



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108711848 B

(45)授权公告日 2019.03.08

(21)申请号 201810530904.3

(22)申请日 2018.05.29

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 108711848 A

(43)申请公布日 2018.10.26

(73)专利权人 广东技术师范学院  
地址 510665 广东省广州市天河区石牌中  
山大道293号

(72)发明人 张先勇 李丽 黄耀宏 肖蕾  
张绪红

(74)专利代理机构 四川力久律师事务所 51221  
代理人 刘雪莲

(51)Int.Cl.  
H02J 3/00(2006.01)  
H02J 3/32(2006.01)  
H02J 3/38(2006.01)

(56)对比文件  
CN 105576837 A,2016.05.11,说明书第6-  
12、17-19段,附图1.  
CN 104734145 A,2015.06.24,全文.

US 2014/0220557 A1,2014.08.07,全文.  
US 2017/0214242 A1,2017.07.27,全文.  
CN 107017661 A,2017.08.04,全文.  
Jie Shu,Xianyong Zhang,etc.A  
Significant Scheme of Distributed  
Generation System using Wind-solar-diesel  
Applying in Island.《2009 3rd  
International Conference on Power  
Electronics Systems and Applications》  
.2009,全文.  
许志荣,杨苹等.单三相混合供电制式多微  
网联网路径搜索及源荷储恢复策略.《电力系统  
自动化》.2017,第41卷(第16期),80-86.  
陈刚,杨毅等.基于分布式牛顿法的微电网  
群分布式优化调度方法.《电力系统自动化》  
.2017,第41卷(第21期),156-161.  
Zhifeng Wu,Jie Shu,etc.Research on MW  
Size Stand-alone Microgrid & Its.《2011  
International Conference on Electrical  
and Control Engineering》.2011,5417-5420.

审查员 王克

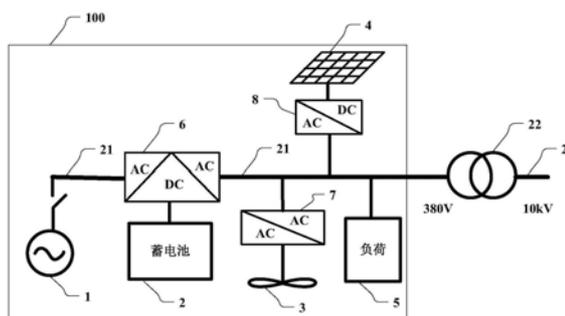
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54)发明名称  
模块化微电网功率容量一致性连续时间控  
制的方法及装置

(57)摘要

本发明公开了一种模块化微电网功率容量  
一致性连续时间控制的方法及装置,平抑蓄电池  
能量波动,使蓄电池充放电特性和容量特性趋于  
一致,减少电力系统备用机组的容量,保证电网  
安全、有效地吸纳可再生能源发电,实现微电网  
的经济性优化.该方法包括:代理通信节点通过  
稀疏通信网络交互蓄电池充放电功率信息和容  
量信息;以模块化微电网中各模块内各组成单元  
之间的能量守恒关系和模块之间的功率交换能  
量守恒关系为约束条件,在连续时间根据获取的  
功率信息和容量信息来设置模块与模块化微电  
网的交互功率以使模块化微电网中多个模块的

蓄电池充放电功率、容量分别趋于一致。



CN 108711848 B

1. 一种模块化微电网功率容量一致性连续时间控制的方法,其特征在于,所述方法包括:

代理通信节点通过稀疏通信网络交互蓄电池充放电功率信息和容量信息;以模块化微电网中各模块内各组成单元之间的能量守恒关系和模块之间的功率交换能量守恒关系为约束条件,在连续时间根据获取的功率信息和容量信息来设置模块与模块化微电网的交互功率以使模块化微电网中多个模块的蓄电池充放电功率、容量分别趋于一致;以充放电功率信息和容量信息中包括的蓄电池功率 $P_{Bati}$ 、容量 $S_{Bati}$ 为一致性变量,根据式

$$\frac{dP_{Ei}}{dt} = b_i (P_{Bat0} - P_{Bati}) + \sum_{j=1}^n a_{ij} (P_{Batj} - P_{Bati}) + k_i (S_{Bat0} - S_{Bati}) + \sum_{j=1}^n k_{ij} (S_{Batj} - S_{Bati})$$

来设置在时刻 $t$ 时第 $i$ 个非功率松弛模块与模块化微电网的交互功率 $P_{Ei}(t)$ ;

其中, $P_{Bat0}$ 和 $S_{Bat0}$ 为功率松弛节点所在模块的蓄电池充放电功率和容量, $P_{Bati}$ 、 $S_{Bati}$ 和 $P_{Batj}$ 、 $S_{Batj}$ 为非功率松弛节点 $i$ 和 $j$ 所在模块的蓄电池充放电功率和容量;

$b_i$ 为功率松弛节点与第 $i$ 个非功率松弛节点的功率加权邻接系数, $a_{ij}$ 为第 $i$ 个非功率松弛节点与第 $j$ 个非功率松弛节点之间的功率加权邻接系数,若两个模块之间无功率信息交互,则 $a_{ij}$ 为0,若两个蓄电池之间有功率信息交互,则 $a_{ij} > 0$ ;

$k_i$ 为功率松弛节点与第 $i$ 个非功率松弛节点的容量加权邻接系数, $k_{ij}$ 为第 $i$ 个非功率松弛节点与第 $j$ 个非功率松弛节点之间的容量加权邻接系数,若两个模块之间无容量信息交互,则 $k_{ij}$ 为0,若两个模块之间有容量信息交互,则 $k_{ij} > 0$ 。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法进一步包括:功率松弛模块中的代理通信节点向非功率松弛模块中的代理通信节点发送功率松弛模块的蓄电池充放电功率信息和容量信息;相邻的非功率松弛模块中的代理通信节点之间相互发送其所属模块的蓄电池充放电功率信息和容量信息。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法包括:使蓄电池充放电功率 $P_{Bati}$ 、容量 $S_{Bati}$ 之间的关系满足式:

$$S_{Bati}(t) = \frac{\int P_{Bati} dt}{3600}。$$

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述方法包括:根据使 $s$ 域方程:

$$s^2 + s\lambda_i(H_1) + \frac{c\lambda_i(H_1)}{3600} = 0$$

的所有特征根都落在单位圆内的解来设置稀疏通信网络采样周期 $T$ 和稀疏通信网络采样时延 $\tau$ ;其中, $H_1$ 为功率稀疏通信网络的Hermite矩阵,令容量稀疏通信网络的Hermite矩阵 $H_2 = cH_1$ , $c$ 为比例系数; $\lambda_i$ 为功率稀疏通信网络的Hermite矩阵的特征值。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述方法包括:将 $\lambda_i$ 和 $c$ 均设置为正实数以实现蓄电池充放电功率、容量的连续时间一致性。

