

中图分类号: TK 01

文献标志码: A

文章编号: 2096-2185(2019)03-0028-07

DOI: 10.16513/j.cnki.10-1427/tk.2019.03.005

基于能源局域网的园区型微电网优化规划

赵长乐¹, 刘天羽¹, 江秀臣², 盛戈皞², 宋学伟¹, 范亚楠¹

(1. 上海电机学院电气学院, 上海 浦东新区 200120; 2. 上海交通大学电气工程系, 上海 闵行 200240)

摘要: 合理地微电网内部多种分布式能源 (distributed energy, DE) 有效配置是实现大区域能源互联网的基础与关键。首先阐述园区型微电网的概况, 在此基础上利用精细化分析提出改善基础网架的方法。对于配电网主动性的提升借助“能源路由器 (energy router, ER)”、混合储能系统 (energy storage system, ESS)、交直流混合配电网及源-网-荷-储 (generation-grid-load-storage) 协调控制技术对园区型微电网 (micro-grid) 规划阶段展开分析讨论, 综合目前国内外对微电网理论技术研究的成果和国内微电网示范工程实施的情况, 给出园区型智慧微电网一般的优化配置方法。

关键词: 微电网; 能源局域网; 能源互联网; 能源路由器

Optimal Planning of Park-Type Microgrid Based on Energy Local Area Network

ZHAO Changle¹, LIU Tianyu¹, JIANG Xiuchen², SHENG Gehao², SONG Xuwei¹, FAN Yanan¹

(1. College of Electrical Engineering, Shanghai Dianji University, Pudong New Area, Shanghai 200120, China;
2. Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Minhang District, Shanghai 200240, China)

ABSTRACT: It is the foundation and the key to realize the large area energy Internet to allocate the distributed energy (DE) reasonably in the microgrid. The general situation of park-type microgrid is described firstly, and the method of improving basic grid is put forward by means of fine analysis. For improving the initiative of distribution network, ‘energy router’ (ER) and hybrid energy storage system (ESS), AC/DC hybrid distribution network and generation-grid-load-storage coordinated control technology are used to analyze and discuss the planning phase of park-type microgrid. Based on the results of theoretical and technical research on microgrid at home and abroad and the implementation of domestic microgrid demonstration project, a general optimal configuration method of park-type intelligent microgrid is presented.

KEY WORDS: microgrid; energy local area network; energy internet; energy route

0 引言

随着能源消耗不断增加, 雾霾等污染天气、生态环境的日益恶化, 国家大力推进可再生能源的开发与利用。分布式新能源并网渗透率的提升一方面依靠坚强稳固的配电网架构和科学的运行管控, 另一方面, 超前合理地规划电网电源容量、站点选址、接入方式以及冷热电联产 (combined cooling heating and power) 的多能互补的产出利用也是未来提升新能源利用率的重要方式。微电网属于区域电网能源管控的子中心, 并网运行和孤岛运行的

双工方式增加了其能源主动管理的活动裕量, 园区型微电网是多能互补、多源协调、集中与分布式结合、供需友好互动新型能源的消费平台, 为未来配电网规划建设的重要领域。

对于微电网内部电力设施配置, 文献[1]给出了分布式电源和储能配置, 一次系统网架方案、微电网保护配置、二次监控系统等领域的可行的解决方案。文献[2]针对现有新能源电站稳定运行控制难、配电网协调控制灵活性较差以及发电利用效率低等问题, 提出了新能源电站保护控制层、配电网调度控制层和新能源电站并网接入层的层次化结构研究模式和整体解决方案。文献[3]提出一种含分布式电源的配电网中储能系统和需求侧可中断负荷响应相互配合的优化规划模型, 用于传统被动

基金项目: 国家自然科学基金项目(51477099)

Project supported by National Natural Science Foundation of China (51477099)

配电网向主动配电网的过渡。文献[4]采用国际组织及机构的先进理念、方法和工具,描述了全球能源互联网概念模型和参考框图。文献[5]在复杂网络理论的基础上,提出了一种更符合能源互联网本质的拓扑模型。

