

基于 RTOS 和 DSP 的中低压 线路保护测控装置

罗志刚, 林鹤云

(东南大学 电气工程系, 江苏 南京 210096)

摘要: 介绍了一种基于实时操作系统 RTOS(Real-Time Operation System)和数字信号处理器 DSP(Digital Signal Processor)的中低压线路保护装置, 它由模拟输入通道、CPU 主板、开入/开出通道、电源 4 个模块组成, 适用于 35 kV 不接地或小电流接地系统。装置硬件采用 TMS320LF2407A, 软件采用 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统。保护功能有三段过电流保护、反时限过流保护、三相一次检无压自动重合闸等。装置还没有专用的测量电流互感器, 可实现远程/就地控制、故障录波等功能。装置集成有 RS-485, CAN 和以太网, 可满足变电站综合自动化的需要。

关键词: 实时操作系统; 数字信号处理器; 线路保护

中图分类号: TM 773

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2005)04-0078-03

随着微机保护技术的发展, 微机保护装置对 CPU 的速度和数据处理能力提出了越来越高的要求。然而到目前为止, 应用于我国电力系统微机保护装置中的 CPU 大多采用 8 位或 16 位的单片机, 限制了保护装置的数据处理和迅速切除故障的能力。在保护装置中采用数字信号处理器 DSP(Digital Signal Processor)芯片, 与传统单片机相比, CPU 的速度和数据处理能力都得到了极大的提高。由于 DSP 的内部资源比较丰富, 为系统采用实时多任务系统提供了便利。本文所介绍的基于实时操作系统 RTOS(Real-Time Operation System)的装置硬件采用 TMS320LF2407A 芯片, 软件采用 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统, 大大提高了装置的性能。

1 装置的构成及功能介绍

本装置是数字式保护、测控一体化装置, 可以实现输电线路的保护、测控、操作等功能。如图 1 所示。

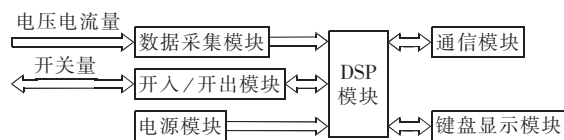


图 1 装置的整体结构图

Fig.1 The configuration of the device

本装置由模拟输入通道、CPU 主板、开入/开出通道、电源 4 个模块组成, 适用于 35 kV 的不接地或小电流接地系统。保护功能配备有: 三段过电流保护、反时限过流保护、三相一次检无压自动重合闸、后加速、低压减载、低周减载、接地保护(零序过流保护)。装置设有专用的测量 TA, 测量并产生本间隔的电压、电流、有功功率、无功功率、功率因数、频率

等遥测信息。可以实现远程/就地控制、故障录波以及事故顺序记录(SOE)功能。装置集成有 RS-485, CAN 和以太网, 可以满足变电站综合自动化的需要^[1]。

2 装置硬件设计

2.1 CPU 主板介绍

CPU 主板是整个装置的核心, 主要由 DSP, 可编程逻辑器件(CPLD)、带实时时钟的 NAVRAM, EEPROM, A/D 以及通信芯片组成。它是以 DSP+CPLD 为核心的方式设计的, 采用这种技术, 可以大大提高装置的可靠性和灵活性, 并缩短装置研发周期。

本保护装置的 CPU 芯片采用 TMS320LF2407A, 该种型号的 DSP 兼具数字信号处理和微控制器的特点, 是 TMS320LF240X 系列中功能最强大的一款定点 DSP 处理器。它把高性能的 DSP 内核和微控制器的外围集成在同一块芯片上, 替代了传统的微控制器单元和多芯片设计; 它采用多级流水线设计, 每秒钟可以执行 4×10^7 条指令, 具有传统 16 位微处理器无法比拟的运算性能优势^[2]。CPLD 芯片选用 EPM7128S, 用来完成地址译码、逻辑组合、I/O 接口扩展、信号分频和时序配合等功能, 可以简化系统的硬件结构。

