

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101929431 A

(43) 申请公布日 2010. 12. 29

(21) 申请号 201010211817.5

(22) 申请日 2010. 06. 17

(30) 优先权数据

12/486101 2009. 06. 17 US

(71) 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 W · 哈恩斯 L · D · 威利

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 严志军 谭祐祥

(51) Int. Cl.

F03D 7/04 (2006. 01)

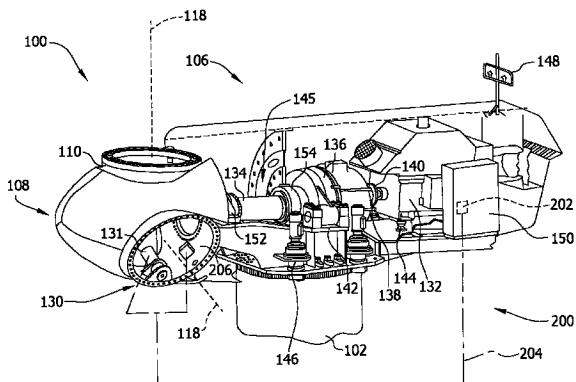
权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 6 页

(54) 发明名称

风力涡轮及用于优化其中的能量产生的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种风力涡轮及用于优化其中的能量产生的方法。提供了一种风力涡轮(100)。该风力涡轮包括多个转子叶片(112)、操作性地联接到该多个转子叶片中的相应的转子叶片上的主动式流动控制装置，以及以通讯的方式联接到主动式流动控制装置上且配置成以便基于发电机速度、转子叶片桨距设置和主动式流动控制装置设置来优化风力涡轮中的能量产生的控制系统(200)。该控制系统包括处理器(202)，其编程为以便使该多个转子叶片朝向全操作位置(262)变桨，且根据发电机速度和转子叶片桨距设置来使用主动式流动控制装置，以有助于保持预定的发电机额定功率水平(536)。



1. 一种风力涡轮 (100), 包括 :

多个转子叶片 (112) ;

操作性地联接到所述多个转子叶片的相应的转子叶片上的主动式流动控制装置;以及以通讯的方式联接到所述主动式流动控制装置上且配置成以便基于发电机速度、转子叶片桨距设置和主动式流动控制装置设置来优化所述风力涡轮中的能量产生的控制系统 (200), 所述控制系统包括处理器 (202), 所述处理器 (202) 编程为以便:

使所述多个转子叶片朝向全操作位置 (262) 变桨;以及

根据发电机速度和转子叶片桨距设置来使用主动式流动控制装置, 以有助于保持预定的发电机额定功率水平 (536)。

2. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮 (100), 其特征在于, 所述处理器 (202) 进一步编程为以便:

在实现所述风力涡轮的发电机额定功率 (536) 之前启动所述主动式流动控制装置;

在实现所述风力涡轮的额定速度之后, 将所述主动式流动控制装置调节到全操作模式;以及

在实现所述发电机额定功率之后, 从所述全操作模式起调节所述主动式流动控制装置。

3. 根据权利要求 2 所述的风力涡轮 (100), 其特征在于, 在使所述多个转子叶片 (112) 变桨到全操作位置之前, 所述处理器 (202) 编程为以便:

在一段持续时间上测量风速, 以确定足以使得能够进行功率产生的风速;以及

如果确定所述风速足以使得能够进行功率产生, 则使所述多个转子叶片变桨到最小操作角。

4. 根据权利要求 2 所述的风力涡轮 (100), 其特征在于, 编程为以便将所述主动式流动控制装置调节到全操作模式的所述处理器 (202) 包括根据所述多个转子叶片的桨距和所述多个转子叶片的旋转速度中的至少一个以步进式增量或基本持续的调节量其中一种来调节所述主动式流动控制装置。

5. 根据权利要求 2 所述的风力涡轮 (100), 其特征在于, 在启动主动式流动控制装置之后, 所述处理器 (202) 进一步编程为以便使所述多个转子叶片朝向顺桨位置 (641) 变桨。

6. 根据权利要求 2 所述的风力涡轮 (100), 其特征在于, 编程为以便从所述全操作模式起调节所述主动式流动控制装置的所述处理器 (202) 包括编程为以便执行以下中的至少一个的所述处理器 (202): 基本持续地、线性地和非线性地调节所述主动式流动控制装置, 以及基本同时使所述多个转子叶片 (112) 朝向顺桨位置 (641) 变桨。

7. 根据权利要求 2 所述的风力涡轮 (100), 其特征在于, 在达到所述风力涡轮的预定的切出速度之后, 所述处理器 (202) 编程为以便使所述多个转子叶片 (112) 朝向完全顺桨位置 (522) 变桨, 以有助于防止对所述风力涡轮的损害。

风力涡轮及用于优化其中的能量产生的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种风力涡轮及用于优化其中的能量产生的方法。

背景技术

[0002] 在一方面,提供了一种用于优化风力涡轮中的能量产生的方法。该方法包括使多个转子叶片变桨到全操作角,以及根据发电机速度和转子叶片桨距设置来使用主动式(active)流动控制装置,以有助于保持预定的发电机额定功率水平。在使该多个转子叶片变桨到全操作角之前,该方法可进一步包括确定足以使得能够进行功率产生的风速(在一段持续时间上测量风速),而且,如果确定风速足以使得能够进行功率产生,则使该多个转子叶片变桨到最小操作角。根据发电机速度和转子叶片桨距设置来使用主动式流动控制装置可进一步包括:在实现风力涡轮的发电机额定功率之前启动该主动式流动控制装置,在实现风力涡轮的额定速度之后,将该主动式流动控制装置调节到全操作模式,并且在实现发电机额定功率之后,从全操作模式起调节该主动式流动控制装置。将主动式流动控制装置调节到全操作模式可包括根据该多个转子叶片的桨距和该多个转子叶片的旋转速度中的至少一个来调节该主动式流动控制装置。在启动主动式流动控制装置之后,该方法还可包括使该多个转子叶片朝向顺桨位置变桨。从全操作模式起调节主动式流动控制装置还可包括调节该主动式流动控制装置、同时基本同时地使多个转子叶片朝向顺桨位置变桨其中至少一种。在达到风力涡轮的预定的切出速度之后,该方法可进一步包括使该多个转子叶片朝向完全顺桨位置变桨,以有助于防止对风力涡轮造成损害。在启动主动式流动控制装置之后,该方法可进一步包括将多个转子叶片的桨距保持在小于全操作角的角度处。

[0003] 在另一方面,提供了一种操作风力涡轮的方法。该方法包括将主动式流动控制装置操作地性联接到风力涡轮内的控制系统上,使多个转子叶片变桨到全操作角,以及在实现风力涡轮的发电机额定功率之前启动主动式流动控制装置。在实现风力涡轮的额定速度之后,该方法包括使该主动式流动控制装置提高到全操作模式。在实现发电机额定功率之后,该方法包括使该主动式流动控制装置从全操作模式起降低。在使多个转子叶片变桨到全操作位置之前,该方法可进一步包括确定足以使得能够进行功率产生的风速(在一段持续时间上测量风速),而且,如果确定风速足以使得能够进行功率产生,则使该多个转子叶片变桨到最小操作角。将该主动式流动控制装置调节到全操作模式可包括根据该多个转子叶片的桨距和该多个转子叶片的旋转速度中的至少一个来调节该主动式流动控制装置。在启动主动式流动控制装置之后,该方法可进一步包括使该多个转子叶片朝向顺桨位置变桨。从全操作模式起调节该主动式流动控制装置可包括调节该主动式流动控制装置、同时基本同时地使该多个转子叶片朝向顺桨位置变桨其中至少一种。在达到该风力涡轮的预定的切出速度之后,该方法还可包括使该多个转子叶片朝向完全顺桨位置变桨,以有助于防止对该风力涡轮造成损害。在启动主动式流动控制装置之后,该方法可进一步包括将该多个转子叶片的桨距保持在小于全操作角的角度处。

