

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101917014 B

(45) 授权公告日 2012.06.13

(21) 申请号 201010258529.5

审查员 谢寅黎

(22) 申请日 2010.08.20

(73) 专利权人 河海大学

地址 211100 江苏省南京市江宁区佛城西路 8 号

(72) 发明人 潘文霞 傅中兴 陈键强 王鹏飞 王祥 孙成祥 何海平 吴松鹤 郭欢

(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 许方

(51) Int. Cl.

H02J 3/28(2006.01)

H02J 3/01(2006.01)

H02J 3/38(2006.01)

H02J 7/00(2006.01)

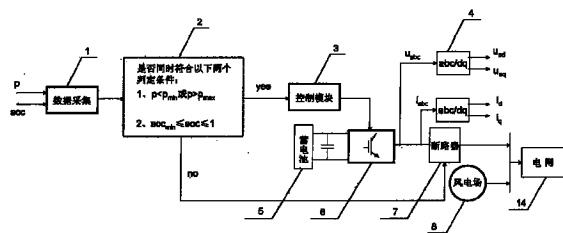
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种平滑风电场功率波动的蓄电池充放电控制方法

(57) 摘要

本发明提供一种平滑风电场功率波动的蓄电池充放电控制方法,属于风力发电控制的技术领域。本发明的控制方法当蓄电池容量满足运行要求时,有功功率大于电网允许上限值时,蓄电池充电;有功功率小于电网允许下限值时,蓄电池放电;否则蓄电池退出运行。本发明通过系统输出的有功功率和蓄电池的荷电状态检测,估计电池剩余容量,对蓄电池的运行方式进行控制,达到平滑风场输出功率波动的目的;采用由全控型功率开关器件 IGBT 组成的三相桥式电路的 PWM 控制技术,减少变流器的无功损耗。



1. 一种平滑风电场功率波动的蓄电池充放电控制方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤 A、通过数据采集装置采集得到风电场输出的有功功率 P 和蓄电池的荷电状态 soc ,其中蓄电池的荷电状态 $\text{soc} = Q_t/Q_b$, Q_t 为蓄电池的剩余容量, Q_b 为标称容量;

步骤 B、对采集到的数据进行分析:

(1)、当 $P_{\min} \leq P \leq P_{\max}$ 时,蓄电池退出运行;当 $P < P_{\min}$ 或 $P > P_{\max}$ 时,进入下一步;其中, P_{\max} 为电网允许风电场输出功率波动的上限值, P_{\min} 为电网允许风电场输出功率波动的下限值;

(2)、当 $\text{soc}_{\min} \leq \text{soc} \leq 1$ 时,蓄电池投入运行;当 $\text{soc} > 1$ 或者 $\text{soc} < \text{soc}_{\min}$ 时,蓄电池退出运行;其中 soc_{\min} 为蓄电池最小荷电状态值;

(3)、在蓄电池投入运行的情况下,当风电场输出的有功功率 $P < P_{\min}$ 时,蓄电池发出的功率为 $P_{\min} - P$;当 $P > P_{\max}$ 时,蓄电池吸收的功率为 $P - P_{\max}$;在蓄电池退出运行的情况下,断路器断开,并且变流器各触发脉冲置零;

步骤 C、蓄电池投入运行时,变流器采用直接电流控制,将交流侧的三相电压、电流分别通过坐标变换器转换为 d、q 分量,即 U_d 和 U_q 、 I_d 和 I_q ;其中 U_d 为 d 轴电压, U_q 为 q 轴电压, I_d 为有功电流,蓄电池有功功率 $P_T = 1.5U_d I_d$; I_q 为无功电流,蓄电池无功功率 $Q_T = -1.5U_d I_q$;

步骤 D、当蓄电池充电时,以 $I_{d\text{ref}} = (P - P_{\max})/1.5U_d$ 作为有功电流 I_d 的参考值,其中 $I_{d\text{ref}}$ 为正值;当蓄电池放电时, $I_{d\text{ref}} = (P - P_{\min})/1.5U_d$ 作为有功电流 I_d 的参考值,其中 $I_{d\text{ref}}$ 为负值; $I_{q\text{ref}} = 0$ 作为无功电流 I_q 的参考值,前述 $I_{d\text{ref}}$ 和 $I_{q\text{ref}}$ 分别为 I_d 、 I_q 的参考值;

