

# 基于多片 MSP430 单片机数据采集系统的设计与开发

刘焕军, 刘向群

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100083)

**摘要:**本文提出了一种基于多片 MSP430 单片机多路分布式数据采集系统。本系统由 3 片 MSP430 单片机组成, 一片做主控制器, 协调和控制整个系统, 其余两片负责两路信号的数据采集。应用结果表明: 系统结构简单、灵活, 保证了多路数据采集的高速性、实时性和同步性。

**关键词:**MSP430 单片机; 数据采集; 数据传输; 虚拟串口

中图分类号: TP274.2 文献标识码: B 文章编号: 1003-7241(2006)12-0054-04

## The Data Acquisition System Based on MSP430 Singlechips

LIU Huan-jun, LIU Xiang-qun

(School of Automation Science and Electrical Engineering,

Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

**Abstract:**This paper presents a distributing data acquisition system based on multiple MSP430s. There are three MSP430 chips in the system, one is the management and communication center of the whole system, and the other two are mainly for data acquisition.

**Key Words:** MSP430; data acquisition; data transmission; virtual UART

### 1 引言

MSP430 系列单片机是美国 TI 公司生产的新一代 16 位单片机, 是一种超低功耗的混合信号处理器 (Mixed Signal Processor), 它具有低电压、超低功耗、强大的处理能力、系统工作稳定、丰富的片内外设、方便开发等优点, 具有很高的性价比, 在工程控制等领域有着极其广泛的应用范围。

其中 MSP430F135 单片机 I/O 口丰富; 内部嵌有模数转换器, 且转换精度在 10 位、12 位及 14 位进行选择, 同时还含有采样保持器和模拟多路器, 很适合于精密的数据采集和转换; 支持 JTAG 在线调试与编程; 指令周期可达 125ns 等, 具有很高的性价比和独特的优越性。

本文以直流电动机测试系统 (以下简称测试系统) 为背景, 阐述了该采集系统的设计原则及具体实现。

### 2 硬件电路设计

#### 2.1 电路结构

本采集系统主要由三片 MSP430F135 组成, 其中一片作为主机, 负责控制从机和整个系统, 其余两片作为从机, 分别对电机的电流、电压进行采样, 起到 A/D 转换器的作用。为保证信号采集的同步性, 该系统设计成两路分布式<sup>[1]</sup>。采集系统部分电路图如图 1 所示。

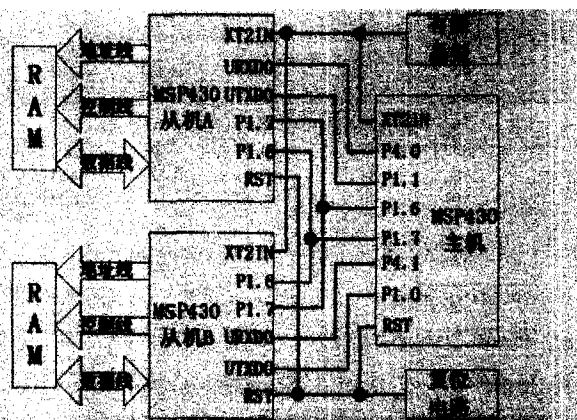


图1 基于MSP430采集系统部分电路框图

采集过程如下:首先主机给出中断信号通知两从机同步采样。当采样结束后,两从机发给主机中断信号,通知采样结束,准备进行数据传输。

需要指出的是,为了保证同步采样,图中三片单片机应采用同一复位电路和同一片有源晶振;由于主机只有一个串口,用于主机和PC机之间的通信,主机和从机之间的通信只能选用虚拟串口。图中主机使用P4.0、P1.1为虚拟串口UART1,使用P4.1、P1.2为虚拟串口UART2,分别与从机进行数据交换;三片单片机P1.6均为发出中断口,P1.7均为接收中断口(可以由P1口随意指定)。

### 2.2 电路设计原则

#### 2.2.1 采样周期要能达到10us

直流电动机测试系统是用于对电机的各种特性及参数进行测试。目前电机的种类繁多,就转速范围已从100rpm左右到4000rpm左右。因此要求测试系统采样频率上限非常高,即采样周期的下限非常低。

另外根据采样定理,采样频率 $f_s$ 大于被测信号最高频率 $f_0$ 的两倍,即 $f_s \geq 2f_0$ 。通常取 $f_s = (3-4)f_0$ ,甚至 $f_s = 10f_0$ 。

综上所述,采集系统的采样周期应能达到10us。

原测试系统采用AT89C51单片机,指令周期为1us,由于需要控制A/D采集,锁存器锁存,RAM存储等(如图2),指令繁多,控制复杂,即使采用汇编编程,也需要大约75us,已大大超过10us。

