

Research on new source-grid-load-storage coordinated control strategy of power system based on electrical automation technology

Zhang Liu

Guangxi Branch of China Huaneng Group Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

Abstract

With the accelerated development of new power systems, achieving efficient coordination among generation, grid, load, and storage components has become crucial for advancing energy transition and ensuring high-quality power system development. This study systematically investigates collaborative control strategies for power systems based on electrical automation technology. By comprehensively analyzing current operational characteristics and developmental requirements, we propose tailored control solutions through three dimensions: control architecture design, key technologies, and implementation pathways. The research demonstrates that such strategies significantly enhance system stability, resource allocation efficiency, and renewable energy integration capabilities. Finally, recommendations are made to improve standardization frameworks, strengthen information integration platforms, and promote AI algorithm applications, providing theoretical foundations and practical guidance for engineering implementation of collaborative control technologies in modern power systems.

Keywords

electrical automation; new power system; source network load storage; collaborative control; strategy research

基于电气自动化技术的新型电力系统源网荷储协同控制策略研究

刘章

中国华能集团有限公司广西分公司, 中国·广西·南宁 530000

摘要

随着新型电力系统建设步伐的加快, 如何实现源网荷储各环节的高效协同成为推动能源转型与电力系统高质量发展的关键问题。本文围绕基于电气自动化技术的新型电力系统源网荷储协同控制策略展开系统研究, 综合分析当前电力系统运行特征与发展需求, 从协同控制体系结构、关键技术及实施路径三个层面入手, 提出适应新型电力系统特点的控制方案。研究表明, 基于电气自动化技术构建的源网荷储协同控制策略能够有效提升系统运行稳定性、资源配置效率与新能源消纳能力。文章最后提出完善标准体系、强化信息融合平台建设及推进人工智能算法应用的建议, 以期新型电力系统协同控制技术的工程实践提供理论依据与操作指导。

关键词

电气自动化; 新型电力系统; 源网荷储; 协同控制; 策略研究

1 引言

伴随着全球能源结构调整与“双碳”目标的提出, 传统电力系统逐步向新能源占比更高、分布式资源更丰富的复杂系统演变。新型电力系统强调源(发电侧)、网(输配电侧)、荷(负荷侧)、储(储能侧)四个环节的协同互动与动态平衡, 以实现安全、高效、绿色与低碳的能源供需格局。然而, 由于新能源发电具有波动性与随机性, 负荷需求呈现个性化

与多样化特征, 储能设施尚未完全普及, 电力系统整体面临着控制复杂度提高、协调难度加大、信息孤岛严重等挑战。电气自动化技术作为支撑电力系统智能化发展的核心手段, 涵盖自动控制、信息采集、数据通信与智能决策等多个环节, 其在构建新型电力系统源网荷储协同控制体系中的应用价值日益凸显。当前相关研究主要集中在局部优化或单一环节的控制策略, 尚缺乏从系统整体出发、面向实际应用场景的协同控制策略体系。本文拟以电气自动化技术为基础, 系统研究新型电力系统中源网荷储各环节协同控制的总体框架、关键技术路径与实施方案, 旨在为新型电力系统建设提供具有实际指导意义的技术方案。

【作者简介】刘章(1993-), 男, 中国江西萍乡人, 本科, 从事电气工程及其自动化研究。

2 新型电力系统源网荷储协同控制需求与特征

2.1 源网荷储协同控制的基本内涵

源网荷储协同控制是现代电力系统运行的关键理念，它依托信息共享与控制策略优化，促使发电侧（源）、输配电网侧（网）、用户负荷侧（荷）以及储能设备侧（储）四个环节动态协调、有序互动，旨在平衡电力系统供需，优化资源配置，提升运行效率，保障安全稳定。

传统电力系统遵循“源随荷动”思路，依据负荷波动调节发电出力，在大型火电、水电为主的集中式系统中较为适用。但随着新能源比例攀升，风电、光伏等波动性和随机性强的分布式能源大量接入，传统调度控制方式难以为继。新型电力系统强调多能互补、分布式资源整合与需求响应联动，构建起自动化、信息化与智能化支撑的综合控制体系。

源网荷储协同控制涵盖多方面：发电侧协调优化传统机组与新能源发电单元；输配电网侧灵活控制潮流、优化拓扑；负荷侧引导用户参与需求响应；储能设备侧充分发挥储能系统作用。该控制模式不局限于单一环节优化，而是着眼于系统整体效能提升，顺应了现代电力系统向绿色、智能、安全方向发展的潮流，是推动电力系统高质量发展的重要举措。

