

PC与DSP串行通信在电力故障波形重现装置中的应用

杜新伟¹, 李媛¹, 刘涤尘¹, 王和春², 叶菁²

(1. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 江西电力调度中心, 江西 南昌 330029)

摘要: 电力故障波形重现装置可以将各发电厂、变电站的录波器所记录的标准 COMTRADE格式故障数据真实还原成实际电压电流波形, 进行故障分析、研究继电保护装置动作行为以及测试电力二次设备等。装置采用嵌入式 PC与 DSP的双 CPU控制结构, 为保证输出波形失真小, 需要传输大量数据, 因而嵌入式 PC与 DSP之间准确、快速的通信成为提高装置性能的一个重要问题。概括介绍了故障波形重现装置的原理、结构等, 并重点对上、下位机间的串行通信做了一个详尽的描述。该装置已通过试验验证, 具有很强的实际价值。

关键词: 串行通信; 故障重现; DSP; 嵌入式 PC

中图分类号: TM76 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)22-0021-05

0 引言

近些年来, 不同类型的故障录波器已在电力系统中广泛采用, 它们所记录的各种故障数据为电力系统故障分析及对保护动作行为的分析评价提供了数据来源和依据^[1], 而能把这些故障录波数据还原成实际电压电流波形, 对分析故障和研究继电保护装置动作行为, 以及测试电力二次设备等都有着重要的实际意义。但是, 由于非线性失真严重, 输出功率等级低, 负载特性适应能力差等技术难题, 故障重现一直难以推广。

本文介绍的电力故障波形重现装置创造性地采用了数字闭环校正技术和 PD控制, 反复对输出进行补偿, 尽可能地减小了功率放大中的非线性失真; 并且, 在输出前对待检系统进行负载特性测试, 自适应地调整装置自身参数, 从而解决了负载适应性和检测准确性之间的矛盾。整个装置基于标准 COMTRADE格式故障录波数据, 采用嵌入式 PC与 DSP主从式双 CPU结构, 上位机使用 GENE6310嵌入式 PC, 小巧方便且可大大简化电路设计, 缩小装置体积, 在其中安装功能强大, 界面友好的软件, 可将不同厂家数据转换为标准 COMTRADE格式, 并进行波形、矢量、谐波、功率、频率等一系列分析, 并通过串口将命令和数据发送到下位机 DSP; 下位机以 TI公司的 TMS320LF2407DSP芯片为核心, 功率部分采用多路大功率 IEM模块板, 开关频率高且阻抗小, 既保证输出波形失真满足, 又可提高功率部分的输出级别; 上、下位机之间采用硬件简单, 兼容性强的串行通信, 并运用数据分块传输和多重校检的方法, 从而提

高了大数量串行传输的速率和准确度^[2]。

1 故障波形重现装置概述

数字信号处理器具有增强哈佛结构和专用指令集, 性能优越且编程灵活, 在控制领域得到了非常广泛的应用。本电力故障波形重现装置采用 TMS320系列 DSP作为整个系统的核心, 但是, DSP在人机交互方面有些不足, 例如与外界交换数据的 I/O口少且电路复杂, 键盘输入、液晶显示等编程也比较麻烦, 此外, 由于要传输的录波数据量大, 而 DSP的存储空间等资源非常有限, 从而使 DSP不能有效得到应用。为了既能发挥 DSP超强数值计算能力, 又能使装置显示美观, 使用方便, 接收数据能力强, 开发资源丰富, 系统采取了嵌入式 PC为上位机, DSP为下位机的主从式双 CPU结构设计, 如图 1所示。

整个装置主要分为两部分。上位机采用目前比较流行的嵌入式系统设计, 以 GENE-6310饼干式 PC为核心, 背插 128 MDDR 笔记本电脑内存, 可连接普通 PC80G硬盘保证大量录波数据的存储, 通过 TTL LCD接口连接 10英寸液晶屏作为装置的显示, 另外, 还引出 USB口、串口、并口、网口、DE接口等标准 I/O设备, 可连接 U盘、光盘、打印机等设备完成数据的输入输出; 下位机包括 DSP和 6路 IEM模块, DSP负责进行大量的数值计算, 主要完成驱动信号产生和闭环修正算法的实现, IEM模块是装置的功率部分, 在 DSP信号驱动下完成故障波形的重现和功率的放大。

