

基于单片机控制的智能化变频逆变电源研制^{*}

刘宏飞¹, 姚永刚²

(1. 安阳师范学院, 河南 安阳 455002
2 河南机电高等专科学校自动控制系统, 河南 新乡 453002)

摘 要: 基于微处理器智能化和功率器件 IGBT 高速大电流的特点, 研制出超音频调制频率的逆变电源, 讨论了系统的硬件、软件设计和正弦脉宽调制 (SPWM) 波的生成和输出稳压方案的设计, 提出了一种软件实现 SPWM 波的新方法。实验数据表明该系统具有良好的稳压性能和很小的波形失真, 并且能够进行自检测、过流、过压、过温和短路保护等功能。

关键词: 逆变电源; 不间断电源; 正弦脉宽调制; 稳压

中图分类号: TM 91 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2006) 05-0139-03

逆变电源广泛地应用于各行各业, 不间断电源 (UPS) 更是对计算机系统不间断地安全运行起着至关重要的作用。主流控制方式是采用正弦脉宽调制 (SPWM) 控制。一般采用硬件方法, 利用较高频率的三角波与较低频率的正弦波相比较而得到 SPWM 波形的, 但其电路复杂, 调试困难, 随着微处理器性价比的不断提高, 逆变电源已进入了智能化阶段^[1]。智能化逆变电源除了利用计算机实现基本功能外还能够: ①进行在线监控, 自动显示运行参数; ②进行故障自诊断, 具有自动的过流、过压、短路保护功能; ③实现网络化监控管理等。本文将最新单片机技术与 SPWM 技术相结合, 设计了一种用软件产生 SPWM 波的方法, 并通过改变调制深度 (即采用不同的脉宽组) 实现了良好的稳压控制。在此基础上, 结合功率器件 IGBT 高速大电流的特点研制出超音频调制频率的逆变电源, 系统能够进行自检测, 具有过流、过压、过温和短路保护 (报警并停止输出 SPWM 波) 等功能, 自动稳压性能好、输出波形失真小。另外, 利用 PC 单片机良好的串行通信能力, 采用 RS485 接口标准与上位机通信, 利用上位机对逆变电源进行监测, 自动实现各种状态转换, 显示各种参数, 使逆变电源实现网络化监控^[2]。

1 系统的硬件设计

逆变电源研制的核心是 SPWM 波的生成, 智能化的逆变电源利用高速单片机通过软件来实现。本系统采用的 PIC 系列单片机是由美国 Microchip

公司推出的, 业内首次采用 RISC 结构的高性价比嵌入式控制器, 其总线结构采取数据总线和指令线分离的哈佛结构^[3], 具有很高的流水处理速度, 故其优秀的性能近年来获得越来越广泛的应用。其中 PIC16C73 内含 4 K 程序存储器、5 路 A/D 及 2 路 PWM 波发生器, 使其外围电路极其简单, 是理想的单相逆变电源数字控制器。系统硬件框图如图 1 所示。

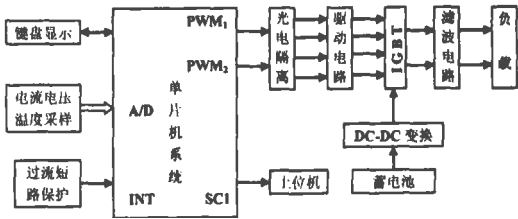


图 1 智能化逆变电源的系统硬件框图
Fig. 1 The hardware diagram of intelligent inverter supply

在智能化逆变电源中, 单片机对整个电源系统进行控制。首先软件产生两个相位相差 1800 的 SPWM 波形, 分别由两个脉宽调制 (PWM) 口输出 (见图 2)。PWM 1、PWM 2 各经两路高速光耦隔离输出四路控制信号, 再由驱动电路转换为 18V 的 PWM 波去驱动 4 只 IGBT。IGBT 既具备功率器件 MOSFET 的电压驱动和超高速开关特性, 又具有双极性晶体管的大电流开关特性, 是当今主流的大功率高速开关器件之一^[4]。

因为 SPWM 波调制的逆变电源是采用输入 DC 的电压值固定, 而通过脉宽随正弦规律变化的 SP

^{*} 收稿日期: 2006 04 15
作者简介: 刘宏飞 (1953 年生), 男, 副教授; E-mail: l.h_0524@sina.com.
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

