

Research on the Structure, General Design and Operational Mechanism of Energy Internet

Yingxin Gu

State Grid Yangzhou Power Supply Company, Yangzhou Jiangsu
Email: sibyl0221@126.com

Received: Dec. 22nd, 2017; accepted: Jan. 5th, 2018; published: Jan. 12th, 2018

Abstract

Energy Internet is one of the effective means to solve the immediate problems of energy shortage and environmental pollution. And it is an important strategic support for China's energy revolution. Establishing an applicable structure and selecting the optimal design are the basis of the development of Energy Internet. Firstly, the whole structure of Energy Internet is proposed relying on the technology of distributed cold and heat power supply system, energy storage type of efficient Heterojunction with intrinsic Thinlayer (HIT) photovoltaic power station, wind power generation at low wind speed, distributed smart grid, smart energy living community and coordinative control of generation-grid-load-storage. Secondly, the general plan is formulated in the experimental base. Lastly, the operational mechanism is established to make power transactions diversified.

Keywords

Energy Internet, Network Framework, Electrical Energy Conversion, General Plan, Operational Mechanism

能源互联网的构架、总体设计和运行机制研究

顾颖歆

国网扬州供电公司, 江苏 扬州
Email: sibyl0221@126.com

收稿日期: 2017年12月22日; 录用日期: 2018年1月5日; 发布日期: 2018年1月12日

摘要

能源互联网是解决当前能源紧缺和环境污染问题的重要手段之一,是推动我国能源革命的重要战略支撑。

构建合理的网络构架,选择最优的总体设计方案,是能源互联网取得长足发展的前提和基础。以分布式冷热电三联供系统、储能型高效HIT光伏电站、低风速风力发电、分布式智能电网系统、智慧能源生活社区、源网荷储协调控制等为技术依托,拟定能源互联网的整体构架;基于扬州宝应西安丰镇实验基地的实验研究,选择合适的电能转化机制,制定详细的总体设计方案;依据设计方案制定能源互联网的运行机制,实现电力交易的多元化。

关键词

能源互联网,网络构架,电能转化,总体设计,运行机制

Copyright © 2018 by author 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

能源互联网是将可再生能源作为主要的能量供应源,通过互联网技术,实现分布式发电和储能的灵活接入以及交通系统的电气化,并在广域范围内分配共享各类能源[1]。能源互联网是社会经济发展和文明进步的能源基础设施,是推动我国能源革命的重要战略支撑。随着十九大会议的召开和“一带一路”政策的不断推进,我国正在经历一次“互联网+”的工业革命。构建能源互联网,推动以清洁和绿色方式满足全球电力需求,为世界能源绿色低碳发展描绘了新蓝图,为应对气候变化开辟了新道路。

合理的网架结构和设计方案是能源互联网安全稳定运行的前提和基础。文献[2]提出了一种基于分级储能单元的能源互联网架构,具有良好的鲁棒性。文献[3]针对广域内分布式设备的协调与控制、电力系统与交通系统的融合、电力系统与天然气网络的融合、信息物理建模及安全等几个核心问题,探讨了能源互联网研究中可能面临的主要挑战。文献[4]提出了包括新能源发电技术、大容量远距离输电技术、先进电力电子技术、先进储能技术、先进信息技术、需求响应技术、微能源网技术,以及关键装备技术和标准化技术等能源互联网关键技术。文献[5]考虑能源互联网的组成特点和功能内涵,以主干网络为支架,分布式新能源自组织网络为主体,提出了一种描述能源互联网宏观结构的统一网络拓扑模型。文献[6]提出了能源互联网广义“源-网-荷-储”协调优化的运营模式。

从目前国内外有关能源互联网的文献研究可以看出,关于能源互联网概念、基本框架、关键技术等内容的讨论分析较多,而对其关键运营模式、运行机制的研究内容则较少。因此,本文首先提出了能源互联网一种可能的整体构架;然后基于该构架制定了不同的总体设计方案;最后依据设计方案提出能源互联网的运行机制。