为了提高装置的抗干扰能力, 采用总线不出主板的原则, A/D 转换芯片和通信接口的芯片也放到了 CPU 主板上。A/D 转换芯片采用 ADS8364, 该芯片具有 16 位采样精度, 可 6 通道同时采样保持相继转换, 单通道转换速度最快可以达到 $3.2 \mu\text{s}$ 。通信芯片有 MAX485 和 CS8900A, CS8900A 是一款使用比较广的以太网控制芯片, 符合 IEEE802.3 以太网标准, 带有 ISA 接口, 可以自动生成以太网的报头, 自动进行 CRC 检验, 在冲突后可以自动重发。带实时时钟的 NAVRAM 芯片采用 DS1744, 用于提供系统

实时时钟、故障录波以及 SOE 事件记录。EEPROM (X5043)用于存放保护定值以及系统额定参数。

2.2 模拟量输入通道

模拟量输入通道由低通滤波、调理电路组成。在装置中保护和测量用 TA 是分开的,而 TV 共用,这在提高测量精度的同时充分合理地运用了资源。电流保护的采样采用 TMS320LF2407A 芯片内自带有 A/D 转换芯片,具有 10 位采样精度可满足保护精度的要求。测量用电流和电压的采样采用外部 16 位 A/D 转换芯片 ADS8364。这种设计在满足系统精度要求的同时,减少了采样中断内模/数转换的时间。

2.3 开入/开出通道

为防止外部电路对微机系统的干扰,开入/开出通道要进行有效隔离。在本装置中,外部电源与主板电源完全分开,同时采用光电耦合器和继电器相结合的方法实现微机系统和断路器之间的隔离。对于每一个开出量,DSP 提供了 2 个通用 I/O 口编码输出,这样可以有效防止拉/合直流电源时误动作。

2.4 通信

TMS320LF2407A 芯片带有 CAN 控制器模块,在外部加上 82c250 驱动芯片后可很方便的实现 CAN 通信。系统采用 MAX485 芯片对 TMS320 LF2407 的 SCI 口进行了扩展,使其可以采用 RS-485 进行通信。为满足变电站综合自动化需要,还采用 CS8900A 芯片扩展了以太网。

2.5 人机界面

本保护装置使用大屏幕显示,控制芯片采用 SED 1335,可以实时显示设定值、运行参数以及故障信息。通过键盘可以在线调整设定值、查看记录的故障信息以及更改实时时钟。在出现故障后,故障信息会自动显示。

3 基于 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的软件设计

TMS320LF2407A 的内部资源比较丰富,采用的编译软件支持 C 语言,可以比较方便地在上面积植实时多任务系统。本装置采用的软件就是以实时多任务系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 为基础设计的。

3.1 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 及其任务机制简介

$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 是源码公开的可移植可固化的占先式实时多任务系统。 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 中最关键的部分是实时多任务内核,其基本功能包括任务管理、时间管理、内存管理、事件管理、消息管理、信号量管理等。

在 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 中每个任务有 5 种状态,即运行、就绪、等待或挂起、休眠、被中断。所有任务都在内核协调调度下,在 5 种状态间进行切换。任何时刻只能有一个任务处于运行态。处于等待态的任务在其执行条件满足后转入就绪态;处于就绪态的任务在发现没有其他更高优先级的任务运行时转入运行态;处于运行态的任务,在有中断来临或有更高优先级的任务处于就绪态时将被调度程序强行终止,状态随之变为就绪态;当某一任务执行完后,则直接返回

等待态。所有的任务具有不同的优先级,高优先级的任务无条件地中断正在执行的低优先级的任务^[3]。

3.2 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 在 TMS320LF2407A 上的移植与优化