[0004] 在又一方面,提供了一种风力涡轮。该风力涡轮包括多个转子叶片、操作性地联接

到相应的转子叶片上的主动式流动控制装置,以及以通讯的方式联接到该主动式流动控制装置上且配置成以便基于发电机速度、转子叶片桨距设置和主动式流动控制装置设置来优化该风力涡轮中的能量产生的控制系统。该控制系统包括处理器,该处理器编程为以便使该多个转子叶片变桨到全操作角,并且在实现该风力涡轮的发电机额定功率之前启动该主动式流动控制装置。在实现该风力涡轮的额定速度之后,处理器编程为以便将该主动式流动控制装置调节到全操作模式。在实现发电机额定功率之后,处理器编程为以便从全操作模式起降低该主动式流动控制装置。处理器可进一步编程为以便在实现该风力涡轮的发电机额定功率之前启动该主动式流动控制装置;在实现该风力涡轮的额定速度之后,将该主动式流动控制装置调节到全操作模式;以及在实现发电机额定功率之后,从全操作模式调节该主动式流动控制装置。在使该多个转子叶片变桨到全操作位置之前,处理器可编程为以便在一段持续时间上测量风速,以确定足以使得能够进行功率产生的风速,而且,如果确定风速足以使得能够进行功率产生,则使该多个转子叶片变桨到最小操作角。编程为以便将该主动式流动控制装置调节到全操作模式的处理器可包括根据该多个转子叶片的桨距和该多个转子叶片的旋转速度中的至少一个以步进式增量或基本持续的调节量其中一种来调节该主动式流动控制装置。在启动主动式流动控制装置之后,该处理器可进一步编程为以便使该多个转子叶片朝向顺桨位置变桨。编程为以便从全操作模式起调节该主动式流动控制装置的处理器可包括编程为以便执行以下中的至少一个的处理器:基本持续地、线性地和非线性地调节该主动式流动控制装置,以及基本同时使该多个转子叶片朝向顺桨位置变桨。在达到该风力涡轮的预定的切出速度之后,该处理器可编程为以便使该多个转子叶片朝向完全顺桨位置变桨,以有助于防止对该风力涡轮造成损害。

[0005] 一种用于提高风力涡轮的能量输出的有效方法是例如通过增大转子大小(直径)来增大叶片的扫掠面积。但是,由于结构和材料限制,转子大小可受叶片/塔架间距以及较大的转子上的较高的系统载荷的约束。另一个挑战是由于变化的风况造成的,例如在所产生的升力波动或增大到非常大的水平时导致风力涡轮叶片的不期望的动态加载的阵风或暴风。这些载荷约束通常导致风力涡轮系统的叶片和其它构件的成本提高,这可在系统级衡量标准(例如能量成本)方面减少或抵消增大转子的好处。

发明内容

[0006] 在一方面,提供了一种用于优化风力涡轮中的能量产生的方法。该方法包括使多个转子叶片变桨到全操作角,以及根据发电机速度和转子叶片桨距设置来使用主动式流动控制装置,以有助于保持预定的发电机额定功率水平。

[0007] 在另一方面,提供了一种操作风力涡轮的方法。该方法包括将主动式流动控制装置操作性地联接到风力涡轮内的控制系统上,使多个转子叶片变桨到全操作角,以及在实现该风力涡轮的发电机额定功率之前启动主动式流动控制装置。在实现该风力涡轮的额定速度之后,该方法包括使该主动式流动控制装置提高到全操作模式。在实现发电机额定功率之后,该方法包括从全操作模式起降低该主动式流动控制装置。

[0008] 在又一方面,提供了一种风力涡轮。该风力涡轮包括多个转子叶片、操作性地联接到相应的转子叶片上的主动式流动控制装置,以及以通讯的方式联接到该主动式流动控制装置上且配置成以便基于发电机速度、转子叶片桨距设置和主动式流动控制装置设置来优

化该风力涡轮中的能量产生的控制系统。该控制系统包括处理器，该处理器编程为以便使该多个转子叶片变桨到全操作角，并且在实现该风力涡轮的发电机额定功率之前启动该主动式流动控制装置。在实现该风力涡轮的额定速度之后，处理器编程为以便将该主动式流动控制装置调节到全操作模式。在实现发电机额定功率之后，该处理器编程为以便从全操作模式起降低该主动式流动控制装置。

附图说明

[0009] 参照下列附图对非限制性和非穷尽的实施例进行描述，其中，同样的参考标号在所有各幅图中表示同样的部件，除非另有规定。

[0010] 图 1 是示例性风力涡轮的侧面透视图。

[0011] 图 2 是与图 1 所示的示例性风力涡轮一起使用的机舱的局部截面透视图。

[0012] 图 3 是图 1 所示的风力涡轮的转子毂的一部分的截面图，其示出了用于改变图 1 所示的风力涡轮的转子叶片的桨距的变桨系统的一个示例性实施例。

[0013] 图 4 是与图 1 所示的示例性风力涡轮一起使用的一种示例性风力涡轮叶片组件的截面图。

[0014] 图 5 是与图 1 所示的示例性风力涡轮一起使用的一个备选的风力涡轮叶片组件的截面图。

[0015] 图 6 是示出了关于风速度的风力涡轮操作状态的图表，其中，风力涡轮速度和叶片变桨计划表控制功率产生。

[0016] 图 7 是示出了使用主动式流动控制 (AFC) 装置的关于风速度的风力涡轮操作状态的图表，其中，风力涡轮速度和叶片变桨计划表控制功率产生。

具体实施方式

[0017] 图 1 是示例性风力涡轮 100 的透视侧面图。在该示例性实施例中，风力涡轮 100 是水平轴风力涡轮。或者，风力涡轮 100 可为竖直轴风力涡轮。风力涡轮 100 具有延伸自支承面 104 的塔架 102、联接到塔架 102 上的机舱 106，以及联接到机舱 106 上的转子 108。转子 108 具有可旋转的毂 110 和联接到毂 110 上的多个转子叶片 112。在该示例性实施例中，转子 108 具有三个转子叶片 112。或者，转子 108 具有使得风力涡轮 100 能够如本文所描述的那样起作用的任何数量的转子叶片 112。在该示例性实施例中，塔架 102 由管状钢材制成，且具有在支承面 104 和机舱 106 之间延伸的腔体（未在图 1 中显示）。或者，塔架 102 是使得风力涡轮 100 能够如本文所描述的那样起作用的任何塔架，包括但不限于格栅塔架。塔架 102 具有使得风力涡轮 100 能够如本文所描述的那样起作用的任何适当的高度。

[0018] 转子叶片 112 定位在毂 110 周围，以有助于使转子 108 旋转，从而将来自风 124 的动能转换成可使用的机械能，并且随后转换成电能。转子 108 和机舱 106 在偏航轴线 116 上绕着塔架 102 旋转，以控制转子叶片 112 相对于风 124 的方向的投影 (perspective)。转子叶片 112 通过在多个载荷传递区 122 处将叶片根部部分 120 联接到毂 110 上来与毂 110 匹配。载荷传递区 122 具有毂载荷传递区和叶片载荷传递区（两者均未在图 1 中显示）。在转子叶片 112 中引起的载荷通过载荷传递区 122 传递到毂 110 上。各个转子叶片 112 还包括叶尖部分 125。

