

基于 IEC61850 体系的电力系统智能节点的研制

刘 静, 刘国鹏, 汪玉凤

(辽宁工程技术大学电气与控制工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

摘要: 基于 IEC61850 体系的变电站自动化系统设计思想研制了一种应用于变电站间隔层的新型智能电子设备, 即电力系统智能节点。智能节点的硬件和软件设计都采用可组态的模块化设计方法, 使得智能节点具有可扩展性。利用嵌入式 ARM 处理器强大的以太网通信功能和数字信号处理器高效快速的处理能力实现电力系统远动功能。整个装置具有很高的数据采集、管理和分析能力。

关键词: IEC61850; 智能节点; ARM 处理器; 以太网; 数字信号处理器

Development of electric power system intelligent node based on IEC61850 system

LIU JING, LIU Guo-peng, WANG Yu-feng

(School of Electrical Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: A new type intelligent electronic device which is applied to substation spacing layer based on the IEC61850 system is developed, which is called electric power system intelligent node. Configurational modularization design method is adopted in hardware and software design of intelligent node, so the intelligent node is extended. It makes use of the strong Ethernet communication capacity of embedded ARM processor and fast digital signal operation of DSP processor to realize electric power system remote function. The data acquisition, management and analysis capability of the device is very fine.

Key words: IEC61850; intelligent node; ARM processor; Ethernet; digital signal processor

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)13-0070-04

0 引言

基于现场总线的 RTU 系统虽然已经是通讯网络中的一个智能节点, 但现场总线用于变电站的通讯网络体现出了很多的不足: (1) 开放性和灵活性不强, 数据传输速度慢, 成本高; (2) 不同类型的现场总线设备均有专用的通讯协议, 不能相互兼容, 无法协同工作也无法实现信息的无缝集成; (3) 数据采集、处理、控制、转发等任务都由通讯控制器来完成, 这样不仅降低了通信的速度, 而且增加了设备的投资。

国际电工委员会 (IEC) 已经制定了变电站内通信网络和系统的标准体系 IEC61850。它所要实现的目标主要有以下三方面: (1) 不同厂家的自动化设备之间实现互操作性, 变电站自动化功能要求与变电站规模和运行条件无关; (2) 不同厂家的自动化系统其功能应可任意地配置并具有清晰的配置结构; (3) 体系标准从通信要求上具备长期稳定性, 以使标准可在较长的时间内适用, 且适应通信技术

的快速发展。基于制造报文规范 (MMS)、以太网和 TCP/IP 的通信网络将成为变电站自动化通信系统的主流^[1]。本文正是基于这种设计思想和发展趋势开发研制出一种新型的智能电子设备 (IED), 即电力系统智能节点。

1 基于 IEC61850 体系的变电站自动化系统结构

基于 IEC61850 体系的变电站自动化系统结构与当前变电站自动化系统结构的主要区别为: 前者除了系统结构中的变电站层和间隔层之外比后者多了一个过程层。这主要是由于随着变电站 IED、数字光电流互感器/光电压互感器、变压器及 GIS 等一次设备在线状态监测和变电站运行操作仿真等技术日趋成熟, 以及计算机网络新技术在实时系统中的开发应用, 使得变电站一次和二次设备走向集成化的结果。基于 IEC61850 体系的变电站自动化系统设计中, 过程层与间隔层、间隔层与变电站层之间的通信方式将全部采用标准以太网方式, 取代

当前系统中的各种现场总线(如 CAN, Profibus 总线等)^[2]。其结构如图 1 所示。

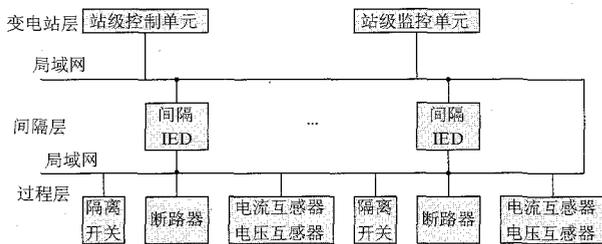


图 1 基于 IEC61850 的变电站自动化体系结构

Fig.1 Configuration of substation automation system based on IEC61850

从系统结构可以看出,变电站自动化系统中最重要自动化设备(即 IED)要求直接上以太网。基于 ARM+DSP 构架的电力系统智能节点属于间隔层 IED,其内部集成了嵌入式以太网通信模块,达到了直接上以太网的目的。从而避免了间隔层的 IED 经过变电站层的数据处理及通信单元上以太网,或者是在各保护单元内加装网关设备经协议转换后上以太网,减少了系统结构的复杂性,提高了系统的可靠性。