绝大部分 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的源码是用移植性很强的 C 语言写的,汇编语言写的部分已经压到了最低限度,这使得 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 很容易移植到其他微处理器上。

为了使 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 在 TMS320LF2407A 上运行,需要采用 C 和汇编语言写一些与处理器相关的代码。 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的移植工作只与 3 个文件相关:OS_CPU.H, OS_CPU.C 和 OS_CPU.ASM。OS_CPU.H 文件中包含了与处理器相关的数据类型、宏和结构体的定义。在本文中数据类型的修改是指把 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 中的数据类型更改为 TMS320LF2407A 上的数据类型。宏的修改包括:关中断(SETC INTM,CLRC INITM),定义堆栈增长方向(OS_SRK_GROWTH=0),以及定义任务切换软中断(INIT 8)。OS_CPU.C 中包含有 6 个函数,实际需要修改的只有 OSTaskStkInit(),其他 5 个函数需要声明,但不一定具有实际内容。编写 OSTaskStkInit()就是使用 C 语言构造一个任务堆栈,使之看起来就像刚发生过中断并将所有寄存器保存在堆栈中的情形。OS_CPU.ASM 中有 4 个函数需要修改:OSStartHighRdy(),OSCtSw(),OSIntCtSw()和 OSTickISR()。OSStartHighRdy()是在 OSStart()中调用的,用来启动最高优先级任务。OSCtSw()与 OSIntCtSw()的代码大部分一样,不同之处是:由于中断已经发生,不需要再保存 CPU 寄存器;需要调整堆栈指针,去掉堆栈中一些不需要的内容,以使堆栈中只包含任务的运行环境。OSTickISR()主要是在时间中断中对各个任务的等待时间计数进行调整。

$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 是一个通用的实时多任务系统,在 TMS320LF2407A 上运行可以适当优化,使之更贴合本系统的需要,在本装置中对 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 采用了 3 种优化方法。

a. 通过 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 配置文件中的选择项去除一些不必要的文件,减少了操作系统所占用的代码量。

b. 由于 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 所用的堆栈空间不仅与任务数有关而且与中断嵌套层数有关,按照正常的分配方法,每个任务堆栈都必须考虑在最大嵌套数时所需的空间,在系统任务比较多时,就要消耗很多 RAM 空间。为了减少 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 所占用的 RAM 容量,可以把不需要调度服务的中断所使用的堆栈与正常任务堆栈分开,在正常任务切换和没有嵌套的中断时使用原来的任务堆栈,在中断嵌套内部时使用特定的中断堆栈,这样就可节省许多 RAM 空间。

c. 对微机保护软件系统而言,在正常情况下,系统大部分时间都用来循环自检,在本系统中去除了空闲任务,改为系统循环自检任务。

3.3 软件的总体结构

装置的软件设计采用了模块化和层次化的设计思想,总体划分为 1 个多任务调度、4 个中断、4 个任务^[4],如图 2 所示。

a. 主程序是一个调度程序,初始化以后就不断对各个任务进行查询,在有高优先级任务产生时对任务进行调度,没有调度任务时执行通用自检程序。

b. 计算任务:每个周期计算一次三相电压、电流、有功、无功、功率因数以及各次谐波分量,同时计算零序分量供上位机选用。

c. 故障处理任务:在中断处理任务中,对是否发生故障进行判断、延时以及出口处理。为保证故障处理的快速性,在启动环节动作以后,要立即采用 OSTaskResume() 函数取消故障处理任务等待状态。

d. 通信任务:在通信任务中查询是否有信息需处理,如有则执行通信处理程序,否则返回到主程序。

e. 菜单显示任务:每隔 1 s 刷新显示屏一次,有故障信息时自动跳出故障显示界面。

f. 最高优先级中断是采样中断,采样中断是由 TMS320LF2407A 芯片内部时钟产生,每周采样 24 点,可以根据系统频率自动调整采样间隔,在中断内安排各个通道的 A/D 转换以及采样数据的初步处理。