步骤 E、对有功电流 I_d 、无功电流 I_q 进行跟踪控制并得到 PWM 开关信号,然后利用 PWM 开关信号控制六个 IGBT 的开关状态。

2. 根据权利要求 1 所述的平滑风电场功率波动的蓄电池充放电控制方法,其特征在于:当同时满足 $\text{soc}_{\min} \leq \text{soc} \leq 1$ 、 $P > P_{\max}$ 时,蓄电池充电;当同时满足 $\text{soc}_{\min} \leq \text{soc} \leq 1$ 、 $P < P_{\min}$ 时,蓄电池放电。

3. 根据权利要求 1 所述的平滑风电场功率波动的蓄电池充放电控制方法,其特征在于:所述步骤 E 中,对有功电流 I_d 、无功电流 I_q 采用负反馈闭环控制方法进行跟踪控制,其中 $I_{d\text{ref}}$ 和 $I_{q\text{ref}}$ 分别作为 I_d 、 I_q 负反馈环的给定值, I_d 和 I_q 作为负反馈环的反馈量,将负反馈环的反馈量取反通过加法器与所述负反馈环的给定值相连接,所述加法器的输出端分别与 d 轴 PI 控制器、q 轴 PI 控制器相连接,d 轴 PI 控制器的输出端加上耦合电压 $\omega L I_q$ 和电网电压 U_{sd} 得到 d 轴控制电压 U_{rd} , q 轴 PI 控制器的输出端加上耦合电压 $-\omega L I_d$ 和电网电压 U_{sq} 得到 q 轴控制电压 U_{rq} ,其中 U_{rd} 、 U_{rq} 分别为最终需要得到的变流器输入电压, ω 为电网电压角频率, L 为变流器输出端的电感;

所述步骤 E 利用 PWM 开关信号控制六个 IGBT 的开关状态的方法为:将 U_{rd} 、 U_{rq} 经过坐标变换分别得到三相电压 U_{ra} 、 U_{rb} 、 U_{rc} ;采用 U_{ra} 、 U_{rb} 、 U_{rc} 分别与幅值为 ± 1 的三角波进行比较得到脉冲信号,即 PWM 开关信号,再利用 PWM 开关信号控制开关器件 IGBT。

一种平滑风电场功率波动的蓄电池充放电控制方法

技术领域：

[0001] 本发明涉及一种通过对蓄电池的充放电控制来实现减小风电场功率波动幅度，平滑风电场功率波动的控制方法，属于风力发电控制的技术领域。

背景技术：

[0002] 风力发电及其他可再生能源发电受季节、气候影响，所发出的功率波动幅度往往很大，对并网电力系统会造成电能质量、调频及稳定方面的一系列的问题。出于电网安全运行与控制的要求和需要，风电场应具有平滑的功率输出。储能装置是人们首先可以想到的平滑风电场功率输出波动的理想设备。随着电池储能技术的发展以及蓄电池的不受地域限制的特点，它在电力系统有着广泛的应用前景。

[0003] 蓄电池控制技术是实现其作用效果的关键。目前，蓄电池大多采用晶闸管移相控制技术。该技术通过对晶闸管的相控整流来实现蓄电池的充电控制，当蓄电池放电时，通过电子开关将蓄电池反接，同时通过移相使晶闸管电路工作在有源逆变状态，实现蓄电池放电，将电能回馈到电网。采用该技术对蓄电池充放电时，交流侧的电流畸变严重，因而向电网注入了大量的谐波和产生较大的无功损耗，对电网造成了严重的“污染”。

发明内容

[0004] 发明目的：

[0005] 本发明的目的是针对上述背景技术的缺陷，提供一种平滑风电场功率波动的蓄电池充放电控制方法，平滑风场输出功率的波动，同时减少变流器的无功损耗。

[0006] 技术方案：

[0007] 本发明为实现上述发明目的采用如下技术方案：

[0008] 一种平滑风电场功率波动的蓄电池充放电控制方法，其特征在于，包括如下步骤：

[0009] 步骤 A、通过数据采集装置采集得到风电场输出的有功功率 P 和蓄电池的荷电状态 soc ，其中蓄电池的荷电状态 $\text{soc} = Q_t/Q_b$ ， Q_t 为蓄电池的剩余容量， Q_b 为标称容量；

[0010] 步骤 B、对采集到的数据进行分析：

[0011] (1)、当 $P_{\min} \leq P \leq P_{\max}$ 时，蓄电池退出运行；当 $P < P_{\min}$ 或 $P > P_{\max}$ 时，进入下一步；其中， P_{\max} 为电网允许风电场输出功率波动的上限值， P_{\min} 为电网允许风电场输出功率波动的下限值；

