

电厂厂用电监控系统 ECS 通信技术探讨

戚建中

(江苏省电力设计院,江苏 南京 210024)

摘要: 阐述了发电厂厂用电监控系统 ECS(Electric Control System)由简易到先进的 3 个发展阶段,即一对一的控制方式,电气监控纳入集散控制系统(DCS)的控制方式,全数字化的电气监控系统、并为 DCS 提供所需信息接口和控制接口的控制方式。分析表明 DCS 和 ECS 控制层之间的通信介质采用基于 TCP/IP 的以太网,通信规约采用 IEC-104 或 OPC(OLE for Process Control)是合适的。实例说明了在 600 MW 等大机组电厂的工程设计中,只要优化好 ECS 系统的组网方案、选择恰当的通信规约,就能满足 DCS 通过 ECS 系统对参与顺序控制的电气量进行软采集和控制的高速要求。

关键词: 监控系统; 用电监控系统; 通信技术

中图分类号: TM 73

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)01-0108-04

1 监控系统技术发展的 3 个阶段

在科学技术高速发展的今天,作为发电厂自动化系统的一个组成部分,发电厂厂用电监控系统 ECS(Electric Control System)技术经过了 3 个阶段的发展历程^[1-4]。

第 1 个阶段是一对一的控制方式,即设置发电机厂用电控制屏,通过测量仪表、光字牌和指示灯进行监测,控制开关采用一对一的强电控制方式,也是发电厂设计原始的控制系统,此方式的控制系统特点是设备监控简捷明了,自动化程度低。

第 2 个阶段是电气监控纳入集散控制系统(DCS)。随着计算机信息技术的发展和分散控制技术在自动控制领域广泛应用,为提高发电机组的电、热负荷适应能力和自动化水平,DCS 已经在电厂自动控制领域得到广泛应用,并逐步从较为简单的数据采集系统(DAS)、模拟量控制系统(MCS)功能,逐渐发展到机电一体化控制系统。在这个阶段,厂用电监控纳入 DCS 主要是指发电机变压器组由 DCS 进行测量与控制;直流系统、不间断供电系统(UPS)、厂用电快切等由 DCS 实现数据采集;6 kV 厂用电保护、380 V 电动机控制装置、380 V 配电控制装置等各自独立,测控功能由 DCS 直接进行。但主要存在以下问题:通信能力比较弱、可靠性不高(串口链路本身是没有通信可靠性保证的,只能在通信规约中增加确认-重发机制来保证可靠性,但这是以降低通信效率为代价的),对 DCS 下发的控制命令无法快速响应,也无法快速地把相关电气量传给 DCS,不能满足 DCS 对参与顺序控制的电气量进行快速数据采集的要求。所以常规做法是对这些要参与 DCS 顺序控制的电气量专门铺设二次电缆和加装变送器,由 DCS 直接进行数据采集和控制操作,铺设电缆的工作量很大,投资也很高,而厂用电保护装置或电机

控制中心(MCC)、动力中心(PC)控制装置本身所具有的采集和控制功能没有得到充分利用。

第 3 个阶段是全数字化的电气监控系统,并为 DCS 提供所需信息接口和控制接口。厂用电保护装置和 MCC、PC 控制装置已能满足保护、测控和高速通信一体化的要求,通过工业现场总线或以太网将厂用电气系统组成局域网,构建成专用的 ECS,实现完全数字化的电气信息量监控,同时为 DCS 提供高速实时的数字化通信接口^[5-7]。这时 DCS 对参与顺序控制的电气量的采集和控制完全是以通信软报文的方式进行,不需要二次电缆硬接线(简化了设计和施工的工作量,节省大量成本)。这个阶段的 ECS 网络架构见图 1。

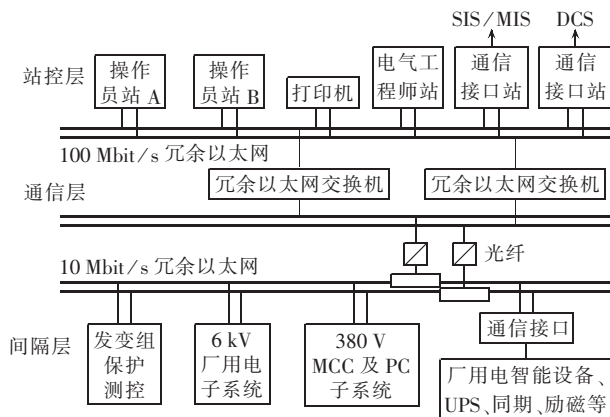


图 1 ECS 网络架构

Fig.1 The architecture of ECS network

图 1 反映出 ECS 系统采用分层、分布的网络结构,由系统站控层、通信层和间隔层 3 层所组成。

系统站控层采用 100/1 000 Mbit/s(注:目前应用比较普遍的是 10/100 Mbit/s 自适应的以太网)的双以太网冗余结构,根据运行管理的需要可设置数据库服务器、电气操作员站、电气维护工程师站、网络打印机、通信主站等,形成电气系统监控和管理中心,并完成与 DCS、监控信息系统(SIS)、管理信息系

