



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110843555 A

(43)申请公布日 2020.02.28

(21)申请号 201911186671.0

(22)申请日 2019.11.28

(71)申请人 福州大学

地址 350108 福建省福州市闽侯县福州大学城乌龙江北大道2号福州大学

(72)发明人 王亚雄 张晨阳 丁阿鑫

(74)专利代理机构 福州元创专利商标代理有限公司 35100

代理人 郭东亮 蔡学俊

(51)Int.Cl.

B60L 50/40(2019.01)

B60L 50/75(2019.01)

H02J 7/34(2006.01)

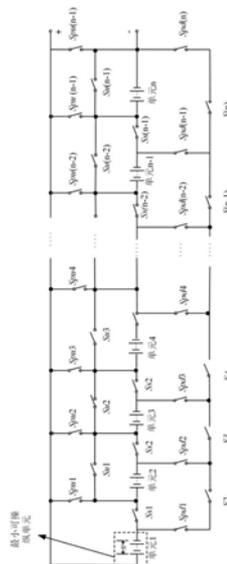
权利要求书2页 说明书8页 附图9页

(54)发明名称

一种车用柔性电-电混合电源系统

(57)摘要

本发明提出一种车用柔性电-电混合电源系统,以柔性辅助电源与主电源组合形成车用混合动力电源;所述柔性辅助电源内置有由多个辅助电源单体相互连接组成的最小可操纵单元;最小可操纵单元之间的连接关系可在串联与并联之间切换;最小可操纵单元间形成n个串联连接和m个并联连接的结构;所述n m为正整数;柔性辅助电源通过更改n m的值,使柔性辅助电源可在高功率放电和快速充电模式之间切换,并维持主电源的工作电压稳定;本发明需求功率所处的功率区间确定主电源的工作点,柔性改变邻近辅助电源内部模组的连接方式并与主电源直接并联,维持主电源在稳定电压下工作,避免采取经传统的直流/直流变换器连接的能量损耗,提高了经济性。



CN 110843555 A

1. 一种车用柔性电-电混合电源系统,其特征在于:所述系统以柔性辅助电源与主电源组合形成车用混合动力电源;所述柔性辅助电源内置有多个由柔性辅助电源单体相互连接组成的最小可操作单元;所述最小可操作单元之间的连接关系可在串联连接与并联连接之间切换;所述最小可操作单元之间形成n个串联连接和m个并联连接;所述n、m为正整数;所述柔性辅助电源通过更改n、m的值,使柔性辅助电源可实现在高功率放电模式和快速充电模式之间切换,并维持主电源的工作电压稳定。

2. 根据权利要求1所述的一种车用柔性电-电混合电源系统,其特征在于:所述车用混合动力电源直接接入直流母线并经直流交流逆变器连接交流负载电机;所述柔性辅助电源与主电源直接并联连接。

3. 根据权利要求1所述的一种车用柔性电-电混合电源系统,其特征在于:所述主电源为燃料电池电源;所述燃料电池电源的组成部分包括但不限于燃料电池电堆、燃料电池空压机、燃料电池氢气循环泵;所述柔性辅助电源内置的最小可操作单元为连接关系可实时变换的最小可操作单元;所述柔性辅助电源单体的类型可为超级电容或蓄电池。

4. 根据权利要求1所述的一种车用柔性电-电混合电源系统,其特征在于:若柔性辅助电源处于高充电电压的快速充电模式时,则增加所述柔性辅助电源最小可操作单元串联连接的数量n并减小并联连接的数量m,以提高柔性辅助电源的端电压,使柔性辅助电源能满足高充电电压需求。

5. 根据权利要求1所述的一种车用柔性电-电混合电源系统,其特征在于:当柔性辅助电源处于低充电电压的快速充电模式或以车辆制动能量回收进行快速充电模式的状态,则所述柔性辅助电源增加并联连接的数量m同时减少串联连接的数量n,以增大柔性辅助电源的电流,提升柔性辅助电源在低电压下的充电速率。

6. 根据权利要求1所述的一种车用柔性电-电混合电源系统,其特征在于:所述主电源为燃料电池电源,当所述柔性辅助电源通过更改n、m的值以维持主电源的工作电压稳定时,其工作方法包括以下步骤:

步骤A1、燃料电池电源根据需求功率的大小,通过计算确定该功率值所处的输出功率区间,并通过该区间的中值功率值计算燃料电池电源的输出电压作为母线参考电压;

步骤A2、改变相邻近的柔性辅助电源模组内最小可操纵单元的串联连接、并联连接数量,使柔性辅助电源模组的端电压值能够柔性切换至与母线参考电压值相近并稳定,以保证燃料电池稳定高效的工作。

7. 根据权利要求6所述的一种车用柔性电-电混合电源系统,其特征在于:所述柔性辅助电源最小可操纵单元的串联数n与并联数m的计算包括以下步骤:

步骤B1、根据汽车的行驶速度工况计算汽车的需求功率:有(公式1)为:

$$P_e = (mgfv + mgv \sin \alpha + \frac{C_D A v^3}{21.15} + \delta m v \frac{dv}{dt}) / \eta \quad (1);$$

其中:m为汽车的质量,f为摩擦系数,v为汽车的行驶速度, $C_D$ 为汽车的空气阻力系数,A为迎风面积, $\eta$ 为汽车的传动效率, $\alpha$ 为坡道倾斜角;

步骤B2、将燃料电池电源的功率划分为R个区间,每个区间的长度为 $P_{\max}/R$ ;  $P_{\max}$ 为燃料电池的最大输出功率,则燃料电池电源的功率区间可分为 $[0, P_{\max}/R]$ ,  $[P_{\max}/R, 2P_{\max}/R]$ ,

$[2P_{\max}/R, 3P_{\max}/R], [3P_{\max}/R, 4P_{\max}/R], \dots, [P_{\max}-P_{\max}/R, P_{\max}]$ ; 该区间的中值功率 $P_i$ 分别为 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_R$ , 如(公式2)所示;

$$P_i = \begin{cases} [0, \frac{P_{\max}}{R}), i = 1 \\ [\frac{P_{\max}}{R}, \frac{2P_{\max}}{R}), i = 2 \\ [\frac{2P_{\max}}{R}, \frac{3P_{\max}}{R}), i = 3 \\ \vdots \\ [\frac{(R-2)P_{\max}}{R}, \frac{(R-1)P_{\max}}{R}), i = R-1 \\ [\frac{(R-1)P_{\max}}{R}, P_{\max}), i = R \end{cases} \quad (2)$$

步骤B3、利用步骤B1中计算的混合电源所需要承担的需求功率,根据步骤B2中的燃料电池电源功率区间判断汽车需求功率大小所处功率区间,并将该区间定义为燃料电池电源的工作区间;

步骤B4、根据步骤B3确定的燃料电池的工作区间,根据(公式2)取燃料电池电源该工作区间的中值功率 $P_i$ ,并利用燃料电池功率-电压曲线,获取燃料电池在该功率 $P_i$ 下的对应电压 $V_{fc}$ ;