WM 波控制功率开关器件的导通与截止来实现交流输出的, 较之于小功率不间断电源 (UPS) 采用正弦波放大的方法具有效率高、体积小等一系列优点, 但同时驱动电路和开关器件也提出了较高的要求。例如 10 kHz 三角波调制 50 Hz 正弦 (调制比为 200), PWM 波周期为 100 μs, 调制深度为 1 时, 最宽的脉冲为 100 μs, 而最窄的脉冲为 100 * sin (1/2 * 360°/200) = 1.57 μs, 所以 10 kHz 调制却要求电源达到 600 kHz 的响应速度^[5]。当考虑稳压时将增加调制深度, 从而使脉宽更窄。设计中采用超音频调制波 (16 ~ 20 kHz), 从而 SPWM 脉冲波的第一组谐波中心向高频端迁移, 远离基波频率, 使得输出滤波网络得以小型轻量化, 且只有很小的噪声, 动态品质也得以改善。调制频率越高所需的滤波电容、电感就越小, 但驱动脉宽也越窄, 为适应高频的要求, 采用高速光耦, 光耦输出送至驱动电路, 驱动部分采用类似 EXB841 的结构, 具有放大、过流保护等功能, 是驱动 IGBT 的理想电路。

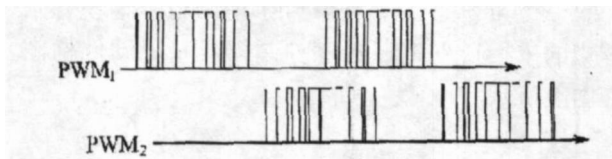


图 2 相差 180° 的两个 SPWM 波形
Fig. 2 Two SPWM wave with 180° phase difference

利用单片机内置 A/D 输入口进行输入电流、电压和输出电流采样, 从而实现稳压、过流过压保护, 并具有温度采样以控制风扇, 调整机内温度以免整机过热。另外, 利用 PIC 单片机串行通信接口 (SCI) 模块, 依据 RS485 接口标准与上位机通信, 使逆变电源可实现网络化监控。

2 系统的软件设计

当今电源要求的是高质量的稳压、稳频、无干扰和波形失真度小的“全天候”正弦波供电系统, 而其核心是 SPWM 波的生成和稳压方案的设计, 这是逆变电源的基础, 也是程序设计的主要部分。

SPWM 法是采用脉冲宽度和脉冲之间的间隔均不同的一组脉冲来等效正弦波。其基本思想是能量等效法, 即在一定的时间间隔内 SPWM 波的能量等效于正弦波所包含的能量。由脉宽数据到 SPWM 波的输出可参照三角波和正弦波比较而获得 SPWM 波的方法主要有四种: 非对称自然采样、对称采样、两次采样和中值采样^[6]。相应地由单

片机来实现, 误差小的难度大、难度小的误差大, 这里设计一种生成 SPWM 波的新方法, 易于程序生成误差较小, 实验表明效果很好。

如图 3 所示, 将 (0 ~ 180°) 区间内的正弦波分成十等份, 每份为 18°, 即区间中点的正弦值为参考, 决定 SPWM 的脉宽。如第一个脉冲的宽度 $W_1 = dT \sin (18^\circ/2)$, 第二个脉冲的宽度 $W_2 = dT \sin (18^\circ + 18^\circ/2)$ 。其中 d 为调制深度; $T = 10/10 = 1 \text{ ms}$ (50 Hz 正弦, 半个周期为 10 ms, 再 10 等份), 即每等份的时长, 也是 SPWM 周期。程序实现 SPWM 波时是采用定时器设定周期, 在每个周期内由 SPWM 发生器发出一个脉冲。

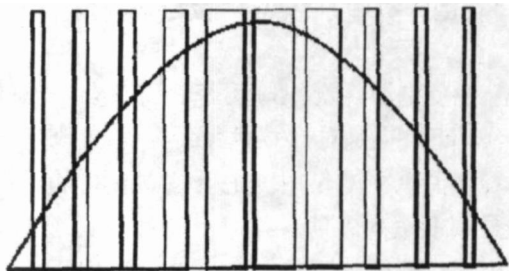


图 3 SPWM 调制波与正弦波对照
Fig. 3 Contrast between SPWM wave and sinusoidal wave

由图 3 可知, 脉冲并不是在每个周期开始便发出的, 这给编程带来一定的困难。为此程序采用脉宽固定、周期改变的方式。设第 n 个和第 $n - 1$ 个脉冲宽度分别为 W_n 和 W_{n-1} , 若每次均由该脉冲上升沿至下一个脉冲的上升沿计为该脉冲 PWM 周期, 则前后周期长度的差别为 $(W_n - W_{n-1}) / 2$ 即该脉冲 PWM 周期为 $T - (W_n - W_{n-1}) / 2$ 。PIC16C73 具有两个捕捉比较脉宽调制 (CCP) 模块, 在脉宽调制模式下, 可输出高达 10 位的脉宽调制波形, 脉宽置入 CCPR1L 寄存器及 CCP1CON <5:4>, PWM 输出周期则由 TMR2 的周期寄存器 PR2 决定。因而在编程时只需按上述方式改变 SPWM 周期 (即定时器 2 寄存器 PR2 的值), 而脉宽仍按表中查得的实际值, 即可得图 2 中的 SPWM 波。

