

# 基于 DSP 的智能型电力监测仪的研究

李必涛<sup>1</sup>, 文劲宇<sup>1</sup>, 姜霞<sup>1</sup>, 程时杰<sup>1</sup>, 易永辉<sup>2</sup>, 张望<sup>2</sup>

(1. 华中理工大学, 湖北 武汉 430074; 2. 许昌继电器研究所, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 以具有快速浮点运算能力的数字信号处理器(DSP)为核心, 研制出了一种智能型电力监测装置, 该装置集三相电力测量、最大/最小值记录、定时记录、自动抄表与分时计费、谐波分析、故障录波及网络通讯等功能于一体, 并能方便地通过加入控制程序而具有控制功能。

**关键词:** 数字信号处理器; 智能; 电力监测装置

**中图分类号:** TM769 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2000)02-0033-04

## 1 引言

为保证电网的安全运行和了解电网运行的状况, 需要对电网的各种运行参数进行实时监测, 并能根据需要及时地将各种测量参数送往调度监控中心, 而在实际应用中往往存在测量仪表功能单一, 这样就造成现场布线结构复杂、维护管理不便且费用成本高。

美国德仪(Texas Instruments)公司所推出的 TMS320C32 是一种 32 位浮点型的 DSP, 它具有强大的浮点计算能力, 其处理能力可达 60MFLOPS (60 million floating-point instructions per second) 和 30MIPS (30 million instructions per second)。近年来, DSP 技术已被应用于某些电力系统中, 并充分发挥出了它的优势<sup>[1]</sup>。

本文将 TMS320C32 用于电力系统的监测装置研制中, 充分利用 DSP 强大的运算能力, 采用先进的软件编程技术, 成功地开发出了一种智能型电力监测仪, 由于该装置集多种功能于一体, 所以对进一步提高电网的自动化水平、提高供电的安全性和可靠性、增加电网的经济效益都将具有十分重要的意义。

## 2 装置硬件设计

整个装置的硬件配置如图 1 所示, 由数据处理单元(DSP)、人机接口单元(AMD186)和上层监控单元等组成。DSP 单元主要完成数据的采集和大量的数学运算, 发挥了其运算能力强的特长, 人机接口单元采用 AMD186 芯片

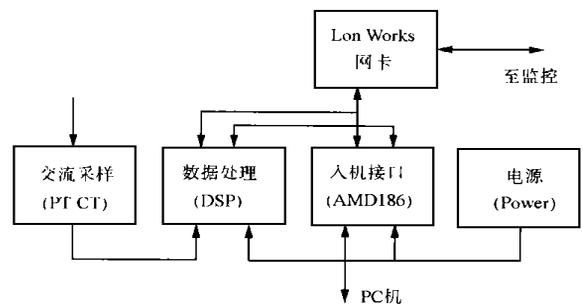


图 1 装置硬件配置图

作为 CPU, 承担键盘的响应和负责液晶的显示以及

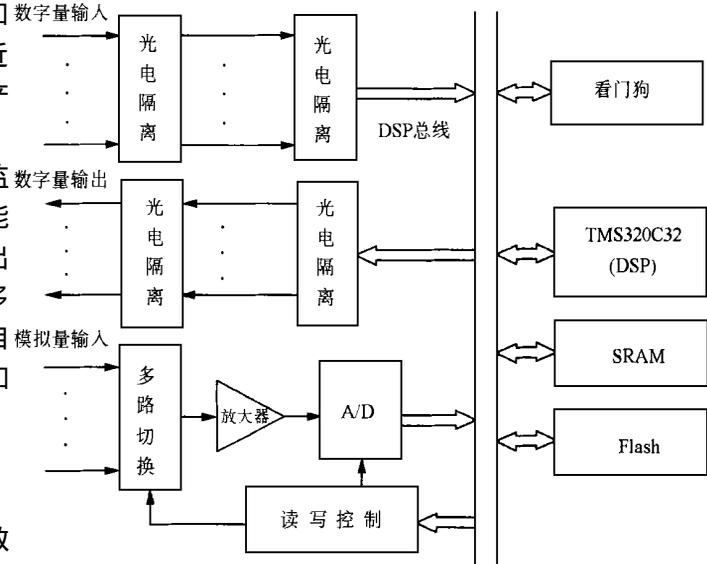


图 2 DSP 单元原理框图

与监控中心的通信, 通过人机接口单元的控制, 还可以使得 PC 机能够直接和 DSP 进行通信。人机接口单元还可以通过 Lonworks 网卡将数据送往监控中心。上层监控单元主要指的是 PC 机或监控中心, 通过 PC 机或监控中心可以达到观测和详细分析采

