

分布式电源接入对智能电网的影响*

杨 洋, 骆晓非, 艾 芊
(上海交通大学 电气工程系, 上海 200040)

摘 要: 介绍了智能电网的特点及发展概况, 针对智能电网内接入的各种分布式电源, 分析其并网后对电网带来的影响, 并提出了相应的解决方案, 充分说明了智能电网发展的可行性和合理性。

关键词: 智能电网; 分布式电源; 并网

中图分类号: TM 715 文献标志码: A 文章编号: 1001-5531(2011)01-0030-05



杨 洋 (1985—), 男, 硕士研究生, 研究方向电力系统稳定及智能电网。

Influence after Distributed Generation Access to Smart Grid

YANG Yang, LUO Xiaofei, AI Qian

(Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: The characteristics and development of smart grid were introduced. Aiming at the distributed generations access to smart grid, the impact of power system brought after synchronization was analyzed, and the corresponding solutions were put forward. The feasibility and rationality of smart grid development were explained fully.

Key words: smart grid; distributed generation; synchronization

0 引 言

当今 随着气候变化的加剧, 人们对于环境监管的要求日渐严格, 更好地应用绿色能源, 成为世界各国关注的焦点^[1]。其中, 可再生能源逐步替代化石能源是人类面临的一大挑战, 又是不得不迈出的一步。因此, 世界各地不同的领域间合作, 希望将现有的电网体系更新换代, 充分利用数字信息技术和自动控制技术, 将发电、输电、配电、储能和用电各环节中的各种电气设备和其他用能设施紧密连接在一起, 实现各部分信息的双向交流^[2], 并整合入最新的清洁能源; 通过智能化控制, 将污染与温室气体排放降低到环境可以接受的程度, 使用户成本和投资效益达到一种合理的状态。

中国作为一个高速发展的国家, 2008 年的温室气体总排量居世界第二, 节能减排的任务迫在眉睫。因此, 在中国发展、推广智能电网技术, 实

现能源效率最优化, 最大限度地减少污染, 是一个值得深思的问题^[3]。

本文综述智能电网的概念和国内外研究现状, 并深入分析网内的分布式电源带来的影响及其对策, 表明智能电网发展的可行性、合理性。

1 智能电网概念

1.1 智能电网定义

智能电网在不同地区有着不同的定义。文献 [4] 中认为, 智能电网是指一个完全自动化的供电网络, 其中的每一个用户和节点都得到实时监控, 并保证从发电厂到用户端电器之间的每一点上的电流和信息的双向流动。智能电网通过广泛应用的分布式智能和宽带通信及自动控制系统的集成, 保证市场交易的实时进行和电网上各成员之间的无缝链接及实时互动。

文献 [5] 中提出了“互动电网”的概念, 指在创建开放的系统和建立共享的信息模式的基础

骆晓非 (1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统稳定。

艾 芊 (1969—), 男, 教授, 博士, 研究方向为电力系统分析, 灵活交流输电设备, 新能源。

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51077092); 国家重点实验室开放基金重点项目 (SKLD09KZ07)

上,以智能电网技术为基础,通过电子终端将用户之间、用户和电网公司之间形成网络互动和即时链接,实现数据读取的实时、高速、双向的总体效果;实现电力、电信、电视、远程家电控制和电池集成充电等的多用途开发。

在欧洲,智能电网被称为 Smart Grid,并于2006年推出了研究报告,全面阐述了智能电网的发展理念和思路。美国能源部 DOE 也采用了该术语。目前,智能电网这个称谓已被全世界普遍采用,但由于“智能电网”概念处于开始研究和开发阶段,故智能电网目前还没有统一而明确的技术定义。

综合来讲,智能电网就是利用通信技术,以传感器获取状态信息,把各种电力设备连接起来组成电力信息网络,从而对电网状态进行整合分析,并将结果及处理建议反馈给客户端,以协助进行高效率、低成本的电网调度操作,提高整个电网的可靠性,优化电能的调配使用。

