

文/厦门大学信息科学与技术学院自动化系 陈 涛 彭侠夫 叶瑰昀

# 基于 $\mu C/OS -$ 的永磁同步电动机 伺服控制系统软件设计

以 TMS320LF2407 芯片为微处理器的基础之上,在  $\mu C/OS -$  实时多任务内核的环境下建立永磁同步电动机伺服系统的位置环、速度环、电流环三闭环。通过运用  $\mu C/OS -$  来调度任务,提高了系统的稳定性、可靠性和安全性,缩短了软件设计的周期和难度,提高了程序的可读性和可维护性。

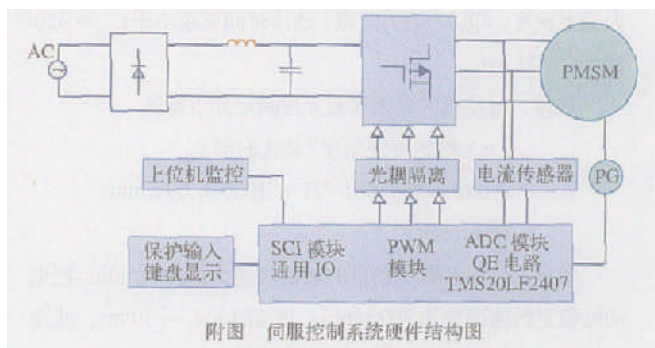
TMS320LF2407A 是美国德州仪器公司的一款高性能的专门应用于电动机控制领域的定点 DSP,具有高速信号处理和数字控制功能所需的体系结构特点,而且它有为电动机控制应用提供单片解决方案的外围设备。执行的速度是 20 MB/s,几乎所有的指令都可以在一个 50 ns 的单周期内执行完毕,这使复杂控制算法的实时执行成为可能,成为应用于电动机控制领域的理想微处理器,为高性能数字伺服系统提供了实现手段。

通常伺服系统软件采用前后台系统 (Foreground/Background System) 应用程序是一个无限的大循环,事件都是顺序执行,实时性很强的任务靠中断服务程序来执行。这种编程方法的缺点是系统的稳定性和实时性差,编程难度大。伺服系统对系统的响应时间要求很严,它要同时完成采样、计算、控制、通信等任务,没有一个实时多任务操作系统是不行的。这种  $\mu C/OS -$  是一种源码公开的占先式实时多任务操作系统,它除了提供最核心的占先方式的任务调度功能外,还具有任务管理、时间管理、任务间的通信和同步、内存的管理等多种系统的服务。因此把  $\mu C/OS -$  作为伺服系统软件,通过  $\mu C/OS -$  来调度系统任务,各模块之间相互独立,杜绝了由于某个任务陷入死循环而死机,系统可以调用其他的任务来弥补进入死循环的任务。因此使得位置伺服系统的软件设计变得非常简单,能最大限度地降低开发难度和缩短软件开发周期。

## 硬件电路的设计

本硬件系统的功率驱动电路采用智能功率模块 IPM,其工作频率可以达到 20 kHz,具有过流保护和短路保护,过热

和欠压锁定保护功能,系统的可靠性和集成性提高。另外还有逻辑控制电路,保护电路,电流,速度,电压检测,键盘和显示等部分。控制电路采用 TMS320LF2407A,转子的位置采样采用混合式光码盘,其输出的 A、B 信号线直接进入编码器接口 QEP1 和 QEP2 引脚,采用中断的方式获知转子的位置。利用时间管理器模块 (EV) 产生 PWM 信号,实现对电动机的控制。在 DSP 内部实现位置环、速度环、电流环的控制算法。整个系统的硬件结构图如附图所示。



## 伺服系统软件

### (1) 任务的建立

想让  $\mu C/OS -$  管理用户的任务,必须先建立任务。可以通过传递任务地址和其他参数给 OSTaskCreate()。任务可以在多任务调度开始前建立,也可以在其他任务的执行过程中被建立。在开始多任务调度 (即调用 OSStart()) 前,用户必须建立至少一个任务,任务不能由中断服务程序 (ISR) 来建立。OSTaskCreate() 需要 4 个参数: task 是任务代码的指针,

pdata是当任务开始执行时传递给任务的参数的指针 pto是分配给任务的堆栈的栈顶指针 prio是分配给任务的优先级。

在伺服系统中 中断的优先级最高 保证中断的实时性,通用定时器T1的周期中断启动A/D转换。

#### (2)任务的调用

$\mu C/OS -$  可以管理多达64个任务,并从中保留了4个最高优先级和4个最低优先级的任务供自己使用,所以用户可以使用的只有56个任务任务的优先级必须不同。 $\mu C/OS -$  采用基于优先级的调度法,即CPU总是让处在就绪状态的优先级最高的任务先运行。优先级的确定主要依据任务的重要性来确定。本伺服系统主要任务优先级顺序:位置环>速度环>电流环。

