

微电网关键技术及研究现状

朱永利,姚建国,刘 骥

(国网电力科学研究院,江苏南京 210003)

摘要:微电网技术能够解决传统分布式发电分散接入、单独并网所带来的整体不受控的问题;当发生电网扰动时,其可有效解决单个分布式电源上关键负荷面临的电能质量问题,同时有利于提升电网可控性。从能量管理、控制策略、继电保护等方面阐述了微电网技术近年来的研究热点及发展趋势,讨论了需要解决的若干关键技术问题,结合相关试点示范工程介绍了国内微电网应用研究现状,展望了微电网技术今后的发展方向。

关键词:微电网;分布式发电;无缝切换;主从控制;对等控制

中图分类号:TM727

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2012)03-0081-04

相对于传统大电网的新概念,微电网是指由多种分布式发电(DG)及负荷按照一定拓扑组成,通过并网开关和主网相连的小型供电网络。其域内多个DG连接的主馈线称为公共连接点(PCC)。当主网发生扰动时,微电网能无缝切换至离网运行从主网脱离。所谓无缝,即对重要敏感负荷的供电不受影响。当主网扰动清除后,微电网又能重新同步并入主网。微电网技术与常规DG的本质区别在于:前者允许并且人为安排离网运行;后者禁止离网(孤岛)运行。此区别是由两者在配网中的不同地位所决定的:前者从其概念提出之际即被当作是一个独立的电力系统,其设计宗旨为与配网互利共生,无缝切换及即插即用;而后者在配网中的地位是负荷层,确切说是有源负荷。自本世纪初其概念诞生至今,微电网技术取得了快速发展。文中简要介绍了微电网的组成及关键技术,阐述了近年来微电网技术的研究热点及国内外应用研究现状。

1 微电网技术简介

1.1 微电网的组成

微电网的组成包括:(1)微电源或微源,内容涵盖风电、光伏、燃料电池、微型燃气轮机、生物质发电等分布式电源;(2)储能装置,包括功率型(如飞轮、超级电容)和能量型(如铅酸电池、锂电池);(3)监控单元及调度体系;(4)负荷,包括不可中断负荷和可中断负荷;(5)离并网开关,用于将微电网与主网分合。

1.2 微电网的关键技术

微电网关键技术包括:新型电力电子技术、故障监测与保护技术、通信技术、规划技术、运行控制及能量管理技术等。美国、欧洲、日本等地区开展微电网研究已有多数年。近年,我国也开始关注这一领

域,并已在北京、郑州和广东等地建设了试点工程。就微源与微电网的协调及微电网自身与主网的协调而言,其尚存的技术难点包括:(1)离并网时的无缝切换技术;(2)储能技术及成本;(3)不同时间尺度上微电网内的电量自平衡。

2 微电网技术的研究热点

微电网概念自提出以来,学术界的研究方向主要包括:(1)微电网控制技术;(2)微电网的负荷跟踪及能量管理;(3)微电网保护。近年来的研究则衍生出一些新的热点,可将其划分为2类:一是将传统大电网、配电网的研究课题直接或改动后植入微电网环境下进行新的学术审视和考察,在新背景下继续挖掘“旧课题”的新内涵,如将传统的黑启动概念下放到微电网中,就衍生出微电网黑启动能力的研究^[1]。二是一些拓新课题,如微电源建模、微电网通信架构和技术^[2]。

2.1 微电网的能量管理

微电网的能量管理是指通过调节微源及储能出力、投切负荷、改变网架结构等手段以满足不同时间尺度上系统的能量平衡和频率稳定。频率波动来自两方面:(1)风、光等间歇性能源的出力波动;(2)主网与微电网交换功率的波动。微电网离网时的频率控制问题,实质是选取某个或多个出力源参与频率调节的过程。例如,对于燃料电池,可通过控制其电解槽的动态响应来平衡系统有功波动^[3]。对于交直流混合微电网,由于直流微电网不存在频率问题,因此能量管理策略上允许更灵活,其核心是维持交直流母线电压的稳定。

在频率调节方面,储能具有重要作用。蓄电池等能量型储能用以平抑数分钟乃至数小时尺度上的能量波动,着眼点是宏观上的能量平衡;而飞轮等功率型储能用于应对毫秒级乃至分钟级的短时功率波

