

一种多功能电力监控装置的研究

孟昭勇 梁军 李仁俊 李欣唐 山东工业大学电力工程学院 (250061)

【摘要】 介绍了一种多功能电力监控仪的设计与实现方法。该装置采用双CPU并行处理技术,其中包括一个高速数据处理芯片(DSP)TM S32025兼作数据采集及数字信号处理之用,具有LonWorks网络接口,可与当地临近计算机相联,以构成完整的分布式监控系统。详细地介绍了其软硬件系统设计与实现方法。

【关键词】 数字信号处理 电力监控 电力系统

引言

采用集散和分层控制技术,可使整个电力监控系统的性能得到大大优化和提高,而实现分层控制系统的基础是实现前沿测量和控制机构的单元化和多功能化。目前,电力系统的前沿监测和控制任务通常由RTU和微机保护控制机构分别承担,RTU或者通过采样电量变送器送来的直流信号,或者通过直接采样交流信号实现对一些基本电力参数的变送和测量,并将其送至监控中心计算机;而微机保护控制装置则含有自己内在的信号测量机构以实现故障监测和保护控制功能。这种实现方法存在着费用成本高、现场布线复杂,以及占地面积大等诸多弊端。

高速数字处理芯片(DSP)技术的发展及其制造成本的降低,为开发一种兼具测量和多种控制功能的综合电力监控装置奠定了基础。近年来,人们已经开始将DSP芯片用于某些电力系统产品的开发研究,并获得了成功^[1]。

为此,我们采用DSP芯片和双CPU并行处理技术开发了一种多功能电力监控仪。该装置采用一个DSP芯片TM S32025负责执行数据采集以及所有的数字信号处理计算任务,并通过一个双口RAM与另一个CPU(80c196)实现高速数据通讯。而另一个CPU主要负责控制逻辑运算、输入输出操作及与监控中心计算机的通讯联系等。

本文较详细介绍了装置所采用的数字信号处理计算方法及其软硬件体系结构。

1 测量原理与计算方法

1.1 有效值(RMS)的计算方法

对于以 T 为周期的周期信号 $x(t)$,其有效值定义为:

$$X_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (1)$$

用离散化的信号 x_k 计算 $x(t)$ 有效值可用和式代替积分^[2]:

$$X_{\text{RMS}k} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{r=0}^{N-1} x_{k-r}^2} = \sqrt{\frac{1}{N} X_{\text{RMS}k}} \quad (2)$$

式中 $X_{\text{RMS}k}$ 表示在第 k 个采样点计算的有效值,计算时采用了前面 $N-1$ 个采样点的采样值, N 为每周波采样点数。

在等间隔时间连续采样的前提下,可以递推方式求出每一个采样点的有效值:

$$X_{\text{RMS}(k+1)} = \sqrt{X_{\text{RMS}k}^2 + x_{k+1}^2 - x_{k-N+1}^2} \quad (3)$$

$$X_{\text{RMS}(k+1)} = \frac{1}{N} X_{\text{RMS}(k+1)} \quad (4)$$

采用上述两式递推求解,可大大减少计算工作量。

1.2 基波向量的计算方法

基波向量的计算采用DFT算法:

$$X_{1rk} = \frac{2}{N} \sum_{r=0}^{N-1} x_{k-r} \cos \frac{2\pi r}{N} \quad (5)$$

$$X_{1ik} = \frac{2}{N} \sum_{r=0}^{N-1} x_{k-r} \sin \frac{2\pi r}{N} \quad (6)$$

式中 X_{1rk} 和 X_{1ik} 分别为对信号 $x(t)$ 在第 k 个采样点计算的基波向量的实部和虚部。计算

时同样采用了前面 $N - 1$ 个采样点的采样值。

为了减少计算工作量,上述两式可采用递推求法:

$$X_{1r(k+1)} = X_{1rk} + \frac{2}{N}(x_{k+1} - x_{k-N+1}) \cos \frac{2\pi(k+1)}{N} \quad (7)$$

$$X_{1i(k+1)} = X_{1ik} + \frac{2}{N}(x_{k+1} - x_{k-N+1}) \sin \frac{2\pi(k+1)}{N} \quad (8)$$