1.2 智能电网特性

(1)自愈性。系统能实时跟踪电网的运行状态,及时发现并排除故障隐患。若故障已经发生,则能快速隔离故障、自我恢复,避免大面积停电的发生。

(2)安全性。能快速、适当地应对自然灾害、人为误操作和网络故障等各种异常情况,具有强大的鲁棒性,能保证人身、设备和电网的安全。

(3)经济高效性。充分利用网内设备的容量及性能,优化调度电能。在引入了电力市场机制后,利用市场杠杆,优化调配经济的电能来源,平衡电力供应缺口,实现整个电力系统优化运行。

(4)兼容性。电网中既能够保留传统的、集中式大型电源接入,也支持以分布式发电方式存在的可再生能源的大规模接入应用,实现绿色电能、保护环境、人与自然和谐发展的目的。

(5)互动性。实现电网与终端用户的智能互动,在保证电能质量及供电稳定的基础上,满足客户各种需求。特别是在电力市场中,能够实现用户用电到用户供电的角色衔接,真正做到电力系统的灵活管理。

智能电网的优点使得能够在网内接入数量可观的分布式绿色电源,清洁能源的可持续发展性将与智能电网的各项优点相得益彰。

2 智能电网的研究

2.1 国外研究现状

欧美各国对智能电网的研究工作开展较早,且已形成强大的研究群体。欧洲重点关注可再生能源和分布式能源的发展,并带动整个行业发展模式的转变。欧盟第5次框架计划(FP5)(1998~2002年)中的《欧洲电网中的可再生能源和分布式发电整合》专题下包含了50多个项目,有分布式发电、输电、储能、高温超导体和其他整合项目5大类,其中,多数项目于2001年开始实施并达到了预期目的,被认为是发展互动电网第一代构成元件和新结构的起点。

在技术实践方面,法国电力公司在美国诺福克试验了一种动态能源储存系统,有助于电网协调来自北海的间歇性风电,并同意使用ABB公司SVCLight的“聪明电网”技术。该系统将使用高技术的锂离子电池和超导体电力晶体管,均衡连接风电场的配电网负荷。

2.2 国内研究现状

我国智能电网的发展虽不如国外起步早,很多方面的研究成果已为发展智能电网奠定了基础。华东电网公司于2007年在国内率先开展了智能电网可行性研究,并设计了2008~2030年“三步走”的计划,并在2008年全面启动了以高级调度中心项目群为突破的第一阶段工作,以整合、提升调度系统,建设数字化变电站,完善电网规划体系,建设企业统一信息平台为4条主线,力争到2010年全面建成华东电网高级调度中心,使电网安全控制水平、经营管理水平得到全面的提升^[6]。

在可再生能源发电方面,国家也启动了多项863高技术研究、发展、计划项目。“十一五”期间,在三大先进能源技术领域设立重大项目和重点项目,包括以煤气化为基础的多联产示范工程、MW级并网光伏电站系统、太阳能热发电技术及系统示范等项目。

3 智能电网中的分布式电源

分布式电源(Distributed Generation, DG)是区别于传统集中发电、远距离传输和大互连网络的发电形式。DG通常指功率为数kW~50MW的小型模块式、分布在负荷附近、与环境兼容的独

立电源,由电力部门、用户或第三方所有,以满足电力系统和用户的特定要求的发电设施。

从规模上讲, DG 指的是任何安装分布在用户附近的小型发电设施,包含小型的传统发电机组、小型的燃气涡轮机等发电机。由于此类设备发电能耗比大,带来的污染大,违反了当今绿色微型电源的发展趋势,因此,本文所讨论的 DG 暂不包括采用化石燃料作为能源,效率低下的发电形式。将 DG 概括为利用可再生能源的微电源,主要包括风力发电、光伏发电、太阳热发电、生物质能发电、地热及海洋能发电等。

除了在偏远或特殊地区只有 DG 作为唯一的供电电源外,大部分选择 DG 的用户既能使用 DG 供电,又可由当地电网供电,或由它们同时供电,也把电网作为备用电源,以提高供电的可靠性和灵活性。当 DG 与电网并联时,大规模的 DG (通常为几十 MW) 一般与较高电压等级电网相联,如 35 kV 或 110 kV 甚至更高,分散的居民、商业用 DG 一般组成一个低电压等级的局域性微电网,再并入高等级主网。与传统的集中式发电模式比较,分散的 DG 不再具有原来传统机组发电的规划性、规律性及稳定性。因此,它的入网将对新兴的智能电网带来不可低估的影响。

