

# 电气工程中的自动化设备与控制系统研究

郭卫平 薛彦飞

岳阳长炼机电工程技术有限公司多伦分公司

DOI:10.32629/etd.v7i4.20243

**[摘要]** 随着工业4.0与智能电网时代的到来,自动化设备与控制系统已成为现代电气工程的核心支柱。本文将对电气工程中的自动化设备与控制系统进行研究,旨在为电气自动化领域的研究与工程实践提供全面的参考框架。

**[关键词]** 电气工程; 自动化设备; 控制系统

**中图分类号:** F407.6 **文献标识码:** A

## Research on Automatic Equipment and Control Systems in Electrical Engineering

Weiping Guo Yanfei Xue

Duolun Branch, Yueyang Changlian Electromechanical Engineering Technology Co., Ltd.

**[Abstract]** With the advent of Industry 4.0 and the smart grid era, automatic equipment and control systems have become the core pillars of modern electrical engineering. This paper conducts research on automatic equipment and control systems in electrical engineering, aiming to provide a comprehensive reference framework for research and engineering practice in the field of electrical automation.

**[Key words]** Electrical engineering; Automatic equipment; Control systems

### 引言

电气工程致力于电能的高效、可靠生产与利用,自动化技术是其实现这一目标的“神经中枢”。它通过设备与系统替代或辅助人工,完成实时监测、精准控制与优化管理,大幅提升了能效、安全与生产水平。技术历程从继电器控制演进至计算机集散系统,如今正深度融合信息技术,向网络化、智能化飞速发展。在工业数字化转型背景下,深入研究电气自动化具有重要的理论与现实意义。

### 1 电气工程核心自动化设备研究

#### 1.1 感知与测量设备研究

感知与测量设备构成自动化系统的“感官”层,这一层的核心任务是准确且可靠地获取电气参量以及相关非电气状态量,再把这些原始数据转变为控制系统可识别和处理的标准化的信息。在现代电气工程领域,感知设备已经从简单的信号转换器发展成高度智能化的信息节点,其中智能电气测量仪表是电力系统数字化的基础,像智能电表、电能质量分析仪、合并单元等就是代表,它们的功能早已超出传统计量范围,如智能电表,能进行分时费率计量,还有双向通信、远程通断、窃电检测等功能;电能质量分析仪可以实时监测并记录电压暂降、谐波畸变、频率偏差等事件,为供电可靠性评估和治理提供参考。在智能变电站中,合并单元作为过程层的核心设备,负责同步采集多路互感器的模拟量。按照IEC 61850标准转换为数字采样值,依靠高速

以太网提供保护和控制设备,彻底改变了变电站的二次接线方式。这些仪表普遍支持DL/T 645、IEC 61850 MMS/GOOSE等电力专用规约,保证了在严苛电磁环境下的数据可靠传输与互联互通。另一方面,智能传感器与变送器广泛分布在变压器、开关柜、电动机等关键设备上,用来监测温度、压力、振动、局部放电等反映设备健康状态的物理量。它们内置微处理器,具备自诊断、温漂补偿、数字滤波等功能,凭借HART、Profibus PA、FF等现场总线或IO-Link等轻量级接口,将带有丰富上下文信息的数字信号直接上传到控制系统。这种深度的状态感知能力,是实现预测性维护、避免非计划停机的数据来源,标志着自动化系统从“故障后响应”向“风险前预警”的深刻变化。感知层的数据质量与广度,直接决定上层控制与决策的准确程度与有效程度<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 控制与保护设备研究

控制与保护设备在电气自动化系统中有着极其关键的地位,就如同系统的“大脑”以及“神经中枢”一般,承担着处理感知层上传过来信息的任务,去执行复杂的逻辑判断、控制算法运算以及非常关键的保护动作,并且向下层执行机构发出精准的指令。可编程逻辑控制器即PLC,作为通用控制器的典型代表,其研究和应用已经发展到比较成熟的阶段。现代的PLC从最开始作为逻辑继电器的替代物,逐渐演变成了一个集逻辑控制、过程控制、运动控制、网络通信等多种功能于一体的高性能多功能平

