

# 基于 STM32 的简易矢量变频器的设计<sup>\*</sup>

周传泽<sup>1</sup> 马贝贝<sup>1</sup> 范志宏<sup>2</sup>

(1. 上海理工大学光电信息与计算机工程学院 上海 200093; 2. 上海工业自动化仪表研究院 上海 200233)

**摘要:** 针对有些变频器复杂的工业安装环境及节约成本的考虑, 提出一款基于 STM32 的低成本矢量变频器的设计方案。给出了系统的硬件和软件的组成; 硬件设计在满足系统的基本功能的同时, 优化了空间布局, 使系统体积小, 重量轻, 便于安装。阐述了空间矢量脉宽(SVPWM)原理及其在 STM32 上的实现方案, 同时结合总线技术, 来达到精确控制分散的系统的目的。最后通过实验表明, 系统谐波少, 实时性好, 具有良好的节能效果与可靠性。

**关键词:** STM32; 变频器; 总线技术; SVPWM

**中图分类号:** TM5    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.1099

## Design of simple vector control inverter based on STM32

Zhou Chuanze<sup>1</sup> Ma Beibei<sup>1</sup> Fan Zhihong<sup>2</sup>

(1. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Shanghai institute of process automation instrumentation, Shanghai 200233, China)

**Abstract:** In view of the disadvantages of some complex industrial installation environment and saving cost in general inverter, a simple vector control inverter which based on STM32 is proposed. The design of hardware and software were given. The hardware optimized design of it's structure, so it more smaller, lighter and easy installation. The principle of SVPWM modulation and it's realized on STM32 were described. Thus it combine with field-bus technology can bring flexible and precise control in disperse system. The experimental result show that the system has less harmonic ware, real time control function, energy-saving and reliable.

**Keywords:** STM32; inverter; field-bus; SVPWM

## 1 引言

变频驱动系统广泛应用于电机高性能调速控制及一般性能节能调速, 成为现代工业生产的重要动力保证和节能降耗手段<sup>[1]</sup>。传统变频器具有体积大、性能低、价格高的特点, 除此之外还对环境有一定的要求。对于分散控制的场合, 传统变频器难以适应工业应用的需求<sup>[2]</sup>。

本文基于 STM32 的矢量变频器的控制系统, 采用模块化设计, 控制面板、用户接口可按需求自由组合, 便于安装、编程和初始化设计, 轻松实现异步电动机的调速要求。同时采用总线技术<sup>[3]</sup>, 可方便与控制系统、集散系统连接, 实现计算机驱动系统控制和工厂车间集中控制, 控制模式如图 1 所示。因此该变频器在汽车、食品、物料输送等传输机械工业等领域有很好的应用情景。

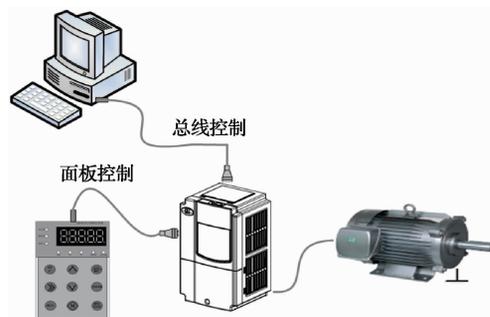


图 1 变频器控制模式示意

## 2 硬件设计

### 2.1 基本结构

变频器基本结构如图 2 所示, 包括主电路和控制电路组成。主电路包括 EMI 滤电路、三相整流电路、电容储能滤波电路和 IPM 功率模块, 在整流电路和储能电路之间有