由上述分析可看出现有文献对微电网内容规划、过渡实施以及组建以微电网为基础的能源互联网进行了大量的研究论证,但缺乏对微电网转化到绿色能源网最终过渡到能源互联网这个过程中系统的资源配置分析和可行的指导方法。本文借助“能源路由器”、混合储能系统、交直流混合配电网以及源-网-荷-储协调控制技术对园区型微电网规划阶段展开分析讨论,综合目前国内外对微电网理论技术研究的成果和国内微电网示范工程实施的情况,给出园区型智慧微电网一般的优化配置方法。

1 园区型微电网概况

园区型微能源网概念^[6]:灵活接纳 MW 级多点接入的分布式电源和各种能源形式,全面整合分布式的电源、储能、冷热源等多种分散能源形式的能量信息,实现多种能源协调控制和综合能效管理,达到能源的分散供给和网络共享的园区型微网。园区型微电网是城市主要建筑群、中大型产业园的集中发输变配电的重要供电系统

打造智能、绿色、节能型的园区型微电网,满足高可靠性、高质量的供电需求,在区域内建设高可靠性的能源供给、多种能源的综合经济利用和园区高比例的清洁能源接入。传统能源利用率低,供能方式单一,传统能源的补给不能满足绿建区建设理念。只有建设园区型微能源网通过对园区能源综合调度、能量管理及信息流驱动能量流的方式才能在能源方面满足绿建区建设提出的高定位及目标,高可靠性地实现能源供应的安全性、经济性和示范性。

2 资源配置基础

2.1 总体设计思路

在社会发展所需的负荷变化的基础上,采用多分段适度联络的接线完善传统配电网的网架结构,

提高供电可靠性。建设高性能的开关站和柔性直流换流站,引入柔性直流与交流混合的配电网和可应对多种不同类型能源接入的“即插即用”装置,让可再生能源网和配电网互联互通。把太阳能、风能、储能系统和电动汽车柔性负荷等资源整合成微电网^[7]。采用“源-网-荷-储”协调控制技术让分布式的储能、柔性负荷、光伏、风电能通过即插即用装置更好地参与电能的整合与分配,让“虚拟发电机”更好地配合电力微系统的稳定运行。引入光伏发电、太阳能空调、地源热泵等清洁能源,利用冰蓄冷、液流电池、锂离子电池、铅酸电池进行能量调节,通过合理布局建立基于综合能源的园区型微网。通过园区综合能源管理系统对分布式冷、热、电能进行监控管理和合理调度,提升公共服务能力,实现绿建区内多种能源的经济运行^[8]。利用综合能源调度系统实现能源的可视化监控,一方面切实提升园区能量管理水平,营造和谐舒适的办公、生活环境;另一方面全面提升绿建区的综合能源协调控制能力,通过多类供电方式的互补,提高绿建区内重要负荷的用能安全性和经济性,打造高示范性、实用性、可复制的基于综合能源的园区型微能源网。

2.2 改善基础网架

中压电网规划分近期和远期规划。近期规划侧重于电网现状评估和供电可靠性指标评估(线路负载率、供电半径、线路间联络率),找出配电网薄弱环节,分析网络接线方式,提出改造建议。远期规划主要目的是确定目标网架、预留站点、通道和管廊,为近期规划确定目标。

规划的主要步骤:对所在区域内现状配电网进行综合评估,指出存在的问题,指导近期规划和建设。根据社会经济发展和城市总体规划,在负荷调查的基础上,进行近景和远景负荷预测。根据建设需要,确定配电网的基本目标和主要技术导则。确定近期和远期的目标网架,考虑在负荷增长过程中网架的适应性和过渡方式,从而具体指导配电网的建设。

