

# 基于双 CPU 的电力监控器的设计

李凤阁, 韩明武, 佟为明, 林景波

(哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要:** 随着电力工业的发展, 电力供应的可靠性和电能质量越来越多地受到关注, 对电力参数的检测也提出了更高的要求。研制了以单片机与 DSP 双 CPU 并行处理技术为基础的电力监控装置。该装置采用交流直接采样技术, 充分利用 87C196CB 单片机的硬件资源和 DSP 强大的运算能力, 并尽可能采用软件代替硬件, 具有可靠性高、数据刷新速度快、关键信息不丢失等特点。还配置有串行通信接口和 CAN 现场总线接口, 可方便地与计算机或其它电力监控装置通信, 该电力监控器可以代替多种电力测量仪表、功率因数表及负荷控制器等实现电力系统的远程监控功能。

**关键词:** 单片机; 数字信号处理器; 电力监控器

**中图分类号:** TM764 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)03-0053-04

## 0 引言

随着电力电子技术的飞速发展, 各种电力电子装置在电力系统、工业控制及日常中的应用日益广泛, 电力系统的可靠性和电能质量越来越多地受到关注。除了对配电系统的容量和可靠性的要求提高以外, 对其各参数指标的测量、故障检测、远程监控等也提出了更高的要求。传统的电力监控装置, 普遍存在着功能单一、通信能力弱等缺点, 已经不能很好地满足配电系统自动化的要求<sup>[1]</sup>。本文以单片机与 DSP 双 CPU 并行处理技术为基础, 设计了集检测、控制、通信于一体的多功能电力监控器。对提高电力系统的自动化水平、提高供电的安全性和可靠性具有十分重要的意义。

## 1 系统硬件设计

系统的硬件结构如图 1 所示, 来自母线的三相电压信号和一次电流互感器 (CT) 的电流信号通过电路中的电压变换器、二次 CT 转换为模/数转换器 (ADC) 可以接受的电平信号, 直接送入 ADC 的各个通道。单片机作为主控制器对 DSP 进行程序引导和初始化数据装载, 在运行中与 DSP 交换数据, 对计算结果进行分析处理, 同时完成对整个系统的控制功能, 如管理键盘、显示器及通信接口等。DSP 作为从机, 专注于实现对采集进来的电压、电流信号的数字滤波、谐波分析和其它相关参数的计算。这种单片机与 DSP 双 CPU 并行工作方式, 使数据采集与信号处理同时进行, 充分利用了 DSP 的高速数据处理能力, 增加了参数检测的实时性与可靠性。

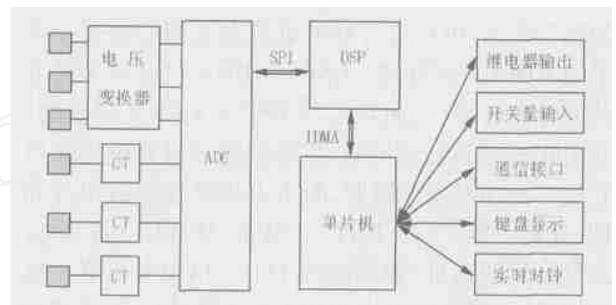


图 1 硬件电路结构图

Fig. 1 Circuit of hardware

在电力监控系统中, 数据采集精度直接影响系统的性能, 本系统采用美国 AD 公司最新推出的 AD73360 模数转换模块作为电压、电流信号的输入端。它是一个 6 通道同步 16 位模拟输入前端处理器, 转换时间为 25  $\mu$ s, 每个通道对直流到 4 kHz 的音频带宽信号提供 77 dB 信噪比。每个通道都由信号调理器、可编程增益放大器 PGA、 $\Sigma$ - 调制器和数字抗混叠滤波器组成, 且 6 个通道同时采样, 特别适用于电力系统的应用, 提高了数据采集的精度和实时性。AD73360 还有一个可以高速处理数据的双向同步串行通信接口 (SPI)。系统中 ADC 采集的电压、电流信号就是通过 SPI 口送入 DSP 的。

