

基于 IEC61850 的配电线路保护 IED 设计

徐斌、刘子英

(华东交通大学 电气与电子工程学院,江西 南昌 330013)

摘要：为实现配电自动化系统(DAS)中的信息共享和智能电子设备(IED)之间的互操作性能,在IEC61850标准的基础上,结合嵌入式技术,设计了新型的馈线自动化终端设备模型,并对其在DAS的应用做了一定的探讨。在对该设备各主要模块功能分析的基础上,将各模块功能分解为多个逻辑节点的组合,实现系统的功能建模和系统建模,搭建了IED的“ARM+DSP”双CPU结构硬件平台;在对IEC61850标准的信息分层、面向对象的数据对象统一建模、数据自描述和抽象通信服务接口(ACSI)及特定通信服务映射(SCSM)等概念分析的基础上,提出了基于以太网并符合IEC61850标准的IED通信模型。

关键词：配电自动化系统；智能电子设备；IEC61850；互操作性；面向对象

中图分类号：TM 773

文献标识码：B

文章编号: 1006-6047(2007)09-0103-04

0 引言

随着国民经济的发展和现代化水平的提高,用户对电能质量的要求愈来愈高,这就对配电自动化(DA)水平提出了更高的要求。作为配电自动化系统(DAS)的基础,馈线自动化终端(FTU)在配电自动化的实现中起到了关键性的作用。目前,常规的FTU种类繁多,提供的接口和功能各不相同,数据格式也是多种多样,设备间不能共享信息,数据的一致性难以保证,这就是所谓“自动化孤岛”问题。这种现象不仅造成了软、硬件设备的重复投资,还增加了系统的运行维护成本。因此,采用IEC61850标准,设计一种新型的智能电子设备(IED)作为馈线系统的终端设备,可以具有以下优点:不同厂商产品之间可实现互操作性,自动化功能要求与系统规模及运行条件无关;不同厂商的产品功能可以任意配置并具有清晰的配置结构;IEC61850标准将是电力系统今

后很长一段时间内的主流标准, IED 产品可在较长时间内适用^[1]。IEC61850 标准的核心在于互操作性(即同一厂商或不同厂商的多个 IED 要具有交换信息并使用这些信息进行协同操作的能力^[2]),采用 IEC61850 标准的配电线路保护 IED 设计具有强大的通信能力和互操作能力,可实现 IED 设备之间的可靠通信和快速互动,提高配电网的可靠性水平^[3]。

1 基于 IEC61850 的 DAS 结构^[4-5]

IEC61850 变电站通信网络和系统标准作为国际电工委员会(IEC)确定的未来统一的电力系统无缝通信协议体系,对解决信息转化和信息瓶颈问题具有无可比拟的优势。DAS 主要是借鉴了 IEC61850 体系中的间隔层和过程层的概念,变电站层即为配电监控总站,间隔层采用 FTU 作为 IED,间隔层与变电站层之间的通信方式将采用标准以太网方式(TCP/IP)^[6]。其结构如图 1 所示。

由图1可看出,间隔层IED(即线路保护与测控IED)需要直接联上以太网,从而避免间隔层IED经

收稿日期:2007-02-08;修回日期:2007-03-14

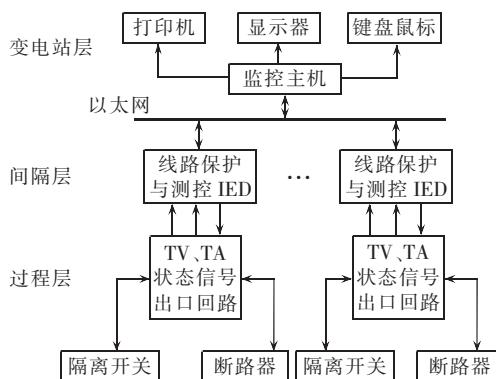


图 1 基于 IEC61850 的配电自动化系统结构图

Fig.1 Structure of DAS based on IEC61850

过变电站层的数据处理及通信单元的以太网,或者在各配电子站保护单元加装网关设备经协议转换后再上以太网,这就减少了通信处理及转换的中间环节,减少了系统结构的复杂性,增加了系统的可靠性。采用 IEC61850 体系 DAS 具有统一的数据报文格式,其数据对象可以自我描述,间隔 IED 直接联上以太网,可以提高系统的实时性,实现 IED 的互操作功能。

