

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.02.024

# 基于STC系列单片机的车载逆变电源\*

包广清,任士康

(兰州理工大学 电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 针对传统逆变电源启动困难的问题,对控制策略进行了改进,设计了一款以单片机STC12C5A60S2为主控芯片的两级式级联车载逆变电源。该电源以12 V直流电压为输入,通过升压与逆变两个功率变换环节得到了220 V,50 Hz的正弦交流电。在升压环节,采用直流母线电压负反馈,确保了直流母线电压的稳定性;在逆变环节,采用正弦脉宽调制(SPWM)技术,将输出电压的谐波畸变率(THD)降低到了5%以内。此外还对电池电压检测电路、输出电压检测电路、输出电流检测电路、桥臂短路保护电路进行了设计,并研制了实验样机。研究表明,采用逆变电路先触发升压电路后触发、根据输出电压实时更新占空比的控制策略,该逆变电源能够顺利启动,稳压特性良好,为以后逆变电源的优化设计提供了参考。

**关键词:** 单片机; 升压; 逆变; 正弦脉宽调制; 逆变电源

中图分类号: TM464 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2014)02-0239-05

## Automotive inverter power supply based on STC

BAO Guang-qing, REN Shi-kang

(College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that inverter power supply in the past is hard to start, a two-stage automotive inverter power supply controlled by a single-chip microcomputer (SCM) called STC12C5A60S2 was designed by changing the control strategies. The input voltage is 12 V DC, through boost converter and inversion, the sinusoidal alternating voltage of 220 V, 50 Hz was achieved. In the boost converter circuit, the DC bus voltage negative feedback was used to ensure the stability of the high voltage DC; in the inversion circuit, sine pulse width modulation (SPWM) technology was used, so the THD of output voltage is less than 5%. In addition, the battery voltage detection circuit, the output voltage detection circuit, the output current detection circuit, and the bridge arm short protection circuit were designed, and the hardware prototype was developed. The results indicate that the inverter power supply starts successfully and has a good regulation characteristic by using the control strategy that boost converter circuit triggered after inversion circuit and changing duty cycle based on output voltage. The results also provide the reference to optimal design of inverter power supply.

**Key words:** single-chip microcomputer (SCM); boost converter; inversion; sine pulse width modulation (SPWM); inverter power supply

## 0 引 言

近几年,汽车已由最初的代步工具逐渐发展为集办公娱乐为一体的交通工具:除了常见的车载DVD音响系统外,车载电视、车载冰箱、笔记本电脑等电器产品也成为人们的需求,而这些电器产品大部分需要

220 V, 50 Hz的正弦交流电供电,逆变电源能将12 V的直流电压转换成220 V, 50 Hz的交流电供一般电器使用,因此研究一款性能比较高的车载逆变电源具有十分重要的意义。传统的车载逆变电源采用全桥逆变加工频变压器升压方案,其缺点是效率低、体积大、噪声大,且伴有严重的启动困难问题,无法满足人们的要求<sup>[1-2]</sup>。

收稿日期: 2013-10-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51267011); 甘肃省杰出青年基金资助项目(1111RJDA007)

作者简介: 包广清(1972-),女,甘肃兰州人,教授,博士生导师,主要从事可再生能源发电与电能转换、电磁场数值计算与分析、现代电力传动系统设计方面的研究。E-mail: ksr123@163.com

该系统前级升压电路以 TL494 为主控芯片,采用推挽拓扑结构,利用高频变压器对 12 V 直流电压进行隔离升压;后级逆变电路以宏晶(STC)系列的工业用单片机 STC12C5A60S2 为主控芯片对全桥电路进行控制,该芯片功耗低,抗干扰强,片内自带 PWM 产生模块、A/D 转换器,可节省外围电路的设计,降低系统的设计成本;本研究采用“逆变电路先触发、升压电路后触发、根据输出电压实时更新占空比”的稳压控制策略,结合实验样机平台对上述问题进行改进。