[0012] (2)、当 $\text{soc}_{\min} \leq \text{soc} \leq 1$ 时，蓄电池投入运行；当 $\text{soc} > 1$ 或者 $\text{soc} < \text{soc}_{\min}$ 时，蓄电池退出运行；其中 soc_{\min} 为蓄电池最小荷电状态值；

[0013] (3)、在蓄电池投入运行的情况下，当风电场输出的有功功率 $P < P_{\min}$ 时，蓄电池发出的功率为 $P_{\min} - P$ ；当 $P > P_{\max}$ 时，蓄电池吸收的功率为 $P - P_{\max}$ ；在蓄电池退出运行的情况下，断路器断开，并且变流器各触发脉冲置零；

[0014] 步骤 C、蓄电池投入运行时，变流器采用直接电流控制，将交流侧的三相电压、电

流分别通过坐标变换器转换为 d、q 分量,即 U_d 和 U_q 、 I_d 和 I_q ;其中 U_d 为 d 轴电压, U_q 为 q 轴电压, I_d 为有功电流, 蓄电池有功功率 $P_T = 1.5U_d I_d$; I_q 为无功电流, 蓄电池无功功率 $Q_T = -1.5U_d I_q$;

[0015] 步骤 D、当蓄电池充电时,以 $I_{dref} = (P - P_{max}) / 1.5U_d$ 作为有功电流 I_d 的参考值,其中 I_{dref} 为正值;当蓄电池放电时, $I_{dref} = (P - P_{min}) / 1.5U_d$ 作为有功电流 I_d 的参考值,其中 I_{dref} 为负值; $I_{qref} = 0$ 作为无功电流 I_q 的参考值,前述 I_{dref} 和 I_{qref} 分别为 I_d 、 I_q 的参考值;

[0016] 步骤 E、对有功电流 I_d 、无功电流 I_q 进行跟踪控制并得到 PWM 开关信号,然后利用 PWM 开关信号控制六个 IGBT 的开关状态。

[0017] 进一步的,前述平滑风电场功率波动的蓄电池充放电控制方法的步骤 B 中,当同时满足 $soc_{min} \leq soc \leq 1$ 、 $P > P_{max}$ 时,蓄电池充电;当同时满足 $soc_{min} \leq soc \leq 1$ 、 $P < P_{min}$ 时,蓄电池放电。

[0018] 进一步的,前述平滑风电场功率波动的蓄电池充放电控制方法的步骤 E 中,对有功电流 I_d 、无功电流 I_q 采用负反馈闭环控制方法进行跟踪控制,其中 I_{dref} 和 I_{qref} 分别作为 I_d 、 I_q 负反馈环的给定值, I_d 和 I_q 作为负反馈环的反馈量,将负反馈环的反馈量取反通过加法器与所述负反馈环的给定值相连接,所述加法器的输出端分别与 d 轴 PI 控制器、q 轴 PI 控制器相连接,d 轴 PI 控制器的输出端加上耦合电压 $\omega L i_q$ 和电网电压 U_{sd} 得到 d 轴控制电压 U_{rd} ,q 轴 PI 控制器的输出端加上耦合电压 $-\omega L i_d$ 和电网电压 U_{sq} 得到 q 轴控制电压 U_{rq} ,其中 U_{rd} 、 U_{rq} 分别为最终需要得到的变流器输入电压, ω 为电网电压角频率, L 为变流器输出端的电感;

[0019] 所述步骤 E 利用 PWM 开关信号控制六个 IGBT 的开关状态的方法为:将 U_{rd} 、 U_{rq} 经过坐标变换分别得到三相电压 U_{ra} 、 U_{rb} 、 U_{rc} ;采用 U_{ra} 、 U_{rb} 、 U_{rc} 分别与幅值为 ± 1 的三角波进行比较得到脉冲信号,即 PWM 开关信号,再利用 PWM 开关信号控制开关器件 IGBT。

[0020] 有益效果:

[0021] 1、本发明通过系统输出的有功功率和蓄电池的荷电状态检测,估计电池剩余容量,提出对蓄电池的运行方式进行控制的指令,达到平滑风场输出功率波动的目的;

[0022] 2、本发明采用由全控型功率开关器件 IGBT 组成的三相桥式电路的 PWM 控制技术,减少变流器的无功损耗。

附图说明:

[0023] 图 1 为本发明的蓄电池充放电控制方法的整体流程图;

[0024] 图 2 为本发明的蓄电池充放电控制系统的变流器的控制结构图;

[0025] 图 3 为应用软件 PSCAD 构建的本发明控制系统在未配置蓄电池时的风电场有功功率输出的仿真结果图;

[0026] 图 4 为应用软件 PSCAD 构建的本发明控制系统配置蓄电池时的风电场有功功率输出的仿真结果图。

[0027] 图中标号:1、数据采集装置;2、数据分析器;3、控制模块;4、坐标变换;5、蓄电池;6、变流器;7、断路器;8、风电场;9、充放电状态选择器;10、除法器;11、加法器;12、PI 控制器;13、PWM 开关信号;14、电网。

具体实施方案：

[0028] 下面结合附图对技术方案的实施作进一步的详细描述：

[0029] 如图 1 所示，蓄电池充放电控制方法的整体流程图，控制系统包括数据采集装置、数据分析器、交流器的控制模块、蓄电池、交流器、断路器、风电场以及电网。通过数据采集装置 1 得到风电场 8 输出的有功功率 P 和 soc ， soc 表示蓄电池 5 的荷电状态， $\text{soc} = Q_t/Q_b$ ， Q_t 为蓄电池的实际容量， Q_b 为标称容量， I_{dc} 为蓄电池输出的电流，即电池的充放电电流值， Q_0 为蓄电池的初始电量；通过数据分析器 2 对采集到的数据进行分析，判定蓄电池的工作状态。当 $P_{\min} \leq P \leq P_{\max}$ 时，蓄电池退出运行否则投入运行；并且，当 $\text{soc}_{\min} \leq \text{soc} \leq 1$ 时，蓄电池投入运行否则退出运行。其中， P_{\max} 为允许风电场输出功率波动的上限值， P_{\min} 为允许风电场输出功率波动的下限值， soc_{\min} 为蓄电池最小荷电状态值。在蓄电池退出运行的情况下，断路器 7 断开，并且交流器 6 各触发脉冲置零。

[0030] 图 1 中的交流器 6 采用直接电流控制，将交流侧的三相电压、电流通过坐标变换 4 转换为 dq 分量，即 U_d 和 U_q ， I_d 和 I_q 。其中 I_d 为有功电流，与有功功率成正比并有 $P_1 = 1.5U_d I_d$ ； I_q 为无功电流，与无功功率成正比并有 $Q_1 = -1.5U_d I_q$ ； U_d 为 d 轴电压， U_q 为 q 轴电压。

[0031] 如图 2 所示，蓄电池充放电控制系统的交流器的控制结构图，包括充放电状态选择模块、PI 控制器以及 PWM 开关信号。该控制器主要作用是在蓄电池 5 投入运行时，控制蓄电池的充放电状态。控制模块 3 中的充放电选择器 9 工作：当 $P \leq P_{\min}$ 时，蓄电池发出的功率为 $P_{\min} - P$ ；当 $P_{\max} \leq P$ 时，蓄电池吸收的功率为 $P - P_{\max}$ 。蓄电池充电时，以 $I_{dref} = (P - P_{\max}) / 1.5U_d$ 作为 I_d 的参考值，其中 I_{dref} 为正值；蓄电池放电时， $I_{dref} = (P - P_{\min}) / 1.5U_d$ 作为 I_d 的参考值，其中 I_{dref} 为负值； $I_{qref} = 0$ 作为 I_q 的参考值。采用负反馈闭环控制方法对 I_d 、 I_q 进行控制，其中 I_{dref} 和 I_{qref} 作为负反馈环的给定值， I_d 和 I_q 作为负反馈环的反馈量，将反馈量取反通过加法器 11 与给定值相连接，加法器的输出端与 PI 控制器 12 相连接， d 轴 PI 控制器的输出端加上耦合电压 $\omega L i_q$ 和电网电压 U_{sd} 得到控制电压 U_{rd} ， q 轴 PI 控制器的输出端加上耦合电压 $-\omega L i_d$ 和电网电压 U_{sq} 得到控制电压 U_{rq} ，其中 U_{rd} 、 U_{rq} 为最终需要得到的交流器输入电压， ω 为电网电压角频率， L 为交流器输出端的电感。再将 U_{rd} 、 U_{rq} 经过坐标变换得到三相电压 U_{ra} 、 U_{rb} 、 U_{rc} ， U_{ra} 、 U_{rb} 、 U_{rc} 与幅值为 ± 1 的三角波进行比较得到脉冲信号，即 PWM 开关信号 13；利用 PWM 开关信号控制交流器的开关状态。