动,着眼点是微观上的瞬时功率平衡。但是如何实现不同时间尺度上控制策略的自适应切换是实践中的难点。

能量管理的另一个研究热点是微源、储能及负荷的优化运行。与传统配电网不同,此类问题的求解需考虑微电网自身的特点:(1)潮流控制模式,即是否允许双向潮流,双向潮流的上下限等都会影响微电网的运营成本。(2)微电网经调问题本质上是多目标的,其目标函数除发电成本外,还需考虑各种环境因素,如最小化碳排放治理成本及离并网切换时用户的停电成本。(3)微电网经调问题本质上是多约束的,需考虑运行模式(并网或离网)、电价机制(如分时电价)、是否提供辅助服务(如供热)等约束。此外,求解算法上,人工智能算法如粒子群、模糊优化等也有所应用^[4]。

2.2 微电网的控制策略

早在1998年,Lasseter等在针对分布式电源控制的讨论中就提出了基于逆变器下垂控制来分摊负荷的思想。其认为可将光伏、燃料电池等出力源视为“原动机”范畴,依靠储能配合可实现不论何种原动机类型的微源接入,微电网对外部电网和负荷都能表现出“一致性”^[5]。

微电网除了并网、离网2种稳态运行模式外,还存在二者间的过渡过程。过渡过程的电能质量优劣与否是评价微电网控制策略的重要判据之一。微电网的不同运行方式及微源并网接口的拓扑形式都会导致其控制策略的多样性。此外,储能单元的配置也会影响控制策略的选取。微电网的控制微观上主要是对电力电子变换器的控制,变换器作为微源与微电网的主要接口扮演着能量转化和扰动缓冲的重要角色。其研究的另一重点是离网下的自治稳定运行。微电网离网运行较之并网运行的最大区别在于:并网时,其从PCC处获取主网电压的频率及幅值参考信号以和主网同步运行,离网时,其需设定新的参考信号以实现自治运行。

就学术界已提出的微电网控制架构来说主要有2类,一类是以欧盟MICROGRIDS项目提出的微电网中央控制器(MGCC)为代表的主从控制,可以是单主或多主模式^[6];另一类是以美国CERTS微电网为代表的对等控制,各微源处的控制器都能响应系统负荷需求并自动分摊且无需借助和其他微源间的通信。

当前,主从控制的研究主要围绕MGCC为核心的控制体系展开。如将模糊理论用于微源本地控制器的设计^[7];将最小化势函数法用于MGCC的设计等^[8]。当然,主从控制需借助MGCC与各微源本地

控制器间的频繁通信,故会增加系统成本。

对等控制的研究重点是对传统下垂控制器进行改进。针对低压线路呈阻性的特点,有学者提出基于虚拟同步旋转轴的解耦控制策略^[9]。针对传统下垂控制存在的抗干扰性差等不足,有2种改进措施,一是从外环入手,如采用带高阶微分修正项的下垂控制或自适应下垂系数以克服离网下的不确定扰动。二是修改内环,如引入高级滑模控制算法^[10],避免微电网电压在负荷或电源出力剧烈变化时震荡。

实践中由于下垂深度不能太大等原因,下垂控制在当前实际工程中应用较少,大多采用主从控制。考虑到未来通信成本的进一步下降,各种实用化的主从控制算法的实现和改进仍是今后一段时期微电网控制研究的重点。

2.3 微电网的稳定性

当前,对微电网稳定性的研究多集中于小扰动稳定性分析,研究手段大多为用状态空间法对微电网系统建模,在平衡点处线性化后求出状态矩阵的特征根来进行稳定性判定。就稳定性而言,微电网的一个特点是其网内会存在较多分散接入的间歇性出力源,因此在研究稳定性时可考虑随机性因素,由此也衍生出基于概率理论的稳定分析算法,如点估计法^[11]。另一显著不同在于,微电网中可能同时存在旋转型和逆变型电源,尤其是同时考虑旋转型及逆变型电源时,研究思路较为新颖,可以探讨诸如微电网临界稳定时,逆变型电源与旋转型电源的出力比例等问题。

此外,现有研究大多针对微电网自身稳定性而未涉及微电网与配网稳定性的相互影响,鉴于此,后者可作为微电网稳定性进一步的研究方向。

2.4 微电网的建模仿真

微电网的建模仿真主要集中于微源本体建模和逆变器等电力电子接口建模。从工具上来看,以MATLAB/Simulink和PSCAD/EMTDC为主。也有学者从较新的视角针对微电网某一专题采用多学科手段建模,如将风电、光伏出力用概率分布进行表征,并采用蒙特卡罗法对微电网供电可靠性进行分析^[12];或借助负荷建模理论,利用元件的相似性对微网整体建模^[13],也是一种新颖的研究思路。

2.5 微电网的继电保护

微电网保护的研究源自对DG保护的研究。由于仅为少数DG保护进行分散投资,无论从成本还是保护配置维护上而言并不经济,因此,更好解决方案是将众DG构成微电网,并视作整体来进行保护设计^[14]。然而,微电网接入会对配网保护产生如下根本性影响:

(1) 传统配网辐射供电、单向潮流的特点将不复存在,原有遵循时序配合的三段式保护需加装方向元件或纵联保护。配网发生故障时,微电网会提供故障电流,此时原有配网保护需重新配置。

(2) 保护设计需考虑是否允许故障后微电网离网运行。微电网离网与并网2种模式下的保护设计有所不同;并网时,逆变器输出电流受上限约束(如热约束),故障时不能提供足够大的短路电流,与离网运行时有较大差异,故保护配置需分开设计。针对离网时微电网的保护问题,需研究针对逆变型电源的新型故障定位及类型识别算法^[15]。

微电网保护的研究趋势包括:(1) 在传统方法上融入人工智能技术和新型暂态保护原理,以提高保护对方向信息的敏感性;(2) 基于分层分区或多代理思想的多级保护体系设计;(3) 直流微电网保护设计。

2.6 其他

关于微电网的潮流计算,如何尽可能少地修改雅克比矩阵以提高算法效率是研究重点,有学者主张根据出力特性划分不同微源在潮流计算中的节点类型^[16]。基于多代理系统(MAS)的控制架构是当前微电网控制领域的前沿方向之一。所谓多代理控制,即将人工智能领域的智能代理(agent)概念映射到实际微电网中的各部分,如主电网 Agent、微电网 Agent 和元件 Agent^[17]。通过 Agent 通信来完成微电网的控制。研究手段大多是利用开源的多代理建模平台如 JADE、Zeus^[18]等对 Agent 间的协调控制策略进行离线或实时的仿真验证。

3 国内外应用研究现状

近年来微电网的研究不仅在前述理论方面取得了较大进展,另一方面,国际上众多示范工程及试验系统也相继建立起来^[19],为微电网应用研究奠定了基础:美国,CERTS 的微电网项目已在俄亥俄州的 Dolan 技术中心进行了物理装置的测试。欧洲,希腊、德国等地已有微电网示范项目处于运行阶段。日本、英国等发达国家也开展了适合本国国情的微电网研究计划。如日本的微电网应用研究主要在其发展较成熟的光伏设施基础上,走以家庭光伏并网发电、商业中心区燃料电池电站配合储能为特色的微电网建设路线。

目前,国内微电网应用研究单位集中在部分高校、科研院所及电力企业,如天津大学、合肥工业大学、杭州电子科技大学、中科院电工所、中国电科院等,各自建立了相应的微电网示范项目或实验室,研究微电网的控制、运行及对主网安全稳定运行的影

响。实际工程方面,由于牵涉到电网的正常运营,因此必须由电网公司主导进行,如国家电网公司建设的河南财专微电网示范工程,作为国内第一个正式投入运行的微电网试点项目,取得了良好的运行业绩和社会效益。

可以看出,当前国内微电网应用研究的特点是涉研单位较广,但尚无某个机构拥有完整的集试验、仿真、检测等功能于一体的微电网应用研究平台。因此,就微电网应用研究而言,我国目前在国际上的知名度和影响力还较为有限,另一方面也表明在国家电监会及各电网公司等部门的政策支持下,国内相关单位在此领域还大有可为。

4 结束语

综上所述,微电网是以逆变型微电源为主的小型供电网络,能量管理上具有较高的自治性和灵活性,其核心技术是离网稳定运行及离并网时的无缝切换。文中认为微电网技术后续的研究可着眼于:微电网能量管理及通信架构;实用化的离网运行控制及无缝切换技术;微电网与配网稳定性的相互影响;微电网继电保护的新算法和新架构;微电网运营的政策法规研究;微电网建模仿真及一体化试验平台。

参考文献:

- [1] PECAS LOPES J A, MOREIRA C L, Resende F O. Microgrids Black Start and Islanded Operation [C]. Proceedings of 15th Power Systems Computation Conference, 2005.
- [2] SIOW L K, SO P L, GOOI H B, et al. Wi-Fi Based Server in Microgrid Energy Management System [C]. IEEE TENCON 2009 Proceedings, 2009.
- [3] LI X J, SONG Y J, HAN S B. Frequency Control in Micro-grid Power System Combined with Electrolyzer System and Fuzzy PI Controller [J]. Journal of Power Sources, 2008 (180): 468-475.
- [4] 杨佩佩,艾欣,崔明勇,等.基于粒子群优化算法的含多种供能系统的微网经济运行分析[J].电网技术,2009,33(20): 38-42.
- [5] NIKKHAJOEI H, LASSETER R. Distributed Generation Interface to the CERTS Microgrid [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2009, 24(3): 1598-1608.
- [6] PECAS LOPES J A, MOREIRA C L, MADUREIRA A G. Defining Control Strategies for Microgrids Islanded Operation [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2006, 21 (2): 916-924.
- [7] PAPANIMITRIOU C N, VOVOS N A. A Fuzzy Control Scheme for Integration of DGs into a Microgrid/[C]. Proceedings of 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, 2010.
- [8] MEHRIZI-SANI A, IRAVANI R. Potential-Function Based Control of a Microgrid in Islanded and Grid-connected Modes [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2010, 25 (4):