而MSP430系列单片机为16位RISC结构,采用8MHz晶振,每条指令周期为125ns,A/D转换由硬件控制,减少了执行的指令,采用16位数据线读取采样结果,使得采样存取简化,因此其采样存储周期取决于内部的A/D转换器,其转换速度200Kbps,即5us,完全可以达到10us要求。

下面分别采用MSP430F135的测试系统和采用AT89C51的测试系统对某种型号电机的电枢电阻进行辨识<sup>[2]</sup>,采样周期分别为10us和100us。电阻辨识曲线如图2、图3所示。结果表明,当采样周期为10us时,电阻辨识是稳定的,而采样周期为100us时,电阻辨识是不稳定的,由此说明基于MSP430F135的采集系统能

够满足测试系统的要求。

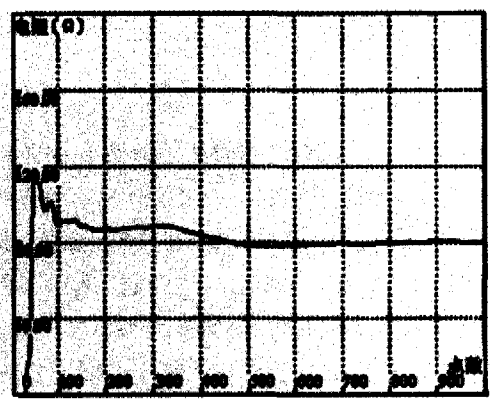


图3 采样周期为10us时电阻辨识曲线

#### 2.2.2 采样数据量大

本系统设计的另外一个设计原则要求增加采集点数(由7000增加到60000个点),因此要求扩大RAM的存储量。由于MSP430有丰富的I/O口,图1中每片从机各自扩展一个128K的RAM。而AT89C51的I/O只有P1、P2、P3口,很难进行大容量的RAM扩展和其他外围芯片的扩展。

#### 2.2.3 结构简单、调试方便

下面将基于AT89C51单片机采集系统(如图4)与基于MSP430F135单片机采集系统进行对比说明。

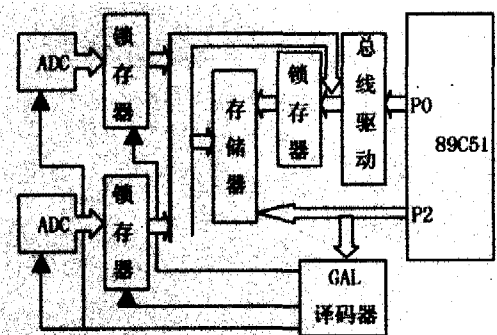


图4 基于AT89C51采集系统部分电路框图

由图可以看出,图4采用了译码器、锁存器及总线驱动器,结构复杂。

图1只采用了三片MSP430F135片单片机,这主要是因为该单片机有48个I/O口,所以各个器件可以直接连接,特别是可对大容量的RAM进行扩展。

系统利用了两片MSP430F135作A/D转换器使用,因其具有自动校正零位的功能,因此简化了相关的电路及复杂的连线。

主机和PC机之间的通信,主机和从机之间的通信选用虚拟串口,它们的连接很简单。

结构上的简化给电路的调试工作带来了方便:依靠单片机的测试语句就可完成调试工作,原来的AT89C51系统,要对译码器、多个锁存器及总线驱动器等进行调试,特别是A/D的零位调整与校正,增益的调整与校正都比较费时费力。

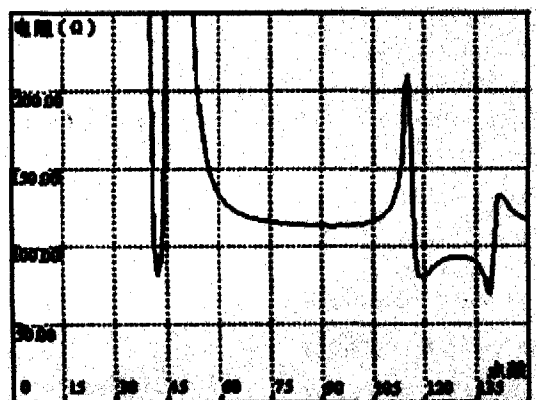


图2 采样周期为100us时电阻辨识曲线

### 3 软件设计

软件设计重点介绍多单片机系统数据传输及虚拟串口软件开发。

#### 3.1 采样数据传输

采样完成后,为了提高采样数据的数据传输效率,保证了数据传输的可靠性,采样数据传输采用了交叉传输方式,即A机与B机分别在主机P1.6的上升沿和下降沿向主机传输数据。主、从机接收数据的时序图如图5。主机数据传输流程图如图6。在主机P1.6的上升沿时,A机开始传送数据;下降沿时,B机开始传送数据。对于主机,接受B机传来的数据同时将上一次A机传来的数据传给PC机(时序图简称A机数据),接受A机传来的数据同时将上一次B机传来的数据传给PC机。主机的串口得到了充分利用,P1.6口发出高低电平的指令所需要的时间几乎不影响数据的传输速度。例如,传输过程设置57600的波特率,每位的传输需要 $(1s/57600) = 17.36\mu s$ ,每发一个字节需10位,共173.6 $\mu s$ ,而P1.6口输出高低电平的指令只需一个指令周期,即125ns $\ll 173.6\mu s$ ,可以忽略。

