

基于柔性直流输电技术的分布式发电在城市电网中的应用

尹寿焱, 翟毅, 吴昊, 季堃, 宋鑫, 杨启京
(国电南瑞科技股份有限公司, 江苏南京 210061)

摘要: 分布式发电是一种相对集中发电的分散发电方式。城市电网是城市现代化建设的重要基础设施之一, 是电力系统的主要负荷中心, 具有用电量、负荷密度高、安全可靠和供电质量要求高等特点。轻型柔性直流输电技术是在电压源换流器(VSC)和绝缘栅双极晶体管(IGBT)基础上开发出来的一种新型的输电技术。文中对分布式发电在城市电网中的应用进行可行性分析, 然后介绍了柔性直流输电技术及其在分布式能源并网中的应用, 并给出2个实际工程, 为基于柔性直流输电技术的分布式能源在城市电网供电相关工程提供参考。

关键词: 柔性直流输电; 分布式发电; 城市电网

中图分类号: TM721.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2013)04-0009-04

城市电网是城市现代化建设的重要基础设施之一, 是电力系统的主要负荷中心, 具有用电量、负荷密度高、安全可靠和供电质量要求高等特点^[1]。随着城市化进程不断推进和社会经济的高速发展, 城市负荷不仅持续快速增长, 并且对供电可靠性以及电能质量的要求越来越高。因此向城市负荷中心供给大量优质可靠的电能将面临越来越大的困难和挑战。随着城市发展的日趋成熟, 从环境保护以及土地资源的限制考虑, 不仅制约了大容量电源的建设, 而且造成向城市供电的线路走廊越来越拥挤, 甚至出现缺少必要线路走廊的供电瓶颈; 由于增加城市供电能力的投资成本越来越高, 人们对于健康和居住环境的要求增高, 因此需要采取合适的供电方式以节约资金、减少电网建设运行对城市居住环境的影响; 随着城市供电容量的增加, 系统短路电流增大, 这对于开关设备及其他网络元件的安全运行造成极大地威胁; 还有城市负荷对于供电可靠性以及电能质量的要求越来越高, 这就需要向城市负荷中心供电应该满足运行灵活、可控性高的要求, 以满足各种运行情况的需求^[2,3]。

1 分布式能源在城市电网中的应用

分布式能源, 顾名思义, 是一种相对集中供能的分散式供能方式。根据国际分布式能源联盟的定义, 分布式能源是指安装在用户端的高效冷/热电联供系统, 不论其采用何种燃料或是否并网运行。在城市中以组成微电网^[6-10]并通过与主网并网形成发电功能。作为一种高效的供能系统, 分布式能源近年来在国际上发展迅速。各国政府克服种种阻碍, 为分布式能源提供了一系列支持鼓励措施, 为其发展创造了有利的环境。分布式能源在各国电力市场中的比重也逐年增加。根据国际分布式能源联盟2006年的一份报

告, 分布式能源占电力市场的比例在丹麦已达到53%, 在芬兰、德国、荷兰捷克已达38%, 日本和印度分别达到14%和18%。英国虽然目前只有7%, 但伦敦为了争取2012年奥运会, 特别制定了伦敦城市能源发展规划。而这一发展规划的核心之一就是大力发展分布式能源。分布式能源经过几十年的发展, 其技术已非常成熟、可靠。分布式能源设备的生产厂家多数是世界顶级的电力设备厂家, 如美国通用电气、卡特比勒、索拉、康明斯、芬兰的瓦锡兰、德国的MAN等等。我国也有一些著名的厂家, 如山东胜动和沈阳黎明。各国根据各自的国情, 利用不同的技术发展了多种形式的分布式能源, 积累了宝贵的实际运行经验, 对我国分布式能源的发展也有很高的借鉴价值。分布式能源的发展在中国存在着两个主要障碍, 即并网与售电。分布式能源系统设计的一般原则是以热定电, 这样才能保证较高的系统能效。但这样设计的结果可能会出现余电或缺电现象, 因此分布式能源就需要借助公共电网来吸收余电或是补充缺电, 以最终确保系统的高能效, 同时也需要把电网作为备用电源。发展分布式能源有以下3点巨大优势:

(1) 可以为国家节约大量的发电和输配电投资。举个简单的例子, 以8%~10%的输电线损计算, 我国每年输电线损达3个三峡水电站全年的发电量。建在用户端的分布式能源系统由于不需要通过电网供能, 因此可以避免输电线损和节约大量的输配电投资。如考虑建设电厂的费用, 节约的资金将更为惊人。另外, 分布式能源系统的投资出自用户, 而电厂和输配电投资出自国家。能节约线损和国家投资的事何乐而不为。

(2) 市场经济原则下的自由选择权利。能源安全有两层含义, 即国家能源安全和用户能源安全。国家能源安全体系应是对最终用户能源安全的保障。最近美国纽约再次大面积停电的事实, 进一步说明了集中供电系统的脆弱和对用户能源安全保障的不完整性。分布式能源

系统实际上是对单一的集中供电系统的补充,它可以使用户更有效地计划能源消费和避免电网停电给自己带来的经济损失。在电网有供电的社会职责、却无断电赔偿责任的条件下,用户自由选择供电方式应是用户在市场经济原则下的基本权利。

(3) 分布式能源是国家电网的一种有益补充。从国家角度看,分布式能源系统的全面发展,与电力部门没有根本利益冲突,而且在很大程度上可减轻发电和输配电部门的压力,应视为集中供电的一种有益补充,特别是在电网无力覆盖的边远地区和其他公用事业领域。这一点在绝大多数国家都已得到充分的验证。

2 柔性直流输电技术

进入 20 世纪 90 年代以后,新型金属氧化物半导体器件—绝缘栅双极晶体管(IGBT)首先在工业驱动装置上得到了广泛的应用。1990 年,加拿大 McGill 大学的 Boon-Teck Ooi 等提出了用脉宽调制技术(PWM)控制的电压源换流器(VSC)进行直流输电(HVDC)的概念。2 个著名的制造商将这种使用 VSC 的直流输电新技术用商标命名为 HVDC Light 和 HVDC-PLUS,这里 PLUS,表示通用电力连接系统(Power Link Universal System)的意思。

轻型柔性直流输电技术是在 VSC 和绝缘栅双极晶体管(IGBT)基础上开发出来的一种新型的输电技术。它基于 VSC 技术,利用 IGBT 的开关迅速的转换电网工作点并且独立的控制有功和无功功率,从而能够实现特定条件下对有功功率和无功功率的最佳控制。系统存在 2 个基本元素:换流站和一对电缆。换流站是电压源换流站,几乎不需要人去维护,可以远程控制或者根据相邻的交流系统进行自动控制,换流站之间不需要通信。

2.1 轻型柔性直流输电优势

轻型柔性直流输电主要优势^[11-13]有以下几点。

(1) 独立的电力传输和电能质量控制。轻型柔性直流输电系统可以在操作范围内对有功和无功进行完全的独立控制。轻型柔性直流输电不需要依靠交流系统的能力来维持电压和频率稳定。与传统直流输电所不同,短路容量显得并不重要。轻型柔性直流输电可以向缺乏同步机的电网馈送负荷。

(2) 电能反转。轻型直流输电系统可以在不改变控制方式、不转换滤波、不断开换流站的情况下快速地转换功率方向。在这个过程中直流电流方向改变,而直流电压方向没有变化(传统直流输电电压改变),这有利于既能方便地控制潮流又具有较高可靠性的并联多端直流系统。

(3) 增加现有系统的传输容量。轻型柔性直流输

电换流站对于电压的快速精确控制能力可使传输能力达到上限,瞬时的过电压可通过快速的无功功率反应消除。同时更高的电压等级允许在不超过电流限制的情况下传输更多的电能。此外由于交流侧电流可调,则不会增加系统的短路容量,这意味着增加新的直流输电线路后,交流系统的保护整定基本不需要改变。

