

基于 TMS320F2812 的正弦脉宽调制 SPWM

董显林, 喻寿益

(中南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要:介绍了应用高性能数字信号处理器(DSP) TMS320F2812 生成 SPWM 波形的原理和方法,给出了整个程序流程图。该方法采用查表与在线计算相结合,既能满足一定控制精度要求,又能满足实时性要求。应用 TMS320F2812 控制器的 SCI 外设接口与 PC 机 RS232 接口进行串口通讯,可方便地在 PC 机串口通讯界面上给定参考输入频率 f 以及实时观测一些感兴趣的变量,从而了解系统的运行情况,达到监控目的。实验结果表明,基于该控制器的变频系统可实现 150Hz 的 SPWM 功能及过流保护功能。

关键词:SPWM; DSP; TMS320LF2812

中图分类号: TM465 文献标识码: B 文章编号: 1003-7241(2005)11-0050-04

Sine Pulse Width Modulation based on TMS320F2812

DONG Xian - lin , YU Shou - yi

(College of Information Science and Engineering ,Central South University ,Changsha 410083 ,China)

Abstract:The paper introduces a method for generating SPWM waveform by looking up - table and real - time calculation. The system uses the serial communication between the SCI interface of TMS320F2812 and the RS232 interface of PC. Experiment shows that the variable frequency drives system based on this system has the function of 1 ~ 50Hz SPWM and over - current protection.

Key words:SPWM; DSP; TMS320LF2812

1 引言

SPWM 波形的产生有两种方法,即硬件法和软件法。硬件法中最常用的专用集成电路有 HEF4752、5LF4520 等,其缺点是成本高、兼容性不强^[2]。现在使用较多的是软件法。它通过实时计算来生成 SPWM 波,这就要求控制器的运算速度要快。DSP 芯片 TMS320LF2812 是一款能很好地满足电机实时性控制要求的控制器。

TMS320LF2812 是美国 TI(Texas Instrument Corporation)公司于 2003 年底推出的面向电机控制的 32 位定点 DSP。TMS320LF2812 采用改进的哈佛结构,8 级流水线操作,运算速度高达 150MHz。TMS320F2812 片内有 128K * 16 FLASH,4K * 16 BOOT ROM,多块 SRAM,程序/数据寻址空间高达 4M,集事件管理器模块(EVA 和 EVB,12 路 PWM)、SCI 模块、SPI 模块、A/D 模块(16 路 12 位)、CAN 模块等外设模块为一体,集成度高,功耗小,运算速度快,整

体性能是 24 系列的 10 倍^[3]。

2 采样型 SPWM

用软件法实现 SPWM 波需要一定的数学模型。建立数学模型的方法有很多,常用的有谐波消去法、等面积法、采样型 SPWM 法等。本文研究的是采样型 SPWM 法。

采样型 SPWM 法分为自然采样法和规则采样法^[1]。自然采样法的原理如图 1 所示。它利用正弦波与三角波的交点时刻来决定开关管的开关模式。图中 T_c 是载波周期, M 是调制度。由图 1 可得

$$t_{on} = t_{on1} + t_{on2} = \frac{T_c}{2} [1 + \frac{M}{2} (\sin t_1 + \sin t_2)] \quad (1)$$

(1) 式是一个超越方程,其中 t_1, t_2 是未知量,求解起来很费时,显然自然采样法的数学模型不适合用于实时计算,因此通常用规则采样法。规则采样法又分对称规则采样法和不对称规则采样法。规则采样法是以每个三角波的对称轴(顶点对称轴或底点对称轴)所对应的时间作为采样时刻。过三角波的对称轴

收稿日期:2005 - 07 - 18

50 | Techniques of Automation & Applications

与正弦波的交点,作平行于t轴的平行线,该平行线与三角波的交点作为开关管的“开”和“关”时刻。经分析可知,不对称规则采样法是既在三角波的顶点位置又在底点位置对正弦波进行采样,它所形成的阶梯波比对称规则采样时更接近正弦波,因此采用此方法产生SPWM波效果更好。不对称规则采样法原理图如图2所示。由图2可得

$$\begin{cases} t_{on1} = \frac{T_s}{2} (1 + M \sin \frac{k}{N}) & (k=0 \dots 2N-2) \\ t_{on2} = \frac{T_s}{2} (1 + M \sin \frac{k}{N}) & (k=1 \dots 2N-1) \end{cases} \quad (2)$$