### 1 硬件设计方案

系统采用两级式级联拓扑结构<sup>[3-4]</sup>,即将 12 V 直流电压升压后再进行单相全桥逆变。前级升压侧采用推挽电路拓扑结构,该电路具有开关器件少、变压器利用率高的优点,普遍应用于低压输入的场所<sup>[5]</sup>,并结合 PC817 与 TL431 组成母线电压负反馈电路;后级逆变侧采用全桥逆变拓扑结构,单极性 PWM 控制方式逆变输出。系统的硬件结构框图如图 1 所示,主要技术指标如表 1 所示。

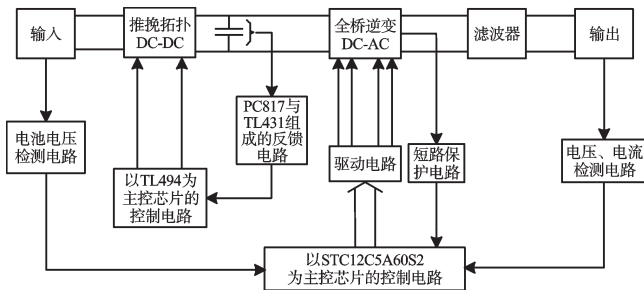


图 1 系统的硬件结构框图

表 1 车载逆变电源主要技术指标

参数	数值
输入电压/V	10~15
输出电压/V	210~230
输出功率/W	500
转换效率/(%)	≥90%
波形畸变率/(%)	≤5%

#### 1.1 推挽拓扑控制电路设计

推挽拓扑控制电路如图 2 所示,该电路以 TL494 为主控芯片,该芯片包含了脉宽调制型开关电源的所有控制部分:5 V 直流电压参考电源、两个误差放大器、触发器、输出控制电路、脉宽调制比较器、死区时间比较器和一个振荡器。通过更改外围的定时电阻与定时电容就可以实现某一固定频率的 PWM 输出,切换电源供给器的供给电压可选择单端式或推挽输出的模式<sup>[6]</sup>。

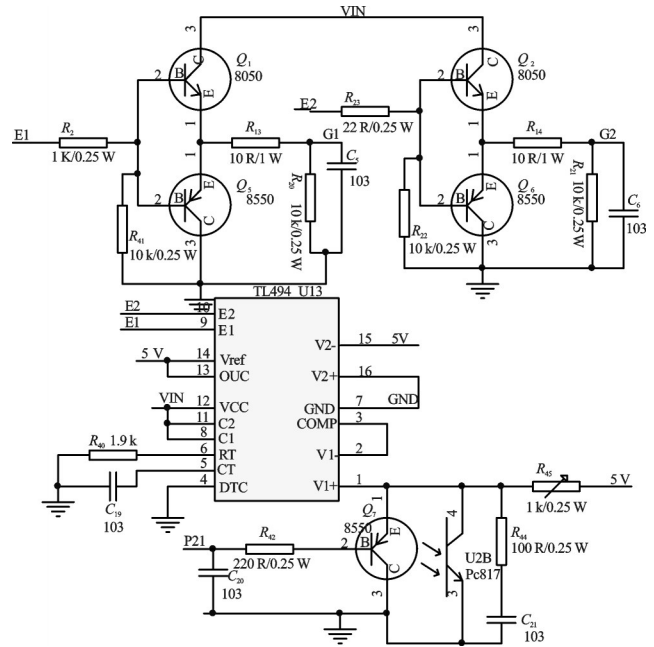


图 2 推挽拓扑的控制电路

该控制电路将 TL494 的输出控制引脚接 +5 V,设置为推挽输出模式;为了增强驱动能力保证开关管的可靠导通与关断,笔者设计了推挽电路即  $Q_1, Q_5$  和  $Q_2, Q_6$ ; U2B(PC817) 将母线电压降压隔离后的小信号反馈到 TL494 的误差放大器引脚来保证母线电压有良好的稳定性。当母线电压高于 400 V 时, U2B 的 4 脚的电压就会升高,进而 TL494 的 3 脚反馈电压升高,输出触发脉冲的占空比下降,母线电压随之下降,该反馈控制电路还具有过压保护的作用;当母线电压介于 310 V~400 V 之间时,输出触发脉冲将以恒定的占空比即 48% 进行输出。

