

基于 IEC 61850 的数字化变电站技术综述

陈 愚

(超高压运行检修公司, 四川 成都 610041)

摘 要: 基于 IEC 61850 的数字化变电站技术已成为变电站自动化系统发展与应用的热点领域。分析了数字化变电站的主要技术特点, 讨论了 IEC 61850 变电站系列标准、非常规互感器技术、网络通讯的实时性与可靠性和同步化信息技术等数字化变电站的关键技术, 简要介绍了三种典型的数字化变电站系统解决方案。

关键词: 数字化变电站; IEC 61850; 通信; 互感器; 智能开关

Abstract: Nowadays the research on automation system of substation is focused on the digital substation technology based on IEC 61850. In view of technical basis of digital substation at present the main technical features of digital substation are analyzed and it is pointed out that the substation standards of IEC 61850, the techniques of non-conventional transformer, the reliability of network communication, the time synchronization of information are the key technologies to implement the digital substation. Finally three typical solution schemes of digital substation system are introduced.

Key words: digital substation; IEC 61850; communication; transformer; intelligent switch

中图分类号: TM631 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2010)04-0021-03

0 引 言

变电站自动化技术随着计算机技术、网络通讯技术的快速发展取得了长足进步, 不断深化的数字化过程是变电站自动化技术发展的主要方向。新一代变电站不仅增强了变电站自动化系统功能, 也提高了系统的实时性、可靠性、灵活性和可扩展性, 达到了简化维护以及节省系统投资的效果。光电式电流及电压互感器、智能电子装置 (intelligent electronic device IED) 等的应用以及按照 IEC 61850 系列标准制定的基于高速以太网和 TCP/IP 的变电站通信网络系统使得数字化变电站的应用成为可能。

1 数字化变电站的主要技术特点

1.1 系统三层网络结构体系

变电站自动化系统机构经历了由集中式向分布式系统的转变。数字化变电站采用成熟的网络通讯技术和开放式互联规约, 依据 IEC 61850 标准体系的建模标准, 在逻辑结构上分为过程层、间隔层和站控层的三层模型^[1], 各层次内部与层次之间采用高速网络通信。在这三层中分别接入 2 类总线: 过程总线以及变电站总线。过程总线主要用于过程层与间隔

层之间 TA、TV 以及控制数据的交换, 变电站总线用于间隔层内部、间隔层之间、间隔层与变电站层之间、变电站层内数据交换。数字化变电站的基本结构及网络信息流如图 1 所示。

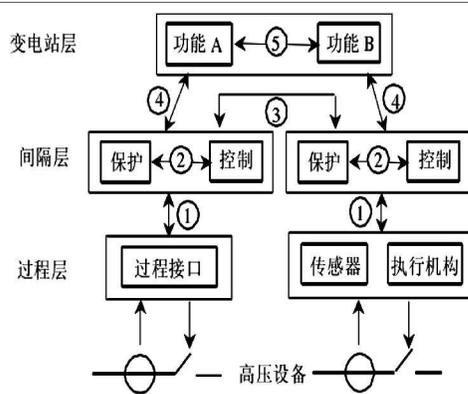


图 1 数字化变电站基本结构及网络信息流

1.2 数据采集数字化

传统的电磁式电流互感器存在绝缘结构复杂和磁饱和问题, 而数字化的电流、电压量测系统 (光电式互感器或电子式互感器), 实现了一、二次系统在电气上的有效隔离, 增大了电气量的静态及动态测量范围, 提高了测量精度, 为变电站信息集成化应用创造了条件。

1.3 紧凑的系统结构

将重量轻、体积小的数字化电气量测系统集成在

智能开关设备中,进行功能优化组合和设备布置,体现了变电站机电一体化设计理念。测控装置、保护装置、控制操作回路、故障录波装置等作为一次智能设备的一部分,实现了 IED 的近过程化 (process-close)设计^[2]。紧凑的系统功能结构或近过程化设计如图 2 所示, LN (logical node)逻辑节点是变电站自动化系统的基本功能单元, IED A 中集成了断路器 (XCBR)与监视 (SCBR)功能, IED B 中集成了作为主保护的远方保护 (PDIS)与开关操作控制 (CSWI)功能, IED C 中集成了作为后备保护的过流保护 (PTOC)、电压采样 (PTTR)与电流采样 (CTTR)功能。从图 2 中可以看出紧凑化的系统结构有以下特点:① IED 数量减少,在装置与系统间采用网络连接减少二次接线;②优化组合变电站自动化功能并将其分配到不同的 IED 中;③ IED 紧靠过程层,有利于与一次设备配置一体化。