统(MIS)等系统的数据交换。

间隔层由数量众多的厂用电保护装置、MCC 及 PC 控制装置和其他智能装置组成,考虑到电厂物理位置的分散性,间隔层一般先组成以下几个局部网络:6 kV 厂用电子系统、380 V MCC 及 PC 子系统、厂用公用子系统和保护及智能设备子系统等,各局部网络之间再连接起来,形成完整的间隔层网络。

通信层是站控层和间隔层之间的桥梁,主要由多台通信管理机组成,起到沟通通信的作用。

从上述系统结构图可看出,DCS 对电气间隔进行软采集和控制主要经过以下 3 个主要的通信和处理环节:DCS 和 ECS 站控层之间的通信,ECS 站控层和电气间隔之间的通信,间隔层装置的响应及处理。要实现 DCS 对电气间隔的快速软采集和控制,特别是能满足顺序控制的要求,就需要在 ECS 整体网络方案设计时对这 3 个主要环节都要充分挖掘其通信速率的潜力,片面要求其中某一环节加快速度往往并不能使整体的通信速度满足要求。对任一通信环节而言,通信介质和通信规约的选择是提高通信速度的主要因素。

2 DCS 和 ECS 控制层之间的通信

由于历史和习惯的原因,DCS 系统特别是国外进口的 DCS 系统大都使用串口的 Modbus 规约与其他装置通信,这其中就包括和 ECS 站控层的通信主机之间的通信。串口介质本身就是相对低速的,通信带宽有限;Modbus 规约是个问答式规约,DCS 是通信主机,ECS 等其他装置是通信的从机,只有主机能主动启动通信过程,从机只能被动应答,即使从机中有数据变化,只要主机不召唤,从机无法主动上送;另外 Modbus 规约本身的通信机制也过于简单,只能进行全数据或部分全数据的召唤和上送,不能优先提取少量的变化数据,这对有限的通信带宽是很不利的;Modbus 规约无通信链路通断的判断机制,DCS 只能是根据连续几次查询而 ECS 都不应答来判断通信链路已断。这样一个变化点在 DCS 和 ECS 控制层之间的传输时间是秒级的。为此 DCS 和 ECS 控制层之间的通信介质应采用基于 TCP/IP 的以太网,通信规约采用 IEC104 或 OPC(OLE for Process Control)为宜。以太网介质可达到 100 Mbit/s 或 1 000 Mbit/s 的通信带宽,TCP/IP 提供了链路层的快速可靠连接,通信双方的 TCP/IP 协议栈提供了不依赖于应用层的链路通断测试机制,能在毫秒级范围内侦测出通信链路的中断,并主动进行再次的握手连接^[8-10]。IEC104 和 OPC 都是客户-服务器模式的平衡式通信协议,一般 DCS 是客户端,ECS 侧是服务器,通信双方都可以主动发起通信过程且支持变化数据的优先上送,这样只要 ECS 中有变化数据,就会立即无延时地主动向 DCS 上送。目前,几大国产 DCS 厂家都能实现 IEC104 或 OPC 协议通信。

3 ECS 站控层和电气间隔层之间的通信

ECS 站控层和电气间隔层之间的通信实际包含 2 个部分,一个是 ECS 站控制层各主机和通信层之间的通信,另一个是通信层和间隔层之间的通信。

a. 由于 ECS 站控层主要由多台基于 Unix 和 Windows 操作系统的服务器及工控机组成,操作系统本身对各种商用以太网卡提供了很好的支持,所以各厂家的 ECS 组网方案中站控层几乎无一例外地由 100 Mbit/s 或 1 000 Mbit/s 的以太网组成;由于站控层各主机的硬件配置都很高,以太网带宽也很大,数据在这些主机之间的通信时间为几毫秒,可认为是无延时的。

