

文章编号:1005-0523(2009)05-0064-06

基于 DSP 和 uC/OS-II 的馈线终端装置设计方案

左丽霞¹, 卢 山²

(1. 华东交通大学 电气与电子工程学院, 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:馈线终端装置(FTU)作为馈线自动化的基础控制单元,对实现馈线自动化乃至配电自动化起着十分重要的作用。通过分析 FTU 的基本特性,提出了基于数字信号处理芯片(TMS320LF2407A)和嵌入式实时操作系统(uC/OS-II)的 FTU 软硬件设计方案。实践证明,这样的设计方案不仅提高了装置的可靠性和实时性,而且有利于系统的进一步改进与升级。

关键词:馈线终端装置;数字信号处理芯片;TMS320LF2407A;嵌入式实时操作系统;uC/OS-II

中图分类号:TM773

文献标识码:B

1 馈线终端装置的基本特性

馈线自动化系统,简称 FA 系统,是配网自动化系统的一个子系统。馈线自动化的功能是在中压电网发生故障时,能快速地进行故障判断,并自动隔离故障区段、恢复非故障线路供电,以减少停电范围。馈线终端装置,简称 FTU(Feeder Terminal Unit),是馈线自动化系统的基本控制单元^[1]。在 FA 系统中,如图 1 所示,FTU 通过通信网向控制主站传送采集到的运行及故障数据,并接收远方遥控命令。

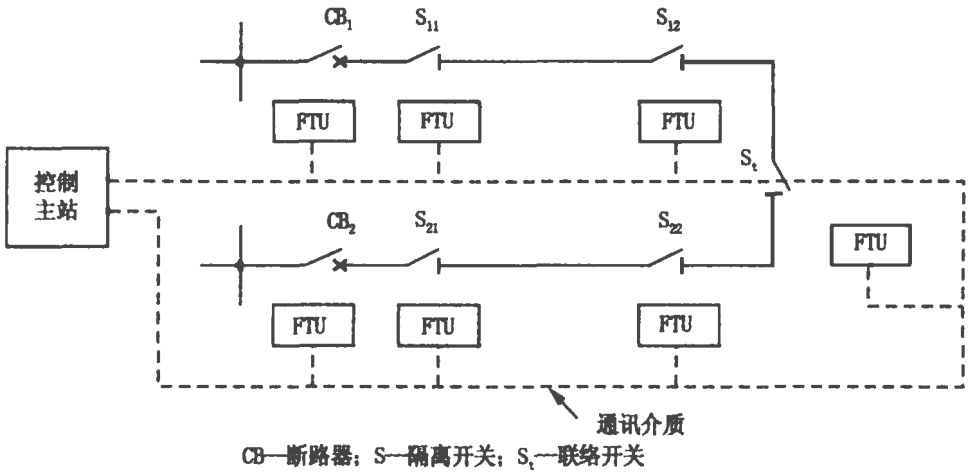


图 1 FA 系统结构图

根据馈线终端装置的基本特性,本文所设计的 FTU 将主要完成以下工作:

- (1) 实现每周波 64 点的交流采样精度;
- (2) 每采样 10 周波对所采集数据进行计算分析,产生遥测数据;
- (3) 按 1 kHz 频率扫描数字输入信号,产生遥信值;
- (4) 如遥信、遥测值有 SOE 产生,则激活通信;
- (5) 遥控的控制;
- (6) 根据录波启动条件实现录波功能;
- (7) 通信处理,通信数据的接收、发送;

收稿日期:2009-06-29

基金项目:2008 年江西省教育厅科学技术项目(GJJ08241)

作者简介:左丽霞(1982-),女,江西南昌人,助教,硕士。主要研究方向为嵌入式操作系统,DSP 技术。

(8) 人机界面的管理。

2 FTU 的硬件设计

FTU 硬件部分是整个控制系统的基础,其性能好坏对控制系统控制功能的好坏至关重要。本文设计的 FTU 整体硬件结构如图 2 所示,它集遥测、遥信、遥控等功能于一体,并在测量精度、实时性、快速性、通信的可靠性和电磁兼容性方面有较高的要求。