2. 能源互联网的概念、建设目标和基本原则

2.1. 能源互联网的概念

能源互联网建设是社会各界以开放的心态,从实际出发,调动全社会资源,借助能源互联网与智慧能源的开放平台,采用科学方法,遵循客观规律,以创新为驱动力,以解决我国能源供应与消费实际问题为基本原则,以尽可能多地接纳可再生能源及提高能源利用效率作为切入点,采取科学合理的商业模式,让各参与方从能源市场交易中获利,从而促进我国的能源互联网健康发展。

能源互联网是以电力系统为核心,以智能电网为基础,以接入分布式可再生能源为主,采用先进信息和通信技术及电力电子技术,通过分布式智能能量管理系统(Intelligent EMS, IEMS)对分布式能源设备

实施广域协调控制,实现冷、热、气、水、电等多种能源互补,提高用能效率的智慧能源系统[7][8]。

2.2. 能源互联网的建设目标

能源互联网的建设应符合国家能源局提出的能源互联网示范因地制宜、创新融合、多能互补、智能调控、技术协同、经济合理、点面结合和示范推广的要求。通过天然气冷热电三联供、光伏、风电等实现多能互补、互动服务、分布式能源的友好接入;通过分布式能源和智能微网的建设,实现可再生能源的供给、传输、消费、存储,提高能源利用效率、优化能源综合利用。

2.3. 能源互联网建设的基本原则

能源互联网建设的基本原则是建立一种将可再生能源生产、传输、存储、消费与互联网密切关联的能源产业发展新模式,推动能源使用朝着设备智能、多能协同、信息对称、供需分散、交易开放的方向发展,激活能源供给端和消费端潜力,形成新型的能源生产消费体系和管控体系。充分利用互联网手段,以市场为导向,以企业为本体,挖掘互联网与能源系统及能源市场深度融合带来的经济、环境和社会效益,开展不同类型、不同模型的能源互联网试点示范。营造开放包容的能源互联网生态环境,鼓励大众广泛参与,激发万众创新的活力,带动能源互联网新技术、新模式和新业态发展。总结累积可持续、可推广的试点示范成功经验,促进能源互联网健康发展。

3. 能源互联网的组成和整体构架

3.1. 能源互联网的组成

本文提出的能源互联网综合考虑了分布式冷热电三联供系统、储能型高效 HIT 光伏电站、低风速风力发电、分布式智能电网系统、园区智慧能源生活社区、源网荷储协调控制等先进技术,以扬州宝应西安丰镇实验基地为基本试点,建设多能互补、高比例消纳的能源互联网试点示范园区。

3.1.1. 分布式冷热电三联供系统

分布式冷热电三联供系统,是传统热电联产的一种进化和发展,它以机组更加小型化、分散化的形式特点布置在用户附近,同时向用户输出冷、热、电能。燃气冷热电三联产系统基本原理是——温度对口、梯级利用。这种方式通过对能源的梯级利用,充分利用了天然气这种珍贵的一次能源,提高了系统综合能源利用率。典型的燃气三联供循环如图 1 所示。

西安丰实验基地建筑面积 11 万 m^2 ,冷负荷 10,890 kW,热负荷 6596 kW,用电负荷 7920 kW。燃气发电机组装机功率 4.8 MW,选用 1 台 2000 kW + 4 台 700 kW 燃气发电机组,配套 1 台 2040 kW 烟气热水型溴化锂机组 + 2 台 1740 kW 烟气热水补燃型溴化锂机组 + 2 台 3490 kW 直燃性溴化锂机组,组成一套天然气冷热电联供系统,给该区域供电以及制冷和供热。

