

采用可控负荷平滑光伏发电功率波动的需求响应策略

李卫良,黄堃,陈璐,杨永标

(国网电力科学研究院,江苏南京 210008)

摘要:针对以储能来消减屋顶光伏为主的区域微电网的功率波动这一常用方法,提出以需求响应资源来平滑微电网功率波动的实现,以期在高渗透率情况下,实现少用储能甚至不用储能来平滑微电网联络线节点对配网造成的功率波动。该方法包括日前计划和实时调节两个层次,也就是在日前预测间歇性光伏发电的情况,拟定好日前计划,设定好可调节负荷的功率曲线,以适应光伏发电的变化波动;实时调节就是在实时的情况,利用可中断负荷来响应光伏功率的瞬间突变,在实时调节过程中,主要处理好实时调节的测量时间精度。通过可调节负荷的日前计划安排和可中断负荷的实时调节,充分利用需求响应技术,从2个层面平滑光伏发电功率的缓慢变化和瞬间突变引起的功率波动。

关键词:联络线功率控制;微电网;需求响应;平滑波动;可控负荷

中图分类号:TM615

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2014)02-0040-04

目前,在弥补间歇性能源发电缺点方面,主要通过电源侧和负荷侧角度来考虑。电源侧角度主要通过储能的存储和释放,在间歇性能源发电高峰时进行储存,低谷时进行释放^[1];通过其他能源补偿的方式,如常规发电资源(如水电、火电、核电、柴机等)和间歇性能源互补(如风光互补)等。负荷侧角度主要是利用各种不同特性负荷作为需求响应资源,动态实现“虚拟储能”或“虚拟电厂”^[2]。其中储能建设成本高、运行维护难;其他能源互补方式,受地域条件限制;需求响应方式是一种成本低廉而且可行的办法。以建筑暖通负荷、热水器、电冰箱等为代表的热力学可控负荷在城市建设中占有较大比重,且具有良好的“储能特性”,是有效的需求响应资源。从国内外需求响应研究情况来看,主要涉及:(1)从需求侧出发研究大规模风电消纳的问题,文献[3]考虑融入用电激励、可中断负荷、电价响应等用电调度方式,在传统发电调度模式中融入用电调度,提供了并网备用资源。(2)通过在用电设备上增加新型控制器,实时监控、响应,平衡供需,文献[4]提出了控制居民制热泵的开启来响应间歇性发电的波动,进行了仿真分析。

1 光伏发电

光伏阵列输出特性曲线具有强烈的非线性,随太阳光照强度和环境温度改变而变化,尤其在多云天气,发电功率会出现快速剧烈变化。某地光伏发电在某天输出有功功率曲线如图1所示。从07:00—12:00为光伏功率上升期,变化趋势较明显,而在12:00—15:00为相对稳定期(由于云朵移动,会有瞬间剧烈波动)。这些剧烈波动,一旦其渗透率达到一定范围,会对区域电网甚至整个电网造成频率和电压不稳定^[5]。

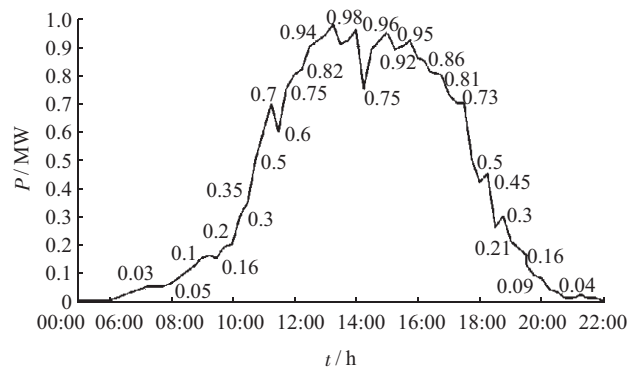


图1 光伏发电功率曲线

光伏发电波动特征比较复杂,波动的时间尺度可从ms级延伸到h级甚至更长,存在缓慢变化过程和瞬间特变现象^[6,7]。某20kW光伏逆变器的输出功率波动的频率特性曲线如图2所示。由该图可见光伏发电的功率波动主要集中在0.1Hz以下,且以0.01Hz以下的功率波动幅值最大。不同频率范围的波动,按变化的频率范围可分为3个部分:低频区(0.01Hz及以下)、高频区(1Hz及以上)和中频区(0.01~1Hz)。

