

基于 DSP 的高速数据采集系统设计与实现

左丽霞¹, 邓芳芳¹, 卢山²

(1. 华东交通大学, 江西 南昌 330013; 2. 浙江大学控制科学与工程学系, 浙江 杭州 310027)

摘要: 设计了一种基于 TMS320LF2407 DSP 芯片和 14 位 A/D 芯片 MAX125 的高速数据采集系统。详细设计了硬件电路的核心部分: 交流信号处理电路和 AD 转换控制电路, 并利用 74LVC4245 芯片解决了 DSP 和 MAX125 的电平匹配问题。本系统还采用了实时操作系统 $\mu C/OS-II$, 并详细设计了系统应用程序的任务模块。实践证明, 该系统在采集速度、精度方面具有良好的性能, 且结构简单、可靠, 成本低廉, 将得到广泛的应用。

关键词: DSP; 数据采集; A/D 转换; MAX125; $\mu C/OS-II$

Design and implementation of a high-speed data acquisition system based on DSP

ZUO Li-xia¹, DENG Fang-fang¹, LU Shan²

(1. East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2. School of Control Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: A high-speed data acquisition system based on the 14bits A/D chip MAX125 and the DSP chip TMS320LF2407 made in TI incorporation is presented. This paper designs the core of the hardware circuit, including signal processing circuit and control circuit of A/D convert. The chip 74LVC4245 is used to solve the voltage problem between DSP and MAX125. The RTOS $\mu C/OS-II$ is used in the system, and the task modules realization of the system is detailed. And the result shows that this system has the characteristics of fine performance in precision, high-speed and synchronous sampling plus its simple design and low cost. This system will be widely used.

Key words: DSP; data acquisition; A/D convert; MAX125; $\mu C/OS-II$

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)13-0108-05

0 引言

数据采集系统是电力系统微机继电保护装置中最基本的功能, 而保护装置能否准确、快速地动作, 在很大程度上取决于数据采集的实时性和精确性^[1]。目前, 广泛采用 DSP 芯片作为数据采集系统的核心, 它是一种能够快速实现各种数字信号处理算法控制的微处理器。

在本文所设计的数据采集系统中, 选用了 TI 公司 TMS320 系列的 TMS320LF2407A 芯片 (以下简称 F2407 A) 作为数据采集系统的 CPU, 它是一款 16 位的定点 DSP, 主要具有以下特性: 40 MHz 的主频、片内有高达 32 K FLASH 和 2.5 K SRAM、丰富的片上外设 (主要包括 2 个事件管理器 EVA/B、

10 位 \times 16 通道的 AD、1 通道 SCI/ SPI/CAN)^[2]。考虑到 F2407A 内部的 AD 只有 10 位, 不能很好地解决数据采集系统的精度问题, 所以外扩了一片美国 MAXIM 公司出品的 14 位 AD 转换芯片 MAX125 来完成模拟量输入采样转换。MAX125 具有以下特性: 8 个模拟量输入通道、单路转换时间 3 μs 、内部集成 4 个同步采样保持器^[3]。实践证明, 数据采集系统采用 DSP+ MAX125 结构, 完全能达到系统的设计要求, 在采集精度和速度上具有良好的性能, 下面将详细介绍系统的软硬件设计方案。

1 系统的硬件设计与实现

1.1 总体构架

本文设计的整体硬件总体结构如图 1 所示, 主要包括 DSP 处理器、数据采集模块和 DSP 外围扩展电路部分。

基金项目: 华东交通大学校立科研基金资助 (09DQ03); 江西教育厅科技项目 (GJJ09203)

系统的数据采集模块是由 DSP 控制驱动 MAX125 A/D 转换器进行同步采样工作,并对 A/D 转换器读写以及编程操作,主要包括了交流信号调理电路、AD 转换芯片和电平转换电路。整个系统对外可提供 8 路的 A/D 转换通道,下面将详细介绍系统的交流采样模块。