[0019] 在该示例性实施例中,转子叶片 112 具有介于 30 米 (m) (98 英尺 (ft)) 和 100m(328ft) 之间的长度,但是这些参数不对本公开形成限制。或者,转子叶片 112 可具有使得风力涡轮 100 能够如本文所描述的那样起作用的任何长度。当风 124 撞击各个转子叶片 112 时,在各个转子叶片 112 上引起叶片升力 (未显示),且当各个转子叶片 112 和叶尖部分 125 加速时,引起转子 108 绕着旋转轴线 114 的旋转。可由桨距调节机构 (未在图 1 中显示) 改变转子叶片 112 的桨距角 (未显示),即确定各个转子叶片 112 相对于风 124 的方向的投影的角度。特别地,增大转子叶片 112 的桨距角会减小相应的转子叶片 112 的暴露于风 124 的叶片表面积 126 (即减小翼型件迎角,并且由此减小施加在转子叶片 112 上的升力)。相反,减小叶片 112 的桨距角会增大相应的转子叶片 112 的暴露于风 124 的叶片表面积 126 (即增大翼型件迎角,并且由此在没有失速的情况下增大升力)。

[0020] 例如,约 0 度的叶片桨距角 (有时称为“动力位置”) 使相当大的百分比的叶片表面积 126 暴露于风 124,从而导致在叶片 112 上引起第一升力值。类似地,约 90 度的叶片桨距角 (有时称为“顺桨位置”) 使低得多的百分比的叶片表面积 126 暴露于风 124,从而导致在叶片 112 上引起第二升力值。在转子叶片 112 上引起的第一升力值大于在转子叶片 112 上引起的第二升力值,从而使得升力值与暴露于风 124 的叶片表面积 126 (即翼型件迎角) 成比例。因此,在转子叶片 112 上引起的升力值与叶片桨距角的值成比例。

[0021] 而且,例如,当叶片升力增大时,转子叶片 112 和叶尖部分 125 的旋转速度增加。相反,当叶片升力减小时,转子叶片 112 和叶尖部分 125 的旋转速度降低。因此,叶尖部分 125 的线速度的值与在转子叶片 112 上引起的升力值成比例,且由此可见转子叶片 112 和叶尖部分 125 的旋转速度与叶片桨距角成比例。

[0022] 另外,当转子叶片 112 和叶尖部分 125 的旋转速度增加时,来自叶片 112 的声发射 (未在图 1 中显示) 的幅度 (未显示) 增大。相反,当转子叶片 112 和叶尖部分 125 的旋转速度降低时,来自转子叶片 112 的声发射的幅度减小。因此,来自转子叶片 112 的声发射的幅度与转子叶片 112 和叶尖部分 125 的旋转速度成比例,且由此可见来自转子叶片 112 的声发射的幅度与叶片桨距角成比例。

[0023] 绕着各个叶片 112 的变桨轴线 118 调节转子叶片 112 的桨距角。在该示例性实施例中,单独控制转子叶片 112 的桨距角。或者,可作为组来控制桨距角。在又一个备选实施例中,可调整转子叶片 112 的桨距以及转子叶片 112 的速度,以便降低声发射。在一个实施例中,可通过本地控制器 (未显示) 或经由远程控制器 (未显示) 远程地控制风力涡轮 100 来降低潜在的声发射,以便减小噪声。

[0024] 图 2 是示例性风力涡轮 100 的机舱 106 的截面透视图。风力涡轮 100 的各种构件容纳在风力涡轮 100 的塔架 102 顶部上的机舱 106 中。毂 110 包括多个变桨驱动机构,其中,一个变桨驱动机构 130 联接到一个叶片 112 (在图 1 中显示) 上。变桨驱动机构 130 调整相关联的叶片 112 沿着变桨轴线 118 的变桨。对于具有三个转子叶片 112 的示例性风力涡轮 100,在图 2 中仅显示了三个变桨驱动机构 130 中的一个,其中,各个变桨驱动机构 130 包括至少一个变桨驱动马达 131。变桨驱动马达 131 是使得变桨驱动机构 130 能够如本文所描述的那样起作用的、由电功率驱动的任何电动马达。或者,变桨驱动机构 130 包括任何适当的结构、构造、布置和 / 或构件,例如但不限于液压缸、弹簧和伺服机构。另外,变桨驱动机构 130 可通过任何适当的方式驱动,例如但不限于,液压流体和 / 或机械动力 (例如但

不限于诱生的弹簧力和 / 或电磁力)。

[0025] 机舱 106 还包括通过转子轴 134(有时称为低速轴)、齿轮箱 136、高速轴 138 和联接件 140 可旋转地联接到定位在机舱 106 内的发电机 132 上的转子 108。转子轴 134 的旋转可旋转地驱动齿轮箱 136，齿轮箱 136 随后可旋转地驱动高速轴 138。高速轴 138 通过联接件 140 可旋转地驱动发电机 132，且高速轴 138 旋转导致发电机 132 产生电功率。齿轮箱 136 和发电机 132 分别由支承件 142 和 144 支承。在该示例性实施例中，齿轮箱 136 使用多载荷路径齿轮布置来驱动高速轴 138。或者，在直接驱动构造中，主转子轴 134 联接到发电机 132 上。

[0026] 机舱 106 进一步包括偏航驱动组件 146，使用该偏航驱动组件 146 来使机舱 106 和转子 108 在轴线 116(在图 1 中显示)上旋转，以控制转子叶片 112 相对于风 124 的方向的投影，如本文更加详细地描述。机舱 106 还包括至少一个气象杆 148。杆 148 包括风向标和风速计(两者在图 2 中均未显示)。杆 148 为涡轮控制系统(未显示)提供可包括风向和 / 或风速的信息。涡轮控制系统的一部分驻留在控制面板 150 内。在该示例性实施例中，机舱 106 包括前支承轴承 152 和后支承轴承 154。或者，机舱 106 可包括使得风力涡轮 100 能够如本文所描述的那样起作用的任何数量的轴和轴承支承布置。支承轴承 152 和 154 提供转子轴 134 的径向支承和对准，以及使得能够将与转子 108 相关联的全部载荷传递到塔架 102，并且最终传递到支承面 104 中。

[0027] 风力涡轮 100 包括变桨控制系统 200。在一个实施例中，变桨控制系统 200 的至少一部分定位在机舱 106 中。或者，变桨控制系统 200 的至少一部分定位在机舱 106 外部。特别地，本文描述的变桨控制系统 200 的至少一部分包括至少一个处理器 202 和存储装置(未显示)，以及至少一个输入 / 输出(I/O)导线管 204，其中，I/O 导线管 204 包括至少一个 I/O 通道(未显示)。更特别地，处理器 202 定位在控制面板 150 内。变桨控制系统 200 基本提供了本文所描述的风力涡轮噪声减小的技术效果。

[0028] 如本文所用，术语处理器不限于在本领域中称为计算机的集成电路，而是宽泛地指微控制器、微型计算机、可编程逻辑控制器(PLC)、专用集成电路，以及其它可编程的电路，且这些术语在本文中可互换地使用。在本文描述的实施例中，存储器可包括但不限于诸如随机存取存储器(RAM)的计算机可读介质，以及诸如闪存的计算机可读的非易失性介质。或者，也可使用软盘、压缩盘 - 只读存储器(CD-ROM)、磁光盘(MOD)以及 / 或者数字多功能盘(DVD)。而且，在本文描述的实施例中，额外的输入通道可包括但不限于与操作者接口相关联的计算机外围设备，例如鼠标和键盘。或者，也可使用可包括但不限于扫描仪的其它计算机外围设备。另外，在该示例性实施例中，额外的输出通道可包括但不限于操作员接口监视器。

[0029] 如本文所描述的处理器 202 和其它处理器(未显示)处理传输自多个电气装置和电子装置的信息，该多个电气装置和电子装置可包括但不限于叶片变桨位置反馈装置 206(在下面进一步描述)和电功率发生反馈装置(未显示)。RAM 和储存装置(未显示)储存和传送待由处理器 202 执行的信息和指令。还可使用 RAM 和储存装置来在处理器 202 执行指令期间储存临时变量、静态和动态(即不变的和变化的)信息和指令或其它中间信息以及将它们提供给处理器 202。所执行的指令包括但不限于常驻的叶片变桨系统 200 控制命令。指令序列的执行不限于硬件电路和软件指令的任何特定的组合。