基波向量的有效值 X_{IRMS} 和相角 θ 可分别利用下述两式求得:

$$X_{IRMSk} = \sqrt{\frac{X_{1rk}^2 + X_{1ik}^2}{2}} \quad (9)$$

$$\theta = \text{tg}^{-1} \left(\frac{X_{1ik}}{X_{1rk}} \right) \quad (10)$$

1.3 有功功率和无功功率的计算方法

令以 T 为周期的电压, 电流信号分别为 $u(t)$ 和 $i(t)$, 其平均功率定义为:

$$P = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t u(t)i(t)dt \quad (11)$$

采用离散化的信号 u_k 和 i_k 计算平均功率, 可用下列公式:

$$P_k = \frac{1}{N} \sum_{r=0}^{N-1} u_{k-r} i_{k-r} = \frac{1}{N} P_k \quad (12)$$

$$P_{k+1} = P_k + u_{k+1} i_{k+1} - u_{k-N+1} i_{k-N+1} \quad (13)$$

$$P_{k+1} = \frac{1}{N} P_{k+1} \quad (14)$$

式中 u_k 和 i_k 分别为 $u(t)$ 和 $i(t)$ 的第 k 个采样值;

P_k 和 P_{k+1} 分别为在第 k 个和第 $k+1$ 个采样点计算有功功率。

电能的计算可以下式递推累计:

$$W_{k+r} = W_k + P_k \Delta t \quad (15)$$

式中 W_k 和 W_{k+r} 分别为第 k 和第 $k+r$ 个点的电能累计值, 设在 $t=0$ 时开始计量, 则 $W=0$; $\Delta t = r \times T$, T 为信号的实时测量周期。

无功的计算可根据定义:

$$Q_k = \sqrt{U_k^2 I_k^2 - P_k^2} = \sqrt{(U_k I_k + P_k)(U_k I_k - P_k)} \quad (16)$$

式中 U_k, I_k 分别为第 k 个点计算的电压、电流有效值 Q_k 为第 k 个采样点的无功功率。

1.4 频率的测量计算方法

频率的测量可以采用硬件计时方法实现。即首先采用鉴零比较器将信号变成方波, 然后测量方波两个相继过零点的时间间隔。但当信号波形畸变较严重, 或者干扰较大时将可能产生不能容忍的测量误差。文献^[3]中给出了一种基于正序电压向量相角变化量的高精度频率计算方法, 现将该方法简述如下:

正序电压向量 $V_1 = V_{1r} + jV_{1i}$ 可用下式计算:

$$V_1 = \frac{1}{3}(V_a + \alpha V_b + \alpha^2 V_c) = V_{1r} + jV_{1i} \quad (17)$$

式中 V_a, V_b, V_c 分别为相电压基波向量; $\alpha = 0.5 + j0.866$

$$V_1 \text{ 相角 } \theta = \text{tg}^{-1} V_{1i} / V_{1r} \quad (18)$$

设被测系统频率在第 $k-N$ 个采样点时为 f_{k-N} , 而在第 k 个采样点时刻, 频率产生一个微增量 Δf , 则在采样频率不变的前提下, 计算正序电压向量的相角将产生一个增量:

$$\theta - \theta_{k-N} = \frac{\Delta f}{f_{k-N}} 2\pi \quad (19)$$

从而有:

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{2\pi} (\theta - \theta_{k-N}) f_{k-N} \quad (20)$$

第 k 个采样点的频率:

$$f_k = f_{k-N} + \Delta f \quad (21)$$

2 硬件构成

如图 1 所示, 硬件结构采用了一个 DSP 芯片和一片 80c196 单片机双 CPU 并行处理技术, 二者通过双口 RAM 实现高速数据通讯。双口 RAM 采用 DT7132, 该芯片具有 2 套独立的控制逻辑与数据存取端口, 当同时操作同一存储单元时, 片内仲裁逻辑将只允许从一端口进行读写操作, 而封锁另一端口。被封锁端口

