

基于多代理系统的直流微电网分区域式稳定控制方法研究

郝雨辰, 江叶峰, 仇晨光, 雷震, 耿智, 张浩, 陆晓

(国网江苏省电力公司调度控制中心, 江苏 南京 210024)

摘要: 基于直流微电网的结构属性和分布式电源的运行特点, 以直流母线电压的恒定作为控制目标, 针对系统中各单元隶属于不同用户的情况, 利用多代理系统构建信息网络, 提出以各分布式电源自协调、自我管理、自组网为策略实现的直流微电网分区域式稳定控制方法。选择直流微电网系统中的独立子区域作为研究对象, 设计不同供求关系下的系统稳定控制策略, 实现基于信息流的功率流的重新分配与优化。仿真分析结果表明文中设计的基于多代理系统的直流微电网分区域式稳定控制方法, 不仅能有效保持系统的运行稳定性, 而且能充分体现不同分布式电源的运行特点。

关键词: 直流微电网; 多代理系统; 稳定控制

中图分类号: TM711

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2017)05-0015-06

0 引言

随着能源危机的加剧、环境污染的蔓延, 以新能源为载体的分布式发电得到了蓬勃发展, 微电网作为分布式发电的高级应用形式, 通过源荷协调技术、能量管理方案、并网切换手段有效提高了用户供电可靠性、能源利用环保性、系统运行经济性^[1,2]。与交流微电网相比, 直流微电网具有以下优点^[3-7]: 便于直流电源的接入; 仅需考虑直流母线电压的恒定、无需考虑同步操作、无功补偿等复杂控制; 能有效减少电力电子装置的大量使用从而降低能量转换造成的损失。

直流微电网研究的重点在于直流母线的电压稳定, 文献[8]指出为提高系统供电可靠性和分布式电源/负荷接入灵活性, 直流微电网可采用多母线结构; 文献[9-11]针对直流微电网工作状态多样性设计了统一控制方法, 实现不同运行模式的无缝切换; 文献[12-15]以直流微电网中的储能单元作为研究对象, 提出基于母线电压偏差反馈的多种稳压控制方法, 甚至实现了负荷在分布式储能中的均衡分配; 文献[16,17]着眼于微电网的层次化结构, 研究直流微电网分层稳定控制方案。上述文献多以单一直流微电网为研究对象, 着力于改进集中控制的能力, 未从系统层面构建包含多用户、多需求、多目标的协同控制体系。因此文中针对具有区域自治性的直流微电网, 在阐述多代理系统适用性基础上, 设计基于多代理系统的直流微电网分区域式稳定控制方法, 在保持母线电压稳定的同时, 满足区域内各电源的运行目标。

1 直流微电网结构模型

典型的具有区域自治性的直流微电网结构如图1所示, 其中直流母线电压额定值设为800V, 并经静态开关在公共连接点处与外部电网相连。

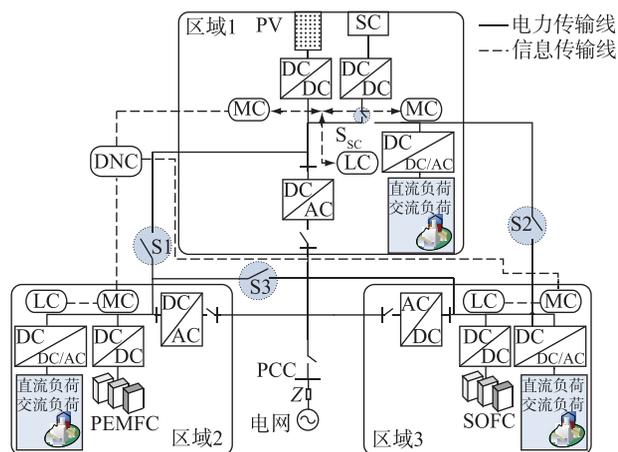


图1 直流微电网分区域式结构模型

Fig.1 Sub-regional structure model of DC microgrid

选择具有输出可控的质子交换膜燃料电池 (proton exchange membrane fuel cell, PEMFC) 和固态氧化物燃料电池 (solid oxide fuel cell, SOFC) 作为区域2,3的稳控单元。光伏电池 (photovoltaic, PV) 具有与自然条件相关的不可控性, 因此将超级电容 (super capacitor, SC) 与PV出口Boost电路高压侧相连, 确保对区域1内负荷的可靠供电。