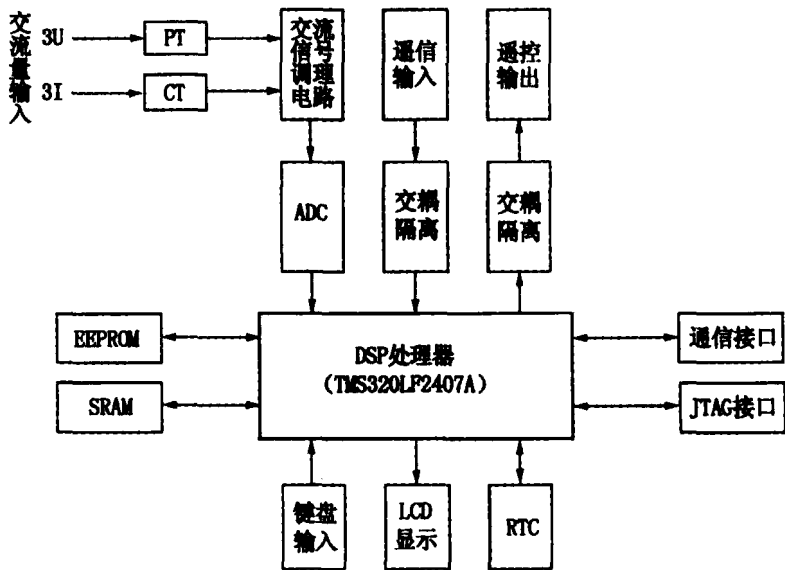


图 2 FTU 硬件结构图

整个系统以数字信号处理(DSP)芯片为核心控制器,外部扩展有存储器、I/O 口、实时时钟、A/D 采样、液晶显示屏(LCD)、键盘、通信口等设备。可以将 FTU 的整体硬件结构分为以下几个主要的功能模块。

(1) 主 CPU 模块

整个系统是以数字信号处理(DSP)芯片作为主 CPU,在本文所设计的 FTU 中选用了 TI 公司的 TMS320LF2407A 芯片,完全能达到系统要求。TMS320LF2407A 是一款 16 位的定点 DSP^[2],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、10 位×16 通道的 AD、1 通道 SCL/SPI/CAN)。

(2) 遥测模块

电网的三相电压、电流经过电压/ 电流互感器(PT/CT)后转换为标称值为 100 V 和 5 A 的电压、电流,再经过交流信号调理电路,进入 A/D 转换器。在本文所设计的 FTU 中,采用了一片 MAXIM 公司的 MAX125 芯片来完成模拟量输入采样转换,它具有以下的特性:8 个模拟量输入通道、14 位分辨率、单路转换时间 3μs、内部集成 4 个同步采样保持器,可实现 FTU 高速实时的采样^[3]。利用 TMS320F2407 控制对六路模拟信号 A/D 采集,并进一步对数据进行处理和计算,包括快速傅立叶变换(FFT)谐波运算以及各电网参数的计算。

(3) 遥控模块和遥信模块

本文设计的 FTU 遥信输入和遥控输出模块都将采用光耦隔离,使电路保持信号联系,但不直接发生电的联系,从而达到隔离干扰的目的。其中有 16 路遥信输入,遥信状态信号主要来自柱上开关的分/合状态、远方/当地状态、蓄电池投入状态、外部电源失电等。利用 TMS320F2407 的 I/O 口输出 8 个控制信号,每 2 个信号控制一路继电器输出,所以 FTU 共可以控制 4 路继电器输出。