#### 1.2 驱动电路设计

本研究通过设置单片机的可编程计数器阵列 (PCA) 模块的比较/捕捉寄存器 (CCAPmN), 让其工作在 8 位 PWM、无中断的输出模式<sup>[7]</sup>。根据正弦脉宽调制的原理<sup>[8]</sup>, 结合公式  $V_{ref} = V_p \sin(2\pi k/N)$  ( $k=0, 1, 2, \dots, N/2-1$ ), 来制作占空比成正弦变化脉冲所对应的数值表。其中:  $N$  一每周期采样点数,  $V_p$  一逆变器的期望输出电压所对应的数值。单片机通过查表程序实时更新内部寄存器 (CCAPnL/CCAPnH) 的值来产生占空比从 1~0 呈正弦变化的脉冲波, 然后经过反相死区处理电路后加在驱动芯片 HCPL3120 上。

驱动电路如图 3 所示 (以左侧桥臂为例), 以 HCPL3120 为主控芯片, 该芯片的输出电流能力高达 2 A, 最大绝缘耐压 630 V, 普遍应用于 IGBT 及 MOSFET 的驱动电路中。本研究在 HCPL3120 的输出端设置了限流电阻  $R_{16}、R_{17}$ , 通过电阻  $R_{52}、R_{53}$  对开关管的栅源极等效电容充电, 保证开通信号有良好的前沿陡度<sup>[9]</sup>,

并且在栅源极间并联了稳压二极管  $D_{55}$ 、 $D_{51}$ 、 $D_{56}$ 、 $D_{52}$ ,可靠地防止了栅极驱动的高压尖峰<sup>[10]</sup>。该驱动电路的创新点体现在:添加了负偏压电路即稳压管  $U_5$ 、 $U_6$  及泄放电路  $D_{20}$ 、 $D_{22}$ 。 $U_5$ 、 $U_6$  用来提供  $-5\text{ V}$  的反相关断电压,  $D_{20}$ 、 $D_{22}$  及时把开关管的栅极电荷泄放掉,来保证开关管的可靠关断。

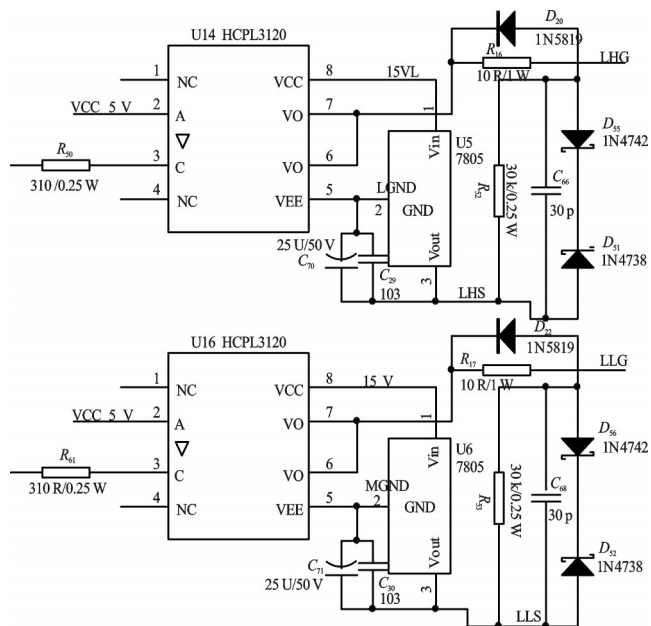


图3 驱动电路

### 1.3 逆变滤波电路设计

逆变滤波电路如图4所示,逆变侧采用全桥逆变电路,每个桥臂的上下管交替导通。为抑制开关管开通过关断产生的电压尖峰,本研究在母线两侧跨接CBB电容<sup>[11]</sup>,即  $C_{57}$ 、 $C_{58}$ ,而不是采用RCD吸收电路<sup>[12]</sup>,既降低了设计成本也达到了预期效果。然后采用LC滤波电路进行滤波,将截止频率设定为  $2\text{ kHz}$ ,由公式  $f=1/2\pi\sqrt{LC}$  进行计算,取  $L=2.4\text{ mH}$ ,  $C=2.25\text{ }\mu\text{F}$ 。

