



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102192087 A

(43) 申请公布日 2011.09.21

(21) 申请号 201110057225.7

(22) 申请日 2011.03.10

## (30) 优先权数据

10156049.8 2010.03.10 EP

(71) 申请人 西门子子公司

地址 德国慕尼黑

(72) 发明人 P. 埃格达尔 O. 克贾尔

S. O. 林德 H. 斯蒂斯达尔

M. 温特 - 詹森

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

72001

代理人 王岳 卢江

## (51) Int. Cl.

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

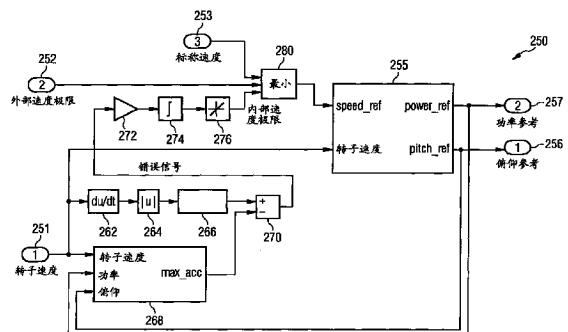
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 2 页

## (54) 发明名称

基于转子加速度的风力涡轮机的旋转速度控制

## (57) 摘要

本发明涉及基于转子加速度的风力涡轮机的旋转速度控制。描述了一种用于尤其是在高风速下控制风力涡轮机(100)的转子(110)的旋转速度的方法。所述方法包括(a)确定转子加速度值，其中，该转子加速度值是由转子(110)的旋转速度的时间变化引起的，以及(b)根据所述转子加速度值来控制转子(110)的旋转速度。还描述了一种用于控制风力涡轮机(100)的转子(110)的旋转速度的控制系统(150、250)和一种计算机程序，风力涡轮机(100)装配有此类控制系统(150、250)，所述计算机程序适合于控制和 / 或执行上述旋转速度控制方法。



1. 一种用于尤其是在高风速下控制风力涡轮机(100)的转子(110)的旋转速度的方法,该方法包括:

- 确定转子加速度值,其中,所述转子加速度值是由转子(110)的旋转速度的时间变化引起的,以及

- 根据转子加速度值来控制转子(110)的旋转速度。

2. 如前述权利要求所述的方法,其中控制转子(110)的旋转速度包括:

- 确定基于转子加速度值的内部速度极限,以及

- 根据所确定的内部速度极限来控制转子(110)的旋转速度。

3. 如前述权利要求所述的方法,其中由速度参考值来控制转子(110)的旋转速度,由此速度参考值是取自以下的最小值:

- (a) 内部速度极限,以及

- (b) 外部速度极限和 / 或标称速度参考值。

4. 如前述权利要求所述的方法,其中控制转子(110)的旋转速度,包括:

- 基于速度参考值来确定发电参考值和 / 或叶片俯仰角参考值,以及

- 使用发电参考值来操作风力涡轮机(100)和 / 或使转子(110)的至少一个叶片(114)的叶片俯仰角适合叶片俯仰角参考值。

5. 如前述权利要求中的任一项所述的方法,其中确定内部速度极限包括:

- 测量转子(110)的旋转速度,以及

- 通过取所测量的旋转速度相对于时间的导数来计算转子加速度值。

6. 如前述权利要求所述的方法,其中确定内部速度极限还包括:

- 取所计算的转子加速度值的绝对值。

7. 如前述权利要求 5 和 6 中的任一项所述的方法,其中确定内部速度极限还包括:

- 过滤所计算的转子加速度值。

8. 如前述权利要求 5 和 6 中的任一项所述的方法,其中确定内部速度极限还包括:

- 确定表示最大容许转子加速度的加速度极限,以及

- 将转子加速度值与所确定的加速度极限相比较。

9. 如前述权利要求 8 所述的方法,其中基于表征风力涡轮机(100)的实际操作状态的以下参数中的至少一个来确定所述加速度极限:

- (a) 转子(110)的旋转速度,

- (b) 发电量,以及

- (c) 转子(110)的至少一个叶片(114)的俯仰角。

10. 如前述权利要求 8 和 9 中的任一项所述的方法,其中基于所估计的风速、实际风速和 / 或所估计和 / 或实际风速的变化来确定加速度极限。

11. 如前述权利要求 8 至 10 中的任一项所述的方法,其中确定内部速度极限还包括在时间上对转子加速度值与所确定的加速度极限的比较结果求积分。

12. 一种用于尤其是在高风速下控制风力涡轮机(100)的转子(110)的旋转速度的控制系统,该控制系统(150、250)包括:

- 确定装置(262、264、266、268、270、272、274、276),用于确定转子加速度值,其中,转子加速度值是由转子(110)的旋转速度的时间变化引起的,以及

- 控制单元(255),用于根据所确定的转子加速度值来控制转子(110)的旋转速度。

13. 一种用于发电的风力涡轮机,该风力涡轮机(100)包括:

- 转子(110),具有至少一个叶片(114),其中
  - 转子(110)可绕着旋转轴(110a)旋转,以及
  - 至少一个叶片(114)相对于旋转轴(110a)径向延伸,
- 发电机(128),机械地与转子(110)耦合,以及
- 如前述权利要求所述的控制系统(150、250)。

14. 一种用于尤其是在高风速下控制风力涡轮机(100)的操作的计算机程序,所述计算机程序在被数据处理器执行时适合于控制和 / 或执行如权利要求 1 至 10 中的任一项所述的方法。

## 基于转子加速度的风力涡轮机的旋转速度控制

### 技术领域

[0001] 本发明涉及操作风力涡轮机的技术领域。尤其是，本发明涉及用于控制风力涡轮机的转子的旋转速度的方法。此外，本发明涉及用于控制风力涡轮机的转子的旋转速度的控制系统、装配有此类控制系统的风力涡轮机和计算机系统，其适合于控制和 / 或执行所述旋转速度控制方法。

### 背景技术

[0002] 风力涡轮机的转子叶片暴露于大的动态机械载荷，特别是当用包括高速度的强风来操作风力涡轮机时。因此，风力涡轮机的转子叶片和相应支承结构的尺寸已被确定为能够经受住可能发生的大动态载荷，即使驱动风力涡轮机的风是强的。然而，在极限风条件的情况下，必须降低风力涡轮机的结构组件上的风载荷以便避免风力涡轮机的任何损坏。

[0003] 目前，存在在大风情况下操控(handle)风力涡轮机的许多已知方法。从而，术语“操控风力涡轮机”意指以这样的方式来操作风力涡轮机即使得作用于诸如风力涡轮机的转子叶片的结构组件上的各种机械载荷被保持在安全极限(limit)内。

[0004] 用来在大风条件下降低风力涡轮机上的风载荷的很保守的现有措施是简单地在风速超过一个或多个阈值时将风力涡轮机关机。从而，可以在风速超过约 25m/s 的值达到约 10 分钟时、在风速超过约 28m/s 的值达到约 30 秒时或在风速超过约 32m/s 的值达到约 1 秒时将风力涡轮机关机。

[0005] 此保守措施的问题是当许多风力涡轮机同时遇到大风时，所有相关风力涡轮机的发电在短时间内从满负荷生产转为零生产。此类快速变化对电网的稳定性提出严峻的挑战，因为电网的其余供电装置需要非常快速地产能提升(ramp up)以避免由于电过载而引起的低频情况。

[0006] EP 0 847 496 B 公开了用于限制作用在风力涡轮机上的机械载荷的另一措施。从而，当达到有在机械上使风力涡轮机过载的危险的风速时，转子的工作速度依赖于风速的上升而连续地降低。

[0007] US 2007/216166A 公开了一种用于降低风力涡轮机的功率输出或转子速度的方法。从而，降低的量不是简单地基于所测量的风速，而是基于一个或多个转子叶片的实际俯仰角。叶片俯仰角是输入值，一方面可以在物理上并通过适当的控制技术容易地对其进行检测，另一方面，其为风力涡轮机上的机械应力的良好指示符。