3 资源配置提升技术

3.1 构建主动配电网

包括具有分布式可控资源,有较为完善的可观

可控水平及具有实现协调优化的管控水平及可灵活调节的网络拓扑结构^[7]。采用交直流互联的配电系统、混合储能系统、即插即用装置以及源网荷储协调控制平台等多种方式把风、光、微燃机等供给侧和需求侧的用户有效连接,实现能源最大化利用。

3.2 光储一体化能源路由器

在分布式发电渗透率高、重要负荷密集的区域设置基于光储一体化系统的能源路由器,实现电能的汇集、存储和消纳,降低区域内分布式电源所带来的功率波动,提高供电可靠性^[9-12]。

能源路由器是具备多种能源信息交互中转的统一信息接口,是对应于园区型微电网内部能源结构特征和种类多样性的量化统一。从分布式电源接入到能量的传输,都必须具备能量传输途径和控制回路。园区型微电网的分布式能源种类多样,主要包括光伏发电、风力发电、小型燃气轮机和储能装置,能源路由器的总体架构如图1所示。

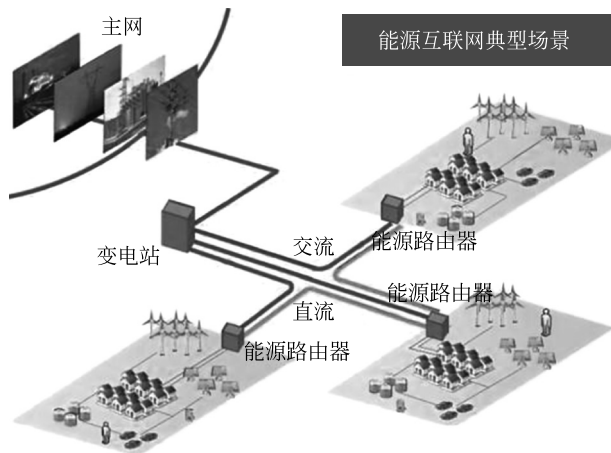


图1 能源路由器总体架构

Fig. 1 Energy router overall architecture

基于多端口柔性直流技术和虚拟发电机技术的能源路由器可实现不同交流电源合环运行,在配电网发生故障时,通过“柔性直流电网+高可靠性开关站+光储一体化主动配电网”三道防线来灵活应对、并快速恢复供电。

3.3 柔性直流与交流混合主动配电网

图2为交直流混合微电网拓扑结构图^[13]。交直流混合电网是通过双向功率变换器连接多种不同种类能源,包括双馈风电、燃气轮机和交流负载的交流微电,光伏电池、超级电容、变频负载通过逆变器组成了直流微电网,两个子系统通过双向交流

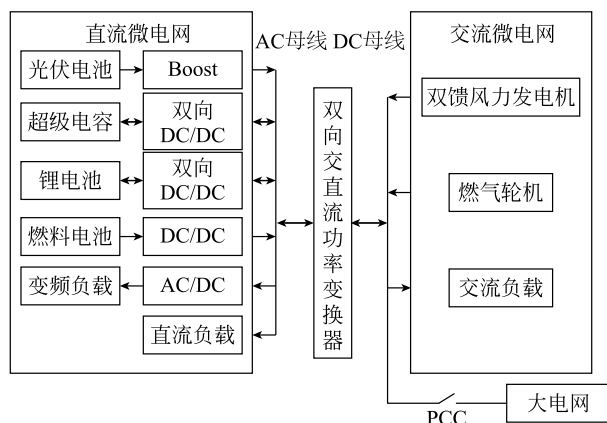


图2 交直流混合微电网系统结构

Fig. 2 Hybrid AC/DC microgrid structure

功率变换器连接DC母线和AC母线,同时通过公共连接点与大电网连接,可孤岛运行也可并网运行。

3.4 柔性智能充电站

通过柔性智能充电站来构建主动配电网的新型建设模式,以“互联网+”和电力大数据技术为支撑,实现电网与用户“电力流、信息流、业务流”的高度融合与实时互动,构建客户广泛参与的新型供用电模式。

