



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104917204 B

(45)授权公告日 2017.03.29

(21)申请号 201510380010.7

审查员 许庆婷

(22)申请日 2015.07.01

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104917204 A

(43)申请公布日 2015.09.16

(73)专利权人 江苏省城市规划设计研究院

地址 210036 江苏省南京市鼓楼区草场门

大街88#江苏建设大厦

(72)发明人 陈曦寒

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司

32200

代理人 朱小兵

(51)Int. Cl.

H02J 3/38(2006.01)

权利要求书2页 说明书5页 附图1页

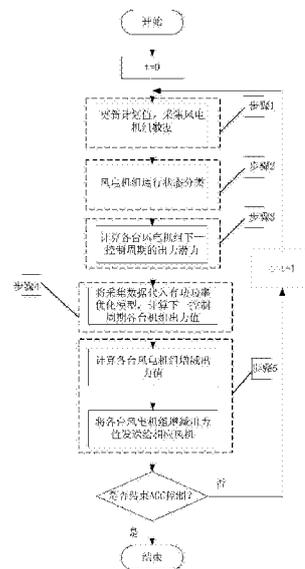
(54)发明名称

一种风电场有功功率优化控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种风电场有功功率优化控制方法,采用本发明的有功功率分配计算方法可确定风电场下一控制周期各风电机组的有功出力值,首先采集当前控制周期风电场风电机组运行状态数据、当前控制周期风电机组所处位置风速、当前控制周期风电机组出力和下一控制周期风电机组所处位置预测风速,并实时接收调度中心下发的风电场有功功率计划值,风电场有功功率控制系统根据采集的各风电机组数据通过有功功率控制优化算法合理安排风电场各风电机组的出力值并下发给每台参与调节的风电机组,实现整个风电场的有功功率出力值跟踪调度下发的计划值。本发明最大限度的提高风电场的发电量,减少各台风电机组的启停频次,并能够较好的平滑各台风电机组出力。

CN 104917204 B



1. 一种风电场有功功率优化控制方法,其特征在于,包括以下步骤,

步骤(1)、采集当前控制周期第*i*台风电机组的出力 $P_i(t)$ 、当前控制周期第*i*台风电机组的运行状态、当前控制周期风电场有功功率总值 $P_{actual}(t)$ 、当前控制周期调度中心下发的计划值 $P_{plan}(t)$ 、下一控制周期调度中心下发计划值 $P_{plan}(t+1)$ 、下一控制周期第*i*台风电机组所处位置的预测风速 $\hat{v}_i(t+1)$ 、第*i*台风电机组的额定出力 P_r 、第*i*台风电机组的最小技术出力 P_i^{min} ;其中, $i=1, \dots, n$,*i*为风电机组的编号,*n*为风电场中风电机组的数量,*t*表示当前控制周期,*t*+1表示下一控制周期;

步骤(2)、根据步骤(1)采集的当前控制周期第*i*台风电机组的运行状态,将*n*台风电机组进行分类预处理,分为并网可调风电机组、停机故障机组和通信故障机组;

步骤(3)、根据步骤(1)采集的下一控制周期第*i*台风电机组所处位置的预测风速 $\hat{v}_i(t+1)$,预测*n*台风电机组的在下一控制周期的出力潜力 $\hat{P}_i(t+1)$;

步骤(4)、根据以下目标函数和约束条件,通过遗传算法计算得到风电场中各台风电机组下一控制周期的出力 $P_i(t+1)$;

所述目标函数为:

$$\min \lambda \cdot \frac{|P_{plan}(t+1) - P_{actual}(t+1)|}{Q} + (1-\lambda) \cdot \max \left\{ \frac{|P_1(t+1) - P_1(t)|}{P_r}, \dots, \frac{|P_i(t+1) - P_i(t)|}{P_r}, \dots, \frac{|P_n(t+1) - P_n(t)|}{P_r} \right\}$$

其中, $P_{actual}(t+1)$ 为下一控制周期风电场出力,*Q*为风电场装机容量, $\max \{\dots\}$ 为取最大值函数, λ 为权重系数;

所述约束条件包括风电场出力约束、风电机组出力约束、风电场有功功率变化率约束和风电机组出力变化率约束;

