

# Microgrids under the Framework of Three-Level Power Network

Yaowen Wu<sup>1,2</sup>, Hualiang Fang<sup>1</sup>, Xiyuan Ma<sup>1</sup>, Yuanzhang Sun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan, China

<sup>2</sup>Department of Development and Planning, Hubei Electric Power Company, Wuhan, China

Email: wyw@hb.sgcc.com.cn, hl\_fang@21cn.com, maxiyuan1986@163.com, yzsun@mail.tsinghua.edu.cn

**Abstract:** Three-level power network consisted of transmission network, distribution network and microgrids becomes one of the developing directions of smart grid. This paper researches current microgrid technologies under the framework of there-level power network. First, the development and concept of microgrids are introduced and the relation between microgrids and three-level power network is analysed. Secondly, the characteristics, structure and components of microgrids are studied. Finally, the key issues of microgrids is refined and summarized, which are construction and planning, reliability and stability, power quality, protection and control, interconnection and interaction, etc.

**Keywords:** distributed generation; microgrids; there-level power network; power reliability; power stability

## 三级电网构架下的微电网研究

吴耀文<sup>1,2</sup>, 方华亮<sup>1</sup>, 马溪原<sup>1</sup>, 孙元章<sup>1</sup>

<sup>1</sup>武汉大学电气工程学院, 武汉, 中国, 430072

<sup>2</sup>湖北省电力公司发展策划部, 武汉, 中国, 430077

Email: wyw@hb.sgcc.com.cn, hl\_fang@21cn.com, maxiyuan1986@163.com, yzsun@mail.tsinghua.edu.cn

**摘要:** 输电网、配电网、微电网构成的三级电网体系结构成为未来智能电网的主要发展方向之一, 本文重点研究了三级电网体系结构下的微电网的关键问题。首先, 阐述了微电网的发展、概念, 分析了微电网功能及与三级电网的联系。其次, 研究了微电网的特点、结构和各组成部分。最后, 提出了微电网的构建和规划设计、可靠性和稳定性、电能质量、保护和控制、微电网与配电网之间的互联与支撑等关键问题。

**关键词:** 分布式发电; 微电网; 三级电网; 供电可靠性; 稳定性

### 1 引言

经济的发展带动了电力需求的迅速增长, 引发了一系列的能源与环境问题。随着电网规模的不断扩大, 大规模高压输电网一旦遭受严重自然灾害或者运行故障会造成大面积停电事故。2003年美加大停电事故与2008年初我国南方冰灾等大停电事故凸显: 在继续发展大规模高电压尤其是特高压电网的同时, 应注意在重要负荷中心建设足够的分布式电源, 增强受端电网, 提高供电可靠性, 支持系统稳定。与此同时, 按照《京都议定书》(Kyoto Protocol)的规定包括我国在内的发展中国家从2012年开始承担温室气体减排义务, 以风

国家科技部十一五支撑计划项目: 大电网安全监测、预警与防御体系研究 (2008BAA13B04)

能和太阳能为主的分布式可再生能源发电成为实现低碳经济的有效途径之一。尽管分布式发电(Distributed Generation, DG)具有提高能源效率, 改善电网结构, 保证电网灵活、安全运行等诸多优点, 但由于本身存在诸多问题和不受中央调度控制<sup>[1]</sup>, IEEE标准协调委员会(IEEE Standards Coordinating Committee)制定了分布式电源接入配电系统的相关准则, 即IEEE P1547标准规定: 电力系统发生故障时, 分布式电源必须马上退出运行。这就大大限制了分布式能源效能的充分发挥<sup>[2]</sup>。为降低分布式发电带来的不利影响, 同时发挥分布式发电积极的辅助作用, 最好的方法是采用系统的方法, 把分布式电源和匹配的负荷看作一个子系统或“微型电网”(以下简称微电网)<sup>[3]</sup>。