建设分布式电源、多样化负荷、储能等设备构成的新一代柔性智能充电站,应用不确定性电力负荷预测技术、需求侧响应技术、分布式电源接入的运行控制技术以及储能系统的能量管理技术。

3.5 源-网-荷-储协调控制平台

主动配电网网源荷(储)协调控制系统基于配电自动化系统开发实现,是其的一个扩展,主要起到辅助调度人员进行配网调控的目的,进而实现配电网的安全可靠运行。系统实现分为设备层、分布控制层和集中决策层3个层次,分布式电源、电网设备、分布式储能、柔性负荷设备状态数据和运行数据通过分布式控制层从下而上送到主站层,经过主站的集中决策,将控制命令经过分布式控制层的监控系统从上而下到达设备层,完成分布式电源功率预测、柔性负荷预测、可调度容量分析、协调控制策略优化等,有效提高配电网对可再生能源的消纳能力,降低电网峰谷差,提高设备利用率,降低配电网损等,提升电网的安全可靠运行水平和经济性。系统总体架构如图3所示^[14]。

3.6 高电能质量的配电网

以构建高电能质量配电网为目标,在对园区用

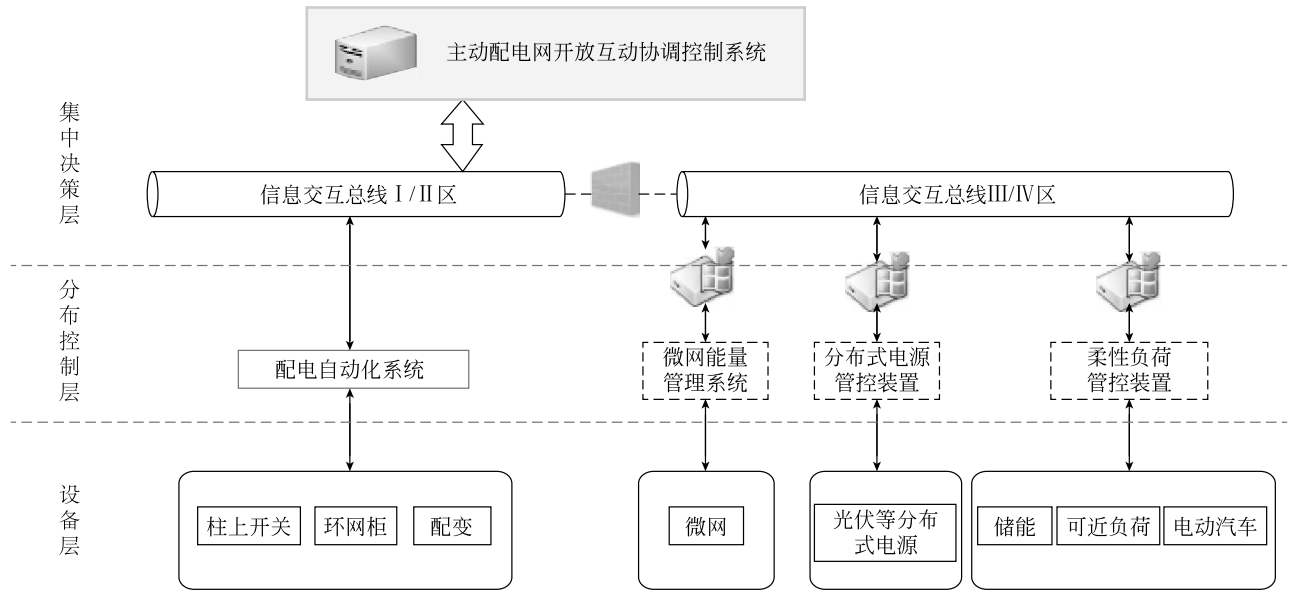


图 3 主动配电网网源荷(储)协调控制系统总体框架

Fig. 3 Overall framework of coordinated control system for active power distribution network

