

自动化控制在智能电网中的应用研究

戴典兵

国家电力投资集团上海电力股份有限公司 上海 200000

摘要: 本研究以自动化控制在智能电网中的应用为研究对象,分析了智能电网的体系结构、运行特征及自动控制原理在电力系统中的关键作用。通过对控制器参数优化、算法模型构建及实时数据采集的技术分析,探讨自动化控制在输电、配电及调度管理环节的集成应用机制。自动化控制技术能够实现电网运行状态的实时监测、动态调整与自适应优化,显著提升系统的安全性、稳定性与经济性,为智能电网的高效运行提供了技术支撑。

关键词: 自动化控制技术; 智能电网; 应用研究

引言

智能电网作为现代能源体系的重要基础设施,是电力系统数字化、信息化与智能化发展的集中体现。随着可再生能源接入规模不断扩大,传统电网的运行效率和调度灵活性面临挑战。自动化控制技术的引入,使电网具备自感知、自诊断、自调节与自恢复的特征,成为推动电力系统向智能化转型的关键动力。本文从体系特征、控制原理和系统应用三个方面进行研究,探讨自动化控制在智能输电、配电与电网调度管理中的实际作用与发展方向,为电力系统优化与现代化建设提供参考。

1. 智能电网的体系结构与运行特征

智能电网体现了电力系统由集中式向分布式、由静态向动态、由人工向智能的转变。其体系结构由能源生产层、电力传输层、配电控制层、用户用电层与信息通信控制层五个层级组成,

能源生产层:我国风电、光伏等可再生能源并网装机容量已超 12 亿千瓦,自动化控制技术可使清洁能源消纳率提升至 95% 以上,减少弃风弃光现象。

电力传输层:特高压输电线路采用自动化控制技术后,输电损耗率降低至 5% 以下,较传统输电线路损耗减少约 3 个百分点;高压直流输电系统响应时间控制在 50 毫秒内,可快速应对功率波动。

配电控制层:智能配电网中,自动化控制技术实现故障定位时间缩短至 30 秒内,非计划停电恢复时间从传统的数小时缩短至 15 分钟以内,供电可靠性提升至 99.98%。

信息通信控制层:同步相量测量单元(PMU)采样频

率可达 100 帧/秒,数据同步精度控制在 1 微秒以内,为实时调度提供高精度数据支撑。

2. 自动化控制技术的基本原理与体系构成

2.1 自动控制理论在电网系统中的应用基础

自动控制理论在电网系统中的应用,主要体现在利用控制原理实现电能传输、分配与调度过程的稳定、协调和优化。电网作为典型的多输入多输出复杂非线性系统,具有响应速度快、扰动因素多、运行条件变化频繁等特点。自动控制理论通过建立系统数学模型,将运行状态变量转化为可观测、可控参数,实现对状态量的实时检测与反馈修正。

在线性控制领域,比例积分微分控制、线性二次调节和状态空间分析方法广泛应用于电压稳定与频率自动调整;在非线性控制方面,模糊控制、自适应控制和非线性预测控制有效应对系统的不确定性和时变特性。

自动控制理论的应用使电网运行由传统的被动调节模式向主动优化模式转变。通过实时反馈调节,可同时实现电力系统的稳态与暂态平衡。在分布式能源接入和可再生能源波动加剧的条件下,自动化控制技术能够在多时间尺度下实现发电与负荷的协调运行,提升电网的安全性与可靠性。

2.2 控制器设计的参数优化与算法模型构建

控制器设计的参数优化与算法模型构建是实现自动化控制系统精确性、快速性与稳定性的核心环节,其目标在于通过优化控制参数与算法结构,提高电网控制系统的动态性能与抗干扰能力。电网运行变量多、非线性强,传统控制器难以实现全局最优,因此需通过现代控制理论与智能算法对控制器参数进行自适应优化。