3.1.2. 储能型高效 HIT 光伏电站

西安丰实验基地光能资源较好,全年太阳辐射总量为 120 千卡/平方厘米,年平均日照时数为 2550.7 小时,日照百分率达 58%,充分利用园区的光能资源,建立储能型高效 HIT 光伏电站示范。相对于传统晶硅电池,HIT 太阳能光伏电池更加环保;具有无 PID 现象、低制程温度、高效率、高光照稳定性、高可靠性、可向薄型化发展等优点,并且能够降低生产成本。西安丰实验基地建筑屋顶有效面积约 15,000 m^2 ,利用园区建筑屋顶建设分布式光伏 1.5 MW。

3.1.3. 低风速风力发电

西安丰实验基地拥有丰富的风资源,据测定,有效风能密度为 240.3 瓦/平方米,有效风能年平均时

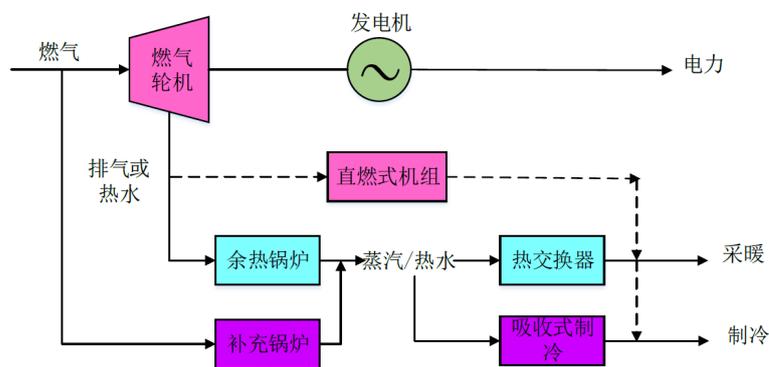


Figure 1. The diagram of the gas-fired cooling, heating and power system

图 1. 燃气冷热电联供系统示意图

间达 6485 小时。可充分利用园区丰富的风能资源，建立低风速风力发电示范。利用西安丰实验基地周边空地建 6 台 1.8 MW 低风速风电。

3.1.4. 分布式智能电网系统

推动园区智能电网应用先行区，加快清洁替代和电能替代，将科技园区电网建设成为集能源开发、输送、配置、使用于一体的能源互联网，构建以电为中心、电网为平台的能源保障体系，以清洁绿色方式满足科技园区电力需求。

3.1.5. 园区智慧能源生活社区

园区智慧能源生活社区通过构建智慧能源互联网平台，建设面向智能家居、智能楼宇、智能小区、智能工厂的能源综合服务中心，实现多种能源的智能定制、主动推送和资源优化组合。企业、居民用户与分布式资源、电力负荷资源、储能资源之间通过微平衡市场进行局部自主交易，通过实时交易引导能源的生产消费行为，实现分布式能源生产、消费一体化。

在园区内因地制宜地建设充电桩等基础设施，提供电动汽车充放电、换电等业务，实现电动汽车与新能源的协同优化运行[9]。在园区推出微网电力交易、用能服务、电力大数据运营、用能 APP 增值服务等创新管理商业模式，建立能源供应、能源管理、能源运行维护和能源互联网完整运行机制。

3.1.6. 源网荷储协调控制

源网荷储协调控制系统基于配电自动化系统开发实现，是该系统的一个扩展，位于电力公司生产控制大区，通过辅助调度人员进行配网调控，进而保证配网的安全可靠运行。系统实现分为设备层、分布控制层和集中决策层三个层次，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自下而上送到主站层，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自上而下到达设备层，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，提升电网的安全可靠运行水平和经济性。

3.2. 能源互联网的整体构架

根据前文所述的能源互联网各个组成部分，能源互联网一种可能的整体构架如图 2 所示。

能源互联网中，电力网络通过电动汽车的充放电实现与交通网络的电力变换，通过风力/光伏发电实现与新能源网络的电力变换[10]，通过同步发电机和电制热设备实现与热能网络的电力变换，通过生物质发电和化石能源发电实现与石化网络的电力变换[11] [12] [13]。能源互联网以智能电网为基础，以接入