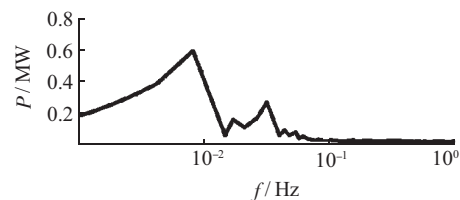


图2 光伏功率波动的频率特性

2 负荷资源的需求响应特性

2.1 城市负荷特性

由于抑制可再生能源的波动跟随主要表征系统的运行特征,适合采用激励型的需求响应(DR)技术。其中直接负荷控制(DLC)方法是一种重要的激励型DR技术,它是指在由执行机构借助高级通信、量测系统以及

智能控制终端,操作关闭或者开启被控用户用电设备,并给予用户一定的电价激励补偿。DLC算法一般适用于控制居民或小型的工商业用户负荷,如典型的具有热能储存能力的温控设备(家居电热泵、电空调和电热水器)等。

(1)城市居民。通过对城市居民负荷使用情况的调研,约77%的居民用户愿意参与需求响应,其中可转移的用电设备有洗衣机、空调、电饭煲、电热水器、电暖器等,如图3所示。

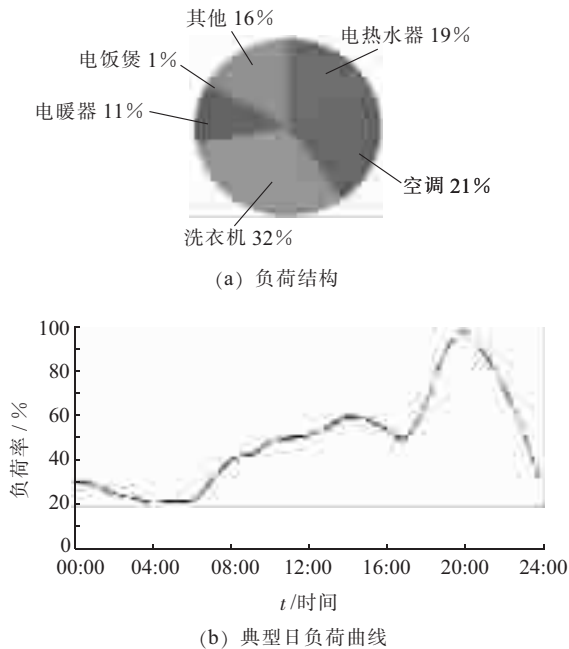


图3 居民住宅的负荷结构和日负荷曲线

(2)商业用户。一家中等城市商业用户的调研情况数据其主要用电设备:(1)集中式空调2台,每台额定功率1406 kW,提前24 h通知可削减;(2)荧光灯4000盏,总功率144 kW。商业大楼的负荷结构和日负荷曲线如图4所示。

该商业用户春、夏季日负荷特性如图5所示。图5中显示春、夏季典型日负荷曲线相似,8:00到20:00为用电高峰时段,夏季峰段负荷水平高于春季。8月18日最大负荷1120 kW出现在11:00,最小负荷192 kW出现在23:00,峰谷差为928 kW,峰谷差率82.8%;4月21日最大负荷690 kW出现在19:00,最小负荷280 kW出现在03:00,峰谷差为470 kW,峰谷差率59.4%。

2.2 城市负荷特性与光伏发电特性的一致性

从上述城市商业、居民负荷曲线来看,主要大容量负荷还是以空调系统为主,而且光伏发电特性曲线基本与城市商业用户的日负荷曲线相似,存在一致性。从调研来看,如果通过提前通告,商业用户是可以按照需求响应机制来调节控制中央空调的。城市居民负荷和商业照明作为一种可直接中断负荷,通过需求响应手段和响应补偿机制是可以实现负荷转移的。