(4) 通信模块

FTU 的一个重要的功能就是与上级子站进行通讯,包括远方实时检测和控制、远方读取和修改整定

值、远方遥控开关及记录各种操作和故障信息、故障及手动录波文件上传等功能。因此选择合适的通信方式是设计 FTU 的一个重要工作^[4]。在本系统中,综合各方面的因素,选择了 CAN 总线作为 FTU 与上级子站的远程通信接口,采用 CAN2.0B 协议,通信介质为屏蔽双绞线。另外,采用了 RS232 接口作为当地通信接口,用于现场调试以及与其他智能设备的通信。

(5) 人机接口模块

系统配有键盘输入和 LCD 显示,可以在现场通过键盘输入命令,直接进行控制并从 LCD 读出所需数据,实现人机交互。外部还扩展了实时时钟,可以准确读取系统的时间;扩展 JTAG 接口,用于装置的调试。

3 FTU 软件设计方案

3.1 uC/OS-II 在 TMS320LF2407A 上的移植

在 FTU 中使用嵌入式实时操作系统,首先要实现 uC/OS-II 在 TMS320LF2407A 上的移植。uC/OS-II 的移植,主要就是根据 TMS320LF2407A 的特点编写与处理器相关的代码^[5],包括:os-cpu.h,os-cpu-a.asm,os-cpu-c.c。uC/OS-II 移植要点如下:

- (1) 定义函数 OS-ENTER-CRITICAL 和 OS-EXIT-CRITICAL;
- (2) 定义函数 OS-TASK-SW,执行任务切换;
- (3) 定义 OSCtxSw,实现用户级上下文切换;
- (4) 定义函数 OSIntCtxSw,实现中断级任务切换;
- (5) 定义函数 OSTickISR,时钟节拍 ISR;
- (6) 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。

3.2 基于 uC/OS-II 的 FTU 应用程序的设计

将实时操作系统 uC/OS-II 移植到嵌入式系统后,应用程序的设计就变得相对简单了。首先,需要根据 FTU 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 FTU 的功能划分为多个独立任务,并分别编写每个任务程序^[6]。最后,通过 uC/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。这样编写程序,将更易于整个系统的开发和维护。

根据 FTU 的功能,可将应用软件分为 4 个中断(ISR)和 9 个用户任务(TASK)。在 Vectors.asm 文件中定义中断矢量表,如表 1 所示,4 个 ISR 中硬件复位中断/RESET 是不可屏蔽中断,享有最高优先级,其余均为用户可屏蔽中断。

表 1 中断矢量表

中断	跳转地址	注 释
RESET	B -c-int0	不可屏蔽,复位中断
INT1	B -c-can	CAN 通信报文接收中断
INT2	B -c-max125	MAX125 芯片 AD 采样周期中断,读取交流遥测采样点
INT3	B -OSTickISR	系统时钟节拍周期中断
INT4	EINT	未用
INT5	EINT	未用
INT6	EINT	未用

uC/OS-II 可以管理 64 个任务,其中包括 2 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,我们将按照任务的重要性和实时性来分配优先级,优先级数值越低,任务的优先级越高。

表 2 任务堆栈及任务优先级

任务	堆栈	优先级	注 释
Pd-Task()	PdTaskStk[512]	3	处理 AD 转换的采样点,将采样点放入采样缓冲区供给计算来源
Yk-Task()	YkTaskStk[512]	4	遥控任务
Yx-Task()	YxTaskStk[512]	5	遥信任务,用来处理遥信变位检测
Mmi-Task()	MmiTaskStk[512]	6	处理人机交互,协调各任务的同步与互斥
Io-Task()	IoTaskStk[512]	7	通信任务,用来处理通信报文
Pw-Task()	PwTaskStk[512];	8	录波任务
Ph-Task()	PhTaskStk[1024]	9	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()	DebugTaskStk[128]	10	调试任务,输出调试信息
Rtc-Task()	RtcTaskStk[128]	11	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各种实时变量,并建立所需的全部任务,然后启动系统内核,把 CPU 控制权交给操作系统,然后永远不会返回至主程序,这是与传统的前后台软件结构的最大区别^[7]。多任务启动流程如图 3 所示,通过系统内核的调度,实现交流采样电压电流信号的转换、对所采集的数据进行计算分析、通信处理。

