

基于 DSP 技术的变电站组态型 测控装置的研究

杨小铭, 吴红泉, 李惠宇, 赵 祥

(国电自动化研究院, 江苏 南京 210003)

摘要: 采用数字信号处理器 DSP(Digital Signal Processor) 芯片 ADSP-21992 和以太网控制芯片 CS8900A 设计了一种网络化测控装置。论述了该测控装置的组态化、模块化的设计思想和实际应用方案, 介绍了其硬件设计和软件设计的基本原理和特点, 重点探讨了快速傅里叶变换算法在 DSP 内核中的实现以及 UDP/IP 协议在 DSP 中的实现。装置具有高精度的快速实时测量系统, 通信方式灵活, 应用方便可靠, 易于扩展, 可广泛用于变电站的监控系统。

关键词: 数字信号处理器; 快速傅里叶变换; 以太网; 变电站自动化; 组态

中图分类号: TM 76

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2005)06-0070-03

随着电网改造不断深入, 电力生产部门对变电站自动化设备提出了越来越高的要求。除了传统的精度、可靠性、实时性的要求外, 变电站自动化设备还应具备功能完备、组态灵活、扩展方便、维护简单的性能。针对上述需求, 运用日益成熟的通信、监控、DSP 等技术开发了基于 ADSP-21992 为核心的组态型变电站测控装置^[1~5]。该装置采用了模块组态设计思想, 将变电站内一条线路、双圈变、三圈变等为测控对象, 设计为标准智能测控模块。根据具体应用将模块灵活组装成一系列装置后, 在装置的统一协调下实现各种测控功能。

1 装置设计思想

根据变电站的多种测控对象, 把具体实际对象抽象为以一条线路为测控单元逻辑对象, 形成一个标准单元测控模块。该标准单元测控模块以 ADSP-21992 为核心, 设计时考虑带冗余的测控功能, 能够独立实现一条线路的三表法测量或两条线路的两表法测量, 具有一定数量的开关信号控制回路和直流测量回路, 同时使 DSP 测控模块具备较为灵活的通信接口, 例如 RS-232, RS-485, CAN, Ethernet 等多种通信方式。

2 DSP 测控装置硬件设计

硬件设计时充分利用 ADSP-21992 的片内硬件资源, 在电路板上集成了 8 路模拟采样滤波回路、2 路频率采样回路、SPI 接口的直流采样回路(MAX1286)、8 路开入信号采样回路、2 路独立跳合闸控制回路以及集成了一片以太网控制芯片(CS8900A)、一片异步通信串口扩展芯片(TL16C554)和 CAN 控制器接口芯片(82C250)。硬件原理框图如图 1 所示。

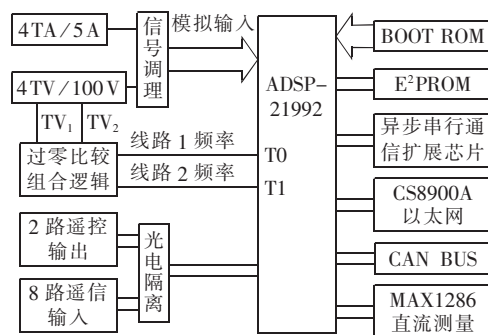


图 1 测控单元原理框图

Fig.1 The block diagram of measuring and control unit

其中 DSP 的程序存放在 BOOT ROM 中。在系统上电复位期间, DSP 从 BOOT ROM 中把程序全部导入内部 RAM。启动完成后, DSP 的取指和数据存储在芯片内部 RAM 进行, 除访问外围扩展功能器件的 IO 口外无需外部数据地址总线信号, 这就提高了 DSP 的内核运行速度, 并且增强了系统的抗干扰能力。

硬件主要技术特点如下:

- DSP 主频 160 MHz, 160 MIPS;
- 交流采样为 4 电压、4 电流, 8 路并行采样, 14 位采样精度;
- 直流采样为 2 路 0~5 V 输入, 12 位精度;
- 以太网控制器为 10BASE-T, IEEE 802.3 标准;
- CAN 网为 CAN 2.0 标准。

3 DSP 测控装置软件设计

装置的 DSP 采用 ADSP-21992, 软件设计充分考虑 ADSP-21992 的并行运算能力和装置的众多控制和通信的非顺序突发性执行任务, 采用了汇编和 C 语言混合编程的方式, 即交流采样数据运算任务

模块采用汇编语言编程,充分利用 DSP 内核的并行计算指令;控制及通信任务模块采用 C 语言编程。同时由于测控模块功能的繁多及组态时模块各个侧重点的不同,软件采取了模块化的思想。各个软件功能模块基本相互独立,通过配置表实现功能选择。

3.1 交流采样软件模块设计

交流采样模块是装置软件中最主要的功能模块。采样软件模块采取了频率变化跟踪采样技术,每周周期采样 64 点,8 路并行采样,中断响应读取方式。ADSP 的 Timer0 计数器设置为脉冲捕捉方式,在中断进程里通过读取时钟寄存器可直接获取当前周期的频率,然后根据当前频率的计算值软件调整 ADSP-21992 内部的采样时钟实现跟频同步采样。