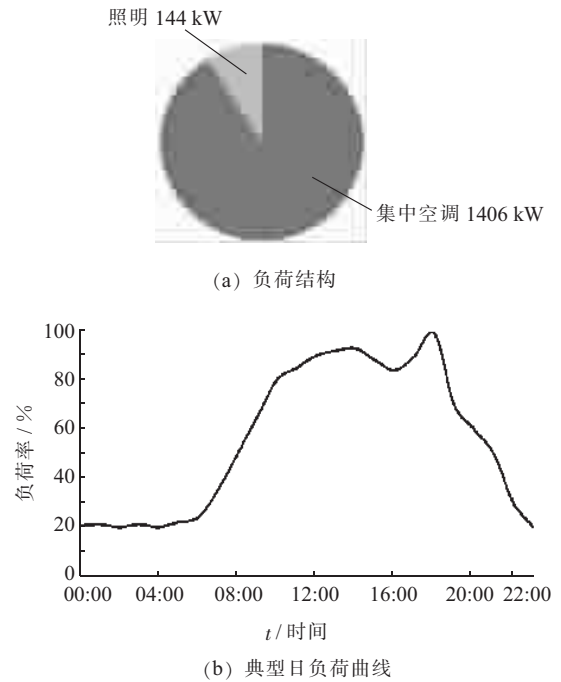


图4 商业大楼的负荷结构和日负荷曲线

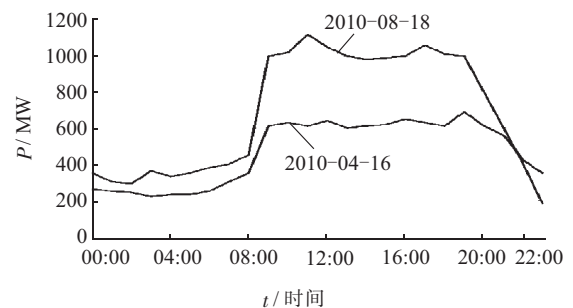


图5 春季和夏季日负荷曲线

3 利用可控负荷资源动态响应策略

根据以上所述,基于光伏发电特性与城市商业、居民负荷特性的相似性,提出一种利用可控负荷(包括可调节负荷和可中断负荷。可调节负荷是指那些可以通过技术手段来改变功率大小的负荷,但不包括直接切除的负荷;可中断负荷是指可以在需要的情况下直接切断供电的负荷)。解决光伏发电波动的方法策略,消减光伏引起的联络线功率波动,且可以利用城市商业中的大量中央空调和居民用户中的电热、照明等负荷,采用需求响应机制是可以实现光伏发电的优化利用的。整个实现过程满足功率差的约束条件:

$$P_{pv} - P_L \in \delta \quad (1)$$

式(1)中: P_{pv} 为光伏发电功率; P_L 为局部区域微电网负荷; δ 为当地配电网允许微电网功率波动置信区间。

响应控制流程图如图6所示。从图6中可以看出,利用可控负荷实现消减微电网功率波动的方法,包括2个层次,日前计划和实时调节。

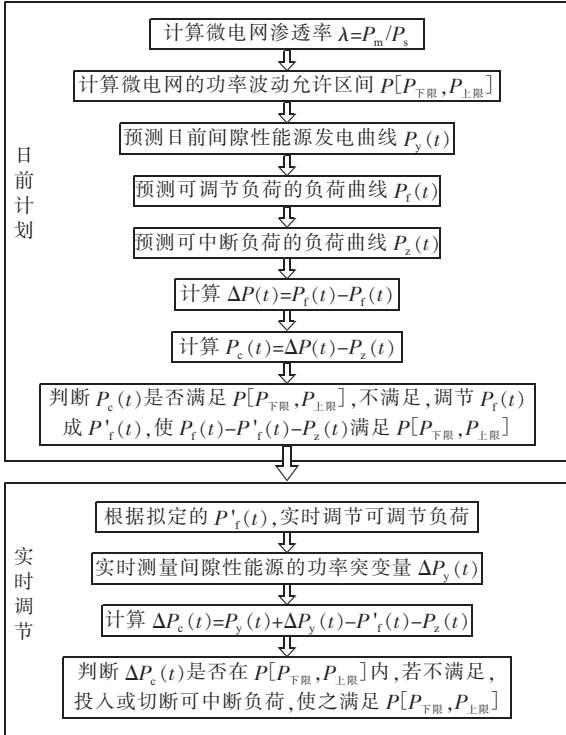


图6 响应控制流程

4 仿真分析

一包含大型光伏的商业楼宇、公共机构的微电网结构如图7所示。通过并网点接入城市配电网。结合上一节介绍的控制策略和控制流程，对图7所示的含光伏和集中空调的微电网进行控制策略的仿真。图7所示的光伏微电网的仿真分析图如图8、图9所示。主要依据大型商业楼宇和大型公共机构的屋顶光伏的计划发电曲线以及商业楼宇的公共机构的集中空调的历史负荷曲线，相减得到盈余/缺口额，如果此时时刻节点盈余/缺口额不在功率置信区间，调整集中空调的控制温度和策略，使优化过后的集中空调的计划负荷曲线，功率波动处于可控范围内。实施调节中，为了应对光伏的瞬间波动(大比例扰动)，引起此时的盈余/缺口额大于功率置信区间，就采用可中断的电热负荷和照明负荷，来动态跟随此刻的瞬间扰动。

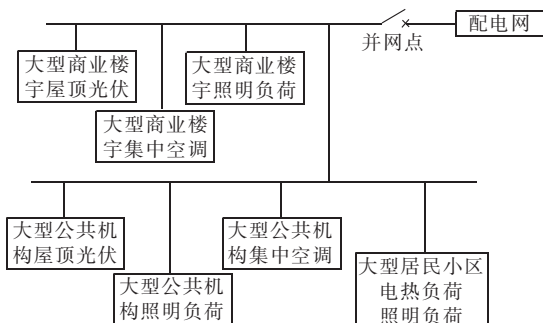


图7 微电网结构

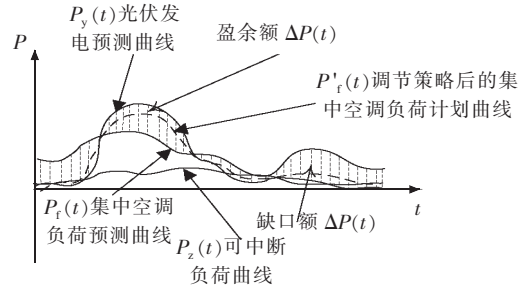


图8 日前计划

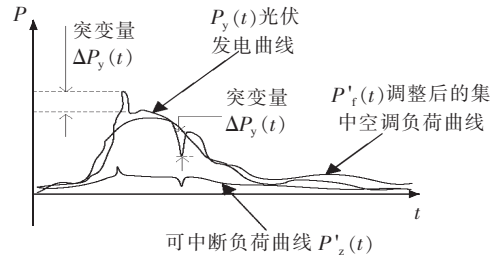


图9 实时调节

通过图8、图9所示的仿真结果显示，且通过集中空调的计划调节和可中断负荷的实时调节，是可以使光伏功率波动得到有效抑制的，这样的结果是基于负荷的需求响应来实现的，但本文没有对需求响应的价格、补偿机制做研究。

5 结束语

本文提出的方法和策略，主要针对高渗透率情况下的太阳能功率波动问题，在不采用储能或其他间隙性能源互补的情况，如何采用适合电力市场行为的价格或激励方式，提出负荷调节方式，依据太阳能发电预测功率和预测变化率，调节集中空调的负荷系数和电热、照明等可中断负荷的开停系数，动态响应太阳能发电曲线，使负荷曲线趋同于发电曲线，将微电网联络线功率波动控制在功率波动置信区间内。要实现这样的策略或方式，本文提出需要解决的几个关键问题，如突变率、功率波动置信区间以及需求响应模型等。本文没有对这几个技术问题展开，但最终目的仍是希望通过这样的研究，以期针对当前大量以屋顶光伏为主的区域微电网发展而造成配网功率波动，提出以需求响应资源来平滑微电网联络线功率波动的控制策略，实现少用储能甚至不用储能来消减高渗透率的分布式电源对配网造成的功率波动。

参考文献：

[1] 李宁峰,于国才. 屋顶太阳能光伏发电系统的设计[J]. 江苏电机工程,2012,31(3):43-45.
 [2] 尹寿堃,翟毅,吴昊,等. 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[J]. 江苏电机工程,2013,32(4):9-12.
 [3] 陈璐,杨永标,姚建国,等. 基于电力积分的需求响应激励机制设计[J]. 电力系统自动化,2013,37(18):82-87.
 [4] 王成山,刘梦璇,陆宁. 采用居民温控负荷控制的微网联络线

- 功率波动平滑方法[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(25): 36-43.
- [5] DATTA M, SENJYU T, YONA A, et al. A Coordinated Control method for Leveling PV Output Power Fluctuations of PV-Diesel Hybrid Systems Connected to Isolated Power Utility [J]. IEEE Trans. Energy Conversion, 2009, 24(1): 153-162.
- [6] 阎立伟. 微电网中光伏发电动态特性研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010: 50-51.
- [7] 石磊, 伍阳, 刘皓明. 独立运行微电网平抑有功差额波动研究[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(3): 1-5.

