

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2018 年 11 月 1 日 (01.11.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/196433 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02J 3/32 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/120364
- (22) 国际申请日: 2017 年 12 月 29 日 (29.12.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201710269802.6 2017 年 4 月 24 日 (24.04.2017) CN
- (71) 申请人: 国家电网公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街 86 号, Beijing 100031 (CN)。国网河南省电力公司经济技术研究院 (STATE GRID HENAN ECONOMIC RESEARCH INSTITUTE) [CN/CN]; 中国河南省郑州市二七区嵩山南路 87 号, Henan 450052 (CN)。中国科学院电工研究所 (INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERING,

CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) [CN/CN]; 中国北京市海淀区中关村北二条 6 号, Beijing 100190 (CN)。

- (72) 发明人: 田春笋(TIAN, Chunzheng); 中国河南省郑州市二七区嵩山南路 87 号, Henan 450052 (CN)。高超(GAO, Chao); 中国北京市海淀区中关村北二条 6 号, Beijing 100190 (CN)。唐西胜(TANG, Xisheng); 中国北京市海淀区中关村北二条 6 号, Beijing 100190 (CN)。刘巍(LIU, Wei); 中国北京市海淀区中关村北二条 6 号, Beijing 100190 (CN)。李猛(LI, Meng); 中国河南省郑州市二七区嵩山南路 87 号, Henan 450052 (CN)。付科源(FU, Keyuan); 中国河南省郑州市二七区嵩山南路 87 号, Henan 450052 (CN)。孙玉树(SUN, Yushu); 中国北京市海淀区中关村北二条 6 号, Beijing 100190 (CN)。李秋燕(LI, Qiuyan); 中国河南省郑州市二七区嵩山南路 87 号, Henan 450052 (CN)。王利利(WANG, Lili); 中国河南省郑州市二七区嵩山南路 87 号, Henan 450052 (CN)。郭

(54) Title: MULTI-TYPE ENERGY STORAGE MULTI-LEVEL CONTROL METHOD

(54) 发明名称: 多类型储能多级控制方法

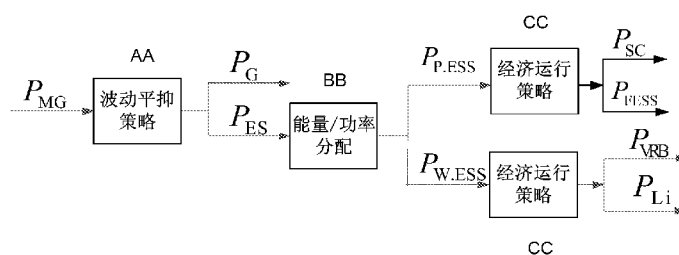


图 1

AA Fluctuation suppression strategy
BB Energy/power distribution strategy
CC Economic operation strategy

(57) Abstract: A multi-type energy storage multi-level control method, comprising: a fluctuation suppression strategy, an energy/power distribution strategy, and an economic operation strategy. The fluctuation suppression strategy is used to smoothen a microgrid original power curve, so as to obtain a microgrid grid-connected power curve and an energy storage total load curve; an energy storage charge-discharge distribution strategy based on a power-type energy storage charging state is used on the basis of a first-order filtering algorithm, to implement power distribution between energy-type energy storage and power-type energy storage; and an economic operation strategy based on full life cycle costs is used to implement power distribution inside the power-type energy storage (that is, power distribution between supercapacitor and flywheel energy storage), and an economic operation strategy based on per-kilowatt-hour electricity costs is used to implement power distribution inside the energy-type energy storage (that is, power distribution between a lithium battery and a flow battery).

勇(GUO, Yong); 中国河南省郑州市二七区嵩山南路87号, Henan 450052 (CN)。 李鹏(LI, Peng); 中国河南省郑州市二七区嵩山南路87号, Henan 450052 (CN)。 孙义豪(SUN, Yihao); 中国河南省郑州市二七区嵩山南路87号, Henan 450052 (CN)。 全少理(QUAN, Shaoli); 中国河南省郑州市二七区嵩山南路87号, Henan 450052 (CN)。 郭新志(GUO, Xinzhi); 中国河南省郑州市二七区嵩山南路87号, Henan 450052 (CN)。

(74) 代理人: 北京品源专利代理有限公司(BEYOND ATTORNEYS AT LAW); 中国北京市海淀区莲花池东路39号西金大厦6层, Beijing 100036 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种多类型储能多级控制方法, 包括: 波动平抑策略、能量/功率分配策略和经济运行策略; 首先采用波动平抑策略对微网原始功率曲线进行平滑, 获取微网并网功率曲线和储能总载荷曲线; 然后在一阶滤波算法的基础上使用基于功率型储能荷电状态的储能充放电分配策略, 实现能量型储能和功率型储能之间的功率分配; 继而利用基于全寿命周期成本的经济运行策略实现功率型储能内部的功率分配(即超级电容器和飞轮储能的功率分配), 同时利用基于度电成本的经济运行策略实现能量型储能内部的功率分配(即锂电池和液流电池的功率分配)。

多类型储能多级控制方法

技术领域

本公开涉及微网储能多级控制方法，例如涉及一种多类型储能多级控制方法。

背景技术

由于风、光等可再生能源发电的随机性和间歇性，以及负荷波动的不规律性，使得微网的非计划功率变化较大，这给系统的可靠运行带来了很大挑战。而应用储能系统进行微网功率波动的平抑，可以提高系统运行的安全性和稳定性，从而提高电网对可再生能源的消纳。

微网中微源和负荷的波动往往具有多个不同的时间尺度，长时间尺度的波动可以持续数小时或数天，而短时间尺度的波动只有几分钟，甚至几秒钟。因此，单一的储能技术难以同时满足容量和响应速度的要求，需要采用多种性能互补的复合储能平抑微网功率波动。

相关技术中的研究主要侧重于一种功率型储能和一种能量型储能组成的多类型储能，而很少涉及到多种能量型储能及其分配策略。而在实际工程当中，多种能量型储能的联合应用也已出现，在这种复杂的多类型储能系统中，如何协调功率型与能量型，以及多种功率型和多种能量型储能内部之间的运行，是一个重要课题。目前，含多种能量型储能和功率型储能的多类型储能系统平抑微网功率波动的控制问题尚未解决。

发明内容

本公开提供的多类型储能多级控制方法，解决了微网中可再生能源发电和负荷功率在不同时间尺度上存在的不同波动特性问题，实现了功率型储能和能量型电池储能的载荷分配。

本公开提供的多类型储能多级控制方法包括：波动平抑策略、能量/功率分配策略和经济运行策略等三级控制方法，包括：首先采用波动平抑策略对微网原始功率曲线进行平滑，获取微网并网功率曲线和储能总载荷曲线；然后在一阶滤波算法的基础上使用基于功率型储能荷电状态的储能充放电分配策略，实现能量型储能和功率型储能之间的功率分配；继而利用基于全寿命周期成本的

经济运行策略实现功率型储能内部的功率分配，即超级电容器和飞轮储能的功率分配，同时利用基于度电成本的经济运行策略实现能量型储能内部的功率分配，即锂电池和液流电池的功率分配。

可选地，本公开的多类型储能多级控制方法包括：

采用模型预测控制算法的波动平抑策略对微网原始功率曲线进行平滑，获取微网并网功率曲线和储能总载荷曲线；

所述的波动平抑策略采用模型预测控制算法，该算法具有较强的应对扰动和不确定性能力，适用于微网功率波动；

所述的模型预测控制算法的核心思想是滚动时域优化策略，滚动时域优化策略包括：

在当前时刻 k 和当前状态 $x(k)$ ，考虑当前时刻和未来时刻的约束条件，通过优化求解，得到未来时刻 $k+1$ ， $k+2$ ， $\dots$ $k+M$ 的指令序列；

将指令序列的第 1 个值应用于模型预测控制算法；在 $k+1$ 时刻，更新状态为 $x(k+1)$ ；以及在 $k+i$ 时刻，更新状态为 $x(k+i)$ ，其中 i 为大于 1 且小于等于 M 的整数，则当前时刻为 $k+i$ 当前状态为 $x(k+i)$ ，重复上述步骤。

基于所述的模型预测控制算法，通过滚动时域优化策略，可得到微网并网功率曲线和储能总载荷曲线，包括：

确定微网的并网功率与微网原始功率和储能功率之间的关系，即假设 k 时刻微网原始功率为 $P_{MG}(k)$ ，储能功率为 $P_{ES}(k)$ ，则微网的并网功率 $P_G(k)$ 与原始功率 $P_{MG}(k)$ 、储能功率 $P_{ES}(k)$ 三者之间存在如下式 (1)：

$$P_G(k+1) = P_{ES}(k) + P_{MG}(k); \quad (1)$$

确定储能的荷电状态，即假设储能装置控制周期为 T_c ，储能装置总容量为 C_{ES} ，则储能的荷电状态 $S_{oc,ES}$ 满足式 (2)：

$$S_{oc,ES}(k+1) = S_{oc,ES}(k) - T_c P_{ES}(k) / C_{ES}; \quad (2)$$

综合考虑储能并网功率与微网原始功率、储能功率关系和储能荷电状态，确定储能平抑微网功率状态空间方程，获取的方法为：将微网的并网功率 P_G 和

储能荷电状态 $S_{oc,ES}$ 分别作为状态变量 x_1 和 x_2 , 储能功率 P_{ES} 作为控制变量 u , 微网原始功率 P_{MG} 作为扰动输入量 r , P_G 和 $S_{oc,ES}$ 作为输出变量 y_1 和 y_2 , 可得到储能平抑微网功率状态空间方程如式 (3):

