

2000 年国际大电网会议系列报道

——通信技术是变电站自动化的关键

沈国荣, 黄 健

(国家电力公司电力自动化研究院, 南京 210003)

摘要: 变电站自动化通信受到了前所未有的关注。文中介绍了关于变电站自动化通信的讨论和经验, 包括通信结构、接口和标准。叙述了保护和集成控制的方法和经验。

关键词: 国际大电网会议; 变电站自动化; 通信; 保护; 控制

中图分类号: TM 764

0 引言

2000 年国际大电网会议第 34 组保护和集成控制共发表了 12 篇论文, 这些论文覆盖了比较大的范围, 涉及通信结构、接口、协议、性能特点、未来的通信标准、实践经验, 反映了世界各地电力公司变电站自动化的不同状况, 讨论和介绍了变电站自动化及其通信技术, 叙述了继电保护和继电保护系统的当地和远方运行, 以及继电保护与自动化、通信系统集成的经验、方法和效益。

1 变电站自动化及通信系统

阿拉伯联合酋长国提交的论文“计算机控制无人值班变电站的通信要求”, 讨论了 Abu Dhabi 水电委员会为实现由调度中心对变电站进行远方监视和控制而采用的现代通信系统的结构和技术, 给出了所用通信系统的技术和结构的概念、基本原理、基本原则。Abu Dhabi 水电委员会新建的调度中心在 2000 年末投入运行, 调度中心与变电站的通信全部采用光纤作为通道, 提供直接或间接的传输路径。文章强调: 目前的通信结构采用标准的通信协议、兼容的通信接口, 具备综合诊断功能, 可使性能、成本、功能和可扩展性等方面综合最佳。在采用标准化通信协议方面, 文章重点阐述了使用 IEC 870-5-101 通信协议的重要性, 强调需要区别通信链路上来自不同厂家设备间的互操作性特点, 这将促使调度中心和变电站控制系统遵循相同的协议框架, 指出: 现有 IEC 870-5-101 通信协议仅支持有限的常用功能, 可满足近期通信要求, 但 IEC 标准协议有待进一步发展, 以支持电力企业通信和服务功能, 如文件传递、电子邮件、目录服务和远程数据库操作等。

美国提交的论文“电力系统保护数字通信: 安全性、可用性和快速性”, 叙述了利用数字通信增加保护功能, 增强了线路两侧保护的安全性。采用数字通信传送信息, 若包含有开关位置状态信息, 将使线路两侧保护配置更简单、更灵敏、更灵活。线路两侧保护间采用数字通道, 以通信速率 19.2 kbit/s 传输 36 位信息, 约需 1.9 ms, 若接收侧保护需 2 ms 处理时间, 再加上 2 ms 延时, 整个响应延时不超过 6 ms; 而采用音频通道, 同样的情况约需 18 ms。采用数字通信, 接收信息方能够可靠地检测出信息传输的错误, 且可通过简单地调整信号传输速度或信号检测处理方法, 就可改变数字通信的相关性能。如: 对保护远方直接跳闸, 采用连续两次正确收到同一远方跳闸信号, 即确认为远方跳闸命令。这一措施可以使传输远方跳闸信号的安全性由 10^7 提高到 10^{14} , 比 IEC 834-1 标准建议的安全性高 6 个数量级。数字通信提供了对通道进行性能监视的可能, 有利于改进和提高通道质量, 因而可以增强继电保护安全性、灵敏度和响应速度, 简化保护配置, 但也提出了一个问题: 信道的安全性是否由通信系统解决, 或者说如何处理信道的安全性与保护信息的关系。

日本的文章介绍了日本变电站自动化通信技术的现状和未来实践。日本变电站自动化系统采用 3 层局域网: 变电站层使用通用的 TCP/IP 以太网; 控制使用具有实时性的快速以太网 (10 Mbit/s 令牌总线), 监视则使用速度较慢的局域网 (9 600 bit/s HDLC)。通过局域网或广域网, 将保护设备与维护中心相连, 实现保护设备远方监视。降低整个运行、保护和控制系统成本的要求, 使变电站自动化系统越来越紧凑。文章中提出的日本未来变电站自动化系统的结构, 将 3 层局域网简化为 2 层局域网络, 即变电站层以太网和间隔层局域网。文章建议间隔层局域网也采用以太网。但保护和集成控制要采取下列措

