

DGC Luster Energy Optimal Management System Based on Automatic Generation Response

Min Sun¹, Jie Yu², Wei Zeng¹, Liang Chen¹, Rensi Chen²

¹State Grid Jiangxi Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanchang Jiangxi

²School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing Jiangsu

Email: 101011274@seu.edu.cn

Received: Mar. 10th, 2017; accepted: Mar. 27th, 2017; published: Mar. 31st, 2017

Abstract

In the new era of high-speed development of distributed generation and electricity market reform, it is possible to incorporate distributed generation resources into the competition of electricity market; in this way, it could provide more efficient and flexible electricity supply to power grid, and ensure the whole power system operating in a safe, stable and economic pattern. In this paper, on the basis of sufficient analyzing the development history and practical background of distributed generation, and inspired by the idea of automated demand response, a new concept of automated generating response based on distributed generation resources is proposed, and a series of executable strategies about automated generating response are given in detail accordingly; moreover, this paper makes a further discussion about the network architecture of distributed generation cluster energy optimization management system. In the new era of electricity market reform, the active exploration of distributed generation automated generating response in this essay would take full advantage of the clean and flexible characteristics of distributed generation, and it may offer a feasible direction to coordinate the relationship between distributed generation and power grid.

Keywords

DG Cluster, Automatic Generation Response (AGR), Smart Grid Dispatch, Energy Optimal Management System

基于自动发电响应的分布式电源集群 能量优化管理系统

孙旻¹, 喻洁², 曾伟¹, 陈亮¹, 陈仁思²

¹国网江西省电力公司电力科学研究院, 江西 南昌

²东南大学电气工程学院, 江苏 南京

Email: 101011274@seu.edu.cn

收稿日期: 2017年3月10日; 录用日期: 2017年3月27日; 发布日期: 2017年3月31日

摘要

在分布式电源快速推广和电力市场改革的背景下, 考虑将分布式电源资源纳入到电力市场竞争中, 为电网提供更加高效、灵活的电力供应的同时, 保障整个供电系统的安全稳定运行和经济调度。本文在充分分析分布式电源的发展历程和现实时代背景的基础上, 借鉴电力需求侧自动需求响应的概念, 提出了基于分布式电源的自动发电响应, 并相应地给出了可执行的分布式电源自动发电响应策略, 本文还进一步创新地设计了实现分布式电源集群能量优化管理系统的系统网络架构。本文对于分布式电源自动发电响应的积极探索, 能够使分布式电源在电力市场改革的新时代背景下充分发挥其清洁、灵活的优势, 能够为分布式电源与电网的协调发展提供可行的方向。

关键词

分布式电源集群, 自动发电响应, 智能电网调度, 能量优化管理

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

分布式电源具有投资成本低、建设快、运行维护费用低、灵活性高和节能环保等显著优点[1] [2] [3]。在能源资源逐渐枯竭和环境急剧恶化的社会大背景下, 分布式电源的出现, 为我们提供了一种新兴的清洁自然能源利用方式, 将分布式电源与大电网有机结合是降低能耗、提高电力系统可靠性和灵活性的可行方式, 同时也是我国电力行业实现可持续绿色发展的方向[1] [4]。我国政府清楚地认识到分布式电源的独特优势, 适时地出台了相关的分布式电源发展扶持计划, 在一定程度上促进了分布式电源的飞速发展[5] [6], 但与此同时, 高渗透率的分布式电源给电网的安全稳定运行和经济调度带来了巨大的挑战。

大量分布式电源的接入, 给配电网带来了诸多挑战和影响。文章[7]将分布式电源大量接入电力系统后的影响按建设时间顺序分为: 含分布式电源的电力系统建设时期、运行时期及发生故障时期, 并详细地阐述了各个时期的突出问题。电力系统建设时期, 分布式电源的接入使得系统的负荷预测、故障电流的大小和方向、持续时间和节点电压的变化更加复杂, 随着分布式电源在电力系统中的比重越来越大, 配电网必须慎重考虑与分布式电源的配合, 并积极寻求含分布式电源的电力系统规划和分布式电源出力预测的有效方法[7] [8] [9]。

