

微电网技术研究现状

国海^{1,2}; 苏建徽¹; 张国荣¹

(1. 合肥工业大学电气与自动化工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 安徽科技学院, 安徽 凤阳 233100)

摘要: 首先阐释了微网的概念、结构及特点, 然后对当前美国、欧盟和日本等国的微网研究现状进行了介绍, 并介绍了微网运行方式, 最后着重探讨了现阶段微电网研究中的关键问题及相关研究现状。

关键词: 微网; DG; 分布式发电; 电网

Abstract: Firstly the concept, the structure and the characteristics of microgrid are presented. Then the present development of microgrid in the United States, Europe and Japan is introduced as well as the operation modes of microgrid. At last the key problems and the research conditions related to microgrid are discussed emphatically.

Key words: microgrid; DG; distributed generation; power grid

中图分类号: TM711 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)02-0001-06

1 微网的概况

1.1 微网产生的背景

随着国民经济的发展, 电力需求迅速增长, 电网规模不断扩大, 超大规模电力系统的弊端也日益凸现, 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。尤其在近年来世界范围内接连发生几次大面积停电事故^[1], 2008年年初中国南方冰灾还是在汶川震灾期间, 中国电网都发生了大面积的停电^[2], 电网的脆弱性充分暴露了出来。

分布式发电可以提供传统的电力系统无可比拟的可靠性和经济性, 具有污染少、可靠性高、能源利用效率高, 同时分布式电源位置灵活、分散的特点极好地适应了分散电力需求和资源分布, 延缓了输、配电网升级换代所需的巨额投资, 它与大电网互为备用也使供电可靠性得以改善^[3]。欧美等发达国家已开始广泛研究能源多样化的、高效和经济的分布式发电系统, 并取得了突破性进展^[4]。

尽管分布式电源优点突出, 但本身存在诸多问题, 如分布式电源单机接入成本高、控制困难等。另外, 为减小分布式电源对大电网的冲击, 大系统往往采取限制、隔离的方式来处置分布式电源, 当电力系统发生故障时, 分布式能源必须马上退出运行。这就大大限制了分布式能源的充分发挥, 也间接限制了

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50777015)

对新能源的利用^[5]。

为了降低 DG 带来的不利影响, 同时发挥 DG 积极的辅助作用, 一个较好的解决方法就是把 DG 和负荷一起作为配电子系统——微网 (Microgrid)^[6~8]。

1.2 微网的概念

从 1999 年开始, 美国电力可靠性技术解决方案协会 (consortium for electric reliability technology solutions CERTS) 首次对微电网在可靠性、经济性及其对环境的影响等方面进行了研究。到 2002 年, CERTS 从结构、控制、经济等方面系统全面介绍了微网的概念^[6]: 微电网是一种由负荷和微型电源共同组成的系统, 它可同时提供电能和热量; 微电网内部的电源主要由电力电子器件负责能量的转换, 并提供必要的控制; 微电网相对于外部大电网表现为单一的受控单元, 并可同时满足用户对电能质量和供电安全等方面的要求。

1.3 微网的结构

微网的基本结构如图 1 所示, 微网中包含有多个 DG 和储能系统, 联合向负荷供电, 整个微网对外是一个整体, 通过断路器与上级电网相联。微网中 DG 可以是多种能源形式 (光电、风电、微型燃气轮机等), 还可以以热电联产 (combined heat and power CHP) 或冷热电联产 (combined cold heat and power CCHP) 形式存在, 就地向用户提供热能, 提高 DG 利用效率。