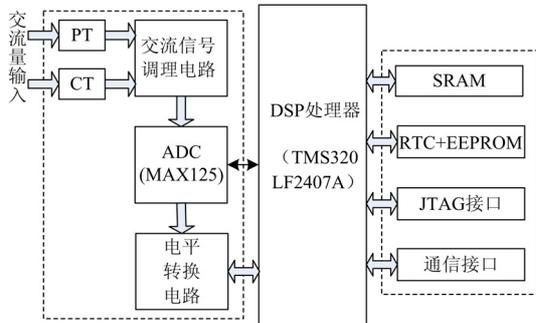


图 1 数据采集系统硬件结构图

Fig.1 Hardware structure of data acquisition system

1.2 交流调理电路

本系统主要测量对象是电网上的三相交流电压以及电流等信号,这些信号的幅值都很大,故不能直接测量。首先,通过电压、电流互感器将原边的高电压或大电流变换为次边的 100 V 电压或 5 A 电流信号。然后,在 DSP 交流采样板上,通过第二级互感器将要采集的 100 V 或 5 A 信号,变换为 DSP 可以处理的小信号(2 mA 左右的电流信号)。最后,在 AD 采样电路前端加入调理电路,以缩小和平移要采样的信号。如图 2 所示,以电压调理电路为例,其中 PT 采用了北京霍远公司的测量型高精度电压互感器 HPT205B。

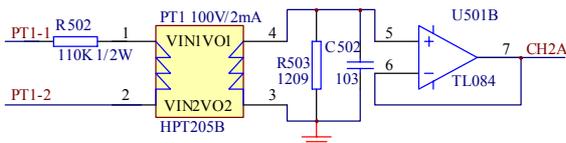


图 2 电压调理电路

Fig.2 Circuit of voltage conversion

1.3 交流 AD 转换电路

来自 PT、CT 的交流电压、电流信号,经 RC 滤波后,再经运放连接到 MAX125 芯片的输入端上进行模数转换,本系统的 AD 接口图如图 3 所示。

1.3.1 电平转换

由于 MAX125 的数字信号为 5 V 电平,而 TMS320LF2407A 为 3.3 V,故需采用电平转换电路实现 5~3.3 V 的双向转换。74LVC4245 为三态双转换总线接收收发器,专门用于 3 V 电平和 5 V 电平的转换,其 A 端数据为 5 V 电平, B 端数据为 3 V 电

平,由 DIR 管脚确定其传输方向。

MAX125 的输出接入 74LVC4245 锁存后进行电平转换,再进入 DSP。74LVC4245 的 1DIR、2DIR 接 MAX125 的 W/R 引脚,输出允许/OE 端接 MAX125 的/IS 信号端。DSP 以 I/O 口方式访问 MAX125,当 DSP 访问 MAX125 时,/IS 信号有效,74LVC4245 的/OE 端有效,74LVC4245 工作;其他情况下,74LVC4245 呈高阻状态。

1.3.2 DSP 对 A/D 的控制

TMS320LF2407A 的引脚 IOPF6 和 IOPA2 分别接 MAX125 的/CONVST 和/INT 引脚。DSP 通过/CONVST 信号线同时启动 A/D 转换器进行同步采样工作,并通过/INT 信号引脚线来判断转换是否结束;最后由 DSP 数据线来读取经过电平转换后的采集数据。

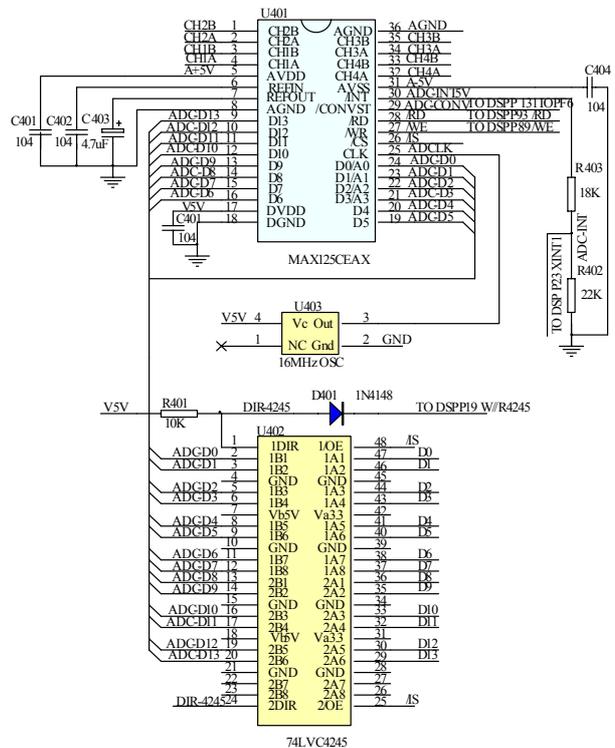


图 3 AD 接口图

Fig.3 Interface graph of AD

2 系统的软件设计与实现

本系统是在 CCS3.3 集成开发环境下调试的,采用了嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$,来提高整个系统的实时性。首先,要实现 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在 TMS320LF2407A 上的移植。