电力系统运行时期, 受到分布式电源的随机性和波动性的影响, 保持实时的频率和电压的平衡将变得非常困难[10]; 分布式电源的运行方式和控制特性的不确定性, 将会造成电网潮流的大小和方向变化具有一定的随机性, 使得传统的潮流计算方法不再适用[11] [12]; 分布式电源采用基于电力电子技术的逆变器接入配电网, 与传统电网的方式有很大不同, 开关器件的频繁开关易产生开关频率附近的谐波分量,

对电网易造成高频和高次谐波污染[13] [14]。电力系统发生故障时期,由于分布式电源系统没有检测到停电状态将自身脱离,而是继续供电与周围负荷形成了不可控制的自给供电孤岛的现象,孤岛效应的产生可能会影响电能质量甚至损坏电气设备,严重时可能会危及维护人员的人身安全[15] [16]。

针对大规模、小容量的分布式电源的接入带来的诸多挑战,许多学者和研究人员就不同的问题开展了细致的研究,也取得了许多可喜的成果。文献[8]中论述了未来发挥分布式电源的联网效益需要重点注意和研究的方向,为分布式电源的并网研究指明了方向。文献[1]中重点介绍了利用智能电网技术,有机地融合高级传感、通信、自动控制等技术,提升电网的自我管理能力、自我恢复能力和兼容性,进而实现与分布式电源的实时互动和协调运行。近年来,许多学者提出利用先进的电网控制技术和概念,如微电网、虚拟发电厂、主动配电网和源网荷互动等[17] [18],充分利用传统的发电资源和储能资源来平抑大量分布式电源接入带来的影响,但大多只是停留在理论探索和示范实验工程阶段,很难有效地协调大电网与分布式电源之间的关系。

分布式电源接入电网产生的一系列问题,归根结底是由于分布式电源无法得到有效的监控和运行管理。针对配电网中大规模、小容量分散的分布式电源无法得到有效的监控和运行管理的问题,本文提出了可实现分布式电源集群能量优化的系统网络架构,并在此架构下借鉴电力市场的自动需求响应的概念,创新性地提出了适用于分布式电源的自动发电响应,并基于不同的场景给出了不同的自动发电响应激励策略。本文提出的分布式电源自动发电响应策略能够有针对性解决大规模分布式光伏接入给电网带来的潜在威胁,也可进一步推广应用于分布式电源参与电力市场竞争的场景。

2. 分布式电源自动发电响应

2014年10月,国家能源局,国务院扶贫开发领导小组办公室联合印发了《关于实施光伏扶贫工程工作方案》,决定利用6年时间组织实施15GW光伏扶贫工程[19]。近年随着光伏扶贫项目在全国的大量推进,几千瓦的小容量分布式光伏大量增加,通常一个扶贫项目就会增加数百户分布式光伏发电,这些项目确实给贫困农户带来了实际利益,但这种整个区域连片的小容量分布式电源随着整体发电规模和容量不断增大,其对电网的规划、运行、安全和稳定性将带来极大的挑战,需要积极谋划解决限制分布式新能源发电持续发展的技术问题。

光伏扶贫的地区多是负荷水平较低的农村和偏远山村地区,扶贫项目建设的光伏分布式电源集群出力的随机性容易造成区域配电网的不稳定和电力调度的困难。光照资源充足时,光伏分布式电源集群的出力可能远超过扶贫区域的负荷水平,如果无理由的大量弃光会造成扶贫对象的利益损失;光照强度波动幅度较大时,势必会造成区域电网频率和电压的波动,同时也会使得区域电网投入较多的备用调度资源。总之,对扶贫项目建设的光伏分布式电源集群需采取合理的区域管控手段,保障电网的安全稳定运行、经济调度和扶贫对象的合理利益。

综合考虑到电网的安全稳定运行、经济调度和贫困农户的实际利益,本篇文章考虑将分布式电源以集群能量优化的方式参与到电力市场竞争中,通过对分布式电源进行实时的状态监测和运行管控,构建区域级别的分布式电源运行管控中心,针对不同电网运行状态和分布式电源出力状态,采取相应的分布式电源自动发电响应策略,达到整个扶贫区域分布式电源与电网的友好互动,同时也能够保障扶贫对象的收益和电网的安全。本文针对不同的电网运行状态和光伏分布式电源出力状态,设计了多种可行的分布式电源的发电需求响应激励策略,能够通过分布式电源集群能量优化管理系统提供更加高效灵活的电力供应,提高整个供电系统的安全性,同时也有助于改变能源结构、提高清洁能源利用率和减少环境污染。