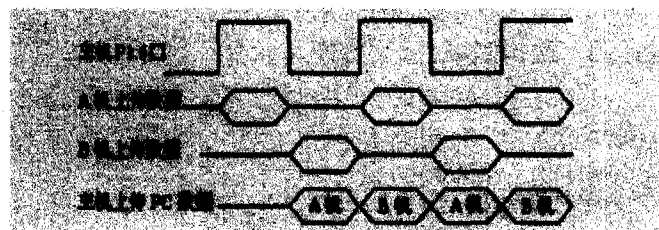


图5 数据传输时序图

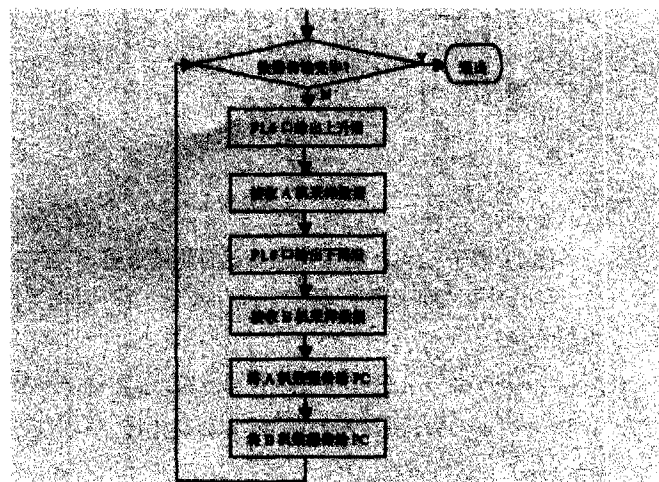


图6 主机数据传输流程图

#### 3.2 虚拟串口的实现机理与软件开发

MSP430F135具有16位定时器Timer\_A和Timer\_B,它们均有捕获/比较等多种功能。其中Timer\_A具有将输入信号锁存并输出的功能(SCCI)<sup>[3]</sup>,因此它可实现串口的输入功能。Timer\_B可实现串口的输出功能。由于每个定时器都带有3个捕获/比较寄存器,因此它们可以很方便地虚拟出3个全双工的串口(每个定时器均具有3个捕获/比较寄存器)。由于系统的需

要,只虚拟了两个全双工的串口。虚拟的串口波特率在1200到115200设置,甚至更快。

利用C语言开发的程序如下,其数据传输接收时序图与真正的串口UART的时序相同。虚拟的两个串口类似,下面只给出了由定时器B的TBCCR0虚拟的发送程序(P4.0口发送)及定时器A的CCR0虚拟8N1协议的接受程序(P1.1口接受)。

发送字符函数

```
void TXB0_Byte(void)
{
    // 当前计数器的值
    TBCCR0=TBR;
    //Bitime 由定义的波特率来定
    TBCCR0+=Bitime;
    tBufferB0|=0x100;
    tBufferB0<<=1;
    // 发送位数
    BitCnt=0xA;
    TBCCTL0=OUTMOD0+CCIE; //TXD=mark=idle
    // 等待接受
    while(TBCCTL0&CCIE);
}
Timer B中断发送函数服务程序
Interrupt [TIMERB0_VECTOR]
void Timer_B0(void)
{
    TBCCR0+=Bitime;
    if(BitCnt==0)
    // 发送完毕关中断
    TBCCTL0&=~CCIE;
    else
    {
        // 判断待发字节是否为1
        if(tBufferB0&0x01)
        // 发送 1
        TBCCTL0&=~OUTMOD2;
        else
        // 发送 0
        TBCCTL0|=OUTMOD2;
        tBufferB0>>=1;
        BitCnt--;
    }
}
```

接收字符函数

```
void RXA0_Byte(void)
{BitCnt=0x8;
CCTL0=CCIS_0+OUTMOD0
+CM1+CAP+CCIE;
while(CCTL0&CCIE);
```

(下转第64页)