装置运行时, 首先通过嵌入式 PC所引出的标准 I/O口获取数据并保存在装置内的硬盘上, 可使

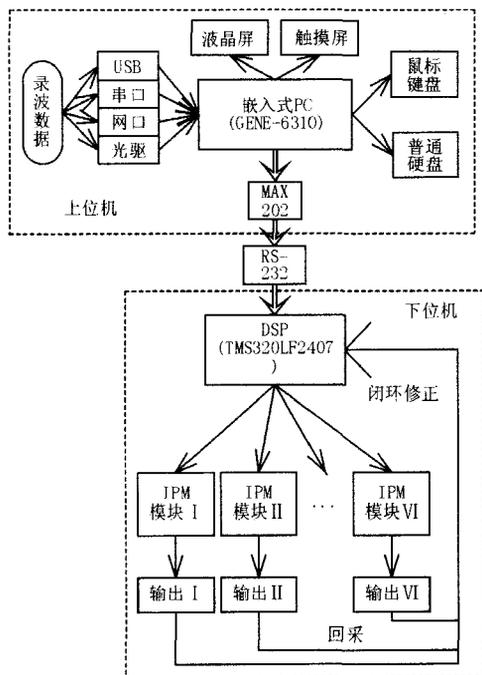


图 1 装置整体结构图

Fig 1 Overall structure of device

用上位机安装的软件对数据进行波形查看和各种故障分析,外接打印机可输出波形以及一些分析报告;然后,按照通信协议,上位机通过 RS-232 将录波数据发送到下位机 DSP, DSP 接收处理后保存在扩展的数据存储空间内;既而,上位机发出波形重现的命令,启动故障波形重现,下位机 DSP 将录波数据经过计算转换为 6 路 SPWM 信号,驱动 IPM 模块组成的逆变桥,输出重现的波形; DSP 再利用其自身的 AD 转换器对输出波形进行采样,将其与原始录波数据比较后修正驱动信号,并不断反复这个过程,一直到输出波形的失真度符合要求时,将重现波形通过装置面板插孔输出,完成功率的放大和波形的重现;同时,装置还对待测负载特性进行在线监测,自适应地调整系统参数,以保证实现恒压、恒流输出。

2 串行通信在装置中的应用

随着电子技术的发展和器件的翻新,电力故障录波器也不断更新换代,其所记录的故障数据位数越来越多,周期越来越长,且能监控的通道也逐渐增多,因而录波数据文件也随之增大。而且,在本装置中,发送数据前利用了差值算法,为 DSP 计算 PWM 脉冲提供了更为丰富的数据,提高了转换精度,减少了装置的失真度,但同时也增大了传输的数据量,加重了通信的工作任务,于是,上、下位机之间能够准确、快速地通信,成为本装置一个非常重要的环节。

经过反复比较论证,在本装置上、下位机之间采用串行通信。串行通信是一种发展比较成熟的通信方式,由于其传输距离长,硬件简单,易于编程,兼容性强,因而作为一种标准,已经在各个领域的多种设备中被广泛采用。但是,串行通信进行大数据量传输时,在传输速度及误码方面略显不足。下面,将结合本装置研制中进行大数据量通信时遇到的一系列问题,进行分析研究,并提出有效的解决办法^[3,4]。

2.1 硬件设计

TMS320LF2407 DSP 含有串行接口 SCI 模块, SCI 模块内部具有可独立工作、双缓冲的接收器和发送器,外部有发送数据引脚 SCITXD 和接收数据引脚 SCIRXD;嵌入式 PC 上自带 RS-232 标准 D 型 9 针串行接口,提供异步通信的 9 个信号,最为简单且通常采用三线制接法,即 5 脚接地,2、3 脚分别作为数据发送、接收脚。在进行 SCI 与 RS-232 串行口间的硬件连接时,需要注意的是 TMS320LF2407 DSP 采用 +3.3V 供电,而 GENE6310 嵌入式 PC 采用 +5V,因此在两者间需要用 MAX202 芯片进行电平的转换,另外,为了避免两者的电源以及信号互相干扰,还需利用 6N137 光耦进行隔离。串行通信硬件连接如图 2 所示。