2 直流微电网分区域式稳定控制方法

根据图1所示直流微电网的结构, 设计相应的分区域式稳定控制方法, 其核心思想在于, 利用各区域内微电源控制器 (microsource controller, MC)

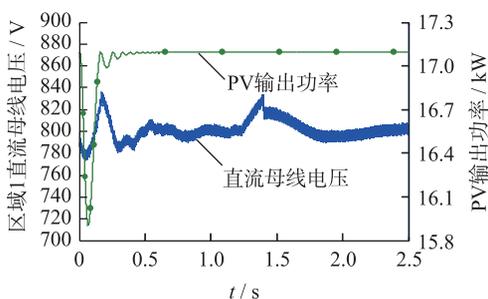
表 1 直流微电网主要单元参数信息

Table 1 Parameters of DC microgrid components

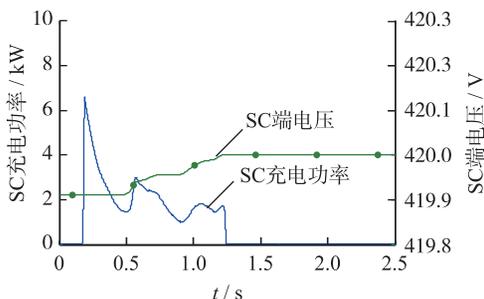
算法	最大功率/kW	开路电压/V	短路电流/A
PV	17.1	813.6	28.1
SOFC	35.2	530	239
PEMFC	17	610	298.4
SC	电容值 25 F, 内部电阻 0.14 Ω		

4.1 PV 出力大于区域内负荷需求

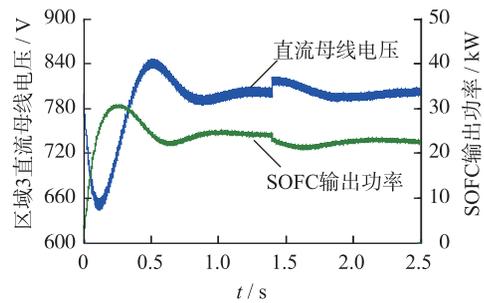
如图 4 所示。初始状态下采用最大功率跟踪控制模式的 PV 出力大于区域 1 中负荷所需,其直流母线电压上升,PV Agent 即利用 Query 协议与 SC Agent 通信,得其同意后闭合两者间开关,SC 开始工作于充电稳压状态,使得直流母线电压回落并稳定在额定值 800 V,如图 4(a)所示。0.7 s 时区域 1 负荷增大,对应直流母线电压稍有波动,SC 充电功率也相应减小,如图 4(b)所示。直至 1.23 s 时 SC 充电饱和,SC Agent 即通知 PV Agent 并断开两者间开关。由于 PV 输出功率仍大于负荷所需,导致直流母线电压继续上升,由于 SC 不再具备充电裕量,由此 PV Agent 利用 Request 协议查询 DF Agent 得到 PEMFC Agent 和 SOFC Agent 的通信方式,之后采用合同网通信协议与两者进行交互,并选定 SOFC Agent 作为合作对象,于 1.4 s 时闭合区域 1,3 间开关,从图 4(c)中可见 1.4 s 前区域 3 直流母线电压稳定在 800 V,两区域联通后由于得到了区域 1 的功率输入,区域 3 中 SOFC 的输出功率具有明显的下降,而两区域母线电压具有一致性。上述过程中 Agent 间的信息交互如图 4(d)所示。