- 1883-1891.
- [9] LI Y, LI Y W. Decoupled Power Control for an Inverter Based Low Voltage Microgrid in Autonomous Operation [C]. Proceedings of IEEE 6th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2009.
- [10] MOHAMMADHASSAN A S, GEVORG B G. Dynamic Performance Enhancement of Microgrids by Advanced Sliding Mode Controller [J]. Electrical Power and Energy Systems, 2011, 21(4): 1-7.
- [11] XU X L, LIN T, ZHA X M. Probabilistic Analysis of Small Signal Stability of Microgrid Using Point Estimate Method [C]. Proceedings of International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, 2009.
- [12] YOKOYAMA R, NIIMURA T, SAITO N. Modeling and Evaluation of Supply Reliability of Microgrids including PV and Wind Power [C]. Proceedings of IEEE PES General Meeting, 2008.
- [13] 鞠平, 蔡昌春, 曹湘芹. 基于物理背景的微网总体建模[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(3): 7-11.
- [14] LAAKSONEN H J. Protection Principles for Future Microgrid [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2010, 25(12): 2910-2918.
- [15] 王伟. 含微网配电系统的继电保护问题研究[D]. 济南: 山东大学, 2009.
- [16] ZHANG Y P, LU Y P. A Novel Newton Current Equation Method on Power Flow Analysis in Microgrid [C]. Proceedings of IEEE PES General Meeting, 2009.
- [17] 章健, 艾芊, 王新刚. 多代理系统在微电网中的应用[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(24): 80-82.
- [18] FERROZE H. Multi-Agent Systems in Microgrids Design and Implementation [D]. Arlington: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2009.
- [19] 王成山, 杨占刚, 王守相, 等. 微网实验系统结构特征及控制模式分析[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(1): 99-105.

作者简介:

- 朱永利(1987), 男, 硕士研究生, 从事微电网运行控制、分布式电源建模研究工作;
- 姚建国(1963), 男, 研究员级高级工程师, 从事智能电网技术、电网调度运行研究工作;
- 刘骥(1967), 男, 高级工程师, 从事电力系统分析、配电自动化研究工作。

Key Technologies and Developing State of Microgrid

ZHU Yong-li, YAO Jian-guo, LIU Ji

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: The microgrid technology can solve the whole uncontrolled problem caused by traditional distributed generation dispersant integration and independent grid connection. When there is grid disturbance, microgrid control technology can effectively solve the power quality problem of key load in single distributed power and thus helpful to improve the power grid controllability. The hotspots and developing tendency of microgrid technology in recent years are described in the aspects including energy management, control strategy, protective relaying and so on. Besides, some key technical problems required to solve are also discussed. Combined with the relevant demonstration projects, the domestic application and research situation are introduced and the future development direction of microgrid technology is also proposed.

Key words: microgrid; distributed generation; seamless handover; master-slave control; peer-to-peer control

(上接第 80 页)

顾孟祥(1970), 男, 江苏苏州人, 工程师, 从事发电机组设备管理工作;

曾云峰(1977), 男, 江苏苏州人, 助理工程师, 从事发电厂运行

管理工作;

刘波(1973), 男, 江苏苏州人, 工程师, 从事发电厂运行管理工作。

Analysis and Solution for Over High Hydrogen Content of the Water-hydrogen-hydrogen Stator Coolant in One 300 MW Power Plant

SHI Song-mei, FAN Chao-guang, GU Meng-xiang, ZENG Yun-feng, LIU Bo

(Taicang Xiexingang Power Generation Co.Ltd., Suzhou 215433, China)

Abstract: Issues on the over high hydrogen content of the water-hydrogen-hydrogen stator coolant occurred in 4' power plant of Taicang Xiexin Power Generation Co.Ltd. are analyzed in this paper. According to the system constitution as well as the field inspection results, a reasonable solution scheme aiming to ensure the hydrogen content to be in an allowable scope is determined. To prevent the similar issues from happening again, prevention measures are also proposed in the current work.

Key words: water-hydrogen-hydrogen power plant; hydrogen content of stator coolant; analysis and solution; prevention measures