2.1 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在 TMS320LF2407A 上的移植

$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的移植,主要就是根据 TMS320

LF2407A 的特点编写与处理器相关的代码^[4], 包括: os_cpu.h, os_cpu_a.asm, os_cpu_c.c。μ C/OS-II 移植要点如下:

定义函数 OS_ENTER_CRITICAL 和 OS_EXIT_CRITICAL;

定义函数 OS_TASK_SW, 执行任务切换;

定义 OSCtxSw, 实现用户级上下文切换;

定义函数 OSIntCtxSw, 实现中断任务切换;

定义函数 OSTickISR, 时钟节拍 ISR;

定义 OSTaskStkInit, 初始化任务的堆栈。

移植代码编写结束后, 下一步工作就是测试。

一旦多任务调度和内核通信调试成功运行, 以后再添加应用程序的任务就是非常简单的工作了, 下面将详细介绍采样程序的设计。

2.2 基于 μ C/OS-II 的应用程序的设计

首先, 根据系统的功能规划好整体软件框架。

其次, 按照层次化和模块化要求将系统的功能划分为多个独立任务。最后, 通过 μ C/OS-II 提供的功能强大的同步与互斥机制进行合作, 从而实现整个软件系统。本系统的应用软件分为 3 个中断 (ISR) 和 6 个用户任务 (TASK)。在 Vectors.asm 文件中定义中断矢量表, 如表 1 所示。

表 1 中断矢量表

Tab.1 Interrupt vector table

中断	跳转地址	注释
RESET	B_c_int0	不可屏蔽, 复位中断
INT1	B_c_can_isr ()	CAN 通信报文接收中断
INT2	B_c_max125_isr ()	MAX125 芯片 AD 采样周期中断
INT3	B_OSTickISR	系统时钟节拍周期中断

μ C/OS-II 可以管理 64 个任务, 其中包括两个任务已经被系统所占用了, 即空闲任务和统计任务, 其余 62 个任务可根据需要来创建。在 ftu_cfg.h 头文件中, 可以用宏定义来管理各个任务的优先级和堆栈大小, 如表 2 所示。

表 2 任务堆栈及优先级

Tab.2 Stack and priority of tasks

任务	优先	注释
Pd_Task ()	3	处理 AD 转换的采样值, 将采样点放入采样缓冲区供给计算来源
Mmi_Task ()	4	处理人机交互, 协调各任务之间的同步与互斥
Io_Task ()	5	通信任务, 用来处理通信报文
Ph_Task ()	6	对采样点进行分析计算, 得出电压电流有效值、有功、无功功率等
Debug_Task ()	7	调试任务, 输出调试信息
Rtc_Task ()	8	实时时钟任务, 用来处理时间

程序中的主程序, 所要完成的功能仅仅是初始化硬件和变量, 并建立所需的任务, 然后启动系统内核, 把 CPU 控制权交给操作系统, 永远不会返回至主程序, 这是与传统软件结构的最大区别^[5], 系统多任务启动流程如图 4 所示。

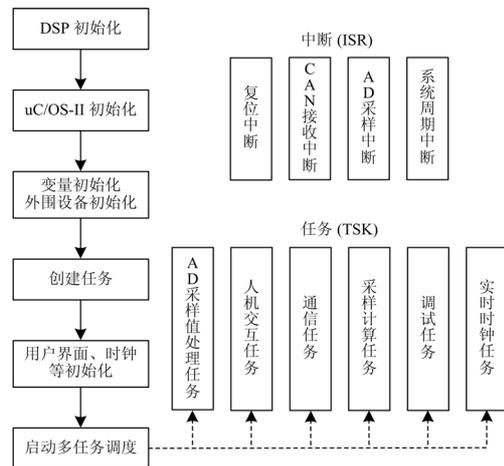


图 4 多任务启动流程图

Fig.4 Flow diagram of multitask start

2.3 主要采样程序的实现

(1) AD 采样中断程序 max125_isr ()

AD 采样是在 GPTimer3 的周期中断中完成的, 当 MAX125 全部 8 路通道 AD 转换后, 发消息给 Pd_Task () 任务进行采样点处理。AD 采样中断程序程序应尽可能短小, 其示意代码如下所示:

```
void max125_isr (void)
{
    Port1=0x03; //选择 A 组 4 路通道
    //启动转换, IOPF6 上升沿
    *PFDATDIR|=0X0040; //IOPF6=1
    *PFDATDIR&=0XFFBF; //IOPF6=0
    *PFDATDIR|=0X0040; //IOPF6=1
    //查询转换是否完成
    while (*PADATDIR&0X0004) {KICKDOG;}
    //保存 A 组转换值
    for (i=0;i<4;i++) AD_Data[i]=port1;
    //同理, 读取 B 组通道的采样值
    //发送消息队列通知 Pd_Task () 任务处理
    OSQPost (PdEventque, (void *) tmsg); }