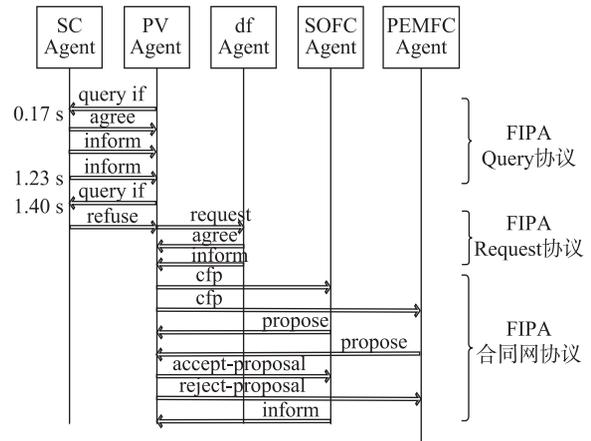
(a) 区域1单元运行信息



(b) 区域1 SC运行信息



(c) 区域3单元运行信息



(d) Agent间信息交互过程

图 4 区域内供大于求时分区域稳定控制结果

Fig.4 Regional stability control for supply exceeding load

4.2 PV 出力小于区域内负荷需求

如图 5 所示。初始状态下 PV 出力小于区域 1 中负荷所需,其直流母线电压下降,PV Agent 即与 SC Agent 通信,得其同意后闭合两者间开关,SC 开始工作于放电稳压状态,随着区域 1 内负荷递增,SC 不断增大输出功率以维持母线电压的稳定,此过程中 SC 端电压不断下降,如图 5(b)所示。直至 2 s 时由于负荷突增,PV Agent 向 DF Agent 发送服务查询信息,假设只有 SOFC Agent 在 DF Agent 中注册,PV Agent 得其反馈后即向 SOFC Agent 发送请求信息,经其同意后闭合两区域间开关。此时 SOFC 输出功率增大,且区域 1,3 直流母线电压具有一致的波形,如图 5(c)所示。设定区域 3 内部负荷 4.5 s 突增,导致母线电压再次降低,PV Agent 判定此波动不是区域 1 内部负荷变化引起,因此不采取任何动作,但对 SOFC Agent 来说由于内部负荷增大,其功率输出达到上限,为保证对本区域负荷的可靠供电,SOFC Agent 于 5.2 s 断开与区域 1 间开关,并在 DF Agent 中注销服务,此后 PV Agent 查询 DF Agent 无果,只能选择切负荷稳压手段,如图 5(a)所示,上述过程中 Agent 间的信息交互如图 5(d)所示。

