

基于 IEC 60870-5-104 及 OPC 的水电厂自动化系统

郭谋发, 杨耿杰, 丁国兴, 高伟

(福州大学 电气工程与自动化学院, 福建 福州 350002)

摘要: 提出一种针对中小型水电厂的开放型水电厂自动化系统设计方案。介绍了系统的结构及软件设计方案, 系统现地控制单元中的可编程控制器(PLC)及保护装置直接接入以太网, 通信采用 IEC 60870-5-104 协议及 OPC 技术, 监控软件的设计采用面向对象、多进程、多线程、COM 等技术。给出了系统数据点的标识方法、OPC 服务器访问的实现过程、IEC 60870-5-104 协议的应用经验等。系统标准化程度高、开放性好, 在现场运行可靠稳定。

关键词: 水电厂自动化系统; 以太网; OPC; IEC 60870-5-104 协议

中图分类号: TM 76

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)10-0100-04

0 引言

水电厂自动化系统包含监控计算机、现地控制单元(LCU)的核心元件可编程控制器(PLC)及保护装置等。监控计算机与 PLC 之间, 监控计算机与保护装置之间采用以太网进行数据通信已成为发展趋势, 但目前仍存在通信协议不统一、开放性差的问题。为增强系统开放性, 实现设备互操作甚至互换, 在针对中小型水电厂设计的 SZX-8000 水电厂自动化系统中, 监控计算机与保护装置通信采用 IEC 60870-5-104 协议(简称 104), 监控计算机与 PLC 通信采用 OPC 技术。

国际电工委员会电力系统及其通信技术委员会(IEC TC57)根据信息传输方式的网络化和数字化发展的要求制定了电力系统网络通信标准, 以降低系统费用, 避免多种不兼容的标准和互相竞争的标准出现。其中制定的 104——利用标准传输协议子集 IEC 60870-5-101 的网络访问, 是电力系统目前应用较广的一种网络访问协议^[1-9]。OPC 技术将微软的 OLE/COM 技术应用到过程控制。硬件厂商为其设备开发一个通用的符合 OPC 规范的数据接口, 应用软件通过该接口读写硬件设备的信息, 提高了应用软件的开放性和可靠性^[10-14]。

1 系统结构

系统的 PLC 及保护装置直接接入以太网, 通信扩展方便, 以 2 台机组为例, 其结构如图 1 所示。取消了传统结构中的工控机, 提高了可靠性。LCU 需要与交流电参数采集器、温度巡检仪、调速器、励磁调节器、电能表、直流系统、微机同期装置等智能设备通信。各智能设备一般均提供 RS-485 接口, 但通信协议均不一致, 加上 PLC 与工控机相比, 难于实现多串口的扩展, 若采用各智能设备直接通过一

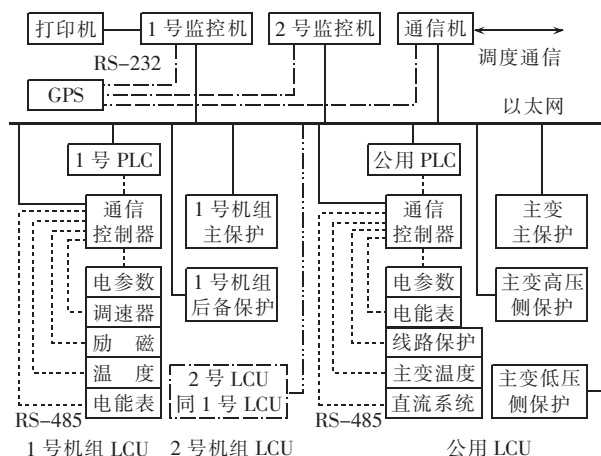


图 1 水电厂自动化系统网络结构图

Fig.1 Network structure of hydropower plant automation system

个 RS-485 总线接入 PLC, 会存在总的通信速度慢、占用 PLC 的程序存储空间大等问题。因此, 在设计中由带多串口的智能通信控制器与各智能设备通信, 智能通信控制器将各智能设备的协议转换成标准的协议后经 RS-485 总线接入 PLC 的 RS-485 口。各智能设备信息的传送顺序和传送周期可按系统对信息的不实时性要求进行调整。

