

基于 DSP 和 SVPWM 技术的变频器设计

王 瑾

(陕西纺织服装职业技术学院 咸阳 712000)

摘要: 为了提高变频器的动、静态性能和性价比,提出了一种以数字信号处理器 TMS320LF2407A DSP 为控制核心的,以空间矢量脉宽调制(SVPWM)技术为理论基础的全数字通用变频器的设计方案,包括其详细的软、硬件设计措施及 SVPWM 算法的实现。通过实验测试,结果表明所设计的新型变频器结构简单,经济实用,并具有良好的动、静态性能。

关键词: 空间矢量脉宽调制; DSP; 变频器

中图分类号: TN773 **文献标识码:** A

Design of frequency converter based on DSP and SVPWM technology

Wang Jin

(Shaanxi Textile and Garment Institute, Xianyang 712000)

Abstract: In order to improve dynamic and static performance of frequency converter, this paper presents a full digital frequency converter design based on TMS320LF2407A DSP and the theory of space vector pulse width modulation (SVPWM) technology, including its detailed software and hardware design and SVPWM algorithm realization. Through experimental test, the results prove that the design of this new converter is simple, economical and practical, and has a good dynamic and static property.

Keywords: SVPWM; DSP; frequency converter

0 引言

随着微机控制技术和电力电子技术的发展,交流变频调速系统的性能指标得到了迅速提高,变频调速技术也成为电机调速系统的主流。同时,变频器作为变频调速系统的核心部件也得到了广泛应用。由于以前大多数变频器都是采用传统的 SPWM 技术进行设计的,然而运用该技术设计的变频器在使用中,存在输出谐波大,电压利用率低的现象^[1]。

为了提高变频器的动、静态性能和性价比,本文以 TMS320LF2407A DSP 为核心,以 SVPWM 技术为基础实现了一种全数字通用变频器的设计。此变频器具有结构简单,成本低,调试方便等特点。本文还对该变频器的软硬件设计做了详细的介绍,并给出了实验测试波形。

1 变频器结构

基于 DSP 和 SVPWM 技术设计的新型变频器结构框图如图 1 所示。

变频器由主电路、控制电路、保护电路以及控制电源等几部分组成。主电路主要用于实现交流-直流-交流的变换功能;控制电路用于给主电路提供各种逻辑控制信号;

保护电路可实现对变频器过流、过压、过热等情况的检测保护;控制电源用于给控制电路提供所需的各种电压等级的直流电源。

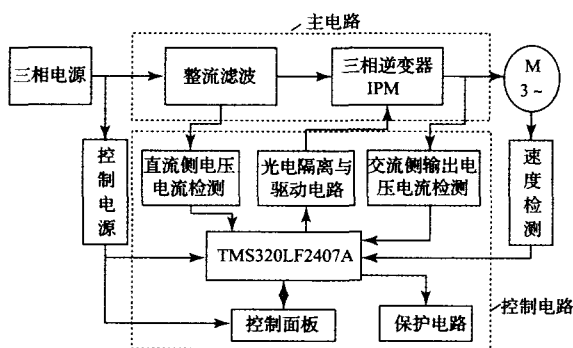


图 1 系统结构框图

2 变频器硬件设计

变频器的硬件电路设计主要包括主电路、控制电路和保护电路设计等几部分。

2.1 主电路

主电路在控制电路的控制下,通过交流-直流-交流变

换,给异步电动机提供可调压调频的交流电源。主电路由整流滤波电路、逆变电路、直流电压电流检测电路等组成,其电路如图 2 所示。

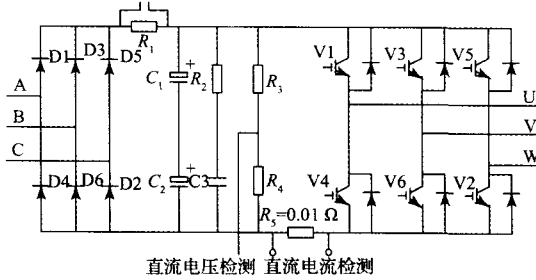


图 2 变频器主电路

1)整流滤波电路:整流电路由不可控二极管三相整流桥组成,三相交流电经 6 个二极管的全波整流变成直流电;电解电容 C_1 、 C_2 为整流滤波电容,在逆变器负载和直流电源之间提供无功功率缓冲;无感电阻 R_2 和电容 C_3 组成了一个吸收缓冲电路,能有效抑制浪涌电压^[2]。

