



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104538981 A

(43) 申请公布日 2015. 04. 22

(21) 申请号 201510012866. 9

(22) 申请日 2015. 01. 09

(71) 申请人 成都鼎智汇科技有限公司

地址 610000 四川省成都市高新区天府大道  
中段 1388 号 1 栋 7 层 772 号

(72) 发明人 肖会

(74) 专利代理机构 北京天奇智新知识产权代理  
有限公司 11340

代理人 郭霞

(51) Int. Cl.

H02J 3/28(2006. 01)

H02J 3/38(2006. 01)

H02J 3/18(2006. 01)

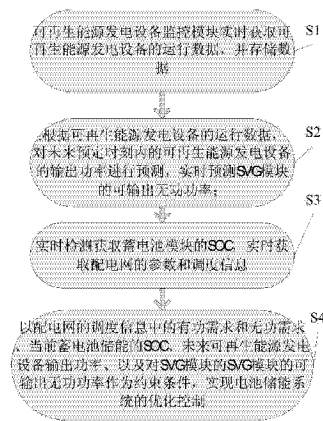
权利要求书4页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种具有无功调节功能的电池储能系统的监控方法

(57) 摘要

本发明提供一种具有无功调节功能的电池储能系统的监控方法, 该监控方法包括如下步骤: 该方法包括如下步骤: S1. 可再生能源发电设备监控模块实时获取可再生能源发电设备的运行数据, 并存储数据; S2. 根据可再生能源发电设备的运行数据, 对未来预定时刻内的可再生能源发电设备的输出功率进行预测, 实时预测 SVG 模块的可输出无功功率; S3. 实时检测获取蓄电池模块的 SOC, 实时获取配电网的参数和调度信息; S4. 以配电网的调度信息中的有功需求和无功需求、当前蓄电池储能的 SOC、未来可再生能源发电设备输出功率、以及对 SVG 模块的 SVG 模块的可输出无功功率作为约束条件, 实现电池储能系统的优化控制。



1. 一种具有无功调节功能的电池储能系统的监控方法,该方法基于如下监控装置执行,该装置包括:

可再生能源发电设备监控模块,用于实时监控电池储能系统的可再生能源发电设备,并对可再生能源发电设备的发电功率进行预测;

蓄电池监控模块,可实时监控电池储能系统的蓄电池模块的 SOC;

配电网联络模块,用于实时从配电网调控中心获知配电网的运行情况以及相关调度信息;

SVG 监控模块,用于实时监控电池储能系统的 SVG 模块,控制 SVG 的无功输出;

并网运行监控模块,用于控制储能系统连接或隔离配电网;

中控模块,用于确定储能系统的运行策略,并向上述监控装置中的各模块发出指令,以执行该运行策略;

总线模块,用于该监控装置的各个模块的通信联络;

该方法包括如下步骤:

S1. 可再生能源发电设备监控模块实时获取可再生能源发电设备的运行数据,并存储数据;

S2. 根据可再生能源发电设备的运行数据,对未来预定时刻内的可再生能源发电设备的输出功率进行预测,实时预测 SVG 模块的可输出无功功率;

S3. 实时检测获取蓄电池模块的 SOC,实时获取配电网的参数和调度信息;

S4. 以配电网的调度信息中的有功需求和无功需求、当前蓄电池储能的 SOC、未来可再生能源发电设备输出功率、以及对 SVG 模块的 SVG 模块的可输出无功功率作为约束条件,实现电池储能系统的优化控制。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,可再生能源发电设备包括多个风电设备,所述在步骤 S2 中,采用如下方式预测风电模块的输出功率,以及 SVG 模块的可输出无功功率:

S201. 采集风电模块中当前各类电量实测值作为各类电量的预测值的初始值,预测值包括:风机有功预测值  $P_{WTG}^{pre}$ 、风机无功预测值  $Q_{WTG}^{pre}$ 、风机机端电压预测值  $V_{WTG}^{pre}$ 、SVG 无功预测值  $Q_{SVG}^{pre}$ 、SVG 机端电压预测值  $V_{SVG}^{pre}$ 、储能系统并网点 (PCC) 母线电压预测值  $V_{PCC}^{pre}$ ;

S202. 根据所述预测值建立由优化目标函数和约束条件组成的 MPC 优化控制模型,并求解风电模块的有功和无功输出的预测值:

MPC 优化控制模型的目标函数如式 (1) 所示:

$$\min_{Q_{WTG}^{pre}, V_{SVG}^{pre}} \left( \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \rho^{i+j} F_1, \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \rho^{i+j} F_2 \right) \quad (1)$$

式 (1) 中  $Q_{WTG}^{pre}$  和  $V_{SVG}^{pre}$  为优化变量,  $Q_{WTG}^{set}$  和  $V_{SVG}^{set}$  含义分别为风机无功设定值和 SVG 电压设定值;N 为时间窗覆盖控制周期的个数;M 为单个控制周期下含预测点的个数; $\rho$  为衰减系数,取值  $\rho < 1$ ;时间变量  $t_i, j = (Mi+j) \Delta t$  意义为当前时刻起第 i 个控制周期内的第 j 个预测点,  $\Delta t$  为预测点间隔,  $\Delta t$  由风电模块功率预测时间间隔决定;

F1 为风电模块并网点母线电压与设定值的偏差水平, F1 具体表达式如式 (2):

$$F_1(t_{i,j}) = [V_{PCC}^{pre}(t_{i,j}) - V_{PCC}^{ref}]^2 \quad (2)$$

式 (2) 中  $V_{PCC}^{ref}$  表示 PCC 电压的参考值, 从主站控制指令中提取后设定;

F2 为 SVG 无功储备水平, F2 具体表达式如式 (3):

$$F_2(t_{i,j}) = [Q_{SVG}^{pre}(t_{i,j}) - Q_{SVG}^{opt}]^2 \quad (3)$$

式 (3) 中  $Q_{SVG}^{opt}$  为 SVG 无功最佳运行点;

MPC 优化控制模型的约束条件, 具体包括:

风机有功预测约束条件:

$$P_{WTG}^{pre}(t_{i,j}) = \sum_{k=1}^{N_a} \phi_k P_{WTG}^{pre}(t_{i,j-k}) + \varepsilon_{WTG}^{pre}(t_{i,j}) - \sum_{k=1}^{N_m} \theta_k \varepsilon_{WTG}^{pre}(t_{i,j-k}) \quad (4)$$

式 (4) 中  $\varepsilon_{WTG}^{pre}$  为风机有功预测误差;  $N_a$  和  $N_m$  分别为 AR 和 MA 模型的阶数,  $\phi_k$  和  $\theta_k$  为相关权重, 阶数与权重均根据风机有功历史值确定;  $t_i, j-k$  为预测中参与计算数据 (包括  $P_{WTG}^{pre}$ 、 $\varepsilon_{WTG}^{pre}$ ) 对应时刻, 下标  $k$  表征预测时刻前推  $k \Delta t$  时间, 当  $t_i, j-k \leq 0$  时, 有功预测值应取对应时刻历史值;