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ -T_c \end{bmatrix} u(k) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} r(k) \\ \begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_2(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} \end{cases} \quad (3)$$

式 (3) 中, T_c 代表储能装置控制周期, k 代表 k 时刻;

确定储能平抑微网功率波动的约束条件; 所述的储能平抑微网功率状态空间方程中, 储能功率约束条件满足 $0 \leq P_{ES}(i) \leq P_{ES_max}$, 储能荷电状态约束条件满足 $0 \leq S_{oc,ES}(i) \leq 1$, 微网并网功率波动率限制约束条件满足 $\frac{P_{Gmax}(i) - P_{Gmin}(i)}{P_{rated}} \leq \gamma$,

式中, γ 为波动率限制值, P_{ES_max} 为 $P_{ES}(i)$ 的最大值, $P_{ES}(i)$ 为 i 时刻储能功率; P_{rated} 为微网的额定装机容量; $P_{Gmax}(i)$ 、 $P_{Gmin}(i)$ 分别为 $P_G(i)$ 的最大值和最小值, $P_G(i)$ 为 i 时刻微网的并网功率;

利用滚动时域优化策略对微网原始功率进行滚动计算, 得到未来时刻 $k+1$, $k+2, \dots, k+M$ 的指令序列。通过储能平抑微网功率波动的约束条件对微网原始功率进行约束, 可得到满足约束条件的微网并网功率, 微网原始功率与微网并网功率的差值为储能总需求功率, 将不同时间段的储能总需求功率进行连线处理, 即可得到储能总载荷曲线。

可选地, 在一阶滤波算法的基础上采用基于功率型储能荷电状态的储能充放电分配策略, 实现能量型储能和功率型储能之间的功率分配, 包括:

通过查询储能总载荷曲线, 确定 t 时刻需求的储能功率, 同时, 对微网原始数据进行傅里叶分析, 确定微网原始数据的主频率, 根据该主频率 f 获取该功率的一阶低通滤波算法时间常数 Te 满足 $Te = 1/2\pi f$ 。继而, 选取一阶低通滤波算法时间常数 Te 对 t 时刻需求的储能功率进行一阶低通滤波处理, 即可确定功率型储能 t 时刻的充电或放电功率。

获取不同时刻下功率型储能的充电或放电功率, 包括:

通过改变一阶低通滤波算法时间常数 T_e ，判断一阶低通滤波算法对功率型储能荷电状态调节能力，确定一阶低通滤波算法对功率型储能荷电状态调节上下限，式中， $S_{oc,P,ESS,F}$ 为一阶低通滤波算法对功率型储能荷电状态调节上限， $S_{oc,P,ESS,L}$ 为一阶低通滤波算法对功率型储能荷电状态调节下限；

将功率型储能荷电状态分为 5 个区域，分别为荷电状态空区 ($S_{oc,P,ESS}(t)=0$ ， $S_{oc,P,ESS}(t)$ 代表 t 时刻功率型储能的荷电状态)，荷电状态低区 ($0 < S_{oc,P,ESS}(t) \leq S_{oc,P,ESS,L}$)，荷电状态中区 ($S_{oc,P,ESS,L} < S_{oc,P,ESS}(t) < S_{oc,P,ESS,H}$)，荷电状态高区 ($S_{oc,P,ESS,H} \leq S_{oc,P,ESS}(t) < 100\%$) 和荷电状态满区 ($S_{oc,P,ESS}(t)=100\%$)；

根据不同时刻下（以 m 时刻为例）功率型储能荷电状态，判断在当前时刻下是否需要调整一阶低通滤波算法时间常数 T_e ：如需调整，则重新求取功率型储能的充电或放电功率，包括：

当荷电状态属于荷电状态空区时，判断 m 时刻功率型储能状态，若功率型储能处于放电状态，则功率型储能放电功率设为 0，若功率型储能处于充电状态，则调整低通滤波时间常数为 $T_e(m+1)=T_e(m)+\Delta T$ ，式中 ΔT 为调整的时间常数，且 $\Delta T > 0$ ；

当荷电状态属于荷电状态低区时，判断 m 时刻功率型储能状态，若功率型储能处于放电状态，则功率型储能放电功率设为 $T_e(m+1)=T_e(m)-\Delta T$ ，若功率型储能处于充电状态，则调整低通滤波时间常数为 $T_e(m+1)=T_e(m)+\Delta T$ ；

当荷电状态属于荷电状态中区时，不调整一阶低通滤波算法时间常数 T_e ；

当荷电状态属于荷电状态高区时，判断 m 时刻功率型储能状态，若功率型储能处于放电状态，则功率型储能放电功率设为 $T_e(m+1)=T_e(m)+\Delta T$ ，若功率型储能处于充电状态，则调整低通滤波时间常数为 $T_e(m+1)=T_e(m)-\Delta T$ ；

当荷电状态属于荷电状态满区时，判断 m 时刻功率型储能状态，若功率型

储能处于放电状态, 则功率型储能放电功率设为 $T_e(m+1)=T_e(m)+\Delta T$, 若功率型储能处于充电状态, 则功率型储能充电功率设为 0;

可选地, 利用基于全寿命周期成本的经济运行策略实现功率型储能内部的功率分配, 即超级电容器和飞轮储能的功率分配, 包括:

功率型储能全寿命周期成本包括一次投资成本, 运行维护成本和回收及环保成本 3 部分, 功率型储能的全寿命周期成本满足式 (4):

$$LCC = IC + OMC + REC \quad (4)$$

式中, LCC 为全寿命周期成本, IC 为一次投资成本, OMC 为运行维护成本, REC 为回收及环保成本;

建立功率型储能的经济运行函数, 考虑在 1 个控制周期内, 以功率型储能全寿命周期成本最低为目标函数; 由于功率型储能的充放电功率有正有负, 所以将储能功率的平方作为功率型储能使用幅度的指标, 目标函数 f 如式 (5):

$$f = \min \left(\sum_{i=1}^{N_p} LCC_i \left(\sum_{t=t_0}^{t_c} P_i^2(t) \right) \right) \quad (5)$$

式中, N_p 为功率型储能的种类, 包括超级电容器和飞轮储能 2 类; LCC_i 为第 i 种功率型储能的度电成本; $P_i(t)$ 为第 i 种功率型储能的充放电功率; t_0 、 t_c 分别为储能作用时的初始时间和结束时间;

3) 确定经济运行的相关约束条件, 约束条件为所有储能电池的总出力限制、不同储能电池的充放电限制和荷电状态限制等, 如式 (6):

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N P_i(t) = P_{P.ESS}(t) \\ P_{i,\max} \geq P_i(t) \geq P_{i,\min} \\ S_{oc,i,\max} \geq S_{oc,i}(t) \geq S_{oc,i,\min} \end{cases} \quad (6)$$

式中: $P_{i,\max}$ 和 $P_{i,\min}$ 分别为 i 种功率型储能的功率上限值和下限值; $S_{oc,i}$ 为 i 种功率型储能的荷电状态, $S_{oc,i,\max}$ 和 $S_{oc,i,\min}$ 分别为 $S_{oc,i}$ 的上限值和下限值;

在约束条件下对目标函数进行优化求解，实现功率型储能的内部分配，使总体运行成本最低。

可选地，利用基于度电成本的经济运行策略实现能量型储能内部的功率分配，即锂电池和液流电池的功率分配，包括：

根据不同储能电池的成本特性，考虑以充放电 $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 的电量为基准，结合其初始投资、循环寿命以及充放电深度等特性，定义不同储能电池的度电成本，储能电池的度电成本满足式 (7)：

$$C_{\text{ost}} = \frac{I_c}{nD_{\text{OD}}} + O_{\text{MC}} \quad (7)$$

式中， C_{ost} 为电池的度电成本； n 为循环寿命； D_{OD} 为电池充放电深度， O_{MC} 为运行维护成本；

建立能量型储能电池的经济运行函数，考虑在 1 个控制周期内，以储能电池总的度电成本最低为目标函数。由于电池的充放电功率有正有负，所以将储能功率的平方作为电池使用幅度的指标，目标函数 f 如式 (8)：

$$f = \min \left(\sum_{i=1}^{N_b} C_{\text{ost},i} \left(\sum_{t=t_0}^{t_c} P_{li}^2(t) \right) \right) \quad (8)$$

式中， N_b 为电池的种类，包括液流电池和锂电池 2 类； $C_{\text{ost},i}$ 为第 i 种电池的度电成本； $P_{li}(t)$ 为第 i 种电池的充放电功率； t_0 、 t_c 分别为储能作用时的初始时间和结束时间；

确定经济运行的相关约束条件，约束条件为所有储能电池的总出力限制、不同储能电池的充放电限制和荷电状态限制等，如式 (9)：

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N P_{li}(t) = P_{\text{W,ESS}}(t) \\ P_{li,\max} \geq P_{li}(t) \geq P_{li,\min} \\ S_{\text{oc},li,\max} \geq S_{\text{oc},li}(t) \geq S_{\text{oc},li,\min} \end{cases} \quad (9)$$

式中： $P_{li,\max}$ 和 $P_{li,\min}$ 分别为 i 种电池的功率上限值和下限值； $S_{\text{oc},li}$ 为 i 种电

池的荷电状态, $S_{oc,li,max}$ 和 $S_{oc,li,min}$ 分别为 $S_{oc,li}$ 的上限值和下限值;

