

园区级风光储充多能互补设计方案研究

李春涛, 杨志

(万帮数字能源股份有限公司, 江苏 常州 213000)

摘要: 随着分布式发电、储能设备及交直流充电设备在园区的广泛应用, 基于新能源和互联网技术的能源互联网建设得到了快速发展。以园区的能源互联为背景, 提出两种风光储充多能互补设计方案, 一种基于交流耦合的风光储充多能互补设计方案, 一种是基于电能路由器的风光储充多能互补设计方案; 另外文中还详细分析了两种方案的组成, 两种方案的优缺点, 为后续园区级的新能源方案设计提供了很好地参考。

关键词: 分布式发电; 能源互联; 电能路由器; 多能互补

Research on multi energy complementary design scheme of wind solar energy storage and charging

LI Chuntao, YANG Zhi

(Wanbang Digital Energy Co., Ltd., Changzhou 213000, China)

Abstract: With the wide application of distributed generation, energy storage equipment and AC/DC charging equipment in the park, the construction of energy internet based on new energy and internet technology has been developed rapidly. Based on the background of energy interconnection in the park, two complementary design schemes of wind and solar energy storage and charging are proposed. One is based on AC coupling, the other is based on power router. In addition, the composition of the two schemes and the advantages and disadvantages of the two schemes are analyzed in detail, which provides a good reference for the subsequent park level new energy scheme design.

Key words: distributed generation; energy interconnection; power router; multi energy complementation

0 引言

随着社会发展及大众环保意识的增强, 以及国家对新能源发电及电动汽车应用的鼓励, 工商业园区开始大规模建设充电桩, 以满足园区人员的充电需求; 建以光伏和风电为主的分布式能源, 以降低企业面临能耗总量及强度的“双控”目标的压力^[1-3]。但由于充电桩系统一般功率较大, 可能会对园区的已有配电网产生额外压力, 降低电网的稳定性; 另外由于分布式能源的间歇性和波动性, 这也会对电网的安全运行产生比较大的影响。电动汽车中的电池作为移动储能系统, 其达到一定的规模效应后, 可通过带 V2G 功能的充电桩成为电网可调度资源参与到电力市场中。随着分布式发电、储能设备及交直流充电设备在园区的广泛应用, 建立一个稳定可靠的园区配电网势在必行^[4-7]。

本文根据各种分布式能源的特点给出了两种园区级风光储充多能互补设计方案: 一种基于交流耦合的风光储充多能互补设计方案, 另一种是基于电能路由器的风光储充多能互补设计方案。这两种方

案都将光伏、风电等分布式能源和储能系统及带 V2G 功能的充电桩系统结合, 充分利用各种能源的特点, 实现园区内的多种能量互补, 有效降低了光伏、风电对电网的冲击。

1 风光储充各种能源特点及其互补特性

1.1 分布式能源介绍

1) 光伏发电系统

光伏发电系统由光伏电池板和光伏逆变器组成。其工作原理如下: 光伏电池板捕获太阳光的能量经过变换器送入电网, 能量只能单向流动。光伏发电受光照影响很大, 所以光伏发电具有季节性、波动性、随机性的特点, 这一特点致使光伏发电对电网友好性很差。

2) 风力发电系统

风力发电系统由风力发电机和风电变流器组成。其工作原理如下: 风力发电机捕获风能, 能量经过风电变流器送入电网, 能量只能单向流动。风力发电因不消耗化石燃料, 利用可再生风能资源, 不产生温室气体的优点, 在全球范围得到积极发展。

对于高风速区域(年平均风速大于等于 6 m/s), 通过规划大型风力发电机组, 采用集中式发电, 实现风能向电能的转换。对于年平均风速在 3~5 m/s 的低风速区域, 像工业园区、别墅庭院、中小城镇、度假村等地方, 一般采用更具有灵活性的中小型风力发电机。风力发电系统受风力影响最大, 跟光伏类似, 也有很强的季节性、波动性、随机性。

