



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110208700 B

(45)授权公告日 2020.07.10

(21)申请号 201910278436.X

G01R 31/388(2019.01)

(22)申请日 2019.04.09

H02J 1/00(2006.01)

H02J 1/14(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110208700 A

(56)对比文件

(43)申请公布日 2019.09.06

CN 105548901 A,2016.05.04,

CN 108226804 A,2018.06.29,

(73)专利权人 清华大学

US 9658289 B2,2017.05.23,

KR 20140032624 A,2014.03.17,

地址 100084 北京市海淀区清华园1号

CN 108196194 A,2018.06.22,

(72)发明人 王烁祺 卢兰光 马克西姆

张宝迪 欧阳明高 邢伟

韩雪冰等.电动车磷酸铁锂电池衰减后开路电压特性分析.《电源技术与设计》.2015,

(74)专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事务所(普通合伙) 11201

Xiang Shun等.Lithium-Ion Battery Online Rapid State-of-Power Estimation under Multiple Constraints.《ENERGIES》.2018,

代理人 廖元秋

审查员 黄伟

(51)Int.Cl.

G01R 31/367(2019.01)

G01R 31/3842(2019.01)

G01R 31/385(2019.01)

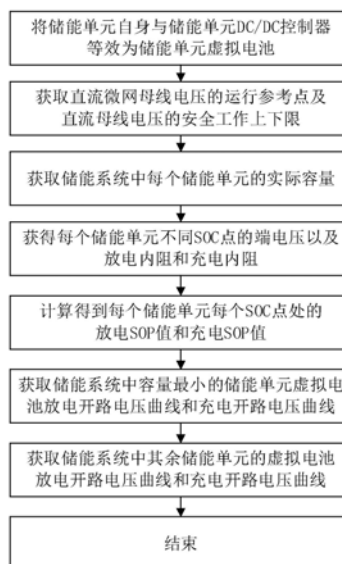
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

一种直流微网中储能系统虚拟电池开路电压的计算方法

(57)摘要

本发明提出一种直流微网中储能系统虚拟电池开路电压的计算方法,属于直流微网控制领域。该方法将储能系统中每个储能单元与DC/DC控制器等效为一个满足Rint等效电路模型的虚拟电池;获取直流母线电压的安全工作上下限及获得每个储能单元的实际容量;通过测试,获取储能系统中实际容量最小的储能单元虚拟电池的充放电开路电压曲线,进而得到其余储能单元虚拟电池的充放电开路电压曲线,最终获得每个储能单元虚拟电池充放电开路电压值。本发明可使直流微网内不同储能单元自动地根据自身特性进行功率分配,且无需中央控制器进行协调,可实现储能单元的即插即用,增加了系统的稳定性与鲁棒性,延长了储能单元的寿命。



1. 一种直流微网中储能系统虚拟电池开路电压的计算方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 将储能系统中每个储能单元与该储能单元DC/DC控制器作为一个整体,等效为一个满足 R_{int} 等效电路模型的虚拟电池;

2) 获取直流微网母线电压的运行参考点,根据直流微网母线电压的运行参考点,分别获取直流微网母线电压的安全工作上下限 $U_{upperlimit}$ 和 $U_{lowerlimit}$;

3) 分别对储能系统中每个储能单元进行容量测试获得每个储能单元的实际容量,容量测试方法为:对每个储能单元以标准容量 $1/3C$ 的充放电倍率,在储能单元充放电截止电压之间进行3次充放电循环,获得储能单元的实际容量;

4) 根据储能单元实际容量分别对储能系统中每个储能单元进行混合动力脉冲能力特性HPPC实验测试,获得每个储能单元不同荷电状态SOC值对应的端电压、放电内阻和充电内阻,所述HPPC测试方法为:将储能单元放电至每个设置的SOC值处后搁置3小时获得该SOC值对应的端电压,将储能单元放电至每个SOC点值并搁置3小时后,对储能单元施加 $1C$ 倍率下的 $10s$ 恒流放电脉冲和 $10s$ 恒流充电脉冲,通过施加脉冲电流前后的电压变化差值除以脉冲电流值得到该SOC值对应的放电内阻和充电内阻;

5) 根据步骤4)的结果,计算每个储能单元中每个SOC值对应的放电SOP值和充电SOP值,放电SOP值和充电SOP值的计算表达式分别如式(1)和式(2)所示:

$$SOP_{dch} = \frac{OCV \times (OCV - U_{min})}{R_{dch}} \quad (1)$$

$$SOP_{cha} = \frac{OCV \times (U_{max} - OCV)}{R_{cha}} \quad (2)$$

其中, SOP_{dch} 和 SOP_{cha} 分别为储能单元的放电SOP值和充电SOP值, OCV 为储能单元的端电压, U_{min} 和 U_{max} 分别为储能单元的放电截止电压和充电截止电压;

6) 获取储能系统中实际容量最小的储能单元虚拟电池的放电开路电压曲线,确定实际容量最小的储能单元的虚拟电池放电开路电压值;储能系统中实际容量最小的储能单元虚拟电池的放电开路电压曲线表达式如式(3)所示:

$$VirtualOCV_{dch} = U_{lowerlimit} + f_{dch} (SOC - SOC_{lowerlimit}) \quad (3)$$

获取储能系统中实际容量最小的储能单元虚拟电池的充电开路电压曲线,确定实际容量最小的储能单元的虚拟电池充电开路电压值;储能系统中实际容量最小的储能单元虚拟电池的充电开路电压曲线表达式如式(4)所示:

$$VirtualOCV_{cha} = U_{upperlimit} - f_{cha} (SOC_{upperlimit} - SOC) \quad (4)$$

其中, $VirtualOCV_{dch}$ 和 $VirtualOCV_{cha}$ 分别为储能单元虚拟电池放电开路电压和充电开路电压, f_{dch} 和 f_{cha} 分别为储能单元虚拟电池放电开路电压基准斜率和充电开路电压基准斜率, $SOC_{lowerlimit}$ 和 $SOC_{upperlimit}$ 分别为储能单元SOC下限和储能单元SOC上限;

