



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108599276 A

(43)申请公布日 2018.09.28

(21)申请号 201810309350.4

(22)申请日 2018.04.09

(71)申请人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市天河区五山路381号

(72)发明人 彭嘉俊 杨苹 曾智基 陈耀圣

(74)专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司 44102

代理人 何淑珍 江裕强

(51) Int. Cl.

H02J 3/48(2006.01)

H02J 3/32(2006.01)

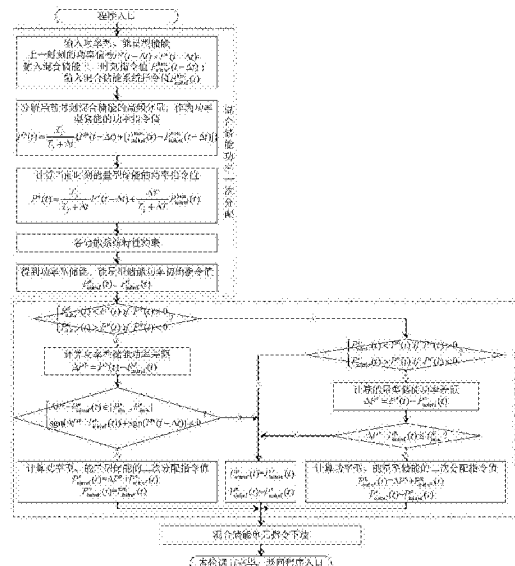
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

一种考虑二次分配的混合储能功率分配方法

(57)摘要

本发明提出了一种考虑二次分配的混合储能功率分配方法。当系统决策出混合储能当前的总功率指令值后,基于高通滤波器以及各储能的充放电约束计算出功率型储能、能量型储能的初始功率指令,然后利用混合储能二次分配算法来确定功率型储能、能量型储能最终的功率指令值。本发明所提的方法简单实用,通过仿真验证,该方法有效适配微电网中央控制器的调度指令,可有效结合混合储能各自的优势,且具有比传统的高通滤波混合储能分配方法更高的指令完成率,确保功率分配的合理性,大大提高混合储能系统中能量型储能的寿命周期。



1. 一种考虑二次分配的混合储能功率分配方法,其特征在于:包含了混合储能功率一次分配和混合储能功率二次分配:

(1) 混合储能功率一次分配:混合储能功率一次分配算法采用高通滤波器来分解混合储能功率指令的高频分量和低频分量,然后根据功率型储能、能量型储能各自的充放电功率约束条件进行指令值的初步确定;

(2) 混合储能二次分配:在一定的荷电状态下,混合储能功率一次分配值可能无法满足混合储能总功率指令值的要求,因此引入混合储能二次分配,充分利用储能的剩余可调节容量,考虑储能指令变化率以及充放电约束,在不损害储能寿命的前提下尽可能地填补功率指令偏差。

2. 根据权利要求1所述的一种考虑二次分配的混合储能功率分配方法,其特征在于:以混合储能功率一次分配得到的初始指令值,作为输入参数输入至混合储能功率二次分配中,完成混合储能功率的二次分配,具体步骤如下:

(1) 假如功率型储能功率指令在一次分配时被荷电状态所约束,则计算功率型储能功率差额 ΔP^p ,如下式所示:

$$\Delta P^p = P^p(t) - P_{initref}^p(t)$$

若功率型储能的有功功率指令在一次分配时未被荷电状态所约束,则进入步骤(7);

(2) 若功率型储能的有功功率差额 ΔP^p 由能量型储能承担,需要判定两个条件,一是是否满足能量型储能的功率充放电约束要求,二是是否保证能量型储能避免陷入频繁充放电的风险中;即判断下述条件是否满足;若满足,则进入下一步骤,若不满足,则进入步骤(7);

$$\begin{cases} \Delta P^p + P_{initref}^e(t) \in [P_{lim-}^e, P_{lim+}^e] \\ \text{sgn}(\Delta P^p + P_{initref}^e(t)) + \text{sgn}(P^e(t - \Delta t)) \neq 0 \end{cases}$$

(3) 计算功率型、能量型储能的二次分配指令值,分别如下式所示:

$$P_{outref}^e(t) = \Delta P^p + P_{initref}^e(t)$$

$$P_{outref}^p(t) = P_{initref}^p(t);$$

(4) 假如能量型储能功率指令在一次分配时被荷电状态所约束,则计算能量型储能功率差额 ΔP^e ,如下式所示:

$$\Delta P^e = P^e(t) - P_{initref}^e(t);$$

若能量型储能功率指令在一次分配时未被荷电状态所约束,则进入步骤(7);

(5) 判断如果能量型储能功率差额由功率型储能来承担时是否满足功率型储能的充放电约束,即 $\Delta P^e + P_{initref}^p(t) \leq P_{max}^p$,若满足,则进入下一步骤;若不满足,则键入步骤(7);

