

基于嵌入式操作系统的 UPS 设计与实现

高仕龙

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 葫芦岛 125105)

摘 要: 介绍一种将嵌入式操作系统移植到 DSP56F8356 上, 实现在线式 UPS 数字控制系统的软件设计. 提出单进单出在线式 UPS 电源的固件架构, 并详细介绍了主要任务及中断服务子程序所实现的功能. 在主架构的基础上编写代码, 最终在以 DSC56F8356 为控制芯片的 10KVA 在线式 UPS 上试验, 结果表明 UPS 的各项性能指标都能达到国标的规定, 在 UPS 电源行业中处于领先地位.

关键词: UPS; 嵌入式操作系统; DSP

Design and Implementation of UPS Base on Embedded Operating System

GAO Shi-Long

(Faculty of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: Describe a firm ware implementation strategy of on-line UPS digital control system which transplants an embedded operating system on DSP56F8356. The structure of single input and single output on-line UPS firm ware is presented. The function of every task and interrupt service subroutine is deeply discussed. Program under this firmware structure has run on a 10KVA online UPS. The experiment result shows that each specification of UPS meets national standard and is leading the way of UPS industry.

Key words: UPS; embedded operating system; DSP

1 引言

随着半导体技术和互联网技术的发展, 数字计算机的大量使用, 许多企事业单位的数字机房的供电质量成了重中之重. 不间断电源 UPS(uninterruptible power system)为数字计算机的可靠供电提供了保障^[1].

UPS 控制系统是由硬件和软件相互配合完成控制功能的, UPS 的行为是由软件的设计实现的. 传统的前后台软件设计方法对 UPS 这样庞大的软件设计而言, 实时性差、软件架构复杂不便于软件的调试和维护. 本文将一种占先式实时多任务操作系统移植到 UPS 的控制芯片 56F8356 上, 通过对 UPS 行为的分析, 将 UPS 软件分为 10 个任务以及多个中断服务子程序. 试验结果表明, 基于嵌入式操作系统的 UPS 软件设计, 增强了系统的模块化成度, 提高了 UPS 控制系统的实时性、可扩展性, 改善了 UPS 的静态和动态性能指标.

2 UPS 固件架构

DSP56F8356 是飞思卡尔公司生产的一款基于 56800E 内核的混合控制器芯片. DSP56F8356 有如下特点: 1)双哈佛架构的 16 位混合控制器; 2)主频是 60MHz, 指令周期为 16.6ns; 3)有一个 16 位*16 位的单循环并行乘加器; 4)四个 36 位的累加器; 5)多位算术和逻辑移位器; 6)独特的寻址方式支持并行指令集; 7)硬件循环; 8)指令集既支持数字信号处理也支持控制器功能; 9)片内存储器容量为程序 flash256KB、程序 RAM4KB、数据 flash16KB、引导 flash16KB; 10)片内外设有两个 PWM 模块、2 个 4 输入正交译码器、4 个通用 4 重定时器、CAN 模块、2 个串行通讯接口、62 个通用 IO 口. 由此可见 DSP56F8356CPU 的速度、存储容量和丰富的片内外设为嵌入式实时操作系统在 UPS 软件中的应用提供了硬件条件^[2]. 为了使得 CPU

收稿时间:2012-11-10;收到修改稿时间:2013-01-29

的利用率达到系统的要求、增强程序的模块化程度、增强程序的可移植性、减短应用程序的开发周期、增强程序的可维护性以及可扩充性,提出如图 1 所示的基于嵌入式实时操作系统的 UPS 固件架构。硬件层包括 DSP56F8356 的各个功能模块: GPIO、ADC、PWM、TIMER、SCI、CAN; 硬件抽象层: 通过对 DSP56F8356 的硬件寄存器的宏定义得到一组通用的、与 CPU 无关的对硬件操作的宏; 硬件驱动层: 在各个中断中实现, 通过调用硬件抽象层的宏获得与底层硬件无关的数据, 提供给任务级使用; 面向控制层: 这一层主要是负责 PFC 和逆变的控制, 由于这一部分是 UPS 固件的核心, 在系统中的优先级最高, 故放在中断中处理, 不能被任何中断和任务打断; 内核层: 通过提供特定的系统服务, 实现任务的调度及切换、任务之间的同步通信; 任务层: 任务级的主要任务是控制 UPS 的时序、模拟量的计算和侦测以及通讯界面的设计, 用户应用程序只要通过任务级完成。

