采用新型高性能 DSP 芯片 TMS320F2812 和复杂可编程序逻辑器件 MAX7128 设计的断路器智能控制单元设计,结合嵌入式实时多任务操作系统  $\mu$  C/OS - II 作为系统软件平台,用 VHDL 语言实现执行电路的设计,该方案提高了系统运行的可靠性并且利于系统功能扩展。

# 基于 DSP + CPLD 的断路器智能控制单元

□西北工业大学自动化学院 刘幼林 姬 劳

**1** 代智能控制单元不仅要求具有自动保护、维护和信息传递功能,而且要求具备标准的通信协议,能方便地和不同厂家的主控单元组成分布式的控制系统,便于实现电力系统调度管理的自动化,此外,从断路器控制单元的自身功能上更要求其具备同步关合功能,这样既可以实现断路器关合更大容量的电流电压,还能提高断路器的寿命,以及避免电网系统的不稳定。电力系统对装置操作的实时性及可靠性要求极高,本文介绍的智能控制单元采用DSP及嵌入式实时操作系统来完成各种数据的处理、通信和算法的设计,而状态量的采集和执行信号输出将由CPLD完成,主要是基于CPLD内部的硬件电路结构的可靠性和对状态采集的实时性,该系统完全可以满足系统控制实时性及可靠性的要求。

#### 硬件设计

智能控制单元主要完成的任务包括:处理主控模块控制命令、监测母线电力参数、温度采集、保护控制算法的实现、检测开关量的状态、开关量的输出控制及与监控中心的通信等。为了实现上述功能,并充分利用 DSPTMS320F2812 强大的外设功能及嵌入式操作系统的优点,DSP 主要完成模拟量采集、数据处理、算法实现、温度采集、通信及命令处理,同时为了状态的快速检测和输出执行信号的可靠性,将由CPLD完成状态量的监测,与 DSP 的通信、状态信号的输出以及外部高电压电路的控制。系统结构如图1 所示。系统硬件的设计包括各调理电路的设计、CAN 总线通信驱动、RS232 总线驱动、RS485 总线驱动的设计以及 CPLD 内部电路的设计。

#### (1)调理电路的设计

调理电路包括交流电压采集调理电路、开关量采集调理 电路和开关量控制驱动电路,交流电压信号的采集使用F2812 内置12位 AD转换模块,该模块本身具有采样保持电路且要

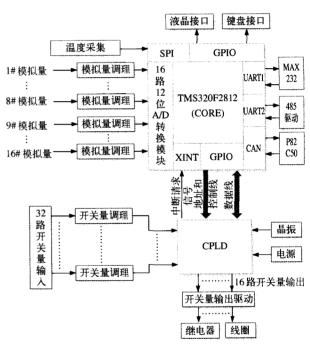


图 1 智能控制单元系统结构图

求输入电压范围为0~3 V,因此设计了由电压互感器、电流电压转换电路和*RC*滤波构成的隔离电路和由放大电路、电压抬升电路、电压跟随器及限幅电路组成的调理电路将220 V/50 Hz 的电压信号转换成0~3 V 的电压信号。

开关量的采集采用 CPLD 来实现。由于开关量经常出现抖动问题,因此其调理电路需采取措施去除开关抖动。在其调理电路中,采用电容滤除输入信号中的尖峰电压(主要针对高频干扰),12 V 的稳压二极管用来进一步滤除干扰信号(主要针对低频干扰),光电耦合器是为了防止外部信号影响内部电路的工作,二极管用于保护光耦中的发光二极管以免被反向击穿。

开关量控制信号经CPLD的I/O管脚输出。输出信号经过

光耦器件 TLP127 驱动外部的高电压器件动作。

由于该智能控制单元主要用来控制断路器的关合、而断 路器的关合过程中会产生强的电磁效应,如果直接由 DSP 的 GPIO管脚驱动,外部电磁干扰有可能使DSP的程序跑飞或使 DSP 复位,严重影响执行后果,所以本系统中开关量的输入 输出均由 CPLD 完成,其可靠程度将加强。

#### (2)通信模块

F2812 拥有增强型 CAN 控制器 eCAN 模块, 其完全支持 CAN2.0B 协议,性能较之已有的 DSP 内嵌 CAN 控制器 有较 大的提高,在进行CAN总线通信时,数据传输更加灵活方便, 数据量更大,可靠性更高,功能更加完备,因此本次设计采 用CAN总线实现智能终端的通信。通信模块的硬件设计主要 是CAN总线驱动电路的设计,这里选用飞利浦公司的CAN通 信收发器 PCA82C250 作为 F2812 的 CAN 控制器和物理总线 间的接口,以实现对总线的差动发送和接收功能。为了防止 干扰信号的引入,设计中采用高速光耦 6N137 对 F2812 及物 理总线进行隔离。RS232的驱动芯片选用美信公司的MAX232 驱动芯片, 而 RS485 的驱动芯片采用 SNLBC184, 同时为了 防止干扰信号的进入,设计中采用光耦 TLP521 对 F2812 和 RS232 及 RS485 总线驱动芯片之间进行隔离。