(6) 计算功率型、能量型储能的二次分配指令值,分别如下式所示:

$$P_{outref}^p(t) = \Delta P^e + P_{initref}^p(t)$$

$$P_{outref}^e(t) = P_{initref}^e(t);$$

(7) 不对混合储能进行功率二次分配,即保持一次分配的值,如下式所示:

$$P_{outref}^p(t) = P_{initref}^p(t)$$

$$P_{outref}^e(t) = P_{initref}^e(t)$$

(8) 混合储能指令下达,本轮调节结束。

一种考虑二次分配的混合储能功率分配方法

技术领域

[0001] 本发明属于混合储能控制领域,特别涉及一种考虑二次分配的混合储能功率分配方法。

背景技术

[0002] 随着微电网内分布式新能源渗透率的进一步提高,由于目前任何一种储能技术仍然无法兼顾高功率密度、高能量密度、长使用寿命、安全性等多方面因素,在微电网中只配置单一的储能本体无法满足在多个时间尺度下系统对功率的需求。功率型储能和能量型储能结合的混合储能系统(Hybrid Energy Storage System, HESS)能发挥不同储能本体的自身优势,通过特性互补提升系统的整体性能,并能降低储能系统的建设投资成本和运行成本。

[0003] 经对现有技术的文献检索发现,基于锂电池充放电状态的混合储能系统控制策略设计(李逢兵,谢开贵,张雪松,汪科,周丹,赵波.基于锂电池充放电状态的混合储能系统控制策略设计[J].电力系统自动化,2013,37(01):70-75.)提出了采用含能量分配、状态配合、限值保护协调控制等多种措施的混合储能分配方法。以上文献为提高混合储能的整体调节能力,在协调控制期间牺牲了混合储能部分可调节容量,有可能在混合储能应用于微电网安全稳定紧急控制时效果不佳。一种适用于微电网混合储能系统的功率分配策略(蒋玮,周赣,王晓东,杨永标.一种适用于微电网混合储能系统的功率分配策略[J].电力自动化设备,2015,35(04):38-43+52.)提出了以超级电容荷电状态和混合储能总体损耗为控制目标的实时功率分配策略。以上文献在求解超级电容指令值时需要涉及到利用二次插值法求解功率损耗非线性方程的局部最优解,对控制器的运算能力要求较大。

发明内容

[0004] 本发明的目的是解决上述现有技术中存在的不足之处,提供一种考虑二次分配的高通滤波混合储能功率分配方法,当系统决策出混合储能当前的总功率指令值后,基于高通滤波器以及各储能的充放电约束计算出功率型储能、能量型储能的初始功率指令,然后利用混合储能二次分配算法来确定功率型储能、能量型储能最终的功率指令值。

[0005] 一种考虑二次分配的高通滤波混合储能功率分配方法,包含了混合储能功率一次分配和二次分配:

[0006] (1)混合储能功率一次分配:混合储能功率一次分配采用传统的高通滤波器来分解混合储能功率指令的高频分量和低频分量,然后根据功率型储能、能量型储能各自的充放电功率约束条件进行指令值的初步确定。

[0007] (2)混合储能二次分配:在特定的荷电状态下,混合储能功率一次分配值可能无法满足混合储能总功率指令值的要求,因此引入混合储能二次分配算法,充分利用储能的剩余可调节容量,考虑储能指令变化率以及充放电约束,在不损害储能寿命前提下尽可能地填补功率指令偏差。

[0008] 进一步地,考虑二次分配的高通滤波混合储能功率分配方法包括如下步骤:

[0009] 步骤1:输入功率型、能量型储能上一时刻的功率信号 $P^p(t-\Delta t)$ 、混合储能上一时刻的指令值 $P^e(t-\Delta t)$,以及混合储能总功率指令值 $P_{initref}^{hess}(t)$ 。

[0010] 步骤2:分解当前时刻混合储能的高频分量,作为功率型储能的功率指令值,如下式所示:

$$[0011] \quad P^p(t) = \frac{T_f}{T_f + \Delta t} \{P^p(t-\Delta t) + [P_{initref}^{hess}(t) - P_{initref}^{hess}(t-\Delta t)]\}$$

[0012] 式中, T_f 表示高通滤波器时间常数,单位为秒; Δt 表示计算步长,单位为秒。

[0013] 步骤3:计算当前时刻能量型储能的功率指令值,如下式所示:

$$[0014] \quad P^e(t) = \frac{T_f}{T_f + \Delta t} P^e(t-\Delta t) + \frac{\Delta T}{T_f + \Delta T} P_{initref}^{hess}(t)$$

[0015] 步骤4:根据功率型、能量型储能的实时荷电状态,计算混合储能的实时充放电约束,如下式所示:

$$[0016] \quad P_{lim+}^{ess} = \begin{cases} 0 & 0 \leq SOC < SOC_{min1} \\ \lambda_1 P_{max}^{ess} & SOC_{min1} \leq SOC < SOC_{min2} \\ P_{max}^{ess} & SOC_{min2} < SOC \leq 100 \end{cases}$$

$$[0017] \quad P_{lim-}^{ess} = \begin{cases} P_{min}^{ess} & 0 \leq SOC < SOC_{max1} \\ \lambda_2 P_{min}^{ess} & SOC_{max1} \leq SOC < SOC_{max2} \\ 0 & SOC_{max2} < SOC \leq 100 \end{cases}$$

$$[0018] \quad \lambda_1 = \frac{SOC - SOC_{min1}}{SOC_{min2} - SOC_{min1}}$$

$$[0019] \quad \lambda_2 = \frac{SOC_{max2} - SOC}{SOC_{max2} - SOC_{max1}}$$

[0020] 式中: P_{max}^{ess} 和 P_{min}^{ess} 分别为储能系统的最大放电功率和最大充电功率; SOC_{min2} 和 SOC_{max1} 分别表示储能系统的正常运行范围的边界值; SOC_{min1} 和 SOC_{max2} 分别表示储能系统的过充过放警告荷电状态值。上述参数的确定,需要视具体储能系统的性能技术特点及厂家建议后给出。