7) 获取储能系统中其余储能单元虚拟电池的放电开路电压曲线和充电开路电压曲线,确定储能系统中其余储能单元的虚拟电池放电开路电压值和充电开路电压值;储能系统中其余储能单元虚拟电池放电开路电压曲线表达式如式(5)所示:

$$VirtualOCV_{dch} = U_{lowerlimit} + f_{dch} \sqrt{\frac{SOP_{dch}}{SOP_{dch0}}} (SOC - SOC_{lowerlimit}) \quad (5)$$

储能系统中其余储能单元虚拟电池充电开路电压曲线表达式如式(6)所示:

$$VirtualOCV_{cha} = U_{upperlimit} - f_{cha} \sqrt{\frac{SOP_{cha}}{SOP_{cha0}}} (SOC_{upperlimit} - SOC) \quad (6)$$

其中, SOP_{dch0} 和 SOP_{cha0} 分别为容量最小的储能单元的放电SOP值和充电SOP值。

一种直流微网中储能系统虚拟电池开路电压的计算方法

技术领域

[0001] 本发明属于直流微网控制领域,特别涉及一种直流微网中储能系统虚拟电池开路电压的计算方法。

背景技术

[0002] 大规模电动汽车大功率充电势必会对电网带来巨大的冲击,影响电网的峰谷平衡,威胁电网的稳定运行。微电网作为新型分布式配电组织形式与能源结构,既可以缓解大规模电动汽车充电对大电网的影响,又适应电动汽车充电随机性与分散性的特点,是城市间电动汽车充电基础设施建设的重要解决方案与发展趋势。

[0003] 但大规模分布式可再生能源接入电网又会带来能量损耗、电能质量等问题,可再生能源微电网的技术又可以解决以上的问题,因此发展具有协同增效功能的“光储充”可再生能源微电网用于电动汽车充电,既是我国交通电气化与能源低碳化的发展交叉点,又是大规模电动汽车充电与大规模可再生能源并网问题的共同解决方案。

[0004] 直流微网相对于交流微网主要有以下三个方面的优势:在微网系统效率方面,光伏电池、储能电池、电动汽车均为直流充放电设备,直流微网系统相比于交流网可减少电力电子设备在电能转换过程中带来的能量损失,提升能量利用率并减少设备投资;在微网可靠运行方面,直流微网相比于交流微网更便于实现多个分布式电源同时并网的问题,无需考虑各个电源之间的频率和相位的同步问题,只需控制直流微网电压即可保证系统的稳定可靠运行;在微网电能质量方面,由于直流微网不存在无功、谐波等对电能质量造成影响的因素,直流微网更适合应对波动性和间歇性较大的可再生能源发电以及敏感负荷突变的应 用场景,可提供更高质量的电能供给。因此,直流微网更适合作为面向电动汽车充电的光储充系统的解决方案。

[0005] 为了应对微网系统中复杂多变的工况环境,保证微网系统内各个部件之间的协调稳定运行与向微网内负荷的可靠电能供给,直流微网系统需要制定相应合理有效的控制策略,维持直流微网母线电压的稳定与电源负荷之间的能量平衡,储能系统作为直流微网系统中必不可少的组件,既需要协调发电侧与负荷侧之间的能量与功率平衡,又需要维持母线电压的稳定保证直流微网的稳定运行。由此可见,直流微网中储能系统的设计与控制既是直流微网中的关键技术,更是直流微网稳定运行的基本保障。目前关于直流微网中储能系统设计与控制领域的专利较少,考虑到与交流微网控制中的关联性,目前直流微网中储能系统的控制多采用电压-电流下垂控制技术,但传统下垂控制中储能系统开路电压多为基于经验得到的某一固定值,无法实现多个储能单元的功率分配也未考虑储能单元自身的功率特性。专利201510510693.3、201510683104.1、201611073301.2均采用下垂控制的方法控制微网内微源的输出电压与微源之间的功率分配,但均未考虑储能微源的开路电压的动态变化对系统功率分配的影响。

发明内容

[0006] 本发明的目的是为了填补已有技术的空白之处,提出一种直流微网中储能系统虚拟电池开路电压的计算方法。本发明可使直流微网内不同储能单元自动地根据自身特性进行功率分配,且无需中央控制器进行协调,可实现储能单元的即插即用,增加了系统的稳定性与鲁棒性,延长了储能单元的寿命。

[0007] 本发明提出一种直流微网中储能系统虚拟电池开路电压的计算方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0008] 1) 将储能系统中每个储能单元与该储能单元DC/DC控制器作为一个整体,等效为一个满足 R_{int} 等效电路模型的虚拟电池;

[0009] 2) 获取直流微网母线电压的运行参考点,根据直流微网母线电压的运行参考点,分别获取直流微网母线电压的安全工作上下限 $U_{upperlimit}$ 和 $U_{lowerlimit}$;

[0010] 3) 分别对储能系统中每个储能单元进行容量测试获得每个储能单元的实际容量,容量测试方法为:对每个储能单元以标准容量1/3C的充放电倍率,在储能单元充放电截止电压之间进行3次充放电循环,获得储能单元的实际容量;

[0011] 4) 根据储能单元实际容量分别对储能系统中每个储能单元进行混合动力脉冲能力特性HPPC实验测试,获得每个储能单元不同荷电状态SOC值对应的端电压、放电内阻和充电内阻,所述HPPC测试方法为:将储能单元放电至每个设置的SOC值处后搁置3小时获得该SOC值对应的端电压,将储能单元放电至每个SOC点值并搁置3小时后,对储能单元施加1C倍率下的10s恒流放电脉冲和10s恒流充电脉冲,通过施加脉冲电流前后的电压变化差值除以脉冲电流值得到该SOC值对应的放电内阻和充电内阻;

