



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102182633 B

(45) 授权公告日 2013.07.24

(21) 申请号 201110150949.6

CN 101592127 A, 2009.12.02, 全文.

(22) 申请日 2011.06.07

US 4160170 A, 1979.07.03, 全文.

(73) 专利权人 浙江运达风电股份有限公司

US 4339666 A, 1982.07.13, 全文.

地址 310012 浙江省杭州市文二路 391 号西湖国际科技大厦 A 座 22 楼

EP 2327878 A1, 2011.06.01, 全文.

审查员 李宏利

(72) 发明人 应有 许国东

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 遂长明 王宝筠

(51) Int. Cl.

F03D 7/02 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 202117846 U, 2012.01.18, 权利要求
1-6.

CN 101852174 A, 2010.10.06, 全文.

CN 1443937 A, 2003.09.24, 全文.

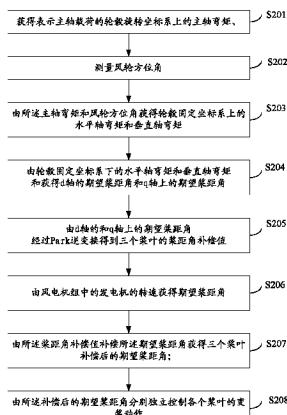
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

一种大型风电机组独立变桨控制方法及装置

(57) 摘要

本发明提供的大型风电机组独立变桨控制方法及装置，是通过测量风机主轴载荷和风轮方位角来获得轮毂固定坐标系上的水平轴弯矩和垂直轴弯矩，实现风电机组独立变桨控制。本发明测量主轴载荷只需要在主轴上安装光纤应变传感器即可，可以减少光纤应变传感器的数量。而且主轴相对于轮毂没有运动，因此测量和信号传输均相对比较简单，也有利于提高载荷信号的可靠性。因此，本发明提供的方法和装置应用的传感器少可以降低成本，并且主轴固定需要的测量方案简单容易实现，由于没有长时间的延迟，因此测量结果比较准确，可靠性高，控制效果更理想。



1. 一种大型风电机组独立变桨控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

获得表示主轴载荷的轮毂旋转坐标系上 y 轴方向和 z 轴方向的主轴弯矩 M_y, M_z ,其中 y 轴和 z 轴为轮毂旋转坐标系中两个与主轴垂直的坐标轴;

测量风轮方位角 φ ;

由所述 M_y, M_z 和 φ 获得轮毂固定坐标系上的水平轴弯矩 M'_y 和垂直轴弯矩 M'_z ;

由 M'_y 和 M'_z 获得 d 轴的期望桨距角 β_d 和 q 轴上的期望桨距角 β_q ;

由 β_d 和 β_q 经过 Park 逆变换得到三个桨叶的桨距角补偿值 $\beta'_{11}, \beta'_{12}, \beta'_{13}$;

由风电机组中的发电机的转速获得期望桨距角;

由所述 $\beta'_{11}, \beta'_{12}, \beta'_{13}$ 补偿所述期望桨距角获得三个桨叶补偿后的期望桨距角;

由所述补偿后的期望桨距角分别独立控制各个桨叶的变桨动作。

2. 根据权利要求 1 所述的大型风电机组独立变桨控制方法,其特征在于,由所述 M_y, M_z 和 φ 获得轮毂固定坐标系上的水平轴弯矩 M'_y 和垂直轴弯矩 M'_z ;具体可以通过如下公式实现:

$$\begin{bmatrix} M'_y \\ M'_z \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{bmatrix} M_y \\ M_z \end{bmatrix}.$$

3. 根据权利要求 1 所述的大型风电机组独立变桨控制方法,其特征在于,由 β_d 和 β_q 经过 Park 逆变换得到三个桨叶的桨距角补偿值 $\beta'_{11}, \beta'_{12}, \beta'_{13}$,具体可以通过如下公式实现:

$$\begin{bmatrix} \beta'_{11} \\ \beta'_{12} \\ \beta'_{13} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ \cos(\varphi + \frac{2\pi}{3}) & \sin(\varphi + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\varphi + \frac{4\pi}{3}) & \sin(\varphi + \frac{4\pi}{3}) \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \beta_d \\ \beta_q \end{bmatrix}.$$

4. 根据权利要求 1 所述的大型风电机组独立变桨控制方法,其特征在于,通过安装于主轴前端的八个光纤应变传感器来获得 M_y 和 M_z ;

四个光纤应变传感器作为温度补偿片;另外四个光纤应变传感器用来测量表示主轴载荷的主轴弯矩 M_y, M_z ;两个分别安装于主轴前端截面水平方向的两端处的光纤应变传感器测量 M_y ,两个分别安装于主轴前端竖直方向的两端处的光纤应变传感器测量 M_z 。

5. 根据权利要求 1 所述的大型风电机组独立变桨控制方法,其特征在于,由 M'_y 和 M'_z 获得 d 轴和 q 轴上的期望桨距角,之前还包括:

将所述 M'_y 和 M'_z 分别进行低通滤波和带阻滤波。

6. 根据权利要求 1 所述的大型风电机组独立变桨控制方法,其特征在于,由 M'_y 和 M'_z 获得 d 轴的期望桨距角 β_d 和 q 轴上的期望桨距角 β_q ,具体可以采用 PID 控制、LQG 控制、模糊控制、最优控制或自适应控制。

7. 一种大型风电机组独立变桨控制装置,其特征在于,包括:

安装于主轴前端的光纤应变传感器,用于测量表示主轴载荷的轮毂旋转坐标系上 y 轴方向和 z 轴方向的主轴弯矩 M_y, M_z ,其中 y 轴和 z 轴为轮毂旋转坐标系中两个与主轴垂直的坐标轴;

安装于风电机组低速轴上的绝对值编码器,用于测量风轮方位角 φ ;

坐标变换器,用于由所述 M_y 、 M_z 和 φ 获得轮毂固定坐标系上的水平轴弯矩 M'_y 和垂直轴弯矩 M'_z ;

独立变桨控制器,用于由 M'_y 和 M'_z 获得d轴的期望桨距角 β_d 和q轴上的期望桨距角 β_q ;由 β_d 和 β_q 经过Park逆变换得到三个桨叶的桨距角补偿值 β'_1 、 β'_2 、 β'_3 ;

安装于发电机上的增量式编码器,用于测量发电机的转速;

转速变桨控制环,用于由所述发电机的转速获得期望桨距角;

桨距角耦合器,用于由所述 β'_1 、 β'_2 、 β'_3 补偿所述期望桨距角获得三个桨叶补偿后的期望桨距角;