b. 间隔层主要由 2 大类装置组成,一类是数量众多的厂用电保护装置,380 V MCC 电动机控制装置和 PC 配电控制装置,这些装置上所采集的部分开关量、模拟量是要上送到 DCS 去参与顺序控制的,而 DCS 所发送的控制命令也是通过这些装置作用于开关柜或电动机的。这部分装置需要能和 DCS 进行高速通信。另一类是数量有限的发变组保护装置、厂用电快切装置、直流系统、UPS、励磁系统控制装置等,这些装置独立完成某种预定功能,和 DCS 的顺序控制过程无关,DCS 只是要定期了解其状态,这部分装置和 DCS 之间其实并不需要高速通信。目前,各厂家 ECS 系统间隔层的组网方式存在着很大的差异,差异主要体现在间隔层的通信介质和通信协议上。因为间隔层装置的数量最多,直接反映每个电气间隔的实时运行状况,所以间隔层通信的速度快慢和可靠与否在很大程度上决定了整套 ECS 系统的通信速度和可靠性。目前,ECS 系统间隔层的组网方式主要有快速 RS-485 网、各种现场总线网和工业以太网 3 种。

3.1 快速 RS-485 网

快速 RS-485 网就是在普通 RS-485 串口的基础上采取一些特殊的控制技术提升 RS-485 口的通信速率和带负载能力,然后将多台间隔层装置和 1 台通信管理机组成主从式的简易通信网络,通信管理机是主节点,通信速度最高可达到 115.2 Kbit/s,负载能力能达到 32 台装置/口,500 m 距离。这种方案的最大问题在于 RS-485 通信速率低。RS-485 网只能有 1 个主节点,其他都只能是从节点,只有主节点能主动启动通信过程,从节点只能被动应答,主节点只能采取轮询的方式依次对各从节点进行访问获取数据,无法做到并发式处理。同时由于站控层一般都是以太网通信,主节点通信管理机还要向站控层以太网转发数据。在这种 RS-485 网中为了提高通信速率,常用的方法是:加快主节点的查询速度和频度,减少一个 RS-485 网中的从节点数量,简化通信规约。加快主节点的查询速度和频度将加重主节点的任务负担,况且查询速度和频度的提升也有其

上限,毕竟作为主节点的通信管理机除了与间隔层装置通信外,还有数据入库处理和向站控制层转发数据等任务,过度地加快和间隔层装置的通信任务势必影响其他任务的正常运行,使其成为网络中最脆弱的瓶颈。减少单个 RS-485 网中的从节点数量的实质就是化整为零,这将增加通信电缆的铺设工作量,增加通信管理机的数量,使整个 ECS 系统的性能价格比下降。简化通信规约可以提高通信速度,但简化的通信规约中通信信息语义的不完整,即间隔层装置中很多有用的数据信息无法上送到 ECS 站控层主机,ECS 站控层主机获取不到电气监控所需要的全面信息,把间隔层装置中的有效信息给浪费了。显然,RS-485 网不太合适作间隔层的组网。

3.2 现场总线网

现场总线是以单个分散的数字化、智能化的测量和控制设备作为网络节点,用总线连接实现相互交换信息共同完成自动控制功能的网络系统与控制系统,其主要特征是采用数字式通信方式取代设备级的 4~20 mA 模拟量或 24 V 直流开关量信号,使用一根电缆连接所有现场设备。现场总线种类较多,主要有 Profibus、CAN、Lonworks 和 WorldFip 等,各种总线的主流应用领域也各有侧重,发电厂中 Profibus 总线应用较多。Profibus 以国际标准化组织(ISO)开放式系统互联网络的 7 层模型为参考,定义了物理层、链路层、应用层和用户接口。应用层又包括现场总线信息规范(FMS)和低层接口(LLI),FMS 包括了应用协议并向用户提供了可广泛选用的强有力的通信服务,LLI 协调不同的通信关系并提供不依赖设备的第 2 层访问接口。Profibus 的用户接口规定了用户及系统和不同设备可调用的应用功能。在发电厂中使用 Profibus 总线主要优势有 2 点。

a. 大幅度地提高了通信速度,增强了现场级信息集成能力。Profibus 协议栈的链路层规定了通信过程中冲撞冲突检测的仲裁原理和重发手段,使得使用 Profibus 总线的间隔层各装置和通信层的管理机在通信时能最大限度的避免冲撞冲突,实现并发式通信,提高通信速度,该功能直接由 Profibus 总线的协议栈提供,用户的应用程序中无需考虑。若使用专用的连接插头,Profibus 总线的通信速度能达到 1 Mbit/s。通信速度的提高使得大信息量的传输成为可能,采用 Profibus 总线后,可实现设备状态、故障、参数信息向 ECS 站控层的传送,使 ECS 站控层获得更多更丰富的信息。