[0012] 5) 根据步骤4)的结果,计算每个储能单元中每个SOC值对应的放电SOP值和充电SOP值,放电SOP值和充电SOP值的计算表达式分别如式(1)和式(2)所示:

$$[0013] \quad SOP_{dch} = \frac{OCV \times (OCV - U_{min})}{R_{dch}} \quad (1)$$

$$[0014] \quad SOP_{cha} = \frac{OCV \times (U_{max} - OCV)}{R_{cha}} \quad (2)$$

[0015] 其中, SOP_{dch} 和 SOP_{cha} 分别为储能单元的放电SOP值和充电SOP值,OCV为储能单元的端电压, U_{min} 和 U_{max} 分别为储能单元的放电截止电压和充电截止电压;

[0016] 6) 获取储能系统中实际容量最小的储能单元虚拟电池的放电开路电压曲线,确定实际容量最小的储能单元的虚拟电池放电开路电压值;储能系统中实际容量最小的储能单元虚拟电池的放电开路电压曲线表达式如式(3)所示:

$$[0017] \quad VirtualOCV_{dch} = U_{lowerlimit} + f_{dch} (SOC - SOC_{lowerlimit}) \quad (3)$$

[0018] 获取储能系统中实际容量最小的储能单元虚拟电池的充电开路电压曲线,确定实际容量最小的储能单元的虚拟电池充电开路电压值;储能系统中实际容量最小的储能单元虚拟电池的充电开路电压曲线表达式如式(4)所示:

$$[0019] \quad VirtualOCV_{cha} = U_{upperlimit} - f_{cha} (SOC_{upperlimit} - SOC) \quad (4)$$

[0020] 其中, $VirtualOCV_{dch}$ 和 $VirtualOCV_{cha}$ 分别为储能单元虚拟电池放电开路电压和充电开路电压, f_{dch} 和 f_{cha} 分别为储能单元虚拟电池放电开路电压基准斜率和充电开路电压基准斜率, $SOC_{lowerlimit}$ 和 $SOC_{upperlimit}$ 分别为储能单元SOC下限和储能单元SOC上限;

[0021] 7) 获取储能系统中其余储能单元虚拟电池的放电开路电压曲线和充电开路电压曲线, 确定储能系统中其余储能单元的虚拟电池放电开路电压值和充电开路电压值; 储能系统中 其余储能单元虚拟电池放电开路电压曲线表达式如式 (5) 所示:

$$[0022] \quad VirtualOCV_{dch} = U_{lowerlimit} + f_{dch} \sqrt{\frac{SOP_{dch}}{SOP_{dch0}}} (SOC - SOC_{lowerlimit}) \quad (5)$$

[0023] 储能系统中其余储能单元虚拟电池充电开路电压曲线表达式如式 (6) 所示:

$$[0024] \quad VirtualOCV_{cha} = U_{upperlimit} - f_{cha} \sqrt{\frac{SOP_{cha}}{SOP_{cha0}}} (SOC_{upperlimit} - SOC) \quad (6)$$

[0025] 其中, SOP_{dch0} 和 SOP_{cha0} 分别为容量最小的储能单元的放电 SOP 值和充电 SOP 值。

[0026] 本发明的特点及有益效果:

[0027] 本发明提出的直流微网中储能系统虚拟电池开路电压的计算方法, 充分考虑了储能单元自身的特性, 在本地控制环节即可实现不同储能单元之间的自动均衡, 又可实现不同 SOP (电池当前功率能力) 储能单元之间自动且合理的功率分配, 满足直流微网储能单元的运行需求, 为储能系统虚拟电池开路电压的计算提供了指导。

附图说明

[0028] 图1是本发明方法的整体流程图。

[0029] 图2是本发明的储能系统中储能单元虚拟电池电路结构示意图。

[0030] 图3是本发明的一个实施例中第一储能单元放电内阻、充电内阻和端电压与SOC之间的关系曲线图。

[0031] 图4是本发明的一个实施例中第二储能单元放电内阻、充电内阻和端电压与SOC之间的关系曲线图。

[0032] 图5是本发明的一个实施例中第三储能单元放电内阻、充电内阻和端电压与SOC之间的关系曲线图。

[0033] 图6是本发明的一个实施例中三组储能单元的放电 SOP-SOC 关系曲线图。

[0034] 图7是本发明的一个实施例中三组储能单元的充电 SOP-SOC 关系曲线图。

[0035] 图8是本发明的一个实施例中三组储能单元的虚拟电池放电开路电压曲线图。

[0036] 图9是本发明的一个实施例中三组储能单元的虚拟电池充电开路电压曲线图。

具体实施方式

[0037] 本发明提出一种直流微网中储能系统虚拟电池开路电压的计算方法, 下面结合附图和 具体实施例对本发明进一步详细说明如下。应当理解, 此处所描述的具体实例仅用于解释 本发明并不用于限定本发明。需要说明的是, 在不冲突的情况下, 本申请中的实施例及实 施例中的特征可以相互结合。

[0038] 本发明提出一种直流微网中储能系统虚拟电池开路电压的计算方法, 整体流程如图1 所示, 包括以下步骤:

[0039] 1) 将储能系统中每个储能单元与该储能单元 DC/DC 控制器作为一个整体, 等效为一个满足 R_{int} 等效电路模型的虚拟电池, 结构如图2所示。其中, U_{b0} 为储能单元开路电压,

r_b 为储能单元内阻, U_b 为储能单元输出电压, I_b 为储能单元输出电流, U_{out} 为DC/DC输出电压, I_{out} 为DC/DC输出电流, U_v 为储能单元虚拟电池开路电压, R_v 为储能单元虚拟电池内阻, U_{vout} 为储能单元虚拟电池输出电压, I_v 为储能单元虚拟电池输出电流。

