



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104863793 A

(43) 申请公布日 2015.08.26

(21) 申请号 201510315062.6

(22) 申请日 2015.06.10

(71) 申请人 东南大学

地址 211189 江苏省南京市江宁区东南大学  
路2号

(72) 发明人 樊英 赵雪浩 夏子朋

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所  
(普通合伙) 32249

代理人 黄成萍

(51) Int. Cl.

F03D 7/00(2006.01)

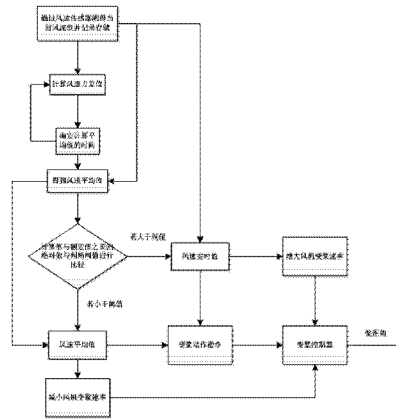
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种根据平均值触发风力发电机变桨动作指令的控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种根据平均值触发风力发电机变桨动作指令的控制方法,针对风速在风力发电机额定风速上下波动的情况的变桨控制策略,当变桨系统检测到发电机转速、输出功率或者风速高于其额定值时,变桨系统开始动作,调整风机桨叶桨距角,减少风机捕获功率来维持风力发电机输出功率稳定。以往的控制方法只专注于如何把输出功率进行稳定控制,但是由于风的随机性与不稳定性,风速可能在风力发电机额定风速上下波动,风力发电机转速与功率也会在额定值上下波动,这就会导致变桨系统的频繁动作,造成变桨机构的疲劳损耗。本方法是基于平均值算法的风力发电机变桨控制方法,大大提高了变桨系统动作的平滑性,减少了疲劳损耗,提高了系统的可靠性。



1. 一种根据平均值触发风力发电机变桨动作指令的控制方法,其特征在于:根据当前时刻  $t$  前一段时长  $T_t$  内的风速平均值  $\bar{v}_t$  触发风力发电机变桨动作指令:

若风速平均值  $\bar{v}_t$  与额定风速  $v_{\text{额定}}$  之差的绝对值小于等于判断阈值  $\delta$ , 则判断风力发电机在额定风速  $v_{\text{额定}}$  上下的抖动区工作,根据风速平均值  $\bar{v}_t$  触发变桨动作指令,同时减小风力发电机的变桨速率;

若风速平均值  $\bar{v}_t$  与额定风速  $v_{\text{额定}}$  之差的绝对值大于判断阈值  $\delta$ , 则判断风力发电机在持续大于额定风速  $v_{\text{额定}}$  的高风速区工作,根据  $t$  时刻风速  $v_t$  触发变桨动作指令,同时增大风力发电机的变桨速率;

所述判断阈值  $\delta$  为风力发电机所允许的最大风速波动幅值,  $\delta = v_{\text{max}} - v_{\text{额定}} = v_{\text{额定}} - v_{\text{min}}$ , 其中  $v_{\text{max}}$  为风力发电机所允许的最大风速,  $v_{\text{min}}$  为风力发电机所允许的最小风速;  $v_{\text{max}}$  和  $v_{\text{min}}$  根据风力发电机并网时所允许的最大输出功率的波动范围计算,其中风速、风力发电机转速和风力发电机输出功率之间存在着非线性的一一对应关系。

2. 根据权利要求 1 所述的根据平均值触发风力发电机变桨动作指令的控制方法,其特征在于:所述时长  $T_t$  的大小根据风速的波动范围确定,根据实际需要设计为定步长或变步长:若风速抖动剧烈,则增大  $T_t$  的取值;若风速抖动平缓,则减小  $T_t$  的取值。