6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法包括:设置邻接系数 $a_{ij}$ 为0.3,7s后放电功率收敛到15kW。

7. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述功率松弛节点与非功率松弛节点组成无向网络拓扑图,功率松弛节点为全局可达节点;其中,Hermite矩阵 $H=B+L$ 为正定矩阵,矩阵 $H$ 的最小特征值 $\lambda_{\min}(H) > 0$ , $B$ 为功率松弛节点与非功率松弛节点的邻接矩阵, $B=\text{diag}(b_1, b_2, \dots, b_i)$ ,

$L$ 为非功率松弛节点的Laplacian矩阵,

$$L = [l_{ij}] = \begin{cases} -a_{ij}, & i=j \\ a_{ij}, & i \neq j \end{cases} .$$

8. 一种模块化微电网功率容量一致性连续时间控制的装置,其特征在于,包括至少一个处理器,以及与所述至少一个处理器通信连接的存储器;所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的指令,所述指令被所述至少一个处理器执行,以使所述至少一个处理器能够执行权利要求1至7中任一项所述的方法。

## 模块化微电网功率容量一致性连续时间控制的方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及微电网技术领域,尤其涉及一种模块化微电网功率容量一致性连续时间控制的方法及装置。

### 背景技术

[0002] 微电网是一种将分布式电源、负荷、储能装置、变流器以及监控保护装置有机整合在一起的小型发配电系统。由于传统的微电网具有公共总线和层次控制结构,对微电网的结构和容量扩展非常复杂和昂贵。模块化微电网由三端口变流器、蓄电池、负荷、风光发电单元以及备用柴油发电机组组成。模块化微电网便于扩容,且通过运行控制和能量管理等,可以实现模块独立运行或互联运行、降低间歇性分布式电源给配电网带来不利影响,最大限度地利用可再生能源电源出力,提高供电可靠性和电能质量,实现了从传统的柴油发电系统到清洁能源发电系统的转变。

[0003] 从国家能源战略规划、社会行业发展和电网企业发展来看,模块化微电网技术将面临发展机遇和挑战,未来孤岛上的负荷也逐渐增加,而蓄电池储能系统是微电网的薄弱环节,蓄电池寿命直接影响微电网的收益,则蓄电池组能量管理系统不宜采取传统电网的集中通讯管理方式,因此分布式储能在工程应用和海岛推广意义上具有很大的价值。

[0004] 分布式储能可以用于解决分布式电源接入和负荷快速增长给电力系统的运行于规划带来的问题与挑战。然而,现有的模块化微电网在互联运行时,各模内的蓄电池处于不同的充放电状态,能量波动和冲击幅度大,不仅会缩短蓄电池寿命,还会降低电能质量和供电可靠性,并导致系统维护和运行成本较高。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的之一至少在于,针对如何克服上述现有技术存在的问题,提供一种模块化微电网功率容量一致性连续时间控制的方法及装置,能够平抑蓄电池能量波动,使蓄电池充放电特性和容量特性趋于一致,削峰填谷,减少电力系统备用机组的容量,使间歇性可再生能源变为电网友好,可调度,跟踪计划出力,协调电网调度与可再生能源预测功率,进而保证电网安全、有效地吸纳可再生能源发电,实现微电网的经济性优化。

[0006] 为了实现上述目的,本发明采用的技术方案包括以下各方面。

[0007] 一种模块化微电网功率容量一致性连续时间控制的方法,其包括:

[0008] 代理通信节点通过稀疏通信网络交互蓄电池充放电功率信息和容量信息;以模块化微电网中各模块内各组成单元之间的能量守恒关系和模块之间的功率交换能量守恒关系为约束条件,在连续时间根据获取的功率信息和容量信息来设置模块与模块化微电网的交互功率以使模块化微电网中多个模块的蓄电池充放电功率、容量分别趋于一致。

[0009] 优选的,所述方法进一步包括:功率松弛模块中的代理通信节点向非功率松弛模块中的代理通信节点发送功率松弛模块的蓄电池充放电功率信息和容量信息;相邻的非功率松弛模块中的代理通信节点之间相互发送其所属模块的蓄电池充放电功率信息和容量

信息。

[0010] 优选的,所述方法包括:以充放电功率信息和容量信息中包括的蓄电池功率 $P_{Bati}$ 、容量 $S_{Bati}$ 为一致性变量,根据式

$$[0011] \quad \frac{dP_{Ei}}{dt} = b_i (P_{Bat0} - P_{Bati}) + \sum_{j=1}^n a_{ij} (P_{Batj} - P_{Bati}) + k_i (S_{Bat0} - S_{Bati}) + \sum_{j=1}^n k_{ij} (S_{Batj} - S_{Bati})$$

[0012] 来设置在时刻 $t$ 时第 $i$ 个非功率松弛模块与模块化微电网的交互功率 $P_{Ei}(t)$ ;

[0013] 其中, $P_{Bat0}$ 和 $S_{Bat0}$ 为功率松弛节点所在模块的蓄电池充放电功率和容量, $P_{Bati}$ 、 $S_{Bati}$ 和 $P_{Batj}$ 、 $S_{Batj}$ 为非功率松弛节点 $i$ 和 $j$ 所在模块的蓄电池充放电功率和容量;

[0014]  $b_i$ 为功率松弛节点与第 $i$ 个非功率松弛节点的功率加权邻接系数, $a_{ij}$ 为第 $i$ 个非功率松弛节点与第 $j$ 个非功率松弛节点之间的功率加权邻接系数,若两个模块之间无功率信息交互,则 $a_{ij}$ 为0,若两个蓄电池之间有功率信息交互,则 $a_{ij} > 0$ ;

[0015]  $k_i$ 为功率松弛节点与第 $i$ 个非功率松弛节点的容量加权邻接系数, $k_{ij}$ 为第 $i$ 个非功率松弛节点与第 $j$ 个非功率松弛节点之间的容量加权邻接系数,若两个模块之间无容量信息交互,则 $k_{ij}$ 为0,若两个模块之间有容量信息交互,则 $k_{ij} > 0$ 。

[0016] 优选的,所述方法包括:使蓄电池充放电功率 $P_{Bati}$ 、容量 $S_{Bati}$ 之间的关系满足式:

$$[0017] \quad S_{Bati}(t) = \frac{\int P_{Bati} dt}{3600}。$$

[0018] 优选的,所述方法包括:根据使 $s$ 域方程:

$$[0019] \quad s^2 + s\lambda_i(H_1) + \frac{c\lambda_i(H_1)}{3600} = 0$$

[0020] 的所有特征根都落在单位圆内的解来设置稀疏通信网络采样周期 $T$ 和稀疏通信网络采样时延 $\tau$ ;其中, $H_1$ 为功率稀疏通信网络的Hermite矩阵,令容量稀疏通信网络的Hermite矩阵 $H_2 = cH_1$ , $c$ 为比例系数; $\lambda_i$ 为功率稀疏通信网络的Hermite矩阵的特征值。