系统采用 16 MHz 晶振, 指令周期为 250 ns, 最小预分频时的最大 PWM 周期为 64 μs, 而对于 60 Hz 的正弦波, 调制频率为 18 kHz 的三角波周期为 55.6 μs, 因而正好合适。这时的频率调制比 $N = 18\,000 / 60 = 300$ 。采用高调制频率可以减小主回路的滤波电容、电感值, 从而减小整机的体积和质量。SPWM 波的第 n 个脉冲宽度值:

$$W_n = \frac{1}{f_s} \sin \left[n \times \frac{360^\circ}{300} - \frac{1}{2} \times \frac{360^\circ}{300} \right]$$

其中， $n=1, 2, \dots, 75$ ， f_s 为三角调制波频率。

由于 PC 系列单片机采用精简指令集，不利于数值计算，但它有多条专为查表而设置的指令，因而采用离线计算（C 语言编程）、在线查表取数的方法生成 SPWM 波。因为 PWM 波的正负半周对称，所以可取 180° 内的脉宽值，而在 180° 范围内前后 90° 的脉宽值又互为对称，实际只需计算 90° 范围内的 $300/f_s=75$ 个脉宽值即可。这样数据存储量减小为 $1/f_s$ ，大大节省了存储空间。

输出交流的稳压功能也是通过程序查表取得不同的脉宽组而实现的，所以要达到良好的稳压效果必须存储大量的脉宽数据组，但单片机的 EPROM 空间是有限的，因而程序中采取了一些技巧。即按 1% 的电压调整率存储 25 组数据 (W_n ： $W_{76} \sim W_{100}$)。再按 25% 的调整率存储 3 组数据 (W_{25} 、 W_{50} 、 W_{75})，从而可实现从 1% ~ 100% 的以 1% 为电压调整率的全范围的稳压。计算如下：

$$\begin{aligned} 76\% \sim 100\%: & \quad W=W_n \\ 51\% \sim 75\%: & \quad W=W_n-W_{25} \\ 26\% \sim 50\%: & \quad W=W_n-W_{50} \\ 1\% \sim 25\%: & \quad W=W_n-W_{75} \end{aligned}$$

利用有限的存储空间实现各种调制深度，如果需要还可将电压调整率提高 0.5% 或 0.25% 等。为了适应输入电压和负载的上下变化，让逆变电源在额定工作状态时，调制深度设置为 80% 即可。

3 结 论

依据上面的分析，提出了一种基于 PC 系列单片机设计出单相（三相）逆变器，有效地解决了传统桥式逆变器拓扑中直流电压利用率低的问题，并且提出了基于改变占空比来调节输出电压的方法，采用电压电流双环控制策略。在额定输出功率 P 的 5% ~ 95% 范围内，输出正弦波形失真度小于 5%（凭人的视觉感觉不到失真），完全空载和满负荷时有一定的失真，整机稳压度可达到 $\pm 2\%$ ，实践表明，利用单片机控制的智能化变频逆变电源大大简化了控制电路，减少了器件数量，提高了载波频率，所进行的研究是有效的。

参考文献：

[1] 刘磊，翟庆志. PWM 型变频控制的谐波抑制综合方法 [J]. 电气应用, 2005 24 (1): 78 - 79.
[2] 吴保芳，罗文杰，姚国顺，等. 通用型 IGBT 变频电源的研制 [J]. 电力电子技术, 1998 32 (4): 51 - 54.
[3] 佟为明. 变频电源谐波的分析与抑制 [J]. 电工技术杂志, 1997 (5): 12 - 14.
[4] 刘树林，刘健，严百平. 单相逆变器 SPWM 控制的新方法 [J]. 电力电子技术, 1998 32 (4): 96 - 98.
[5] CHUNG Y H, BURKHART C P. ALL Solid state Switched Pu lser for A ir Pollution Control System [C] // 12 th IEEE Int emation Pul sed Power Conf M on t e r e y CA, 1999: 177 - 180.
[6] 陈东华. 瞬时值电流控制逆变技术比较 [J]. 南京航空航天大学学报, 2004 36 (3): 333 - 337

Development of Intelligent Inverter Supply Based on Chip Microprocessor

LU Hong fei¹, YAO Yong gang²

(1 Anyang Teachers College Anyang 455002 China

(2 Department of Automatic Control Henan Mechanical & Electrical Engineering College Xinxiang 453002 China)

Abstract An inverter supply system of super audio modulating frequency is introduced based on intellectualized single chip processor and high power devices IGBT. The paper discussed the design of hardware and software especially the generation of SPWM wave and the design of voltage stabilizing scheme. Furthermore it put forward a sort of new method realizing SPWM wave by software. The experimental results show that the system has well performances in stabilizing voltage and minimizing wave distortion, and it also has functions such as self detection and over current, over voltage, over heated and shortcut protection.

Key words inverter supply; uninterruptible power system (UPS); sinusoidal pulse width modulation (SPWM); voltage stabilizing