台。在电气工程的应用当中,其核心优势主要体现在以下几个方面:拥有强大的多任务以及实时处理能力,可在同一个硬件平台上并行处理离散设备的启停联锁以及多轴伺服系统的精密同步运动控制;集成安全功能在不断提高,依靠获得安全认证的PLC或者专用安全模块,可以构建符合IEC 61508/61511标准的安全仪表系统,即SIS,实现和基本过程控制系统即BPCS的物理或者逻辑隔离,保证在危险状况下可安全停机;以及卓越的通信组网能力,现代PLC普遍集成了多种工业以太网协议接口,像PROFINET、EtherNet/IP等,可以连接下层的远程I/O以及智能设备,还可以和上位的SCADA、MES系统实现无缝集成,甚至可以充当不同网络协议之间的网关。此外,针对电气系统特定功能的专用控制器以及嵌入式系统代表了另外一个研究方向。例如,继电器保护装置是电网安全运行的守护者,其算法可在毫秒甚至微秒级的时间内准确识别故障并且跳闸;自动发电控制装置即AGC,负责实时调整发电机组的出力,以此来维持电网频率以及联络线功率的稳定;无功补偿控制器如SVG、SVC的控制系统,则希望能够快速调节无功功率,稳定系统电压。这些专用设备一般采用高性能的DSP或者专用芯片,运行经过严格验证以及优化的特定算法,在可靠性、实时性以及专业性方面达到了很高的水平,构成了保障电气主系统安全稳定运行的“第一道防线”。控制层的演进趋势是通用平台的柔性化和专用设备的智能化相互结合。

当下控制设备的发展呈现出新的特性,如软硬件解耦、云端协同以及智能内嵌等。一方面,借助虚拟化与容器技术的软PLC逐渐兴起,其将控制功能以软件的形式安置在通用服务器或者工业边缘网关中,提高了系统的灵活性以及可扩展性。另一方面,边缘控制器的概念变得日益凸显,其在靠近数据源的地方达成实时控制以及数据分析,减轻了云端的负担并且降低了时延。人工智能芯片与算法开始被嵌入到控制器当中,达成自适应控制、异常检测以及优化决策。举例来说,在电机控制领域,基于神经网络的自整定PID算法可在线调整参数来应对负载变化,在保护装置方面,深度学习模型可用于复杂故障类型的识别和分类,提高保护的选择性与速动性。

### 1.3 驱动与执行设备研究

驱动与执行设备在自动化系统中扮演着类似“手足”和“肌肉”的角色,其承担的任务是把控制层发出的抽象指令,最终转变成实际的物理动作或者精确的能量变换,直接作用到被控对象上。智能电力电子驱动装置是电气传动领域的革命性成果,其核心代表包括变频器、伺服驱动器以及软起动机。这些设备不只是一功率转换单元,更是具有高度智能化的控制节点。以现代变频器来说,其内部整合了先进的电机控制算法,像矢量控制和直接转矩控制等,可实现对交流电机转矩和转速的解耦以及精准控制,性能堪比直流调速。它们一般都支持高速实时以太网通信,作为从站接入PROFINET、EtherCAT等网络,实时接收速度或者转矩设定值,还可反馈电流、温度、能耗等详细运行数据,让电机从“盲目执行”变为“透明可控”。伺服驱动器在精度和

动态响应方面要求更为严格,广泛应用于机器人、数控机床等需要精确定位的场所,而智能开关电器与机电调节机构是电力系统直接的操作终端,具有通信功能的智能断路器,集合了保护、测量、诊断、通信等功能于一身,可实现远程分合闸、对故障电流进行防护、监测电能质量,并且通过网络上报自身状态,是构成配电自动化的基础。电动操作机构让传统的隔离开关、接地刀闸可接受自动化系统的遥控指令。在输配电系统中,自动调压变压器分接开关的控制器,可依据实时监测的电压值自动调整变压器变比,达成对供电电压的闭环稳定控制。这些执行设备的智能化,使控制系统可从变电站延伸到配电线路甚至用户端,为实现快速的故障隔离、网络重构以及优化运行提供了物理基础。执行层的技术进步,直接决定了自动化策略能否有效实施,以及整个系统的动态性能与能效水平<sup>[2]</sup>。

展望未来,执行设备将更加注重能效提升、可靠性与可维护性。例如,新一代变频器采用碳化硅(SiC)或氮化镓(GaN)等宽禁带半导体器件,可大幅提高开关频率与效率,减小体积与损耗。在伺服驱动领域,集成式电机驱动器(Drive-on-Motor)将功率单元与电机本体紧密结合,简化安装并提升动态性能。同时,执行设备的预测性健康管理功能不断加强,通过内置算法分析电流谐波、振动频谱等特征,提前预警轴承磨损、绝缘老化等潜在故障。