本文从输电网-配电网-微电网的三级电网体系结构、微电网的特点及结构、微电网的关键问题对微电网技术进行了分析和研究。

## 2 三级电网体系结构

目前发、输、配、用 4 个环节组成的电力网络是一个从电源到用户的单向系统,任何中间环节的故障,都会导致供电的中断。从这个角度来说,提高供电安全可靠,不仅应从大电网角度考虑加强电源及输电网络建设,还必须在用户侧就地考虑多电源、多通道供电<sup>[4]</sup>。因此,在发展大规模特高压输电网络的同时应注意在重要负荷中心建设足够的分布式电源,将分布式电源、储能装置和负荷组合在一起构成微电网,进而将其与输、配电网集合成为输电网-配电网-微电网的三级电网(以下简称三级电网)成为中国电网建设和发展的方向之一,其示意图如图 1 所示。

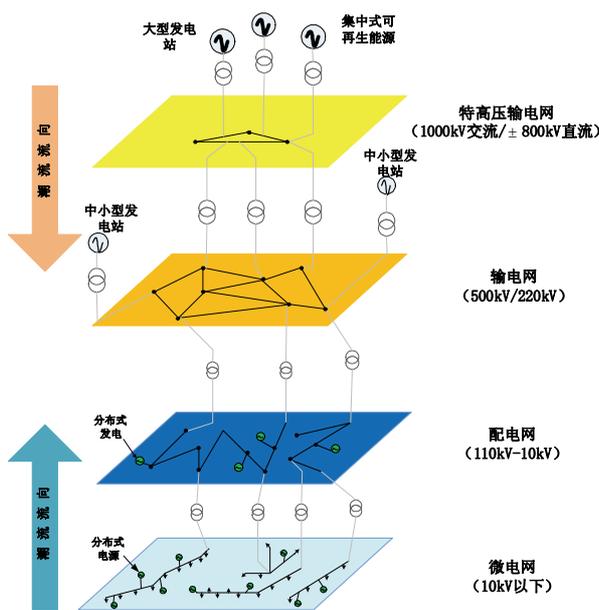


Figure 1. Three Level Power Network Diagram composed of transmission network-distribution network-microgrids

图 1. 三级电网示意图

在三级电网这一体系中,微电网与三级电网体系的联系和作用如下:

(1) 微电网表现为一个可以孤岛独立运行的有源配电单元,而不是传统意义的无源配电、用电环节,可以提高终端用户多样化的供电可靠性和电能质量,并通过在系统遭受重大自然灾害及扰动时与上级电网分离

孤岛运行,改善对重点用户的供电能力。

(2) 微电网中引入可再生能源,提高系统的节能减排指标,同时微电网的接入可以降低配电网的电力损耗,节约电能,缓解用电高峰时段的电力紧张。

(3) 微电网对主干网的综合特性将会带来显著影响,特别是高渗透率的分布式发电接入更可能引发微电网对主干网正常运行的冲击。

(4) 建设基于分布式电源的微电网也是解决现代新农村电气化的最经济供电方式,避免了远距离输电带来的电能损耗和建设费用。微电网也可以应用于边远军事哨所、岛屿供电、高海拔独立电网等特殊场合,是对传统供电形式的有利补充。

## 3 微电网的特点及结构

微电网是指具有至少一个分布式能源与其相连的负载,并且能够实现孤岛运行的网络整体呈辐射状结构的供电系统。在微电网中,通过控制负载和电源与本地电网自动断开与重合,使用户断电次数最小化,提高供电可靠性。作为功能完整的系统集成,微电网系统应包括分布式电源、负荷、电力网络、能量储存系统,负载控制系统,电压、功率调节系统,以及热量回收系统等。其示意图如图 2 所示,图中揭示了微电网中的关键单元<sup>[7]</sup>:

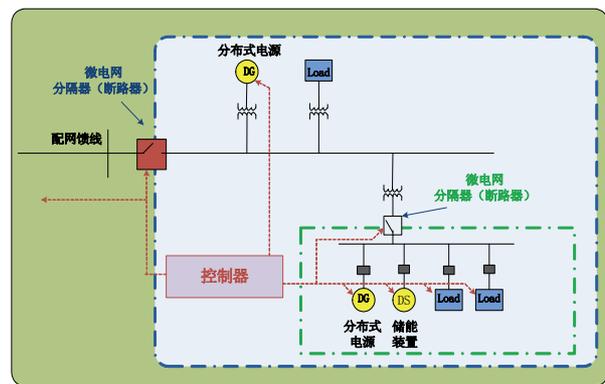


Figure 1. Microgrids and components

图 2、微电网示意图

### 3.1 微电网的特点

微电网技术是新型电力电子技术、分布式发电技术、可再生能源发电技术和储能技术的综合。微电网有以下特点<sup>[5][6][7][8]</sup>:

(1) 微电网提供了一个有效接入分布式电源的方式,继承了分布式发电的优点;

(2) 微电网作为一个独立的整体模块,不会对公用电网安全性产生不利影响,不需要对公用电网的运行策略进行修改,微电网的入网标准只针对微电网与大电网的公共连接点(point of common coupling, PCC)而不针对各个具体的微电网;

(3) 微电网以灵活的方式将 DG 单元接入或断开,即 DG 单元具有“即插即用”(plug and play)与“对等”(peer to peer)的能力;

(4) DG 单元并网的许多问题都是由 DG 单元响应速度慢、惯性小的特点引起的,多 DG 单元联网的微电网增加了系统容量,并有相应的储能系统(蓄电池储能系统、飞轮储能系统等),使系统惯性增大,减弱了电压波动和电压闪变现象,改善了电能质量;

(5) 微电网中 DG 单元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)形式存在,就地向用户提供热能;

(6) 微电网在上级网络发生故障时可以独立孤岛(自主)运行,提高供电可靠性。

其中,孤岛运行的能力是微电网最重要的特点。从用户侧来说,微电网可以看成是一个自治的电力系统,它可以满足用户多样化的电能质量和可靠性需求。从大电网一侧来看,微电网就像电网中的发电机或负载一样,是一个模块化的整体。

### 3.2 微电网的电源

微电网的电源通常是指分散布置在电力负荷附近、容量在数千瓦至数十兆瓦之间、为环境兼容、节能的发电或储能装置。包括:传统化石燃料发电如往复复式发动机、微型燃气轮机、燃料电池等;可再生能源发电如太阳能发电、风力发电等。除此之外,还有生物质能发电、海洋能发电和地热能发电等可再生能源发电形式,储能装置也可认为是一种电源。考虑到太阳能和风能具有随机性和波动性,对微电网的供电可靠性和电能质量有较大影响,储能装置能够提高供电可靠性和跟踪可再生能源的功率变化进行充放电;微型燃气轮机和燃料电池等均具有响应比较慢和无惯性的特点,需要在母线装备储能以跟踪负荷的变化。

储能技术主要包括化学电池储能、超导磁储能、超级电容器储能、飞轮储能,另外还有压缩空气储能、热能储能。除了上述提到的几种储能方式以外,还有抽水蓄能、压缩空气储能、热能储能等储能方式,电

动汽车也可以作为一种储能装置。

### 3.3 负荷的分类及分级

以往的微电网研究更加关注分布式电源和储能系统,但是微电网的动态特性不仅决定于分布式电源和储能装置还与负荷的类型有重要关系,本文对微电网中的负荷进行分级和分类,分级侧重从供电可靠性上区别重点负荷与非重点负荷,首先满足重点负荷的供电可靠性,其次对同一等级负荷按照用户对电能质量的多样化需求进行分类,如对频率敏感的负荷划分为一类;对电压波动敏感的负荷划分为另一类,以此类推,对不同等级不同类别的负荷提供差别的电能质量和供电可靠性。

