

# 基于 TMS320LF2407 的变频技术研究

■ 黄石理工大学 胡学芝

摘要

介绍基于 TMS320LF2407 控制的数字变频调速系统,采用 SPWM 技术,将三相 380 V、频率为 50 Hz 的交流电变为输出为 220 V 频率可变的交流电源。正常工作时,若负载发生变化,该变频器具有自动调节输出电压和频率使其维持不变的功能,系统输出频率为 100~400 Hz。其功率因数  $\cos \varphi$  可达 0.85,稳态电压变化不大于  $\pm 2\%$ ,稳态频率变化不大于  $\pm 1\%$ 。输出电压的总谐波畸变率  $\text{THD} \leq 5\%$ ,单次谐波畸变率  $\leq 3\%$ ,整机效率大于 85%。

关键词 SPWM 变频器 逆变器 谐波畸变率 TMS320LF2407

常见的 AC/DC/AC 变频器,是对输出部分进行变频、变压调节,而且在多种逆变控制技术中,应用最广泛的一种逆变控制技术是正弦脉宽调制 (SPWM) 技术<sup>[1]</sup>。在变频调速系统中,应用 DSP 作为控制芯片以实现数字化控制,它既提高了系统可靠性,又使系统的控制精度高、实时性强、硬件简单、软件编程容易,是变频调速系统中最有发展前景的研究方向之一。本文介绍了基于 DSP TMS320LF2407A 并使用 SPWM 控制技术的全数字单相变频器的设计及实现方法,最后给出了实验波形。

## 1 TMS320LF2407A 芯片简介

TMS320LF2407A 是 TI 公司专为电机控制而设计的单片 DSP 控制器。它具有高性能的 C2XLP 内核,采用改进的哈佛结构,四级流水线操作,它不仅具备强大高速的运算能力,而且内部集成了丰富的电机控制外围部件,如事件管理器 EVA、EVB 各包括 3 个独立的双向定时器;支持产生可编程的死区控制 PWM 输出;4 个捕获口中的 2 个可直接连接来自光电编码器的正交编码脉冲;2 个独立的 10 位 8 路 A/D 转换器可同时并行完成两个模拟输入的转换;片内的串行通信接口可用于与上位机通信;片内串行外设口用于与外设之间通信;40 个可独立编程的复用 I/O 口可以选配成键盘输入和示波器显示的输入/输出口。这些为实现交流电机变频调速控制提供了极大的便利<sup>[2]</sup>。

## 2 系统总体方案及硬件电路

图 1 为系统硬件框图。在本系统中,以 TMS320LF2407A 为主要控制芯片,逆变器采用 SPWM

调制控制方式实现变频控制算法,系统硬件由主电路、显示电路、键盘输入电路以及检测与保护电路等组成。DSP 首先从键盘采集需要的频率信号,接着通过运算产生相应的 SPWM 信号,通过光耦传给驱动电路再控制逆变桥中的功率管导通与关断,同时采集主电路中的有关信号并判断有无故障输出。若有故障则关断 DSP 的 SPWM 输出,从而关断主电路。

### 2.1 主电路组成

图 2 为系统的主电路,由整流电路、滤波电路和逆变电路 3 部分组成。整流电路为三相不可控整流桥,由它将 380 V、50 Hz 交流电整流变换成脉动直流电。电路中采用滤波电容进行滤波,滤去电压纹波,同时滤波电容还在整流电路与逆变器之间起去耦作用,以消除相互干扰。整流后的直流电压平均值为  $U_0 = 1.35U_2 \approx 1.4U_2 = 540 \text{ V}$ 。 $U_2$  为交流侧电压有效值。考虑到输入三相电有 10% 的波动,所以  $U_0 = 500 \sim 560 \text{ V}$ 。主电路图中的功率器件 G1、G2、G3、G4 表示是 IGBT 器件,其型号是 MG50Q2YS40,耐压值为 1 200 V,控制电压为  $\pm 20 \text{ V}$ ,电流为 50 A。R1

为限流电阻,防止冲击电流对 IGBT 的损害。L1、L3 为共模滤波器,HL1、HL2 为电流霍尔元件,其作用为检测主电路的电流值,作为保护电路的输入信号;另外还用到电压霍尔元件,检测电压值,作为保护电路的输入信号和电