3. 根据权利要求 1 所述的根据平均值触发风力发电机变桨动作指令的控制方法,其特征在于:所述时长  $T_t$  的取值与风速方差  $\text{Var}(v_t)$  成正比关系,即:

$$T_t = K \times \text{Var}(v_t)$$

$$\bar{v}_t = \left[ \int_{t-T_t}^t v_t dt \right] / T_t$$

$$\text{Var}(v_t) = \left[ \int_{t-T}^t (v_t - \bar{v}_t)^2 dt \right]$$

其中:K 为大于 0 的常数。

## 一种根据平均值触发风力发电机变桨动作指令的控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种根据平均值触发风力发电机变桨动作指令的控制方法,属于电机控制技术。

### 背景技术

[0002] 近年来,随着全社会对能源和环境问题的持续关注,发展清洁的可再生能源,如风能、太阳能、生物质能等也成为了大势所趋。其中风能是可以为人类大量使用的、取之不尽用之不竭的绿色能源。风能利用的主要方式是风力发电,风力发电系统是将风能转化为电能的装置。风力发电系统输出风能随外界风速的变化而变化,对电网冲击较大,需要加入变桨控制进行调节;此外在额定风速以上时,变桨机构频繁动作会导致器件的疲劳损坏。因而很有必要对风力发电机变桨控制进行研究。风力发电机在运行时,在额定风速以下采用最大功率跟踪控制,在额定风速以上时要加入变桨控制以确保风力机的机械组件(叶片、变速箱、轴等)的受力在限制范围以内,以及将发电机的输出功率控制在安全范围以内。所以在传统的变桨控制中,执行机构动作指令是以风速的大小作为指标的。当风速传感器检测到实时风速值大于额定风速时,变桨执行机构开始动作,使桨距角达到要求值。

[0003] 已经有文献对在额定风速以上风力发电机变桨控制技术进行了研究,这些文献主要是考虑了风机在额定风速以上运行,并没有考虑风速在额定值上下波动的情况并且其控制目标大多是为了维持风力发电机输出功率稳定。他们一味的追求使输出功率稳定而忽略了变桨机构频繁动作时的损耗,这就导致了变桨机构使用寿命的缩短,增加了维修次数和时间。

### 发明内容

[0004] 发明目的:针对于风力发电机在额定风速上下波动运行情况,如果简单的采用以前以实时量作为变桨动作指令,则会造成便将机构的剧烈动作,并且非常频繁,这就大大增加了变桨机构损坏的可能性;为了克服现有技术中存在的不足,本发明提供一种根据平均值触发风力发电机变桨动作指令的控制方法,该方法既能满足功率稳定,也能满足变桨机构平滑动作的控制。

[0005] 技术方案:为实现上述目的,本发明采用的技术方案为:

[0006] 一种根据平均值触发风力发电机变桨动作指令的控制方法,根据当前时刻  $t$  前一段时长  $T_t$  内的风速平均值  $\bar{v}_t$  触发风力发电机变桨动作指令:

[0007] 若风速平均值  $\bar{v}_t$  与额定风速  $v_{\text{额定}}$  之差的绝对值小于等于判断阈值  $\delta$ ,则判断风力发电机在额定风速  $v_{\text{额定}}$  上下的抖动区工作,根据风速平均值  $\bar{v}_t$  触发变桨动作指令,同时减小风力发电机的变桨速率;

[0008] 若风速平均值  $\bar{v}_t$  与额定风速  $v_{\text{额定}}$  之差的绝对值大于判断阈值  $\delta$ ,则判断风力发电机在持续大于额定风速  $v_{\text{额定}}$  的高风速区工作,根据  $t$  时刻风速  $v_t$  触发变桨动作指令,同时