风机无功预测约束条件:

风机无功在下次控制前达到设定值:

$$Q_{WTG}^{pre}(t_{i,0}) = Q_{WTG}^{set}(t_{i-1,0}) \quad (5)$$

第  $i$  个控制周期内的各预测点, 风机无功功率的变化过程以指数函数拟合:

$$Q_{WTG}^{pre}(t_{i,j}) = \frac{1 - e^{-(t_{i,j} - t_{i,0})/T_s}}{1 - e^{-M\Delta t/T_s}} Q_{WTG}^{set}(t_{i,0}) + \frac{e^{-(t_{i,j} - t_{i,0})/T_s} - e^{-M\Delta t/T_s}}{1 - e^{-M\Delta t/T_s}} Q_{WTG}^{pre}(t_{i,0}) \quad (6)$$

式 (6) 中  $T_s$  为风机无功调节时间常数, 可以根据风机无功调节测试试验获取。

SVG 无功预测约束条件:

SVG 无功参考值  $Q_G^{ref}$  如式 (7) 所示:

$$Q_{SVG}^{ref}(t_{i,j}) = K_P [V_{SVG}^{pre}(t_{i,j}) - V_{SVG}^{set}(t_{i,0})] + K_I \Delta t \sum_{k=0}^{i \times M + j} [V_{SVG}^{pre}(t_{i,j-k}) - V_{SVG}^{set}(t_{i-k})] + Q_{SVG}^{pre}(t_{0,0}) - K_P [V_{SVG}^{pre}(t_{0,0}) - V_{SVG}^{set}(t_{0,0})] \quad (7)$$

式 (7) 中  $K_I$  和  $K_P$  分别为比例环节和积分环节的系数;

SVG 无功预测值如式 (8) 所示:

$$Q_{SVG}^{pre}(t_{i,j}) = Q_{SVG}^{ref}(t_{i,j-1}) + [Q_{SVG}^{pre}(t_{i,j-1}) - Q_{SVG}^{ref}(t_{i,j-1})] e^{-(t_{i,j} - t_{i,j-1})/T_d} \quad (8)$$

式 (8) 中时间常数  $T_d$  为 SVG 电力电子装置动作延时;

电压预测约束条件:

$$V^{pre}(t_{i,j}) - V^{pre}(t_{0,0}) = S \begin{bmatrix} P_{WTG}^{pre}(t_{i,j}) - P_{WTG}^{pre}(t_{0,0}) \\ Q_{WTG}^{pre}(t_{i,j}) - Q_{WTG}^{pre}(t_{0,0}) \\ Q_{SVG}^{pre}(t_{i,j}) - Q_{SVG}^{pre}(t_{0,0}) \end{bmatrix} \quad (9)$$

式 (9) 中  $V^{pre}$  为风机机端、SVG 机端、和 PCC 母线电压预测值构成的向量,  $S$  为灵敏度矩阵;

系统电压、发电机运行和 SVG 运行的约束条件：

$$\begin{cases} V^{\min} \leq V^{\text{pre}}(t_{i,j}) \leq V^{\max} \\ Q_{\text{WTG}}^{\min} \leq Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) \leq Q_{\text{WTG}}^{\max} \\ Q_{\text{SVG}}^{\min} \leq Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) \leq Q_{\text{SVG}}^{\max} \\ \Delta Q_{\text{WTG}}^{\min} \leq Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i,0}) - Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i-1,0}) \leq \Delta Q_{\text{WTG}}^{\max} \\ \Delta Q_{\text{SVG}}^{\min} \leq Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i,0}) - Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i-1,0}) \leq \Delta Q_{\text{SVG}}^{\max} \end{cases} \quad (10)$$

式 (10) 中  $V^{\max}$  和  $V^{\min}$  分别为由 PCC、风机和 SVG 电压预测值构成系统电压向量的上限和下限, 其中 PCC 电压限值由配电网调度中心给出, 而风机和 SVG 电压限值根据设备生产厂商给出的正常工作范围确定;  $Q_{\text{WTG}}^{\max}$  和  $Q_{\text{WTG}}^{\min}$  分别为风机无功运行上下限,  $Q_{\text{SVG}}^{\max}$  和  $Q_{\text{SVG}}^{\min}$  分别为 SVG 无功运行上下限, 皆根据设备生产厂商给出的正常工作范围确定;  $\Delta Q_{\text{WTG}}^{\max}$  和  $\Delta Q_{\text{WTG}}^{\min}$  分别为风机无功爬坡上下限,  $\Delta Q_{\text{SVG}}^{\max}$  和  $\Delta Q_{\text{SVG}}^{\min}$  分别为 SVG 无功爬坡上下限, 皆需经过无功调速实验测试结果确定。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的方法, 其特征在于, 在步骤 S3 中采用如下方式, 获取蓄电池模块的 SOC:

S31. 采集蓄电池的电压、电流, 获取蓄电池的功率;

S32. 根据蓄电池的功率, 判断蓄电池的状态是否处于充电或放电状态;

S33. 当蓄电池未进行充电或放电时, 则采用开路电压法计算 SOC;

S34. 当蓄电池处于充电或放电状态时, 则采用安时法计算 SOC, 并以前一时刻计算结果为安时法 SOC 初值。

4. 如权利要求 3 所述的方法, 其特征在于, 在 S34 中, 当蓄电池处于充电状态时, 计算 SOC 的公式 (11) 如下:

$$SOC = SOC_0(1-\delta) + \frac{P_c \cdot \Delta t \cdot \eta_c}{E_c} \quad (11)$$

式中,  $SOC_0$  为初始 SOC 值,  $\delta$  表示蓄电池自放电率,  $P_c$  表示蓄电池充电功率大小,  $\Delta t$  表示两次计算 SOC 值的时间间隔,  $\eta_c$  表示蓄电池充电效率,  $E_c$  为蓄电池的额定容量。

当蓄电池处于放电状态时, 计算 SOC 的公式 (12) 如下:

$$SOC = SOC_0(1-\delta) - \frac{P_d \cdot \Delta t}{E_c \cdot \eta_d} \quad (12)$$

式中,  $P_d$  表示蓄电池放电功率大小,  $\eta_d$  表示蓄电池放电效率。

5. 如权利要求 4 所述的方法, 其特征在于, 所述蓄电池模块, 包括  $n$  个电池组及  $n$  个 DC/DC 变流器,  $n$  大于等于 3, 每个电池组均由一个 DC/DC 变流器控制器充放电, 该  $n$  个 DC/DC 变流器均由蓄电池模块监控模块控制。

