

虚拟电厂背景下的空调负荷控制策略

杨德玲¹,林泽宏¹,赖伟坚¹,张世斌¹,张鑫¹,李卓环²,余涛²

(1. 广东电网有限责任公司 东莞供电局,广东 东莞 523000;2. 苏州华天国科电力科技有限公司,江苏 苏州 215000)

Load control strategy under the background of virtual power generation

YANG Deling¹, LIN Zehong¹, LAI Weijian¹, ZHANG Shibin¹, ZHANG Xin¹, LI Zhuohuan², YU Tao²

(1. Dongguan Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Co., Ltd., Dongguan 523000, China;
2. Suzhou Huatian Guoke Power Technology Company, Suzhou 215000, China)

摘要:在虚拟电厂背景下,提出一种供需互动的空调控制策略。利用入户能量管理装置对用户房间温度进行预测,并计算入户能量管理装置控制的负荷可调容量。各入户能量管理装置将可调容量上报后,电网侧下发切负荷指令,入户能量管理装置接受指令,对其控制的空调负荷进行集中调控,最大限度保证用户舒适度的情况下,为电网侧提供大量可调容量。本文充分利用了虚拟发电厂技术,与物理端的入户能量管理装置结合,实现了大规模空调负荷的集中调控。

关键词:负荷控制;舒适度;供需互动

Abstract: An air conditioning control strategy with supply and demand interaction is proposed under the background of virtual power generation. The indoor energy management device is used to predict the room temperature and calculate the load adjustable capacity controlled by the indoor energy management device. After each residential energy management device reports the adjustable capacity, the grid side issues load cutting instructions, and the residential energy management device accepts the instructions to centrally regulate the air-conditioning load, providing a large amount of adjustable capacity for the grid side when maximum comfort of users is guaranteed. The virtual power plant technology is fully used and the physical energy management device is combined to realize the centralized control of large-scale air conditioning load.

Key words: load control; comfort level; interaction of supply and demand

0 引言

近年来,我国夏季负荷水平持续增长,给电网安全稳定带来了极大的压力。智能电网作为新型智能化服务网络,通信能力得到很大提升,成为21世纪电力系统变革的趋势^[1-2]。在此背景下,虚拟电厂(virtual power plant, VPP)聚合多种分布式资源(distributed energy resources, DER),利用丰富的调控手段提高可再生能源发电的利用效率,将成为未来电力系统的一类重要结构形态。在虚拟发电厂技术中,集群可控负荷的控制策略是一个重要的研究方向。

空调负荷量大,行为模式易于分析追踪,集群空调负荷的用户行为更是具有趋同性,便于集中调控。因此,基于虚拟发电厂技术,利用入户式的能量

管理装置对空调进行管理,并利用能源互联网技术进行电网侧和用户侧的互动,可实现有效的负荷调度,减少日用电峰谷差,提高供电的稳定水平^[3-7]。

在空调负荷调度方法的研究中,文献[8]对空调集群调控的潜力进行了研究;文献[9]提出了基于多样性保持的负荷群调度控制策略;文献[10]提出了含负荷聚合层的负荷分布式控制构架。在入户能量管理系统的研究中,文献[11]开创性地搭建了成套即插即用的能量管理系统;文献[12]通过能量管理系统对负荷特性进行了研究,并进一步对家庭负荷运行进行优化;文献[13]采用家庭能量管理系统对分布式设备实现调控。

在目前的研究中,既有对空调集群调度的巨大潜力和可行性的阐述,也有利用家庭能量管理系统对负荷和分布式设备实现调控的研究和实践。但缺乏对如何利用虚拟发电厂技术和能量管理装置实现电网侧和用户侧能量互联的空调集群调控模式的研究。因此,本文基于东莞松山湖综合能源示范区能量管理装置,提出利用入户能量管理装置的供需互动的空调负荷调控策略。

收稿日期:2019-10-11;修回日期:2019-11-27

基金项目:国家自然科学基金项目(51777078);广东电网有限责任公司科技项目资助(031900KK52170132)

This work is supported by National Natural Science Foundation of China(No.51777078); Science and Technology Project of Guangdong Power Grid Co., Ltd.(No.031900KK52170132)