3) 储能系统

储能系统由储能电池和储能变换器组成, 能量可以双向流动; 其工作原理如下: 当储能系统工作在放电模式时, 储能电池的能量经过储能变换器送入电网; 当储能系统工作在充电模式时, 电网的能量经过变换器送入至储能电池中, 其特点是能量能双向流动, 可以对风、光能源可靠吸纳, 有效降低风电、光伏对电网的影响。

4) 新能源汽车充电系统

新能源汽车充电系统由充电桩和新能源车组成; 其大致工作原理如下: 当新能源汽车需要充电时, 能量由电网经过充电桩进入新能源汽车电池; 如果充电桩带有 V2G 功能, 那么新能源汽车电池的能量可以通过充电桩反向放电给电网, 作为电网可调度资源参与到电力市场中。当新能源汽车达到一定规模后, 可作为一个移动储能系统, 用来消纳分布式能源, 与光伏和风电形成有利的互补。

1.2 分布式能源的互补特性

由于不同能源的利用形式和管理规则存在较大差异, 单能源运行系统以单独规划、单独设计、独立运行、缺乏协调性为主要特点, 因此容易产生资源利用率、自愈能力差、系统整体稳定性低等问题。为此, 现代生产中往往采用多能互补的形式来进行能源开发和利用。风、光在时间上有一定程度的互补性, 如: 晚上光伏无能量输出, 这时风电可作为其补充; 白天有时光照能量充足, 无风情况下可作为风电的有效补充; 风、光、电网和储能可以形成有效的能源互补关系, 储能环节的加入, 能平滑风、光等分布式能源的输出, 提高电网对新能源的消纳能力, 同时可以参与电网调峰、调频和调压等辅助服务, 提高能源的综合利用率。

多能互补在实施上, 与智慧能源有着紧密的内在联系, 具有环保性、经济性、安全可靠、独立性、灵活性等特性, 如图 1 所示。

2 基于交流耦合的风光储充多能互补设计方案

图 2 为基于交流耦合的风光储充多能互补设计方案, 整个综合能源系统由光伏发电系统、风力

发电系统、储能系统、新能源汽车充电系统、交流负载和电网组成; 系统中风电、光伏等清洁能源作为主要电能供应者, 储能电池和新能源汽车电池作为功率平衡的调节者, 同时上级电网参与协助调节, 共同实现对园区负荷的稳定电力供应^[8]。