(1) 第一级:不可中断负荷。不可中断负荷作为微电网中最为重要的负荷,应当确保其 100%供电可靠性。在微电网规划过程中根据用户需求以及对人身、政治、经济有重大影响的负荷划分为第一级负荷。

(2) 第二级:可调节负荷。可调节负荷不要求 100%供电可靠性,但是在保证不可中断负荷可靠供电的前提下,应尽量满足可调节负荷的供电需求。

(3) 第三级:可中断负荷。此类负荷连接母线处不需要设置专门的分布式电源,而直接由配电网供电。在微电网中可以根据电网功率平衡及电能质量的需求,在必要时切除可中断负荷。

### 3.4 电力网络

微电网作为保障电网安全的重要措施和手段,因此微电网的网络拓扑结构应该更加注重以下两点:

(1) 网络的可靠性:应该尽量避免长距离的放射式线路,因为这种结构的供电可靠性最差。微电网的结构注重其简单性,这样可以提高微电网孤岛运行的便捷性,减少分段开关和联络开关的动作次数。

(2) 网络的灵活性:在系统故障后,分段开关的布置与组合可以灵活的重构微电网的结构,最大限度地保证供电连续性,快速恢复供电。

## 4 微电网的关键问题

### 4.1 微电网的构建与设计规划

传统的输电网和配电网的规划理论相对成熟,微电网的规划需要对用户需求、经济环保、安全可靠等约束条件进行综合考虑,需要开展如下研究:(1)微电网的规模,包括微电网接入的电压等级、微电网中

负荷与分布式电源的规模等。配电网中微电网的最优接入位置。需要综合考虑配电网馈线容量极限、短路容量、配电网网损及电压水平等约束条件。(2) 微电网内部分布式电源和储能装置的、选型、选址和定容, 应保证不可中断负荷的 100% 供电, 减少停电次数。(3) 制定适合我国电网实际的微电网接入标准。

#### 4.2 微电网的可靠性及稳定性

微电网最主要的目的是满足重点用户的供电可靠性, 以下问题需要深入研究: (1) 微电网网络结构的稳定性。传统的输电网的稳定性校核采用 N-1 校核的方式, 然而微电网更加注重对重点负荷的供电可靠性, 所以应对微电网进行 N-K 校核。(2) 微电网的孤岛运行研究, 包括功率匹配的孤岛检测问题、孤岛的划分、孤岛的调压调频等控制策略、孤岛的并网研究等。(3) 多样化的电能供给也是微电网为用户带来的另一效益。

#### 4.3 微电网的电能质量

微电网的首要目标是保证重要负荷的供电可靠性, 在满足供电可靠性的基础上应满足用户多样化的电能质量需求, 如下问题需要深入研究: (1) 风力发电和光伏发电输出功率具有随机性和波动性, 这类间歇分布式电源对系统的电能质量的影响, 研究采用与储能装置联合控制或通过逆变器接入微电网, 采用控制策略来提高微电网的电能质量。(2) 微电网孤岛运行的电能质量问题尤其需要重点研究。通过基于电力电子技术的柔性交流配电技术和储能设备改善电能质量, 研究分布式电源、储能装置、负荷管理系统的更加合理的控制策略保障孤岛运行的电能质量。

#### 4.4 微电网的控制与保护

(1) 研究微电源接口的功率控制、电压控制、频率控制策略, 调节机端电压、输出有功功率和无功功率, 是微电网系统在发生扰动和孤岛运行的情况下, 保持系统稳定及电能质量的重要控制装置<sup>[9]</sup>。