在设计过程中,应以系统状态空间模型为基础,构建电压、电流及功率等关键变量的动态方程,通过特征值分析与灵敏度计算确定系统稳定边界与最优控制参数范围。采用模糊逻辑、自适应神经网络与遗传算法等智能优化方法,可实现参数自动调整与自学习能力,从而使控制器在运行中具备环境适应性与动态修正功能。算法模型构建需综合考虑系统时延、非线性因素与多层级控制结构的协调性,通过引入分布式控制与层次化控制架构,实现全局最优与局部最优的统一。控制器的参数优化与算法模型的融合,使自动化控制由静态调节向智能决策转变,为智能电网的动态稳定控制与精准运行提供关键支撑。

2.3 实时数据采集与信号处理的动态特征分析

实时数据采集与信号处理是自动化控制系统实现智能响应和精确调度的关键环节。其核心在于利用高精度传感器网络和高速通信系统,对电压、电流、功率、频率等关键运行参数进行连续采样、传输和分析。电网的数据采集系统依托分布式测量装置、同步相量测量单元和状态估计算法,构建了多源信息感知体系,采样速率可达毫秒级,同步精度达到微秒级。

在信号处理环节,系统通过滤波、降噪、特征提取和频域分析等方法,消除随机扰动与异常噪声,保证输入数据的准确与稳定。动态特征分析则通过对时间序列和频谱特征的挖掘,揭示系统运行规律。利用快速傅里叶变换、小波分析和主成分分解等算法,可有效识别负荷波动、谐波畸变和暂态扰动,为控制策略调整提供数据依据。

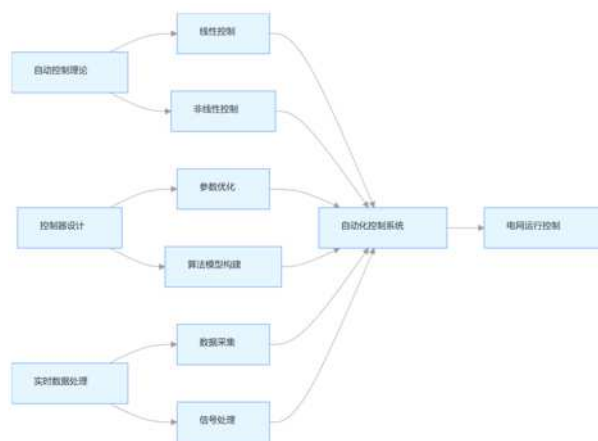


图1 自动化控制技术体系构成原理图

结合人工智能和大数据分析技术,系统能够实现运行状态的异常检测、趋势预测与自学习修正,增强在复杂运行

环境下的自主调节能力,为智能电网的自动化和预测性管理提供有力支撑。

3. 自动化控制技术在智能电网中的应用

3.1 在智能输电系统中的应用

在智能输电系统中,自动化控制技术的应用主要体现在长距离、高电压输电线路的实时监测、状态评估和自适应调节。智能输电系统线路分布广、节点众多、运行波动频繁,其安全运行依赖于对电压、电流、功率因数和电能质量等参数的高精度感知与动态控制。系统通过分布式测控终端、同步相量测量装置和智能断路器装置,构建了多维信息感知网络,实现输电状态的实时采样与动态评估。

在线路负载变化或外界干扰导致的电压波动过程中,自动化控制技术可通过实时反馈调节电压调节器与无功补偿装置,维持功率传输平衡与电压稳定。对于突发故障,如短路、过载与线路振荡等,系统能够利用自适应控制算法快速识别故障类型并自动隔离故障区域,实现系统的自愈控制与快速重构。

此外,自动化控制技术与高压直流输电技术的结合,使输电过程在能量传输效率、功率调节精度及损耗控制方面显著提升。多源信息融合与动态优化控制推动了输电系统向自适应方向发展,为复杂电力网络的安全性、可靠性与经济性运行提供了技术支撑。