在图 1 中微网有 A、B、C 三条馈线, 其中 A、C 馈线中含有重要负荷, 安装有多个 DG, 馈线 B 为非重

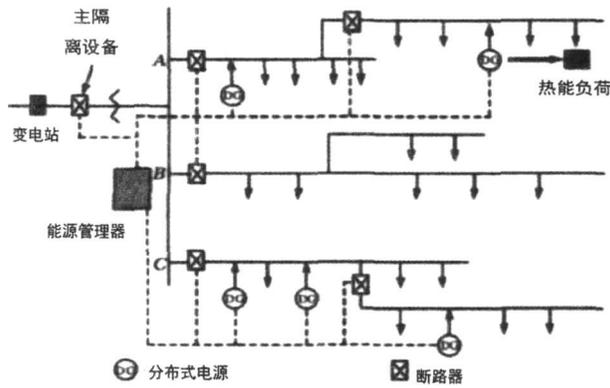


图 1 微网结构

要负荷,必要时可将其切断。馈线 A 中含有一个运行于 CHP 的 DG,同时向用户提供热能和电能。当外界大电网出现故障停电或有电力质量问题时,微网可以通过主断路器切断与外界联系,进入孤立运行状态。此时微网全部由 DG 供电,馈线 B 通过公共母线得到电能正常运行。如果系统需要,可以断开馈线 B 停止对非重要负荷供电。当故障解除之后,主断路器重新合上,微网重新恢复和主电网同步运行,保证系统平稳的恢复到并网运行状态。

1.4 微网的特点

通过微网的结构和定义可知,微网技术是新型电力电子技术和分布式发电、可再生能源发电技术和储能技术的有机结合。具有以下主要特点:

- (1)微网提供了一个有效集成应用 DG 的方式,继承拥有了所有单独 DG 系统所具有的优点。
- (2)微网作为一个独立的整体模块,不会对大电网产生不利影响,不需要对大电网的运行策略进行修改。
- (3)微网可以以灵活的方式将 DG 接入或断开,即 DG 具有“即插即用”的能力。
- (4)多个 DG 联网的微网增加了系统容量,并有相应的储能系统^[9],使系统惯性增大,减弱电压波动和电压闪变现象,改善电能质量。
- (5)微网在上级网络发生故障时可以孤立运行继续保障供电,提高供电可靠性^[10]。

2 微网的研究现状

2.1 美国的微电网研究

美国 CERTS 最早提出了微电网的概念^[6~8],并且是众多微电网概念中最权威的一个。美国 CERTS 在文献 [6] 中对其微电网的主要思想及关键问题进

行了描述和总结,系统地概括了美国 CERTS 微电网的定义、结构、控制、保护及效益分析等一系列问题。

美国 CERTS 微电网的初步理论研究成果已在实验室微电网平台上得到了成功检验^[11,12]。2005 年 CERTS 微网的研究已经从仿真分析、实验研究阶段进入现场示范运行阶段。由美国北部电力系统承建的 Mad River 微电网是美国第一个微电网示范工程,用于检验微电网的建模和仿真方法、保护和控制策略以及经济效益等,并初步形成关于微电网的管理政策和法规等,为将来的微电网工程建立框架^[13]。

美国能源部还与通用电气共同资助了第二个“通用电气 (GE) 全球研究 (Global Research)”计划,GE 的目标是开发出一套微电网能量管理系统 (microgrid energy management MEM),包括电气和热能的性能和成本优化控制,与公用电网的并网控制及对可再生能源间歇性发电的管理。

在美国还开展了许多研究,如加州能源委员会资助的分布式效能集成测试平台、美国国家可再生能源实验室所完成的对佛蒙特州微电网的安装和运行的检验,它们都促进了微电网的发展。

2.2 欧洲微电网的研究现状

欧洲各国对微电网的研究越来越重视,近几年来各国之间开展了许多合作和研讨。2005 年,欧洲提出“Smart Power Networks”概念^[14]。欧盟微电网项目 (European Commission Project Microgrids) 给出的定义是利用一次能源;使用微型电源,分为不可控、部分可控和全控三种,并可冷、热、电三联供;配有储能装置;使用电力电子装置进行能量调节^[14,15]。

欧盟第五框架计划 (5th Framework Program, FP5) 中,专门拨款 450 万欧元资助微电网研究计划。该项目已完成并取得了一些颇具启发意义的研究成果,如 DERs 的模型、可用于对逆变器控制的低压非对称微电网的静态和动态仿真工具、孤岛和互联的运行理念、基于代理的控制策略、本地黑启动策略、接地和保护的方案、可靠性的定量分析、实验室微电网平台的理论验证等。

欧盟第六框架计划 (6th Framework Program, FP6) 资助 850 万欧元。目前,这项计划正在进行中。欧洲所有的微电网研究计划都围绕着可靠性、可接入性、灵活性 3 个方面来考虑。电网的智能化、能量利用的多元化等将是欧洲未来电网的重要特点。

