

基于嵌入式技术的微机保护装置

陈堂贤

(三峡大学电气信息学院, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 基于 IEC60870-5-104 规约, 利用嵌入式 ARM (Advanced RISC Machines) 处理器强大的以太网通信功能和数字信号处理器 DSP (Digital Signal Processor) 实现微机距离保护功能。分析了 ARM 和 DSP 结构及双口 RAM 用于双处理器间的高速数据交换的特点。构造了距离保护的判据和算法。保护算法在 Matlab 仿真和试验中都验证了保护装置的可靠性、速动性、选择性、灵敏性。

关键词: 嵌入式; 数字信号处理器; 距离保护; 以太网通讯

Microcomputer-based protection device based on ARM technique

CHEN Tang-xian

(College of Electric Engineering & Information Science, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: A microcomputer-distance protection device based on IEC60870-5-104 system is developed which makes use of the strong Ethernet communication capacity of embedded Advanced RISC Machines (ARM) processor and fast digital signal processor (DSP) to realize microcomputer protection. The characteristics of ARM structure, DSP structure and dual port random access memory which is used to realize reliable and quick data transmission between two processors are analyzed. The criterion and the arithmetic of microcomputer protection are given. In the course of MATLAB simulation and experiments, the device is proved to be of security, quickness, selectivity, and delicacy.

Key words: advanced RISC machines; digital signal processor; distance protection; Ethernet communication

中图分类号: TM774

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)06-0064-04

0 引言

传统的继电保护装置多采用以下两种方式来组网:一是直接在RS485/422通信接口的基础上编写通讯应用程序来实现通信;二是通过现场总线技术进行互联和通信。采用第一种方式时,如果一条总线上接入的装置过多,就会降低循环召唤信息的频率,使信息传送速度变慢,影响实时性,而当传输距离较长时,其传输速度会显著下降。另外所开发的程序多数都不能符合ISO/OSI的规范,只能实现较单一的功能,适用于单一设备类型,程序不具备通用性。目前,以太网(Ethernet)技术以其通信速率高、价格低廉、设备标准化程度高、功能强大等优点在工业控制领域(包括电力行业)中得到越来越多的应用。继电保护装置采用以太网通信后,各数字继电器之间能够实现点对等访问,各网络节点之间能直接进行数据交换,而且数字继电器还能主

动发送信息给上层监控主机,无需等待^[1]。在此基础上,用户还可以利用通用浏览器(如IE)进行实时数据的监视,定值的显示、修改以及观察保护动作纪录和录波信息。本文正是基于这种设计思想介绍一种新型微机保护装置。

1 硬件结构

装置采用 ARM+DSP 的双 CPU 结构,如图 1 所示。

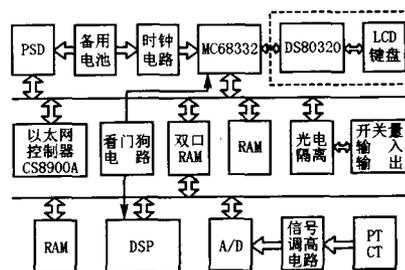


图1 硬件结构

Fig.1 Block diagram of hardware structure

1.1 主控模块

ARM处理器选用32位的MC68332作为主机模块,完成对整个系统中各个任务的管理和调度,负责人机接口、网络通信、故障判断、历史数据追忆等功能。

DSP则是采用TI公司的16位定点运算数字信号处理器(DSP)TMS320F240负责数据采集、计算、逻辑判断和实现继电保护功能,有效地保证了微机保护的选择性、速动性、可靠性,并在发生故障时进行录波,记录故障下的数据以供分析。DSP总起动元件与DSP保护测量数据采集系统的电子电路完全独立,只有总起动元件动作才能开放出口继电器正电源,从而真正保证了任一器件损坏不致于引起保护误动。

人机接口(MMI)模块(如图1中虚线框所示)采用51系列的DS80320芯片,负责人机接口和通信管理,完成与主机模块的通信,从主机获得实时计算的运行参数,并通过大屏幕液晶显示器显示,以及向主机模块下达操作命令等。其中MC68332与TMS320F240之间通过双口RAM进行数据交换。

