



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102797629 B

(45) 授权公告日 2014. 05. 14

(21) 申请号 201210276153. X

(22) 申请日 2012. 08. 03

(73) 专利权人 国电联合动力技术有限公司
地址 100000 北京市海淀区中关村南大街乙
56 号方圆大厦 16 层

(72) 发明人 王建明 潘磊 汪正军 徐佳园
何杰

(74) 专利代理机构 北京方韬法业专利代理事务
所 11303

代理人 遆俊臣

(51) Int. Cl.

F03D 7/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101245765 A, 2008. 08. 20, 全文.

CN 101832233 A, 2010. 09. 15, 全文.

CN 102200095 A, 2011. 09. 28, 全文.

EP 1744058 A1, 2007. 01. 17, 全文.

CN 1940289 A, 2007. 04. 04, 全文.

CN 101769232 A, 2010. 07. 07, 全文.

EP 1767781 A2, 2007. 03. 28, 全文.

CN 102301132 A, 2011. 12. 28, 全文.

审查员 朱钰荣

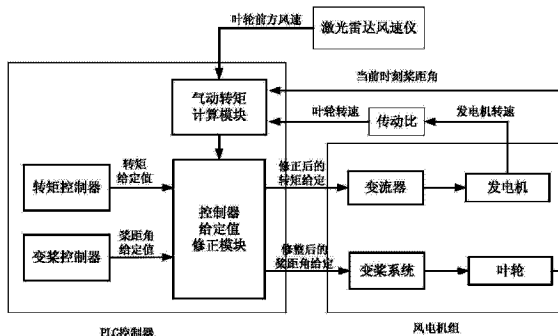
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种风电机组的控制方法、控制器及其控制系统

(57) 摘要

本发明提供一种风电机组控制方法、控制器及其控制系统,该方法包括:获取轮毂前方叶轮直径 2-3 倍距离处的气流速度,叶轮当前时刻的桨距角,以及发电机转动角速度,计算叶轮的气动转矩,并计算出对应的电磁转矩;获得当前的转矩给定值和桨距角给定值;修正转矩控制器或变桨控制输出的给定值。该控制器包括:气动转矩计算模块、转矩控制器、变桨控制器以及控制器给定值修正模块。该控制系统包括激光雷达风速测量仪、风电机组以及上述的控制器。本发明使风电机组的控制系统能够提前响应风速的变化,修正变桨和转矩控制的效果,提高风电机组的风能利用率,有助于解决由于叶轮惯性和变桨系统延迟造成的整机疲劳载荷和发电量损失。



1. 一种风电机组的控制方法,其特征在于包括以下步骤:

A、获取轮毂前方叶轮直径2-3倍距离处的气流速度 V_{wind} ,叶轮当前时刻的桨距角 β ,以及发电机转动角速度 ω_M ,计算叶轮的气动转矩,并计算出对应的电磁转矩,计算公式为

$$Q_M = \frac{\pi \rho R^5 C_p(\lambda, \beta)}{2\lambda^3 G^3} \omega_M^2$$

其中, ρ 为空气密度,R为叶轮半径, $C_p(\lambda, \beta)$ 为风能利用系数, λ 为叶尖速比,G为传动齿轮箱传动比, ω_M 的单位为rad/s;

B、获得当前转矩控制器输出的转矩给定值 T_{dem} ;

C、获取当前变桨控制器输出的桨距角给定值 P_{dem} ;

D、修正转矩控制器或变桨控制输出的给定值,

D1、当当前风机运行的发电功率在额定功率以下,且 Q_M 小于发电机的额定或最大转矩 Q_E 时,将 T_{dem} 修正为 $T'_{dem} = T_{dem} + (\Delta T/t_w) \times t_{step}$,其中, $\Delta T = Q_M - T_{dem}$, t_w 为气流到达叶轮的时间, t_{step} 为控制器的输出周期,当 Q_M 与 Q_E 相等时,停止修正,