变桨控制系统,用于由所述补偿后的期望桨距角分别独立控制各个桨叶的变桨动作;

所述装置在增量式编码器和转速变桨控制环之间还包括滤波器,用于对增量式编码器测量的发电机转速进行滤波,将滤波后的发电机转速发送给转速变桨控制环。

8. 根据权利要求7所述的大型风电机组独立变桨控制装置,其特征在于,所述坐标变换器用于由所述 M_y 、 M_z 和 φ 获得轮毂固定坐标系上的水平轴弯矩 M'_y 和垂直轴弯矩 M'_z ;具体可以通过如下公式实现:

$$\begin{bmatrix} M'_y \\ M'_z \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{bmatrix} M_y \\ M_z \end{bmatrix}.$$

9. 根据权利要求7所述的大型风电机组独立变桨控制装置,其特征在于,独立变桨控制器,用于由 β_d 和 β_q 经过Park逆变换得到三个桨叶的桨距角补偿值 β'_1 、 β'_2 、 β'_3 ;具体可以通过如下公式实现:

$$\begin{bmatrix} \beta'_1 \\ \beta'_2 \\ \beta'_3 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ \cos(\varphi + \frac{2\pi}{3}) & \sin(\varphi + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\varphi + \frac{4\pi}{3}) & \sin(\varphi + \frac{4\pi}{3}) \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \beta_d \\ \beta_q \end{bmatrix}.$$

10. 根据权利要求7所述的大型风电机组独立变桨控制装置,其特征在于,所述安装于主轴前端的光纤应变传感器为八个,四个光纤应变传感器作为温度补偿片;另外四个光纤应变传感器用来测量表示主轴载荷的主轴弯矩 M_y 、 M_z ;测量 M_y 的两个光纤应变传感器分别安装于主轴前端截面水平方向的两端处,测量 M_z 的两个光纤应变传感器分别安装于主轴前端竖直方向的两端处。

11. 根据权利要求7所述的大型风电机组独立变桨控制装置,其特征在于,还包括连接于所述坐标变换器和独立变桨控制器之间的低通滤波器和带阻滤波器;所述低通滤波器和带阻滤波器将 M'_y 和 M'_z 分别进行低通滤波和带阻滤波后发送给独立变桨控制器。

12. 根据权利要求7所述的大型风电机组独立变桨控制装置,其特征在于,还包括光纤信号采集装置和滑环;

安装于轮毂内的光纤信号采集装置采集光纤应变传感器测量的主轴弯矩 M_y 、 M_z ,并通过滑环将所述 M_y 、 M_z 传递给坐标变换器。

一种大型风电机组独立变桨控制方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及风力发电技术领域,特别涉及一种大型风电机组独立变桨控制方法及装置。

背景技术

[0002] 目前,大型风电机组一般都采用独立驱动的协同变桨控制技术。独立驱动的协同变桨控制技术是:通过协同变桨控制,当风机停机时,提供气动刹车。当低于额定风速时,控制各个桨叶时钟处于最佳节距角附近,以实现最大能量捕获。当高于额定风速时,通过对桨距角调节,使发电机输出功率保持稳定。采用这种协同控制变桨技术,三叶片的变桨驱动系统得到的是相同位置信号,因此,三叶片的节距角变化也是相同的。

[0003] 但是,在风机实际运行中,因为风剪切、风湍流、塔影效应、偏航偏差等因素的存在,会造成风轮扫风面内的风速分布不均匀,以至于引起叶轮所受载荷不均衡,且风轮直径越大,整个风轮扫风面受力的不均衡度就越强,叶轮上不均衡载荷也就越明显。叶轮上的不均衡载荷会给变桨轴承、轮毂、主轴、偏航轴承、塔架等风机关键部件造成很大疲劳载荷。而采用的协同变桨控制技术不能减小叶轮上的不均衡载荷。根据理论分析,如果能根据风机受载情况,对每个桨叶进行独立变桨控制,则可以减小叶轮上的不均衡载荷。

[0004] 目前,实现风电机组独立变桨控制常见的有下面两种方法:

[0005] (1) 第一种方法是仅通过测量风轮方位角,各桨叶的桨距角根据风轮方位角函数关系进行调整,实现各桨叶独立变桨控制。

[0006] 该方法对于减小一些特定影响因素(如风剪切、塔影效应、风轮倾斜)所造成叶轮上的不均衡载荷是有效的,但实际风场中,湍流导致的随机变化占主导地位,所以通过这种途径难以实现理想效果,特别是对于大型叶片来说,适当的节距角随叶片位置的变化会有所不同,所以较优控制效果很难达到。

[0007] (2) 第二种方法是通过测量三个桨叶根部载荷和风轮方位角,实现独立变桨控制。该方法可以有效的减小风轮不均衡载荷。

[0008] 但存在以下几方面缺点:a)为了保证载荷测量的可靠性,测量桨叶根部载荷一般都采用价格昂贵的光纤应变传感器,而三片桨叶根部一共需要安装二十四个光纤应变传感器(其中十二个是作为温度补偿片),因此需要增加较多硬件成本;b)光纤信号采集装置一般安装在轮毂内,而桨叶在机组运行时,需要进行变桨动作,这就给光缆布线(从传感器到光纤信号采集装置的信号传输光缆)造成很大难度,同时也会降低载荷测量的可靠性;c)由于光纤应变传感器信号采用串行方式进行传输,因此,二十四个光纤应变传感器的信号采集与传输需要较长的时间,这会导致采集到的载荷信号有较大滞后性,而独立变桨控制对实时性要求很高,载荷信号滞后是很不利的。

发明内容

[0009] 本发明要解决的技术问题是提供一种大型风电机组独立变桨控制方法及装置,能

够有效减小风轮的不均衡载荷,同时成本低、可靠性高。

[0010] 本发明提供一种大型风电机组独立变桨控制方法,包括以下步骤:

[0011] 获得表示主轴载荷的轮毂旋转坐标系上y轴方向和z轴方向的主轴弯矩M_y、M_z,其中y轴和z轴为轮毂旋转坐标系中两个与主轴垂直的坐标轴;

[0012] 测量风轮方位角φ;

[0013] 由所述M_y、M_z和φ获得轮毂固定坐标系上的水平轴弯矩M'_y和垂直轴弯矩M'_z;

[0014] 由M'_y和M'_z获得d轴的期望桨距角β_d和q轴上的期望桨距角β_q;