步骤B5、根据步骤B4中电压 $V_{fc}$ ,通过取整函数计算柔性辅助电源并联支路数与每个并联支路所需串联的最小可操纵单元数,计算如公式3、公式4所示:

$$n = \lceil \frac{V_{fc}}{V_{aux}} \rceil \quad (3)$$

$$m = \lceil \frac{N}{n} \rceil \quad (4)$$

其中: $N$ 为超级电容模组最小可操纵单元总数; $n$ 为柔性辅助电源每个并联支路串联的最小可操纵单元个数, $m$ 为超级电容模组最小可操纵单元的并联支路数, $V_{aux}$ 为柔性辅助电源最小可操作单元电压, $\lceil \rceil$ 为取整函数。

8. 根据权利要求7所述的一种车用柔性电-电混合电源系统,其特征在于:柔性辅助电源通过步骤B1至步骤B5,根据实际功率需求设计柔性辅助电源串并联数 $m$ 、 $n$ ,实时切换辅助电源的内部最小可操纵单元连接方式,实现对柔性辅助电源模组端电压的调整,稳定直流母线电压,吸收波动功率,使燃料电池电压在工作区间中保持稳定。

9. 根据权利要求8所述的一种车用柔性电-电混合电源系统,其特征在于:所述柔性辅助电源内,各柔性辅助电源之间的连接电路中,负责切换串联、并联状态的开关均由两个反向IGBT串联而成,以实现高控制电位导通,低控制电位截止。

## 一种车用柔性电-电混合电源系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电源技术领域,尤其是一种车用柔性电-电混合电源系统。

### 背景技术

[0002] 随着全球经济的快速发展,能源短缺、环境污染、气候变暖等全球性问题日益凸显。其中,在汽车行业,开发燃料消耗量低、废气排放少的汽车已经成为全世界汽车行业的重要发展目标。

[0003] 为积极响应国家的节能减排政策,发展新能源汽车已成为共识,以减少内燃机汽车面临的环境污染和资源短缺等问题。在新能源汽车发展过程中,其中混合动力电动汽车的发展更是目前发展的主流趋势之一。原因在于,一方面,混合动力电动汽车不仅能够减少废弃物的排放,减小传统内燃机对环境的污染,同时减少对化石能源的依赖;另一方面,混合动力电动汽车有效避免了纯电动汽车续航里程不足的弊端。因此,混合动力汽车在汽车发展过程中,担当着承先启后的作用,是新能源汽车发展的重点方向之一。

[0004] 近来,电-电混合动力系统因其节能高效、结构简单,也获得了越来越多关注。为使电-电混合动力汽车能够更好的满足工况需求、经济性和动力性,不同的电-电混合动力构型与控制方法已成为研究重点。当前汽车混合动力系统的拓扑结构一般为主供能电源与直流/直流变换器相连接、辅助动力源经双向直流/直流变换器与母线相连进行联合供电。该类结构将主电源与辅助电源通过直流/直流变换器进行隔离,不仅可以有效消除主电源与辅助电源输出电压不一致的问题,同时还能够保证主电源与辅助电源进行单独供电控制,对于电源的控制更加精准。但是电-电混合动力系统目前也存在一些问题,一方面,电-电混合动力系统由于需要对直流/直流变换器进行准确控制,故需要设计复杂控制器,使系统的计算量大幅增加;另一方面,由于直流变换器自身的功率损耗,会降低系统的能量利用率。如果能够通过改变混合动力系统的结构,减少直流/直流变换器的使用,精简系统结构的同时提高系统效率,对整车性能提升具有重要意义。

### 发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明提出一种车用柔性电-电混合电源系统,可根据混合动力汽车的行驶工况,确定汽车需求功率,并根据需求功率所处的功率区间确定燃料电池的工作点,进一步通过邻近最小可操纵单元的串并联连接方式改变辅助电源模组以获取柔性的工作方式,并将主电源与柔性辅助电源模组直接与母线相连接,避免采取经传统的直流/直流变换器,减少了能量的损耗,提高了经济性。

[0006] 本发明采用以下技术方案。

[0007] 一种车用柔性电-电混合电源系统,所述系统以柔性辅助电源与主电源组合形成车用混合动力电源;所述柔性辅助电源内置有多个由柔性辅助电源单体相互连接组成的最小可操作单元;所述最小可操作单元之间的连接关系可在串联连接与并联连接之间切换;所述最小可操作单元之间形成 $n$ 个串联连接和 $m$ 个并联连接;所述 $n$ 、 $m$ 为正整数;所述柔性辅

助电源通过更改n、m的值,使柔性辅助电源可实现在高功率放电模式和快速充电模式之间切换,并维持主电源的工作电压稳定。

[0008] 所述车用混合动力电源直接接入直流母线并经直流交流逆变器连接交流负载电机;所述柔性辅助电源与主电源直接并联连接。

[0009] 所述主电源为燃料电池电源;所述燃料电池电源的组成部分包括但不限于燃料电池电堆、燃料电池空压机、燃料电池氢气循环泵;所述柔性辅助电源内置的最小可操作单元为连接关系可实时变换的最小可操作单元;所述柔性辅助电源单体的类型可为超级电容或蓄电池。

[0010] 若柔性辅助电源处于高充电电压的快速充电模式时,则增加所述柔性辅助电源最小可操作单元串联连接的数量n并减小并联连接的数量m,以提高柔性辅助电源的端电压,使柔性辅助电源能满足高充电电压需求。

[0011] 当柔性辅助电源处于低充电电压的快速充电模式或以车辆制动能量回收进行快速充电模式的状态,则所述柔性辅助电源增加并联连接的数量m同时减少串联连接的数量n,以增大柔性辅助电源的电流,提升柔性辅助电源在低电压下的充电速率。

[0012] 所述主电源为燃料电池电源,当所述柔性辅助电源通过更改n、m的值以维持主电源的工作电压稳定时,其工作方法包括以下步骤;

[0013] 步骤A1、燃料电池电源根据需求功率的大小,通过计算确定该功率值所处的输出功率区间,并通过该区间的中值功率值计算燃料电池电源的输出电压作为母线参考电压;

[0014] 步骤A2、改变相邻近的的柔性辅助电源模组内最小可操纵单元的串联连接、并联连接数量,使柔性辅助电源模组的端电压值能够柔性切换至与母线参考电压值相近并稳定,以保证燃料电池稳定高效的工作。

[0015] 根据步骤A1、A2,则所述柔性辅助电源最小可操纵单元的串联数n与并联数m的计算包括以下步骤:

[0016] 步骤B1、根据汽车的行驶速度工况计算汽车的需求功率:

$$[0017] \quad P_e = (Mgfv + Mgv\sin\alpha + \frac{C_D Av^3}{21.15} + \delta mv \frac{dv}{dt}) / \eta \quad (1);$$

[0018] 其中:m为汽车的质量,f为摩擦系数,v为汽车的行驶速度,C<sub>D</sub>为汽车的空气阻力系数,A为迎风面积,η为汽车的传动效率,α为坡道倾斜角;