[0008] WO 2001/33075 A1 公开了一种控制风力涡轮机的操作的方法，其中，测量作用在风力涡轮机的转子的叶片上的机械载荷。通过控制叶片的俯仰角，可以在风力涡轮机操作期间将所测量的机械载荷保持在某些极限以下。

[0009] EP 2 096 301 A2 公开了一种用于操作风力涡轮机厂的方法，该风力涡轮机厂包括多个风力涡轮机(每个具有包括被安装到可旋转涡轮机轴的至少一个叶片的涡轮机转子)和感应发电机(具有定子和被耦合到涡轮机轴以便与之一起旋转的转子)。测量风速并响应于所测量的风速来确定功率降额因数(derating factor)。所确定的降额因数被传送

至多个风力涡轮机。然后响应于该功率降额因数来调整所述多个风力涡轮机中的每一个的发电量。

[0010] 可能需要提供一种用于风力涡轮机的操作的高效且灵活的控制过程，其至少在某些强风条件下允许使风力涡轮机保持操作。

## 发明内容

[0011] 由根据独立权利要求的主题来满足此需要。由从属权利要求来描述本发明的有利实施例。

[0012] 根据本发明的第一方面，提供了一种用于尤其是在高风速下控制风力涡轮机转子的旋转速度的方法。所提供的方法包括(a)确定转子加速度值，其中，该转子加速度值是由转子的旋转速度的时间变化引起的，以及(b)根据所述转子加速度值来控制转子的旋转速度。

[0013] 所述风力涡轮机操作控制方法是基于能够将实际转子加速度考虑在内以便控制风力涡轮机转子的旋转速度的思想。从而，可以使用转子的加速度作为用于机械载荷的指示，该机械载荷目前作用于风力涡轮机的结构组件(例如转子叶片)。

[0014] 为了最佳地控制旋转速度，当然还可以将风力涡轮机的其它操作参数(诸如当前风速和 / 或其它天气条件)的值考虑在内。优选地，如果相当强的风驱动风力涡轮机，则可以接受较低的转子加速度值。从而，如果仅存在相当弱的驱动风力涡轮机的风，则可以接受较大的转子加速度值。

[0015] 优选地，可以通过降低风力涡轮机的旋转速度来降低转子加速度。降低的转子加速度可以尤其是导致转子叶片上的不那么强的空气动力特性。

[0016] 根据本发明的实施例，控制转子的旋转速度包括(a)确定内部速度极限，其是基于转子加速度值，以及(b)根据所确定的内部速度极限来控制转子(110)的旋转速度。

[0017] 可以使用内部速度极限作为用于已知旋转速度控制器的速度参考值。这可以提供这样的优点，即为了实现所述风力涡轮机操作控制方法，不需要执行风力涡轮机硬件设备的显著修改。使用经适当编程的风力涡轮机控制系统就足够了。因此，可在已存在和甚至在已经安装的风力涡轮机中实现所述方法，而不要求用于修改相应风力涡轮机的较大工作量。

[0018] 根据本发明的另一实施例，由速度参考值来控制转子的旋转速度。从而，速度参考值是从(a)内部速度极限和从(b)外部速度极限和 / 或标称速度参考值获取的最小值。这可以提供这样的优点，即如果与其它(一个或多个)速度值相比，内部速度值是最小的，则将只有转子加速度相关的内部速度极限有效。

[0019] 外部速度极限可以是例如由高级(superordinate)控制器提供的参数，所述高级控制器不仅控制单独风力涡轮机的操作，而且控制形成风电场的多个风力涡轮机的操作。外部速度极限可以考虑被连接到风力涡轮机的电网的实际电负载。此外，其它风力涡轮机的实际发电和 / 或其它类型的发电机可能对外部速度极限有影响。

[0020] 标称速度参考值可以是在有效时促使风力涡轮机相对于最大发电以最有效的方式操作的值。标称速度参考值可以尤其是依赖于当前风速。

[0021] 一般而言，可以以不同的方式来指定所述速度参考值：

(A) 如果风力涡轮机应产生最大量的电功率且不存在风力涡轮机的结构组件被损坏或消耗不能允许的大疲劳寿命的风险，则速度参考值将是标称速度参考值。

[0022] (B) 如果存在对风力涡轮机的旋转速度的外部限制，则速度参考值将是外部速度极限。

[0023] (C) 如果转子加速度变得过大，这是结构组件(特别是转子叶片)被暴露于不能允许的大机械载荷的指示，则速度参考值将是所述转子加速度相关的内部速度极限。