[0015] 由β_d和β_q经过Park逆变换得到三个桨叶的桨距角补偿值β'₁、β'₂、β'₃;

[0016] 由风电机组中的发电机的转速获得期望桨距角;

[0017] 由所述β'₁、β'₂、β'₃补偿所述期望桨距角获得三个桨叶补偿后的期望桨距角;

[0018] 由所述补偿后的期望桨距角分别独立控制各个桨叶的变桨动作。

[0019] 优选地,由所述M_y、M_z和φ获得轮毂固定坐标系上的水平轴弯矩M'_y和垂直轴弯矩M'_z;具体可以通过如下公式实现:

[0020]

$$\begin{bmatrix} M'_y \\ M'_z \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{bmatrix} M_y \\ M_z \end{bmatrix}.$$

[0021] 优选地,由β_d和β_q经过Park逆变换得到三个桨叶的桨距角补偿值β'₁、β'₂、β'₃,具体可以通过如下公式实现:

[0022]

$$\begin{bmatrix} \beta'_1 \\ \beta'_2 \\ \beta'_3 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ \cos(\varphi + \frac{2\pi}{3}) & \sin(\varphi + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\varphi + \frac{4\pi}{3}) & \sin(\varphi + \frac{4\pi}{3}) \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \beta_d \\ \beta_q \end{bmatrix}.$$

[0023] 优选地,通过安装于主轴前端的八个光纤应变传感器来获得M_y和M_z;

[0024] 四个光纤应变传感器作为温度补偿片;另外四个光纤应变传感器用来测量表示主轴载荷的主轴弯矩M_y、M_z;两个分别安装于主轴前端截面水平方向的两端处的光纤应变传感器测量M_y,两个分别安装于主轴前端竖直方向的两端处的光纤应变传感器测量M_z。

[0025] 优选地,由M'_y和M'_z获得d轴和q轴上的期望桨距角,之前还包括:

[0026] 将所述M'_y和M'_z分别进行低通滤波和带阻滤波。

[0027] 优选地,由M'_y和M'_z获得d轴的期望桨距角β_d和q轴上的期望桨距角β_q,具体可以采用PID控制、LQG控制、模糊控制、最优控制或自适应控制。

[0028] 本发明提供一种大型风电机组独立变桨控制装置,包括:

[0029] 安装于主轴前端的光纤应变传感器,用于测量表示主轴载荷的轮毂旋转坐标系上y轴方向和z轴方向的主轴弯矩M_y、M_z,其中y轴和z轴为轮毂旋转坐标系中两个与主轴垂直的坐标轴;

[0030] 安装于风电机组低速轴上的绝对值编码器,用于测量风轮方位角φ;

[0031] 坐标变换器,用于由所述M_y、M_z和φ获得轮毂固定坐标系上的水平轴弯矩M'_y和

垂直轴弯矩 M'_{z} ；

[0032] 独立变桨控制器，用于由 M'_{y} 和 M'_{z} 获得 d 轴的期望桨距角 β_d 和 q 轴上的期望桨距角 β_q ；由 β_d 和 β_q 经过 Park 逆变换得到三个桨叶的桨距角补偿值 β'_{1} 、 β'_{2} 、 β'_{3} ；

[0033] 安装于发电机上的增量式编码器，用于测量发电机的转速；

[0034] 转速变桨控制环，用于由所述发电机的转速获得期望桨距角；

[0035] 桨距角耦合器，用于由所述 β'_{1} 、 β'_{2} 、 β'_{3} 补偿所述期望桨距角获得三个桨叶补偿后的期望桨距角；

[0036] 变桨控制系统，用于由所述补偿后的期望桨距角分别独立控制各个桨叶的变桨动作；

[0037] 所述装置在增量式编码器和转速变桨控制环之间还包括滤波器，用于对增量式编码器测量的发电机转速进行滤波，将滤波后的发电机转速发送给转速变桨控制环。

[0038] 优选地，所述坐标变换器用于由所述 M_y 、 M_z 和 φ 获得轮毂固定坐标系上的水平轴弯矩 M'_{y} 和垂直轴弯矩 M'_{z} ；具体可以通过如下公式实现：

[0039]

$$\begin{bmatrix} M'_y \\ M'_z \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{bmatrix} M_y \\ M_z \end{bmatrix}.$$

[0040] 优选地，独立变桨控制器，用于由 β_d 和 β_q 经过 Park 逆变换得到三个桨叶的桨距角补偿值 β'_{1} 、 β'_{2} 、 β'_{3} ；具体可以通过如下公式实现：

[0041]

$$\begin{bmatrix} \beta'_1 \\ \beta'_2 \\ \beta'_3 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ \cos(\varphi + \frac{2\pi}{3}) & \sin(\varphi + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\varphi + \frac{4\pi}{3}) & \sin(\varphi + \frac{4\pi}{3}) \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \beta_d \\ \beta_q \end{bmatrix}.$$

[0042] 优选地，所述安装于主轴前端的光纤应变传感器为八个，四个光纤应变传感器作为温度补偿片；另外四个光纤应变传感器用来测量表示主轴载荷的主轴弯矩 M_y 、 M_z ；测量 M_y 的两个光纤应变传感器分别安装于主轴前端截面水平方向的两端处，测量 M_z 的两个光纤应变传感器分别安装于主轴前端竖直方向的两端处。

[0043] 优选地，还包括连接于所述坐标变换器和独立变桨控制器之间的低通滤波器和带阻滤波器；所述低通滤波器和带阻滤波器将 M'_{y} 和 M'_{z} 分别进行低通滤波和带阻滤波后发送给独立变桨控制器。

[0044] 优选地，还包括光纤信号采集装置和滑环；

[0045] 安装于轮毂内的光纤信号采集装置采集光纤应变传感器测量的主轴弯矩 M_y 、 M_z ，并通过滑环将所述 M_y 、 M_z 传递给坐标变换器。

[0046] 与现有技术相比，本发明具有以下优点：

[0047] 本发明提供的大型风电机组独立变桨控制方法及装置，是通过测量风机主轴载荷和风轮方位角来获得轮毂固定坐标系上的水平轴弯矩和垂直轴弯矩，实现风电机组独立变桨控制。本发明测量主轴载荷只需要在主轴上安装光纤应变传感器即可，这样可以减少光