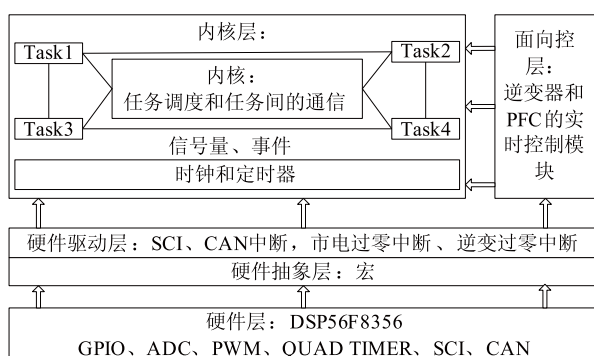


图 1 基于嵌入式实时操作系统的 UPS 固件架构

3 OS内核的实现

嵌入式实时操作系统内核的基本功能有三个: 任务的管理和调度、任务间的同步与通信、时间管理。下面分别介绍这三个功能的实现方案。

3.1 任务的管理和调度

嵌入式实时操作系统的每个任务由任务堆栈、任务控制块和任务代码组成^[3]。任务堆栈用于保存任务的局部变量。任务堆栈的大小由处理器、编译器架构和任务级的函数嵌套层数 n 、中断嵌套层数 m 、传递的参数 x 、临时变量 y 共同决定。任务堆栈大小 $= n * \text{调用函数的开销} + m * \text{中断保存现场的开销} + x + y$; 任务控制块是一个结构体的数据结构, 结构体的成员有指向任务堆栈栈顶的指针、任务的时钟周期、任

务时钟计数器、任务事件代码。任务控制块保存的这些任务的状态信息能保证任务重新得到 CPU 使用权时, 丝毫不差的从上次被中断处继续执行; 任务代码是一个 void 类型的函数, 在任务切换过程中内核通过寻找指向该函数的指针运行任务代码。任务代码是一个无限的循环, 可能出于以下五中状态之一: 睡眠态、就绪态、运行态、等待状态、被中断状态^[4]。任务的 5 种状态之间的转换由相应的系统函数完成如图 2 所示。睡眠态任务是指只有任务控制块的数据结构以及任务代码, 只有执行过任务创建函数 OSTaskCreate() 函数后才能给任务分配堆栈空间并将任务置为就绪态任务。一旦执行 OSStart()、OSIntExit()、OS_Task_SW() 三个函数之一内核会运行就绪态优先级最高的任务。执行任务挂起函数 OSMaskEventPend() 函数会将运行态的任务挂起, 任务进入等待状态。等待状态的任务接收到相应事件后进入就绪态。中断的优先级高于所有任务, 一旦有中断事件发生 CPU 运行相应的中断服务子程序, 任务进入被中断状态, 中断服务程序执行完毕后返回被中断的运行态任务继续执行。任务调度采用优先级调度法, 在有事件发生的时候调度优先级最高的就绪态任务。任务切换的流程是, 保存当前任务的运行环境到任务堆栈、保存当前栈顶指针到任务控制块、系统堆栈指针指向就绪态最高优先级任务的任务堆栈栈顶、恢复程序的运行环境并执行任务。

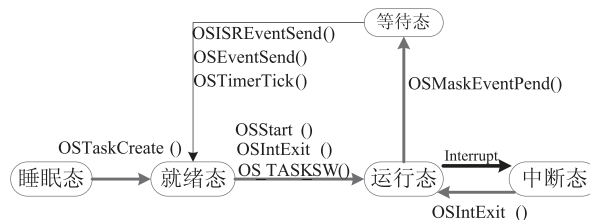


图 2 任务的 5 种状态

3.2 任务间的同步与通信

在 UPS 系统中, 大多数任务都是由中断唤起, 也可能由定时的定时器唤起, 还有可能被别的任务唤起。在中断服务子程序中调用 OSISREventSend() 函数, 内核的任务控制块指针指向接收事件任务的任务控制块, 接收事件的任务的任务控制块的事件成员相应位置 1, 接收到事件的任务进入就绪态^[5]。内核时钟中断服务程序会定时向各个任务发送时钟事件, 任务接收到时