在约束条件下对目标函数进行优化求解, 实现能量型储能的内部分配, 使总体运行成本最低。

附图说明

图 1 为一实施例提供的多类型储能协调控制原理图;

图 2 为一实施例提供的储能载荷的确定方法框图;

图 3 为一实施例提供的能量型和功率型储能的载荷分配控制框图;

图 4 为一实施例提供的多种功率型储能的载荷分配控制框图;

图 5 为一实施例提供的多种能量型储能的载荷分配控制框图;

图 6 为一实施例提供的多级控制策略流程图;

图 7 为一实施例提供的平抑前后微网功率时域图;

图 8 为一实施例提供的平抑前后 1min 波动率;

图 9 为一实施例提供的平抑前后 30min 波动率;

图 10 为一实施例提供的综合储能、能量型储能和功率型储能功率分配曲线;

图 11 为一实施例提供的功率型储能电池载荷经济分配曲线;

图 12 为一实施例提供的能量型储能电池载荷经济分配曲线。

具体实施方式

图 1 为多类型储能协调控制原理图。图 1 中, P_{MG} 为微网的原始功率, P_G 为微网的并网功率, P_{ES} 为总储能功率, P_{PESS} 为功率型储能功率, P_{WESS} 为能量型储能功率, P_{SC} 为超级电容器功率, P_{FESS} 为飞轮储能功率, P_{VRB} 为液流电池储能功率, P_{Li} 为锂电池储能功率。

本实施例提供的多类型储能多级控制方法包括:

采用模型预测控制算法的波动平抑策略对微网原始功率曲线进行平滑, 获取微网并网功率曲线和储能总载荷曲线; 其中, 所述微网又叫微电网。

所述的波动平抑策略采用模型预测控制算法。如图 1 所示, 当微网原始功率输入后, 基于所述的模型预测控制算法, 通过滚动时域优化策略, 可得到微网并网功率曲线和储能总载荷曲线。

所述模型预测控制算法是滚动时域优化策略, 滚动时域优化策略包括:

在当前时刻 k 和当前状态 $x(k)$, 考虑当前时刻和未来时刻的约束条件, 通过优化求解, 得到未来时刻 $k+1, k+2, \dots, k+M$ 的控制序列;

将控制指令序列的第 1 个值应用于模型预测算法; 在 $k+1$ 时刻, 更新状态为 $x(k+1)$; 以及

在 $k+i$ 时刻, 更新状态为 $x(k+i)$, 其中 i 为大于 1 且小于等于 M 的整数, 则当前时刻为 $k+i$ 当前状态为 $x(k+i)$, 重复上述步骤。

所述的储能总载荷曲线即为在不同时刻下储能总功率需求的连线。

图 2 为储能总载荷曲线的确定方法框图。图 2 中, MPC 为模型预测控制算法, 约束条件包括储能功率约束条件、储能荷电状态约束条件和微网并网功率波动率限制。

储能功率约束条件满足 $0 \leq P_{ES}(i) \leq P_{ES_max}$, 式中, $P_{ES}(i)$ 为 i 时刻的储能功率, P_{ES_max} 为 $P_{ES}(i)$ 的最大值。

储能荷电状态约束条件满足 $0 \leq S_{oc,ES}(i) \leq 1$, 式中, $S_{oc,ES}(i)$ 为 i 时刻的储能荷电状态。

微网并网波动率限制满足 $\frac{P_{Gmax}(i) - P_{Gmin}(i)}{P_{rated}} \leq \gamma$, 式中, γ 为波动率限制值, 选择的波动率限制值为波动率限制条件为 1 min 内 $\leq 2\%$ 和 30 min 内 $\leq 7\%$ 。 P_{rated} 为微网的额定装机容量; $P_{Gmax}(i)$ 、 $P_{Gmin}(i)$ 分别为 $P_G(i)$ 的最大值和最小值, $P_G(i)$ 为 i 时刻微网的并网功率。

储能总载荷曲线的确定包括:

确定微网的并网功率与微网原始功率和储能功率之间的关系, 即假设 k 时刻微网原始功率为 $P_{MG}(k)$, 储能功率为 $P_{ES}(k)$, 则微网的并网功率 $P_G(k)$ 与原始功率 $P_{MG}(k)$ 、储能功率 $P_{ES}(k)$ 三者之间满足 $P_G(k+1) = P_{ES}(k) + P_{MG}(k)$;

综合考虑储能并网功率与微网原始功率、储能功率关系和储能荷电状态, 确定储能平抑微网功率状态空间方程, 获取的方法为: 将微网的并网功率 P_G 和储能荷电状态 $S_{oc,ES}$ 分别作为状态变量 x_1 和 x_2 , 储能功率 P_{ES} 作为控制变量 u , 微网原始功率 P_{MG} 作为扰动输入量 r , P_G 和 $S_{oc,ES}$ 作为输出变量 y_1 和 y_2 , 可得到储能

平抑微网功率状态空间方程如下，

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ -T_c \end{bmatrix} u(k) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} r(k) \\ \begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_2(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} \end{cases}$$

式中， T_c 代表储能装置控制周期， k 代表 k 时刻；

利用滚动时域优化策略对微网原始功率进行滚动计算，得到未来时刻 $k+1$ ， $k+2$ ，... $k+M$ 的控制序列。通过储能平抑微网功率波动的约束条件对微网原始功率进行约束，可得到满足约束条件的微网并网功率，微网原始功率与微网并网功率的差值为储能总需求功率，将不同时间段的储能总需求功率进行连线处理，即可得到储能总载荷曲线。

得到储能总载荷曲线后，在一阶滤波算法的基础上使用基于超级电容器荷电状态的储能充放电分配策略，实现能量型储能和功率型储能之间的功率分配。所分配的功率型储能功率通过经济运行策略进行分配，分别得到超级电容器功率和飞轮储能功率，并将相应的功率分别输送给超级电容器和飞轮储能，控制超级电容器和飞轮储能输出相应功率；所分配的能量型储能功率通过经济运行策略进行分配，分别得到液流电池储能功率和锂电池储能功率，并将相应的功率分别输送给液流电池和锂电池，控制液流电池和锂电池发出相应功率。

图3为能量型储能和功率型储能的载荷分配控制框图，图3中， $S_{oc,P.ESS,lim}$ 为超级电容器储能的荷电状态限制值， $P_{SC,lim}$ 为功率限制值。考虑到超级电容器具有充放电速率快、循环寿命长等优点，基于超级电容器荷电状态的充放电原则来实现超级电容器和蓄电池之间的载荷分配。

能量型储能和功率型储能的载荷分配控制方法包括：

通过查询储能总载荷曲线，确定 t 时刻需求的储能功率，同时，对微网原始数据进行傅里叶分析，确定微网原始数据的主频率，根据该主频率 f 获取该功率的一阶低通滤波算法时间常数 Te 满足 $Te=1/2\pi f$ 。继而，选取一阶低通滤波算法时间常数 Te 对 t 时刻需求的储能功率进行一阶低通滤波处理，确定功率型储能 t 时刻的充电或放电功率。

获取不同时刻下功率型储能的充电或放电功率，具体获取方法是：

通过改变一阶低通滤波算法时间常数 T_e ，判断一阶低通滤波算法对功率型储能荷电状态调节能力，确定一阶低通滤波算法对功率型储能荷电状态调节上下限，式中， $S_{oc,P,ESS,F}$ 为一阶低通滤波算法对功率型储能荷电状态调节上限， $S_{oc,P,ESS,L}$ 为一阶低通滤波算法对功率型储能荷电状态调节下限。

将功率型储能储能荷电状态分为 5 个区域，分别为荷电状态空区 ($S_{oc,P,ESS}(t)=0$ ， $S_{oc,P,ESS}(t)$ 代表 t 时刻功率型储能的荷电状态)，荷电状态低区 ($0 < S_{oc,P,ESS}(t) \leq S_{oc,P,ESS,L}$)，荷电状态中区 ($S_{oc,P,ESS,L} < S_{oc,P,ESS}(t) < S_{oc,P,ESS,H}$)，荷电状态高区 ($S_{oc,P,ESS,H} \leq S_{oc,P,ESS}(t) < 100\%$) 和荷电状态满区 ($S_{oc,P,ESS}(t)=100\%$)。

根据不同时刻下功率型储能荷电状态，判断在当前时刻下是否需要调整一阶低通滤波算法时间常数 T_e ；如需调整，则重新求取功率型储能的充电或放电功率，以 m 时刻为例包括：

当荷电状态属于荷电状态空区时，判断 m 时刻功率型储能状态，若功率型储能处于放电状态，则功率型储能放电功率设为 0，若功率型储能处于充电状态，则调整低通滤波时间常数为 $T_e(m+1)=T_e(m)+\Delta T$ ，式中 ΔT 为调整的时间常数，且 $\Delta T > 0$ ；

当荷电状态属于荷电状态低区时，判断 m 时刻功率型储能状态，若功率型储能处于放电状态，则功率型储能放电功率设为 $T_e(m+1)=T_e(m)-\Delta T$ ，若功率型储能处于充电状态，则调整低通滤波时间常数为 $T_e(m+1)=T_e(m)+\Delta T$ ；

当荷电状态属于荷电状态中区时，不调整一阶低通滤波算法时间常数 T_e ；

当荷电状态属于荷电状态高区时，判断 m 时刻功率型储能状态，若功率型储能处于放电状态，则功率型储能放电功率设为 $T_e(m+1)=T_e(m)+\Delta T$ ，若功率型储能处于充电状态，则调整低通滤波时间常数为 $T_e(m+1)=T_e(m)-\Delta T$ ；

