

数字化变电站的几个关键技术问题

丁书文¹, 史志鸿²

(1. 郑州电力高等专科学校, 河南 郑州 450004; 2. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 以非常规互感器和支持 IEC61850 标准的变电站自动化系统为应用标志的数字化变电站将构成数字化电网发展的基础, 分析了数字化变电站具有的特点, 对数据采集共享、电子式互感器可靠性、系统的网络选型、IED 的互操作性实现、状态检修的在线监测技术的开发应用等实现数字化变电站的关键技术问题进行了分析讨论, 对数字化变电站技术的研究与发展具有一定的指导意义。

关键词: 数字化变电站; 智能电子装置 (IED); 自动化; 技术问题

Discussing some key technical problems for digital substation

DING Shu-wen¹, SHI Zhi-hong²

(1. Zhengzhou Electric Power College, Zhengzhou 450004, China; 2. XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: The digital substation, which is symbolized by application of unconventional mutual inductors and substation automation systems supporting IEC 61850 standard, constitutes the foundation of digital power grids. This paper analyzes main technical features reflecting the property of digital substation and points out that the non-conventional instrument transformer, choosing internal communication network, IED interoperability, time synchronization and information security, condition based maintenance are key technologies to implement digital substation.

Key words: digital substation; IED; automation; technologies questions

中图分类号: TM764 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)10-0053-04

0 引言

数字化变电站就是变电站内一次电气设备和二次电子装置均实现数字化通信, 并具有全站统一的数据建模及数据通信平台, 在此平台上实现智能装置之间的互操作性。随着智能化开关、光电式电流电压互感器、一次运行设备在线状态检测、变电站运行操作培训仿真等技术日趋成熟, 以及计算机高速网络在实时系统中的开发应用, 为全数字化的变电站自动化系统的发展奠定了基础。国际上数字化变电站的建设思路已经得到了广泛的认可, 包括ABB、SIEMENS 在内的多家国际性大公司也都在变电站数字化领域进行着实验。国际电工委员会IEC通过多年的努力制定出整套数字化变电站的统一建模协议IEC 61850标准体系的颁布, 对于常规变电站自动化系统应用“瓶颈”带来了技术上突破的可能。本文根据电网技术发展的特点, 阐述作为数字化电网基础的数字化变电站的主要特点及几个重要技术

问题。

1 数字化变电站具有的主要特点

1.1 数字化的数据采集系统

采用如光电式或电子式互感器的数字化电气量测系统采集变电站电流、电压等电气量, 不仅实现了一、二次系统的电气隔离, 而且增大了电气量的动态测量范围和测量精度, 为信息集成化应用提供了保障^[1]。变电站系统应是全部数字化实现和集成。

1.2 智能化的一次设备

一次设备被检测的信号回路和被控制的操作驱动回路采用微处理器和光电技术设计, 简化了常规机电式继电器及控制回路的结构, 数字程控器及数字公共信号网络取代传统的导线连接。变电站二次回路中常规的继电器及其逻辑回路被可编程序代替, 常规的强电模拟信号和控制电缆被光电数字和光纤代替。使用智能的一次设备, 应使传统的设备

均应具备智能接口, 变电站内各个设备采用统一的 IEC61850 标准, 实现设备的互操作性。

1.3 分层分布分散的系统结构

数字化变电站自动化系统的结构在物理上可分为两类, 即智能化的一次设备和网络化的二次设备; 系统采用成熟的网络通信技术和开放式互连规约, 能够更完整地记录设备信息并显著地提高系统的响应速度。依据电力系统 IEC61850 标准体系的建模标准^[2], 在逻辑结构上可分为过程层、间隔层、站控层的三层结构模型, 各层次内部及层次之间采用高速网络通信。以便满足电力系统对实时性、可靠性的要求, 同时有效地解决异构系统之间的信息互通、装置自我描述和互操作以及系统的扩展性等问题, 为实施变电站分层分布式方案提供了可靠的技术基础。

同时, 变电站可以将数字化的电气量测系统集成在智能开关设备系统中, 按变电站机电一体化设计理念进行功能优化组合和设备布置。如将保护及监控装置小型化、紧凑化, 并完整地安装在开关柜上, 实现了变电站机电一体化设计和分散布置。

1.4 网络化的信息通信技术

采用现代通信技术, 使用通信媒介替代传统的电缆, 分层组网使变电站层次结构关系得以简化, 降低二次系统的复杂性。变电站内的二次设备, 如继电保护装置、测量控制装置、远动装置、故障录波装置以及在线状态检测装置设备等全部基于标准化、模块化的微处理器设计制造, 设备之间的连接全部采用高速的网络通信, 而不再出现常规功能装置重复的 I/O 现场接口, 通过网络真正实现数据共享、资源共享^[3,4], 常规的功能装置在这里变成了逻辑的功能模块。利用网络通信技术, 实现跨变电站、区域电网的保护和自动协调控制。

