

车载单相正弦脉宽调制 IGBT 逆变器的设计*

史长青

(盐城工学院 电气工程系, 江苏 盐城 224003)

摘 要:介绍了车载单相正弦脉宽调制 (SPWM) IGBT 逆变器的基本结构方案, 以车用 24 V 直流电源为逆变器输入, 变换得到 50 Hz/220 V 交流电。该方案采用中间直流环节的高频变压器式逆变电源系统结构, 它由高频逆变、高频变压器隔离升压、整流滤波、高频 SPWM 逆变和输出滤波组成。对逆变器的控制及保护电路也在作了详细的介绍, 并给出试验结果。

关键词:正弦脉宽调制; 逆变器; 高频; 车载

中图分类号: TM4

文献标识码: A

文章编号: 1008 - 5092(2001)04 - 0013 - 04

现代汽车, 特别是豪华汽车、商务办公车以及一些专用车辆上的用电设备越来越多。有些设备的电源必须是正弦 50 Hz 交流电, 如车用冰箱等。普通简单的方波逆变器将不能使某些用电设备正常工作。因此, 车载高性能逆变器有广阔的市场需求, 正受到越来越广泛的重视。研究逆变器的关键技术在于功率变换器件和控制方法, 使用 IGBT, 可使逆变器具有工作频率高、驱动简单、体积小、重量轻、效率高等诸多优点^[1]。本文采用正弦函数发生电路芯片 ICL8038^[2] 与集成脉宽调制电路芯片 SG3524 适当连接, 可实现逆变器的正弦脉宽调制 (SPWM), 具有比常用分立元件控制电路结构^[3] 更简单、可靠、易于调试的优点。

1 系统结构方案

车辆上的一次电源为并联的车用直流发电机和蓄电池。用电量较大的车辆直流电压等级为 24 V。当车辆发动机工作时, 由发电机供电, 并向蓄电池充电。发动机不工作时, 则由蓄电池供电。逆变器为二次电源, 将车辆上的 24 V 直流电逆变为 50 Hz、220 V 的交流电供给用电设备。

高性能车载逆变器采用中间直流环节的高频变压器式逆变电源系统结构, 它由高频逆变、高频变压器隔离升压、整流滤波、高频 SPWM 逆变和高频滤波输出组成。因它工作在高频情况下, 可使

变压器、滤波电感、电容的体积及重量减小, 噪声降低, 反应速度提高。系统的主电路及控制电路框图如图 1 所示。图中, 直流升压电路采用推挽变换电路, 以适应低压、大电流情况, 高频变压器隔离输出整流得到高压直流, 电压等级为 350 V, 变压器变比定为 32。由于推挽电路不可能绝对对称, 变压器设计时应考虑降低磁通密度 (采用附加气隙), 以消除偏磁的影响。推挽电路由 SG3524-1 控制, 为使直流环节电压可调, 由反馈调压回路检测逆变器输出电压, 调节 SG3524-1 输出脉冲占空比, 使逆变器输出交流电压稳定在 220 V。DC-AC 逆变的主电路采用 IGBT 全桥电路。利用 ICL8038 及 SG3524-2 生成 SPWM 信号, 经分相隔离驱动 IGBT 桥臂, 再经滤波后得到单相 50 Hz、220 V 交流电。为保证系统可靠工作, 防止主电路对控制电路的干扰, 采用主、控电路完全隔离的方法, 即驱动信号用光耦隔离, 反馈信号用互感器、变压器隔离, 控制芯片的功耗低, 其电源引线可直接接到蓄电池的“+、-”端, 再用限流电阻经稳压管稳压得到工作电压。IGBT 的保护电路有过流保护电路与过压吸收电路。