g. 捕获口中断由 CPU 芯片自身的捕获口产生,用于测量电网频率,同时对采样间隔进行调整,使得采样同步。还有一个功能就是对系统振荡进行闭锁。

h. 通信中断以及键盘中断:在通信中断中只是负责接收和保存上位机发送过来的命令,处理是在通信任务中进行。键盘中断只是读取键盘编码,处理在显示任务中进行。

3.4 软件设计要点

3.4.1 任务划分的合理性

任务调度的频度主要是通过付给任务以一定的优先级实现。一般原则是重要的任务优先级高,不重要的任务优先级低;任务触发比较频繁的优先级低,反之则高。这必须在实际中根据系统的具体功能进行适当的调整。

3.4.2 时钟节拍长短的确定

在多任务系统中,时钟节拍长短调整是比较重

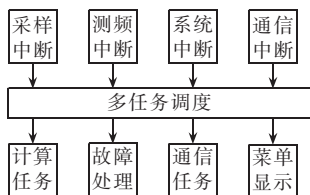


图 2 软件整体结构图

Fig.2 The software architecture

要的。时间设置很长则不能充分利用系统资源;设置很短,系统调度频繁,很多时间消耗在系统调度任务上,效率较低。综合各方面情况,本系统选择 5 ms。在满足系统实时要求的前提下,系统的效率也比较高。

4 装置抗干扰性设计

在本装置中,硬件上对所有的输入/输出开关量都进行了光电隔离,开关量输出采用编码输出,这可以有效预防直流上电时的误动。采用硬件看门狗技术,在限定时间内看门狗必须复位,否则软件复位。软件采用模块化编程技术,任意一个软件模块出现故障时不会影响其他软件模块的工作,这些都有效地提高了装置的抗干扰能力。

5 结论

以 $\mu C/OS-II$ 和 DSP 为软硬件平台,结合一系列软硬件抗干扰措施,使本保护装置具有完善的功能和更好的性能,适用于各种中低压线路保护装置。

参考文献:

- [1] 许正亚. 变压器及中低压网络数字式保护 [M]. 北京:中国水利水电出版社,2003.
 - [2] 刘和平. TMS320LF240x DSP 结构、原理及应用 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.
 - [3] 邵贝贝. $\mu C/OS-II$ ——源码公开的实时嵌入式操作系统 [M]. 北京:中国电力出版社,2003.
 - [4] 费怀胜,李志勇,余义传,等. 基于 RTOS 与 DSPs 的微机保护装置 [J]. 继电器,2003,31(7):61-63.
- FEI Huai-sheng, LI Zhi-yong, YU Yi-chuan, et al. The computer protection based on RTOS and DSPs [J]. Relay, 2003,31(7):61-63.

(责任编辑:李 玲)

作者简介:

罗志刚(1975-),男,江苏泰州人,硕士研究生,研究方向为工业自动化技术(E-mail:tj_luo@tom.com);

林鹤云(1965-),男,江苏扬中人,教授,博士研究生导师,研究方向为工业自动化技术、新型微特电机的设计与控制。

Mid- & low-voltage line protection device based on RTOS and DSP

LUO Zhi-gang, LIN He-yun

(Department of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: A protection device based on RTOS(Real-Time Operation System) and DSP(Digital Signal Processor) for mid- & low-voltage line is introduced, which is suitable for 35 kV non-grounding or small current grounding system. It is composed of analog input channels, CPU mainboard, binary input/output channels and power supply. TMS320LF2407A is adopted as hardware, and $\mu C/OS-II$ operating system as software. The protection functions include three-section over-current protection, inverse-time over-current protection, three-phase one-shot no-voltage auto-recloser and so on. A dedicated current transformer is applied for remote/local control and fault recording. RS-485, CAN and Ethernet are available to satisfy substation automation.

Key words: RTOS; DSP; line protection