

文章编号: 1671-1742(2003)02-0105-05

# 基于 MSP430 单片机的直流电机 PWM 调速系统的研究

王鹏飞<sup>1</sup>, 王保强<sup>2</sup>

(1. 西南交通大学, 四川 成都 610031; 2. 成都信息工程学院, 四川 成都 610041)

**摘要:**阐述了 MSP430 指令集和编译软件的特点, 介绍一种基于 MSP430 单片机实现的直流电机的调速系统。该系统采用 MSP430 的 Timer A 模式, 产生 PWM 输出以生成控制信号, 能够理想的实现直流电机的 PWM 控制, 并给出部分软硬件设计。

**关键词:** 脉宽调制; MSP430; 直流电机

**中图分类号:** TP368.1      **文献标识码:** A

## 1 引言

直流电机由于具有速度控制容易, 启、制动性能良好, 且在宽范围内平滑调速等特点而在冶金、机械制造、轻工等工业部门中得到广泛应用。直流电动机转速的控制方法可分为两类, 即励磁控制法与电枢电压控制法。励磁控制法控制磁通, 其控制功率虽然小, 但低速时受到磁饱和的限制, 高速时受到换向火花和换向器结构强度的限制; 而且由于励磁线圈电感较大, 动态响应较差。所以常用的控制方法是改变电枢端电压调速的电枢电压控制法。调节电阻 R 即可改变端电压, 达到调速目的。但这种传统的调压调速方法效率低。

随着电力电子技术的进步, 发展了许多新的电枢电压控制方法, 其中 PWM(脉宽调制)是常用的一种调速方法。其基本原理是用改变电机电枢(定子)电压的接通和断开的时间比(占空比)来控制马达的速度, 在脉宽调速系统中, 当电机通电时, 其速度增加; 电机断电时, 其速度减低。只要按照一定的规律改变通、断电的时间, 即可使电机的速度达到并保持一稳定值。最近几年来, 随着微电子技术和计算机技术的发展及单片机的广泛应用, 使调速装置向集成化、小型化和智能化方向发展。在单片机控制的脉宽调速系统中, 占空比 D 的产生可以由定时器或延时软件来产生。MSP430 单片机的定时器可以产生 PWM 方波输出, 将它用于直流电机的脉宽调速系统是个很好的方案。

## 2 MSP430 简介

德州仪器公司的 MSP430 系列单片机是一种超低功耗微处理器, 具有如下特点: (1) 功耗低, 典型功耗是: 2.2V 时钟频率 1MHz 时, 活动模式为 200 $\mu$ A, 关闭模式时仅为 0.1 $\mu$ A, 且具有 5 种节能工作方式。 (2) 高效 16 位 RISC-CPU, 27 条指令, 8MHz 时钟频率时, 指令周期时间 125ns, 绝大多数指令一个时钟周期完成; 32kHz 时钟频率时, 16 位 MSP430 单片机的执行速度高于典型的 8 位单片机 20MHz 时钟频率时的执行速度。 (3) 低电压供电、宽工作电压范围: 1.8V~3.6V。 (4) 灵活的时钟系统(两个外部时钟和一个内部时钟)。 (5) 低时钟频率可实现高速通信。 (6) 具有串行在线编程能力。 (7) 强大的中断功能。 (8) 唤醒时间短, 从低功耗模式下唤醒仅需 6 $\mu$ s。 (9) ESD 保护, 抗干扰力强。基于以上特点, 该系列单片机在便携式仪表、智能传感器、实用检测仪器、电机控制、家庭自动化等领域的应用较为普遍。

MSP430 的 16 位定时器中断可用于事件计数, 时序发生, PWM 等, 是应用于工业控制的理想配置。如纹波计数器、数字化电机、控制电表和手持式仪表等。DCO 为单片机系统提供一个内部时钟源并具有锁相环, 当

XTALT2 没有提供时,系统依靠 DCO 运行,整个时钟配置可以通过 DCOCTL、BCSCTL1、BCSCTL2 和 SR 等控制寄存器中相应的位来选择和控制以满足用户对系统的要求。不同型号单片机的存储器容量和外围模块各不相同,使用者可以根据需要具体选择适应工业级应用环境,它的运行环境温度范围为  $-40\sim +85^{\circ}\text{C}$ ,所设计的产品适合运行于工业环境下。