所述风电场出力约束如下式所示:

$$P_{actual}(t+1) = \sum_{i=1}^n P_i(t+1);$$

所述风电机组出力约束如下式所示:

$$P_i^{min} \leq P_i(t+1) \leq \hat{P}_i(t+1) \leq P_r;$$

所述风电场有功功率变化率约束如下式所示:

$$|P_{plan}(t+1) - P_{actual}(t+1)| \leq \Delta P_{rule};$$

其中, ΔP_{rule} 为电网调度部门规定的风电场输出功率变化率给定值;

所述风电机组出力变化率约束如下式所示:

$$|P_i(t+1) - P_i(t)| \leq \Delta P_{i,rule};$$

其中, $\Delta P_{i,rule}$ 为第*i*台风电机组出力变化率可调限值;

步骤(5)、根据步骤(4)得到的各台风电机组下一控制周期的出力 $P_i(t+1)$,计算各台风电机组在下一控制周期增出力值 $\Delta P_i(t+1)$, $\Delta P_i(t+1) = P_i(t+1) - P_i(t)$;当 $\Delta P_i(t+1) > 0$ 则风电机组增出力,当 $\Delta P_i(t+1) < 0$ 则风电机组减出力,当 $\Delta P_i(t+1) = 0$ 则风电机组出力不变。

2. 根据权利要求1所述的一种风电场有功功率优化控制方法,其特征在于,所述并网可

调风力发电机在下一控制周期的出力潜力为：

$$\begin{cases} 0, & \hat{v}_i(t+1) < v_{ct}, \hat{v}_i(t+1) > v_{\infty} \\ \frac{1}{2} C_p \rho S \hat{v}_i^3(t+1), & v_{ct} < \hat{v}_i(t+1) < v_r \\ P_r, & v_r < \hat{v}_i(t+1) < v_{\infty} \end{cases}$$

其中， $\hat{v}_i(t+1)$ 为第i台风电机组下一控制周期预测风速， ρ 为空气密度， S 为风轮扫风面积， v_r 为额定风速， v_{ct} 为切入风速， v_{∞} 为切出风速， $v_i(t)$ 为第i台风电机组所处风速， C_p 为风能利用系数；

所述停机故障机组在下一控制周期的出力潜力为0；

所述通信故障机组在下一控制周期的出力潜力为 $P_i(t)$ 。

3. 根据权利要求2所述的一种风电场有功功率优化控制方法，其特征在于，所述风力发电机的出力潜力与下一控制周期的预测风速有关。

4. 根据权利要求1所述的一种风电场有功功率优化控制方法，其特征在于，所述目标函数是用于最大化降低风电场有功功率变化率，同时减少风电机组出力变化率。

5. 根据权利要求1所述的一种风电场有功功率优化控制方法，其特征在于，所述风电机组出力变化率可调限值与风电机组设计参数、当前控制周期风电机组所处位置风速以及下一控制周期风电机组所处位置风速有关。

一种风电场有功功率优化控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统及其自动化技术领域,特别是一种风电场有功功率优化控制方法。

背景技术

[0002] 2011年底,国家标准化管理委员会发布2011年第23号国家标准公告,批准《风电场接入电力系统技术规定》(GB/T 19963-2011)。该标准对风电场的有功功率控制要求做了较详细的规定,上述入网技术规定风电场必须具有有功功率调节能力,并能根据电网调度部门指令控制其有功功率输出。为了实现对风电场有功功率的控制,风电场需安装有功功率控制系统,能够接收并自动执行调度部门远方发送的有功出力控制信号。

[0003] 由于风力发电能力大小取决于风力资源的大小,单台风电机组和全场风电出力具有较大的波动性,风电场接受调度中心有功调度指令后需将调度需求分配到场内各风电机组;风电机组控制系统的频繁动作会直接影响其出力可靠性和机组寿命。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是克服现有技术的不足而提供一种风电场有功功率优化控制方法,将调度中心下发给风电场的计划值分配给每台风电机组,进而合理安排风电场中各风电机组的启停和控制目标值,实现整个风电场的有功功率实测值紧跟调度中心下发的计划值,最大限度的提高风电场的发电效率,降低风电场出力的变化率,同时减少风电机组的启停频率。