[0021] 优选的,所述方法包括:将 $\lambda_i$ 和 $c$ 均设置为正实数以实现蓄电池充放电功率、容量的连续时间一致性。

[0022] 优选的,所述方法包括:设置邻接系数 $a_{ij}$ 为0.3,7s后放电功率收敛到15kW。

[0023] 优选的,所述功率松弛节点与非功率松弛节点组成无向网络拓扑图,功率松弛节点为全局可达节点;其中,Hermite矩阵 $H = B + L$ 为正定矩阵,矩阵 $H$ 的最小特征值 $\lambda_{\min}(H) > 0$ , $B$ 为功率松弛节点与非功率松弛节点的邻接矩阵, $B = \text{diag}(b_1, b_2, \dots, b_i)$ ,

[0024]  $L$ 为非功率松弛节点的Laplacian矩阵,

$$[0025] \quad L = [l_{ij}] = \begin{cases} -a_{ij}, & i = j \\ a_{ij}, & i \neq j \end{cases}。$$

[0026] 一种模块化微电网功率容量一致性连续时间控制的装置,其包括至少一个处理器,以及与所述至少一个处理器通信连接的存储器;所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的指令,所述指令被所述至少一个处理器执行,以使所述至少一个处理器能够执行所述的方法。

[0027] 综上所述,由于采用了上述技术方案,本发明至少具有以下有益效果:

[0028] 基于来自稀疏通信网络的模块充放电功率信息和容量信息,以模块化微电网中各模块内各组成单元之间的能量守恒关系和模块之间的功率交换能量守恒关系为约束条件,在连续时间根据获取的功率信息和容量信息来设置模块与模块化微电网的交互功率以使模块化微电网中多个模块的蓄电池充放电功率、容量分别趋于一致,能够平抑蓄电池能量波动,使蓄电池充放电特性和容量特性趋于一致,削峰填谷,减少电力系统备用机组的容量,使间歇性可再生能源变为电网友好,可调度,跟踪计划出力,协调电网调度与可再生能源预测功率,进而保证电网安全、有效地吸纳可再生能源发电,实现微电网的经济性优化。

### 附图说明

[0029] 图1是根据本发明实施例的模块化微电网中的模块结构示意图。

[0030] 图2是根据本发明实施例的三端口变流器的结构示意图。

[0031] 图3是根据本发明实施例的模块化微电网能量关系示意图。

[0032] 图4是根据本发明实施例的稀疏通信网络的结构示意图。

[0033] 图5~8是根据本发明实施例进行实验建模的算例分析结果。

[0034] 图9是根据本发明实施例的模块化微电网功率容量一致性连续时间控制的装置结构示意图。

### 具体实施方式

[0035] 下面结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明,以使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0036] 根据本发明实施例的模块化微电网包括多个模块和设置在每个模块中的代理通信节点以形成稀疏通信网络;代理通信节点用于通过稀疏通信网络交互蓄电池充放电功率信息和容量信息,并以模块化微电网中各模块内各组成单元之间的能量守恒关系和模块之间的功率交换能量守恒关系为约束条件,在连续时间根据获取的功率信息和容量信息来设置模块与模块化微电网的交互功率以使模块化微电网中多个模块的蓄电池充放电功率、容量分别趋于一致。

[0037] 图1示出了根据本发明实施例的模块化微电网中的模块结构示意图。模块化微电网中可以包括多个如图1所示的模块,从而方便地通过增加模块数量来进行扩容。其中,每个模块100包括柴油发电机1、蓄电池2、风力发电机3、光伏发电机4、以及负荷5中的一者或者多者,且每一种组成单元可设置为组的形式,例如发电机组和蓄电池组等。柴油发电机1作为后备电源,可根据实际需要选择性地设置在一个模块或多个模块中。

[0038] 每个模块100构成独立的电源区域,模块内的交流电压为361V~418V(图中示出为400V);其中,柴油发电机1和负荷5连接至现有的配电网21,蓄电池2通过三端口变流器6连接至配电网21,风力发电机3通过交流控制器7连接至配电网21,光伏发电机4通过DC-AC逆变器8连接至配电网21;每个模块100通过变压器22连接到现有的输电网络23以与其它模块联网运行,并进行双向功率交换。输电网络23可以采用配电电压(如图中示出的10kV或者更高)输电来降低电能的传输损耗。

[0039] 图2示出了根据本发明实施例的三端口变流器的结构示意图,其采用AC-DC-AC结构,是系统配置和能量调度的核心设备。蓄电池连接到直流端口。蓄电池2不仅可以平滑太阳能和风能的波动,还可以补偿发电和功耗之间的功率差。三端口变流器左侧部分是AC-DC整流器61,其具有多个电抗器L、隔离开关( $V_{1u}$ 、 $V_{2u}$ 、 $V_{3u}$ 、 $V_{1d}$ 、 $V_{2d}$ 、 $V_{3d}$ )以及二极管D构成的三相三线制结构,并工作于恒功率控制(PQ控制)模式,使各模块等效电源S输出的有功功率和无功功率等于其参考功率,从而实现各模块等效电源S之间的能量流动。

[0040] 三端口变流器右侧部分是DC-AC逆变器62,其具有多个隔离开关( $V_1 \sim V_{12}$ )、二极管D、变压器T、电抗器( $L_a$ 、 $L_b$ 、 $L_c$ )、以及电容器( $C_a$ 、 $C_b$ 、 $C_c$ )构成的三相四线制结构和模块内的交流总线,并工作于恒压恒频控制(V/F控制)模式,以使蓄电池输出电压的幅值和频率维持不变,为模块内的供电区域提供电压参考,从而在进行电气隔离的同时保证电压质量。风力发电机组和光伏发电机组通过三端口变流器与交流总线连接,在最大功率点工作,充分利用可再生能源,当可再生能源不足时,模块中的柴油发电机组作为备用电源出力。

[0041] 图3示出了具有四个上述模块100(依次表示为100-1、100-2、100-3和100-4)的模块化微电网能量关系示意图。在根据本发明实施例的模块化微电网中,第i个模块内个各组成单元(例如,柴油发电机1、蓄电池2、风力发电机3、光伏发电机4、以及负荷5等)之间的能量守恒关系表示为:

$$[0042] \quad P_{\text{Bati}} = P_{\text{dsli}} + P_{\text{pvi}} + P_{\text{wti}} - P_{\text{Ei}} - P_{\text{loadi}}$$