2)逆变电路:使用三菱公司的智能功率模块 PM300cla06,该模块由 6 个带续流二极管的 IGBT 及相应的驱动保护电路组成;其门极触发信号来自 DSP 控制电路,按照 SVPWM 控制规律控制 6 个 IGBT 管的通断,将整流滤波后的直流电逆变成频率、幅值可调的交流电,这是变频器实现变频的执行环节^[3]。

3)直流电压电流检测电路:直流电压检测信号取自 R_3 、 R_4 分压电路,经光电隔离和信号调理后送入 DSP 控制电路,实现过压、欠压保护。电流检测信号取自电阻 R_5 ,信号经放大、比较处理后送给 DSP 的 \overline{PDPINT} 引脚;一旦发生过流情况,变频器关断所有控制信号,实现过流保护。

2.2 控制电路

控制电路主要包括 DSP 及其外围配置电路、交流电压电流检测电路、电机速度检测电路、光电隔离及功率驱动电路等几部分。

控制电路采用 TMS320LF2407A DSP,该芯片是 TI 公司生产的一款新型 16 位定点数字信号处理器,它集高速数字信号处理和电机控制于一体,并以其外设集成度高、A/D 转换速度快、控制算法易于实现等特点,而被广泛应用于电机数字化控制。同时,采用该芯片可以简化变频器结构,提高变频器的性价比^[4]。以 TMS320LF2407A 为核心的变频器控制电路原理框图如图 3 所示。

控制电路的工作原理就是采用先进的空间矢量算法,把逆变器和电机作为一个整体,利用 TMS320LF2407A 的事件管理器 A 产生 6 路 PWM 信号,经功率驱动芯片 IR2130 驱动逆变电路实现变压、变频控制^[5];并对电压、电流及转速信号进行检测,当变频器发生故障时,及时做出反应。

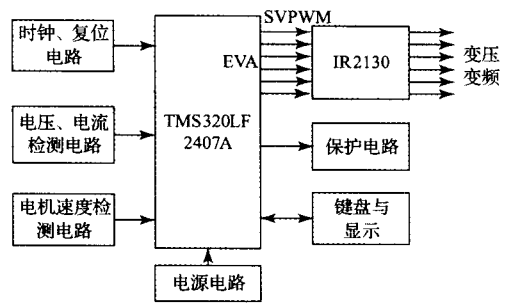


图 3 变频器控制电路原理图

3 变频器软件设计

变频器的软件设计主要包括:主程序、SVPWM 中断服务子程序、定时中断服务子程序、键盘与显示程序、过流过压检测与保护程序等几部分设计。

在软件设计中,SVPWM 技术能否合理使用将直接影响到变频器输出电压的谐波分量大小,及电压利用率高低。

3.1 SVPWM 空间矢量算法

SVPWM 空间矢量算法是从电动机角度出发,将变频器和电动机看成一个整体,目的是使交流电机产生幅值恒定的圆形磁场,进而控制电机转速,其算法原理如下:

对于一个三相电压型逆变电路,a、b、c 分别表示 3 个桥臂的开关状态,则三相逆变器输出的相电压矢量 $[U_A \ U_B \ U_C]^T$ 与开关状态矢量 $[a \ b \ c]^T$ 的关系为^[6]:

$$\begin{bmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \end{bmatrix} = \frac{U_{DC}}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中:UDC 为直流电源电压。

由于开关状态 a、b、c 有 8 种模式,所以对应的相电压 U_A 、 U_B 、 U_C 也有 8 种组合,其中 2 个零向量,6 个非零向量,这 8 个矢量和就构成了基本电压空间矢量,如图 4 所示。

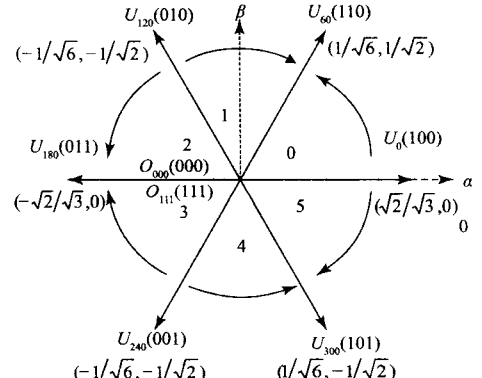


图 4 基本电压空间矢量

为了计算方便,需要把相电压从三相 ABC 平面坐标

系中转化到 $\alpha\beta$ 平面直角坐标系中,其转换式为^[7]:

$$\begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \end{bmatrix} \quad (2)$$