系统中单片机采用 87C196CB, 它是 MCS96 系列 16 位单片机中的一员, 除了具有 MCS96 系列 16 位单片机的通用特性外, 还具有较高的存储器密度: 56 kB 片上 EPROM、1.5 k 字节片上寄存器 RAM 和 512 字节附加 RAM。另外, 87C196CB 内部集成了控制器局域网 (CAN) 总线通信控制器, 支持高速串行通信协议 CAN2.0B, 内部有 256 字节的 RAM 空间用于

CAN 总线串行通信,控制器与 CAN 总线的状态、控制和命令的信号交换都是在这里完成的<sup>[2]</sup>。因此系统中不需额外扩展存储器,即可实现大量的数据处理传送,从而大大简化了硬件电路。

DSP 采用 Analog Device 公司的 ADSP-2185 处理器,它是该公司近年推出的 DSP 芯片中运算速度最快的定点芯片之一,指令周期为 30 ns。80 k 字节的片内存储器,可以配置成 16 k ×24 位程序区 (PM) 和 16 k ×16 位数据区 (DM),有灵活方便的用户接口<sup>[3]</sup>。它是基于改进的哈佛结构的 DSP 芯片,由于这种结构采用分离的指令总线 and 数据总线,使取指令和数据以及一次算术逻辑或一次乘法和加法操作能够同时完成,为高速实现一些电力中常用的算法,如卷积、累加等提供了方便。

系统中单片机与 DSP 及外围设备的连接方法如图 2 所示,单片机与 DSP 处理器之间的数据交换采用 IDMA 方式实现。DSP 的 IDMA 口是一个独立的并行 I/O 端口,而且是与 DSP 运行完全异步的,在 DSP 全速运行的同时,主控制器可以通过该端口直接读写其内部存储器,而不占用处理器的执行周期,提高了操作的便捷性。DSP 的 IDMA 口的 16 位多路复用的地址/数据总线 IAD - IAD15 与单片机的地址/数据总线相连, IDMA 口选择信号 IS 连接总线的最高位, IDMA 地址锁存能使 IAL、读选通 IRD、写选通 IRW 信号分别接控制器的相应管脚, IDMA 口访问应答输出 IACK 信号有两个用途: 通知单片机 DSP 是否准备好,能否通过 IDMA 口读/写; IDMA 口读/写操作是否完成。复位后 IACK 为低电平,且一直保持低电平,直到 IDMA 传输启动。

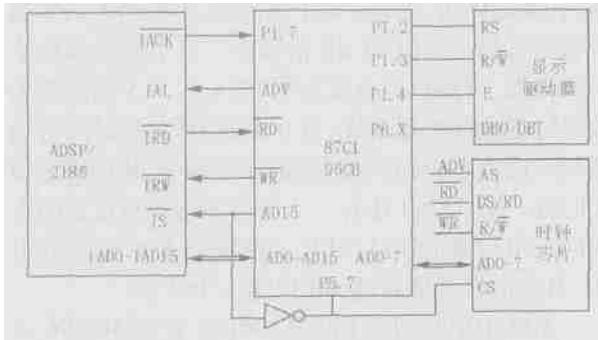


图 2 87C196CB 微控制器接口电路  
Fig.2 Interface circuit of 87C196CB

此外,单片机的 P0 口设置数字量输入口,作为状态输入和键盘输入端;P1 口设置为数字量输出口,控制继电器和显示驱动器 HD44780; P2.0 和 P2.1 口作为串行口;P3 和 P4 口作为地址/数据总线,分

别与 DSP 和时钟芯片相连接。P6 口配置成通用 I/O 口,与显示器的数据线相连。MCS96 系列微处理器的总线宽度可以通过寄存器选择,也可以通过硬件选择。本文硬件电路设计中单片机与 DSP 接口需要用 16 位地址/数据总线,而其它外围设备是 8 位数据,因此采用 16 位/8 位总线动态切换电路。16 位/8 位总线的选择通过利用 AD15 电平动态控制总线宽度控制脚 P5.7(总线宽度选择)上的电平来实现。