D2、当当前风机运行的发电功率在额定功率以下,且 Q_M 大于发电机的额定或最大转矩 Q_E 时,将 P_{dem} 修正为 $P'_{dem} = P_{min} + (\Delta P'/t_w) \times t_{step}$,其中, P_{min} 为最小桨距角, $\Delta P' = P_{des} - P_{opt}$, P_{des} 为 V_{wind} 对应的设计桨距角值, P_{opt} 为当前最优桨距角,当 Q_M 与 Q_E 相等,或 P_{dem} 与 P'_{dem} 相同时,停止修正,

D3、当前风电机组运行的发电功率在额定功率以上,且 Q_M 大于发电机的当前的转矩值时,将 P_{dem} 修正为 $P'_{dem} = P_{dem} + (\Delta P/t_w) \times t_{step}$,其中, $\Delta P = P_{des} - P_{dem}$,当 Q_M 与 Q_E 相等,或 P_{dem} 与 P'_{dem} 相同时,停止修正,

D4、当前风电机组运行的发电功率在额定功率以上,且 Q_M 小于发电机的当前的转矩值时,将 P_{dem} 修正为 $P'_{dem} = P_{dem} + (\Delta P/t_w) \times t_{step}$,当 Q_M 与 Q_E 相等,或 P_{dem} 与 P_{dem} 相同,或者达到 P_{min} 时,停止修正,其中, $\Delta P = P_{des} - P_{dem}$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种风电机组的控制方法,其特征在于所述的 V_{wind} 是利用激光雷达风速测量仪测得。

3. 一种风电机组的控制器,其特征在于包括:

气动转矩计算模块,用于获取轮毂前方叶轮直径2-3倍距离处的气流速度、叶轮当前时刻的桨距角以及发电机转动角速度,计算叶轮的气动转矩,并计算出对应的电磁转矩;

转矩控制器,用于输出转矩给定值;

变桨控制器,用于输出桨距角给定值;以及

控制器给定值修正模块,用于修正转矩控制器或变桨控制输出的给定值。

4. 一种风电机组的控制系统,其特征在于包括激光雷达风速测量仪、风电机组以及权利要求3所述的控制器。

一种风电机组的控制方法、控制器及其控制系统

技术领域

[0001] 本发明涉及风力发电技术领域,特别是涉及一种风电机组的控制方法、控制器及其控制系统。

背景技术

[0002] 近年来,随着风力发电相关控制技术的不断进步,变速变桨风力发电机组以其高效的风能利用率和较大的单机容量等优势成为目前主要的装机类型。

[0003] 变速变桨风电机组在低风速(额定风速以下)时,主控系统将叶片的桨距角调整到最优(或最小),通过控制发电机电磁转矩来调整叶轮转速,使风机工作在最优叶尖速比状态下,以实现最大风能捕获;当叶轮转速到达额定转速之后,转速不能随着风速的增加而增加,需要通过增加发电机电磁转矩来使叶轮转速保持在额定转速附近,使风电机组进入恒转速区域。风速增大到额定风速时,转矩达到额定,发电机同时达到额定功率,此时,如果风速继续增大则主控系统会增大桨距角以减少捕获的风能,保证发电机组不过载,进入恒功率运行阶段。

[0004] 在风电机组实际运行过程中,由于湍流和阵风的存在,风速时刻在波动,要确保风电机组运行在设计的工作点,需要根据当前的风速正确的控制发电机转矩和桨距角。由于叶轮的转动惯量较大,风速的变化反映到叶轮转速,再用来调节转矩和桨距角往往已经滞后较长时间。尤其是在额定风速以下运行时,为了跟踪最优叶尖速比,需要根据风速不断地调节叶轮转速,但现有的主控系统中该阶段的转矩是根据叶片翼型特性计算的最优增益系数与发电机转速平方的乘积得到,相当于一种开环控制方式,由该方法得到的转矩值难以准确跟踪最优叶尖速比,造成风能利用率偏低。额定风速以上时,根据叶轮转速控制桨距角也会因为转速变化和变桨系统的滞后造成桨距角与当前叶轮处的风速不匹配,使得叶轮和塔筒处承受较大的载荷。因此,如果能测量叶轮前方的风速并提前计算出叶轮处的空气动力转矩,用以修正转矩及变桨控制器的输出,既能保证额定风速以下有较高的风能利用率又能降低高风速时风电机组的疲劳载荷,已成为当前本领域的重要研究目标之一。