[0021] 根据上式可知功率型储能的实时充放电功率范围 $[P_{lim-}^p, P_{lim+}^p]$ 、能量型储能的实时充放电功率范围 $[P_{lim-}^e, P_{lim+}^e]$ 。

[0022] 步骤5:计算考虑能量型、功率型储能充放电约束后的功率初始指令值,如下式所示:

$$[0023] \quad P_{initref}^p(t) = \begin{cases} \min(P_{lim+}^p, P^p(t)) & P^p(t) > 0 \\ \max(P_{lim-}^p, P^p(t)) & P^p(t) \leq 0 \end{cases}$$

$$[0024] \quad P_{initref}^e(t) = \begin{cases} \min(P_{lim+}^e, P^e(t)) & P^e(t) > 0 \\ \max(P_{lim-}^e, P^e(t)) & P^e(t) \leq 0 \end{cases}$$

[0025] 至此,混合储能功率一次分配结束。

[0026] 步骤6:假如功率型储能功率指令在一次分配时被荷电状态所约束,则计算功率型储能功率差额 ΔP^p ,如下式所示:

$$[0027] \quad \Delta P^p = P^p(t) - P_{initref}^p(t)$$

[0028] 若功率型储能功率指令在一次分配时未被荷电状态所约束,则进入步骤9。

[0029] 步骤7:若功率型储能功率差额 ΔP^p 由能量型储能承担,需要判定两个条件,一是是否满足能量型储能的功率充放电约束要求,二是是否保证能量型储能避免陷入频繁充放电的风险中。即判断下述条件是否满足。若满足,则进入下一步骤,若不满足,则进入步骤12

$$[0030] \quad \begin{cases} \Delta P^p + P_{initref}^e(t) \in [P_{lim-}^e, P_{lim+}^e] \\ \text{sgn}(\Delta P^p + P_{initref}^e(t)) + \text{sgn}(P^e(t - \Delta t)) \neq 0 \end{cases}$$

[0031] 步骤8:计算功率型、能量型储能的二次分配指令值,如下式所示:

$$[0032] \quad P_{outref}^e(t) = \Delta P^p + P_{initref}^e(t)$$

$$[0033] \quad P_{outref}^p(t) = P_{initref}^p(t)$$

[0034] 步骤9:假如能量型储能功率指令在一次分配时被荷电状态所约束,则计算能量型储能功率差额 ΔP^e ,如下式所示:

$$[0035] \quad \Delta P^e = P^e(t) - P_{initref}^e(t)$$

[0036] 若能量型储能功率指令在一次分配时未被荷电状态所约束,则进入步骤12。

[0037] 步骤10:判断如果能量型储能功率差额由功率型储能来承担时是否满足功率型储能的充放电约束,即 $\Delta P^e + P_{initref}^p(t) \leq P_{max}^p$,若满足,则进入下一步骤;若不满足,则键入步骤12。

[0038] 步骤11:计算功率型、能量型储能的二次分配指令值,如下式所示:

$$[0039] \quad P_{outref}^p(t) = \Delta P^e + P_{initref}^p(t)$$

$$[0040] \quad P_{outref}^e(t) = P_{initref}^e(t)$$

[0041] 步骤12:不对混合储能进行功率二次分配,即保持一次分配的值,如下式所示:

$$[0042] \quad P_{outref}^p(t) = P_{initref}^p(t)$$

$$[0043] \quad P_{outref}^e(t) = P_{initref}^e(t)$$

[0044] 步骤13:混合储能指令下达,本轮调节结束。

[0045] 因此针对以上的不足,本发明提出了一种考虑二次分配的混合储能功率分配方法,该方法计算量少,能有效应用于短时间尺度的控制策略中,且易于工程化。当系统决策出混合储能当前的总功率指令值后,基于高通滤波器以及各储能的充放电约束计算出功率型储能、能量型储能的初始功率指令,然后利用混合储能二次分配来确定功率型储能、能量型储能最终的功率指令值。

[0046] 与现有技术相比,本发明有以下效果:该方法考虑了传统高通滤波功率分配方法导致混合储能可能存在的剩余容量未被合理利用的缺点,利用混合储能二次分配算法,提高了指令完成率,确保功率分配的合理性,大大提高混合储能系统的使用周期。

附图说明

[0047] 图1是多储能功率分配的复合策略流程图。

[0048] 图2是测试所用的混合储能系统有功功率指令曲线。

[0049] 图3a、图3b分别是实例中未加入和加入二次分配算法的混合储能实际功率分配值与指令值的偏差曲线。

[0050] 图4a、图4b分别是实例中未加入和加入二次分配算法的混合储能实际功率分配曲线以及荷电状态曲线。

具体实施方式

[0051] 下面结合实施例及附图,对本发明作进一步详细的说明与验证,但本发明的实施方式不限于此。

[0052] 如图1,本实例的一种考虑二次分配的混合储能功率分配方法具体步骤如下。

[0053] 步骤1:输入功率型、能量型储能上一时刻的功率信号 $P^p(t-\Delta t)$ 、混合储能上一时刻的指令值 $P^e(t-\Delta t)$,以及混合储能总功率指令值 $P_{initref}^{hess}(t)$ 。