2 控制及保护电路

本车载逆变器因技术指标要求较高, 控制电路较普通方波逆变器复杂。为降低成本, 利用了

* 收稿日期: 2001 - 04 - 06

作者简介: 史长青 (1966-), 女, 江苏阜宁县人, 盐城工学院助理实验师。

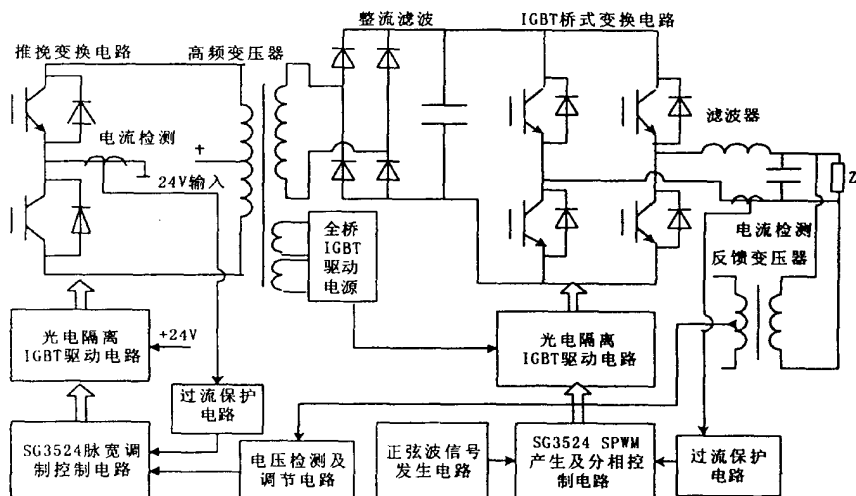


图 1 系统主电路和控制电路框图

Fig.1 The frame of main circuit and control circuit

两块集成 PWM 脉冲产生芯片 SG3524 和一块函数产生芯片 ICL8038,使得控制电路简洁、易于调试。

2.1 SG3524 功能及引脚

图 2 所示为 SG3524 的结构和引脚图。它的振荡器频率 f 由外接电阻 R_T 和电容 C_T 决定, $f = 1.1 / (R_T \cdot C_T)$ 。 C_T 上的正向锯齿波和误差放大器输出的控制电压信号通过比较器比较后,获得脉宽可调的脉冲输出。本次设计将推挽电路的开关频率定为 10 kHz, 取 $C_T = 0.22 \mu\text{f}$, $R_T = 5 \text{ k}\Omega$ 。 逆变桥开关频率定为 5 kHz, 取 $C_T = 0.22 \mu\text{f}$, $R_T = 10 \text{ k}\Omega$ 。 SG3524 的工作过程是这样的, 直流电源 V_s 从 15 号引脚接入分两路: 一路加到或非门; 另一路送到基准电压稳压器的输入端, 产生稳定的 +5 V 基准电压, +5 V 再送到内部(或外部)电路的其它元件作为电源。 振荡器 7 号引脚需接外接电容 C_T , 6 号引脚需接外接电阻 R_T 。 C_T 、 R_T 决定了振荡器的频率。 振荡器的输出分为两路: 一路以时钟脉冲形式送至双稳态触发器及二个或非门; 另一路以锯齿波形式送至比较器的同相端。 比较器的反相端连向误差放大器。 误差放大器实际上是个差分放大器, 1 号引脚为其反相输入端; 2 号引脚为其同相输入端。 一般地, 一个输入端连到 16 号引脚的基准电压的分压电阻上(应取得 2.5 V 的电压), 另一个输入端接控制反馈信号电压。 误差放大器的输出与锯齿波电压在比较器中进行比较, 从而在比较器的输出端出现一个随误差放大器输出电压高低而改变宽度的方波脉冲, 再将此方波脉冲送到或非门的一个输入端。