增大风力发电机的变桨速率；

[0009] 所述判断阈值  $\delta$  为风力发电机所允许的最大风速波动幅值， $\delta = v_{\max} - v_{\text{额定}} = v_{\text{额定}} - v_{\min}$ ，其中  $v_{\max}$  为风力发电机所允许的最大风速， $v_{\min}$  为风力发电机所允许的最小风速； $v_{\max}$  和  $v_{\min}$  根据风力发电机并网时所允许的最大输出功率的波动范围计算，其中风速、风力发电机转速和风力发电机输出功率之间存在着非线性的一一对应关系。

[0010] 风速、风力发电机转速和风力发电机输出功率存之间的关系可通过下式进行计算：

[0011] 叶片捕获风能及其转化的机械功率  $P_m$  通过下式计算：

$$[0012] \quad P_m = \frac{1}{2} \rho C_p A v_w^3;$$

[0013] 式中： $\rho$  为空气密度； $C_p$  为风能利用系数； $A$  为风机叶片扫掠面积； $v_w$  为风速。

[0014] 风能利用系数  $C_p$  的计算公式为：

$$[0015] \quad \begin{cases} X = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{1 + \beta^3} \\ C_p = 0.22(116X - 0.4\beta - 5)e^{-12.5X} \end{cases}$$

[0016] 式中： $\lambda$  为叶尖速比， $\beta$  表示桨距角。

[0017] 风力发电机输出转矩  $T_m$  通过下式计算：

$$[0018] \quad \begin{cases} T_m = \frac{P_m}{\omega_r} = \frac{\frac{1}{2} \rho C_p A v_w^3}{\omega_r} \rightarrow T_m = \frac{1}{2\lambda^3} \rho C_p A R^3 \omega_r^2 \\ v_w = \frac{\omega_r R}{\lambda} \end{cases}$$

[0019] 其中： $\omega_r$  为风力发电机转速， $R$  为风轮半径。

[0020] 考虑到风力发电机为了充分利用风能，通常采用最大功率跟踪控制，风能利用系数  $C_p$  跟踪其最大值  $C_{p\max}$ ，叶尖速比  $\lambda$  为最优，所以电磁转矩  $T_e$  可表达为：

$$[0021] \quad T_e = \left( \frac{1}{2\lambda_{opt}^3} \rho C_{p\max} A R^3 \right) \omega_r^2 = k \omega_r^2$$

[0022] 忽略风机阻尼系数，则风力发电机转速  $\omega_r$  为：

$$[0023] \quad \omega_r = \frac{1}{J} \int (T_m - T_e) dt$$

[0024] 其中： $J$  为发电机转动惯量。

[0025] 风力发电机输出功率  $P$  为：

$$[0026] \quad P = T_e \cdot \omega_r$$

[0027] 具体的，所述时长  $T_t$  的大小根据风速的波动范围确定，根据实际需要设计为定步长或变步长；若风速抖动剧烈，则增大  $T_t$  的取值，以避免桨距角执行机构的剧烈动作；若风速抖动平缓，则减小  $T_t$  的取值，以减少运算时间、加快变桨速度、提高控制精度。

[0028] 具体的，所述时长  $T_t$  的取值与风速方差  $\text{Var}(v_t)$  成正比关系，即：

$$[0029] \quad T_t = K \times \text{Var}(v_t)$$

$$[0030] \quad \bar{v}_t = [\int_{t-T_t}^t v_t dt] / T_t$$

$$[0031] \quad Var(v_t) = [\int_{t-T_t}^t (v_t - \bar{v}_t)^2 dt]$$

[0032] 其中:K 为大于 0 的常数。

[0033] 有益效果:本发明提供的根据平均值触发风力发电机变桨动作指令的控制方法,具有如下优势:1、当风力发电机在风速围绕额定值上下波动的风况下运行时,采用本发明控制方法,可以有效减少变桨机构的尖峰动作,改善变桨动作的平滑性,并降低变桨执行机构的疲劳损耗;2、当风力发电机持续在高于风速额定值的风况下运行时,采用本发明控制方法,可以保证变桨动作的及时性与变桨精度,使风力发电机转速与功率稳定。

