

基于 PIC18F4431 的逆变电源控制系统

刘先正, 王 颖

(大连海事大学 信息科学技术学院, 辽宁 大连 116026)

摘要: 为获得设定频率与电压的优质正弦交流电, 设计了一种以 Microchip Technology 公司生产的 PIC18F4431 单片机为核心的逆变电源控制系统。该电源以 220 V、50 Hz 交流电压为输入, 通过整流和逆变组合电路, 来实现逆变。硬件设计采用了自举式浮充驱动电路、基于真有效值转换芯片的检测电路、RCD 缓冲电路, 并给出了硬件设计原理图。软件设计采用单极性等面积脉宽调制 (PWM) 法调制、采样、中断的方式进行稳压调节, 并给出了软件流程图。实验结果表明该逆变电源数字化控制方案切实可行、稳压特性好、成本低、精度高, 并已成功应用于多种设备。

关键词: 逆变电源; PIC18F4431; 脉宽调制; 过流保护

中图分类号: TM464

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)10-0119-04

Inverter control system based on PIC18F4431

LIU Xian-zheng, WANG Ying

(College of Information Science and Technology, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: Aiming at obtaining a high-quality sine wave, which frequency and voltage was set by user, an inverter control system based on PIC18F4431 microcontroller produced by Microchip Technology Company was designed. The input of the supply was 220 V、50 Hz AC, through rectifier and inverter circuit, to realize inverter. The hardware was designed by using a bootstrap drive circuit of floating channel, a detection circuit based on RMS-DC chip, RCD buffer circuit, the schematic was given. The software was designed by utilizing a unipolar equal-area pulse width modulation (PWM) modulation method, sampling and interrupt mode to regulate the voltage, the flow chart was presented. The test result indicates that the design of digital control in inverter supply is feasible and has a good regulation characteristics, low cost, high precision, and has been successfully used in various device.

Key words: inverter supply; PIC18F4431; pulse width modulation (PWM); over-current protection

0 引 言

高频化、模块化、数字化、绿色化是当今逆变电源的发展趋势。其核心 PWM 控制技术, 最初是基于模拟电路调制技术, 由载波和控制信号进行比较来实现的。随着数控技术的发展, 又出现了数字式 PWM 集成芯片, 但该方法却有着电路复杂、调制不方便的缺点^[1-2]。而微机控制技术的不断成熟, 使软件计算的实时 PWM 控制策略调制灵活、电路简洁、易于调节的优势日益明显, 因而越来越被人们所接受, 且成为一种必然趋势^[3-4]。

本设计以 PIC18F4431 单片机为核心, 输入为 220 V、50 Hz 市电, 由键盘设定其输出, 范围 110 ~ 220 V (精度 1 V)、40 Hz ~ 70 Hz (精度 1 Hz) 可调, 功率达 200 W, 具有一定稳压特性, 且具有过流、过热、欠压保护功能。

1 系统总体设计

1.1 电源总体结构

逆变电源主电路采用 AC/DC/AC 电压型变换方法。电源由 220 V 市电经整流滤波升压输入到直流母线, 经由单片机控制的全桥逆变电路, 再通过输出滤

波,即可按所要求的频率和电压得到波形纯正的正弦交流电。与此同时,检测电路将输出电压和电流信号反馈给单片机,用以调节电压来满足功率需求,同时保护电路将对过流、欠压、过热等现象做出及时的反应以保护用户和电源的安全。

系统的总体结构如图 1 所示。

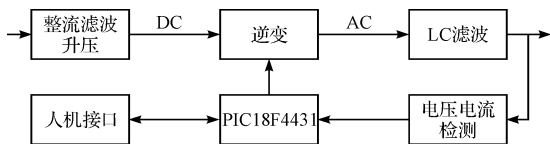


图 1 系统总体结构框图

1.2 PIC18F4431 简介

PIC18F4431 是一款由 Microchip Technology 公司推出的专门针对电机运动控制、采用纳瓦技术的具有高性能 PWM 和 A/D 功能的增强型闪存单片机。在本设计中采用该 8 位单片机所独具的优势在于:4 对具有互补输出的 14 位功率控制 PWM 模块、采样速度高达 2×10^5 次每秒的 10 位 A/D 转换器、灌电流/拉电流峰值达 25 mA、集成 WDT 看门狗和 8×8 单周期硬件乘法器^[5]。这些优异的性能为后面的硬、软件设计提供了方便。