b. 系统可靠性高、可维护性好、抗干扰性强。基于现场总线的自动化监控系统采用总线连接方式替代一对一的 I/O 连线,对于大规模 I/O 系统而言,减少了由接线点造成的不可靠因素。同时,系统具有现场级设备的在线故障诊断、报警、记录功能,可完成现场设备的远程参数设定、修改等工作,也增强了系统的可维护性,从而降低了系统及工程成本。Profibus 总线的一大特点就是抗干扰性强,比较适合

在电磁干扰很强的恶劣电气环境中使用。当然,在间隔层使用 Profibus 总线也存在问题。目前,支持 Profibus 总线的产品相对较少,尤其是国内厂家的产品。

3.3 工业以太网

以太网是使用最为广泛的局域网技术,在当今所有的网络连接中有 80% 是基于以太网的。以太网具有诸多优点。

a. 以太网的传输速度有 10/100/1 000 Mbit/s,是现场总线网所无法比拟的,可充分满足 ECS 间隔层与站控层进行高速通信的要求。

b. 以太网本身是一种可靠的网络系统,它使用简单可靠的 CSMA/CD(载波侦听/冲撞检测)协议确保可靠的数据传输。

c. 以太网技术的广泛应用使网络设备价格大幅度下降,使其价格比现场总线部件低 1~2 个数量级,可大幅降低 ECS 间隔层组网费用。

d. 以太网技术相对于现场总线网的另一个重要优势是有大量的网管和故障排除工具,目前内嵌在交换机和计算机接口中的网络管理功能提供了强有力的网络监控和故障排除能力,使得以太网更有稳定性保证。现场总线网的网管和故障排除工具很少或几乎没有。

由于以太网采用星型连接,需要有集中式的交换机在各网络节点之间进行数据交换,以往这个集中式的交换机被认为是以太网络中的通信和故障瓶颈,从而限制了以太网在恶劣工业控制现场的使用。随着工业以太网技术的出现,这一问题得到了彻底解决,完全可以用工业以太网构建 ECS 系统的通信层和间隔层。

ECS 系统通信层的工业级以太网交换机支持冗余双直流电源输入,提供工业级的宽温工作范围(-40~75℃),并采用高强度外壳或德国工业标准(DIN)导轨及面板式安装,通过发光二极管(LED)提供设备的电源、工作状态、冗余状态和端口状态的显示。目前,工业级的以太网交换机电磁兼容性能达到工业 4 级,使其能够在电力等强电磁干扰环境及室外环境中使用。间隔层的装置把以太网控制芯片直接嵌入集成在 CPU 板上,这使得装置的以太网接口能达到和装置本身相同的抗电磁干扰性能。间隔层装置和通信层交换机之间采用带屏蔽层的 5 类双绞线连接,能有效地减少信号传输过程中的干扰。由于工业级以太网交换机可下放到强电磁干扰环境的开关室或 MCC 配电室安装,可以减少间隔层装置和交换机之间通信线的长度,这既有助于提高通信的可靠性,也有利于按功能区域或物理位置先形成若干个间隔层子网,再用光纤把若干个间隔层子网连成一个完整的间隔层网络。

ECS 间隔层采用以太网的另一大优势在于 ECS 站控层和间隔层都是基于 TCP/IP 协议的以太网网络,两者之间可以实现平滑连接,可以省掉通信层的通信管理机,简化系统架构,进一步提高通信速度,

同时还能减少系统故障点,降低系统成本;或把通信管理机作为物理隔离的网关机使用,以进一步提高整个 ECS 系统的网络安全性。

在某 3×600 MW 机组电厂工程实施过程中进行过这样的测试:单台机组 ECS 系统站控层和间隔层都采用以太网通信,间隔层共有装置 120 台,在 ECS 站控层主机上对某台 6 kV 综保下发开关合闸命令,从遥控执行命令开始下发到开关位置变位到达 ECS 站控层主机数据库,中间的时间间隔约为 380 ms。可见把成熟的工业以太网技术应用于 ECS 系统间隔层的组网将较大程度地提高整个 ECS 系统通信的速度和可靠性,给整个 ECS 系统铺设了一条信息高速公路。