考虑到 SZX-8000 水电厂自动化系统主要针对中小型水电厂设计, LCU 中用于机组开停机控制的 PLC 选用西门子小型 PLC S7-226。S7-226 CPU 带 2 个 RS-485 通信口, 一个通信口用于同西门子彩色触摸屏 TP270 通信, 另一个以自由口方式同智能通信控制器通信。S7-226 CPU 扩展 3 块开关量输入输出模块 EM223, 2 块模拟量输入模块 EM231, 1 块以太网通信模块 CP243-1, 扩展后, PLC 共有 72 点开关量输入点, 64 点开关量输出点及 8 点模拟量输入点。交换机选用 MOXA 工业以太网交换机 EDS-316。智能通信控制器选用 MOXA 带 WinCE 5.0 操作系统的嵌入式工业计算机 UC-

7410CE,UC-7410CE 带 8 个 RS-485 通信口,2 个以太网口,采用 RISC 结构及电子盘,无风扇及硬盘,可靠性高,适合于恶劣工作环境。保护装置带以太网接口,主要有发电机主保护、发电机后备保护、主变主保护、主变高压侧保护、主变低压侧保护等,保护装置提供的通信协议为 104。仅线路保护装置由通信控制器实现 RS-485 接口到以太网接口的转换以及 Modbus 协议到 104 的转换。

2 系统软件

SZX-8000 水电厂自动化系统主要完成对水电厂机组及其附属设备,水电厂升压站设备,水电厂辅助设备及水工设施的状态监测、控制、保护及管理等功能。其软件主要包括 PLC 软件、智能通信控制器 UC-7410CE 软件、监控计算机软件 3 大部分。PLC 软件采用西门子 STEP 7-MicroWIN 4.0 及 WinCC Flexible 2005 开发。UC-7410CE 软件用 eVC4.0 开发,监控计算机软件用 Delphi7.0 开发,数据库为 SQL Server 2000。监控计算机软件构成见图 2。

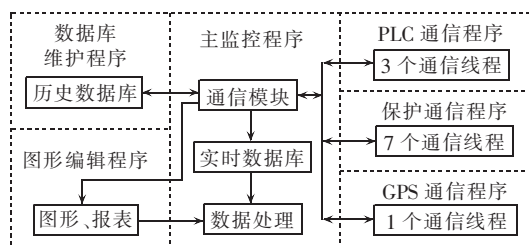


图 2 监控计算机软件构成框图

Fig.2 Block diagram of supervisory and control software

监控计算机软件由主监控程序、数据库维护程序、图形编辑程序、PLC 通信程序、保护通信程序及 GPS 通信程序等构成,软件采用面向对象的程序设计方法。主监控程序中的通信模块负责与其它程序间的数据通信。通信模块从历史数据库中读取水电厂基本数据信息后传给实时数据库及图形编辑程序,同时将现场通信传送的历史数据存入历史数据库中,现场通信传送的实时数据存入实时数据库中。主监控程序中的数据,处理模块根据由图形编辑程序生成图形、报表,实时数据库中的水电厂基本数据信息,实时数据库中的实时数据等实现对测量值的显示、管理及报警等功能。通信模块与 PLC 通信程序、保护通信程序及全球定位系统(GPS)通信程序通过 COM 组件实现数据通信。PLC 通信程序创建 3 个通信线程,分别与 1 号机组 PLC、2 号机组 PLC 及公用 PLC 通信,PLC 通信程序与各 PLC 通信采用 OPC 方式。保护通信程序创建 7 个线程,分别与机组、主变及线路保护通信,通信协议为 104。