[0043] 其中, $P_{\text{Bati}}$ 为蓄电池充放电功率(例如,四个模块对应为 $P_{\text{Bat1}}$ 、 $P_{\text{Bat2}}$ 、 $P_{\text{Bat3}}$ 、 $P_{\text{Bat4}}$ ), $P_{\text{dsli}}$ 为柴油发电机输出功率(例如,仅模块100-1具有柴油发电机,其输出功率为 $P_{\text{ds11}}$ ), $P_{\text{wti}}$ 为风力发电功率(四个模块对应为 $P_{\text{wt1}}$ 、 $P_{\text{wt2}}$ 、 $P_{\text{wt3}}$ 、 $P_{\text{wt4}}$ ), $P_{\text{pvi}}$ 为光伏发电功率(例如,四个模块对应为 $P_{\text{pv1}}$ 、 $P_{\text{pv2}}$ 、 $P_{\text{pv3}}$ 、 $P_{\text{pv4}}$ ), $P_{\text{Ei}}$ 为模块与微电网的交换功率(例如,四个模块对应为 $P_{\text{E1}}$ 、 $P_{\text{E2}}$ 、 $P_{\text{E3}}$ 、 $P_{\text{E4}}$ ), $P_{\text{loadi}}$ 为负载功率(例如,四个模块对应为 $P_{\text{load1}}$ 、 $P_{\text{load2}}$ 、 $P_{\text{load3}}$ 、 $P_{\text{load4}}$ )。

[0044] 模块化微电网中互联的模块之间的功率交换能量守恒关系表示为:

$$[0045] \quad \sum_{i=1}^N P_{\text{Ei}} = 0$$

[0046] 其中,N为模块的数量。

[0047] 图4示出了根据本发明实施例的稀疏通信网络的结构示意图。其中,Agent 1, Agent 2, Agent 3, Agent 4分别为设置在各个模块中的代理通信节点(节点之间的邻接系数例如均为0.3),各模块的代理通信节点之间通过稀疏通信网络交换各自的充放电功率信息和容量信息,因此,稀疏通信网络包括功率稀疏通信网络和容量稀疏通信网络。蓄电池充放电功率信息中包括的蓄电池功率 $P_{\text{Bati}}$ 为一致性变量,要求所有蓄电池的最终状态都收敛到参考状态 $P_{\text{Bat-R}}$ , $P_{\text{Bat-R}}$ 为模块化微电网中蓄电池充放电功率的平均值(此平均值较难获得,在实际应用中,可以将参考状态设置为功率松弛节点的蓄电池充放电功率 $P_{\text{Bat0}}$ );蓄电池容量信息中包括的蓄电池容量 $S_{\text{Bati}}$ 为一致性变量,要求所有蓄电池的最终状态都收敛到参考状态 $S_{\text{Bat-R}}$ , $S_{\text{Bat-R}}$ 为模块化微电网中蓄电池容量的平均值(此平均值较难获得,在实际应用中,可以将参考状态设置为功率松弛节点的蓄电池充放电功率 $S_{\text{Bat0}}$ )。

[0048] 通常,将具有柴油发电机的模块与模块化微电网的连接节点为功率松弛节点,其对应的模块即为功率松弛模块,不具有柴油发电机的模块与模块化微电网的连接节点为非

功率松弛节点,其对应的模块即为非功率松弛模块。示例性的(即图中以及文中具体节点的编号并不必然对应功率松弛节点或非功率松弛节点),Agent 1为功率松弛节点,其所属的模块为功率松弛模块,Agent 2,Agent 3,Agent 4为非功率松弛节点,其所属的模块为非功率松弛模块,对于非功率松弛模块中的蓄电池充放电功率、容量可以分别主动进行一致性控制,使其分别达到参考状态。功率松弛节点向(部分或全部)非功率松弛节点发送功率松弛节点所属模块的蓄电池充放电功率信息和容量信息;相邻的非功率松弛节点之间相互发送其所属模块的蓄电池充放电功率信息和容量信息。在其他实施例中,相邻的功率松弛节点之间也可以相互发送其所属模块的蓄电池充放电功率信息和容量信息。

[0049] 在对根据各实施例的模块化微电网进行充放电一致性协调控制时,代理通信节点通过稀疏通信网络交互蓄电池充放电功率信息和容量信息;以模块化微电网中各模块内各组成单元之间的能量守恒关系和模块之间的功率交换能量守恒关系为约束条件,(例如通过设置在微电网各个模块中的控制器)根据获取的功率信息来设置功率松弛模块与模块化微电网的交互功率以使模块化微电网中多个模块的蓄电池充放电功率、容量分别趋于一致。

[0050] 具体地,以充放电功率信息和容量信息中包括的蓄电池功率、容量为一致性变量,可以根据式

$$[0051] \quad \frac{dP_{Ei}}{dt} = b_i (P_{Bat0} - P_{Bati}) + \sum_{j=1}^n a_{ij} (P_{Batj} - P_{Bati}) + k_i (S_{Bat0} - S_{Bati}) + \sum_{j=1}^n k_{ij} (S_{Batj} - S_{Bati})$$

[0052] 来设置在时刻t时第i个非功率松弛模块与模块化微电网的交互功率 $P_{Ei}(t)$ (需要说明的是,此处及后文的变量i、j所表示的模块序号与附图和前文示例性的模块编号并没有对应关系,仅用标识不同的模块序号);

[0053] 其中, $P_{Bat0}$ 和 $S_{Bat0}$ 为功率松弛节点所在模块的蓄电池充放电功率和容量, $P_{Bati}$ 、 $S_{Bati}$ 和 $P_{Batj}$ 、 $S_{Batj}$ 为非功率松弛节点i和j所在模块的蓄电池充放电功率和容量;

[0054]  $b_i$ 为功率松弛节点与第i个非功率松弛节点的功率加权邻接系数, $a_{ij}$ 为第i个非功率松弛节点与第j个非功率松弛节点之间的功率加权邻接系数,若两个模块之间无功率信息交互,则 $a_{ij}$ 为0,若两个蓄电池之间有功率信息交互,则 $a_{ij} > 0$ ;

[0055]  $k_i$ 为功率松弛节点与第i个非功率松弛节点的容量加权邻接系数, $k_{ij}$ 为第i个非功率松弛节点与第j个非功率松弛节点之间的容量加权邻接系数,若两个模块之间无容量信息交互,则 $k_{ij}$ 为0,若两个模块之间有容量信息交互,则 $k_{ij} > 0$ 。