## 2 系统软件设计

系统软件由微控制器 (MCU) 程序和 DSP 程序两部分组成。软件总体结构如图 3 所示。MCU 程序除与 DSP 通信外,还要负责系统上电后的初始化、系统的自检、输入/输出接口、时钟日历、LCD 显示驱动、CAN 通信接口和 PC 机的串口通信及整个系统的管理与控制等。DSP 软件主要功能是数据采集,并对采集的数据进行分析、计算和处理。

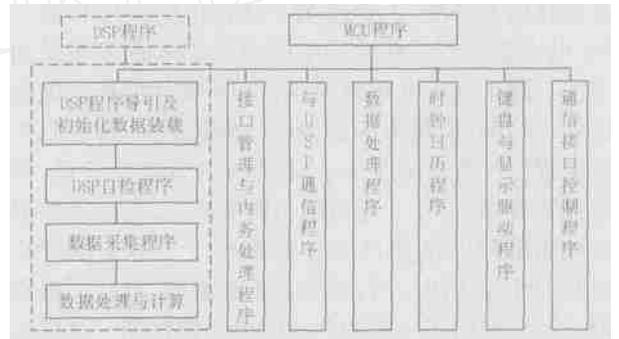


图 3 系统软件总体结构

Fig.3 Structure of system software

### 2.1 MCU 程序设计

MCU 对通用接口、时钟、键盘和显示器的控制管理程序有很多成功的应用实例,本文不再赘述。这里主要介绍单片机与 DSP 的接口控制程序。在系统中,ADSP-2185 将分析计算的结果存放在内部数据存储器中,MCU 通过 IDMA 端口定时读取这些运算结果。另外 DSP 本身没有外扩存储器,其片内存储器都是 RAM,停电时信息就会丢失,必须重新装载。为此,将编译好的 DSP 程序及初始化数据固化在 MCU 的存储器中,在系统上电复位时,MCU 也是通过 IDMA 口,将程序及初始化数据从存储器中传送到 DSP 的片内高速 RAM 中运行。因此与 DSP 通信程序分为引导程序装载和数据交换两部分。

1) DSP 引导程序装载:系统中 DSP 程序装载采用 IDMA 引导方式,在引导程序中首先通过设置

ADSP-2185 的 Mode A = 1, Mode B = 0 和 Mode C = 1, 将 DSP 设置成 IDMA 引导方式。在 DSP 的有效复位信号恢复高电平后, 等待主机从 IDMA 口装载程序代码和初始化数据。DSP 的启动向量位于程序存储区的“0”地址, 一旦启动向量写入该地址, 就意味着装载过程结束, DSP 开始执行程序代码。所以, 对程序代码的装载, 应从地址 1 开始, 待全部代码装载完毕, 最后将启动向量写入“0”地址。

2) MCU 与 DSP 之间数据交换: MCU 首先检测 DSP 的应答线 IACK, 以确定端口的忙闲。当端口处于“闲”状态时 (IACK = 0), 主机命令 DSP (用 IS 和 IAL 线) 锁存 IDMA 内部存储器地址, 同时将欲读/写的 DSP 存储器首地址和存储器类型通过 IDMA 地址/数据总线写入 IDMA 控制寄存器。然后, 主机开始读/写 DSP 内部存储器, 直到读/写结束。IDMA 每读/写一个数据, 锁存在 IDMA 控制寄存器中的地址自动加 1。本系统中, MCU 从 DSP 的数据存储器中获取的数据如表 1 所示。

表 1 MCU 从 DSP 中获取的数据

Tab. 1 Data transfer from DSP to MCU

参数名称	字节数	参数名称	字节数
电压	2	总无功功率	4
电流	2	平均功率因数	2
有功功率	4	总电能消耗	4
视在功率	4	总电能回馈	4
无功功率	4	总视在电能	4
功率因数	2	总无功电能	4
电能消耗	4	频率值	2
电能回馈	4	电流小数标志	1
视在电能	4	功率符号标志	1
无功电能	4	总功率符号标志	1
总有功功率	4	感性/容性负载标志	1
总视在功率	4	总感性/容性负载标志	1

