

变电站综合自动化中数据通信网络的研究

夏春燕¹, 雪峰²

(1 南京工业大学 江浦校区, 江苏 南京 211800; 2 南京师范大学 建筑工程设计研究院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 分析了变电站综合自动化系统中的 RS422/485 接口总线网、现场总线网、以太网 3 种数据通信网络, 指出以太网是今后变电站综合自动化系统的通信网络的发展方向, 嵌入式以太网是今后变电站综合自动化系统通信网络发展的新趋势。

[关键词] 变电站, 综合自动化, 通信网络, 以太网

[中图分类号] TM 712 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2007)04-0018-05

Study on the Data Communication Network at the Integrated Automatic System of Transformer Substation

Xia Chunyan¹, Ding Xuefeng²

(1. The Jiangpu Campus Nanjing University of Technology, Nanjing 211800, China)

2. Institute of Architectural Design and Research, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract The paper analyzes three data communication networks of the RS422/485 bus-mastering net, the field bus and Ethernet, points out Ethernet is the development direction of the data traffic networks at the integrated automatic system of transformer substation, and that the embedded Ethernet is the new trend of developing the communication network in the integrated automatic system of transformer substation.

Key words transformer substation, integrated automatization, communication network, Ethernet

0 引言

在变电站综合自动化系统中, 数据通信网络是变电站内各设备层以及变电站与远方调度中心之间的纽带。目前的 RS422/485 接口总线网和现场总线网存在通信可靠性、实时性、互操作性等问题^[1-6], 需通过不断的改进和分阶段实施等方法来满足变电站综合自动化系统功能的要求。以太网具有带宽、可靠性、可扩展性、兼容性、经济性等方面的优势, 已成为今后变电站综合自动化系统的通信网络的发展方向^[7-9]。嵌入式以太网是实现变电站综合自动化系统数据通信网络的新途径^[5-10]。

1 现状

1.1 RS422/485 接口总线网

该通信系统由专一的总控单元管理, 直接与变电站内各保护测控装置或智能装置相连并通信, 总控单元通过 RS232/422/485 等多种标准接口进行通信, 如图 1 所示。通过总控装置可将收集到的数据转发给远方调度及当地监控系统, 可实现多站互联。

RS422/485 接口总线网网络结构简单, 运行状态稳定, 成本低, 故障率较低。目前该类型的通信网络在 110 kV 及以下电压等级变电站中应用较多, 但是在应用中也发现不少问题:

- (1) RS485 串行总线为主从结构, 节点太多时, 主节点会出现瓶颈现象, 可靠性较差。
- (2) RS422/485 串行总线数据通信方式是命令响应式, 从节点只有在收到主节点的命令后才能响应, 一些重要的变位信息得不到及时上送, 致使系统灵活性差、实时性差、通讯效率低、网络的纠错能力差。

(3) 虽然可实现多个节点(设备)间的互连, 但连接的节点数一般不超过 32 个, 可扩展性差。

(4) 网络拓扑等方面存在一定的局限性, 如: 通信总控单元出现故障后将直接影响后台系统, 并危及远动系统的正常运行。

(5) RS422/485 接口的通信规约缺乏统一标准, 产品兼容性差。

1.2 现场总线网

现场总线网的网络布置与上述 RS422/485 接口总线网基本相同, 同样采用通信控制单元作为间隔设备层与后台监控及调度远动设备层的连接纽带, 如图 2 所示。

现场总线的应用使得网上所有节点都是平等的, 不再存在主从关系, 各节点可直接横向通信。总线网灵活性很高, 网上节点可任意增减, 节点位置与网络程序无关, 可扩展性好。

现场总线网在系统可靠性、节点容量、信息传输容量等方面比 RS485 网络有了一定程度的提高。它具有较完善的错误检测和相应处理功能, 节点在错误严重的情况下, 具有自动关闭总线的功能, 使得总线上的其他操作不受影响。同时系统具有非破坏性总线裁决技术, 在网络负载很重时, 不会导致网络瘫痪。它的通信速率可达 1 Mbps, 通信距离可达 10 km。网络能容纳 110 个节点, 2 032 种数据帧。

现场总线网在 110 kV 变电站中得到一定范围的应用。但在运行过程中, 现场总线网络也存在一些弊端:

- (1) 总线型网络拓扑结构造成了在某一单元故障时可导致整个系统崩溃的致命缺陷。
- (2) 通信系统的总体性能随节点数的增加迅速下降, 在节点多、数据量大的变电站中体现尤其明显。
- (3) 通信网络的多样性导致的通信规约种类繁多, 给用户设备选型、系统集成、运行维护等带来很多不便, 网络的开放性较差。

现场总线网络的这些缺点, 限制了其在 220kV 及以上电压等级的中大型变电站中的应用。变电站综合自动化通信系统的发展方向, 需要宽带、符合国际标准的兼容和开放性网络。

1.3 以太网

以太网是目前应用最为广泛的基带总线局域网。以太网的核心技术是它的随机争用介质访问控制方法, 即带有冲突检测的载波侦听路访问 (CSMA/CD) 的介质访问控制技术。在以太网中, 任何连网节点的发送都是随机的, 网中不存在集中控制的节点, 网中的结点平等地争用发送时间。

随着计算机技术和通信技术的发展, 尤其是网络技术的应用, 以太网技术正被引入变电站自动化系统过程层的采集、测量单元和间隔层保护、控制单元中如图 3 过程层设备与间隔层测控装置相连, 将基本的开关量和模拟量传输至间隔层的测控装置, 每个测控或保护装置上都通过配置一个以太网接口连入局域网与站控层之间实现保护和控制数据的交换, 通过以太网构成的站内通信的主干网络, 间隔层测控装置之间也可以实现数据直接交换, 如图 3 所示。

以太网具有带宽、速率快、可靠性、可扩展性、兼容性、经济性等方面的优势。具体表现如下:

- (1) 以太网的带宽达 10 Mbps, 可承受较大的网络负荷。

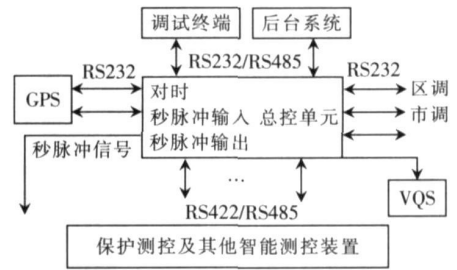


图 1 基于 RS422/485 接口总线网的变电站通信网络

Fig.1 The communication network of SAS based on the RS422/485 bus-mastering network

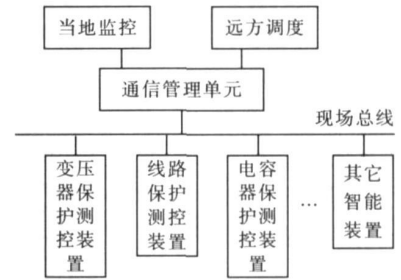


图 2 基于现场总线网的变电站通信网络

Fig.2 The communication network of SAS based on the field bus

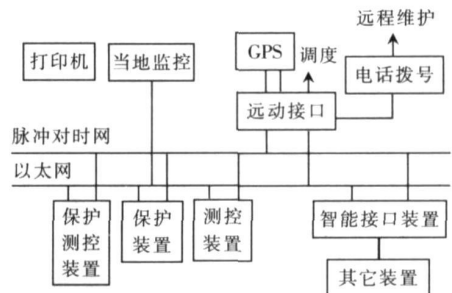


图 3 基于以太网的变电站通信网络

Fig.3 The communication network of SAS based on Ethernet

(2) 通信速率快. 以太网的数据传输速度很快, 一般采用 100 Mbit/s 的网速, 而 RS232/RS485 的通信速率只有几十千比特每秒, 即便在现场总线网络系统中, 最高速率也只有几兆比特每秒.

(3) 通信可靠性和实时性较强. 通过配置一个嵌入式以太网接口, 间隔层与变电站层之间的通信用以太网方式直接相连, 取代了当前的现场总线方式, 减少了通信管理单元, 提高了系统的可靠性. 网络拓扑可以为总线型, 也可为星型, 而且可两者混用. 基于集线器的星型拓扑结构和结构化布线技术使以太网可靠性达到很高的标准, 任何节点的故障均被集线器隔离而不会扩散. 采用全双工通信技术, 使设备端口间两对双绞线(或两根光纤)上可以同时接收和发送报文帧, 从而也不再受到 CSMA/CD 的约束, 这样任一节点发送报文帧时不会再发生碰撞, 冲突域也就不复存在, 有效保障了网络通信的可靠性和实时性.