```

(2) 采样值处理任务 Pd_Task ()

MAX125 是 14 位 AD, 而 F2407A 是 16 位。为了分析数据方便, 要先将采样值进行移位, 再推入 FIFO 缓冲区, 当采样点数超过一定周波即可通知 Ph_Task () 任务进行数值计算。Pd_Task () 任务的示意性代码如下:

```

void Pd_Task (void *pData)
{
    Pdinit (); //Pd_Task () 任务的初始化
    while (1)
    {
        //将 AD 结果转换成 16 位, 推入缓冲区
        rmsg= (struct pdmsg *)
            OSQPend (PdEventque, 0, &err);
        ADToInt16 (rmsg,temp16);
        Puttofifo (temp16);
        //判断当采样满 10 周波, 发信号量
        If (CheckOver10PeriodWave)
            OSSemPost (Semaphore
                [SEMEPH OREID_PH]);
    }
}

```

(3) 数值计算任务 Ph_Task ()

数值计算内容包括有效值、谐波分量等。在本系统中, 采用了全波 FFT 变换, 对采样数据进行谐波分析。Ph_Task () 任务的示意性代码如下:

```

void Ph_Task (void *pData)
{
    Phinit (); //Ph_Task () 任务的初始化
    while (1)
    {
        OSSemPend (Semaphore
            [SEMEPHOREID_PH],0,&err);
        Cal_Rms (); //FFT 计算电参量
        //发送消息队列给 Mmi_Task ()
        OSQPost (MmEventque, (void *) tmsg);
    }
}

```

3 系统测试

本文中选用了微机保护测试仪 TEST2000 作为信号源, 设定电压 U_a 的输出信号为:

$$\begin{aligned}
 U_a = & 220\sin(2\pi ft) + 66\sin(6\pi ft) + 55\sin(10\pi ft) + \\
 & 44\sin(14\pi ft) + 33\sin(18\pi ft) + 22\sin(22\pi ft) + \\
 & 15\sin(26\pi ft) + 11\sin(30\pi ft) + 9\sin(34\pi ft) + \\
 & 7\sin(38\pi ft)
 \end{aligned}$$

表 3 基波和各次谐波的幅值

Tab.3 Amplitude of fundamental wave and harmonic wave

	基波	3 次	5 次	7 次	9 次	11 次	13 次	15 次	17 次	19 次
真实值/V	220	66	55	44	33	22	15	11	9	7
测量值/V	218.688	65.27	54.46	43.64	32.758	21.849	14.92	10.943	8.957	6.977
误差/%	0.6	1.1	0.982	0.818	0.733	0.686	0.533	0.518	0.478	0.329

4 结束语

本文设计的数据采集系统采用了 DSP TMS320

用示波器观察 U_a 的波形, 如图 5 所示。选择每周波采样 64 点 (采样频率 3 200 Hz), 通过 CCS 的 View->Graph->Time/Frequency 功能, 查看以采样缓冲区为首地址的采样波形, 如图 5。可见, U_a 采样波形与模拟输入波形基本一致。

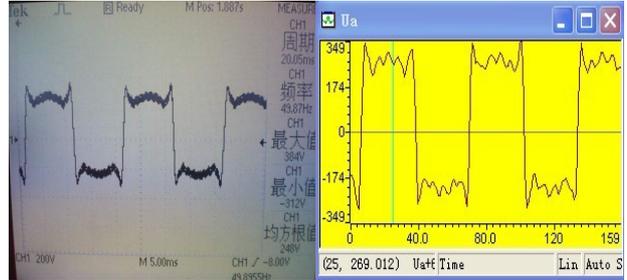


图 5 U_a 实际波形与采样波形的比较

Fig.5 Comparison of U_a real wave and sampling wave

U_a 采样波形经过数值计算后, 可以得到各次谐波分量的幅值, 如图 6 所示。在表 3 中, 详细给出了电压 U_a 信号中 3~19 次谐波的幅值。

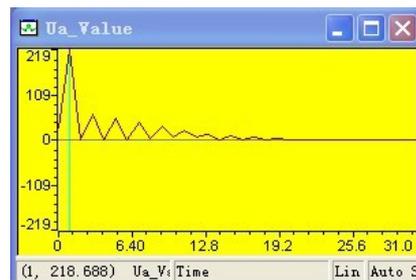


图 6 U_a 各谐波的幅值

Fig.6 Amplitude of U_a harmonic wave

从表 3 中的值可以看出, 基波的测量误差只有 0.6%, 系统对谐波含有率测量也很小, 最大误差不超过 2%, 并且随着谐波含有率的减小, 测量误差也减小。根据国家标准 GB/T14549.1993《电能质量共用电网谐波》中关于测量谐波的方法、数据处理及测量仪器的规定, 可知本系统的测量精度达到国家 B 级标准。