## 2.2 DSP 程序设计

系统中 DSP 程序主要完成数据采集和计算功能, 由初始化、自检、数据采样、数据滤波和数据计算等几部分程序组成。初始化程序首先设置 ADSP-2185 内部寄存器, 如中断控制寄存器 CNIL、中断屏蔽寄存器 MASK、系统控制寄存器, 以建立 ADSP-2185 的操作模式; 然后运行 DSP 自检程序, 测试 ADSP-2185 芯片工作是否正常; 自检通过后, DSP 进入正常运行状态。在对数据采样编程时, 利用 DSP 的自动缓存技术, 在不影响其主程序全速正常运行的情况下, 直接将 ADC 的结果存放在数据寄存器中。

ADSP2185 指令主要由运算型指令——乘加指

令、移位指令; 数据传送指令; 多功能指令; 程序流程控制指令和其它指令——空操作指令、地址修改指令、堆栈指令、使能指令和节能状态指令等组成。这些强大的指令功能, 极大地方便了用户的软件开发。而且汇编指令采用代数语言, 编写的程序具有很好的可读性, 易于修改、维护。除汇编指令以外, 还包括汇编伪指令、C 预处理伪指令。这些汇编伪指令对于进行程序设计极为重要, 它定义了系统的模块名、变量名、常量值、初始数据、全局变量、外部变量、端口、包涵文件等。汇编器 C 预处理伪指令对于用 C 语言开发处理器提供了强有力的支持, 同时也为模块化的优化设计提供了支持<sup>[4]</sup>。

为了充分发挥 DSP 芯片的性能, 在编程过程中, 特别注意合理利用 DSP 的内部结构和指令系统。例如尽可能使用并行指令; 最大可能使用寄存器; 用内部存储器代替外部存储器; 应用单指令和块重复指令, 在这种情况下, 循环不需要花费附加的时间; 使用延迟转移; 使用高速指令缓存器; 避免流水线冲突等等<sup>[4]</sup>。另外, 在计算时尽可能避免指令系统本身没有提供的运算。在进行叠代运算时, 充分注意算法中叠代次数和计算精度的关系。使程序简洁、执行速度快, 可靠性高。

## 3 参数检测原理与主要功能

在电力系统中, 通常总是希望交流电压和电流呈正弦波形。实际上, 电力系统中供电、输电和用电环节都不能完全工作在理想状态, 因此对电流、电压等电力系统参数不能按理想的正弦波计算。

例如, 电压和电流的有效值定义为瞬时值的平方在一个周期内的方均根值, 如果电压有效值用  $U$  表示, 电流有效值用  $I$  表示, 则:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad (1)$$

式中:  $u(t)$ 、 $i(t)$  表示电压、电流的瞬时值, 在用计算机检测时, 是用采样值来计算的, 因此在满足采样定理的前提下,

$$U = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n u_k^2 T_k} \quad I = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n i_k^2 T_k} \quad (2)$$

式中:  $n$  为一个周期  $T$  内的采样点数;  $u_k$  为电压的第  $k$  个采样值;  $i_k$  为电流的第  $k$  个采样值;  $T_k$  为相邻两次采样的时间间隔。

如果相邻两次采样的时间间隔相等, 则  $T_k$  为时间常数  $T_k$ , 且  $n = \frac{T}{T_k}$ , 式(2)变为:

$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^n u_k^2} \quad I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^n i_k^2} \quad (3)$$

系统中,DSP通过ADC每周对电压和电流同时采样128个点,然后利用这些采样值来计算电力系统中的功率、功率因数、电能、电压和电流的不平衡度等,还可以利用快速傅里叶变换(FFT)方法对高达63次的谐波进行分析,计算出各次谐波含有率和总的谐波畸变率。在这些电参量的计算中,尤以谐波的分析与计算最为复杂,采FFT方法进行谐波分析的计算公式:

$$U_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k e^{-jkn\frac{2\pi}{N}} \quad (4)$$