施;需定期高速传输的大量数据,如母线保护数据,直接通过电流互感器或电压互感器采集,不通过以太网传输;由变电站自动化系统提供同步信号,实现同步采样;对需要保证传输周期的保护和控制信号,设定优先级,确保在规定的时限内传输完成。文章认为保证该方法的互操作性的关键是标准化以太网 TCP/IP 协议所涉及的 OSI 7 层模型底层以上各层协议。

在保证互操作性的标准化设计中,不仅要考虑变电站系统的应用,而且要考虑整个电力系统运行、保护和控制的应用。现代化的运行、保护和控制系统的本质就是利用数据传输网络,使变电站保护和控制数据得到充分利用。俄罗斯莫斯科电力研究院和俄罗斯电力调度中心发表的论文“俄罗斯超高压变电站综合自动化系统中通信问题”报告了俄罗斯现有的超高压变电站更新改造,实现监视、保护、控制综合自动化系统的现状,提出了变电站改造工程中一个普遍存在的问题:变电站新旧保护控制设备相互通信和协调配合。在任何变电站,为优化运行,要求变电站自动化系统高度集成,包括数据多重使用(共享),这正好与通信接口不兼容相矛盾。在更新改造中,使用可编程逻辑控制器(PLC)并行采集现有设备的数据,并将数据传送到计算机中(变电站站层),要求在非标准的设备中实现标准的协议。考虑经济性,系统对非标准设备(老的或不兼容设备)应提供配置支持。但这样集成,不仅受到技术问题的限制(系统中数据库的实现),而且受到公司组织和经济上的约束(制造商将增加额外费用)。论文提出:“集成内核”作为提供数据库服务以及保证高速通信的整体,将能够解决变电站新旧保护控制设备相互通信和协调配合问题。

2 变电站自动化通信标准

标准化通信解决方案是变电站自动化系统不同厂家的设备实现互操作性、达到信息共享的重要保证。“过程层和间隔层间串行通信:标准和实际经验”一文介绍了 IEC TC57 工作组正在起草的变电站自动化系统通信和网络 IEC 61850 系列标准的结构、概念和基本思想,详述了抽象通信服务接口和对象模型,对点对点通信接口映射和过程总线也做了较多的描述。对要求低成本的应用和设备更新,IEC TC57 工作组推荐采用点对点通信连接标准以太网,以便在电子传感器和保护控制设备之间传送采样值,并实现保护和电子传感器间即连即用。IEC TC38 WG27 也规定了类似的标准 IEC 60044-8。与 IEC TC57 不同,IEC 60044-8 采用了 IEC 60870 的

链路层。经 IEC TC57 和 IEC TC38 两个技术委员会的协调和努力,这两个标准的应用层将完全一样,不影响传输介质的更换,装置的功能也不受影响。

过程总线将用于与开关间隔设备、智能化一次设备以及电子式互感器接口。过程总线采用快速、交换式以太网技术,可为传输电流、电压互感器瞬时值提供足够的带宽,分散数据流,消除网络上的碰撞。文中还讨论了该项技术的优、缺点。

变电站自动化系统基本上受欧洲和北美影响。欧洲和北美几乎同时在起草关于变电站自动化的标准。在 IEC 和 IEEE 的共同协调之下,北美将其研究起草的 IEEE 标准草稿:公用事业通信体系结构(utility communication architecture)UCA 2.0(已作为 IEEE 技术报告发表)提交给 IEC,这样,UCA 研究的结果将纳入 IEC 标准中,从而建立一个世界范围的统一标准 IEC 61850。

未来 IEC 61850 标准的目标是:设计一个变电站自动化的通信系统。该系统在变电站自动化功能之间提供互操作性,并常驻在制造商提供的设备中,满足相同的功能,具有相同的运行要求,且功能要求与变电站规模和运行条件无关。

UCA 标准项目的目标是:对所有控制元件,如控制中心、电厂、变电站、能量管理系统以及开关设备和用户接口,建立一个标准化的网络。UCA 给出了数据和服务模型:数据模型描述了各种装置,包括保护和控制的数据;服务模型给出了一次和二次设备之间交换信息、命令、数据等所需的服务。

“小规模测试变电站开放式通信标准(草稿):未来标准 IEC 61850 第一次经验”一文介绍了开放式变电站的通信试验(OCIS)。OCIS 由德国 VEW Energie AG 提出,就变电站内部通信的 IEC 61850 和 UCA 2.0 标准数据和服务模型,比较这两个标准(草稿),在变电站站级总线上测试其可行性和性能。