2 FTU(IED)硬件平台设计

FTU 采用“DSP+ARM”的双 CPU 结构,利用 DSP 强大的数据处理能力,可以对采集到的数据进行快速傅里叶运算(FFT),得到各次谐波的分量;利用 ARM9 芯片强大的功能,嵌入 Linux 操作系统,实现网络通信、人机交互、管理控制等一体化功能。配电线路保护 IED 的硬件结构原理图如图 2 所示。

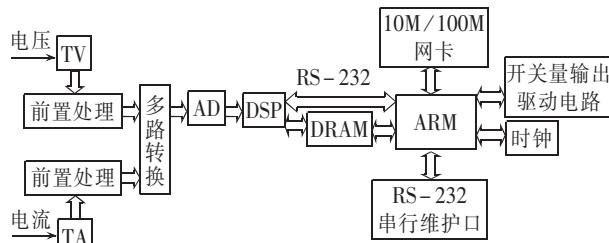


图 2 配电线路保护 IED 硬件结构原理图

Fig.2 Hardware structure of IED for distribution system line protection

在设计方案中:

a. ARM 采用三星电子生产的 S3C2410 微处理器,它集成了全性能的数据存储管理单元 MMU(Memory Management Unit),支持 Windows CE、Linux、Palm OS Cache 等主流嵌入式操作系统,集成了 3 路通用异步收发器(UART),可以很方便地与 DSP 交换信息,存储控制器能够以 8、16、32 位的外部总线宽度,支持对 ROM/SRAM、Flash、SDRAM、DRAM 及外部的访问;

b. DSP 用德州仪器(TI)生产的 TMS320LF2407,具有 30 MIPS 执行速度,片内有高达 32 K 字的 Flash 程序存储器,其自带高性能的 10 位模数转换器(ADC)提供高达 16 路的模拟输入,具有自动排序功

能,使最大 16 路的转换在同一转换时期内进行而不会增加 CPU 的开销,利用其自带 ADC 模块,不仅可以将图 2 中的多路转换、AD 转换和 DSP 三者合一,集中到 1 个 DSP 芯片中,而且可以提高系统的整体运行速度,利用 ADC 的自排序功能,可以实现电流量、电压量的任意相位、时序选择;

c. S3C2410 处理器内部没有集成媒体访问控制器 MAC(Media Access Controller),要通过总线扩展以太网接口,采用台湾 Realtek 公司生产的 10 M 以太网控制器 RTL8019AS 扩展出 1 个 10 M 的以太网接口,用以完成网络通信功能。

3 配电线路保护 IED 主要功能模块与实现

配电线路保护 IED 以线路为对象,应当具有保护、测控、录波、通信等功能。数据采集模块负责对各个通道的模拟量进行模数转换以及扫描遥信状态;通过对采集到的数据进行 FFT 运算从而得到各路模拟量的基波、高次谐波、功率、相角等,为馈线监测和故障判断模块提供数据。根据一般配电线路的特点,保护 IED 一般需要配置的功能是:三段式相间距离保护、三段式接地保护、三段式相零序方向电流保护、三相一次重合闸、电压互感器(TV)断线检测、故障录波等功能^[9]。

3.1 IED 功能模块的实现

实现 IEC61850 的重点主要涉及 2 个方面:在变电站层的监控主站系统中实现与 IEC61850 相关的功能;在间隔层 IED 上实现保护、控制,特别是在间隔层 IED 的通信模块中实现 TCP/IP、制造报文规范(MMS)、可扩展标记语言(XML)等技术。