1 入户能量管理装置

入户能量管理装置是装设在用户电能表内侧,用于集中管理用户用能,实现家庭智能用电,以及与电网实时交互的一体化设备。此设备全程自主研发设计,并已在东莞松山湖综合能源示范区投入运行。入户能量管理装置设计框架如图1。

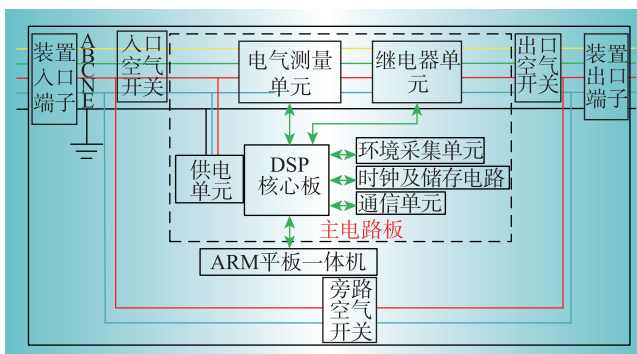


图1 入户能量管理装置框架图

Fig. 1 Indoor energy management system frame

主电路板包括供电单元、电气测量单元、继电器单元、通信单元、环境采集单元、DSP数据处理中心。通过装置入口端子和出口端子可以方便地将本装置串联进原电路中,而无需考虑装置内部接线;入口空气开关和出口空气开关作为保护装置内部电路和用户线路使用,旁路空气开关可以在装置内部故障时,将装置旁路,临时提供一条供电线路,从而不影响用户的供电;主电路板集电气数据测量、环境信息采集、数据分析、控制、通信等多种功能于一体,通过电气测量单元对用户总线上的电气信息进行测量,通过环境采集单元对环境信息进行测量,测量得到的原始结果经DSP芯片进行分析处理后,可以得到电压、电流、频率、视在功率、有功功率、无功功率、功率因数、用电量、0—31次电压谐波、0—31次电流谐波、环境温度、环境湿度、颗粒物浓度等数据,并可经过通讯单元将数据发送到ARM平板一体机以及云端服务器;ARM平板一体机内部搭载了安卓系统,安装了专为本装置研发的系统软件,可进行需求侧本地能源管理,动作返回到DSP芯片,经ZigBee模块将指令下达至能源智能插座,对用户设备进行管理。

2 供需互动策略

2.1 互动策略框架

用户参与需求侧响应的过程可以划分为前期预算决策、签订合同、响应等3个阶段。图2为用户参与需求侧响应项目的具体决策过程。

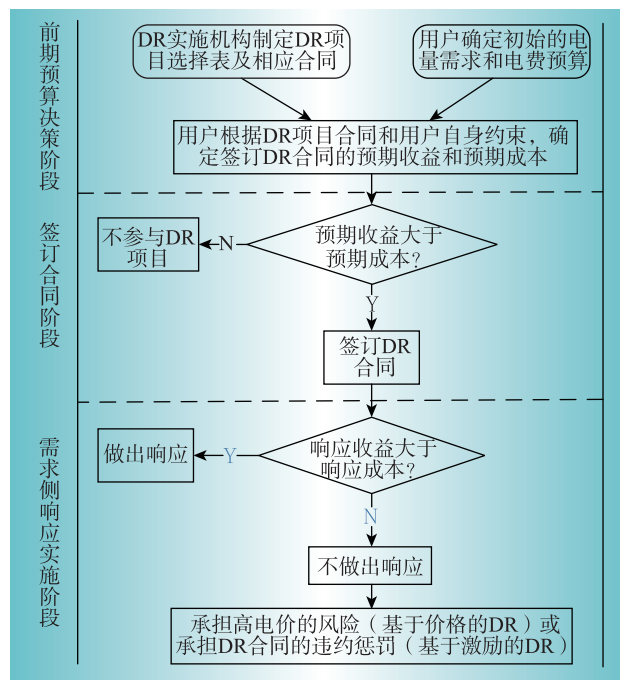


图2 用户参与需求侧响应的过程和方式

Fig. 2 The process and mode of users participating in demand side response

本文策略建立在签订合同之后的响应实施过程,其互动策略步骤包括:① 入户能量管理装置计算装置控制的所有空调的可调容量;② 用户通过能量管理装置将其可调容量上报给电网调控中心;③ 调控中心综合分析所有拥有能量管理装置的合同用户的上报容量,下达切负荷指令,即给定切负荷的总容量;④ 合同用户按照上报容量,按比例分配切负荷量;⑤ 各能量管理装置根据自身被分配到的切负荷指令进行内部指定制定,并将控制指令下达给各空调。