OCIS 项目的目标是:①比较和测试 IEC 61850 和 UCA 2.0 标准草稿;②审查标准草稿内容的可行性、适用性和效率;③将所要的技术知识引入到技术标准中;④协助标准化工作;⑤确认满足欧洲市场的要求;⑥研究德国企业联合会 VDEW 的建议。

该试验分为 4 个部分:①针对一个规定的变电站建立功能规范和模型,比较标准(草稿);②使用 PC 机为新开发的智能电子装置(IED)建立一个真实的环境,并进行仿真;③用典型协议进行测试;④试验验证。

在功能规范和模型方面,IEC 标准(草稿)基本上覆盖了参考开关间隔的功能和对其要求,成功地建立了参考开关间隔对象模型。这表明:IEC 标准

(草稿)可用于建立中压变电站通信模型,但是否变电站自动化的所有设备和服务都能使用 IEC 标准(草稿)建立模型,未得到证明。但 IEC 标准(草稿)给出了一个适应技术发展的一般方法。IEC 标准(草稿)比较灵活,它不定义装置,而定义了一系列子功能,通过这些子功能的组合形成一个装置。

UCA 2.0 建立的参考开关间隔模型对象受到限制。主要原因是:UCA 是针对用于美国市场的一系列装置而开发的。组合(保护和控制)单元以及定时限保护在美国变电站并没有使用。

在建立的试验模型基础上,研究采用以太网/MMS(message manufacturing specification)作为变电站站级通信总线的通信性能。仿真结果表明:以太网作为站级通信网,可用于各种电压等级变电站;采用交换式以太网可满足变电站站级通信网特有的、可设定的时间性能要求。问题是这种技术的经济性尚未得到证明。

典型通信协议测试任务分为 2 个部分:①采用 Profibus/FMS 作为变电站站级总线进行测试;②基于以太网的测试。测试结果表明:

a. 采用 Profibus/FMS 可以实现 IEC 61850。利用 Profibus/FMS 提供的服务和过程,通信网络可传输几乎所有信息。所连接的装置需知道交换的信息、数据格式、数据模型、对象地址以及所用通信服务。Profibus/FMS 具有较低的传输速率,在电力和工业企业的中压变电站中,尤其适合使用 Profibus/FMS。

b. 基于以太网的测试系统采用 ABB 公司的 MicroSCADA 系统作为变电站层。各装置通过以太网,采用 MMS 作为应用层协议,与变电站控制系统通信。未来的标准 IEC 61850 以面向对象和抽象的方法描述实际的应用,使之可适应技术的发展并延伸。所有在装置中基于 IEC 61850 文件建立的对象和服务模型都被映射成 MMS 中通用服务和对象。采用以太网/MMS 通信,可使用标准的以太网工具监视 MMS 层上的数据流。IEC 61850 可用以太网/MMS 实现。以太网通信标准与 MMS 结合,加之 IEC 61850 的应用描述,是将变电站控制系统变为开放式系统的一个可能的路径。

实际经验表明:间隔功能的抽象、IEC 61850 将应用与通信解耦的方法是处理复杂的变电站控制的一个革新。以太网同更上层的协议结合,可将变电站控制与企业的 Intranet 相连,并可能通过 Internet 建立系统远方诊断和维护。IEC 61850 为满足电力企业更高的信息采集要求提供了及时的、效益更好的、标准化的解决方案,使先进的智能电子装置

(IED)功能和分散式系统成为下一代电力企业保护、控制和监视系统的基础。

3 变电站自动化经验

瑞士 Venezuela 的论文描述了他们在 400 kV 输电变电站采用变电站综合自动化系统的经验。由于变电站要求非常高的可靠性和可用性,所以,其变电站层采用了主备冗余配置,间隔间、间隔与变电站层间的通信总线双重化。文章认为:为取得变电站自动化的效益,电力公司的密切协调以及项目的早期阶段关于保护和控制可能影响到的所有各个方面的讨论,如冗余配置、运行策略、事件和报警文本、自检以及通信策略等是非常重要的。