[0005] 本发明为解决上述技术问题采用以下技术方案:

[0006] 根据本发明提出的一种风电场有功功率优化控制方法,包括以下步骤,

[0007] 步骤(1)、采集当前控制周期第*i*台风电机组的出力 $P_i(t)$ 、当前控制周期第*i*台风电机组的运行状态、当前控制周期风电场有功功率总值 $P_{\text{actual}}(t)$ 、当前控制周期调度中心下发的计划值 $P_{\text{plan}}(t)$ 、下一控制周期调度中心下发计划值 $P_{\text{plan}}(t+1)$ 、下一控制周期第*i*台风电机组所处位置的预测风速 $\hat{v}_i(t+1)$ 、第*i*台风电机组的额定出力 P_r 、第*i*台风电机组的最小技术出力 P_i^{min} ;其中, $i=1, \dots, n$,*i*为风电机组的编号,*n*为风电场中风电机组的数量,*t*表示当前控制周期,*t*+1表示下一控制周期;

[0008] 步骤(2)、根据步骤(1)采集的当前控制周期第*i*台风电机组的运行状态,将*n*台风电机组进行分类预处理,分为并网可调风电机组、停机故障机组和通信故障机组;

[0009] 步骤(3)、根据步骤(1)采集的下一控制周期第*i*台风电机组所处位置的预测风速 $\hat{v}_i(t+1)$,预测*n*台风电机组的在下一控制周期的出力潜力 $\hat{P}_i(t+1)$;

[0010] 步骤(4)、根据以下目标函数和约束条件,通过遗传算法计算得到风电场中各台风电机组下一控制周期的出力 $P_i(t+1)$;

[0011] 所述目标函数为:

$$\begin{aligned}
 [0012] \quad & \min \lambda \cdot \frac{|P_{plan}(t+1) - P_{actual}(t+1)|}{Q} \\
 & + (1-\lambda) \cdot \max \left\{ \frac{|P_1(t+1) - P_1(t)|}{P_r}, \dots, \frac{|P_i(t+1) - P_i(t)|}{P_r}, \dots, \frac{|P_n(t+1) - P_n(t)|}{P_r} \right\}
 \end{aligned}$$

[0013] 其中, $P_{actual}(t+1)$ 为下一控制周期风电场出力, Q 为风电场装机容量, $\max\{\dots\}$ 为取最大值函数, λ 为权重系数;

[0014] 所述约束条件包括风电场出力约束、风电机组出力约束、风电场有功功率变化率约束和风电机组出力变化率约束;

[0015] 所述风电场出力约束如下式所示:

$$[0016] \quad P_{actual}(t+1) = \sum_{i=1}^n P_i(t+1);$$

[0017] 所述风电机组出力约束如下式所示:

$$[0018] \quad P_i^{\min} \leq P_i(t+1) \leq \hat{P}_i(t+1) \leq P_r;$$

[0019] 所述风电场有功功率变化率约束如下式所示:

$$[0020] \quad |P_{plan}(t+1) - P_{actual}(t+1)| \leq \Delta P_{rule};$$

[0021] 其中, ΔP_{rule} 为电网调度部门的规定风电场输出功率变化率给定值;

[0022] 所述风电机组出力变化率约束如下式所示:

$$[0023] \quad |P_i(t+1) - P_i(t)| \leq \Delta P_{i,rule};$$

[0024] 其中, $\Delta P_{i,rule}$ 为第 i 台风电机组出力变化率可调限值;

[0025] 步骤(5)、根据步骤(4)得到的各台风电机组下一控制周期的出力 $P_i(t+1)$, 计算各台风电机组在下一控制周期增出力值 $\Delta P_i(t+1)$, $\Delta P_i(t+1) = P_i(t+1) - P_i(t)$; 当 $\Delta P_i(t+1) > 0$ 则风电机组增出力, 当 $\Delta P_i(t+1) < 0$ 则风电机组减出力, 当 $\Delta P_i(t+1) = 0$ 则风电机组出力不变。