[0040] 2) 获取直流微网母线电压的运行参考点, 根据直流微网母线电压的运行参考点, 分别获取直流微网母线电压的安全工作上下限 $U_{upperlimit}$ 和 $U_{lowerlimit}$, 直流微网母线电压的安全工作上下限一般为直流微网母线电压运行参考点的1.1倍和0.9倍;

[0041] 3) 分别对储能系统中每个储能单元进行容量测试获得每个储能单元的实际容量, 容量测试方法为: 对每个储能单元以标准容量 $1/3C$ (C 为电池充放电速率, $1/3C$ 表示3小时充/放电完毕) 的充放电倍率, 在储能单元充放电截止电压之间进行3次充放电循环, 获得储能单元的实际容量 (3个充放电循环结束后再计算得到实际容量);

[0042] 4) 根据储能单元实际容量分别对储能系统中每个储能单元进行HPPC (混合动力脉冲能力特性) 实验测试, 获得每个储能单元不同SOC (荷电状态) 值对应的端电压、放电内阻和充电内阻, HPPC测试中SOC点的选取标准一般为在0-1之间平均选取11或21个点, 本实施例中在0-1的SOC区间内选取了21个SOC测试点, 该方法中HPPC测试方法为: 将储能单元放电至每个设置的SOC值处后搁置3小时获得该SOC值对应的端电压, 将储能单元放电至每个SOC点值并搁置3小时后, 对储能单元施加1C倍率下的10s恒流放电脉冲和10s恒流充电脉冲, 通过施加脉冲电流前后的电压变化差值除以脉冲电流值得到该SOC值对应的放电内阻和充电内阻;

[0043] 5) 根据储能单元每个SOC值对应的端电压以及放电内阻和充电内阻, 计算每个储能单元中每个SOC值对应的放电SOP值和充电SOP值 (电池当前功率能力), 放电SOP值和充电SOP值的计算方法分别如式 (1) 和式 (2) 所示:

$$[0044] \quad SOP_{dch} = \frac{OCV \times (OCV - U_{min})}{R_{dch}} \quad (1)$$

$$[0045] \quad SOP_{cha} = \frac{OCV \times (U_{max} - OCV)}{R_{cha}} \quad (2)$$

[0046] 其中, SOP_{dch} 和 SOP_{cha} 和分别为储能单元的放电SOP值和充电SOP值, OCV 为储能单元的端电压, U_{min} 和 U_{max} 分别为储能单元的放电截止电压和充电截止电压;

[0047] 6) 获取储能系统中实际容量最小的储能单元虚拟电池放电开路电压曲线和充电开路电压曲线, 储能单元虚拟电池的开路电压曲线为储能单元虚拟电池开路电压随SOC变化的一维函数, 实际容量最小的储能单元虚拟电池的放电开路电压及充电开路电压与SOC之间的函数关系分别如式 (3) 和式 (4) 所示:

$$[0048] \quad VirtualOCV_{dch} = U_{lowerlimit} + f_{dch} (SOC - SOC_{lowerlimit}) \quad (3)$$

$$[0049] \quad VirtualOCV_{cha} = U_{upperlimit} - f_{cha} (SOC_{upperlimit} - SOC) \quad (4)$$

[0050] 其中, $VirtualOCV_{dch}$ 和 $VirtualOCV_{cha}$ 分别为储能单元虚拟电池放电开路电压和充电开路电压, f_{dch} 和 f_{cha} 分别为储能单元虚拟电池放电开路电压基准斜率和充电开路电压基准斜率, $SOC_{lowerlimit}$ 和 $SOC_{upperlimit}$ 分别为储能单元SOC下限和储能单元SOC上限;

[0051] 7) 基于储能单元之间的放电及充电SOP关系, 获取储能系统中其余储能单元虚拟电池的放电开路电压曲线和充电开路电压曲线, 确定储能系统中其余储能单元的虚拟电池放电开路电压和充电开路电压值, 储能系统中其余储能单元虚拟电池放电开路电压及

充电开路电压与SOC之间的函数关系如式(5)和式(6)所示:

$$[0052] \quad VirtualOCV_{dch} = U_{lowerlimit} + f_{dch} \sqrt{\frac{SOP_{dch}}{SOP_{dch0}}} (SOC - SOC_{lowerlimit}) \quad (5)$$

$$[0053] \quad VirtualOCV_{cha} = U_{upperlimit} - f_{cha} \sqrt{\frac{SOP_{cha}}{SOP_{cha0}}} (SOC_{upperlimit} - SOC) \quad (6)$$

[0054] 其中, SOP_{dch0} 和 SOP_{cha0} 分别为容量最小的储能单元的放电SOP和充电SOP值。

[0055] 本实施例以一个包含3个储能单元的直流微网作为本实施例的研究对象,提出一种直流微网中储能系统虚拟电池开路电压的计算方法,包括以下步骤:

[0056] 1) 将储能系统中每个储能单元与储能单元DC/DC控制器作为一个整体,等效为一个满足 R_{int} 等效电路模型的虚拟电池;

[0057] 2) 获取直流微网母线电压运行参考点为650V,根据母线电压运行参考点,确定直流母线电压的安全工作上下限分别为700V和600V;

[0058] 3) 分别对储能系统中每个储能单元进行容量测试获得每个储能单元的实际容量,容量测试方法为以标准容量1/3C的充放电倍率,在储能单元充放电截止电压之间进行3次充放电循环,获得3组储能单元的实际容量分别为154Ah、210Ah和210Ah;

[0059] 4) 根据储能单元实际容量分别对储能系统中每个储能单元进行HPPC(混合动力脉冲能力特性)实验测试,获得每个储能单元不同SOC(荷电状态)值对应的端电压以及放电内阻和充电内阻,该方法中HPPC测试方法为:将储能单元放电至每个SOC值处后搁置3小时获得该SOC值对应的端电压,将储能单元放电至每个SOC值处并搁置3小时后,对储能单元施加1C倍率下的10s恒流放电脉冲和10s恒流充电脉冲,通过施加脉冲电流前后的电压变化差值除以脉冲电流值得到该SOC值对应的放电内阻和充电内阻,分别得到本实施例第一储能单元、第二储能单元和第三储能单元的放电内阻、充电内阻和端电压分别如图3、图4和图5所示;