[0030] 在该示例性实施例中，变桨控制系统 200 的至少一部分 - 包括但不限于处理器 202，定位在控制面板 150 内。此外，处理器 202 通过至少一个 I/O 导线管 204 联接到叶片变桨驱动马达 131 上。I/O 导线管 204 包括具有任何构架的任何数量的通道，包括但不限于 Cat5/6 线缆、双绞线和无线通讯特征。变桨控制系统 200 可包括分布式和 / 或集中式控制构架。

[0031] 变桨控制系统 200 还包括通过至少一个 I/O 导线管 204 与处理器 202 联接的多个独立的叶片变桨位置反馈装置 206。在该示例性实施例中，各个变桨驱动机构 130 与单个叶片变桨位置反馈装置 206 相关联。或者，任何数量的叶片变桨位置反馈装置 206 可与各个变桨驱动机构 130 相关联。因此，在该示例性实施例中，变桨驱动机构 130 和关联的驱动马达 131 以及叶片变桨位置反馈装置 206 包括在本文所描述的系统 200 中。各个叶片变桨位置反馈装置 206 测量各个叶片 112 的变桨位置，或者更具体地测量各个叶片 112 相对于风 124（在图 1 中显示）和 / 或相对于毂 110 的角度。叶片变桨位置反馈装置 206 可包括具有在风力涡轮 100 内或远离风力涡轮 100 的任何适当定位的任何适当的传感器，例如但不限于，光学角度编码器、磁性旋转编码器以及增量式编码器或它们的一些组合。此外，叶片变桨位置反馈装置 206 将基本表示相关联的叶片 112 变桨位置的变桨量度信号（未显示）传输到处理器 202，以便对其进行处理。

[0032] 图 3 是示出了示例性变桨驱动机构 130 的毂 110 的截面图。在该示例性实施例中，变桨驱动机构 130 操作性地联接到处理器 202（在图 2 中显示）上，以便于藉此进行控制，且变桨驱动机构 130 包括具有变桨传动齿轮 252 和变桨环形齿轮 254 的至少一个变桨促动器 250，变桨传动齿轮 252 和变桨环形齿轮 254 操作性地联接到毂 110 和转子叶片 112 上。在风力涡轮操作期间，变桨促动器 250 通过使转子叶片 112 相对于毂 110 旋转来改变转子叶片 112 的桨距角，如在本文中更加详细地描述。更具体地说，变桨环形齿轮 254 联接到转子叶片 112 上，从而使得变桨传动齿轮 252 的旋转使转子叶片 112 绕着旋转轴线 256 旋转，从而改变转子叶片 112 的桨距。在一个备选实施例中，变桨促动器 250 可包括使得变桨驱动机构 130 能够如本文描述的那样起作用的任何适当的结构、构造、布置和 / 或构件，包括但不限于电动马达、液压缸、弹簧和 / 或伺服机构。此外，变桨促动器 250 可由任何适当的系统驱动，包括但不限于液压流体、电功率、电化学动力和 / 或机械动力（诸如，例如弹簧力）。

[0033] 在该示例性实施例中，在 0 英里 / 小时 (MPH) 但低于切入速度的风速度处，转子叶片 112 定位在完全顺桨位置 260 处，即完全变桨到接近的风 124 中，且发电机转子速度等于或约等于 0 转 / 分钟 (RPM)。当风速度增大到切入速度时，转子叶片 112 变桨到全操作位置 262。刚好在切入速度之前，转子叶片 112 将变桨到中间位置 264，以有助于加强转子轴速度的增加，如在本文中更加详细地描述。

[0034] 变桨促动器 250 可由从转子 108 的旋转惯量中提取的能量和 / 或在联接到风力涡轮 100 上的电气载荷和 / 或动力源中的异常期间对风力涡轮 100 的构件（例如但不限于变桨驱动机构 130）供应能量的存储能量源（未显示）驱动。例如，电气载荷和 / 或动力源中的异常可包括但不限于动力故障、欠压状态、过压状态和 / 或超出频率状态。因而，存储能量源使得转子叶片 112 能够在异常期间进行变桨。虽然可使用其它存储能量源，但是在一些实施例中，存储能量源包括液压蓄能器、发电机、存储的弹簧能、电容器和 / 或电池。存储

能量源可位于风力涡轮 100 内、风力涡轮 100 上、风力涡轮 100 附近和 / 或风力涡轮 100 远处的任何地方。在一些实施例，存储能量源存储从转子 108 的旋转惯量中提取的能量和 / 或其它辅助能量源，例如但不限于，联接到风力涡轮 100 上的辅助风力涡轮（未显示）、太阳能电池板和 / 或水力发电设备。

[0035] 图 4 是适于与图 1 所示的示例性风力涡轮 100 一起使用的示例性风力涡轮叶片组件 300 的截面图。在该示例性实施例中，流动分离被多个主动式流动修改装置 302（诸如，例如吹流或吸流、压电合成式射流或零净质量促动器、诸如双重双压电晶片合成射流（DBSJ）装置的其它合成射流装置，或它们的任何组合）抑制（例如减少和 / 或延迟）。在一个备选实施例中，可使用非零质量的流动促动装置，例如“突然改向的（flip-flop）”或交替的射流、提供脉冲调制的速度射流以及吹流或吸流的射流振荡器。

[0036] 流动分离点表示为与上游位置 306 相对而处于位置 304 处，在位置 304 处，其将在没有主动式流动修改的情况下自然地产生。在该示例性实施例中，通过引入基本沿着邻近叶片的风流具有较大的动量和涡度分量的稳定的或不稳定的（时间依赖性的）射流 308 来抑制流动分离。射流 308 以已知为“切变层混合”的过程的形式在邻近叶片的风流中增加动量和涡度。当涡度和动量由主动式流动修改增加时，至少部分地对边界层的动量不足重新供给能量，且流动分离受到抑制，且增强了可用的升力。其中分离已被抑制的空气流协助为转子叶片 112 增加升力，从而对于给定的叶片长度提高涡轮的性能，或者对于给定水平的性能减小可能需要的叶片弦尺寸。更具体地说，本文所描述的示例性风力涡轮 100 使得能够用减小的弦尺寸来更换增大的叶片长度，从而对于相同的或更低的叶片重量（即赋予风力涡轮 100 的转子 108 载荷）产生增大的能量产量。主动式流动修改装置 302 可以特定的射流 - 入射流比率和相对于邻近转子叶片 112 的风流的特定的射流角来增加或减少动量和涡度，其中，这种角度可根据期望的性能状态范围而变化。

[0037] 图 5 是适于与图 1 所示的示例性风力涡轮 100 一起使用的一个备选风力涡轮叶片组件 400 的截面图。在该示例性实施例中，主动式流动修改装置 402 促进流动分离。例如，流动分离点表示为与下游位置 406 相对而处于位置 404 处，在位置 404 处，其将在没有主动式流动修改的情况下自然地产生。通过引入具有基本中断邻近转子叶片 112 的风流的较大的动量分量的稳定的或不稳定的射流 408 来促进流动分离。稳定的或不稳定的射流 408 启动邻近叶片的风流中的流动分离。在该示例性实施例中，射流 408 可为阻碍邻近叶片的自然风流的偏斜的射流。受到促进的流动分离导致降低的升力，且可有利地采用该受到促进的流动分离来减轻风力涡轮操作期间的不合需要的加载状态。这种不合需要的状态包括导致转子叶片 112 的增大的加载（增加的升力）以及风力涡轮 100 上的附带影响的增大的风流速度的情况。在图 5 中显示且在本文中描述的实施例提供了（即，使得可以）通过主动地修改邻近转子叶片 112 的风流而在某些情况下几乎立即人工地降低升力。主动式流动修改装置 402 可以特定的射流 - 入射流比率、并且以相对于邻近转子叶片 112 的风流的特定的角度来增加中断性动量，且这种角度可根据期望的性能状态范围而变化。