法国电力公司(EDF)细致地编制输电变电站的更新改造规划也遇到类似问题。他们的做法是:通过分阶段实施更新改造,将整个问题分解为若干个子问题分别处理。根据现有设备的不同情况(电子、电磁型),建立不同的接口配置,并开始从现有变电站集中控制,逐步过渡到控制小室、全分散控制。在该过程中,必然存在部分集中、部分分散局面。这就产生对分散功能的一些约束,如:原间隔内电缆必须留到改造完毕,变电站实现全部分散控制为止;同期功能可能存在分散数字化同期与采用常规同期控制的间隔协调控制;在远方控制方面,变电站与控制中心的通信协议有可能要求更换为新的通信协议;变电站与控制中心应避免耗时、易出差错的、过多的、相同的数据输入;变电站人机接口与控制中心人机接口应尽可能相一致,方便运行人员当地控制。变电站控制是全电网控制的一部分,其变化影响到整个数据结构。因此,电网控制中心也应有相应的变化。

法国电力公司提交的论文还讨论了变电站自动化的经济效益,提供了一些数据。与现有设备相比,投资可减少 30%。其中 15%是由功能集成,减少了设备数量而产生的,15%是由减少管理工作体现的。文章叙述这些成本降低大多数是通过综合改造规划得到的,仅改造单个变电站并没有减少这么多成本。变电站整个生存期成本减少未包括在内。

南非 ESKOM 在 80 年代后期,设想变电站集成控制系统和运行信息系统具有 4 层控制层,由于各层缺乏通信标准,受到很大影响。目前 ESKOM 保护和变电站控制结构使用专用的 ESKOM 通信协议,ESKOM 着重于协调数据管理、减少硬件设备的数量和利用串行接口。长远设想是利用局域网连接所有设备(IED, HMI 等),这将缓解对现有遥控接口的需要,从而减少分散 I/O 接口的数目。减少设备数量,意味着功能集成,这就引出了可接受功能集

成程度的较大篇幅的讨论,其关键仍是标准化通信协议。

法国 EDF、南非 ESKOM 使用 IEC 870-5-103 通信协议,发现存在下列问题:①所有制造商均未完全实施该标准,如没有通用服务功能;②标准中定义的信息名与该信息名对应的物理意义在各制造商间变化较多,需进行协调工作;③标准信息列表远不能满足需要。

4 智能化一次设备及其他

现代庞大的电力系统需要高技术、更可靠的运行手段,以确保各单个发电厂、变电站在各种可能的运行方式下灵活、可靠、可用;电力系统控制及其管理需要电网控制中心、发电厂以及与电厂相连的变电站参与。基于数据和信息交换的运行控制和管理系统对保证上述任务的完成起着重要的作用。这就是波兰提交的论文“基于通信系统的一个发电厂变电站管理系统概念”所讨论的内容。该文将数据分成 2 种数据流:过程数据(如位置信息、测量值)和计算量(如对象状态和事件)。为此,建立 4 个原则:①对象识别;②自适应;③快速响应;④预防和恢复。这些原则可用于整体,也可用于局部。文章采用 MLP (multi layer perception) 人工神经网络(ANN),满足功能要求。对复杂系统,内部网络用于数据采集(推荐 1 Mbit/s),10 Mbit/s TCP/IP 外部网络用于在高层决策模块间交换信息。

随着数字保护和控制在开关间隔层应用的深入,进一步提高可靠性、降低成本的途径是将二次设备技术分散应用到一次设备上。在一次设备内,增设许多智能传感器和控制器,通过数字通信,与上层变电站自动化系统通信,交换数据。一些传感器和控制器基于新的物理测量原理,为一次设备增添了新的功能或增强了原有的功能,提高了测量精度,降低了电流、电压动态测量范围的误差。对一次设备进行连续性监视以及自诊断,增强了一次设备的可靠性,同时可将定期检查维修改为状态检修。

德国/瑞士提交的论文“气体绝缘开关系统和具有智能化控制的变电站测试和运行经验”认为:上述这些创新的技术解决方案,需要一次和二次设备专家密切配合协调,需要精心设计,对开发结果进行单个深入细致的测试以及大范围的系统测试和验证,并把这些技术精心地引入到制造、项目管理和试车过程中。同时,技术和观念必须更新,才能满足对智能化变电站的期望。文章指出:在开发的初始设计阶段,就应树立基于 IEC 国际标准,进行系统设计的思想。个别的技术设计方案会缺乏可用的标准,可参

考国际标准。试验结果验证了这个方法的概念和商业可行性。今后将会出现新的传感器技术,促进开发新的、更智能化的开关设备。

新的设计,要求学习电子技术、计算机技术以及通信技术,汲取上述技术在军用、航空和铁路等方面的应用经验。各种传感器、电子部分的设计必须确保在温度、湿度、机械冲击、振动及电磁干扰等相当恶劣环境下可靠工作。对于刀闸、接地开关、断路器的控制回路除了应在上述恶劣环境下可靠工作外,所有运动部件性能还应长时间保证稳定、精确。