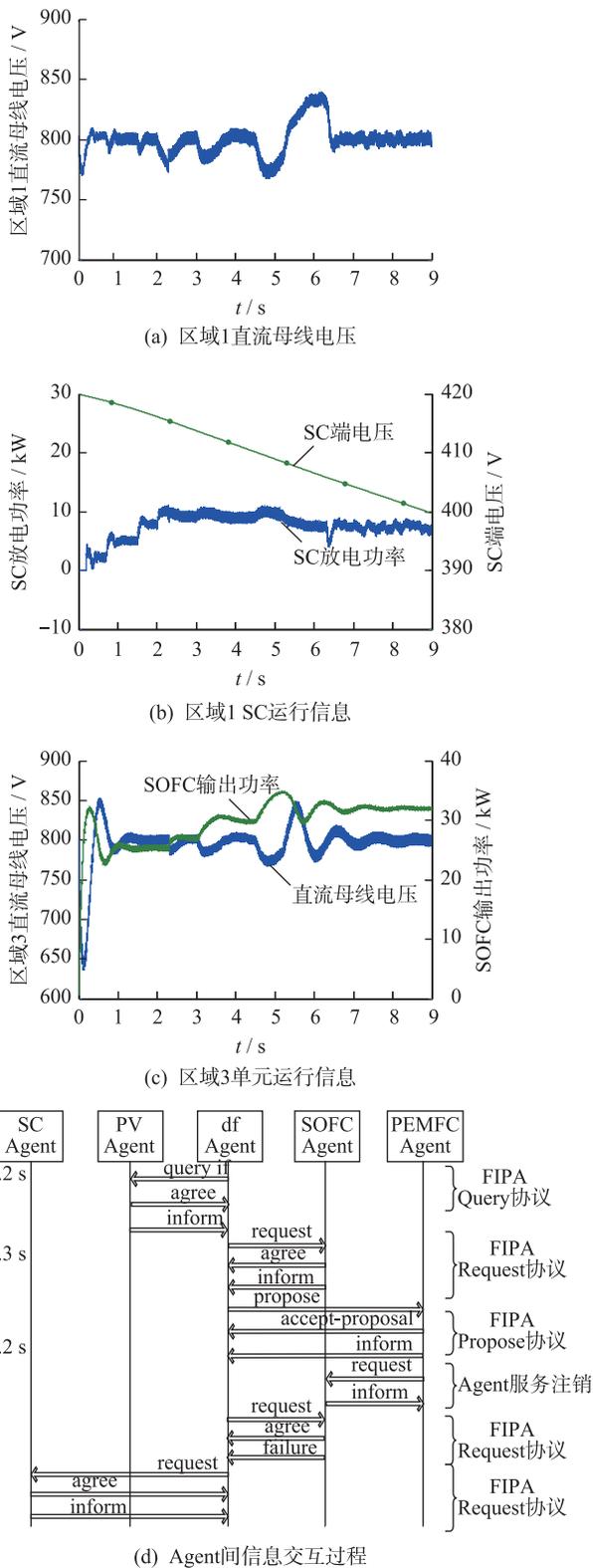


图5 区域内供小于求时分区域稳定控制结果
Fig.5 Regional stability control for load exceeding supply

5 结论

随着新能源项目的发展,势必形成一定区域内分属于不同用户的、以分布式电源为主导、自带负

荷的新型系统,各区域间既相互依存又相互竞争,文中针对这种新情况,以直流微电网为研究对象,提出基于多代理系统的分区域式稳定控制方法,通过各区域子系统的自我识别和自我管理,利用多代理系统提供的服务发布与搜索功能,可实现不依赖于集中控制器的底层单元间的自通信、自决策和自组网,提高了系统的运行可靠性和灵活性,仿真结果验证了所提策略的有效性,不仅能保持系统的运行稳定,而且能体现不同电源的运行特点。

参考文献:

[1] 杨新法,苏 剑,吕志鹏,等. 微电网技术综述[J]. 中国电机工程学报,2014,34(1):57-70.
YANG Xinfu, SU Jian, LYU Zhipeng, et al. Overview on microgrid technology [J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34 (1):57-70.

[2] 马艺玮,杨 苹,王月武,等. 微电网典型特征及关键技术[J]. 电力系统自动化,2015,39(8):168-175.
MA Yiwei, YANG Ping, WANG Yuewu, et al. Typical characteristics and key technologies of microgrid [J]. Automation of Electric Power System, 2015, 39(8):168-175.

[3] JUSTO J J, MWASILU F, LEE J, et al. AC-microgrids versus DC-microgrid with distributed energy resources: a review [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013(24):387-405.

[4] KAKIGANO H, MIURA Y, ISE T. Low-voltage bipolar-type DC microgrid for super high quality distribution [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2012, 25(12):3066-3075.

[5] SALOMONSSON D, SODER L, SANNINO A. An adaptive control system for a DC microgrid for data centers [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2008, 44(6):1910-1917.

[6] 施 婕,郑漳华,艾 苹. 直流微电网建模与稳定性分析[J]. 电力自动化设备,2010,30(2):86-90.
SHI Jie, ZHENG Zhanghua, AI Qian. Modeling of DC microgrid and stability analysis [J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(2):86-90.

[7] 江道灼,郑 欢. 直流配电网研究现状与展望[J]. 电力系统自动化,2012,36(8):98-104.
JIANG Daozhuo, ZHENG Huan. Research status and developing prospect of DC distribution network [J]. Automation of Electric Power System, 2012, 36(8):98-104.

[8] 李霞林,郭 力,王成山,等. 直流微电网关键技术研究综述[J]. 中国电机工程学报,2016,36(1):2-17.
LI Xialin, GUO Li, WANG Chengshan, et al. Key technologies of DC microgrid: an overview [J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(1):2-17.

[9] 张 学,裴 玮,邓 卫,等. 多源/多负荷直流微电网的能量管理和协调控制方法[J]. 中国电机工程学报,2014,34(31):5553-5562.
ZHANG Xue, PEI Wei, DENG Wei, et al. Energy management and coordinated control method for multi-source/multi-load DC microgrid [J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34 (31):5553-5562.

