

智能电网用户端 讲座

第五讲 微电网发展及相关技术综述*

艾 芊

(上海交通大学 电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

摘 要: 微电网是智能电网的有机组成部分, 智能程度的高低主要体现在微电网管理上。综述了微电网的发展历程、研究现状, 给出了微电网发展的关键问题和相关技术及解决方案, 为我国微电网的发展提供建议。

关键词: 微电网; 分布式发电; 多代理; 集群管理; 智能算法

中图分类号: TM 727 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-5531(2012)13-0057-05



艾芊 (1969—), 男, 教授, 博士生导师, 博士后, 研究方向为电能质量、人工智能在电力系统中的应用, 电力系统元件建模和微电网。

V. Overview on Microgrid Development and Related Technology

AI Qian

(School of Electronic, Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Microgrid is an integral part of the smart grid and its management, and its management is a key question. The development and research on microgrid were presented. The key technology and ongoing research were listed and the related method and suggestion on its application in China were given.

Key words: microgrid; distributed generation; multi-agent system; cluster management; intelligent algorithm

0 引 言

为了应对不断高速增长电力需求及世界范围内的能源危机和环境问题, 目前有以下两种方案: 一是加大投资火电、水电以及核电等大型集中电源和超高压远距离输电网建设, 实现节能减排, 提高不可再生能源利用率; 二是利用新能源包括太阳能、风能、地热能、海洋能、生物质能等分布式电源 (Distributed Energy Resource, DER) 进行分布式发电 (Distributed Generation, DG), 又称分散式发电或嵌入式发电。前者方案随着电网规模的不断扩大, 弊端日益凸显: 成本高, 运行难度大, 难以适应用户越来越高的安全和可靠性要求以及多样化的供电需求^[1]; 而后者污染少、投资小、可再生^[2], 适应未来可持续发展的要求, 且由于 DER 特性一般可将供电地点选在离负荷较近的地点, 因此还具有提高供电可靠性和供电质量,

实现高利用率的冷热电三联供系统 (Combined Cooling Heating and Power, CCHP) 等优势, 有效地解决了大型集中供电的许多潜在问题。大电网与分布式发电相结合, 被国内外许多专家学者认为是降低能耗、提高电力系统可靠性和灵活性的主要方式^[3]。

本文综述了微电网的发展历程、研究现状, 结合现状提出微电网发展的关键问题和相关技术及解决方案, 为我国微电网的发展提供建议。

1 微电网发展

1.1 从分布式发电到微电网

随着交流高压远距离输电技术的发展, 联网带来的稳定性及其经济效益越来越明显, 将分散系统连接起来并网运行组成大电网成为一种趋势, 但大电网的弊端也渐渐显露出来, 人们开始对集中供电产生质疑, 开始探索新的供电模式^[4]。

* 基金项目: 国家自然科学基金 (51077092); 863 项目 (2007AA05Z458)

但直到 20 世纪 90 年代, DG 的潜在效益才被人们所逐渐认识^[5]。尽管 DERs 具有上述突出优点, 但 DERs 从某种程度上对大电网来说是一个不可控源, 而大系统也往往对它采取限制、隔离的方式, 以保证自身的稳定性。IEEE P1547 规定: 当电力系统发生故障时, 分布式能源必须马上退出运行。这极大地限制了对 DER 的利用。为了尽可能地利用 DG 所带来的经济效益和对可靠性的改善, 并尽量减少其对主网的冲击, 微电网的概念被提了出来^[6-8]: 微电网从系统观点看问题, 将发电机、负荷、储能装置及控制装置等结合, 形成一个单一可控的单元, 同时向用户供给电能和热能。微电网中的电源多为微电源, 接在用户侧, 具有低成本、低电压、低污染等特点。微电网既可与大电网联网运行, 也可在电网故障或需要时与主网断开单独运行。一个典型的微电网如图 1 所示。由于微电网特性, 往往需要采集不同类型的产自不同厂家的传感器的参数, 对不同的 IED 发布控制命令。管理者能方便地控制微电网的前提是实现采样数据和控制数据的透明传输。