[0024] 根据本发明的另一实施例，控制转子的旋转速度包括(a)基于速度参考值来确定发电参考值和 / 或叶片俯仰角参考值和(b)使用所述发电参考值来操作风力涡轮机和 / 或使转子的至少一个叶片的叶片俯仰角适合于叶片俯仰角参考值。

[0025] 所述控制方法可以提供这样的优点，即其能够影响整个风力涡轮机操作控制系统(包括风力涡轮机速度控制机构和叶片俯仰(pitch)伺服控制系统)的行为。例如，如果俯仰系统例如由于冷液压油而是缓慢的，则转子的(一个或多个)加速度可能较高。然而，根据所述方法，可以仅仅进一步降低转子速度以便获得在可接受极限以下的加速度。

[0026] 根据本发明的另一实施例，确定内部速度极限包括(a)测量转子的旋转速度和(b)通过取所测量的旋转速度相对于时间的导数来计算转子加速度值。

[0027] 可以简单地通过测量发电机或任何元件的旋转速度来测量转子的旋转速度，所述元件例如借助于齿轮机构可旋转地耦合到发电机和 / 或转子。

[0028] 根据本发明的另一实施例，确定内部速度极限还包括取所计算的转子加速度值的绝对值。这可以提供这样的优点，即可以使用转子的加速度作为还在其中转子的旋转速度增加的操作条件下的机械载荷的指示。在这方面，应指出的是由旋转速度的降低引起的负加速度也可以指示作用在风力涡轮机的结构组件(特别是转子叶片)上的相当大的机械载荷。

[0029] 根据本发明的另一实施例，确定内部速度极限还包括过滤(filter)所计算的转子加速度值。从而，可以使用平滑信号来进一步处理所计算的转子加速度值。这可以提供这样的优点，即可以显著地增加所述风力涡轮机控制方法的可靠性。

[0030] 根据本发明的另一实施例，确定内部速度极限还包括(a)确定表示最大容许转子加速度的加速度极限，以及(b)将转子加速度值与所确定的加速度极限相比较。

[0031] 所述比较可以尤其是从所计算的转子加速度值减去加速度极限。从而，可以生成错误信号(error signal)，可以以能够实现可靠且有效的风力涡轮机控制的方式使用该错误信号来进一步处理转子加速度值。

[0032] 可以用原始转子加速度值来执行比较。然而，优选地，用上述所过滤和 / 或用所计算的转子加速度值的绝对值来执行比较。

[0033] 根据本发明的另一实施例，基于表征风力涡轮机的实际操作状态的以下参数中的至少一个来确定加速度极限：(a)转子的旋转速度，(b)发电量以及(c)转子的至少一个叶片的俯仰角。这可以提供这样的优点，即可以用包括在通常已知的风力涡轮机中的测量设备来检测风力涡轮机的操作状态。不需要在结构上修改已知风力涡轮机以便能够执行所述控制方法。

[0034] 根据本发明的另一实施例，基于(a)所估计风速、(b)实际风速和 / 或(c)所估计和 / 或实际风速的变化来确定加速度极限。从而，可以借助于任何适当的风速测量设备来

测量风速。此外,另外或可替换地,可以用适当的风速估计方法来估计风速和 / 或风速变化。此类估计方法可以不依赖于风速计的输出,而是依赖于被暴露于风的风力涡轮机的不同操作参数。

[0035] 根据本发明的另一实施例,确定内部速度极限还包括在时间上对转子加速度值与所确定的加速度极限的比较结果求积分(integrate)。这可以提供这样的优点,减速度值将被转换成速率值或速度值。可以容易地将可以表示上述速度极限的结果得到的速度值与上述外部速度极限和 / 或与上述标称速度参考值相比较。

[0036] 应提到的是由时间上的积分得到的物理单位的变化来反映加速度值到速度值的转换。具体而言,当在时间上对加速度值(单位  $m/s^2$ )的进展(progress)求积分时,产生速度(单位  $m/s$ )

