

一种基于单片机的 正弦波输出逆变电源的设计

陆涵¹, 胡磊¹, 何湘宁¹, 金新伟²
(1. 浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027)
(2. 杭州中信网络自动化有限公司, 浙江 杭州 310012)

摘要:介绍了一种正弦波输出的逆变电源的设计。设计中采用了DC/DC和DC/AC两级变换,高频变压器隔离,单片机控制。实验结果表明性能可靠。

关键词:逆变电源;单片机;正弦脉宽调制

Design of Sinusoidal Wave Output Inverter Based on Microchip

LU Han¹, HU Lei¹, HE Xiang-ning¹, JIN Xin-wei²

(1. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310027, China)

(2. Hangzhou Sinocom Network Automation Co LTD, Hangzhou Zhejiang 310012, China)

Abstract: A design of sinusoidal wave output special inverter is introduced. This power supply consists of two stages which are DC to DC and DC to AC converters. A high frequency transformer is used for isolation, and a microchip is used as the inverter's controller. The experiment results show that the inverter is credibility.

Keywords: inverter; microchip; SPWM

中图分类号:TN86 文献标识码:A 文章编号:0219-2713(2005)10-0025-04

0 引言

低压小功率逆变电源已经被广泛应用于工业和民用领域。特别是新能源的开发利用,例如太阳能电池的普遍使用,需要一个逆变系统将太阳能电池输出的直流电压变换为220V、50Hz交流电压,以便于使用。本文给出了一种用单片机控制的正弦波输出逆变电源的设计,它以12V直流电源作为输入,输出220V、50Hz、0~150W的正弦波交流电,以满足大部分常规小电器的供电需求。

该电源采用推挽升压和全桥逆变两级变换,前后级之间完全隔离。在控制电路上,前级推挽升压电路采用SG3525芯片控制,采样变压器绕组电压做闭环反馈;逆变部分采用单片机数字化SPWM控制方式,采样直流母线电压做电压前馈

控制,同时采样电流做反馈控制;在保护上,具有输入过、欠压保护,输出过载、短路保护,过热保护等多重保护功能电路,增强了该电源的可靠性和安全性。

该电源可以在输入电压从10.5V到15V变化范围内,输出220V±10V的正弦波交流电压,频率50Hz±0.5Hz,直流分量<1V,电压波形畸变率<5%,并且有很强的过载能力。由于采用了单片机数字化SPWM控制方式,控制灵活方便,可以在不改变电路结构的条件下,只改变程序,使逆变器输出110V、60Hz正弦波交流电,以适应不同用户的需求。

1 主电路

逆变电源主电路采用推挽升压和全桥逆变两级变换,如图1所示。

输入电压一端接在变压器原边的中间抽头,

收稿日期:2005-05-28

另一端接在开关管 S_1 及 S_2 的中点。控制 S_1 及 S_2 轮流导通,在变压器原边形成高频的交流电压,经过变压器升压、整流和滤波在电容 C_1 上得到约 370 V 直流电压。对 $S_3 \sim S_6$ 组成的逆变桥采用正弦脉宽调制,逆变输出电压经过电感 L 、电容 C_2 滤波后,最终在负载上得到 220 V、50 Hz 的正弦波交流电。采用高频变压器实现前后级之间的隔离,有利于提高系统的安全性。

输入电压 10.5 ~ 15 V, 输入最大电流 15 A, 考虑一倍的余量,推挽电路开关管 S_1 及 S_2 耐压不小于 30 V,正向电流不小于 30 A,选用 IRFZ48N。

升压高频变压器的设计应满足在输入电压最低时,副边电压经整流后不小于逆变部分所需要的最低电压 350 V,同时输入电压最高时,副边电压不能过高,以免损坏元器件。同时也必须考虑绕线上的电压降和发热问题。选 EE 型铁氧体磁芯,原副边绕组为 7 匝:300 匝。关于高频变压器的设计可以参考文献[1]。

变压器副边输出整流桥由 4 个 HER307 组成,滤波电容选用 68 μ F、450 V 电解电容。

根据输出功率的要求,输出电流有效值为 0.6 ~ 0.7 A,考虑一定的电压和电流余量,逆变桥中的 $S_3 \sim S_6$ 选用 IRF840。逆变部分采用单极性 SPWM 控制方式,开关频率 $f_s = 16$ kHz。