[0060] 5) 根据储能单元每个SOC值对应的端电压以及放电内阻和充电内阻,计算得到每个储能单元中每个SOC值对应的放电SOP值和充电SOP值(电池当前功率能力),放电SOP值和充电SOP值的计算方法分别如式(1)和式(2)所示:

$$[0061] \quad SOP_{dch} = \frac{OCV \times (OCV - U_{min})}{R_{dch}} \quad (1)$$

$$[0062] \quad SOP_{cha} = \frac{OCV \times (U_{max} - OCV)}{R_{cha}} \quad (2)$$

[0063] 其中, SOP_{dch} 和 SOP_{cha} 分别为储能单元的放电SOP值和充电SOP值,OCV为储能单元的端电压, U_{min} 和 U_{max} 分别为储能单元的放电截止电压和充电截止电压;

[0064] 本实施例中,获得第一储能单元、第二储能单元和第三储能单元的放电SOP如图6所示,第一储能单元、第二储能单元合第三储能单元的充电SOP如图7所示;

[0065] 6) 获取储能系统中实际容量最小的储能单元虚拟电池放电开路电压曲线和充电开路电压曲线;储能单元虚拟电池的开路电压曲线为储能单元虚拟电池开路电压随SOC变化的一维函数,实际容量最小的储能单元虚拟电池的放电开路电压及充电开路电压与SOC之间的函数关系分别如式(3)和式(4)所示:

[0066] $VirtualOCV_{dch} = U_{lowerlimit} + f_{dch} (SOC - SOC_{lowerlimit})$ (3)

[0067] $VirtualOCV_{cha} = U_{upperlimit} - f_{cha} (SOC_{upperlimit} - SOC)$ (4)

[0068] 其中, $VirtualOCV_{dch}$ 和 $VirtualOCV_{cha}$ 分别为储能单元虚拟电池放电开路电压和充电开路电压, f_{dch} 和 f_{cha} 分别为储能单元虚拟电池放电开路电压基准斜率和充电开路电压基准斜率, $SOC_{lowerlimit}$ 和 $SOC_{upperlimit}$ 分别为储能单元SOC下限和储能单元SOC上限;

[0069] 7) 基于储能单元之间的放电及充电SOP关系, 获取储能系统中其余储能单元虚拟电池的放电开路电压曲线和充电开路电压曲线, 确定储能系统中其余储能单元的虚拟电池放电开路电压和充电开路电压值, 储能系统中其余储能单元虚拟电池放电开路电压及充电开路电压与SOC之间的函数关系如式(5)和式(6)所示:

[0070] $VirtualOCV_{dch} = U_{lowerlimit} + f_{dch} \sqrt{\frac{SOP_{dch}}{SOP_{dch0}}} (SOC - SOC_{lowerlimit})$ (5)

[0071] $VirtualOCV_{cha} = U_{upperlimit} - f_{cha} \sqrt{\frac{SOP_{cha}}{SOP_{cha0}}} (SOC_{upperlimit} - SOC)$ (6)

[0072] 其中, SOP_{dch0} 和 SOP_{cha0} 分别为容量最小的储能单元的放电SOP和充电SOP值。

[0073] 本实施例中, 第一储能单元、第二储能单元合第三储能单元的虚拟电池的放电开路电压曲线如图8所示, 第一储能单元、第二储能单元合第三储能单元的虚拟电池的充电开路电压曲线如图9所示;

[0074] 将设计好的3组储能单元的虚拟电池开路电压曲线转换成一维查表函数写入储能单元本地DC/DC控制器的底层控制程序中, 在实际直流微网的运行过程中, 储能单元本地DC/DC控制器与储能单元BMS(电池管理系统)进行通讯, 实时获取储能单元的SOC值, 通过储能单元的SOC值在线获取该SOC点下的虚拟电池开路电压值, 按照设计的虚拟电池开路电压值进行储能单元下垂控制参考电压的动态调整, 从而自适应得进行不同储能单元之间的功率分配。