3.4 间隔层装置的响应及处理

间隔层装置对外部电气量的响应和处理时间是经常被忽略的一个因素,但它在整个通信过程中也起到很重要的作用,因为一次电气量的任何变化都要先经过间隔层装置的采集和处理后才能变成数字量信号在后续的网络上传输。影响间隔层装置处理时间的因素主要是:CPU 芯片的工作主频及指令周期、A/D 转换速度、光耦动作速度、继电器动作速度、软件采样周期、软件处理算法速度等。例如,选用高工作主频、片内自带 A/D 转换的数字信号处理器(DSP)芯片作处理器,再对软件算法作适当的优化就能有效地提高间隔层装置对电气量的处理时间。

4 结语

综合以上分析,只要 ECS 系统的组网方案得到优化,通信规约选择恰当,是完全能满足 DCS 通过 ECS 对参与顺序控制的电气量进行软采集和控制的高速要求的。

参考文献:

- [1] 陈倩茵. 厂用电监控系统在火电厂的应用[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(3): 85-87.
- [2] 卓乐友. 智能终端设备与现场总线在发电厂、变电所应用简介[J].

电气设计技术, 2001(3): 1-10.

- ZHUO Le-you. Application of intellectual terminal devices and field bus for power plant and substation[J]. Electrical Design Technology, 2001(3): 1-10.
- [3] 焦邵华, 李娟, 李卫, 等. 大型火力发电厂电气控制系统的实现模式[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(15): 81-85, 95.
- JIAO Shao-hua, LI Juan, LI Wei, et al. Realization mode of electric control system in large thermal power plant[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(15): 81-85, 95.
- [4] 陈利芳. 电气系统监控纳入 DCS 改造的设计与实践[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(4): 61-63.
- CHEN Li-fang. Design and practice to realize electric control in DCS reconstructing[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(4): 61-63.
- [5] 吴伟, 孙建. 浅谈发电厂电气监控系统纳入机组 DCS[J]. 山东电力技术, 2000(2): 45-48.
- WU Wei, SUN Jian. Talking of the power plant electrical system brought into DCS[J]. Shandong Electric Power, 2000(2): 45-48.
- [6] 吴泽生, 吴艳萍. 数字化电气监控管理系统的探讨[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(1): 94-97.
- WU Ze-sheng, WU Yan-ping. Discussion on digital electrical supervisory control and management system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(1): 94-97.
- [7] 杨中, 章建民. RCS-9000 电气监控系统在燃机电厂的应用[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(7): 96-98.
- YANG Zhong, ZHANG Jian-min. Application of RCS-9000 electric monitoring system in power plant[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(7): 96-98.
- [8] 刘志超, 丁建民, 任锦兴, 等. 基于以太网的分布式发电厂电气监控系统实现[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(8): 84-87.
- LIU Zhi-chao, DING Jian-min, REN Jin-xing, et al. Realization of a distributed electrical control system based on Ethernet[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(8): 84-87.
- [9] 熊育悦, 赵哲身. 工业以太网在控制系统中的应用前景[J]. 自动化仪表, 2002, 23(9): 1-5.
- XIONG Yu-yue, ZHAO Zhe-shen. The applicable prospect of industrial Ethernet in control systems[J]. Process Automation Instrumentation, 2002, 23(9): 1-5.
- [10] 孙军平, 盛万兴, 王孙安. 新一代变电站自动化网络通信系统研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(3): 16-20.
- SUN Jun-ping, SHENG Wan-xing, WANG Sun-an. Study on the new substation automation network communication system[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(3): 16-20.

(责任编辑: 汪仪珍)

作者简介:

戚建中(1958-), 男, 江苏响水人, 高级工程师, 注册电气工程师, 从事电力工程设计(E-mail: qjz@sohu.com)。

Discussion on communication technology of power plant ECS

QI Jian-zhong

(Jiangsu Electric Power Design Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract: Three development stages of power plant ECS(Electric Control System) are introduced: one to one control, control integrated in DCS(Distributed Control System) and fully digitalized ECS with information and control interfaces to DCS. It is analyzed and proved applicable to adopt TCP/IP-based Ethernet for the communication between ECS and DCS, as well as IEC-104 or OPC(OLE for Process Control) as communication protocol. With an example of 600 MW power plant ECS design it is shown that, the requirement of DCS for high speed SCADA of ECS can be satisfied in sequential control, if the communication network of ECS is well optimized and the protocol appropriately selected.

Key words: control system; ECS; communication technology