(4) 对无功功率的自由补偿。轻型柔性直流输电不仅不需要交流侧提供无功补偿而且能起到静止同步补偿器(STATCOM)的作用,即动态补偿交流母线的无功功率,稳定交流母线电压。这意味着故障时,系统既可以提供有功功率的紧急支援又可以提供无功功率的紧急支援,从而提高系统电压和功角的稳定性。

(5) 孤岛操作和异步网络连接。轻型柔性直流输电换流站通常跟随连接网络的交流电压。电压的大小和频率由整流站的控制系统决定,而且 2 个换流站是完全独立的,所以完全可以工作在孤岛状态下和异步系统的直流连接,这些都是传统交流系统无法实现的。

2.2 轻型直流输电意义

轻型柔性直流输电网络结构如图 1 所示。

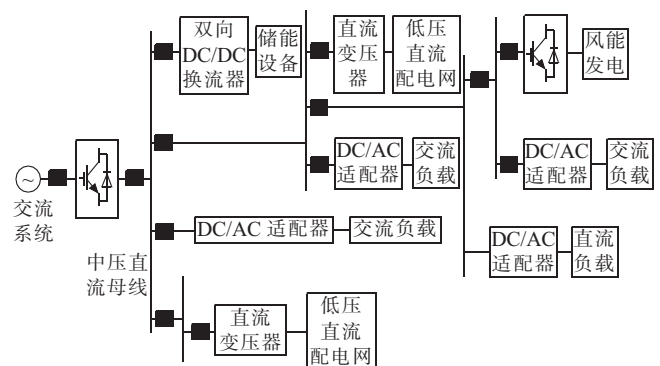


图 1 轻型柔性直流输电网络结构示意图

(1) 城市电力供应。通过增加新的交流线路来给城市增加供电非常昂贵且很难得到许可证。而轻型柔性直流输电系统只需要很少的空间并且可以输送更多的电力,同时轻型柔性直流输电系统不会增加直流网络的直流。因此对于城市供电的扩容,柔性直流输电系统是最佳的解决方案。

(2) 分布式发电。分布式发电装置是指小型的与环境兼容的独立电源。这些电源由电力部门、电力用户或第三方所有,用以满足电力系统和用户特定的要求,如调峰、为边远用户或商业区和居民区供电,节省输变电投资、提高供电可靠性等等。这些电源比较分散,且有些电源输出的电力难以直接并入交流电网,例如燃料电池输出的是直流电压。因此轻型柔性交流配电系统为分布式电源的并网提供了可行的技术平台。

(3) 大中城市交直流混合供电。现代化的社会要求更高的供电可靠性和电能质量。由于现代化大都市供电负荷密度大,供电方式复杂,可靠性要求高,还要

求考虑更大的发展灵活性,以适应供电负荷不断增加和供电网升级的需要,因此可采用直流配电系统代替或配合传统的交流中低压输电系统,将电能直接送往负荷中心的换流站,再逆变为交流电,为用户供电。该方法不仅提高了输送容量,而且提高了供电可靠性。由于整流站不需要功率反转,因此从经济和技术角度考虑,整流站采用电流源换流器(CSC),逆变站采用VSC换流器。

(4) 弱系统间的互联。弱系统一般都远离主网,交流线到主网的跳闸次数较高,系统稳定性较差。但是随着经济的发展,弱电网地区有更大的容量需求,随着负荷的增加,不稳定可能引起更频繁的跳闸,线路的功率振荡会减少可用的有功容量,且不能接受功率环流。

3 应用实例

3.1 哥特兰岛工程

1999年6月,连接瑞典哥特兰岛北部和维斯比城的柔性HVDC传输线工程投入运行。这是世界上第一个商业化运行的VSC-HVDC系统,风电场与公共电网的联网情况如图2所示。

