

# 新能源及可再生能源并网发电规模化应用的有效途径——微网技术

李 鹏, 张 玲, 盛银波

(华北电力大学 电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室, 河北 保定 071003)

**摘要:** 传统电网集中式供电和分布式电源都有其各自的优点和局限性。微网技术整合了分布式电源的优势, 有利于新能源及可再生能源发电系统大规模并网应用。首先介绍了微网的相关概念及其基本结构, 阐述了微网内的主要分布式发电技术和储能方式, 进而提出了三种微网的基本控制策略。最后对微网的发展前景进行了展望, 并总结给出了微网研究中需要重点解决的理论和和技术问题。

**关键词:** 可再生能源发电; 分布式电源; 微网; 供电可靠性; 电能质量

**中图分类号:** TM619      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-2691(2009)01-0010-05

## An effective way for large scale renewable energy power generation connected to the Grid Microgrid

LI Peng, ZHANG Ling, SHENG Yir bo

(Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control of Ministry of Education, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

**Abstract:** Traditional central power supply and distributed generation have the advantages and limitations themselves. Microgrid technology can integrate the advantages of distributed generation and that makes for large scale new energy and renewable energy power generation system connected to the grid. First, the definition and the basic structure of microgrid are represented, then the main forms of distributed resources and storage energy are introduced. Three kinds of control strategies for microgrid are offered preliminarily. In the end, emphasis is put forward for future research in microgrid.

**Key words:** renewable energy power generation; distributed resource; Microgrid; reliability of power supply; power quality

## 0 引 言

社会经济发展使得电力需求迅速增长, 超高压远距离输电方式适应于传统的大规模集中供电模式, 因而近些年加快了对此的建设步伐。传统的大电网确实给我们带来了许多益处, 例如, 大的发电机组投入使用提高了发电效率, 同时所需要的管理人员也相对较少; 联网的高压输电网使

得机组可以降低存储容量; 可以远距离的传输大功率且损耗很小。但是, 随着电网规模的不断扩大, 超大规模电力系统的弊端也日益显现, 成本高, 运行难度大, 难以适应用户越来越高的安全及可靠性的要求以及多样化的供电需求。暨世界范围内接连发生的几次大面积停电事故后, 传统大规模电网暴露出了其脆弱性。今年我国南方雪灾给南方电网造成巨大影响, 使人们深刻反思, 除了单一扩大电网规模, 建设超高压输电网外, 利用新能源以及可再生能源在负荷处就近供电, 降低负荷对大电网的依赖无疑对提高供电安全性和可靠性起到至关重要的作用, 分布式发电/分

收稿日期: 2008-10-20.

基金项目: 华北电力大学重大预研基金资助项目(200613003).

布式电源 (Distributed Generation, DG/ Distributed Resource, DR) 近年来引起了人们的广泛重视。

分布式发电也称分散式发电或分布式供电, 一般指以新能源和可再生能源为主的小型发电装置就近布置在负荷附近的发电方式<sup>[1-2]</sup>。分布式电源的接入不改变原来配电网结构, 延缓了输、配电网升级换代所需的巨额投资。同时, 它的接入可以有效改善大电网的供电可靠性并且可以提高供电质量<sup>[3-7]</sup>。但是, 分布式发电本身也存在诸多问题, 由于分布式电源多数依靠新能源及可再生能源发电, 因此面临着分布式电源单机接入成本高, 某些分布式电源的功率输出具有随机性和波动性等问题, 例如光伏发电、风力发电等。因此, 大系统往往采取限制、隔离的方式来处理分布式电源, 以期减小其对大电网的冲击。为协调大电网与分布式电源间的矛盾, 充分发掘分布式能源为电网和用户所带来的价值和效益, 进一步提高电力系统运行的灵活性、可控性和经济性以及更好地满足电力用户对电能质量和供电可靠性的更高要求进而引入一种可以让新能源及可再生能源并网发电规模化应用的电网—微网 (Microgrid)。微网通过有效的协调控制, 使主要基于新能源和可再生能源的分布式电源并网所产生的负面问题都在微网内得到解决, 减少了分布式电源并网对大电网产生的各种扰动。微网有并网运行和独立运行两种运行方式, 对大电网可以起到削峰填谷的作用。微网中的能量来源多为新型能源及可再生能源, 对于新能源以及可再生能源并网发电规模化应用具有重要意义。