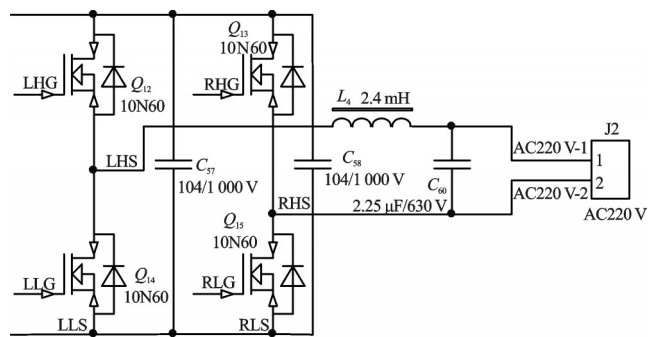


图4 逆变滤波电路

### 1.4 短路保护电路设计

短路保护电路如图5所示,其作用是为了防止桥臂的上、下管同时导通造成短路危险。通过检测开关管的管压降即漏极、源极间的电压来判断是否有短路

现象发生<sup>[13]</sup>。其中,网络标号LHS接到左侧桥臂下管的漏极,网络标号RHS接到右侧桥臂下管的漏极,一旦有短路现象发生,LHS或RHS端的电压将迅速上升,那么  $Q_4$  或  $Q_3$  导通,从而网络标号P20由原来的低电平转变为高电平,单片机立即关闭输出。

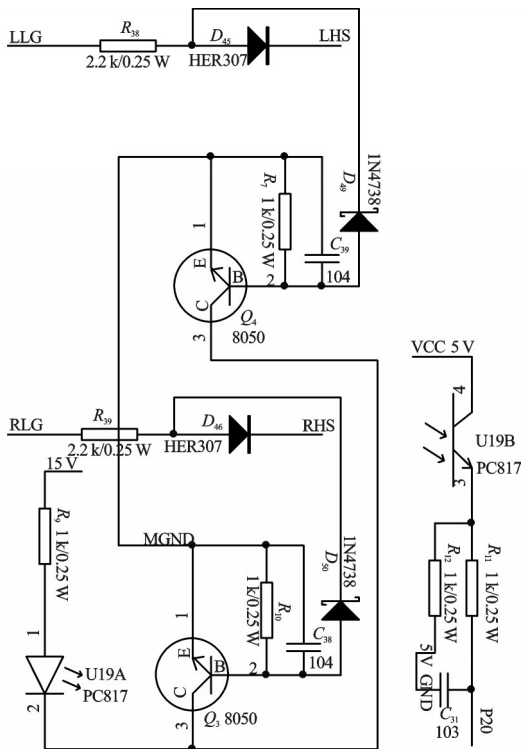


图5 短路保护电路

## 2 软件设计

程序流程图如图6所示。系统软件设计主要包括初始化程序、软启动程序、SPWM波形产生程序、输出电压/输出电流检测程序、桥臂短路保护程序及串口通信程序。

单片机上电后先执行定时器初始化、PCA初始化、A/D初始化、串口初始化程序,然后执行软启动程序,随后执行电池电压检测程序、输出电流检测程序及桥臂短路保护程序,若电池电压处在设置值  $10\text{ V}\sim 15\text{ V}$  之间,输出电流不大于设置值  $3\text{ A}$  且桥臂无短路的情况下,系统执行SPWM波形产生程序对单相全桥进行触发控制。同时系统执行输出电压检测程序,当发现输出电压低于最小设定值  $210\text{ V}$  或高于最大设定值  $230\text{ V}$  时,对SPWM脉冲波的占空比进行实时调整,来保证输出电压处在设定范围之内。当发现输出电流异常、电池电压异常或者桥臂有短路现象发生时则立即关闭输出。此外系统还添加了串口通信子程序,可以实时观测逆变电源的输入输出状态。

