

智能配电网中分布式电源接入探讨及其有功功率控制研究

崔 洋

(徐州供电公司, 江苏 徐州 221005)

摘 要: 分布式电源接入配电网运行是未来电力市场的重要组成部分, 而以风能和光伏等新能源发电为代表的分布式电源存在不稳定、可调度性低、接入电网技术性能差和对电网谐波管理的影响等一系列问题, 文章针对分布式电源并网运行的优缺点, 结合我国智能配电网发展, 阐述了分布式能源并网运行的可操作性。文中搭建了简单的分布式电源并入配电网运行的仿真模型, 通过仿真模拟局部负荷的突变, 对比分析了分布式电源接入与否对配电网有功功率调度操作的影响, 仿真结果表明分布式电源的并网运行可以从一定程度上平衡负荷变化, 从而可减少系统调度操作, 提高系统可靠性。

关键词: 分布式电源并网运行; 智能配电网; 有功功率控制

0 引言

分布式电源一般指小型、向当地负荷供电、可直接连到配电网上的电源装置。分布式电源通常包含分布式发电 (Distributed Generation, DG) 装置和分布式储能 (Distributed Energy Storage, DES) 装置, 容量一般小于 50 MW。分布式发电可分为基于化石能源的分布式发电技术、基于可再生能源的分布式发电技术以及混合的分布式发电技术。

燃气三联供为代表的分布式电源与大电网结合运行, 可以弥补大电网供电的不足, 因此受到了各国特别是发达国家的重视, 各国政府纷纷制定扶持政策, 加快了分布式电源的应用。我国分布式发电起步较晚, 但政府重视分布式发电的发展, 鼓励燃气三联供分布式电源的发展, 且已取得不少成果。2003 年以来, 我国政府加强了推进节能减排力度, 颁布了《可再生能源法》并制定了一系列促进可再生能源利用与提高能效技术发展的政策, 提出了 2020 年应用可再生能源占消费总能源的比例达 15% 的目标。大规模可再生能源发电必须通过并网运行才能更有效的利用, 但是大部分的可再生能源资源都有随机性, 给并网运行带来很大困难。随着我国可再生能源发电的发展, 分布式电源的并网运行的问题也越来越突出。要大规模发展新能源发电, 必须提高电网对分布式电源的接纳能力; 满足分布式电源并网的需要, 这正是智能电网提出并获得迅速发展的根本原因。智能电网和分布式电源接入技术必将推进我国新型的发、配、送、用电体系发展。

1 分布式电源与智能配电网

面对短时的电力负荷高峰和用户对供电质量和可靠性的高要求, 远离负荷中心建立大电厂, 一方面应付电力负荷高峰而言相当不经济, 另一方面对可靠性和供电质量来说也无优势。分布式发电以其投资省、发电方式灵活、与环境兼容等特点与大电网联合运行, 给现代电力系统运行与控制带来巨大的变化。分布式电源并网运行, 可以在一定程度上弥补大电网在安全可靠性的不足, 含分布式电源的微电网可在大电网停电时维持全部或部分重要用户的供电, 避免大面积停电带来的严重后果, 一旦发生灾害, 分布式电源可维持部分重要负荷的供电、减少灾害损失, 从而提高供电可靠性。分布式能源 (Distributed Energy Resource, DER) 启停方便, 调峰性能好, 可以满足特殊场合的用电需求, 如用于大电网不易达到的偏远地区的供电; 在重要集会或庆典上, DER 处于热备用状态可作为移动应急发电。这均有利于平衡系统负荷, 减少不必要的系统操作, 降低系统运行风险。DER 投资小、见效快。发展 DG 可以减少、延缓对大型常规发电场与输配电系统的投资, 降低投资风险。DER 就近向用电设备供电, 避免输电网长距离送电的电能传输损耗。

分布式储能装置并网后, 可在负荷低谷时从电网上获取电能, 而在负荷高峰时向电网送电, 起到对负荷削峰填谷的作用, 提高电网运行效率。另一个重要作用, 是与风能、太阳能等可再生能源发电装置配合使用, 可就地补偿可再生能源发电装置功

率输出的间歇性。分布式电源启停方便调峰性能好有利于平衡负荷,在负荷低谷时从电网获取电能、在负荷高峰时向电网送电,起到对负荷削峰填谷的作用提高电网运行效率,因此发展分布式发电可以延缓大型常规发电厂与输配电项目的新建,减少电力装备的投资或者降低投资的风险。