(2) 微电网与外部电网连接的隔离装置-静态开关在微电网和配电网的接口方面起着关键作用。需要研究能够快速诊断故障、隔离故障的静态开关。

(3) 分布式发电和微电网的出现使得放射式的配电网潮流不再单一的从变电站母线单向流向负荷。潮流的双向流动使得电网各种保护定值与保护机理都

发生了较大变化, 传统的继电保护装置已不再适用于微电网中。微电网的二次侧保护装置及其参数整定原则与方法等成为了微电网研究的关键问题之一。

#### 4.5 微电网和配电网之间的支撑和互联

微电网与配电网之间的支撑与互联构成了更加坚强可靠、经济高效、清洁环保、友好互动的现代配电、用电形式, 同时也存在一些问题需要深入研究: (1) 微电网接入分布式电源对配电网的影响分析研究。微电网接入高渗透率的分布式电源导致了潮流的双向流动, 对配电网继电保护装置、负荷预测、配电网优化以及无功优化提出了新的要求。(2) 微电网对配电网的支撑的研究。如何提高微电网对配电网的支撑研究和参与配电网的自愈是一个需要研究的重要问题。

(3) 配电网和微电网的互联、微电网之间的互联需要先进的协调控制策略, 目前基于电力电子技术的“即插即用”与“对等”的控制思想、基于功率管理系统和基于多代理的控制方法成为了研究的热点。

此外微电网经济性也需要研究, 确定微电网实现经济性运行的手段与评价指标体系。

### 5 结语

微电网在提高电网的供电可靠性、改善电能质量、节能减排等方面具有重要作用。以分布式电源、储能装置为电源, 以先进的控制装置保证微电网的稳定, 能够运行在孤岛运行模式下是微电网的最主要的特征。微电网已经成为了分布式可再生能源接入电网的方式之一和确保电网遭受严重自然灾害或者运行故障时避免造成大面积停电事故, 提高重点用户供电可靠性的重要手段。输电网、配电网、微电网的三级电网体系、特别是微电网技术的研究尚处于起步阶段, 仍有许多问题亟待深入研究和解决。

### References (参考文献)

- [1] N.D.Hatziaaryiou, A.P.S. Meliopoulos, Distributed energy sources: Technical challenges[C], in *Proc. 2002 IEEE PES Winter Meeting*, 2002, P1017-1022.
- [2] IEEE Draft Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems, IEEE Standard P1547 Draft 4.
- [3] C. L. Smallwood, Distributed generation in autonomous and nonautonomous microgrid[C], in *Proc. 2002 IEEE Rural Elect. Power Conf.* 2002, Page: D1-1-D1-6.
- [4] MEI Sheng wei, WANG Ying ying, Several basic problems of three level power network planning of transmission network-distribution network-microgrid[J], *Journal of Electric Power Science and Technology*, 2009, 24(4), P3-11.

- 梅生伟, 王莹莹, 输电网-配电网-微电网三级电网规划的若干基础问题[J], 电力科学与技术学报, 2009, 24(4), P3-11.
- [5] Chris Mamay, Owen C. Bailey, The CERTS Microgrid and the Future of the Microgrid[EB/OL].[2004-8].  
<http://certs.lbl.gov/pdf/5281.pdf>.
- [6] B. Buchholz, A. Engler, N. Hatziaargyriou, J. Scholtes, U. Schluecking, I. Furonos Fartos, Lessons learned: European pilot installations for distributed generation. An overview by the IRED cluster, CIGRE 2006, Paris, August 2006, P: C6-302.
- [7] Kroposki, B.; Lasseter, R.; Ise, T.; Morozumi, S.; Papatlianas-siou, S.; Hatziaargyriou, N. Making microgrids work[J], *Power and Energy Magazine, IEEE*. 2008, 6(3), P40-53.
- [8] R. H. Lasseter, Microgrid[C], in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting*, vol. 1, New York, 2002, P305-308.
- [9] J. A. Peças Lopes, C. L. Moreira, and A. G. Madureira. Defining Control Strategies for MicroGrids Islanded Operation[J], *IEEE Transactions On Power Systems*, 2006. 21(2), P916-92