2 控制系统硬件设计

2.1 逆变主电路

由于半桥逆变电路输出交流电压幅值最高仅为直流母线电压一半,无法达到要求,故本设计采用全桥逆变电路。其电路如图 2 所示。

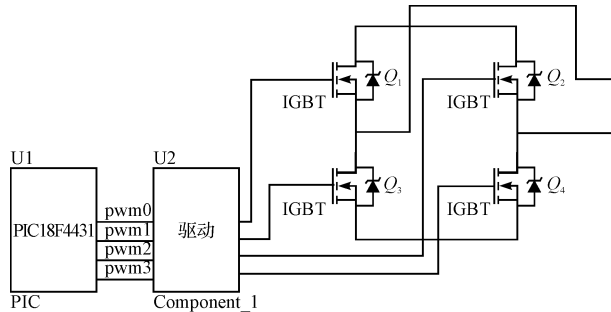


图 2 逆变器主电路

将 PIC18F4431 的 PWM 端口偶数引脚配置成奇数引脚的互补,再将互补的两引脚通过驱动连接到同一桥臂的上下两个开关器件上,可避免由程序跑飞而造成的桥臂直通故障。再配置功率控制 PWM 模块特有的死区发生器,使互补输出的两开关导通时间略微延时,可避免瞬态开关过程中发生交叠现象^[6]。

2.2 驱动电路

采用自举式浮充驱动芯片 IR2110,该芯片优势为:1 个电源可驱动 2 个器件;输出驱动隔离电压达 500 V;芯片自身的门输入驱动范围 10 V ~ 20 V;可驱动高压高频器件^[7]。本设计中采用 +12 V 供电,并采用高速光耦 6N136 进行光电隔离,电路如图 3 所示。本研究用一个 IR2110 驱动上下桥臂的两个开关管,自举电容选择 $1 \mu\text{F}$ 钽电容; R_5, R_6 是为改善 PWM 脉冲前后沿陡度、防止震荡、减小器件集电极电压尖脉冲而在栅极串联的限流电阻; D_2, D_3 为 10 V 的稳压管,其目的为防止 VB 比 VS 高 20 V 时对开关器件造成损坏; D_1 是为防止 220 V 高压流入 12 V 电源中而设置的快恢复二极管; R_7, R_8 可防止 du/dt 变化过快而产生的密勒效应。

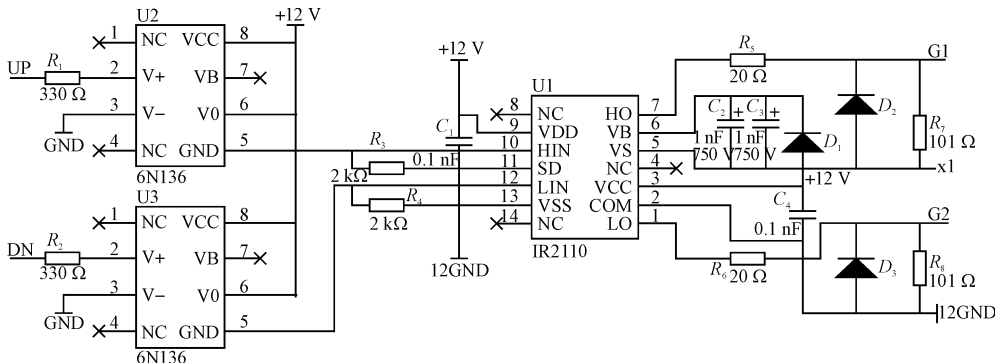


图 3 自举式浮充驱动电路

2.3 采样、保护电路

传统的采样电路从负载上取交流电,通过整流、滤波、同相放大环节得到直流反馈值^[8],这种电路不仅电路复杂、体积较大,而且还由于运算放大器的零漂和温漂会影响到测量的精度和线性度,其可靠性也会受

到影响。本设计采用真有效值转换芯片 LTC1968 与互感器组成的电压检测电路,具有精度高、反应快、功耗低、体积小特点。采样电路图如图 4 所示,其输出为:

$$(V_{OUT} - OUTRTN) = \sqrt{Average[(IN_1 - IN_2)^2]}$$

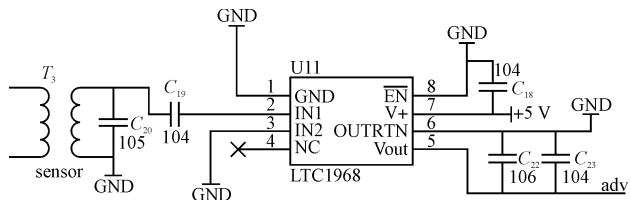


图 4 输出电压检测电路

采用类似原理可构造过流保护电路,输出的电流有效值可与设定基准进行比较得到过流信号。该信号直接连接到 PIC18F4431 的故障输入端 FLTA 和 FLTB 引脚,可直接从硬件上屏蔽 PWM 输出信号,使其驱动为无效状态。同时也可将其引入到 INTO 引脚使单片机产生中断,从而停止程序。