[0038] 图 6 是示出了风力涡轮操作状态 502 的图表 500，其中，风力涡轮叶片桨距关于风速度而有所不同，以有助于涡轮操作，在该示例性实施例中，涡轮操作包括控制发电机速度和功率产生（如本文更加详细地描述）。更具体地说，图 6 示出了随风速度 506 变化的功率曲线 504、随风速度 506 变化的风力涡轮发电机速度图示 508，以及随风速度 506 变化的风

力涡轮转子变桨图示 510。在该示例性实施例中，在 0 英里 / 小时 (MPH) 520 但低于切入速度 526 的风速度处，转子叶片 112 定位在完全顺桨位置 522 上，即完全变桨到接近的风 124 中，且发电机转子速度 524 等于或约等于 0 转 / 分钟 (RPM)。或者，在略微大于 0 MPH520 的风速度处，转子叶片 112 可定位在中间叶片角 530 处，例如诸如从完全顺桨位置 522 至全操作叶片角 528 的总桨距范围的约 24%。

[0039] 在该示例性实施例中，当风速度增大到切入速度 526 时，转子叶片 112 变桨到为约 0° 的全操作位置 528。在该示例性实施例中，刚好在切入速度 526 之前，转子叶片 112 将变桨到中间位置 530，以有助于增强转子轴速度的增加。在一个备选实施例中，转子叶片 112 可不在切入速度 526 之前变桨，而是可备选地保持完全顺桨位置 522，直到达到切入速度 526 为止。

[0040] 当风速度增大超过切入速度 526 时，实现切入状态 532，且开始 534 可收费的功率产生（即发送到电网的电）。更具体地说，发电机 132 开始产生功率 534，在该示例性实施例中，功率在切入状态 532 处为整个发电机额定值 536 的约 2%（如在本文中更加详细地描述）。或者，发电机 132 产生使得风力涡轮 100 能够如本文所描述的那样起作用的任何量的功率。

[0041] 在风速度增大到速度 538 而使得发电机 132 达到额定速度 540 时，转子叶片桨距继续保持 542 在全操作模式处，即约 0° 桨距构造。在该示例性实施例中，在风速度 532 和风速度 538 之间，功率产生 544 基本以风速度的三次方的方式增加，直到风速度有助于使发电机速度增加到表示风力涡轮 100 的额定功率水平 536 的点 546 为止。在该示例性实施例中，在风速度 550 处，转子叶片 112 开始朝向顺桨变桨 552，从而使得功率产生保持在额定功率水平 536 处。在一个备选实施例中，可在调峰模式 554 中调整转子叶片 112，以有助于在达到风力涡轮的额定功率水平 536 之前降低风力涡轮载荷。更具体地说，当在调峰模式 554 中时，在达到风力涡轮 100 的额定功率水平 536 之前，逐渐朝向顺桨构造 556 调整转子叶片 112。

[0042] 当风速达到切出速度 560 时，将转子叶片 112 调整到完全顺桨构造 562（相当于完全顺桨位置 522），且发电机 132 达到切出状态 564，其中，功率发生和发电机速度降低到约 0，由点 566 指示。这种构造保护风力涡轮 100 免于由于超过风力涡轮构件的机械载荷（力和力矩）和扭矩限制而对这样的风力涡轮构件造成损害。

[0043] 图 7 是示出了使用主动式流动控制 (AFC) 装置（诸如，例如图 4 所示的主动式流动修改装置 302）的风力涡轮操作状态 602 的图表 600，其中，风力涡轮叶片桨距关于风速度而有所不同，以有助于包括与功率产生配合来控制区 679 中的发电机速度的风力涡轮操作（如在本文中更加详细地描述）。更具体地说，图 7 示出了随风速度 606 变化的功率曲线 604、随风速度 606 变化的风力涡轮发电机速度图示 608、随风速度 606 变化的风力涡轮转子变桨图示 610，以及随风速度 606 变化的 AFC 装置操作幅度图示 612。在该示例性实施例中，在约 0 英里 / 小时 (MPH) 620 的风速度处，转子叶片 112 定位成完全顺桨构造 622，即完全变桨到接近的风 124 中，且发电机转子速度 624 等于或约等于 0 转 / 分钟 (RPM)。或者，在略微高于 0 MPH620（但低于切入速度 626）的风速度处，转子叶片 112 可定位在中间叶片角 630 处，例如诸如从完全顺桨位置 622 到全操作叶片角 628 的总变桨范围的约 24%。

[0044] 在该示例性实施例中，当风速度增大到切入速度 626 时，转子叶片 112 变桨到为

约 0° 的全操作位置 628。在该示例性实施例中,刚好在切入速度 626 之前,转子叶片 112 将变桨到中间位置 630,以有助于增强转子轴速度的增加。在一个备选实施例中,转子叶片 112 可不在切入速度 626 之前变桨,而是可备选地保持完全顺桨构造 622,直到达到切入速度 626 为止。

[0045] 当风速度增大超过切入速度 626 时,实现切入状态 632,且开始 634 可收费的功率产生(即发送到电网的电)。更具体地说,发电机 132 开始产生功率 634,在该示例性实施例中,功率在切入状态 632 处为全发电机额定值 636 的约 2% (如在本文中更加详细地描述)。或者,发电机 132 在切入状态 632 处产生使得风力涡轮 100 能够如本文描述的那样起作用的任何功率量。

[0046] 当风速度增大超过切入状态 632 时,发电机 RPM 速度随之基本线性地 637 增加,且在启动风速 638 处,启动 639 主动式流动控制(AFC)装置。更具体地说,且在该示例性实施例中,在启动风速 638 处,以最小或基本最小的设置 640 启动 639AFC 装置,如在本文中更加详细地描述。基本在 AFC 装置的启动 639 的同时,处理器 202 略微朝向顺桨位置 641(诸如,例如完全顺桨位置的 5% -10%)调节转子叶片 112,以有助于发电机速度在达到发电机额定速度 642 时的平稳过渡。在一个备选实施例中,使用不同的叶片设计,前述桨距调节可为相反的,且略微超过操作位置(即远离顺桨)。在启动 639AFC 装置之后,发电机速度随具体的叶片设计、与 AFC 装置启动 639 相关联的桨距和寄生功率要求的变化而略微减小 644。当风速增大超过启动风速 638 时,发电机速度达到最小 AFC 过渡点 646,且随 AFC 装置设置 650 的提高而自最小 AFC 过渡点 646 增大 648。桨距设置保持 652 在全操作角以下的角度处,如本文所描述。

[0047] 在该示例性实施例中,当风速度增大超过最小 AFC 过渡点 646 而到达速度 654 时,发电机 132 达到发电机额定速度 642,且转子叶片桨距继续保持 652 在小于全操作位置 628 的角度处(如本文所描述)。在一个备选实施例中,使用不同的叶片设计,前述桨距调节可为相反的,且略微超过操作位置(即远离顺桨或大于全操作位置)。AFC 装置提高到完全启动构造 658,以有助于提高升力,同时基本阻止空气流从转子叶片 112 分离。在一个备选实施例中,AFC 装置可持续地、线性地或非线性地提高 660 到全开构造,或以其任何组合的方式以预定增量步进到全开构造。

[0048] 当风速度增大超过速度 654 而达到速度 662 时,发电机速度保持在额定速度 664 处,同时朝向约 0° 的全操作位置 666 调节转子叶片桨距,以根据功率曲线 604 来保持功率发生。在该示例性实施例中,当风速度增大超过速度 662 时,在调峰模式 668 中,结合 AFC 装置操作 670 的降低来调整转子叶片 112,以有助于在达到风力涡轮 100 的额定功率水平 672 之前降低风力涡轮载荷。更具体地说,且在该示例性实施例中,当在调峰模式 668 中的同时,在随着功率发生接近额定功率水平 672 而基本同时降低 AFC 装置操作 670 的情况下达到风力涡轮 100 的额定功率水平 672 之后,逐渐朝向顺桨构造 674 调整转子叶片 112。

