

基于 STM32F103VC 的家用型光伏逆变系统的研究*

徐淑珍, 张浩然

(浙江师范大学 数理与信息工程学院, 浙江 金华 321004)

摘要: 为了推进光伏发电技术应用到居民家居生活中, 提出了一套适用于家用小功率电器工作的光伏逆变系统。系统采用意法半导体公司的 STM32F103VC 作为控制系统的核心, 运用软件方式产生 SPWM 波。逆变主拓扑回路采用两级全桥变换器, 中间环节配合高频变压器升压。与传统的逆变器设计思路不同, 前级全桥变换器采用 SPWM 波控制实现逆变取代以往恒定脉宽 PWM 控制, 后级变换器作为频率 50 Hz 翻转开关来重构正弦波。该系统可将太阳能电池板输出的 12 V 电压转换为适用于家用电器工作的 220 V/50 Hz 交流电。

关键词: 光伏发电技术; 光伏逆变系统; STM32F103VC; 逆变主拓扑回路

中图分类号: TM914.4+3

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)04-0023-04

Investigation of appliance single-phase photovoltaic inverter system based on STM32F103VC

Xu Shuzhen, Zhang Haoran

(Department of Electronic Engineering, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: In order to spread photovoltaic technology over the domestic life, a set of photovoltaic inverter system suitable for miniwatt household appliances is given. This system uses a STM32F103VC signal-chip microcomputer as a core processor, and program SPWM waveforms by software. The photovoltaic inverter's topology-loop structure implement two stage full H-bridge converter in combination with a small size transformer which operates at high frequency. But new alternatives differ from classical topologies control ways, SPWM modulation is used in the former full H-bridge converter to realize inverter and the later H-bridge's 4 transistors operate the 50 Hz bipolar PWM as a switch to recreate a sine wave. The solar inverter takes the 12 V DC from the solar panels and converts it to 220 V/50 Hz AC which is the power that most of household appliance use.

Key words: photovoltaic technology; photovoltaic inverter system; STM32F103VC; inverter's topology-loop

现今, 欧洲各国以及日本、美国等国家政府推广实施太阳能光伏工程计划, 大力普及太阳能住宅区, 在住宅的屋顶或者墙壁上安装太阳能电池板^[1]。我国太阳能住宅区也在逐步发展中。本文设计旨在将光伏发电技术推广到家居生活中, 响应我国节能绿色环保政策。本文设计了一款住宅家用型光伏逆变系统, 该系统适用于独立供电的场合, 能满足小功率家用电器的用电需求。光伏逆变系统选用的是单相电压源型逆变器, 逆变器主拓扑回路采用三级式结构(DC-AC-DC), 由前级 DC-AC 全桥变换器、隔离高频变压器、后级 DC-AC 全桥变换器组成, 采用软件编程方式产生 SPWM 波驱动控制拓扑结构

变换器上的功率开关管, 产生适用的正弦交流电。由于意法半导体公司推出的 STM32 系列芯片^[2-3]使用 ARM 最新的、先进框架的 Cortex-M3 内核的 32 bit 嵌入式处理器, 其实时性能优异, 功耗控制杰出, 成为本次设计软件系统芯片的首选。本文设计中在逆变器主拓扑回路的控制方式上与传统方式有所改变, 尝试的过程中发现该种控制方式解决了逆变环节全桥变换器上的功率开关管(MOSFE 管)工作于高频高压状况下发热严重的问题。

1 系统整体设计

图 1 所示为整个光伏逆变系统的整体结构框图, 系统主要由低压控制模块电路、高频升压变压器、高压控制模块电路三部分组成。整个电路主要完成的工作是将太阳能电池板输出的直流电压转换为家用电器工作的

* 基金项目: 浙江省大学生科技创新活动计划(新苗人才计划)科技成果推广项目(2012R404052)

硬件纵横

Hardware Technique

正弦交流电压。本系统硬件设计涉及强弱电结合,图1中STM32微控制系统中的工作芯片STM32F103VC是整个系统的CPU,该芯片工作电压为3.3V,其标准I/O端口能承受的输入电压约为2V~3.5V,但是系统工作中需要用STM32F103VC芯片的低压端口测量高压器件的模拟量,因而系统设计中加入保护电路模块(即隔离变压器、光电隔离电路),将低压控制系统和高压控制系统分成两个电路板,使得整个电路基本安全可靠。

