

电力电子技术在微电网中的应用

黄胜利^{1,2} 张国伟² 孔力²

(1. 中国科学院研究生院 100080 2. 中国科学院电工研究所 100080)

摘要 在介绍微电网概念的基础上, 论述了电力电子技术在分布式发电和微电网中的应用。

关键词 分布式发电 微电网 电力电子技术

1 引言

分布式发电 (Distributed Generation, DG) 技术是未来世界能源技术发展的重要方向, 它具有能源利用效率高、环境负面影响小、提高能源供应可靠性和经济效益好的特点。尤其对人口众多、资源有限的国家来说, 分布式发电技术更是进行可持续发展的必然选择, 在 21 世纪必将具有广阔的应用前景。

尽管分布式发电技术具有极大的应用潜力, 但其仍然无法被电力部门所接受, 这是因为数量众多的分布式电源 (Distributed Resource, DR) 接入现有配电网后, 传统辐射状的无源配电网将变为一个遍布中小型电源和负荷的有源网络, 潮流也不再单向地从变电站母线流向各负荷。配电网根本性的变化使得电网各种保护定值与机理发生了深刻变化, 同时分布式电源的并网运行可能会引起电网电压和频率偏移、电压波动和闪变等电能质量问题, 给电网的安全可靠运行带来了很大的威胁^[1-5]。

2 微电网概念的提出

在不改变现有配电网结构的前提下, 为了削弱分布式电源对其的冲击和负面影响, 美国电力可靠性技术解决方案协会 (The Consortium for Electric Reliability Technology Solutions, CERTS) 提出了一种能更好地发挥分布式发电潜能的一种组织形式——微电网 (MicroGrid)^[6-14], 相应地把微电网中的分布式电源叫做微型电源 (MicroSource), 简称微源 (MS)。CERTS 将微电网定义为一组负荷和微型电源组成的小系统或集合, 该系统通过唯一的

公共耦合点 (Point of Common Coupling, PCC) 和配网相连接, 即可以孤岛运行, 也可以和配网互连运行。

图 1 为 CERTS 定义的一个微电网基本结构图, 它通过隔离变压器、静态开关和配电网相连接。微电网中绝大部分的微源都采用电力电子变换器和配电网/负载相连接, 控制灵活。微电网内部有三条馈线, 其中馈线 A 和 B 上连接有敏感负荷, 根据用电负荷的不同需求情况, 微源安装在馈线上的不同位置, 而没有集中安装在公共馈线处, 这种接入形式可以减少线路损耗和提供馈线末端电压支撑。馈线 C 上接入普通负荷, 所以没有安装微源。每个微源出口处都配有断路器, 同时具备功率和电压控制器, 可以在能量管理系统 (Energy Manager) 或本地的控制下, 调整各自功率输出以调节馈线潮流。当配电网出现电压扰动等电能质量问题或断供时, 分离开关动作, 使微电网转入孤岛运行模式, 以保证网内重要敏感负荷的不间断供电, 同时各微