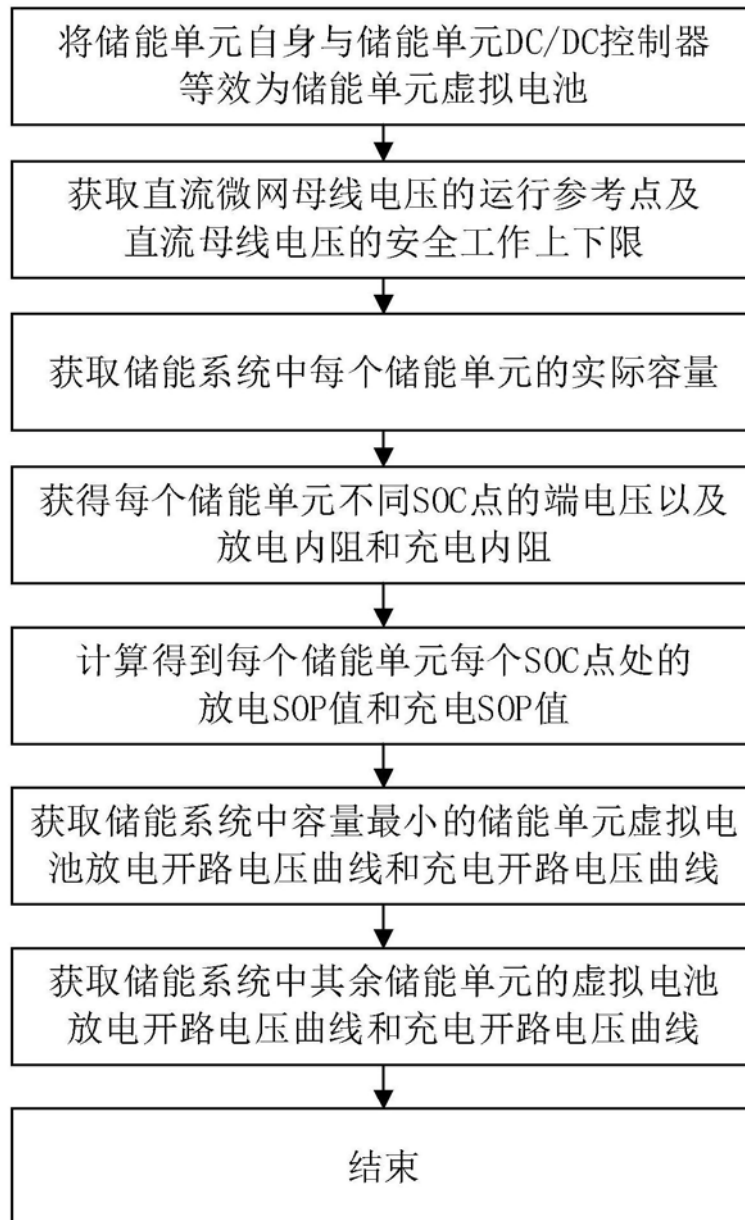


图1

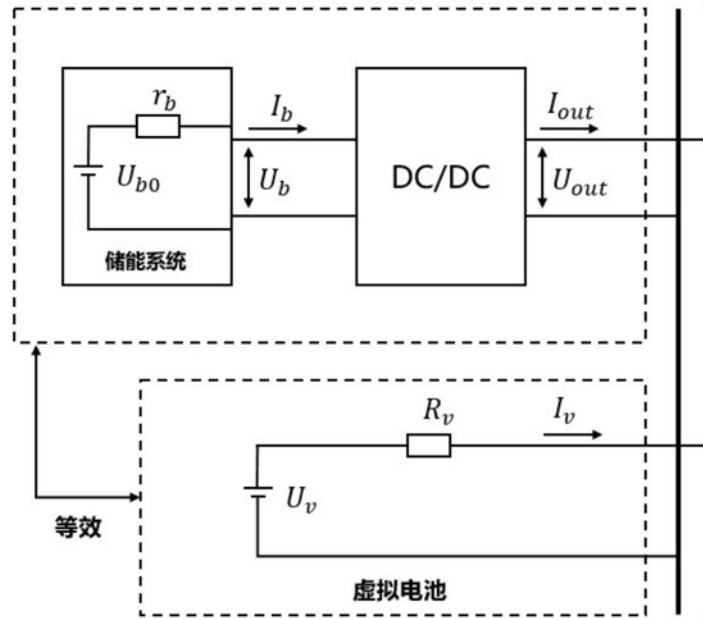


图2

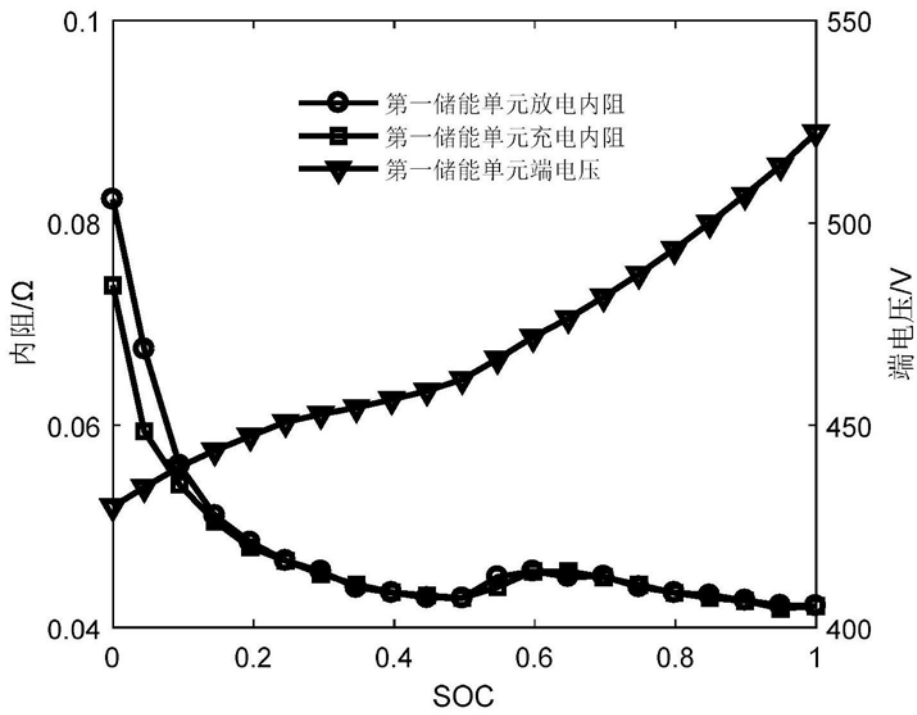


图3