1.1 智能电网的建设为分布式电源并网运行提供坚强而可靠的接入平台

随着太阳能、风能等分布式能源接入配电网,对配电网潮流、拓扑分析、电能质量产生重大影响,给配电网的安全运行带来了极大的挑战。传统的配电自动化模型、控制策略已不能满足对大量分布式能源的接入和管理,而作为智能配电网重要组成部分的微网技术可以很好地解决分布式电源的灵活接入,实现配电网的安全、可靠、经济运行。

1.2 目前分布式电源接入智能配电网还存在诸多难题

分布式发电装置并网后会给配电网的运行管理带来一系列的影响,例如:

DER 的接入,会增加配电网调度与运行管理的复杂性。风力发电、太阳能光伏发电等输出的电能具有很大的随机性,而用户自备 DER 一般是根据用户自身需要安排机组的投切;这一切给合理地安排配电网运行方式、确定最优网络运行结构带来困难;另一方面,它给配电网的施工与检修维护带来了影响。由于难以对众多的 DER 进行控制,停电检修计划安排的难度增加,配电网施工安全风险加大。

然而这些问题在传统配电网很难解决,智能配电网的规划和实施正是紧抓这一契机,建设坚强自愈的配电网及其控制、保护体系,为多样化的用户需求、复杂多变的负荷波动、间歇繁冗的分布式电源接入提供合理而可行的平台。

2 分布式电源并网技术

为确保配电网的安全运行和供电质量,目前,DER 并网要满足以下基本要求:保证配电网电压合格,所引起的电压偏移不超过允许范围;配电设备正常运行电流不超过额定值,动热稳定电流不超过允许值;短路容量不超过开关、电缆等配电设备的允许值;电能质量合格,所引起的电压骤升、骤降、闪变、谐波不超过规定值等。

目前 DER 并网技术是“有限接入”,即对于介入容量等做出严格限制。为了充分利用可再生能源,目标是实现 DER 并网的“宽带接入”和大量接入,这也是智能电网概念提出的根本原因之一,智能电网技术的发展,将是这问题能得到较好的解决,随着 DER 的大量接入,配电网就由传统的无源网络将发展成为有源网络,当前,世纪这方面的技术研究主要有为微电网技术与虚拟发电厂技术。

2.1 有源网络

有源网络指的是分布式电源高度渗透、功率双向流动的配电网。有源网络的概念是针对并网技术对 DER 接入容量做出严格限制的配电网而提出的。有源网络不再单纯地为不影响现有配电网而严格限制 DER 的接入,而是让 DER 尽可能地多发电(特别是对可再生能源)、充分地发挥其对配电网的积极作用以节省电力系统的整体投资。因此,考虑 DER 对配电容量的替代作用,也是有源网络的一个重要的特征。有源网络给配电网的保护控制、运行管理提出了新挑战,它包括电压控制、继电保护、短路电流限制、故障定位与隔离、DER 调度管理等方面的问题。

2.2 微电网技术

微电网简称微网,是指由 DG、DES 装置和监控、保护等装置集成的并为相应区域供电的小型发电系统,能够不依赖大电网而正常运行,实现区域内部供需平衡。一般来说,微网是一个用户侧的电网,它通过一个公共连接点与大电网连接。

按照目前的常规做法,DER 必须配备孤岛保护,能在在大电网停电时自动与主网断开。而微网则可以在与大电网脱离后独立运行,由 DER 维持区域内所有或部分重要负荷的供电,能够发挥出 DER 在提高系统可靠性方面的作用。

微网仅在公共连接点与大电网连接,避免了多个 DER 与大电网直接连接。通过合理控制方式等的设计,可使微网中 DER 主要用于区域内部负荷的供电平衡,做到尽可能减少乃至消除与主网的功率交互,使得大电网可以不考虑其功率输出的影响,继续采用“即接即忘”的并网方法。这样就很好地解决了 DER 大量接入与不改变配电网现有保护控制方式之间的矛盾。