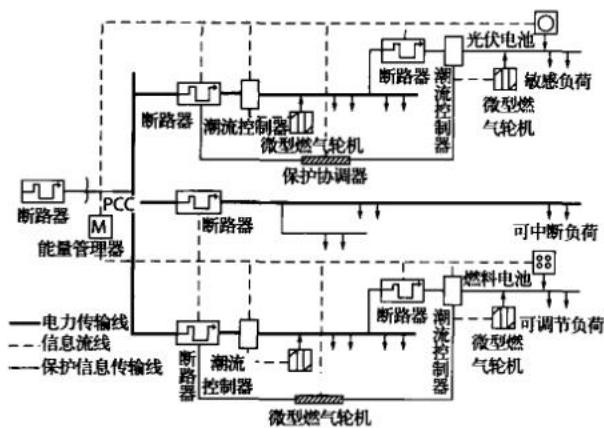


图 1 微电网示意图

1.2 从单微网到多微网

电网架构的更新, 分布式发电相关技术的发展, 提出了对供电可靠性的更高指标, 从而促进了微电网的进一步发展。传统单个微电网只有孤岛运行和并网运行两种方式, 运行时未能利用其他微电网中分布式资源 (Distributed Resource, DR), 其微电网系统的稳定性及对重要负荷供电的可靠性均不高。目前, 对同一配电网中多个微电网间如何相互支撑及协调运行甚至形成集群的研究深度不够, 不能更好、更完整地展现发展微电

网带来的社会效益和经济效益, 因此亟需开展多微网集群管理及协调运行的研究。利用配网环网结构可不通过上级电网对集群中负载供电以提高集群负载的供电可靠性, 缓解上级电网压力甚至可对其故障后的恢复进行能源援助, 多微网的出现及微网集群控制管理的研究将是微电网发展的一个趋势。

2 研究现状

2.1 国外研究现状

对于微电网进而到多个微电网组成集群的协调控制问题, 世界各国都进行了广泛研究, 其中欧美等发达国家起步较早, 已经取得了一定的成果。对微电网的主要研究项目和组织有欧盟的“*The Microgrids Project*”、美国 CERTS 和 PSERC 的微电网计划、美国 LBNL 组织的 DER-CAM 计划、日本的 NEDO 组织和加拿大 CANMET 能源技术中心等。自 2006 年起, 欧盟已经实施了“*More Microgrids*”研究计划, 作为“*The Microgrids Project*”计划的延续, 对多微网问题开展研究。

国外学者对多微网的研究也取得了若干成果: 文献[9]描述了基于多代理的微电网架构, 并对其分布式电源和负载控制方式进行了研究; 文献[10]描述了微电网间的协调控制、多微网集群的管理及中压调度/配电自动化相关技术, 具体研究微电网在多微网集群中的电压/频率协调控制及其运行状态的评估及调整手段; 文献[11]主要研究了多微网集群的状态评估及相应的测量手段; 文献[12]研究了基于粒子群算法和增益调度法的微电网参数协调控制, 把电能质量等系统要求均函数化成约束条件。文献[13-19]分析了微电网的影响, 从微电网接入^[13]、市场竞价^[14]、电能质量和供电可靠性建模与评估^[15]、多目标运行优化^[16]、对温室效应的影响^[17]、市场机制^[18]和对大电网故障后的恢复黑启动过程进行能源供应^[19]等方面进行了研究。从各国的研究现状可知, 更加先进、智能的控制策略以及含多微网的智能配电网是未来的研究方向之一。

2.2 国内研究现状

国内对微电网的前期研究主要追随国外的技术发展, 理论成果主要来自国外相关成果。近年

来,部分高校和研究单位高度重视微电网的研究和建设,如合肥工业大学、天津大学和浙江省电力试验研究院已建设或正在积极筹建微电网的试验研究机构,独立开展微电网的研究。2007年安徽省国际科技合作计划项目“分布式多能互补能源微电网供电系统集成与控制技术研究”由合肥工业大学与加拿大一大学共同开展。2008年10月,由中日双方共同实施的“先进稳定并网光伏发电微电网系统”,在杭州电子科技大学正式投入测试使用。三菱电气在中国的新疆地区建立了一个小型微电网,其中包括两个光伏电源,容量分别为10 kW和60 kW,一个容量为80 kW的蓄电池储能系统,及一个容量为100 kW的发电机,并通过就地控制器实现功率的调整。