钟事件也会进入到就绪态。任务中检测到如市电电压异常、电池电压低、风扇故障等情况时会调用 `OSEventSend()` 函数向其他任务发送事件, 接收到事件的任务同样会进入到就绪状态。

3.3 时间管理

嵌入式实时操作系统内核需要提供周期性信号源, 用于实现时间延时和确认超时^[6]。必须在多任务系统启动以后, 也就是在调用 `OSStart()` 之后, 再开启时钟节拍器。换句话说, 调用 `OSStart()` 之后应做的第一件事是初始化定时器中断。通常容易犯的错误是: 将允许时钟节拍中断放在系统初始化函数 `OSInit()` 之后, 在启动多任务系统启动函数 `OSStart()` 之前。内核时钟节拍的原理: 在中断服务子程序中调用 `OSTimerTick()` 函数, `OSTimerTick()` 跟踪所有任务的定时器及超时时限, 到了任务的时钟周期时向各个任务发送定时事件, 任务进入到就绪态。

4 任务划分

基于嵌入式操作系统的 UPS 固件设计, 是将应用程序放在任务中运行的, 首先面临的问题就是如何合理划分任务。任务划分存在着这样的矛盾: 任务划分太多会增加 CPU 和存储器的额外系统消耗, 而任务划分得太少系统运行的并行度降低、CPU 利用率降低、系统实时性变差。任务划分应遵从 H.Gomma 原则: 1)IO 原则, 不同的外设不同任务, CPU 操作快于 IO 操作, 如果将 IO 操作串行则会很浪费; 2)优先级原则, 对于突发事件的优先级等价于事件的时间耗尽线, 不同优先级处理不同的任务; 3)大量运算归为一个任务; 4)功能耦合归为一个任务; 5)偶然耦合归为一个任务; 6)频率组合, 对于周期时间, 不同任务处理不同的频率。根据功能耦合的原则可将程序分为以下几个任务: 1)supervisor, 控制整个 UPS 的时序、状态转换; 2)INV, 负责逆变电压、电流的计算侦测及锁相; 3)LineJob, 负责市电电压、频率的计算和侦测、波形和零火线侦测; 4)LoadJob, 负责负载计算和侦测; 5)BatterJob, 负责电池的管理; 6)TempJob, 负责温度的侦测和计算; 7)BusJob, 负责 BUS 电压的侦测和计算; 8)SciJob, RS232 通讯实现上位机对 UPS 的监控; 9)PannelJob, 负责液晶显示和按键及蜂鸣器等的控制; 10)ParaJob, 负责并机相关控制包括各并机 UPS 之间的 CAN 通信。

5 中断

UPS 数字控制系统中, 中断服务子程序优先级是最高的, 处理一些实时性要求最高的任务。DSP56F8356 的 PWM、定时器和 ADC 是相互配合使用的, 最重要的任务都安排在 ADC 采样完成中断中完成。采样完成中断完成的任务有各模拟量的采样及数据处理、PFC 的控制、逆变器器的控制、逆变器限流保护、PFC 限流保护^[7]。

6 样机试验

在前述 UPS 固件架构下编写各个任务及中断服务程序的代码, 成功在一台 10KVA UPS 样机上试验成功。以下是各项性能测试的结果, 实验所用设备为 100AH 蓄电池箱输出电压是 240V, 横河 DLM2000 混合信号示波器, FLUKE189 数字万用表、FLUKE36 钳形电流表、20KVA 单相 RCD 负载箱。

1) 逆变软起过程。逆变电压软起过程中会自动追踪旁路或市电的相位, 最终逆变输出和旁路电压的相位是一致的。波形如图 3 所示, 通道 1 是市电电压波形, 通道 4 是逆变电压波形。

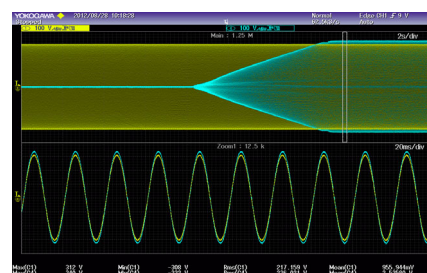


图3 逆变软起过程

2) 市电模式 RCD 载满载试验。波形如图 4 所示, 通道 3 是逆变输出电压波形, 通道 4 是输出电流波形。由图可看出投载瞬间由于逆变限流作用电压波形不是标准的正弦波, 但是经过三个周期后基本恢复为标准的正弦波。