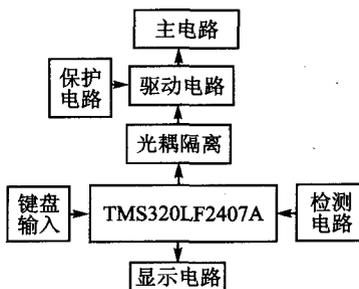


图 1 系统硬件框图



压反馈信号,组成电压负反馈。采用 SPWM 技术控制的 4 个 IGBT 进行逆变,输出的交流电经过变压器变压后,再用 LC 滤波器进行滤波,输出 220 V 频率可变的交流电。

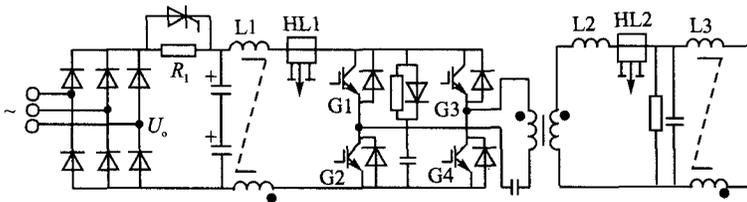


图2 系统主电路

### 2.2 驱动与保护电路

图3为驱动电路原理。本系统逆变电路功率器件采用 IGBT 芯片,因此驱动电路选用 4 片三菱公司生产的驱动模块 M57962L。该驱动模块为混合集成电路,将 IGBT 的驱动和过流保护集于一体。图3中 M57962L 的 13 脚接 DSP 的 PWM1(其他 3 片 M57962L 分别接 PWM2、PWM3、PWM4),14 脚接地,1、6 脚分别接电源。另外, M57962L 采用的是低电压驱动,即只有 13 脚输入负电位时才能驱动 M57962L。这样做的优点在于防止出现干扰,当出现干扰波形时,采用低电平驱动的 M57962L 不能驱动。另外在关断过程中,如果电压变化过大,则会产生擎住现象,使 IGBT 失控,引起上下桥臂直通,因此,采用 RC 缓冲电路来抑制过电压和电压变化率 du/dt。

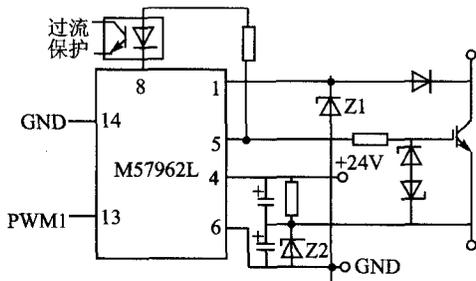


图3 IGBT 驱动与保护电路

### 3 系统的数字实现

系统逆变器部分采用 SPWM 规则采样算法,其基本思想是使输出的脉冲按正弦规律变化,这样降低输出电压中的谐波分量,

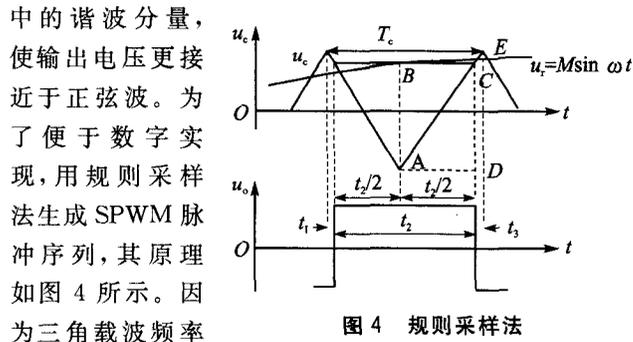


图4 规则采样法

比正弦波频率高很多,所以将三角载波 uc 的一个周期内的正弦调制波 ur 看作不变,这样在一个三角波周期,只需在 B 点取样一次,便可使生成的 SPWM 脉冲中点与对应三角波的中点(A 点)重合,从而使 SPWM 脉冲的计算大为简化。设 uc 的幅值为 1,正弦调制信号 ur = Msin ωt,其中 0 ≤ M < 1 (M 为调制度)。由于 ΔABC ~ ΔEDA,故有:<sup>[3]</sup>

$$\frac{1 + M \sin \omega_r t}{t_2/2} = \frac{2}{T_c/2} \quad (1)$$

所以有:

$$t_2 = \frac{T_c}{2} (1 + M \sin \omega_r t) \quad (2)$$

脉冲两边的间隙宽度为:

$$t_1 = t_3 = \frac{T_c - t_2}{2} = \frac{T_c}{4} (1 - M \sin \omega_r t) \quad (3)$$