6. 如权利要求 5 所述的方法, 其特征在于, 在步骤 S4 中, 上述优化控制包括对蓄电池模块 SOC 的优化控制, 步骤如下:

S41. 计算储能系统电池荷电状态 SOC 的参考值  $SOC_{\text{ref}}$ ;

S42. 判断储能系统的第  $n$  号电池组的  $SOC_n$  是否与储能系统的电池荷电状态 SOC 的参考值  $SOC_{\text{ref}}$  相等, 若  $SOC_n \neq SOC_{\text{ref}}$  则进入步骤 S43, 若  $SOC_n = SOC_{\text{ref}}$  则结束控制;

S43. 判断储能系统的第  $n$  号电池组的  $SOC_n$  是否大于储能系统的电池荷电状态 SOC 的参考值  $SOC_{ref}$ , 若储能系统的第  $n$  号电池组的  $SOC_n$  大于储能系统的电池荷电状态 SOC 的参考值  $SOC_{ref}$ , 则进入步骤 S44, 若储能系统的第  $n$  号电池组的  $SOC_n$  不大于储能系统的电池荷电状态 SOC 的参考值  $SOC_{ref}$ , 则进入步骤 S45;

S44. 判断储能系统是否为放电状态, 若储能系统为放电状态, 则控制其第  $n$  号 DC/DC 变流器放电进入步骤 S42, 若储能系统不是处于放电状态, 则控制其第  $n$  号电池组进入热备用状态, 进入步骤 S42;

S45. 判断储能系统是否为充电状态, 若储能系统为充电状态, 则控制第  $n$  号 DC/DC 变流器充电, 进入步骤 S42, 若储能系统不是处于充电状态, 则控制其第  $n$  号电池组进入热备用状态, 进入步骤 S42。

## 一种具有无功调节功能的电池储能系统的监控方法

### 所属技术领域

[0001] 本发明涉一种具有无功调节功能的电池储能系统的监控方法。

### 背景技术

[0002] 近年来,随着能源需求和环境保护双重压力下,以光伏、风力发电和燃气发电为代表的分布式发电技术得到了快速发展。并且,微网这一新兴的概念也随着分布式能源的广泛使用而得以提出。然而,由于分布式能源自然的不连续性,导致系统的稳定性正逐渐受到威胁,为了充分发挥可再生能源发电的优势和效益,平衡其随机波动,维护系统稳定,改善电能质量,提供不间断供电功能等,就必须同时在系统中配备一定容量的储能单元。

[0003] 在微网储能系统应用中,常采用一种直流总线的连接方式,该连接方式是储能电池模块通过一种双向逆变器接入直流总线,需要接收能量的时候,电网通过逆变器向储能电池充电;需要向电网送电的时候,储能电池通过双向逆变器电网输电。此外,在微网储能系统中,还可配制 SVG 设备,用于在并网运行时,为配电网进行无功补偿。

[0004] 但是,储能成本较高,考虑到微网运行的经济成本,应在保证微网系统安全运行的情况下,尽量延长储能的寿命。此外,如何实现储能系统并网运行时,实行最佳供电策略,以满足经济性、安全性,也是急需解决的问题。

### 发明内容

[0005] 本发明提供一种具有无功调节功能的电池储能系统的监控方法。该监控方法可以预测可再生能源发电设备,实时检测的蓄电池模块电池容量和实时获取的配电网的运行情况,制定和实施最适宜的控制策略,保障储能系统在并网时按照配电网的需求平稳提供有功功率和无功功率,并提升储能系统的安全性和使用寿命。

[0006] 为了实现上述目的,本发明提供一种具有无功调节功能的电池储能系统的监控方法,该方法基于如下监控装置执行,该装置包括:

[0007] 可再生能源发电设备监控模块,用于实时监控电池储能系统的可再生能源发电设备,并对可再生能源发电设备的发电功率进行预测;

[0008] 蓄电池监控模块,可实时监控电池储能系统的蓄电池模块的 SOC;

[0009] 配电网联络模块,用于实时从配电网调控中心获知配电网的运行情况以及相关调度信息;

[0010] SVG 监控模块,用于实时监控电池储能系统的 SVG 模块,控制 SVG 的无功输出;

[0011] 并网运行监控模块,用于控制储能系统连接或隔离配电网;

[0012] 中控模块,用于确定储能系统的运行策略,并向上述监控装置中的各模块发出指令,以执行该运行策略;

[0013] 总线模块,用于该监控装置的各个模块的通信联络;

[0014] 该方法包括如下步骤:

[0015] S1. 可再生能源发电设备监控模块实时获取可再生能源发电设备的运行数据,并

存储数据；

[0016] S2. 根据可再生能源发电设备的运行数据,对未来预定时刻内的可再生能源发电设备的输出功率进行预测,实时预测 SVG 模块的可输出无功功率；

[0017] S3. 实时检测获取蓄电池模块的 SOC,实时获取配电网的参数和调度信息；

[0018] S4. 以配电网的调度信息中的有功需求和无功需求、当前蓄电池储能的 SOC、未来可再生能源发电设备输出功率、以及对 SVG 模块的 SVG 模块的可输出无功功率作为约束条件,实现电池储能系统的优化控制。

[0019] 优选的,可再生能源发电设备包括多个风电设备,所述在步骤 S2 中,采用如下方式预测风电模块的输出功率,以及 SVG 模块的可输出无功功率；

[0020] S201. 采集风电模块中当前各类电量实测值作为各类电量的预测值的初始值,预测值包括:风机有功预测值  $P_{WTG}^{pre}$ 、风机无功预测值  $Q_{WTG}^{pre}$ 、风机机端电压预测值  $V_{WTG}^{pre}$ 、SVG 无功预测值  $Q_{SVG}^{pre}$ 、SVG 机端电压预测值  $V_{SVG}^{pre}$ 、储能系统并网点 (PCC) 母线电压预测值  $V_{PCC}^{pre}$ ；

[0021] S202. 根据所述预测值建立由优化目标函数和约束条件组成的 MPC 优化控制模型,并求解风电模块的有功和无功输出的预测值；

[0022] MPC 优化控制模型的目标函数如式 (1) 所示：

$$[0023] \quad \min_{Q_{WTG}^{pre}, V_{SVG}^{pre}} \left( \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \rho^{i+j} F_1, \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \rho^{i+j} F_2 \right) \quad (1)$$

[0024] 式 (1) 中  $Q_{WTG}^{pre}$  和  $V_{SVG}^{pre}$  为优化变量,  $Q_{WTG}^{pre}$  和  $V_{SVG}^{pre}$  含义分别为风机无功设定值和 SVG 电压设定值；N 为时间窗覆盖控制周期的个数；M 为单个控制周期下含预测点的个数； $\rho$  为衰减系数,取值  $\rho < 1$ ；时间变量  $t_i, j = (Mi+j) \Delta t$  意义为当前时刻起第 i 个控制周期内的第 j 个预测点,  $\Delta t$  为预测点间隔,  $\Delta t$  由风电模块功率预测时间间隔决定；