就为微网本身来说,它是一个“有源网络”,需要解决功率平衡、稳定控制、电压调整、继电保护

等一系列问题。微网技术还在研究发展之中，是智能配电网的重要研究内容。

2.3 虚拟发电厂技术

虚拟发电厂技术是将配电网中分散安装的 DER 通过技术支撑平台实现统一调度并将其等效为一个发电区，实现分布式电源并网，达到 DER 的优化利用、降低电网峰值负荷、提高供电可靠性的目的。VPP 的调度对象主要是可随时启动并且功率可随时调节的 DER，如热电联产微型燃气轮机、应急供电柴油发电机组以及各种 DES 等。对于风能、太阳能发电等可再生能源发电来说，其输出具有不确定性，且一般需要在具备条件时让其足额发电，因此不能对其进行有效地调度。

实施 VPP 要有配电自动化系统 (DAS) 作为技术支撑平台。VPP 是 DAS 的一个高级应用功能。DAS 需要采集、处理分布式电源的实时运行数据，并能够对其进行调节、控制。

除技术问题外，实施 VPP 还涉及电价、政策法规等一系列问题，目前处于研究探讨阶段，还缺少成熟的经验。

3 分布式电源接入的简单仿真分析

主要研究相应分布式电源有功功率调度问题研究。受电网线路等容量要求，尤其是线路故障或相当操作会严重影响重要用户的用电需求。在电网改造不宜进行或短期内不能满足用户需求的情况下，为提高此类供电可靠性，合理的分布式电源的安装和接入方案能够在一定程度上避免或缓解供电不足甚至断电的状况。然而，分布式电源及其并网方式的多样性使得配电网复杂多样。

在此，仅考虑在负荷发生突然变动时，较快响应的可控分布式电源能够平波负荷变化，减少电网侧有功功率调度频率，提高系统稳定性和可靠性。

3.1 系统仿真模型

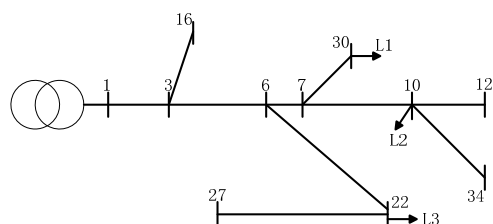


图1 仿真系统结构图

系统电压等级为 10kV，频率为 50Hz，节点数

为 11，其中 1 号节点为变压器母线节点，线路模型中线路参数及终止节点的负荷数据如表 1 所示，10、22、30 号节点挂有可控负载，用以模拟系统负荷变化，并在 PSCAD 中仿真。

仿真分为两个阶段个方，一是上述可控负载为 0 且无分布式电源接入时，系统有功功率仿真；可控负载负荷有变造成系统总负荷突变时，需求系统调度，在此基础上，对比分布式电源接入时系统的仿真波形。

表 1 仿真系统部分线路参数

| 起 | 止 | 长度/km | R/(Ω /km) | X/(Ω /km) | 负荷/MW |
|----|----|-------|-------------------|-------------------|-------|
| 1 | 3 | 1.15 | 0.195 | 0.080 | 0.414 |
| 3 | 6 | 1.55 | 0.299 | 0.083 | 0.828 |
| 3 | 16 | 1.00 | 0.524 | 0.090 | 0.414 |
| 6 | 22 | 3.20 | 0.299 | 0.083 | 0.760 |
| 6 | 7 | 0.60 | 0.524 | 0.090 | 0 |
| 7 | 10 | 1.40 | 0.524 | 0.090 | 0.832 |
| 7 | 30 | 0.90 | 0.524 | 0.090 | 0.405 |
| 10 | 12 | 0.45 | 0.524 | 0.090 | 0.661 |
| 10 | 34 | 1.20 | 0.524 | 0.090 | 0.410 |
| 22 | 27 | 1.95 | 0.299 | 0.083 | 0.968 |
| 总计 | | 13.40 | | | 5.691 |

3.2 仿真结果及其对比分析

第一阶段仿真结果如图 2 所示，其中 L 为系统总负荷曲线（不包括线路损耗）为 5.691MW，P 曲线为系统 1 号节点即电网侧的有功功率输出曲线，忽略启动阶段的波形，可以看出电网侧可以满足这一地区负荷要求。

