

基于双 CPU 的继电保护测试仪设计

刘红海, 侯向华, 蒋云良

(湖州师范学院信息工程学院, 湖州 313000)

摘 要: 设计一种基于快速傅里叶变换(FFT)算法的继电保护测试仪。该系统采用双 CPU 的结构, 上位机为 MCU, 主要用于人机界面和参数的输入, 下位机为 DSP, 主要用于 FFT 算法的运算。在双 CPU 系统中, 上下位机的通信采用并行通信中的共享内存原理。通过应用消息控制机制, 上下位机能有效减少通信中的中断次数, 提高测试的实时性。

关键词: 消息控制; 共享内存; 快速傅里叶变换; 数字信号处理器

Design of Protective Relay Test Device Based on Double CPU

LIU Hong-hai, HOU Xiang-hua, JIANG Yun-liang

(School of Information Engineering, Huzhou Teachers College, Huzhou 313000)

【Abstract】 A protective relay test device based on Fast Fourier Transform(FFT) algorithm is designed. In this system, double CPU(host CPU and slave CPU) are adopted. Host CPU adopts MCU which is mainly used to display the man-machine interface and carry argument input. Slave CPU adopts Digital Signal Processor(DSP) which mainly runs the FFT algorithm. In the double CPU system communication between host and slave, CPU uses the principle of share memory in parallel communication. By means of applying message control mechanism, it reduces the interrupt times and increases the real-time performance of test.

【Key words】 message control; share memory; Fast Fourier Transform(FFT); Digital Signal Processor(DSP)

1 概述

继电保护测试仪是近十年发展起来的一个新型智能化测试仪器, 已广泛用于电力系统中线路保护、主变差动保护、励磁控制等各个领域^[1]。由于如今电站自动化集成的功能多, 要求继电保护测试仪监测的指标精度高, 采用的算法更为先进和复杂, 这里主要采用快速傅里叶变换(Fast Fourier Transform, FFT)算法产生波形与基波叠加。由于 FFT 算法需要 CPU 浮点计算能力强, 传统的单 CPU 难以实现继电保护系统中的强大功能, 因此在系统中采用双 CPU 的系统结构。

2 FFT算法描述

傅里叶算法的基本思路来自傅里叶级数, 根据微积分理论, 任何一个满足 Dirichlet 条件的函数都可以展开成傅里叶级数的形式, 它假定被采样的模拟信号是一个周期性时间函数, 除基波外含有不衰减的直流分量和各次谐波^[2]。表示为

$$x(t) = \sum_{n=0}^{\infty} [b_n \cos n\omega t + a_n \sin n\omega t] \quad n = 0, 1, \dots$$

其中, a_n 和 b_n 分别为各次谐波的正弦和余弦的幅值。有

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos n\omega t dt, \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin n\omega t dt$$

实际上电力系统中电压和电流波形都是不规则的非正弦波表示。将电压序列 $u(t)$ 分为基波和各次谐波分量的形式可以得到:

$$a_{kn} = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \cos k\omega t dt, \quad b_{kn} = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \sin k\omega t dt$$

其中, k 代表谐波次数($k=1, 2, \dots$)。积分离散化后, 得

$$a_{kn} = \frac{2}{T} \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \cos \frac{2\pi}{N} kn, \quad b_{kn} = \frac{2}{T} \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \sin \frac{2\pi}{N} kn$$

由此可以经过计算得到低 k 次谐波电压的振幅、相角和有效值:

$$\text{振幅: } u_{kn} = \sqrt{a_{kn}^2 + b_{kn}^2}$$

$$\text{相角: } \varphi_k = \arctan(b_{kn} / a_{kn})$$

$$\text{有效值: } u_k = \sqrt{\frac{1}{2} u_{kn}^2 - \frac{1}{2} (a_{kn}^2 + b_{kn}^2)}$$

电流的计算方法类似于电压, 由于非正弦周期函数的有效值等于信号中各次谐波的有效值的平方和的平方根^[3], 因此

此电压、电流总的有效值分别为 $U_{km} = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} u_k^2}$, $I_{km} = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} I_k^2}$ 。