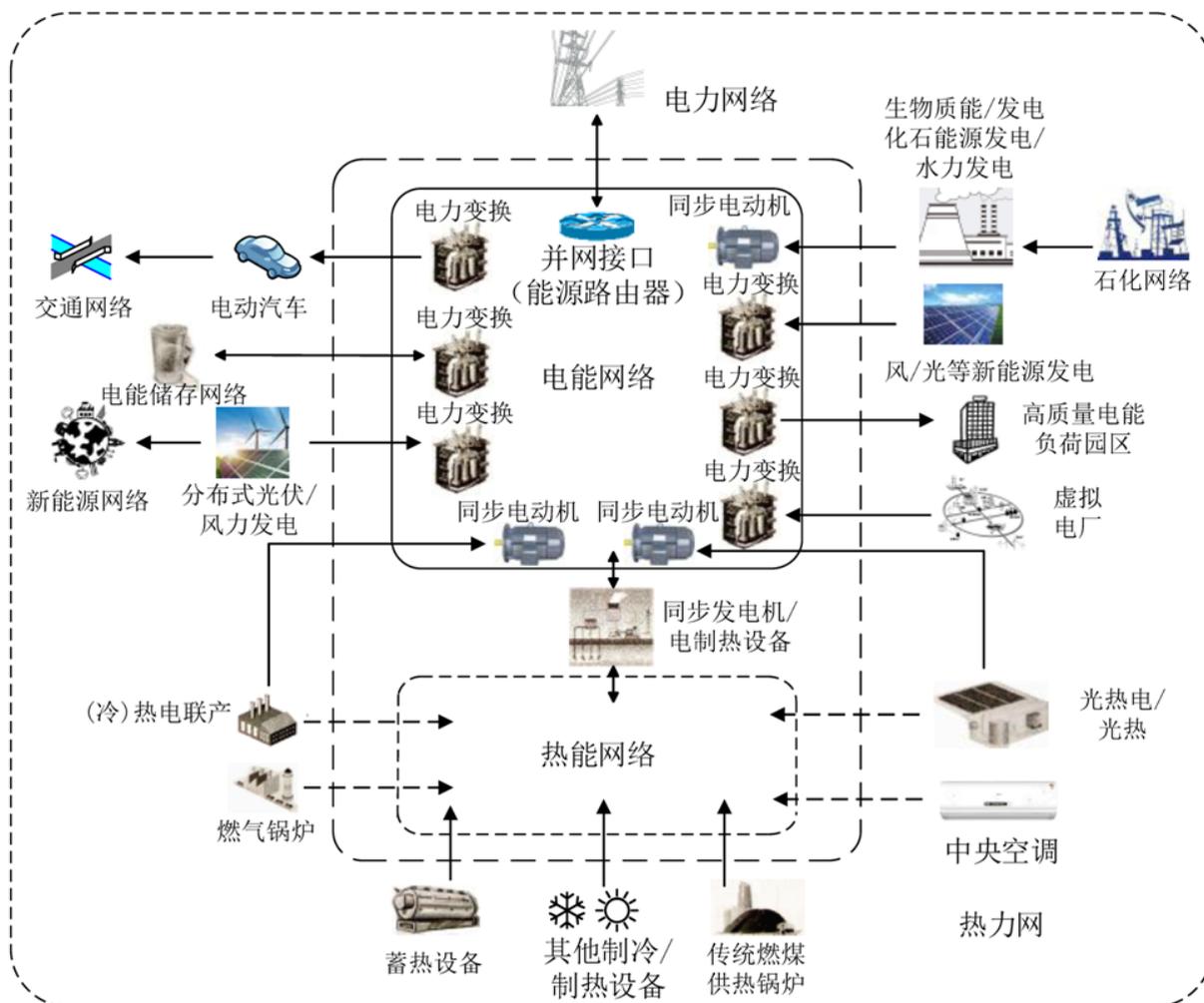


Figure 2. The general structure of the energy internet

图 2. 能源互联网的整体构架

可再生能源为主，采用先进的现代信息和通信技术，实现可再生能源和清洁能源生产、输送和分配的整体优化和实时调整，大幅度提高清洁能源开发利用效率，充分利用储能型 HIT 光伏和低风速分布式风电等可再生能源，通过冷热电三联供实现园区多能互补，高比例可再生能源消纳。