或非门的另二个输入端分别为双稳态触发器、振荡器锯齿波。 双稳态触发器的两个输出端互补交替输出高低电平, 作用是将 PWM 脉冲交替送至 A、B 输出, 锯齿波在此的作用是保证 A、B 两个三极管输出不可能出现同时导通, 加入了死区时间。 最后, 在晶体管 A、B 上分别出现脉冲宽度调制波, 两者相位相差 180 度。 当 A、B 并联应用时, 其输出脉冲的占空比为 0% ~ 90%; A、B 分开使用时, 输出脉冲的占空比为 0% ~ 45%, 脉冲频率为振荡器频率的 1/2。 当 10 号引脚上加高电平时, 可实现对输出脉冲的封锁, 可用之实现过流保护功能。

2.2 SPWM 信号的生成

根据 SG3524 的工作原理, 当我们把一个按正弦规律变化的电压信号加到比较器的负端, 就可以得到按正弦规律调制的脉冲波。 正弦信号的产生由一片精密函数波形发生芯片 ICL8038(国产型号为 5G8038)。 它具有频率范围宽、频率稳定度高、外围电路简单、易于调试等优点, 可产生 0.001 ~ 300 kHz 高质量的正弦波、矩形波、三角波。 该芯片的应用连接图如图 3 所示。 本次设计需要利用该芯片产生 50 Hz 的正弦波与方波, 方波用于逆变桥驱动 SPWM 信号的分相(正负半周信号的分相)。 振荡频率 $f = 0.15 / (R \cdot C)$, 电阻 R 接在 4、5 两引脚短接与 V_+ 间, C 接在 V_- 与 10 号引脚间。 为使频率准确稳定, R 为 4.7 k Ω 精密可调电阻, C 为 1 μf 。 12 脚接 100 k Ω 可调电阻, 该电阻用于调整正弦波的失真度。 正弦波由 2 脚输出经电容隔直, 精密整流后得到正弦脉动波(馒头

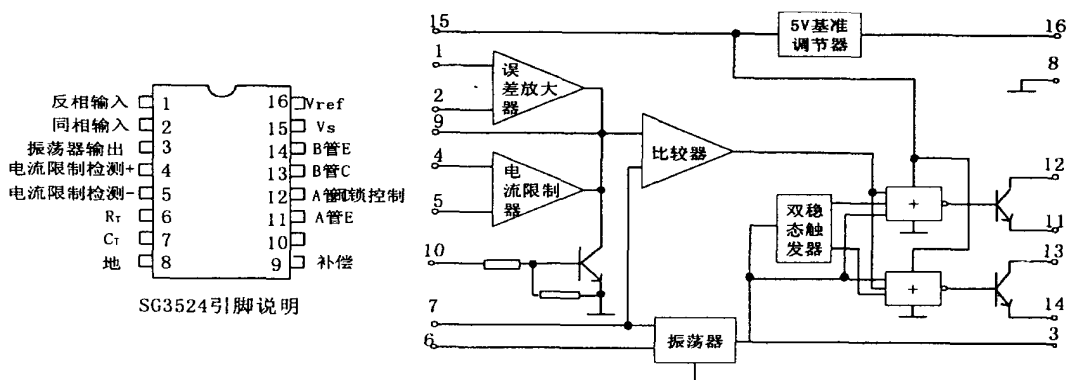


图2 SG3524 引脚及内部框图

Fig.2 The pins of SG3524 and its inside frame

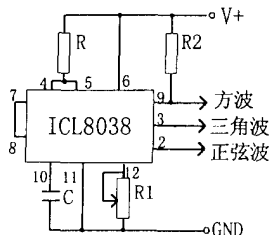


图3 ICL8038 应用于正弦波信号发生

Fig.3 ICL8038 being used to generate sine wave

波),再经分压使幅度在 $0 \sim 3.5 \text{ V}$ 间变化。该信号输入到 SG3524 的误差放大器的同相输入端 2 号引脚,1 脚与 9 脚相连,这时误差放大器为射极跟随器形式。这样正弦信号加到内部比较器的负端,与 SG3524 内部产生的锯齿波调制信号比较后,得到正弦脉宽调制 SPWM 信号,该信号经过分相电路及驱动电路加到 IGBT 上,就可实现正弦脉宽调制。分相电路是将 SPWM 信号对应正弦波的正负半周的信号分别施加到 IGBT 的不同桥臂上。分相信号取自 ICL8038 输出的方波,该方波与正弦信号同频同相。该方波信号一路直接接一与门,另一路经非门后接另一与门,这两个与门的另一输入信号为 SPWM 信号,这样可完成分相。