纤应变传感器的数量。不像现有技术中需要在三片桨叶的根部分别设置四个光纤应变传感器来测量桨叶根部载荷，需要十二个光纤应变传感器，对应需要十二个温度补偿传感器。而且主轴相对于轮毂没有运动，因此测量和信号传输均相对比较简单，也有利于提高载荷信号的可靠性。而现有技术中测量三个桨叶的方法由于桨叶是不断变桨动作的，因此测量和信号传送均比较复杂。并且传感器越多，信号传输带来的延迟越长，最终造成测量不准确和载荷减小效果下降。因此，本发明提供的方法和装置应用的传感器少可以降低成本，并且主轴固定需要的测量方案简单容易实现，由于没有长时间的延迟，因此测量结果比较准确，可靠性高，控制效果更理想。

附图说明

- [0048] 图 1a 是轮毂旋转坐标系示意图；
- [0049] 图 1b 是轮毂固定坐标系示意图；
- [0050] 图 2 是本发明提供的大型风电机组独立变桨控制方法实施例一流程图；
- [0051] 图 3 是本发明提供的光纤应变传感器在主轴上的安装示意图；
- [0052] 图 4 是本发明提供的大型风电机组独立变桨控制方法的工作原理框图；
- [0053] 图 5 是本发明提供的大型风电机组独立变桨控制装置的实施例一结构图；
- [0054] 图 6 是本发明提供的大型风电机组独立变桨控制装置的实施例二结构图。

具体实施方式

[0055] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。

- [0056] 参见图 2，该图为本发明提供的大型风电机组独立变桨控制方法实施例一流程图。
- [0057] 本实施例提供的大型风电机组独立变桨控制方法，包括以下步骤：
- [0058] S201：获得表示主轴载荷的轮毂旋转坐标系上的主轴弯矩 M_y 、 M_z ；
- [0059] 可以由安装与主轴前端的光纤应变传感器测量 M_y 、 M_z 。
- [0060] S202：测量风轮方位角 φ ；
- [0061] 可以有安装于风电机组低速轴上的绝对值编码器测量 φ 。
- [0062] S203：由所述 M_y 、 M_z 和 φ 获得轮毂固定坐标系上的水平轴弯矩 M'_y 和垂直轴弯矩 M'_z ；
- [0063] 由所述 M_y 、 M_z 和 φ 获得 M'_y 和 M'_z ；具体可以通过如下公式（1）实现：
- [0064]

$$\begin{bmatrix} M'_y \\ M'_z \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{bmatrix} M_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

- [0065] S204：由 M'_y 和 M'_z 获得 d 轴的期望桨距角 β_d 和 q 轴上的期望桨距角 β_q ；
- [0066] 需要说明的是，可以经过 PID 控制、线性二次方高斯控制（LQG, linear-quadratic-Gaussian optimal control）模糊控制、最优控制或自适应控制来得到 β_d 和 β_q 。
- [0067] S205：由 β_d 和 β_q 经过 Park 逆变换得到三个桨叶的桨距角补偿值 β'_1 、 β'_2 、 β'_3 ；

[0068] 由 β_d 和 β_q 经过 Park 逆变换得到 β'_1 、 β'_2 、 β'_3 , 具体可以通过如下公式(2) 实现 :

[0069]

$$\begin{bmatrix} \beta'_1 \\ \beta'_2 \\ \beta'_3 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ \cos(\varphi + \frac{2\pi}{3}) & \sin(\varphi + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\varphi + \frac{4\pi}{3}) & \sin(\varphi + \frac{4\pi}{3}) \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \beta_d \\ \beta_q \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0070] S206 : 由风电机组中的发电机的转速获得期望桨距角 ;

[0071] 安装于发电机上的增量式编码器测量发电机的转速, 转速变桨控制环由发电机的转速获得期望桨距角。

[0072] S207 : 由所述 β'_1 、 β'_2 、 β'_3 补偿所述期望桨距角获得三个桨叶补偿后的期望桨距角 ;

[0073] S208 : 由所述补偿后的期望桨距角分别独立控制各个桨叶的变桨动作。

[0074] 本发明提供的大型风电机组独立变桨控制方法, 通过测量风机主轴载荷和风轮方位角来获得轮毂固定坐标系上的水平轴弯矩和垂直轴弯矩。本发明测量主轴载荷只需要在主轴上安装光纤应变传感器即可, 这样可以减少光纤应变传感器的数量。不像现有技术中需要在三片桨叶的根部分别设置四个光纤应变传感器来测量桨叶根部载荷, 需要十二个光纤应变传感器, 对应十二个温度补偿传感器。而且由于主轴相对于轮毂没有运动, 因此测量和信号传输均相对比较简单, 也有利于提高载荷信号的可靠性。而现有技术中测量三个桨叶的方法由于桨叶是不断变桨动作的, 因此测量和信号 0 传送均比较复杂。并且传感器越多, 信号传输带来的延迟越长, 最终造成测量不准确。因此, 本发明提供的方法和装置应用的传感器少可以降低成本, 并且主轴固定需要的测量方案简单容易实现, 由于没有长时间的延迟, 因此测量结果比较准确, 控制效果更佳, 可靠性高。

[0075] 参见图 3, 该图为本发明提供的光纤应变传感器在主轴上的安装示意图。

[0076] 本实施例中通过安装于主轴前端的八个光纤应变传感器来获得 M_y 和 M_z ; 其中, 四个光纤应变传感器作为温度补偿片; 另外四个光纤应变传感器用来测量主轴载荷的主轴弯矩 M_y 、 M_z ; 如图 3 所示, 测量主轴荷载的四个光纤应变传感器的安装位置具体为 :

[0077] 两个分别安装于主轴前端截面水平方向的两端处的光纤应变传感器如图 3 中的 4 和 2 所示, 用来测量 M_y 弯矩, 两个分别安装于主轴前端竖直方向的两端处的光纤应变传感器如图 3 中的 1 和 3 所示, 用来测量 M_z 弯矩。

[0078] 需要说明的是, 为了便于施工安装, 可以将用作温度补偿片的四个光纤应变传感器分别贴在测量主轴载荷的四个光纤应变传感器上面, 两个贴在一起的光纤应变传感器看上去就像一个传感器。两个光纤应变传感器所有的特性完全一样。此处温度补偿原理可以利用测试技术中最常用的全桥测试原理。由于温度补偿原理应用已经很成熟, 所以此不做具体说明。

[0079] 图 3 中右侧的圆形是左侧的主轴的 A-A 方向的主视图。

[0080] 从图 3 中可以看出, 本发明利用了四个光纤应变传感器便可以准确测量主轴的载荷。而现有技术中采用测量三个桨叶的根部载荷。这样每个桨叶需要四个光纤应变传感器,