户电能质量差异化需求分析和电能质量等级划分的基础上,通过开展电能质量补偿设备配置、补偿设备的协调控制,总体技术路线如图 4 所示。

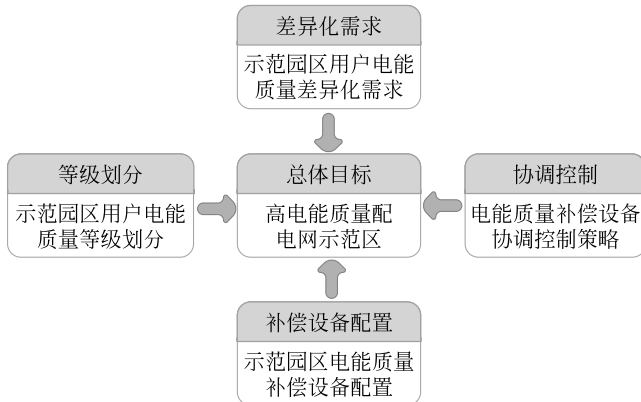


图 4 总体技术路线

Fig. 4 Overall technical route

对于园区内普遍存在的主要敏感用户,提取并分析其中的用电设备工作机制,据此分析其不同电能质量问题下的动作过程和反应特性,给出不同类型敏感用户对于稳态和暂态电能质量的差异化需求,如对于各电能质量指标上下限阈值;重点将考虑敏感设备实际正常工作需要,结合目前确定的敏感设备的电压暂降敏感曲线开展不同类型敏感用户对电压质量,尤其是电压暂降的差异化需求分析。如图 5 所示^[15]。

园内不同类型用户的电能质量需求不尽相同,根据负荷敏感类型划分为电压敏感型、谐波敏感型等;根据敏感程度划分为轻度敏感、一般敏感、严重

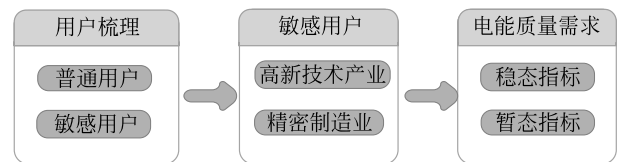


图 5 技术路线 1

Fig. 5 Technical route 1

敏感等。在对用户的电能质量差异化需求分析的基础上,对不同类型不同层次的电能质量要求进行统一的等级划分,进而确定用户的电能质量等级。用户电能质量等级划分综合考虑谐波、电压波动与闪变、三相不平衡等稳态指标和电压暂降、暂升、短时电压中断等暂态指标,重点考虑目前开发区内用户关注的电压质量问题,同时结合用户的负荷容量,依据用户对电能质量指标的要求,定量划分出各指标数值不同的区间,对用户的电能质量等级进行划分,确定用户属于哪种电能质量等级的负荷。如图 6 所示。

1) 电能质量补偿设备配置。

基于现有典型的电能质量补偿设备模型,对不同类型的电能质量补偿装置进行数学建模和仿真建模,量化电能质量补偿设备对电能质量的具体作用效果;针对不同类型的稳态和暂态电能质量问题,确定在配电网中出现各种电能质量问题时配置电能质量补偿设备的具体方法;武进开发区的工业负荷对于电压质量要求严格,电压波动与电压暂降对于用户的影响严重,重点考虑在园区内变电站