2.2 当前新型电力系统协同控制面临的挑战

源网荷储协同控制理念虽日益成熟，但在实际推广和实施中仍困难重重。新能源占比提升使系统惯性不足成为突出问题。风电、光伏等新能源发电设备多采用电力电子接口，不像传统同步发电机有物理惯性。系统整体惯性降低后，电压、频率等关键运行参数波动变大，给调度与控制带来更大挑战。负荷侧响应能力也不容乐观。受技术和市场机制限制，用户负荷侧参与度低，特别是居民用电领域，缺乏有效的需求响应管理体系。这使得电力系统调峰调频过度依赖发电侧，调节成本大幅增加。储能系统布局同样不完善。在容量配置、地理布局和调度机制上存在明显短板，部分地区储能容量不够，无法满足大规模新能源消纳；还有些储能资源利用效率低、调度策略不合理。信息孤岛与系统标准不统一的问题也阻碍着协同控制。各环节信息系统多为自建，通信协议和数据接口标准不统一，数据难以实时共享交互，影响协同效果。此外，控制策略缺乏统一规划与动态优化能力，多依赖人工经验和静态规则，面对系统快速变化，难以及时自适应调整，降低了系统应急处置能力^[1]。

2.3 电气自动化技术赋能协同控制的价值优势

电气自动化技术是现代电力系统的关键支撑，它借助传感器网络、智能终端设备、数据采集与监控系统（SCADA）、自动调度系统（EMS/DMS）等，达成对电力系统各环节状态的实时监控与动态调控。其优势显著。在实时监控与状态感知上，通过布设高精度传感器和边缘计算设备，能实时监测发电出力、网架状态、负荷变化和储能状况，为协同控制筑牢数据根基。快速响应与精确调度方面，现代自动化控制

系统响应速度达毫秒级到秒级，可快速进行负荷调节、频率调控与无功补偿，契合新能源大比例接入后的高动态调度需求。在人工智能与大数据分析领域，结合相关算法和平台，能深度挖掘历史运行数据，预测负荷变化与新能源出力特性，助力制定科学调度策略。云平台与边缘计算融合，云计算平台实现全局优化与集中控制，边缘设备负责本地执行与异常处理，形成混合控制架构，兼顾灵活与安全。信息标准化与互操作性上，普遍采用国际标准，实现设备与系统互联互通，消除信息孤岛，促进数据共享与协同优化。电气自动化技术提升了控制系统精度与效率，为源网荷储协同控制提供有力支持。未来，要完善电力自动化标准体系，推动新兴技术与电力自动化深度融合，提升新型电力系统综合调控与安全韧性^[2]。

3 基于电气自动化技术的源网荷储协同控制总体架构

3.1 协同控制系统结构设计

基于电气自动化技术构建的源网荷储协同控制系统，采用分层分布式结构是科学且高效的方案。此结构涵盖主控制中心、区域控制单元与终端执行设备三个层级，各层级分工明确、协同运作。主控制中心处于核心地位，承担着全系统的总体规划重任，依据电力系统的整体运行状况和长远目标，制定科学合理的协同控制策略，并将协调指令精准下发至各区域，确保系统运行方向的一致性。区域控制单元作为中间层级，接收主控制中心的指令后，结合本区域的电源、负荷、储能等实际情况，进行二次优化与局部控制，使控制策略更贴合区域特点，增强控制的灵活性与针对性。终端执行设备是具体操作的落实者，包含智能变电站、分布式电源逆变器等多种设备，它们严格按照区域控制单元的指令执行操作，保障各项控制措施落地见效。这种分层分布式结构便于系统规模扩展与灵活配置，实现整体一致与局部自适应的有机统一^[3]。

3.2 关键数据流与信息交互机制

协同控制系统核心在于实现源网荷储各环节的信息互通与实时交互。通过统一的数据通信平台与标准化协议，主控制中心能够实时获取各子系统运行数据，包括发电功率、电网状态、负荷曲线与储能容量等，并根据系统模型进行状态估计与预测。数据流主要包括实时监控数据、调度指令数据、故障报警数据与运行日志数据，需确保传输延时低、准确性高与安全性强。采用 IEC 61850 标准与 5G 通信技术可有效提升系统信息交互性能。

3.3 协同控制目标函数与优化算法

为达成新型电力系统源网荷储协同控制的高效运作，所构建的协同控制系统需确立明确目标，即实现系统运行成本最小化、设备利用率最大化以及系统安全性最优化。基于此目标，要搭建一个涵盖多目标、多约束条件的优化模型。