2.2 空调负荷可调容量

实际空调运行室内环境中,相对湿度和空气流速变化相对较小,空气温度变化主要影响人体舒适度。根据文献[3]和文献[14],本文将舒适温度区间设置为22~28℃。

通过历史温度数据,建立温度预测模型,对房间未来温度进行预测,从而确定在保证房间基本舒适度的情况下的最大可调容量。

2.2.1 室内温度预测

本文基于入户能量管理装置采集的历史温度数据,结合极限学习机进行温度预测。本文所述极限学习机是基于前馈神经网络(feedforward neuron network, FNN)构建的机器学习系统,广泛应用于回归问题和数据预测领域。在本文中,采用极限学习机,以历史温度变化数据为输入,进行极限学习机训练。本文极限学习机方法由Matlab自带ELM工具箱实现。

温度预测主要步骤如下:

(1) 将一天分为5个时段,分别为0:00~6:00、6:00~11:00、11:00~14:00、14:00~18:30、18:30~24:00。

(2) 从入户能量管理装置采集的历史数据库中调用历史温度数据,时间间隔为每5 s一个数据点。

(3) 将历史温度数据按步骤(1)所述的5个时段分成5部分,每个部分采用一个极限学习机进行训练。其中,训练步骤如下:① 从每个时段各自识别并截取温度上升时段的温度变化数据。温度上升时段表明,此时段温度处于关停或者待机状态,不作制冷出力。通过此步骤可获得 N_0 个数据区间;② 若步骤①截取的数据区间的区间时间长度不超过5 min,则剔除此数据区间,否则,将某时刻温度数据和其5 min后的温度数据,即该数据区间第 m 个温度数据和第 $m+60$ 个温度数据形成数据对。其中,第 m 个温度数据为输入数据,第 $m+60$ 个温度数据为输出数据,从而得到 N_i 个数据对, $i=1,2,3,4,5$,代表一天的5个时段;③ 用极限学习机 M_i 对 N_i 个数据对进行训练。

2.2.2 可调容量计算

将某房间当前时刻的温度数据作为输入,输入到各时段对应的极限学习机,输出为空调关停操作后5 min的温度预测值,若该房间在空调关停情况下5 min后温度不超过舒适度要求温度,本文设定为28℃,则将该房间的空调设备标记为可调,否则,标记为不可调。

对入户能量管理装置下所有带有空调的房间进行温度预测,并标记能量管理装置下所有空调设备,从而得到某入户能量管理装置管理的所有空调负荷的可调容量 Q ,计算式为

$$Q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N P_{r,i} \times u_i \quad (1)$$

式中: $P_{r,i}$ 为能量管理装置下第 i 台空调的额定功率值; u_i 为第 i 台空调的可调标记,若此空调在调控阶段属于可调,则 $u_i=1$ 。

2.3 空调调控策略

根据上文的分析可知,温度预测为每5 min进行一次,相对应的空调可调标记也为5 min一次,因此,将空调指令的下达也设定为5 min一次,即5 min更新一次能源管理装置下的空调的状态,并控制空调进行相应的动作。但电网调度中心切负荷指令为每15 min下达一次,即电网下达一次指令的时间间隔内对空调进行3次调控,因此需要制定合适的空调控制响应策略。

根据以上分析,各入户能量管理装置在15 min内将3次上报可调容量,电网侧选取上报的3个容

量中最小的作为该调度断面此用户的可调容量参考量。以调度断面用户的可调容量参考量为依据,电网侧结合当前电网运行情况下达切负荷指令。切负荷指令根据入户能量管理装置上报的容量,按比例分配切负荷容量,并通过电网终端下达给各入户能量管理系统。