[0026] 作为本发明所述的一种风电场有功功率优化控制方法进一步优化方案, 所述并网

$$\text{可调风力发电机在下一控制周期的出力潜力为: } \begin{cases} 0, & \hat{v}_i(t+1) < v_{ct}, \hat{v}_i(t+1) > v_{\infty}; \\ \frac{1}{2} C_p \rho S \hat{v}_i^3(t+1), & v_{ct} < \hat{v}_i(t+1) < v_r \\ P_r, & v_r < \hat{v}_i(t+1) < v_{\infty} \end{cases}$$

[0027] 其中, $\hat{v}_i(t+1)$ 为第 i 台风电机组下一控制周期预测风速, ρ 为空气密度, S 为风轮扫风面积, v_r 为额定风速, v_{ct} 为切入风速, v_{∞} 为切出风速, $v_i(t)$ 为第 i 台风电机组所处风速, C_p 为风能利用系数;

[0028] 所述停机故障机组在下一控制周期的出力潜力为0;

[0029] 所述通信故障机组在下一控制周期的出力潜力为 $P_i(t)$ 。

[0030] 作为本发明所述的一种风电场有功功率优化控制方法进一步优化方案, 所述风力发电机的出力潜力与下一控制周期的预测风速有关。

[0031] 作为本发明所述的一种风电场有功功率优化控制方法进一步优化方案, 所述目标函数是用于最大化降低风电场有功功率变化率, 同时减少风电机组出力变化率。

[0032] 作为本发明所述的一种风电场有功功率优化控制方法进一步优化方案, 所述风电

机组出力变化率可调限值与风电机组设计参数、当前控制周期风电机组所处位置风速以及下一控制周期风电机组所处位置风速有关。

[0033] 本发明采用以上技术方案与现有技术相比,具有以下技术效果:

[0034] (1) 该方法通过采集风电机组相关参数判断风电机组运行状态,并根据当前控制周期风电机组的运行状态优化计算风电场内有功调度分配指令,平滑风电机组出力;

[0035] (2) 本发明提出的有功功率优化控制方法中目标函数通过最小化风电场出力变化值,同时最小化各台风电机组出力变化值的最大值,即最小化风电场出力波动性;约束条件部分考虑了风电场出力约束、风电机组出力约束、风电场有功功率变化率约束和风电机组出力变化率约束;现有风电场内有功功率分配算法都没有同时考虑到风电场出力波动性和风电机组的出力波动性,大多数仅仅是将总功率按各风电场的装机容量进行简单的平均分配;

[0036] (3) 本发明与现有风电场内有功功率分配算法相比,本发明首先是采用了最优化方法去求解各台风电机组下一控制周期出力值,以及利用目标函数使得最小化风电场出力波动性和最小化风电机组的出力波动性,减少风电机组的频繁启停控制,从而较好的平滑风电场出力,这与《风电场接入电力系统技术规定(GB/T 19963-2011)》中关于风电场最大功率变化率的要求相一致。

附图说明

[0037] 图1是本发明方法的流程图。

具体实施方式

[0038] 下面结合附图对本发明的技术方案做进一步的详细说明:

[0039] 如图1所示的流程图,本发明的集群风电场有功功率控制方法,包括下述步骤:

[0040] 步骤(1)、采集当前控制周期第*i*台风电机组的出力 $P_i(t)$ 、当前控制周期第*i*台风电机组的运行状态、当前控制周期风电场有功功率总值 $P_{actual}(t)$ 、当前控制周期调度中心下发的计划值 $P_{plan}(t)$ 、下一控制周期调度中心下发计划值 $P_{plan}(t+1)$ 、下一控制周期第*i*台风电机组所处位置的预测风速 $\hat{v}_i(t+1)$ 、第*i*台风电机组的额定出力 P_r 、第*i*台风电机组的最小技术出力 P_i^{min} ;其中, $i=1, \dots, n$,*i*为风电机组的编号,*n*为风电场中风电机组的数量,*t*表示当前控制周期,*t*+1表示下一控制周期;

[0041] 步骤(2)、根据步骤(1)采集的当前控制周期第*i*台风电机组的运行状态,将*n*台风电机组进行分类预处理,分为并网可调风电机组、停机故障机组和通信故障机组;

[0042] 步骤(3)、根据步骤(1)采集的下一控制周期第*i*台风电机组所处位置的预测风速 $\hat{v}_i(t+1)$,预测*n*台风电机组的在下一控制周期的出力潜力 $\hat{P}_i(t+1)$;