假设滤波器时间常数为开关周期的 16 倍,即谐振频率取 1 kHz,则有

$$2\pi \sqrt{LC} = 10^{-3} \quad (1)$$

滤波电感电容 $LC \approx 2.5 \times 10^{-8}$,可选取 $L = 5$ mH,

$C = 4.7 \mu$ F。滤波电感 L 选用内径 20 mm,外径 40 mm 的环形铁粉芯磁芯,绕线采用直径 0.4 mm 的漆包线 2 股并绕,匝数 180 匝。

2 数字化 SPWM 控制方法

该逆变电源的控制电路也分为两部分。前级推挽升压电路由 PWM 专用芯片 SG3525 控制,采样变压器绕组电压实现电压闭环反馈控制。后级逆变电路由单片机 PIC16C73 控制,采样母线电压实现电压前馈控制。前级控制方法比较简单,在这里主要介绍后级单片机的数字化 SPWM 控制方式。

2.1 正弦脉宽调制 SPWM

正弦脉宽调制 SPWM 技术具有线性调压、抑制谐波等优点,是目前应用最为广泛的脉宽调制技术。一般用三角波 u_c 作为载波信号,正弦波 $u_g = U_{gm} \sin 2\pi f_g t$ 作为调制信号,根据 u_c 和 u_g 的交点得到一系列脉宽按正弦规律变化的脉冲信号。则可以定义调制比 $m = U_{gm} / U_{cm}$,频率比 $k = f_c / f_g = T_g / T_c$ 。

正弦脉宽调制可以分为单极性 SPWM 和双极性 SPWM。双极性 SPWM 的载波为正负半周都有对称三角波,输出电压为正负交替的方波序列而没有零电平,因此可以应用于半桥和全桥电路。实际中应选择频率比 k 为奇数,使得输出电压 u_o 具有奇函数对称和半波对称的性质, u_o 无偶次谐波。但是输出电压 u_o 中含有比较严重的 $n = k$

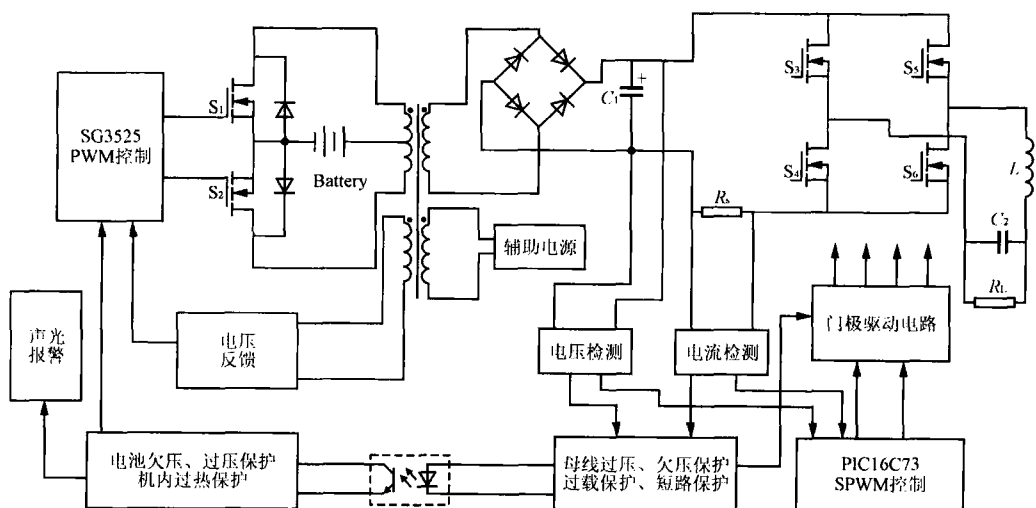


图1 主电路原理图

次中心谐波以及 $n = jk \pm b$ 次边频谐波。其控制信号为相位互补的两列脉冲信号。

单极性 SPWM 的载波为单极性的不对称三角波,输出电压也是单极性的方波。因为输出电压中包含零电平,因此,单极性 SPWM 只能应用于全桥逆变电路。由于其载波本身就具有奇函数对称和半波对称特性,无论频率比 k 取奇数还是偶数输出电压 u_o 都没有偶次谐波。输出电压的单极性特性使得 u_o 不含有 $n = k$ 次中心谐波和边频谐波,但却有少量的低频谐波分量。单极性 SPWM 的控制信号为一组高频(载波频率 f_c)脉冲和一组低频(调制频率 f_r)脉冲,每组的两列脉冲相位互补。由三角载波和正弦调制波的几何关系可以得到,在 $k \gg 1$ 时,高频脉冲的占空比 D 为^[2]

$$D = \frac{u_k}{U_{cm}} = m \sin 2\pi f_r t \quad (2)$$

2.2 PIC 单片机的软件实现

PIC16C73 是 Microchip 公司的一款中档单片机,它功能强大而又价格低廉。PIC16C73 内部有两个 CCP(Capture、Compare、PWM)模块,当它工作在 PWM 模式下,CCP $_x$ 引脚就可以输出占空比 10 位分辨率可调的方波,图 2 为其工作原理图^[3]。