### 附图说明

[0034] 图 1 为本发明的风力发电机组变桨控制方法的流程图;

[0035] 图 2 为风速波形;

[0036] 图 3 以实时风速作为变桨动作指令下桨距角波形

[0037] 图 4 以平均风速作为变桨动作指令下桨距角波形;

[0038] 图 5 为两种控制算法下转速波形对比。

### 具体实施方式

[0039] 下面结合附图对本发明作更进一步的说明。

[0040] 如图 1 所示为一种根据平均值触发风力发电机变桨动作指令的控制方法的实时流程图,具体实施过程包括:

[0041] 步骤一:获取 t 时刻的风速  $v_t$  并存储记录。

[0042] 步骤二:计算 t 时刻的风速方差  $Var(v_t)$ , 具体公式为:

$$[0043] \quad \bar{v}_t = [\int_{t-T_t}^t v_t dt] / T_t$$

$$[0044] \quad Var(v_t) = [\int_{t-T_t}^t (v_t - \bar{v}_t)^2 dt]$$

[0045] 步骤三:根据风速方差  $Var(v_t)$  确定时长  $T_t$ , 时长  $T_t$  的选择与风速方差  $Var(v_t)$  成正比关系:

$$[0046] \quad T_t = K \times Var(v_t)$$

[0047] 步骤四:判断时长  $T_t$  内的风况, 即判断风力发电机在额定风速  $v_{\text{额定}}$  上下的抖动区工作还是在持续大于额定风速  $v_{\text{额定}}$  的高风速区工作, 具体判断方法为:计算  $v_c = |\bar{v}_t - v_{\text{额定}}|$ , 若  $v_c \leq \delta$  则判断风力发电机在抖动区工作, 若  $v_c > \delta$  则判断风力发电机在高风速区工作。

[0048] 所述判断阈值  $\delta$  为风力发电机所允许的最大风速波动幅值,  $\delta = v_{\text{max}} - v_{\text{额定}} = v_{\text{额定}} - v_{\text{min}}$ , 其中  $v_{\text{max}}$  为风力发电机所允许的最大风速,  $v_{\text{min}}$  为风力发电机所允许的最小风速;  $v_{\text{max}}$  和  $v_{\text{min}}$  根据风力发电机并网时所允许的最大输出功率的波动范围计算, 风速、风力发电机转速和风力发电机输出功率存在非线性对应关系。

[0049] 步骤五:若风力发电机在抖动区工作, 根据风速平均值  $\bar{v}_t$  触发变桨动作指令, 同时

减小风力发电机的变桨速率,以降低风机变桨执行机构损耗;若风力发电机在高风速区工作,根据  $t$  时刻风速  $v_t$  触发变桨动作指令,同时增大风力发电机的变桨速率,以提高风机变桨控制精度。

[0050] 为了验证本发明方法的有效性,下面给出一个仿真验证;基于 MATLAB/SIMULINK,以风速平均值  $\bar{v}$  作为变桨动作指令,对一台直驱永磁同步风力发电机进行仿真研究,系统主要参数如表 1 所示:

[0051] 表 1 系统参数

[0052]

定子电阻	0.53761 $\Omega$
直交轴电感	12.998e-3H
永磁磁链	1.86wb
阻尼系数	1.349e-4
风能利用系数最大值	0.438
最佳叶尖速比	6.3
极对数	6
额定风速	12m/s
额定转速	26.6rad/s
空气密度	1.225
风轮半径	2.84m
额定功率	11747w

[0053] 由图 3、4 可知,加入平均值算法的桨距角波形与原桨距角波形相比,大大减少了桨距角尖峰脉冲动作。由图 5 可知,加入了平均值算法的转速波形在额定风速上下波动区域控制效果相比于传统变桨控制算法下的转速波形略有波动;在高风速区两种算法下的控制效果一致。

[0054] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出:对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