(2)式中,k为偶数时代表顶点采样,k为奇数时代表底点采样。 T_s 为载波周期 T_c 的1/2。式(2)是单相SPWM波生成的数学模型。类似地,对于三相正弦波

$$\begin{cases} U_A = \sin(\frac{k}{N}) \\ U_B = \sin(\frac{k}{N} + \frac{2\pi}{3}) \\ U_C = \sin(\frac{k}{N} - \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (3)$$

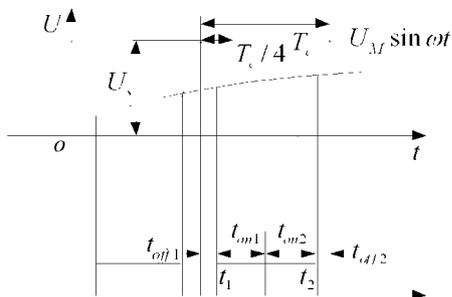


图1 自然采样法生成 PWM 波

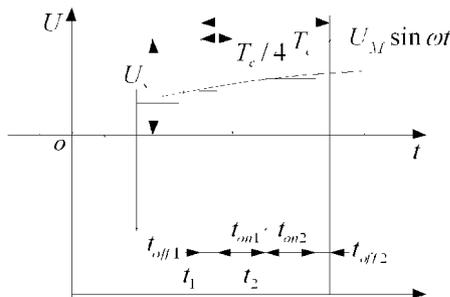


图2 不规则采样法生成 PWM 波

其脉宽计算公式为

$$\begin{cases} t_{on}^A = \frac{T_s}{2} \{ [1 + \frac{M \sin(\frac{k}{N})}{\text{底点采样}}] + [1 + \frac{M \sin(\frac{k}{N})}{\text{顶点采样}}] \} \\ t_{on}^B = \frac{T_s}{2} \{ [1 + \frac{M \sin(\frac{k}{N} + \frac{2\pi}{3})}{\text{底点采样}}] + [1 + \frac{M \sin(\frac{k}{N} + \frac{2\pi}{3})}{\text{顶点采样}}] \} \\ t_{on}^C = \frac{T_s}{2} \{ [1 + \frac{M \sin(\frac{k}{N} - \frac{2\pi}{3})}{\text{底点采样}}] + [1 + \frac{M \sin(\frac{k}{N} - \frac{2\pi}{3})}{\text{顶点采样}}] \} \end{cases} \quad (4)$$

其中,采样周期 T_s 为载波周期 T_c 的1/2, N 为载波比, M 为调制度。调制度 M 与指令频率(调制波频率) f 的对应关系可由压频 U/f 曲线得到。DSP可根据它的给定值 f 实时计算调制比 M 。考虑到电机控制实时性要求,正弦函数 $\sin(k/N)$ 在各个 k 时刻的

值可预先计算好,制成表格并存储于ROM中,以备查用。

3 SPWM 波形的产生

3.1 SPWM 波形生成思想^[6]

基于DSP的SPWM波形生成思想是,利用DSP的事件管理器模块(EVA)的3个全比较单元、通用定时器1、死区发生单元及输出逻辑来生成三相六路SPWM波形,如图3所示^[4]。对全比较单元编程使其工作在PWM模式,引脚 $PWM_y, y+1/CMP_y, y+1$ 为PWM输出方式。通过设置定时器1的周期寄存器,就可使其产生一定周期的载波信号,改变定时器1周期寄存器的值就改变了载波频率。在TMS320LF2812中,定时器的计数模式有四种,可选择连续增/减模式,如图4所示。在此计数模式下,定时器1计数器(TICNT)从0开始递增至周期寄存器(TIPR)的值后又递减到0,如此循环反复^[4]。在定时器1不断计数的同时,全比较单元的比较逻辑也在不断地将定时器1计数器的值和比较寄存器的值(CMPRx, $x=1, 2, 3$)进行比较,当两个值相等时将发生比较匹配信号。该信号被送到PWM电路中的对称/非对称波形发生器,由它产生一路PWM脉冲信号,再经过死区单元产生可以驱动同一桥臂的IGBT互补信号 $PWM_y, y+1$ 。因此在一个载波周期发生两次比较匹配事件,引脚 $PWM_y, y+1$ 的电平发生两次翻转。为防止上下桥臂直通,通常加入一定的死区时间,文中设定为 $2\mu s$ 。

