

FreeRTOS在微机继电保护实验装置中的应用

郭开荣, 温渤婴

(中国农业大学, 北京 100083)

摘要: 微机继电保护装置在电力系统中的应用越来越广泛。为满足国内高校电力系统继电保护实验教学与生产实际同步的需求, 研究了一种基于实时操作系统 FreeRTOS的微机继电保护实验装置设计方案。以实时操作系统作为运行环境, 使用基于任务的软件设计方法, 对实验装置的功能进行了细致的划分, 并在此基础上按功能模块化原则制定出各个任务。该继电保护实验装置采用了实时操作系统, 软件结构高度模块化, 具有简单灵活、操作方便的特点。实际使用表明, 此方案能够较好地满足高校实验教学的要求。

关键词: 继电保护; 实时操作系统; FreeRTOS

中图分类号: TM774 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)19-0004-03

0 引言

微机保护装置从 20 世纪 80 年代开始在中国进行大量的开发研究。与传统机电式保护相比, 微机保护具有优异的计算、分析、逻辑判断能力和存储记忆功能, 可用相同硬件实现不同的保护原理, 使保护装置的构造大为简化, 容易实现保护装置的标准化。因此, 目前微机继电保护在电力系统得到广泛的应用, 成为继电保护的主要形式。

国内高校的继电保护实验教学是为高校继电保护原理课程服务的, 也应与生产实际同步, 从使用传统的机电式实验装置和实验仪器, 升级到使用微机继电保护的实验装置。这给实验室的设备更新提出了要求^[1], 需要开发一种切合实验教学要求的微机继电保护实验装置。

用于实验教学的保护装置主要是为了让学生可以对所学的继电保护理论进行验证, 增强其动手能力, 巩固所学知识。为了达到以上目的, 实验装置应该通用灵活, 使用的保护算法必须易于更新和调试。

这就决定微机继电保护实验装置与实际生产运行使用的微机继电保护装置的思路有很大的不同。结合上述要求, 本文提出了一种基于实时操作系统 FreeRTOS 的设计方案。

1 装置的硬件平台

继电保护装置不仅要采集各种模拟量和开关量, 还需要进行大量的数据计算、分析、处理和存储, 需要有相应的硬件来实现其功能, 具体硬件模块构成^[1]见图 1。

考虑到要满足各种保护算法的要求, 选择性能较高的 Freescale 的 HC12 系列 16 位单片机作为核心处理器, 型号是 68HC912DG128A; A/D 采用 MAX197, 人机接口部分包括键盘操作和液晶显示部分, 其中液晶采用 HY-19264C, 分辨率为 128 × 64; 通信口采用 PD USB12 接口芯片, 可以通过 USB 接口与 PC 连接, 进行保护算法的下载和调试; 外扩 RAM 用于存放保护算法程序和运行数据; 实时时钟用来显示时间和记录系统中各种运行状态的发生时间; 开关量输出由若干继电器实现, 作为继电保护动作输出。

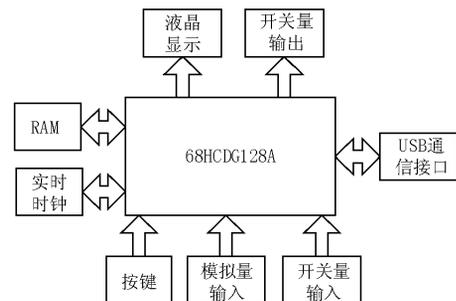


图 1 硬件框图

Fig 1 Frame of the hardware

2 实时操作系统及其移植

2.1 实时操作系统的选择

实时操作系统 (RTOS) 是指能满足实时控制系统的实时性要求, 有效管理系统任务及资源的操作系统。实时性是对物理过程发生真实时间的限制和要求的满足程度, 是 RTOS 区别于其他 OS 的一个重要特征。由于 RTOS 需占用一定的系统资源 (尤其