当荷电状态属于荷电状态满区时，判断 m 时刻功率型储能状态，若功率型储能处于放电状态，则功率型储能放电功率设为 $T_e(m+1)=T_e(m)+\Delta T$ ，若功率型

储能处于充电状态, 则功率型储能充电功率设为 0。

确定不同时刻下, 能量型储能的充电或放电功率, 以 i 时刻能量型储能的充电或放电功率获取为例, 具体获取方法是: 将 i 时刻的储能总需求功率与 i 时刻的超级电容器充电或放电功率取差即可得到 i 时刻的能量型电池储能充电或放电功率。

在得到功率型储能和能量型储能充电或放电功率后, 利用基于全寿命周期成本的经济运行策略实现功率型储能内部的功率分配, 即超级电容器和飞轮储能的功率分配。

图 4 为多种功率型储能的载荷分配控制框图, 图 4 中, ΣP_i 为第 i 种功率型储能总的充电或放电功率, $S_{oc,SC,lim}$ 和 $P_{SC,lim}$ 分别为超级电容器的荷电状态和功率限制, $S_{oc,FESS,lim}$ 和 $P_{FESS,lim}$ 分别为飞轮储能的荷电状态和功率限制。

多种功率型储能载荷的分配策略包括:

功率型储能全寿命周期成本包括一次投资成本, 运行维护成本和回收及环保成本 3 部分, 功率型储能的全寿命周期成本满足以下条件,

$$LCC = IC + OMC + REC$$

式中, LCC 为全寿命周期成本, IC 为一次投资成本, OMC 为运行维护成本, REC 为回收及环保成本。

建立功率型储能的经济运行函数, 考虑在 1 个控制周期内, 以功率型储能全寿命周期成本最低为目标函数。由于功率型储能的充放电功率有正有负, 所以将储能功率的平方作为功率型储能使用幅度的指标, 目标函数 f 为,

$$f = \min \left(\sum_{i=1}^{N_P} LCC_i \left(\sum_{t=t_0}^{t_c} P_i^2(t) \right) \right)$$

式中, N_P 为功率型储能的种类, 包括超级电容器和飞轮储能 2 类; LCC_i 为第 i 种功率型储能的度电成本; $P_i(t)$ 为第 i 种功率型储能的充放电功率; t_0 、 t_c 分别为储能作用时的初始时间和结束时间。

确定经济运行的相关约束条件, 约束条件为所有储能电池的总出力限制、

不同储能电池的充放电限制和荷电状态限制等,

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N P_i(t) = P_{\text{P,ESS}}(t) \\ P_{i,\max} \geq P_i(t) \geq P_{i,\min} \\ S_{\text{oc},i,\max} \geq S_{\text{oc},i}(t) \geq S_{\text{oc},i,\min} \end{cases}$$

式中: $P_{i,\max}$ 和 $P_{i,\min}$ 分别为 i 种功率型储能的功率上限值和下限值; $S_{\text{oc},i}$ 为 i 种功率型储能的荷电状态, $S_{\text{oc},i,\max}$ 和 $S_{\text{oc},i,\min}$ 分别为 $S_{\text{oc},i}$ 的上限值和下限值。

利用基于度电成本的经济运行策略实现能量型储能内部的功率分配, 即锂电池和液流电池的功率分配;

图 5 为多种能量型电池储能的载荷分配控制框图, 图 5 中, ΣP_{li} 为第 i 种电池总的充放电功率, $S_{\text{oc},V,\lim}$ 和 $P_{V,\lim}$ 分别为液流电池的荷电状态和功率限制, $S_{\text{oc},L,\lim}$ 和 $P_{L,\lim}$ 分别为锂电池的荷电状态和功率限制。

多种能量型电池储能的载荷分配控制包括:

根据不同储能电池的成本特性, 考虑以充放电 $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 的电量为基准, 结合其初始投资、循环寿命以及充放电深度等特性, 定义不同储能电池的度电成本, 储能电池的度电成本满足以下条件,

$$C_{\text{ost}} = \frac{I_c}{nD_{\text{OD}}} + O_{\text{MC}}$$

式中, C_{ost} 为电池的度电成本; n 为循环寿命; D_{OD} 为电池充放电深度, O_{MC} 为运行维护成本。

建立能量型储能电池的经济运行函数, 考虑在 1 个控制周期内, 以储能电池总的度电成本最低为目标函数。由于电池的充放电功率有正有负, 所以将储能功率的平方作为电池使用幅度的指标, 目标函数 f 如下式:

$$f = \min \left(\sum_{i=1}^{N_b} C_{\text{ost},i} \left(\sum_{t=t_0}^{t_c} P_{li}^2(t) \right) \right)$$

式中, N_b 为电池的种类, 包括液流电池和锂电池 2 类; $C_{\text{ost},i}$ 为第 i 种电池的度电成本; $P_{li}(t)$ 为第 i 种电池的充放电功率; t_0 、 t_c 分别为储能作用时的初始时间和结束时间。

确定经济运行的相关约束条件, 约束条件为所有储能电池的总出力限制、不同储能电池的充放电限制和荷电状态限制等,

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N P_{li}(t) = P_{\text{W.ESS}}(t) \\ P_{li,\max} \geq P_{li}(t) \geq P_{li,\min} \\ S_{\text{oc},li,\max} \geq S_{\text{oc},li}(t) \geq S_{\text{oc},li,\min} \end{cases}$$

式中: $P_{li,\max}$ 和 $P_{li,\min}$ 分别为 i 种电池的功率上限值和下限值; $S_{\text{oc},li}$ 为 i 种电池的荷电状态, $S_{\text{oc},li,\max}$ 和 $S_{\text{oc},li,\min}$ 分别为 $S_{\text{oc},li}$ 的上限值和下限值。

在约束条件下对目标函数进行优化求解, 实现能量型储能的内部分配, 使总体运行成本最低。

对多类型储能多级控制方案的控制流程进行梳理, 可得到图 6 所示的多级控制策略流程图, 包括:

输入实测微网功率数据;

根据并网波动率要求, 利用模型预测控制算法求取储能总载荷和并网功率;

根据功率型储能的荷电状态和充放电功率限制, 利用功率型储能优先充放电的控制策略求取能量型储能和功率型储能的载荷;

利用基于全寿命周期成本的经济运行策略实现功率型储能内部的功率分配, 即超级电容器和飞轮储能的功率分配;

利用基于度电成本的经济运行策略实现能量型储能内部的功率分配, 即锂电池和液流电池的功率分配。

图 7 为平抑前后微网功率时域图, 采用波动率限制条件为 1min 内 $\leq 2\%$ 和 30min 内 $\leq 7\%$ 。在该并网波动率限制下, 采用模型预测控制算法对微网功率数据进行仿真分析, 如图 6 所示。对比分析平抑前后的微网功率可以发现, 平抑后的微网功率波动较小, 平滑效果相对显著。

图 8 为平抑前后 1min 波动率, 由图 7 可以看出, 在平抑前, 微网功率波动

率最大值在 6%，不满足 1min 波动率要求，平抑后的微网功率波动率得到了有效改善，其 1min 的波动率 $<2\%$ ，满足并网波动率要求。

图 9 为平抑前后 30min 波动率，由图 8 可以看出，在平抑前，微网功率波动率最大值在 18%，不满足 30min 波动率要求，平抑后的微网功率波动率得到了有效改善，其 30min 的波动率 $<7\%$ ，满足并网波动率要求。

图 10 为综合储能、能量型储能和功率型储能功率分配曲线，式中，第一个图为综合储能功率曲线，第二个图为能量型储能功率曲线，第三个图为功率型储能功率曲线。综合储能、能量型储能和功率型储能分配曲线获取方法为将模型预测控制算法求得的储能总载荷曲线利用基于超级电容器荷电状态的储能充放电分配策略进行处理。当超级电容器荷电状态较高时，提高放电减少充电；当其荷电状态较低时，提高充电减少放电。通过滤波常数的调整，优先获取超级电容器功率型储能载荷曲线，即可获取能量型储能载荷曲线。图 10 中变化较慢的功率由能量型储能吸收，变化较快的功率由功率型储能吸收，使多类型储能的高能量密度和高功率密度特性得到有效发挥。

图 11 为功率型储能载荷经济分配曲线，功率型储能主要包括超级电容器和飞轮储能。根据设定的参数求取两种功率型储能的全寿命周期成本，超级电容器的功率成本约为 500 元/kW，飞轮储能的功率成本约为 1700 元/kW，两种功率型储能成本由低到高的排序为超级电容器 $<$ 飞轮储能。

图 11 的功率型储能载荷经济分配曲线可以看出，功率型储能的载荷首先由全寿命周期成本较低的超级电容器承担，超级电容器承担了较大部分的功率输出；当超级电容器不能满足储能功率要求时，超出的功率部分按照全寿命周期成本从低到高的顺序由飞轮储能承担，从而使得功率型储能的总体经济成本最低。

图 12 为能量型储能载荷经济分配曲线，能量型储能主要包括液流电池和锂电池。根据设定的参数求取储能电池的度电成本，每种电池的度电成本和功率数值等参数如下表所示。

表 1 液流电池和锂电池度电成本特性

性能参数	数值	
	液流电池	锂电池
功率/kW	2	2
元/ (kW·h)	0.61	1.46

充放电深度/%	100	100
循环寿命/次	13 000	5 500
初始投资成本/(元·(W·h) ⁻¹)	7.67	6.875
运行维护成本/((元·(kW·h) ⁻¹)	0.02	0.21