以下针对光伏电池、风力发电机、储能设备及燃料电池等分布式电源,分析其对并网的影响。

4 DG 对智能电网的影响

4.1 光伏电池的影响

作为一种清洁能源,太阳能电池工作的基本原理早在 1839 年就被发现。经过多年的发展,太阳能的发展开始与民用电相结合,不断有新的光伏电池的结构与制造技术被研发出来。

目前,光伏电池的制造相关材料趋于多样化,其特性也各有不同,但在分析时一般使用一种较为基本的等效电路,如图 1 所示。

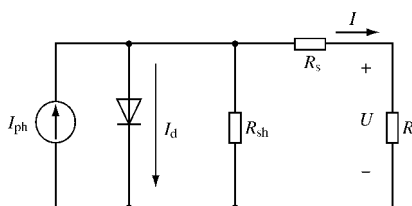


图 1 光伏电池内部等效电路

图 1 中

I ——输出电流

I_{ph} ——光生电流,其强度仅与光照条件有关

I_d ——流过二极管的电流

I_{sh} ——流过并联损耗电阻的电流

另外,光伏电池输出端 $U-I$ 关系式为

$$I = I_{ph} - I_0 \left[e^{\frac{q(U+IR_s)}{AKT}} - 1 \right] - \frac{U + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

由式(1)可知,光伏电池的输出仅与光照强度、端电压有关,其端电压随外部电路而变化。为了实际描绘出光伏电池的特性曲线,将式(1)的参数设置为

q ——电子电荷量, $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

T ——二极管的绝对温度,本文为求便捷,假定 $T = 300 \text{ K}$ 恒定不变

A ——P-N 结理想因子, $T = 300 \text{ K}$ 时 $A = 2.8$

k ——波尔兹曼常数, $1.36 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

I_0 ——二极管反向饱和电流, $I_0 = 8 \times 10^{-4} \text{ A}$

为方便分析,电池内的阻抗消耗暂设为零。使用 Matlab 的 S 函数,描绘 $I_{ph} = 5 \text{ A}$ (下曲线)和 $I_{ph} = 10 \text{ A}$ (上曲线) 2 种光照条件特性曲线图,如图 2 所示。

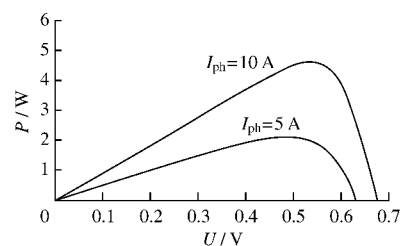


图 2 不同光照下光伏电池的特性曲线

该特性表明,光伏电池在同一光照条件下也可有不同的功率输出波动;在不同的光照条件下,功率输出总体随着光强的增大而提高。然而,现实应用中的光伏电池都安装了 Buck-Boost 等调压装置,通过定电压跟踪法、扰动观察法等控制模块算法,稳定所需的功率输出。一般情况下,光伏电池都工作在当前光照所能达到的最大输出点,即 MPPT 跟踪。因此,同一光照条件下的光伏电池输出还是比较稳定的,

这样,光伏电池的功率波动主要是由光照决定,而太阳光照变化是一个缓慢的过程,一般情况下晴天至阴雨的转变至少需要十几 min,故光伏

波动只会带来电网稳态层面的变化。另外,一天内光照强度的变化与人类生产的节拍基本一致,这样,使得波动造成的功率差额是比较容易平衡的。

对此类波动的处理方法,一般首先由智能电网内该微电网区域的其他电源互补平衡,包括储能电池、超级电容、燃气轮机等等;如区域内部无法补足,再由智能电网的其他区域,包括常规发电机组等来补足,抵消光伏电池的影响。