电阻和接触器组成的预充电电路,在变频器上电期间起预充电和保护作用。控制电路是以 STM32 微控制器为核心,包

括开关电源电路,电压电流检测电路,故障报警保护电路,信号隔离放大电路,操作控制电路,MCU 基本电路等。

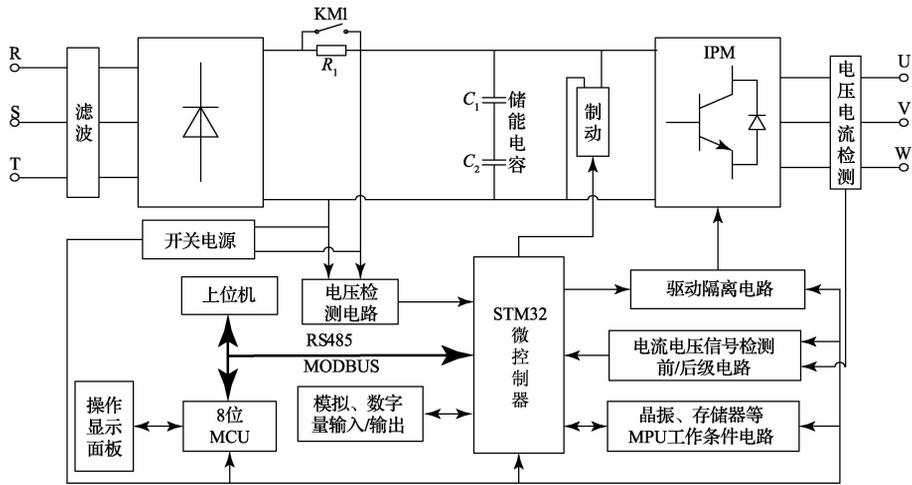


图2 变频器基本结构

## 2.2 开关电源电路

开关电源电路提供整机控制电路的供电,一般是主电路的直流回路( $C_1$ 、 $C_2$  两端)取得 530 V 直流供电,经 DC-AC-DC 变换后,取得 +5V、+15V、-15V、24V 等几路稳定直流电压,提供给控制电路、IGBT 驱动器、前级后级电路等<sup>[4]</sup>。变频器开关电源电路如图 3 所示。脉冲发生器件选用 UC3845 芯片, $R_1$ 、 $C_1$ 、 $R_2$ 、 $C_2$ 、 $R_3$  与变压器二次侧 15 V 输出组成电压反馈回路,开关管经由电阻  $R_{16}$ 、电容  $C_9$  组成的 RC 滤波器行成电流反馈信号,电压和电流双反

馈用来实时调节输出频率的占空比<sup>[5]</sup>。 $R_5 \sim R_{10}$  将直流电降压限流后为芯片初始上电时提供工作电源。 $C_3$  和  $R_4$  为芯片提供输出可调振荡频率;变压器 L1 为芯片提供 5 V 的工作电压,电阻  $R_0$  与电容  $C_5$ 、 $C_6$  组成 RC 滤波电路,稳定直流电源;电阻  $R_{11} \sim R_{14}$ 、电容  $C_7$  二极管 D2、D3 组成 RCD 箝位电路,起关断缓冲作用,主要限制 MOS 关断时高频变压器漏感能量引起的尖峰电压和次级线圈反射电压的叠加。 $R_{15}$  是开机保护电阻,用来保护 MOS 管。

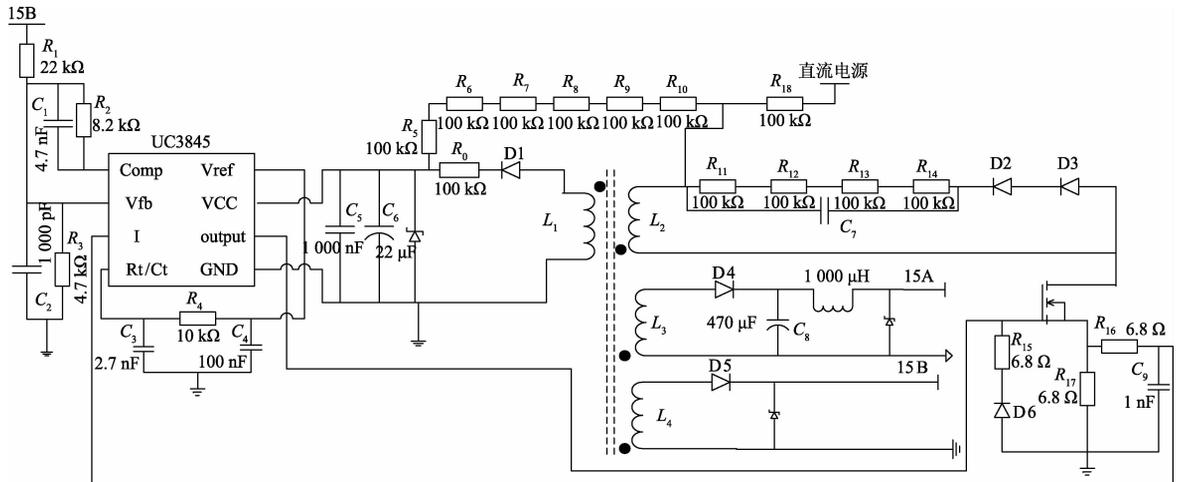


图3 开关电源硬件结构

## 2.3 IPM 电路

IPM 是一种先进的功率开关器件,具有 GTR(大功率晶体管)高电流密度、低饱和电压和耐高压的优点,以及 MOSFET(场效应晶体管)高输入阻抗、高开关频率和低驱动功率的优点<sup>[6]</sup>。而且 IPM 内部集成了逻辑、控制、检测和保护电路,使用起来方便,不仅减小了系统的体积以及开发时间,也大大增强了系统的可靠性。