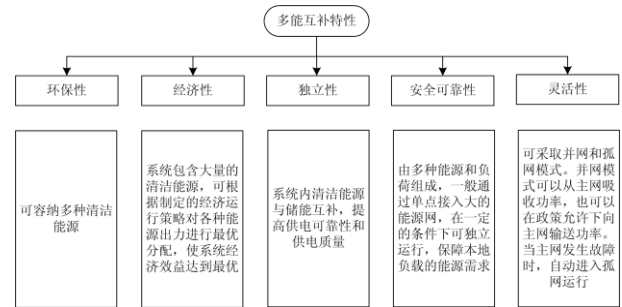


图 1 多能互补特性

Fig. 1 Multi-energy hybrid characteristic

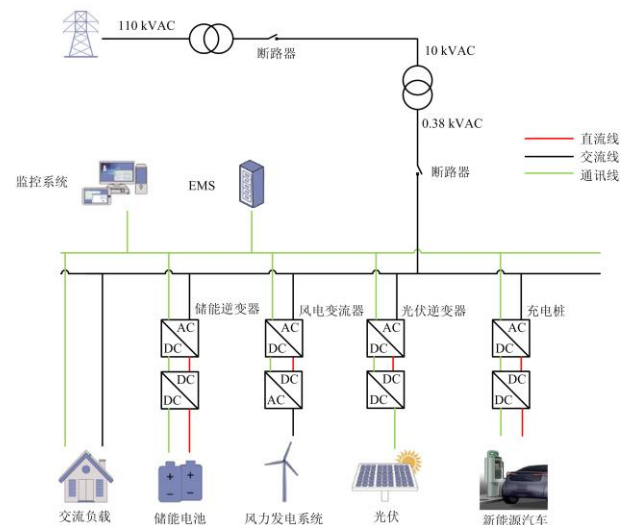


图 2 基于交流耦合的风光储充多能互补设计方案

Fig. 2 Multi-energy compensation design scheme of wind, solar, energy storage and charging based on AC coupling

由图 2 可以看出, 分布式电源、储能、负荷及新能源汽车均连接到 380 V 交流母线, 然后 380 V 交流母线经过变压器接入大电网。对于直流电源则需要通过电力电子装置变换后再连接到交流母线上。储能电池经过储能逆变器与 380 V 交流母线连接, 并且能量可以双向流动; 风力发电机经过风电逆变器与 380 V 交流母线连接, 能量只能从风力发电机单向流入电网; 光伏电池板经光伏逆变器与 380 V 交流母线连接, 能量只能从光伏电池板单向流入电网; 新能源汽车电池经过带 V2G 功能的充电桩与 380 V 交流母线连接, 能量可以双向流动。监控系统通过通信总线获取到各个设备和负载的电

压、电流、实时功率和电量信息存储至服务器中, 并对数据进行处理, 从而实现设备运行监测, 节能建议与管理, 能耗监测与分析, 故障检测与预测等功能。EMS(能量管理系统)作为整个园区能源系统的控制大脑, 在各种能源的协调互补控制中起着举足轻重的作用。在有电网的情况下, 整个园区能源系统在 EMS 的统筹下并网运行, 此刻整个电网的电压和频率都由大电网决定。新能源汽车作为移动储能单元与储能系统一起起到能量均衡调节作用, 实现微电网内部能量动态平衡, 最大限度地利用可再生能源。此时风机和光伏等可再生能源发电均采用 PQ 控制(也称为恒功率控制), 进行微源的最大功率追踪。具体策略为: 当负荷小于微电网内可再生能源发电输出功率总和时, 如果此时新能源汽车需要充电, 那么优先控制充电桩向新能源汽车充电, 当新能源汽车充满电后, 再通过控制储能变流器向蓄电池充电, 直到蓄电池充满, 微电网才向大电网输送多余的电能; 反之, 当负荷大于微电网内可再生能源发电输出功率总和时, 如果此时储能电池电量充足, 那么优先通过控制储能变流器使蓄电池放电, 直到蓄电池不能继续放电, 如果此时新能源汽车接入电网且新能源汽车电池能量充足, 那么可以在车主授权后控制带 V2G 功能的充电桩从新能源汽车放电, 直到新能源汽车电池不能放电, 微电网才从大电网吸收部分电能。在无大电网情况, EMS 控制整个系统工作在孤岛模式, 在该模式下, 功率缺额和频率的调整必须依靠微电网中各个微电源、储能及控制来完成。因此要实现系统经济性最优、供电可靠性最高、能量储存分布最佳的能量调度目标^[8], 必须灵活调节微电网内的馈线潮流, 调节每个微型电源接口处的电压, 保证电压的稳定性。

基于交流耦合的风光储充多能互补设计方案的特点:

1) 方便实现系统扩容: 由于交流微电网不改变原来的电网结构, 仅需在原来的电网中增加微电源及其变流器, 即可实现系统扩容。

2) 系统效率偏低: 大部分直流源都经过两级变换并入交流电网, 导致效率有一定的损失。

3) 存在各能源间的同步问题、环流抑制问题。

4) 该方案下大量的逆变装置会带来大量谐波电流, 并使系统功耗增加, 引起配电、监控、保护等方面的问题, 这无疑增加了其建设成本和建设周期, 增加了维护成本。

5) 适用于交流型分布式电源和负荷所占比重较大、直流型分布式电源和负荷较少的区域。

3 基于电能路由器的风光储充多能互补设计方案

电能路由器由高频变压器和电力电子变换电路组成, 由于具备高低压交流接口和直流接口, 具有变压、隔离和能量传输功能, 可以成为“能量路由器”, 实现对 PCC 处的能量协调管理。