2 智能节点的结构与功能

智能节点的硬件结构图如图 2 所示,装置采用 ARM+DSP 的双 CPU 结构,分别采用 S3C4510B 和 TMS320LF2407A 芯片。S3C4510B(简称 4510B)专为以太网通信系统设计,具有低成本、高性能的特点,其内置了 ARM 公司设计的 16/32 位 ARM7TDMI 处理器,可以执行 32 位的 ARM 指令,也可执行 16 位的 THUMB 指令。TMS320LF2407A(简称 2407)芯片具有处理性能好、外设集成度高、程序存储器大等特点,是各种数字化控制产品开发的首选。

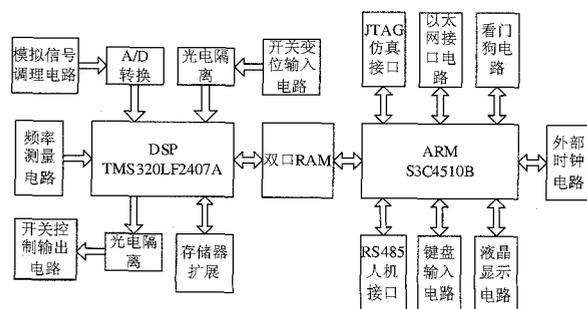


图 2 电力系统智能节点结构

Fig.2 Configuration of electric power system intelligent node

智能节点功能如下:(1)同时采集各相电压和

电流参数,通过 DSP 实现 FFT 算法,计算出单相/三相有功功率、无功功率、功率因数和电能,还可以进行 16 次谐波分析,实现遥测功能;(2)根据一定的故障判据,判断是否有故障发生,并实现故障录波;(3)监测开关变位,实现遥信功能;(4)根据键盘按键的不同完成在液晶显示器上的各种参数显示;(5)接收中心站的遥控数据,发出开关的合闸或断开命令,实现遥控功能;(6)按照标准的通信协议,将监测的数据传与上位 PC 机和中心站。

该智能节点可以直接应用于过程层采用传统电气设备的变电站系统,对于过程层采用智能电气设备的变电站系统,可以根据实际情况增减模块。

3 智能节点硬件部分设计

考虑到智能节点本身的功能,以及可扩展性和可靠性的要求,智能节点硬件设计采用可组态的模块化设计方法。这种方法可以随技术的发展而更换相应模块,最大限度地保护了用户已有的投资,迅速实现产品的升级换代。装置的硬件结构主要包括 DSP 部分和 ARM 处理器部分。DSP 部分主要包括模拟量输入模块、开关量输入/输出模块,完成变电站内馈线数据的采集、调理、A/D 转换、FFT 算法的实现、逻辑判断输出和故障录波等功能。ARM 处理器作为主 CPU 负责智能节点与过程层设备和变电站层设备的通信工作。这符合 IEC61850 体系关于变电站自动化系统的设计思想。ARM 处理器部分主要包括以太网通信模块、人机接口模块、系统时钟基准、液晶显示、键盘按键处理以及部分数值的初始化整定等功能。两者通过双口 RAM 实现数据交换。

3.1 数据采集单元

三路电压/电流信号分别经电压/电流变换器变为额定值为 5V 的电压信号,再经过信号转换和低通滤波,低通滤波器用 MAX275 来实现,滤波后的信号送入 14 位的 A/D 转换器 MAX125。2407 芯片具有脉冲边沿捕获功能,可以很容易地使用该功能实现频率的精确测量和软件同步采样。交流信号进入频率采集单元后,经施密特触发器整形,变为方波信号。然后,该方波信号被送给 DSP 芯片的捕获引脚,DSP 会自动地对该方波的上升沿进行捕获,并给出前后 2 个上升沿之间的定时器计数值,即可计算出信号周期 T ,定时器时钟频率越高,则计算出的周期精度越高。由于 DSP 的时钟频率最高可达 40 MHz,因此对 50 Hz 的工频计算精度是很高的。

3.2 通信单元

装置的通信可分为装置内部通信和外部通信。

内部通信是指 ARM 和 DSP 双处理器之间的数据交换过程。装置采用 CMOS 双口 RAM—IDT7132。外部通信是指与变电站级的以太网通信,接收来自变电站级或调度的指令,然后把设备的实时信息组织成报文反馈给变电站级或调度。

以太网接口电路是与 IEC61850 体系直接相关的模块,主要由 MAC 控制器和物理层接口两部分组成。4510B 内嵌一个以太网控制器,可在半双工或全双工模式下提供 10 M/100 Mbps 的以太网接入。4510B 未提供物理层接口,需外接一片物理层芯片,以提供以太网的接入通道。选用 RTL8201 芯片作为以太网的物理层接口控制芯片,再通过 RJ45 就可连接到以太网。