根据表 1 中 2 种电池的度电成本特性可以看出, 2 种电池成本由低到高的排序为: 液流电池<锂电池。

图 12 的能量型储能载荷经济分配曲线可以看出, 能量型储能的载荷首先由度电成本较低的液流电池承担, 液流电池承担了较大部分的功率输出; 当液流电池不能满足储能功率要求时, 超出的功率部分按照度电成本从低到高的顺序由锂电池承担, 从而使得能量型储能的总体经济成本最低。

工业实用性

本公开的多类型储能多级控制方法, 解决了微网中可再生能源发电和负荷功率在不同时间尺度上存在的不同波动特性问题, 实现了多种功率型储能和多种能量型电池储能的载荷分配。

权利要求书

1.一种多类型储能的多级控制方法，包括：波动平抑策略、能量/功率分配策略和经济运行策略，其中，

采用所述波动平抑策略对微网原始功率曲线进行平滑，获取微网并网功率曲线和储能总载荷曲线；

在一阶滤波算法的基础上使用基于功率型储能荷电状态的储能充放电分配策略，实现能量型储能和功率型储能之间的功率分配；

利用基于全寿命周期成本的所述经济运行策略实现功率型储能内部的功率分配，即超级电容器和飞轮储能的功率分配，同时利用基于度电成本的所述经济运行策略实现能量型储能内部的功率分配，即锂电池和液流电池的功率分配。

2.如权利要求1所述的多类型储能多级控制方法，包括：

采用模型预测控制算法的所述波动平抑策略对微网原始功率曲线进行平滑，获取所述微网并网功率和所述储能总载荷曲线；

在一阶滤波算法的基础上采用基于功率型储能荷电状态的储能充放电分配策略，实现能量型储能和功率型储能之间的功率分配；

利用基于全寿命周期成本的所述经济运行策略实现功率型储能内部的功率分配，即超级电容器和飞轮储能的功率分配，同时利用基于度电成本的所述经济运行策略实现能量型储能内部的功率分配，即锂电池和液流电池的功率分配。

3.如权利要求2所述的多类型储能多级控制方法，其中，所述的模型预测控制算法采用滚动时域优化策略，滚动时域优化策略包括：

在当前时刻 k 和当前状态 $x(k)$ ，考虑当前时刻和未来时刻的约束条件，通过优化求解，得到未来时刻 $k+1$ ， $k+2$ ， $\dots$ $k+M$ 的指令序列；

将所述指令序列的第1个值应用于所述模型预测控制算法，即在 $k+1$ 时刻，更新状态为 $x(k+1)$ ；以及

在 $k+i$ 时刻，更新状态为 $x(k+i)$ ，其中 i 为大于1且小于等于 M 的整数，则当前时刻为 $k+i$ 当前状态为 $x(k+i)$ ，考虑当前时刻和未来时刻的约束条件，通过优化求解，得到未来时刻的指令序列，并将所述指令序列的第1个值应用于所述模型预测控制算法。

4.如权利要求1或3所述的多类型储能多级控制方法，其中，获取所述微网并网功率曲线和所述储能总载荷曲线包括：

确定所述微网的并网功率与微网原始功率和储能功率之间的关系，即假设 k 时刻所述微网原始功率为 $P_{MG}(k)$ ，储能功率为 $P_{ES}(k)$ ，则所述微网的并网功率 $P_G(k)$

与原始功率 $P_{MG}(k)$ 、储能功率 $P_{ES}(k)$ 三者之间存在如式 (1) 关系:

$$P_G(k+1) = P_{ES}(k) + P_{MG}(k); \quad (1)$$

确定储能的荷电状态, 即假设储能装置控制周期为 T_c , 所述储能装置总容量为 C_{ES} , 则所述储能的荷电状态 $S_{oc,ES}$ 满足式 (2):

$$S_{oc,ES}(k+1) = S_{oc,ES}(k) - T_c P_{ES}(k) / C_{ES}; \quad (2)$$

综合考虑储能并网功率与微网原始功率、储能功率关系和储能荷电状态, 确定储能平抑微网功率状态空间方程, 包括: 将所述微网的并网功率 P_G 和储能荷电状态 $S_{oc,ES}$ 分别作为状态变量 x_1 和 x_2 , 所述储能功率 P_{ES} 作为控制变量 u , 所述微网原始功率 P_{MG} 作为扰动输入量 r , P_G 和 $S_{oc,ES}$ 作为输出变量 y_1 和 y_2 , 可得到所述储能平抑微网功率状态空间方程如式 (3):

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ -T_c \end{bmatrix} u(k) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} r(k) \\ \begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_2(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} \end{cases} \quad (3)$$

式 (3) 中, T_c 代表储能装置控制周期, k 代表 k 时刻;

确定所述储能平抑微网功率波动的约束条件; 所述储能平抑微网功率状态空间方程中, 储能功率约束条件满足 $0 \leq P_{ES}(i) \leq P_{ES_max}$, 储能荷电状态约束条件满足 $0 \leq S_{oc,ES}(i) \leq 1$, 微网并网功率波动率限制约束条件满足 $\frac{P_{Gmax}(i) - P_{Gmin}(i)}{P_{rated}} \leq \gamma$,

式中, γ 为波动率限制值, P_{ES_max} 为 $P_{ES}(i)$ 的最大值, $P_{ES}(i)$ 为 i 时刻储能功率; P_{rated} 为微网的额定装机容量; $P_{Gmax}(i)$ 、 $P_{Gmin}(i)$ 分别为 $P_G(i)$ 的最大值和最小值, $P_G(i)$ 为 i 时刻微网的并网功率;

利用滚动时域优化策略对所述微网原始功率进行滚动计算, 得到未来时刻 $k+1, k+2, \dots, k+M$ 的所述指令序列; 通过所述储能平抑微网功率波动的约束条件对微网原始功率进行约束, 得到满足约束条件的所述微网并网功率, 所述微

网原始功率与所述微网并网功率的差值为储能总需求功率，将不同时间段的储能总需求功率进行连线处理，即得到所述储能总载荷曲线。

5.如权利要求 2 所述的多类型储能多级控制方法，其中，所述能量型储能和功率型储能之间的功率分配包括：

根据所述储能总载荷曲线，通过查询所述储能总载荷曲线，确定 t 时刻需求的所述储能功率，同时，对所述微网原始数据进行傅里叶分析，确定所述微网原始数据的主频率 f ，根据所述主频率 f 获取所述储能功率的一阶低通滤波算法时间常数 T_e 满足 $T_e=1/2\pi f$ ；继而，选取一阶低通滤波算法时间常数 T_e 对 t 时刻需求的所述储能功率进行一阶低通滤波处理，即可确定超级电容器 t 时刻的充电或放电的功率；

获取不同时刻下所述功率型储能的所述充电或放电的功率，包括：

通过改变一阶低通滤波算法时间常数 T_e ，判断一阶低通滤波算法对所述功率型储能荷电状态的调节能力，确定一阶低通滤波算法对所述功率型储能荷电状态的调节上下限，式中， $S_{oc,P.ESS,H}$ 为一阶低通滤波算法对所述功率型储能荷电状态的调节上限， $S_{oc,P.ESS,L}$ 为一阶低通滤波算法对所述功率型储能荷电状态的调节下限；

将所述功率型储能储能荷电状态分为 5 个区域，分别为荷电状态空区 ($S_{oc,P.ESS}(t)=0$ ， $S_{oc,P.ESS}(t)$ 代表 t 时刻功率型储能的荷电状态)，荷电状态低区 ($0 < S_{oc,P.ESS}(t) \leq S_{oc,P.ESS,L}$)，荷电状态中区 ($S_{oc,P.ESS,L} < S_{oc,P.ESS}(t) < S_{oc,P.ESS,H}$)，荷电状态高区 ($S_{oc,P.ESS,H} \leq S_{oc,P.ESS}(t) < 100\%$) 和荷电状态满区 ($S_{oc,P.ESS}(t)=100\%$)；

根据不同时刻下（以 m 时刻为例）所述功率型储能荷电状态，判断在当前时刻下是否需要调整所述一阶低通滤波算法时间常数 T_e ；当需要调整时，重新求取所述功率型储能的充电或放电功率，包括：

当所述荷电状态属于所述荷电状态空区时，判断 m 时刻所述功率型储能状

态,若所述功率型储能处于放电状态,则所述功率型储能放电功率设为 0,若所述功率型储能处于充电状态,则调整低通滤波时间常数为 $T_e(m+1)=T_e(m)+\Delta T$, 式中 ΔT 为调整的时间常数,且 $\Delta T>0$;

当所述荷电状态属于所述荷电状态低区时,判断 m 时刻所述功率型储能状态,若所述功率型储能处于所述放电状态,则所述功率型储能放电功率设为 $T_e(m+1)=T_e(m)-\Delta T$,若所述功率型储能处于所述充电状态,则调整所述低通滤波时间常数为 $T_e(m+1)=T_e(m)+\Delta T$;

当所述荷电状态属于所述荷电状态中区时,不调整所述一阶低通滤波算法时间常数 T_e ;

当所述荷电状态属于所述荷电状态高区时,判断 m 时刻所述功率型储能状态,若所述功率型储能处于所述放电状态,则所述功率型储能放电功率设为 $T_e(m+1)=T_e(m)+\Delta T$,若所述功率型储能处于所述充电状态,则调整所述低通滤波时间常数为 $T_e(m+1)=T_e(m)-\Delta T$;