[0019] 步骤B2、将燃料电池电源的功率划分为R个区间,每个区间的长度为P<sub>max</sub>/R;P<sub>max</sub>为燃料电池的最大输出功率,则燃料电池电源的功率区间可分为[0, P<sub>max</sub>/R], [P<sub>max</sub>/R, 2P<sub>max</sub>/R], [2P<sub>max</sub>/R, 3P<sub>max</sub>/R], [3P<sub>max</sub>/R, 4P<sub>max</sub>/R], …… , [P<sub>max</sub>-P<sub>max</sub>/R, P<sub>max</sub>];该区间的中值功率P<sub>i</sub>分别为P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> …… P<sub>R</sub>, 如(公式2)所示;

$$[0020] \quad P_i = \begin{cases} [0, \frac{P_{max}}{R}], i = 1 \\ [\frac{P_{max}}{R}, \frac{2P_{max}}{R}], i = 2 \\ [\frac{2P_{max}}{R}, \frac{3P_{max}}{R}], i = 3 \\ \vdots \\ [\frac{(R-2)P_{max}}{R}, \frac{(R-1)P_{max}}{R}], i = R-1 \\ [\frac{(R-1)P_{max}}{R}, P_{max}], i = R \end{cases} \quad (2);$$

[0021] 步骤B3、利用步骤B1中计算的混合电源所需要承担的需求功率,根据步骤B2中的燃料电池电源功率区间判断汽车需求功率大小所处功率区间,并将该区间定义为燃料电池电源的工作区间;

[0022] 步骤B4、根据步骤B3确定的燃料电池的工作区间,根据(公式2)取燃料电池电源该工作区间的中值功率 $P_i$ ,并利用燃料电池功率-电压曲线,获取燃料电池在该功率 $P_i$ 下的对应电压 $V_{fc}$ ;

[0023] 步骤B5、根据步骤B4中电压 $V_{fc}$ ,通过取整函数计算柔性辅助电源并联支路数与每个并联支路所需串联的最小可操纵单元数,计算如公式3、公式4所示:

$$[0024] \quad n = \lceil \frac{V_{fc}}{V_{aux}} \rceil \quad (公式 3)$$

$$[0025] \quad m = \lceil \frac{N}{n} \rceil \quad (公式 4)$$

[0026] 其中: $N$ 为超级电容模组最小可操纵单元总数; $n$ 为柔性辅助电源每个并联支路串联的最小可操纵单元个数, $m$ 为超级电容模组最小可操纵单元的并联支路数, $V_{aux}$ 为柔性辅助电源最小可操作单元电压, $\lceil \rceil$ 为取整函数。

[0027] 柔性辅助电源通过步骤B1至步骤B5,根据实际功率需求设计柔性辅助电源串并联数 $m$ 、 $n$ ,实时切换辅助电源的内部最小可操纵单元连接方式,实现对柔性辅助电源模组端电压的调整,稳定直流母线电压,吸收波动功率,使燃料电池电压在工作区间中保持稳定。

[0028] 所述柔性辅助电源内,各柔性辅助电源之间的连接电路中,负责切换串联、并联状态的开关均由两个反向IGBT串联而成,以实现高控制电位导通,低控制电位截止。

[0029] 本发明的优点在于:

[0030] 1、摒弃传统通过经直流直流变换器将辅助电源、主电源与母线相连,简化了电源结构,减少了直流直流变换器的功率损失。

[0031] 2、采用任意相邻近辅助电源结构可变的新型结构,缓和了负载功率波动,保证主电源在理想工作电压下稳定工作。

[0032] 3、采用任意相邻近辅助电源结构可变的新型结构,有效的提高辅助电源的充电速率,同时避免辅助电源被高充电电压击穿。

## 附图说明

- [0033] 下面结合附图和具体实施方式对本发明进一步详细的说明：
- [0034] 附图1是本发明的系统结构示意图；
- [0035] 附图2是柔性辅助电源的连接结构示意图；
- [0036] 附图3是柔性辅助电源局部并联结构示意图
- [0037] 附图4是柔性辅助电源内最小可操作单元全部串联时的示意图；
- [0038] 附图5是柔性辅助电源内最小可操作单元全部并联时的示意图；
- [0039] 附图6是柔性辅助电源的仿真模型总体结构示意图；
- [0040] 附图7是柔性电-电混合电源系统燃料电池电源输出功率示意图；
- [0041] 附图8是燃料电池电源独立供电系统输出功率示意图；
- [0042] 附图9是燃料电池电源独立供电系统独立输出电压示意图；
- [0043] 附图10是柔性电-电混合电源系统燃料电池电源输出电压示意图；
- [0044] 附图11是柔性电-电混合电源系统的变结构超级电容模组输出功率示意图。

## 具体实施方式

[0045] 如图1-11所示,一种车用柔性电-电混合电源系统,所述系统以柔性辅助电源与主电源组合形成车用混合动力电源;所述柔性辅助电源内置有多个由柔性辅助电源单体相互连接组成的最小可操作单元;所述最小可操作单元之间的连接关系可在串联连接与并联连接之间切换;所述最小可操作单元之间形成 $n$ 个串联连接和 $m$ 个并联连接;所述 $n$ 、 $m$ 为正整数;所述柔性辅助电源通过更改 $n$ 、 $m$ 的值,使柔性辅助电源可实现在高功率放电模式和快速充电模式之间切换,并维持主电源的工作电压稳定。

[0046] 所述车用混合动力电源直接接入直流母线并经直流交流逆变器连接交流负载电机;所述柔性辅助电源与主电源直接并联连接。

[0047] 所述主电源为燃料电池电源;所述燃料电池电源的组成部分包括但不限于燃料电池电堆、燃料电池空压机、燃料电池氢气循环泵;所述柔性辅助电源内置的最小可操作单元为连接关系可实时变换的最小可操作单元;所述柔性辅助电源单体的类型可为超级电容或蓄电池。

[0048] 若柔性辅助电源处于高充电电压的快速充电模式时,则增加所述柔性辅助电源最小可操作单元串联连接的数量 $n$ 并减小并联连接的数量 $m$ ,以提高柔性辅助电源的端电压,使柔性辅助电源能满足高充电电压需求。

[0049] 当柔性辅助电源处于低充电电压的快速充电模式或以车辆制动能量回收进行快速充电模式的状态,则所述柔性辅助电源增加并联连接的数量 $m$ 同时减少串联连接的数量 $n$ ,以增大柔性辅助电源的电流,提升柔性辅助电源在低电压下的充电速率。

[0050] 所述主电源为燃料电池电源,当所述柔性辅助电源通过更改 $n$ 、 $m$ 的值以维持主电源的工作电压稳定时,其工作方法包括以下步骤;

[0051] 步骤A1、燃料电池电源根据需求功率的大小,通过计算确定该功率值所处的输出功率区间,并通过该区间的中值功率值计算燃料电池电源的输出电压作为母线参考电压;

[0052] 步骤A2、改变相邻近的的柔性辅助电源模组内最小可操纵单元的串联连接、并联

连接数量,使柔性辅助电源模组的端电压值能够柔性切换至与母线参考电压值相近并稳定,以保证燃料电池稳定高效的工作。

[0053] 根据步骤A1、A2,则所述柔性辅助电源最小可操纵单元的串联数 $n$ 与并联数 $m$ 的计算包括以下步骤:

[0054] 步骤B1、根据汽车的行驶速度工况计算汽车的需求功率:

$$[0055] \quad P_e = (mgfv + mgv \sin \alpha + \frac{C_D A v^3}{21.15} + \delta m v \frac{dv}{dt}) / \eta \quad (1);$$

[0056] 其中: $m$ 为汽车的质量, $f$ 为摩擦系数, $v$ 为汽车的行驶速度, $C_D$ 为汽车的空气阻力系数, $A$ 为迎风面积, $\eta$ 为汽车的传动效率, $\alpha$ 为坡道倾斜角;

[0057] 步骤B2、将燃料电池电源的功率划分为 $R$ 个区间,每个区间的长度为 $P_{max}/R$ ;  $P_{max}$ 为燃料电池的最大输出功率,则燃料电池电源的功率区间可分为 $[0, P_{max}/R]$ ,  $[P_{max}/R, 2P_{max}/R]$ ,  $[2P_{max}/R, 3P_{max}/R]$ ,  $[3P_{max}/R, 4P_{max}/R]$ ,  $\dots$ ,  $[P_{max}-P_{max}/R, P_{max}]$ ; 该区间的中值功率 $P_i$ 分别为 $P_1, P_2, P_3 \dots P_R$ , 如(公式2)所示:

$$[0058] \quad P_i = \begin{cases} [0, \frac{P_{max}}{R}], i = 1 \\ [\frac{P_{max}}{R}, \frac{2P_{max}}{R}], i = 2 \\ [\frac{2P_{max}}{R}, \frac{3P_{max}}{R}], i = 3 \\ \vdots \\ [\frac{(R-2)P_{max}}{R}, \frac{(R-1)P_{max}}{R}], i = R-1 \\ [\frac{(R-1)P_{max}}{R}, P_{max}], i = R \end{cases} \quad (2);$$

[0059] 步骤B3、利用步骤B1中计算的混合电源所需要承担的需求功率,根据步骤B2中的燃料电池电源功率区间判断汽车需求功率大小所处功率区间,并将该区间定义为燃料电池电源的工作区间;

[0060] 步骤B4、根据步骤B3确定的燃料电池的工作区间,根据(公式2)取燃料电池电源该工作区间的中值功率 $P_i$ ,并利用燃料电池功率-电压曲线,获取燃料电池在该功率 $P_i$ 下的对应电压 $V_{fc}$ ;

[0061] 步骤B5、根据步骤B4中电压 $V_{fc}$ ,通过取整函数计算柔性辅助电源并联支路数与每个并联支路所需串联的最小可操纵单元数,计算如公式3、公式4所示:

$$[0062] \quad n = \lceil \frac{V_{fc}}{V_{aux}} \rceil \quad (公式 3)$$

$$[0063] \quad m = \lceil \frac{N}{n} \rceil \quad (公式 4)$$

[0064] 其中: $N$ 为超级电容模组最小可操纵单元总数; $n$ 为柔性辅助电源每个并联支路串联的最小可操纵单元个数, $m$ 为超级电容模组最小可操纵单元的并联支路数, $V_{aux}$ 为柔性辅助电源最小可操作单元电压, $\lceil \rceil$ 为取整函数。

[0065] 本具体实施方式中,选择变结构超级电容作为柔性辅助电源进行实例说明。则所

述柔性辅助电源由变结构超级电容模组组成;所述变结构超级电容模组内的任意相邻近最小可操作单元间的串联结构、并联结构可柔性切换;变结构超级电容模组即柔性辅助电源通过步骤B1至步骤B5,根据实际功率需求设计柔性辅助电源串并联数 $m$ 、 $n$ ,实时切换辅助电源的内部最小可操纵单元连接方式,实现对柔性辅助电源模组端电压的调整,稳定直流母线电压,吸收波动功率,使燃料电池电压在工作区间中保持稳定。

[0066] 所述柔性辅助电源内,各柔性辅助电源之间的连接电路中,负责切换串联、并联状态的开关均由两个反向IGBT串联而成,以实现高控制电位导通,低控制电位截止。

[0067] 实施例1:

[0068] 本例中,本系统拓扑结构为柔性辅助电源直接与主电源相并联,并经直流交流逆变器与交流负载电机相连,其主电源采用燃料电池电源,柔性辅助电源采用变结构超级电容作为实例进行说明,该电-电混合动力系统结构如图1所示;所述变结构超级电容不经过直流变换器直接与直流母线相连;该结构的特点在于:如图2所示,由一定数量 $x$ 的超级电容单体按照某种串并联的方式形成超级电容最小可操作单元(单个超级电容模组),通过控制开关的闭合与断开,形成任意相邻近最小可操作单元间串并联结构柔性可变的变结构超级电容模组。

[0069] 所述变结构超级电容模组可根据混合动力汽车的工作状态,计算需求功率以及该功率下燃料电池电源的电压,根据燃料电池电源电压所处的电压区间,进一步确定变结构超级电容模组两端的参考电压(即母线参考电压),通过实时切换变结构超级电容模组的若干相邻近的最小可操纵单元间的连接方式,使变结构超级电容模组端电压柔性切换到母线参考电压,维持燃料电池电源在母线参考电压下工作,并补偿功率的波动,从而保障燃料电池电源在工作时电压保持稳定,不受功率波动的影响。当超级电容进行能量回收或进行充电时,合理的切换变结构超级电容模组相邻近最小可操纵单元间的开关的导通与断开,具体的,在低压充电时,减少变结构超级电容模组的串联个数,降低超级电容的端电压,提高超级电容的充电电流和充电功率;同时,在高压充电时,增加变结构超级电容模组的串联个数,提高超级电容模组的端电压,保证超级电容较快的充电同时不被过高电压击穿。

[0070] 变结构超级电容模组内各超级电容的整体连接方式如图2所示,其中当开关中的 $S_{s1}$ 、 $S_{s2}$ 、 $S_{s3}$ …… $S_{s(n)}$ 与 $S_{pu1}$ 、 $S_{pu2}$ 、 $S_{pu3}$ …… $S_{pu(n)}$ 全部闭合,其他开关断开时即为图5模式,则所有超级电容将处于完全并联的状态,此状态结构下适用的工况为变结构超级电容模组低压充电或是制动能量回收,能够保证即使是低能量回收电压或是低充电电压也能够对超级电容进行快速充电。

[0071] 图2所示的超级电容总体结构中,若 $S_{s1}$ 、 $S_{s1}$ 、 $S_{s1}$ …… $S_{s1(n)}$ 开关全部闭合,其他开关断开即为图4模式,则所有变结构超级电容模组的各个最小可操纵单元将处于全部串联的状态,此结构主要应用于燃料电池处于高电压工作区间,变结构超级电容模组因内部串联结构能输出较高的电压,此时超级电容用来维持稳定的高母线电压。