本系统采用三菱 PS22A72 小型 IPM 模块,PS22A72 内置栅极驱动和保护电路,保护功能有控制电源欠压锁定保护、过热保护和短路保护,一些六管封装的 C 型模块还具有过流保护功能。当其中任一种保护功能动作时,IGBT 栅极驱动单元就会关断门极电流,并输出一个故障信号。其内部功能结构如图 4 所示。

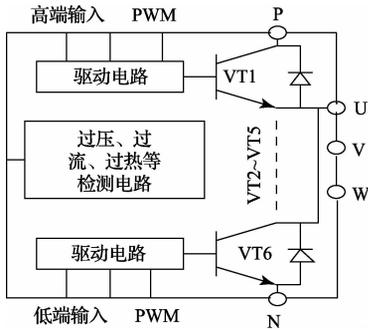


图 4 IPM 内部结构

### 2.4 采样与保护电路

采样信号由变频器的 U、V、W 端子取得输出电流信号，经后续电路处理为各路符合 MCU 要求的模拟或开关信号，最后输入 MCU 的相关引脚，经内部程序运算，输出控制、显示、报警、停机保护等各种控制信号<sup>[7]</sup>。采样电路一般由电压或者电流互感器组成，考虑到系统的体积以及小功率等特点，系统采样电路采用电阻的形式，先经过电阻分压，再经过模拟信号放大电路调控，将输入信号变成 MCU 可识别的 0~3.3 V 的电参量形式，如图 5 所示。

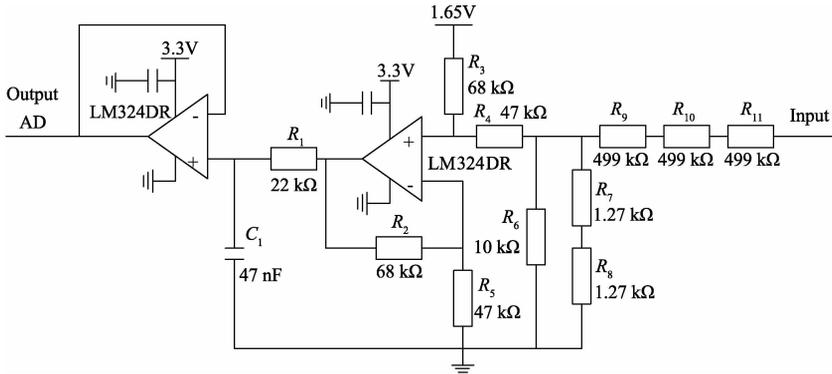


图 5 电压采集信号调理电路

### 2.5 操作显示面板

变频器的操作显示面板与控制电路之间通过通信电缆连接，面板由 8 位 MCU 组成，硬件结构如图 6 所示。操作面板可以将变频器的运行数据，如运行电流值、直流电

压值、输出频率值，由 MCU 上传至面板，由数码管显示其数值，并作出工作状态指示，如运行、停机、故障指示等<sup>[8]</sup>。同时也可以将按键操作信号下传至 MCU，用于起、停操作或修改运行参数。