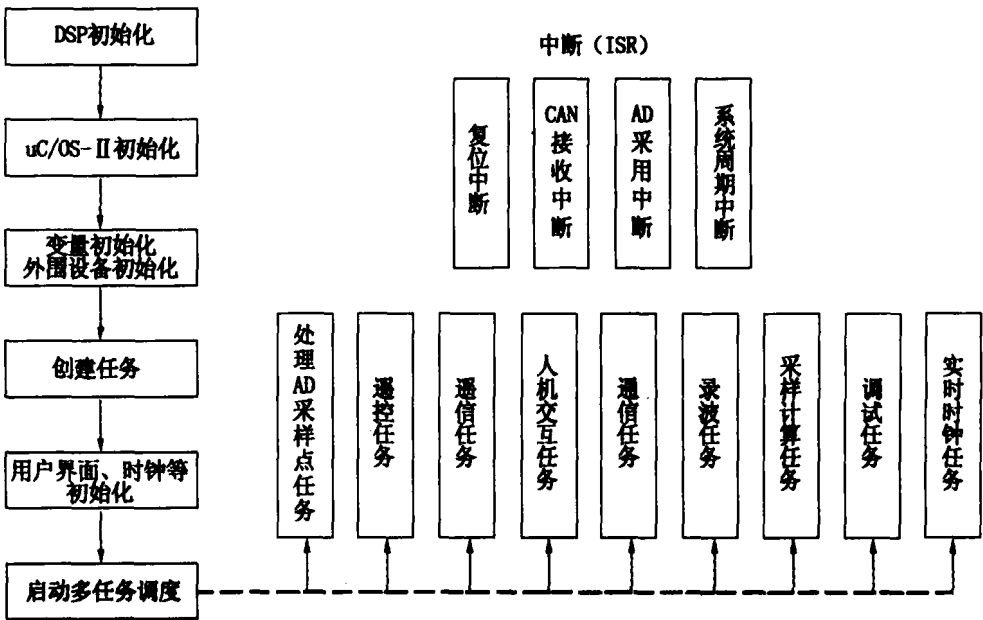


图 3 多任务启动流程图

本文将以通信协议的实现为例,来说明任务程序的编写。在通信任务中,为保证优先、快速的传输故障状态信息和快速的完成故障识别,并快速的实现古装隔离和恢复供电,本文将开关的状态变化和电力系统的故障信号等重要的信息作为一级用户数据;其他测量量(如电压、电流、功率等)和一般的告警信号或预警信号等作为二级用户数据来处理;一些涉及电力质量的测量量(如频率、温度等)作为慢数据量来处理。

(1) Io-Task()通信处理任务

Io-Task()通信处理任务是通信程序的核心部分,具有组织、发送、处理、解析通信报文的功能,本文中

的通信采用被动问答方式。

```
void Io-Task(void * pData)
{
    printf("Io task \n");
    while(1)
    {
        //等待 can 总线接收数据的信号
        OSSemPend(Semaphore[SEMEPHOREID-IO],0,&err);
        Io-procdrv();          //解释接收到的报文
    }
}
```

(2) CAN 报文的发送

通信软件包括 CAN 底层驱动和应用层,其中底层驱动包括 CAN 报文的接收和发送处理。应用层需要通过 CAN 传输信息时,直接调用底层驱动的发送函数,信息发送函数将报文封装成符合 CAN 协议的帧结构,并置于发送缓冲区,然后由 TMS320LF2407 内置的 CAN 控制器完成整个发送过程。发送函数的示意性代码如下所示:

```
INT16U Send-Device-Mess(struct canrxmag * ptx)// * ptx 为待发送报文指针
{
    //配置 CAN 控制器寄存器
    //将待发送数据置于发送缓冲区寄存器中
    //启动发送,通过查询方式等待发送成功
    //复位 CAN 控制器寄存器
}
```