#### 3.CPLD 模块设计

在该智能控制单元中, CPLD是一个重要的组成部分, 由 CPLD组成的状态采集及输出执行系统可以独立工作,主要是 用来控制断路器的异步关合,接受各种输入的按键操作和状 态的输入输出。同步控制时,CPLD 接收 DSP 传送过来的动 作命令,即可以执行同步关合操作。同时,当状态发生变化 时,CPLD将发出中断信号,由DSP来读取状态并且做出相 应的处理或传送给监控中心。CPLD的输入信号主要有异步的 关、合、复位输入, 断路器的位置信号, 开关小车的位置信 号, 失压跳闸, 过流跳闸, 系统电压信号等。其信息输出模 块的功能主要是显示断路器是否具备可以操动的条件、断路 器的合分闸状态、断路器的动作执行情况、输出控制断路器 动作命令等。CPLD的控制框图如图2所示。

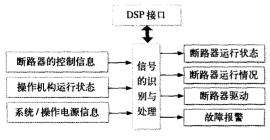


图 2 CPLD 的控制框图

CPLD 作为一个单独的控制执行机构,通过编写相应

的 VHDL 代码,即可以生成相应的操作电路,包括对各种 输入信号的锁存,判断和处理以及对各种命令信号的执行, 对输出信号的控制,由于篇幅所限,不再详述其代码的编写 过程。

### 软件设计

#### 1.系统软件设计

(1) μ C/OS - II 简介

本次设计系统软件采用源代码公开实时操作系统 μ C/OS - II, 它是一个基于优先级的、可移植、可固化、可裁剪、占 先式实时操作系统, 其绝大部分源码是用 ANSI C 写的。

(2) μ C/OS - II 在 F2812 上的移植

要使用 μ C/OS - II, 首先要把这个内核成功移植到所使 用的 CPU 上。μ C/OS - II 在 F2812 上的移植工作包括以下 几个内容:

1)在OS CPU.H中定义与处理器相关的常量、宏及数据 类型, 例如关中断和开中断的定义分别为#define OS ENTER CRITICAL() asm "DINT" 及#define OS\_EXIT\_CRITICAL() asm "EINT"。

2)调整和修改头文件OS\_CFG.H, 以裁减或修改 μ C/OS-II 的系统服务,减少资源损耗。例如 #define OS\_MBOX\_EN 0 即禁止使用邮箱相关的代码。

3)编写C语言文件OS\_CPU.C。由于本次设计中未用到其 他几个函数,因此这里主要完成函数OSTaskStkInit()的编写。 OSTaskStkInit()用来初始化任务的堆栈结构,使其看起来像刚 发生过中断并将所有的寄存器保存到堆栈的情形一样。

4)编写汇编语言文件 OS\_CPU.ASM。本文件包括 4 个 子函数程序: OSStartHighRdy()(运行最高优先级任务)、 OSCtxSw()(任务级的任务切换)、OSIntCtxSw()(中断级的任 务切换)和OSTickISR()(μC/OS-II的时间节拍中断函数), 这是 μ C/OS - II移植中的重点和难点,这几个函数的合理 实现,是保证 μ C/OS - II 运行的基础。

上述工作完成后, μ C/OS - II 就可以运行了。

#### 2.应用软件设计

根据智能控制单元的功能要求,将系统分为交流电压采 集模块、数据处理模块、断路器动作时间预测模块、通信模 块以及与CPLD的接口模块共11个任务和3个中断来实现,每 个任务根据其实时性的要求并参照单调执行率调度法RMS分 配一定的优先级,任务及中断的定义如附表所示。