[0049] 当风速度 606 继续朝向切出速度 680 增大时,停用 682AFC 装置,且逐渐朝向完全顺桨构造 622 调整转子叶片 112,且发电机速度达到切出状态 684,其中,功率发生和发电机速度减小到约 0,由点 686 指示。这种构造保护风力涡轮 100 免于由于超过风力涡轮构件的机械载荷(力和力矩)和扭矩限制而对这样的风力涡轮构件造成损害。

[0050] 以上详细描述了主动式流动控制系统和操作策略的示例性实施例。用于实现这种

主动式流动控制系统的上述方法有助于 AFC 装置的有效使用。更具体地说，本文描述的系统和方法使基本一致的 AFC 操作与转子叶片变桨控制结合，以有助于通过提高和降低转子叶片上的升力来减轻一致的和不一致的转子（风）级（scale）事件（即阵风）、风切变事件，以及本地噪声发生事件。这样的策略以在涡轮操作状态的范围上对 AFC 装置供以动力通常所需的低寄生功率消耗来提供最大能量产生。使用这种 AFC 系统进一步有助于提供在转子叶片的至少一部分上具有减小的弦长的转子叶片，继而使得在伴随有能量产生的增加而不会增加载荷的情况下实现增大的叶片长度（即增大的转子扫掠面积），且在较宽的操作条件范围上提高叶片效率。这种构造有助于提高风力涡轮系统的总值，同时降低能量产生的成本。

[0051] 虽然在用于在风力涡轮叶片上实施主动式流动控制系统的方法的上下文中对本文描述的设备和方法进行了描述，但要理解的是，设备和方法不限于风力涡轮应用。类似地，所示的系统构件不限于本文描述的具体实施例，而是相反，可与本文描述的其它构件独立地且分开地使用系统构件。

[0052] 如本文所用，以单数叙述且前面有词语“一个”或“一种”的元件或步骤应当理解为不排除复数元件或步骤，除非明确叙述了这种排除。另外，对本发明的“一个实施例”的参照并不意图解释为排除也结合了所叙述的特征的额外的实施例的存在。

[0053] 书面描述使用实例来公开本发明，包括最佳模式，且还使任何本领域技术人员能够实践本发明，包括制造和使用任何装置或系统，以及执行任何结合的方法。本发明的可授予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实例。如果这种其它实例具有不异于权利要求书的字面语言的结构元素，或者如果这种其它实例包括与权利要求书的字面语言无实质性差异的等效结构元素，则这种其它实例意图处于权利要求书的范围之内。