4.2 风力发电机组的影响

一般风力发电包括风力机和发电机 2 部分,本文暂讨论电气部分——发电机。

目前,国内风电场选用机型主要有 3 种:异步风力发电机、双馈异步风力发电机和直驱式交流永磁同步发电机。根据工作原理的不同,每种机型都有其特点,但从外特性上看,可将所有风电机的发电功率与风速关系简化为一条特性曲线。风力发电机在标准空气密度(1.225 kg/m³)条件下输出的功率与风速的关系曲线如图 3 所示。风力发电机实际功率特性曲线是由风力发电机实际安装地点的空气密度计算而得的。

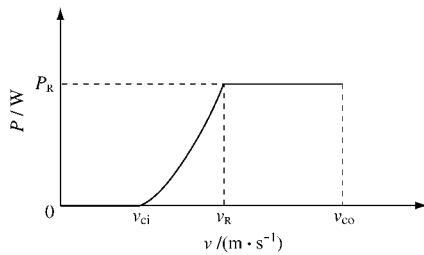


图 3 风机输出功率与风速关系曲线

这是一种简化的风力发电机的特性曲线,呈现出明显的 3 段工作区域,可用比较简单的分段函数来表示:

$$P = \begin{cases} 0 & v \leq v_{ci} \text{ 或 } v \geq v_{co} \\ \frac{P_R}{v_R^3 - v_{ci}^3} v^3 - \frac{v_{ci}^3}{v_R^3 - v_{ci}^3} P_R & v_{ci} \leq v \leq v_R \\ P_R & v \geq v_R \end{cases} \quad (2)$$

式中 v ——风机轮毂高度处的风速

v_{ci} ——切入风速

v_{co} ——切出风速

v_R ——额定风速

P_R ——额定输出功率^[9]

由图 3 可知 v_R 至 v_{co} 的区段为风电机的稳定输出阶段,风速纵使有变化,风机也会通过自身调节将出力大致稳定在 P_R 的水平。但是,一旦风速跌出了稳定区域,在 $0 \sim v_R$ 之间波动,便会造成风机出力在短时间内的较大波动,这会对智能电网整体造成不小的影响。

为了了解风速何种情况下会落至上述区域段,要探讨风速的随机分布。风资源最大的特点就是风速的大小和方向的随机性,大量实测数据统计结果表明,绝大部分地区风速的随机变化近似服从 Weibull 分布规律,其概率密度方程为^[10]

$$\Phi(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (3)$$

式中 k 为形状系数,取值范围 1.8 ~ 2.3,一般情况下,取 $k=2$;参数 c 反映所描述地区的年平均风速大小,如图 4 所示。

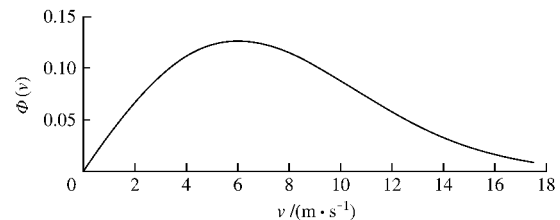


图 4 Weibull 分布函数图形 ($c=8.5, k=2$)

图 4 中,概率最大的为 4 ~ 8 m/s 区间,占总概率的 50% 左右。对于这种分布情况,厂家也会作出设置调整,使风电机的 $v_R \sim v_{co}$ 与此相应吻合,达到最大的稳定、高功率输出。

另外,在 50% 左右的非稳定输出风速下,风电机的出力则将表现出较大的波动。由于当今的可再生能源发展应用中,风力发电的容量占了其中极大一部分比例,因此风电机的波动将导致电网功率陡降。此时,若不及时加以弥补,就会引起智能电网的电压跌落、电压闪变乃至跳闸等一系列严重后果,对电网的整体稳定性、可靠性造成威胁。

对于这种人为不可控的风速快速波动,本文认为较为有效的解决方案是,在风机接入点附近加装带有超级电容储能器的电能质量补偿装置,以起到暂态的波动补偿;再加之能够快速反应的燃气轮机,用以补偿稳态下的功率差额;最后,考