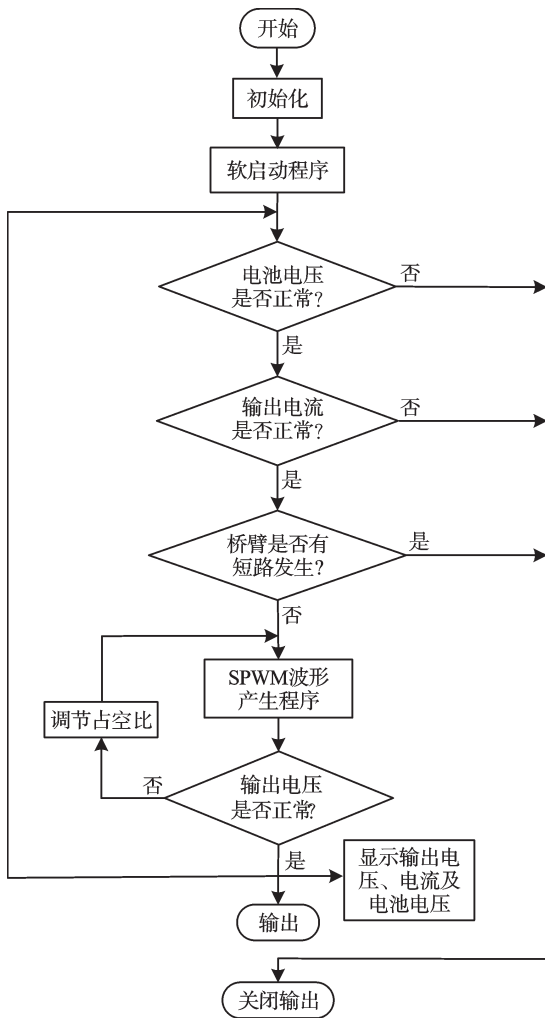


图6 程序流程图

### 3 控制策略简述

为解决逆变电源启动困难的问题,经反复实验,笔者采用“逆变电路先触发,延迟 10 μs 后,再触发升压电路”的控制方式,问题得以解决。

系统的稳压原理框图如图 7 所示。交流输出电压经过隔离降压、整流滤波、分压电路以及 A/D 采样后与单片机内部 220 V 交流电压所对应的数字值  $u^*$  进行比较,最小设定电压 210 V 与最大设定电压 230 V 分别对应的数字值为  $u^* - 4$  与  $u^* + 4$ 。程序内部 SPWM 脉冲波占空比的调整系数设置为  $m/216$ 。软启动程

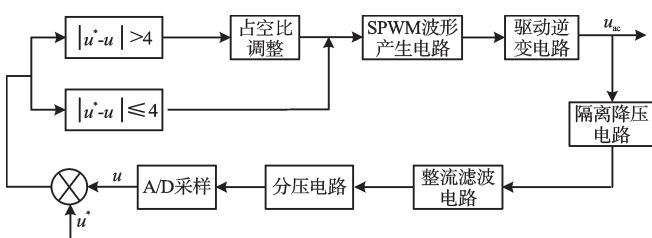


图7 稳压原理框图

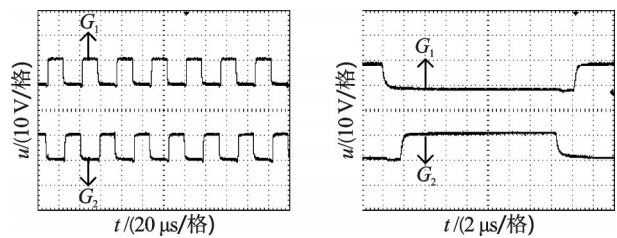
序执行完毕后,  $m$  的值为 216。当发现 A/D 采样后的数值不在上述范围内时,若  $u < (u^* - 4)$ , 则执行  $m = m + 2$ ; 若  $u > (u^* + 4)$ , 则执行  $m = m - 2$ , 对占空比调整后再进行逆变输出, 如此循环, 直到输出电压调整到设定范围内。

