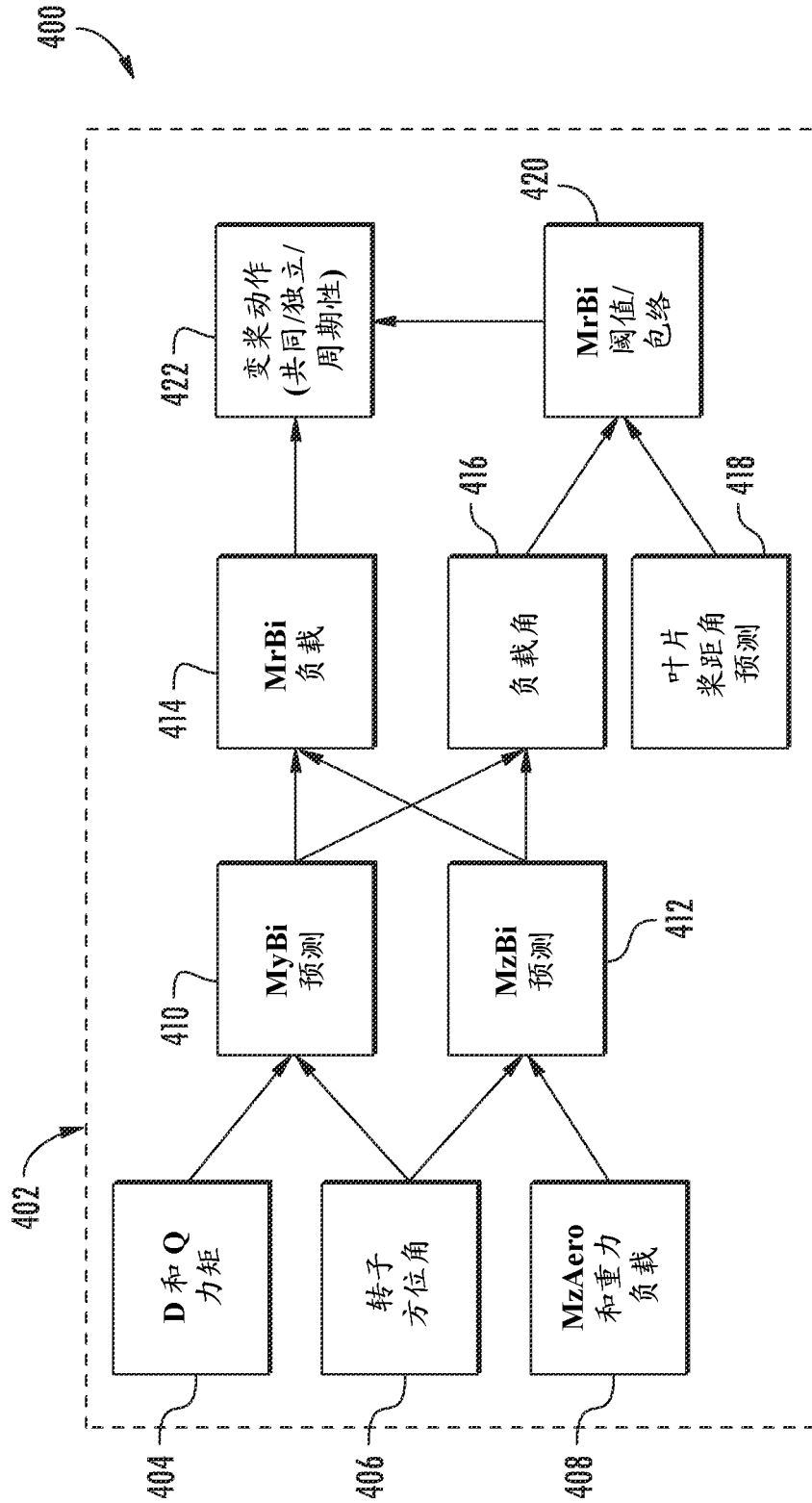


图 7