当所述荷电状态属于所述荷电状态满区时,判断 m 时刻所述功率型储能状态,若所述功率型储能处于所述放电状态,则所述功率型储能放电功率设为 $T_e(m+1)=T_e(m)+\Delta T$,若所述功率型储能处于所述充电状态,则所述功率型储能充电功率设为 0;

确定不同时刻下所述能量型储能的充电或放电功率;以 i 时刻所述能量型储能的充电或放电功率获取,包括:将 i 时刻的储能总需求功率与 i 时刻的所述功率型储能充电或放电功率取差即可得到 i 时刻的所述能量型储能充电或放电功率。

6.如权利要求 2 所述的多类型储能多级控制方法,其中,所述利用基于全寿命周期成本的经济运行策略实现功率型储能内部的功率分配,即所述超级电容器和飞轮储能的功率分配,包括:

功率型储能全寿命周期成本包括一次投资成本, 运行维护成本和回收及环保成本 3 部分, 所述功率型储能全寿命周期成本满足如式 (4) 条件:

$$LCC = IC + OMC + REC \quad (4)$$

式中, LCC 为全寿命周期成本, IC 为一次投资成本, OMC 为运行维护成本, REC 为回收及环保成本;

建立所述功率型储能的经济运行函数, 考虑在 1 个控制周期内, 以所述功率型储能全寿命周期成本最低为目标函数; 由于功率型储能的充放电功率有正有负, 所以将储能功率的平方作为功率型储能使用幅度的指标, 目标函数 f 如式 (5):

$$f = \min \left(\sum_{i=1}^{N_p} LCC_i \left(\sum_{t=t_0}^{t_c} P_i^2(t) \right) \right) \quad (5)$$

式中, N_p 为功率型储能的种类, 包括超级电容器和飞轮储能 2 类; LCC_i 为第 i 种功率型储能的度电成本; $P_i(t)$ 为第 i 种功率型储能的充放电功率; t_0 、 t_c 分别为储能作用时的初始时间和结束时间;

确定经济运行的相关约束条件, 所述约束条件为所有储能电池的总出力限制、不同储能电池的充放电限制和荷电状态限制等, 如式 (6):

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N P_i(t) = P_{P.ESS}(t) \\ P_{i,\max} \geq P_i(t) \geq P_{i,\min} \\ S_{oc,i,\max} \geq S_{oc,i}(t) \geq S_{oc,i,\min} \end{cases} \quad (6)$$

式中: $P_{i,\max}$ 和 $P_{i,\min}$ 分别为 i 种功率型储能的功率上限值和下限值; $S_{oc,i}$ 为 i 种功率型储能的荷电状态, $S_{oc,i,\max}$ 和 $S_{oc,i,\min}$ 分别为 $S_{oc,i}$ 的上限值和下限值;

在所述约束条件下对目标函数进行优化求解, 实现所述功率型储能的内部分配, 使总体运行成本低于预设值。

7.如权利要求 2 所述的多类型储能多级控制方法, 其中, 所述利用基于度电

成本的经济运行策略实现能量型储能内部的功率分配，即锂电池和液流电池的功率分配，包括：

根据不同储能电池的成本特性，考虑以充放电 1 kW·h 的电量为基准，结合其初始投资、循环寿命以及充放电深度等特性，定义不同储能电池的度电成本，所述储能电池的度电成本满足式 (7)：

$$C_{\text{ost}} = \frac{I_c}{nD_{\text{OD}}} + O_{\text{MC}} \quad (7)$$

式中， C_{ost} 为电池的度电成本； n 为循环寿命； D_{OD} 为电池充放电深度， O_{MC} 为运行维护成本；

建立能量型储能电池的经济运行函数，考虑在 1 个控制周期内，以储能电池总的度电成本最低为目标函数。由于电池的充放电功率有正有负，所以将储能功率的平方作为电池使用幅度的指标，目标函数 f 如式 (8)：

$$f = \min \left(\sum_{i=1}^{N_b} C_{\text{ost},i} \left(\sum_{t=t_0}^{t_c} P_{li}^2(t) \right) \right) \quad (8)$$

式中， N_b 为电池的种类，包括液流电池和锂电池 2 类； $C_{\text{ost},i}$ 为第 i 种电池的度电成本； $P_{li}(t)$ 为第 i 种电池的充放电功率； t_0 、 t_c 分别为储能作用时的初始时间和结束时间；

确定经济运行的相关约束条件，所述约束条件为所有储能电池的总出力限制、不同储能电池的充放电限制和荷电状态限制等，如式 (9)：

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N P_{li}(t) = P_{\text{W,ESS}}(t) \\ P_{li,\max} \geq P_{li}(t) \geq P_{li,\min} \\ S_{\text{oc},li,\max} \geq S_{\text{oc},li}(t) \geq S_{\text{oc},li,\min} \end{cases} \quad (9)$$

式中： $P_{li,\max}$ 和 $P_{li,\min}$ 分别为 i 种电池的功率上限值和下限值； $S_{\text{oc},li}$ 为 i 种电池的荷电状态， $S_{\text{oc},li,\max}$ 和 $S_{\text{oc},li,\min}$ 分别为 $S_{\text{oc},li}$ 的上限值和下限值；

