

基于SG3525的单相桥式逆变器的设计与仿真

作为应用最为广泛的单相桥式逆变器，为了提高产品的集成度及可靠性，提出用集成PWM控制器SG3525产生的PWM信号作为桥式驱动集成电路芯片IR2110的输入信号，并由IR2110驱动大功率场效应管MOSFET以逆变出交流电的方案。最后利用Matlab/Simulink强大的仿真功能建立其仿真模型，通过对电路参数的选择优化完成样机的制作。实验证明使用SG3525设计的单相桥式逆变器具有性能优良、功能齐全以及通用性较强的特点，因此该系统有较好的实用价值。

姚 宁/许昌学院电气信息工程学院



姚 宁/讲师

逆变器是指通过半导体功率器件（如GTR、MOSFET和IGBT等）的导通与关断，将直流电能转换成交流电能，是整流器的反向变换装置。逆变器技术融合了电力电子开关器件技术、模拟与数字技术以及PWM技术等现代技术。由于逆变器是通过功率器件的导通和关断进行电能转换的，因此具有转换效果高的优点，同时也使其输出的波形比较差，且含有较高的谐波成分。逆变器尤其是正弦波逆变器，已经广泛应用于各种工业和民用的功率变换装置中，如交流传动系统、UPS电源和变频电源。同时各种先进控制技术的发展，使其性能、效率和可靠性都提高到一个新的水平。

关键词/Keywords

单相桥式逆变器 ·
MOSFET ·
SG3525 ·
PWM ·
IR2110 ·

逆变器工作原理及分类

1. 逆变电路的工作原理

逆变器通过开关器件的有序导通与关断将直流变换为交流方波。当交流

侧接在电网上时，即交流电接有电源，称为有源逆变；当交流侧直接和负载连接时，称为无源逆变。逆变器在工作过程中电流不断从一个支路流向另一个支路，这就是换流。换流方式在逆变电路中占有突出的地位。MOSFET属于全控型器件，可利用其自关断能力进行换流单相（器件换流）。

图1中Q1~Q4是典型的桥式电路。

当Q1、Q4导通，Q2、Q3关断时，电流从Q1流向Q4，负载电压为正；同理，当Q1、Q4关断，Q2、Q3导通时，负载电压为负，这样就将直流电转变为交流电，改变两个臂导通的切换频率，即可改变输出交流电的频率，这就是逆变电路最基本的工作原理。当负载为电阻时，负载电流和电压的波形相同，相位也相同；当负载为电感时，电流相位滞后于电压，两者波形也不相同。

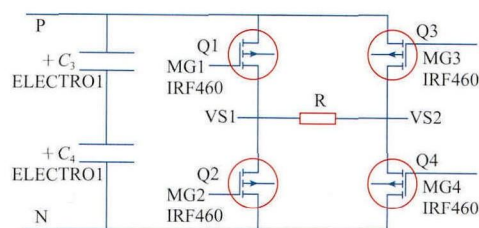


图1 全桥逆变电路

2. 逆变器的分类

(1) 单相全桥逆变器

全桥是指内部驱动电路的结构形式，其中由各含2个功率晶体管的桥臂连接成正方形组成全桥，4个晶体管轮流工作于正弦波的各个波段，两组开关的中性点构成输出端，相当于取两个半桥的