LF2407+MAX125 结构, 能完成 8 路交流信号的采集和数据处理。系统具有体积小、速度快、处理能力、可靠性高以及功耗低等许多优点, 同时满

足电力系统中电压电流信号计算精度要求。另外，系统中还采用了嵌入式操作系统，可极大地方便系统以后的升级和扩展。

参考文献

- [1] 李波, 陈剑云, 等. 基于TMS320LF2407的高速数据采集系统设计与实现[J]. 继电器, 2008, 36(5): 59-62.
LI BO, CHEN Jian-yun, et al. Design and implementation of a high-speed data acquisition system based on TMS320LF2407[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2008, 36(5): 59-62.
- [2] 刘和平, 等. TMS320240x DSP结构、原理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
LIU He-ping, et al. TMS320240x DSP configuration, principle and application[M]. Beijing: Beijing University of Astronautics and Aeronautics Press, 2002.
- [3] Maxim Integrated Products. MAX125/MAX126 datasheets[EB/OL]. <http://www.maxim-ic.com.cn>, 1998.
- [4] 王建飞, 阎建国, 卢京潮. μ C/OS-II在TMS320LF2407

上的移植[J]. 微型电脑应用, 2005, 21(3): 54-56.
WANG Jian-fei, YAN Jian-guo, LU Jing-chao. μ C/OS-II porting on TMS320LF2407[J]. Microcomputer Applications, 2005, 21(3): 54-56.

- [5] 王国梁, 胡红兵, 齐维红, 等. 基于数字信号处理和 μ C/OS-II的馈线终端设备设计方案[J]. 江苏电机工程, 2009, 28(2): 47-49.
WANG Guo-liang, HU Hong-bing, QI Wei-hong, et al. The design of feeder terminal unit based on DSP and μ C/OS-II [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2009, 28(2): 47-49.

收稿日期: 2009-07-30; 修回日期: 2009-09-30

作者简介:

左丽霞(1982-), 女, 助教, 硕士, 研究方向为电力系统继电保护和数字信号处理; E-mail: lxzuo@4y.com.cn
邓芳芳(1974-), 女, 实验师, 研究方向为信息管理;
卢山(1991-), 男, 本科, 研究方向为控制科学。

(上接第 107 页 continued from page 107)

- [6] 王海滨, 王占朝, 郑晓波, 等. 图形辅助智能开票专家系统的设计与实现[J]. 继电器, 2007, 35(23): 35-38.
WANG Hai-bin, WANG Zhan-chao, ZHENG Xiao-bo, et al. Design and realization of expert system of graphics aided intelligent switch generation[J]. Relay, 2007, 35(23): 35-38.
- [7] 张建国, 刘智广, 陆杏全, 等. 电网调度智能化检修票和操作票系统的设计与实践[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(7): 78-81.
ZHANG Jian-guo, LIU Zhi-guang, LU Xing-quan, et al. Design and practice of the intelligent maintenance and switching scheduling system of the power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(7): 78-81.
- [8] 许先锋, 龚成明, 杜红卫, 等. EMS中系统拓扑五防的设计和实现[J]. 电网技术, 2006, 30(增刊): 76-79.
XU Xian-feng, GONG Cheng-ming, DU Hong-wei, et al. Plan and realization of mis-operation prevention based on

topology in energy management system[J]. Power System Technology, 2006, 30(S): 76-79.

- [9] 郭创新, 朱传柏, 曹一家, 等. 基于多智能体的全面防误策略及智能操作票生成系统[J]. 电网技术, 2006, 30(4): 50-54.
GUO Chuang-xin, ZHU Chuan-bai, CAO Yi-jia, et al. An overall anti-maloperation strategy based on multi-agent system and implementation of intelligent switching order generation system[J]. Power System Technology, 2006, 30(4): 50-54.

收稿日期: 2009-07-22; 修回日期: 2009-10-10

作者简介:

徐俊杰(1979-), 男, 硕士, 从事电力系统应用软件的研究、开发和工程化工作; E-mail: austin_xu@163.com
赵京虎(1972-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事配电网自动化及电力系统分析应用软件的研究;
饶明军(1974-), 男, 硕士, 从事电网调度工作。