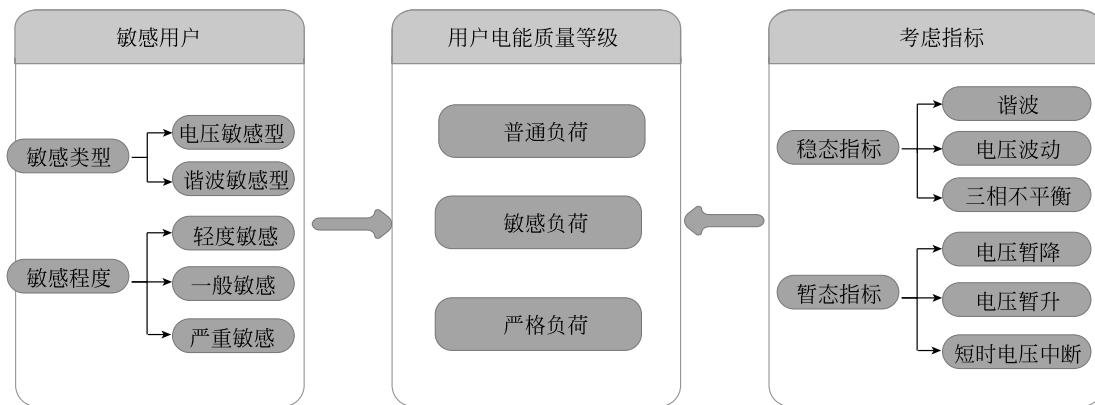


图6 技术路线2

Fig. 6 Technical route 2

(配电所)母线上配置静止无功补偿装置(static var compensator, SVC)、静止无功发生器(static var generator, SVG)和固态切换开关(solid-state transfer switch, SSTS)等补偿设备,提高供电的电压质量,保证电能质量满足用户需求;如图7所示,通过补偿设备的建模仿真来推及其柔性的配置方法包含对于稳态问题和暂态问题两种使用场景中,最后以园区型工程示范为基础,从理论和实际的角度分析设备配置带来的补偿效果及电能质量的提升。

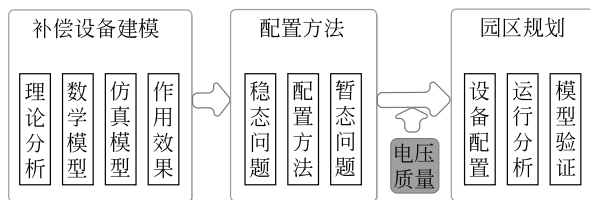


图7 技术路线3

Fig. 7 Technical route 3

2) 电能质量补偿设备的协调控制。

一种补偿设备可提升配电网中多项电能质量指标,但仅仅1种补偿设备常常无法使补偿效果达到既定的要求,不同补偿设备之间具有互补性,如针对电压波动通常可考虑将SVC、SVG和SSTS配合使用,SVC用于补偿无功,SVG起辅助补偿作用。园区内敏感用户针对自身情况配置了相应的补偿设备来应对电网侧的电能质量问题,通过建模仿真,利用电网侧SVC、SVG等电压治理设备之间的协调控制来更有效地提升电压波动和电压暂降等指标;同时,利用电网侧设备与用户侧的补偿设备(包括不间断电源(uninterruptible power system, UPS)和动态电压恢复器(dynamic voltage regulator, DVR))之间的协调控制来提升电能质量。

4 绿色能源网建设

建设由分布式光伏发电系统、混合储能系统、光热太阳能空调、地源热泵等组成的微能源网。

4.1 光伏发电系统

根据规划区域控规,光伏发电项目所在区域内以工业用地、生产研发用地为主,用户负荷特性与光伏发电曲线吻合度较高,在功率配置合理的情况下能较好实现光伏发电就地消纳,实现清洁能源的有效利用。建设包含储能系统和能量调配系统的能源中心站,对光伏发电系统进行疏导和管理,在充分利用光伏发电的同时大大降低其对电能质量的影响。

4.2 混合储能系统

在园区内建设混合储能系统,根据需要,系统可由不同类型的电池储能子系统组成。各储能子系统可分别用于平抑光伏发电波动,存储光伏发电剩余电量,作为重要负荷的后备电源以及削峰填谷。

4.3 冷热源系统建设

建设集中冷热源系统负担的是办公、公寓及配套服务用房的舒适性空调,根据冷热负荷需求,合理搭配全热回收型水源热泵机组、离心式冷水机组及锅炉系统,使冷热源达到最佳配比,尽量保证各机组在最佳效率下运行。