(3) CAN 报文的接收

CAN 报文的接收采用中断方式,为了提高对通信报文的响应速度,以免接收连续报文所出现的报文丢失现象,故接收中断程序 can-isr()应尽可能短小,在这里仅仅是接收报文,而不对报文进行解析和处理。完整的报文接收后,将报文通过消息队列发给 Io-Task()进行处理。can-isr()的示意性代码如下所示:

```
void can-isr(void)
{
    int MPIVR, MC-IFR, MC-TCR, MCSR, MESR;
    struct mmimg * tmsg;
    OS-ENTER-CRITICAL();//进入临界态
    * IFR = IMR-INT1M;// 清通信中断标志位
    if(MC-IFR&CAN-IFR-MIFO)//判断通信接收标志位
    {
        struct -canmsg * canrxmsg;
        canrxmsg = (struct -canmsg * )osmalloc(sizeof(struct -canmsg));//分配内存
        Rcv-Device-Mess(canrxmsg);//接收报文,存储 canrxmsg 结构体中
        OSQPost(IoEventque,(void * )canrxmsg);//发送队列通知 Io-Task()任务处理
    }
    OS-EXIT-CRITICAL();
}
```

4 结束语

本文设计的 FTU 装置主要有以下几个特点:

(1) 将测量、控制、显示、通信等功能集于一体,提高了整个装置的可靠性,成为配网自动化系统的一个有机组成部分。

(2) 采用了DSP TMS320LF2407A芯片作为系统微处理器,提高了电网参数的测量精度和运算速度,同时采用MAX125芯片来完成模拟量输入采样转换,实现了FTU的高速实时采样。

(3) 在系统设计中,引入了嵌入式实时操作系统uC/OS-II,是对于DSP应用复杂化后编程方式的一种趋势,可处理多任务的复杂系统,大大缩短了开发周期,便于程序的编写和调试,具有较高的可移植性,也方便了系统的进一步改进和升级。

本文设计的FTU装置在测试过程中,系统正常运行,未出现程序跑飞现象,任务调度也正常工作,并且已经在浙赣线上成功投入了运行。

参考文献:

- [1] 林功平,徐石明,罗剑波.配电网自动化终端技术分析[J].电力系统自动化,2003,27(12):59-62.
- [2] 刘和平,王维俊,江渝,邓力.TMS320240x DSP C语言开发应用[M].北京航空航天大学出版社,2003.
- [3] 朱涛.MAX125在数据采集系统中的应用[J].电子产品世界,2002,(4):47-49.
- [4] 姚传安.uC/OS-II的嵌入式串口通信模块设计[J].单片机与嵌入式应用系统,2005,(7):72-74.
- [5] 王建飞,阎建国,卢京潮.uC/OS-II在TMS320LF2407上的移植[J].微型电脑应用,2005,21(3):54-56.
- [6] 费远鹏.DSP在馈线终端装置中的应用与研究[D].华东交通大学,2007.
- [7] 王国梁,胡红兵,齐维红,陈柏峰.基于数字信号处理和uC/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.

Design of FTU Based on DSP and uC/OS-II

ZUO Li-xia¹, LU Shan²

(1.School of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2.School of Control Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: As the fundamental control unit of Feeder Automation, the feeder terminal unit(FTU) plays an important role in realizing the Feeder Automation and Distribution Automation. By analyzing the essential characteristics of FTU, the paper presents the hardware and software design of FTU based on DSP(TMS320LF2407A) and RTOS(uC/OS-II). It is proven that the design can not only improve the reliability and real-time ability, but also help the system to advance and upgrade.

Key words: FTU; DSP; TMS320LF2407A; RTOS; uC/OS-II

(责任编辑:王建华)