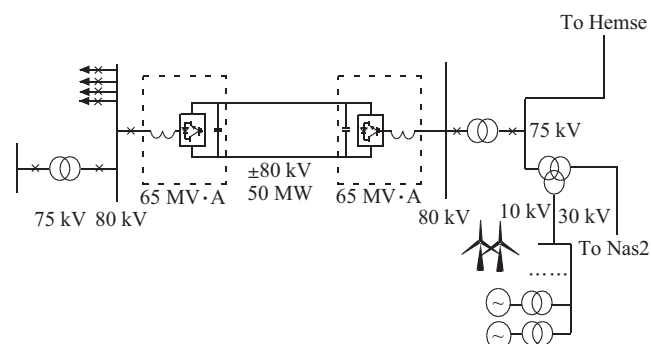


图2 哥特兰岛工程示意图

由于可再生能源的开发,在哥特兰岛南部安装了40 MW的风力发电设备,而且正在兴建更多的风电场。因为风力发电机的操作条件受到电压波动和无功变化的影响,需要更大的电力传输容量以及更好的方法保证传输质量。柔性HVDC技术的优良性能可以解决风电场中的电能质量问题,即电压和无功支撑,而且以地下电缆传输电能,对环境的影响相对较小,这些有利条件促使当地政府决定修建了这条VSC-HVDC输电线路,从投运到现在运行良好,产生了巨大的经济与环保效益。

3.2 Tjashreborg 工程

这是VSC-HVDC用于风力发电的又一个实例,也是丹麦修建的第一个VSC-HVDC示范工程,海上风电场与公共电网的联网情况如图3所示。

丹麦能源部门修建了5个利用海风发电的风电场,每个风电场装机容量约为150 MW。预计在今后30

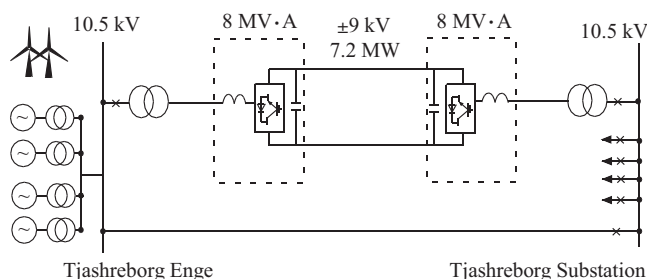


图3 Tjashreborg 工程示意图

年内还将逐步增加大约4000 MW的风力发电装机容量,约占总装机容量的40%~50%。由于大量的风力发电设备引入电网,必然会对整个电网产生严重影响。风力发电的不稳定性会影响整个电网的电能质量,同时也会引起电压控制和无功补偿问题。为此,丹麦ELTRA公司在Tjashreborg建设了最大传输容量为8 Mvar/7.2 MW的柔性HVDC示范工程,并于2000年9月正式投运,到目前为止运行效果非常好。

4 结束语

综上所述,基于轻型柔性直流技术的技术优势,考虑把分布式能源引入用电密集的城市电网,解决城市供电中存在的供电困难、电能质量不高、成本高以及潮流难以控制等问题,维持城市电网的安全可靠经济运行是切实可行的,也将是中国未来城市电网的一个重要发展方向。

参考文献:

- [1] It's Time to Connect—Technical Description of HVDC Light Technology[R]. ABB Power Technology AB, 2005.
- [2] 徐政. 高压直流输电与柔性交流输电控制装置—静止换流器在电力系统中的应用[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [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(12):53-56.
- [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] 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.
- [6] 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(19):100-107.
- [7] 盛鹏,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.
- [8] 章健,艾芊,王新刚. 多代理系统在微电网中的应用[J]. 电力系统自动化,2008,(24):80-82,87.
- [9] 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(16):27-31,58.
- [10] 国海,苏建徽,张国荣. 微电网技术研究现状[J]. 四川电力技术,2009(2):1-6.
- [11] WEIMERS L. A New Technology for a Better Environment [J]. IEEE Power Engineering Review, 1998,18(8):19-20.
- [12] GRUNBAUM R, HALVARSSON B, WILK W A. FACTS and

- HVDC Light for Power System Interconnection [M]. In: Power Delivery Conference. Madrid(Spain):1999
- [13] NOROOZIAN N, EDRIS A A, KIDD D, et al. The Potential Use of Voltage Sourced Converter Based Back-to-back Tie in Load Restoration [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2003,18 (4): 1416-1421.