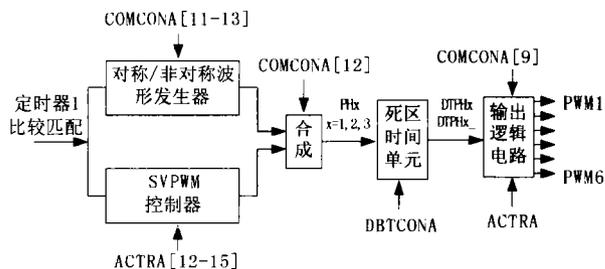


图3 PWM 波硬件电路框图

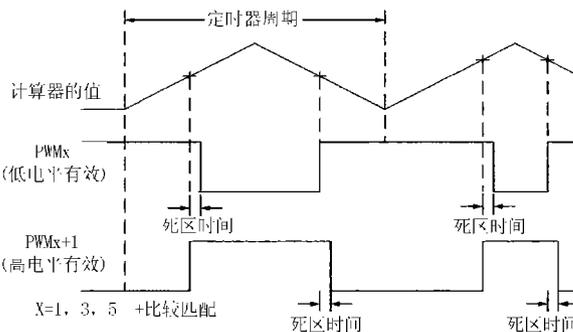


图4 PWM 波生成原理

3.2 程序流程图

整个程序由主程序和定时器T1下溢中断程序组成。主程序是一个无限循环程序,它的任务是:不断地查询串口,当一旦检测到有字符(给定频率 f)输入时,立即响应并根据输入的给定频率 f 计算载波比 N 和周期寄存器 TIPR 的值;由负载的 U/f 曲线确定 M 值;然后,通过串行通讯接口SCI发送数据给PC机,

在 PC 机上显示程序运行结果。定时器 T1 下溢中断程序主要完成三个比较寄存器 (CMPR1、CMPR2、CMPR3) 的计算、赋值。在主程序中需要解决的是串口通讯时字符与变量的转换问题。如上位 PC 机给定频率值 f 为 25, 则下位机 (DSP) 接收的是字符 '2' 和 '5', 需要作相应的 ASCII 码转换、处理才可用作变量 25, 常用的做法是调用函数 `sprintf()`。该方法通用性好, 但由于它是一个库函数, 系统编译后将占用较大的存储空间。考虑到频率 f 仅仅是数字字符, 且大小有一定范围, 因此可自行编写一个 `char_to_variable()` 函数来实现这个功能。相应地, 当要把 T1PR、M 和 N 值发送给上位机时, 可调用自行编写的 `variable_to_char()` 函数, 将变量转换为字符后再由 SCI 发送给上位机。实验表明, 自行编制的字符与变量的转换函数具有占用空间小, 运行速度快的优点。在 T1 中断程序中, 对于三相正弦函数, 可用移动查表指针的方法, 由同一张基准正弦函数表可确定出 A、B、C 三相的正弦函数值。具体来说, 从基准正弦函数表中查取某一时刻 k 值的函数值 $\sin(k/N)$ 赋给 A 相, 然后将查表指针分别向后、向前移动 $2N/3$ 个单元, 查得的值 $\sin((k+2N/3)/N)$ 和 $\sin((k-2N/3)/N)$ 分别赋给 B 相和 C 相。值得注意的是, 查表指针在查询完 C 相的正弦值后, 必须回到该采样时刻 A 相所指位置, 然后指针再向下移动一个单元, 因为文中是以 A 相作为基准的。系统主程序流程图和中断程序流程图分别如图 5 和图 6 所示。