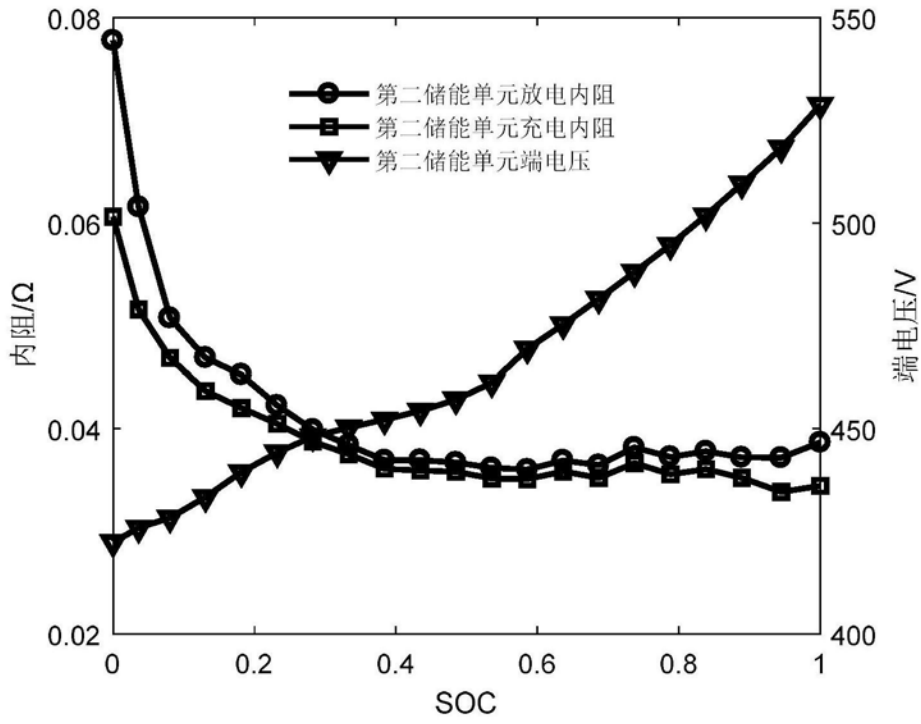


图4

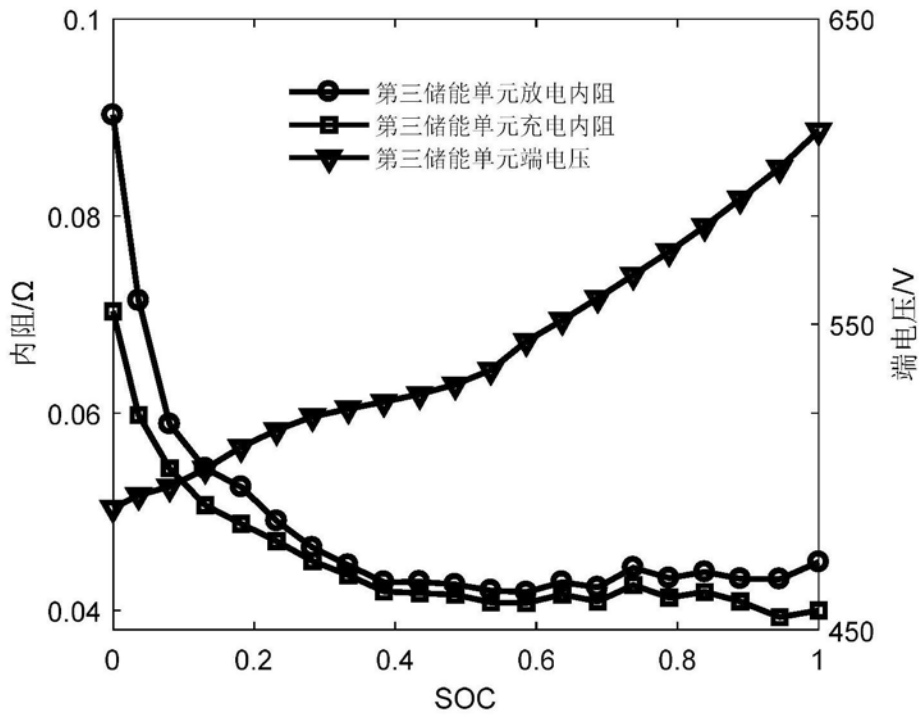


图5

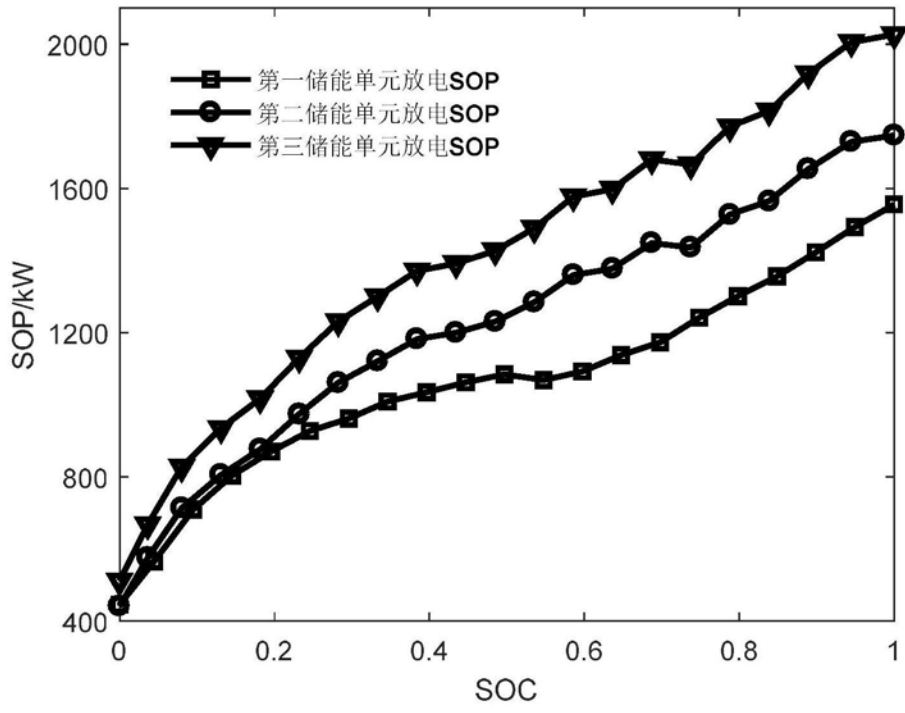


图6