4.4 微能源网综合能源调控系统建设

园区微能源网综合能源调控系统采用多代理模式,公共服务楼能源站建设监控中心,各能源子项配有就地监控系统,用于负责就地监测、策略控制及状态控制等功能。监控中心能够监测、采集各子系统运行数据,掌握运行工况,应用智能分析技

术及园区实际情况对各系统进行能源调度与管控,实现系统运行最优化、能源利用率最佳化。实现合理对监控中心与就地子系统协调控制与数据交互,形成园区内能源系统有机统一、高度融合,最终确保园区内系统高可靠性运行。

微能源网是相对独立的可控单元,是对主电网的有力补充。微能源网可有效提高微网内可再生能源的发电容量,提高利用效率,减少可再生能源发电间歇性的功率波动对主电网的影响,同时控制混合储能系统运行策略,实现微能源网与主电网电力流友好运行及微能源网内部能量控制最优。实现冰蓄冷空调与地源热泵制冷量的有机配合,达到经济效果,同时通过微能源网调控系统实现以电制冷、以电制热、储冷等多能源优化运行的目标。采用合理的协调控制技术,实现太阳能光伏与储能协调控制、混合储能系统间协调运行控制、储能系统与负荷协调控制、储能系统与冰蓄冷空调优化运行、冰蓄冷空调与地源热泵系统协同运行、地源热泵系统与太阳能热水共同出力等多能源间相互转换、相互协调的功能。

5 结语

本文介绍了园区型能源微电网的整体规划设计,为高新产业园、经济技术开发区等园区新建配电网构建绿色能源网提供参考。在优化绿建区冷、热、电等多种资源布局的基础上,搭建灵活的供能网络架构和坚强的能量信息通道;在绿建区能源信息实时采集、高度融合和深入分析的基础上,利用网-源-荷的协调控制形成园区内部能源优势互补、互联共享局面,使区内供电网络成为间歇性清洁能源的接纳器及高效可靠的能量发生器,实现了区域内多种能源分散供给和网络共享。

参考文献

- [1] 程启明,程尹曼,黄山,等. 微电网经济优化运行综述[J]. 广东电力, 2018, 31(2): 1-9.
CHENG Qiming, CHENG Yinman, HUANG Shan, et al. Summary on economic optimized operation of micro-grid[J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(2): 1-9.
- [2] 李建林,马会萌,袁晓冬,等. 规模化分布式储能的关键应用技术研究综述[J]. 电网技术, 2017, 41(10): 3365-3375.
LI Jianlin, MA Huimeng, YUAN Xiaodong, et al. Overview on key applied technologies of large-scale distributed energy storage[J]. Power System Technology, 2017, 41(10): 3365-3375.
- [3] 任德江,吴杰康. “源-网-荷-储”协同的园区微电网优化调度[J]. 广东电力, 2018, 31(7): 16-23.
REN Dejiang, WU Jiekang. Optimized dispatching for park microgrid considering source-grid-load-storage coordination[J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(7): 16-23.
- [4] 赵波,包侃侃,徐志成,等. 考虑需求侧响应的光储并网型微电网优化配置[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(21): 5465-5474.
ZHAO Bo, BAO Kankan, XU Zhicheng, et al. Optimal sizing for grid-connected PV-and-storage microgrid considering demand response[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(21): 5465-5474.
- [5] 陈健,赵波,王成山,等. 不同自平衡能力并网型微电网优化配置分析[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(21): 1-6.
CHEN Jian, ZHAO Bo, WANG Chengshan, et al. Optimal sizing analysis on grid-connected microgrid with different self-balancing capabilities [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(21): 1-6.
- [6] 李壮,许欣,齐永志,等. 基于主从结构的微电网系统平滑切换控制策略[J]. 广东电力, 2016, 29(2): 30-35, 44.
LI Zhuang, XU Xin, QI Yongzhi, et al. Control strategy for smooth switching of micro-grid system based on master-slave structure[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(2): 30-35, 44.
- [7] 崔屹,周建萍,王涛,等. 基于模糊PI算法的微电网主从控制策略[J]. 广东电力, 2017, 30(6): 36-39.
CUI Yi, ZHOU Jianping, WANG Tao, et al. Master-slave control strategy for micro-grid based on fuzzy PI algorithm [J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(6): 36-39.
- [8] 胡荣兴,荆朝霞,肖江. 考虑负荷响应的海岛微电网优化配置[J]. 广东电力, 2016, 29(12): 32-38.
HU Rongxing, JING Zhaoxia, XIAO Jiang. Optimized configuration for island micro-grid considering demand response [J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(12): 32-38.
- [9] 刘一欣,郭力,王成山. 微电网两阶段鲁棒优化经济调度方法[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(14): 4013-4022.
LIU Yixin, GUO Li, WANG Chengshan. Economic dispatch of microgrid based on two stage robust optimization [J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(14): 4013-4022.
- [10] 冯士刚,艾芊. 带精英策略的快速非支配排序遗传算法在多目标无功优化中的应用[J]. 电工技术学报, 2007, 22(12): 146-151.
FENG Shigang, AI Qian. Application of fast and elitist non-dominated sorting generic algorithm in multi-objective reactive power optimization[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2007, 22(12): 146-151.
- [11] 金成生,刘稳坚,邱尚青. 微电网技术在上海迪士尼 110 kV 智慧变电站中的应用[J]. 华东电力, 2014, 42(5): 1027-1030.
JIN Chengsheng, LIU Wenjian, QIU Shangqing. Application