## 1 微网概念的提出

2001 年美国威斯康星大学—麦迪逊校区的 R. H. Lasseter 教授首先提出了微网的概念<sup>[8]</sup>, 随后美国电气可靠性技术解决方案联合会 (CERTS— Consortium for Electric Reliability Technology Solutions) 和欧盟微网项目组 (European Commission Project Micro-grids) 也相继对微网给出了定义。微网是一种由负荷和微电源 (即微网中的分布式电源, 如光伏发电、风力发电等) 共同组成的系统, 它可同时提供电能和热量; 微网内部的电源主要由电力电子器件负责能量的转换, 并提供必需的控制; 对于大电网, 微网可以

被看成是系统中的一个可控单元, 它在短暂时间内反应以满足其外部输配电网的需要; 对于用户端来说, 微网可以满足他们的特定电能质量要求, 并且增加供电的可靠性, 降低线损。它通过整合分布式发电单元与配电网之间的关系, 在一个局部区域内直接将分布式发电单元、电力网络和终端用户联系在一起, 可以方便地实现热电 (冷) 联供方案, 优化和提高能源利用效率, 减轻能源动力系统对环境的影响, 推动分布式电源上网, 降低大电网的负担, 改善电网的安全可靠性<sup>[9]</sup>。

微网概念提出后迅速受到各国相关部门和研究机构的重视, 美国、欧盟、日本等发达国家相继建立了微网试验平台和试点工程, 在微网研究方面也已取得很多成果<sup>[10-15]</sup>。我国微网研究还处于起步阶段, 但已经引起了国家相关部门、科研院所等的高度重视, 并已开展了对此问题的相关研究。

## 2 微网的基本结构

微网中包含有多个 DG 和储能装置, 联合向负荷供电, 整个微网对外是一个整体, 通过一个主隔离开关和上级电网变电站相联。微网中 DG 可以是以新能源为主的多种能源形式, (光伏发电、风力发电、微型燃气轮机发电、燃料电池等), 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 利用效率和灵活性。

微网的基本结构如图 1 所示, 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 上为非重要负荷。馈线 A

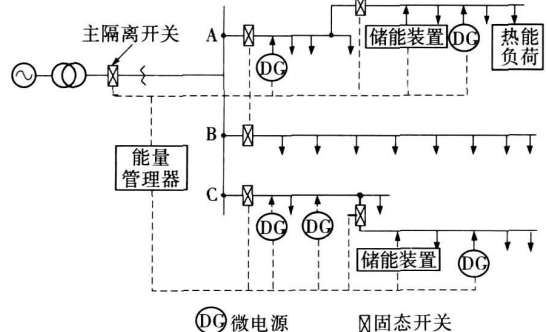


图 1 微网基本结构图

Fig. 1 Basic structure of Microgrid

中含有一个以 CHP 形式运行的 DG, 同时向用户提供热能和电能。当外界大电网出现故障或其电能质量不能满足负荷要求时, 微网可以通过主隔离开关切断与大电网之间的联系, 微网进入独立运行状态。此时由馈线 A 和馈线 C 上的 DG 承担微网内的全部负荷。如果分布式电源容量不能满足全部负荷需求, 可以切断馈线 B 上的非重要负荷, 保证对重要负荷的供电要求。当故障解除之后, 通过主隔离开关使微网平滑过渡到并网运行状态。各分布式电源的功率输出大小由能量管理器统一调节。在微网这种结构下, 多个 DG 就地重要负荷供电, 有效降低了负荷对大电网的依赖, 分担了大电网的供电压力, 减小了远距离输电损耗。