采用分段调制方式,在每个频率区内,载波比 N = fc/f1 为常数,可得:

$$T_c = \frac{1}{f_c} = \frac{1}{N f_1} \quad (4)$$

正弦函数值采用查表的方式求出。另外在每段的同步调制中取 N 为 3 的倍数。

软件程序设计是逆变控制电路设计的核心。本系统软件主要包括:主程序、中断服务程序、PI 调节程序、显示程序等。图5为主程序流程,图6为中断程序流程。在主

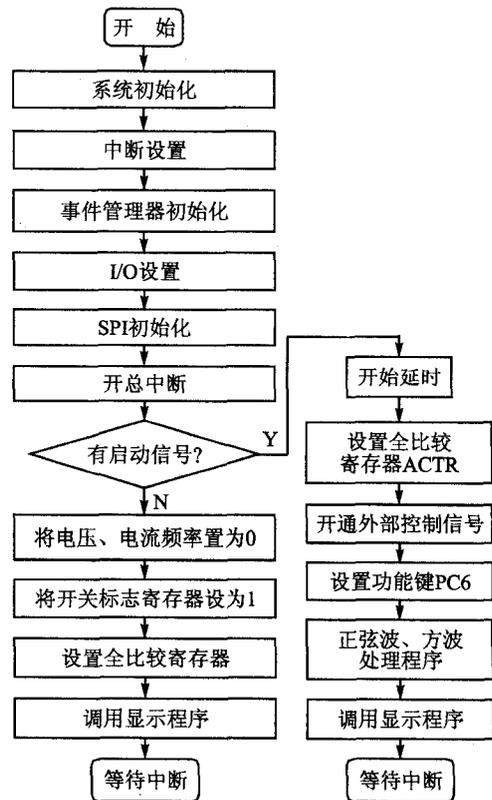


图5 主程序流程

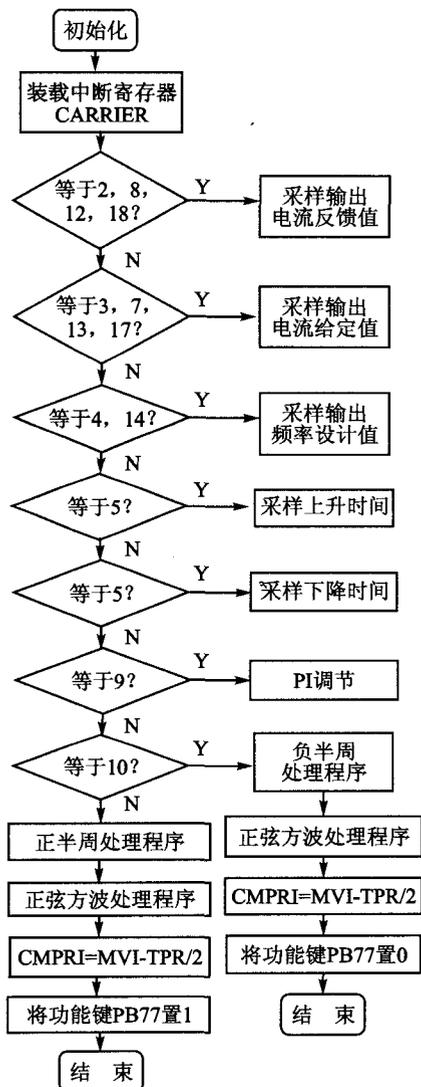


图6 中断程序流程

程序中,完成 DSP 系统及外部设备初始化, I/O 控制信号管理及正弦波信号产生和处理等。在中断程序中,完成电流、电压检测, PI 调节计算, 计算恒压频比下的调制度  $M$  和频率值, 正弦波处理并给比较器 CMPRI 赋值等。

#### 4 实验结果

图7为同一桥臂上下管 PWM1 与 PWM2 波形。由图可见,上下桥臂设置了  $2 \mu s$  的死区时间,以保证逆变电路的安全工作。图8为 DSP 发出的 PWM 波形, (1)、(2)为两个互补的等幅不等宽的脉冲信号。其中高电平为 +5 V, 低