4. 能源互联网的总体设计方案

4.1. 能源互联网的总体方案

本文提出的能源互联网利用西安丰实验基地屋顶光伏、风电、冷热电三联供系统、充电桩实现能源的供给，能够解决园区供电、供热、供冷以及电动汽车充电等问题。燃气发电机组装机功率 4.8 MW，选用 1 台 2000 kW + 4 台 700 kW 燃气发电机组，配套 1 台 2040 kW 烟气热水型溴化锂机组 + 2 台 1740 kW 烟气热水型溴化锂机组 + 2 台 3490 kW 直燃型溴化锂机组，组成一套天然气冷热电联供系统。西安丰实验基地能源互联网方案总体方案示意图如图 3 所示。

4.2. 能源互联网的建设方案

能源互联网的建设方案示意图如图 4 所示，包括以下五个部分：

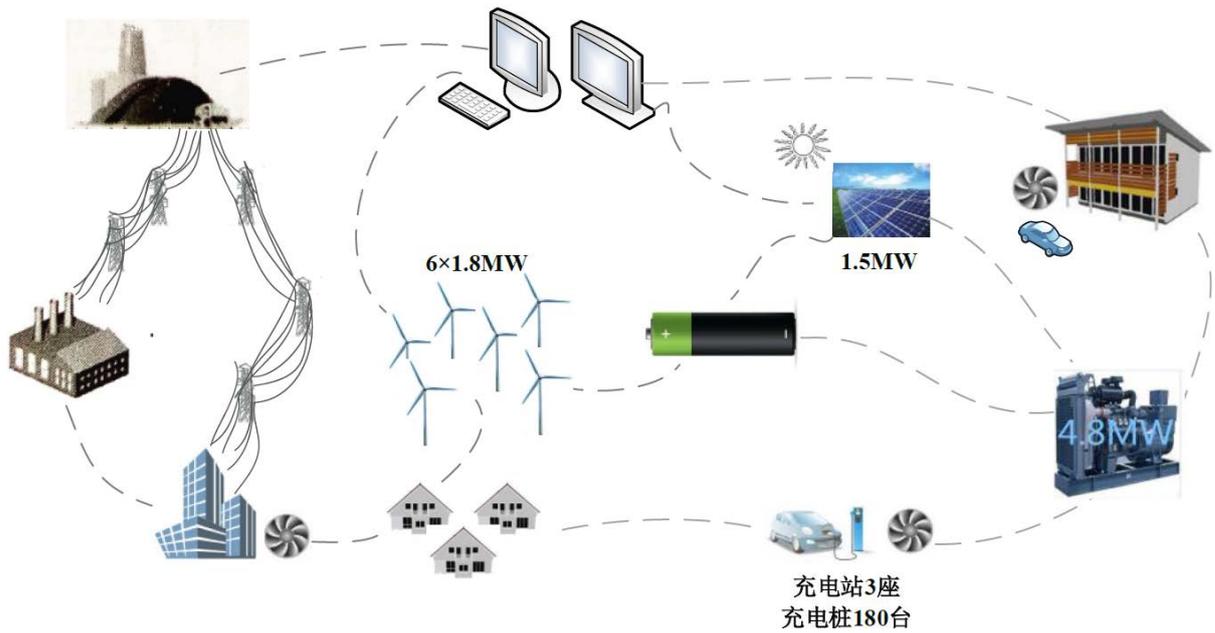


Figure 3. The general design of energy internet in Xianfeng experimental base
图 3. 西安丰实验基地能源互联网方案总体方案