这样便需要十二个光纤应变传感器,由于传感器的信号传输是串行的,因此,传感器数量越多,造成的信号传输延迟越长。因此,本申请不但降低了传感器的数量,成本降低,而且信号传输延迟也短。并且桨叶是不断变桨动作的,因此,测量和信号传送过程均不方便。而本发明利用主轴相对于轮毂没有运动,传感器容易安装,这样测量和信号传送容易实现。

[0081] 参见图 4,该图为本发明提供的大型风电机组独立变桨控制方法的工作原理框图。

[0082] 图 4 所示的本实施例的控制方法与图 2 所示的流程图的区别是增加了低通滤波步骤 T 和带阻滤波步骤 Z;即,将 M'_{y} 和 M'_{z} 分别进行低通滤波和带阻滤波后发送给控制器。

[0083] 其中,低通滤波器的表达式为:
$$\frac{1}{1+2\xi_1 s/\omega_1 + s^2/\omega_1^2} \quad (3)$$

[0084] 公式(3)中, ω_1 为低通滤波器频率, ξ_1 为低通滤波器阻尼比。

[0085] 其中,带阻滤波器的表达式为:
$$\frac{1+2\xi_2 s/\omega_2 + s^2/\omega_2^2}{1+2\xi_3 s/\omega_3 + s^2/\omega_3^2} \quad (4)$$

[0086] 公式(4)中, ω_2 , ω_3 为带阻滤波器频率, ξ_2 , ξ_3 为带阻滤波器阻尼比。

[0087] 需要说明的是,在本发明的另一个实施例中,对 S204 中获得的 β_d 和 β_q 进行限幅,将限幅后的 β_d 和 β_q 输出给 S205。

[0088] 因为变桨执行结构有限制,即变桨系统的变桨速率有限制,另外,风机变桨控制是首先实现转速控制(或实现功率控制),在此基础上再实现减小不平衡载荷。如果不加限幅环节,独立变桨控制器输出(太大的话)会影响到转速变桨控制器(或功率控制效果)控制效果,从而不能正常完成实现转速控制(或实现功率控制)。

[0089] 需要说明的是,增量式编码器测量发电机的转速后,经过滤波器对测量的转速进行滤波。

[0090] 基于上述大型风电机组独立变桨的控制方法,本发明还提供了大型风电机组独立变桨的控制系统,下面结合具体实施例来详细说明其组成部分。

[0091] 参见图 5,该图为本发明提供的大型风电机组独立变桨控制装置的实施例一结构图。

[0092] 本实施例提供的大型风电机组独立变桨控制装置,包括:

[0093] 安装于主轴前端的光纤应变传感器 11,用于测量表示主轴载荷的轮毂旋转坐标系上的主轴弯矩 M_y 、 M_z ;

[0094] 安装于风电机组低速轴上的绝对值编码器 13,用于测量风轮方位角 φ ;

[0095] 坐标变换器 14,用于由所述 M_y 、 M_z 和 φ 获得轮毂固定坐标系上的水平轴弯矩 M'_{y} 和垂直轴弯矩 M'_{z} ;

[0096] 需要说明的是,由所述 M_y 、 M_z 和 φ 获得 M'_{y} 和 M'_{z} ;具体可以通过公式(1)实现。

[0097] 独立变桨控制器 17,用于由 M'_{y} 和 M'_{z} 获得 d 轴的期望桨距角 β_d 和 q 轴上的期望桨距角 β_q ;由 β_d 和 β_q 经过 Park 逆变换得到三个桨叶的桨距角补偿值 β'_1 、 β'_2 、 β'_3 ;

[0098] 需要说明的是,由 M'_{y} 和 M'_{z} 获得 d 轴的期望桨距角 β_d 和 q 轴上的期望桨距角 β_q 具体可以经过 PID 控制、线性二次方高斯控制(LQG, linear-quadratic-Gaussian optimal control) 模糊控制、最优控制或自适应控制来实现。

[0099] 需要说明的是,由 β_d 和 β_q 经过 Park 逆变换得到 β'_1 、 β'_2 、 β'_3 ,具体可以

通过公式(2)实现。

- [0100] 安装于发电机上的增量式编码器5,用于测量发电机的转速;
- [0101] 转速变桨控制环7,用于由所述发电机的转速获得期望桨距角;
- [0102] 桨距角耦合器10,用于由所述 β'_1 、 β'_2 、 β'_3 补偿所述期望桨距角获得三个桨叶补偿后的期望桨距角;
- [0103] 变桨控制系统9,用于由所述补偿后的期望桨距角分别独立控制风电机组8的各个桨叶的变桨动作。

[0104] 本发明提供的大型风电机组独立变桨控制装置,是通过测量风机主轴载荷和风轮方位角来获得轮毂固定坐标系上的水平轴弯矩和垂直轴弯矩,实现风电机组独立变桨控制。本发明测量主轴载荷只需要在主轴上安装光纤应变传感器即可,这样可以减少光纤应变传感器的数量。不像现有技术中需要在三片桨叶的根部分别设置四个光纤应变传感器来测量桨叶根部载荷,需要十二个光纤应变传感器,对应需要十二个温度补偿传感器。而且主轴相对于轮毂没有运动,因此测量和信号传输均相对比较简单,也有利于提高载荷信号的可靠性。而现有技术中测量三个桨叶的方法由于桨叶是不断变桨动作的,因此测量和信号传送均比较复杂。并且传感器越多,信号传输带来的延迟越长,最终造成测量不准确和载荷减小效果下降。因此,本发明提供的装置应用的传感器少可以降低成本,并且测量主轴载荷的方案简单容易实现,且由于没有长时间的延迟,因此测量结果比较准确,控制效果更佳,可靠性高。

[0105] 参见图6,该图为本发明提供的大型风电机组独立变桨控制装置的实施例二结构图。

[0106] 本实施例提供的独立变桨控制装置与图5所示的区别是:

[0107] 在增量式编码器5和转速变桨控制环7之间增加了滤波器6,用于对增量式编码器5测量的发电机转速进行滤波,将滤波后的发电机转速发送给转速变桨控制环7。

[0108] 在坐标变换器14和独立变桨控制器17之间依次增加了低通滤波器15和带阻滤波器16。

[0109] 其中,低通滤波器15用于对坐标变换器14输出的 M'_{y} 和 M'_{z} 进行低通滤波,带阻滤波器16对低通滤波后的 M'_{y} 和 M'_{z} 进行带阻滤波。