### 3 硬件设计

基于 MSP430 系列单片机的上述特点,我们设计一种如图 1 所示的直流电机 PWM 调速系统。该系统充分利用了 MSP430 系列单片机的工业级特点和 16 位定时器 Timer A 模式,实现直流电机的 PWM 调速。

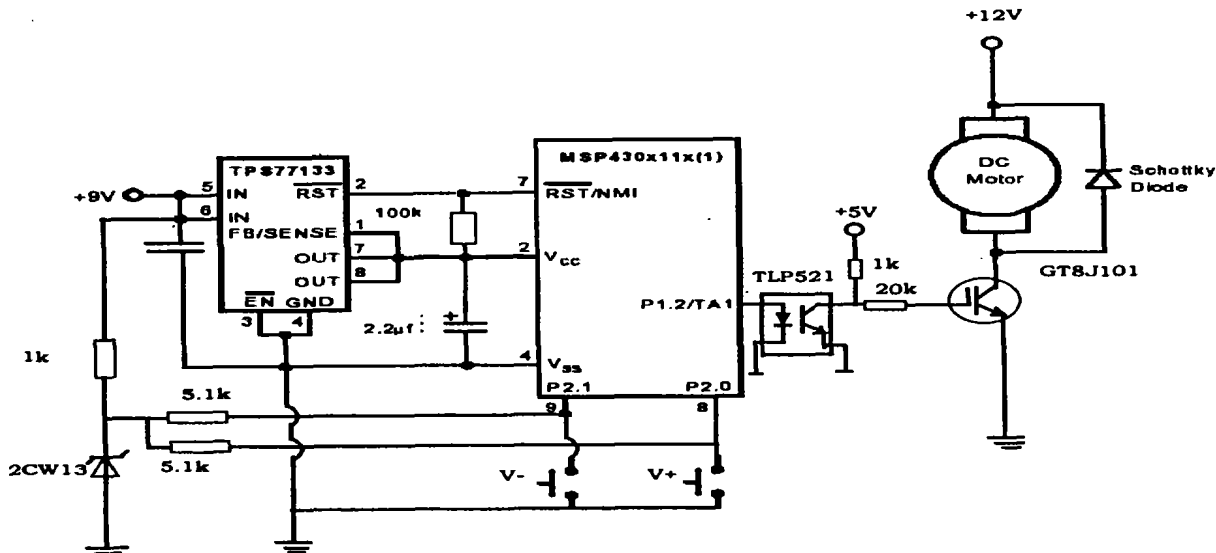


图1 直流电机 PWM 控制电路原理图

图 1 中电路所示,系统主要由 MSP430 单片机、直流电机、低漏电调整器 TPS77133、驱动及保护电路组成。其中,MSP430 单片机是整个调速系统的核心。下面分别阐述它们的工作原理。

在 MSP430 单片机为核心的控制系统中,当 P2.0、P2.1 任何一个输入处于逻辑低状态时,电路轮流检测两个输入按键并且增加或减少 Timer A 捕获/比较寄存器 CCR1,软件检查寄存器的值以确保它不超过寄存器所保持的最大值和最小值,因此可防止翻转。Timer A 作为 SMCLK 时钟源被设置为上升模式,输出模式 7 且输出单元 1,可以在 P1.2/TA1 产生 PWM 方波输出。CCR0 值为 255 以定义 Timer A 可计数到 256(8 位),改变 CCR1 的值可以改变 Timer A 产生的 PWM 信号的占空比。PWM 信号用于 GT8J101。

DCO 置于 5MHz 可产生 20KHz 的 PWM 信号,因此允许电机运行而不会产生任何可听到的 PWM 噪声。注意在图 1 中,电路没有连接到 MSP430 的晶振。数控振荡器(DCO)的频率随着温度和电压变化,PWM 信号频率是基于 DCO 的频率,因此它也随着变化。而占空比是一设定好的比值,和频率无关,所以 PWM 信号的导通与关断时间成比例的变化。因此,甚至当 DCO 频率改变时,电机的平均电压也不变。如果需要一固定的 PWM 频率,可在电路中加晶振。