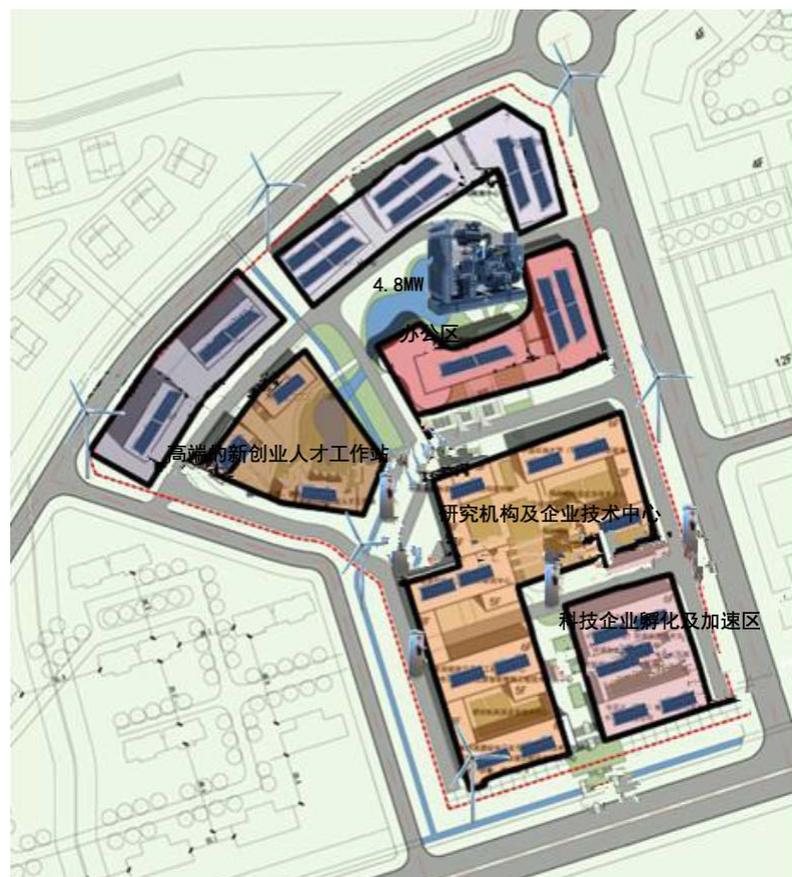


Figure 4. The diagram of energy internet construction plan in Xianfeng experimental base
图 4. 西安丰实验基地能源互联网工程建设方案示意图

- 1) 规划建设新能源充电站 3 座, 充电桩 180 台;
- 2) 利用园区建筑屋顶建设分布式光伏电站 1.5 MW 以及能源大数据云平台等;
- 3) 利用园区建筑周边空地建设 6 台 1.8 MW 低风速风电以及能源大数据云平台等;
- 4) 燃气发电机组装机功率 4.8 MW, 选用 1 台 2000 kW + 4 台 700 kW 燃气发电机组, 配套 1 台 2040 kW 烟气热水型溴化锂机组 + 2 台 1740 kW 烟气热水型溴化锂机组 + 2 台 3490 kW 直燃型溴化锂机组, 组成一套天然气冷热电联供系统, 给该区域供电以及制冷和供热。可以有效地缓解天然气冬夏季峰谷差, 提高燃气设施的利用效率, 同时减少电力设备的峰值装机容量, 具有很好的社会和经济效益;
- 5) 推出微网电力交易、用能服务、电力大数据运营、用能 APP 增值服务等商业模式。通过平台建设, 实现能源供应、能源管理、能源运行维护和能源互联网完整产业链。

5. 能源互联网的运行机制

园区积极推出能源互联网电力交易、用能服务、电力大数据运营、用能 APP 增值服务等商业模式。通过平台建设, 实现能源供应、能源管理、能源运行维护和能源互联网完整产业链[14]。

1) 电力交易。运营能源交易平台本身将成为一类有利可图的商业模式, 平台运营商可针对不同的交易类型, 交易形式与交易量, 向交易双方收取相应的佣金与结算费, 并管理平台上的现金流。在能源交易平台上, 买卖双方可以开展多种类型灵活的能量交易。