还应提到的是所述积分还可以包括与积分器增益(integrator gain)的适当乘法。此外,所述积分还可以包括适当的率限制(rate limiting),这保证最后可以拒绝在先处理链的错误,该错误产生超出极限的结果。

[0037] 根据本发明的另一方面,提供了一种用于尤其是在高风速下控制风力涡轮机转子的旋转速度的控制系统。所述控制系统包括(a)确定装置,其用于确定转子加速度值,其中,该转子加速度值是由转子的旋转速度的时间变化引起的,以及(b)控制单元,其用于根据所确定的转子加速度值来控制转子的旋转速度。

[0038] 并且,所述控制系统是基于可以使用转子的加速度作为用于机械载荷的指示的思想,所述机械载荷目前作用于风力涡轮机的结构组件(例如转子叶片)上。结果,依照本发明,可以将实际转子加速度考虑在内以便控制风力涡轮机转子的旋转速度。

[0039] 根据本发明的另一方面,提供了一种用于发电的风力涡轮机。所提供的风力涡轮机包括(a)具有至少一个叶片的转子,其中,所述转子可绕着旋转轴旋转,并且所述至少一个叶片相对于所述旋转轴径向地延伸,(b)被机械地与转子耦合的发电机,以及(c)如上所述的控制系统。

[0040] 根据本发明的另一方面,提供了一种用于尤其是在高风速下控制风力涡轮机的操作的计算机程序。所述计算机程序在被数据处理器执行时适合于控制和 / 或执行上述旋转速度控制方法。

[0041] 如本文所使用的,对计算机程序的参考意图等效于对程序单元和 / 或包含指令的计算机可读介质的参考,所述指令用于控制计算机系统以协调上述方法的性能。

[0042] 可以将所述计算机程序实现为任何适当编程语言(诸如 JAVA、C++)中的计算机可读指令代码,并且可以被存储在计算机可读介质(可移动磁盘、易失性或非易失性存储器、嵌入式存储器 / 处理器等)上。指令代码可用于对计算机或任何其它可编程设备进行编程以执行预期功能。所述计算机程序可从诸如万维网的网络获得,从那里可以将其下载。

[0043] 可以分别地借助于计算机程序、软件来实现本发明。然而,还可以分别地借助于一个或多个特定电子电路、硬件来实现本发明。此外,还可以以混合的形式、即以软件模块和硬件模块的组合来实现本发明。

[0044] 必须注意的是已参考不同的主题描述了本发明的实施例。尤其是,已参考方法类型权利要求描述了某些实施例,而参考装置类型权利要求描述了其它实施例。然而,本领域的技术人员将从以上和以下说明推断,除非另外通知,除属于一种主题的特征的任何组合

之外,在与不同主题有关的特征之间、尤其是在方法类型权利要求的特征和装置类型权利要求的特征之间的任何组合也认为将由本文来公开。

[0045] 本发明的上文定义的方面和其它方面从下文将描述的实施例的示例是显而易见的,并将参考实施例的示例来进行解释。下面将参考实施例的示例来更详细地描述本发明,但本发明不限于所述实施例的示例。

## 附图说明

[0046] 图 1 示出根据本发明的实施例的风力涡轮机。

[0047] 图 2 依照本发明的实施例示出用于控制风力涡轮机的转子的旋转速度的控制系统。

## 具体实施方式

[0048] 图中的图示是示意性的。注意的是在不同的图中,类似或相同的元件提供有仅在第一个数字与相应附图标记不同的附图标记。

[0049] 图 1 示出根据本发明的实施例的风力涡轮机 100。风力涡轮机 100 包括安装在未描绘的基础上的塔 120。在塔 120 的顶部,布置有吊舱 122。在塔 120 与吊舱 122 之间,提供了能够使吊舱 122 绕着未描绘的垂直轴旋转的偏航角(yaw angle)调整设备 121,所述垂直轴与塔 120 的纵向延伸部分对准。通过以适当的方式来控制偏航角调整设备 121,能够确保在风力涡轮机 100 的正常操作期间,吊舱 122 始终适当地与当前风向对准。然而,为了减少作用于风力涡轮机的结构组件上的机械载荷,还可以使用偏航角调整设备 121 来将偏航角调整到一定位置,其中,吊舱 122 有意并非完美地与当前风向对准。