[0072] 在图2所示的超级电容总体结构中,若有局部相邻近的两个或多个超级电容进行并联时,如图3所示,此结构可根据超级电容模组并联的个数来柔性改变超级电容模组的端电压,例如: $S_{s1}$ 、 $S_{u1}$ 、 $S_{pd2}$ 、 $S_{pd3}$ 、 $S_2$ …… $S(n)$ 闭合,其他开关断开时,图中的超级电容2、3并联并与其他超级电容进行串联,适用于汽车负载功率改变的动态工况。

[0073] 实施例2:

[0074] 在实施例1中,适用于汽车负载功率改变的动态工况的串联并联个数设计的具体方法如下:

[0075] (a) 根据汽车的行驶速度工况计算汽车的需求功率:

$$[0076] \quad P_e = (mgfv + mgv\sin\alpha + \frac{C_D Av^3}{21.15} + \delta mv \frac{dv}{dt}) / \eta \quad (1)$$

[0077] 其中:m为汽车的质量,f为摩擦系数,v为汽车的行驶速度, $C_D$ 为汽车的空气阻力系数,A为迎风面积, $\eta$ 为汽车的传动效率, $\alpha$ 为坡道倾斜角

[0078] (b) 将燃料电池的功率划分为R个区间,每个区间的长度为 $P_{max}/R$  ( $P_{max}$ 为燃料电池的最大输出功率),则燃料电池电源的功率区间可分为 $[0, P_{max}/R]$ ,  $[P_{max}/R, 2P_{max}/R]$ ,  $[2P_{max}/R, 3P_{max}/R]$ ,  $[3P_{max}/R, 4P_{max}/R]$ ,  $\dots$ ,  $[P_{max}-P_{max}/R, P_{max}]$ ;该区间的中值功率 $P_i$ 分别为 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_R$ ,如(公式2)。

$$[0079] \quad P_i = \begin{cases} [0, \frac{P_{max}}{R}], i = 1 \\ [\frac{P_{max}}{R}, \frac{2P_{max}}{R}], i = 2 \\ [\frac{2P_{max}}{R}, \frac{3P_{max}}{R}], i = 3 \\ \vdots \\ [\frac{(R-2)P_{max}}{R}, \frac{(R-1)P_{max}}{R}], i = R-1 \\ [\frac{(R-1)P_{max}}{R}, P_{max}], i = R \end{cases} \quad (公式 2)$$

[0080] (c) 利用(a)中计算的混合电源所需要承担的需求功率,根据(b)中的燃料电池功率区间判断汽车需求功率大小所处功率区间,并将该区间定义为燃料电池的工作区间。

[0081] (d) 根据(c)确定的燃料电池的工作区间,根据(2)取燃料电池该工作区间的中值功率 $P_i$ ,并利用燃料电池功率-电压曲线,获取燃料电池在该功率 $P_i$ 下的对应电压 $V_{fc}$ 。

[0082] (e) 根据(d)中电压 $V_{fc}$ ,通过取整函数进而计算所需串并联超级电容模组最小可操纵单元数,计算如下:

$$[0083] \quad n = \lceil \frac{V_{fc}}{V_{sc}} \rceil \quad (3)$$

$$[0084] \quad m = \lceil \frac{N}{n} \rceil \quad (4)$$

[0085] 其中:N为超级电容模组最小可操纵单元总数;n为超级电容模组每个并联支路串联的最小可操纵单元个数;m为超级电容模组最小可操纵单元的并联支路数, $V_{sc}$ 为最小可操作单元超级电容电压, $\lceil \cdot \rceil$ 为取整函数。通过(a)-(e)可以实现变结构超级电容模组端电压根据实际功率需求进行若干相邻近最小可操纵单元连接方式的切换,变结构超级电容模组作用于稳定燃料电池电压,吸收波动功率,使燃料电池电压在工作区间中保持稳定。

[0086] 实施例3:

[0087] 上述的实施例1、实施例2,可通过计算机仿真平台上进行仿真验证,其具体方法如下:

[0088] 首先,根据图2建立超级电容间的物理连接结构的仿真模型,其中每个开关均由两个反向IGBT串联,从而实现高控制电位导通,低控制电位截止。

[0089] 其次,建立燃料电池电源的仿真模型,并将超级电容仿真模型与燃料电池电源模型进行并联,并建立相应的负载模型。其次,设计控制开关的控制策略,通过控制IGBT开关的导通与截止进而控制超级电容模组的连接结构;为与燃料电池电源独立供电控制效果进行对比,建立燃料电池电源独立供电的对照组。其仿真整体结构如图6所示。

[0090] 在给定功率工况下,针对一种车用柔性电-电混合电源系统和燃料电池电源供能进行对比仿真,仿真结果如图(7)、(8)、(9)、(10)、(11)所示,由图(9)、(10)对比可知采用柔性可变的超级电容模组结构和不采用柔性可变的超级电容模组结构对比,柔性可变的超级电容模组结构能够明显稳定燃料电池的工作电压。

[0091] 由图(7)、(8)对比可知,采用柔性可变的超级电容模组结构和不采用柔性可变的超级电容模组结构对比,柔性可变的超级电容结构能够明显稳定燃料电池的输出功率,缓和功率波动,并且从图(11)可知,柔性可变的超级电容起到了积极吸收功率冲击和进行能量回收。

[0092] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,凡依本发明申请专利范围所做的均等变化与修饰,皆应属本发明的涵盖范围。