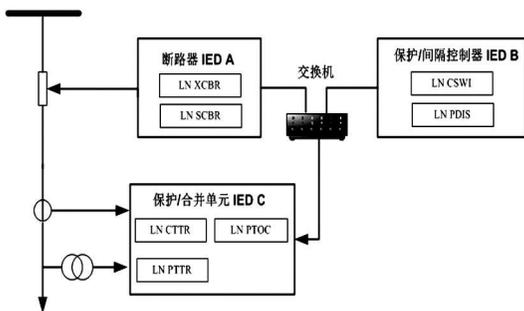


图 2 紧凑的功能结构或近过程化设计

1.4 标准化系统模型

IEC 61850 是国际电工委员会制定的“变电站通信网络和系统”系列标准,在定义变电站通信体系、通信数据模型等方面采用了面向对象的方法,为变电站自动化系统建立了标准统一的信息交换模型,主要意义在于:①变电站信息共享,对站内设备采用统一建模,统一规则命名资源,实现变电站内及变电站与监控中心之间的无缝通信;②采用面向对象的建模方法,设备自我描述规则和抽象通信服务接口,并使之成为变电站自动化功能的统一的语法语义标准,来实现变电站智能设备的互操作性;③采用 XML 建立变电站、IED、通信系统等模型的描述文档,XML 是一种具有简单、高效、开放且可扩展、可移植的标记语言,设备功能、网络连接和系统配置都可采用基于 XML 的变电站配置语言进行描述、存储、交换、配置和管理,简化系统的维护、配置和工程实施。

1.5 信息集成化应用

变电站数字化为信息集成化应用创造了有利条件,数字化变电站可以对二次系统装置和数据进行信息集成和功能优化处理,避免了常规变电站存在的硬件配置重复、信息不利于共享和投资成本大等问题。数字化变电站是未来“数字化电网”的功能和信息节点,IEC 61850 系列标准将逐步统一电力系统内各信息模型和信息交换模型,消除由于缺乏标准建模和功能异构而导致的信息盲点。

1.6 设备实现状态检修

在数字化变电站中,可以实时有效地获取各种 IED 装置的故障和保护动作信息以及电网运行状态数据,实现对交直流回路、信号及操作回路状态的有效监视。数字化变电站几乎不再出现未被监视的功能单元,设备状态特征量的采集无盲区,设备检修策略可以从常规变电站设备的“定期检修”转变成“状态检修”^[3],从而大大提高了系统设备的时效性和全员生产效率。

2 数字化变电站的关键技术

2.1 IEC 61850 变电站系列标准

IEC 61850 是迄今为止最为完善的变电站通信网络和系统的通信标准,适用于分层分布式的变电站自动化系统和智能电子装置,数字化变电站自动化系统的过程层、间隔层和变电站层全面采用了 IEC 61850 系列通信标准。该标准主要涵盖了以下 4 个方面:①采用面向对象的数据建模方法,定义了基于服务器/客户机结构的数据模型;②从变电站自动化通信系统的通信性能要求出发,定义了变电站自动化系统功能模型;③定义了数据访问机制和向通信协议栈的映射,在变电站层和间隔层之间的网络采用抽象通信服务接口映射到 MMS (IEC 61850-8-1),在间隔层与过程层之间的网络映射成串行单向多点或点对点传输网络 (IEC 61850-9-1)或映射成基于 IEEE 802.3 标准的过程总线 (IEC 61850-9-2);④定义了基于 XML 的结构化语言,描述了变电站和自动化系统的拓扑以及 IED 结构化数据,为验证互操作性提供了一致性测试。