通过建立分布式电源区域管控中心,并与扶贫对象达成参与电力市场竞争和区域管控的协议,即可

针对不同的电网运行状态和分布式电源出力状态，实施相应的分布式电源自动发电响应策略，并给予扶贫用户相应的补偿。如图 1 所示，目前设计的激励策略主要有六种：发电平稳性激励，分时有序发电激励，发电低谷停机补偿激励，发电高峰限制激励，直接控制补偿，高效补偿激励。发电平稳性激励，主要面向出力平稳的分布式电源的激励措施，通过发电平稳性补偿激励用户采用合理的措施，保持分布式电源出力的平稳性；分时有序发电激励，主要考虑到负荷变化的特性，通过此项激励措施，保证分布式电源的出力和负荷变化情况大体匹配；发电低谷停机补偿激励，主要考虑的是分布式电源的出力难以达到一定额度，不予以并网接入的情况；发电高峰限制激励，则考虑的是电力供应充足而负荷不足的情况，采取适当控制来限制分布式电源的出力；高效补偿激励，主要是对能源转换效率较高的分布式电源进行一定补偿，鼓励用户不断提高分布式电源的能效。

可以看出，分布电源的自动发电响应具有经济效益、发电响应和负荷需求三个不同的维度。分布式电源发电响应策略的提出，不仅能够满足电网的发电与负荷需求相匹配的需求，还能保障扶贫对象的实际利益需求，最为重要的一点在于分布式电源自动发电响应，内在地保障了电网的安全稳定运行和经济调度的需求。

3. 分布式电源集群优化管理系统架构

新能源发电技术和分布式电源的高速发展，柔性输变电设备和电动汽车等大规模推广应用，需求侧响应和电力市场的深化改革的实施，使得中国未来电网的发电、输电、用电形态和运营模式都将发生重大变[20] [21]，因此研究适用于未来互联大电网协调调度和运行控制的网架结构具有深重的意义。文献[20]对中国未来互联特大电网的运行控制需求，分析了未来电网调度技术支持系统的业务需求，提出了“物理分布、逻辑统一”的全网集散式调度与控制技术支持系统的架构。针对传统电力调度自动化系统架构存在的信息孤岛和软件设计的高耦合度问题，文献[21]提出了一种基于面向服务架构(SOA)的智能电网调度控制系统架构的解决方案，对传统自适应代理模型进行了优化，能够更好地实现多代理系统的独立自主、灵活和协作的目标。本文基于光伏扶贫项目的现实背景提出的分布式电源自动发电响应策略，同样也需要相应的分布式电源集群优化管理系统网络架构来支撑，从而在电力市场改革的新时代背景下充分发挥其独特的优势。

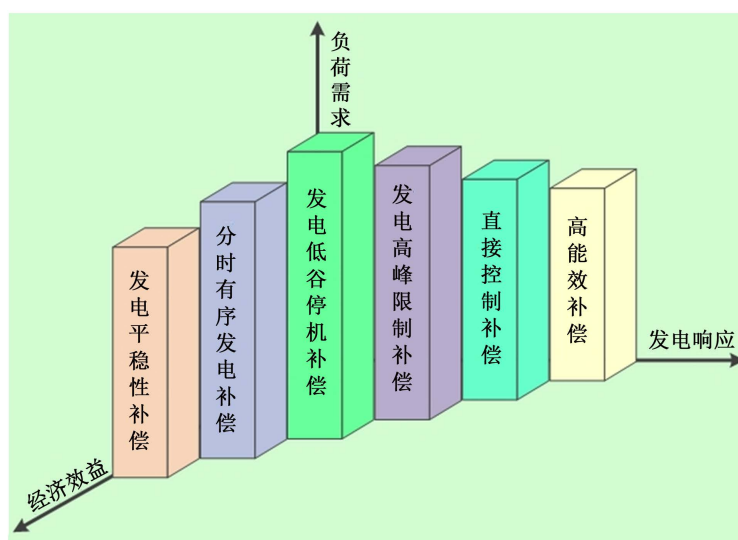


Figure 1. Distributed generation automated generating response strategies
图 1. 分布式电源自动发电响应激励政策