式中: $N$ 为每周期的采样次数; $U_n$ 是一个复数,通过该值可以计算出电压的第 $n$ 次谐波的幅值和相位,同理也可以计算电流的第 $n$ 次谐波幅值与相位。

由式(4)可知,谐波分析的计算量是很大的,在采用定点DSP实现FFT算法时,可以充分利用DSP芯片所提供的软硬件资源,提高FFT运算的速度。本系统所用的ADSP-2185中有支持码位倒置的专用硬件以及可以在单周期内完成乘加运算的多功能指令等,使FFT算法在DSP芯片上运行的速度更快。

电力参数的计算是通过信号数字化采集和计算来实现的。在采样频率有限而信号中存在较高频率信号时,信号的一部分会叠回到分析频率内造成频率混叠显现。为了提高计算精度,本系统还采用了数字滤波器,来滤除产生混叠的高次谐波。

该电力监控器除具有参数检测功能外,还具有以下主要功能:

1) 根据所检测的参数及开关量状态,通过控制继电器或网络控制远程设备的动作。

2) 检测功率、功率因数和电能的方向,从而正确地判断电力系统的各项性能指标和电能的流向。

3) 提供事件、时间段和最值纪录,这有利于对电力系统进行数据分析、事故追忆、电能管理等,还能保证在系统通信中断期间不丢失数据。

4) 根据电能分配情况分多级设置电流、功率的计划需求,从而根据电网的负荷情况,结合遥控功能,科学合理地控制用电负荷,避峰填谷,节约用电。

5) 灵活的网络通信,既可以通过RS-232串行接口,也可以通过CAN现场总线接口直接与上位计算机或远程的其它控制器或设备进行通信。

## 4 结语

文中电力监控器采用交流直接采样技术,充分利用87C196CB单片机的硬件资源和DSP强大的运算能力,并尽可能采用软件代替硬件,因此具有可靠性高、数据刷新速度快、关键信息不丢失等特点。还配置有串行通信接口和CAN现场总线接口,可方便地与计算机或其它电力监控装置通信,以实现电力系统的远程监控。目前已经基本完成了硬件电路和大部分软件的调试工作,相信该装置的研制成功对提高我国电力系统的自动化水平和供电系统的安全性和可靠性,以及增加电网的经济效益具有较重要的现实意义。

## 参考文献:

- [1] 郭碧红,杨晓洪.我国电力设备在线监测技术的开发应用状况分析[J].电网技术,1999,23(8):65-68.  
GUO Bi-hong, YANG Xiao-hong. Analysis on Development and Application of Online Monitoring Technique for Electric Power Devices in China[J]. Power System Technology, 1999, 23(8):65-68.
- [2] 祝朝辉,毛晋昌.基于DSP的电力谐波检测仪研制[J].电子技术,2001,(11):37-39.  
ZHU Chao-hui, MAO Jin-chang. Study of Power Harmonic Detection Based on DSP[J]. Electronics Technology, 2001, (11):37-39.
- [3] 张伏生,耿中行,葛耀中.电力系统谐波分析的高精度FFT算法[J].中国电机工程学报,1999,19(3):63-66.  
ZHANG Fu-sheng, GENG Zhong-xing, GE Yao-zhong. FFT Algorithm with High Accuracy for Harmonic Analysis in Power System[J]. Proceedings of the CSEE, 1999,19(3):63-66.