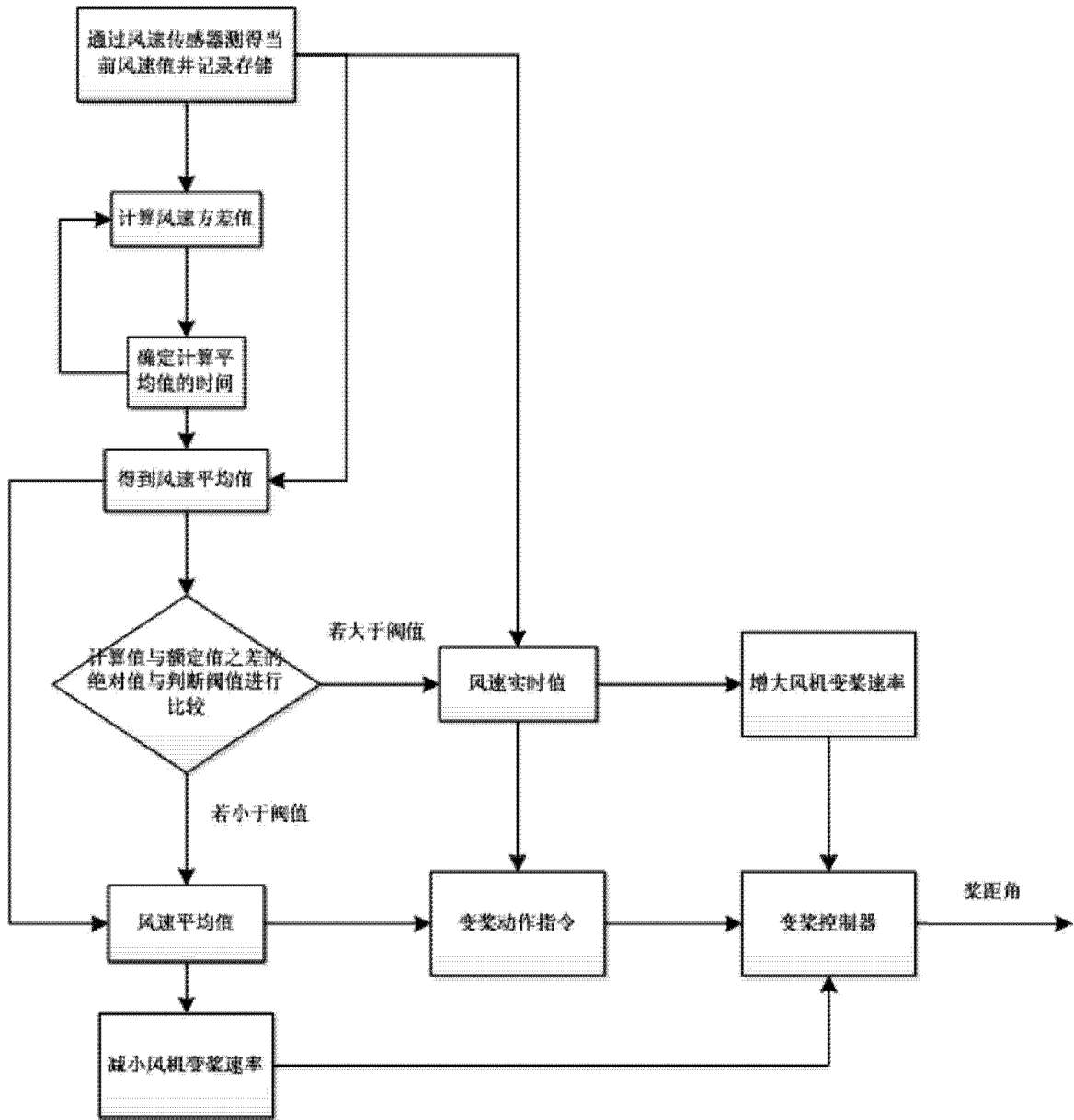


图 1

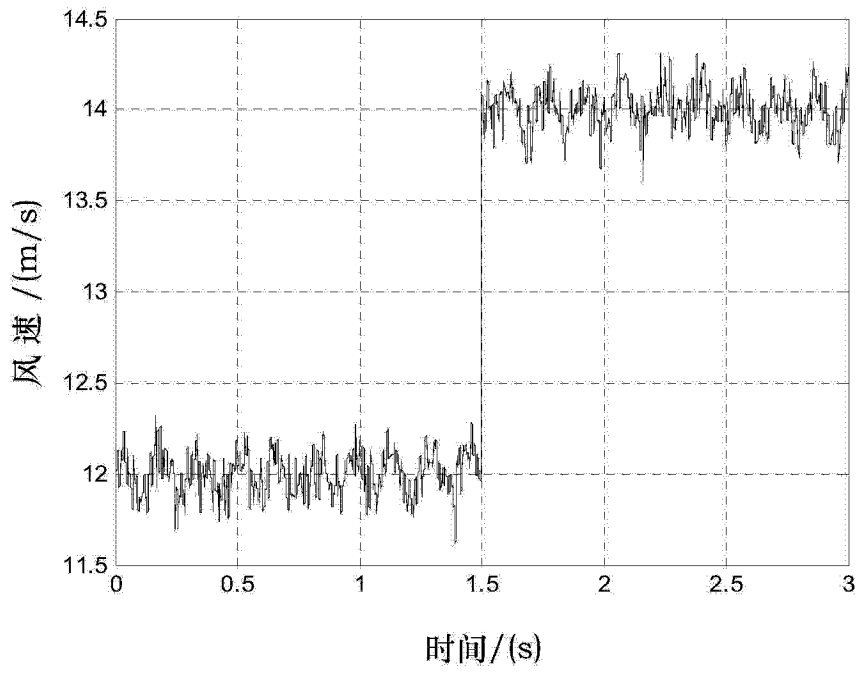