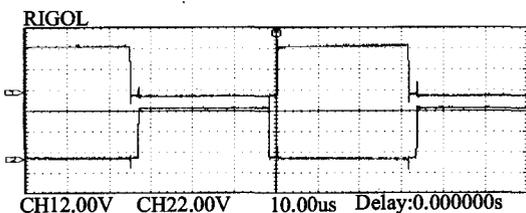


图7 同一桥臂上下管 PWM 波形

电位为 0 V, 脉冲宽度是按照正弦规律变化的。由于 M57962L 芯片采用的是负电位驱动, 所以要采用电平转换电路。图9为最终驱动 IGBT 的 SPWM 波形(转换后的 SPWM 波形), 从图中可以看出, 波形的宽度是按照正弦规律变化的。图 10(a)、(b)分别为  $f=200 \text{ Hz}$  和

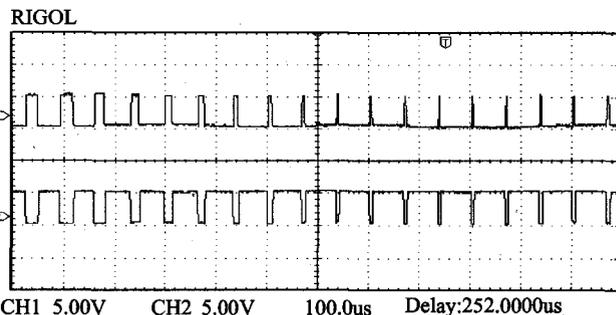


图8 DSP 发出的 PWM 波形

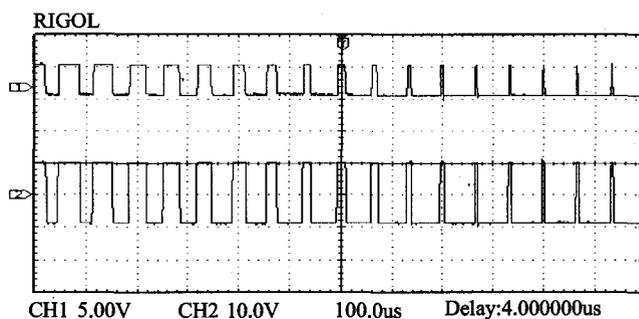
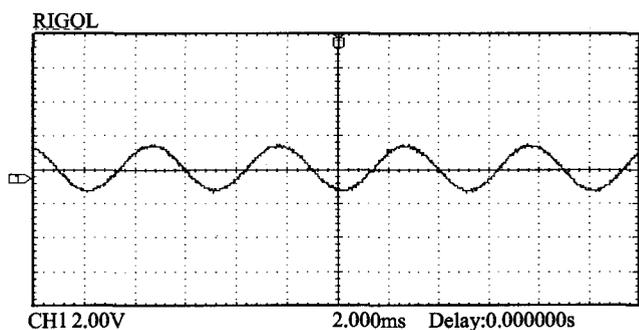
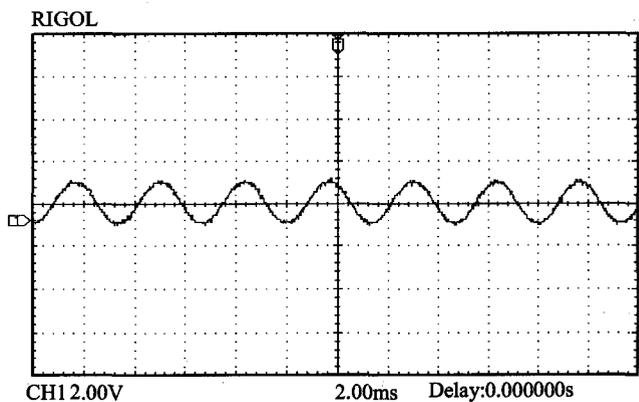


图9 转换后的 SPWM 波形



(a)  $f=200 \text{ Hz}$  时的输出电压波形



(b)  $f=300 \text{ Hz}$  时的输出电压波形

图10 输出电压波



- ③ 等待接收者的短信开始应答信号(即 7DH);
- ④ 收到应答信号后开始发送短信内容;
- ⑤ 短信内容发完后发短信结束码(即 7EH);
- ⑥ 等待接收者的短信结束应答信号(即 7CH)。

由于是无线发送与接收,有时会接收不到信号,所以当没有收到短信开始应答信号时就从第一步再开始执行。若执行 8 次依旧没有收到应答信号,就得出“无此人发送失败”的结果。若没有收到短信结束应答信号,就得出“发送中止失败”的结果,否则就显示“对方已收到”。