### 3 微网中的分布式电源及储能装置

微网想要向电力用户提供优质的供电服务, 主要依靠分布式发电技术和储能技术相结合。

#### 3.1 分布式发电技术

(1) 微型燃气轮机技术。微型燃气轮机是指以天然气、甲烷、汽油、柴油为燃料的超小型燃气轮机。其发电效率可达 30%, 如实行热电联产, 效率可提高到 75%。微型燃气轮机的特点是体积小、质量轻、发电效率高、污染小、运行维护简单。

(2) 燃料电池技术。燃料电池是一种在等温状态下直接将化学能转变为直流电能的电化学装置。燃料电池工作时, 不需要燃烧, 是直接将燃料(天然气、煤制气、石油等)中的氢气借助于电解质与空气中的氧气发生化学反应, 在生成水的同时进行发电。在获得电能的过程中, 副产品仅为水和少量二氧化碳等。

(3) 太阳能光伏发电技术。太阳能的转换和利用方式有光热转换、光电转换和光化学转换等。目前, 技术比较成熟、应用广泛的是太阳能光伏发电技术, 即光电转换。太阳能光伏发电技术是利用半导体材料的光电效应直接将太阳能转换为电能。光伏发电具有不消耗燃料、不受地域限制、规模灵活、无污染、安全可靠、维护简单等优点。

(4) 风力发电技术。风力发电技术是将风能转化为电能的发电技术。近年来, 风力发电技术进步很快。风光互补发电, 即风力发电与光伏发

电联合运行也是近年来的主要技术应用之一。

(5) 生物质能发电技术。生物质能发电是首先将其转化为可驱动发电机的能量形式(如燃气、燃油、酒精等), 再按照通常用的发电技术发电。我国生物质能资源主要有农作物秸秆、树木枝桠、畜禽粪便、能源作物(植物)、工业有机废水、城市生活污水和垃圾等。

(6) 海洋能发电技术。海洋能包括潮汐能、波浪能、海流能、潮流能、海水温差能和海水盐差能等不同的能源形态。目前, 海洋能发电多数处在试验阶段, 比较成熟的是潮汐能发电技术。潮汐能发电和水力发电厂相似, 就是利用海水涨落及其所造成的水位差来推动水轮机, 再由水轮机带动发电机发电。

(7) 地热发电技术。地热能是来自地球深处的可再生热能, 它起源于地球的熔融岩浆和放射性物质的衰变。地热发电是利用地下热水和蒸汽为动力源的一种新型发电技术。其与火力发电的基本原理是一样的, 都是将蒸汽的热能经过汽轮机转变为机械能, 然后带动发电机发电。所不同的是, 地热发电不像火力发电那样要具有庞大的锅炉, 也不需要消耗燃料。

#### 3.2 储能技术

(1) 超级电容器储能<sup>[6]</sup>。超级电容器是通过使用一种多孔电解质(其介电常数和电压承受能力仍然比较低)加大两极板的面积, 从而使储能能力得到提高。根据电极材料的不同, 可以分为碳类和金属氧化物超级电容器。超级电容器兼有常规电容器功率密度大、充电能量密度高的优点, 可快速充放电, 且使用寿命长, 不易老化。超级电容器还具有一些自身的优势, 它没有可动部分, 既不需要冷却装置也不需要加热装置, 在正常工作时, 内部没有发生任何化学变化。超级电容器能够安全放电, 安装简易, 结构紧凑, 可适应各种不同的环境。

(2) 蓄电池储能。蓄电池储能目前在市场上占有主要份额, 是电力系统中广泛应用的储能技术之一。根据所使用的不同化学物质, 蓄电池可以分为许多不同类型, 例如铅酸电池、MH-Ni (Metal Hydride-Nickel) 电池等。它可与超级电容器联合使用, 发挥超级电容器功率密度大, 蓄电池能量密度大的优势。