收稿日期:2004-05-25; 修回日期:2004-06-27

作者简介:

李凤阁(1967-),女,硕士,高级工程师,研究方向为网络电力仪表及应用;E-mail:ghy001@hit.edu.cn

佟为明(1964-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为现场总线、数字式继电保护测控装置与系统、电磁兼容技术、变频电源与谐波抑制。

## Design of double CPU-based electric power monitor

LI Feng-ge, HAN Ming-wu, TONG Wei-ming, LIN Jing-bo  
(Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

# 基于 DSP 的电压闪变仪的开发

袁世英, 曹晖

(华东交通大学, 江西 南昌 330006)

**摘要:** 电压闪变是反映电能质量状况的重要指标, 由于电压闪变的测量比较复杂, 国际电工委员会 (IEC) 专门提供了测量模型。论文对 IEC 的闪变测量模型进行分析, 提出了数字化测量电压闪变的方法。通过采用 TI 公司的 TMS320 系列 DSP 芯片和多通道数据转换器, 设计出可同时测量 8 路电压信号的电压闪变测量仪。它充分利用 DSP 芯片运算速度快和专用指令的优点来计算电压闪变值。最后通过仿真和实际测量, 证明数字化测量电压闪变是完全可行的。

**关键词:** 电压闪变; 数字化; 数字信号处理器; 数字滤波器

**中图分类号:** TM930.2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-4897(2005)04-0057-03

## 0 引言

电压闪变是根据供电电压突然变化引起电灯输出的光线可感受的变化来确定的。供电电压的突然变化是由于供电线路上加上了一个大的负载或者操作一些负载变化大的设备引起的。供电电压的波动可能两种影响: 使电灯的光线产生闪烁和引起敏感性负载的破坏。

闪变现象可以分为两种类型: 周期性和非周期性。周期闪变正如它的名字所表示的是重复的, 周期性闪变是由周期性的电压波动引起的。如点焊机、压榨机和电弧焊机等负载的运行; 非周期性的闪变是由偶然的电压波动引起的。大部分情况下, 非周期性闪变是由大型马达的起动引起的。有时, 一些变化的负载, 如电弧炉、电焊机和切割机能产生周期性的闪变和非周期性的闪变。

由于闪变对用电产生影响, 需要对闪变进行测量。同时, 因为闪变现象比较复杂, 国际电工委员会 (IEC) 对它的测量给出了明确的测量模型, 如图 1 所示。并给出了模型的传递函数。

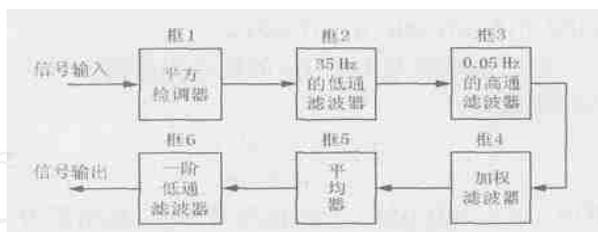


图 1 闪变测量原理框图

Fig. 1 Block diagram of the voltage flicker measurement

本系统就是根据测量模型的传递函数, 通过 DSP 的算法进行实现, 得到电压闪变值。

## 1 测量算法

通过 DSP 的算法来实现模型中的传递函数, 首先要确定系统对信号的采样频率。采样频率太高, 则一定时间内的采样数据太多; 采样频率太低, 则不利于准确地计算闪变值。IEC 对闪变的测量规定在 10 min 左右, 需要计算出一次闪变值。通过仿真对比采样频率对测量的影响, 综合考虑后, 本系统采用 400 Hz 做为采样频率。接下来就是根据采样频率, 对各框中所对应的传递函数  $k(s)$  从频域转化为 Z 域。

**Abstract:** With the development of electric industry, power supply reliability and power quality have been put more and more attention, and more effective monitoring equipment are needed to detect the power parameters. Using single chip microprocessor and DSP parallel processing technology, this paper designs power monitor equipment. The newly designed monitor uses the technology of AC sampling directly, exerts the hardware resource of 87C196CB and the capability of powerful data processing of DSP, and employs software instead of hardware as possible. So it has the merits of high reliability and data update speed without losing key messages. It has both serial and CAN bus communication interface, which make it easy to communicate PC and other monitor equipment, so the power monitor can replace many kinds of power measure meters, power factor meter and burden controllers to perform the function of remote monitoring.

**Key words:** single chip microprocessor; DSP; power monitor