收稿日期: 1999-07-06

作者简介: 李必涛(1976-), 男, 硕士, 从事电力系统 FACTS 装置的控制与仿真研究。

样波形和数据的目的。

DSP 单元的原理框图如图 2 所示。TMS320C32 具有两路 DMA 控制器,其中一路 DMA 控制器被用来专门负责采样数据的转移。DSP 通过定时器控制采样,采样数据在 A/D 中完成转换后被暂时存放在缓冲器里,同时产生一个触发脉冲,触发脉冲引起 DMA 中断,DMA 将自动把数据转移到数据存储区中。当 DMA 完成一个周波的数据转移后,触发 CPU,CPU 随后进行一个周波的数据处理。由此可见,整个数据采集和 A/D 转换的过程都由 DMA 控制器协调完成而不需要 CPU 的参与,这为 CPU 节省了大量的时间,从而使得 CPU 有更多的时间用于其它事件的处理,达到了提高 CPU 利用率的目的。

为了满足通用性的要求和将来扩展的需要,DSP 单元的硬件设计预留了开入和开出的接口,因而本装置可根据不同的需要加入相应的开出而具有控制功能,减少了硬件的重复开发工作。

### 3 装置软件设计

整个系统的软件共由三部分组成,包括 DSP 软件、人机接口软件设计和上层监控软件。三部分的软件设计相对独立,它们之间的信息交换通过通讯来完成。

#### 3.1 DSP 软件设计

DSP 单元的软件设计采用 C 语言和汇编语言混合编程,其软件流程图如图 3 所示。其中,采样中断服务程序完成数据处理,串口中断服务程序用于接收串口通讯信息,主程序则承担自检循环、通讯及其它任务。由于在采样中断服务程序中 DSP 要进行大量的数据运算,因而在采样中断服务程序中采用汇编语言以提高程序代码效率,节省 CPU 时间。为提高程序的可读性和程序结构的清晰性,主程序采用 C 语言编程。整个软件采用模块化结构编程,可根据用户的需求方便地添加或删除各种功能。

#### 3.2 人机接口单元的软件设计<sup>[2]</sup>

在 AMD186 的软件设计中,引入了先进的 VRTX 嵌入式实时多任务操作系统内核,它采用抢先算法和基本优先级调度表来管理多任务,系统响应快,接口简单。人机界面的设计借鉴 Windows 风格,所有操作都通过中文菜单来执行。由于所有的硬件都是由成熟的 VRTX 操作系统管理,因而运行安全可靠,

而基于该系统的开发工作也更快速和方便,并能满足系统实时性的要求<sup>[3]</sup>。

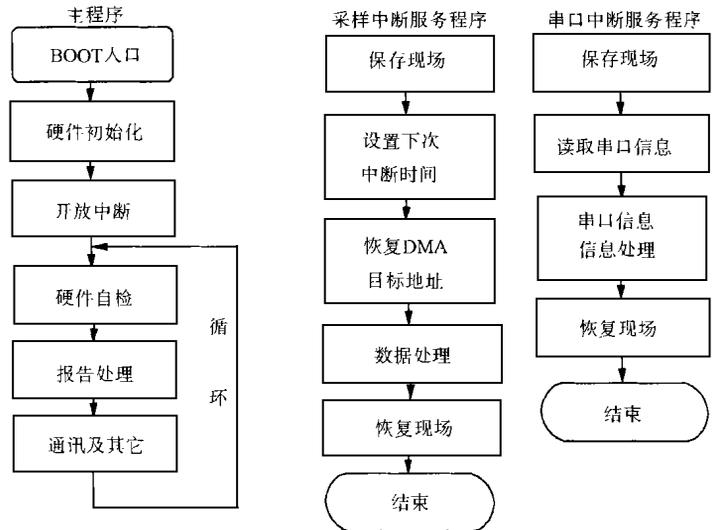


图 3 DSP 单元程序框图

#### 3.3 上层监控单元的软件设计<sup>[4]</sup>

上层监控单元的软件设计主要指的是 PC 机和监控中心的软件设计。上层单元软件建立在中文 Windows95/98 平台上,采用功能强大的 VC++ 语言编程。目前,Windows 技术是微机软件技术发展的主流和方向,可以应用于各种不同的硬件平台,从而保证了应用软件的可移植性、兼容性,而且 Windows 提供的多任务并行机制、网络功能和友好的多窗口图形界面也是广大操作人员所熟悉和易于掌握的。