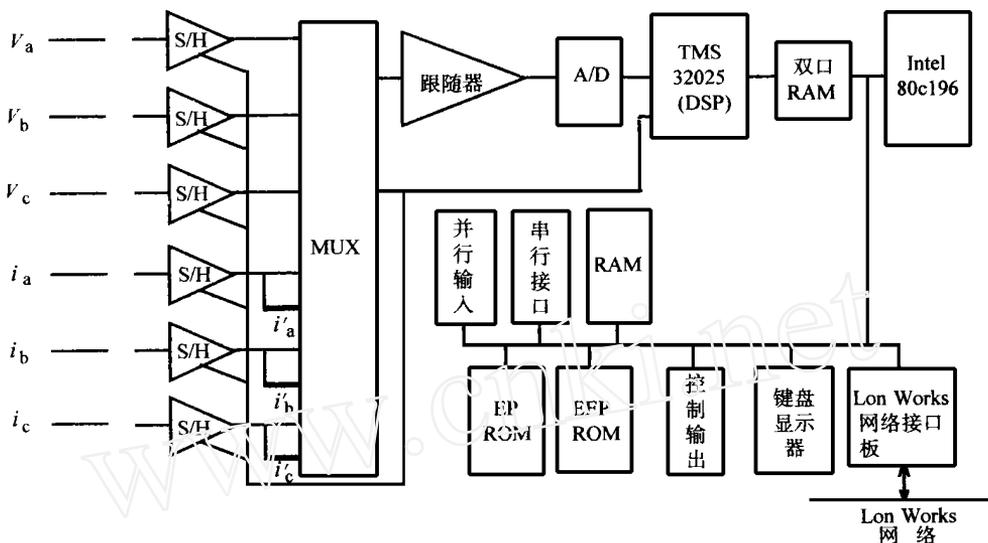


图1 硬件结构图

有BUSY线被拉低,从而使连接在该端口的CPU处于指令保护状态,待BUSY变高之后,CPU可继续操作。DSP主要负责数据采集及数据处理。每次采样DSP将依次起动S/H、多路开关与A/D转换器分别将各路模拟通道的模拟信号转换成数字信号,并进行各种数字信号处理计算后,送入双口RAM中约定的存储单元寄存以供80c196读取。80c196则根据双口RAM中的测量数据以及预设的一些继电器定值进行各种继电器逻辑操作和输出控制操作等。80c196扩展了一片E²PROM用以存储通道整定和误差校验参数以及继电器定值。此外作为人机接口的键盘显示器管理由80c196负责,它还负责通过3120神经元芯片与LonWorks网络交换信息。

考虑到电流变化范围较大(故障电流可能是正常负荷电流的几十倍),在采样保持器的后面增加了3路电流通道(i_a, i_b, i_c),适当调整其通道放大增益以用于正常负荷电流的精确测量。

3 软件系统设计

DSP与80c196各自的软件系统是相对独立的,它们只通过双口RAM中约定的存储单元实现数据信息传递转换。

3.1 DSP的软件系统

DSP以中断方式实现对9路数据每周波16点的采样。其中断服务程序框图如图2所示。为实现递推计算,DSP所采集的数据采用环形存储技术存储,环形缓冲区的长度可容纳9个周波的数据。数据处理的内容包括各种电量的计算及标度变换等。