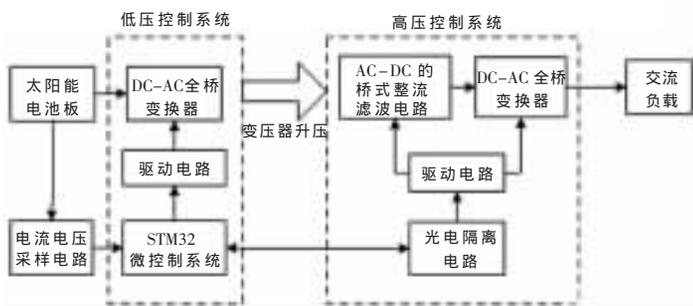


图1 光伏逆变系统整体结构框图

光电隔离电路中的光电耦合器具有输入、输出间2.5kV以上的电绝缘能力、信号单向传输、抗干扰能力强;低压控制系统模块包括前级DC-AC全桥变换器、驱动电路、STM32微控制系统三大部分,主要的工作是将太阳能电池板输出的直流低压通过STM32系统产生4路SPWM波驱动全桥变换器上的功率开关管,使之逆变为正弦半波表脉宽变化的双极性方波。整个模块的工作电压实际是太阳能电池板输出电压的幅值(约12V),这样通过高频变压器、光电隔离电路完全与高压工作模块隔离开来,可以有效保护STM32微控制系统;高压控制系统模块包括桥式整流滤波电路、后级DC-AC全桥变换器、光电隔离电路等部分,该模块的任务是将经过高频变压器升压之后的正弦半波表脉宽变化的双极性方波通过桥式整流滤波电路转换成100Hz只包含正半周的正弦波,最后通过后级全桥变换器间隔地翻转正半周至负半周转换成220V/50Hz正弦波。整个模块工作在320V左右,为了避免高压信号串入低压模块,将高压控制系统与低压控制系统分成两模块是整个设计基础的关键。

2 系统硬件设计

图2所示为家用型光伏逆变系统的功率主回路拓

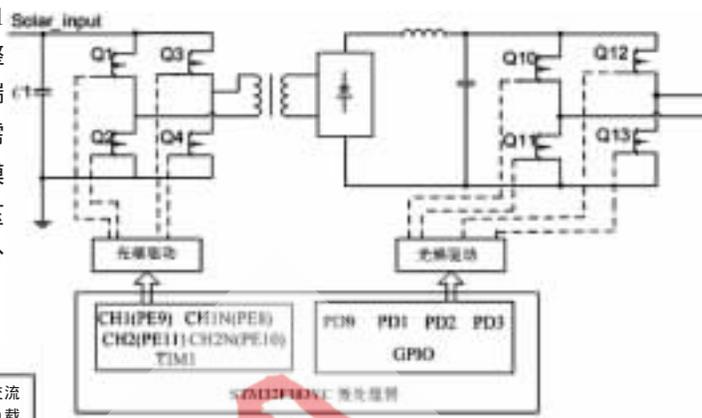


图2 光伏逆变器功率主拓扑回路

扑结构^[4]电路框图,主要由前级全桥转换器、高频升压变压器、桥式整流器、LC滤波器、后级全桥转换器四部分组成。系统主拓扑回路采用传统逆变器拓扑设计方案,起初开始调试系统时采用的仍然是传统的控制方案,但是在调试的过程中发现高压控制系统模块电路的功率开关管(MOSFET)工作在高频高压条件下发烫严重,因而借鉴了美国一名电源电子爱好者TIMNOLAN个人网站^[5]提出的一种逆向的控制方案,可以很好地改善这个问题。

图3所示为逆变器比较传统的控制方案^[6],其主要方案为将直流低压(太阳能电池板或其他电源输出)先经过两对互补PWM波控制前级全桥变换器桥臂上的4个功率管转换为双极性的高频低压方波,接着通过变压器升压整流滤波电路转换为高压直流电(幅值一般为110V以上),最后通过后级全桥变换器整流滤波电路转换为220V/50Hz的正弦交流电。其中,后级变换器上的两对桥臂分别是通过两对互补的频率约为30kHz的SPWM波驱动控制的,在该阶段后级全桥变换器上的功率开关管工作在高频高压环境下,功率管发热发烫。为了减缓功率管的发烫现象,采用了图4所示的逆向控制流程。

图4所示即为本文借鉴TIMNOLAN个人网页上光伏并网逆变器文章的控制流程思路,与传统控制流程的区别在于前后两级全桥变换器的控制策略不同:图4中前级全桥变换器直接采用正弦脉宽调制算法产生4路SPWM波控制4个功率开关管,经过升压整流滤波之后