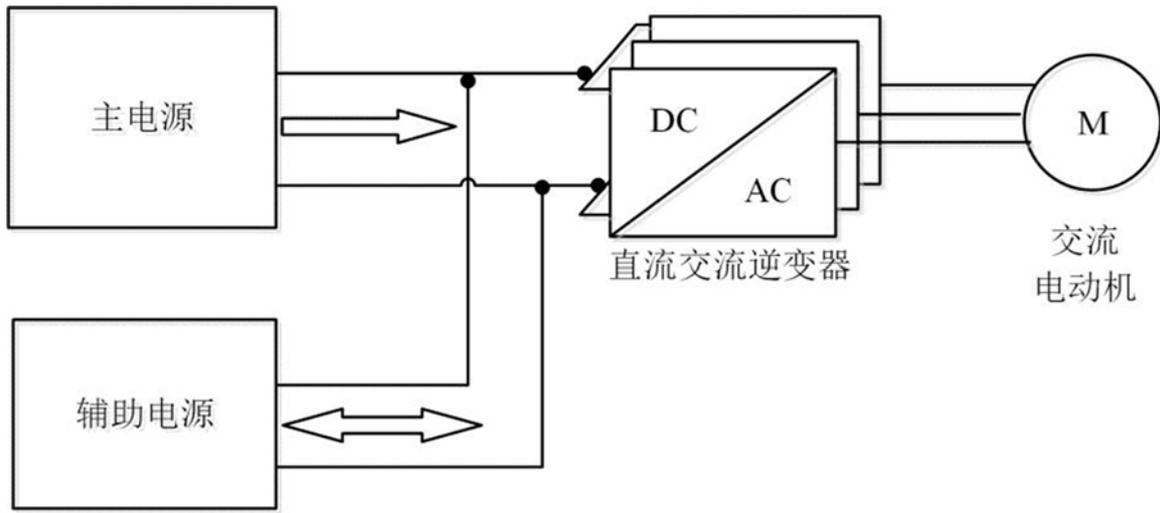


图1

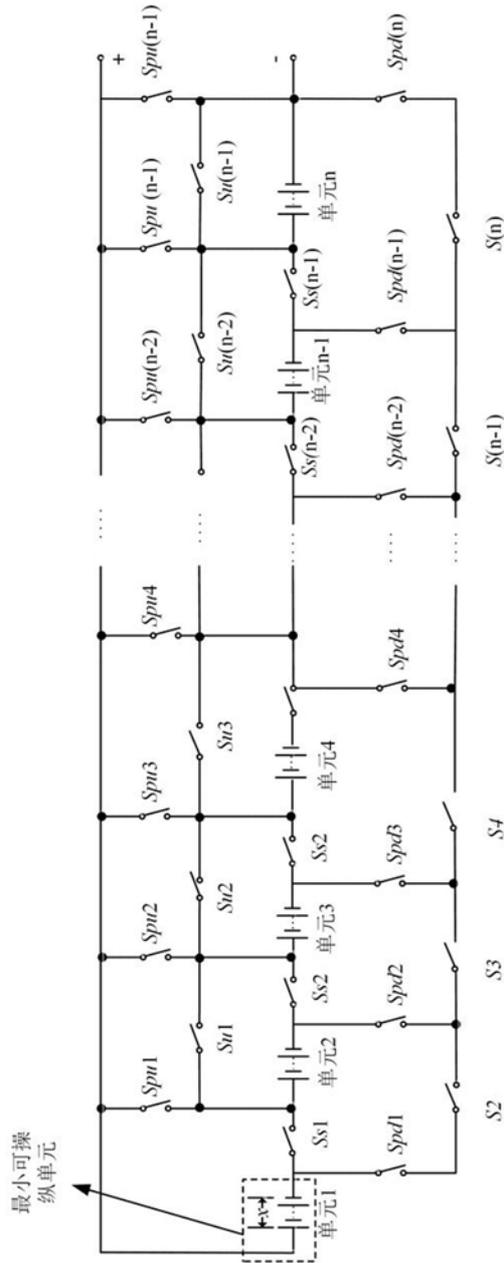


图2

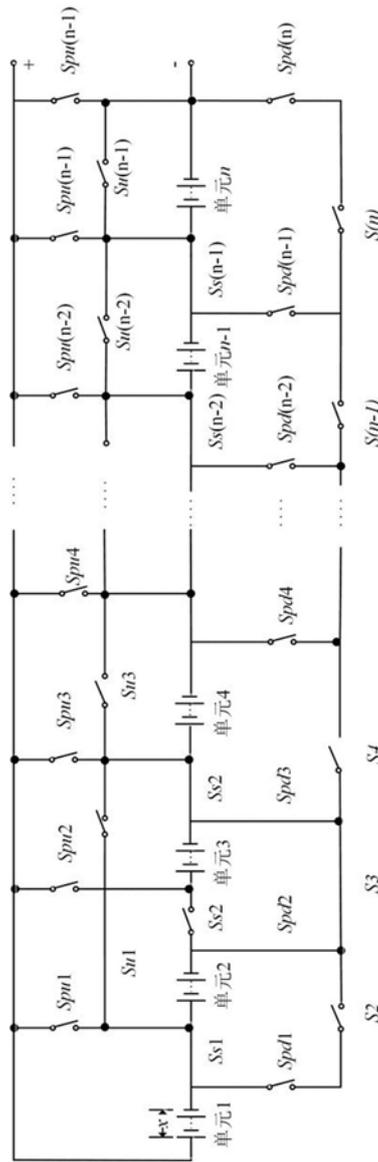


图3

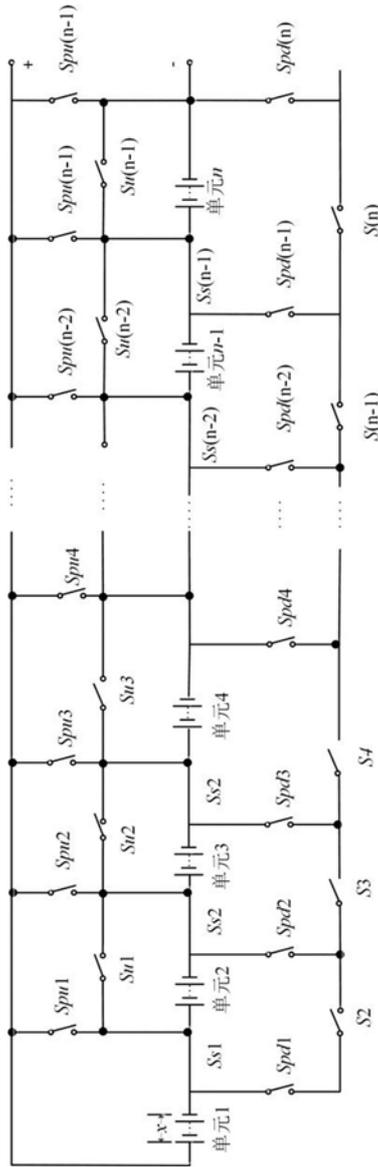