## 2 电气工程中控制系统研究

### 2.1 面向高可靠与复杂过程的分布式控制系统(DCS)研究

DCS研究的研究核心在于处理大型、连续且复杂的电气—工艺耦合系统的协调控制以及安全运行问题,其研究重点已从基础的分散控制架构,转变为更具深度的集成化、智能化以及高可靠性设计。架构层面,研究主要关注控制网络的健壮性与实时性,一般采用冗余环网或者双星型拓扑结合高确定性工业以太网协议,以此保证关键控制指令可在毫秒级实现确定传输。控制站的功能研究朝着“专用化”与“虚拟化”相结合的方向发展。一方面,针对锅炉燃烧控制、汽机调速等特定工艺研发专用控制算法包;另一方面,借助虚拟化技术在一台高性能控制器上安全且隔离地运行多个控制任务,提高硬件利用率以及系统灵活性。与现场设备的深度融合是关键的发展方向。依靠集成各类现场总线网关或者直接支持IO—Link主站,DCS可直接管理和配置智能传感器、执行器,获取更为丰富的设备状态信息,为预测性维护提供数据基础。最后,信息集成研究聚焦于采用统一的数据模型,达成DCS与厂级监控信息系统、管理信息系统的无缝数据流动,构建从底层控制到上层管理与优化的垂直集成体系,实现全厂级的能效分析与优化调度<sup>[3]</sup>。

### 2.2 面向广域监测与调度的数据采集与监控系统(SCADA)研究

SCADA的研究主要围绕地理分布较为分散且规模较大的电气网络展开,像电网以及油气管道这类网络,其研究内容包括实时监视、远程控制以及智能调度。当前SCADA的前沿研究已经突破了传统的数据汇集以及画面展示范畴,朝着智能化分析、协同

控制以及主动安全方向发展。在通信与数据接入方面,研究重点是异构网络融合以及海量终端接入管理。要构建可靠的感知网络,就需要考虑如何将光纤专网、电力线载波、4G/5G无线公网与专网等多种通信方式进行高效且安全的整合,同时还要管理数量众多的远程终端单元以及智能终端,在数据平台方面,基于云架构的SCADA系统逐渐成为一种趋势,研究主要集中在海量实时/历史数据的分布式存储、快速检索以及流式计算上,以此来支撑毫秒级的数据入库以及秒级的多维分析。在应用智能化方面,研究重点是把人工智能算法与SCADA进行深度融合。例如,在电网中,可以利用SCADA采集的广域测量数据,借助机器学习模型来进行暂态稳定评估、故障智能诊断与定位;在配网中,结合拓扑分析与实时数据,实现故障的快速自动隔离以及非故障区段的恢复自愈。另外基于统一标准的信息模型与数据交换研究,是解决多源异构系统互联互通问题、实现跨区域以及跨层级电网协同优化的关键所在。

### 2.3面向柔性化与高精度运动的集成控制系统研究

在电气自动化场景中,离散和批量制造是其典型代表。在此场景下,以PLC和工业以太网作为核心构建的集成控制系统,其研究重点是实现生产系统的高柔性、高精度以及高效率。研究最先体现在网络技术的发展变化上。为了契合多轴伺服系统纳秒级同步精度的要求,基于时间敏感网络即TSN的工业以太网成为研究热门。TSN为标准以太网提供了确定性传输保障,让运动控制、安全信号和常规数据可在同一个网络里“共线”传输,极大地简化了系统架构并且提升了同步性能。控制器的研究朝

着开放化以及IT/OT融合方向发展。现代PLC支持IEC 61131-3标准语言,还开始兼容高级语言,方便集成视觉处理、复杂算法等IT模块。同时,OPC UA over TSN的架构,为从传感器到云端的纵向数据提供了一致性信息模型,达成了IT世界与OT世界数据的语义互操作。最后,软件定义与控制虚拟化成为关键的发展方向。凭借采用基于IEC 61499标准的分布式控制模型,控制逻辑可封装成独立于硬件平台的功能块,并且在网络中的任意计算节点灵活部署和迁移,这为实现生产线的快速重构、柔性制造以及“即插即产”的模块化生产单元奠定了技术基础。

### 3 结束语

电气自动化技术正从信息化迈向智能化。面对系统集成与安全等挑战,融合人工智能与工业互联网成为关键。推进自主创新,将为构建新型电力系统和实现智能制造提供核心支撑,引领电气工程学科持续发展。

### [参考文献]

- [1] 聂玉菲. 电气工程及其自动化技术下的电力系统自动化发展分析[J]. 产品可靠性报告, 2024(4): 81-83.
- [2] 王凯辉. 电气工程和自动化技术在工业控制柜中的应用研究[J]. 造纸装备及材料, 2024, 53(12): 105-107.
- [3] 李伟. 试论电气工程与其自动化的智能化技术应用[J]. 仪器仪表用户, 2024, 31(12): 127-128+131.

### 作者简介:

郭卫平(1988--),男,汉族,内蒙古赤峰人,大专,毕业于内蒙古化工职业学院机电一体化专业,研究方向:机电一体化。