虑响应较慢的常规发电机组提升出力。这样3部分结合,能够合理地解决风力发电的波动问题,促进最广大风电场的建设,使得风能资源得到最大化利用。

4.3 储能元件及燃料电池的影响

在智能电网中作为一种稳定的电源供给,蓄电池起到的是一个能量补偿的作用,在一定程度上抑制着其他分布式电源带来的负面影响。蓄电池的充电方法有恒流充电法、恒压充电及两阶段充电、脉冲去极化充电、分级脉冲充电等。现在,已有相应成熟的控制模块能够直接应用到普通的蓄电池上,既能够自动选择适合的充电模式,又可以限制放电电流,实现稳定、高效的充放电。

不过,蓄电池的寿命是有限的,以铅酸蓄电池为例,其循环充电次数一般仅能达到300~400次,在电网电源经常波动时,频繁充放电将严重缩短电池的寿命。另外,在一些快速的暂态波动中,蓄电池的放电速度可能会很不上电网出力的跌落速度,以至于起不到补偿效果^[11]。

因此,为了使蓄电池扬长避短,一种较为实用的方法是在蓄电池接入点并一组超级电容。超级电容有着循环寿命长、充放电流大、放电速度快等动态响应特点,与蓄电池储能容量大的静态特点相结合后,这种蓄电池-超级电容器混合储能系统便有了能量大、功率高、响应快等优点,既能快速跟踪电网的需求差额,又可长时间输出,充当稳定的电源。

在智能电网中,还有一种稳定的电源,即燃料电池。近年来,由于环境问题和能源问题,燃料电池在发电和汽车领域取得了重大的进展,故在智能电网中也作为备用电源实用。

燃料电池可以通过调整电池堆反应物的供给率来调整输出功率,因此,对燃料电池采用恒电压控制,依靠调压器保持稳定输出。燃料电池从启动到稳定输出需要一段时间,不能像蓄电池一样较快地进入状态,不过较发电机等电源依然要快速得多。与蓄电池的储能相比,燃料电池以化学反应为能源供给,其输出功率和工作时间更胜一筹^[12]。因此,在蓄电池-超级电容器系统上接入燃料电池,能够更好地提高分布电源的长期稳定性。

5 结 语

智能电网与DG是相互依存的,而绿色环保的DG又是当今可持续能源发展的大势所趋。因此,为了顺利推广智能电网技术,有必要全面地了解DG并网的影响,并找出相应对策。

本文分析了风力发电机、光伏电池、储能元件及燃料电池对智能电网产生的影响,其中,风电机的负面波动影响最大,光伏其次,而储能元件及燃料电池作为一种解决方案,合理调配、应用,便可以弥补上述负面影响,稳定电网。

【参考文献】

- [1] 谢开,刘永奇,朱治中,等. 面向未来的智能电网[J]. 中国电力,2008,41(6):19-22.
- [2] 陈建民,周健,蔡霖. 面向智能电网愿景的变电站二次技术需求分析[J]. 华东电力,2008,36(11):37-39.
- [3] 陈树勇,宋书芳,李兰欣,等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术,2009,33(8):1-7.
- [4] 余贻鑫,栾文鹏. 智能电网[J]. 电网与清洁能源,2009,25(1):7-11.
- [5] 武建东. 智能电网与中国互动电网创新发展[J]. 电网与清洁能源,2009,25(4):5-8.
- [6] 帅军庆. 创新发展建设智能电网——华东高级调度中心项目群建设的实践[J]. 中国电力企业管理,2009(4):19-21.
- [7] 王长江. 基于Matlab的光伏电池通用数学模型[J]. 电力科学与工程,2009,25(4):11-14.
- [8] 吴海涛,孔娟,夏东伟. 基于Matlab_Simulink的光伏电池建模与仿真[J]. 青岛大学学报(工程技术版),2006,21(4):74-77.
- [9] 雷亚洲,王伟胜,印永华,等. 基于机会约束规划的风电穿透功率极限计算[J]. 中国电机工程学报,2002,22(5):32-35.
- [10] 张鹏举. 风电场空气密度对风电机输出功率的影响[J]. 电力勘测,1999(3):50-52.
- [11] 陈志平. 铅酸蓄电池快速充电技术研究[J]. 电动自行车,2009,12(26):26-29.
- [12] 孟黎清. 燃料电池的历史与现状[J]. 电力学报,2002,17(2):99-104.

收稿日期:2010-08-10