[0050] 风力涡轮机 100 还包括具有三个叶片 114 的转子 110。在图 1 透视图中,只有两个叶片 114 是可见的。转子 110 可绕着旋转轴 110a 旋转。被安装在也称为套筒(hub)的驱动装置 112 处的叶片 114 相对于旋转轴 110a 径向延伸。

[0051] 在驱动套环(driving collar)112 与叶片 114 之间,分别提供了叶片调整设备 116 以便通过使各叶片 114 绕着未描绘的轴旋转来调整每个叶片 114 的叶片俯仰角,所述轴基本上与各叶片 114 的纵向延伸部分平行地对准。通过控制叶片调整设备 116,可以以这样的方式来调整各叶片 114 的叶片俯仰角,即使得至少在风不那么强时,能够从可用风力获得最大风力。然而,为了减少作用在各叶片 114 上的机械载荷,还可以有意地将叶片俯仰角调整至一定位置,在该位置上,只能捕捉到降低的风力。

[0052] 如从图 1 可以看到的,在吊舱 122 内提供齿轮箱 124。齿轮箱 124 用来将转子 110 的转数转换成被以已知方式耦合到发电机 128 的轴 125 的较高转数。此外,提供制动器 126 以便例如(a)在紧急情况下,(b)在可能损害风力涡轮机 100 的过强风条件下,和 / 或(c)在意图节省风力涡轮机 100 的至少一个结构组件的消耗疲劳寿命和 / 或疲劳寿命消耗率的情况下停止风力涡轮机 100 的操作或降低转子 110 的旋转速度。

[0053] 风力涡轮机 100 还包括用于以高效的方式来操作风力涡轮机 100 的控制系统 150。除控制例如偏航角调整设备 121 之外,所描绘的控制系统 150 还用于通过调整转子叶片 114 的叶片俯仰角并通过以优化方式来确定用于风力涡轮机 100 的适当发电参考值来控制转子 110 的旋转速度。此外,如下文将更详细地描述的,控制系统 150 用于分别调整吊舱 122

的、转子 110 的偏航角。

[0054] 为了控制风力涡轮机 100 的操作,控制系统 150 被连接到旋转速度传感器 143,根据这里所述的实施例,旋转速度传感器 143 被连接到齿轮箱 124。旋转速度传感器 143 向控制系统 150 馈送信号,该信号指示转子 110 的当前旋转速度。

[0055] 虽然对于执行所述方法和实现用于控制转子 110 的旋转速度的所述控制系统而言不是基本的,但风力涡轮机 110 包括(a)被连接到发电机 128 的功率传感器 141,和(b)角度传感器 142,根据这里所述的实施例,其被连接到各叶片调整设备 116。功率传感器 141 提供关于风力涡轮机 100 的当前发电的信息。角度传感器 142 提供关于所有转子叶片 114 的当前叶片俯仰角设置的信息。

[0056] 图 2 依照本发明的实施例示出用于控制风力涡轮机 100 的转子 110 的旋转速度的控制系统 250。控制系统 250 包括三个输入端子,用于接收表示实际转子速度的值的第一输入端子 251、用于接收表示外部速度极限的值的第二输入端子 252 和用于接收表示风力涡轮机的标称速度的值的第三输入端子 253。如下面将更详细地描述的,三个输入端子 251、252 和 253 被连接到转子速度控制单元 255。转子速度控制单元 255 包括两个输出端子,即用于提供用于叶片俯仰角的参考值的第一输出端子 256 和用于提供用于发电量的参考值的第二输出端子 257。

[0057] 如从图 2 可以看到的,由求微分(differentiating) 单元 262 来对可以从发电机 128 的旋转速度获取且经由第一输入端子 251 提供的转子速度进行求微分。根据结果得到的经求微分信号,由绝对值确定单元 264 来获取绝对值。此外,由过滤器 266 对结果得到的绝对值进行过滤以便进一步处理平滑信号。经过滤 / 平滑信号被馈送到加法单元 270 的正输入端。