[0025] F1 为风电模块并网点母线电压与设定值的偏差水平, F1 具体表达式如式 (2)：

$$[0026] \quad F_1(t_{i,j}) = [V_{PCC}^{pre}(t_{i,j}) - V_{PCC}^{ref}]^2 \quad (2)$$

[0027] 式 (2) 中  $V_{PCC}^{ref}$  表示 PCC 电压的参考值,从主站控制指令中提取后设定；

[0028] F2 为 SVG 无功储备水平, F2 具体表达式如式 (3)：

$$[0029] \quad F_2(t_{i,j}) = [Q_{SVG}^{pre}(t_{i,j}) - Q_{SVG}^{opt}]^2 \quad (3)$$

[0030] 式 (3) 中  $Q_{SVG}^{opt}$  为 SVG 无功最佳运行点；

[0031] MPC 优化控制模型的约束条件,具体包括：

[0032] 风机有功预测约束条件：

$$[0033] \quad P_{WTG}^{pre}(t_{i,j}) = \sum_{k=1}^{N_a} \phi_k P_{WTG}^{pre}(t_{i,j-k}) + \varepsilon_{WTG}^{pre}(t_{i,j}) - \sum_{k=1}^{N_m} \theta_k \varepsilon_{WTG}^{pre}(t_{i,j-k}) \quad (4)$$

[0034] 式 (4) 中  $\varepsilon_{WTG}^{pre}$  为风机有功预测误差； $N_a$  和  $N_m$  分别为 AR 和 MA 模型的阶数,  $\phi_k$  和  $\theta_k$  为相关权重,阶数与权重均根据风机有功历史值确定； $t_i, j-k$  为预测中参与计算数据 (包括  $P_{WTG}^{pre}$ 、 $\varepsilon_{WTG}^{pre}$ ) 对应时刻,下标 k 表征预测时刻前推 k  $\Delta t$  时间,当  $t_i, j-k \leq 0$  时,有功预测值应取对应时刻历史值；

[0035] 风机无功预测约束条件：

[0036] 风机无功在下次控制前达到设定值：

$$[0037] \quad Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i,0}) = Q_{\text{WTG}}^{\text{set}}(t_{i-1,0}) \quad (5)$$

[0038] 第  $i$  个控制周期内的各预测点, 风机无功功率的变化过程以指数函数拟合：

$$[0039] \quad Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) = \frac{1 - e^{-(t_{i,j} - t_{i,0})/T_s}}{1 - e^{-M\Delta t/T_s}} Q_{\text{WTG}}^{\text{set}}(t_{i,0}) + \frac{e^{-(t_{i,j} - t_{i,0})/T_s} - e^{-M\Delta t/T_s}}{1 - e^{-M\Delta t/T_s}} Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i,0}) \quad (6)$$

[0040] 式 (6) 中  $T_s$  为风机无功调节时间常数, 可以根据风机无功调节测试试验获取。

[0041] SVG 无功预测约束条件：

[0042] SVG 无功参考值  $Q_{\text{SVG}}^{\text{ref}}$  如式 (7) 所示：

$$[0043] \quad Q_{\text{SVG}}^{\text{ref}}(t_{i,j}) = K_P [V_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) - V_{\text{SVG}}^{\text{set}}(t_{i,0})] + K_I \Delta t \sum_{k=0}^{i \times M - j} [V_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i,j-k}) - V_{\text{SVG}}^{\text{set}}(t_{i-k})] + Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{0,0}) - K_P [V_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{0,0}) - V_{\text{SVG}}^{\text{set}}(t_{0,0})] \quad (7)$$

[0044] 式 (7) 中  $K_I$  和  $K_P$  分别为比例环节和积分环节的系数；

[0045] SVG 无功预测值如式 (8) 所示：

$$[0046] \quad Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) = Q_{\text{SVG}}^{\text{ref}}(t_{i,j-1}) + [Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i,j-1}) - Q_{\text{SVG}}^{\text{ref}}(t_{i,j-1})] e^{-(t_{i,j} - t_{i,j-1})/T_d} \quad (8)$$

[0047] 式 (8) 中时间常数  $T_d$  为 SVG 电力电子装置动作延时；

[0048] 电压预测约束条件：

$$[0049] \quad \mathbf{V}^{\text{pre}}(t_{i,j}) - \mathbf{V}^{\text{pre}}(t_{0,0}) = \mathbf{S} \begin{bmatrix} P_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) - P_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{0,0}) \\ Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) - Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{0,0}) \\ Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) - Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{0,0}) \end{bmatrix} \quad (9)$$

[0050] 式 (9) 中  $\mathbf{V}^{\text{pre}}$  为风机机端、SVG 机端、和 PCC 母线电压预测值构成的向量,  $\mathbf{S}$  为灵敏度矩阵；

[0051] 系统电压、发电机运行和 SVG 运行的约束条件：

$$[0052] \quad \begin{cases} \mathbf{V}^{\min} \leq \mathbf{V}^{\text{pre}}(t_{i,j}) \leq \mathbf{V}^{\max} \\ Q_{\text{WTG}}^{\min} \leq Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) \leq Q_{\text{WTG}}^{\max} \\ Q_{\text{SVG}}^{\min} \leq Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) \leq Q_{\text{SVG}}^{\max} \\ \Delta Q_{\text{WTG}}^{\min} \leq Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i,0}) - Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i-1,0}) \leq \Delta Q_{\text{WTG}}^{\max} \\ \Delta Q_{\text{SVG}}^{\min} \leq Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i,0}) - Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i-1,0}) \leq \Delta Q_{\text{SVG}}^{\max} \end{cases} \quad (10)$$

[0053] 式 (10) 中  $\mathbf{V}^{\max}$  和  $\mathbf{V}^{\min}$  分别为由 PCC、风机和 SVG 电压预测值构成系统电压向量的上限和下限, 其中 PCC 电压限值由配电网调度中心给出, 而风机和 SVG 电压限值根据设备生产厂商给出的正常工作范围确定； $Q_{\text{WTG}}^{\max}$  和  $Q_{\text{WTG}}^{\min}$  分别为风机无功运行上下限,  $Q_{\text{SVG}}^{\max}$  和  $Q_{\text{SVG}}^{\min}$  分别为 SVG 无功运行上下限, 皆根据设备生产厂商给出的正常工作范围确定； $\Delta Q_{\text{WTG}}^{\max}$  和  $\Delta Q_{\text{WTG}}^{\min}$  分别为风机无功爬坡上下限,  $\Delta Q_{\text{SVG}}^{\max}$  和  $\Delta Q_{\text{SVG}}^{\min}$  分别为 SVG 无功爬坡上下限, 皆需经过无功调速实验测试结果确定。