交流计算模块采用的是基二时间抽取的快速傅里叶变换FFT(Fast Fourier Transform),其基本原理是将 N 点的输入序列 $x(n)$ 按照偶数和奇数分解为偶序列和奇序列,则 N 的 FFT 可以表示为

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n)W_{N/2}^{nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1)W_{N/2}^{nk}$$

式中 $W_N = e^{-j2\pi/N}$ 。

根据上式可以推断基二时间抽取 FFT 算法最基本的运算为蝶形运算^[5]。设每周周期采样点数 $N=2^M$,则 N 点 FFT 共有 M 级运算,每级中有 $N/2$ 个 2 点 FFT 蝶形运算。因此, N 点 FFT 总共有 $(N/2)\lg N$ 个蝶形运算。蝶形运算描述如下:

设蝶形输入分别为 P 和 Q ,输出分别为 P' 和 Q' ,则有

$$P' = P + QW_N^k$$
$$Q' = P - QW_N^k$$

从上式可以看出 1 次蝶形运算有 1 次乘法和 2 次加减运算。同时基二 FFT 算法要求输入序列倒序,输出序列才是自然顺序排列,即码位倒置。ADSP-21992 的内核体系结构正好适合这些计算特征。ADSP-21992 可在 1 个指令周期内执行取 2 个数据和乘法/累加工作,典型指令为

```
MX0=DM(I0,M0)
MY0=PM(I4,M5)
MR=MR+MX0*MY0(SS)
```

第一条指令为寄存器间接寻址,从数据空间取数据,第二条指令为从程序空间取数,第三条指令为 2 数乘并做 1 次累加运算,这三条指令在一指令周期内就可并行完成。同时 ADSP 具有自动码位倒置功能。这些特点使得 ADSP-21992 的 FFT 计算效率与传统的单片机相比有着显著的优势。芯片主频为 160 MHz 时,做一次完整的 FFT 运算,装置测试结果如表 1 所示。

FFT 计算出来的结果为各次谐波分量的实部和虚部,这就可以通过向量运算计算出电压、电流、相位、功率等一系列交流量。装置在一个主循环周期内

表 1 采样点数与计算时间
Tab.1 The sampling points and corresponding calculation time

每个周期采样点数	实际计算时间/μs
32	6
64	35
128	76
256	165

计算出 8 个采样通道的 13 次以内的各谐波分量,同时进行向量运算,计算出所有要求的物理量(电压、电流、功率、相角等),从而确保计算数据的同时性。

3.2 通信模块设计

考虑到测控模块工作方式的多样性,通信软件模块设计应符合现场的灵活需要,尽量避免程序的频繁改动。通信软件模块按照分层的思想,建立了图 2 所示的结构。

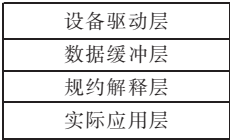


图 2 通信软件的分层结构
Fig.2 The layered structure of communication software

通信软件分层使装置的通信功能更加灵活。装置实现的通信规约有 RS-232 设置口规约(人机设置界面接口,可与液晶模块或计算机设置软件通信)、RS-485 总线规约(板卡间内部模块通信)、CANBUS 规约(具备 CAN 接口的单元之间通信)、以太网 UDP/IP 协议(与上位机通信)。

3.2.1 网络接口驱动程序设计

DSP 上实现网络驱动程序与其他通用单片机的处理方法并无大的差异。但 DSP 的程序空间硬件资源有限,在 DSP 上实现 TCP/IP 协议栈不是很经济,也不能体现其 DSP 的运算优势。通过对以太网通信方式和 TCP/IP 协议栈的研究^[6],装置采用了以 UDP/IP 为基础协议栈的驱动结构。用户规约建立在 UDP 基础上,主要通过快速循环应答方式实现一对多的多点通信,尽量避免主动上送帧的出现,不使总线上出现大量竞争情况,从而提高整个系统的实时性能。

装置的网络驱动协议除了实现 UDP/IP 协议外,还实现了 ARP 协议和 ICMP 协议。ARP 协议是地址物理解析协议,它是不可或缺的,因为 IEEE802.3 以太网帧格式中包含 MAC 地址,当不知道对方的 MAC 地址时,需要通过 ARP 协议交互建立地址映射表。ICMP 协议是测试网络的状态和性能的有效手段。IP 和 MAC 地址以定值的方式在网络初始化程序中配置或者通过设置口设置。修改 MAC 地址违背了 MAC 地址的唯一性,在一定程度上制约了网络的灵活扩展性,但是作为一个变电站内的封闭网络,总控单元就可以不需要经历多次 ARP 的物理地址解析,而直接通过配置表与各个子单元相互通信,这在一定程度上减轻了网络负担,提高了网络的访问速度。