图4

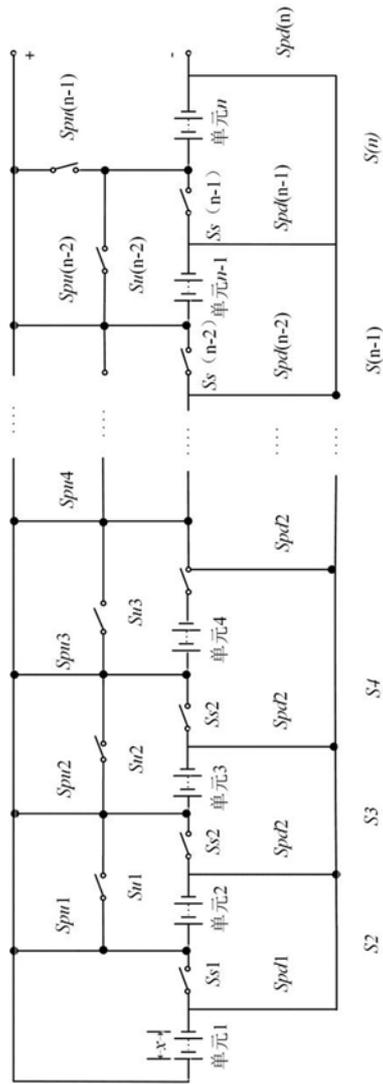


图5

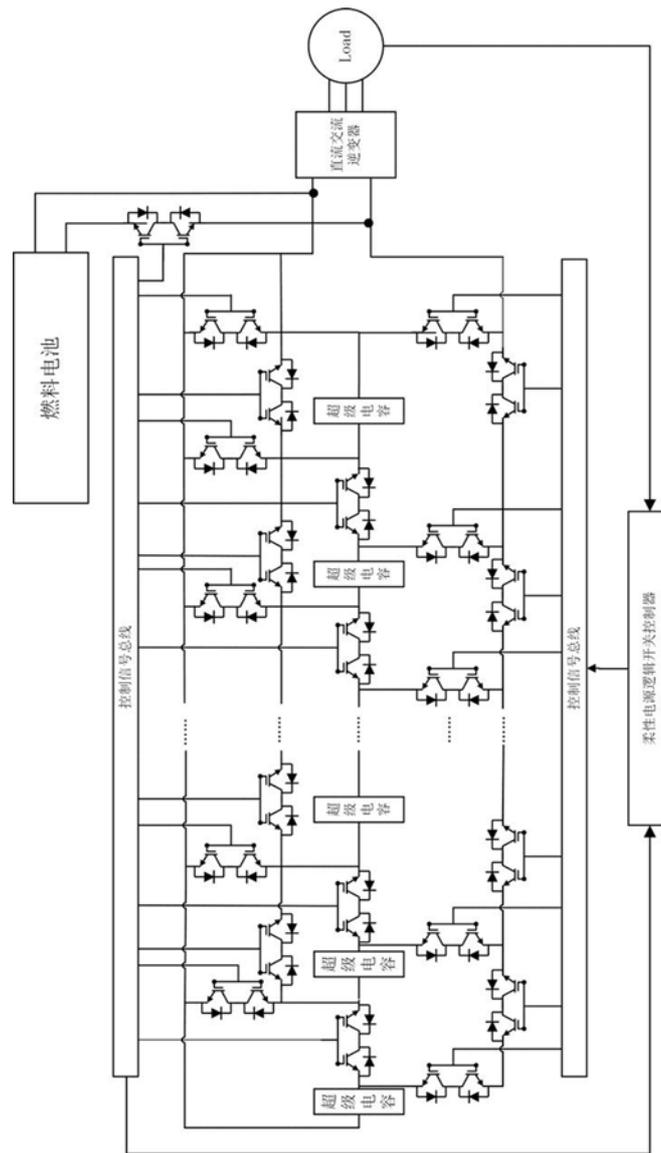


图6

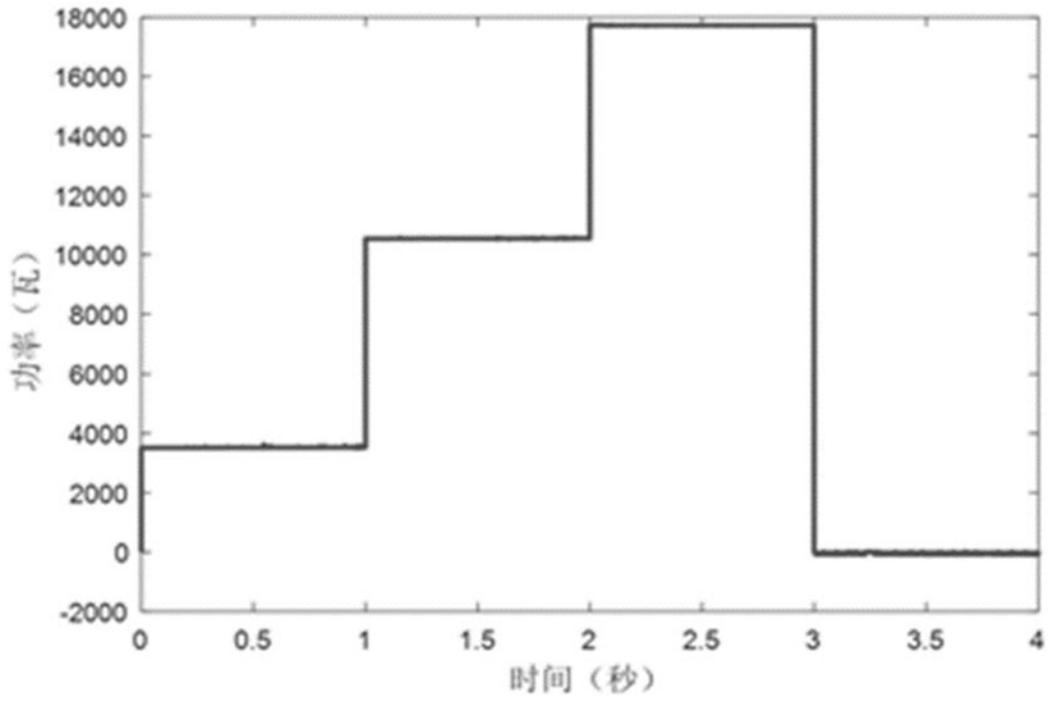


图7