[0056] 进一步的,蓄电池充放电功率 $P_{Bati}$ 、容量 $S_{Bati}$ 之间的关系满足式:

$$[0057] \quad S_{Bati}(t) = \frac{\int P_{Bati} dt}{3600}。$$

[0058] 并且,根据使s域方程:

$$[0059] \quad s^2 + s\lambda_i(H_1) + \frac{c\lambda_i(H_1)}{3600} = 0$$

[0060] 的所有特征根都落在单位圆内的解来设置稀疏通信网络采样周期T和稀疏通信网

络采样时延 $\varepsilon$ ,从而实现多个模块的蓄电池充放电功率、容量各自的时间连续一致性控制;其中, $H_1$ 为功率稀疏通信网络的Hermite矩阵,令容量稀疏通信网络的Hermite矩阵 $H_2=cH_1$ , $c$ 为比例系数; $\lambda_i$ 为功率稀疏通信网络的Hermite矩阵的特征值。

[0061] 并且,在优选的实施例中可以将 $\lambda_i$ 和 $c$ 均设置为正实数以实现蓄电池充放电功率、容量的连续时间一致性。

[0062] 进一步的,上述稀疏通信网络(包括功率稀疏通信网络和容量稀疏通信网络)中的功率松弛节点与非功率松弛节点组成无向网络拓扑图,功率松弛节点为全局可达节点;其中,Hermite矩阵 $H=B+L$ 为正定矩阵,矩阵 $H$ 的最小特征值 $\lambda_{\min}(H)>0$ , $B$ 为功率松弛节点与非功率松弛节点的邻接矩阵, $B=\text{diag}(b_1, b_2, \dots, b_i)$ ,

[0063]  $L$ 为非功率松弛节点的Laplacian矩阵,

$$[0064] \quad L = [l_{ij}] = \begin{cases} -a_{ij}, & i = j \\ a_{ij}, & i \neq j \end{cases}。$$

[0065] 图5~8示出了根据本发明实施例针对图4的稀疏通信网络进行实验建模的算例分析结果。图5为只考虑功率的连续时间一致性,当系统稳定时,Agent 1模块输出15kW到微电网(图中曲线4),Agent 2模块输出5kW到微电网(图中曲线3),Agent 3模块从微电网输入5kW(图中曲线2),Agent 4模块从微电网输入15kW(图中曲线1);其中,横轴为时间,单位为秒,纵轴为功率,单位为kW,下同。

[0066] 图6示出了邻接系数 $a_{ij}$ 为0.3,考虑功率和容量的连续时间一致性,系统稳定时,7s后放电功率收敛到15kW,实现一致性跟踪。

[0067] 图7所示为Agent 1模块输出10.5kW到微电网(图中曲线4),Agent 2模块输出3.5kW到微电网(图中曲线3),Agent 3模块从微电网输入3.5kW(图中曲线2),Agent 4模块从微电网输入10.5kW(图中曲线1)。

[0068] 图8示出了邻接系数 $a_{ij}$ 为0.3时,各模块中蓄电池的都收敛到参考状态的过程。由于电池存储电量的时间常数很大,达到功率一致性跟踪的时间很长,功率不同之处在于消除蓄电池之间的容量差异。

[0069] 根据上述实施例的方法实现了模块化微电网中多个模块的蓄电池充放电功率、容量的采样一致性跟踪,能够在特定的时间点使模块化微电网中多个模块的蓄电池充放电功率、容量分别趋于一致,能够平抑蓄电池能量波动,使蓄电池充放电特性和容量特性趋于一致,削峰填谷,减少电力系统备用机组的容量,使间歇性可再生能源变为电网友好,可调度,跟踪计划出力,协调电网调度与可再生能源预测功率,进而保证电网安全、有效地吸纳可再生能源发电,实现微电网的经济性优化。

[0070] 图9示出了根据本发明实施例的模块化微电网功率容量一致性连续时间控制的装置,即电子设备9310(例如具备程序执行功能的计算机服务器),其包括至少一个处理器9311,电源9314,以及与所述至少一个处理器9311通信连接的存储器9312和输入输出接口9313;所述存储器9312存储有可被所述至少一个处理器9311执行的指令,所述指令被所述至少一个处理器9311执行,以使所述至少一个处理器9311能够执行前述任一实施例所公开的方法;所述输入输出接口9313可以包括显示器、键盘、鼠标、以及USB接口,用于输入输出数据;电源9314用于为电子设备9310提供电能。

[0071] 本领域技术人员可以理解:实现上述方法实施例的全部或部分步骤可以通过程序

指令相关的硬件来完成,前述的程序可以存储于计算机可读取存储介质中,该程序在执行时,执行包括上述方法实施例的步骤;而前述的存储介质包括:移动存储设备、只读存储器(Read Only Memory,ROM)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0072] 当本发明上述集成的单元以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,也可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本发明实施例的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机、服务器、或者网络设备)执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分。而前述的存储介质包括:移动存储设备、ROM、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0073] 以上所述,仅为本发明具体实施方式的详细说明,而非对本发明的限制。相关技术领域的技术人员在不脱离本发明的原则和范围的情况下,做出的各种替换、变型以及改进均应包含在本发明的保护范围之内。