自2009年提出建设坚强智能电网的战略目标以来,国家电网公司已建成或正在建设包括上海世博园、中新天津生态城、江西共青城、北京未来科技城、江苏扬州经济开发区等一批智能微电网综合示范工程;同时也正在积极建设甘肃白银、山东东营、江苏南京江宁开发区等一批智能园区微电网工程,从各个角度、各个层面综合展示智能微电网的先进技术和最新成果。

我国国内对多微网也展开了初步的研究与探索,主要研究对象是包含高比重分布式电源的配电网,即包含多个分布式发电孤岛的多微网配电系统。文献[20]目前主要研究了包含多个分布式发电孤岛的多微网配电系统,推导出了用于评估DG并网运行方式对供电可靠性影响的数学模型和SAIFI-Island曲线;并且在供电可靠性分析的基础上,根据功率平衡原则、产权关系和电气分布,定义了单元孤岛和组合孤岛,提出了多微网配电系统分层孤岛运行的概念。在此基础上,针对多微网配电系统的保护策略,应用了扩展纵联比较原理和MAS结构,提出了三层次的多微网配电系统保护策略并且提出了一种实现分层孤岛运行的分层分布式控制系统。文献[21]在多微网系统的故障检测方面,提出一种通过比较多点故障方向信息进行故障区段判断的区域纵联保护系统。文献[22]提出了一种以纵联比较式保护原理为基础的包含多微网配电系统的区域纵联保护方案,并根据这一方案研发了保护装置样机。文献[23]提出了

一种考虑馈线容量约束的多微网配电系统供电可靠性蒙特卡洛评估模型。

3 关键问题及技术

3.1 多代理

多代理系统(Multi-Agent System, MAS)是人工智能领域一个崭新的发展方向。它是由多个功能独立、具有逻辑推理能力和通信能力的Agent联合而成,主要是针对行为的管理,包括如何协调各Agent知识、目标、策略和规划,以采取联合行动实现全局的目标和求解问题。多代理技术通过代理之间的通信实现协调控制和能量优化管理,克服了单一代理无法解决复杂问题的局限,使整个系统具备了分布式控制和分布式计算的能力。这种多代理系统具有以下特点:

(1) 每个代理可以是系统中的一个实体,也可以是虚拟的;

(2) 每个代理都能够对所处系统产生影响;

(3) 代理之间可以进行通信,使得它们在控制中可以进行协调;

(4) 每个代理都具有一定的自治性,在一定程度上它们可以脱离中央控制器而独立制定控制策略;

(5) 代理具有一定的偏向性或局部性,因为多代理系统的目标是用最小的数据交换和运算量去控制复杂系统;

(6) 每个代理都有一个明确的行为,并且倾向于通过控制满足特定的目标。

3.2 集群管理

微电网单元在集群层面运行时,通过对鱼群效应的研究,明确其在集群中的控制思路,简化其控制方法,在有限的信息及智能下即可做出优化决策以稳定集群运行或响应集群外部事件。如在社会效应或经济效应较大的配电网区,当电力供给突然紧缺时,微电网集群中所有DG进入最大发电模式,同时甩3类负荷以保障区域范围内1、2类负荷的正常供电以避免巨大损失;在电网部分参数剧烈波动时,切断部分DG和负荷以保障设备安全,同时调整可靠部分的相应资源以保证集群剩余部分的稳定运行;在一般情况下集群尽可能降低从主电网吸收的功率,不仅低碳环保,而且还降低了配电网中变压器与馈线上的损耗。

集群中的微电网彼此通过配网网络连接,其彼此间的影响范围也往往在附近的一两个相邻的微电网。针对一些配电网层面的突发事件,微电网仅仅根据自身状态做出的行为决策往往是盲目的,但如果配电网中所有微电网都需要上级的明确指令来完成一定的动作,不仅对上级是一个很大的负担,其动作的时效性也是缺乏保证的。如何将微电网形成一个类似鱼群的集群及这个集群该如何借鉴鱼群效应来实现相应的协调运行将是一个关键科学问题。多微网集群管理系统如图2所示。