2.3 日本微电网研究

日本在国内能源日益紧缺、负荷日益增长的背景下,也展开了微电网研究,但其发展目标主要定位于能源供给多样化、减少污染、满足用户的个性化电力需求^[6]。日本专门成立了新能源与工业技术发展组织(NEDO)统一协调国内高校、企业与国家重点实验室对新能源及其应用的研究。NEDO在微电网研究方面已取得了很多成果^[17]。NEDO在2003年的“Regional Power Grid with Renewable Energy Resources Project”项目中,开始了3个微电网的试点项目^[18]。这3个测试平台的研究都着重于可再生能源和本地配电网之间的互联,分别在青森县、爱知和京都,可再生能源在3个地区微电网中都占有相当大的比重。目前日本在微电网示范工程的建设方面处于世界领先地位。

有日本学者提出了灵活可靠性和智能能量供给系统(flexible reliability and intelligent electrical energy delivery system, FRIENDS)^[19],利用FACTS元件快速灵活的控制性能实现对配电网能量结构的优化。

从各国对未来电网的发展战略和对微电网技术的研究与应用中可以看出,微电网的形成与发展绝不是对传统集中式、大规模电网的变革,而是代表着电力行业在服务、能源利用、环保等方面的一种提高与改善,是对大电网的有益补充。

3 微电网的运行方式

微电网系统有与外部电网并网和独立运行两种模式。当电网并网时,微电网内的负荷根据用户的情况从电网内部以及外部吸收能量。由于电压降落、故障、停电检修等原因造成外部电网连接中断,微电网需要从并网平滑过渡到独立运行状态。与外部电网隔离后,微电网进入独立运行模式。文献[20]通过微网实验系统运行证明:微网系统在合理的控制下可以实现并网运行和孤立运行,并可实现两种运行模式的平滑过渡。

3.1 并网运行

对微电网自身来说,并网运行方式是其正常工作方式之一。由于下列问题:在电网内部,由于某个发电单元故障、检修等原因退出运行或者负荷急剧增加,致使供电功率不足需要与外电网并联引进功率;或者由于在某种极限情况,在满足负荷和储能需求后,仍有功率富余,可与外电网并联向外送出能量。

并网运行时,微网和传统配电网类似,服从系统调度,可同时利用微网内DG发电和从大电网吸取电能,并能在自身电力充足时向大电网输送多余电能。

3.2 孤立运行

孤立运行的能力是微网最重要的特点。在由于母线电压降落、外部电网发生故障或并网联络线突然跳闸等造成外部电网连接中断,微电网需要平滑地从并网运行模式到独立运行模式。

文献[21~25]针对上述不同情况对微电网稳定的影响,需要分别通过采取不同的分析和建模方法加以研究。并通过软件仿真证明了微网在上级网络断电后可以成功进入孤立运行。文献[25]对微网孤立运行时,不同类型DG间相互干扰问题进行了研究,通过仿真,表明了储能设备对微网频率恢复的重要性。文献[26]研究了微网孤立运行时无功电容器优化配置问题,使用遗传算法实现了电容器布点和容量的最优化规划,对微网无功平衡和电压控制有着积极作用。

4 微网的关键技术

4.1 微网的控制

由微电网的结构和特点可见,微电网的运行离不开完善的稳定与控制系统。控制问题是微电网研究中的一个难点问题。其中主要原因在于微电网中的微电源数目过多,一个中心控制点对整个系统的快速反应和相应控制较难实现,一旦系统中某一控制元件故障或软件出错,很可能导致整个系统瘫痪。因此,微电网控制应该做到能够基于本地信息对电网中的事件做出自主反应。

4.1.1 基于电力电子技术的“即插即用”的控制^[27]

DG控制器基于本地信息进行操作,每个控制器可以按照预先设定的方式对负荷变化做出反应,不需要从其他DG获取通讯数据。这样就使每个DG系统拥有“即插即用”的能力^[28]。即插即用意味着一个DG不需对机组的控制和保护做任何更改就可以直接应用于微网之中,这种DG模块可以接入微网中任何需要它的地方。文献[29]提出一种控制方法允许DG的分散布局且不需要DG之间的高速通讯。

此类方法根据微电网要求,通过下垂特性曲线进行控制,将系统的不平衡功率动态分配给各机组承担,具有简单、可靠、易于实现的特点。但该方法没有

考虑系统电压与频率的恢复问题,因此,在微电网遭受严重扰动时,系统的频率质量可能无法保证。该方法仅适用于基于电力电子技术的微电源间的控制。

4.1.2 基于功率管理系统的控制^[30]