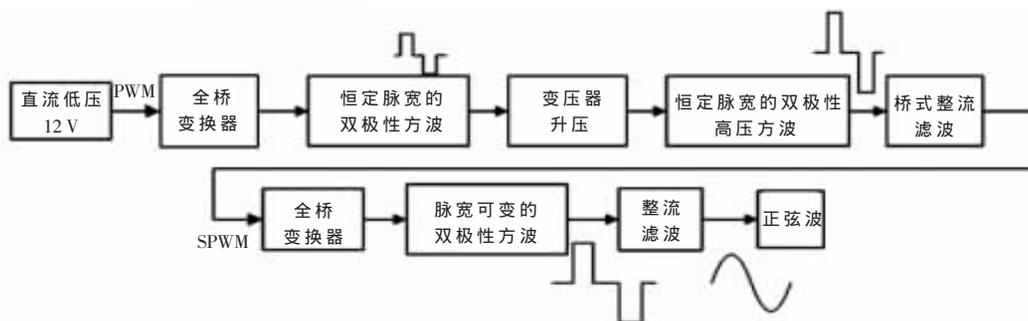


图3 传统功率主拓扑回路控制流程图

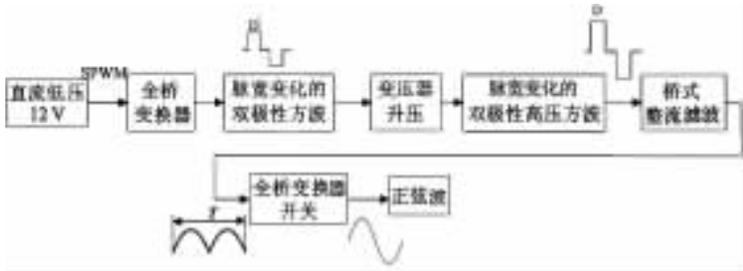


图4 本文功率主拓扑回路的控制流程图

转换为频率 100 Hz 的只包含正半周的正弦波;最大特点是后级全桥变换器作为一个翻转的开关,开关频率为 50 Hz,全桥变换器上两对斜对角的功率管每隔 20 ms 轮流导通或关断,将产生正弦波的正半周间隔地翻转为负半周,转换为标准的正弦交流电。

3 系统软件设计

本文采用软件方式产生 SPWM 波,功率主拓扑回路采用移相调压全桥逆变控制策略,图 5 中为 STM32 微控制系统产生的两对互补相位相差 180° 的 SPWM 波,用于驱动控制前级全桥变换器。STM32F103VC 芯片的高级定时器 TIM1 拥有 4 个独立输出通道,能产生 3 对互补输出的 PWM 波,而且 PWM 输出模式下死区时间可以编程。

程序设计思路为:设置 STM32F103VC 的 TIM1 定时器为中央对齐的 PWM 输出模式;设置 TIM1 周期寄存器 TIM1_ARR,使得 PWM 波载波频率为 30 kHz;使能 TIM1 所对应的 CH1/CH1N、CH2/CH2N 两对互补通道,TIM1 的 CH1、CH2 产生两路相位差为 180° 的 PWM 波形,相应的 CH1N 和 CH2N 产生互补的两路 PWM 波。同时,设置 STM32F103VC 的通用定时器 TIM2 为向上计数模式并配置周期寄存器 TIM2_ARR,使得 TIM2 计数周期 T 为 20 ms;使能 TIM2 比较通道 1 中断,每隔 $T/64$ 产生一次中断读取对应指针所指向的正弦波表中的脉宽值,更新 TIM1 中 TIM_CCR1、TIM_CCR2 的值,更新对应 PWM 波的脉宽值 $W1$,最终使得 TIM 产生两对互补移相 180° 的 SPWM 波。相关流程如图 6(a)和图 6(b)所示。

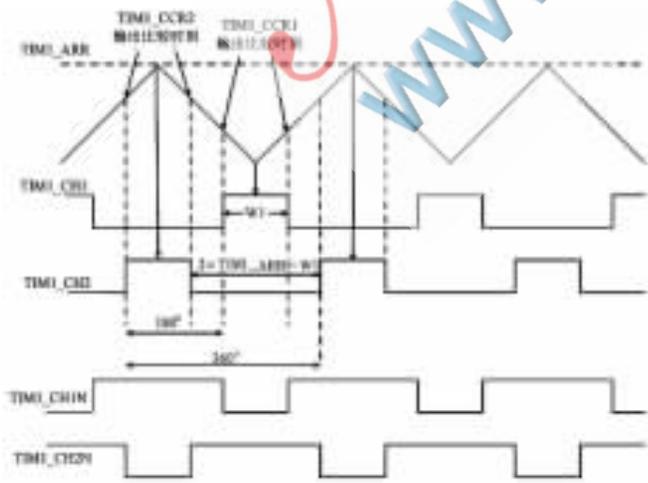
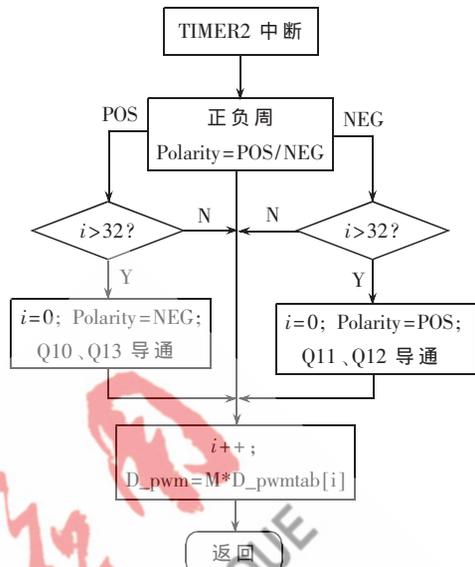
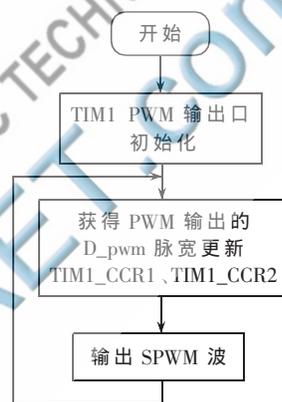