基于电能路由器的风光储充多能互补直流设计方案如图 3 所示, 主网为 10 kV 配网, 通过电能路由器联接形成直流微网和交流微网, 由于直流电源的电压范围比较宽, 故在直流微网中的, 分布式能源主要通过 DC-DC 变换器并网, 而交流微网中分布式能源主要通过 DC-AC、AC-DC-AC 等变换器并网。分布式能源根据自身特性、接入成本和运行效率等因素, 选择直流或交流接入。光伏和风机等分布式能源既有直流接入方式, 也有交流接入方式。蓄电池、超级电容和燃料电池等不受地理条件限制的分布式能源, 选择直流接入, 新能源汽车可以交流充电桩选择交流接入, 也可以通过直流充电桩选择直流输入。

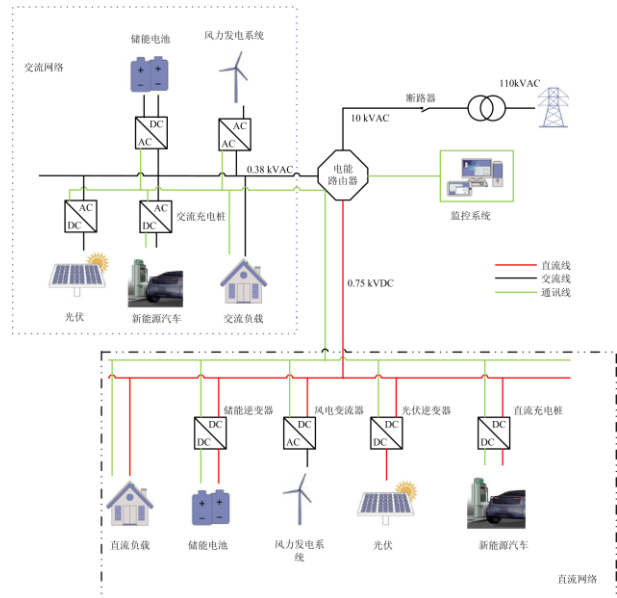


图 3 基于电能路由器的风光储充多能互补设计方案

Fig. 3 Multi-energy compensation design scheme of wind, solar, energy storage and charging based on power router

由于分布式能源输出功率受天气因素影响, 不同时间段负荷功率也存在起伏, 直流微网和交流微网中能量波动频繁。电能路由器能很好地协调网络间分布式能源、负载、储能、新能源汽车等节点之间的能量流动。为了满足分布式能源的功率输出, 实现功率的合理分配, 保持混合系统的稳定运行,

网络接口间能量的流动必须是双向的，并能根据接口处特征信号的变化进行快速准确的功率调节。电能路由器协调主网、交流微网和直流微网间能量的流动，三处接口能量都是双向流动的，如图4所示。同一时刻，电能路由器既可充当某个网络的能量提供者，又可视作另一个网络的负载，在网络间按需传输能量^[9]。

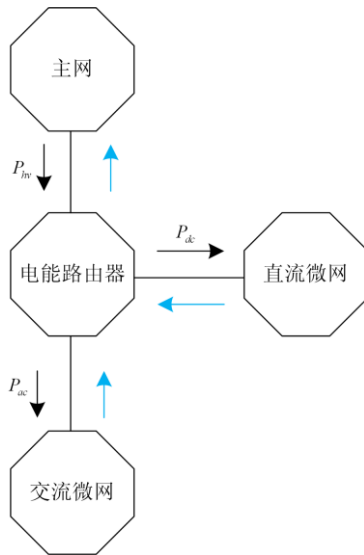


图4 电能路由器功率流动图

Fig. 4 Power flow of power router

P_{mv} 表示主网接口处流动的功率，流入电能路由器为正向，流出电能路由器为负向； P_{ac} 表示交流微网接口处流动的功率； P_{dc} 表示直流微网接口处流动的功率，流入微网为正向，流出微网为负向^[9]。