发明内容

[0005] 本发明的目的是通过一种风电机组的控制方法、控制器及其控制系统,其一方面可以使额定风速以下运行时的转矩给定值更加合理,准确跟踪最佳叶尖速比,提高风能利用率;另一方面,在额定风速以上运行时能提前合理调节桨距角的大小,有效减小叶轮处的阵风或者变桨系统延迟引起的叶轮和塔架疲劳载荷与发电量的损失。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明一种风电机组的控制方法,包括以下步骤:

[0007] A、获取轮毂前方叶轮直径 2-3 倍距离处的气流速度 V_{wind} , 叶轮当前时刻的桨距角 β , 以及发电机转动角速度 ω_m , 计算叶轮的气动转矩, 并计算出对应的电磁转矩, 计算公式为

$$[0008] \quad Q_M = \frac{\pi \rho R^5 C_p(\lambda, \beta)}{2 \lambda^3 G^3} \omega_M^2$$

[0009] 其中, ρ 为空气密度, R 为叶轮半径, $C_p(\lambda, \beta)$ 为风能利用系数, λ 为叶尖速比, G 为传动齿轮箱传动比, ω_M 的单位为 rad/s;

[0010] B、获得当前转矩控制器输出的转矩给定值 T_{dem} ;

[0011] C、获取当前变桨控制器输出的桨距角给定值 P_{dem} ;

[0012] D、修正转矩控制器或变桨控制输出的给定值,

[0013] D1、当当前风机运行的发电功率在额定功率以下, 且 Q_M 小于发电机的额定或最大转矩 Q_E 时, 将 T_{dem} 修正为 $T'_{dem} = T_{dem} + (\Delta T / t_w) \times t_{step}$, 其中, $\Delta T = Q_M - T_{dem}$, t_w 为气流到达叶轮的时间, t_{step} 为控制器的输出周期, 当 Q_M 与 Q_E 相等时, 停止修正,

[0014] D2、当当前风机运行的发电功率在额定功率以下, 且 Q_M 大于发电机的额定或最大转矩 Q_E 时, 将 P_{dem} 修正为 $P'_{dem} = P_{min} + (\Delta P' / t_w) \times t_{step}$, 其中, P_{min} 为最小桨距角, $\Delta P' = P_{des} - P_{opt}$, P_{des} 为 V_{wind} 对应的设计桨距角值, P_{opt} 为当前最优桨距角, 当 Q_M 与 Q_E 相等, 或 P_{dem} 与 P'_{dem} 相同时, 停止修正,

[0015] D3、当前风电机组运行的发电功率在额定功率以上, 且 Q_M 大于发电机的当前的转矩值时, 将 P_{dem} 修正为 $P'_{dem} = P_{dem} + (\Delta P / t_w) \times t_{step}$, 其中, $\Delta P = P_{des} - P_{dem}$, 当 Q_M 与 Q_E 相等, 或 P_{dem} 与 P'_{dem} 相同时, 停止修正,

[0016] D4、当前风电机组运行的发电功率在额定功率以上, 且 Q_M 小于发电机的当前的转矩值时, 将 P_{dem} 修正为 $P'_{dem} = P_{dem} + (\Delta P / t_w) \times t_{step}$, 当 Q_M 与 Q_E 相等, 或 P_{dem} 与 P'_{dem} 相同, 或者达到 P_{min} 时, 停止修正。

[0017] 作为进一步改进, 所述的 V_{wind} 是利用激光雷达风速测量仪测得。

[0018] 此外, 本发明还提供了一种风电机组的控制器, 包括: 气动转矩计算模块, 用于获取轮毂前方叶轮直径 2-3 倍距离处的气流速度、发电机当前时刻的桨距角以及发电机转动角速度, 计算发电机的气动转矩, 并计算出对应的电磁转矩; 转矩控制器, 用于输出转矩给定值; 变桨控制器, 用于输出桨距角给定值; 以及控制器给定值修正模块, 用于修正转矩控制器或变桨控制输出的给定值。