本文则主要考虑的是将分布式电源以集群能量优化的形式参与到电力市场竞争中的情况，为电网和分布式电源的协调运行提供了一种极具前瞻性的方法。为了更好地实现前面设计的分布式电自动发电响应策略，本文提出了两种支撑其发展的分布式电源集群优化管理系统架构。如图 2 所示，为分布式电源集群控制中心集中式网络架构图。整个网络架构主要分为三个层次：分布式光伏并网接口设备、分布式光伏区域管控设备和分布式光伏远程集控中心。

分布式光伏并网接口设备是分布式电源接入电网的控制设备，主要负责监控分布式电源的运行状态和采集与分布式电源发电相关的自然微环境数据，并根据区域通讯条件选择合适的通讯手段，实时地向分布式电源区域管控中心上传监控和采集的数据，同时还需接受来自区域管控中心的控制指令，对分布式电源的并网功率进行相应的调整；分布式光伏区域管控设备负责分管各个区域的所有的分布式电源，实时的根据自然微环境数据和分布式电源的历史数据预测分布式电源的出力，并综合多种因素确定对应的分布式电源自动发电响应策略，然后向区域分布式电源并网接口设备下发控制指令；分布式电源远程集控控制中心，主要负责与各个区域管控设备进行通讯，基于分布式电源终端装置采集的历史微环境数据和出力数据，集群控制中心可分析各类型电源的发电能力的阶段互补性、相关性等特点，在自动发电激励机制框架下，考虑到电力市场交易和售电市场情况，构建未来多时间尺度耦合的多目标组合优化目标，并基于总体的优化目标协调分配各个区域分布式电源的出力，从而达到整个分布式电源系统的最优调度。集中式网络框架与现有的电网集中式调度框架相匹配，有较好的控制效果，但通讯数据量较大，计算复杂度高，因此效率较低。

如图 3 所示，为分布式电源集群控制中心集散式网络构架图。与上述的集中式网络框架的不同在于：分布式光伏并网接口设备的监测和采集数据直接上传给分布式电源集群控制中心，集群控制中心将