[0058] 此外,由计算单元 268 来计算最大转子速度加速度值(max-acc)。从而,根据(a)转子的实际旋转速度、(b)实际发电量和(c)转子叶片的实际叶片俯仰角来计算最大转子速度加速度值。用加法单元 270,从所测量的绝对加速度减去所计算的最大转子速度加速度值。此减法产生错误信号。

[0059] 如从图 2 可以进一步看到的,该错误信号被馈送到积分装置,该积分装置包括用于引入积分器增益的乘法单元 272、用于在时间上对错误信号求积分的积分器 274 和率限制单元 276。积分装置 272、274、276 产生内部(旋转)速度极限。由单元 276 来限制此内部(旋转)速度极限的变化率以便在将其与标称速度参考和外部速度极限相比较之前获得平滑信号。

[0060] 接收(a)内部(旋转)速度极限、(b)外部速度极限和(c)风力涡轮机的标称速度的选择单元 280 选择这三个信号中的最低值并将此最低信号馈送到转子速度控制单元 255 中作为参考(旋转)速度信号(speed\_ref)。基于此参考(旋转)速度信号和基于由第一输入端子 251 接收到的转子速度值,转子速度控制单元 255 计算表示用于发电量的参考值的值“power\_ref”(参见端子 257) 和表示用于叶片俯仰角的参考值的值“pitch\_ref”(参见端子 256)。

[0061] 提到的是,替代减小参考(旋转)速度信号(speed\_ref)和 / 或除此之外,如果风速变得过高,则可以基于转子加速度值来增加最小俯仰角。这还将导致高风速情况下的降低的机械载荷。

[0062] 应注意的是术语“包括”不排除其它元素或步骤，且“一个”或“一种”不排除复数。还可以将结合不同实施例所述的元素组合。还应注意的是不应将权利要求中的附图标记理解为限制权利要求的范围。