### 4 实验结果分析

本研究在输入电压 12 V, 输出端带 50 W 纯阻性负载的条件下对相关实验波形进行了测试与分析。

#### 4.1 推挽升压电路的调试及实验结果

现将 TL494 的定时电阻取为 1.9 kΩ, 定时电容取为 0.01 μF。此时输出触发脉冲的频率为 30 kHz, 幅值为 10 V, 开关管的触发脉冲如图 8(a) 所示; 触发脉冲  $G_1, G_2$  的死区时间为 1.5 μs 左右, 触发脉冲的死区时间如图 8(b) 所示(任取一个周期), 此时整流滤波后的直流母线电压为 332 V。

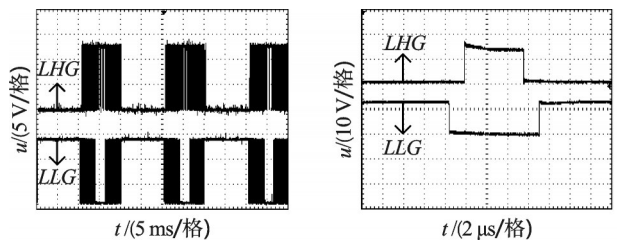


(a) 开关管的触发脉冲 (b) 触发脉冲的死区时间

图8 推挽升压电路的实验波形

#### 4.2 驱动电路的调试及实验结果

加在逆变全桥上的触发波如图 9(a) 所示(以左侧桥臂为例), 输出电压幅值为 13 V, 周期为 20 ms; 同一桥臂上、下开关管触发脉冲的死区时间约为 1.8 μs, 如图 9(b) 所示(任取一个周期)。



(a) 左侧桥臂上的触发波 (b) 触发脉冲的死区时间

图9 驱动电路的实验波形

#### 4.3 全桥逆变电路的调试及实验结果

本研究对全桥逆变电路滤波前及滤波后的波形分别进行测试, 滤波前的波形如图 10(a) 所示, 输出电压幅值为 332 V, 周期为 20 ms; 滤波后的正弦波如图 10(b) 所示, 输出电压的有效值为 224 V, 周期为 20 ms, THD 约为 3.7%, 系统效率约为 88.6%。

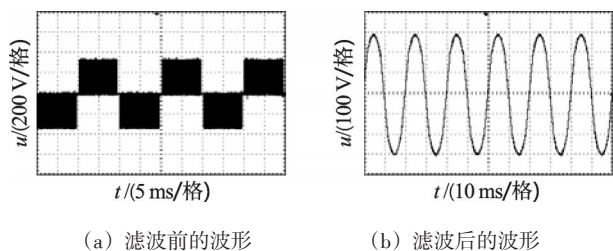


图10 逆变电路的输出波形

## 5 结束语

本研究详细介绍了该车载逆变电源的硬件参数设置及控制策略。推挽升压电路采用高频变压器进行隔离升压,大大减小了系统硬件电路的体积及噪声污染;该电路使用单片机作为主控芯片,易对SPWM触发波占空比进行控制,也易于进行系统功能的扩展设计。经反复实验,本研究采用“逆变电路先触发、升压电路后触发”的控制方式,解决了以往逆变电源启动困难的问题,但是该部分缺少相关理论分析;由于PCB线路板布局问题系统的效率还未满足设计要求有待进一步改进。经实验验证,系统的控制方案稳定、可靠,并且该逆变电源具有体积小、散热好、噪声小、易启动的特点,既便于安装也适合产品化生产。