2.2 非常规传感器技术

将不同于传统的电磁型电流/电压互感器的新型互感器统称为非常规互感器,其中:基于光电效应的互感器称为光学电流/电压互感器 (current/voltage

transformer with optical sensor OCT/OVT)或无源式互感器;另一种泛称为电子式电流/电压互感器 (electronic current/voltage transformer ECT/EVT)或有源式互感器。光学电流互感器是利用 Faraday 磁光效应测量电流的,光学电压互感器是利用 Pockels 电光效应测量电压的。电子式电流互感器主要是采用 Rogowski 线圈或小铁心原理,电子式电压互感器多采用分压 (电阻或电容)原理。光电式互感器和电子式互感器,与传统的电磁式互感器相比,消除了绝缘结构复杂及磁饱和等问题,并在低压部分通过光纤输出数字信号,提供给二次设备。

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不同等因素,光电式互感器存在测量精度不稳定且有偏差的问题^[4]。有源式互感器的主要问题是其工作时需要工作电源。利用激光供电技术对高压侧电子模块进行供电,激光供电器件的稳定性直接影响互感器的使用效果,Rogowski 线圈易受电磁干扰,因此在使用中应严格对线圈进行电磁屏蔽。

2.3 实时可靠的网络通讯技术

IEC 61850-9-1 标准采用串行点对点模式,IEC 61850-9-2 标准采用网络交换机模式^[5]。点对点通信模式,间隔层设备采用点对点的方式与相应的合并器连接,光缆附设量大,但投资较小,适合于中小规模变电站。这里主要讨论 IEC 61850-9-2 标准网络系统模式,网络系统是数字化变电站的“神经系统”,其实时性和可靠性对变电站自动化系统运行至关重要。网络拓扑结构的可靠性高低和是否采用冗余技术决定着通信网络的可靠性。如图 3 所示的网络方案中,每个 IED 都配有双网卡,可分别接入两台交换机,过程总线和站级总线都采用环形拓扑,因此该方案可大幅提高系统可靠性。网络系统设计属于优化系统问题,应兼顾经济性和易维护性等因素。

实时性也是变电站通信网络中受关注的焦点问题,IEC 61850 对变电站自动化系统的报文性能做了严格详细的规定,依据对时间的要求将报文分为 7 大类,其中“快速跳闸报文”和针对保护与控制的“生成数据报文”的时间要求为 3 ms^[1]。为验证以太网技术能否满足上述实时性要求,国内外专家学者进行了大量研究,结果表明采用 100 M 以太网和多播技术,在正常情况下网络的最大通信延时完全能够满足实

时性要求,且有较大的裕度。但在网络发生异常情况(出现数据风暴、更换或增减网络通信设备以及网络中某节点断开等)下网络通信的实时性能否满足要求还需要进一步研究。

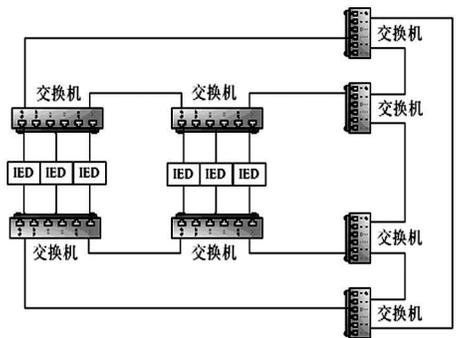


图 3 具有冗余特性的网络通信方案

2.4 同步化信息技术

传统电磁式互感器输出的模拟信号不存在采样时间不同步的问题,但由合并器输出的数字采样信号就必须含有时间信息,使得采样数据的时间同步,以避免相位和幅值产生误差。安装于通信服务器内的全站 GPS 接收装置,通过脉冲对时网和通信网络给光电式互感器和各种二次设备对时。变电站总线可采用 SNTP (simple network time protocol) 实现不同设备间的采样同步,以 UTC (universal time coordinated) 作为时钟同步源,同步误差可以控制在 1ms。但过程总线的同步误差要求控制在 1μs 过程总线必须采用 IEEE 1588 标准。1 个 IEEE 1588 精密时钟系统包括多个节点,每一个节点代表一个时钟,时钟之间经由网络连接。IEEE 1588 标准所定义的精确网络同步协议实现了网络中的高度同步,使得在分配控制工作时无须再进行专门的通信同步,从而达到了应用程序执行时间模式与通信时间模式分开的效果。