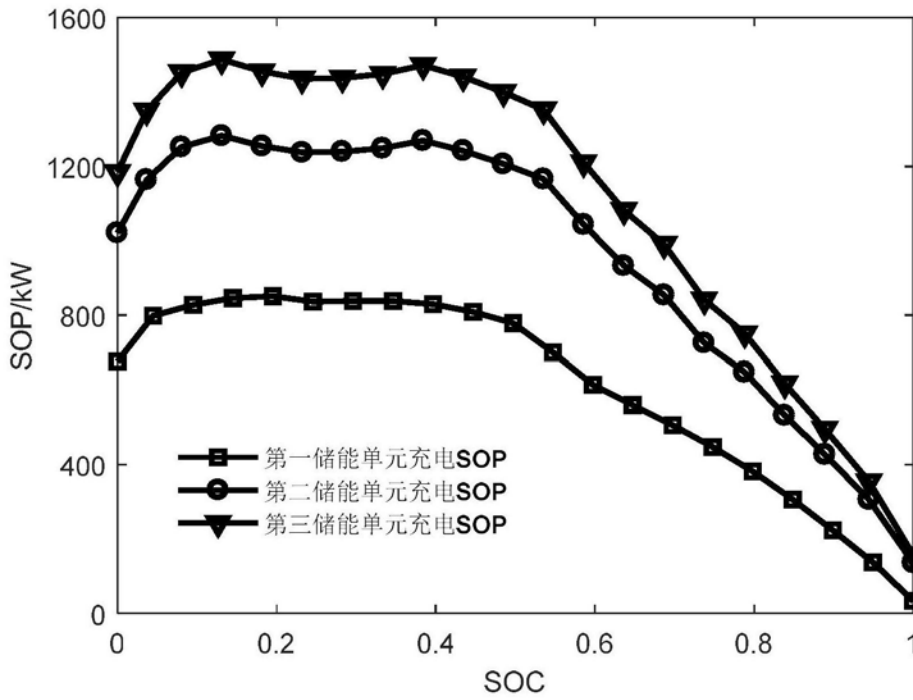


图7

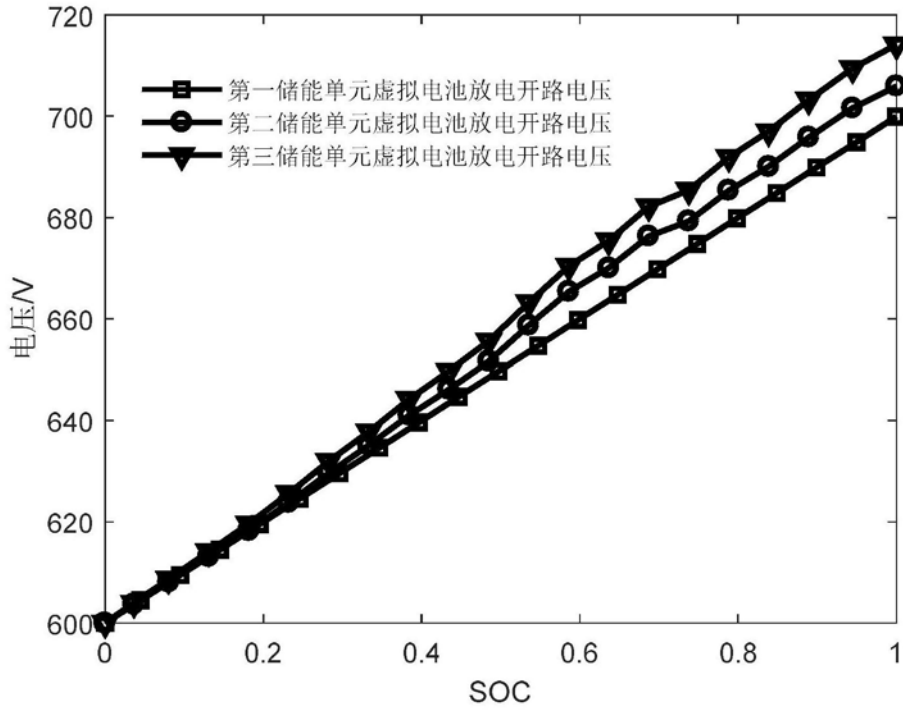


图8

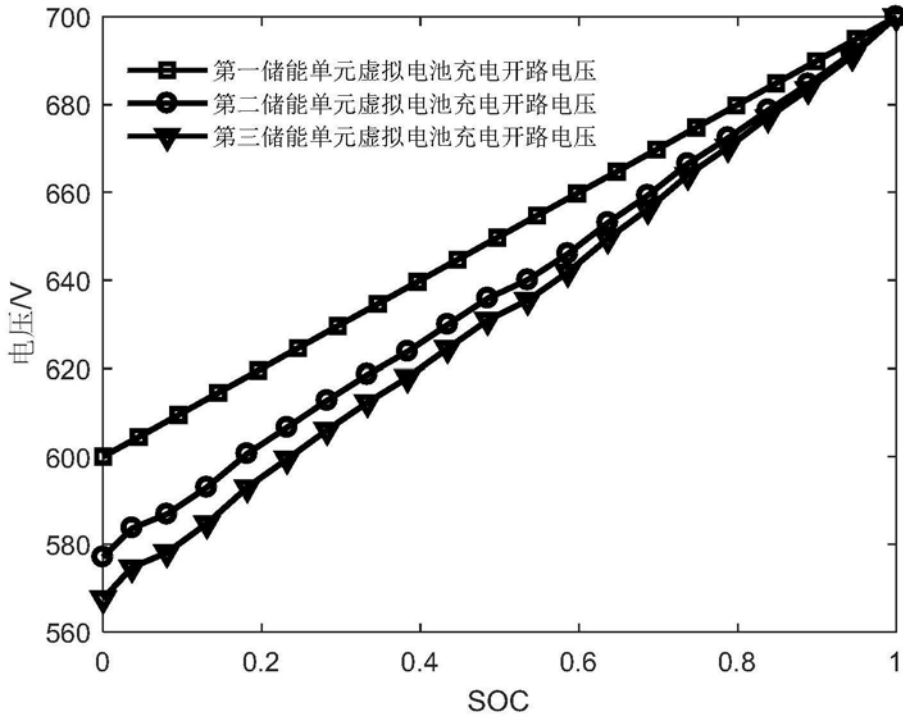


图9