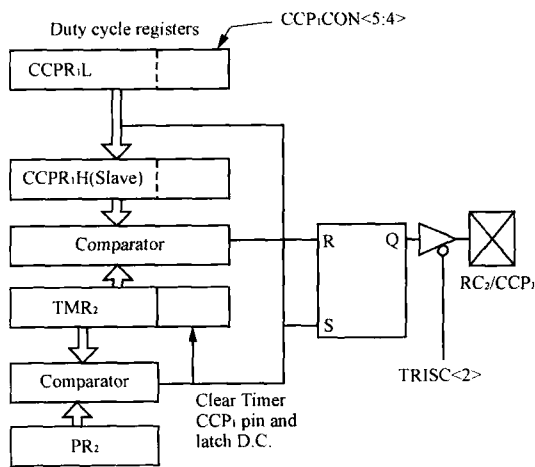


图 2 单片机 CCP 模块工作原理图

TMR₂ 在计数过程中将同步进行两次比较: TMR₂ 和 CCPR_xH 比较一致将使 CCP_x 引脚输出低电平; TMR₂ 和 PR₂ 比较一致将使 CCP_x 引脚输出高电平,同时将 TMR₂ 清 0,并读入下一个 CCPR_xH 值,如图 3 所示。因此,设定 CCPR_xH 值就可以设定占空比,设定 PR₂ 值就可以设定脉冲周期。脉冲占空比 D 可以表示为

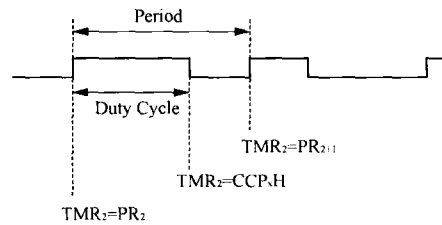


图 3 PWM 波输出原理图

$$D = \frac{CCP_x H}{PR_2 + 1} \quad (3)$$

在本设计中,全桥逆变器采用单极性 SPWM 调制方式。CCP₁ 模块用来产生高频脉冲,CCP₂ 模块用来产生低频脉冲。选择 16M 晶振,根据脉冲周期 $T_c = [(PR_2) + 1] \times 4 \times T_{osc}$ 和频率比 $k = T_g / T_c$,可以取 $PR_2 = 249$, $k = 320$,则有 $T_g = 20$ ms,高频脉冲序列每一个周期中包含 320 个脉冲。设调制比 $m = 0.92$,将 $t = T_g N / 320$ 代入式(2),联立式(3)可以得到产生高频脉冲所需要的 CCP₁H 的取值,第 0~79 个脉冲为

$$CCP_1 H = 230 \sin(\pi N / 160) \quad (4)$$

式中: N 为 0~79。

考虑到正弦波的对称性,可以得到第 80~159 个脉冲为

$$CCP_1 H = 230 \sin[\pi \times (80 - N) / 160] \quad (5)$$

根据脉冲的互补性,可以得到第 160~239 个脉冲为

$$CCP_1 H = 250 - 230 \sin(\pi N / 160) \quad (6)$$

第 240~319 个脉冲为

$$CCP_1 H = 250 - 230 \sin[\pi \times (80 - N) / 160] \quad (7)$$

因此,在程序中存储表格 $230 \sin(\pi N / 160)$, $N \in [0, 79]$ 就可以得到整个周期 320 个高频脉冲的 CCP₁H 值。第 0~79 点,CCP₁H 为正向查表取值;第 80~159 点,CCP₁H 为反向查表取值;第 160~239 点 CCP₁H 为计数周期减去正向查表值;第 240~319 点 CCP₁H 为计数周期减去反向查表值。

对于低频脉冲,前半周期可以看成由占空比始终为 1 的高频脉冲组成,后半周期看成由占空比始终为 0 的高频脉冲组成,因此,第 0~159 个脉冲,CCP₂H = 250,第 160~319 个脉冲,CCP₂H = 0。