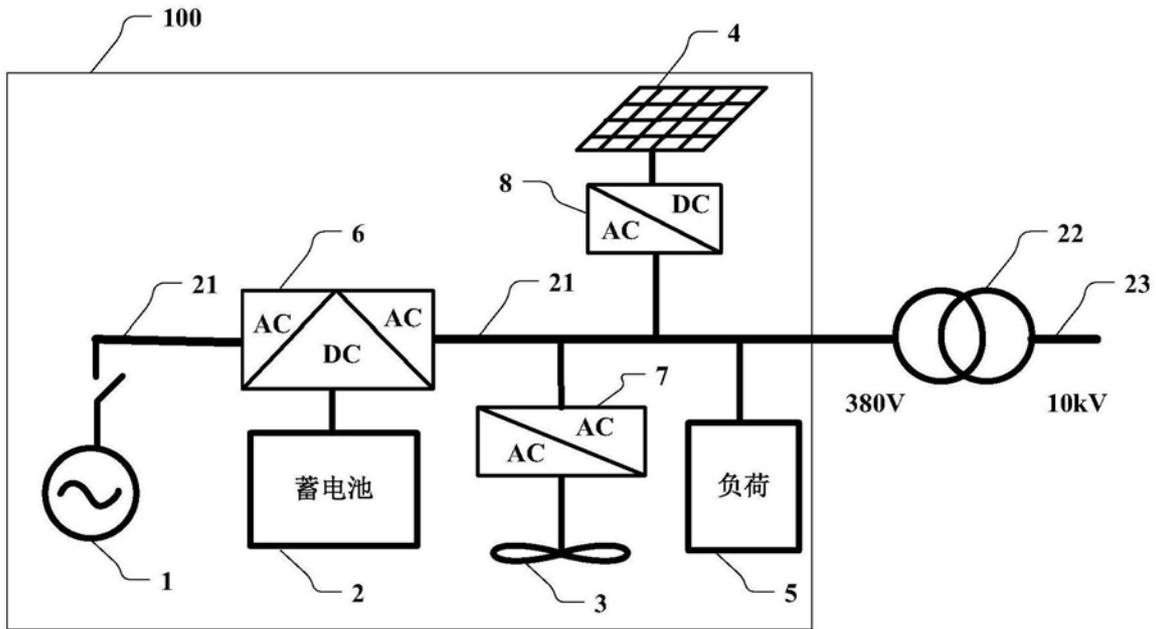


图1

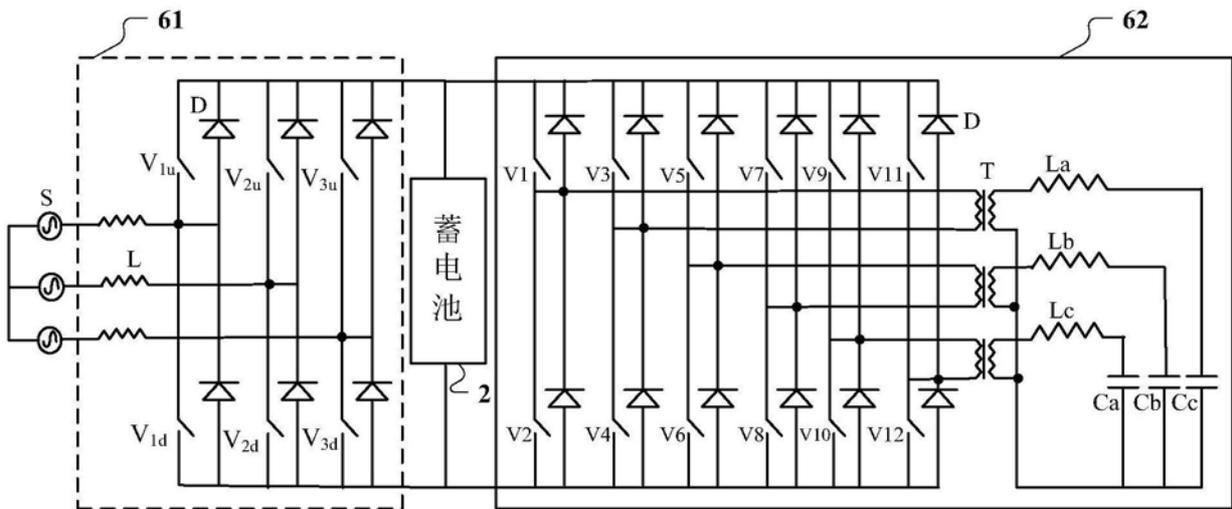


图2

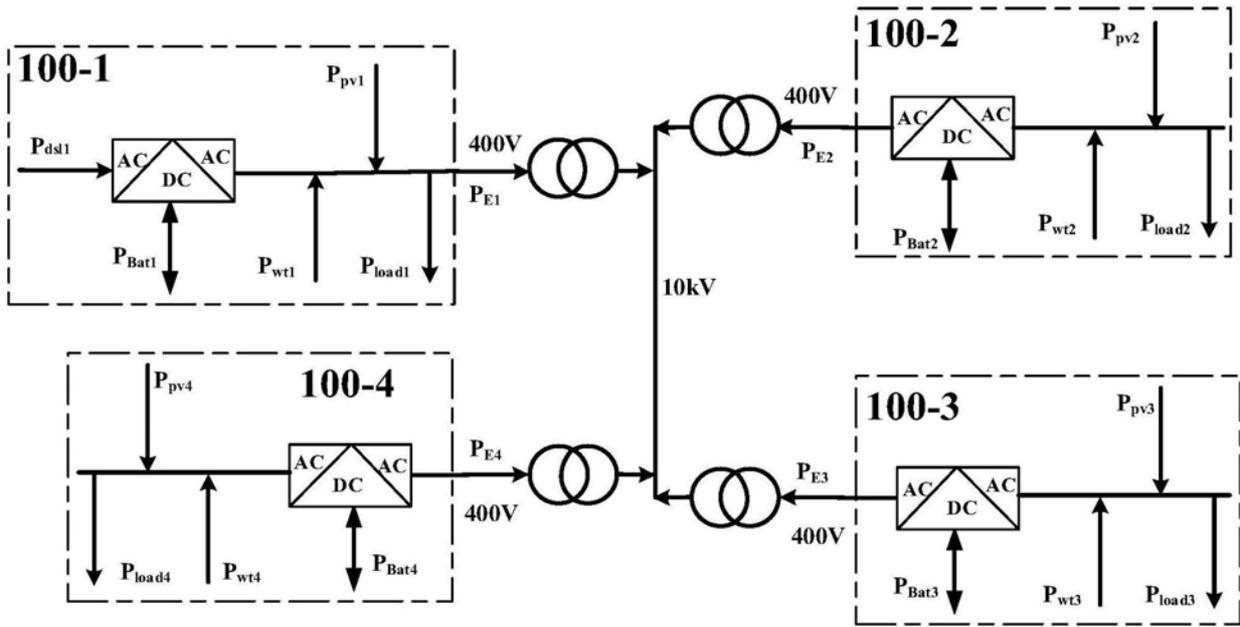


图3