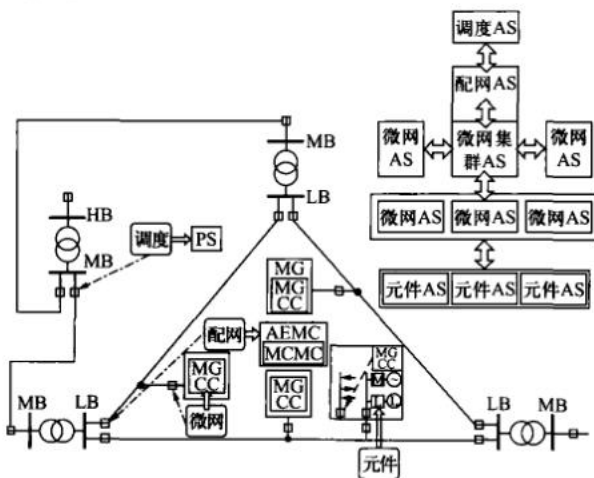


图2 多微网集群管理系统示意图

从多代理管理的角度分析,其管理系统由在MAS的单元构成。

(1) 主变/配电站(Primary Substation, PS)——调度AS:对多个配电网进行供电;

(2) 区域能量管理中心(Area Energy Management Centre, AEMC)——配网AS:管理一个配网区域;

(3) 微网集群管理中心(Microgrid Cluster Management Centre, MCMC)——配网AS:决策配网区域内微网集群的行为;

(4) 微网中心控制单元(Microgrid Central Controller, MGCC)——微网AS:管理微网区域;

(5) 微源/负荷控制器(Microsource Controller/ Load Controller, MC/LC)——元件AS:管理一个或一些设备。

调度AS一般在调度中心,AEMC、MCMC均在电力公司,这两个部分里面均有很高的智能性并由专业人员现场参与决策;微网AS可能设在

某一或某几个小区,这一部分智能性不高,决策主要依赖于上层AS和专业人员的远程控制;元件AS一般智能性较低,只能做出一些简单的反应。

从能量的角度分析,微电网直接连接到主动配电网,其电能可直接与配电网进行交换;即使输电部分出了故障,从物理的角度来说微电网仍然可以通过已有的配电网线路进行能量交换,以保障区域内重要负荷的供电可靠性,其潮流情况将会和正常运行时截然不同。

4 结 语

本文综述了微电网的发展历程、研究现状,提炼了微电网的多代理、集群控制的相关技术,提供了基于鱼群效应的微电网集群管理示意图,使得多个微电网可利用配电网环网结构相互供电以提高集群整体的稳定性和集群中重要负载的供电可靠性,缓解上级电网压力甚至可对其故障后的恢复进行能源援助,进一步提升DG在电网稳定、供电可靠性、经济性等方面的效益,为微电网的发展做出应有的贡献。同时,这些研究也是电气、通信、生物等学科交叉的最新技术在电力系统中的应用。

【参考文献】

- [1] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等.微电网研究综述[J].电力系统自动化,2007,31(19):100-107.
- [2] 郑漳华,艾芊.微电网的研究现状及在我国的应用前景[J].电网技术,2008,32(16):27.
- [3] 李峰,李兴源,郝巍.不间断电力变电站中分布式电源接入系统研究[J].继电器,2007,35(10):13-19.
- [4] SCHUMACHER E F. Small is beautiful; A study of economics as if people mattered[M]. London. UK: Blond & Briggs, 1973.
- [5] LOVINS A. Small is profitable: The hidden economic benefits of making electrical resources the right size [M]. Snowmass, Co. USA: Rocky Mountain Institute, 2002.
- [6] LASSETER R H, PAIGI P. Microgrid: A conceptual solution [C] // IEEE Power Electronic Specialists Conference, Aachen, 2004.
- [7] LASSETER R H. Microgrids [C] // Power Engineering Society Winter Meeting, New York, 2002.
- [8] HATZIARGYRIOU N, ASANO H, IRANVANI R, et al. Microgrids[J]. IEEE Power and Energy Magazine,