[0110] 需要说明的是,低通滤波器的表达式如公式(3),带阻滤波器的表达式如公式(4)。

[0111] 本发明提供的装置另一个实施例中,在主轴前端安装八个光纤应变传感器来测量获得 M_y 和 M_z ;其中,四个光纤应变传感器作为温度补偿片;另外四个光纤应变传感器用来测量主轴载荷的主轴弯矩 M_y 、 M_z ;

[0112] 优选地,测量主轴荷载的四个光纤应变传感器的安装位置具体为:

[0113] 两个分别安装于主轴前端截面水平方向的两端处的光纤应变传感器用来测量 M_y 弯矩;两个分别安装于主轴前端竖直方向的两端处的光纤应变传感器用来测量 M_z 弯矩。

[0114] 需要说明的是,为了便于施工安装,可以将用作温度补偿片的四个光纤应变传感器分别贴在测量主轴载荷的四个光纤应变传感器上面,两个贴在一起的光纤应变传感器看上去就像一个传感器。两个光纤应变传感器所有的特性完全一样。此处温度补偿原理可以利用测试技术中最常用的全桥测试原理。由于温度补偿原理应用已经很成熟,所以在此不

做具体说明。

[0115] 本发明利用了四个光纤应变传感器便可以准确测量主轴的载荷。而现有技术中采用测量三个桨叶的根部载荷。这样每个桨叶需要四个光纤应变传感器，这样便需要十二个光纤应变传感器，由于传感器的信号传输是串行的，因此，传感器数量越多，造成的信号传输延迟越长。因此，本申请不但降低了传感器的数量，成本降低，而且信号传输延迟也短。并且桨叶是不断变桨动作的，因此，测量和信号传送过程均不方便。而本发明利用主轴相对轮毂是固定不动，这样测量和信号传送容易实现。

[0116] 本发明提供的独立变桨控制装置另一个实施例中，还包括光纤信号采集装置和滑环；

[0117] 安装于轮毂内的光纤信号采集装置采集光纤应变传感器测量的主轴弯矩 M_y, M_z ，并通过滑环将所述 M_y, M_z 传递给坐标变换器。

[0118] 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。虽然本发明已以较佳实施例揭露如上，然而并非用以限定本发明。任何熟悉本领域的技术人员，在不脱离本发明技术方案范围情况下，都可利用上述揭示的方法和技术内容对本发明技术方案做出许多可能的变动和修饰，或修改为等同变化的等效实施例。因此，凡是未脱离本发明技术方案的内容，依据本发明的技术实质对以上实施例所做的任何简单修改、等同变化及修饰，均仍属于本发明技术方案保护的范围内。