图5 移相的 SPWM 波



(a) TIM2 中断服务程序流程



(b) TIM1 产生 SPWM 波流程

图6 软件设计流程

4 实验结果讨论

本文设计了一款小功率家用型光伏逆变系统,其系统功率主拓扑结构为图 2 所示。采用 100 W/12 V 太阳能电池板供电,输出适合家用电器用电的 220 V/50 Hz 电压,SPWM 波载波频率为 30 kHz,母线滤波电容采用 220 V/470 μ F 的电解电容和 105/630V 的 CBB 电容并联于电源输入端,变压器初级匝数与次级 1 匝数比为 3:90、与次级 2 和 3 的匝数比同为 3:4,输出滤波器电感值为 1 036 μ H,滤波电容值为 3 μ F。高频变压器磁芯采用 PQ3230,磁芯对接时不加气隙。

为了验证文中所提出的控制原理,图 7 给出高频示波器所测的波形图。图 7(a)为驱动前级全桥变换器左半桥 MOSFET 管的两路互补的 SPWM 波;图 7(b)为移相的两路驱动前级全桥变换器上半桥 MOSFET 管的 SPWM 波;图 7(c)为前级全桥变换器输出的双极性方波,与之对应的图 7(d)为高频变压器升压后的双极性方波;图 7(e)为高压控制模块桥式整流滤波电路之后只有正半周的正弦波,与之对应的图 7(f)为后级全桥变换器翻转后

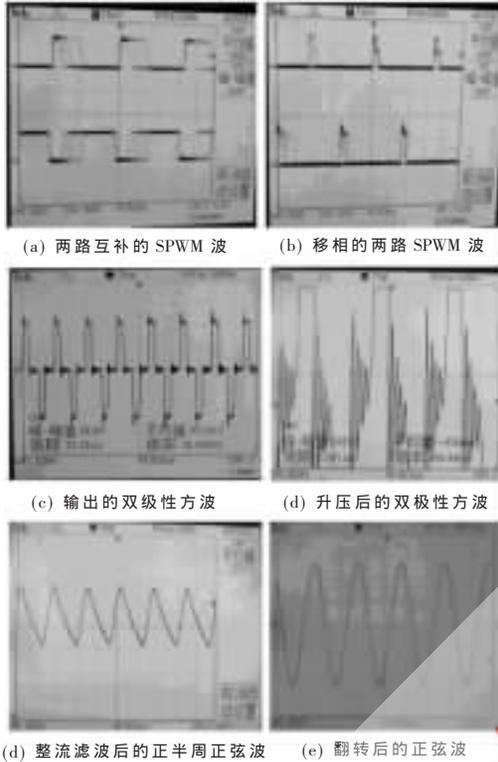


图 7 实验波形图

所得的正弦波。

参考文献:

- [1] 桑福环. 光伏并网逆变系统的研究与设计[D]. 西安: 西安理工大学, 2010.
- [2] 孙书鹰, 陈志佳, 寇超. 新一代嵌入式微处理 STM32F103 开发与应用[J]. 微计算机应用, 2010(12):59-63.
- [3] 张伟, 李长春, 王圣元, 等. 基于 STM32F103 的数字式电镀电源并联均流系统设计[J]. 电子设计工程, 2012(02): 174-183.
- [4] PATRAO I, FIGUERES E, GONZALEZ-ESPIN F, et al. Transformerless topologies for grid-connected single-phase photovoltaic inverters[J]. Elsevier Ltd, 2011, 15(7):3423-3431.
- [5] NOLAN T. Solar projects [EB/OL].[2012-11-20]http://www.timnolan.com/
- [6] PRESSMAN A I, BILLINGS K. 开关电源设计(第三版) [M]. 王志强, 译. 北京: 电子工业出版社, 2011.

(收稿日期: 2012-11-22)

作者简介:

徐淑珍, 女, 1987 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式系统与应用、太阳能光伏系统。

张浩然, 男, 1972 年生, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 现代电子技术、逆变电源技术。