- 2007, 5(4): 78-94.
- [9] JIMENO J, ANDUAGA J, OYARZABAL J, et al. Architecture of a microgrid energy management system [J]. European Transactions on Electrical Power, 2011, 21: 1142-1158.
- [10] MADUREIRA A G, PEREIRA J C, Gil N J, et al. Advanced control and management functionalities for multi-microgrids [J]. European Transactions on Electrical Power, 2011, 21: 1159-1177.
- [11] KORRES G N, HATZIARGYRIOU N D, KATSIKAS P J. State estimation in multi-microgrids [J]. European Transactions on Electrical Power, 2011, 21: 1178-1199.
- [12] CHUNG I-Y, LIU W, CARTES D A, et al. Control parameter optimization for multiple distributed generators in a microgrid using particle swarm optimization[J]. European Transactions on Electrical Power, 2011, 21: 1200-1216.
- [13] HATZIARGYRIOU N D, ANASTASIADIS A G, VASILJEVSKA J, et al. Quantification of economic, environmental and operational benefits of microgrids [C] // Proceedings of the IEEE Power Tech 2009, Bucharest, Romania, Paper No. 512.
- [14] TSIKALAKIS A G, HATZIARGYRIOU N D. Operation of microgrids with demand side bidding and continuity of supply for critical loads[J]. European Transactions on Electrical Power, 2011, 21: 1238-1254.
- [15] DIALYNAS E N, DAOUTIS L. Modelling and evaluation of microgrids reliability and operational performance and its impact on service quality [J]. European Transactions on Electrical Power, 2011, 21: 1255-1270.
- [16] SCHWAEGERL C, TAO L, MANCARELLA P, et al. A multi-objective optimization approach for assessment of technical, commercial and environmental performance of microgrids[J]. European Transactions on Electrical Power, 2011, 21: 1269-1288.
- [17] STADLER M, SIDDIQUI A, MARNAY C, et al. Control of greenhouse gas emissions by optimal DER technology investment and energy management in zero-net-energy buildings[J]. European Transactions on Electrical Power, 2011, 21: 1291-1309.
- [18] PUDJIANTO D, MANCARELLA P, GAN C K, et al. Closed loop price signal based market operation within microgrids [J]. European Transactions on Electrical Power, 2011, 21: 1310-1326.
- [19] RESENDE F O, GIL N J, LOPES J A P. Service restoration on distribution systems using multi-microgrids[J]. European Transactions on Electrical Power, 2011, 21: 1327-1342.
- [20] 丁磊. 多微网配电系统的分层孤岛运行及保护控制[D]. 济南: 山东大学, 2007.
- [21] 丛伟, 荀堂生, 肖静, 等. 包含多微网的配电系统故障检测算法[J]. 电力自动化设备, 2010(7): 50-53.
- [22] 张嵩. 用于包含多微网配电系统的保护装置研究[D]. 济南: 山东大学, 2011.
- [23] 葛少云, 王浩鸣, 刘洪. 考虑馈线容量约束的多微网配电系统可靠性评估[J]. 天津大学学报, 2011(11): 961-967.

收稿日期: 2012-05-15

(上接第 47 页)

(1) AC-32/03 按 $3 I_0$ 进行;

(2) AC-32/07 按 $6 I_0$ 进行;

(3) AC-33 按 $10 I_0$ 进行;

(4) ATSE 的触头转换时间短的比转换时间长的负载所产生的冲击电流要小一些。

通过对 ATSE 转换不同类别负载试验验证与研究, 清楚定义了 AC-32、AC-33i 及 AC-33 概念。以往 IEC 60947-6-1: 2005 标准及 GB/T 14048.11—2008 标准中对这三个使用类别的定义描述不够清楚, 通过试验验证得到 140 组数据

(使用类别的试验共进行 12 项 140 次), 重新描述这三个使用类别的定义, 并确定相应的过载特性(接通与分断能力)考核指标。AC-32/03 将代替 AC-32; AC-32/07 将代替 AC-33i; AC-33 代码不变, 但描述有较大的变化。新的使用类别不仅让用户选择负载有了更清晰概念, 也有利于试验检测部门、制造商的检验和考核。

【参考文献】

- [1] GB14048.11—2008 低压开关设备和控制设备 第 6-1 部分: 多功能电器 转换开关电器[S].

收稿日期: 2012-05-18