IED 软件设计也是按功能划分进行模块化设计,按照功能的划分主要为:数据采集类、数据处理类、故障监测和判断类、各种继电保护类、事件捕获类、人机接口类及通信模块。

IEC61850 标准采用面向对象的建模技术,定义了基于客户机/服务器结构的数据模型^[8]。每个服务器(Server)包含一个或多个逻辑设备 LD(Logic Device),每个 LD 又包含一个或多个逻辑节点 LN(Logic Node),LN 包含数据对象(Data Object),数据对象则是数据对象属性(Data Attributes)的集合^[9-10]。IED 软件设计除了要实现保护和控制等功能外,还需要考虑和遵循 IEC61850 所定义的数据模型、设备模型及描述数据对象的方法及面向对象的服务,以实现互操作性与可扩展性。按 IEC61850-7-4 定义的逻辑节点模型,采用面向对象分层描述方法描述过电压保护逻辑节点(PTOV),其方法如图 3 所示。



图 3 过电压保护逻辑节点示意图

Fig.3 Logic nodes of PTOV

3.2 IED功能配置逻辑节点的划分

大多数功能至少由3种逻辑节点组成:核心逻辑节点(如PDIS)、处理逻辑节点(如CSWI、XCBR)、供人员访问的逻辑节点(人机界面)(如IHMI)^[11]。下面介绍系统功能分解成的逻辑节点。

3.2.1 三段式相间距离保护

功能分解后的逻辑节点为:距离保护逻辑节点PDIS、电流互感器逻辑节点TCTR、电压互感器逻辑节点TVTR、人机接口逻辑节点IHMI、远方控制逻辑节点ITCI、开关控制器逻辑节点CSWI、断路器逻辑节点XCBR、报警处理逻辑节点CALH、负责采集开关量的通用I/O逻辑节点GGIO等。

3.2.2 三段式接地保护

功能分解后的逻辑节点为:距离保护逻辑节点PDIS、故障定位逻辑节点RFLO、电流互感器逻辑节点TCTR、电压互感器逻辑节点TVTR、人机接口逻辑节点IHMI、远方控制逻辑节点ITCI、开关控制器逻辑节点CSWI、断路器逻辑节点XCBR、报警处理逻辑节点CALH、通用I/O逻辑节点GGIO等。

3.2.3 三段式相零序方向电流保护

配电网一般采用中性点电阻接地方式,当发生接地故障时,就会产生零序电流、零序电压、零序功率。利用这些电量构成的接地保护就称为零序保护。该功能分解后的逻辑节点为:方向接地故障保护逻辑节点PDEF、电流互感器逻辑节点TCTR、电压互感器逻辑节点TVTR、人机接口逻辑节点IHMI、开关控制器逻辑节点CSWI、断路器逻辑节点XCBR、报警处理逻辑节点CALH、通用I/O逻辑节点GGIO等。

3.2.4 三相一次重合闸

因为系统发生的故障很多是瞬时性故障,所以自动重合闸很重要。该功能分解后的逻辑节点为:自动重合闸逻辑节点RREC、电流互感器逻辑节点TCTR、电压互感器逻辑节点TVTR、人机接口逻辑节点IHMI、远方控制逻辑节点ITCI、开关控制器逻辑节点CSWI、断路器逻辑节点XCBR、报警处理逻辑节点CALH、通用I/O逻辑节点GGIO等。

3.2.5 TV断线检测

功能分解后的逻辑节点为:故障定位逻辑节点RFLO、电流互感器逻辑节点TATR、电压互感器逻辑节点TVTR等。

3.2.6 故障录波

功能分解后的逻辑节点为:扰动记录逻辑节点RDRE、电流互感器逻辑节点TATR、电压互感器逻辑节点TVTR、人机接口逻辑节点IHMI。

4 IED通信模块的设计

IEC61850是未来统一的电力系统无缝通信协议标准,可以将其重点归纳为信息建模、抽象服务和具体映射3部分^[12]:

- a. IEC61850-7-3和IEC61850-7-4定义了

80多个逻辑节点名代码和350多种数据对象代码,23个公共数据类(CDC)^[13];

b. 定义了抽象通信服务接口(ACSI),描述了服务器和客户端的通信,描述了服务器和客户端间的通信,包括实时数据交换、设备的自我描述、文件传输等^[14];

c. 定义了特定通信服务映射(SCSM),将ACSI映射到特定的网络通信协议(TCP/IP、MMS、各种现场总线、串行线等),其关系如图4所示(图示为配置文件Part 6)。

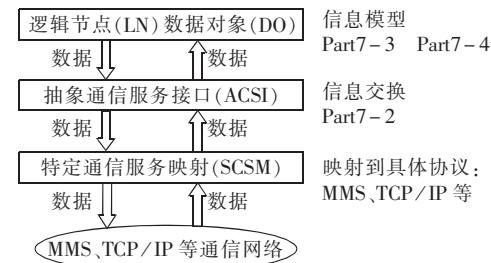


图4 IEC61850的分层通信体系

Fig.4 Delaminated communication system of IEC61850

通过对IED设备的功能分析,可以得到与IEC61850相对应的LN,实现对配电线路保护IED的系统建模和信息建模,通过实例ACSI服务类,并将其通过SCSM映射到具体通信网络中(如MMS、TCP/IP等),从而实现客户端与服务端的数据交换。IEC61850的核心在于互操作^[15],不管系统中的IED设备采用何种通信网络介质,只要将信息建模、抽象服务和具体映射三者有机结合,就可以解决数据对象的自我描述问题,简化数据维护,实现IED的互操作功能。

5 结语

IEC61850是统一的变电站网络通信标准^[16],也必将成为配电自动化的无缝通信协议标准。在对IEC61850在配电自动化系统中的应用做了一定的可行性研究,并且采用IEC61850的思想设计了配电线路保护IED以取代常规的FTU,对配电线路保护IED进行了系统建模和信息建模,对其通信模块的设计也做了一定的探讨与研究。基于IEC61850标准的配电线路保护IED不仅可以实现真正意义上的信息共享,还可以实现常规FTU很难实现的互操作性能,对于提高配电自动化系统的实时性和可靠性具有较大的帮助。

参考文献:

- [1]任雁铭,操丰梅,秦立军,等. MMS技术及其在电力系统通信协议的应用[J]. 电力系统自动化,2000,24(10):66-69.
- [2]REN Yan-ming, CAO Feng-mei, QIN Li-jun, et al. Research on MMS and its application in the communication protocol of electric power system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000,24(10):66-69.
- [3]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 Zai-jun, HU Min-qiang. Research on a substation automation system based on IEC61850 [J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 61-65.
- [3] 谭文恕. 远动的无缝通信系统体系结构[J]. 电网技术, 2001, 25(8): 8-10.
- TAN Wen-shu. Seamless telecontrol communication architecture [J]. Power System Technology, 2001, 25(8): 8-10.
- [4] 茹峰, 夏成军, 许扬. IEC 61850 标准在变电站自动化系统中的应用探讨[J]. 江苏电机工程, 2004, 23(3): 8-11.
- RU Feng, XIA Cheng-jun, XU Yang. Study on the IEC61850 standard applied to substation automation system[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2004, 23(3): 8-11.
- [5] 徐宁, 朱永利, 邝剑, 等. 基于 IEC61850 的变电站自动化对象建模[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(3): 85-89.
- XU Ning, ZHU Yong-li, DI Jian, et al. Substation automation object modeling based on IEC61850[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(3): 85-89.
- [6] 杨刚, 杨仁刚, 郭喜庆. 嵌入式以太网在变电站自动化系统智能化电气设备上的实现[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(3): 74-76.
- YANG Gang, YANG Ren-gang, GUO Xi-qing. Implementation of embedded ethernet in Intelligent Electric Device(IED) in the substation automation system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(3): 74-76.
- [7] 高湛军, 潘贞存, 卞鹏, 等. 基于 IEC61850 标准的微机保护数据通信模型[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(18): 43-45.
- GAO Zhan-jun, PAN Zhen-cun, BIAN Peng, et al. A data communication model for microprocessor based on IEC61850 standard[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(18): 43-45.
- [8] 刘培培, 朱永利, 黄敏. 面向对象的电力远动通信系统的研究与实现[J]. 华北电力大学学报, 2004, 31(5): 59-62.
- LIU Pei-pei, ZHU Yong-li, HUANG Min. Research on object-oriented telecontrol communication system for power system [J]. Journal of North China Electric Power University, 2004, 31(5): 59-62.
- [9] 谭文恕, 曹冬明, 李泽, 等. DL/T 860.1-2004 / IEC61850-1: 2003 变电站通信网络和系统 第 1 部分: 概论[S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [10] 谭文恕, 曹冬明, 李泽, 等. DL/T 860.3-2004 / IEC61850-3: 2002 变电站通信网络和系统 第 3 部分: 总体要求[S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [11] 李映川. 基于 IEC61850 的电力系统输电线路保护 IED 的研究与设计[D]. 成都: 西南交通大学, 2005.
- LI Ying-chuan. Research and design of power system transmission-line protection IED based on IEC61850 [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2005.
- [12] 任雁铭, 秦立军, 杨奇逊. IEC61850 通信协议体系介绍和分析 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24(4): 62-64.
- REN Yan-ming, QIN Li-jun, YANG Qi-xun. Study on IEC61850 communication protocol architecture[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(4): 62-64.
- [13] 谭文恕, 曹冬明, 李泽, 等. DL/T 860.73-2004 / IEC61850-7-3: 2003 变电站通信网络和系统 第 7-3 部分: 变电站和馈线设备的基本通信结构 公用数据类[S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [14] 谭文恕, 曹冬明, 李泽, 等. DL/T 860.72-2004 / IEC61850-7-2: 2003 变电站通信网络和系统 第 7-2 部分: 变电站和馈线设备的基本通信结构 抽象通信服务接口[S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [15] 张结, 卢德宏. IEC61850 的语义空间研究[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(11): 45-48.
- ZHANG Jie, LU De-hong. On the semantic space in IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(11): 45-48.
- [16] 任雁铭. 基于嵌入式以太网的变电站自动化系统通信网络[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(17): 36-38.
- REN Yan-ming. Computer network based on embedded Ethernet technique for subsation automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(17): 36-38.
- [17] 邓立华, 陈星莺. 配电系统可靠性分析综述[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(4): 74-77.
- DENG Li-hua, CHEN Xing-ying. Review of distribution sysytem reliability evaluation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(4): 74-77.
- [18] 余晖, 范志浩, 周欢荣, 等. 数字式保护装置的抗干扰设计[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(10): 82-84.
- YU Hui, RUI Zhi-hao, ZHOU Huan-rong, et al. Anti-interference design for digital protection [J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(10): 82-84.

(责任编辑: 汪仪珍)

作者简介:

徐斌(1978-),男,江苏扬州人,硕士,研究方向为远动技术(E-mail:xb7888@sina.com.cn);

刘子英(1964-),女,江西于都人,副教授,研究方向为微机继电保护。

Design of IED based on IEC61850 standard for distribution system line protection

XU Bin, LIU Zi-ying

(School of Electrical and Electronic Engineering,
East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: To realize the information sharing of DAS(Distribution Automation System) and the interoperability of its IEDs(Intelligent Electronic Devices), a new model of FTU(Feeder Terminal Unit) is designed based on the IEC61850 standard and the embedding technology, with its applications in DAS discussed. Functions of its main modules are analyzed and separated into multiple logic nodes to realize the function modeling and system modeling. A dual-CPU of ARM and DSP is set up. Some concepts are analyzed, such as information delamination of IEC61850 standard, object-oriented and unified modeling, data object self-description, abstract communication service interfaces, special communication system service mapping and so on, based on which an Ethernet-based communication model conforming to IEC61850 standard is proposed.

Key words: DAS; IED; IEC61850; interoperability; object-oriented