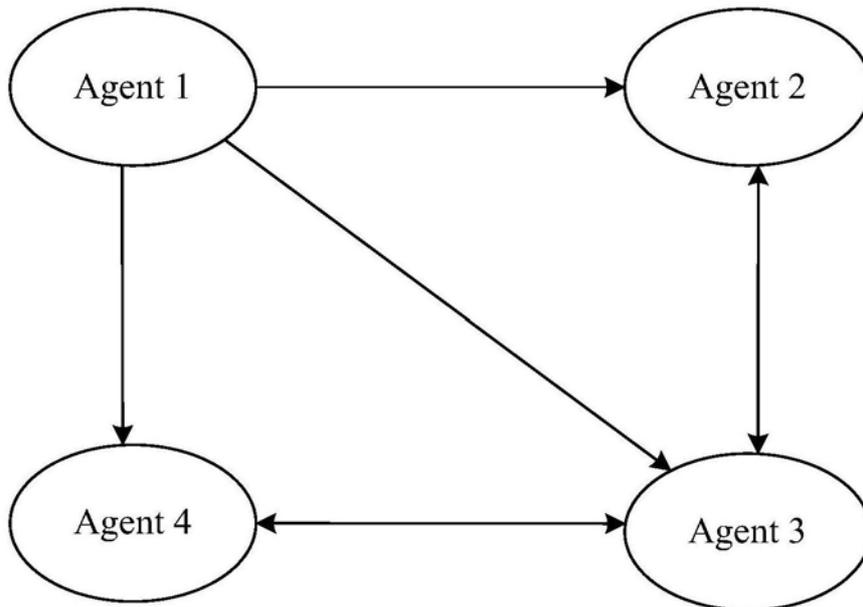


图4

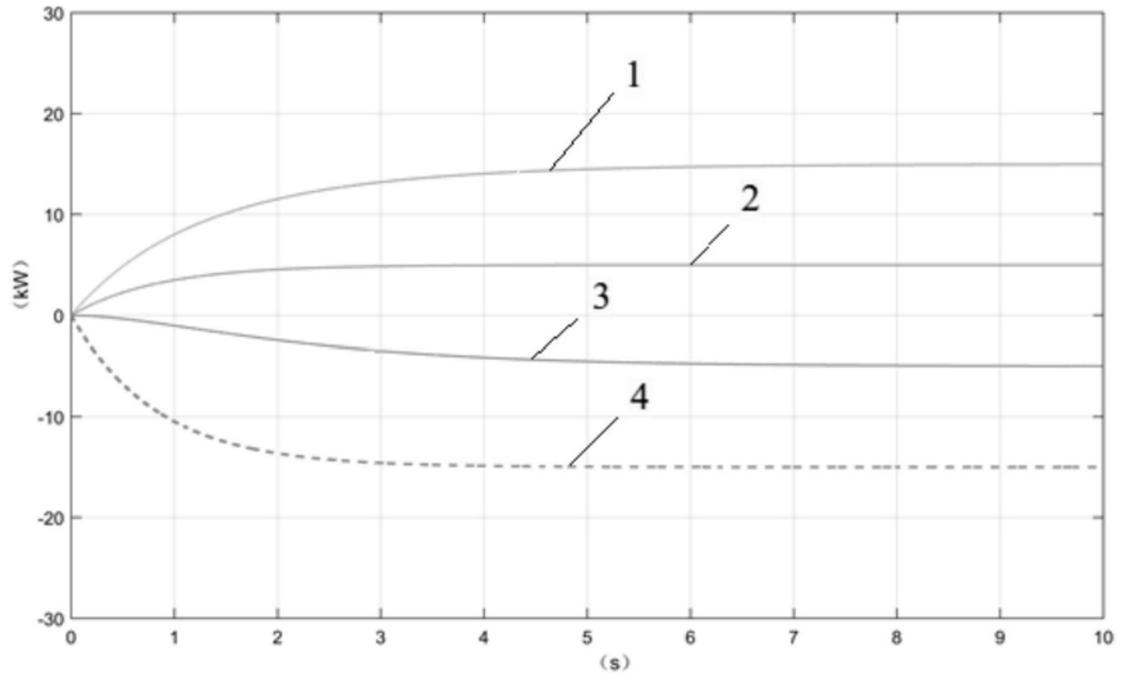


图5

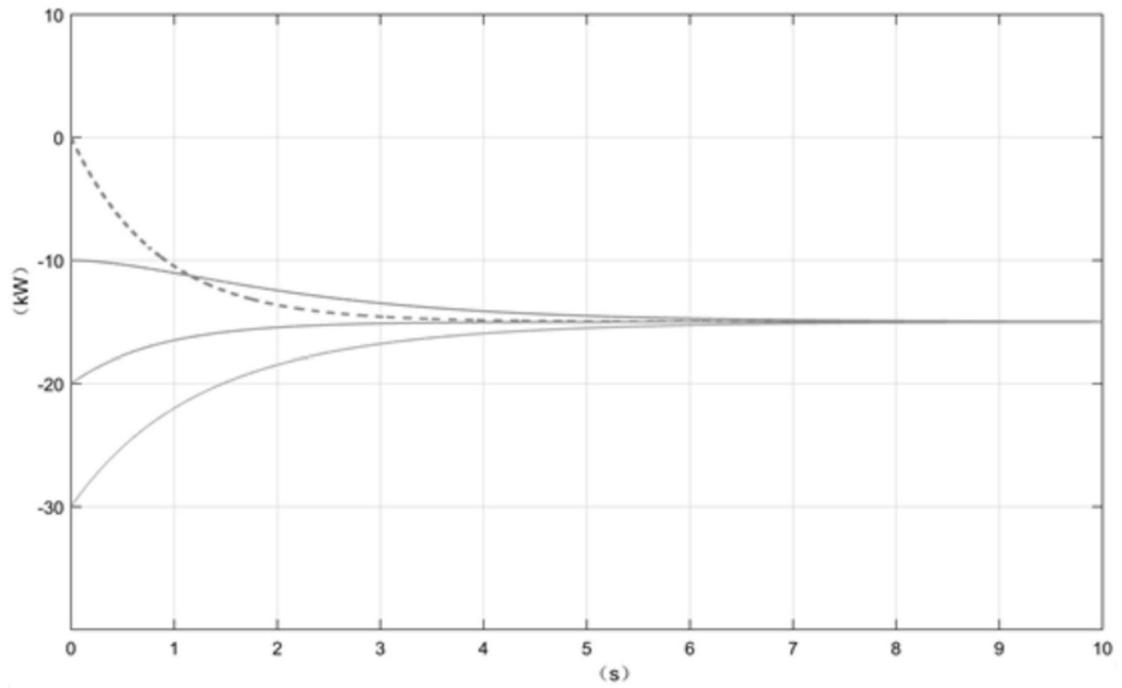


图6