作者简介:

李卫良(1968), 男, 浙江嵊州人, 研究员级高级工程师, 研究方向为电力系统自动化、配电网和微电网技术;

黄堃(1985), 男, 江苏南京人, 工程师, 研究方向为智能用电、需求响应;

陈璐(1987), 女, 江苏溧阳人, 工程师, 研究方向为智能用电、需求响应;

杨永标(1978), 男, 江苏盐城人, 高级工程师, 研究方向为电力系统自动化、智能用电、需求响应。

Demand Response Strategies for Smoothing Power Fluctuation of Interconnecting ties in the Micro-Grid with Controllable Load

LI Weiliang, HUANG Kun, CHEN Lu, YANG Yongbiao

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210008, China)

Abstract: Energy storage technology is the principal tool to smooth power fluctuation produced by roof PV in regional micro-grid. In this paper, demand-side resource is taken as a tool to smooth power fluctuation in microgrid, so as to decrease the energy-storage capacity in a high PV penetration rate situation. The method includes two levels which are day-ahead plan and real-time control. The day-ahead plan includes prediction of intermittently photovoltaic power generation and presetting power curve of controllable load such as central air conditioners and other loads with slow rate of power change. It is for handling the change of photovoltaic power generation. The real-time control is to use the interruptible load to response to instant fluctuation of photovoltaic power. The measuring precision is the critical factor in the real-time control process. Through the day-ahead plan for controllable load and the real-time control on interruptible load, the power fluctuation caused by slow change or instant change of photovoltaic power generation could be effectively eliminated with taking the full advantages of demand response technology.

Key words: tie-line power control; demand response; micro-grid; controllable load; smoothing fluctuations

(上接第 39 页)

参考文献:

- [1] 董宸, 周霞, 李威, 等. 提高特高压电网输电能力的方法[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(5): 1-4.
- [2] 陈维贤, 陈禾. 并联电抗器的可控调节[J]. 高电压技术, 2000, 26(5): 11-13.
- [3] 田铭兴, 励庆孚. 磁饱和式和变压器式可控并联电抗器[J]. 高电压技术, 2003, 29(7): 26-27.
- [4] 田铭兴, 励庆孚. 磁饱和式可控电抗器的等效电路及仿真分析[J]. 电工技术学报, 2003, 18(6): 64-67.
- [5] 田铭兴, 励庆孚, 刘曙鸿. 磁饱和式可控电抗器的等效物理模型及其数学模型[J]. 电工技术学报, 2002, 17(4): 18-21.
- [6] 屠黎明, 苏毅. 微机可控高压并联电抗器保护的研制[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(24): 94-98.

作者简介:

熊蕙(1977), 女, 湖北武汉人, 工程师, 研究方向为电力系统继电保护;

程骁(1978), 男, 河南安阳人, 工程师, 研究方向为电力系统继电保护;

文继锋(1978), 男, 江西萍乡人, 高级工程师, 研究方向为电力系统继电保护;

李力(1970), 男, 江苏南京人, 研究员级高级工程师, 研究方向为电力系统继电保护;

陈松林(1969), 男, 福建福州人, 研究员级高级工程师, 研究方向为电力系统保护。

Magnetically Controlled Reactor Protection in HVAC Transmission System

XIONG Hui, CHENG Xiao, WEN Jifeng, LI Li, CHEN Songlin

(NARI Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper analyses various operation conditions of magnetically controlled reactor in HVAC transmission system, and introduces the protection configuration of reactor. Especially, reactor differential protection with automatic tracing and compensating rated current, reactor inter-turn fault protection based on time domain translation balance differential protection, and voltage differential protection of control winding are proposed. The results of digital simulation test, dynamic simulation test and field operation validate the proposed protections.

Key words: magnetically controlled reactor; differential protection; inter-turn fault protection; time domain translation balance differential protection; voltage differential protection