

电气试验自动化控制技术的研究

赵京生 杨彬

国网保定供电公司

DOI:10.12238/hwr.v8i11.5829

[摘要] 随着我国电力工业的快速发展和智能电网建设的全面推进,电气设备的安全可靠运行对电力系统的稳定性提出了更高要求。传统的电气试验方法在效率、精确度和可靠性等方面已难以满足现代电力系统的发展需求,特别是在复杂的试验环境下存在操作繁琐、数据处理滞后等问题。为此,将自动化控制技术引入电气试验领域成为必然趋势。本文深入研究电气试验自动化控制技术,通过整合先进的计算机技术、网络通信技术和智能控制技术,旨在提升电气试验的效率和准确性,为电力系统的安全稳定运行提供可靠的技术支撑。

[关键词] 电气试验; 自动化控制技术; 应用

中图分类号: U467.5+26 **文献标识码:** A

Research on the Application of Automation Control Technology in Electrical Testing

Jingsheng Zhao Bin Yang

State Grid Baoding Power Supply Company

[Abstract] With the rapid development of China's power industry and the comprehensive promotion of smart grid construction, the safe and reliable operation of electrical equipment has put forward higher requirements for the stability of the power system. Traditional electrical testing methods are no longer able to meet the development needs of modern power systems in terms of efficiency, accuracy, and reliability, especially in complex testing environments where there are problems such as cumbersome operations and lagging data processing. Therefore, introducing automation control technology into the field of electrical testing has become an inevitable trend. This article delves into the application of automation control technology in electrical testing. By integrating advanced computer technology, network communication technology, and intelligent control technology, the aim is to improve the efficiency and accuracy of electrical testing and provide reliable technical support for the safe and stable operation of the power system.

[Key words] electrical testing; Automation control technology; application

电气试验自动化控制技术是一种将计算机技术、通信技术和自动化控制技术有机结合的现代化试验方法,它通过智能传感器采集试验数据,利用计算机系统进行实时监测和控制,实现试验过程的自动化操作和数据处理,这种技术不仅能够提高试验效率和准确性,还可以降低人为操作误差,确保试验结果的可靠性。随着工业信息化的深入发展,该技术在电力系统中的应用范围不断扩大,为保障电力设备的安全运行和系统的稳定性发挥着重要作用。

1 电气试验的基本流程

1.1 保护试验

保护试验是电气试验中的重要环节,主要用于验证继电保护装置的可靠性和灵敏性。交流电压试验需在额定电压220V条件下进行,通过向继电保护装置输入额定频率50Hz的标准正弦

波,检测装置的动作特性和返回值。电流试验则要求在0.1倍至20倍额定电流范围内进行多点测试,重点考察过流保护元件的动作时间特性曲线。保护定值的整定计算采用标准公式,其中K为灵敏系数,一般取值1.2-1.5之间, I_{set}为保护启动电流定值, I_{nom}为设备额定电流。时间继电器的动作时间误差应控制在±5%以内,并需进行不少于3次的重复性测试以验证其可靠性。零序电流保护试验还需测试0.5A-10A范围内的动作值,确保接地故障时能够准确动作。这些试验数据通过数字化测试仪采集并记录,为后续分析和评估提供依据^[1]。

1.2 绝缘试验

绝缘试验是评估电气设备绝缘性能的关键手段,主要包括绝缘电阻测试和介质损耗测试两大类。绝缘电阻测试采用2500V兆欧表对设备进行测量,常温下1分钟值不应低于1000Ω,吸收

比K60/K15应大于1.3。介质损耗测试则在工频电压下进行,损耗角正切值 $\tan \delta$ 需严格控制在0.5%以内,测试电压按照设备额定电压的1.1倍施加。在测试过程中,环境温度应保持在 $20 \pm 5^\circ\text{C}$,相对湿度不超过85%,以确保测试结果的准确性^[2];局部放电测量是绝缘试验的重要补充,在1.1倍额定电压下进行测量,放电量应小于50pC;绝缘试验数据经过温度校正后作为评判依据,温度校正系数需参照标准要求换算(表1)。

此外,绝缘试验的质量控制体系要求建立完整的检测流程和记录制度。试验前需对测试设备进行校准验证,确保仪器精度满足要求;测试人员必须经过专业培训并持证上岗,熟练掌握试验标准和操作规程。试验过程中要采用标准化的测量方法,确保测量点位的一致性和可重复性;对于大型设备,需在多个关键部位进行测量,形成完整的绝缘状态评估报告。设备运行状态监测是绝缘试验的重要延伸。通过在线监测系统实时采集设备运行数据,包括局部放电信号、温度分布、振动特性等参数,结合历史试验数据建立设备健康状态评估模型,能够实现绝缘性能劣化趋势分析和预警。