IGBT 元件 GT8J101 起驱动放大的作用,作用于直流电机,随着占空比的变化,电机的平均电压也变化。正是这平均电压的变化来控制电机的转速,电机转速能从 0 到最大值分 256 级调速。

本电路采用 TPS77133 给 MSP430 提供 VCC 电源,同时也给复位信号供电以控制 MSP430 的复位端。TPS77133 是一集成了上电复位和 PG 功能的低漏电调整器,当 EN 为低电平时,它处于使能状态;当 EN 为高电平时,它被关断。该芯片可用做电压管理,当微处理器处于上电或欠电状态时,它的 RESET 输出能启动复位 MSP430。

在直流电机两端接反向二极管起到保护作用。P2.1、P2.2 各接一个 5.1K 的上拉电阻,以增强抗干扰能力。

光藕 TLP521 将控制电路与主电路隔离开,防止主电路对单片机造成冲击,确保单片机的正常工作。

## 4 软件设计

### 4.1 MSP430 指令集和编译软件的特点

MSP430 的内核 CPU 结构是按照精简指令集和高透明指令的宗旨来设计的,使用的指令有硬件执行的内核指令和基于现有硬件结构的高效率的仿真指令。仿真指令使用内核指令及芯片额外配置的常数发生器 CG1、CG2。MSP430 指令的寻址方式包括立即寻址、索引寻址、符号寻址和绝对寻址。这 4 种方式均可用于源操作数,而索引符号和绝对寻址方式只可用于目的操作数。源操作数的指令集需占用代码存储器中的 1~3 个字。CPU 中包含的 16 个寄存器用于缩短指令执行时间,可以在一个时钟周期内完成寄存器与寄存器间的操作。其中 4 个寄存器用作特殊用途:一个程序计数器,一个堆栈指针,一个状态寄存器和一个常数发生器。其余寄存器都可以用作通用寄存器。采用寄存器-寄存器结构的指令体系,提供一种非常强大的汇编语言。

MSP430 系列单片机可以利用 IAR 公司的 WORKBENCH 和 C-SPY 编译,直接下载至片内 FLASH 内存脱机运行,整个用户界面友好,调试过程中可以在上层软件中看到各寄存器的内容,并在线修改,支持单步运行,在线观察定义的各个变量实时值,采用把所有相关文件放入一个项目中的组织方式,编译运行时软件会自动将文件按内在联系自动组合在一起,支持汇编和 C 语言的编程。追求效率的用户可自由选择只有 27 条精简指令的汇编语言直接实现对寄存器的控制,一般的用户可以选择 C 编程,IAR 的 C 具有如下特点:(1)与 ANSI 的规格一致;(2)有可应用于嵌入式系统的标准函数库,具有可选用的源代码;(3)IEEE 兼容的浮点算法;(4)用户代码可与汇编子程序连接;(5)快速编译性能,代码的优化,灵活的变量分配和可移植性能,易于理解的出错和警告信息。这些都将大大缩短开发周期,降低开发难度。可以说 MSP430 的软件使用是相当简洁、方便、高效的。

### 4.2 整个系统的软件设计思想

在单片机控制系统中,PWM 输出信号的值(占空比)是决定电机转速的关键。单片机靠识别输入的“V+”和“V-”信号来控制 PWM 输出信号的值,电机转速从零到最大值分 256 级调速。每按下一次“V+”键,PWM 值递加一次,直至最大转速;每按下一次“V-”键,PWM 值递减一次,直至转速为零。整个程序由主程序、初始化子程序、延时子程序等组成。

### 4.3 程序设计

整个程序设计采用 MSP430 系列的汇编语言设计,下面给出主程序流程图和部分程序。主程序主要用来完成 PWM 输出值的控制,通过依次查询 P2.0 和 P2.1 两输入口的状态来控制 PWM 值的增减,当 PWM 值为零(电机转速为零)或调速至 256 级(电机转速为最大值)时,程序返回到主程序。否则执行 PWM- 或 PWM+ 指令,控制 PWM 输出值。