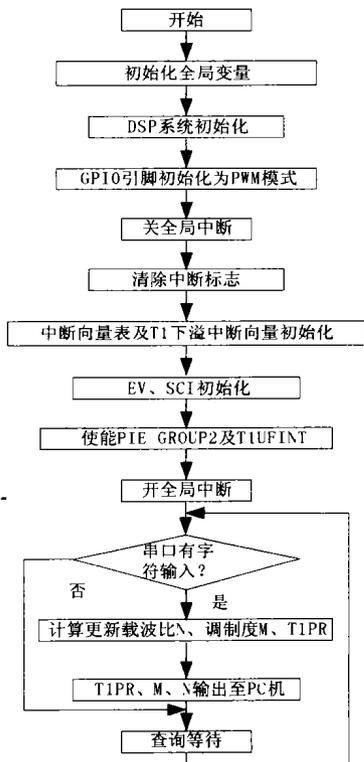


图 5 主程序流程图

4 实验情况及实验结果

(1) 实验情况

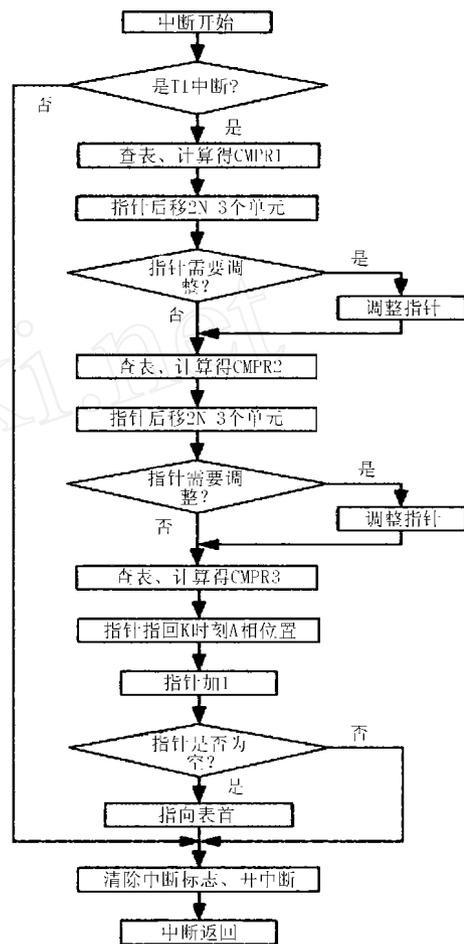


图 6 中断程序流程图

实验采用分段同步控制方式, 频率很低时采用大的载波比, 频率高时采用小的载波比。为不失一般性, 设定的 U/f 曲线如图 7 所示

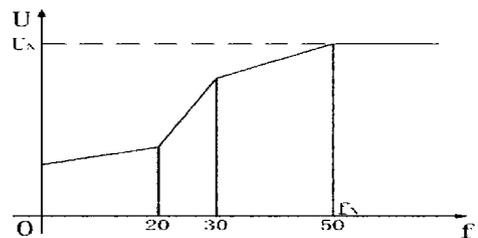


图 7 U/f 曲线

输入频率由串口给定。另外还可通过串口通讯界面观测用户感兴趣的变量, 如 T1 周期值、调制度 M 、载波比 N 。串口通讯帧格式为 1 个起始位、8 个数据位、无奇偶校验位、1 个停止位, 波特率 9600^[5]。

(2) 实验结果

图 8 是用数字示波器测量 PWM1/CMP1 引脚所得的实验波形。(a)、(b) 分别为 25Hz、45Hz 的 SPWM 波形 (设定的载波比 N 为 90)。从图中可知, PWM 波形的占空比是按正弦规律实时变化的, 所得正弦调制波频率与期望值完全一致。系统可实现调制波频率 150Hz 的变频功能、死区功能及过流保护功能。