在本系统中, 要得到精确的计算结果, 波形产生频率的选择很重要。如果产生频率过高, 虽提高了计算精度, 但增加了计算量, 会影响到实时性; 如果产生频率过低, 会造成其频域的混叠, 而无法如实地反映出原来的信号。现代装置由于基于传统的 MCU 芯片, 计量的点大多为 32 点和 64 点, 在本系统中考虑到数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)的计算速度^[4]、谐波分析、波形产生等因素, 选用波每个周期每路采用 128 点。在本继电器系统保护中, 要求测试仪能自主地产生多次谐波叠加到基准电压和电流中, 从而影响电压电流的波动, 产生与实际系统中相符合的波动, 达到继电器判断是否要动作的目的。当系统设计为 7 次谐波时, 达到在基准电压和电流中产生电压和电流波动, 到该品种继电器的最大和最小波动范围, 判断继电器是否正常动作^[5], 从而判定该电力系统中的继电器灵敏度是否到达系统标准。因此, 需要在系统中按照设定的基准电压和电波对每相(一般

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60573056)

作者简介: 刘红海(1975—), 男, 讲师、硕士, 主研方向: 嵌入式系统; 侯向华, 讲师、硕士; 蒋云良, 教授、博士

收稿日期: 2009-11-27 **E-mail:** liuhh@zj.com

为 4 相电压和 3 相电流)进行正常的输出带干扰的电压和电流,判断继电器是否正常动作,继电器动作后,测试仪要进行测试发生动作时的电压和电流,从而记录继电器产生动作的起始电压和电流,达到在线检测电力设备中各继电器好坏的目的。

3 双CPU的继电保护测试仪设计

在该系统中,CPU 除了要完成数字信号处理功能外,还有很多诸如与外部系统的通信、控制、人机接口等功能,如果仅采用一个 DSP,会使硬件系统过于复杂,输出监测结果的实时性得不到保证^[6]。这种情况下,综合考虑性能和成本,采用一个 DSP 加一个单片机来协同实现系统的功能,每个处理器完成系统的一部分工作。其中,DSP 负责完成运算量比较大的各种实时分析计算任务;单片机负责完成相对慢速的人机交互任务,包括和液晶显示器、键盘、微型打印机及串行通信接口之间的信息交换。2 个 CPU 通过 4 K×8 bit 双口 RAM 实现数据交换和协同工作。并从硬件和软件上相互配合,避免存储空间争用,同时使数据传送过程中尽量少耗费各种资源^[7]。

在 CPU 的选择上,本系统处理的数据量大,对输出结果的实时性要求高,因此,选用 DSP 芯片 TMS320VC33 作为完成系统的所有实时分析计算的核心 CPU,该芯片与其他同类处理器相比具有如下特点:(1)具有高速的浮点运算能力,单指令执行时间最高为 150 MFLOPS 和 75 MIPS,32 位的高性能 CPU 可完成高速、高精度数据处理;(2)具有 4 个片内译码页选,大大简化了 I/O 和存储器的接口;(3)带有 34 KB×32 位的片内双存取静态 RAM;(4)软件可编程的等待状态发生器,可以灵活地与外部设备相连接。

MCU 选用 ATMEGEL128L 单片机,该款单片机具有如下特点:ATMEGEL128L 为一款低功耗高速 8 位单片机,片内集成 128 KB Flash 程序存储器,4 KB SRAM 和 4 KB E2PROM,E2PROM 非常适合于参数设定,而且掉电不丢失^[8]。内部集成有用于在线仿真调试和程序下载的 JTAG 接口,方便程序修改和升级。由这 2 个处理器协同完成对系统任务的并行处理,能更有效地充分发挥 DSP 的功效和单片机的特长,保证了产生波形的实时性和精度。

3.1 双CPU通信方案的实现

2 个 CPU 虽然各有分工,但系统功能要求 2 个 CPU 之间需要经常快速地传递大量的数据。因此,两者采用并行通信方式,而在并行通信中,又以共享内存的方式效率为最高^[9]。主要是在下位机 DSP 内存上开辟一块共享内存,由于上位机 MCU 可以访问 DSP 上的每一个地址,而 DSP 也可以访问自己的内存,这样就在双 CPU 间形成了一个连接桥。为防止上位机和下位机同时写数据或者一个读数据时另一个写数据导致传输数据出错,定义一套消息通信机制,就通过收发消息来完成对 DSP 的完全控制,这与传统的中断控制方式有区别。传统的控制方式是采用中断方式来实现的,当 DSP 要上传一条消息时,就要采用一次中断来告诉 MCU 上层上传队列里有一条未读消息,然后 MCU 应用程序就会到遍历上传队列,对未读消息进行读取。同样,MCU 要下传一条消息时,也要采用一次中断,通知 DSP 有新消息需要读取。采用中断方式的缺点是当 MCU 要下传消息时,就会停止 FFT 算法计算,导致波形失真和不连续。为了克服这种缺点,采用了一种称为消息循环泵的线程来对整个上传消息队列进行实时遍历,一旦发现上传消息队列中新增消息,就会调用回