VC++ 是 Microsoft 公司推出的开发 Windows95/98 和 Windows NT 的 32 位应用程序的可视化开发工具,它提供了大量的 MFC 类和可视化的编辑工具,使得程序员的工作大为简化,而且 VC++ 是面向对象的程序设计语言,这使得为应用程序添加新的功能变得非常简单。本系统的上层软件充分利用了以上的优点,使得应用程序具有友好的人机界面,操作方便,功能强大,可移植性好,并具有网络功能<sup>[5]</sup>。

上层监控软件由两个线程组成,其中主线程专门管理用户界面,以便及时响应用户的操作。另外,在程序中创建了一个工作者线程,这个工作者线程专门管理和下层的通讯工作。主线程和工作者线程之间利用事件对象来进行通信,即工作者线程首先使用等待函数堵塞其自身运行,在接收到下层的数据并对数据进行处理之后,再发消息给主线程;主线程根据当前窗口的需要进行数据更新。这样的多线程机制提高了系统的响应能力。

#### 4 装置主要原理与功能

本装置充分发挥了 DSP 强大的运算能力,因为 DSP 具有单周期乘法指令,这使得在软件编程时对算法没有太苛刻的要求,编程者的注意力更多地集中在提高计算结果的精度上;同时也使得在高频率采样数据的基础上,可以同时计算出多种电气参数,装置功能大为增加,性能价格比也远远高于一般的装置。

在通常情况下,该装置以每周波 32 点采样,通过傅立叶变换,可以得到 0~15 次分量的实部、虚部及模值,然后利用下列公式计算各电气量:

##### (1) 电压电流相量的计算

$$V_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum_n V_{n,i}^2} \quad I_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum_n I_{n,i}^2}$$

其中,  $i$  表示相别(ABC),  $n$  表示谐波次数。

##### (2) 功率及功率因数的计算

$$P_i = \frac{1}{2} \sum_n V_{n,i} I_{n,i} \cos \theta_{n,i}$$

$$Q_i = \frac{1}{2} \sum_n V_{n,i} I_{n,i} \sin \theta_{n,i}$$

$$\sum P = \sum_i P_i \quad \sum Q = \sum_i Q_i$$

$$\cos \theta_i = \frac{P_i}{\sqrt{P_i^2 + Q_i^2}}$$

$$\cos \theta_{avr} = \frac{\sum P}{\sqrt{\sum P^2 + \sum Q^2}}$$

其中,  $\theta_{n,i}$  表示  $i$  相第  $n$  次谐波电压和电流之间的夹角;

$P_i$  表示  $i$  相的合成有功功率;

$Q_i$  表示  $i$  相的合成无功功率;

$\sum P$  表示三相合成有功功率;

$\sum Q$  表示三相合成无功功率。

##### (3) 总谐波畸变率 THD 的计算

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n_2} T_{n,i}^2}}{T_{1,i}}$$

其中,  $THD_i$  表示  $i$  相的畸变率;  $THD_{n,i}$  表示  $i$  相第  $n$  次谐波的畸变率。

##### (4) 能量的计算

$$kWh_i = \int_1^2 P_i(t) dt \cong t \sum_{n1}^{n2} P_{n,i}$$

$$kVarh_i = \int_1^2 Q_i(t) dt \cong t \sum_{n1}^{n2} Q_{n,i}$$

$$\cos \theta_{con,i} = \frac{kWh_i}{\sqrt{kWh_i^2 + kVarh_i^2}}$$

其中,  $kWh_i$  表示  $i$  相消耗的总有功能量;

$kVarh_i$  表示  $i$  相消耗的总无功能量;

$P_i(t)$  和  $Q_i(t)$  分别表示  $i$  相在  $t$  时刻的有功功率和无功功率;

$t_1$  和  $t_2$  分别表示起始时间和结束时间;

$P_{n,i}$  和  $Q_{n,i}$  分别表示  $i$  相在离散时间点  $n$  的有功功率和无功功率;

$t$  为时间间隔;

$n_1$  和  $n_2$  分别为在时间段  $(t_1, t_2)$  内的起始和结束时的离散点;

$\theta_{con,i}$  为  $i$  相的电压和电流的合成相角。

在获得了多种电气量的实时值的基础上,可以使该装置具有以下主要功能:

- (1) 可测出一回线路的所有三相交流电量:相电压、线电压、相电流、相电压 THD、相电流 THD、有功功率、无功功率、视在功率、电度及频率等。
- (2) 可以以一秒一次的刷新速度记录所有电量的最大/最小值。
- (3) 可根据用户选择的电量类型、电量个数以及时间长度定时记录多组电量值。
- (4) 可根据用户要求实现自动抄表和分时计费的功能。
- (5) 可根据记录的多个时间段的电量值自动绘制负荷曲线。
- (6) 可对采样值进 2~15 次谐波分析,另外还可以每周波 128 点的速度记录采样数据,以供进行高达 63 次的谐波分析。
- (7) 可根据用户设定的定值启动录波功能,记录多个周波的采样数据。
- (8) 装置带有 RS232 和 Lonworks 网卡,可与微机联网组成一个综合监测系统。

#### 5 结语

本文介绍了一种功能强大的智能型电力监测仪的设计与实现。由于该装置采用了 32 位浮点型的高速 DSP 芯片,使得该装置能对各种电气参量进行实时高精度的测量,同时设计时考虑了将来扩展的需要和通用性的要求,预留了开入开出接口,从而可以方便地加入控制功能。由于这种装置体积小,安装方便,多台装置互联可以构成性能优越的实时综

合监测系统,所以它非常适用于电力自动化系统、工业自动化系统和楼宇自动化系统等。

#### 参考文献:

- [1] Texas Instruments, TMS320C3X User's Guide, 1994.  
 [2] 张东江,陈曼青. 基于嵌入式 PC 的人机接口. 中国电机工程学会继电保护专业委员会第七届学术年会论文集,北京:1998.

- [3] 北京麦克泰软件技术公司. VRTX 嵌入式实时操作系统.  
 [4] 姜霞,何海波等. 实时多任务电能质量监测软件的研究与实现. 全国高校电力系统及其自动化专业第十五届学术年会. 武汉:1999.  
 [5] VisualC++ 5 开发使用手册. 机械工业出版社.

### The research on DSP based intelligent power supervisor device

LI Bi-tao<sup>1</sup>, WEN Jin-yu<sup>1</sup>, JIANG Xia<sup>1</sup>, CHENG Shi-jie<sup>1</sup>, YI Yong-hui<sup>2</sup>, ZHANG Wang<sup>2</sup>

(1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;  
 2. Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** This paper introduces a new developed Intelligent Power Supervisor Device (IPSD) based on powerful Digital Signal Processor (DSP). The functions that an IPSD should have are discussed. The realization of the hardware and software are also given in the paper.

**Keywords:** DSP; intelligent; power supervisor

(上接第 16 页) 努力,还是无法挽回失步系统失步时,解列也得值得考虑的一种防止事故扩大的最后应急措施。但必须有计划地安排解列点,使解列后的系统容量尽可能地平衡,所以在超高压大电网中,必须特别注意安排好解列点的问题。

以上各类措施可单独采用,也可同时采用,由于加速故障切除速度及进行适当的重合闸费用低、效果好,所以应优先采用。对于发电机的强行励磁、串(并)联电容补偿和切除并联电抗器,主要是控制电压和无功功率,容易灵活实现控制,也可优先考虑;而对于减少送受端的功率不平衡程度的措施,如切机、快关汽门、电阻制动、切负荷等,主要是控制有功功率,提高系统暂态稳定性,实现起来较困难,同时对电力系统影响也较大,通常是前两类控制不能

满足要求时采用。

### 5 结束语

针对我国电力系统的实际情况,电源的发展超前网络的发展,电源点距负荷中心较远,网络联系相对薄弱,稳定储备低;当借助于一些完善的反事故对策时,可以提高电力系统运行的安全性,取得良好的运行效果。

#### 参考文献:

- [1] 王梅义. 大电网技术. 水利电力出版社, 1991.  
 [2] 韩祯祥. 电力系统稳定. 中国电力出版社, 1995.  
 [3] 袁季修. 电力系统安全稳定控制. 中国电力出版社, 1996.

### Analysis of countermeasures for simple power system in out-of-step conditions

YANG Bing-yuan<sup>1</sup>, ZHANG Bao-hui<sup>2</sup>, WU Ji-guang<sup>1</sup>

(1. Electric Power College of Inner Mongolia Polytechnic University, Huhehaote 010080;  
 2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** In this paper, an overview of the variables change regularity after the disturbance of equivalent two-generator power system's stability is given. Based on the analysis of physical course, some active countermeasures are developed. In addition, the conclusions are testified through digital simulation.

**Keywords:** power system; stability of power system; vibration of power system