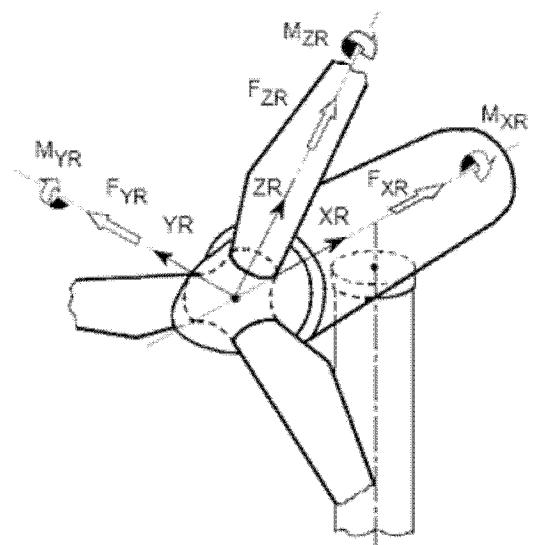


图 1a

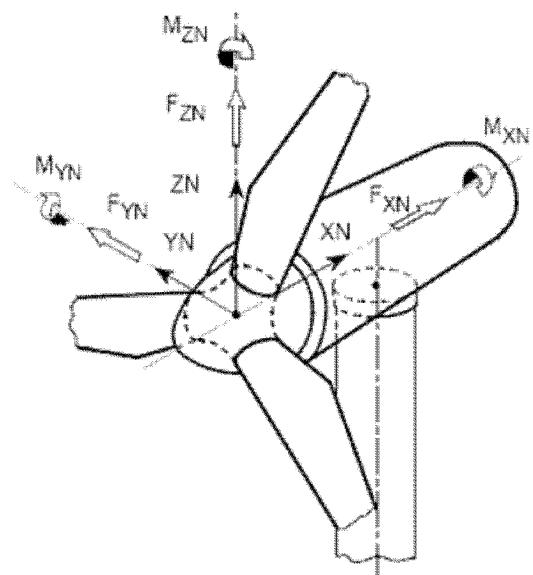


图 1b

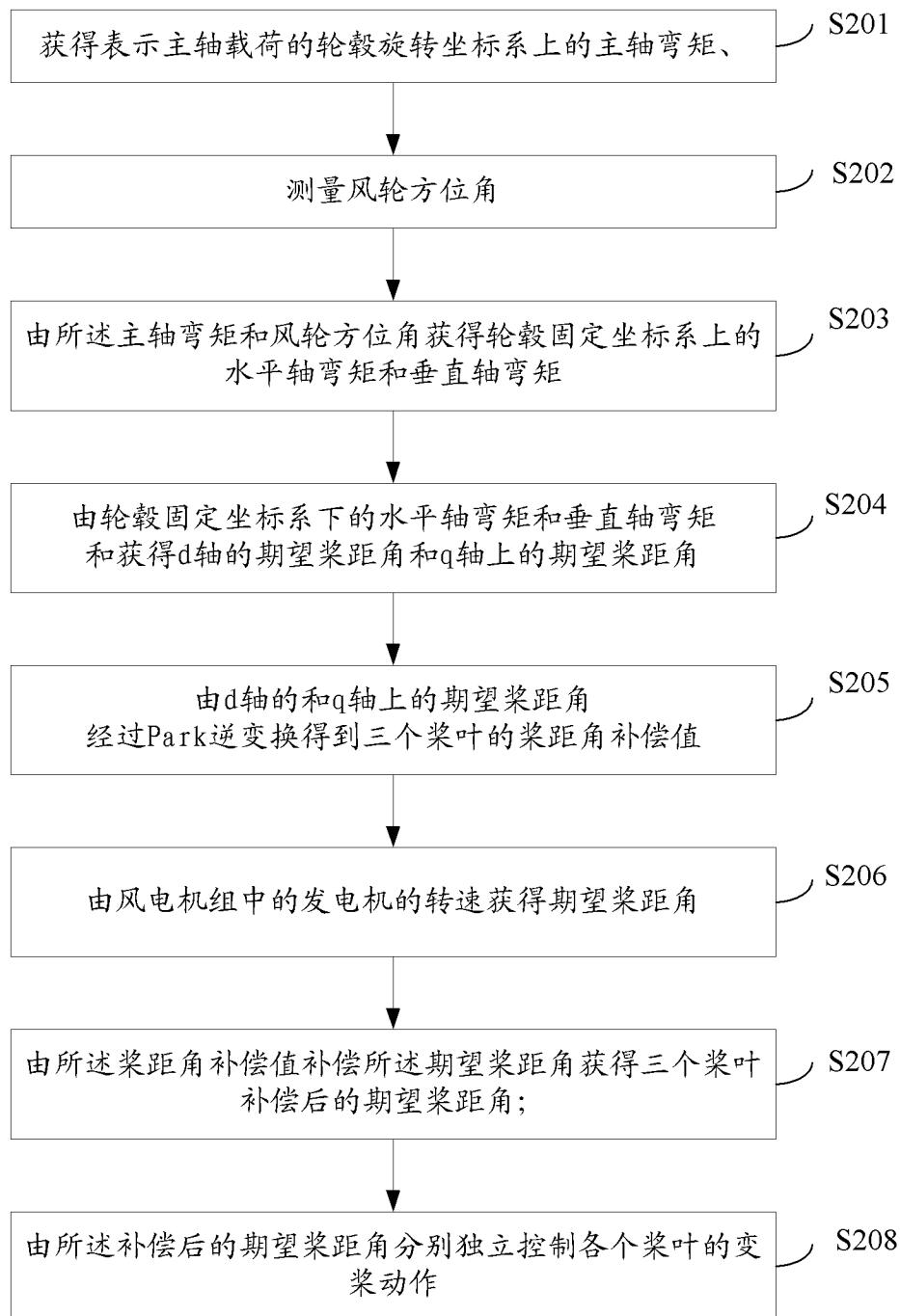


图 2

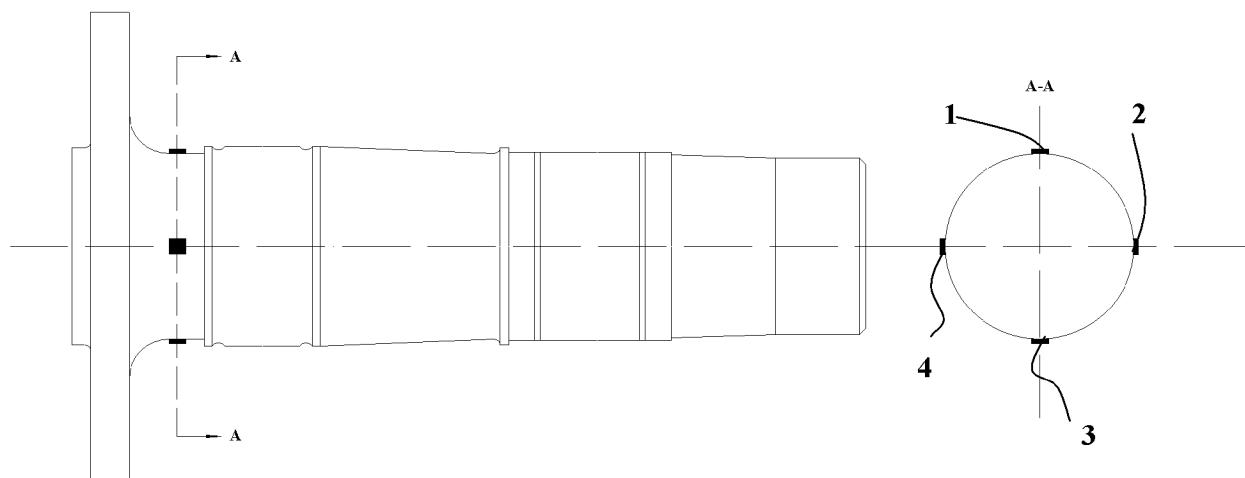