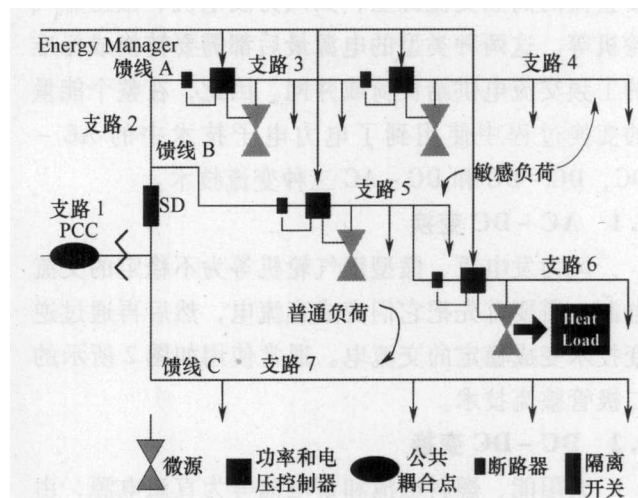


图 1 CERTS 微电网结构图

国家高技术研究发展计划 (863 计划) (2006AA05Z246)。

源在电压控制器的控制下，调整输出电压，以减少它们之间的无功环流。

图 1 所示的只是微电网的一种结构形式，其具体的结构形式随负荷等方面的需求而不同。但是其基本的组成单元都应包含微源、储能装置、管理系统以及负荷。

以这种方式组织分布式电源而形成的微电网系统的重要优势在于它对周围的配电网呈一个可自我控制的独立个体，对大电网来说，通过合适的控制，微电网就可以成为电网中一个合法的电力用户。在正常的情况下，微电网不向大电网馈电，它和大电网共同负担内部的电力负荷，它和普通的电力用户并无区别，这样不但可以打消电力公司的忧虑，又可以减轻电网的负担，发挥调峰作用，同时具有辅助的电能质量改善功能，有效地支持了电网的安全经济运行。当微电网内部的微源容量足够大时，甚至可以延缓或取消发电站、输配电设施的建设。在政策法规允许时，微电网可以向大电网馈电，在大电网崩溃时提供黑启动能力。基于此，微电网非不会对大电网做出任何有害行为，反而可以提高大电网的供电质量和可靠性，微电网具有成为大电网中一个主动式“模范负载”的所有潜力。

3 电力电子技术在电能变换中的作用

电力电子技术在分布式电源的电能变换、传递和存储中具有关键作用。分布式电源根据使用的一次能源不同大致可以分为两种类型：一种是直流源型，如太阳能、燃料电池和蓄电池等；另一种是需要整流的高频交流源型，如风力发电机、微型燃气轮机等。这两种类型的电源最后都需要转换成标准的工频交流电供给负荷或并网。因此，在整个能量的变换过程中使用到了电力电子技术中的 AC-DC，DC-DC 和 DC-AC 三种变流技术。

3.1 AC-DC 变换

风力发电机、微型燃气轮机等为不稳定的交流电源，需要首先把它们变成直流电，然后再通过逆变技术变成稳定的交流电。通常使用如图 2 所示的二极管整流技术。

3.2 DC-DC 变换

太阳能、燃料电池和蓄电池等为直流电源，由于它们的电压等级低，所以必须采用 DC-DC 中的 Boost 电路升压至合适的电压等级，然后再进行

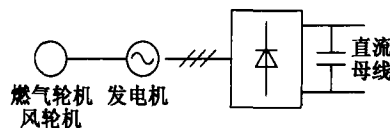


图 2 AC-DC 变换技术

逆变。

另外分布式电源具有在功率输出变化时响应时间长特点，如微型燃气轮机的响应时间在秒级，而燃料电池则需要几分钟，所以在负荷突变或给定功率变化时会出现有功功率的供给不足；太阳能和风力发电具有波动性大的特点，所以系统中需要加入储能单元。储能单元可以选用超级电容器或蓄电池，同样需要采用 Boost 电路升压至母线电压。反之，当母线电压过高时，需要采用 Buck 电路降压对储能单元进行充电，所以储能单元往往采用双向 DC-DC 进行充放电。双向 DC-DC 交换技术如图 3 所示。

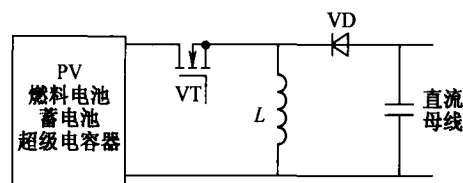


图 3 DC-DC 变换技术

3.3 DC-AC 变换

通过 AC-DC 或 DC-DC 技术把分布式电源变换到合适电压等级的直流电后，需要采用如图 4 所示的 DC-AC 把直流电变换为标准的交流电，供给负荷或并网。

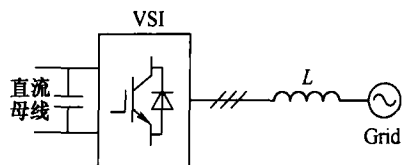


图 4 DC-AC 变换技术

4 微电网对分布式电源的控制要求

在正常情况下，微电网并网运行，由大电网提供刚性的电压和频率支撑，内部 MS 工作在电压源 (Voltage Source, VS) 或电流源 (Current Source, CS) 状态，在能量管理系统或本地的控制下，调整各自功率输出。当大电网出现电压骤升、骤降、不平衡和谐波等电能质量问题或有计划检修时，微电网转入孤岛运行模式，此时的电压和频率由内部