根据电能路由器是否并入主网，分为并网和离网两种工作模式。

离网模式下，交流微网和直流微网都与主网断开连接，功率仅在交直流微网间双向流动。该模式下，运行状态复杂，对电能路由器控制的要求也更高。离网模式下所有负载的功率需求需由交流微网和直流微网中的分布式能源提供，这就要求分布式能源具备灵活的有功无功控制策略，电能路由器具备快速的功率协调策略，从而减小微网的运行波动。电能路由器根据交直流微网的运行状态和能量需求，判断功率流动方向和大小，维持交直流微网稳定运行。为了使各分布式能源合理分担负荷，目前微网运行策略为对各分布式能源进行分散的下垂控制，从而满足直流微网内部和交流微网内部功率的合理分配^[9]。

并网模式下，电能路由器提供微网全部的功率缺口或吸收微网全部的功率盈余，从而实现与交流

微网频率和直流微网母线电压的支撑。该工作模式下，在电能路由器控制主网输入接口处电流与电压同相位，使交直流混合微网看起来为“阻性负载”或“电流源”。而在输出接口处，电能路由器控制交流微网接口处电压在额定功率范围内恒压恒频，控制直流微网接口处电压在额定功率范围内恒压，使电能路由器看起来为恒定的电压源^[9]。

基于电能路由器的风光储充多能互补直流设计方案的特点：

1) 互相提供功率支撑，改善了系统供电质量。无论交流微电网还是直流微电网作为一个自治运行系统首要的目标是维持系统内功率平衡，保证系统稳定运行。因此，将交直流微电网互联后，可以实现相互功率备用，这在保障各自功率平衡，改善系统的电能质量方面显然是有益的。

2) 采用高频变压器后，可以减小设备的重量和体积，具备高、低压交直流接口，能同时接入交流网络和直流网络，适用于直流源、荷的接入。

3) 减少电力变换设备个数，降低了建设成本和运营损耗。将交流分布式电源和负荷接入混合微电网的交流部分，直流电源和负荷接入混合微电网的直流部分，这显然可以减少昂贵的电力电子变流器的应用个数，增加了接入形式的灵活性。同时减少中间变换环节又可以降低系统损耗和谐波含量，无论从经济角度还是从电能质量角度都是可取的。

4) 扩大负荷切除的灵活性和选择性，提高了重要负荷的供电可靠性，也增强了微电网的接纳能力。

4 结论

在研究基于新能源和互联网技术的能源互联网的基础上^[10-12]，主要研究了两种园区级风光储充多能互补设计方案：一种基于交流耦合的风光储充多能互补设计方案，另一种是基于电能路由器的风光储充多能互补设计方案，文中对两种方案组成部分、特点及策略作了详细介绍，为后续园区级的新能源方案设计提供了很好地参考。

参考文献

- [1] 曹军威, 孟坤, 王继业, 等. 能源互联网与能源路由器[J]. 中国科学: 信息科学, 2014, 44(6): 714-727.
CAO Junwei, MENG Kun, WANG Jiye, et al. An energy internet and energy routers[J]. Science China: Information Sciences, 2014, 44(6): 714-727.
- [2] 张良, 刘禹含, 冷祥彪, 等. 计及风-光-蓄多电场竞价的电动汽车购电策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(9): 72-81.
ZHANG Liang, LIU Yuhan, LENG Xiangbiao, et al.