优先级最高的是开始任务(TaskStart),这是系统启动后运 行的第一个任务。在该任务中要完成系统及相关外设的初始

# 产品与技术 器件&电路

附表 智能控制单元任务及中断定义表

优先级	任务名	任务功能描述
0	TaskStart()	开始任务,完成系统初始化及其他任务的创建
3	TaskAD()	交流电压采集任务,完成 16 路交流信号的采集
4	TaskFilter()	低通滤波任务,完成交流信号的零点时刻检测
5	TaskCanRX()	接收任务,完成接收上位机发送的数据和命令
6	TaskCanTX()	发送任务,将终端采集的数据发送至上位机
10	TaskUnPack()	数据解包任务
11	TaskPack()	数据打包任务
12	TaskTemp()	温度读取任务
13	TaskCpld()	状态读取和命令写人任务
18	TaskTime()	由历史操作时间、温度、预测下次动作时间任务
19	TaskBit()	自检测任务,完成机内自检
	Intadc.c	AD 采集中断服务程序
	Intecan.c	CAN 总线接收中断服务程序
	IntCpld.c	CPLD 采集的状态变化发生的终端信号

化,并进行必要的自检测,然后创建其余的各个任务。在完成其余各个任务的创建之后,该任务要删除自己,把系统资源让给其他的任务,整个系统开始正常运行。该任务的示意 代码如下

/\* 系统及外设的初始化 \*/

/\* 系统自检测 \*/

/\* 创建各个任务 \*/

StartCpuTimer2(), ; /\* 起动时间片\*/

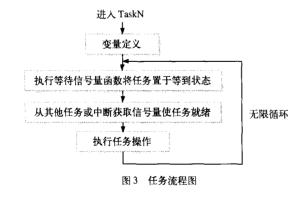
OSStatInit(), /\* 统计任务初始化\*/

创建智能控制单元的各个应用任务;

KickDog(), /\*WatchDog 复位 \*/

OSTaskDel(OS PRIO SELF) /\* 删除开始任务 \*/

除了 TaskStart()之外,其余各个任务模块的结构都是一个无限循环体,图 3 给出了一般任务的任务的流程图。



#### (1)任务的通信与同步

μ C/OS - II提供了5种用于数据共享和任务通信的方法 信号量、邮箱、消息队列、事件标志及互斥型信号量。信号 量可以控制共享资源的使用权,也可以协调外部事件与任务 的执行,提供了任务间通信、同步和互斥的最快通信, μ C/ OS – II 提供了3 种类型的信号量,即二进制型、计数型和互 斥型。事件标志可使任务与多个事件同步,若与多个事件的 任何一个同步,称为独立型同步;若与多个事件都同步,称 之为关联型同步。邮箱是一种通信机制,它可以发送一个指 针型的变量,该指针指向一个包含了特定消息的数据结构。消 息队列是另一种通信机制,它可以使一个任务或中断服务子程序向另一个任务发送以指针定义的变量,具体应用不同,每 个指针指向的数据结构也不同。互斥型信号量是一种特殊的二进制型信号量,主要用于解决内在的互斥问题,减少实际应用中所必需的优先级翻转。在设计智能控制单元软件时,充 分利用了 μ C/OS-II提供的这些通信机制,来协调各个独立任务的运行。

#### (2)通信协议的实现

F2812提供了标准的CAN2.0B总线协议,而此协议是一种物理层协议,因为该智能控制单元用于电力系统控制中,电力系统通用的应用层协议主要有CDT、MODBUS、DNP3.0等,在本设计的过程中应用层的协议将采用MODBUS协议,通信协议的实现比较复杂,但是由于采用了实时操作系统,通信协议的实现可以由操作系统统一管理,主要由数据接收、数据发送、数据打包、数据解包任务完成,而MODBUS协议的实现过程,不再赘述,读者可以参阅MODBUS规范。

## 结 论

1)设计中使用具有多外设的新型高性能DSP TMS320F2812, 大大减少了系统硬件设计的工作量,缩短了开发周期。设计 中采用了 DSP 最小系统与调理电路分开设计的方法,并且在 DSP 最小系统设计中采用多层板结构,并大量的使用了贴片 元件,以提高系统的稳定性及电磁兼容性。

2)作为一个基于优先级调度的嵌入式操作系统,任务优先级的合理分配对系统的正常运行至关重要,在本设计中,对任务优先级的分配我们首先考虑的是系统实时性的满足,其次在同等条件下再考虑任务的执行频度,通过反复调整,最终优先级的分配见附表。

3)采用基于CPLD的执行电路设计,由于CPLD的内部硬件结构的可靠性及快速的反应,非常适合电力系统控制,因此采用全CPLD(或ACTEL FPGA)应是一个研究方向。

4)F2812作为 TI 公司推出的 2000 系列的新成员,目前在国内的开发和设计还处于摸索阶段,因此作者希望本文中所提出的基于 TMS320F2812 +  $\mu$  C/OS - II 的系统设计思想会对 F2812 的学习和使用起到一定的促进作用。**EA** 

(收稿日期: 2005.05.25)