[0054] 步骤2:分解当前时刻混合储能的高频分量,作为功率型储能的功率指令值,如下式所示:

$$[0055] \quad P^p(t) = \frac{T_f}{T_f + \Delta t} \{P^p(t-\Delta t) + [P_{initref}^{hess}(t) - P_{initref}^{hess}(t-\Delta t)]\}$$

[0056] 式中, T_f 表示高通滤波器时间常数,单位为秒; Δt 表示计算步长,单位为秒。

[0057] 步骤3:计算当前时刻能量型储能的功率指令值,如下式所示:

$$[0058] \quad P^e(t) = \frac{T_f}{T_f + \Delta t} P^e(t-\Delta t) + \frac{\Delta T}{T_f + \Delta T} P_{initref}^{hess}(t)$$

[0059] 步骤4:根据功率型、能量型储能的实时荷电状态,计算混合储能的实时充放电约束,如下式所示:

$$[0060] \quad P_{lim+}^{ess} = \begin{cases} 0 & 0 \leq SOC < SOC_{min1} \\ \lambda_1 P_{max}^{ess} & SOC_{min1} \leq SOC < SOC_{min2} \\ P_{max}^{ess} & SOC_{min2} < SOC \leq 100 \end{cases}$$

$$[0061] \quad P_{lim-}^{ess} = \begin{cases} P_{min}^{ess} & 0 \leq SOC < SOC_{max1} \\ \lambda_2 P_{min}^{ess} & SOC_{max1} \leq SOC < SOC_{max2} \\ 0 & SOC_{max2} < SOC \leq 100 \end{cases}$$

$$[0062] \quad \lambda_1 = \frac{SOC - SOC_{min1}}{SOC_{min2} - SOC_{min1}}$$

$$[0063] \quad \lambda_2 = \frac{SOC_{max2} - SOC}{SOC_{max2} - SOC_{max1}}$$

[0064] 式中: P_{max}^{ess} 和 P_{min}^{ess} 分别为储能系统的最大放电功率和最大充电功率; SOC_{min2} 和 SOC_{max1} 分别表示储能系统的正常运行范围的边界值; SOC_{min1} 和 SOC_{max2} 分别表示储能系统的过充过放警告荷电状态值。上述参数的确定,需要视具体储能系统的性能技术特点及厂家建议后给出。

[0065] 根据上式可知功率型储能的实时充放电功率范围 $[P_{lim-}^p, P_{lim+}^p]$ 、能量型储能的实时充放电功率范围 $[P_{lim-}^e, P_{lim+}^e]$ 。

[0066] 步骤5:计算考虑能量型、功率型储能充放电约束后的功率初始指令值,如下式所示:

$$[0067] \quad P_{\text{initref}}^p(t) = \begin{cases} \min(P_{\text{lim}+}^p, P^p(t)) & P^p(t) > 0 \\ \max(P_{\text{lim}-}^p, P^p(t)) & P^p(t) \leq 0 \end{cases}$$

$$[0068] \quad P_{\text{initref}}^e(t) = \begin{cases} \min(P_{\text{lim}+}^e, P^e(t)) & P^e(t) > 0 \\ \max(P_{\text{lim}-}^e, P^e(t)) & P^e(t) \leq 0 \end{cases}$$

[0069] 至此,混合储能功率一次分配结束。

[0070] 步骤6:假如功率型储能功率指令在一次分配时被荷电状态所约束,则计算功率型储能功率差额 ΔP^p ,如下式所示:

$$[0071] \quad \Delta P^p = P^p(t) - P_{\text{initref}}^p(t)$$

[0072] 若功率型储能功率指令在一次分配时未被荷电状态所约束,则进入步骤9。

[0073] 步骤7:若功率型储能功率差额 ΔP^p 由能量型储能承担,需要判定两个条件,一是是否满足能量型储能的功率充放电约束要求,二是是否保证能量型储能避免陷入频繁充放电的风险中。即判断下述条件是否满足。若满足,则进入下一步骤,若不满足,则进入步骤12

$$[0074] \quad \begin{cases} \Delta P^p + P_{\text{initref}}^e(t) \in [P_{\text{lim}-}^e, P_{\text{lim}+}^e] \\ \text{sgn}(\Delta P^p + P_{\text{initref}}^e(t)) + \text{sgn}(P^e(t - \Delta t)) \neq 0 \end{cases}$$

[0075] 步骤8:计算功率型、能量型储能的二次分配指令值,如下式所示:

$$[0076] \quad P_{\text{outref}}^e(t) = \Delta P^p + P_{\text{initref}}^e(t)$$

$$[0077] \quad P_{\text{outref}}^p(t) = P_{\text{initref}}^p(t)$$

[0078] 步骤9:假如能量型储能功率指令在一次分配时被荷电状态所约束,则计算能量型储能功率差额 ΔP^e ,如下式所示:

$$[0079] \quad \Delta P^e = P^e(t) - P_{\text{initref}}^e(t)$$

[0080] 若能量型储能功率指令在一次分配时未被荷电状态所约束,则进入步骤12。

[0081] 步骤10:判断如果能量型储能功率差额由功率型储能来承担时是否满足功率型储能的充放电约束,即 $\Delta P^e + P_{\text{initref}}^p(t) \leq P_{\text{max}}^p$,若满足,则进入下一步骤;若不满足,则键入步骤12。