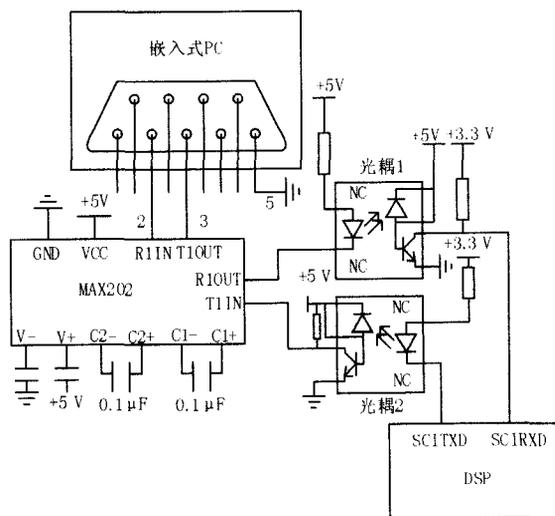


图 2 串行通信硬件连接

Fig 2 Hardware connection of serial communication

2.2 通信协议

2.2.1 字符传输格式

装置中,上、下位机之间通信采用全双工异步串行通信方式,波特率设置为 19 200 bps,数据位 8 位,无奇偶校验,一位停止位,无握手协议,所有通信采用二进制方式。

2.2.2 对数据的处理

PC与 DSP之间的故障录波数据传输,一般采用字节型数组的形式。在发送之前,需要将数据进行如下处理。

1) 差值,限幅:为了提高 DSP计算的精确性,根据录波器采样频率,软件设计中动态地应用了拉格朗日差值法,对采样点数较少的数据文件进行了差值;另外,录波数据中可能会有些个别不正常的记录点,对输出波形的真实性和装置安全有很大危害,因此在软件中也要对数据限幅,剔除个别记录点。

2) 非负化:为了简化和便于处理,传输的数据一般不希望看到负数和小数,通常是要把原始数据乘一个系数,再加上一个值化为非负整数用于传输,其中所乘的数决定了转化的精度。

3) 转化为字节数组:为了提高数据精度,可将转化后的非负整数变为 16进制,再分为几个字节,字节个数视位数多少而定,一般采用两个字节存储一个数据。

在接收端,DSP需要将收到的字节合并成数值,并进行与上述相逆的变换,即可得到真实数据。

2.2.3 命令字和校检

在发送大量数据区域前,PC机需要发送命令字给 DSP,经 DSP判别和处理后,返回相应的信息,PC机才可传输数据或进行别的操作。在命令字中,包括命令、数据长度、校检码和其他的必要信息,DSP根据通信协议识别命令,从而对应进行操作;其中数据长度有利于 DSP动态定义存储数据区域,校检码

表 1 命令字表

Tab 1 Command words table

编号	上位机 PC发送命令字	下位机 DSP返回命令字
1	11, 11 打开串口	11, 11 串口已打开
2	22, 22 自检	20, 20 装置工作正常
		21, 21 装置工作异常
3	33, 33, L1, L2, X1, X2 发送测试波形, L1, L2为数据长度, X1, X2为异或和校验, 下同	33, 33 就绪,等待接收
		31, 31 测试波形接收完毕
		32, 32 测试波形接收出错
4	44, 44 负载特性测试	34, 34 测试波形处理完毕
		55, 55 就绪,等待接收
		51, 51 标准波形接收完毕
5	55, 55, L1, L2, X1, X2 发送标准波形, 包括正弦波、三角波、方波等	52, 52 标准波形接收出错
		66, 66 就绪,等待接收
6	66, 66, L1, L2, X1, X2 发送故障波形	61, 61 故障波形接收完毕
		62, 62 故障波形接收出错
		77, 77 波形重现开始
8	88, 88 波形重现停止	
9	99, 99 装置复位	

采用异或和校检。如表 1所示。

2.3 软件设计

2.3.1 上位机软件

2.3.1.1 上位机软件流程

上位机软件流程按功能可分为四个步骤:首先,软件按标准 COMTRADE格式读取配置文件(cfg文件),依照读出信息在 PC内存中创建存储空间,再从数据文件(dat文件)装载录波数据到存储区;其次,由于按照录波文件中数据的不同采样频率将数据分成若干部分,用户可选择某一部分或一部分中的连续一段进行重现;然后,计算所选择数据段的长度和插值倍数,按照通信协议的规定,对数据进行插值、限幅、非负化以及放入数组等处理;最后,在需要传输数据时,计算校验码,发送命令字,得到 DSP就绪信息后,将准备好的数据数组按串口缓存区大小分组发送到下位机。软件界面如图 3所示。