4 智能节点软件部分设计

实现 IEC61850 的重点、难点在于软件设计。它主要涉及两个方面的内容:在变电站的监控主站系统上实现与 IEC61850 相关的功能;在间隔层 IED 上实现保护、控制,尤其是在间隔层的 IED 的通信模块中实现 TCP/IP、MMS、XML 等技术。智能节点作为间隔 IED,与 IEC61850 相关软件部分主要是以太网通信模块。装置的软件部分按功能划分进行模块化设计,使得软件具有可裁剪性,也便于功能扩充。按功能划分为 DSP 部分软件和 ARM 部分软件,其中 DSP 部分包括数据采集、处理程序和开关量输入输出程序;ARM 处理器则采用嵌入式实时操作系统,负责实现液晶显示、以太网通讯和人机交互等功能。

4.1 DSP 部分软件结构

DSP 部分软件结构如图 3 所示。主要包括初始化 DSP、配置外围模块、中断和看门狗使能、读取频率并计算 A/D 启动时间、计算各电量参数、存储数据和时间以及记录故障类型和时间等,需要完成数据采集、谐波分析以及故障数据记录等功能。

该装置充分利用 DSP 强大的中断功能实现数据的实时处理。其中在测量频率时先写入定时采样时间,然后通过软件进行测频,以实现跟踪频率变化的采样技术。通过同步采样消除了频域的栅栏效应,加 Hanning 窗来减少能量泄漏,周期采样 32 点进行快速傅立叶变换足以算出电力系统中的 16 次谐波。在程序循环中,所有的功能模块只有条件满足时才执行,一旦条件不满足,立即进入下一个功能模块,因此并不是每次循环都要执行所有的操作,从而加快了程序循环的速度。

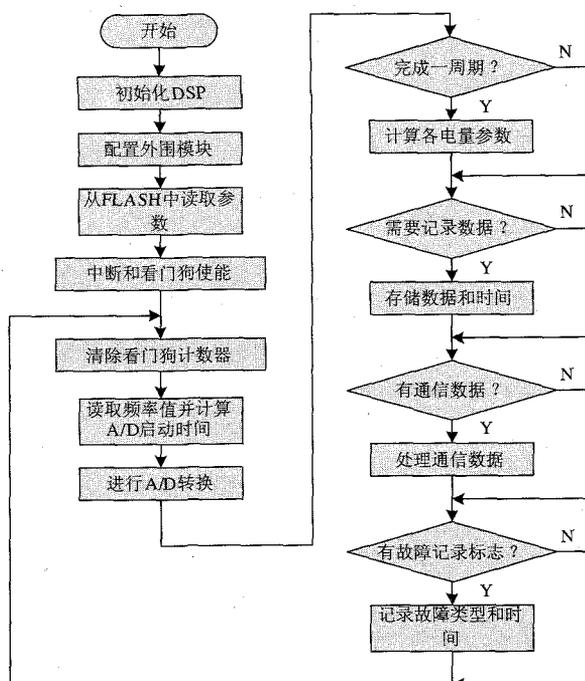


图 3 DSP 部分软件设计框图

Fig.4 Block diagram of software structure of DSP part

4.2 ARM 部分软件结构

ARM 部分软件结构如图 4 所示,由嵌入式操作系统、网络驱动协议和应用程序组成。

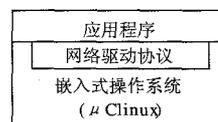


图 4 ARM 部分软件结构

Fig.5 Software structure of ARM part

装置采用的嵌入式操作系统是当前广为应用的 μClinux 。它具有稳定和有良好的移植性、完备的对各种文件系统的支持,以及标准、丰富的 API 等;更重要的是 μClinux 带有一个完整的 TCP/IP 协议,还支持许多其他网络协议。因此,ARM 构架的以太网通信模式打破了在工业控制领域应用的很多限制^[3]。应用程序直接在操作系统上编写,主要包括以太网通信程序、双口 RAM 读写程序、按键处理程序和 LCD 显示程序 4 个部分。硬件初始化就在操作系统启动中完成,而读系统时钟则作为操作系统的一个线程运行。

ARM 通信协议体系模型如图 5 所示,变电站内整个自动化系统以及变电站到调度自动化系统的通信均采用基于 TCP/IP 协议的以太网,应用层采用 IEC60870-5-104 协议(采用标准传输文件集的