为了使系统的冗余度更大,在各个模块的外围电路都采用了高性能配置。

由MC68332和TMS320F240组成的主板中,MC68332拥有544 kB的程序空间和256 kB的RAM空间,TMS320F240拥有32 kB的片内FLASH ROM和64 kB的片外RAM空间,另外采用了高速度、高精度的14位ADC MAX125。采用这种高性能配置有如下优点:

有利于多个任务的并行处理和实现复杂的功能,解决了传统继电保护装置顺序处理任务的种种弊病,更加适合变电站综合自动化系统;主机模块可以连接任一支持MODBUS规约的显示模块,使装置可以很容易地与其他厂家的产品集成;采用高速数字信号处理芯片(DSP)与微处理器并行工作,保证了高精度的快速运算。高性能的硬件保证了装置在每一个采样间隔对所有继电器进行实时计算,提高了保护装置实时处理能力,缩短了故障切除时间,最大限度减小了短路故障对电力系统的影响;采用大容量存储器,记录信息量大,记录信息完整、安全、可靠,记录的录波报告为12至50个,可记录的事件不少于1000条,具有与COMTRADE兼容的故障录波功能。

1.2 通信模块

通信系统的硬件核心是以太网控制芯片CS8900A。CS8900A是Cirrus公司生产的一款高集成

度并全面支持IEEE802.3标准的以太网控制器,可以工作在8位或16模式,以v0方式或Memory方式收发数据。片内集成了4 kB容量的Packetpage结构的RAM,包括了片内所有的控制寄存器、状态寄存器和命令寄存器,以及发送、接收缓存。同时Cirrus公司提供了基于各种操作系统的CS8900A驱动程序源代码,这为编程带来了极大的方便。

1.3 A/D转换模块

被测模拟信号(馈线电流、电压等)要进行信号调理,即将电压互感器、电流互感器二次侧的高电压、大电流转换成0~5 V的电压送入A/D模块,过零触发电路产生中断,定时器用于测频,实现交流采样。为了提高计算精度,装置采用14位A/D转换模块MAX125,其启动转换端CONVST接TMS320F240的定时器比较输出端T3CMP,每隔 T/N (T 为测得模拟信号周期, N 为周期采样点数)时间,T3CMP输出下降沿启动A/D转换。MAX125转换结束会产生中断,TMS320F240则在中断程序中读取转换结果。当采满1个周期便进行 $N=128$ 点的快速傅立叶变换计算^[1]。

1.4 抗干扰模块

MC68332没有片内看门狗电路(TMS320240有片内看门狗定时器模块),装置采用MAX6374芯片,其定时器时间可以通过外部引脚SET2、SET1、SET0的逻辑电平进行精确调节,将时间调节在3 ms,也就是将选择端全部接地。看门狗电路输入端WDI接MC68332的P0脚。P0脚可以在软件中设定为输出或输入,当设为输入时,引脚为高阻态,相当于悬空。在整个内核启动过程中,看门狗将暂时失效。在应用程序运行后,应将P0设为输出模式,并在程序的主循环或有较长时间的操作中加入清狗的操作。由于MAX6374监控芯片没有上电复位和电压监控功能,所以需要另外设计上电复位电路。另外,“看门狗刷新(watchdog updates)”最优位置一般是结束程序时的最后进程。考虑到微处理器有很长的程序和很多的芯片功能,看门狗刷新程序最好不放在中断或子程序中,而直接放入主程序中,同时,刷新速率不要太大,否则将使失控状态恢复的概率下降。

1.5 其它模块

装置采用DS12887芯片构成外部时钟电路。液晶显示模块选用信利公司的MG-12232-5,该液晶显示器带背光及温度补偿功能,左右有主、从两个控制器SED1520。小键盘电路主要由ARM的I/O口、

八相反相缓冲器 74LS240、锁存器 74LS273 以及一些上拉电阻组成。另外，人机接口主要用做初始化整定数值的设定和系统维护。

2 保护算法^[2]