- [10] 王盼宝,王卫,孟尼娜,等. 直流微电网离网与并网运行统一控制策略[J]. 中国电机工程学报,2015,35(17):4388-4396.
WANG Panbao, WANG Wei, MENG Nina, et al. Unified control strategy of islanding and grid-connected operations for DC microgrid [J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(17): 4388-4396.
- [11] SHE X, LUKIC S, HUANG A Q. DC zonal microgrid architecture and control [C] // 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society. Glendale, USA: 2010: 2988-2993.
- [12] 文波,秦文萍,韩肖清,等. 基于电压下垂法的直流微电网混合储能系统控制策略[J]. 电网技术,2015,39(4):892-898.
WEN Bo, QIN Wenping, HAN Xiaoqing, et al. Control strategy of hybrid energy storage systems in DC microgrid based on voltage droop method [J]. Power System Technology, 2015, 39(4): 892-898.
- [13] MENDIS N, MUTTAQI K M, PERERA S. Management of battery-supercapacitor hybrid energy storage and synchronous condenser for isolated operation of PMSG based variable-speed wind turbine generating systems [J]. IEEE Transaction on Smart Grid, 2014, 5(2): 944-953.
- [14] 陆晓楠,孙凯,黄立培,等. 直流微电网储能系统中带有母线电压跌落补偿功能的负荷功率动态分配方法[J]. 中国电机工程学报,2013,33(16):37-46.
LU Xiaonan, SUN Kai, HUANG Lipei, et al. Dynamic load power sharing method with elimination of bus voltage deviation for energy storage systems in DC microgrids [J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(16): 37-46.
- [15] 秦文萍,柳雪松,韩肖清,等. 直流微电网储能系统自动充放电改进控制策略[J]. 电网技术,2014,38(7):1827-1834.
QIN Wenping, LIU Xuesong, HAN Xiaoqing. An improved control strategy of automatic charging/discharging of energy storage system in DC microgrid [J]. Power System Technology, 2014, 38(7): 1827-1834.
- [16] 支娜,张辉. 直流微电网改进分级控制策略研究[J]. 高压技术,2016,42(4):1316-1325.
ZHI Na, ZHANG Hui. Improved hierarchical control strategy for DC microgrid [J]. High Voltage Engineering, 2016, 42(4): 1316-1325.
- [17] 郝雨辰,吴在军,窦晓波,等. 多代理系统在直流微电网稳定控制中的应用[J]. 中国电机工程学报,2012,32(25):27-35.
HAO Yuchen, WU Zaijun, DOU Xiaobo, et al. Application of multi-agent systems to the DC microgrid stability control [J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(25): 27-35.
- [18] DIMEAS A L, HATZIARGYRIOU N D. A MAS architecture for microgrids control [C] // 13th International Conference on Intelligent Systems Application to Power Systems. Washington DC, USA: 2005: 402-406.
- [19] DIMEAS A L, HATZIARGYRIOU N D. Agent based Control for Microgrids [C] // Power Engineering Society General Meeting. Tampa, USA: 2007: 1-5.

作者简介:



郝雨辰

郝雨辰(1985—),男,江苏南京人,博士,研究方向为电力调度控制与新能源发电(E-mail:hao_yuchen@126.com);

江叶峰(1976—),男,江苏宜兴人,高级工程师,研究方向为电力调度运行管理;

仇晨光(1977—),男,江苏盐城人,高级工程师,研究方向为电力调度运行管理;

雷震(1979—),男,江苏南京人,高级工程师,研究方向为新能源调度运行管理;

耿智(1982—),男,江苏扬中人,高级工程师,研究方向为电力调度控制;

张浩(1985—),男,江苏靖江人,工程师,研究方向为电力调度控制;

陆晓(1968—),男,江苏苏州人,高级工程师,研究方向为电力调度运行管理。

Research on Sub-regional Stability Control of DC Microgrid Based on Multi-agent System

HAO Yuchen, JIANG Yefeng, QIU Chenguang, LEI Zhen, GENG Zhi, ZHANG Hao, LU Xiao

(State Grid Jiangsu Electric Power Dispatching and Control Center, Nanjing 210024, China)

Abstract: Based on the structural attributes of DC microgrid and diverse micro-sources' features, the constant DC bus voltage is considered as the control target. For the situation that each unit belongs to different users, the multi-agent system is used to construct the information network, and a DC microgrid regional stability control method based on distributed power self-coordination, self-management and self-organizing network is proposed. The independent sub-region in the DC microgrid system is chosen as the research object, and the system stability control method under different supply and demand is designed to realize the redistribution and optimization of the power supply based on the interactive information. The simulation results demonstrate that the proposed method can be used to maintain the stability of the system, and it can fully reflect the running characteristics of different distributed power supply.

Key words: DC microgrid; multi-agent system; stability control

(编辑 徐林菊)