2.1 数据点标识

数据库的总体结构采用分级分层方式,将系统中的数据信息分为子站信息、间隔信息、装置信息和数据点信息 4 个层次。子站包含发电厂中所有间隔;间隔包含该间隔中所有的装置;装置包含该间隔中所有的数据点。数据点是系统实现查询、存储等操作

的最小信息元素,可分为模拟量、开关量、事件顺序记录(SOE)、定值和压板等参数。

数据库中基本信息表与历史数据表之间通过数据点标识关联;监控计算机软件中的开停机控制,保护及测控信息处理,曲线、报表输出等均以数据点标识为基础实现;通信数据的解析存入数据库也是根据数据点标识进行。数据点标识由 12 个字符组成,如 1 号发电机组调速器中的机组频率参数,其数据点标识为 0AYC01020002,其含义:0A 为十六进制网关标识符,YC 为装置类型属性,01 为所属间隔 1 号发电机标识符,02 为所属装置调速器地址标识符,0002 表示信息元机组频率地址标识符(数据点索引)。

2.2 访问 OPC 服务器

监控计算机与 PLC 之间通信采用 OPC 技术。硬件设备生产商开发一套遵循 OPC 规范的服务器,由服务器充当数据源向外发布数据代理,客户应用程序作为数据的使用者以标准的 OPC 方式通过服务器完成数据交换,实现数据交换的标准化和开放性。在 SZX-8000 水电厂自动化系统中,监控计算机软件为 OPC 客户,西门子 SimaticNet 软件为 OPC 服务器。SimaticNet OPC 服务器的结构如图 3 所示。

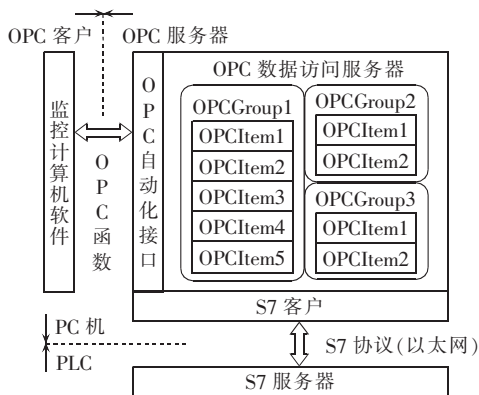


图 3 SimaticNet OPC 服务器结构

Fig.3 Structure of SimaticNet OPC server

安装并设置好 OPC 服务器后,就可用 Delphi7.0 设计监控计算机软件访问 OPC 服务器数据,其过程及部分程序代码如图 4 所示。其中,添加 OPC 项目方法的参数“S7:[S7 connection_2]IB0”中的“S7”代表西门子公司 S7 协议,“S7 connection_2”代表连接名即 PLC 的 IP 地址,“IB0”代表 PLC 的数据区。读 OPC 服务器数据方法的参数“myQuality”表示返回数据的质量,其值为 192 时表示数据可用。

2.3 104 协议

监控计算机与各保护装置之间通信协议采用 104,该协议采用平衡传输模式,通过 TCP/IP 协议在以太网中传输信息。作为服务器的各保护装置一直处于侦听端口号为 2404 的 TCP 连接的状态,由作为客户机的监控计算机发出连接请求后建立 TCP 连接。一个 104 数据帧称为应用规约数据单元(APDU),由应用规约控制信息(APCI)和应用服务数据单元(ASDU)组成。以遥测帧为例,其帧结构如图 5 所示。其中,APCI 由帧头、APDU 长度及控制域构成,其余为 ASDU。