微机保护的算法是软件中的关键问题。微机保护的算法主要考虑的是精度和速度问题。速度又包括了两个方面：一是算法所要求的采样点数(或称为数据窗长度)，二是算法的运算工作量。精度和速度往往是矛盾的，精度高就需要较多的采样点，从而增加了计算量，降低了计算速度。对算法除了有精度和速度要求以外，还要考虑算法的数字滤波功能，滤除影响精确计算的高次谐波分量。本装置采用快速傅立叶算法。

设被转换信号为：

$$f(t) = \sum_{-\infty}^{+\infty} F_n e^{jn\omega t} \quad (1)$$

$$\text{其中：} F_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) e^{-jn\omega t} dt \quad (2)$$

$$F_{-n} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) e^{jn\omega t} dt \quad (3)$$

$f(t)$ 的 n 次谐波为

$$F_n e^{jn\omega t} + F_{-n} e^{-jn\omega t} = 2 |F_n| \cos(n\omega t + \theta_n) \quad (4)$$

可得在计算机上实现的离散傅立叶算法(简称 DFT)：

$$F_n = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^{N-1} f_k e^{-j(2\pi/N)kn} \cdot \frac{T}{N} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} f_k e^{-j(2\pi/N)kn} \quad (5)$$

通常只要求给出谐波相对基波的大小，所以可省去系数 $1/N$ ，得实际采用的 DFT 算法：

$$F_n = \sum_{k=0}^{N-1} f_k e^{-j(2\pi/N)kn} = \sum_{k=0}^{N-1} f_k W_N^{kn} \quad (6)$$

其中： $W_N = e^{-j(2\pi/N)}$ ， $W_{-N} = e^{j(2\pi/N)}$

将式(6)再分解成奇、偶两个序列，即分成 4 个 $N/4$ 点 DFT，如此下去，直到分成 $N/2$ 个 2 点 DFT 为止，这样，最后每个 2 点 DFT 的运算已不需要乘法，大大加快了运算速度。

3 软件结构

3.1 ARM 软件结构^[1]

ARM 部分软件结构如图 2 所示，由嵌入式操作系统、网络驱动协议和应用程序组成。装置采用的嵌入式操作系统是当前广为应用的 μ CLinux，它沿袭了主流 Linux 的绝大部分特性，适用于没有虚拟

内存或内存管理单元(MMU)的处理器。 μ CLinux 具有稳定和好的移植性、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， μ CLinux 带有一个完整的 TCP/IP 协议，还支持许多其他网络协议。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 读写程序和按键处理程序 3 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。

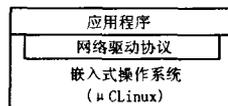


图 2 ARM 部分软件结构

Fig.2 Software structure of ARM part

ARM 通信协议体系模型如图 3 所示，应用层采用 IEC 60870-5-104 协议。

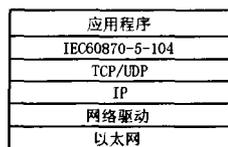


图 3 ARM 通信协议体系模型

Fig.3 Communication protocol architecture model of ARM

3.2 DSP 软件结构

DSP 部分软件结构如图 4 所示。主要包括硬件初始化、软件 YC 采样、测频、谐波 FFT 分析、保护算法以及 YK 输出等，需要完成数据采集、保护逻辑判断以及故障数据记录等功能。

保护装置充分利用 DSP 强大的中断功能实现数据的实时处理。程序启动时先写入定时采样时间，以工频 50 Hz 为例应为 0.02 s，然后通过软件进行测频，以实现跟踪频率变化的交流采样技术。通过同步采样消除了频域的栅栏效应，加 Hanning 窗来减少能量泄露，周期采样 128 点进行离散傅立叶变换足以算出电力系统中的高次谐波。保护启动元件采用相电流差突变量方式，采用文献[3]的连续采样判决可知，必须有连续 33 点以上判定动作才允许保护输出动作信号^[3,4]。阻抗元件需要有较好的躲过系统振荡的能力和提 高允许过渡电阻的能力。装置采用了带偏移圆特性的阻抗继电器。对正、反方向上的故障均能很好的反应。当保护判断有故障时，延时返回后将故障前后各 10 个周期的数据有效值记录下来。