[0054] 优选的, 在步骤 S3 中采用如下方式, 获取蓄电池模块的 SOC：

[0055] S31. 采集蓄电池的电压、电流, 获取蓄电池的功率；



[0056] S32. 根据蓄电池的功率,判断蓄电池的状态是否处于充电或放电状态;

[0057] S33. 当蓄电池未进行充电或放电时,则采用开路电压法计算 SOC;

[0058] S34. 当蓄电池处于充电或放电状态时,则采用安时法计算 SOC,并以前一时刻计算结果为安时法 SOC 初值。

[0059] 优选,在 S34 中,当蓄电池处于充电状态时,计算 SOC 的公式 (11) 如下:

$$[0060] \quad SOC = SOC_0(1-\delta) + \frac{P_c \cdot \Delta t \cdot \eta_c}{E_c} \quad (11)$$

[0061] 式中, SOC<sub>0</sub> 为初始 SOC 值, δ 表示蓄电池自放电率, P<sub>c</sub> 表示蓄电池充电功率大小, Δt 表示两次计算 SOC 值的时间间隔, η<sub>c</sub> 表示蓄电池充电效率, E<sub>c</sub> 为蓄电池的额定容量。

[0062] 当蓄电池处于放电状态时,计算 SOC 的公式 (12) 如下:

$$[0063] \quad SOC = SOC_0(1-\delta) - \frac{P_d \cdot \Delta t}{E_c \cdot \eta_d} \quad (12)$$

[0064] 式中, P<sub>d</sub> 表示蓄电池放电功率大小, η<sub>d</sub> 表示蓄电池放电效率。

[0065] 优选的,所述蓄电池模块,包括 n 个电池组及 n 个 DC/DC 变流器, n 大于等于 3,每个电池组均由一个 DC/DC 变流器控制器充放电,该 n 个 DC/DC 变流器均由蓄电池模块监控模块控制。

[0066] 优选的,在步骤 S4 中,上述优化控制包括对蓄电池模块 SOC 的优化控制,步骤如下:

[0067] S41. 计算储能系统电池荷电状态 SOC 的参考值 SOC<sub>ref</sub>;

[0068] S42. 判断储能系统的第 n 号电池组的 SOC<sub>n</sub> 是否与储能系统的电池荷电状态 SOC 的参考值 SOC<sub>ref</sub> 相等,若 SOC<sub>n</sub> ≠ SOC<sub>ref</sub> 则进入步骤 S43,若 SOC<sub>n</sub> = SOC<sub>ref</sub> 则结束控制;

[0069] S43. 判断储能系统的第 n 号电池组的 SOC<sub>n</sub> 是否大于储能系统的电池荷电状态 SOC 的参考值 SOC<sub>ref</sub>,若储能系统的第 n 号电池组的 SOC<sub>n</sub> 大于储能系统的电池荷电状态 SOC 的参考值 SOC<sub>ref</sub>,则进入步骤 S44,若储能系统的第 n 号电池组的 SOC<sub>n</sub> 不大于储能系统的电池荷电状态 SOC 的参考值 SOC<sub>ref</sub>,则进入步骤 S45;

[0070] S44. 判断储能系统是否为放电状态,若储能系统为放电状态,则控制其第 n 号 DC/DC 变流器放电进入步骤 S42,若储能系统不是处于放电状态,则控制其第 n 号电池组进入热备用状态,进入步骤 S42;

[0071] S45. 判断储能系统是否为充电状态,若储能系统为充电状态,则控制第 n 号 DC/DC 变流器充电,进入步骤 S42,若储能系统不是处于充电状态,则控制其第 n 号电池组进入热备用状态,进入步骤 S42。

[0072] 本发明的电池储能系统的监控方法具有如下优点:(1) 准确预测可再生能源发电设备的输出功率变化情况;(2) 控制策略兼顾配电网调度要求和储能系统运行情况,可同时对配电网提供有功功率和无功功率,满足配电网的调度需求的同时,兼顾了供电可靠性,保障储能系统的安全性,延长了系统储能系统的使用寿命。

## 附图说明

[0073] 图 1 示出了本发明的一种具有无功调节功能的电池储能系统的监控装置的框图;

[0074] 图 2 示出了本发明的储能系统的监控方法。

### 具体实施方式

[0075] 图 1 是示出了一种具有无功调节功能的电池储能系统 10, 该系统 10 包括: 可再生能源发电设备 12、蓄电池模块 13、SVG 模块 14、用于将储能系统 10 与配电网 20 连接和隔离的 AC/DC 双向换流模块一 16、直流母线、用于连接可再生能源发电设备 12 和直流母线的 AC/DC 双向换流模块二 15 以及监控装置 11。

[0076] 参见图 1, 该监控装置 11 包括: 可再生能源发电设备监控模块 114, 用于实时监控电池储能系统 10 中的可再生能源发电设备 12, 并对可再生能源发电设备 12 的发电功率进行预测; 蓄电池监控模块 115, 用于实时监控风电场储能系统 10 中的蓄电池模块 13; 配电网联络模块 112, 用于实时从配电网 20 调控中心获知配电网 20 的运行情况以及相关调度信息; 并网监控模块 116, 用于控制风电场储能系统 10 连接或隔离配电网 20; 中控模块 117, 用于确定电池储能系统 10 的运行策略, 并向上述各模块发出指令, 以执行该供电策略; SVG 监控模块, 用于实时监控 SVG 模块 14; 总线模块 111, 用于该监控装置 11 的各个模块的通信联络。

[0077] 通信模块 111, 用于上述各个模块之间的通信, 所述总线通信模块 111 通过冗余双 CAN 总线与其他模块相连。

[0078] 可再生能源发电设备 12 包括多个风力发电机。风力发电机的输出功率由风力发电地点的风速、风向和自身特征所决定, 可再生能源发电设备监控模块 114 至少包括风力发电机定压、电流、频率检测设备、风速检测设备。

[0079] SVG 监控模块, 包括 SVG 模块的电压和电流检测设备。

[0080] 蓄电池监控模块 116 至少包括蓄电池端电压、电流、SOC 检测设备以及温度检测设备, 可实时监控蓄电池模块的 SOC。

[0081] 中控模块 117 至少包括 CPU 单元、数据存储单元和显示单元。

[0082] 配电网联络模块 112 至少包括无线通信设备。

[0083] 并网监控模块 116 至少包括用于检测配电网和风电场储能系统电压、电流和频率的检测设备、数据采集单元和数据处理单元。数据采集单元包含采集预处理和 A/D 转换模块, 采集八路遥测信号量, 包含电网侧 A 相电压、电流, 风电场储能系统侧的三相电压、电流。遥测量可通过终端内的高精度电流和电压互感器将强交流电信号 (5A/110V) 不失真地转变为内部弱电信号, 经滤波处理后进入 A/D 芯片进行模数转换, 经转换后的数字信号经数据处理单元计算, 获得风电场储能系统 10 侧的三相电压电流值和配电网 20 侧相电压电流值。本遥测信号量处理采用了高速高密度同步采样、频率自动跟踪技术还有改进的 FFT 算法, 所以精度得到充分保证, 能够完成风电场储能系统 10 侧有功、无功和电能从基波到高次谐波分量的测量和处理。