#### 4.3.1 主程序流程图

主程序流程图如图 2 所示。

#### 4.3.2 初始化程序

初始化程序完成设置看门狗为停止,设置 DCO 为高频,设置 P1.2/TA1 为 PWM 输出,设置 P2.0、P2.1 为输入,设置 Timer A 为上升模式、输出模式为 7 等功能。

```

*****
Init_Sys; Modules and Controls Registers set-up subroutine
*****
StopWDT    mov        #WDTPW + WDT HOLD, &WDTCTL          ;Stop Watchdog Timer
SetupBC    mov.b     #XTOFF + RSEL2 + RSEL1 + RSEL0, &BCSCTL1 ;RSEL = 7

```

```

mov. b   #0ffh, &DCOCTL           ;DCO selected for highest freq
SetupP1  mov. b   #0, &P1OUT        ;P1OUT reset
        bis. b   #PWM_OUT, &P1SEL   ;P1.2/TA1 for PWM OUT
        bis. b   #0ffh, P1DIR       ;P1.2 output for PWM OUT and remaining unused
SetupP2  mov. b   #03ch, &P2DIR     ;P2.0, P2.1 as inputs, P2.2 to P2.5 outputs(unused)
        mov     #Period, &CCR0      ;Set Period length for PWM output
        mov     #0, &CCR1           ;Initial PWM value for output
        mov     #OUTMOD_7, &CCTL1   ;Set output mode 7 for TA1
SetupTA  mov     #TASSEL1 + MC0, &TACTL ;Set TimerA Up mode, SMCLK as TACLK
        mov     #0, Duty_cycle      ;reset Duty_cycle buffer
        ret     ;Return from subroutine

```

#### 4.3.3 减速控制部分程序

减速控制部分程序实现识别 P2.1 输入的减速信号, PWM 值减小, 降低电机的转速。

```

Mainloop  bit. b   #BIT0, &P2IN      ;check if 'V-' button pressed
        jz     Next1
        .....
Next1     cmp     #0, Duty_cycle      ;check if PWM=0
        jz     Mainloop              ;repeat loop
        dec    Duty_cycle            ;decrement the PWM by one step
        jmp    SendPWM
        .....
SendPWM   mov     Duty_cycle, &CCR1   ;Send value to PWM output
        call   #Delay                ;insert a small delay between key polling
        jmp    Mainloop              ;repeat loop