各入户能量管理系统各自制定空调调控策略,用于调控时段内处于可调状态的空调。在此,本文定义15 min的电网调控时段内,每个空调调控时刻的调控指令带来的,室内温度与最佳舒适温度的累计偏差量为舒适度代价 C_L 。制定策略的目标是15 min的调控时段内,入户能量管理装置调控空调的舒适度代价 C_L 最小,设置26℃及以下为最佳舒适温度,具体为^[14-15]

$$C_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^3 C_{L,i,j} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^3 \Delta T_{i,j} \quad (2)$$

式中: $\Delta T_{i,j}$ 为15 min内第 i 台空调,第 j 个时段关停后,其温度与最佳舒适温度26℃之间的差值。

3 仿真分析

本文算例均在CPU为i7-6 700,内存为8 GB,系统为Windows 10专业版64位的电脑上运行,所用MATLAB软件的版本为R2017b仿真。算例为东莞松山湖综合能源示范区,示范区入户能量管理装置由东莞供电局调度中心下发切负荷指令,示范区各用户的入户能量管理装置接受指令,并对装置下的各空调实现调控。图3为某入户能量调控前后可调容量对比。

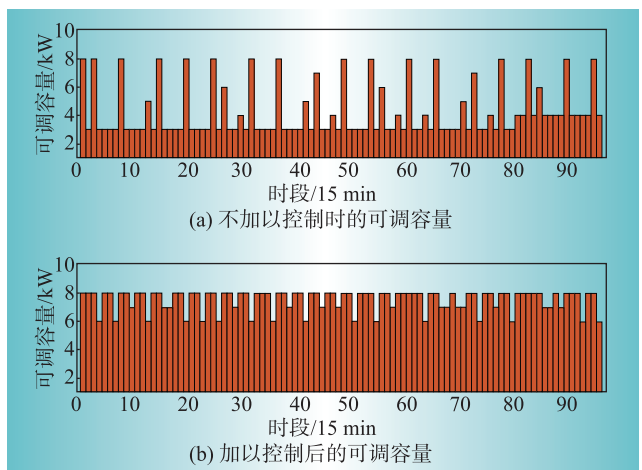


图3 某入户能量管理装置调控前后可调容量对比

Fig. 3 Comparison of adjustable capacity before and after regulation of energy management device

由图3可以看出,在进行调控后,用户的可调容量大幅提升,给电网上报后,带来了大量的可调裕度,利于电网的安全稳定。图3中房间的舒适度代

价为64.6674℃。

图4为某房间3h内接受空调调控与不调控情况下的温度变化对比。由图4可以看出,采用入户能量管理装置对空调进行调控后,房间温度变化波动会相对较大,但均保证在设定舒适温度28℃以下,且大部分时间温度在最佳舒适温度26℃以下,做到了对房间舒适度影响最小。

由图5可看出,采用成套入户管理装置后,电网侧获得大量可调容量,电网侧在制定切负荷指令时,留有一定裕度,从而可以较好地应对小规模用户不参与响应的违约情况。

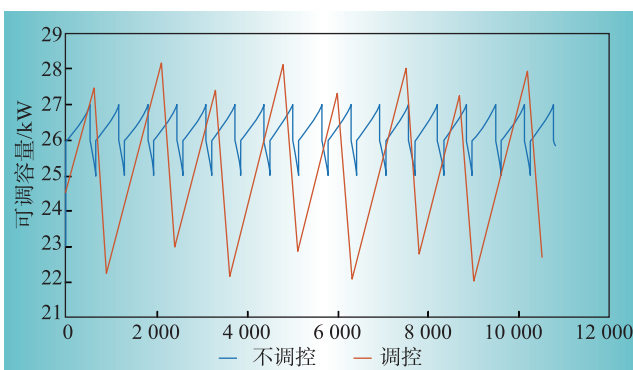


图4 某房间3h内接受空调调控与不调控情况下温度变化对比

Fig. 4 Comparison of temperature changes in a room under air-conditioning regulation and non-regulation in 3 hours