图 2

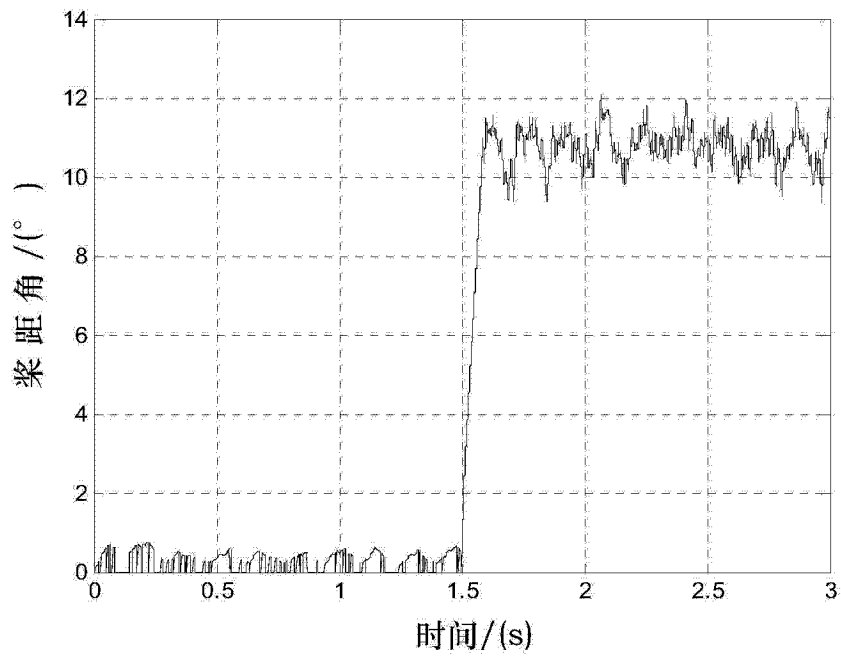


图 3