该方法采用不同控制模块对有功、无功分别进行控制,很好地满足了微电网多种控制的要求,尤其在调节功率平衡时,加入了频率恢复算法,能够很好地满足频率质量要求。另外,针对微电网中对无功的不同需求,功率管理系统采用了多种控制方法,从而大大增加了控制的灵活性并提高了控制性能。但与第一种方法类似,这种方法只讨论了基于电力电子技术的机组间的协调控制,未综合考虑它们与含调速器的常规发电机间的协调控制。文献[6、31]中对此类控制方法进行了详细介绍。

4.1.3 基于多代理技术的控制

该方法将传统电力系统中的多代理技术应用于微网控制中。代理的自治性、反应能力、自发行等特点,正好满足微网分散控制的需要。

文献[32、33]介绍了多代理系统技术在微网控制中的积极作用。基于 C/S 架构的多代理微网管理软件,使用客户端在 DG 机组、负荷、能量管理器实现了智能化分布控制,达到微网内 DG 之间负荷分配最优化和微网同主电网间能量交换的最优化。

但目前多代理技术在微网中的应用多集中于协调市场交易、对能量进行管理方面,尚未达到对微电网中的频率、电压等进行控制的层面。要使其在微网控制中发挥更大作用,仍需大量的研究工作,运用更加先进、智能的控制策略。

4.2 微网的保护

微电网的保护问题与传统电力系统的保护有很大区别,主要表现为:潮流的双向性和并网运行与独立运行两种工况下短路电流差异较大两方面。因此,如何保证保护的选择性、快速性、灵敏性与可靠性,是微电网保护研究的关键和难点。

文献[34]针对单相接地故障与线间故障给出了基于对称电流分量检测的保护策略,以零序、负序电流分量作为主保护的動作值,并结合传统的过电流保护,取得了良好的效果。文献[35]研制出微电网保护的硬件装置。

但由于微网的特点,发电机和负荷容量对保护的影响、不同类型发电机对保护的影响及微电网不同运行方式和结构对保护的影响等,都是微电网保护策略

研究中的关键问题,仍需大量的研究工作。

4.3 微网的经济性

微电网的经济效益是多方面的,其效益主要集中在能源的高效利用和环保以及个性化电能供给的安全、可靠、优质等方面。

4.3.1 经济性设计

美国 CERTS 提出的分布式电源用户侧模型(DER-CAM-distributed energy resource customer adoption model)是对微电网资源结构进行经济设计的重要工具^[36、37]。该模型将分布式发电的安装和运行成本等与电力部门的供电费用结构进行比较,可以为用户提供供电效果佳且成本低分布式发电技术组合以及热电联产的技术配置决策。文献[38]将地理信息系统与 DER-CAM 模型结合起来,采用就近组合原则形成用户群,为实现良好的经济效益提供了现实基础。

4.3.2 微网运行的最优化

微网的经济最优化问题和大型电力系统有着很大不同, DG 可以以 CHP 形式同时供给电能和热能。另外,微网的独特设计可以提供比一般配电网更高的可靠性,满足对可靠性有特殊要求的用户需求,提高电力附加价值。

文献[39]根据微网经济的独特性,提出一种微网经济最优化的运行策略。文献[40]介绍了微网技术的应用,从中肯定了微网的市场竞争力。文献[41]使用序贯蒙特卡罗模拟法,提出了一种处理网络重构的算法,以得到最优化的微网配置,以期减小购买主电网电能的投资,并减小由于供电中断引起的损失。

文献[42]从电力市场的角度对微网并网运行管理作了研究探讨,从 DG 的控制策略和微网与大电网电能交换等方面论述了微网的管理和控制,以期实现运行的最优化。

文献[43]通过仿真计算,提出利用价格信号控制微网和电力市场运作的方法,并介绍了微网技术带来的经济性和环保方面的优点。文献[44]通过竞标的方法实现电源和电力负荷的双边联系,以此实现调整 DG 以适应电力需求。

尽管以上相关文献对微网的经济性和运行的最优化进行了相关的探讨,但随着微网的发展与成熟,如何将微电网对用户、电力部门及社会的效益全面量化,仍将需更深入的分析研究。

5 结 语

在能源日益紧缺的背景下,可再生能源、新能源的开发利用普遍受到重视,微网在提高供电可靠性、改善电能质量、节约能源与环保等方面的突出优点都决定了微网的研究具有现实意义和价值,也将是今后电力系统发展的重要课题。

参考文献

[1] 胡学浩. 2003 年国外(美加、意大利、瑞典和英国)大停电事故经验及教训 [A][C]. 电力系统安全及其战略防御高级学术研讨会论文集.