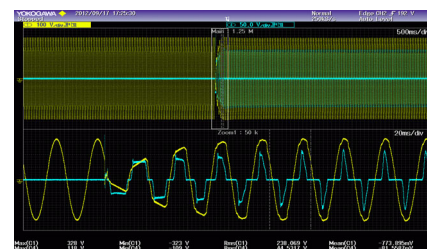


图4 市电模式 RCD 满载试验

3) 市电模式 R 载满载逆变输出波形. 试验波形如图 5 所示, 通道 1: 市电电压, 通道 2: +BUS 电压, 通道 3: -BUS 电压, 通道 4: 逆变输出电压. 由图可看出满载情况下, UPS 逆变输出是稳定的正弦波.

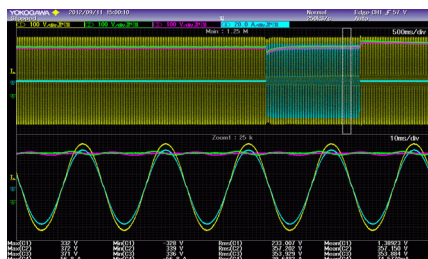


图 5 市电模式 R 载满载逆变输出波形

7 结束语

本文在 UPS 系统中引入嵌入式实时操作系统内核的软件架构, 对 UPS 数字控制系统进行任务划分并实现调度, 该设计方案已经成功应用于 10K 单进单出在线式 UPS 项目中得到应用. 实验结果表明, 该固件实现方案能满足 UPS 的各项性能指标要求, 能提高系统

模块化程度, 减短系统开发周期, 简化开发流程.

参考文献

- 1 康洪波, 于江利, 秦景, 张晔. UPS 的工作原理和发展趋势分析. 电源技术, 2009, (7).
- 2 张太镒, 宁改娣, 刘和平. DSP 技术与应用. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- 3 Labrosse JJ. C/OS-II-The Real Time Kernel. 邵贝贝译. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- 4 Sedova KK. On estimating the performance of automatic optimization systems in steady-state operating modes. Radiophysics and Quantum Electronics, 2005, 15(3).
- 5 Solokhin AV. Prediction of steady-state operating modes in recycle reactive-distillation systems using the mode of infinite separation efficiency. Theoretical Foundations of Chemical Engineering, 2009, 43(2).
- 6 李相臣. 浅析 USP 理论的功能意义与发展. 中小企业管理与科技(上旬刊), 2008, (9).
- 7 江铃. 基于 DSP 的新型全数字化 UPS 的研究. 科技信息, 2012, 28: 49-50.
- 8 蔡正, 王福龙. 一种新的图像距离在人脸识别中的应用. 广东工业大学学报, 2010, 27(3): 65-67.
- 9 刘艳. 改进的二维典型相关分析及其人脸识别应用. 计算机工程, 2012, 38(10): 152-153.
- 10 戴花, 王建平. 模糊支持向量机在人脸识别中的应用. 计算机工程与应用, 2012, 48(6): 158-176.
- 11 宋枫溪, 程科, 杨靖宇. 最大散度差和最大间距线性投影与支持向量机. 自动化学报, 2004, 30(6): 891-896.
- 12 姚玉未, 何希勤, 刘向东. 基于模糊隶属函数的 ICA 特征提取和识别. 计算机工程与设计, 2009, 30(18): 4281-4283.
- 4 王丹, 吴孟达. 粗糙模糊 c 均值融合聚类. 国防科技大学学报, 2011, 33(3): 146-150.
- 5 林宇生, 房福龙, 杨万扣. 模糊二维线性鉴别分析算法. 无线工程, 2011, 41(9): 15-17.
- 6 杜海顺, 李昊, 张帆. 一种模糊双向最大间距准则人脸识别方法. 仪器仪表学报, 2011, 32(5): 1078-1082.
- 7 Zhu YL. Fuzzy within-class matrix principal component analysis and its application to face recognition. Transaction of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2008, 25(2): 142-147.

(上接第 175 页)