2.3 反馈调压电路

当逆变器正常工作时,逆变器的输出信号接反馈变压器,此电压经整流、滤波、分压得到反馈电压 U_0 ,显然,这个 U_0 的大小是正比于逆变器的输出电压的。调节 W_1 的大小,可调节从逆变器送来的负反馈电压的大小,从而调节逆变器输出电压的幅值。 U_0 控制信号被送到 SG3524-1 芯片的误差放大器的反相端 1 脚。误差放大器的同相端 2 脚接给定参考电平。这样,SG3524-1 的输出脉冲的占空比就受反馈信号的控制。调节过程

是这样的,当逆变器输出因突加负载而降低时,它会使加在 SG3524 的 1 脚的输入反馈电压下降,这会导致 SG3524 输出脉冲宽度增加,即占空比增加,从而使得推挽电路输出电压升高,逆变桥的直流电压升高,逆变器输出交流电压升高。反之亦然。可见,正是通过 SG3524 的脉宽调制组件的控制作用,实现了整个逆变器的输出自动稳压、调压功能。电路图如图 4 所示。

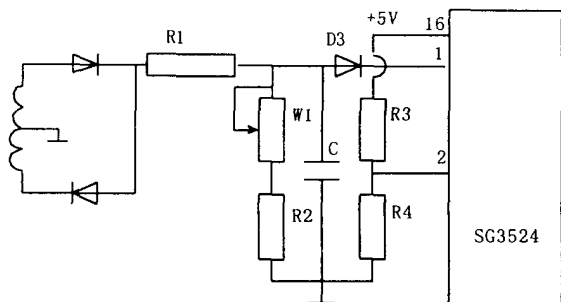


图4 反馈调压电路

Fig.4 The circuit of feedback regulating voltage

2.4 过流过载保护

推挽电路及逆变电路两部分的过流保护电路基本是相同的,都是利用了 SG3524 的 10 脚加高电平封锁脉冲输出的功能。当 10 脚为高电平时,SG3524 的 11、14 脚上输出的脉宽调制脉冲就会立即消失而成为零。过流信号取自电流互感器,推挽电路检测位置位于高频变压器后,整流电路前。桥式逆变的检测位置在滤波电路前。互感器输出经整流后得到电流信号加至如图 5 所示过流保护电路上。过流信号加至电压比较器 LM339 的同相端。当过流信号使同相端电平比反相端参考电平高时,比较器将输出高电平,则二极管 D 将从原来的反向偏置状态转变为正向导通,并把同相端电位提升为高电平,这一变化将使得电压比较