[0019] 最后, 本发明还提供了一种风电机组的控制系统, 包括激光雷达风速测量仪、风电机组以及上述的控制器。

[0020] 与现有技术相比, 本发明具有以下有益效果:

[0021] 1、引入已经较为成熟的激光测风雷达对叶轮前方来流方向的风速进行测量, 使风电机组的控制系统能够提前响应风速的变化;

[0022] 2、根据风电机组的翼型参数、最优叶尖速比及最优风能利用系数等参数建立叶轮的空气动力转矩计算模型, 用叶轮前方气流的速度和当前风机的叶轮转速、桨距角等运行状态准确计算出该段气流能够产生的空气动力转矩, 修正变桨和转矩控制的效果, 提高风电机组的风能利用率;

[0023] 3、根据叶轮前方的风速可以提前调整变桨控制系统的输出, 有助于解决由于叶轮惯性和变桨系统延迟造成的整机疲劳载荷和发电量损失。

附图说明

[0024] 上述仅是本发明技术方案的概述,为了能够更清楚了解本发明的技术手段,以下结合附图与具体实施方式对本发明作进一步的详细说明。

[0025] 图 1 是本发明带有激光雷达风速仪和气动转矩计算模块的风电机组控制系统的组成示意图。

具体实施方式

[0026] 以下结合附图对本发明的具体实施方式进一步说明：

[0027] 请参阅图 1 所示,本发明一种风电机组的控制系统,包括激光雷达风速测量仪、PLC 控制器和风电机组。

[0028] 其中,激光雷达风速测量仪安装在轮毂上,用于测量前方叶轮直径 2-3 倍距离处的气流速度。

[0029] 风电机组主要包括发电机、变流器、变桨系统和叶轮,根据 PLC 控制器输出的经修正的转矩给定值和桨距角给定值控制发电机和叶轮。

[0030] PLC 控制器,即本发明风电机组的控制器,其内置有转矩控制器、变桨控制器、气动转矩计算模块和控制器给定值修正模块。根据本发明风电机组的控制方法,上述模块的工作流程包括以下步骤。

[0031] 步骤一,通过激光雷达风速测量仪、发电机和叶轮,分别获取轮毂前方叶轮直径 2-3 倍距离处的气流速度 V_{wind} ,叶轮当前时刻的桨距角 β ,以及发电机转动角速度 ω_M ,计算叶轮的气动转矩,并计算出对应的电磁转矩。

[0032] 目前,风电机组设计过程中,叶轮的气动特性主要根据叶素理论来分析,为了与设计性能相一致,采用基于叶素理论的气动转矩模型来计算和修正转矩控制器的输出。

[0033] 根据空气动力学中的叶素理论和致动盘概念,叶轮处产生的气动转矩为：

$$[0034] \quad Q_A = \frac{1}{2} \rho A R U^2 \frac{C_p(\lambda, \beta)}{\lambda}$$

[0035] 其中： ρ 为空气密度；

[0036] A 为叶轮扫风面积,为 $A = \pi R^2$ ；

[0037] R 为叶轮半径；

[0038] U 为叶轮处的风速；

[0039] $C_p(\lambda, \beta)$ 为风能利用系数, λ 为叶尖速比, β 为桨距角。

[0040] 由于叶片周围气流的复杂性,直接用风速参与主控制器中的变桨控制器和转矩控制不太可靠,通常根据叶尖速比,用 $U = \frac{\omega_B R}{\lambda}$ 代换计算中的风速,从而得：

$$[0041] \quad Q_A = \frac{1}{2} \rho \pi R^5 \frac{C_p(\lambda, \beta)}{\lambda^3} \omega_B^2$$

[0042] 其中 ω_B 为叶轮转动角速度,单位为 rad/s。

[0043] 因为实际运行中,叶轮转速的测量精度不高,且通常是控制发电机电磁转矩来控制风电机组运行状态,结合风电机组传动系统的特性,可以用发电机转速折算出叶轮转速,进而计算出对应的发电机电磁转矩为：

$$[0044] \quad Q_M = \frac{\pi \rho R^5 C_p(\lambda, \beta)}{2 \lambda^3 G^3} \omega_M^2$$