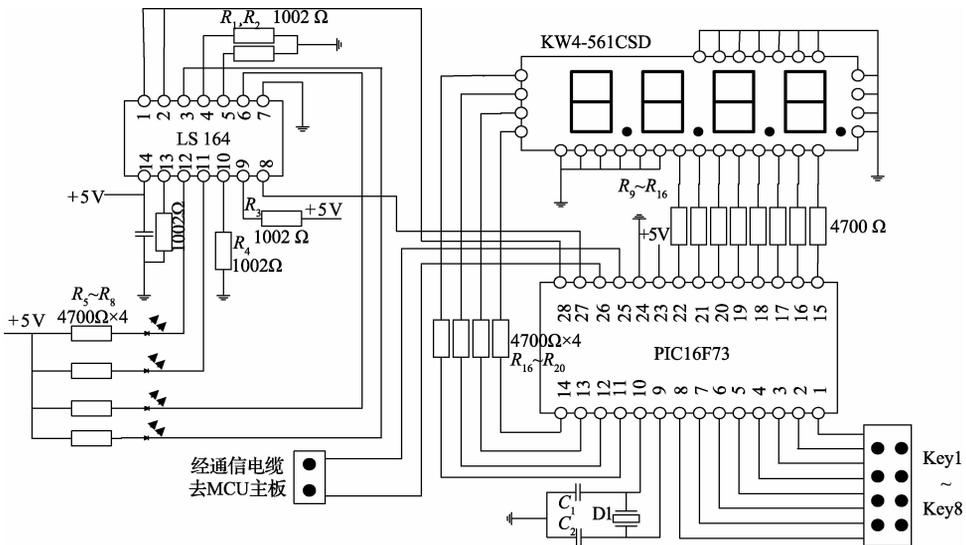


图 6 操作显示面板硬件结构

### 3 软件设计

#### 3.1 SVPWM 调制方法

空间矢量脉宽调制控制具有线性范围宽、高次谐波少、易于数字化等优点,所以在感应电机中应用广泛<sup>[9]</sup>。在传统的三相桥式驱动电路中,MOS管有8种开关组合,即000、001、010、011、100、101、110、111。其中000、111为零矢量。6个非零基本电压空间矢量将 $\alpha\beta$ 平面分成6个扇区,如图7所示。为了得到一个圆形的旋转磁场,可以通过控制8个基本的空间电压矢量的作用时间,合成各个基本空间电压矢量的作用时间和输出顺序。

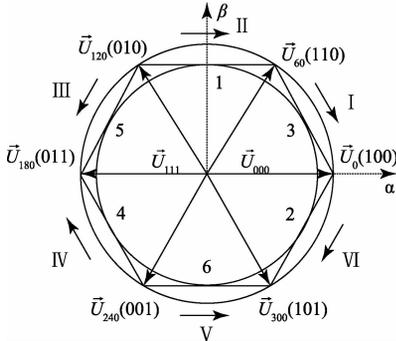


图7 空间矢量原理

#### 3.2 SVPWM 调制方法在 STM32 上的实现

根据SVPWM的算法,设置STM32高级定时器TIM1中央对齐模式TIM\_CounterMode\_CenterAligned1,为了提高定时器分辨率,直接将72MHz作为定时器计数时钟,没有预分频。TIM1的CH1、CH1N、CH2、CH2N、CH3、CH3N通道对应的GPIO引脚设置为GPIO\_Mode\_AF\_PP模式才能正常输出<sup>[10]</sup>。主程序和中断程序如图8和9所示。

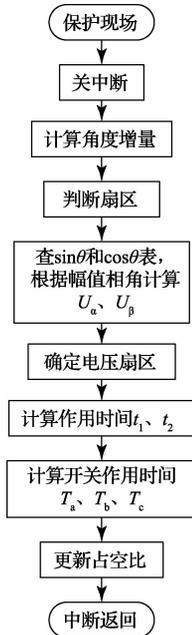


图8 主程序

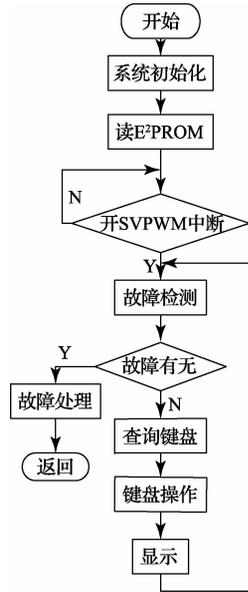


图9 中断子程序

### 4 实验结果

本系统根据前述SVPWM的实现方法,在STM32实验平台上进行调试,SVPWM波的载波频率为10kHz,死区时间设置为 $3\mu\text{s}$ 。被测电机额定功率 $P_N=3\text{ kW}$ ,Y形连接,额定电压 $U_N=380\text{ V}$ ,额定电流 $I_N=6.47\text{ A}$ ,额定频率 $f_N=50\text{ Hz}$ 。用示波器测得的结果如图10~12所示。