4 应用

DSP 测控模块较为完备的硬件功能和通信方式,使 DSP 测控模块具备灵活的运行方式。例如线路间隔独立测控,配置 1 个电源组件、1 个液晶组件、1 个 DSP 测控模块可形成单独装置。单元之间通信采用 CAN 网,与上位机通信采用 CAN 或以太网。1 个三圈变测控装置需配置 3 块 DSP 测控模块可完成主要测控功能。如果选用通信管理单元模块加测控模块,就可形成一个传统意义上的 RTU 装置。测控模块和通信管理单元模块之间通过背板 RS-485 总线相互通信。装置典型配置如图 3 所示。

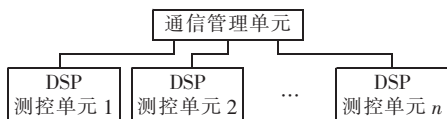


图 3 装置框图

Fig.3 The block diagram of device

DSP 测控模块的相对独立性及其强大的计算能力,使其具有智能化特征,组态更为灵活。例如变电站同期装置通常只是一个较为独立的同期功能装置,即选线同期合闸功能。现场组屏和接线复杂,不易维护。现在采用图 3 所示的典型配置,就可以实现以线路为对象的同期测控装置,易于配置和维护,同时提高了整个系统的稳定性。

5 结论

本文介绍了基于 ADSP-21992 为核心的实时测控模块的设计与系统实现。由于具备了 160 MHz 的 DSP 高速并行运算能力和现场工业总线 CANBUS 以及以太网通信接口能力,整个系统的实时性和灵活性得到显著提升。又由于 ADSP-21992 的全部程序内核运行,大大增强了系统的抗干扰能力。相对独立的模块、完善的功能和灵活多样的组态方式使装置的应用范围广泛,这对于日益复杂的电网安全运行和电力系统自动化技术的发展有着重要意义。

参考文献:

- [1] 李永辉,谢志远,耿 烜. 基于 DSP 的嵌入式 TCP/IP 协议的研究和实现[J]. 华北电力大学学报,2004,31(2):77-79.
LI Yong-hui,XIE Zhi-yuan,GENG Xuan. Study and realization of embedded TCP/IP protocol based on DSP technology [J]. *Journal of North China Electric Power University*,2004,31(2):77-79.
- [2] 孙守昌,王克家,韩红芳. 基于 DSP 平台的嵌入式系统与以太网的接口技术[J]. 电子技术,2003,30(5):23-26.
SUN Shou-chang,WANG Ke-jia,HAN Hong-fang. Interface analysis of DSP based embedded system and Ethernet[J]. *Electronic Technology*,2003,30(5):23-26.
- [3] 徐雷钧,赵不贿,詹 平,等. 一种通用电力谐波分析装置的设计[J]. 电测与仪表,2004,41(10):40-43.
XU Lei-jun,ZHAO Bu-hui,ZHAN Ping,et al. A kind of general electric harmonic analysis device design[J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*,2004,41(10):40-43.
- [4] 赵卫东,董国兴. 一种基于 DSP 的电力谐波测量方法[J]. 电工技术杂志,2004,(9):76-78.
ZHAO Wei-dong,DONG Guo-xing. A method of electric harmonic measurement based on DSP [J]. *Electrotechnical Journal*,2004,(9):76-78.
- [5] 吴敏渊. ADSP 系列数字信号处理器原理[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
- [6] STEVENS W R. TCP/IP 详解[M]. 范建华,肯光辉,张涛,等译. 北京:机械工业出版社,2000.

(责任编辑:戴绪云)

作者简介:

杨小铭(1976-),男,江苏无锡人,工程师,硕士,从事电力系统及其自动化产品的研究与开发(E-mail:yxm@nari-china.com);

吴红泉(1969-),男,江苏南京人,工程师,从事电力系统及其自动化产品的应用;

李惠宇(1972-),男,江苏南京人,高级工程师,博士,从事电力系统及其自动化产品的研究与开发;

赵 祥(1973-),男,江苏南京人,工程师,从事电力系统及其自动化产品的研究与开发。

Research and implementation of DSP-based configurable measuring and control device in substation

YANG Xiao-ming,WU Hong-quan,LI Hui-yu,ZHAO Xiang
(Nanjing Automation Research Institute,Nanjing 210003,China)

Abstract: A network measuring and control device is designed by using DSP(Digital Signal Processor) chip ADSP-21992 and Ethernet control chip CS8900A. The configurable and modularized design and its implementation scheme are discussed,and the basic principles and features of its hardware and software designs are introduced. The implementations of fast Fourier transform algorithm in DSP's kernel and UDP/IP protocol in DSP are emphasized. With its high precise and real-time measuring unit,the device designed is flexible,reliable and expandable,which can be used in substation monitoring systems.

Key words: DSP; fast Fourier transform; Ethernet; substation automation; configuration