图 3

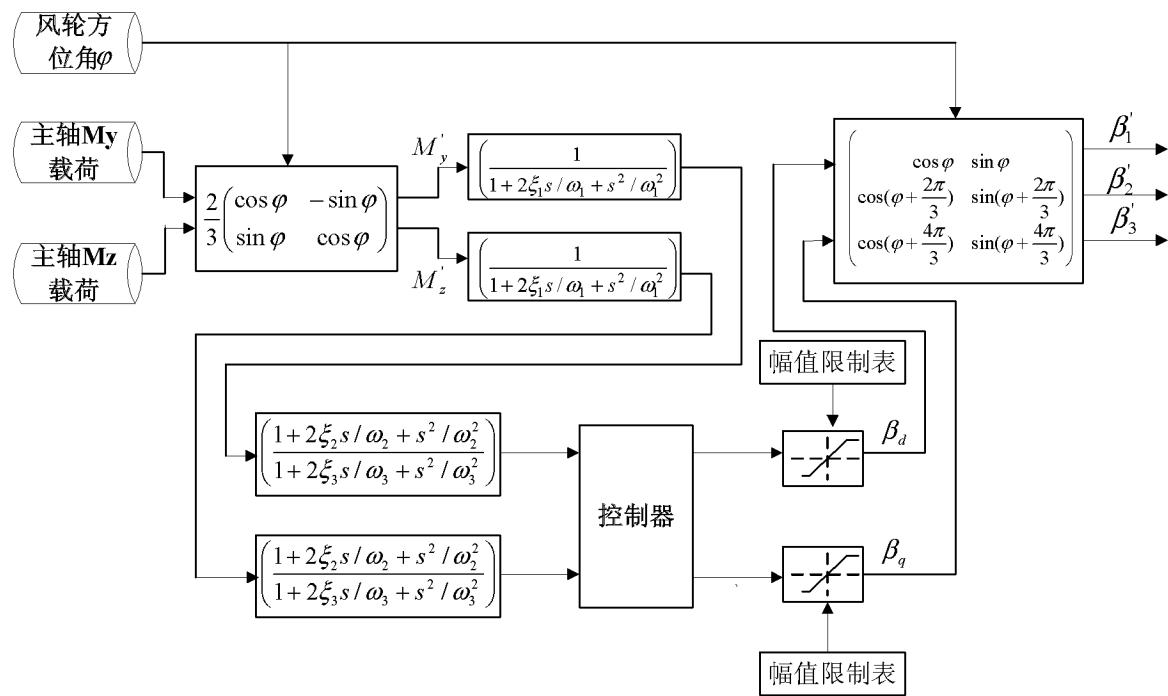


图 4

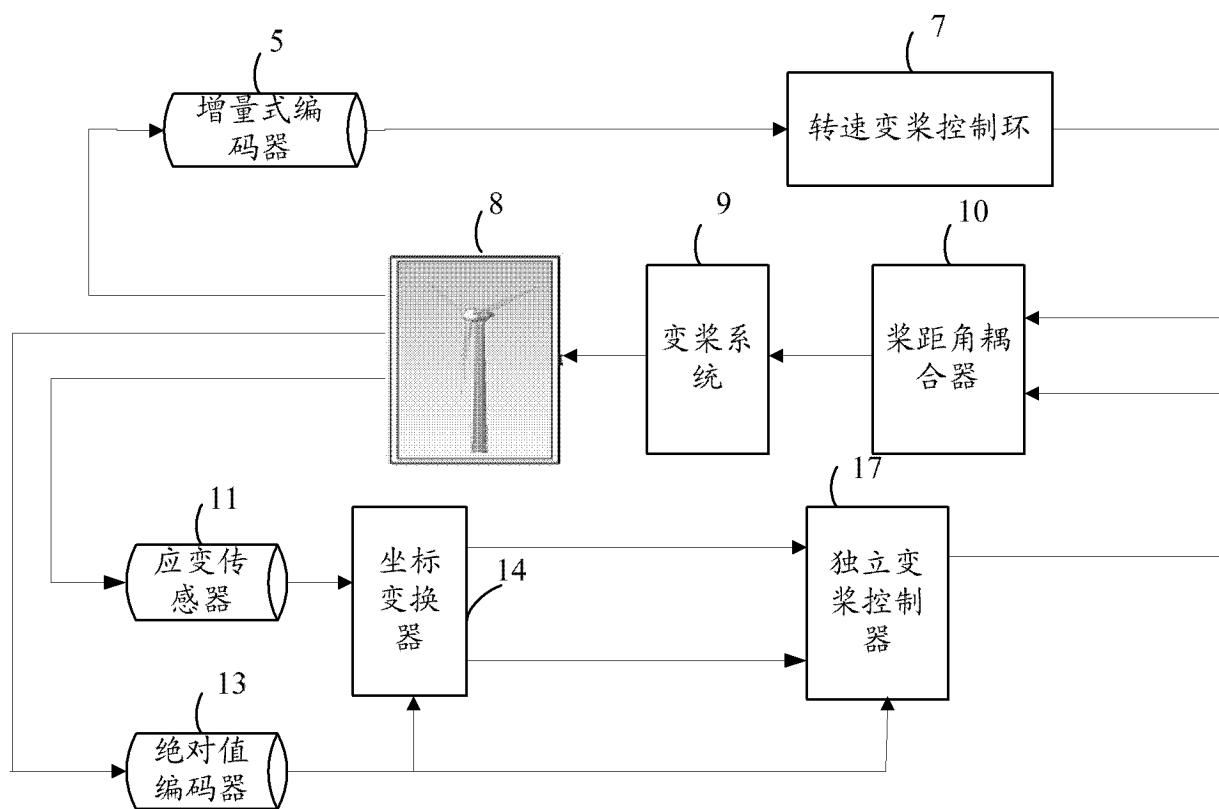


图 5

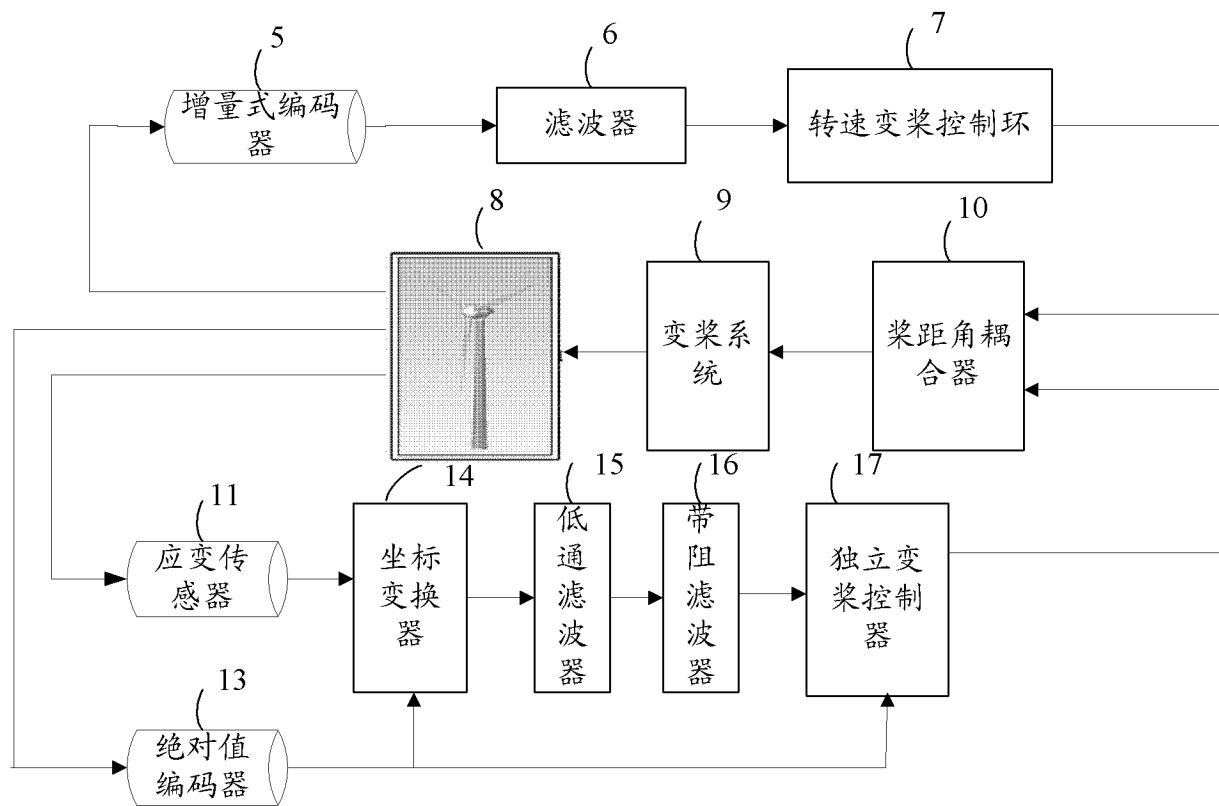


图 6