```

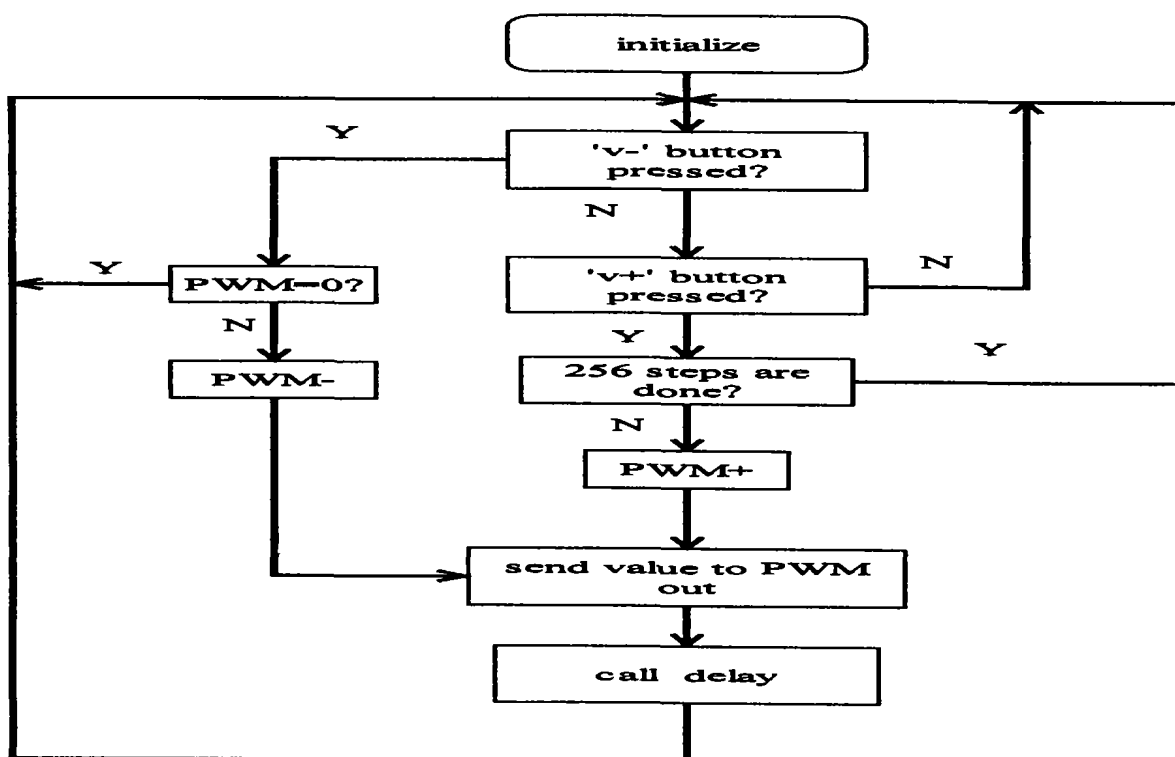


图2 主程序流程图

## 5 测试与性能评估

系统在试验的过程中,采用软件实现了占空比可调,如图 3 所示为占空比为 50% 的 PWM 波形图,波形稳定可靠,试验中能灵活改变占空比,电机的转速可从零到最大值分为 256 级调速,具有很宽的调速范围。430 单片机的指令周期仅为 125ns,工作速度快,通过实时计算来产生 PWM 波,算法灵活。采用软件实现小到 5 $\mu$ s 的死区时间,可以灵活的调整死区时间。公式如下:

$$t_{\text{dead}} = T_{\text{timer}} \times d$$

式中  $t_{\text{dead}}$  为死区时间,  $T_{\text{timer}}$  为定时器的时钟周期,  $d$  为捕获/比较寄存器的差值。

常采用的生成 PWM 波方法有 3 种:一是完全由模拟电路生成;二是由数字电路生成;三是由专用集成芯片生成。模拟方法电路复杂,硬件太多,抗干扰性能差,有温漂现象,系统可靠性低;数字方法按照不同的数字模型用计算机算出各切换点,将其存入内存,然后通过查表及必要的计算产生 PWM 波,该方法调频范围不宽。输出的 PWM 波 1/4 轴不对称,会产生偶次谐波,低频区尤其严重;由专用集成芯片生成 PWM 波的技术近年来被广泛采用,常用的有 HEF4752, SLE4520, MA818, MA828, MA838 和 MITEL 公司研制的三相、单相 PWM 产生器 SA828, SA838 系列芯片。它们多与微处理器连接,完成外围控制功能,但在系统构成上仍然较复杂,成本高。与上述方法相比,本系统的优点是显而易见的。

MSP430 单片机是一种新型的单片机,具有超低功耗和适应工业应用的特点,用美国 TI 公司生产的 MSP430 系列单片机设计的直流电机的 PWM 调速系统结构简单,易于维护,性能价格比高,因而具有实用价值。



图 3 单片机输出 PWM 波形图

### 参考文献:

- [1] 胡大可. MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2001.
- [2] 左玉兰, 马宗龙. 直流电机调速系统的单片机控制[J]. 集成电路应用, 1999, (4).
- [3] 王福瑞. 单片微机测控系统设计大全[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1999.

## PWM speed regulation of DC motor using timer A of MSP430 microcontroller

WANG Peng-fei<sup>1</sup>, WANG Bao-qiang<sup>2</sup>

(1. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** The features of the MSP430 instructions and compiler are described. A kind of speed regulation of the DC motor using the MSP430 microcontroller is introduced. It can produce the PWM waves to output the control pulses with the mode of the timer A of MSP430 and to realize the PWM control of the DC motor ideally. Some designs of both the hardware and the software are also shown.

**Key words:** PWM; MSP430; DC motor