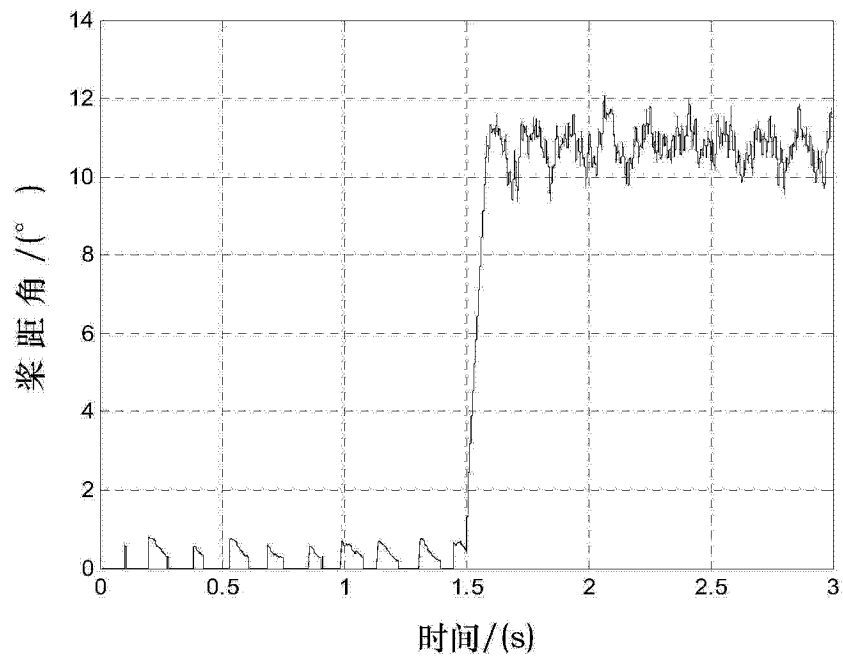


图 4

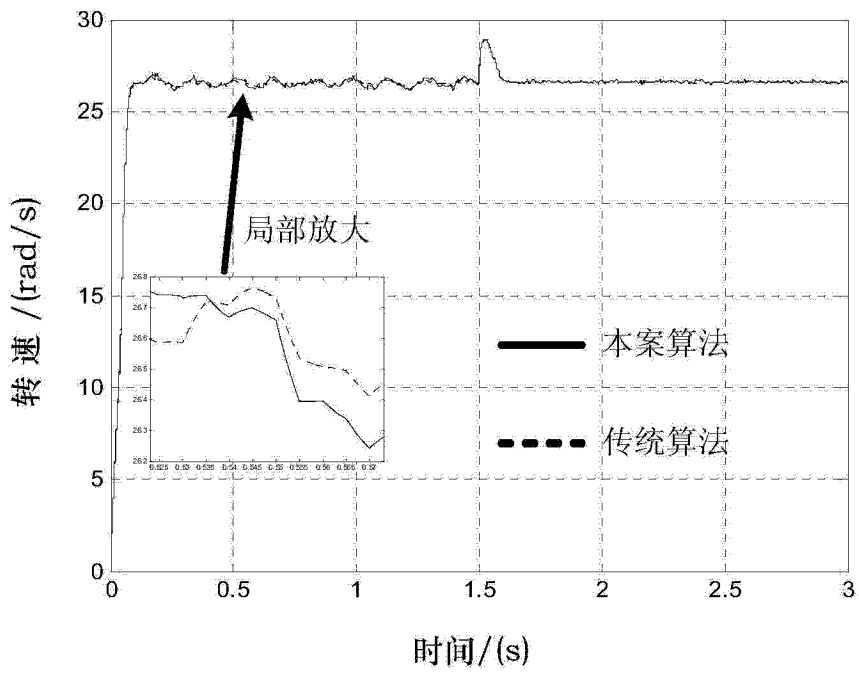


图 5