[0084] 参见附图 2, 本发明的方法包括如下步骤:

[0085] S1. 可再生能源发电设备监控模块实时获取可再生能源发电设备的运行数据, 并存储数据;

[0086] S2. 根据可再生能源发电设备的运行数据, 对未来预定时刻内的可再生能源发电设备的输出功率进行预测, 实时预测 SVG 模块的可输出无功功率;

[0087] S3. 实时检测获取蓄电池模块的 SOC, 实时获取配电网的参数和调度信息 ;

[0088] S4. 以配电网的调度信息中的有功需求和无功需求、当前蓄电池储能的 SOC、未来可再生能源发电设备输出功率、以及对 SVG 模块的 SVG 模块的可输出无功功率作为约束条件, 实现电池储能系统的优化控制。

[0089] 优选的, 可再生能源发电设备包括多个风电设备, 所述在步骤 S2 中, 采用如下方式预测风电模块的输出功率, 以及 SVG 模块的可输出无功功率 :

[0090] S201. 采集风电模块中当前各类电量实测值作为各类电量的预测值的初始值, 预测值包括 : 风机有功预测值  $P_{WTG}^{pre}$ 、风机无功预测值  $Q_{WTG}^{pre}$ 、风机机端电压预测值  $V_{WTG}^{pre}$ 、SVG 无功预测值  $Q_{SVG}^{pre}$ 、SVG 机端电压预测值  $V_{SVG}^{pre}$ 、储能系统并网点 (PCC) 母线电压预测值  $V_{PCC}^{pre}$  ;

[0091] S202. 根据所述预测值建立由优化目标函数和约束条件组成的 MPC 优化控制模型, 并求解风电模块的有功和无功输出的预测值 :

[0092] MPC 优化控制模型的目标函数如式 (1) 所示 :

$$[0093] \quad \min_{Q_{WTG}^{set}, V_{SVG}^{set}} \left( \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \rho^{i+j} F_1, \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \rho^{i+j} F_2 \right) \quad (1)$$

[0094] 式 (1) 中  $Q_{WTG}^{set}$  和  $V_{SVG}^{set}$  为优化变量,  $Q_{WTG}^{set}$  和  $V_{SVG}^{set}$  含义分别为风机无功设定值和 SVG 电压设定值 ; N 为时间窗覆盖控制周期的个数 ; M 为单个控制周期下含预测点的个数 ;  $\rho$  为衰减系数, 取值  $\rho < 1$  ; 时间变量  $t_i, j = (Mi+j) \Delta t$  意义为当前时刻起第 i 个控制周期内的第 j 个预测点,  $\Delta t$  为预测点间隔,  $\Delta t$  由风电模块功率预测时间间隔决定 ;

[0095] F1 为风电模块并网点母线电压与设定值的偏差水平, F1 具体表达式如式 (2) :

$$[0096] \quad F_1(t_{i,j}) = [V_{PCC}^{pre}(t_{i,j}) - V_{PCC}^{ref}]^2 \quad (2)$$

[0097] 式 (2) 中  $V_{PCC}^{ref}$  表示 PCC 电压的参考值, 从主站控制指令中提取后设定 ;

[0098] F2 为 SVG 无功储备水平, F2 具体表达式如式 (3) :

$$[0099] \quad F_2(t_{i,j}) = [Q_{SVG}^{pre}(t_{i,j}) - Q_{SVG}^{opt}]^2 \quad (3)$$

[0100] 式 (3) 中  $Q_{SVG}^{opt}$  为 SVG 无功最佳运行点 ;

[0101] MPC 优化控制模型的约束条件, 具体包括 :

[0102] 风机有功预测约束条件 :

$$[0103] \quad P_{WTG}^{pre}(t_{i,j}) = \sum_{k=1}^{N_a} \phi_k P_{WTG}^{pre}(t_{i,j-k}) + \varepsilon_{WTG}^{pre}(t_{i,j}) - \sum_{k=1}^{N_m} \theta_k \varepsilon_{WTG}^{pre}(t_{i,j-k}) \quad (4)$$

[0104] 式 (4) 中  $\varepsilon_{WTG}^{pre}$  为风机有功预测误差 ;  $N_a$  和  $N_m$  分别为 AR 和 MA 模型的阶数,  $\phi_k$  和  $\theta_k$  为相关权重, 阶数与权重均根据风机有功历史值确定 ;  $t_i, j-k$  为预测中参与计算数据 (包括  $P_{WTG}^{pre}$ 、 $\varepsilon_{WTG}^{pre}$ ) 对应时刻, 下标 k 表征预测时刻前推 k  $\Delta t$  时间, 当  $t_i, j-k \leq 0$  时, 有功预测值应取对应时刻历史值 ;

[0105] 风机无功预测约束条件 :

[0106] 风机无功在下次控制前达到设定值 :

$$[0107] \quad Q_{WTG}^{pre}(t_{i,0}) = Q_{WTG}^{set}(t_{i-1,0}) \quad (5)$$

[0108] 第  $i$  个控制周期内的各预测点, 风机无功功率的变化过程以指数函数拟合:

$$[0109] \quad Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) = \frac{1 - e^{-(t_{i,j}-t_{i,0})/T_s}}{1 - e^{-M\Delta t/T_s}} Q_{\text{WTG}}^{\text{set}}(t_{i,0}) + \frac{e^{-(t_{i,j}-t_{i,0})/T_s} - e^{-M\Delta t/T_s}}{1 - e^{-M\Delta t/T_s}} Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i,0}) \quad (6)$$

[0110] 式 (6) 中  $T_s$  为风机无功调节时间常数, 可以根据风机无功调节测试试验获取。

[0111] SVG 无功预测约束条件:

[0112] SVG 无功参考值  $Q_G^{\text{ref}}$  如式 (7) 所示:

$$[0113] \quad Q_{\text{SVG}}^{\text{ref}}(t_{i,j}) = K_P [V_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) - V_{\text{SVG}}^{\text{set}}(t_{i,0})] + K_I \Delta t \sum_{k=0}^{iM+j} [V_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i,j-k}) - V_{\text{SVG}}^{\text{set}}(t_{i,-k})] + Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{0,0}) - K_P [V_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{0,0}) - V_{\text{SVG}}^{\text{set}}(t_{0,0})] \quad (7)$$