在约束条件方面，功率平衡约束是保障电力系统稳定运行的基础，确保发电与用电的实时平衡；线路容量约束可防止线路过载，保障电网传输安全；电压频率稳定约束能维持电力系统的基本运行参数在合理范围；设备运行安全约束则保证各类设备在安全工况下运行。为求解该优化模型，可采用多种先进优化算法。基于人工智能的深度强化学习算法、混合粒子群优化算法以及分布式协同优化算法都是不错的选择。这些算法能有效提升求解速度，增强结果的鲁棒性，使协同控制系统在复杂多变的电力运行环境中，快速准确地做出决策，实现最优控制^[4]。

4 源网荷储各环节协同控制关键技术路径

4.1 源侧新能源输出预测与优化控制

新能源发电具有波动性与不确定性，传统控制手段难以有效应对。采用基于大数据与机器学习的发电量预测技术，可实现对风力发电与光伏发电出力的短期与超短期预测。结合自动化控制设备与柔性调节装置，如柔性直流输电（VSC-HVDC）与无功补偿设备，对新能源输出进行优化控制与动态调节，实现新能源与传统电源的协调运行。

4.2 网侧输配电调度与电压频率稳定控制

输配电网作为能源输送主通道，其调度与控制直接影响系统整体协同效果。采用智能变电站与高级配电管理系统（ADMS），结合动态无功优化与频率响应技术，实现对电网电压与频率的动态调控。通过设立虚拟同步发电机（VSG）技术与自适应保护系统，提高电网抗扰能力与恢复速度，保障源网荷储整体协调运行。

4.3 荷侧需求响应与负荷灵活管理

负荷侧管理能力直接影响系统供需平衡。推广基于智能电表与用户侧终端的需求响应平台，结合动态定价机制，引导用户自主调整用电行为。针对工业负荷、商业负荷与居民负荷制定分层分类响应策略，实现精细化负荷控制。通过物联网与区块链技术，保障用户数据隐私与交易透明性，增强用户参与意愿与系统响应能力。

4.4 储能系统多场景优化调度

储能系统是平衡新能源波动与负荷变化的重要手段。采用电池储能、抽水蓄能与超级电容等多种储能技术，通过多时段、多场景优化调度算法，实现充放电策略优化。结合状态监测与寿命预测技术，动态调整储能系统运行参数，延长设备使用寿命，降低运维成本。

5 基于电气自动化技术的新型电力系统协同控制实施策略

新型电力系统源网荷储协同控制的高效推进，离不开标准体系建设与技术规范的完善。国家能源主管部门应发挥牵头作用，制定一套全面且综合的标准体系，涵盖系统结构、信息接口、数据安全以及性能指标等多个关键方面。同时，大力推广应用 IEC 61850、CIM（通用信息模型）与 OPC UA 等国际标准，以此确保系统具备良好的互操作性与兼容性，为协同控制技术的规范化发展筑牢根基。

在信息处理与共享方面，构建基于云平台的大数据融合与分析平台至关重要。该平台需具备强大的高并发处理能力、实时分析能力和多维度数据挖掘能力，能够对源网荷储各环节的数据资源进行有效整合，为系统运行状态的清晰展示、精准预警预测以及科学决策支持提供有力支撑。此外，还应积极推动电力系统与气象、交通、市场等外部系统的数据互联互通与共享共用。通过打破数据壁垒，实现信息的全面流通与深度融合，进一步提升新型电力系统源网荷储协同控制的整体水平，保障电力系统安全、稳定、高效运行，助力能源行业的可持续发展。

6 结语

本文围绕基于电气自动化技术的新型电力系统源网荷储协同控制策略进行了系统性研究，明确了源网荷储协同控制的基本内涵与实现价值，构建了完整的控制体系结构与关键技术路径。研究表明，通过引入现代电气自动化技术与信息通信手段，能够有效提升电力系统运行效率与新能源消纳能力，推动能源系统向更加智能化与绿色化方向发展。未来工作中，应继续深化人工智能、大数据分析区块链等前沿技术在电力系统协同控制中的应用，同时加强政策支持与标准建设，形成完善的技术生态与管理机制。

参考文献

- [1] 邵杨. 电气自动化技术在冶金电气工程中的应用[J]. 冶金与材料, 2024, 44(11): 92-94.
- [2] 徐礼峰. 电气自动化技术在生产运行电力系统中的运用分析[J]. 办公自动化, 2024, 29(21): 44-46.
- [3] 杨淇, 郑建梓, 彭昊杰. 电气自动化技术的应用与趋势展望[J]. 电子技术, 2024, 53(10): 72-74.
- [4] 盛旭阳, 郑远毓, 王晓宁. 电力工程中电气自动化技术的应用[J]. 光源与照明, 2024, (05): 192-194.