在 $\mu C/OS -$  系统中每个任务都是一个无限循环的函数,当正在运行的任务进入延时程序或在等待消息时会自动挂起,CPU运行其他的就绪任务。当某任务运行条件满足时,就进入就绪状态,操作系统依据其优先级进行调度,如果它比当前任务的优先级更高,就进行任务的切换,系统保证永远运行优先级最高的任务。在 $\mu C/OS -$  中,每个任务的工作状态通过单独的任务控制模块(OS\_TCB)来记录,包括任务地址指针、优先级、运行状态及堆栈信息等。系统中任务之间通过信号量、邮箱、消息队列来实现任务之间的通信。 $\mu C/OS -$  中需要一个时钟资源来实现时间的延时和期满的功能,没有它就没有嵌入式系统的任务调度。在TMS320LF2407A中用计数器的周期中断来为系统提供时钟节拍 OSTimeTick() 完成任务的延时和挂起。

### 多任务的伺服软件结构

软件部分是控制的核心,主要由位置的捕捉、转速的估算,电流、电压的测量,三环控制算法的实现,SVPWM的算法,故障检测,通信和显示等。

下面主要介绍系统中的三环算法结构,以及整体系统软件结构。

#### (1)位置环的实现

通过DSP内部的编码信号处理电路对输入信号4倍频,利用通用定时器根据转向进行计数,每个PWM周期对编码盘采样一次,每两次PWM周期的采样脉冲之差即脉冲增量,也就是转子的机械转角增量,对转角增量累计就可以得到转子的绝对机械位置。本系统取10个速度环周期对位置采样计算一次。

#### (2)速度环的实现

由于惯性较大,机械系统的响应时间常数远大于电系统

响应的时间常数。因此速度采样不是在每个PWM周期内进行,本系统取20个PWM周期对速度采样计算一次。通过对20个PWM周期内脉冲的增量乘以 $K_{speed}$ 计算得到。给定转速与转速反馈量的偏差经过速度PI调节器,输出用于转矩控制的电流q轴分量。

#### (3)电流环的实现

电流环的调节周期一般很短,这里选择PWM波形的开关频率为15 kHz,即定时器的周期为66.67  $\mu s$ 。当定时器T<sub>1</sub>的周期中断产生时,进行电流环计算。电流参考值与电流反馈量的偏差经过电流PI调节器分别输出旋转电压矢量,利用SVPWM技术产生PWM控制信号来控制逆变器,改变定时器的比较寄存器的值,从而改变PWM波形的占空比。

#### (4)系统程序中断结构

这里的中断形式和前后台系统一样,仅仅是在原来用户的中断程序里面加上函数OSIntEnter()和OSIntExit()。

#### (5)系统main函数的结构框架

在主函数中用OSTaskCreate()函数建立初始化任务TaskInit()初始化任务中建立一系列的信号量和邮箱:唤醒AD任务,唤醒液晶显示任务、唤醒键盘任务、唤醒时钟中断任务,建立一系列任务:位置环任务、速度环任务、电流环任务等。

### 结 论

在 $\mu C/OS -$  的基础上可以实现A/D转换,RS-232通信,数据的处理,键盘和显示等任务,只需把要完成的工作分成单个任务,编写独立的任务块然后向系统添加即可,需要处理的任务越多, $\mu C/OS -$  的优越性越显著。利用 $\mu C/OS -$  可以提高系统的可靠性和实时性,缩短了软件设计的周期和难度,程序的可读性和可维护性提高。采用 $\mu C/OS -$  的伺服控制系统较传统伺服控制系统在程序设计的模块化和快速性等方面都具有明显的优势,能取得更好的效果和性能。EA

(收稿日期:2006.05.25)

#### 相关文章

交流永磁同步伺服系统的现状与发展

——《电气时代》2005年第9期