是 RAM 资源),只有 embOS、 μ C/OS II、salvo、FreeRTOS 等少数实时操作系统能在小 RAM 单片机上运行。

目前,实时控制领域的商用 RTOS 种类较多,这些 RTOS 技术成熟,性能优异,开发环境完善,但对于中小用户来说其价格却相当昂贵。相对于 μ C/OS II、embOS 等商业操作系统,FreeRTOS 操作系统是完全免费的操作系统,具有源码公开、可移植、可裁减、调度策略灵活的特点,可以方便地移植到各种单片机上运行,其最新版本为 3.2.4 版。作为一个轻量级的操作系统,FreeRTOS 提供的功能包括^[2]:任务管理、时间管理、信号量、消息队列、内存管理、记录功能等,可基本满足较小系统的需要。

2.2 FreeRTOS 的移植和定制

FreeRTOS 操作系统可以被方便地移植到不同处理器上工作,现已提供了 ARM、MSP430、AVR、PIC、C8051F、HCS12 等多款处理器在多种编译环境下的移植。由于没有直接用于 HCS12 的移植方案,需要从 HCS12 在 CodeWarrior 下的移植方案上作修改。移植的过程并不复杂,因为 HCS12 和 HC12 在处理器架构及指令集方面没有差别,处理器架构相关部分代码可直接使用,只需要针对所使用的单片机作一些寄存器定义的修改。

FreeRTOS 的定制都在 FreeRTOSConfig.h 文件中实现。主要的定制选项包括:

1) 内核类型

可根据用户需要设置为可剥夺型内核或不可剥夺型内核^[2]。为满足继电保护实验装置的实时性需求,将内核配置成可剥夺型。

2) 使用空闲任务钩子

FreeRTOS 允许定义一个函数,该函数在空闲任务每次运行的时候都会执行,这就是“空闲钩子”。利用空闲任务钩子可以执行一些实时性要求不是很高的任务,并且避免创建一个独立任务,节省系统资源。

3) 时钟节拍频率定义

操作系统时钟节拍中断的频率。

4) 最大优先级

任务可分配的最大优先级。FreeRTOS 内核支持优先级调度算法,每个任务可根据重要程度的不同被赋予一定的优先级,同一优先级的任务共享 CPU 的使用时间。

5) 内存堆大小

定义了可以由 FreeRTOS 分配的 RAM 的大小。

还有其它一些选项可供选择,包括任务名称的最大长度和使用 16 位的节拍计数器等。

为了避免不必要的开销,FreeRTOS 对一些 API 函数是可裁剪的,在没有使用到的情况下可以让内核不包含该 API 函数。在继电保护实验装置的设计中,设置任务优先级、获取任务优先级、任务资源清理、删除任务等没有使用的 API 函数都没有被包含到内核,使得代码尽量短小精练。

3 实时操作系统的应用

要实现微机继电保护实验装置的系统软件设计^[3],需要对系统的功能进行系统分析,根据各个功能的运行特点将所有功能合理分类,最终完成操作系统任务的划分。

3.1 微机继电保护实验装置的功能

微机继电保护实验装置用于高校继电保护原理实验教学,基于微控制器芯片,带有通信接口,应当具有数据采集、继电保护控制、人机交互、通信和程序调试等多种功能^[1]。

1) 数据采集

包括模拟量和开关量的采集,还包括对输入电压电流的频率测量。对于继电保护来说,采样任务的实时性要求极高,采样时刻必须非常精确,因而不能把采样用任务来实现,而必须依靠定时中断实现。频率测量是通过单片机的输入捕捉功能实现的,同样也使用中断。

2) 继电保护

包括继电保护核心算法和动作输出。继电保护算法包括继电保护原理教学过程中涉及的各种保护,如电流三段式保护、线路距离三段式保护、变压器差动保护、母线保护等等,还包括在线路保护中结合自动重合闸操作的算法。这些算法是实现继电保护功能的核心,它是依据采样结果,计算包括电流、电压、功率、频率等各种参数,并且依据这些计算结果进一步进行数学分析,判断是否应该动作。此部分计算任务最重,功能相对独立,而且实验装置的本质决定此部分功能应该可以灵活更新和调试,因此应该单独作为一个任务。