因为无线发射的特点,第一组字码非常容易受零电平干扰,往往会产生误码,所以刚开始发射的短信开始码一般要发 2~3 次。如图 9 所示,发送了 5 个码字的数据: 7FH, 7FH, 57H, 44H, 58H(分别为开始码、开始码、W、D、X,其中“WDX”为万能名)。然后,等待接收者的短信开始应答信号再发短信内容。



图 9 连续发送的波形

### 3.3 接收短信模块

在这个模块中实现对 MCP 解读功能。根据 MCP,在解读中只要判断出接收到短信开始码,就将收短信的标志位置 1,并开始设置一个通信超时值,然后继续接收下 3 个字符再与本身名字或万能名比较。应用层的短信通信协议要求接收机接收短信顺序是:

- ① 一旦接收到短信开始码就进入接收短信;
- ② 接收 3 个字符后与本身名或万能名比较,若同名就反馈应答信号,否则返回到①;
- ③ 继续接收短信内容;
- ④ 接收到结束码后反馈应答信号,若没收到结束码且通信超时则返回到①。

在任何状态收到短信的结束码后,都会在液晶显示屏

的第一行显示“receive a mess”,并以声、光形式提示收到短信,由用户手动查阅新的短信。

### 3.4 编辑短信模块

这个模块实现对短信的编辑,类似于手机编辑短信的模式;有单字删除键、快速删除键、全部清除键、标点符号键、输入状态大小写字母或数字的切换键,短信尾部可显示光标。因为受液晶屏幕所限,规定一条短信内容长度为 70 个字符,编辑时限制字数为 67 个字符,发送时软件上自动在短信尾部添加本机名并发送。液晶屏幕第一行显示正在编辑状态、现在的时间和大小写输入状态。在该模块中,主要是要定位好显示和编辑指针,然后对各个按键做处理。

### 结 语

本文阐述的设计方法集编码和解码技术、通信协议技术、抗干扰技术、编辑短信技术、液晶点阵显示技术于一体。实现任意两机之间可以互发 70 个 ASCII 码字符的短信,可以像普通手机一样编辑短信,机子可以由用户命名以区别其他机子,实现一机对一机的通信,也可以用万能名(“WDX”)实现一机对多机的通信。可以存储一条发送出去的短信,也可以存储一条刚接收到的短信和旧的短信。整个系统人机交互界面友好,类似于普通手机系统,有操作提示,易于操作。本设计中采用分层的协议可以很容易地把无线通信模块用其他性能更好的无线模块替换。

#### 参考文献

- [1] 李荣正,刘启中,陈学军. PIC 单片机原理及应用[M]. 第 2 版. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.

周锦荣(硕士)、周小方(副教授),主要研究方向为信号信息处理与嵌入式系统开发。

(收稿日期:2008-01-30)

61  $f=300$  Hz 时的输出电压波形。实验结果表明,输出电压波形质量好,总谐波畸变率低。

## 5 结 论

基于 DSP 的数字控制技术能大大改善产品的一致性,克服模拟控制带来的产品性能分散性,同时增强了控制的柔性,简化了系统结构,提高了整个系统的稳定性和可靠性,有较好的应用前景<sup>[4]</sup>。本设计应用 TMS320LF2407A 芯片采用 SPWM 控制技术,完成了将 380 V、50 Hz 的交流电源变换成输出 220 V、频率为 100~400 Hz 可调的交流电源。通过对样机的实际测量表明,输出波形质量良好,克服了过去这类电源采用体积大的中频变压器时出现的噪声大、响应

慢、波形畸变严重等缺点,是有较好应用前景的产品。

#### 参考文献

- [1] 陈坚. 电力电子学——电力电子变换和控制技术[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- [2] 刘和平. TMS320LF240X DSP 结构、原理及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [3] 孟元东,姜承芝. 基于 dsPIC30F1010 高频正弦波逆变器的研究[J]. 电力电子技术,2007,41(7):75-77.
- [4] 王宏伟,梁晖. 基于 DSP 控制的小型功率异步电机变频调速系统[J]. 电力电子技术,2005,39(3):95-97.

胡学芝(教授),从事电力电子、电机与控制的科研与教学工作。

(收稿日期:2008-02-16)