图 3 软件界面

Fig 3 Interface of software

2.3.1.2 具体编程方法

1) 设置

上位机软件采用 Visual C++所提供的 MSComm控件进行设计。MSComm 提供许多与串口通信相关的 API函数接口,为编写串行收发数据程序提供了有效途径,使用非常方便。在传输数据前,需要对 MSComm的属性及有关寄存器进行设置,这是保证通信正确迅速的基础。大部分的属性设置采用默认的即可,要注意的有:

a 串口自身属性,包括端口号,传输速率,奇偶校检,数据位,停止位。PC机和 DSP必须设置一致,传输才能顺利进行。兼顾传输速度和正确性,一般采用传输速率 19 200 bit/s,无校检,数据位和停止位分别为 8和 1。

b 传输数据的类型,对大量数据采用二进制方式。

c 输入输出缓冲区的大小,分别设置为 1 024 字节和 512 字节。

d 接收门限值,设置为 1,保证接收缓冲区收到每一个字符都会使 MSComm 控件产生 OnComm 事件。

2) 数据发送

Visual C++ 只能传输 VARIANT 类型数据,因此,在发送数据前需要将 BYTE 数组转换成 VARIANT 型数据,具体方法是:定义一个 CByteArray 类的对象,将准备好要发送的字节型数组逐一写入该对象,利用 COleVariant() 函数将其转换为 VARIANT 型数据,然后再直接调用 MSComm 控件的 SetOutput 函数即可实现数据的传输。

另外,需要注意的是,串口的输入输出缓冲区是有一定限制的,尤其在本装置中使用的嵌入式 PC,由于资源有限,对串口缓冲区大小更为严格。在发送数据时,不能将所有数据一次性送到缓冲区,这样会造成数据的拥塞,从而使数据漏发或错发,所以应该采取分组发送的方法。所谓分组发送,就是将数据划分为缓冲区大小的数据块,依次发送。在发送完每一块后,利用 GetOutputCount() 函数检查缓冲区内等待发送的字节数,如果为 0,则发送下一块。最后一个数据块的长度不一定是缓冲区的大小,在发送时要按照实际大小发送。数据发送的程序如下:

```
for(WORD j=0; j < sizeofpdata; j=j+512)
    //每 512 个字节为一个数据块
{
    if(j+1024 > sizeofpdata)
        sentsize = sizeofpdata - j;
        //定义最后一个数据块的长度
    CByteArray data; //定义 CByteArray 对象
    data.SetSize(sentsize); //设置长度
    for(WORD i=0; i < sentsize; i++)
        data.SetAt(i, pdata[j+i]); //写入数据
    m_Comm.SetOutput(COleVariant(data));
        //发送一块数据
    while(1)
    {
        if(!m_Comm.GetOutputCount()) break;
    } //不断检查发送缓冲区是否为空
}
```

3) 数据接收

OnComm 事件是 MSComm 控件的唯一事件,在

设置接收门限值为 1 后,接收缓冲区收到每一个字符都将触发 OnComm 事件,因此通常在该事件中编写接收程序。在 PC 发送命令字到 DSP 后,DSP 会通过串口返回信息,告诉上位机其状态,上位机接收到信息,并将其与通信协议比较,满足条件时进入分支程序,实现各种功能。

2.3.2 下位机软件

下位机软件采用汇编和 C 语言混合编程。在开机时,就要对 DSP 串行端口进行初始化,并开启总中断,在有数据到达串行口时,引发接收中断进入中断处理程序。在中断程序中,首先要判断接收到的数据是命令字还是录波数据值,如果是命令字,就按照通信协议,进入各分支程序实现各种功能,如自检、试验、复位等;如果是录波数据,就要将收到的字节合并,并逆向处理变为真实数据值,保存在扩展的存储空间内。DSP 串行通信的具体编程也比较方便,在完成串行口初始化后,只需操作数据发送缓冲器 SCITXBUF 和数据接收缓冲器 SCIRXBUF 即可完成数据的接收和发送。在发送数据时,只要把数据写入 SCITXBUF 中,而如果有数据到达端口时,DSP 自动产生中断,也只要从 SCIRXBUF 中读出数据即可,许多底层工作都是由 SCI 模块来完成的。下位机软件的流程如图 4 所示。

