

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2018.08.001

大容量试验控制系统简述

刘 壮, 赵庆斌, 黄 实, 袁 佳
(Laboratories)

摘要: 介绍了大容量试验室二次控制系统的功能、组成、特点以及传统容量试验室在提高系统可靠性、稳定性、安全性等方面所采取的方案,分析了智能化、数字化时代下,大容量试验站二次系统的发展趋势及特点,指出它在变得越来越智能化、人性化、集成化的同时,安全性和可靠性问题不容忽视。

关键词: 大容量试验; 控制系统; 智能化

A Brief Overview of the Control System in High Power Laboratories

LIU Zhuang, ZHAO Qingbin, HUANG Shi, YUAN Jia
(China)

Abstract: This paper introduced the function, constitution, characteristics as well as design methods of control system in high power laboratories. In addition, it reviewed the developing trend of the control system. Finally, it concluded that as well as the control system become more and more smart, user-friendly and integrated in the era of intelligent and digitalization, the issues of safety and reliability are unneglectable.

Key words: high power laboratory; control system; intelligent

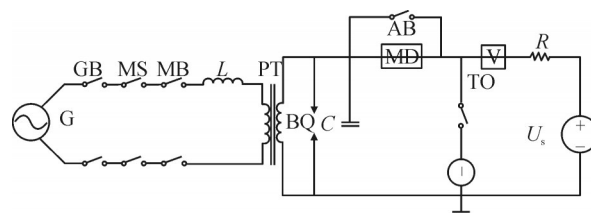
0 引言

大容量试验室通常配备短路发电机、冲击变压器、断路器、隔离开关、电阻器、电容器以及电抗器等高压设备,进行高压开关设备、变压器、避雷器等设备的大容量短路试验。其一、二次主设备与发电厂及变电站有类似之处。由于该系统工作在发电机短路状态,在安全性、稳定性、可靠性、灵活性和安全性上有苛刻的要求,在数字化智能化时代呈现出自身的特点。

1 大容量试验控制系统的特点

大容量控制主要完成以下功能^[1]: ①控制和监控控制系统设备完成试验准备并监控整个试验系统,确保人员和设备安全;②试验执行,控制试验室设备及客户产品在试验过程中按照指定程序执行操作命令;③试验数据采集、处理、分析以及试验报告生成。该系统通常分为5个部分,即发电机组控制系统、主回路控制系统、试品控制系统、试验控制

系统以及测量报告系统。其中前三者(简称设备管理系统)完成试验主设备的控制,见图1。在试验时,依靠试验控制系统启动流程控制来使得主回路各设备按照预定程序进行操作,即警报、发电机励磁升压、短路、试品(被试产品)开断、空载电压持续以及解除试验(切除电源、降压、消除警报等)。而测量和报告系统完成第3项功能。



G—短路发电机; GB—保护开关; MS—合闸开关;
MB—操作开关; BQ—保护间隙; AB—辅助开关;
TO—试品; PT—变压器; R—电阻; L—电抗器;
C—电容; V—电压测量; I—电流测量;
Us—直流电压源; MD—关合装置;

图1 容量试验典型主回路图

Fig. 1 Typical main electric connections in high power short-circuit tests

由于主设备通常工作在短路状态,大容量试验

控制系统呈现以下特点:

试验时,主设备处于短路状态,对可靠性、抗干扰能力、安全性有特殊要求,因而广泛采用光电和电光转换、隔离变压器、光纤传输等措施,采用不间断交流电源、大容量电池、电容器或者直流电源供电,并在电源系统、处理单元、I/O通道及通讯通道上均采用冗余设计。

二次系统对实时性要求高,延迟时间要求短且稳定。为了确保试验参数在标准要求的范围内,容量试验室对控制精度要求非常高,如合成试验要求在 $50\text{ }\mu\text{s}$ 以内^[2]。KEMA和西安高压电器研究院(XIHARI)的合闸开关控制精度均可以达到 0.05 ms ^[3]。因而导通时间短稳定性高的元器件如IGBT、固态继电器、光电耦合器、CMOS管以及可控硅使用广泛。