- Research on an electric vehicle electricity purchasing strategy based on wind-PV-pumped storage multiple electric fields bidding[J]. *Power System Protection and Control*, 2021, 49(9): 72-81.
- [3] 辛禾. 考虑多能互补的清洁能源协同优化调度及效益均衡研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2019.
XIN He. The synergetic optimal scheduling and benefit equilibrium model for clean energy absorptive considering multi-energy hybrid[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2019.
- [4] ZHAO Zhenxing, PEI Wei, SHEN Ziqi, et al. Design and implementation of energy hub for smart grid[C] // 2013 Fourth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications.
- [5] 刘海波, 毛承雄, 陆继明, 等. 电子电力变压器储能系统及其最优控制[J]. *电工技术学报*, 2010, 25(3): 54-60.
LIU Haibo, MAO Chengxiong, LU Jiming, et al. Energy storage system of electronic power transformer and its optimal control[J]. *Transactions of China Electrotechnical Society*, 2010, 25(3): 54-60.
- [6] 任垚屹. 孤岛型直流微网控制策略研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2018.
REN Yaoyi. Study on control strategy of isolated DC microgrid[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2018.
- [7] 刘健, 魏昊焜, 张志华, 等. 未来配电网的主要形态—基于储能的低压直流微电网[J]. *电力系统保护与控制*, 2018, 46(18): 11-16.
LIU Jian, WEI Haokun, ZHANG Zhihua, et al. Future architecture of power distribution network-low-voltage direct current micro-grids based on energy storage[J]. *Power System Protection and Control*, 2018, 46(18): 11-16.
- [8] 朱晔, 兰贞波, 隗震, 等. 考虑碳排放成本的风光储多能互补系统优化运行研究[J]. *电力系统保护与控制*, 2019, 47(10): 127-133.
ZHU Ye, LAN Zhenbo, WEI Zhen, et al. Research on optimal operation of wind-PV-ES complementary system considering carbon emission cost[J]. *Power System Protection and Control*, 2019, 47(10): 127-133.
- [9] 兰征, 涂春鸣, 肖凡, 等. 电力电子变压器对交直流混合微网功率控制的研究[J]. *电工技术学报*, 2015, 30(23): 50-57.
LAN Zheng, TU Chunming, XIAO Fan, et al. The power control of power electronic transformer in hybrid AC-DC microgrid[J]. *Transactions of China Electrotechnical Society*, 2015, 30(23): 50-57.
- [10] 王伟亮, 王丹, 贾宏杰, 等. 能源互联网背景下的典型区域综合能源系统稳态分析研究综述[J]. *中国电机工程学报*, 2016, 36(12): 3292-3305.
WANG Weiliang, WANG Dan, JIA Hongjie, et al. Review of steady-state analysis of typical regional integrated energy system under the background of energy internet[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2016, 36(12): 3292-3305.
- [11] 郑跃胜, 钟小燕, 缪希仁, 等. 交直流混合微电网拓扑与基本控制策略综述[J]. *高电压技术*, 2016, 42(9): 2756-2767.
ZHENG Yuesheng, ZHONG Xiaoyan, MIU Xiren, et al. Overview on topologies and basic control strategies for hybrid AC/DC microgrid[J]. *High Voltage Engineering*, 2016, 42(9): 2756-2767.
- [12] 谢琳宇, 唐忠, 黄星宇, 等. 考虑分布式电源和电动汽车不确定性的双层动态配网重构[J]. *电力系统保护与控制*, 2020, 48(10): 1-11.
XIE Linyu, TANG Zhong, HUANG Xingyu, et al. Bi-layer dynamic reconfiguration of a distribution network considering the uncertainty of distributed generation and electric vehicles[J]. *Power System Protection and Control*, 2020, 48(10): 1-11.

收稿日期: 2020-09-11; 修回日期: 2020-09-12

作者简介:

李春涛(1988—), 男, 通信作者, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为微网控制技术。E-mail: lct713@163.com