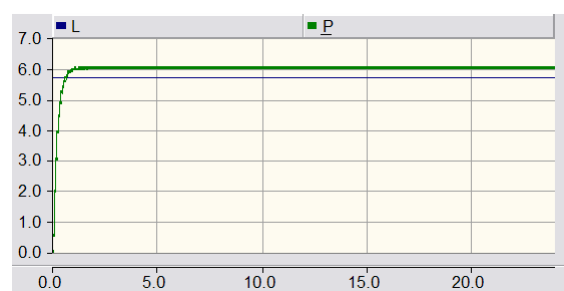


图2 系统正常运行总负荷和电网侧有功功率输出曲线

图 3 中 Ld 为系统可控负载变化时系统总负荷曲线（不包括线路损耗）为 5.691MW-6.691MW-5.691MW 变化，P 曲线为第一阶段仿真时系统 1 号节点即电网侧的有功功率输出曲线，从二者的波形对比中可以看出电网侧为了满足系统负荷变化要求，就必须及时准确做出电网调度措施，然而系统的复杂变化尤其是突变很难预测，

调度措施又有其滞后性，这就势必影响到区域供电质量，与此同时也会较大增加线路上的损耗。

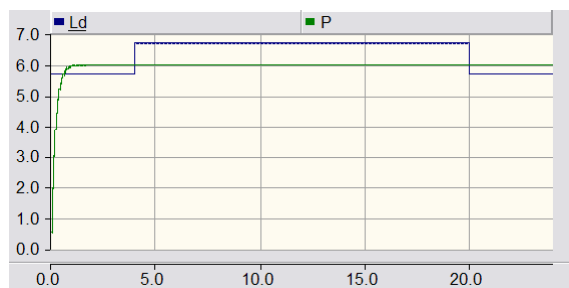


图 3 负荷突变时总负荷和电网侧有功功率输出曲线

第二阶段仿真结果如图 4 所示，其中 L_d 为系统可控负载变化时系统总负荷曲线， P 曲线为此阶段系统 1 号节点即电网侧的有功功率输出曲线， PDG 为接入分布式电源的有功功率输出曲线，其目标为就地平衡节点 10、22、30 三地的负荷变化，忽略启动阶段的波形，可以看出合理的分布式电源有功功率控制可以及时且快速的平衡负荷变化，并且能够避免或减少线路上的损耗增量，从所需电网出力波形来看，此时负荷变化不需上层调度操作，提高系统可靠性的同时减少电网侧的调度操作，或者称之为小区域智能自动调度，其实就是分布式电源的有功功率控制问题，它可以为系统调度提供有力支撑。

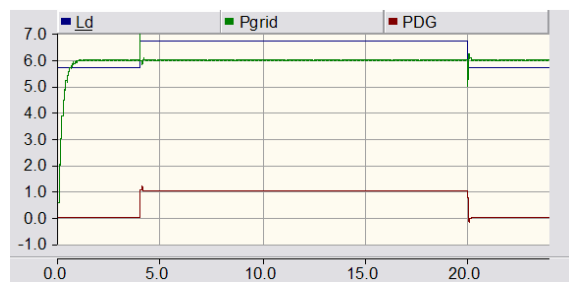


图 4 负荷突变时总负荷、分布式电源及电网侧有功功率曲线

3.3 仿真结论

通过上述仿真和对比分析可以看出分布式电源的并网运行能够及时有效的平息就地负荷突变，为系统调度提供有力支撑，提高系统可靠性的同时有益于区域电能质量。

4 结论

文章中的阐述分析以及简单的模型仿真均可以看出分布式电源接入配电网的并网运行有益于电网的发展，有益于电力系统可靠性的提升，有益于节能、低碳、环保的发展大势。智能电网的发展也必将带来新的电网运行方式的变革，分布式电源的接入在提升系统可靠性的同时增加系统的复杂性，分布式电源的协调优化经济运行控制策略和技术将是我国智能配电网的发展关键分支，这一方向还需进一步完善和规划。

参考文献：

- [1] 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):13-18.
- [2] 刘振亚. 智能电网知识读本[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [3] 杨洋,骆晓非,艾芊. 分布式电源接入对智能电网的影响[J]. 低压电气, 2011(1):30-34.
- [4] 顾定军. 分布式电源的接入对电网的影响及对策[J]. 供用电,2010,27(4):10-13,46.
- [5] 王赛一. 分布式电源及对配电网系统的影响[J]. 上海电力, 2006(5):515-518.
- [6] 孙一奇. 分布式电源接入对电网的影响[J]. 科技情报开发与经济,2011,21(33):197-199.

作者简介：

崔 洋 (1986-), 男, 江苏新沂人, 助理工程师, 长期从事电力系统运行工作。