在所述约束条件下对目标函数进行优化求解，以实现所述能量型储能的内

部分配，使总体运行成本最低。

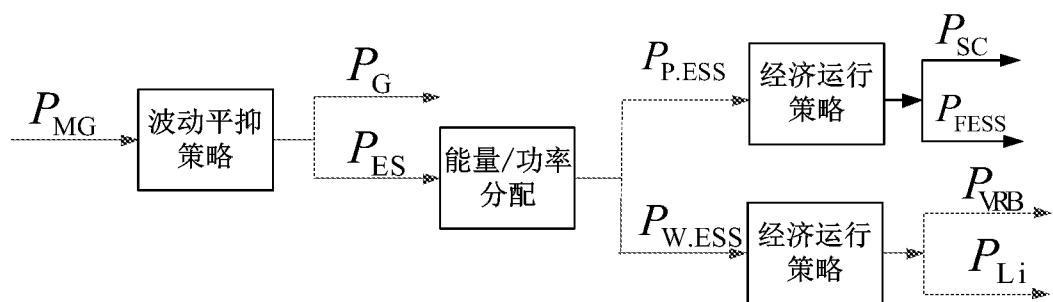


图 1

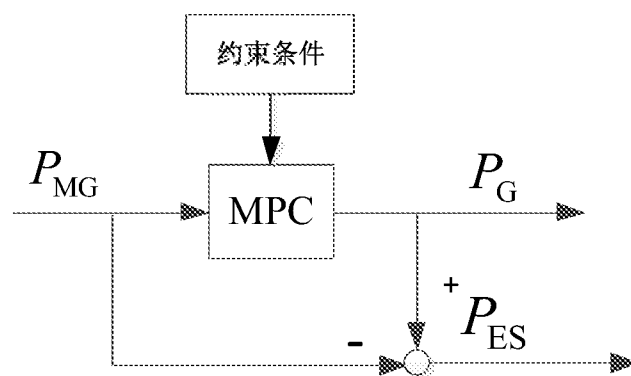


图 2

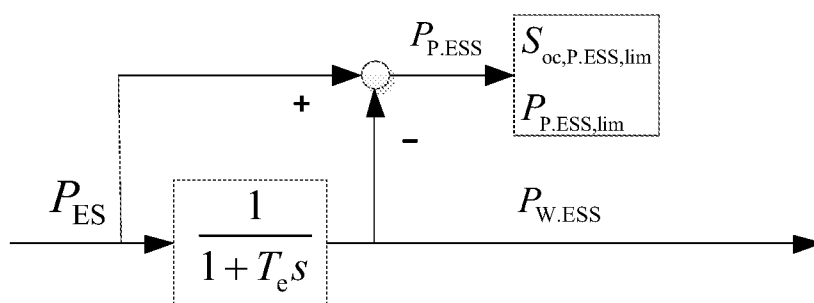


图 3

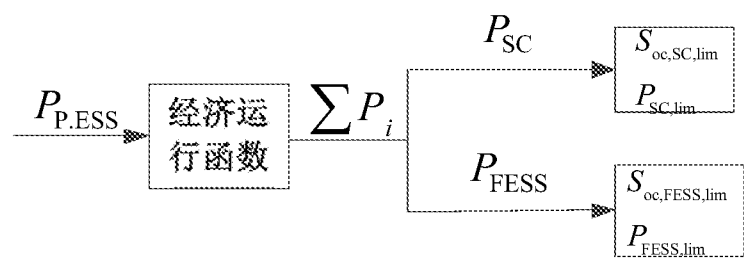


图 4

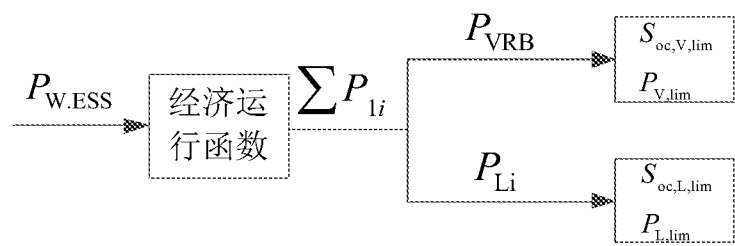


图 5

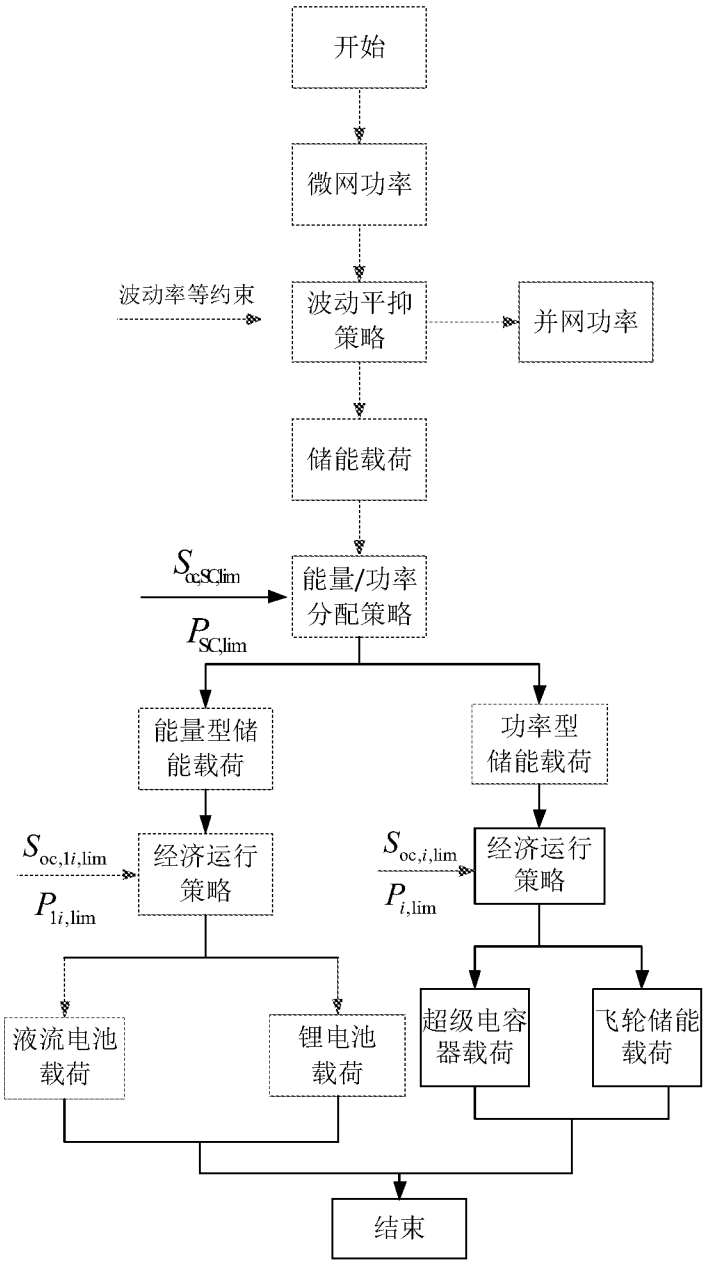


图 6

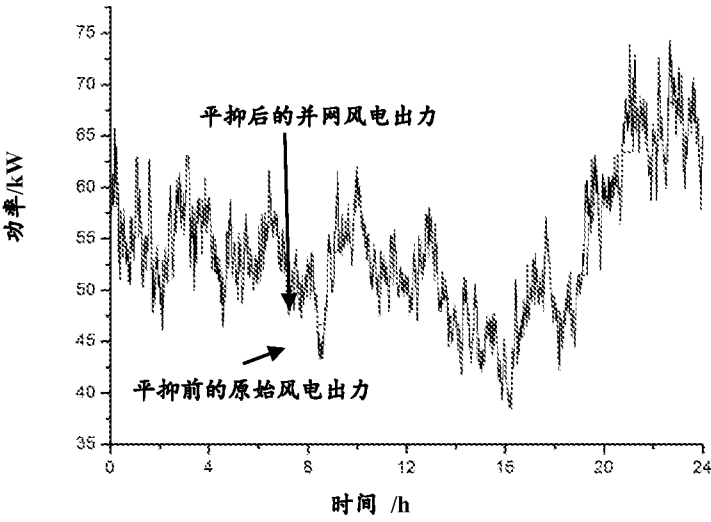


图 7

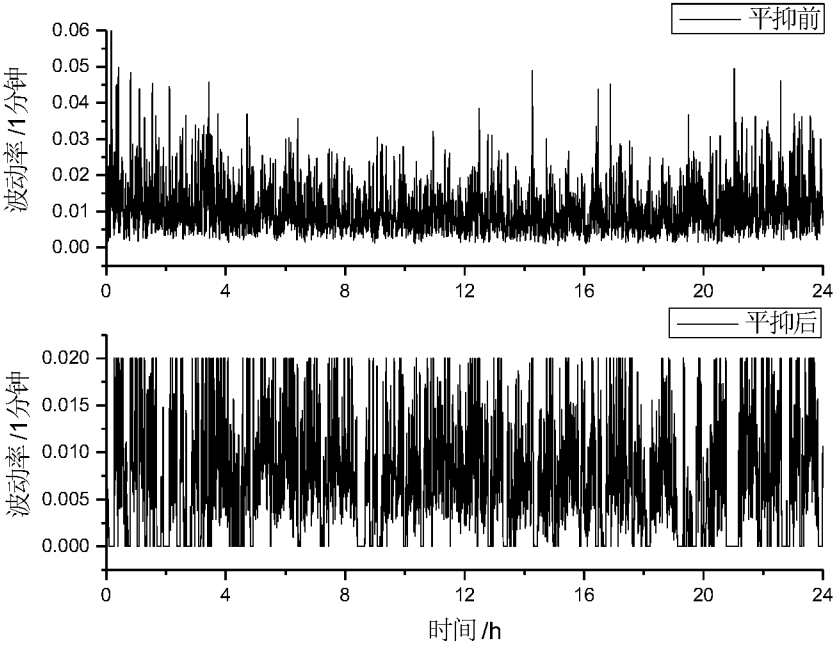


图 8

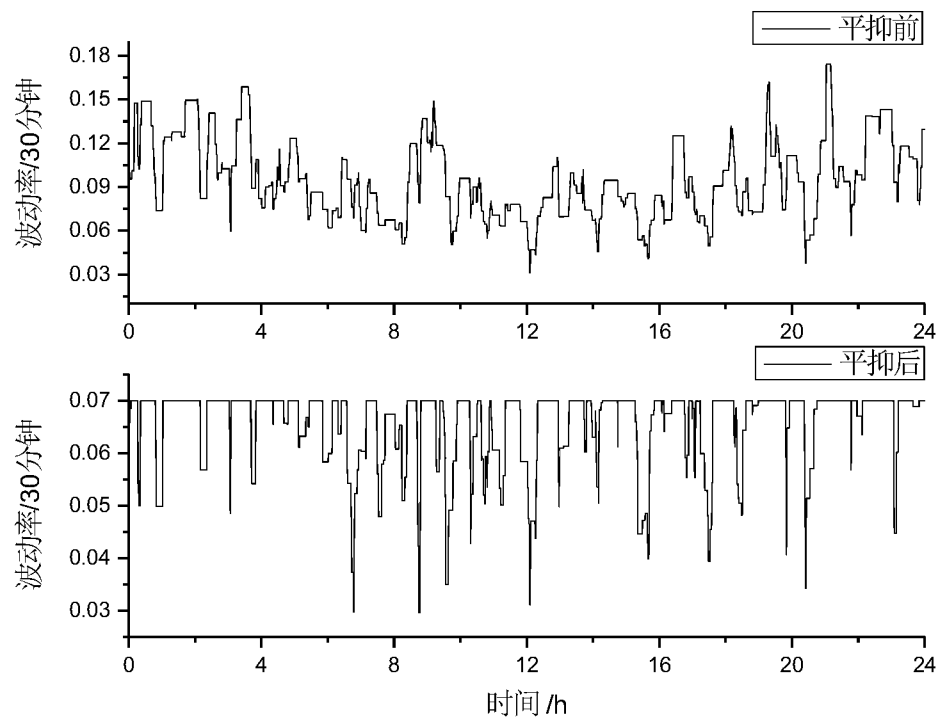


图 9

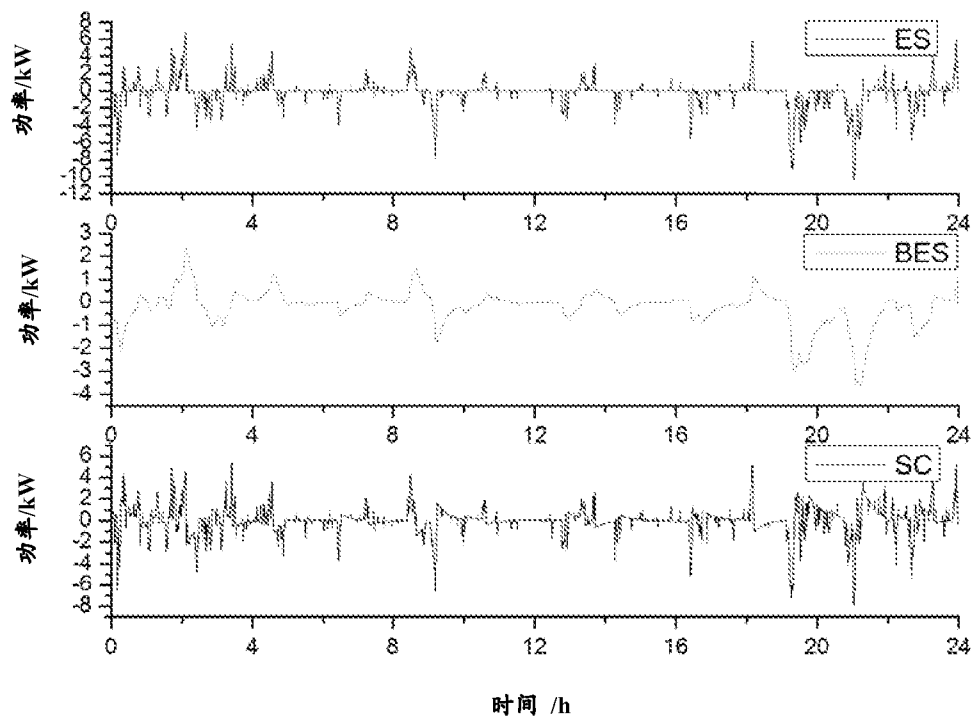


图 10

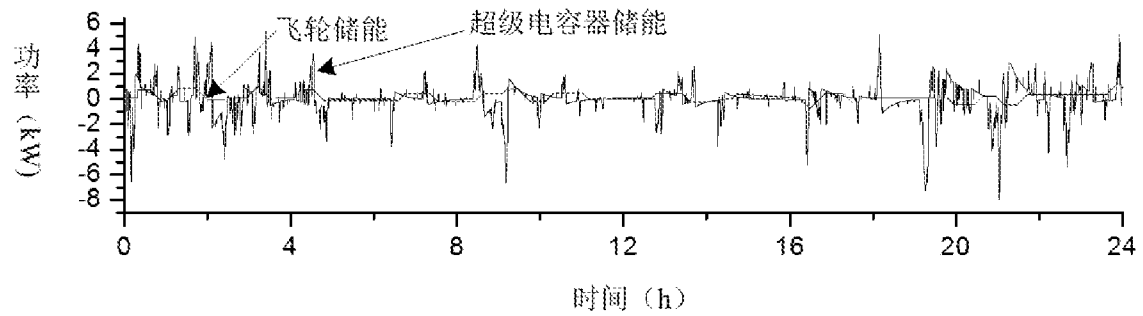


图 11

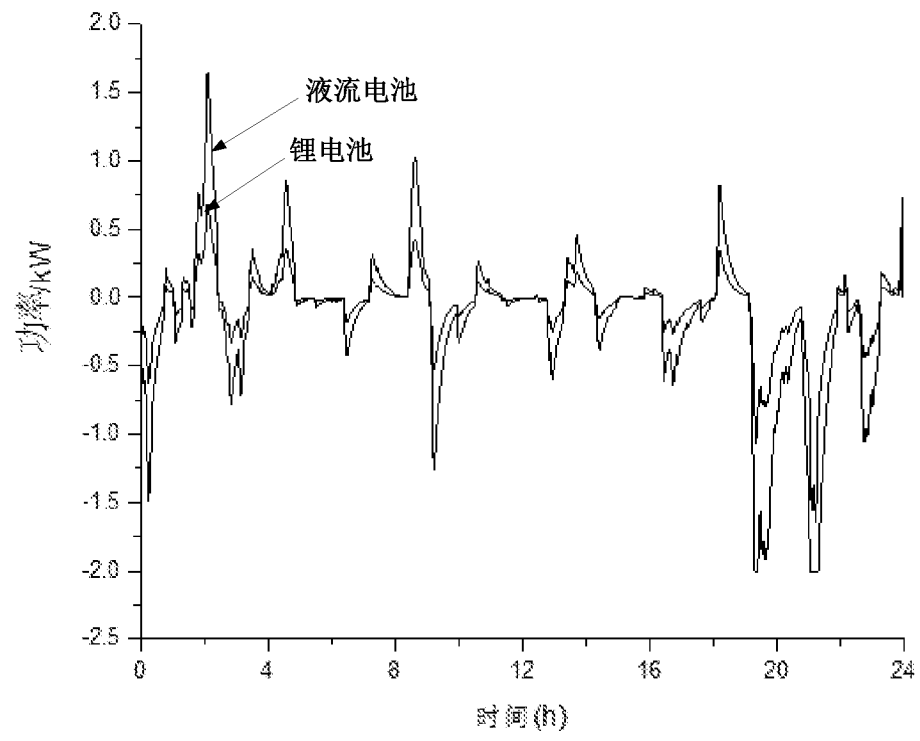


图 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/120364

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/32 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02J 3

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNKI, DWPI, SIPOABS: 并网, 储能, 波动平抑, 滤波, 电容器, 飞轮, 电池, 分配, 功率, 曲线, 寿命周期成本, 度电成本, grid, connect+, energy storage, filter+, fluctuation, capacitor, flywheel energy, battery, distribut+, curve, life cycle cost, degree of electricity cost

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 104104098 A (STATE GRID ANHUI ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE et al.), 15 October 2014 (15.10.2014), see description, paragraphs 19-59, and figures 1-7	1
A	CN 104104098 A (STATE GRID ANHUI ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE et al.), 15 October 2014 (15.10.2014), see description, paragraphs 19-59, and figures 1-7	2-7
PX	CN 106972516 A (STATE GRID CORPORATION OF CHINA et al.), 21 July 2017 (21.07.2017), see claims 1-7	1-7
A	CN 104795830 A (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE et al.), 22 July 2015 (22.07.2015), see entire document	1-7
A	US 2012133209 A1 (GENERAL ELECTRIC CO.), 31 May 2012 (31.05.2012), see entire document	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 23 March 2018	Date of mailing of the international search report 03 April 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer ZHANG, Haichun Telephone No. (86-10) 62411781

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/120364

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104104098 A	15 October 2014	None	
CN 106972516 A	21 July 2017	None	
CN 104795830 A	22 July 2015	CN 104795830 B	01 September 2017
US 2012133209 A1	31 May 2012	EP 2461454 A2	06 June 2012
		CA 2758901 A1	30 May 2012
		JP 2012120428 A	21 June 2012
		AU 2011253580 A1	14 June 2012
		BR 201105061 A2	19 March 2013

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/120364

A. 主题的分类 H02J 3/32 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																				