IEC60870-5-101 网络访问)实现无缝通信体系连接,这是目前非常实际的解决方案。

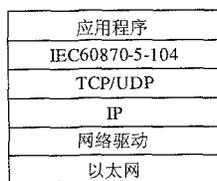


图 5 ARM 通信协议体系模型

Fig.6 Communication protocol architecture model of ARM

5 结束语

依照 IEC61850 体系,变电站综合自动化系统最终要实现整个系统的信息无缝集成,种类繁多的现场总线是不能担当的,工业以太网是最理想的通讯方式。基于 ARM+DSP 构架的电力系统智能节点充分利用了 ARM 处理器强大的以太网通讯功能和 DSP 芯片的高效快速的数字信号处理能力,很好地实现了电力系统的远动功能,符合 IEC61850 体系的要求。这也是变电站自动化技术发展的必然趋势。

参考文献

[1] 衡晓鹏,牛英俊. 变电站自动化系统中以太网通信模

块设计[J]. 电子科技, 2006, (1): 36-39.

HENG Xiao-peng, NIU Ying-jun. Design of the Ethernet Interface in the Substation Automation System[J]. Electronic Technology, 2006, (1): 36-39.

[2] 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.

[3] 任雁铭,操丰梅,秦立军,等. 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, CAO Feng-mei, QIN Li-jun, et al. Computer Communication Network Based on Embedded Ethernet Technique for Substation Automation Systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(17): 36-38.

收稿日期: 2007-11-01; 修回日期: 2007-11-29

作者简介:

刘静(1956-),女,副教授,大学学历,主要从事工业自动化方面的教学与科研工作;

刘国鹏(1983-),男,硕士研究生,主要研究方向为智能电器理论及应用。E-mail:lqp4028@163.com

(上接第 47 页 continued from page 47)

SU Ling,ZHAO Dong-mei,HAN Jing. Summarization of Reactive Power Optimization Algorithm in Electric Power System[J]. Modern Electric Power, 2004, 21(6): 40-44.

[2] 张勇军,任震,李邦峰. 电力系统无功优化调度研究综述[J]. 电网技术, 2005, 29(2): 50-56.

ZHANG Yong-jun, REN Zhen, LI Bang-feng. Survey on Optimal Reactive Power Dispatch of Power Systems[J]. Power System Technology, 2005, 29(2): 50-56.

[3] 胡采娥,杨仁刚. 用电力系统分区方法确定无功源最佳配置地点[J]. 电力系统及其自动化学报, 2004, (3): 46-49.

HU Cai-e, YANG Ren-gang. Optimal Allocation of Reactive Power Sources Using Network Partitioning[J]. Proceedings of the EPSA, 2004, (3):46-49.

[4] 杨晓东. 基于组件树模型和双向迭代技术的暂态稳定仿真方法研究[Z]. 天津: 2006.

YANG Xiao-dong. Research on Transient Stability Simulation based on Component Tree Model and Bi-directional Iteration[Z]. Tianjin:2006.

[5] 李乃湖. 计及整型控制变量的电压一无功功率优化[J]. 电力系统自动化, 1994, 18(12): 5-11.

LI Nai-hu. Optimal Voltage-Reactive Control with Discrete Variables[J]. Automation of Electric Power Systems, 1994, 18(12): 5-11.

[6] 张勇军,任震. 电力系统动态无功优化调度的调节代价[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(2): 34-38.

ZHANG Yong-jun, REN Zhen. Readjusting Cost of Dynamic Optimal Reactive Power Dispatch of Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(2): 34-38.

[7] 王克文,张建芬,杨海晶,等. 用灵敏度法确定变电站电容器组的在线投切[J]. 继电器, 2003, 31(9): 15-19.

WANG Ke-wen, ZHANG Jian-fen, YANG Hai-jing, et al. Sensitivity-based On-line Adjustment of Shunt Capacitors in Substation[J]. Relay, 2003, 31(9): 15-19.

[8] 任晓娟,邓佑满,周立国,等. 高中压配电网的无功优化算法[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(7): 45-49.

REN Xiao-juan, DENG You-man, ZHOU Li-guo, et al. Reactive Power Optimization for High-Medium Voltage Distribution Systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(7): 45-49.

[9] Wang K W, Tse C T, Tsang K M. Algorithm for Power System Dynamic Stability Studies Taking Account of the Variation of Load Power[J]. Electric Power Systems Research, 1998, 46(3): 221-227.

收稿日期: 2007-10-29; 修回日期: 2008-01-23

作者简介:

马丽丽(1982-),女,硕士研究生,研究方向为电力系统经济运行与分析; E-mail: happymaili@yahoo.com.cn

王克文(1964-),男,博士,教授,研究方向为电力系统稳定性分析与控制。