器一直稳定输出高电平,使逆变器停止工作。在正常状态下,比较器输出 0 电平,不影响逆变器工作。

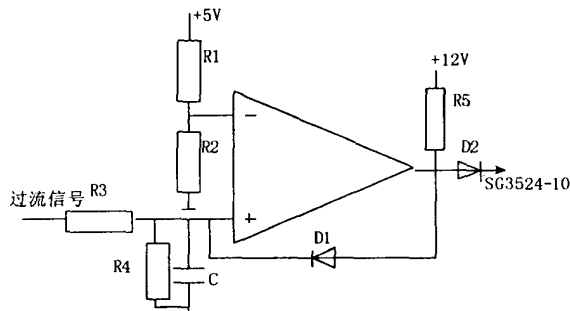


图 5 过流保护电路

Fig.5 The circuit of over-flow protection

2.5 IGBT 的驱动与过压保护

IGBT 是用于功率开关线路的比较新型的大功率开关器件,导通压降低,耐压高,性能优于功率 MOSFET 管与大功率晶体管。据其开关特性,IGBT 的驱动与保护电路也较为复杂,但已有集成化的驱动模块,如 HR065、EXB840、HCPL3120 等,外接元件少,成熟可靠。本方案采用 HCPL3120 混合驱动模块的标准电路及参数。需要指出的是,IGBT 逆变桥的上下桥臂的电位不等,驱动须用不同的电源,必须隔离,本方案的驱动电源来自推挽高频变压器的另加的两套输出绕组,这两套绕组的高频方波电压经整流滤波得到的两组 20V 的驱动电源分别供给上下桥臂的驱动电路。

逆变桥的过压吸收电路如图 6 所示。电容 C 在功率开关管开关过程中不发生完全的充放电,稳态时电容电压维持为电源电压,只有在线路寄生电感引起过电压时,电容才放电。功率管导通时,吸收电容充有电源电压;功率管截止时,由线路寄生电感产生的过电压尖峰通过二极管被电容

吸收;电容上的过电压再通过电阻和电源放电。

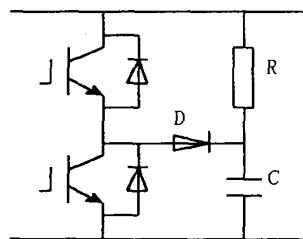


图 6 吸收电路

Fig.6 Snubber circuit

3 逆变器的试验结果

按本次设计的车载 SPWM 逆变器方案试制了样机,样机额定输出功率为 500 W。滤波器参数取 $L = 4 \text{ mH}$, $C = 22 \text{ uf}$ 时,滤波效果较好。样机的输出电压波形如图 7 所示。示波器的波形采自一隔离衰减变压器,从直观看,电压波形正弦度较好(因条件所限,尚未测试 THD)。用此样机为一台交流电扇供电(单相感应电机),运转平稳,噪声较低。实验表明,本文提出的车载正弦波逆变器的构成方案是切实可行的,体积小,重量轻,工作可靠,适用于车辆向某些车载用电设备提供正弦交流电。

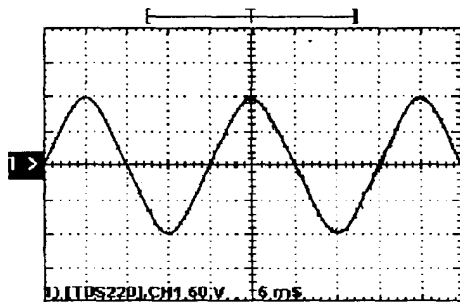


图 7 逆变器输出波形(经衰减)

Fig.7 The wave of output voltage

参考文献:

- [1] 丁道宏. 电力电子技术[M]. 北京:航空工业出版社,1992.
- [2] 沙占有. 新型特种集成电源及应用[M]. 北京:人民邮电出版社,1998.
- [3] 李强,周希德. 车载单相正弦脉宽调制 IGBT 逆变器的研制[J]. 电力电子技术,1997,(1):10~12.

The Design of SPWM Inverter for Mobile Vehicle

SHI Chang-qing

(Department of Electric Engineering of Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, PRC)

Abstract: This paper presents a design scheme of single-phase sine pulse wide modulation (SPWM) IGBT inverter for mobile vehicle. This inverter converts the 24V DC battery power supply to 50Hz/220V alternative current source. This design scheme adopts high frequency transformer inverter power system structure with DC-link in middle. It consists of high frequency inverter, isolation and booster voltage transformer, rectifier with filter, high frequency SPWM inverter and output filter. The control and protection circuits are introduced in detail in this paper, and the experiment is also presented.

Keywords: SPWM; Inverter; High Frequency; Vehicle