[0082] 步骤11:计算功率型、能量型储能的二次分配指令值,如下式所示:

$$[0083] \quad P_{\text{outref}}^p(t) = \Delta P^e + P_{\text{initref}}^p(t)$$

$$[0084] \quad P_{\text{outref}}^e(t) = P_{\text{initref}}^e(t)$$

[0085] 步骤12:不对混合储能进行功率二次分配,即保持一次分配的值,如下式所示:

$$[0086] \quad P_{\text{outref}}^p(t) = P_{\text{initref}}^p(t)$$

$$[0087] \quad P_{\text{outref}}^e(t) = P_{\text{initref}}^e(t)$$

[0088] 步骤13:混合储能指令下达,本轮调节结束。

[0089] 本实例采用的含混合储能系统的具体技术参数如表1所示。

[0090] 表.1混合储能技术参数与控制参数设定

[0091]

参数类型	能量型储能系统	功率型储能系统
------	---------	---------

逆变器额定功率 (kW)	500	60
储能本体容量 (kWh)	3000	1.2
Soc运行范围	0.25~0.95	0.2~0.9
过充保护Soc阈值	0.3	0.25
过放保护Soc阈值	0.8	0.8
充放电效率	90%	95%
自放电率 (%/s)	0	0.00017

[0092] 基于Matlab进行仿真测试,为对比加入二次分配与未加入二次分配的指令完成效果,设计了两组测试。设控制器采集周期为0.1s,高通滤波时间常数为5s,能量型储能系统的荷电状态初始值为0.8,功率型储能系统的荷电状态初始值为0.8。其中,测试所用的混合储能系统有功功率指令曲线如图二所示,未加入二次分配算法的混合储能实际功率分配值与指令值的偏差曲线如图3a所示,加入二次分配算法的混合储能实际功率分配值与指令值的偏差曲线如图3b所示。未加入二次分配算法的混合储能实际功率分配曲线以及荷电状态曲线如图4a所示,加入二次分配算法的混合储能实际功率分配曲线以及荷电状态曲线如图4b所示。具体描述如下。

[0093] 未加入二次分配算法的传统高通滤波混合储能功率分配算法,在大部分时间内混合储能系统实际输出功率均能满足混合储能系统有功功率指令要求,指令完成率为98.04%;加入二次分配算法的混合储能功率分配算法,指令完成率提高至99.83%,只有在能量型储能功率过零点附近未完成功率指令,原因在于此时若能量型储能参与二次分配,则会导致能量型储能上一时刻放电,而本时刻充电,不利于储能长期稳定运行。

[0094] 仿真结果验证了提出的策略能够简单有效地提高混合储能功率指令的完成率,同时避免了能量型储能频繁充放电的风险,保证了系统实现在运行过程中的长期稳定运行。

[0095] 以上对本发明所提供的一种考虑二次分配的混合储能功率分配方法进行了详细介绍,本发明通过基于Matlab的仿真测试实例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