实际控制中,常用正多边形旋转磁场代替圆形旋转磁场;为了获得近似程度更高的圆形旋转磁场,就必须有更多的逆变器开关状态。可利用 6 个非零的基本空间矢量组合出更多的开关状态,如图 5 所示。

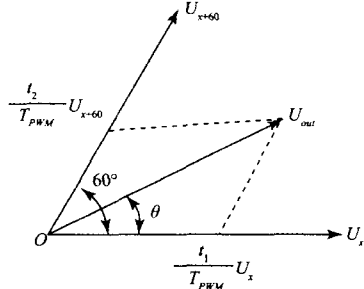


图 5 电压空间矢量的线性组合

由图可知, U_{out} 等于 t_1 / T_{PWM} 倍的 U_x 与 t_2 / T_{PWM} 倍的 U_{x+60} 矢量和,即:

$$U_{out} = \frac{t_1}{T_{PWM}} U_x + \frac{t_2}{T_{PWM}} U_{x+60} \quad (3)$$

式中: U_x 和 U_{x+60} 表示相邻的两个基本电压空间矢量; U_{out} 是输出的参考相电压矢量; t_1 和 t_2 分别是 U_x 和 U_{x+60} 的作用时间; T_{PWM} 是 U_{out} 的作用时间。

按照此方式,在每一个 T_{PWM} 期间,都改变相邻基本矢量的作用时间,并保证所合成的电压空间矢量幅值相等。因此,当 T_{PWM} 取足够小时,电压空间矢量的轨迹就为一个近似圆形的正多边形。

t_1 、 t_2 和 t_0 的计算方法^[8]

当 U_{out} 、 U_x 和 U_{x+60} 投影到平面直角坐标系 $\alpha\beta$ 中时,式(3)可写成:

$$\begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \end{bmatrix} = T_{PWM} \begin{bmatrix} U_{x\alpha} & U_{x+60\alpha} \\ U_{x\beta} & U_{x+60\beta} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} U_{out\alpha} \\ U_{out\beta} \end{bmatrix} \quad (4)$$

当已知 U_{out} 在平面直角坐标系中的投影 $\begin{bmatrix} U_{out\alpha} \\ U_{out\beta} \end{bmatrix}$ 及

逆矩阵 $\begin{bmatrix} U_{x\alpha} & U_{x+60\alpha} \\ U_{x\beta} & U_{x+60\beta} \end{bmatrix}^{-1}$ 后,就可以确定 t_1 和 t_2 。当逆变器单独输出零矢量 O_{000} 和 O_{111} 时,电动机的定子磁链矢量 ψ 是不动的。根据这个特点,在 T_{PWM} 期间插入零矢量作用时间 t_0 ,使 $T_{PWM} = t_1 + t_2 + t_0$,通过此方法可以调整角频率 ω ,达到变频的目的。

3.2 SVPWM 算法的软件实现

SVPWM 波可通过对 DSP 软件的编程来产生,本设计采用 7 段式 SVPWM 波形,通过对 TMS320LF2407A 事件管理器的定时器周期寄存器和比较单元的设置,实现相应

的 SVPWM 波输出,其中 SVPWM 中断子程序流程图如图 6 所示。

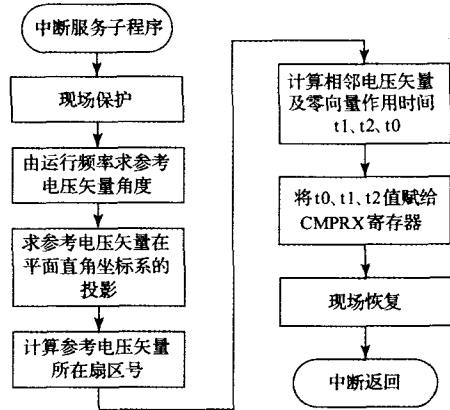


图 6 SVPWM 中断子程序流程图

7 段式电压空间矢量 PWM 波形,由 3 段零矢量和 4 段相邻的非零矢量组成,3 段零矢量分别位于 PWM 波的开始、中间和结尾。其中每个扇区 U_x 、 U_{x+60} 的选择顺序如图 4 所示。

SVPWM 中断服务子程序的任务是在每一个 PWM 周期里,计算出下一个 PWM 周期中的 t_1 、 t_2 和 t_0 值,并送入 DSP 的比较寄存器 CMPRX,使输出的 PWM 波占空比发生变化,从而获得满足控制要求的 SVPWM 波形。其中, t_1 、 t_2 为相邻两个基本电压空间矢量的作用时间, t_0 为零向量的作用时间。