[0114] 式 (7) 中  $K_I$  和  $K_P$  分别为比例环节和积分环节的系数;

[0115] SVG 无功预测值如式 (8) 所示:

$$[0116] \quad Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) = Q_{\text{SVG}}^{\text{ref}}(t_{i,j-1}) + [Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i,j-1}) - Q_{\text{SVG}}^{\text{ref}}(t_{i,j-1})] e^{-(t_{i,j}-t_{i,j-1})/T_d} \quad (8)$$

[0117] 式 (8) 中时间常数  $T_d$  为 SVG 电力电子装置动作延时;

[0118] 电压预测约束条件:

$$[0119] \quad \mathbf{V}^{\text{pre}}(t_{i,j}) - \mathbf{V}^{\text{pre}}(t_{0,0}) = \mathbf{S} \begin{bmatrix} P_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) - P_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{0,0}) \\ Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) - Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{0,0}) \\ Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) - Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{0,0}) \end{bmatrix} \quad (9)$$

[0120] 式 (9) 中  $\mathbf{V}^{\text{pre}}$  为风机机端、SVG 机端、和 PCC 母线电压预测值构成的向量,  $\mathbf{S}$  为灵敏度矩阵;

[0121] 系统电压、发电机运行和 SVG 运行的约束条件:

$$[0122] \quad \begin{cases} \mathbf{V}^{\min} \leq \mathbf{V}^{\text{pre}}(t_{i,j}) \leq \mathbf{V}^{\max} \\ Q_{\text{WTG}}^{\min} \leq Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) \leq Q_{\text{WTG}}^{\max} \\ Q_{\text{SVG}}^{\min} \leq Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i,j}) \leq Q_{\text{SVG}}^{\max} \\ \Delta Q_{\text{WTG}}^{\min} \leq Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i,0}) - Q_{\text{WTG}}^{\text{pre}}(t_{i-1,0}) \leq \Delta Q_{\text{WTG}}^{\max} \\ \Delta Q_{\text{SVG}}^{\min} \leq Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i,0}) - Q_{\text{SVG}}^{\text{pre}}(t_{i-1,0}) \leq \Delta Q_{\text{SVG}}^{\max} \end{cases} \quad (10)$$

[0123] 式 (10) 中  $\mathbf{V}^{\max}$  和  $\mathbf{V}^{\min}$  分别为由 PCC、风机和 SVG 电压预测值构成系统电压向量的上限和下限, 其中 PCC 电压限值由配电网调度中心给出, 而风机和 SVG 电压限值根据设备生产厂商给出的正常工作范围确定;  $Q_{\text{WTG}}^{\max}$  和  $Q_{\text{WTG}}^{\min}$  分别为风机无功运行上下限,  $Q_{\text{SVG}}^{\max}$  和  $Q_{\text{SVG}}^{\min}$  分别为 SVG 无功运行上下限, 皆根据设备生产厂商给出的正常工作范围确定;  $\Delta Q_{\text{WTG}}^{\max}$  和  $\Delta Q_{\text{WTG}}^{\min}$  分别为风机无功爬坡上下限,  $\Delta Q_{\text{SVG}}^{\max}$  和  $\Delta Q_{\text{SVG}}^{\min}$  分别为 SVG 无功爬坡上下限, 皆需经过无功调速实验测试结果确定。

[0124] 优选的, 在步骤 S3 中采用如下方式, 获取蓄电池模块的 SOC:

[0125] S31. 采集蓄电池的电压、电流, 获取蓄电池的功率;

[0126] S32. 根据蓄电池的功率, 判断蓄电池的状态是否处于充电或放电状态;

[0127] S33. 当蓄电池未进行充电或放电时, 则采用开路电压法计算 SOC;

[0128] S34. 当蓄电池处于充电或放电状态时, 则采用安时法计算 SOC, 并以前一时刻计

算结果为安时法 SOC 初值。

[0129] 优选,在 S34 中,当蓄电池处于充电状态时,计算 SOC 的公式 (11) 如下:

$$[0130] \quad SOC = SOC_0(1-\delta) + \frac{P_c \cdot \Delta t \cdot \eta_c}{E_c} \quad (11)$$

[0131] 式中,  $SOC_0$  为初始 SOC 值,  $\delta$  表示蓄电池自放电率,  $P_c$  表示蓄电池充电功率大小,  $\Delta t$  表示两次计算 SOC 值的时间间隔,  $\eta_c$  表示蓄电池充电效率,  $E_c$  为蓄电池的额定容量。

[0132] 当蓄电池处于放电状态时,计算 SOC 的公式 (12) 如下:

$$[0133] \quad SOC = SOC_0(1-\delta) - \frac{P_d \cdot \Delta t}{E_c \cdot \eta_d} \quad (12)$$

[0134] 式中,  $P_d$  表示蓄电池放电功率大小,  $\eta_d$  表示蓄电池放电效率。

[0135] 优选的,所述蓄电池模块,包括  $n$  个电池组及  $n$  个 DC/DC 变流器,  $n$  大于等于 3,每个电池组均由一个 DC/DC 变流器控制器充放电,该  $n$  个 DC/DC 变流器均由蓄电池模块监控模块 115 控制。

[0136] 优选的,在步骤 S4 中,上述优化控制包括对蓄电池模块 SOC 的优化控制,步骤如下:

[0137] S41. 计算储能系统电池荷电状态 SOC 的参考值  $SOC_{ref}$ ;

[0138] S42. 判断储能系统的第  $n$  号电池组的  $SOC_n$  是否与储能系统的电池荷电状态 SOC 的参考值  $SOC_{ref}$  相等,若  $SOC_n \neq SOC_{ref}$  则进入步骤 S43,若  $SOC_n = SOC_{ref}$  则结束控制;

[0139] S43. 判断储能系统的第  $n$  号电池组的  $SOC_n$  是否大于储能系统的电池荷电状态 SOC 的参考值  $SOC_{ref}$ ,若储能系统的第  $n$  号电池组的  $SOC_n$  大于储能系统的电池荷电状态 SOC 的参考值  $SOC_{ref}$ ,则进入步骤 S44,若储能系统的第  $n$  号电池组的  $SOC_n$  不大于储能系统的电池荷电状态 SOC 的参考值  $SOC_{ref}$ ,则进入步骤 S45;

[0140] S44. 判断储能系统是否为放电状态,若储能系统为放电状态,则控制其第  $n$  号 DC/DC 变流器放电进入步骤 S42,若储能系统不是处于放电状态,则控制其第  $n$  号电池组进入热备用状态,进入步骤 S42;

[0141] S45. 判断储能系统是否为充电状态,若储能系统为充电状态,则控制第  $n$  号 DC/DC 变流器充电,进入步骤 S42,若储能系统不是处于充电状态,则控制其第  $n$  号电池组进入热备用状态,进入步骤 S42。