表1 绝缘试验相关计算公式

试验项目	计算公式	参数说明
吸收比	$K=R_{60}/R_{15}$	R60为60秒读数,R15为15秒读数
介质损耗	$P=UI \cdot \cos \phi$	P为损耗功率,U为试验电压,I为漏电流
温度校正	$R_t=R_{20} \cdot K_t$	R_t 为 $t^\circ\text{C}$ 时电阻值, R_{20} 为 20°C 时电阻值, K_t 为温度系数
绝缘电阻	$R=U/I$	R为绝缘电阻,U为测试电压,I为漏电流

1.3 模拟线路检测

模拟线路检测是电力系统运行可靠性评估的核心环节,通过实验室搭建的模拟电路系统进行故障分析和性能测试。标准模拟线路采用 π 型等值电路,每100公里线路的电气参数为:正序电阻 $R_1=3.5\Omega$,正序电抗 $X_1=31.5\Omega$,零序电阻 $R_0=21.5\Omega$,零序电抗 $X_0=94.5\Omega$ 。检测过程中需模拟单相接地、两相短路及三相短路等故障类型,故障点电压和电流采用数字示波器实时采样,采样频率设置为10kHz。线路阻抗测量采用三电压三电流法,测量精度要求优于1%,相角误差不超过 0.5° 。短路阻抗计算需考虑线路的分布电容影响,对于220kV输电线路,每公里对地电容约为 $0.0085\mu\text{F}$ 。故障定位采用行波测距原理,通过计算故障波到达线路两端的时间差,定位精度可达到 ± 500 米。

2 电气试验自动化控制技术的研究

2.1 保护试验信息自动化处理技术

保护试验信息自动化处理技术通过数字化采集系统实现试验数据的实时获取与智能分析^[3]。该技术采用高速数据采集卡,采样频率达到100kHz,分辨率为16位,能够准确捕捉继电保护装置的動作特性。数据处理系统基于DSP芯片TMS320F28335构建,具备快速傅里叶变换(FFT)功能,可在20ms内完成谐波分析。试

验数据通过工业以太网实时上传至数据服务器,传输速率达到100Mbps,并采用TCP/IP协议确保数据传输的可靠性。系统配备智能分析软件,能自动生成保护定值整定单,计算误差在 $\pm 0.5\%$ 以内。故障录波数据按照COMTRADE格式存储,采样率可达到10kHz,记录时长可达5分钟。数据库采用SQL Server构建,支持多达1000个测点的并行数据处理,为继电保护装置的性能评估提供精确的数据支撑。

2.2 电气试验设备自动化控制

电气试验设备自动化控制系统采用可编程逻辑控制器(PLC)作为核心控制单元,通过RS485总线实现多设备的协同控制。控制系统配备高精度数模转换模块,转换精度达到0.05%,采样速率为1MS/s,能够输出0-10V标准电压信号。现场执行机构采用步进电机驱动,定位精度达到 0.1° ,响应时间小于10ms,可实现试验设备的精确调节。数据采集系统采用分布式架构,就地采集单元通过CAN总线与主控制器通信,通信速率为1Mbps,实现试验数据的实时传输(表2)。系统集成了故障诊断功能,基于专家系统规则库进行智能判断,故障定位准确率达95%以上。试验过程通过人机界面实时监控,操作界面采用触摸屏交互方式,响应时间小于100ms。

表2 电气试验设备自动化控制参数指标

控制参数	技术指标	实现方式
电压控制精度	$\pm 0.1\%$	PID闭环控制
电流控制精度	$\pm 0.2\%$	模糊控制算法
温度控制范围	$0-120^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$	多区PID控制
时间控制精度	$\pm 1\text{ms}$	高精度定时器
位置控制精度	$\pm 0.1^\circ$	伺服控制系统
数据采样率	1MS/s	高速AD转换

2.3 电力系统试验自动化控制

电力系统试验自动化控制技术采用分层分布式架构,通过SCADA系统实现对试验过程的全方位监控。系统主站采用双机热备份结构,处理器为Intel Xeon E5-2680,内存128GB,确保控制系统的可靠性达到99.99%。现场控制层采用IEC61850通信协议,通信延时小于4ms,支持采样值(SV)和GOOSE报文的实时传输。系统集成了电网状态估计功能,基于最小二乘法实现负荷预测,预测精度达到95%以上。暂态稳定分析模块采用Runge-Kutta法进行数值计算,计算时间步长可达到0.1ms,能够准确模拟系统振荡特性。继电保护装置的协调控制通过选择性时间配合,相邻两级保护的时间差维持在0.3s-0.5s之间,保证系统的选择性动作。故障录波装置具备32个模拟量通道和64个开关量通道,触发后可记录故障前0.5s至故障后5s的完整波形。