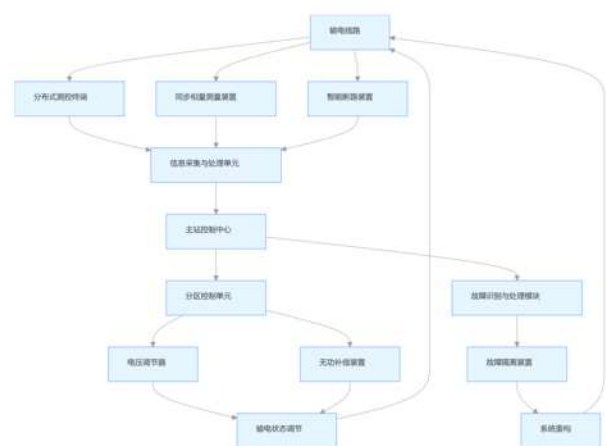


图2 智能输电系统自动化控制原理图

3.2 在智能配电网中的应用

在智能配电网中,自动化控制技术的应用主要体现在电能分配、负荷调节和供电可靠性提升等方面。作为连接输电系统与用户端的关键环节,智能配电网具有分布式电源接入多、负荷变化频繁和能量双向流动等特征。自动化控制系

统依托配电自动化终端、智能断路器和监控中心,实现运行信息的实时交互与状态调控。系统通过负荷预测模型与电压优化算法,完成分区调节和节点电压平衡,保持配电系统稳定运行。

在分布式能源接入条件下,系统可根据功率流分布实时调节有功与无功功率,避免局部过载与电能逆流,功率分配响应时间小于1秒,过载发生率降低约40%。针对电力波动和突发故障,系统具备故障定位、隔离与自愈重构功能,定位精度可达米级,非计划停电时间由传统的数小时缩短至5分钟以内,显著提高了供电连续性。

通过引入模糊控制和自学习算法,系统可根据不同时段的用电特性自动调整负荷分配策略,使能源利用效率提高约10%。同时,自动化控制技术与智能测控设备的融合,使电网运行状态实现可视化与数据化管理,信息更新频率达到1秒/次。用户侧智能终端依托双向交互平台开展用电监测与需求响应,构建“源—网—荷—储”协同优化机制,用户响应参与率超过60%。

该系统有效增强了配电网的运行弹性与稳定性,促进可再生能源的高比例接入与区域能源的协调发展,为配电网向数字化、智能化和高效化方向转型提供了重要支撑。

3.3 在电网调度与管理中的集成应用

在电网调度与管理中,自动化控制技术发挥着宏观决策、协调运行和应急处置的支撑作用。电网调度是能源分配与系统运行的核心环节,需要实现多电源协调、跨区域互联以及不同时间尺度下的精确控制。通过构建统一的能源管理与控制中心,可实现发电、输电和配电环节的信息共享与协同优化。

系统基于实时数据采集、状态估计和动态仿真技术,运用控制算法对电力需求预测、负荷分配和发电计划进行综合分析,形成自适应的调度策略。当电网出现负荷波动、设

备异常或突发故障时,系统能够快速识别异常状态并进行应急调度,及时切换备用电源、调整功率输出、优化潮流分布,保持电网稳定运行。

在管理层面,自动化控制技术与专家系统、大数据分析平台相结合,实现多维信息整合、风险评估和智能决策支持。同时,调度自动化系统、能源管理系统与配电管理系统深度融合,形成分层分区的协同控制结构,推动电网由集中控制向区域自治和全网协同方向发展。

结语

自动化控制技术的广泛应用推动了智能电网体系结构的重构与运行模式的革新,推动电力系统由被动调节向主动优化转变。通过控制算法的智能化升级、数据采集的高精度融合及分层分布式控制的构建,电网运行的实时性与自适应能力显著增强。未来应进一步加强算法优化、信息安全与多能协同控制的研究,构建开放、可靠、可持续的智能电网控制体系,促进能源系统高效、安全运行。

参考文献:

- [1] 谢卫彬. 自动化控制在智能电网中的应用研究[J]. 新疆钢铁,2025,(03):229-231.
- [2] 陈璐. 智能电网融合背景下电力计量机械自动化控制技术的多模态优化及精准负荷调控应用[J]. 信息系统工程,2025,(07):80-82.
- [3] 何媛,耿睿,杨栋,等. 智能电网中电磁计量技术的应用与自动化控制策略研究[J]. 仪器仪表用户,2025,32(06):71-73+76.
- [4] 宁显斌. 自动化技术在通信领域中的应用[J]. 信息与电脑(理论版),2024,36(05):156-158.
- [5] 黄瑞. 基于电力系统的电气自动化控制技术运用的探析[J]. 江西电力职业技术学院学报,2022,35(02):17-19.