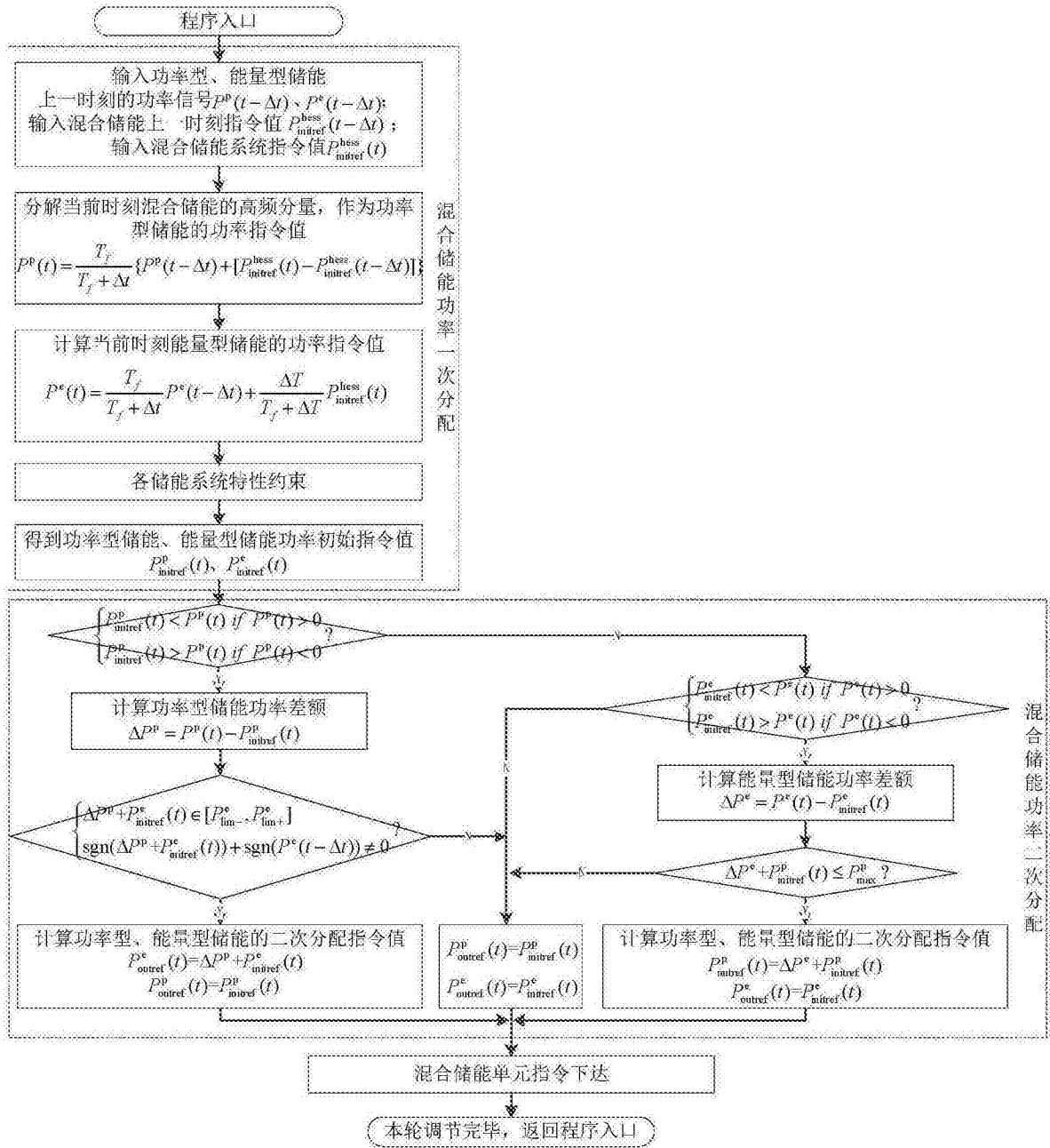


图1

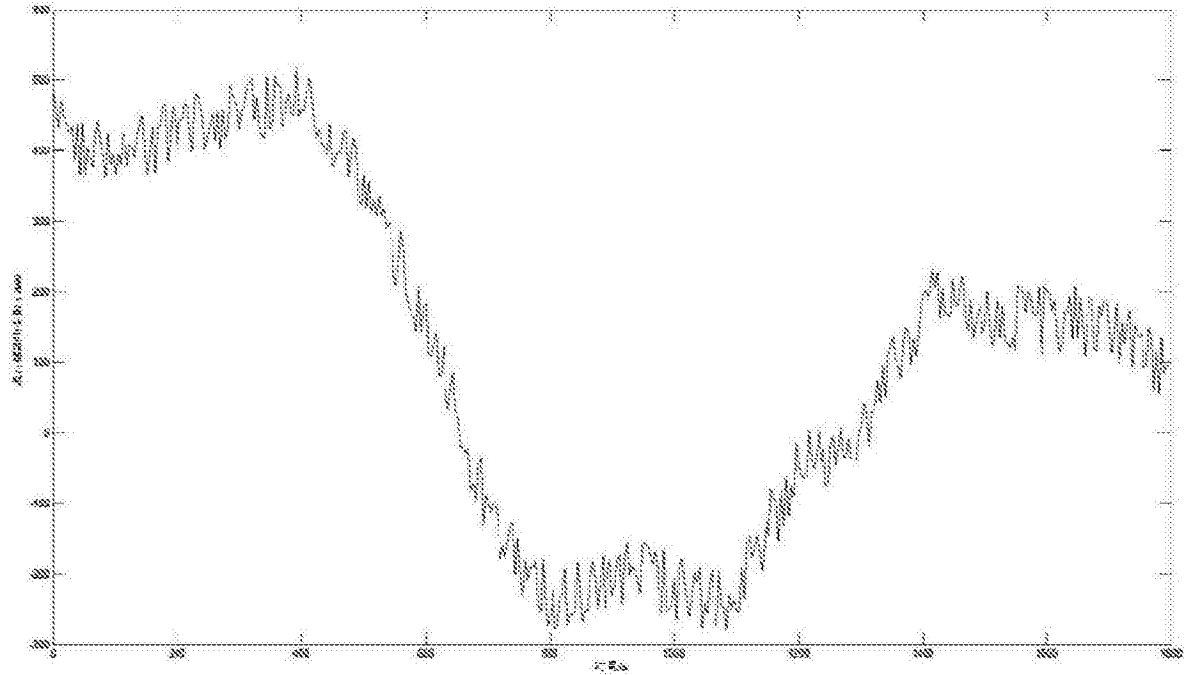


图2