SVPWM 波由 TMS320LF2407A 的时间管理器 PWM1~6 脚输出,经功率驱动芯片 IR2130 驱动逆变电路,实现变频调速。

4 实验结果

利用上述软、硬件设计方法,完成了变频器的制作。在测试过程中,变频器负载选用鼠笼式异步电动机,其主要参数为:功率 250 W、额定电压 380 V、Y 接法;系统晶振频率为 20 MHz,载波频率和采样频率为 20 kHz;异步电动机工作时线电流测试波形如图 7 所示(频率 25 Hz)。

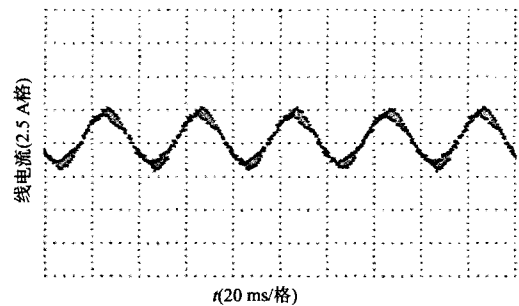


图 7 频率 25 Hz 时线电流波形

(下转第 155 页)

用了 PSD 位置分辨力高,响应快的特点;系统与单片机结合,简化了系统电路。

实验表明,系统稳定性良好,分辨力优于 0.001 mm。

参考文献

- [1] 刘丽华,张琢,张善锺.几种大平面平面度测量方法比较[J].宇航计测技术,1998,18(6):39-42.
- [2] 张晓芳,俞信,蒋诚志.位置敏感探测器 PSD 特性的试验研究[J].仪器仪表学报,2003(1):95-99.
- [3] 赵灿,程俊廷,何风梅.三维激光扫描测量机随动运动控制系统与图像采集系统的设计[J].电子测量与仪器学报,2004(4):102-105.
- [4] 李义双.激光平面系统的设计与实现[J].机器人,2003,25(2):140-142.

- [5] KIM S H, PARK K K, PARK K T. Pose detection of moving vehicle using rotating LSB (laser slit beam) Proceedings [C]. ISIE 2001, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, June 2001(1): 12-16.
- [6] 卢剑光.基于激光平面的平面测量系统的研究[D].天津:天津大学,2005.
- [7] 吴学兵,朱国力,邹万军.基于 PSD 的电子激光标靶的研究[J].机械与电子,2006(7):38-40.
- [8] 梁长垠.位置自动检测与数据处理[J].传感器技术,2001,20(7):42-44.

作者简介

王霞,女,汉族,1974年生,山西太原人,硕士研究生。



(上接第 123 页)

由测试结果可知:异步电机的线电流波形在频率为 25 Hz 时基本接近正弦波,且此时异步电机获得了幅值恒定的圆形磁场,从而验证了变频器软、硬设计方法的正确性,及 SVPWM 算法实现的有效性。

5 结 论

本文以 TMS320LF2407A 为控制核心,完成了一种全数字通用变频器的设计;该变频器采用了新型 SVPWM 空间矢量算法,大大提高了电压利用率,降低了输出电压的谐波分量。通过实验测试,结果表明:所设计的变频器运行稳定,具有良好的动、静态特性,工作性能达到了预期效果,具有较强的实用价值。

参考文献

- [1] 赵莉华,何雄.三电平变换器 SVPWM 控制算法的研究[J].电力电子技术,2008,42(3):63-65.
- [2] 黄运.基于 DSP 的交流异步电机调速控制器的研究[D].武汉:武汉理工大学,2005.

- [3] 吴永深.基于 DSP 的 SVPWM 电机变频控制研究[J].电子测量技术,2007,30(2):129-131.
- [4] 岳建梅.基于 DSP 硬件平台语音滤波系统的快速实现[J].电子测量技术,2006,29(2):66-68.
- [5] 郭建平,欧阳红林.基于 DSP 变频器的矢量控制[J].防爆电机,2007,42(6):29-31.
- [6] 藤上千子.基于 DSP 的 SVPWM 实现方法研究[J].仪器仪表学报,2005,26(8):701-703.
- [7] 山圣峰.由 DSP 芯片生成电压空间矢量脉宽调制波[J].微电机,2002,35(5):51-55.
- [8] 王晓明,王玲.电动机的 DSP 控制[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.

作者简介

王瑾,女,1974年出生,陕西咸阳人,硕士研究生,讲师,主要研究方向为控制理论与控制工程。
E-mail:wj740313@163.com