[0142] 优选的,在步骤 S4 中,储能系统总功率  $P_g$  的约束为:

[0143] 在非响应调度时段 1 下,  $P_{g,min} \leq P_{g(1)} \leq P_{g,max}$ ,  $P_{g,min}$  为储能系统 10 能够从配电网 20 吸收的最大功率,  $P_{g,max}$  为储能系统 10 能够向配电网 20 输送功率的最大功率;

[0144] 在响应调度时段 2 下,  $P_{g(2)} = P_{set}$ ,  $P_{set}$  为响应调度时段 2 下要求的联络线功率。

[0145] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明,不能认定本发明的具体实施只局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,做出若干等同替代或明显变型,而且性能或用途相同,都应当视为属于本发明的保护范围。

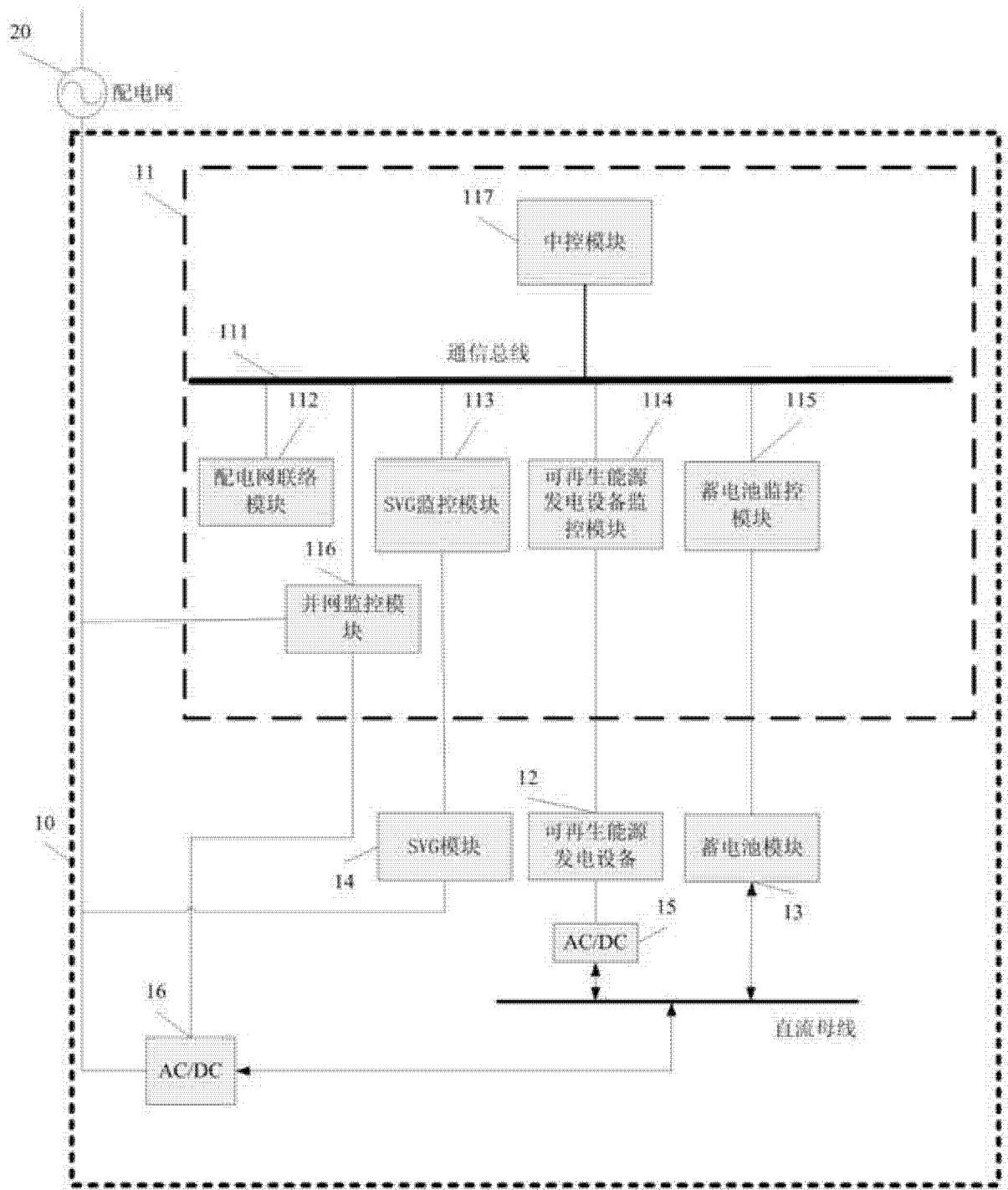
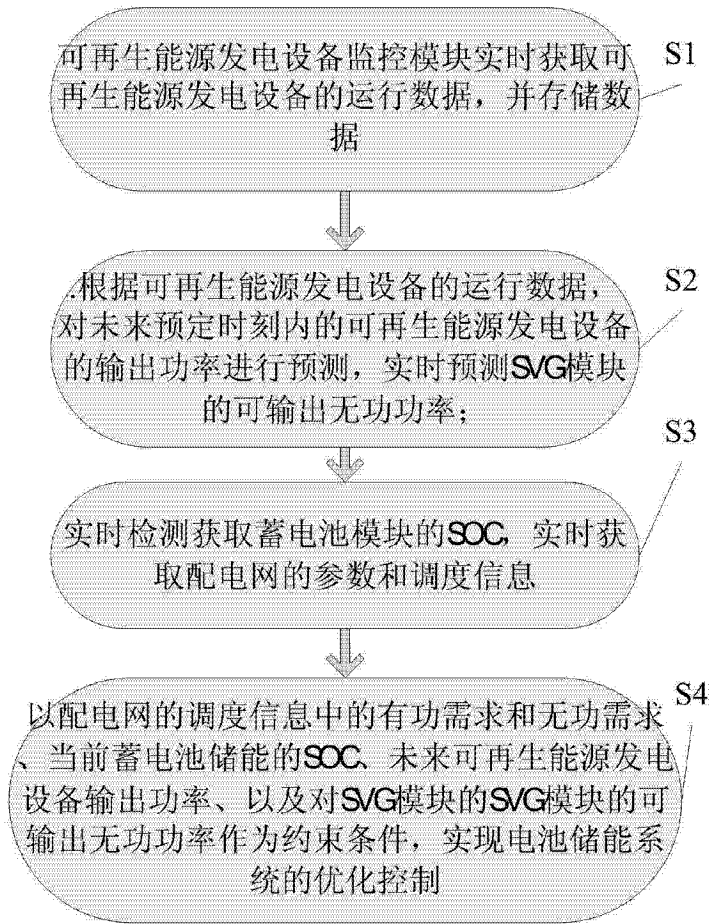


图 1



8

图 2