河南省科技厅项目（142102210292），河南省教育厅科学技术研究重点项目（14A140020）。

电压差，因此可以得到正负双向的交流输出。全桥逆变器可以不依赖外加器件，仅使用单电压源输出双端的完全交流信号。单相全桥逆变电路及其电压电流波形如图2所示。

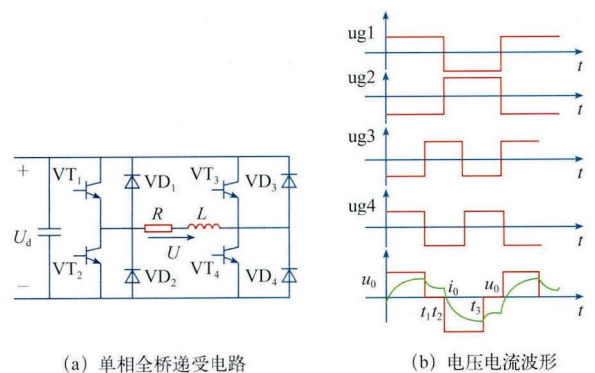


图2 单相全桥逆变电路及其电压电流波形

(2) 三相桥式逆变器

三相桥式逆变器由3个桥臂和6个功率晶体管组成，逆变器的输出分别位于三组开关的中性点，取两两之间的电压差就可以得到三相电所需的3个相电压。控制三组功率晶体管的导通和关断顺序，三相桥式逆变器即可以输出幅值相等、频率相等的三相电信号。三相桥式逆变电路如图3所示。

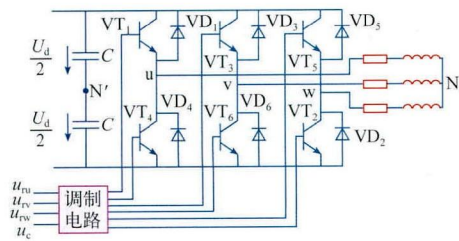


图3 电压型三相桥式逆变电路

3. 逆变器的输出电压计算

单相全桥式逆变电路在各类产品中得到广泛的应用，当逆变器中的功率晶体管以PWM调制的方式工作时，按傅里叶级数展开后，幅值为 U_d 的矩形波 U_o 可以看作是由基波和谐波的叠加，因此存在以下关系

$$U_o = \frac{4U_d}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right) \quad (1)$$

$$U_{olm} = \frac{4U_d}{\pi} = 1.27U_d \quad (2)$$

$$U_{ol} = \frac{2\sqrt{2}U_d}{\pi} = 0.9U_d \quad (3)$$

式中， U_{olm} 为基波的幅值； U_{ol} 为基波的有效值。

主电路的选择和设计

本样机的设计采用单相全桥结构，具体设计参数如下：输入直流电压为48 V；输出功率为1 kW；输出电压为单相交流220 V。

1. 单相逆变器的系统原理图

单相逆变器硬件回路由主电路、控制电路和驱动电路3部分组成。其中主电路采用典型的交—直—交变换电路；控制回路以集成PWM控制器SG3525为核心；驱动电路由驱动芯片IR2110及外围构成。单相逆变器的系统原理如图4所示。

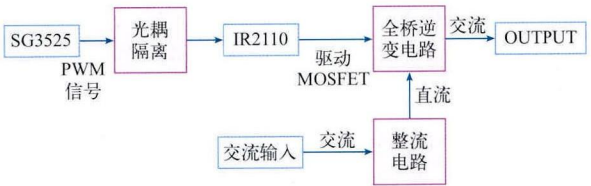


图4 单相逆变器的系统原理

(1) 逆变主电路

逆变器的核心是逆变开关电路，通过功率器件的导通和关断完成逆变功能。本文设计的直流48 V输入、220 V输出的逆变电源由以下几部分组成。

1) 降压电路。为了得到直流48 V电源，需要在整流电路前加变压器将交流220 V变为交流电源40 V，由于降压电路简单在此不作详述。

2) 整流电路。其电路如图5所示。

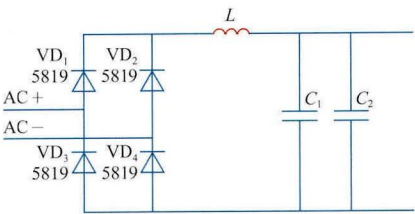


图5 整流电路

系统的工作原理如下：当交流电压处于正向电压时，二极管 VD_1 、 VD_4 导通，电流从二极管 VD_1 、 VD_4 流过，通过负载电阻对电容 C_1 、 C_2 充

电；当交流电压处于负半周期时，二极管 VD_2 、 VD_3 导通，电源通过二极管 VD_2 、 VD_3 ，负载对电容 C_1 、 C_2 充电。经过周期性的工作后，最终输出电压经电容 C_1 、 C_2 滤波后得到直流电压。