式中,  $U_{m1}$  为基波电压幅值,  $U_{m2}$  为二次谐波电压幅值,  $f$  为母线电压频率,  $t$  为时间。

图2表明二次谐波引起测频误差随频率变化的关系。可以看出, 随着二次谐波分量占基波分量百分比的增加, 引起的误差明显增加, 已超过了电力系统继电保护和测量的需要。可见, 谐波分量对测频精度有较大的影响, 要保证测频精度就要对电力系统母线电压进行滤波。

## 4 滤波器设计

电力系统母线电压含有丰富的谐波分量, 传统的全周波富氏滤波只能滤除工频50Hz整数倍的谐波分量, 但是, 电力系统的频率实时都在50Hz附近变化, 并不是准确的50Hz, 这样全周波富氏滤波的效果并不好, 为此设计了带通滤波器, 滤除直流和90Hz以上的谐波分量。

设计滤波器的域传递函数为:

$$H(Z) = \frac{(1-Z^{-4})(1-Z^{-8})(1-Z^{-16})}{(1-Z^{-1})(1-Z^{-1})} \quad (19)$$

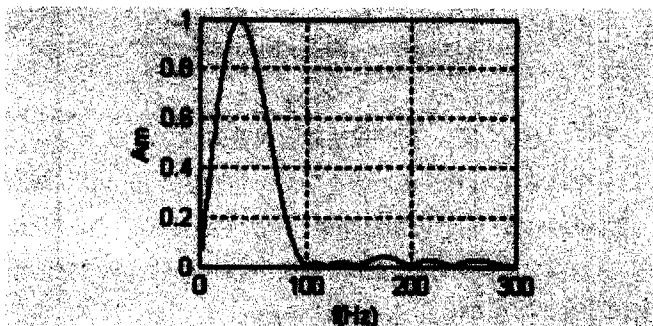


图3 设计滤波器频率响应

相应的差分方程为:

$$y(n) = x(n) - x(n-4) - x(n-5) - x(n-6) + x(n-9) + x(n-10) + x(n-11) - x(n-15) + 2 * y(n-1) - y(n-2) \quad (20)$$

频率响应如图3所示。可以看出, 设计滤波器滤掉了直流分量, 在50Hz整数倍频率及其附近都有很大的衰减, 经滤波器滤波后, 谐波分量对测频的影响将非常小, 测频精度基本达到图1所示的误差范围, 达到继电保护和测量的需要。

## 5 结论

提出一种电力系统实时测算频率的方法, 分析了影响测频精度的因素, 指出当取泰勒级数展开式前3项或4项测频可达到很高的精度, 谐波分量对测频精度有很大的影响, 为此设计了带通滤波器, 可很好的滤掉直流分量和谐波分量。经此处理, 测频精度基本上取决于截取误差, 测频精度完全满足电力系统继电保护和测量的需要。

## 参考文献:

- [1] 索南加乐, 葛耀中, 等. 一种不受零点影响的新型频率测量方法[J]. 西安交通大学学报, 1995, 29(3): 84-102.
- [2] TAO H, MORRISON I F. The Measurement of Power System Frequency Using a Microprocessor[J]. Electric Power System Research, 1986, 11(2): 103-108.
- [3] 王东, 毕潇轶, 王元利. 一种电力系统频率的实时估算方法[J]. 继电器, 2004, 32(18): 17-19.
- [4] 曾院辉, 李延新. 一种软件频率跟踪方法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(21): 92-94.

作者简介: 郭彦东(1968-), 男, 高级工程师, 研究方向: 电力系统继电保护。

(上接第56页)

```

}
Timer A中断接收函数服务程序
Interrupt [TIMERA0_VECTOR]
void Timer_A0(void)
{
//Bitime由定义的波特率来定
CCR0+=Bitime;
if(CCTL0&CAP)
{CCTL0&=~CAP;
//hfBitime=1/2Bitime
CCR0+=hfBitime;
}
else
{rBufferA0>>=1;
if(CCTL0&SCCI)
rBufferA0|=0x80;
BitCnt--;
if(BitCnt==0)

```

```

CCTL0&=~CCIE;
}}

```

## 4 结论

本文提出的基于多片MSP430单片机的数据采集系统, 结构简单, 调试方便, 具有独特的性能和技术优点, 满足了数据采集的高速性、实时性和同步性。提高了直流电动机测试系统的测试精度和测试速度, 具有很好的实用意义。

## 参考文献:

- [1] 孙传友, 孙晓斌, 等. 测控系统原理与设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [2] 张洪钺, 胡干耀. 系统辨识[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1988.
- [3] 沈建华, 杨艳琴, 等. MSP430系列16位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

作者简介: 刘浣军(1982-), 男, 安徽淮北市人, 工学硕士, 主要从事数据采集和数字信号处理等技术的研究。