(4) 通过对网络拓扑结构的升级和堆叠可以很方便地实现网络性能的提高和站点的扩展.

(5) 以太网网络资源丰富, 是真正的开放型网络. 使用 TCP/IP 通信规约栈, 在确保传输效率的基础上实现整个通信系统的兼容性.

(6) 基于以太网的变电站数据通信网络使得基于 Web 技术的远程维护和监控成为可能. 通过以太网网络可以远方访问 Web 服务器, 了解变电站层的实时运行情况; 可以访问每台间隔层设备, 利用通用浏览器实时监视数据、观察保护动作记录及录波信息.

以太网的这些优势, 使得其在 220 kV 及以上电压等级的中大型变电站中得到应用.

2 发展

通信网络在变电站综合自动化系统中举足轻重的地位决定了其在功能上需不断发展完善, 由于 RS422/485 接口总线网与现场总线网的性能以及应用过程中发现的种种弊端, 以太网已成为今后变电站综合自动化系统的通信网络的发展方向.

2.1 以太网技术的发展

以太网是目前通信网络中较先进的技术, 目前它已经在变电站自动化系统中的站控层、间隔层得到了一定规模的应用, 并呈现向下延伸直接应用于过程层的趋势. 未来以太网将在变电站自动化系统中的现场设备之间的互连和信息集成中发挥越来越重要的作用. 但是, 以太网作为工业控制网络还是近几年的事, 工业以太网技术要完全适应变电站综合自动化系统现场技术的发展, 在网络的实时性、生存性、安全性、互操作性等方面还需进一步发展.

2.1.1 实时性

传统以太网采用随机的网络仲裁机制 (CSMA/CD, carrier sense multiple access/collision detection), 具有传输不确定的缺点, 是以太网进入变电站实时控制领域的主要障碍. 随着计算机网络技术的突飞猛进, 这个问题基本上已经得到解决. 以太网的传输速度已经从 10 Mbit/s 提高到 100 Mbit/s 以至目前的 1 Gbit/s 、 10 Gbit/s . 对于同样的通信量, 通信速度的提高意味着网络负荷的减轻, 降低了网络冲突率, 提高了通信确定性, 满足系统实时性的要求. 使用交换式以太网技术, 使网络具有微网段特性, 它可以为每个节点提供独占的点到点链路, 使每个设备都有一个专用的单独信道连接到另一个设备, 大大降低了产生冲突的可能性, 网络传输的确定性问题得到了妥善解决. 在点对点连接中, 以太网还提供了标准的全双工配线, 使网络具有全双工传输的特性, 有效避免数据传输冲突, 从而保障网络通信的确定性和实时性.

2.1.2 生存性

以太网应用于变电站现场控制时, 现场的电磁干扰、温度、尘埃等条件非常恶劣, 网络必须具有较强的生存性. 网络的生存性要求网络具有高可靠性、可恢复性、可维护性.

要解决网络的生存性问题, 在进行基于以太网的控制系统设计时可采用分散结构化设计, 电磁兼容 (EMC) 设计, 冗余、自诊断等可靠性设计技术, 提高现场设施的可靠性. 如使用具有电磁兼容性的光纤, 可以大大提高骨干网的抗干扰能力和可靠性; 利用快速生成树协议使算法的收敛过程从 1 min 降低到 $1\sim 10\text{ s}$, 从而解决因为由广播产生的数据包会引起无限循环而导致堵塞, 使传统的以太网拓扑结构中不能出现环路的问题. 可以采用环型冗余结构以太网网络, 提高系统的可恢复性; 采用智能设备管理系统对现场设备进行在线监视和诊断、维护管理, 提高网络的可维护性.

2.1.3 安全性

目前工业以太网已经可以接入 Internet 实现数据的共享, 高效率地运作, 但与此同时也引入了一系列的网络安全问题。

为了解决网络安全性问题, 可使用虚拟局域网技术 (VLAN)。VLAN 利用现代交互技术, 将局域网内的设备按照逻辑关系 (而不是物理关系) 划分成多个网段, 从逻辑上划分变电站中的控制网段和非控制网段, 控制区域通过具有网络隔离和安全过滤的现场控制器与系统主干相连, 实现各控制区域与其他区域之间的逻辑上的网络隔离。还可以通过引进防火墙机制, 进一步实现对内部控制网络的访问的限制、防止非授权用户得到网络的访问权。