[2] 许洪阳. 通过冰灾和震灾看发展分布式电源和微电网的重要性——访电网规划专家田华 [J]. 电子技术, 2008, 8.

[3] 李蓓, 李兴源. 分布式发电及其对配电网的影响 [J]. 国际电力, 2005, 9(3): 46—49.

[4] 梁有伟, 胡志坚, 陈允平. 分布式发电及其在电力系统中的应用研究综述 [J]. 电网技术, 2003, 27(12): 71—75.

[5] 梁才浩, 段献忠. 分布式发电及其对电力系统的影响 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25(12): 53—56.

[6] Lassetter R, Akhil A, Mamay C, et al. The CERTS Micro-Grid Concept [EB/OL]. [2008—10—18]. CERTS <http://certs.lbl.gov/pdf/50829.pdf>

[7] Lasseter R H, Paigi P. Microgrid: A conceptual solution [C] // The 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference Aachen, Germany, 2004.

[8] Mamay C, Rubio F J, Siddiqui A S. Shape of the Microgrid [C] // 2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting Columbus USA, 2001.

[9] 程华, 徐政. 分布式发电中的储能技术 [J]. 高压电器, 2003, 39(3): 53—56.

[10] 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.

[11] Stevens J. Development of sources and a testbed for CERTS microgrid testing [C] // 2004 IEEE Power Engineering Society General Meeting Denver USA, 2004.

[12] Stevens J, Klapp D. CERTS microgrid system tests [J]. Power Engineering Society General Meeting Tampa 2007.

[13] Klinger A. Northern power systems microgrid power network to address risk of power outages [EB/OL]. [2008—10—20]. <http://www.northermpower.com>.

[14] European Commission. Strategic research agenda for Eu-

rope's Electricity Networks of the Future [EB/OL]. [2008—10—20]. http://www.smartgrids.eu/documents/sra/sra_finalversion.pdf

[15] Sanchez M. Overview of microgrid research and development activities in the EU [C]. Montreal 2006—Symposium on Microgrids 2006.

[16] Tadai Hiro, Goda. Microgrid research at Mitsubishi [EB/OL]. [2008—10—20]. http://www.energy.ca.gov/pier/esi/documents/2005-06-17_symposium/GO-DA_2005-06-17.pdf

[17] SATOSHIMorozumi. Overview of microgrid research and development activities in Japan [EB/OL]. [2008—11—02]. http://www.cceem.unsw.edu.au/content/userdocs/overview_of_microgrid_management_and_control_000.pdf

[18] Tsuji K. FRIENDS in the context of microgrid research [EB/OL]. [2008—11—02]. http://der.lbl.gov/newsite/2005microgrids_files/presentation_pdfs/CERTS-Tsuji.pdf

[19] KIICHIRO Tsuji. Friends in the context of microgrid research [EB/OL]. [2008—11—05]. http://der.lbl.gov/newsite/2005microgrids_files/presentation_pdfs/CERTS-Tsuji.pdf

[20] Georgakis D, Papathanassiou S, Hatziaargyriou N, et al. Operation of a prototype microgrid system based on micro-sources equipped with fast-acting power electronics interfaces [C] // 2004 Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference 35th Aachen, Germany, 2004.

[21] Katiraei F, Iravani M R, Lehn P W. Micro-grid autonomous operation during and subsequent to islanding process [J]. IEEE Trans On Power Delivery, 2005, 20(1): 248—257.

[22] Mendez L, Narvarte L, Marsinach A G, et al. Centralized stand alone PV system in microgrid in Morocco [C] // The 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 2003.

[23] Pecos Lopes J A, Moreira C L, Madureira A G, et al. Control strategies for microgrids emergency operation [C] // 2005 International Conference on Future Power Systems 30th Amsterdam, Netherlands, 2005.

[24] Laaksonen H, Saari P, Komulainen R. Voltage and frequency control of inverter based weak LV network microgrid [C] // 2005 International Conference on Future Power Systems 30th Amsterdam, Netherlands, 2005.