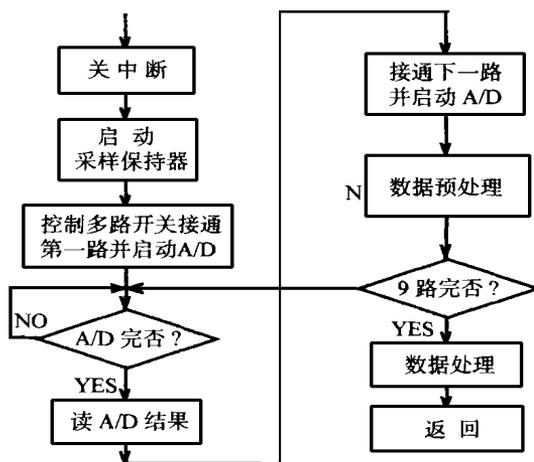


图2 DSP的采样中断处理程序框图

3.2 80c196的软件系统设计

为进一步提高装置的整体性能,在80c196的软件系统设计中,采用了多任务操作系统的设计思想,设计了一个微型多任务调度内核。该调度内核将CPU时间资源划分为基本时间片,通过在不同的时间片将CPU分配给不同的任务而实现多任务运行机制。每当调度内核将切换执行新的任务时,它将保存所有寄存器的状

态以备重新调度执行旧任务时恢复现场。该多任务调度内核登记并同时调度运行的任务包括：

- (1) 人机接口任务；
- (2) 通讯任务管理模块；
- (3) 继电器逻辑及输出控制任务。

人机接口主要负责判断、识别按键并进行某些参数定值或装置工作方式标志的输入、修改及显示切换等操作。通讯任务通过串行口或 LonWorks 网络可实现与监控中心计算机的双向数据通讯。即可实现远方参数设定，又可将多种测量量及时送往 SCADA 控制中心。继电器逻辑及输出控制任务负责执行各种标准及可选的继电器功能。标准继电器功能包括：

(1) 电流三段：包括电流速断、定时限及过电流；

(2) 功率方向。

可选的继电器功能包括：

- (1) 另序过流；
- (2) 电压越限；
- (3) 负序电流或负序电压；
- (4) 距离保护。

用户可通过人机接口方便地设置选择上述几项功能。继电器逻辑及输出操作功能大约每半个周波执行一次，其执行控制信号由 DSP 产生并通过双口 RAM 中约定的存储单元传给 80c196，80c196 的多任务运行机制使之随时可检测到该执行控制信号标志。

此外，系统具有丰富的自检功能，可以对构成的硬件的各个部分进行定期自检，若发现故障则报警并自动停止所有的逻辑操作，以避免

产生误操作；软件故障时将由 80c196 内部的 WATCHDOG 定时器自动复位整个系统。

4 结论

本文详细描述一种性能优越的多功能的监控仪的设计与实现方法，该装置采用了高速 DSP 芯片实现对各种电气参量的实时高精度测量。同时，双 CPU 并行处理技术的采用又可使装置兼具各种继电器控制功能。这种装置尤其适用于 110kV 及以下电压等级电力出线的前沿监控，它几乎可以实现这种电力出线的全部监测与控制功能。这种单元化电力监控仪可以大大减少现场布线及占地面积。将多台这样的装置用于同一变电站内的各条出线，并通过 3120 芯片与当地 LonWorks 网络相联监控计算机可以构成性能优越的分布式实时监控系

参考文献

- 1 Murty V V S Yalla A digital multifunction protective relay. IEEE Trans on Power Delivery, 1992, 7 (1): 193~ 201.
- 2 李仁俊等. 电力系统动态变量的实时测量及快速电量变送器. 电力系统自动化, 1991, 15 (6): 27~ 31.
- 3 Phadke A G, Thorp J S and Adn iak M. G. A new measurement technique for tracking voltage phasors, local system frequency, and rate of change of frequency. IEEE Trans on P A S, 1983, P A S~ 102 (5): 1025~ 1038.
- 4 LonWorks Networks Reference, ECHELON.

DEVELOPMENT OF A DIGITAL POWER MONITORING UNIT

M eng Zhaoyong, L iang Jun, L iRenjun, L i X intang (Shandong University of Technology, Jinan, 250061)

Abstract This paper presents the design and implementation of a digital multifunction power monitoring unit. With a dual microprocessor architecture used, including a digital signal processor (DSP) TM S32025, the apparatus may not only perform real-time measurement of various electric quantities, but also provide almost all of the protective and control functions for a power line.

Keywords Digital signal processing Power monitoring Power systems