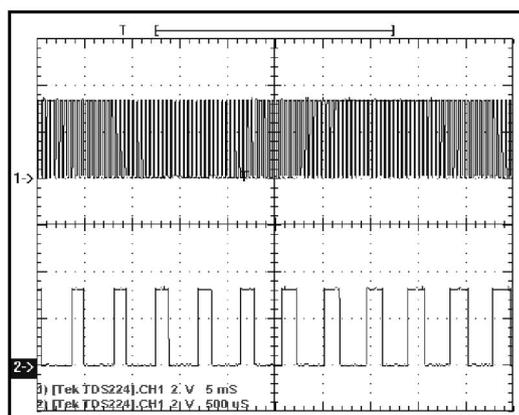


图 8(a) 25Hz SPWM 波形

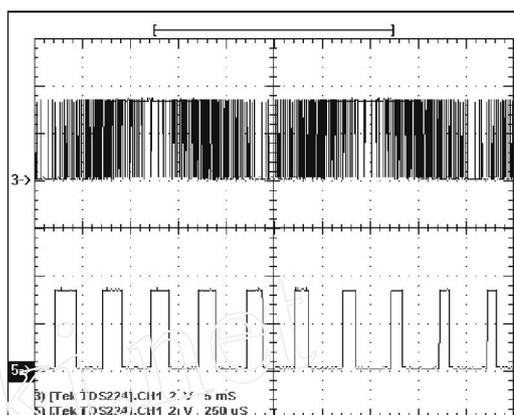


图 8(b) 45Hz SPWM 波形

5 结束语

数字信号处理器 TMS320F2812 (DSP) 因其具有丰富的片内资源、外设接口及高速的运算速度 (150MIPS) 引起了人们的广泛兴趣。基于 DSP 的现代交流调速系统的研究已成当前一个热点。文中研究的基于 DSP 的 SPWM 交流电机调速系统具有硬件结构简单、运算速度快等特点。实验表明,该系统具有很好的控制精度及较强的实时控制能力。

6 参考文献:

- [1] 胡崇岳. 现代交流调速技术[M]. 北京:机械工业出版社,1998, 9
- [2] 王晓明. 电动机的 DSP 控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004,7
- [3] Texas Instruments. TMS320F2812 Digital Signal Processor Data Manual[Z],2004,11
- [4] Texas Instruments. TMS320x281x DSP Event Manager Reference Guide[Z],2004,11
- [5] Texas Instruments. TMS320x281x Serial Communication Interface Peripheral Reference Guide[Z],2004,11
- [6] 高锋阳,等. 一种基于 DSP 的 SVPWM 实现[J]. 自动化技术与应用,2005,24(4):69-72

作者简介:董显林(1980-),男,硕士研究生,控制理论与控制工程专业,研究方向为现代交流调速系统。

(上接第 39 页)

SM37.0	SM37.2	SM37.3	SM37.4	SM37.5	SM37.6	SM37.7	
0 = 复位高电平有效	0 = 启动高电平有效	0 = 4x 计数率	0 = 减计数	0 = 不更新计数方向	0 = 不更新预置值	0 = 不更新当前值	0 = 禁止 HSC
1 = 复位低电平有效	1 = 启动低电平有效	1 = 1x 计数率	1 = 增计数	1 = 更新计数方向	1 = 更新预置值	1 = 更新当前值	1 = 允许 HSC

表 1 HSC0 控制字节

每个高速计数器都有一个 32 位的当前值和一个 32 位的预置值,当前值和预置值都是符号整数,为了向高速计数器装入新的当前值和预置值,必须先设置控制字节,并把当前值和预置值存入特殊存储器字节中,然后必须执行 HSC 指令,从而将新的值送给高速计数器。

数码盘上有 15 个齿轮,每转过一个齿轮就代表钢板前进了一段距离,从传感器安装位置到喷枪所在位置的间距是可测的,就可以通过计算得到所需的脉冲数,将这个数值装入高速计数器的预置值中,此时当前值为 0,在传感器第一次接收到信号的同时启动高速计数器,当计数器内的当前值等于预置值时就产生中断,PLC 执行相应的中断服务程序。此时喷枪就可以根据采集到的数据进行动作了。

此外,我们还在程序中加入了一些处理工作时出现的意外情况的代码,如辊道突然停止运行,而小车还在运动,需将喷漆房内的钢板退出时辊道的反向运行等情况。使系统能够更可靠的工作。

4 结论

在经过两个多月的工作运行后,系统表现出了良好的控制效果,无论钢板的形状如何,PLC 都能进行有效控制,并且还可以对一些意外情况做出响应,说明系统具有很强的可靠性和抗干扰能力。此系统大大减少了油漆的消耗量,粗略计算至少可省 20% 的油漆消耗量,降低了生产成本,同时也改善了工人的工作环境,经济和社会效益显著。

5 参考文献:

- [1] 王强. 无杆气缸在薄板预处理线中的应用探讨[J]. 株洲车辆厂,1999,(4):27-29
- [2] 王永华. 现代电气控制及 PLC 应用技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004
- [3] 董继成. 用 PLC 控制生产线自动机械手[J]. 国内外机电一体化技术,2004,7(3):41-44
- [4] 焦红现,王青芳. PLC 在卷扬上料小车自动控制系统的应用[J]. 冶金自动化,2004,28(4):72-73

作者简介:陈特放(1957-),中南大学教授,博士生导师,研究方向为电力机车状态监测及故障诊断技术。