of microgrid technology in Shanghai Disney 110 kV intelligent sustation [J]. East China Electric Power, 2014, 42 (5): 1027-1030.

- [12] 郭力, 王成山, 杨其国, 等. 江苏大丰风柴储海水淡化独立微电网系统[J]. 供用电, 2015(1): 22-27.
GUO Li, WANG Chengshan, YANG Qiguo, et al. Diesel-wind-energy storage isolated power system with desalination in Jiangsu Dafeng [J]. Distribution & Utilization, 2015 (1): 22-27.
- [13] 赵靓, 薛辰. 金风微网: 一次多样化探索[J]. 风能, 2013(8): 22-28.
ZHAO Liang, XUE Chen. Gold wind microgrid: a diversified exploration[J]. Wind Energy, 2013(8): 22-28.
- [14] 赵敏. 基于可再生能源接入海岛直流微电网的探讨[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(7): 87-90.
ZHAO Min. DC micro-grid system of island based on access of renewable energy[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2014, 26(7): 87-90.
- [15] 苏剑, 吴鸣, 刘海涛. 蒙东陈巴尔虎旗微电网工程研究[J]. 供用电, 2015(1): 40-43.
SU Jian, WU Ming, LIU Haitao. Engineering research on microgrid of Mengdong Chen Barag Banner[J]. Distribution & Utilization, 2015(1): 40-43.



赵长乐

收稿日期: 2019-03-01

作者简介:

赵长乐(1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为可再生能源、微电网规划与控制, 18621838119@163.com;

刘天羽(1978—), 男, 博士, 从事控制理论与控制工程、智能控制、模式识别和风力发电机组故障诊断研究, liuty@sdju.edu.cn;

江秀臣(1965—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为高电压绝缘技术及绝缘在线监测, xcjiang@sjtu.edu.cn;

盛戈峰(1974—), 男, 博士, 副教授, 从事电力设备在线监测、电力系统监视和控制等方面的研究, shenghe@sjtu.edu.cn;

宋学伟(1994—), 男, 硕士研究生, 从事负荷预测、配电网优化调度及孤岛运行研究, soongxuewei@163.com;

范亚楠(1991—), 男, 硕士研究生, 从事新能源及其并网技术研究, 1136314941@qq.com。

(编辑 谷子)