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) H02J3 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNABS, CNKI, DWPI, SIPOABS: 并网, 储能, 波动平抑, 滤波, 电容器, 飞轮, 电池, 分配, 功率, 曲线, 寿命周期成本, 度电成本, grid, connect+, energy storage, filter+, fluctuation, capacitor, flywheel energy, battery, distribut+, curve, life cycle cost, degree of electricity cost																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 104104098 A (国网安徽省电力公司电力科学研究院 等) 2014年 10月 15日 (2014 - 10 - 15) 见说明书第19-59段, 附图1-7</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104104098 A (国网安徽省电力公司电力科学研究院 等) 2014年 10月 15日 (2014 - 10 - 15) 见说明书第19-59段, 附图1-7</td> <td>2-7</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 106972516 A (国家电网公司 等) 2017年 7月 21日 (2017 - 07 - 21) 见权利要求1-7</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104795830 A (中国电力科学研究院 等) 2015年 7月 22日 (2015 - 07 - 22) 见全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2012133209 A1 (GENERAL ELECTRIC CO) 2012年 5月 31日 (2012 - 05 - 31) 见全文</td> <td>1-7</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 104104098 A (国网安徽省电力公司电力科学研究院 等) 2014年 10月 15日 (2014 - 10 - 15) 见说明书第19-59段, 附图1-7	1	A	CN 104104098 A (国网安徽省电力公司电力科学研究院 等) 2014年 10月 15日 (2014 - 10 - 15) 见说明书第19-59段, 附图1-7	2-7	PX	CN 106972516 A (国家电网公司 等) 2017年 7月 21日 (2017 - 07 - 21) 见权利要求1-7	1-7	A	CN 104795830 A (中国电力科学研究院 等) 2015年 7月 22日 (2015 - 07 - 22) 见全文	1-7	A	US 2012133209 A1 (GENERAL ELECTRIC CO) 2012年 5月 31日 (2012 - 05 - 31) 见全文	1-7
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
X	CN 104104098 A (国网安徽省电力公司电力科学研究院 等) 2014年 10月 15日 (2014 - 10 - 15) 见说明书第19-59段, 附图1-7	1																		
A	CN 104104098 A (国网安徽省电力公司电力科学研究院 等) 2014年 10月 15日 (2014 - 10 - 15) 见说明书第19-59段, 附图1-7	2-7																		
PX	CN 106972516 A (国家电网公司 等) 2017年 7月 21日 (2017 - 07 - 21) 见权利要求1-7	1-7																		
A	CN 104795830 A (中国电力科学研究院 等) 2015年 7月 22日 (2015 - 07 - 22) 见全文	1-7																		
A	US 2012133209 A1 (GENERAL ELECTRIC CO) 2012年 5月 31日 (2012 - 05 - 31) 见全文	1-7																		
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																				
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 </td> <td> “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件 </td> </tr> </table>			* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																			
国际检索实际完成的日期 2018年 3月 23日		国际检索报告邮寄日期 2018年 4月 3日																		
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 张海春 电话号码 (86-10)62411781																		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/120364

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	104104098	A	2014年 10月 15日	无			
CN	106972516	A	2017年 7月 21日	无			
CN	104795830	A	2015年 7月 22日	CN	104795830	B	2017年 9月 1日
US	2012133209	A1	2012年 5月 31日	EP	2461454	A2	2012年 6月 6日
				CA	2758901	A1	2012年 5月 30日
				JP	2012120428	A	2012年 6月 21日
				AU	2011253580	A1	2012年 6月 14日
				BR	201105061	A2	2013年 3月 19日