### 参考文献(References):

- [1] 范玲莉. 500 VA 车载正弦波逆变电源设计[D]. 杭州:浙江大学电气工程学院,2010:1-3.
- [2] 魏佳霞. 逆变电源启动电路结构分析与研究[J]. 现代企业文化,2009(9):141-142.
- [3] 童仙美,汤雨. 适合宽输入电压的单级升降压逆变器[J]. 中国电机工程学报,2013,33(6):61-66.
- [4] YU Wen-song, HUTCHENS C, LAI J S, et al. High efficiency converter with charge pump and coupled inductor for wide input photovoltaic ac module applications [C]//IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, 2009: 3895-3900.
- [5] 王兆安,黄俊. 电力电子技术[M]. 4版. 北京:机械工业出版社,2009.
- [6] [作者不详]. TL494脉宽调制芯片-技术手册[EB/OL]. [1995-08-05]. <http://www.21icSearch.com/pdf-A85BE9BC09F73D98/TL494.html#>.
- [7] STC12C5A60S2 技术手册[EB/OL]. [2013-10-18]. <http://www.stcmcu.com/datasheet/stc/STC-AD-PDF/STC12C5A60S2.pdf>.
- [8] 陈坚. 电力电子学-电力电子变换和控制技术[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2004.
- [9] 田颖,陈培红,聂圣芳,等. 功率MOSFET驱动保护电路设计与应用[J]. 电力电子技术,2005,39(1):73-75.
- [10] 孟志强,陈艳东. 基于EXB841的IGBT驱动电路优化设计[J]. 湖南大学学报,2006,33(6):63-67.
- [11] 龚斌,贾正春,熊娅俐,等. IGBT的开关过电压保护电路研究[J]. 电工技术杂志,2002(3):1-4.
- [12] 刘先正,王颖. 基于PIC18F4431的逆变电源控制系统[J]. 机电工程,2010,27(10):119-122.
- [13] 王文兵. 基于功率MOSFET导通压降的短路保护方法[J]. 电力电子技术,2009,43(8):77-78.

[编辑:罗向阳]

### 本文引用格式:

包广清,任士康. 基于STC系列单片机的车载逆变电源[J]. 机电工程,2014,31(2):239-243.

BAO Guang-qing, REN Shi-kang. Automotive inverter power supply based on STC[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(2): 239-243. [《机电工程》杂志:http://www.meem.com.cn](http://www.meem.com.cn)

(上接第207页)

- [7] IONEL D M, POPESCU M, DELLINGER S J, et al. On the variation with flux and frequency of the core loss coefficients in electrical machines[J]. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2006, 42(3): 658-667.
- [8] POPESCU M, IONEL D M. A best-fit model of power losses in cold rolled-motor lamination steel operating in a wide range of frequency and magnetization[J]. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2007, 43(4): 1753-1756.
- [9] BOGLIETTI A, CAVAGNINO A, LAZZAZARI M, et al. Predicting iron losses in soft magnetic materials with arbitrary voltage supply: an engineering approach[J]. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2003, 39(2): 981-989.
- [10] MCCLAY C I, WILLIAMSON S. The variation of cage motor losses with skew[J]. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2000, 36(6): 1563-1570.
- [11] KWON S O, LEE J J, LEE B H, et al. Loss distribution of three-phase induction motor and BLDC motor according to core materials and operating [J]. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2009, 45(10): 4740-4743.
- [12] WOO J, TACK K B, KWON B I. Optimal stator slot design of inverter-fed induction motor in consideration of harmonic losses[J]. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2005, 41(5): 2012-2015.
- [13] IORILLO F, NOVIKOV A. An improved approach to power losses in magnetic laminations under nonsinusoidal induction waveform [J]. *IEEE Transactions on Magnetics*, 1990, 26(5): 2904-2910.
- [14] 中国标准出版社. 旋转电机标准汇编异步电机卷[S]. 北京:中国标准出版社,2003.

[编辑:洪炜娜]