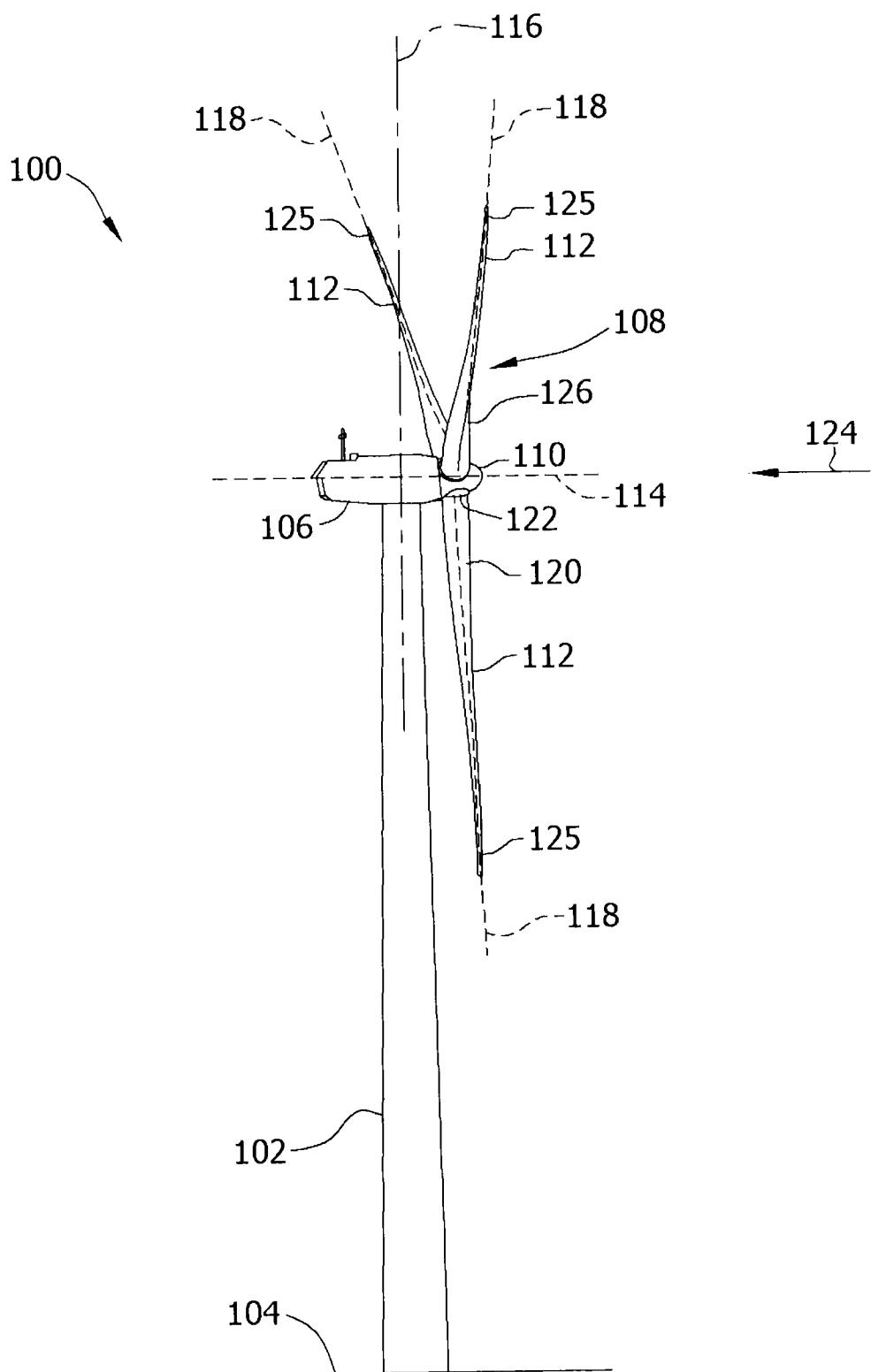


图 1

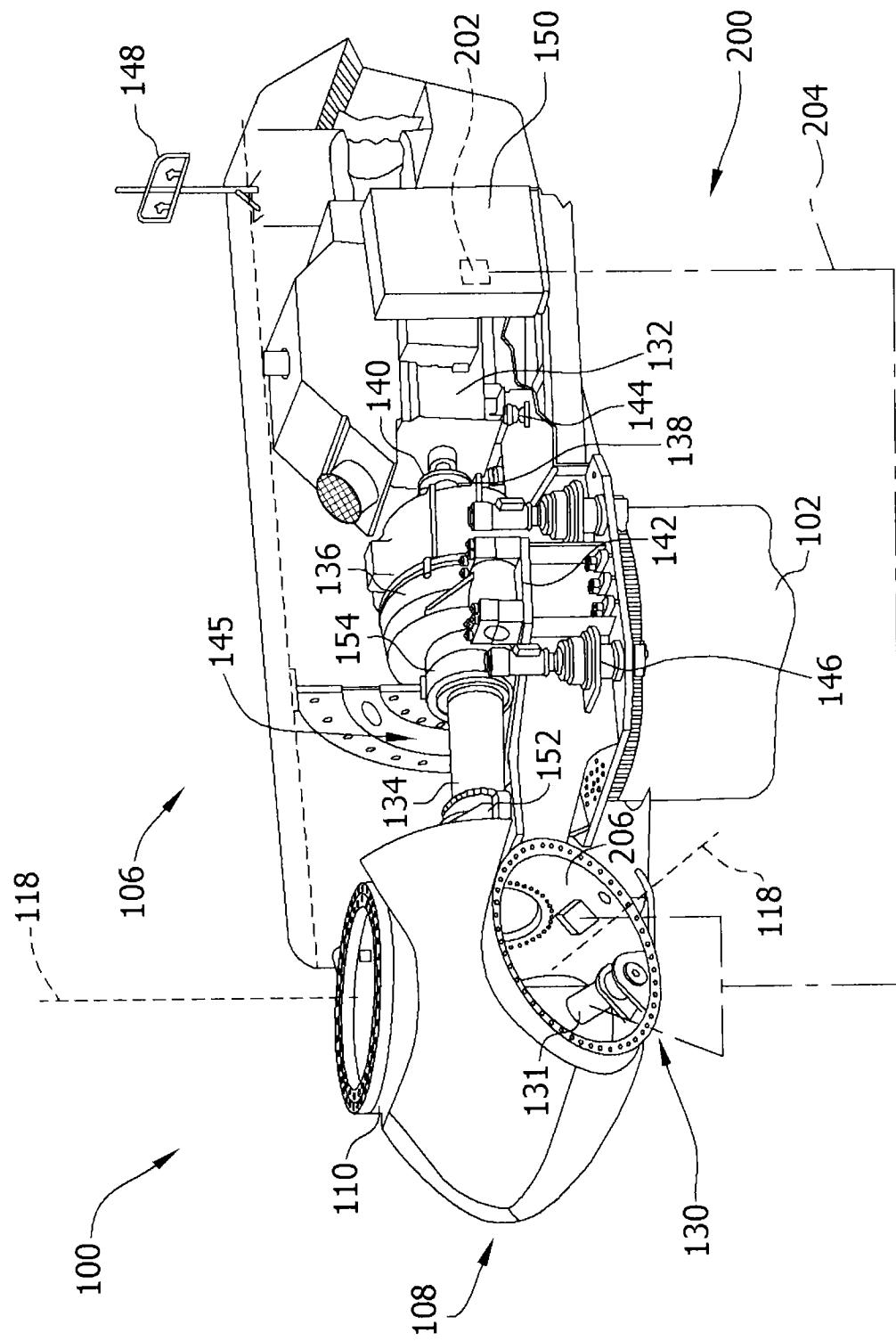


图 2

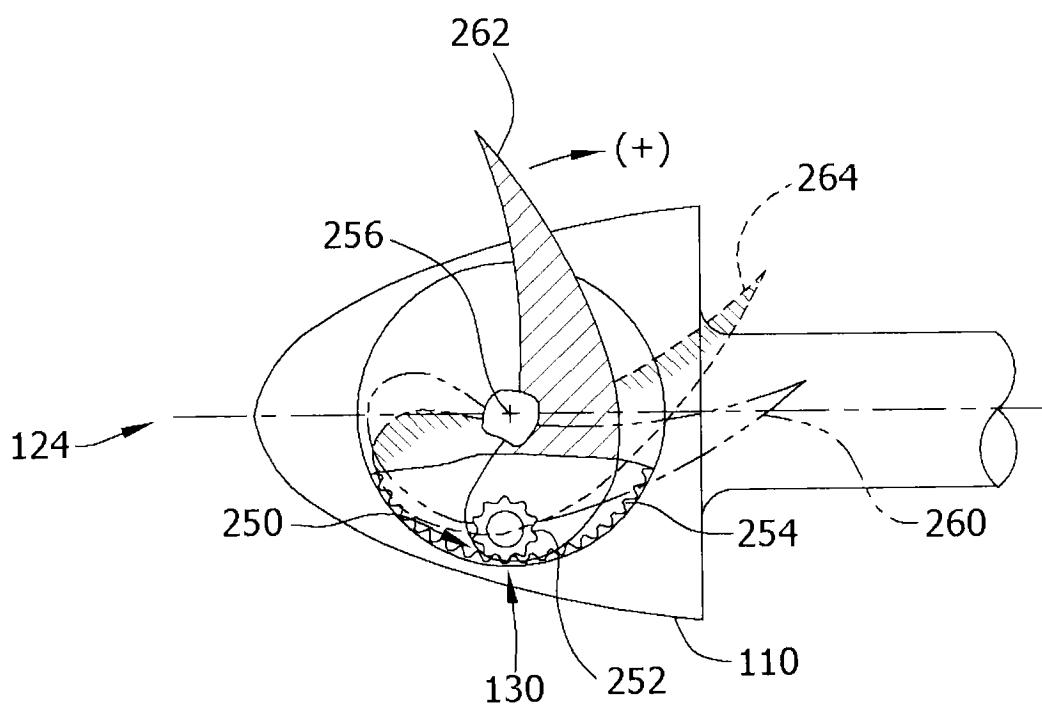


图 3

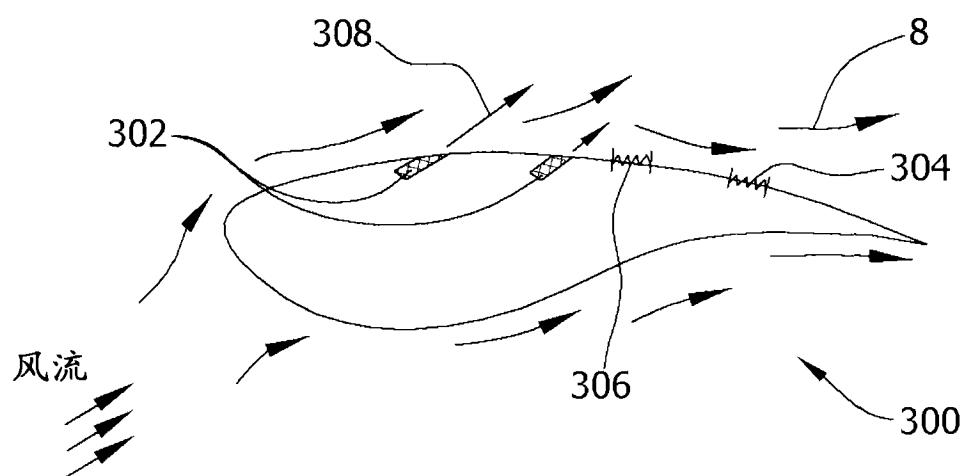