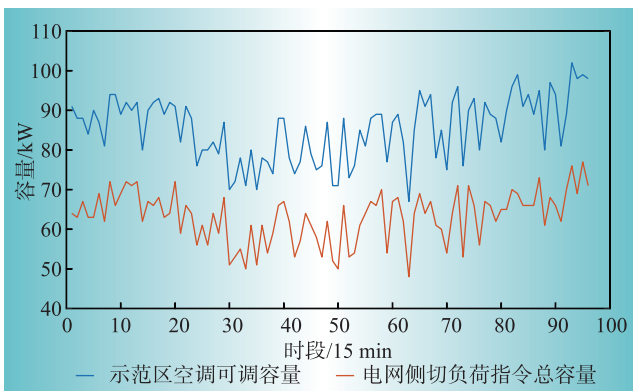


图5 示范区一天上报的空调可调容量总量和电网下达的切负荷指令容量曲线

Fig. 5 Air conditioning adjustable capacity and power grid load cutting command capacity in demonstration area

按照本文方案进行调控,电网和用户双方均获得积极收益。电网侧获得大量可调容量,进一步保障了电网的安全稳定运行;用户侧在舒适度代价最小的情况下,按事先与电网订立的合同获得经济补偿。

4 结束语

本文制定供需互动的空调负荷控制策略,利用

虚拟发电厂技术和入户能量管理装置对空调负荷进行集中调控,在最大限度保证用户舒适度的情况下,为电网侧提供大量可调容量。电网侧通过参考入户能量管理装置的上报容量,制定切负荷指令,并在各用户间按比例分配,实现了供需侧的能量协议和能量管理互动。D

参考文献:

- [1] 张晶,曹丽佳,陈宋宋,等. 智能电网用户接口信息模型的研究[J]. 供用电,2018,35(4):79-87.
ZHANG Jing, CAO Lijia, CHEN Songsong, et al. Study on information model for smart grid user interface[J]. Distribution & Utilization, 2018, 35(4):79-87.
- [2] 张景超,陈卓娅. AMI对未来电力系统的影响[J]. 电力系统自动化,2010,34(2):20-23.
ZHANG Jingchao, CHEN Zhuoya. The impact of AMI on the future power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(2):20-23.
- [3] 代贤忠,韩新阳,董益华,等. 能源互联网多源多层次协调优化方法研究[J]. 电力工程技术,2019,38(2):1-9.
DAI Xianzhong, HAN Xinyang, DONG Yihua, et al. Multi-source and multi-level coordination optimization method of energy internet[J]. Electric Power Engineering Technology, 2019, 38(2):1-9.
- [4] 王伟,何光宇,万钧力,等. 用户侧能量管理系统初探[J]. 电力系统自动化,2012(3):10-15.
WANG Wei, HE Guangyu, WAN Junli, et al. Preliminary investigation on user energy management system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012(3):10-15.
- [5] 叶立,李慧丽,陈宇等. 新能源电动汽车热泵空调系统实验研究[J]. 新型工业化,2019,9(2):112-117,127.
YE Li, LI Huili, CHEN Yu, et al. Experimental investigation of heat pump air-conditioning system for new energy electric vehicle[J]. The Journal of New Industrialization, 2019, 9(2):112-117, 127.
- [6] 高勇,彭志炜,刘斌,等. 主动配电网柔性负荷优化调控研究综述[J]. 新型工业化,2019,9(4):27-34.
GAO Yong, PENG Zhiwei, LIU Bin, et al. An overview of research on optimal control of flexible loads in active distribution networks[J]. The Journal of New Industrialization, 2019, 9(4):27-34.
- [7] 闫丽霞,刘东,严光升,等. 主动配电网中负荷主动管理系统研究与应用[J]. 供用电,2017,34(7):15-20.
YAN Lixia, LIU Dong, YAN Guangsheng, et al. Research and application of load active management system in active distribution network[J]. Distribution & Utilization, 2017, 34(7):15-20.
- [8] 朱宇超,王建学,曹晓宇. 中央空调负荷直接控制策略及其可调度潜力评估[J]. 电力自动化设备,2018,38(5):234-241.

(下转第85页)