图 4 为单片机 TMR₂ 中断程序的流程图,在中断程序中查表修改 CCP_xL 的值,就可以改变下一

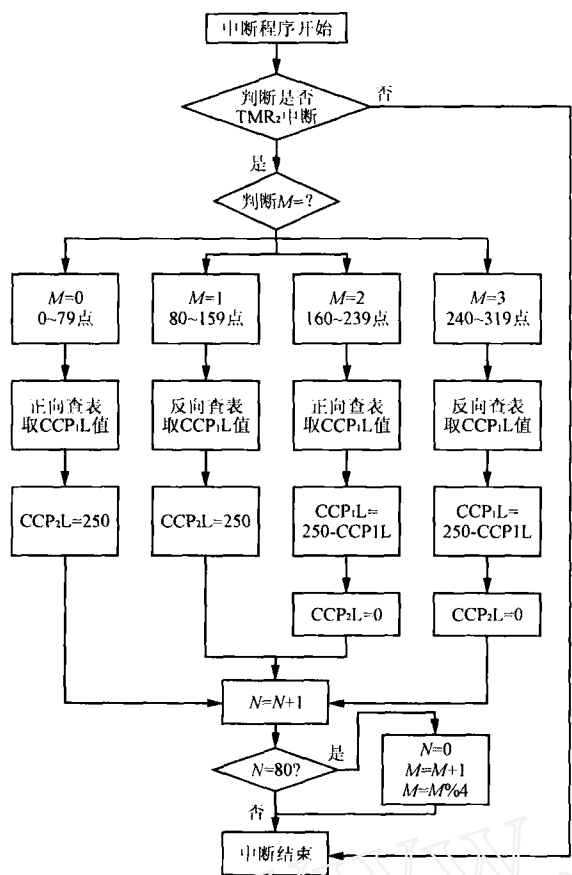


图4 定时器2中断程序流程图

个脉冲的 CCP_{xH} 值,从而修改下一个脉冲的占空比,实现 SPWM 控制。

3 实验结果

实验中,输入电压变化范围为 10.5 ~ 15 V,输出滤波电感 5.3mH,滤波电容 $8\mu\text{F}$,从空载到 150W 负载状态下都可以输出 $(220 \pm 10\text{V})$,50Hz 的正弦波交流电压,如表 1 和表 2 所示。图 5 和图 6 分别为空载和 150W 纯阻性负载条件下输出电压电流波形。可以看出输出电压和电流波形良好,经测量电压波形的 THD 为 3.6%。

表1 逆变电源源效应(150W 负载)

输入电压/V	输出电压/V
10.5	212
11	217
12	219
13	216
14	217
15	219

表2 逆变电源负载效应(12V 输入)

阻性负载/ Ω	输出电压/V
∞	217
1k	218
500	219
306	219

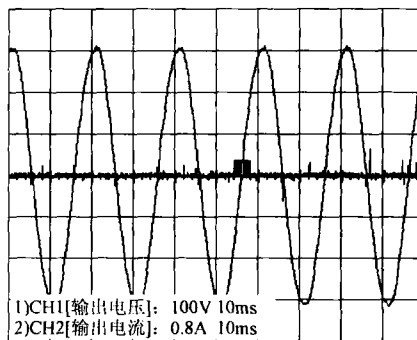


图5 空载输出电压电流波形

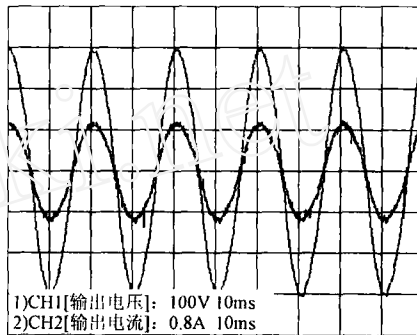


图6 150W 负载输出电压电流波形

4 结语

本文详细分析了一种正弦波输出的逆变电源的设计,以及基于单片机的数字化 SPWM 控制的实现方法。数字化 SPWM 控制灵活,电路结构简单,控制的核心部分在软件中,有利于保护知识产权。

参考文献

- [1] 张占松,蔡宣三. 开关电源的原理与设计[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [2] 林渭勋. 现代电力电子电路[M]. 杭州:浙江大学出版社,2002
- [3] 张明峰. PIC 单片机入门与实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004.
- [4] Microchip Technology Inc. PICmicro Mid-Range MCU Family Reference Manual[Z]. www.microchip.com.

作者简介

陆 涵(1981-),男,硕士研究生,主要从事逆变电源的原理与设计。