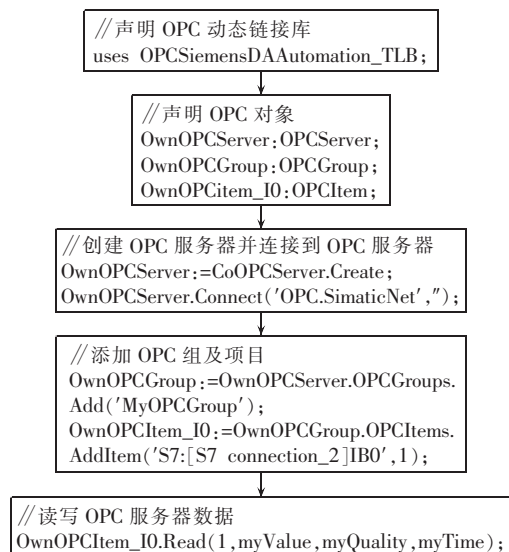


图 4 访问 OPC 服务器数据的过程

Fig.4 Process of OPC server accessing

68 H	帧头
2N+13(N 为信息体个数)	APDU 长度
发送序号(低位)	0
(高位)发送序号	控制域
接收序号(低位)	
(高位)接收序号	
15 H	
1 N	类型标识
14 H(响应总召唤)	信息个数
00 H	传输原因
公共地址低字节	公共地址
公共地址高字节	
01 H	信息体地址
40 H	
00 H	
遥测值 1 低字节	信息体 1
遥测值 1 高字节	
...	...
遥测值 N 低字节	信息体 N
遥测值 N 高字节	

图 5 IEC 60870-5-104 帧结构

Fig.5 Frame structure of IEC 60870-5-104

APCI 的启动字符为 68 H,表示一个数据帧的开始;APDU 长度为控制域开始到本帧结束的总字节数;4 个 8 位控制域表示收发编号,前 2 字节为发送序号 $N(S)$,后 2 字节为接收序号 $N(R)$,用于检测报文丢失和报文重复传输。APDU 分成 3 种报文格式,即 I 格式、S 格式和 U 格式。I 格式报文用于带编号的信息传输,其结构是一个包含 APCI 和 ASDU 的完整的 APDU;S 格式报文只含有一个 APCI,是 I 格式报文的确认帧;U 格式报文也只含有一个 APCI,用于传输过程的控制,如启动传输、停止传输、测试帧等。

这里以监控计算机软件接收保护装置的 I 格式报文的过程为例,介绍监控计算机软件如何实现报文的可靠接收。各保护装置收到监控计算机软件 U 格式的启动传输报文后,回应该命令报文,然后开始上送变位信息和周期性扫描信息,该信息为 I 格式报文,

监控计算机软件每收到一个 I 格式报文后立即发送一个确认帧。为保证信息的可靠传输,监控计算机软件采取了防止报文丢失和重复传输的机制及超时时间限制措施。对于 I 格式报文,保护装置每发送一个 I 格式报文,其发送序号应加 1,监控计算机软件每接收到一个与其接收序号相等的 I 格式报文后,其接收序号也应加 1。需要注意的是,每次重新建立 TCP 连接后,监控计算机软件和保护装置的接收序号和发送序号都应清零,在双方开始数据传输后,监控计算机软件若收到一个 I 格式报文,应判断此 I 格式报文的发送序号是否等于其接收序号。若相等则应将自己接收序号加 1,若此 I 格式报文的发送序号小于其接收序号,则发送方出现了重复传送。监控计算机软件设置 2 个传输超时时间,分别为 t_1 和 t_3 。监控计算机软件的 I 格式或 U 格式报文发出后,若超过 t_1 时间仍未得到确认,则应关闭现在的 TCP 连接,然后再建立新的 TCP 连接, t_1 缺省值为 15 s。监控计算机软件在超过 t_3 时间内未收到新的帧,且已收到的帧都给予确认,则此时需发送 U 格式的测试帧,以测试通道状态是否完好, t_3 缺省值为 20 s。