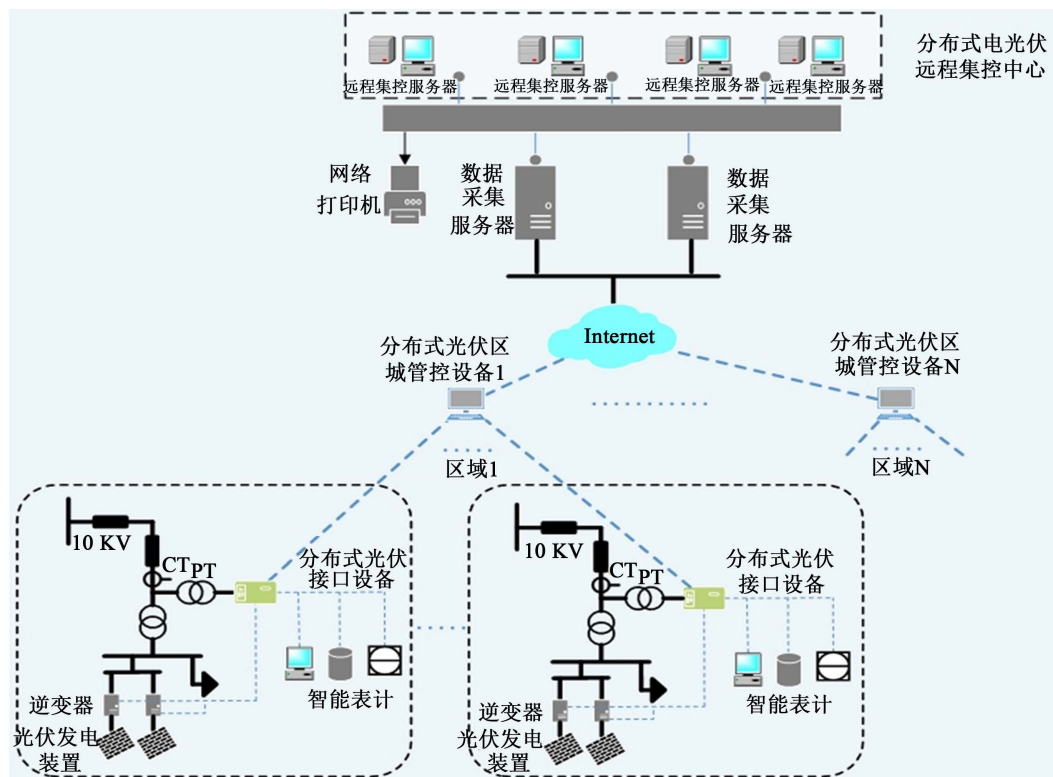


Figure 2. Centralized network architecture of DG cluster control center

图 2. 分布式电源集群控制中心集中式网络构架图

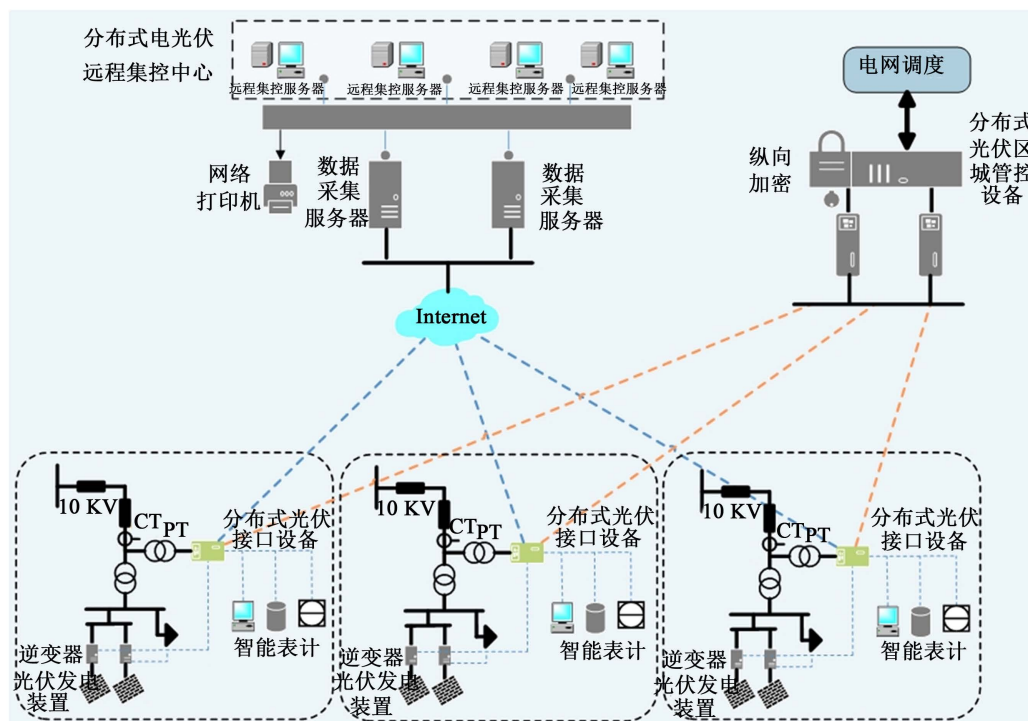


Figure 3. Network architecture of DG cluster control center and power grid system
图 3. 分布式电源集群控制中心与电网调度系统网络框架

历史数据进行存储和相应的预测分析, 综合各类型电源的发电能力的阶段互补性、相关性等特点, 在自动发电激励机制框架下, 考虑到电力市场交易和售电市场情况, 构建未来多时间尺度耦合的多目标组合优化目标, 并将最终的优化信息汇总处理, 然后将可用信息传递给分布式电源区域管控设备; 分布式电源区域管控设备可接收来自电网调度的调度指令, 综合硬性的调度指令和来自集群控制中心的有效信息, 作出相应的决策, 向分布式电源并网接口设备下发可执行的自动发电响应策略。整个集散式的网络架构形成了一个有效的闭环信息传递, 能够快速实现电网和分布式电源集群的协调运行。