本保护可与其他保护配合构建双保护或多保护系统,从而使整个线路的运行更加稳定。在这里本装置仅针对距离保护。其它的不再说明。

精确地实现交流采样、信号调理、A/D转换、保护算法、判断输出与故障录波等,是一种全新的微机保护装置。

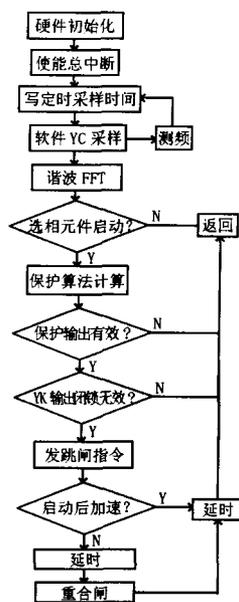


图 4 DSP 部分软件设计框图

Fig.4 Block diagram of software structure of DSP part

4 结束语

ARM+DSP实现的微机距离保护,是基于IEC60870变电站自动化体系而设计的,过程层与间隔层、间隔层与变电站层间的通信方式将采用标准的以太网方式(TCP/IP协议),不仅能方便实现标准以太网通信方式,兼容IEC60870规约,还能实时、

参考文献

[1] 樊江涛,等. ARM处理器+DSP构架的微机馈线保护装置的研制[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(1):77-80.
FAN Jiang-tao, et al. Microcomputer-based Feeder protection on ARM & DSP Architecture[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(1):77-80.

[2] 周森,等. IEC60870-5-103规约在微机型继电保护测试系统中的应用[J]. 继电器, 2005, 33(12):16-18.
HOU Sen, et al. Application of IEC60870-5-103 Standard in Field of the Testing of Microprocessor-based Protective Relay[J]. Relay, 2005, 33(12):16-18.

[3] 李岩,等. T接短线路微机纵差保护原理研究[J]. 电力自动化设备, 1999, 19(2):21-23.
LI YAN, et al. Research of Microcomputer Differential Current Protection Principle for Structure Short Transmission Line[J]. Electric Power Automation Equipment, 1999, 19(2):21-23.

[4] 任雁铭,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, 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: 2006-08-28

作者简介:

陈堂贤(1965-),男,副教授,从事电力电子与电力传动的教学与研究。E-mail:ctxhappy1@ctgu.edu.cn

(上接第 33 页 continued from page 33)

[10] 李林川,吕冬,武文杰.一种简化的电力系统负荷线性组合预测法[J].电网技术,2002,26(10):10-13.
LI Lin-chuan, Lü Dong, WU Wen-jie. A Linear Combination Based Simplified Load Forecasting Method for Power System[J]. Power Systems Technology, 2002, 26(10):10-13.

[11] 王明涛.确定组合预测权重系数最优近似解的方法研究[J].系统工程理论与实践,2000,(3):104-109.
WANG Ming-tao. Study on Method of Calculating Optimal Approximate Solution about Weigh Coefficients of Combined Forecasting Methods[J]. System Engineering Theory and Practice, 2000, (3):104-109.

[12] 刘思峰,党耀国,方志耕,等.灰色系统理论及其应用(第

三版)[M].北京:科学出版社,2004.

LIU Si-feng, DANG Yao-guo, FANG Zhi-geng, et al. Grey System Theory and Its Application, Third Edition[M]. Beijing: Science Press, 1999.

收稿日期: 2006-10-11; 修回日期: 2006-12-06

作者简介:

王遂(1981-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统可靠性与规划;E-mail:epwangsui@sina.com

任震(1938-2007),男,教授,博士生导师,国务院学位委员会电气工程学科组成员,IEEE高级会员,从事电力系统规划与可靠性、高压直流输电、小波分析及其在电力系统中的应用、电源滤波、电力市场等领域的科研和教学工作。