(3) 超导储能。超导储能装置将能量存储在由电流超导线圈的直流电流产生的磁场中, 其中

的超导线圈浸泡在温度极低的液体(液态氢等)中,然后封闭在容器中。所以说,一个超导储能装置包括冷却装置、密封容器以及作为控制用的电子装置。超导储能装置的超导线圈放置在温度极低的环境中,这是目前利用超导储能的瓶颈。一旦超导材料研制成功,超导储能的前景不可估量。

(4) 飞轮储能<sup>[16]</sup>。飞轮储能是一种新型的机械储能方式,它将能量以动能的形式存储在高速旋转的飞轮质量中。飞轮储能系统由飞轮转子、轴承、电动/发电机、电力转换器、真空室等5个部分组成。目前使用的飞轮技术主要有高速飞轮系统(飞轮较小,转速极快)、低速飞轮系统(飞轮较大,转速相对较慢)。飞轮储能系统的能量密度较大,占据空间相对较小,但是其功率密度相当低,不能像超级电容器那样快速地释放其储存的能量。尽管如此,只要设计合理,加上飞轮储能具有效率高、建设周期短、寿命长等优点,将飞轮储能系统应用于分布式发电系统中还是很有竞争力的。

## 4 微网控制方式

微网中的分布式电源供电与大电网集中供电相互补充,是综合利用现有资源和设备,为用户提供可靠和优质电能的理想方式。但由于微网中分布式电源的多样性及其组合的灵活性,使得整个系统的运行和控制变得复杂。其主要控制方式有以下几种:

(1) 恒功率注入/输出控制模式。这是从大电网的角度来说的,即将微网与大电网连接处的馈线功率流量调整为常量。当把馈线功率调整为一个恒定值后,微网内部负荷改变时大电网的功率注入/输出将保持不变。这种控制方案的优点是从大电网的角度来看微网完全是一个可调度的负荷。例如整个微网可以在一天的一段指定时间内作为恒定负荷,微网内部的负荷变化完全由分布式电源和储能装置协调分担,确保大电网向微网注入恒定功率也能使微网内部满足功率平衡。当大电网内出现扰动或者其电能质量不能满足微网内敏感负荷的要求时,通过断开公共连接点处的静态开关过渡到独立运行状态。这时根据各储能装置和分布式电源的特性及其动态响应指标来调节功率输出以满足新水平下的负荷功率需求。

(2) 变功率注入/输出控制模式。与恒功率注入/输出控制模式相对应,这种控制模式是使微网与大电网连接处的馈线功率流量为一变量。各分布式电源作为独立单元按自身功率输出特性以及性价比等因素决定各自的输出量,以取得综合最大经济技术效益。例如光伏发电需满足最大功率跟踪要求,燃料电池相对更加昂贵,考虑其成本因素,按满足负荷功率需求的最低功率输出等。任何负荷改变相对应的功率需求变化均由大电网来调节。在这种控制模式下,不能提前计划从大电网吸取的功率。当转变为独立运行时,微网工作的频率允许稍微降低,满足电源有功频率下降特性。此功频特性使各分布式电源可以立即提高有功功率输出,同时各储能装置也根据负荷需求相应提高功率输出。

(3) 联合最优功率控制模式。吸取前两种控制模式的优点,一些分布式电源根据自身特性调节功率输出,使其发挥最高工作效率。另一些分布式电源与储能装置一起跟踪负荷变化,确保微网内负荷变化时大电网与微网之间的传输功率依然为恒定值。这对微网中分布式电源种类及分布式电源容量有较高要求。

## 5 微网研究存在的相关问题

近几年来国外关于微网的理论和实验研究已经取得了一定的成果,积累了不少经验,同时也存在不少问题。还需要在以下几个方面进行更加系统、深入的研究:

(1) 建立适合微网与大电网相结合的网络设计方案和运行理论,通过最优控制策略优化潮流分布。

(2) 由于微网采用了大量的电力电子装置的换流器,势必会产生谐波,影响用户侧的电能质量。因此,需考虑如何对微网电能质量进行监测并且提出相应的改善措施。

(3) 完善相关的控制策略,针对不同的负荷要求(敏感重要负荷和一般负荷)和微网的不同状况,对各种不同要求下的供电策略进行完善和细化,特别注意不同供电策略间的整合及过渡问题<sup>[17]</sup>。

## 6 结论

与传统的集中式供电系统相比,主要基于新

能源及可再生能源的分布式电源就近向负荷供电,可以大大减少线损,节省输电建设投资。由于兼具发电、供热、制冷等多种服务功能,微网可以有效的实现能源的梯级利用,达到更高的能源综合利用效率,同时可提高供电的安全性和可靠性。微网能有效降低或消除分布式电源直接接入大电网所产生的负面影响,为新能源及可再生能源并网发电的规模化应用提供了新的途径。微网技术在我国刚刚兴起,顺应了我国大力开展可再生能源发电,社会可持续发展的要求,因此对其进行深入研究具有重大意义。

### 参考文献:

- [1] 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- 76.
- [2] 王建, 李兴源, 邱晓燕. 含有分布式发电装置的电力系统研究综述 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (24): 90- 97.
- [3] 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 (6): 53- 56.
- [4] 丁明, 王敏. 分布式发电技术 [J]. 电力自动化设备, 2004, 24 (7): 31- 35.
- [5] 王志群, 朱守真, 周双喜, 等. 分布式发电对配电网电压分布的影响 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (16): 56- 60.
- [6] 王成山, 陈恺, 谢莹华, 等. 配电网扩展规划中分布式电源的选址和定容 [J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (3): 38- 41.
- [7] 白茜, 李鹏. 基于分布式发电与SVG优化配置的调压方法 [J]. 电力自动化设备, 2007, 27 (7): 62- 66.
- [8] Lasseter B. Microgrids. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting [C]. New York, USA, 2001, 1: 146- 149.
- [9] 鲁宗相, 王彩霞, 阎勇, 等. 微电网研究综述 [J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (19): 100- 108.
- [10] Katiraei F, Iravani M. R. Power Management Strategies for a Microgrid With Multiple Distributed Generation Units [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2006, 21 (4): 1821- 1831.
- [11] Laaksonen Hannu, Kauhaniemi Kimmo. Voltage and current THD in microgrid with different DG unit and load configurations [C]. SmartGrids for Distribution, CIRED Seminar, 2008: 1- 4.
- [12] Jayawarna N, Wu X, Zhang Y, et al. Barnes M. Stability of a MicroGrid Power Electronics [C]. The 3rd IET International Conference on Machines and Drives, 2006: 316- 320.
- [13] Prodanovic M, Green T C. High- Quality Power Generation Through Distributed Control of a Power Park Microgrid [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2006, 53 (5): 1471- 1482.
- [14] Binduhewa P J, Renfrew A C, Barnes M. Ultracapacitor energy storage for MicroGrid micro- generation [C]. IET Conference on Power Electronics Machines and Drives, 2008: 270- 274.
- [15] Arai J, Funabashi T. Power electronics technologies for reliable operation of power systems in Japan [C]. Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2008: 178- 183.
- [16] 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.
- [17] 盛鹍, 孔力, 齐智平, 等. 新型电网——微电网 (Microgrid) 研究综述 [J]. 继电器, 2007, 35 (12): 75- 81.

---

作者简介: 李鹏 (1965-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为电能质量分析与控制、分布式发电与微网新技术、电力电子技术 在电力系统中的应用; 张玲 (1985-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统运行分析与控制。