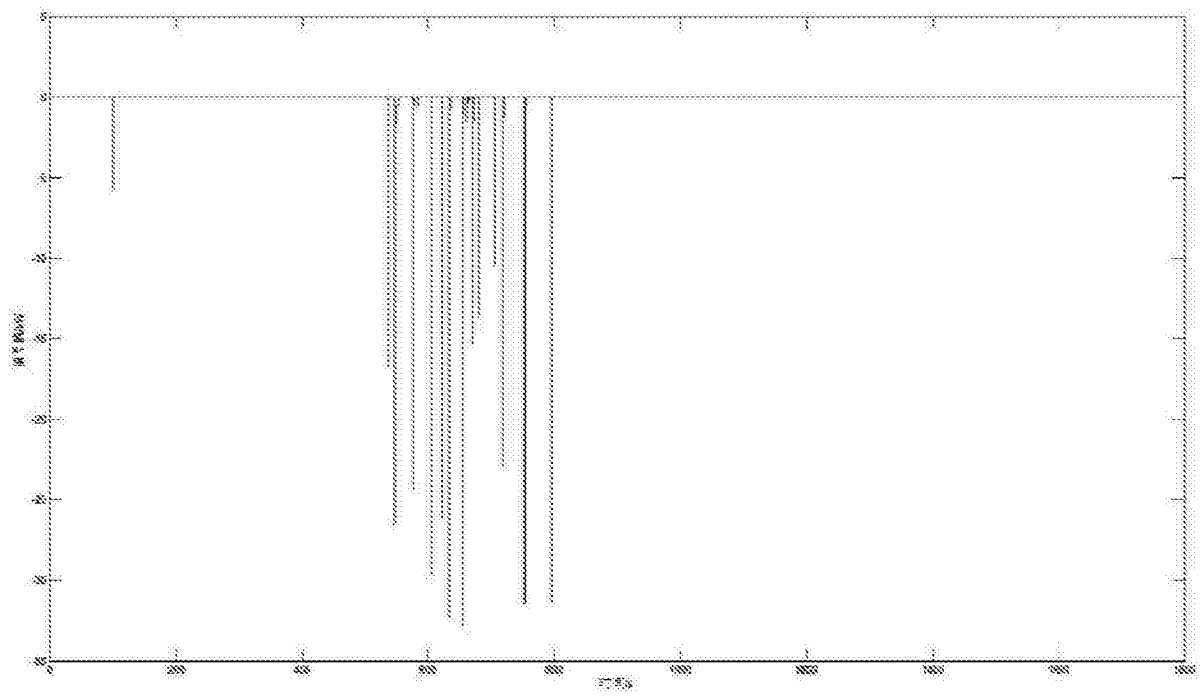


图3a

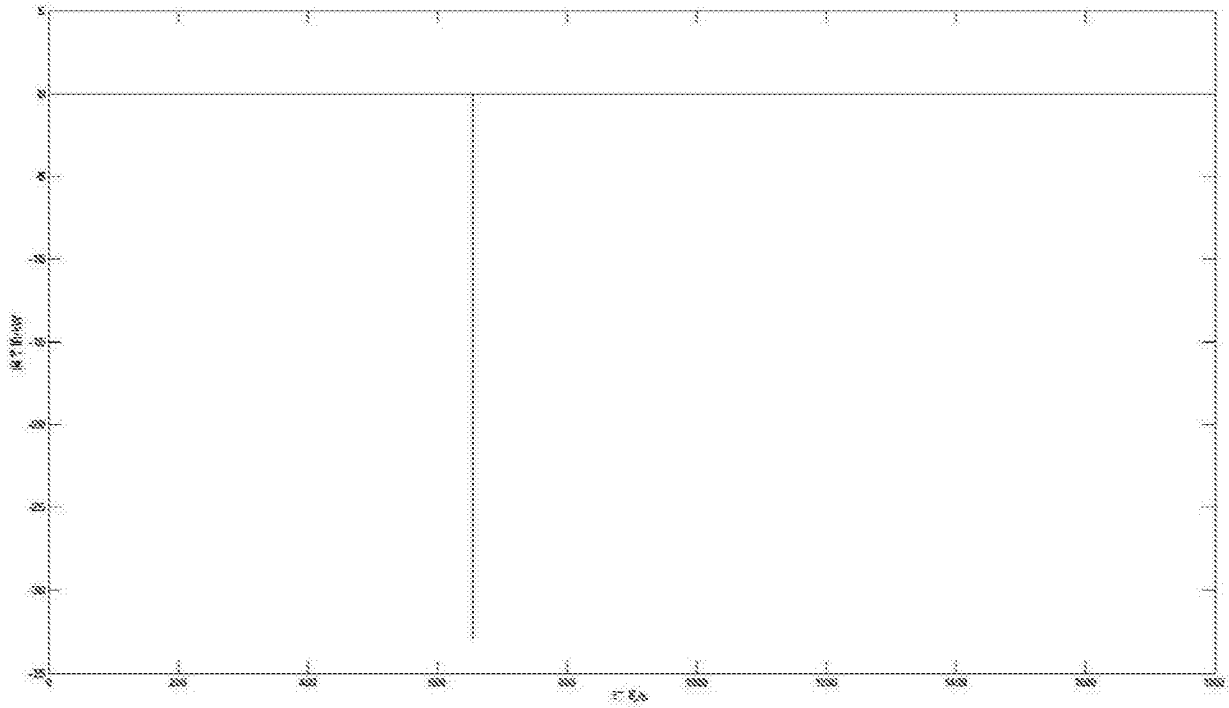


图3b