4. 结语

智能电网调度控制系统的目标在于实现电网的安全稳定运行、经济高效调度和绿色清洁发展, 分布式电源的高速发展、电力市场的改革、新型电网控制技术的研究和配套电网调度控制系统架构的设计等都是实现智能电网不断向前发展的必要条件。本文以全国如火如荼进行的光伏扶贫项目带来的机遇和挑战为出发点, 综合考虑电网的安全运行、经济调度和扶贫对象的经济利益, 创新性地提出了分布式自动发电响应的概念, 并重点地讨论了分布式电源集群能量优化的实现方式, 文章最后还详细地介绍了支撑自动发电响应的分布式电源集群能量优化管理系统网络架构。

本文借鉴负荷自动需求响应的概念提出的分布式电源的自动发电响应策略, 在电力市场改革的新潮中极具前瞻性, 能够为未来实现分布式电源与电网的协调运行提供新的方向。本文在分布式自动发电响应的策略设计上略显粗糙, 未来可以根据具体的实际情况加入更细致的策略设计。

资助项目

国家自然科学基金(51407030), 国家博士后基金(121809), 国网江西省电力公司科技项目“面向能源互联网的电网区域低碳调度技术研究”。

参考文献 (References)

- [1] 季阳, 艾芊, 解大. 分布式发电技术与智能电网技术的协同发展趋势[J]. 电网技术, 2010(12): 15-23.
- [2] 王成山, 李鹏. 分布式发电, 微网与智能配电网的发展与挑战[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(2): 132-133.
- [3] 钱科军, 袁越, 石晓丹, 等. 分布式发电的环境效益分析[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(29): 11-15.
- [4] 魏晓霞, 刘士玮. 国外分布式发电发展情况分析及其启示[J]. 能源技术经济, 2010, 22(9): 58-61.
- [5] 李琼慧, 黄碧斌, 蒋莉萍. 国内外分布式电源定义及发展现状对比分析[J]. 中国能源, 2012, 34(8): 31-34.
- [6] 崔岩. 我国分布式电源发展规划与现状分析访国网能源研究院新能源与统计研究所所长李琼慧[J]. 电气应用, 2015(9): 6-9.
- [7] 康龙云, 郭红霞, 吴捷, 等. 分布式电源及其接入电力系统时若干研究课题综述[J]. 电网技术, 2010, 324(11): 43-47.
- [8] 刘杨华, 吴政球, 涂有庆, 等. 分布式发电及其并网技术综述[J]. 电网技术, 2008(15): 71-76.
- [9] 王世勇, 孙健. 分布式电源并网对配电网规划的影响研究[J]. 电气应用, 2015(S1): 21-24.
- [10] 徐群. 分布式电源并网对电能质量的影响分析与评估[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2012.
- [11] 曹文辉, 彭春华, 易洪京, 等. 分布式电源并网的配电网改进潮流算法[J]. 中国电力, 2012, 45(7): 78-82.
- [12] 陈永秋, 罗振威, 顾全. 配网分布式电源并网对电网潮流的影响[J]. 电力需求侧管理, 2011, 13(3): 24-28.
- [13] 沈鑫, 曹敏. 分布式电源并网对于配电网的影响研究[J]. 电工技术学报, 2015(s1): 346-351.
- [14] 裴玮, 盛鹁, 孔力, 等. 分布式电源对配网供电电压质量的影响与改善[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(13): 152-157.
- [15] 姚丹. 分布式发电系统孤岛效应的研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2006.
- [16] 陈炜, 艾欣, 吴涛, 等. 光伏并网发电系统对电网的影响研究综述[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(2): 26-32.
- [17] 杨新法, 苏剑, 吕志鹏, 等. 微电网技术综述[J]. 中国电机工程学报, 2014(1): 57-70.
- [18] 姚建国, 杨胜春, 王珂, 等. 智能电网“源-网-荷”互动运行控制概念及研究框架[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(21): 1-6.
- [19] 龙昌. 点亮天山中电投集团探索光伏扶贫新模式[J]. 中国扶贫, 2016(1): 36-39.
- [20] 姚建国, 杨胜春, 单茂华, 等. 面向未来互联电网的调度技术支持系统架构思考[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(21): 52-59.
- [21] 毕艳冰, 蒋林, 王新军, 等. 面向服务的智能电网调度控制系统架构方案[J]. 电力系统自动化, 2015(2): 92-99.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jee@hanspub.org