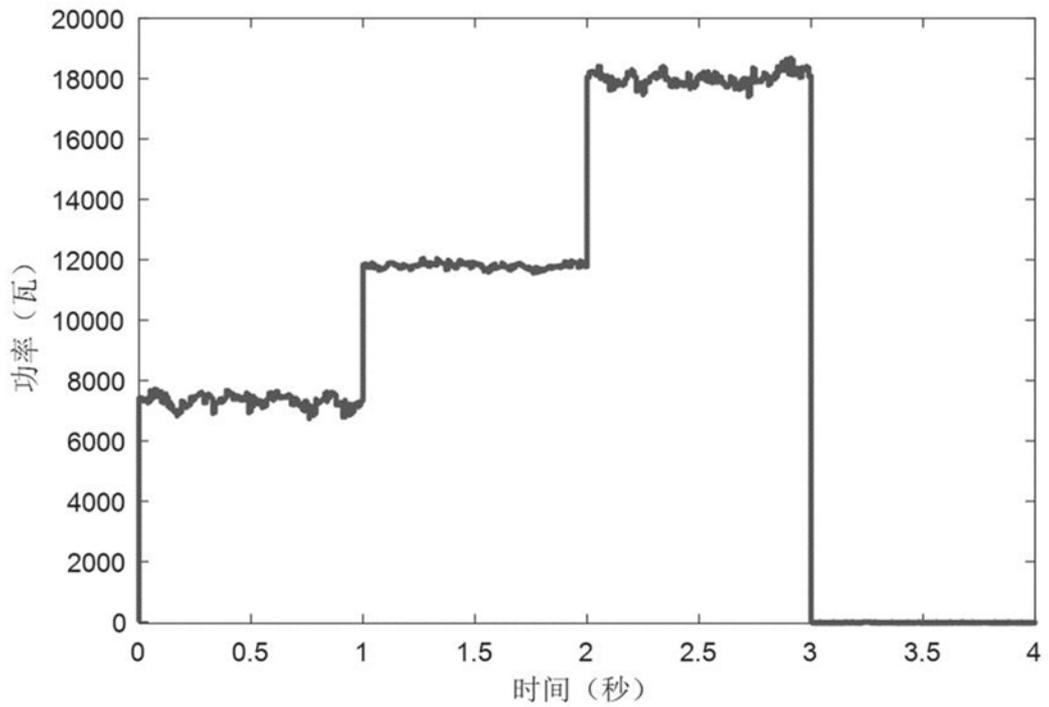


图8

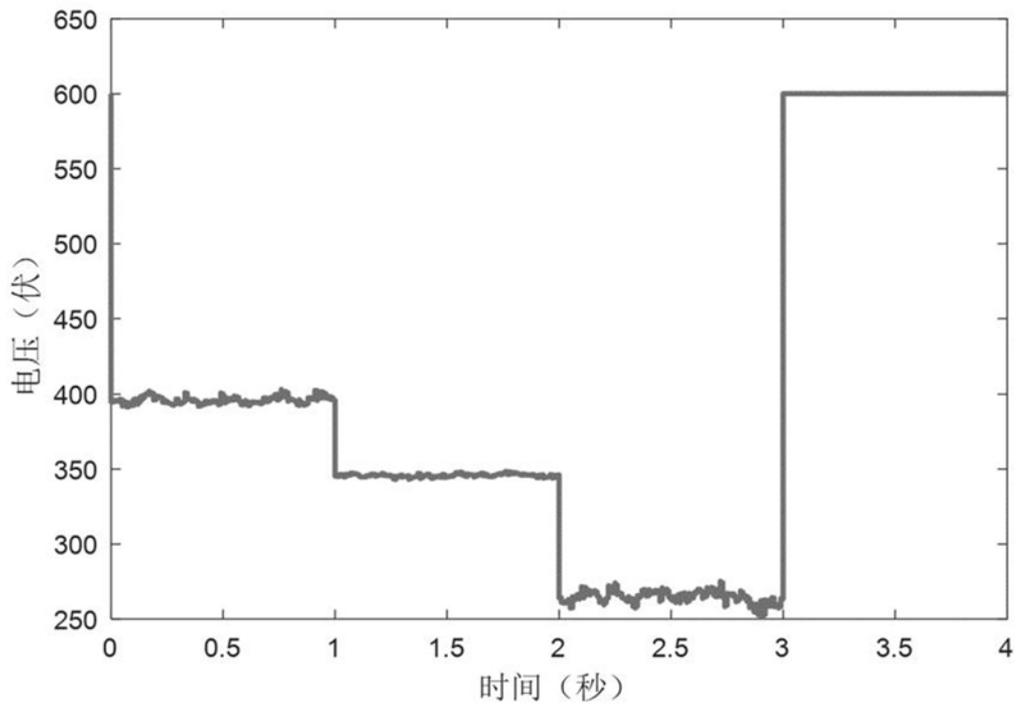


图9

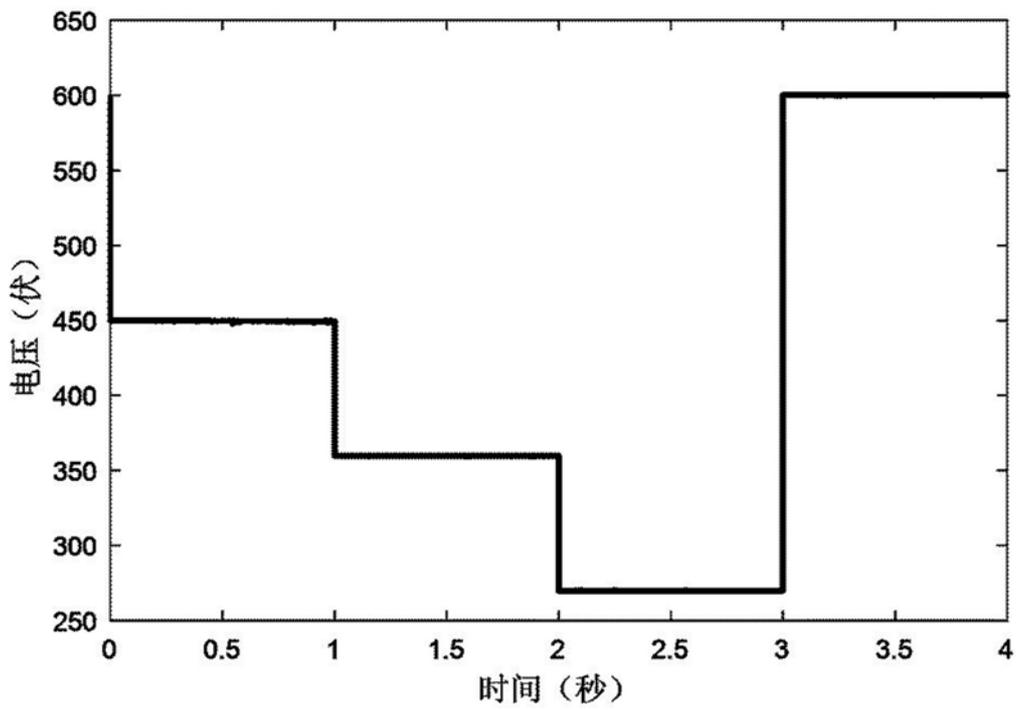


图10

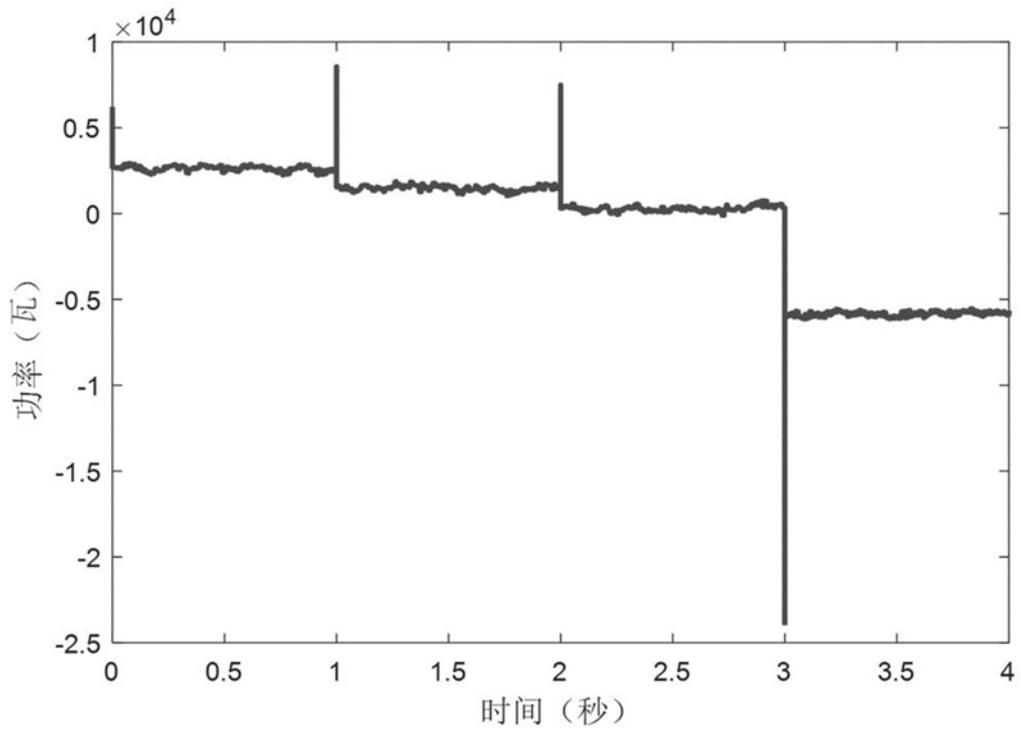


图11