1.5 设备实现状态检修

以往的设备状态检修主要是针对一次设备, 二次设备的状态监测对象不是单一的元件, 而是一个单元或系统。虽然 IED 装置本身具备状态检修的实施基础, 但二次设备的状态检修必须作为一个系统性的问题来考虑, 状态监测环节应包含交流输入直流及操作回路等, 因此在常规变电站内很难实施二次系统的状态检修。在数字化变电站中, 可以有效地获取电网运行状态数据以及各种 IED 装置的故障和动作信息, 实现对操作及信号回路状态的有效监视。数字化变电站中几乎不再存在未被监视的功能单元, 设备状态特征量的采集没有盲区。设备检修策略可以从常规变电站设备的“定期检修”变成“状态检修”, 从而大大提高系统的可用性。

1.6 自动化的运行管理技术

变电站运行管理自动化技术包括电力生产运行数据、状态记录统计无纸化; 数据信息分层、分流交换自动化; 变电站运行发生故障时能及时提供故障分析报告, 指出故障原因, 提出故障处理意见; 智能化一次设备可直接处理设备信息并独立执行本地功能, 而不依赖于变电站级的控制系统, 同时具有自检功能, 发现缺陷时能及时报警; 系统能自动发出变电站设备检修报告, 即常规的变电站设备“定期检修”改变为“状态检修”。新型高压断路器二次系统是采用微机、电力电子技术和新型传感器建立起来的, 如 ABB 公司的 PASS 和 SIEMENS 公司的 HIS 等^[5]。

2 数字化变电站的几个技术问题

2.1 电子式互感器可靠性问题

变电站全数字化最大的障碍在于一次设备, 特别是一次测量设备。目前数字式光电互感器运用于变电站, 在实现变电站数字化过程中, 从根本上解决了互感器在电流、电压信号在传输到二次设备和处理过程中所产生的附加误差, 大大提高了保护系统、测量系统和计量系统的准确性。

近年来, 电子式互感器正逐步走向实用化^[6,7], 电子式互感器中采用了一些光学器件和电子器件等相对易耗元件, 有必要展开对电子式互感器可靠性问题的研究。由于电子式互感器与电磁式互感器在实现原理上有很大的不同, 其可靠性也会呈现出一些新的特点。可靠性有可能成为制约电子式互感器迅速发展的一个重要因素, 目前, 实际挂网运行的电子式互感器以国外公司产品为主, 且运行时间不长。到目前为止, 这些产品大多数具有一定的故障率(尚处于产品的早期故障阶段), 国内也有不少试验样机在现场试运行。目前对电子式互感器可靠性的研究仅限于事前和事中分析阶段, 且主要是在事前研究阶段。

因此, 应该通过分析电子式电流互感器与电磁式电流互感器可靠性的异同, 分别采用故障模式和后果分析法以及故障树分析法对一种电子式电流互感器的可靠性进行分析并建立出完备的 FMEA 表格和故障树。建立一种电子式电流互感器的可靠性框图。针对一种电子式电流互感器, 建立 FMEA 表格和故障树, 并求出其故障树的所有最小割集, 找出影响电子式电流互感器可靠性的关键环节, 是需要继续研究的课题。

2.2 数字化电气测量系统的稳定性问题

数字化电气测量系统的稳定性对于数字化变

电站至关重要。其中主要是非常规互感器,非常规互感器中包含的光电传感器和光纤二次回路通信网络的可靠性、稳定性直接关系到数字化变电站数据采集的稳定性,需要在具体工程中得到进一步的检验。如无源式互感器存在测量精度不稳定且有偏差的问题,这是由于线性双折射现象及发光源器件发光强度下降、光传输环节引起偏振角变化和不同材料的维尔德常数受外界温度的影响也同等因素造成的^[6]要减小磁光材料或者晶体自身的双折射以及环境气候等的影响,必须对造成传感头误差的各种因素进行分析并研究减小其影响的办法。有源式互感器的主要问题是其工作时需要工作电源。同时,如何解决电子式互感器与现有二次设备的兼容问题,是决定今后几年电子式互感器推广速度的重要课题^[8,9],目前非常规互感器在实际工程应用中基本处于示范性探索阶段,关键技术在于光学传感材料、传感头的组装技术、微弱信号检测、温度对精度的影响、振动对精度的影响、长期稳定性等,不同原理实现方式的非常规互感器存在着不同程度上需要关注的问题。