调函数对消息进行读取。DSP 也用了一个 While 循环来不停遍历下传消息队列,发现下传消息队列中有未处理的消息,就调用相应的消息响应函数进行响应,从而不需采用中断 FFT 的变换处理,产生不失真的波形。

3.2 双CPU间通信层的设计

当系统采用双 CPU 结构时,采用何种通信机制就变得非常重要。在本系统中,采用了消息通信机制来实现上下位机的通信。通信层的设计如图 1 所示。

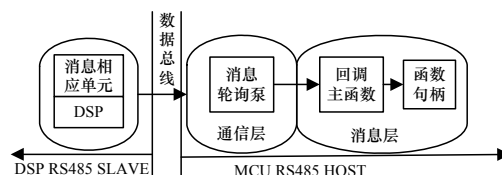


图 1 消息通信接口层结构

这种消息通信机制的步骤如下:

(1)调用 InitDSPComm 函数初始化接口层得到接口层的句柄。该初始化函数会根据给定参数自动进行通信层的初始化和部分消息层的初始化工作。

(2)调用 OpenDSPService 初始化各 DSP 得到 DSP 功能句柄,这里需要用到接口层句柄并指定 DSP 功能和其回调函数。返回的句柄根据 DSP 的不同功能(FFT 算法计算,检测继电器是否动作,返回动作值等)有各自不同的定义,需要使用者将它强制转换到和功能对应的句柄,这一步相当于给各个 DSP 分配功能并得到句柄。

(3)设置好上位机函数的参数并调用相应的初始化函数,这里需要用到 MCU 功能句柄。设置完毕后,MCU 即开始按照配置运行,下位机在相应回调函数里得到基准电压和电流的参数或者消息的回应,用其他接口函数对 DSP 进行动态配置。数据命令交互过程如下:

1)应用程序向 DSP 发一条控制命令,DSP 接到命令后反馈具体的值。

步骤 1 应用程序用接口发送控制命令。

步骤 2 消息层将命令解析成消息下发至通信层。

步骤 3 通信层将消息写到 DSP 消息队列并返回。

步骤 4 DSP 轮询查到消息进行相应的操作。

步骤 5 DSP 操作完毕,给出响应消息,写在指定的对列,并设置消息状态为未读。

步骤 6 通信层发送相应的中断,从 DSP 上发消息队列得到消息,并调用主回调函数。

步骤 7 应用程序在回调函数中处理响应消息。

2)当 DSP 要给应用层发继电器的动作信息时,例如上传给 MCU 继电器动作时的电压和电流值时。

步骤 1 DSP 向通信层上传消息,消息中携带有数据时会告知具体的数据起始地址。

步骤 2 MCU 消息轮询泵查询到未读消息,从上传队列中读取消息,并调用相应的回调函数。

步骤 3 应用程序在回调函数中处理响应消息,并将获得数据写到 LCD 具体位置。

3)应用程序给 DSP 发送时间控制值时,其过程和发送控制命令类似,但 DSP 不会回应消息。

步骤 1 应用程序用接口发送控制命令。

步骤 2 消息层将命令解析成消息下发至通信层。

步骤 3 通信层将消息写到 DSP 消息队列并返回。

步骤4 DSP 轮询查到消息进行相应的操作。

在通信层中,把消息分为 2 种:上传消息(DSP->MCU)和下传消息(MCU->DSP),在上传消息和下传消息中,也有携带数据和不携带数据的区别。

3.3 系统软件实现

程序框图如图 2 所示。

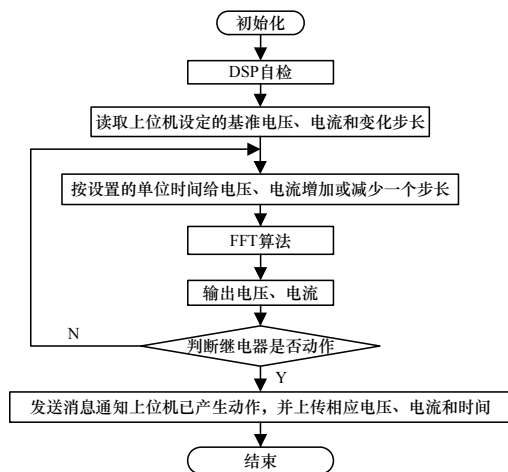


图 2 程序框图

主程序开始初始化各种参数以后,主程序进入不断的循环状态,查询上传消息队列。若查询到有未读的消息,则查看相应的类别,从而对收到的消息进行解析。对带有数据的消息,则将数据写到液晶屏中相应的位置上,在这里需要对数据进行倍数的转换。例如若收到上传的数据是 50,则实际显示为 0.5,数据的比例倍数是系统的精度所要求的。