2.4 RCD 缓冲电路

常见的半导体开关器件开通和关断时间为纳秒级,因此在逆变电路中的寄生电感和寄生电容在开关过程中的作用是不能忽视的。针对这个问题,国内外科学家曾提出过一些解决方法,如采用零电流、零电压开关,并联辅助功率管,调整零序分量等方法^[9]。

本设计中,为减小 IGBT 的开关损耗、抑制过电压,给每一只开关管配置了一个关断型 RCD 缓冲电路,如图 5 所示。

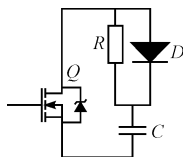


图 5 RCD 缓冲电路

其中,缓冲电容 $C = I_m \cdot \tau / V_d$ (V_d 为直流母线电压, I_m 为电流额定值, τ 为电压上升限制时间,即开关管导通关断平均时间);放电电阻 R 满足 $RC = (1/3 \sim 1/5) T_{on}$ (T_{on} 为开关的导通时间);而 R 功率为 $P_k = CV_d^2 \cdot f/2$ 。

3 控制系统软件设计

一般来说 PWM 控制策略大致分为:载波比较法、采样法、空间矢量法、均值法、等面积法^[10]。本设计采用单极性等面积 PWM 法,即根据相同时间间隔内 PWM 波的面积与调制波的面积相等的算法。其原理如图 6 所示。

由图 6 可知,将一个周期分成 $2N$ 等分,则第 i 个区间的正弦波面积为:

$$S_{ri} = \int_{(i-1)T_s}^{iT_s} U_m \sin \omega t dt = \frac{U_m}{\omega} \left(\cos \frac{i-1}{N} \pi - \cos \frac{i\pi}{N} \right)$$

设 PWM 波的幅值为 U_d ,则第 i 段区间内的 PWM 波形面积为 $S_{pi} = U_d T_{pi}$;令 $S_{ri} = S_{pi}$,经整理可解得导通时间 $T_{pi} = \frac{U_m}{\omega U_d} \left(\cos \frac{i-1}{N} \pi - \cos \frac{i\pi}{N} \right)$ 。

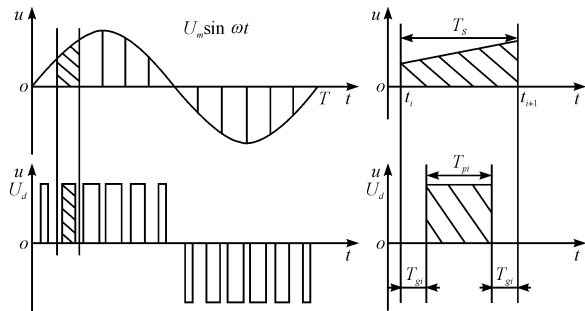


图 6 单极性等面积 PWM 法

本设计可由 Matlab 离线计算出 220 V, 40 Hz ~ 70 Hz(精度为 1 Hz)的 31 种标准正弦波所对应的开关器件所需通/断时间,并以数组形式存储到单片机内存空间中,电源运行时再由单片机实时查表,逐个周期修改占空比。当设定电压与 220 V 标准电压有偏差时,可经计算调整调制度 $M = \frac{U_m}{U_d}$ 值,更新正弦表,即可满足电压可调的要求。主程序在初始化、扫描键盘设定后即读取正弦表开始输出 SPWM 波,其流程图如图 7 所示。

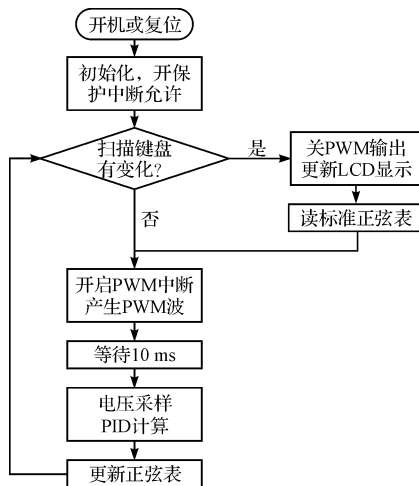


图 7 主程序流程图

其中 10 ms 的采样周期满足香农定理对 50 Hz 交流电最小采样频率要求。同时,将所采样到的负载端电压值与设定值比较得到偏差值,经过数字 PID 计算以调整调制度 M ,再更新正弦表,即可实现稳定输出电压的功能。