MS负责调节。当电网故障消失后，微电网重新并入电网。

微电网除了并网/孤岛两种稳态运行模式外，还存在着两种模式间的转换过渡过程。模式转换的方式不是电源的重新启动，而是在逆变器持续不断工作的同时，通过其控制方法和网络结构等方面的调整来保证网内电压的连续平稳过渡，即实现无缝切换，以确保网内重要敏感负荷的供电不受影响。过渡过程是两种模式间转换的桥梁和纽带，过渡过程中电能质量的优劣将直接影响到网内重要负荷的安全运行，是微电网系统能否实现灵活运行，提供定制电力服务的重要标志。其中重新并网相对容易，而从并网转入孤岛模式的无缝过渡过程则相对困难。

在不同的微电网运行模式和孤岛拓扑结构下，微源可以采用不同的控制方法和硬件拓扑，造成在模式转换过程中微源控制方法的多样性和不确定性，究竟何种控制方法能保证网内电压的稳定，目前尚未有文献报道。

在进行微电网模式转换时，微源的控制方法受多种因素的影响，如转换前后的并网/孤岛运行状态、微源硬件配置等，同时储能单元也会对微源控制方法的选取及其控制效果产生一定的影响，具体包括：

(1) 微电网孤岛运行拓扑结构对控制方法的影响 在正常情况下，微电网和大电网共同负担网内负荷，当微电网转入孤岛运行时，存在功率需求和供给的不平衡，这时除了切除普通负荷外，微电网的拓扑结构也可能会发生相应的变化，以图5所示的微电网结构为例，存在以下几种情况：

1) 123 全闭：MS1234 继续保持全网运行，工作在并联状态。

2) 2 开、13 闭：微电网分割成两个孤岛区域，分别是 1 和 2 并联运行，3 和 4 并联运行。

3) 2 闭、13 开：微电网分割成三个孤岛区域，其中 1 和 3 并联运行，2 和 4 各自独立运行，单独为敏感负荷一对一供电。

4) 123 全开：微电网全部解列，4 个微源分别独立运行，单独为各自的敏感负荷一对一供电。

以上几种不同的孤岛拓扑结构直接决定了微源所采用的控制方法。

(2) 微源配置对控制方法的影响 在不同的

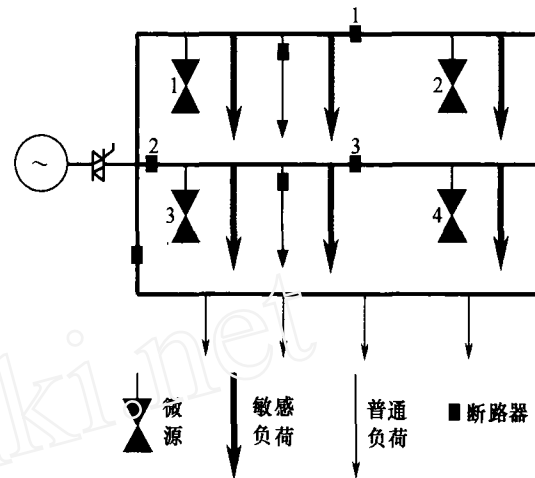


图5 一种微电网结构

微电网拓扑结构下，微源可以采用不同的输出滤波器结构（L、LC 或 LCL），不同的滤波器结构也会对微源的控制方法的选取产生影响。

(3) 微源控制方法的选择 逆变器并网运行时，可以工作在 VS 或 CS 方式，由大电网提供其电压和频率支撑。当微电网转入孤岛运行后，由于电网电压的缺失，所以这些量必须由网内的逆变器来调节。有三种不同的情况：①一台大容量的微源工作在 VS 方式，提供电压支撑，剩余的微源工作在 CS 方式，这种情况类似于并网运行。②多台较大容量的微源并联工作在 VS 方式，提供电压支撑，剩余的微源工作在 CS 方式。③所有微源均工作在 VS 方式，并联运行。当微电网完全解列时，微源和负荷一对一单独供电，工作在 VS 方式。因此，微电网从并网转入孤岛运行时，逆变器存在着不同的控制方法组合，如表1所示。

表1 微源在微电网不同模式和结构下的控制方法

并网	孤岛1 n 个 MS	孤岛2 单个 MS
① VS		
VS	② 1 个 VS, (n-1) 个 CS	VS
	③ m 个 VS, (n-m) 个 CS	
① VS		
CS	② 1 个 VS, (n-1) 个 CS	VS
	③ m 个 VS, (n-m) 个 CS	