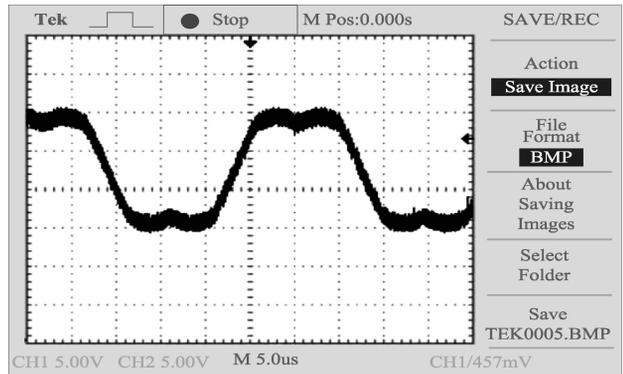


图10 U相波形经过适当的阻容滤波后的波形

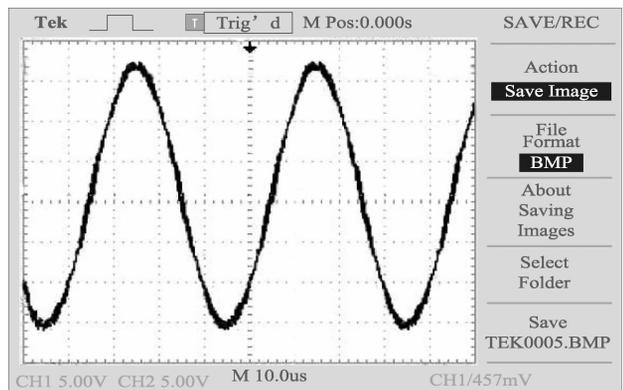


图11 50 Hz时定子电流U相的波形

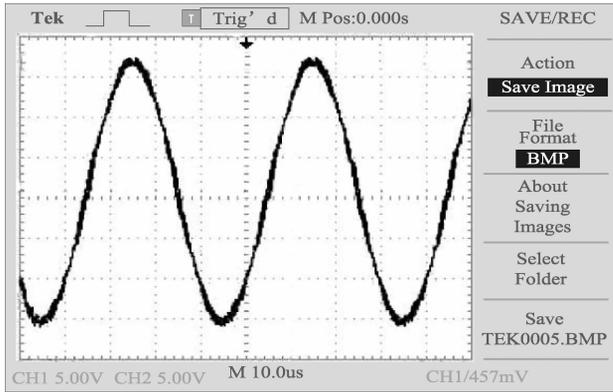


图 12 互补 SVPWM 波形

由图 10~12 可见,通过 SVPWM 调制得到的输出 PWM 波形非常稳定,在经过阻容滤波后波形平滑规范,谐波的优化程度较高;定子电流波形稳定平滑,电压利用率高,开关损耗低。当电机低速运转的时候,波形十分良好稳定,电机脉动小,系统达到预期设计目标。

## 5 结 论

本次设计采用 STM32 微控制器与 IPM 的方案,系统具有结构简单、实现方便、成本低、可靠性高等特点。在优化了硬件结构的同时不降低系统的性能,硬件系统模块清晰直观,方便安装使用以及程序的初始化。调制方式采用 SVPWM 控制技术能有效减少逆变器输出电压谐波成分,电压利用率高,控制精度高。因此该简易变频器具有很好的实用价值。

## 参考文献

- [1] 祝洪宇,胡静涛,高雷.基于变频器供电侧电流 Hilbert 解调制方法的空载电机转子断条故障诊断[J].仪器仪表学报,2014,35(1):140-141.
- [2] 赵君,刘卫国,谭博.基于 CAN 总线的分布式多电机控制研究[J].测控技术,2008,27(8):70-73.
- [3] 王辉,宋克柱,杨白利.基于 FPGA 分布式采集系统设计[J].电子测量技术,2014,37(8):80.
- [4] 宋鸿斋,谢吉华,陈志强.变频器用多功能开关电源设计[J].电力自动化设备,2008,28(1):105-106.
- [5] 胡国文,张立生,王银杰.基于 UC3842 变频器辅助电源的设计[J].现代仪器,2012,18(4):44.
- [6] 陈治国,付文波,朱瑞.基于 IPM 的三相 SVPWM 变流器实验平台[J].制造业自动化,2014(10):109.
- [7] 陈科,张建庭,郑红梅.塔机信号采集与存储系统的设计与实现[J].电子测量与仪器学报,2014,28(8):894.
- [8] 马菲,赖远波,董勇.某化工厂各类变频器面板显示参数优化[J].电源技术应用,2014(3):203.
- [9] 丁硕,崔总泽,巫庆辉.基于 SVPWM 的永磁同步电机矢量控制仿真研究[J].国外电子测量技术,2014,33(6):81-82.
- [10] 孔康,曲波.STM32 上 SVPWM 输出的实现方案[J].单片机与嵌入式系统应用,2013,13(7):12-13.

## 作者简介

周传泽,1988 年出生,硕士研究生。主要研究方向为电力电子与电力传动。

E-mail: zhouchuanze@hotmail.com