[0043] 所述并网可调风力发电机在下一控制周期的出力潜力为:

$$[0044] \begin{cases} 0, & \hat{v}_i(t+1) < v_{ct}, \hat{v}_i(t+1) > v_{co} \\ \frac{1}{2} C_p \rho S \hat{v}_i^3(t+1), & v_{ct} < \hat{v}_i(t+1) < v_r \\ P_r, & v_r < \hat{v}_i(t+1) < v_{co} \end{cases}$$

[0045] 其中, $\hat{v}_i(t+1)$ 为第 i 台风电机组下一控制周期预测风速, ρ 为空气密度, S 为风轮扫风面积, v_r 为额定风速, v_{ct} 为切入风速, v_{∞} 为切出风速, $v_i(t)$ 为第 i 台风电机组所处风速, C_p 为风能利用系数;

[0046] 所述停机故障机组在下一控制周期的出力潜力为 0;

[0047] 所述通信故障机组在下一控制周期的出力潜力为 $P_i(t)$;

[0048] 步骤 (4)、根据以下目标函数和约束条件, 通过遗传算法计算得到风电场中各台风电机组下一控制周期的出力 $P_i(t+1)$;

[0049] 所述目标函数为:

$$\begin{aligned} \min \lambda \cdot \frac{|P_{plan}(t+1) - P_{actual}(t+1)|}{Q} \\ + (1-\lambda) \cdot \max \left\{ \frac{|P_1(t+1) - P_1(t)|}{P_r}, \dots, \frac{|P_i(t+1) - P_i(t)|}{P_r}, \dots, \frac{|P_n(t+1) - P_n(t)|}{P_r} \right\} \end{aligned} \quad [0050]$$

[0051] 其中, $P_{actual}(t+1)$ 为下一控制周期风电场出力, Q 为风电场装机容量, $\max\{\dots\}$ 为取最大值函数, λ 为权重系数;

[0052] 所述约束条件包括风电场出力约束、风电机组出力约束、风电场有功功率变化率约束和风电机组出力变化率约束;

[0053] 所述风电场出力约束如下式所示:

$$P_{actual}(t+1) = \sum_{i=1}^n P_i(t+1); \quad [0054]$$

[0055] 所述风电机组出力约束如下式所示:

$$P_i^{\min} \leq P_i(t+1) \leq \hat{P}_i(t+1) \leq P_r; \quad [0056]$$

[0057] 所述风电场有功功率变化率约束如下式所示:

$$|P_{plan}(t+1) - P_{actual}(t+1)| \leq \Delta P_{rule}; \quad [0058]$$

[0059] 其中, ΔP_{rule} 为电网调度部门规定的风电场输出功率变化率给定值;

[0060] 所述风电机组出力变化率约束如下式所示:

$$|P_i(t+1) - P_i(t)| \leq \Delta P_{i,rule}; \quad [0061]$$

[0062] 其中, $\Delta P_{i,rule}$ 为第 i 台风电机组出力变化率可调限值;

[0063] 步骤 (5)、根据步骤 (4) 得到的各台风电机组下一控制周期的出力 $P_i(t+1)$, 计算各台风电机组在下一控制周期增出力值 $\Delta P_i(t+1)$, $\Delta P_i(t+1) = P_i(t+1) - P_i(t)$; 当 $\Delta P_i(t+1) > 0$ 则风电机组增出力, 当 $\Delta P_i(t+1) < 0$ 则风电机组减出力, 当 $\Delta P_i(t+1) = 0$ 则风电机组出力不变。

[0064] 所述风力发电机的出力潜力与下一控制周期的预测风速有关。

[0065] 所述目标函数是用于最大化降低风电场有功功率变化率, 同时减少风电机组出力变化率。

[0066] 所述风电机组出力变化率可调限值与风电机组设计参数、当前控制周期风电机组所处位置风速以及下一控制周期风电机组所处位置风速有关。

[0067] 总之, 本发明是根据风电机组当前控制周期运行状态、风电机组所处位置风速、风电机组出力情况等数据, 同时考虑了各台风电机组下一控制周期的有功功率出力潜力, 最