总的来说，当微电网模式变化时，微源的控制方式有 VS→VS、VS→CS、CS→VS 和 CS→CS 四种情况。因此，要根据不同的微电网孤岛拓扑和微源配置情况来选取合适的微源控制方法或组合，以

确保交流电压的稳定。

(4) 静态开关关断技术 微电网和大电网的连接处以及网内的联络开关通常都会选择快速静态开关, 晶闸管 (SCR) 以关断时间短、通过电流大和价格低的优点往往成为开关器件的首选, 但 SCR 不具有自关断能力, 从封锁触发脉冲到三相完全自由关断需要近半个工频周期, 在这段时间内逆变器输出电压会出现严重不平衡, 同时伴随着电压幅值的大范围波动。

假定微源以 CS 方式并网运行, 在 t_1 时刻电网电压突然跌至 80%, 这时控制器封锁 SCR 触发脉冲, 直到 t_2 时刻三相 SCR 才完全关断, 此时控制器转入 VS 方式运行, 电压电流仿真波形如图 6 所示。可以看到, 在 (t_1, t_2) 内三相 SCR 依次关断的过程中, 逆变器的其中一相输出电压发生了大幅度的波动, 严重威胁了敏感负荷的安全运行。因此, 必须研究 SCR 的强制快速关断技术, 以使过渡过程足够短, 且过渡过程中电压幅值和频率不发生大的波动, 保证重要敏感负荷的持续可靠运行。

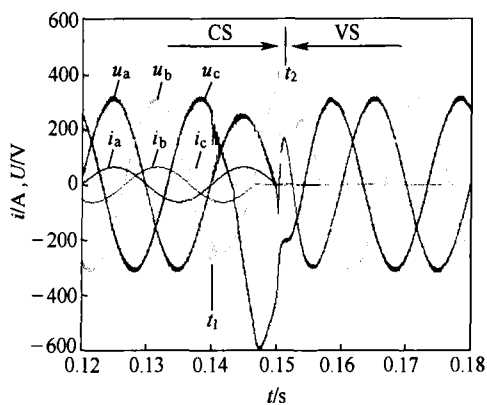


图 6 CS 至 VS 转换过程中的电压电流波形

分布式电源的控制除了满足以上要求外, 还应该具有以下功能:

- 1) 通信功能 接受能量管理系统的调度, 同时上传自身的各种状态信息。
- 2) 辅助的电能质量改善功能 分布式电源在自身不对电网造成污染的前提下, 能在一定程度上对电网进行无功补偿、谐波抑制和不平衡补偿等。
- 3) 保护功能 微电网内部有数量众多的分布式电源, 且它们之间的距离短, 这就造成了短路电流的急剧增大, 而传统的继电保护装置因时效性难以起到应有的保护作用, 严重威胁了电力电子设备的安全, 所以分布式电源自身必须具备各种可靠的

保护功能 (如过压、过流及故障等)。

4) 工程上的要求 抵抗冲击电压和 EMI 干扰的能力。

5 结束语

随着我国对环境保护问题的日益重视和可持续发展战略的实施, 可再生能源得到了前所未有的重视, 大力发展可再生能源是改善能源结构、建设节约型社会、实现可持续发展的必然要求, 是落实科学发展观的重要举措。电力电子技术在基于可再生能源的分布式发电和微电网技术中具有决定性的作用, 因此, 电力电子技术的发展必将大大推动可再生能源的普及和推广应用。