[25] Zoka Y, Sasaki H, Yomo N, et al. An interaction problem of distributed generators installed in a microgrid [A] // 2004 IEEE International Conference on Electric Utility

- Deregulation, Restructuring and Power Technologies Hong Kong, China; 2004.
- [26] Al-Askari S A, Ranade S J, Mittra J. Optimal allocation of shunt capacitors placed in a microgrid operating in the islanded mode[C]// Proceedings of the 37th Annual North American power symposium. Ames, USA; 2005.
- [27] PIAGIP, LASSETER R H. Autonomous control of micro grids//Proceedings of 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting, Jun 18-22, 2006, Montreal, Quebec, Canada. Piscataway, NJ, USA; IEEE, 2006; 8-15.
- [28] Lasseter B. Role of distributed generation in reinforcing the critical electric power infrastructure [C]// 2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Columbus, USA; 2001.
- [29] Stevens J. Development of sources and a testbed for CERTS microgrid testing[C]// 2004 IEEE Power Engineering Society General Meeting, Denver, USA; 2004.
- [30] KATRAEIF, RAVANMR. Power management strategies for a micro grid with multiple distributed generation units. IEEE Trans on Power Systems, 2006, 21(4): 1821-1831.
- [31] Lasseter R H. Microgrids[C]// 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, USA; 2002.
- [32] Dineas A, Hatziargyriou N. A multi-agent system for microgrid operation[C]// Power Engineering Society General Meeting, Denver, USA; 2004.
- [33] Dineas A L, Hatziargyriou N D. Operation of a multiagent system for microgrid control[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 20(3): 1447-1455.
- [34] NIKKHAJOE H, LASSETERRH. Micro grid Fault Protection based on symmetrical and differential current components[EB/OL]. [2008-11-05]. <http://www.psero.org/cgi-bin/psero/getbig/publicatio/2007public/microgrid-protection-1.pdf>
- [35] KROPOSKIB. Microgrids—hardware testing and standards development[EB/OL]. [2008-11-06]. http://def.lbl.gov/new_site/2007microgrids_files/US-Kroposki.pdf
- [36] RUBIOFA, SIDDQUIA, MARNAYC, et al. CERTS customer adoption model[EB/OL]. [2008-11-06]. <http://eerts.lbl.gov/pdf/47772.pdf>
- [37] SIDDQUIA, MARNAY C, HAMACHIK, et al. Customer adoption of small-scale on-site power generation[EB/OL]. [2008-11-06]. http://def.lbl.gov/new_Site/pubs/IBNL_47896.pdf
- [38] EDWARDS J, MARNAY C, BARTHOLOMEW E, et al. Assessment of μ Grid distributed energy resource potential using DER-CAM and GIS[EB/OL]. [2008-11-08]. <http://rael.berkeley.edu/files/2002/EdwardsEtal-Micro-gridIBNL2002.pdf>
- [39] Hernandez-Aramburo C A, Green T C. Fuel consumption minimization of a micro-grid[C]// Conference Record of the IEEE 39th IAS Annual Meeting, Seattle, USA; 2004.
- [40] Davis M W. Mini gas turbines and high speed generators a preferred choice for serving large commercial customers and microgrids II. Microgrids[C]// 2002 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Chicago, USA; 2002.
- [41] Ghiani E, Mocci S, Pilo F. Optimal reconfiguration of distribution networks according to the microgrid paradigm[C]// 2005 International Conference on Future Power Systems, Amsterdam, Netherlands; 2005.
- [42] Hatziargyriou N D, Dineas A, Tsikalakis A G, et al. Management of microgrids in market environment[C]// 2005 International Conference on Future Power Systems, Amsterdam, Netherlands; 2005.
- [43] Pudjianto D, Stbac G, van Overbeeke F, et al. Investigation of regulatory, commercial, economic and environmental issues in micro Grids[C]// 2005 International Conference on Future Power Systems, Amsterdam, Netherlands; 2005.
- [44] Alibhai Z, Gunver W A, Kotak D B, et al. Distributed coordination of micro-grids using bilateral contracts[C]// 2004 IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics, Hague, Holland; 2004.

作者简介:

国海(1974—),男,黑龙江人,安徽科技学院讲师,合肥工业大学在职硕士研究生,研究方向为电力电子与电力传动。

(收稿日期:2009-01-20)

节约一张纸 节约一寸导线