[0045] 其中： ω_M 为发电机转动角速度；

[0046] G 为传动齿轮箱传动比。

[0047] 在风电机组设计过程中，其运行工作点往往在发电机容量和叶片翼型数据确定以后都已确定且与风速相对应，因此可以建立风速与最优叶尖速比 λ ，桨距角 β 和风能利用系数 C_p 的对应关系表，即通过测量叶轮前方的气流速度就能够得到其到达叶轮处时的 λ 和 β ，进而可以计算出对应的转矩 Q_M 。

[0048] 步骤二，获取当前转矩控制器输出的转矩给定值 T_{dem} 。

[0049] 步骤三，获取当前变桨控制器输出的桨距角给定值 P_{dem} 。

[0050] 步骤四，通过控制器给定值修正模块，修正转矩控制器或变桨控制输出的给定值。

[0051] 具体来说，如果当前风机运行的发电功率是在额定功率以下：

[0052] (1) 当 Q_M 小于发电机的额定或最大转矩 Q_E 时，则根据计算值 Q_M 与当前转矩控制器输出 T_{dem} 的差 $\Delta T = Q_M - T_{dem}$ ，结合气流到达叶轮的时间 t_w 及控制器输出周期 t_{step} 调整发电机转矩给定值为 $T'_{dem} = T_{dem} + (\Delta T / t_w) \times t_{step}$ 。当 Q_M 与 Q_E 相等时，停止修正。

[0053] (2) 当 Q_M 大于发电机的额定或最大转矩 Q_E 时，则表明风速在增大，风电机组即将从额定功率以下向额定功率以上过渡，应查表求的测量风速 V_{wind} 对应的设计桨距角值 P_{des} ，计算与当前最优桨距角 P_{opt} 的差值 $\Delta P' = P_{des} - P_{opt}$ ，结合气流到达叶轮的时间 t_w 及控制器输出周期 t_{step} ，调整桨距角给定值

[0054] $P'_{dem} = P_{min} + (\Delta P' / t_w) \times t_{step}$

[0055] 其中， P_{min} 为最小桨距角。

[0056] 直到计算的叶轮气动转矩与额定转矩相同或变桨控制器的输出与修正后的桨距角给定值相同时停止修正变桨控制器的输出。

[0057] 如果当前风电机组运行的发电功率是在额定功率以上时：

[0058] (3) 当 Q_M 大于发电机的当前的转矩值时，则表明叶轮前方的风速增加，需要继续增加桨距角来减少叶轮处风能的捕获，应查表求的测量风速 V_{wind} 对应的设计时桨距角值 P_{des} 和当前 P_{dem} 的差值 $\Delta P = P_{des} - P_{dem}$ ，结合气流到达叶轮的时间 t_w 及控制器输出周期 t_{step} 调整桨距角给定值 $P'_{dem} = P_{dem} + (\Delta P / t_w) \times t_{step}$ 。直到计算的叶轮气动转矩与额定转矩相同或变桨控制器的输出与修正后的桨距角给定值相同时停止修正变桨控制器的输出，使得变桨系统能够提前响应风速的增加，减小疲劳载荷。

[0059] (4) 当 Q_M 小于发电机的当前的转矩值时，则表明叶轮前方的风速减小，需要减小桨距角来增加叶轮处风能的捕获，应查表求的测量风速 V_{wind} 对应的设计时桨距角值 P_{des} 和当前 P_{dem} 的差值 $\Delta P = P_{des} - P_{dem}$ ，结合气流到达叶轮的时间 t_w 及控制器输出周期 t_{step} 调整桨距角给定值 $P'_{dem} = P_{dem} + (\Delta P / t_w) \times t_{step}$ 。直到计算的叶轮气动转矩与额定转矩相同或变桨控制器的输出与修正后的桨距角给定值相同或者达到最小桨距角时停止修正变桨控制器的输出，使得变桨系统能够提前响应风速的减小，避免发电量的损失。