2.3 数据采集共享问题

由于继电保护设备在保证电力系统安全稳定运行上有着特殊的作用,因而决定了它在电力系统中的地位是非常重要的,所以继电保护如果与变电站综合自动化系统其它设备进行数据采集和共享,必须解决各个系统的设备对数据的采集速率问题,例如保护系统的数据采集速率为工频每周12~20点,即每秒为600~1000点。而监控系统数据采集速率是每秒1点,前者需要的是工频量波形的变化和瞬时值,后者需要的是工频量的有效值,两者相差甚远^[10]。如果专门设置一个数据采集系统,加工不同速率的数据,这样做好处并不大,也很难做出一个通用的数据采集系统。

2.4 系统的网络选型问题

网络系统是数字化变电站自动化系统的命脉,它的可靠性与信息传输的快速性,决定了系统的可用性。全数字化的系统中信息的采样、保护算法与控制命令的形成,是由网络上多个CPU协同完成的。如何控制好采样的同步和保护命令的快速输出是一个复杂问题,其最基本的条件是网络的适应性,关键技术是网络通信速度的提高和合适的通信协议的制定。如果采用通常的现场总线技术,可能不能胜任数字化变电站自动化的技术要求。目前,以太网已经进入工业自动化过程控制领域,嵌入式以太网的出现为数字化变电站综合自动化系统的设计者提供了实现站内网络通信的新途径^[3],数字化变电站

自动化系统的两级网络,全部采用100 MHz以太网技术是可行的。

在选择嵌入式以太网应用模式时,主要考虑如下因素:①超高压变电站系统的二次系统一般都是基于间隔设计的;②超高压变电站自动化系统内部通信网络的可靠性要求很高,要求可方便地构成双网结构;③成本问题;④产品向下兼容问题。

2.5 IED的互操作性问题

IEC61850对变电站自动化信息具有完整的建模方法,不仅可支持站内的通信语义,也为变电站信息发布提供了统一的模型。制定IEC61850标准的主要目标之一是实现IED的互操作性和互换性。IED设备的互操作性可以最大限度地保护用户原来的软硬件投资,实现不同厂家产品集成。为了保证IED的互操作性,需要对其进行一致性测试和性能测试。一致性测试是测试IED是否符合特定标准。IEC 61850.10中专门定义了一致性测试方法;性能测试是测试IED是否满足运行性能要求^[11]。由于IEC 61850标准的复杂性、其性能在网络异常时的未知性以及保护、监控系统对实时性的严格要求等原因,很可能出现单独产品已通过一致性测试,将其构成应用系统时却不能通过应用测试的情况。通过一致性测试只是通过应用测试的充分而非必要条件。对IEC61850标准的一致性测试还需要进一步加强研究,目前国内中国电力科学研究院可以提供功能一致性测试,但还只停留在相对简单的IEC 61850各个功能服务测试,缺乏组网整体的性能测试以及尚缺乏相应的数字式试验设备,国内急需建立一个完整全面的数字式设备测试环境。

2.6 状态检修在线监测技术的开发应用问题

在线监测是推行状态检修的关键技术支撑,由于它能在运行状态下连续进行测试,因而能及时、有效地发现设备的早期缺陷,并据此确定检修时机。应加强与变电站新投入设备的设计、制造、运行等单位的紧密合作,考虑设备投入使用后与监测装置的统一配合,加快在线监测技术的实用化进程。此外还应注意提高设备状态的分析水平。提高设备状态分析水平是状态监测与状态检修相衔接的关键一环,主要包括三个方面:加快变电站设备在线监测数据向检修中心远传功能的开发,并提高传送水平。(2)建立设备状态的微机信息管理系统。利用这个系统逐渐实现状态检修管理工作的标准化,管理业务的程序化,数据资料的完整化和准确化,状态信息的资源共享化和综合处理化。(3)加强测试数据分析。要重点把有助于广泛掌握设备状态和把握设备状态变化趋势,从而制定更科学的检修策略的数理

统计的方法应用到状态检修中去,即通过对有关设备大量的历史资料,包括出厂试验、历次试验、检修与故障记录以及运行状况等的统计分析,对某类设备的状态作出评估,对其状态的变化趋势或规律作出预测^[12]。