3 数字化变电站系统解决方案

3.1 准数字化变电站系统方案

站内全部使用传统型一次设备,过程层设备通过硬接线和间隔层设备相连,在间隔层与变电站层之间实现 IEC 61850 标准连接。从严格意义上讲,此种系统结构的变电站不是数字化变电站,但间隔层和变电站层之间的通信遵循 IEC 61850 协议来实现,在过渡阶段,这种系统有利于新技术、新标准和设备的逐步应用,为将来实现数字化变电站积累经验。

(下转第 66 页)

4 结 论

前面介绍了德阳五里堆 220 kV 变电站实测负荷建模平台,通过现场采集的扰动数据辨识的综合负荷模型参数与实际负荷特性接近,采用实测负荷模型参数与典型参数进行对比仿真,实测参数的精度高于典型参数。其取得的扰动数据仅为 2009 年 12 月至

2010 年 1 月期间的数据,对德阳变电站的负荷辨识,还需要更长时间的扰动数据的积累。为推动四川电网的实测负荷建模工作,建议通过负荷调查,在四川电网更多的负荷变电站安装负荷记录设备,或采利用现有的记录扰动装置,通过长时间的扰动数据积累,建立四川电网实测负荷模型库,为安全准确地计算四川电网外送功率打下坚实基础。

(收稿日期:2010-06-10)

(上接第 23 页)

3.2 实用性数字化变电站

该方案采用 IEC 61850 协议、ECT/EPT 和传统的 SW /CB 设备,将变电站的数字化程度提高了一个层次。ECT/EPT 通过光纤接入合并器,由合并器对采集的数据进行整理后,按照 IEC 61850 协议通过光纤接入过程总线,间隔层设备接收来自过程总线的数 据,并将处理后的数据送入变电站总线。一个间隔中的传统开关设备通过硬接线与智能终端相连,智能终端实现模拟开关量 接点信号与数字信号的转换以及操作回路功能,并通过光纤接入过程总线。川内首座数字化变电站——绵阳南塔 110 kV 变电站便属于此种类型的数字化变电站。

3.3 完全数字化变电站

采用 ECT/EPT、智能开关设备并遵循 IEC 61850 协议的完全型数字化变电站,其过程层、间隔层和变电站层全部实现数字化。过程层的采样、检测和控制全部实现数字化和网络化。目前智能开关设备技术还不够成熟,有待进一步研究开发。

4 结束语

数字化变电站技术的发展与实现得益于通信网络技术、机电一体化技术、高速数字信号处理技术、传感器技术和信息同步化技术等多个领域的研究成果和交叉融合。数字化变电站的建设以及传统变电站

的数字化改造是一个长期的、逐步完善、分步实施的过程。IEC 61850 标准的实施、非常规互感器的应用和智能开关设备的成熟推动着数字化变电站示范工程的建设,在今后 10 年中,数字化变电站已成为变电站自动化发展的主流方向,为“数字化电网”发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] IEC IEC 61850: Communication networks and systems in substations[S]. 2004
- [2] Anderson L Brunner C. Substation Automation Based on IEC 61850 with New Process - close Technology [C]. IEEE PowerTech Conference Bologna Italy, 2003.
- [3] 高翔,张沛超. 数字化变电站的主要特性和关键技术 [J]. 电网技术, 2006, 30(23): 67-71.
- [4] 门石,张振华. 新型电流电压传感器技术的应用研究 [D]. 北京:华北电力大学, 2001.
- [5] 全国电力系统控制及其通讯标准化技术委员会. IEC 61850 变电站通讯网络和系统系列标准, 2002.
- [6] 谭文恕. 变电站通信网络和系统协议 IEC61850 介绍 [J]. 电网技术, 2003, 27(10): 61-65.
- [7] 朱大新. 数字化变电站综合自动化系统的发展 [J]. 电工技术杂志, 2001(4): 20-22.
- [8] 曾庆禹,李国龙. 变电站集成技术的发展——现代紧凑型变电站 [J]. 电网技术, 2002, 26(8): 60-67.

(收稿日期:2010-01-10)