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): 71-75.
- [2] 王志群, 朱守真, 周双喜, 等. 分布式发电接入位置和注入容量限制的研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2005, 17 (1): 53-58.
- [3] 胡学浩. 分布式发电 (电源) 技术及其并网问题[J]. 电工技术杂志, 2004 (10): 1-5.
- [4] Lopes J A P. Integration of dispersed generation distribution networks-impact studies [C]. Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, USA, 2002, 1: 323-328.
- [5] Lasseter R H, Akhil A, Marnay C, et al. Consortium for electric reliability technology solutions white paper on integration of distributed energy resources: the CERTS microgrid concept[R]. CERTS, 2002.
- [6] Piagi P. Microgrid: a conceptual solution[C]. Proceedings of the Power Electronics Specialists Conference, Aachen, Germany, 2004: 4 285-4 290.
- [7] Lasseter R H. Microgrids[C]. Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, USA, 2002: 305-308.
- [8] Lasseter R H. Control of distributed resources[C]. Proceedings of the Bulk Power System Dynamics and Control IV-Restructuring, Santorini, Greece, 1998.
- [9] Lasseter R H, Piagi P. Industrial application of microgrids[R]. CERTS, 2001.
- [10] Marnay C, Bailey O C. The CERTS microgrid and the future of the microgrid[R]. CERTS, 2004.
- [11] Georgakis D, Papathanassiou S, Hatziaziyriou N, et al.

Operation of a prototype microgrid system based on micro-sources quipped with fast-acting power electronics interfaces [C]. Proceedings of the IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference, Aachen, Germany, 2004, 4: 2521-2526.

- [12] Katiraei F, Irvani M R, Lehn P W. Microgrid autonomous operation during and subsequent to islanding process [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20 (1): 248-257.
- [13] Smallwood C L. Distributed generation in autonomous and nonautonomous microgrids [C]. Proceedings of the 2002 IEEE Rural Electric Power Conference, Colorado, USA, 2002.
- [14] Feero W E, Dawson B C, Stevens J. Consortium for electric reliability technology solutions white paper on pro-

tection issues of the Microgrid concept [R]. CERTS, 2002.

Power Electronics Technology for MicroGrid

Huang Shengli

(Graduate University of Chinese Academy of Sciences)

Abstract The concept of the MicroGrid is introduced, and then the application of power electronics technology in distributed generation and the MicroGrid is addressed.

Keywords distributed generation microgrid power electronics technology

收稿日期: 2007 - 11 - 23

《电气应用》征稿启事

综合专刊

《电气应用》综合专刊立足于工程实践, 兼顾相关产品的技术前沿研究, 一方面适时提供技术发展潮流信息, 另一方面反馈用户的应用经验, 力求保证技术—产品—应用的一线畅通。为打造专刊内容的前瞻性、可读性和实用性, 更好地服务于电气技术领域, 提供一个便捷的交流思想、展示成果的平台, 现面向广大工程技术人员征稿。

征稿对象: 制造业、厂矿企业中从事电气设计、安装、维护与管理的技术人员。

征稿范围: 工矿企业、制造业、供水系统、市政工程、环保等项目中有电源、电机、传感器、变频器等电力电气设备的关键技术和实际应用经验, 包括变频调速、DSP 技术、PLC 应用、现场总线及工业网络通信、高频软开关技术、新型控制技术 & 控制策略、在线监测、节能实例等。

石化电气专刊

《电气应用》继 2007 年与中石化电气技术中心站、中国电工技术学会石化专委会联合成功推出《电气应用》石油化工电气专刊后, 受到石油、石化行业电气工程技术人员们的强烈关注和广泛认可。为深入石化电气领域, 加强相关技术与产品的报道, 更好的满足石化电气领域技术进步的要求, 本刊自 2008 年开始设置“石化电气”专刊, 旨在为石化电气行业的工程技术人员和相关企业提供一个

行业技术交流的新平台。现面向广大相关电气技术人员征稿。

征稿对象: 石化厂矿企业中从事电气设计、安装、维护与管理的技术人员。

征稿范围: 石油、石化行业供配电技术, 电气安全, 电气节能新技术, 石化系统自动化控制, 电能质量, 电力电子与电气传动, 电气管理软件在石化行业中的应用, 电机电器。

投稿须知

(1) 学术性、创新性、权威性、指导性和交流性, 突出实用案例和应用心得。

(2) 来稿要求论点明确、数据准确可靠。推理合乎逻辑、结构严谨、文字精炼、通顺易懂。

(3) 来稿发送至 etj@mail.machineinfo.gov.cn。文章末尾处务必提供详细联系方式, 如电话、Email、传真等。

(4) 稿件的具体要求参见本刊网站 www.eage.com.cn。

联系方式

地址: 北京市百万庄大街 22 号《电气应用》编辑部

邮编: 100037

电话: 010 - 88379209, 010 - 88379846

传真: 010 - 68994786

邮箱: etj@mail.machineinfo.gov.cn