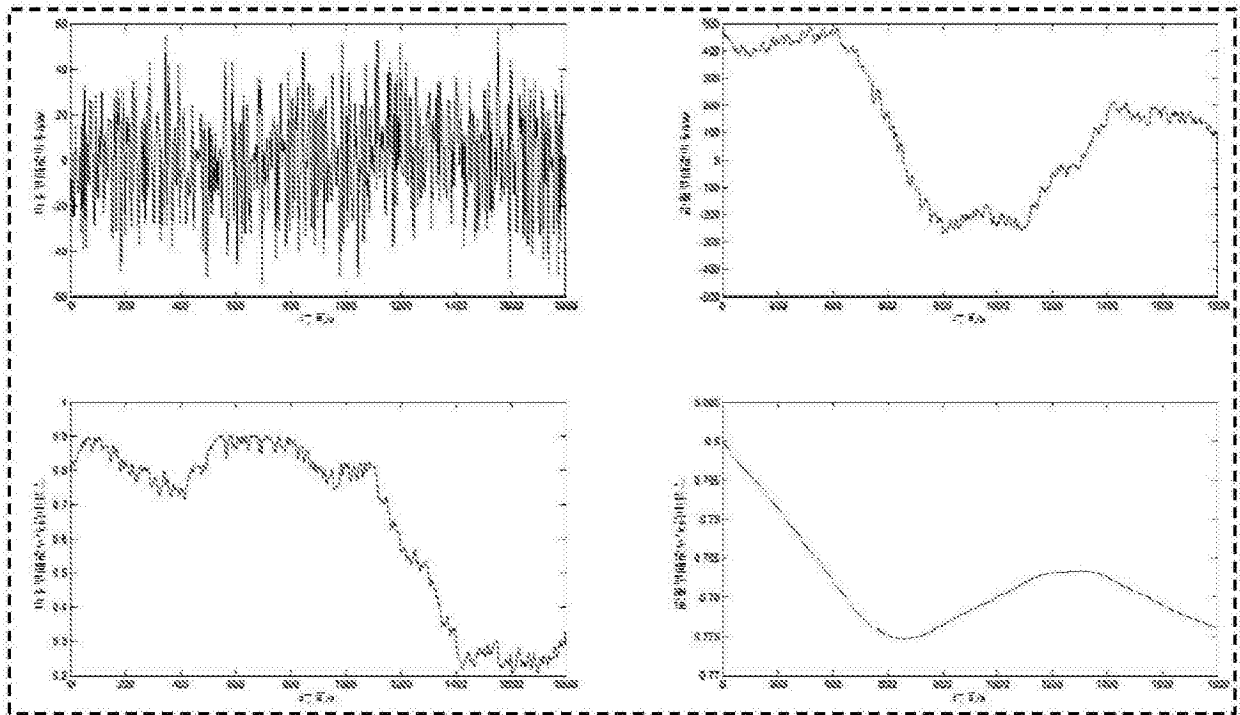


图4a

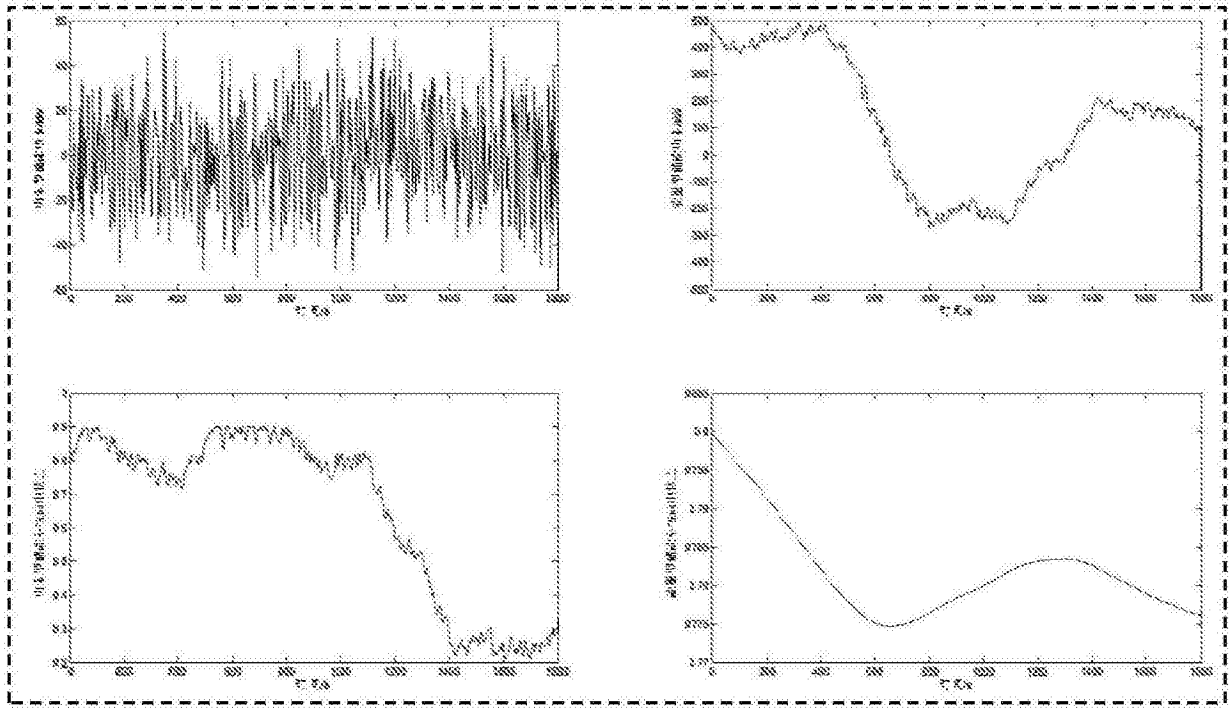


图4b