图 4

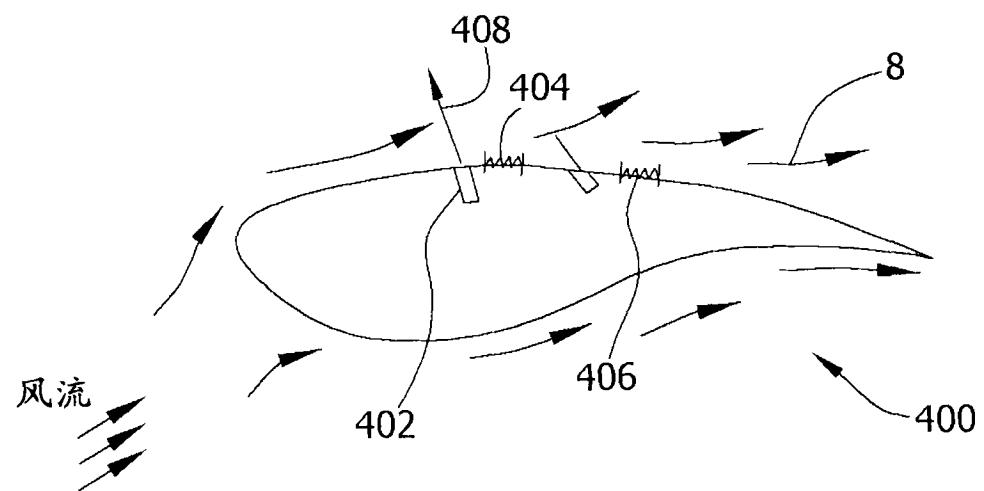


图 5

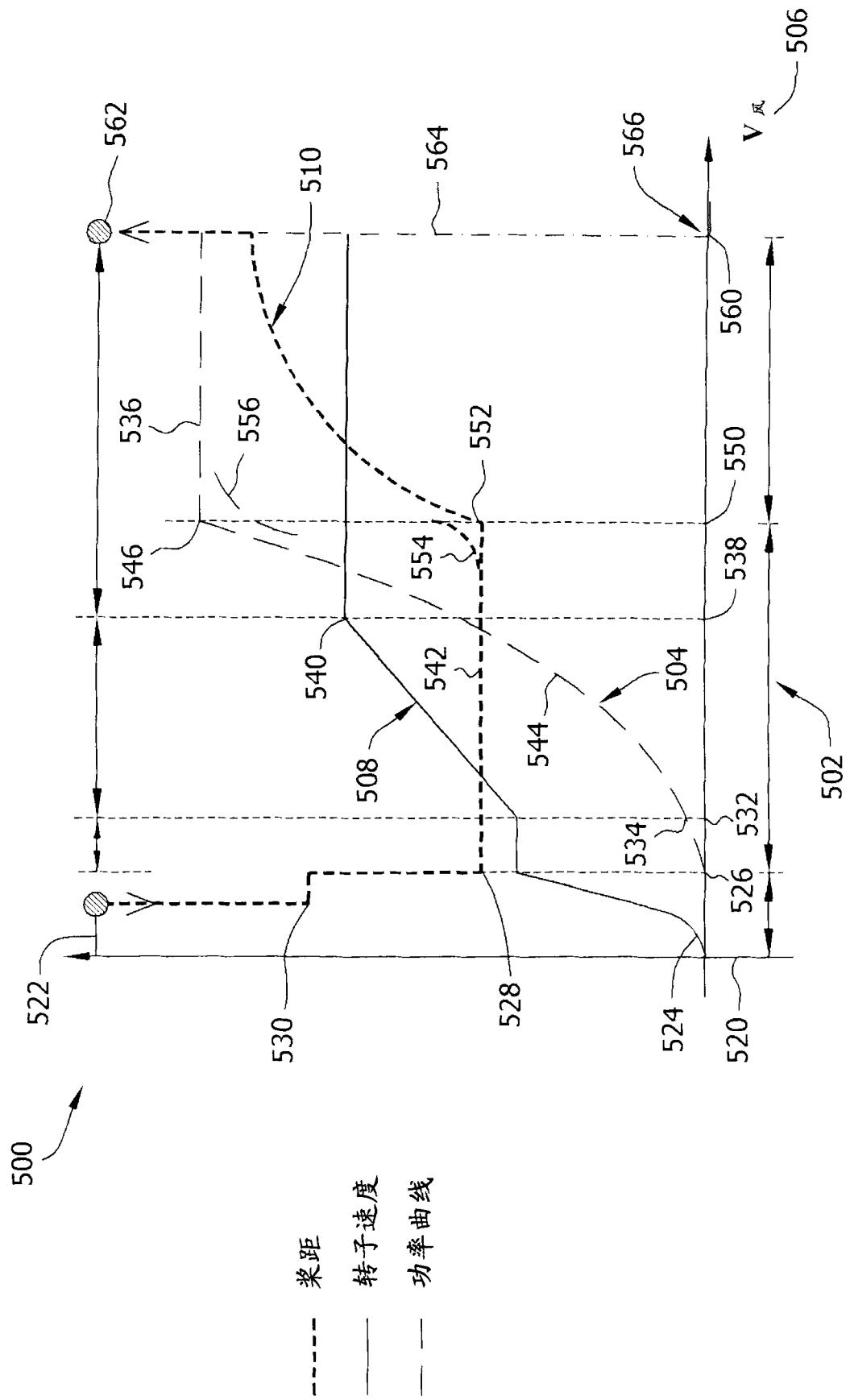


图 6

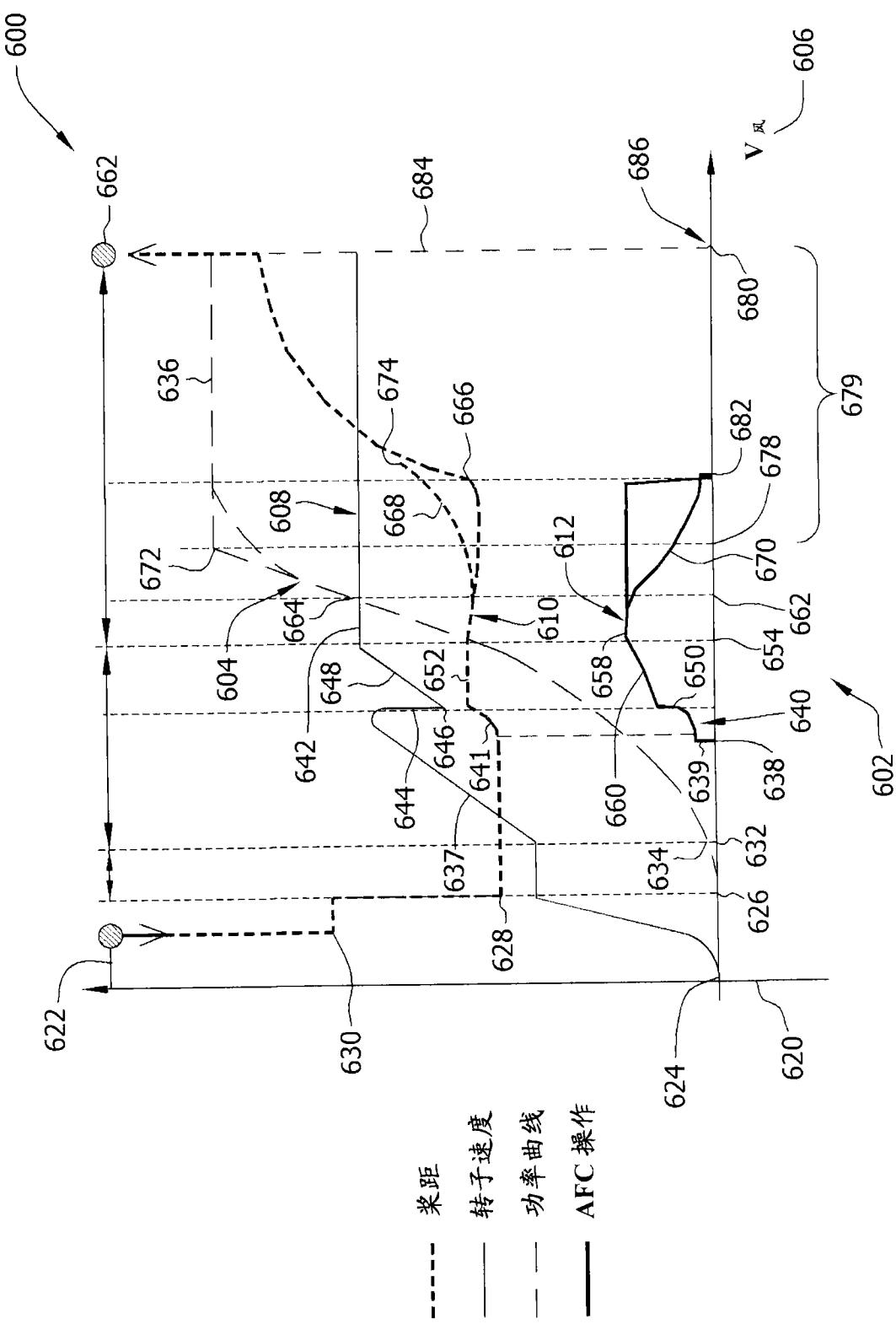


图 7