2) 用能服务。增加分布式电源运营、售电、配电资产运营等服务。提供节约电费综合方案和售电零售服务等降低用户用电成本, 通过智能安全运维服务等保障用户用电安全, 并且通过节电改造服务等技术手段提升用户用电效率。

3) 电力大数据运营。可再生能源和分布式电源的接入需要更加高效、智能的运营管理平台。这个平台不仅包括前期的测风系统, 还包括风功率预测、光伏发电预测、并网支持、监控预警、运营管理、快速响应等管理系统, 为发电侧的有效管理提供大数据支撑。

4) 用能 APP 增值服务。通过安装在智能手机上 APP 或者电脑客户端软件, 用户可以实时查看园区可再生能源的供给、传输、消费、存储, 风机、光伏电站 KPI 运营指标, 预约充电查询车辆剩余电量、剩余里程、剩余充电时间以及车辆停放位置等。

6. 总结

本文提出的能源互联网整体架构、设计方案和运行机制可以充分发挥能源网络的规模性和经济性, 实现清洁能源生产、输送和分配的整体优化和实时调整, 大幅度提高清洁能源开发利用效率, 并且以扬州宝应西安丰实验基地为基本试点, 具有良好的可复制性、可推广性和可扩展性。

基金项目

国家自然科学基金项目(51475246), 《磁流变悬架系统电磁干扰机理与抑制方法研究》。

参考文献

- [1] 马钊, 周孝信, 尚宇炜, 等. 能源互联网概念、关键技术及发展模式探索[J]. 电网技术, 2015, 39(11): 3014-3022.
- [2] 赵海, 蔡巍, 王进法, 等. 能源互联网架构设计与拓扑模型[J]. 电工技术学报, 2015, 30(11): 30-36.
- [3] 董朝阳, 赵俊华, 文福拴, 等. 从智能电网到能源互联网: 基本概念与研究框架[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(15): 1-11.
- [4] 田世明, 栾文鹏, 张东霞, 等. 能源互联网技术形态与关键技术[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(14): 3482-3494.
- [5] 杨方, 白翠粉, 张义斌. 能源互联网的价值与实现架构研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(14): 3495-3502.

- [6] 曾鸣, 杨雍琦, 刘敦楠, 等. 能源互联网“源-网-荷-储”协调优化运营模式及关键技术[J]. 电网技术, 2016, 40(1): 114-124.
- [7] 冯庆东. 能源互联网与智慧能源[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015: 3-5.
- [8] 邓建玲. 能源互联网的概念及发展模式[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(3): 1-5.
- [9] 孙秋野, 滕菲, 张化光. 能源互联网及其关键控制问题[J]. 自动化学报, 2017, 43(2): 176-194.
- [10] Wang, K., Hu, X.X., Li, H.N., *et al.* (2017) A Survey on Energy Internet Communications for Sustainability. *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, **2**, 231-254. <https://doi.org/10.1109/TSUSC.2017.2707122>
- [11] Bui, N., Castellani, A.P., Casari, P., *et al.* (2012) The Internet of Energy: A Web-Enabled Smart Grid System. *IEEE Network*, **26**, 39-45. <https://doi.org/10.1109/MNET.2012.6246751>
- [12] Sun, Q., Han, R., Zhang, H., *et al.* (2015) A Multiagent-Based Consensus Algorithm for Distributed Coordinated Control of Distributed Generators in the Energy Internet. *IEEE Transactions on Smart Grid*, **6**, 3006-3019. <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2412779>
- [13] Xue, Y. (2015) Energy Internet or Comprehensive Energy Network. *Journal of Modern Power Systems & Clean Energy*, **3**, 297-301. <https://doi.org/10.1007/s40565-015-0111-5>
- [14] 陈启鑫, 刘敦楠, 林今, 等. 能源互联网的商业模式与市场机制(一)[J]. 电网技术, 2015, 39(11): 3050-3056.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2333-5394, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

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

期刊邮箱: jee@hanspub.org