3) 全桥逆变电路。本文采用全桥逆变电路作为主电路，该电路适合大功率输出电路。电路由大容量的电解电容 C_3 和4个型号为IRF460的MOSFET管组成。直流电压由整流桥的输出经整流滤波后提供。单相全桥逆变电路共由4个桥臂组合而成：其中桥臂1和4为一对，是正电压形成通道；桥臂2和3为另一对，是负电压形成通道。驱动波形的同时控制同一桥臂的两个MOSFET导通，上下桥臂交替导通各 180° ，从而在负载处得到交变的电压。

(2) PWM信号的产生

脉宽调制(PWM)技术是随着自关断器件的发展而发展起来的。20世纪80年代以后，被广泛应用于工业频率控制的逆变器中，因而得以迅速发展并逐渐成熟。PWM利用半导体开关器件的导通和关断使输出端得到一系列幅值相等而宽度不相等的脉冲，用这些脉冲来代替正弦波或需要的波形，并按照一定的规则对脉冲进行调制即可改变逆变器的输出电压和输出频率。PWM信号的产生也从最初的分立元器件构成的模拟电路发展到集成电路(如SG3525)，该芯片可以输出两路互补的PWM斩波信号、5.1 V的基准电压以及脉宽信号锁存等功能，因其具有高可靠性、使用方便等一系列优点在功率变换电路中(如直流斩波、正弦波整流器、谐波吸收和变频装置等)得到了广泛的应用。

本电路利用集成PWM控制芯片SG3525产生的PWM信号作为驱动信号，控制单相桥式逆变器的4个MOSFET管交替导通，从而在负载处逆变出交流电。

PWM信号产生的电路如图6所示。其中，引脚1与引脚9短接；引脚2通过电阻 R_{15} (10 k Ω) 和电位器 R_{16} (10 k Ω) 的中性点相连；电位器 R_{16} 的两端分别接基准电压(5.1 V)和接地；引脚3和引脚4悬空；引脚5通过滤波电容 C_{13} (0.01 μ F) 接地，

同时该引脚还通过电阻 R_{14} (10 Ω) 与引脚7相连；引脚8通过 C_{14} (100 μ F) 接地，起到软起动功能；引脚13和引脚15为该芯片的工作电压输入端，接15 V电源；引脚11、引脚14为两路PWM信号输出端；PWM1和PWM2为SG3525输出的两路占空比相等、相位差为 180° 的驱动信号。通过 R_{16} 调节占空比，调节 R_{16} 即可改变输入引脚2的电压值 U_r ，当参考电压 U_r 减小时，PWM1的占空比增大。由SG3525输出PWM1和PWM2两路PWM信号，通过光耦隔离及驱动电路驱动逆变器的上下桥臂两路MOSFET管。

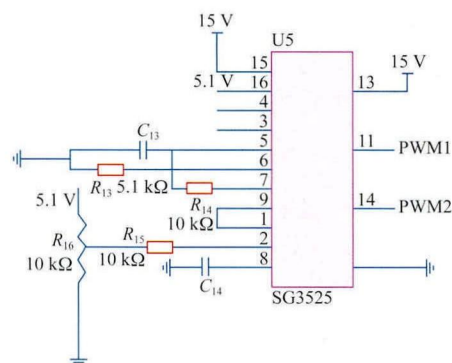


图6 PWM信号产生的电路

(3) 光耦隔离电路

SG3525发出两路PWM信号：其中一路信号经电阻 R_1 送到光耦1的输入端，同时该信号经74HC14反向处理后，送给光耦2；另外一路PWM信号做同样的处理。经光耦隔离处理后的PWM信号驱动集成电路芯片IR2110的高、低端输入信号。光耦隔离电路如图7所示。