对二次回路与主系统、接地系统隔离要求高。试验时回路异常时可能出现接地短路,地电位将大幅提高。试验产品出现故障时可能出现外部闪络,电弧可能进入二次线路,威胁二次系统安全和操作人员安全,因而设备尤其是测量系统的接地系统需要与主系统有效隔离^[4]。

2 大容量试验控制系统的发展

按照控制系统的主器件的类型和功能,与变电站类似,国内外试验室经历了3个发展阶段,即传统的电磁型或晶体管型模拟控制系统;20世纪90年代以微机自动装置、PLC等为基本组件的自动化控制系统;以及智能组件为基本组成的智能化控制系统^[5]。为满足人们对系统可靠性、稳定性、人员安全、人性化服务、智能化等方面的要求,在提高系统稳定性、精确性、可靠性及高效的同时,大容量试验站控制系统呈现以下发展特点。

2.1 主回路控制智能化

为减少远方控制带来的延迟并提高系统可靠性,试验室主开关控制多采用DCS(distributed control system,分布式控制系统),如XIHARI早在2000年就建立了基于欧姆龙可编程控制器的发电机控制系统,用了PLC以及工业组态技术,具有人机交互、自动告警以及历史查询等功能。类似如文[6]介绍了一种基于西门子S7-300可编程控制器的冲击发电机组控制系统,实现了对短路发电机组的油水、励磁、拖动电机的一体控制。

主开关DCS系统通常集成了采集、处理和输出单元,紧急状态下,开关可自动跳闸,无需远方发出紧急跳闸指令。在主开关、发电机组上普遍采用自

主研发的智能传感器。由于容量试验设备在耐受短路电流带来的电动力、电弧烧蚀、电磁干扰、以及操作过电压方面,需要进行特殊的设计,多为定制特种设备,与常规同类产品存在较大差别,因而常规传感器多不适用,多采用自主研发的智能传感器。这类传感器结构简单可靠性高,一方面与自身的特殊结构、材质、运行环境、操作检修方式匹配,另一方面便于维护,避免降低开关的可靠性。例如KEMA试验室的保护断路器即集成了电流采集单元,可自主判断试品是否开断失败,一旦试品开断失败,可在一个半波内(10 ms)切除电源,一方面避免客户产品烧损过重。另一方面降低系统运行风险^[3]。此类情况也广泛应用于短路开断所用辅助断路器的控制,XIHARI即有此类设计。此外,XIHARI使用了DSP^[2]用于合成试验同步控制以及合闸开关控制,该系统可自动检测电流零点,实现主开关的自动投入、类似还用使用其他组件,如单片机^[7]或者PC^[8]。

故障分析向精细化、智能化、大数据分析发展。容量试验室内设备众多,而试验非紧急情况不允许中止(避免试品多次耐受),因而智能告警也与传统的单一维度以及告警分类有所不同。该告警系统通常需将众多告警按照发生源和敏感度进行精细分类和筛选,便于运行人员快速把握重点信息,在非紧急情况下不终止试验。同时通过建立试验系统数据库,以及故障推理模型,对系统各设备(特别是试品)运行状态进行实时在线分析,可自动报告异常情况,并提出告警处理意见。例如通过分析操作开关的故障频率、故障区域与空载合分闸操作次数、累计开断电流大小、空载合分闸时间、燃弧时间、灭弧室真空度、超程与弹跳等机械特性的关联性,建立分析模型,从而及时发现开关故障,确定合适的检修频率、检修部位及配件的数量。此外,该数据库可与大数据分析结合起来,充分利用历史数据,完成对采集历史数据的分析指导状态检修。

2.2 系统集成化

控制系统的集成设计已经经历20世纪80年代自动控制的兴起、20世纪90年代PLC、DCS系统的进步以及21世纪网络全球化3个发展阶段^[9]。工业控制系统集成度逐步提高,功能不断完善,网络节点数量和数据库不断增大。根据Ali Awais AMIN的理论,目前的工业控集成制系统已经在之前物理控制DCS或者PLC的层次上,建立了MES(manufacturing execution system,制造企业生产过程执行系统)以及ERP(enterprise resource planning,企业资源计划)^[10]。容量试验控制系统在作为工业控制系统的一个分