2.1.4 互可操作性

互可操作性是决定某一通信技术能否被广大自动化设备制造商和用户所接受, 并进行大面积推广应用的关键。由于以太网 (IEEE802.3) 只映射到 ISO/OSI 参考模型中的物理层和数据链路层, TCP/IP 映射到网络层和传输层, 而对较高的层次应用层等没有作技术规定, 各家应用层协议各自为政, 标准不一, 相互之间不能实现透明互访。

为了解决现场设备之间的互可操作性问题, 首先要制定统一的应用层技术规范。可以在以太网 + TCP (UDP) / IP 协议的基础上, 制订统一并适用于工业现场控制的应用层技术规范, 同时可参考 IEC61850 有关标准, 在应用层上增加用户层, 将工业控制中的功能块 FB (Function Block) 进行标准化, 把它们组成为可在某个现场设备中执行的应用进程, 便于实现不同制造商设备的混合组态与调用。其次, 应在进行网络设计时推广标准化的传输规约。推广使用现有成熟通信规约, 推广使用调度端和站端之间的信息传输 101 规约, 推广使用继电保护和间隔层 (IED) 设备与变电站层设备间的数据通信传输 103 规约和电能量计量计费系统 102 规约; 逐步进行 IEC61850 规约的推广。

2.1.5 总线供电技术

由于以太网以前主要用于商业计算机, 没有总线供电的要求。为了减少变电站综合自动化系统中现场的网络线缆, 减低安装难度与费用, 便于维护, 今后连接到现场设备的以太网线缆不仅要传输数据, 还要能给现场设备提供电源。为此, 在不改变目前以太网物理结构的情况下, 通过连接电缆中的空闲线缆为现场设备提供工作电源, 或者采用直流电源耦合、电源冗余管理等技术, 设计出能实现网络供电或总线供电的以太网集线器, 解决以太网总线的供电问题。

2.2 嵌入式以太网

随着计算机软件、硬件技术的发展, 工业控制领域出现了嵌入式技术, 利用嵌入式软、硬件可以在单片机协同系统上实现以太网技术即嵌入式以太网。嵌入式技术使以太网技术在过程层应用成为可能。嵌入式技术是实现变电站综合自动化系统中产品间的互操作性和兼容性的重要桥梁, 是实现变电站内部网络通信的新途径。

嵌入式以太网作为变电站综合自动化系统的内部通信网络, 有两种应用模式, 如图 4 所示。

(1) 每个间隔层设备配置一个嵌入式以太网接口, 每个作为一个以太网节点直接连接到以太网上;

(2) 通过 RS422/485 或现场总线等方式将那些不具备网络接口的智能电子装置 (IED) (如某些保护装置、智能电表等) 连在一起, 利用具有嵌入式以太网接口的通信管理单元 (如保护管理机、智能设备接口机等), 将其作为一个间隔层网络节点连到以太网上, 实现间隔层设备直接上网。

在实际应用中, 采用何种嵌入式以太网应用模式主要考虑电压等级、成本、兼容性等因素。对于对通信网络的可靠性要求很高的超高压变电站系统一般都采用第一种模式, 构成双网结构。对一般的中、低压变电站自动化系统, 因考虑到成本、兼容性等因素, 一般采用第二种模式。

为了提高内外部网络的通信可靠性, 降低通信故障的发生率, 图 4 中网络及相应通信设备 (如通讯管

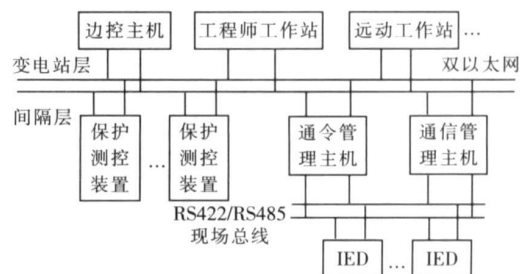


图 4 嵌入式以太网的应用模式

Fig.4 Application mode of embedded Ethernet

理单元等)采用双冗余配置,使用双机双通道,确保工作机有故障时,能安全可靠地自动切换到备用主机上工作;当主通道有故障中断时,可以及时切换到备用通道.备用通道可采用不同方式、不同介质的第二通讯通道,如在实现光纤联网后,可应用无线系统做为备用通道.随着数字载波、红外线、蓝牙技术的发展,为备用通道提供了更大的选择余地.