对不同的保护装置分别建立线程,单个接收线程实现流程见图 6。

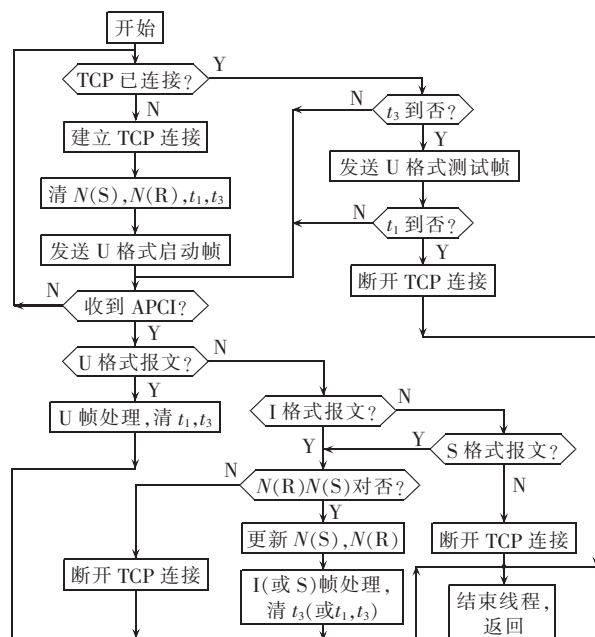


图 6 接收线程实现流程图

Fig.6 Flowchart of receiving thread

3 结语

从系统的开放性 & 标准化出发,设计了基于 104 协议及 OPC 技术的 SZX-8000 水电厂自动化系统。系统的监控层采用全以太网方式。以西门子公司的 SimaticNet 为 OPC 服务器,使监控系统对 PLC 数据的读写规范且具有数据质量评价;与保护装置通信采用 104 协议,标准化程度高且具有防止报文丢失和报文重复传输的机制及超时时间限制措施。OPC 技术及 104 协议的应用,保证了系统的开放性和可靠性。系统已在多个中小型水电厂稳定可靠运

行,其通信方案也可应用于其它工业监控场合。

参考文献:

- [1] 徐立子. 变电站自动化系统 IEC60870-5-103 和 IEC60870-5-104 协议的分析和实施[J]. 电网技术, 2002, 26(4): 62-65.
XU Li - zi. Analysis and implementation of protocol of IEC 60870-5-103 and IEC 60870-5-104 for substation automation system[J]. Power System Technology, 2002, 26(4): 62-65.
- [2] 廖泽友, 蔡运清. IEC60870-5-103 和 IEC60870-5-104 协议应用经验[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(4): 66-68.
LIAO Ze - you, CAI Yun - qing. Experience of using IEC60870-5-103 and IEC60870-5-104 transmission protocol [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(4): 66-68.
- [3] 赵渊, 沈智健. 基于 TCP/IP 的 IEC60870-5-104 远动规约在电力系统中的应用[J]. 电网技术, 2003, 27(10): 56-60, 71.
ZHAO Yuan, SHEN Zhi - jian. Application of TCP/IP based IEC 60870-5-104 telecontrol protocol in power system [J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 56-60, 71.
- [4] 胡明, 周全林, 柳凤凤, 等. 变电站自动化系统采用 IEC60870-5-103、104 协议的优势[J]. 继电器, 2003, 31(5): 62-64.
HU Ming, ZHOU Quan - lin, LIU Feng - su, et al. The experience of using IEC 60870-5-103 and IEC 60870-5-104 transmission protocols in substation automation [J]. Relay, 2003, 31(5): 62-64.
- [5] 张建设, 马维青, 郭晋洋. IEC60870-5-104 协议在远动通信中的应用[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(11): 91-93.
ZHANG Jian - she, MA Wei - qing, GUO Jin - yang. Application of IEC60870-5-104 protocol in telecontrol of electric power system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(11): 91-93.
- [6] 朱彦杰, 邓昌延, 李国杰, 等. IEC104 协议在变电站系统的应用与测试[J]. 继电器, 2004, 32(1): 43-45.
ZHU Yan - jie, DENG Chang - yan, LI Guo - jie, et al. Application and test of IEC104 protocol in substation [J]. Relay, 2004, 32(1): 43-45.
- [7] 唐岳, 廖力清, 汪治国. IEC60870-5-104 远动规约在电网调度中的应用[J]. 电力系统通信, 2005, 26(4): 51-53.
TANG Yue, LIAO Li - qing, WANG Zhi - guo. Application of IEC 60870-5-104 telecontrol protocol in power dispatching system [J]. Telecommunications for Electric Power System, 2005, 26(4): 51-53.
- [8] 冯竹建, 陈奇志. IEC60870-5-104 规约在城市轨道交通电力监测系统中的应用[J]. 电力系统通信, 2005, 26(11): 11-13.
FENG Zhu - jian, CHEN Qi - zhi. Application of IEC60870-5-104 in power SCADA for urban metro system [J]. Telecommunications for Electric Power System, 2005, 26(11): 11-13.
- [9] 鞠阳, 张惠刚. IEC60870-5-104 远动规约的设计及应用[J]. 继电器, 2006, 34(17): 55-58, 66.
JU Yang, ZHANG Hui - gang. Design and application of IEC 60870-5-104 telecontrol protocol [J]. Relay, 2006, 34(17): 55-58, 66.
- [10] 张琦, 张泰鸣. 基于 OPC 的变电站自动化监控主站软件的设计思想[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(3): 61-63.
ZHANG Qi, ZHANG Tai - ming. Design concept of a monitoring master station software in substation automation system based on OPC [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(3): 61-63.
- [11] 余秋霞, 廖彦初. 基于 OPC 的电厂控制信息集成[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(2): 67-69.
YU Qiu - xia, LIAO Chang - chu. Integration of control information in power plant based on OPC [J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(2): 67-69.
- [12] 黄春光, 刘锋涛. OPC 技术在电力设备监测系统中的应用[J]. 继电器, 2006, 34(20): 36-39.
HUANG Chun - guang, LIU Feng - tao. Application of the OPC technology in the electric power equipment inspect system [J]. Relay, 2006, 34(20): 36-39.
- [13] 史丽萍, 赵朝阳, 胡泳军, 等. 基于 PLC 和 OPC 技术的信息集成的研究和应用[J]. 继电器, 2006, 34(8): 67-69, 83.
SHI Li - ping, ZHAO Chao - yang, HU Yong - jun, et al. Study and application of information integration based on PLC and the technology of OPC [J]. Relay, 2006, 34(8): 67-69, 83.
- [14] 王延安, 张继忠, 于朝辉, 等. 基于 IEC 60870-5-103 的变电站多子站仿真测试系统设计[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(9): 73-79.
WANG Yan - an, ZHANG Ji - zhong, YU Zhao - hui, et al. Design of multi - IED simulation system for substation based on IEC 60870-5-103 [J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(9): 73-79.

(责任编辑: 汪仪珍)

作者简介:

郭谋发(1973-), 男, 福建福清人, 讲师, 硕士, 研究方向为水电厂自动化、发电机励磁系统、配电网自动化等(E-mail: gmf@fzu.edu.cn);

杨耿杰(1966-), 男, 福建武夷山人, 副教授, 硕士, 研究方向为水电厂自动化、发电机励磁系统、电力系统分析等。

Hydropower plant automation system based on IEC 60870-5-104 and OPC

GUO Mou - fa, YANG Geng - jie, DING Guo - xing, GAO Wei

(School of Electric Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: An open design scheme is presented for medium and small hydropower plant automation system. Its system structure and software design are introduced. The PLCs (Programmable Logic Controller) of local control unit and the protection devices are connected directly with Ethernet. IEC60870-5-104 protocol and OPC (Ole for Process Control) are used in communication. Technologies of OOP, multi-procedure, multi-thread and COM are used in the design of supervisory and control software. The identification of system data, the implementation of OPC server accessing and the application experiences of IEC60870-5-104 protocol are described in detail. The system runs reliably with better standardization and openness.

Key words: hydropower plant automation system; Ethernet; OPC; IEC60870-5-104 protocol