[0060] 本发明提供了一种基于气动转矩计算模型的风电机组控制方法、控制器及其控制系统，其在风力发电机组的轮毂处加装激光雷达风速测量仪，对轮毂前方约叶轮直径 2-3 倍距离处的风速进行测量，作为空气动力转矩计算模块的输入；空气动力转矩计算模块通过测量的风速和当前叶轮的转速和桨距角计算出叶轮未来时刻能够产生的空气动力转矩；控制器给定值修正模块，包括发电机转矩给定值修正和桨距角给定值修正，根据测量的风

速值计算出该部分气流到达叶轮的时间及对应的叶轮空气动力转矩,与当前转矩控制器的输出对比以修正发电机转矩和变桨给定值,使得风机能够提前响应风速的变化,一方面在额定风速以下时可以较好地跟踪最佳叶尖速比,提高风能利用率;另一方面在额定风速以上运行时,根据计算转矩与发电机额定(或最大)转矩的关系调整变桨控制器的输出,提前响应风速的变化,从而有效降低疲劳载荷或者发电量的损失。

[0061] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例而已,并非对本发明作任何形式上的限制,本领域技术人员利用上述揭示的技术内容做出些许简单修改、等同变化或修饰,均落在本发明的保护范围内。

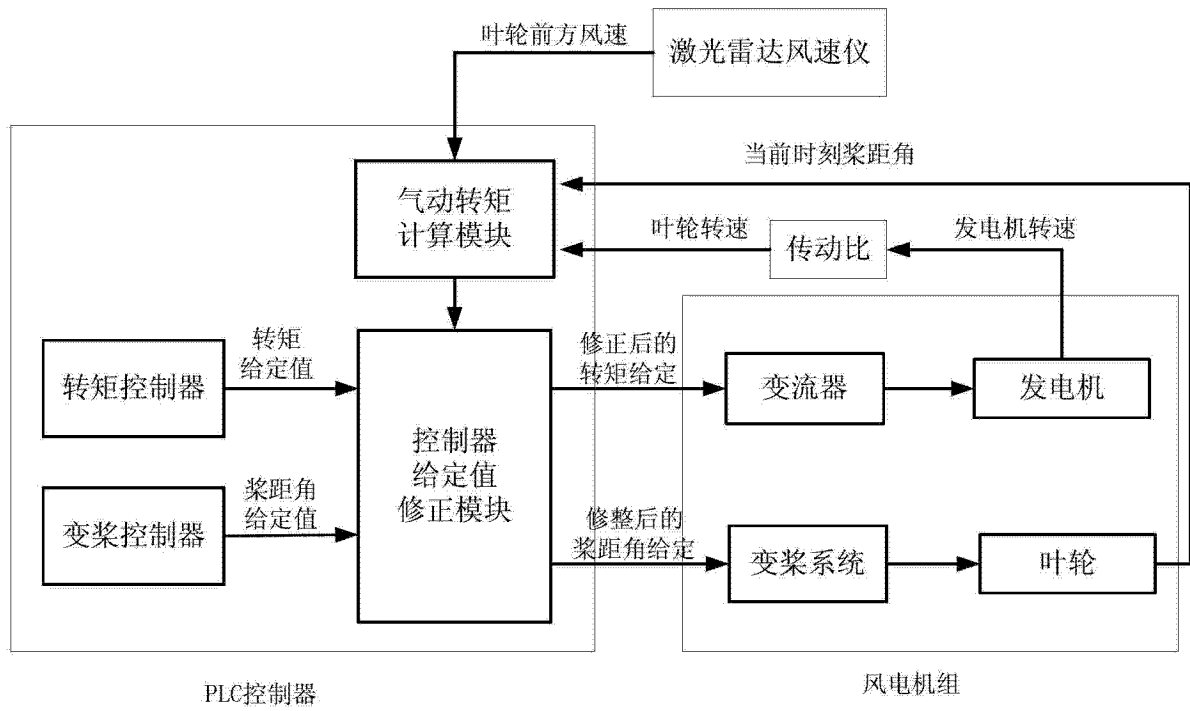


图 1