[0032] 对照附图 1 和附图 2，图 3、图 4 在仿真软件 PSCAD 上搭建了该模型。

[0033] 假设蓄电池 soc 初值为 0.9，电网 14 允许风电场功率上限为 1.2MW，下限为 0.6MW，图中的虚线为允许功率上、下限，实线为风电场配置蓄电池后的有功功率输出。

[0034] 如图 3 所示，为应用软件 PSCAD 构建的本发明控制系统在未配置蓄电池时风电场有功功率输出的仿真结果图。对照附图 1 和附图 2，在仿真软件 PSCAD 上搭建了仿真系统模型。在给定某风电场风速时间序列下，仿真得到如图所示的计算结果。计算结果表明风电场输出的有功功率波动很大。

[0035] 如图 4 所示，为应用软件 PSCAD 构建的本发明控制系统配置蓄电池时的风电场有功功率输出的仿真结果图。在上述仿真软件 PSCAD 建模基础上，其他条件不变，仅增加蓄电池及其控制模型，并假设蓄电池 soc 初值为 0.9，电网 14 允许风电场功率上限为 1.2MW，下限为 0.6MW。仿真结果表明，使用该专利控制方法可以有效实现平滑风电场输出功率的目的。

的,图中的虚线为允许功率上、下限,实线为风电场配置蓄电池后的风电场有功功率输出。

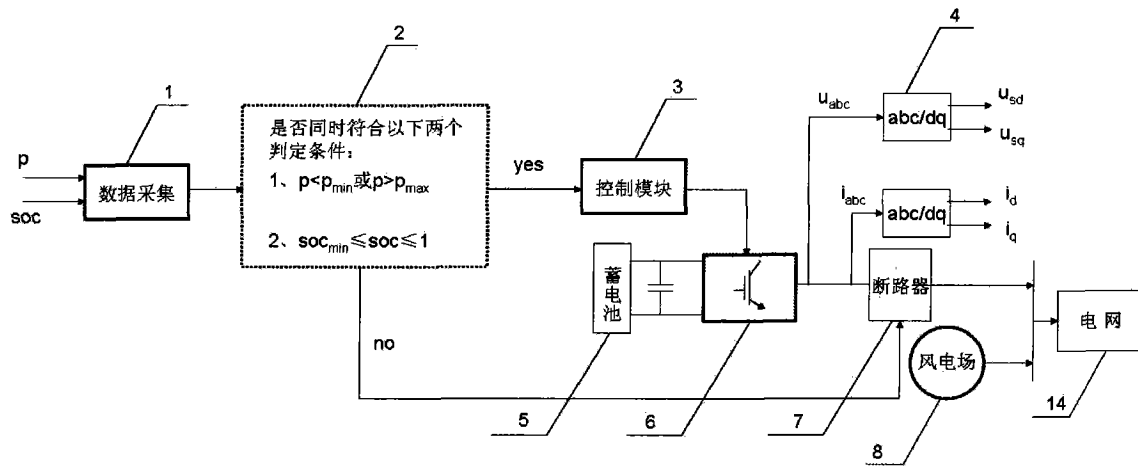


图 1

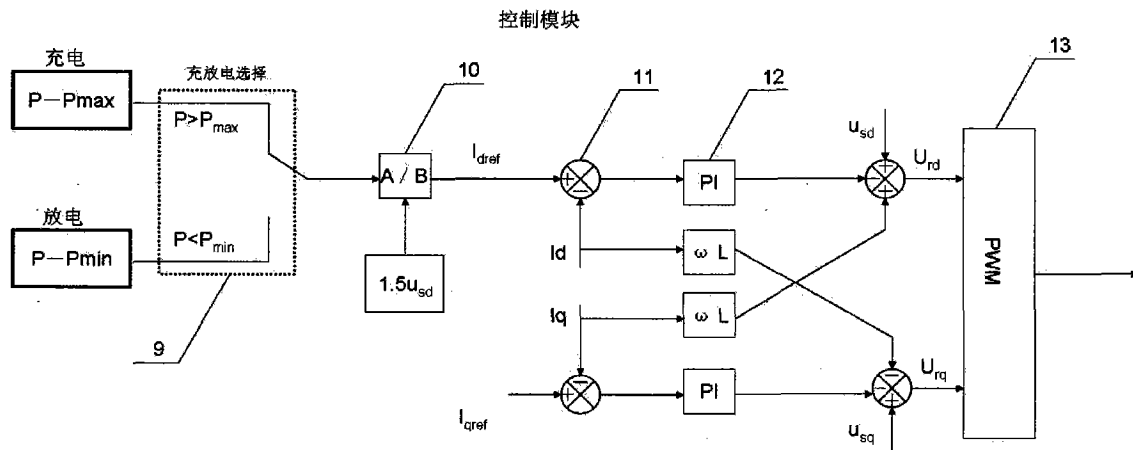


图 2

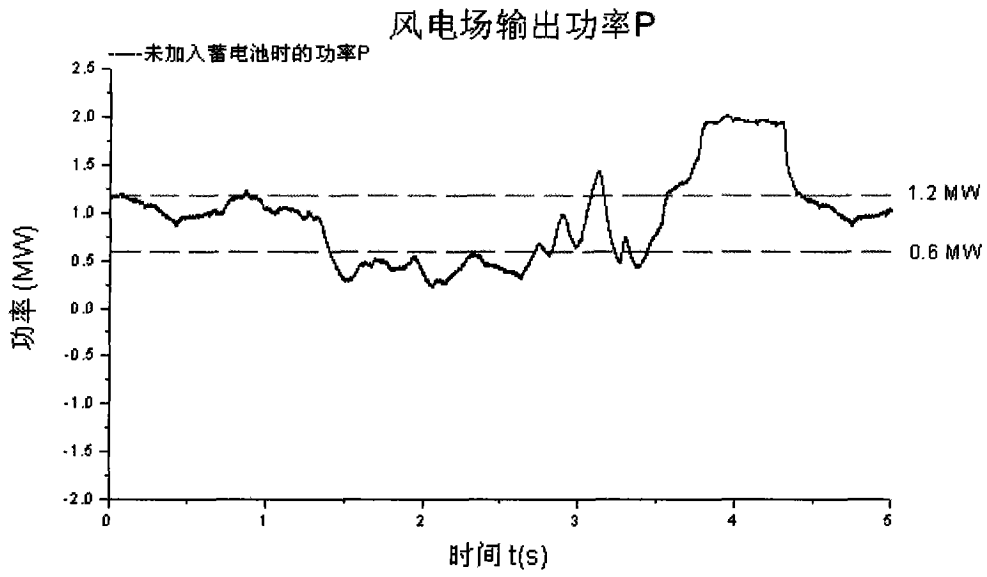


图 3

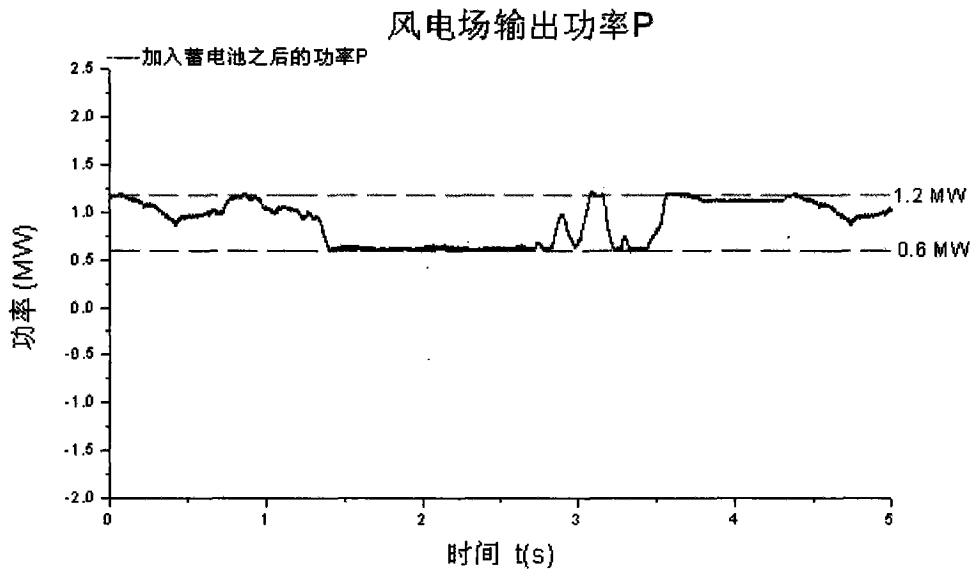


图 4