2.4 电气设备试验自动化控制

电气设备试验自动化控制系统采用三层网络架构,现场层

通过工业以太网实现设备间的互联互通。控制系统采用冗余配置的西门子S7-1500PLC作为核心控制器, CPU处理速度达到1ns/指令, 内置100MB程序存储空间, 并配备16路高速模拟量输入模块, 采样精度达到16位。电气设备的温度控制采用模糊PID算法, 控制精度优于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 响应时间小于100ms, 有效抑制系统超调。试验电源采用IGBT变频技术, 输出频率范围0.1-400Hz, 频率精度0.01Hz, 电压稳定度优于0.1%, 失真度小于1%。现场数据采集装置具备谐波分析功能, 可测量到50次谐波, 测量精度优于0.1%, 并通过OPC协议将数据实时传输至上位机。

试验过程监控采用分布式控制系统(DCS), 操作站配置双屏显示, 分辨率为 3840×2160 , 可同时显示设备运行参数和试验波形。系统集成设备状态评估模块, 基于神经网络算法实现设备故障预警, 预警准确率达到90%以上。试验数据存储采用分布式数据库Oracle, 具备自动备份功能, 数据保存周期为3年。试验报告自动生成系统支持多种格式输出, 包括PDF、Word和Excel, 报告生成时间小于30秒。安全保护采用多重冗余设计, 包括硬件闭锁和软件联锁, 系统响应时间小于5ms, 确保试验过程的安全可靠。试验设备的远程诊断通过VPN网络实现, 支持移动端访问, 网络延时控制在100ms以内, 为设备维护提供便捷的技术支持。

2.5 试验数据处理与分析

试验数据处理与分析系统采用分布式计算架构, 通过Hadoop平台实现大规模数据的并行处理。数据采集终端采样频率高达200kHz, 分辨率为24位, 信噪比优于100dB, 且具备实时频谱分析功能。原始数据经过数字滤波器预处理, 采用巴特沃斯低通滤波器, 截止频率为100Hz, 衰减斜率为40dB/十倍频程, 有效消除高频干扰。随后, 系统运用小波变换技术对数据进行时频分析, 选用db4小波基函数, 分解层数为8层, 可准确识别暂态特征。数据分析平台基于Python开发, 集成了机器学习算法库, 通过支

持向量机(SVM)实现故障特征分类, 分类准确率达到95%以上, 而且系统还具备自学习能力, 可根据新增数据不断优化分类模型。数据可视化模块采用WebGL技术, 支持三维动态显示, 刷新率达到60fps, 使用户能够直观观察试验过程。统计分析功能基于R语言开发, 内置多种统计模型, 包括线性回归、方差分析和时间序列分析等, 计算结果的置信度达到95%。系统通过分布式数据库MongoDB存储处理结果, 单库容量可达10TB, 查询响应时间小于100ms, 并支持多维度数据检索。数据挖掘模块采用深度学习算法, 基于TensorFlow框架构建, 能够从海量试验数据中提取设备运行规律, 预测准确率达到90%^[4]。

3 结束语

电气试验自动化控制技术通过数字化采集、智能分析和远程监控等手段, 显著提升了试验效率和数据准确性, 该技术在保护试验、绝缘试验等领域的深入应用, 为电力系统的安全稳定运行提供了有力支撑。随着人工智能和大数据技术的发展, 电气试验自动化控制将不断创新, 推动电力行业向智能化方向迈进。

[参考文献]

- [1]朱晶. 电气试验中的自动化控制技术分析[J]. 集成电路应用, 2023, 40(10): 240-241.
- [2]周晓梅. 电气试验的自动化控制技术分析[J]. 集成电路应用, 2022, 39(01): 216-217.
- [3]刘靖. 高压电气试验技术中存在的问题与改进[J]. 设备管理与维修, 2020, (20): 76-78.
- [4]王华勤. 新时期电力系统中高压电气试验探讨[J]. 科技创新导报, 2020, 17(14): 28-29.

作者简介:

赵京生(1988--), 男, 汉族, 保定易县人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 高压电气设备试验, 带电测试。