4 结束语

实时在线测试电力系统中各种继电器越来越成为变电站系统检测的主流。本文采用 FFT 算法对基准电压和电流进行谐波叠加从而实现了电压和电流的波动,引起继电器动作。本系统采用双处理器的构架,克服了单处理器产生的谐波次数低,从而测试继电器精确度不高等缺点。系统在对多种高精度要求的继电器进行在线检测时,达到了精确检测的目的。

参考文献

- [1] 邹向阳,李 锋,刘 戎. 基于双口RAM的双CPU之间的实时双向通信[J]. 微计算机信息, 2008, 24(32): 99-100.
- [2] 钟 卫,杨国军. 基于双CPU的小型数控机床控制系统研究[J]. 微计算机信息, 2008, 24(34): 174-175.
- [3] Tanenbaum A S. 现代操作系统[M]. 陈向群,译. 北京:机械工业出版社, 1999.
- [4] 周立功. ARM 嵌入式系统基础教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2005.
- [5] 赵保军,史彩成,毕 莉,等. 基于 FPGA 和 DSP 实现的实时图像压缩[J]. 电子学报, 2003, 31(9): 1317-1319.
- [6] 杜春雷. ARM 体系结构与编程[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.
- [7] Perry D E. 软件工程与软件体系结构[M]. 冯 玉,译. 北京:电子工业出版社, 2000.
- [8] 王卫锋,汤华中,易志平. 数字视频监控系统中远端摄像机控制的研究[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2003, 42(22): 67-68.
- [9] Michael B. C/C++嵌入式系统编程[M]. 于志宏,译. 北京:中国电力出版社, 2001.

编辑 任吉慧

(上接第 256 页)

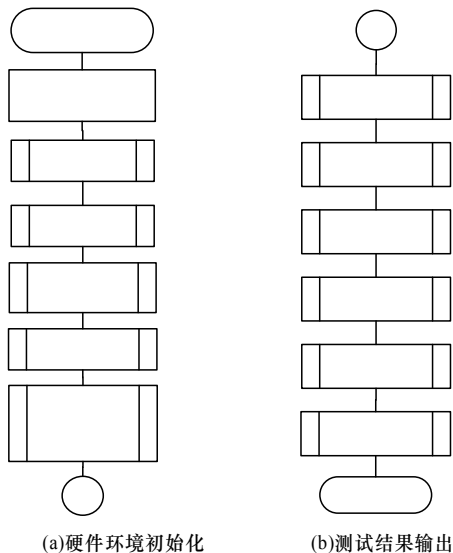


图 5 测试流程

5 结束语

V850E/MS1-sim 是为了提高嵌入式软件开发的效率和方便系统调试而开发的一个全系统模拟器,它的设计和实现在保证系统精确性的同时,提高模拟器的运行效率,其指令集模拟以及完备的内存管理,为系统的调试提供了有力的支持。

V850E/MS1-sim 是以纯软件实现的,虽然不能真正代替处理器,无法保证系统的性能,如速度的优化,但是它可以

完成在硬件平台下的各种模拟试验及开发工作,在很多方面具有真实环境无法比拟的优势,比如内存监控、断点调试、安全性等方面,它可以很方便地收集到真实环境系统信息,能够在嵌入式系统上进行软件调试和开发。

目前, V850E/MS1-sim 模拟已经完成了硬件体系结构,下一部的工作会在指令模拟上寻找更有效的方法,如动态翻译技术^[4]、混合翻译技术^[5]等以提高模拟器的运行速度,然后模拟指令流水线以提高模拟器的运行精确性,从而为开发者提供更详细的系统信息。

参考文献

- [1] NEC Electronics Corporation. V850E/MS1 Manual[Z]. 2002.
- [2] Leupers R, Elste J, Landwehr B. Generation of Interpretive and Compiled Instruction Set Simulators[C]//Proc. of ASP-DAC'99. New York, NY, USA: [s. n.], 1999.
- [3] 柯化成. 嵌入式系统全系统模拟器框架设计与实现[D]. 杭州:浙江大学, 2006.
- [4] Cmelik R F, Keppel D. Shade: A Fast Instruction Set Simulator for Execution Profiling[C]//Proc. of SIMETRICS'94. Nashville, USA: [s. n.], 1994.
- [5] Reshadi M, Mishra P, Dutt N. Instruction Set Compiled Simulation: A Technique for Fast and Flexible Instruction Set Simulation[C]//Proc. of ASP-DAC'03. New York, NY, USA: [s. n.], 2003.

编辑 索书志