为将电子学和计算机软件方面最新成果集成到所熟知的一次设备设计中,必须对整个开发过程进行分析,开发新的设计工具,培训开发工程师。

产品质量和可靠性是主要设计特征,在开发过程中,设计思想、理论计算必须尽早验证,找出薄弱之处并消除。这通过深入细致的开发测试完成。开发测试的目标是对每一个独立的部分首次进行一系列测试。通过测试,评估各个部件在变电站环境之下,能否可靠工作;通过试验,验证变电站恶劣环境对产品影响的理论计算。通过建立复杂的测试,使得测试工程师可仔细地检查一、二次设备在最坏条件下相互配合和协调性。

开发阶段完成各部件单独测试后,进行系统测试。其任务是验证整个设计思想。系统测试分 2 个阶段:①电子器件、连接导线及控制测试,收集一次设备处于最佳状态时的数据,并用于一次设备监视和诊断;②系统测试,验证过程层电子设备与间隔保护和控制层之间、间隔层和变电站层以及与电网控制中心间的通信。

电流、电压传感器的校核以及校核方法的验证是相关工程师的一个相当艰巨的任务。制造、装配和工作条件(温度、气体密度)等造成的误差在允许范围内时,必须保证电流、电压传感器的精度为 0.2 级。信号从传感器到电子器件、过程总线,最后传到间隔层保护、测量和控制单元,经数字化、滤波和变换,应保证信号的稳定和时间、相角及幅值的精确。

智能驱动器和电流、电压传感器的应用还要求开发专用工具,用于工厂测试和校核。专用工具在测试过程阶段,可用于替代间隔控制单元,对所有驱动器按要求进行操作。此外,还提供对位置传感器进行校核,同典型数据进行比较,可设定有关设备操作、状态监视等参数。

引入智能化一次设备和自动化系统,对管理和思想观念将产生巨大影响。需要各方面的专家不断交流,建立共同的理解基础,进行密切、顺畅的合作;需要开发一些专用工具,也需要对相关的开发、生

产、调试、销售等所有人员进行培训,获得有关知识,增强能力,学习做与以前不同的事情。

5 结语

本届国际大电网会议,变电站自动化和通信技术受到了前所未有的关注。国际大电网会议第 34 组保护和控制所发表的大部分论文,主要标题为变电站保护和控制,但几乎每篇论文都不同程度地涉及和讨论了通信。通信技术使变电站自动化获得成功,降低了变电站保护和控制设备的成本,受到了电力公司的青睐。然而,直到目前,所有变电站自动化系统都使用专用的通信协议,或者说还没有满足变电站全部通信要求的标准。因此电力公司和制造商均面临如何以经济的方式运行、维护、改进和扩展由多个制造商提供的现有自动化系统,为了加速变电站自动化的进程,对变电站自动化通信标准化的呼声更高了。

关于变电站自动化设计、规划、改造、运行工作和讨论,提出了以下基本问题供大家研究参考:

a. 哪些功能和设备必须集成到通用的变电站

通信网络中? 各类信息应具备什么性能,传送给谁?

b. 为得到超过改造规划的合理效益,新旧设备集成的要求和限制是什么?

c. 改造规划如何执行? 总是分批执行还是像某些电力公司所喜爱的那样,一次性全部更换老设备?

d. 为什么制造商没有实现 IEC 60870-5-103 的通用部分?

e. Novel 传感器和控制器以及相关过程总线出现,使变电站自动化系统进入了一个新的分散阶段。限制这种趋势的因素是什么?

f. IEC 61850 标准的目标是不同制造商提供的设备间具有互操作性,即实现开放式系统,这符合实际要求吗? 每个变电站采用一个制造商的一种技术方案可行吗?

沈国荣,男,中国工程院院士,博士生导师,主要研究方向为电力系统继电保护。

黄健,男,高级工程师,主要研究方向为变电站自动化。

A REVIEW OF CIGRE'2000 ON SUBSTATION AUTOMATION

Shen Guorong, Huang Jian

(Nanjing Automation Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: Communication technique was highly emphasized for substation automation in CIGRE'2000. The papers and discussions on communication for substation automation including the architecture, interface, standards and experiences are reviewed, and the integration technique for the protection and control are also introduced in this paper.

Keywords: CIGRE; substation automation; communication; protection; control