后计算出各台风电机组下一控制周期出力值,并下发至各台风电机组。计算模型较好的保证了各台风电机组有功功率出力变化率最小和风电场有功功率出力变化率最小。

[0068] 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

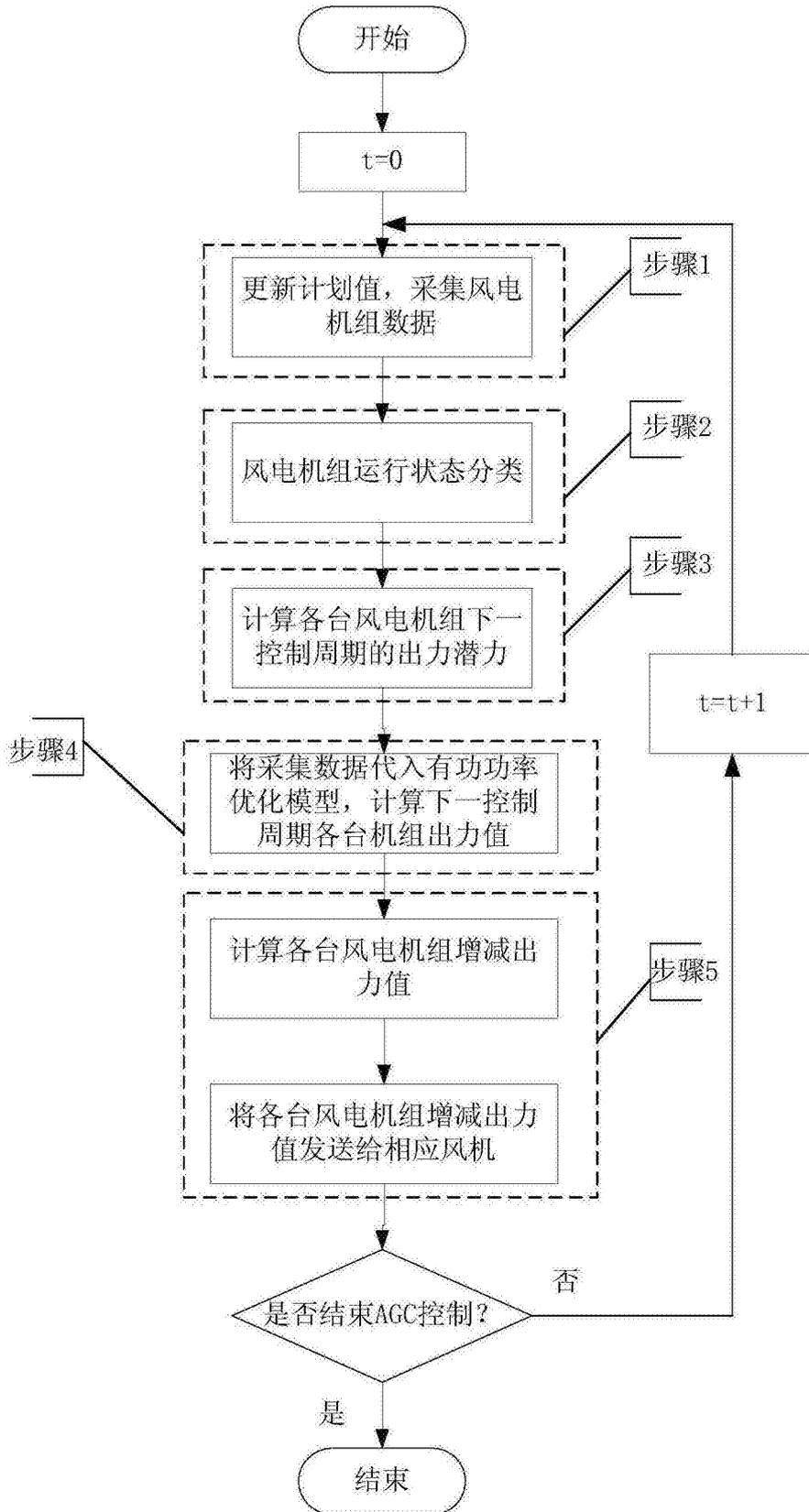


图1