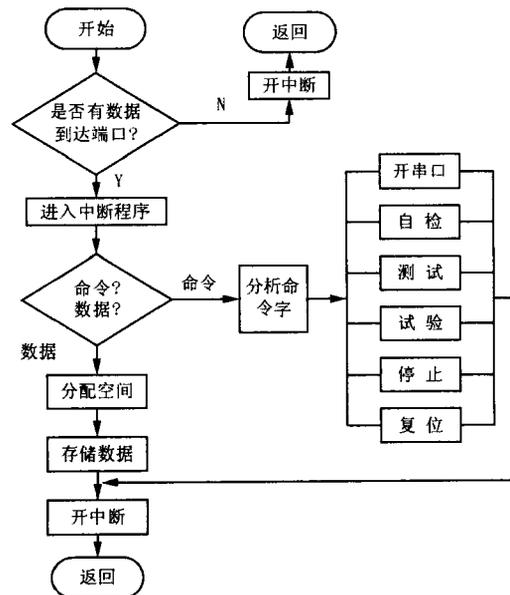


图 4 DSP 软件流程

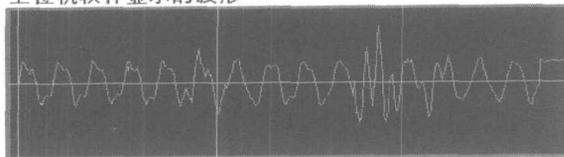
Fig 4 Flow chart of DSP software

3 试验结果

在装置试验中,用上位机软件打开一个标准

COMTRADE格式录波数据,在液晶屏上显示其波形,并且将该数据重现,用示波器观察输出端波形,两者比照如图5所示,经检验,装置所重现出的波形数值正确,波形失真小,精度高,满足测试电力二次设备的要求。

上位机软件显示的波形



输出端用示波器观察的波形

图5 试验对比波形图

Fig 5 Comparative waveforms of experiment

4 结语

电力故障波形重现装置基于标准 COMTRADE 格式录波数据,数据来源真实可靠,使用灵活,在重现放大过程中可以达到失真小,功率大,负载适应性较强。而利用 Visual C++ 中提供的 MSComm 控件和 DSP 的 SC 模块,同时运用分组发送、校验等算法,可以方便地实现装置上、下位机之间的串行通信,解决了传输数据量大和误码的问题。该装置通过试验,在对电力二次系统的测试中取得了满意的效果。

参考文献:

- [1] 赵自刚,赵春雷. 国产故障录波器现状分析及新型录波器展望 [J]. 电网技术, 1999, 23(3): 44-46

ZHAO Zi-gang, ZHAO Chun-lei Present Situation Analysis of Domestic Fault Oscillographers and Prospects for New Type of Fault Oscillographers [J]. Power System Technology, 1999, 23(3): 44-46

- [2] 孙晓明,杜新伟,刘涤尘,等. 基于数字闭环修正技术的故障重现放大装置 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(4): 49-53

SUN Xiao-ming, DU Xin-wei, LU Di-chen, et al The Obstacle Recurrence and Amplification Device Based on Digital Closed-loop Modification Technology [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(4): 49-53

- [3] 张玉杰,张攀峰,吕岑. DSP和 PC机的串行通信设计 [J]. 陕西科技大学学报, 2003, 21(3): 78-82

ZHANG Yu-jie, ZHANG Pan-feng, LÜ Cen The Design of Serial Interface Between DSP and PC [J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology, 2003, 21(3): 78-82

- [4] 邓勇,施文康. DSP与 PC机串行通信的几种方法 [J]. 微电子学, 2002, 32(1): 74-77

DENG Yong, SHI Wen-kang Several Methods for Realizing Serial Communication Between DSP and PC [J]. Microelectronics, 2002, 32(1): 74-77

收稿日期: 2005-03-03

作者简介:

杜新伟(1980-),男,博士研究生,从事电力自动监控方向的研究; E-mail: xiaobei0724@sina.com.cn

李媛(1980-),女,硕士研究生,从事电力自动监控方向的研究;

刘涤尘(1953-),男,教授,博导,主要从事电力电子应用技术和电力自动监控方面的研究。

Application of serial communication between DSP and PC in obstacle recurrence device of power system

DU Xin-wei¹, LI Yuan¹, LU Di-chen¹, WANG He-chun², YE Jing²

(1. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Jiangxi Electric Power Dispatch Center, Nanchang 330029, China)

Abstract: The obstacle recurrence device of power system could recur the fault recording data based on standard COMTRADE into real voltage or current wave, which can use in fault analysis, studying motion of relay test system and testing secondary equipment of power system. The device, which adopts double-CPU design of embedded PC and DSP, needs communicating massive data, for reasons of less nonlinear distortion. So an exact and fast communication between PC and DSP becomes an important problem for advancing capability of the device. This paper details the elements and structure of the device, and describes the serial communication at large. The device shows its powerful practical value after test.

Key words: serial communication; fault recurrence; DSP; embedded PC