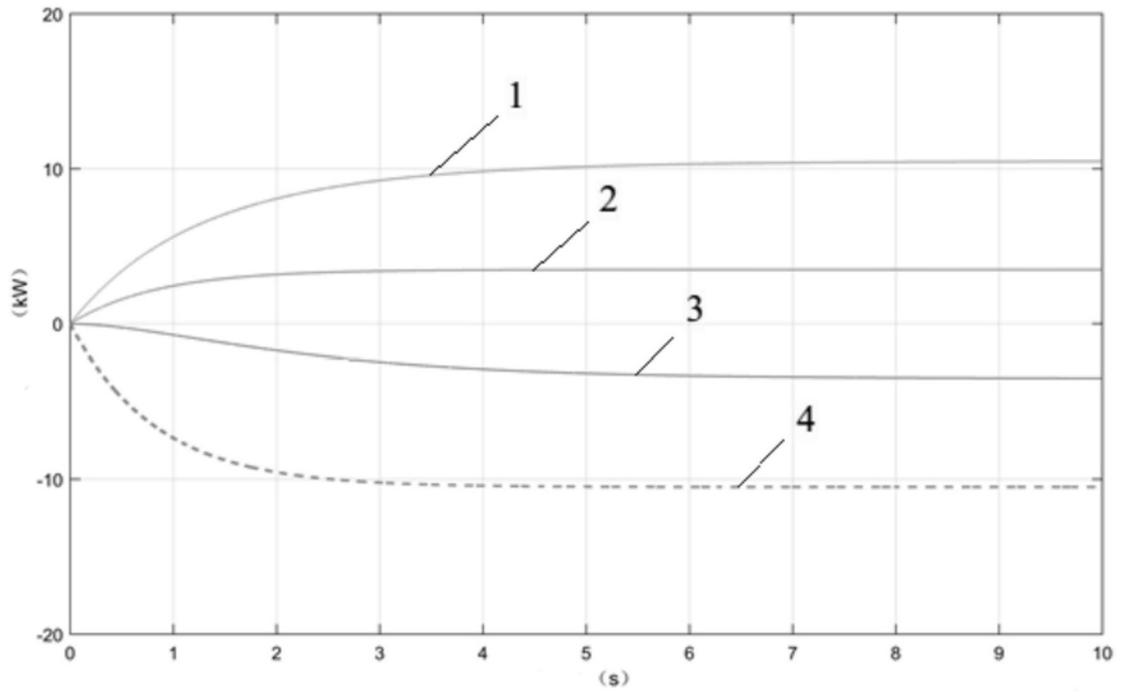


图7

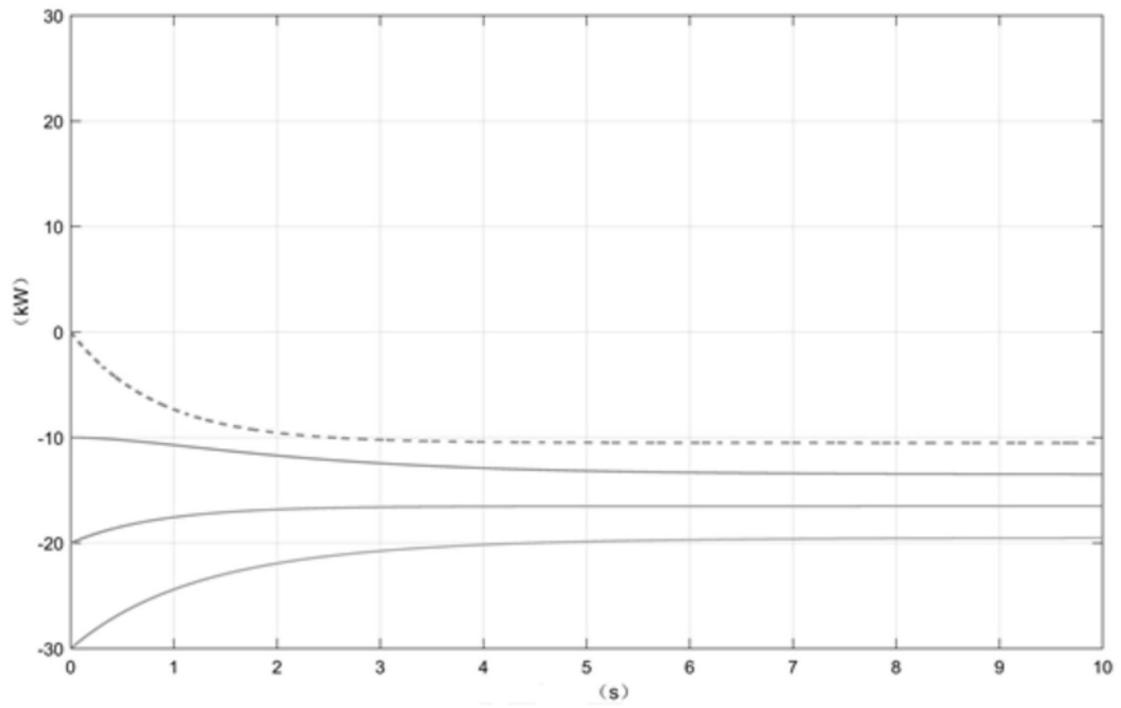


图8

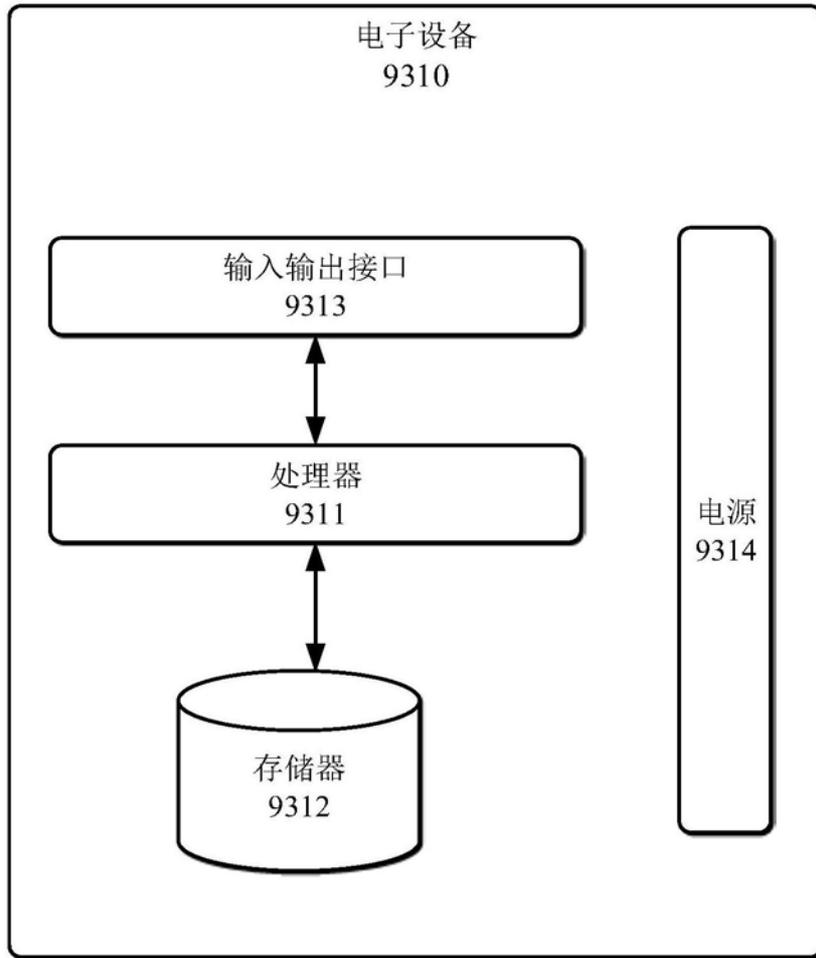


图9