2.7 避免电缆带来的电磁兼容、传输过电压和两点接地问题

数字化变电站二次设备和一次设备之间使用绝缘的光纤连接,电磁干扰和传输过电压没有影响到二次设备的途径,而且也没有二次回路两点接地的可能性。传统变电站的二次设备与一次设备之间仍然采用电缆进行连接,电缆感应电磁干扰和一次设备传输过电压可能引起的二次设备运行异常,在二次电缆比较长的情况下由电容耦合的干扰可能造成继电保护误动作。尽管电力行业的有关规定中要求继电保护二次回路一点接地,但由于二次回路接地点的状态无法实时检测,二次回路两点接地的情况近期时仍有发生并对继电保护产生不良影响,甚至造成设备误动作。

3 结束语

数字化变电站技术的发展将是个长期的过程。建设以光电式互感器、智能化集成开关、智能变压器等数字化一次设备和其他智能电子设备为基础的新型变电站自动化系统,实现数字化变电站站内各层间的无缝通信,最大限度地满足信息共享和系统集成要求,则是数字化变电站技术的发展方向。目前主要存在的问题是:(1)开发过程中的专业相互协作和电力系统的整体协调操作;(2)材料器件方面的缺陷及改进;(3)试验设备、测试方法、检验标准,特别是 EMC(电磁干扰与兼容)控制与试验还是薄弱环节;(4)规范化的变电站信息和能适合变电站运行的高级应用软件或专家系统等。同时我们需要尽快研究建立数字化变电站技术相关试验及检测标准,特别是在过程层部分涉及合并器性能、测量精度测试、数字化保护测试方法、整体数字化变电站性能的检测方法和标准等。总之,数字化变电站自动化是一个系统工程,要实现全部数字化变电站自动化的功能,还有许多技术问题需要攻关解决。

参考文献

- [1] 曾庆禹. 电力系统数字光电量测系统的原理及技术[J]. 电网技术, 2001, 25(4): 1-5.
ZENG Qing-yu. Principle and Technology of Digital Electro-optic Measurement for Power System[J]. Power System Technology, 2001, 25(4): 1-5.
- [2] 高翔. 数字化变电站应用展望[J]. 华东电力, 2006,

34(8): 47-53.

- GAO Xiang. Application Prospects of Digital Substations[J]. East China Electric Power, 2006, 34(8): 47-53.
- [3] 丁书文. 数字化变电站自动化系统的网络选型[J]. 继电器, 2003, 31(7): 37-40.
DING Shu-wen. Choosing Internal Communication Network of Digital Substation Integrated Automation System[J]. Relay, 2003, 31(7): 37-40.
- [4] Anderson L, Brunner C. Substation Automation Based on IEC 61850 with New Process—Close Technology[A]. In: IEEE Power Tech Conference[C]. Bologna (Italy): 2003.
- [5] 高翔, 张沛超. 数字化变电站的主要特征和关键技术[J]. 电网技术, 2006, 30(23): 67-71.
- [6] 李岩松, 郭志忠, 杨以涵, 等. 自适应光学电流互感器的基础理论研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(22): 21-26.
LI Yan-song, GUO Zhi-zhong, YANG Yi-han, et al. Research on the Basic Theory of Adaptive Optical Current Transducer[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(22): 21-26.
- [7] 程云国, 刘会金, 李云霞. 光学电压互感器的基本原理与研究现状[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(5): 87-91.
CHENG Yun-guo, LIU Hui-jin, LI Yun-xia. Basic Principle and Current Development of Optical Voltage Transformer[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(5): 87-91.
- [8] NxtPHASE. Arizona Public Service—case Study[EB/OL]. <http://www.Nxtphase.com>, 2006.
- [9] XtPhase. NxtPhase Optical Sensors Measurement Stability Over Time and Temperature[EB/OL]. <http://www.Nxtphase.com>, 2006.
- [10] Cleveland F. Xan thus Consulting International. IEC TC57: Security Standards for the Power System's Information Infrastructure—beyond Simple Encryption[S]. 2005.
- [11] 张兴, 郭燕. 浅谈数字化变电站的技术与发展[J]. 江苏电机工程, 2007, (8): 26-29.
ZHANG Xing, GUO Yan. Technology and Development of Digital Substation[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2007, (8): 26-29.
- [12] 高翔, 刘韶俊. 继电保护状态检修及实施探讨[J]. 继电器, 2005, 33(20): 23-27.
GAO Xiang, LIU Shao-jun. Condition Maintenance and Implementation of Relay Protection[J]. Relay, 2005, 33(20): 23-27.

收稿日期: 2007-07-16; 修回日期: 2007-08-31

作者简介:

丁书文(1967-), 男, 硕士, 教授, 主要从事变电站自动化和电力系统继电保护的教学与研究; E-mail: dingshuwen@163.com

史志鸿(1967-), 男, 高级工程师, 主要从事电力系统自动化研究与设计工作。