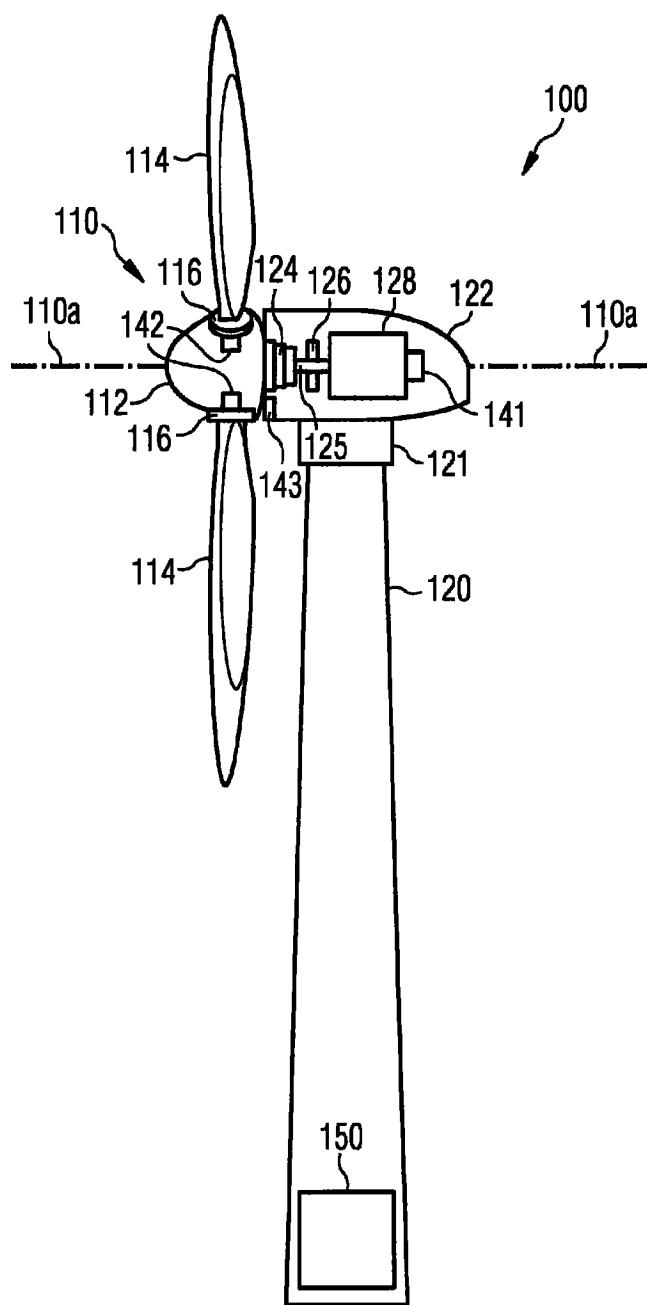


图 1

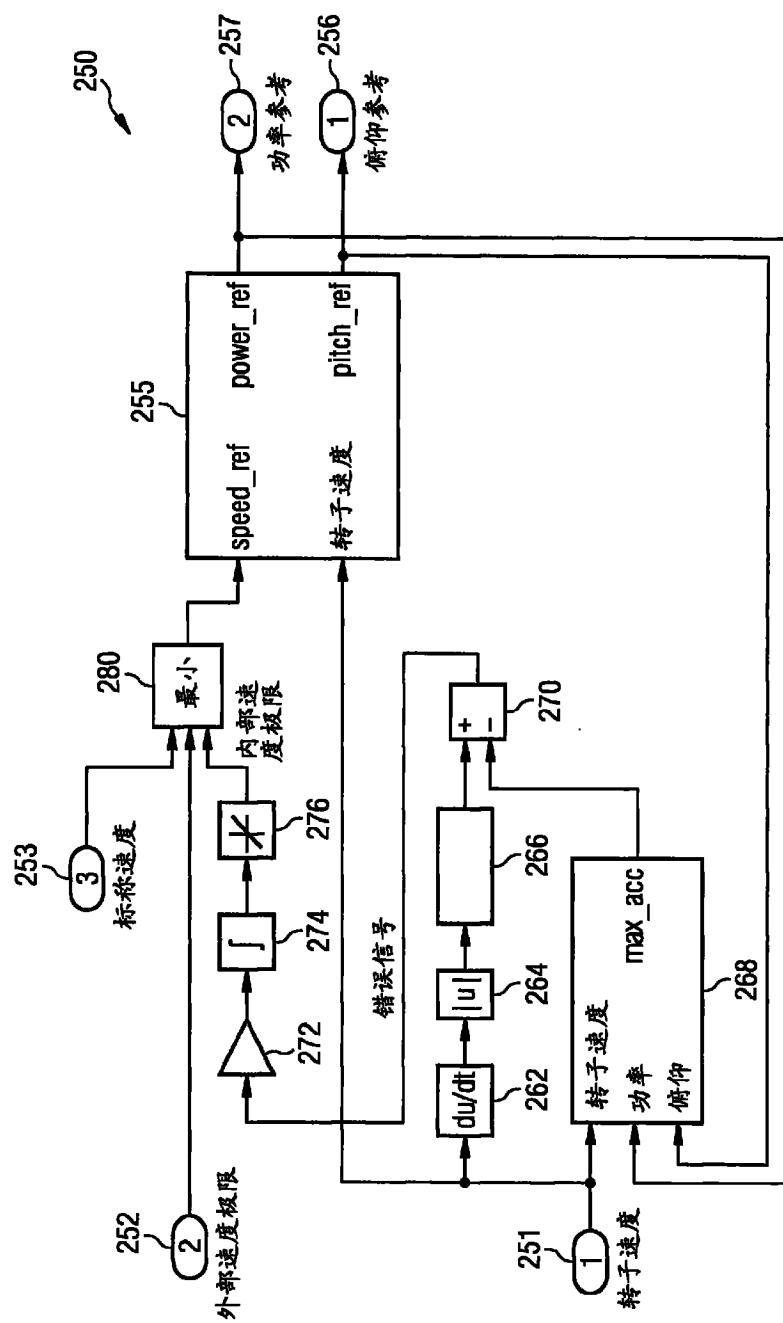


图 2