3) 人机交互

包括键盘控制和液晶显示。继电保护装置的主要功能就是对各种电量参数按照特定的算法进行分析,与用户设置的整定值进行比较,进行动作判断,并将结果呈现给用户。因此装置和用户之间的交互也是继电保护装置的重要任务之一。

4)通信

通信功能使得装置可以与 PC 连接,与 PC 上的软件配合进行整定值设置、算法更新和算法调试等。

5)程序调试

这是实验装置实验功能的最大体现。学生可以根据所学知识自己编写继电保护算法,并可以对自己编写的算法进行调试。对于 HC12 系列单片机来说,可以使用专门的 BDM 调试工具进行调试。但是专门的调试工具价格昂贵,还需要专门的 PC 软件配合。微机继电保护实验装置只要求对继电保护算法部分程序进行调试,而且只需实现设置断点和查看变量值的功能即可。考虑以上因素,把需要调试的代码放置到外扩 RAM 中作为单独的一个任务运行,并采用指令替换方式实现断点,在断点处用 TRAP 指令替换。程序运行到断点处产生未定义指令中断,在中断处理中把被调试任务挂起,并唤醒调试任务,与 PC 上的调试软件配合完成调试任务。

3.2 软件任务的划分

任务和中断是 RTOS 调度的基本单位,因此要在应用 RTOS 前,首先将装置所有功能合理、清晰、有效地划分为不同的任务,划分的前提是要满足所有功能的实时性。任务的数量也是需要认真考虑的问题,因为每个任务都会消耗一定的 RAM,如任务控制块 (TCB) 和堆栈,而且任务多了在任务切换上的开销也会增加。中断处理应该只完成最简单的工作,通常是给任务发信号。最后还应根据实时性和计算量的需求合理安排任务的优先级。

根据以上划分要求,表 1 给出了任务划分的结果。

表 1 任务的划分

Tab 1 Tasks and priorities

任务	PRI	执行方式	功能
采样	-	定时中断	采集交流电压、电流
测频	-	输入捕捉中断	测量交流信号的频率
人机接口	0	空闲任务钩子	处理按键和液晶显示
继电保护	1	由采样任务触发	继电保护核心算法
USB 中断	-	外部硬件触发	处理 USB 通信中断
USB 通信	1	由 USB 中断及其他任务触发	通过 USB 接口与 PC 进行数据传输
断点中断	-	未定义指令中断	捕获继电保护任务断点
调试	2	与 USB 通信任务配合,由断点中断唤醒	与 PC 上的软件配合,调试继电保护任务

注: PRI——任务优先级

3.3 软件系统整体结构

软件系统整体结构见图 2。微机继电保护实验装置的软件系统是以嵌入式操作系统 FreeRTOS 作



图 2 软件整体结构

Fig 2 Software structure

为它的开发和运行平台,该软件系统主要由中断服务程序, FreeRTOS 和用户任务程序组成。各个任务由操作系统按调度算法进行统一调度运行,并通过队列和信号量进行相互通信。中断服务程序作为调度任务的事件触发器,用队列和信号量及时通知各个任务完成相关工作。

4 结语

经过移植和定制的实时操作系统 FreeRTOS,采用基于优先级并结合轮换的调度算法^[2],代码精练、结构紧凑,非常适合小型实时嵌入式应用。基于实时操作系统设计的微机继电保护实验装置具有很好的实时性、灵活性和通用性,能够满足高校实验教学的实际需求。特别是把继电保护算法作为操作系统的任务来进行调试的设计方式,简单而巧妙的实现了让学生自己编写算法并进行调试的功能,体现了实验装置最重要的功能特点,也体现了将 RTOS 用于实时嵌入式系统的优势。

参考文献:

- [1] 李刚,王翠霞,温渤婴.一种新型微机继电保护实验装置的研制[J].继电器,2005,33(22):21-25.
LI Gang, WANG Cui-xia, WEN Bo-ying Research and Development of a New Experimental Device for Digital Relay Protection[J]. Relay, 2005, 33(22): 21-25.
- [2] 刘滨,王琦,刘丽丽.嵌入式操作系统 FreeRTOS 的原理与实现[J].单片机与嵌入式系统应用,2005,(7):7-10.
LU Bin, WANG Qi, LIU Li-li The Principle and Implementation of Free RTOS[J]. Microcontroller & Embedded System, 2005, (7): 7-10.
- [3] 鲁炜,靳希.基于实时操作系统的继电保护软件设计[J].继电器,2003,31(11):51-54.
LU Wei, JIN Xi Protection Relay Software Designing Based on Real-time Operation System[J]. Relay, 2003, 31(11): 51-54.

收稿日期: 2006-02-09; 修回日期: 2006-04-23

(下转第 54 页 continued on page 54)

- Transmission Access[A]. IEEE/PES Summer Meeting Seattle(USA): 2000.
- [12] Rosehart W, Canizares C, Quintana V. Costs of Voltage Security in Electricity Markets[A]. IEEE/PES Summer Meeting Seattle(USA): 2000.
- [13] Chattopadhyay D, Chakrabarti B B, Read E G Pricing for Voltage Stability. Innovative Computing for Power - Electric Energy Meets the Market[A]. 22nd IEEE Power Engineering Society International Conference on Power Industry Computer Applications, PICA. 2001. 235 -240.
- [14] Gil J B, Roman Tomas G S, Roman J J A, et al Reactive Power Pricing: a Conceptual Framework for Remuneration and Charging Procedures[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(2): 483-489.
- [15] Rosehart W D, Canizares C A, Quintana V H. Multiobjective Optimal Power Flows to Evaluate Voltage Security Costs in Power Networks[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(5): 578-586.
- [16] 薛禹胜. 运动稳定性量化理论[M]. 南京:江苏科学技术出版社, 1999.
- XUE Yu-sheng Quantitative Study of General Motion Stability and an Example on Power System Stability[M]. Nanjin: Jiansu Science Technology Press, 1999.

收稿日期: 2006-03-09; 修回日期: 2006-05-15

作者简介:

郝思鹏(1971-),男,博士,讲师,研究方向为电力系统稳定与电力市场; E-mail: hspnj@sohu.com

王正风(1976-),男,博士,研究方向为电力系统稳定和电力市场。

Studies on reactive pricing in electricity market

HAO Si-peng¹, WANG Zheng-feng²

(1. Nanjing Institute of Technology, Nanjing 210013, China;

2. Anhui Electrical Power Dispatching & Communication Center, Hefei 230061, China)

Abstract: This paper studies the incorporation of transient voltage security into an optimal power flow to determine reactive price based on microeconomics. The influence of transient voltage security is analyzed for reactive pricing. It can reflect reactive power user for transient voltage security. It is deduced that the consideration of transient voltage security could give better guidance for power system operation state by simulation example. It is in favor of power system stability operation.

Key words: reactive pricing; transient voltage stability; optimal power flow

(上接第 6 页 continued from page 6)

作者简介:

郭开荣(1980-),男,硕士研究生,研究方向电力系统

自动化; E-mail: sjgkr@163.com

温渤婴(1958-),男,教授,从事电力系统自动监控与继电保护研究。

The application of FreeRTOS in experimental device for microprocessor-based relay protection

GUO Kai-rong, WEN Bo-ying

(China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: microprocessor-based relay protection devices have been widely applied in power system. There are few microprocessor-based relay protection devices for experiments available in domestic colleges. A new experimental device for microprocessor-based relay protection has been designed and developed in order to satisfy the requirements for experimental teaching. This paper brings forward an experimental device based on a free and open source RTOS: FreeRTOS. The functions of the device are divided into function modules according to the tasks of relay protection experiment. The device applies RTOS as its software runtime platform, which makes the software structure highly modularized, simple and flexible. Also the device is more convenient for operating. The application in colleges proves its efficiency for relay experiment.

Key words: relay protection; real-time operation system; FreeRTOS