嵌入式技术是实现变电站综合自动化系统中产品间的互操作性和兼容性的重要桥梁.目前基于 103、104 规约的产品应用比较广泛,要解决产品的互可操作性和兼容性问题,可以适当进行 IEC61850 规约的推广. IEC61850 目标是建立一个具有互操作性的无缝通信体系,但国内并未有成熟的基于 IEC61850 标准的变电站自动化产品.目前生产厂家全部从底层重新设计显得既不经济又不现实,故可以先在嵌入式以太网接口通信系统上实现这一规约转换的功能,而不对保护测控等装置的主控单元及下层设备相关信息进行改动,既经济又实用,可有效地解决产品的互可操作性和兼容性问题.

3 结论

(1) 目前,常用的 RS422/485 接口总线网和现场总线网在通信可靠性、实时性、互操作性等方面还存在一些问题,需通过不断地改进来满足变电站综合自动化系统功能要求.

(2) 以太网具有带宽、可靠性、可扩展性、兼容性、经济性等方面的优势,已成为今后变电站综合自动化系统的通信网络的发展方向.

(3) 嵌入式以太网是实现变电站综合自动化系统数据通信网络的新途径.

[参考文献] (References)

- [1] 王海峰, 丁杰. 对变电站内若干网络通信问题的探讨 [J]. 电网技术, 2004, 28(24): 65–68.
Wang Haifeng Ding Jie Research on several issues of substation network communications [J]. Power System Technology, 2004, 28(24): 65–68 (in Chinese)
- [2] 谢希仁. 计算机网络 [M]. 4 版. 北京: 电子工业出版社, 2003.
Xie Xiren Computer Network [M]. 4th ed Beijing: Electronics Industry Press, 2003 (in Chinese)
- [3] 张奇智, 尹汝波. 交换式工业以太网的状态和研究 [J]. 传感器世界, 2005(2): 34–39.
Zhang Qizhi Yin Rubo The state of art switched industrial Ethernet [J]. Sensor World, 2005(2): 34–39. (in Chinese)
- [4] 丁书文. 数字式变电站自动化系统的网络选型 [J]. 继电器, 2003, 31(7): 37–40.
Ding Shuwen Choosing internal communication network of digital substation integrated automation system [J]. Relay, 2003, 31(7): 37–40 (in Chinese)
- [5] 田国政. 变电站自动化系统的通信网络及传输规约选择 [J]. 电网技术, 2003, 27(9): 66–68.
Tian Guozheng Selection of communication network and protocol for substation automation system [J]. Power System Technology, 2003, 27(9): 66–68 (in Chinese)
- [6] 吴在军, 胡敏强. 基于 IEC61850 标准的变电站自动化系统研究 [J]. 电网技术, 2003, 27(10): 61–65.
Wu Zaijun Hu Minqiang Research on a substation automation system based on IEC61850 [J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 61–65 (in Chinese)
- [7] 彭瑜. 工业以太网及以太网向现场层延伸的若干问题的思考 [J]. 自动化博览, 2003, 20(6): 10–16.
Peng Yu Industrial Ethernet and some pondering when Ethernet to extend to field layer [J]. Automation Panorama, 2003, 20(6): 10–16 (in Chinese)
- [8] 孙军平, 盛万兴, 王孙安. 基于以太网的实时发布者/订阅者模型研究与实现 [J]. 西安交通大学学报, 2002, 36(12): 1299–1302.
Sun Junping Sheng Wanxing Wang Sunan Research on the real-time publisher/subscriber model based on Ethernet and its implementation [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2002, 36(12): 1299–1302 (in Chinese)
- [9] 陈磊, 冯冬芹, 金建祥, 等. 以太网在工业应用中的实时特性研究 [J]. 浙江大学学报: 工学版, 2004, 38(6): 670–675.
Chen Lei Feng Dongqin Jin Jianxiang et al Study on real-time characteristics of Ethernet in industrial application [J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science Edition, 2004, 38(6): 670–675. (in Chinese)
- [10] 程雷, 郭伟, 刘超军. 嵌入式以太网在变电站自动化测控保护装置中的应用 [J]. 电力自动化设备, 2005, 25(10): 59–61.
Cheng Lei Guo Wei Liu Chaojun Application of embedded Ethernet in measuring and protective device of substation automation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(10): 59–61. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]