由 PWM 时基定时所产生的 PTIR 中断子程序流程图如图 8 所示。

如图 8 所示每一次时基中断都查表更新下一时基

的占空比,即可产生 SPWM 脉冲。此外,将一个周期划分为 4 段的方法也使得正弦表占用内存空间大为减少。

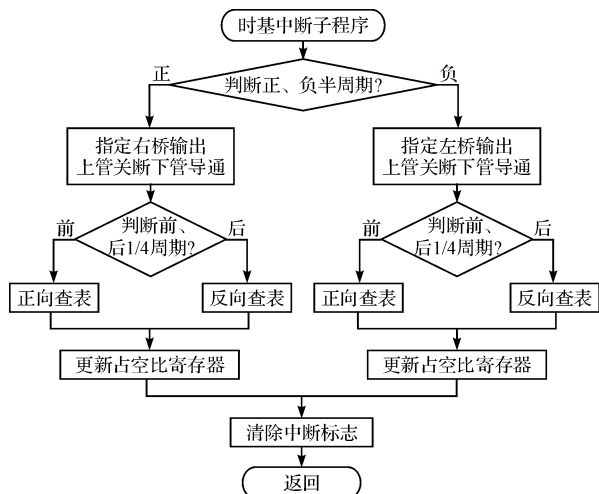


图 8 PWM 中断流程图

4 实验结果

IGBT 关断时,集电极和发射极之间的关断电压波形如图 9 所示。阻性负载下的输出波形如图 10 所示,其电压波动仅在 $\pm 2\text{ V}$ 上下,THD 约为 1.6%,可见波形质量良好,谐波很少。过流保护电路、RCD 缓冲电路也非常有效地保证了电源系统的安全运行。只是因为缺乏对逆变环节数学模型的分析,仅采用工程整定的方法确定 PID 参数,使得系统的动态性能不是特别理想。

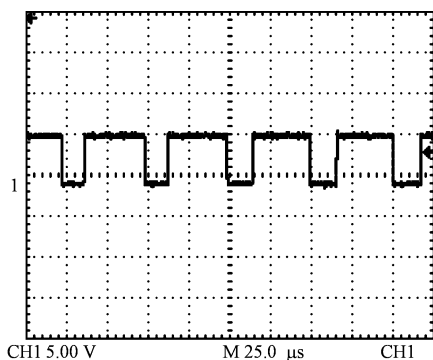


图 9 IGBT 集射极两端电压波形

5 结束语

本研究以 PIC18F4431 为核心的逆变电源采用全

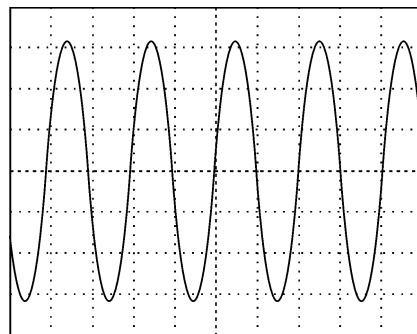


图 10 阻性负载时输出波形

数字化控制技术,具有调节灵活、性能可靠、精度高、变频范围广的优点,且具有很高的性价比和良好的市场前景。同时,该方案也满足了当前逆变电源高频化、数字化的发展趋势。

参考文献 (References):

- [1] 谢运祥,欧阳森. 电力电子单片机控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [2] 周俊杰,钱晓耀,陈上挺. 一种基于 PIC 系列单片机的 SPWM 逆变电源[J]. 机电工程,2008,25(4):99-101.
- [3] 王兆安,黄俊. 电力电子技术[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [4] ZHANG Kai, KANG Yong, XIONG Jian, et al. Repetitive Waveform Correction Technique for CVCF-SPWM Inverters [C]//Proceedings of 2000 IEEE 31st Annual Power Electronics Specialists Conference. Galway: [s. n.], 2000:153-158.
- [5] Microchip Technology. Data sheet of PIC18F4431[M]. Microchip Technology, 2005.
- [6] MUNOZ A R, LIPO T A. On-line dead-time compensation technique for open-loop PWM-VSI drives[J]. IEEE Trans. on Power Electronics, 1999, 14(7):683-689.
- [7] 吴胜华,张成胜,钟炎平,等. 高压悬浮驱动器 IR2110 的原理和扩展应用[J]. 电源技术应用, 2002, 7(5):48-51.
- [8] 郝瑞婷. 变频变压电源的设计[D]. 大连:大连海事大学信息科学技术学院, 2008.
- [9] LAI R S, NGO K D T. A PWM method for reduction of switching loss in a full-bridge inverter[J]. IEEE Trans. on Power Electronics, 1995, 10(3):326-332.
- [10] 钱慧芳,毛慧丰,陈增禄. SPWM 面积中心等效法研究[J]. 电气应用, 2005, 24(3):103-105.

[编辑:李辉]