

# 基于嵌入式操作系统的 UPS 设计与实现<sup>①</sup>

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<sup>[1]</sup>.

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程度, 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、存储器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<sup>[2]</sup>. 为了使得 CPU

<sup>①</sup> 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，在系统中的优先级别最高，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。

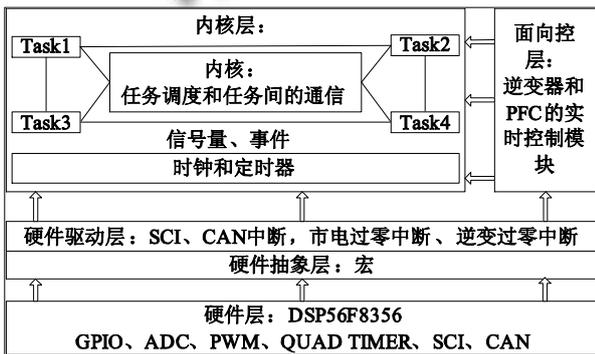


图 1 基于嵌入式实时操作系统的 UPS 固件架构

### 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<sup>[3]</sup>。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  $=n * 调用函数的开销 + m * 中断保存现场的开销 + x + y$ ；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<sup>[4]</sup>。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。

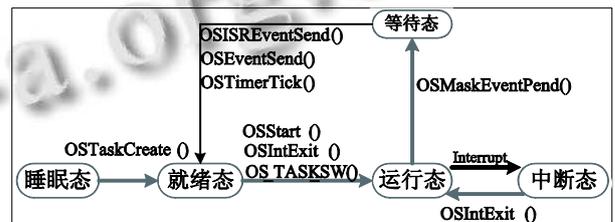


图 2 任务的 5 种状态

#### 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<sup>[5]</sup>。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<sup>[6]</sup>。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<sup>[7]</sup>。

## 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 10KVAUPS 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跟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。

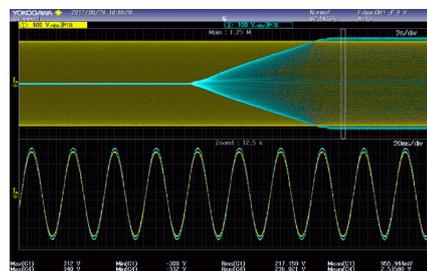


图 3 逆变软起过程

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。

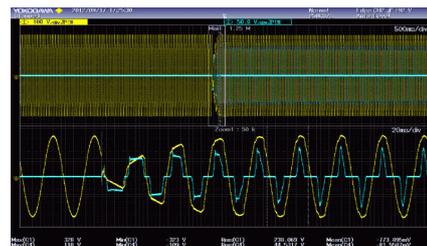


图 4 市电模式 RCD 满载试验

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.

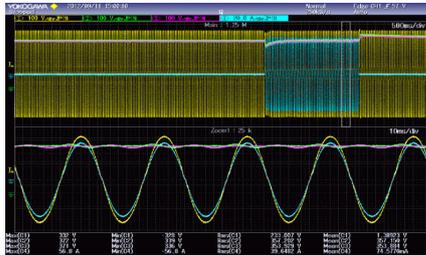


图 5 市电模式 R 载满载逆变输出波形

## 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.

(上接第 175 页)

- 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.无线电工程,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.