支,集成度也在逐步提高,主要体现在以下几个方面:

①设备管理系统和试验控制系统与企业ERP管理系统实现了有效对接;②实现了客户委托信息、试验任务管理、测量信息以及试验执行的实时查询和调用,从而达到试验前准备工作自动完成、试验任务和进度实时发布、测量系统的准备以及试验顺序控制的自动整定等;③实现了试验系统的一体化、信息化,降低了人工操作失误的风险,同时提高了试验效率,提升了客户体验。例如,回路计算专家系统可根据试验信息自动完成回路设备参数的计算,并通过试验执行系统自动完成主回路的换接、试品的准备。完成操作后,可根据计算系统内的数据核实主回路各开关、试品状态。若状态不一致,可发出告警指令,降低操作异常带来的风险。

数字式采集系统和报告系统集成。目前KEMA已经有此类集成软件,在Nicolet公司提供的底层驱动命令集基础上,编制了一种集成数据库,测量配置、控制参数设置、试验结果(示波图)、试验计划和进度、试验报告等情况都在该数据库中即时监控^[9]。XIHARI也已开发此类软件,可实现试验数据采集、记录及报告在一个软件构架下完成,数据通过网络实现共享和集中管理。

2.3 客户支持人性化

2.3.1 试验方式灵活

随着电网规模增大,电压等级提高,电网内的某些异常状态很难依据现有的理论进行分析和判断,需要借助容量试验室进行模拟研究性试验。此类试验与严格按照标准要求进行的型式试验不同,通常采用非常规的试验参数、试验方法、试验步骤以及判定方式。此外,随着电力设备研发和制造的发展,每年都会有不同型式的试验样品进入试验现场。在实现控制数字化之前,改变主设备控制流程 and 操作方法,需要临时引入新的电气结点、传感器以及线缆,调整继电保护参数非常繁琐。

现在的容量试验站可根据客户需求以及试验需要,灵活地改变试验中主回路设备的操作流程、方法以及整定值,从而满足客户的差异化需求,如增减辅助开关的数量、控制发电机的短路次数、试验电压的恢复速率等等、改写控制逻辑、远程修改继电保护参数等等。

2.3.2 试品接口多样化

除了传统的交直流电源控制以外,还可通过光纤网络或者RS485、RS232、RJ45等通讯接口实现与试品通讯^[14],并且兼容各种数据格式和通讯协议,特别是IEC61850、Modbus等。并且试验室可通过

IEC61850通讯协议,获取智能开关设备的IED信息,从而实现试验数据与智能IED采集数据的比对,或提供试品诊断依据。

2.3.3 试验分析智能化

随着软件及网络技术的进步,容量试验测量系统已经实现了数据采集和处理的数字化、自动化,数据格式的规范化以及数据传输的网络化。同时随着高频测量系统的发展、光电隔离的完善以及传感器的进步,测量数据也越来越精细。通过建立专家系统,试验室可以分析试品在试验过程中的各种数据,从而可以根据试验结果,提出产品差距。如果产品试验失败,可以分析失败的原因以及改进方法;如果产品成功了,能否在低成本情况下,进一步提高产品性能,获得更大裕度。KEMA开发了一套电流零区专家系统,该技术可以很精确的描叙高压断路器在开断过程中的状态。通过该系统分析在短路开断过程中的关键区域—电流零点,试验人员可以获取试品的状态信息。随着上千次开断数据的积累,该系统已经很成熟了,且也在其他实验室中得到应用^[11]。另外,文[12]通过分析真空断路器在开断后的微小电子场发射电流,可以判断在各种开断电弧烧蚀后,真空灭弧室的绝缘性能。国内也在灭弧室触头烧蚀以及弧后电流的测量和分析等方面开展了研究工作。

3 发展中存在的问题

智能化、信息化程度的提高,一方面提高了试验效率和服务管理水平,但同时由于网络技术、软件技术及智能传感器技术的应用,引起以下几个问题:

3.1 安全性

为了保证试验控制网络的安全性,避免外部侵入系统,多数控制系统均工作于独立的局域网。但随着上层高级应用技术的发展,如客户信息系统、试验委托系统以及报告系统的接入,乃至试验计划、试验进度查询以及报告查询、自助试验委托等面向客户开放的应用的发展,可进入控制系统的接口和主机将会大幅增加。

为了保证控制的精度以及高可靠性,容量试验控制系统在精简中间环节引起的延迟的同时,需要牺牲更多的算法和安全环节。据著名网络安全厂家卡巴斯基实验室的统计数据表明,2017年上半年,工厂是网络攻击最大的受害者,大约三分之一的工业控制系统遭遇了各类攻击^[13]。这种威胁可深入至物理层,国外已有PLC固件被篡改的报道^[14]。

此外,工业控制系统安全规范指导性和可操作性仍然明显不足^[15-16],网络通讯在配置、硬件、边界、监控的脆弱性,无线连接存在一定的脆弱性^[17],设备的固件程序和管理界面、应用界面存在各种漏洞^[18]。而相关的人员在网络安全意识、知识以及专业技能上,还存在较大差距^[19]。随着无线通讯技术的发展,网络安全问题将变得更加严峻^[20-21]。

3.2 可靠性和可维护性

集成程度的提高,在提高了控制系统运行效率的同时,也增加了接口的数量、数据库的复杂程度、网络节点数量以及通讯导致的时延^[22-23]。网络节点断开、数据库异常乃至服务器断电等,都将对系统可靠运行造成冲击。

虽然采用自主研发的传感器和DCS系统,避免了单一依靠厂家调试、维护导致维护水平降低的问题。但传感器数量的增多、二次设备故障率的提高、自动检测能力欠缺^[24]以及现有的人员对新技术缺乏了解,增加了系统维护的工作量,降低了系统的检修效率。

此外,随着系统集成度的不断提高,控制系统可能还需要进行大数据分析服务和传输视频,运行更复杂的算法,管理更庞大的数据,如何在保证系统的可靠性、实时性以及安全性的同时,充分利用各类资源,发展云计算和互联网技术,满足试验、人员以及信息化管理的需要,还需要不断研究和探索。

参考文献:

- [1] SARMINA I, GONZALEZ D A. Computerized high-power testing laboratory[J]. IEEE Computer Applications in Power, 1988, 1(2):9-13.
- [2] JIANG Y, WU J W, WANG H F. Synchronous control system for synthetic test[J]. Electromechanical Devices, 2013, 113(298):23-26.
- [3] 黄 实, 荷兰 KEMA 实验室调研总结报告[Z]. 西安:西安高压电器研究院有限责任公司, 2010.
HUANG Shi, Report on KEMA laboratory[Z]. Xi'an: XIHARI, 2010.
- [4] ZHANG H, YUAN Z, LEE W J, et al. Grounding and isolation of sensitive measurement equipment for arc flash testing at high-power laboratory[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2015, 51(6):5281-5287.
- [5] 张跃丽. 智能变电站二次系统可靠性及相关问题研究[D]. 上海:上海交通大学, 2013.
ZHANG Yueli. The research on the reliability of secondary system in smart station[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2013.
- [6] 陈国平, 郭文科. 基于 S7-300 的冲击发电机组控制系统研制[J]. 电气自动化, 2015, 37(3):87-89.
CHEN Guoping, GUO Wenke. Development of a control system for S7—300-based surge generator unit[J]. Electrical Automation, 2015, 37(3):87-89.
- [7] 蔡志远, 戈阳阳, 马少华. 合成试验数字化同步控制方法的研究[J]. 高压电器, 2008, 44(6):521-523.
CAI Zhiyuan, GE Yangyang, MA Shaohua. Digitized synchronous control method for synthetic test[J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(6):521-523.
- [8] 陈慧欣, 林 杰, 罗 园. 合成试验同步控制系统的研究[J]. 电气传动自动化, 2017, 39(3):56-58.
CHEN Huixin, LIN Jie, LUO Yuan. Research on synchronous control system of synthetic test[J]. Electric Drive Automation, 2017, 39(3):56-58.
- [9] GALESKI P. Evolution of the control system integration industry[J]. Control Engineering, Covering Control, Instrumentation, and Automation Systems Worldwide; 2014, 61(9):10-49.
- [10] AMIN A A. Five critical factors in industrial control system integration[J]. Control Engineering, Covering Control, Instrumentation, and Automation Systems Worldwide, 2016, 63(s2):70-71.
- [11] 赵庆斌, 吴 钊. 智能高压开关设备容量性能试验研究[J]. 电工电气, 2014(6):43-46.
ZHAO Qingbin, WU Zhao. Study on intelligent high-voltage switchgear capacity performance test[J]. Electrotechnics Electric, 2014(6):43-46.
- [12] KEMA Laboratories. Can testing remain stupid[J]. Highlight, 2017, 68(1):1-3.
- [13] SACKS T. One third of industrial controls systems were hit by cyber-attacks in early 2017[J]. Drives & Controls, 2017, 33(9):10-12.
- [14] BASNIGHT Z, BUTTS J, JR J L, et al. Firmware modification attacks on programmable logic controllers[J]. International Journal on Critical in Infrastructure Protection, 2013, 6(2):76-84.
- [15] 伍锦荣. 工业控制系统网络安全现状及解决方案[J]. 石油化工自动化, 2017, 53(4):1-4.
WU Jinrong. Current situation and solutions of industrial control system's network security[J]. Automation in Petrochemical Industry. 2017, 53(4):1-4.
- [16] 徐丽娟, 许 静, 唐 刚. 工业控制系统网络安全隐患分析方法研究[J]. 电子科学技术, 2015, 2(6):679-684.
XU Lijuan, XU Jing, TANG Gang. The study of industrial control system network security risk analysis method[J]. Electronic Science & Technology, 2015, 2(6):679-684.
- [17] 郭春梅, 毕学尧. 对工业控制系统网络安全的思考[J]. 信息安全与通信保密, 2013, (3):42-44.
GUO Chunmei, BI Xueyao. A study on network security of

- industrial control system[J]. Information Security and Communications Privacy, 2013(3):42-44.
- [18] WEISS J. Cyber security in the control room[J]. Magazine of Power Generation, 2007, 111(9):38-44.
- [19] 陈亚亮, 杨海军, 姚钦锋, 等. 工业控制系统网络安全防护体系研究[J]. 信息网络安全, 2013(10):57-59.
CHEN Yaliang, YANG Haijun, YAO Qinfeng, et al. Research on framework design of industrial control system for cyber-security defenses[J]. Netinfo Security, 2013(10):57-59.
- [20] 曲家兴, 周莹, 王希忠, 等. 工业控制系统无线网络安全体系的研究[J]. 信息技术, 2013(1):36-38.
QU Jiaying, ZHOU Ying, WANG Xizhong, et al. Research on wireless network security architecture of industrial control system[J]. Information Technology, 2013(1):36-38.
- [21] KIM W J, YIM H B, KIM J K. Future direction of the instrumentation and control system for security of nuclear facilities[C]//Proceedings of International Symposium on Future I&C for Nuclear Power Plants, Jeju Island:[s.n.], 2014:1-3.
- [22] XU X, NI Y M. Analysis of networking mode caused by GOOSE delay of smart substation[C]//Proceedings of 4th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science. Beijing:IEEE, 2013:503-506.
- [23] 赵家庆, 钱科军, 霍雪松, 等. 智能变电站多级数据交换及数据共网延迟分析[J]. 华东电力, 2014, 42(3):493-495.
ZHAO Jiaqing, QIAN Kejun, HUO Xuesong, et al. Delay analysis of multi-link data exchange and data sharing network in intelligent substations[J]. East China Electric Power, 2014, 42(3):493-495.
- [24] 李生虎, 钱壮, 唐彩林. 智能变电站测控系统可靠性评估[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2017, 40(9):1209-1214.
LI Shenghu, QIAN Zhuang, TANG Cailin. Reliability evaluation to measurement and control system in smart substation[J]. Journal of Hefei University of technology(Science and Technology), 2017, 40(9):1209-1214.