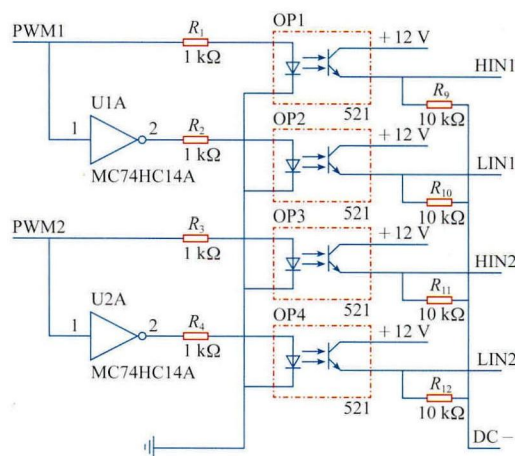


图7 光耦隔离电路

(4) MOSFET栅极驱动电路设计

为了提高单相逆变器的可靠性、简化电路以及提高系统的集成度,经过调研决定采用美国IR公司出品的IR2110驱动集成芯片。该芯片采用双通道、栅极驱动,另外在芯片中还采用了高集成的电平转换技术,简化了逻辑电路对功率器件的控制要求,并集成了多种保护功能,因此电路参数一致性好、稳定可靠。IR2110上管采用外部自举电容上电方式,因此减少了驱动电源的数量。对于常见的三相桥式逆变器,由于IR2110集成两路驱动电路,因此只需三片IR2110、一路15 V电源。在硬件设计上大大减少了电源变压器的体积和驱动电源数量,提高了系统的可靠性,降低了成本。

IR2110将来自SG3525的PWM信号经光耦隔离并进行功率放大后,同时产生驱动需要的负脉冲,保证MOSFET管的可靠关断。采用光耦进行电路隔离,使控制电路和驱动电路之间有了很好的电气隔离,减少了MOSFET管关断时对控制电路的干扰。

本文设计的为单相桥式逆变器,由于一片IR2110可以驱动同一个桥臂的上下两个开关器件,因此采用两片IR2110可以满足设计要求。以其中一路的IR2110为例说明电路的组成,另一路工作原理相同。图8中列出了IR2110的外围电路,其中 C_9 和 C_{10} 为自举电容,12 V电源经 VD_5 给 C_{10} 和 C_9 充电,保证在Q1导通、Q2关断时, C_9 和 C_{10} 有足够的能量驱动Q1的栅极。一般选用一个大容量和

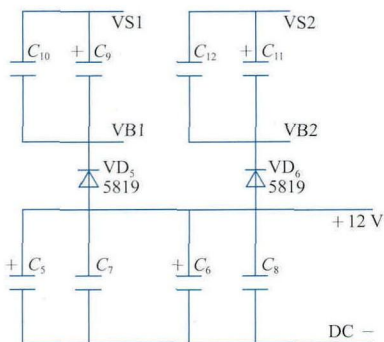


图8 IR2110外围电路

一个小容量的电容并联作为自举电容,在逆变器的工作频率为20 kHz时,选取 C_{10} 为0.1 μF , C_9 为1.0 μF 。并联高频小电容的作用是吸收逆变电路工作时产生的干扰电压。

电路模型的建立与仿真

为了验证文中所提方案的正确性,需要选择合适的器件参数,利用Matlab Simulink软件对单相逆变电路进行仿真。为了得到与实际相符合的结果,对电路的元器件建立合适的模型。仿真模型主要由PWM波形发生器、单相逆变器和 RL 滤波器组成。

仿真结果如图9所示。从图中可知,电路仿真结果与实际情况相符,可以很好地描述全桥MOSFET逆变主电路的工作过程。输出电压经电感滤波后,在负载 R 上可获得比较理想的正弦波。

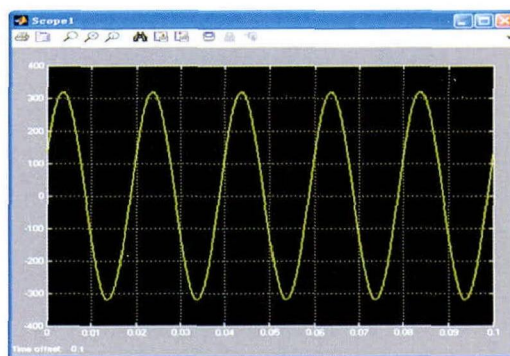


图9 输出电压的仿真波形

结束语

本文在详细分析逆变器工作原理的基础上,设计了以SG3525集成PWM控制器为控制核心的单相桥式逆变器,并在Matlab Simulink中建立了控制系统的仿真分析模型。通过对系统进行仿真可以实时地观测仿真结果。仿真验证了采用该控制方案在单相桥式逆变器应用中的可行性,因此该系统有较好的实用价值,对实际工程应用具有一定的指导意义。

(收稿日期:2015-01-11) EA