作者简介:

尹寿垚(1984),男,安徽马鞍山人,工程师,从事电力系统自动化研究工作;

- 翟毅(1984),男,安徽六安人,工程师,从事电力系统自动化研究工作;
- 吴昊(1982),男,江苏南京人,工程师,从事电网调度自动化研究工作;
- 季堃(1981),男,江苏南京人,工程师,从事电网调度自动化研究工作;
- 宋鑫(1981),男,江苏南京人,工程师,从事 IEC 61970 相关应用研究工作;
- 杨启京(1982),男,江苏南京人,工程师,从事 IEC 61970 相关应用研究工作。

Application of the Distributed Generation Based on VSC-HVDC Technology in Urban Power Grid

YIN Shou-yao, ZHAI Yi, WU Hao, JI Kun, SONG Xin, YANG Qi-jing
(NARI Technology Development Co.Ltd., Nanjing 210061,China)

Abstract: Distributed Generation (DC) is contrary to traditional centralized generation. Being the main load center of power system, urban power grid is one of the important infrastructures of city modernization, with the characteristics of high power consumption, high density of load, high reliability and high requirement for power quality. VSC-HVDC Light is a novel transmission technology based on voltage source converter (VSC) and insulate gate bipolar transistor (IGBT). In this paper, the feasibility of the distributed generation applied in urban power grid is analyzed. The VSC-HVDC technology and its application in the connection of distributed energy into the grid are then introduced, with 2 practical projects provided, which provides reference for other relative projects.

Key words: VSC-HVDC; distributed generation; urban power grid

(上接第8页)

规发电厂以及新型储能装置之间的协调频率控制策略。(2) 研究多元复合储能协调频率控制,为系统一次调频、二次调频提供支持;(3) 研究采用轻型高压直流等新方式并网的风电场参与系统调频的技术。

参考文献:

- [1] 李军军,吴政球. 风电参与一次调频的小扰动稳定性分析[J]. 中国电机工程学报, 2011,31(13):1-9.
- [2] 陈宁,于继来. 兼顾系统调频需求的分布式风电分散自治调频策略[J]. 电工技术学报, 2008,23(11):123-130.
- [3] 吴淳. 风电对电力系统调频和备用的影响研究[J]. 华东电力, 2011,39(6):93-95.

- [4] 韩小琪,宋璇坤,李冰寒,等. 风电出力变化对系统调频的影响[J]. 中国电力, 2010,43(6):26-29.
- [5] 靳丹,丁坤,何世恩. 丹麦风电调峰调频机制探讨及对中国的启示[J]. 电力科技与环保, 2011,27(4):50-53.
- [6] KHAKI B, ASGARI M H and SIRJAN R. Contribution of DFIG Wind Turbines to System Frequency Control [C]. Conference on Sustainable Power Generation and Supply, Nanjing China: Hohai University, pp. 1-8, 2009.

作者简介:

秦旭东(1974),男,江苏扬州人,工程师,从事电力调度运行管理工作。

Influence and Strategy Study of the Frequency Regulation of Jiangsu Power Grid with Large-scale Wind Power Integration

QIN Xu-dong

(Jiangsu Electric Power Dispatching and Control Center, Nanjing 210024,China)

Abstract: Jiangsu province is rich in wind resources. According to the planning of government, there will be 34 onshore and offshore large-scale wind power plants by 2020, with a total installed capacity of 10,000 MW. The uncertainty of wind power has a great impact on the frequency of power grid. The pressure of frequency regulation is first analyzed and the solution is then presented in this paper. Besides, according to the situation of large-scale wind power integration, the control strategy of wind farm participating in frequency regulation is developed. To improve the control ability, the thought of wind farm and energy storage complementary system is proposed, which provides schemes for large-scale wind farms participating in frequency regulation.

Key words: large-scale wind power; frequency regulation; complementary energyq