

# 20KHZ IGBT PWM 型高效大功率 超声波发生器

陈志伟 司怀吉  
(河南农业大学, 郑州, 450002)

**摘 要** 本文论述20KHZ PWM (脉冲宽度调制) 型大功率超声波发生器的原理和电路组成。PWM 信号是由性能优越的TL494集成电路产生, 高频逆变器采用国际先进的磁性材料和 IGBT 功率器件构成。逆变器将输出的高频电压送入超声波换能器, 从而辐射出超声波。该系统具有电路简单, 工作可靠, 体积小, 成本低, 输出功率调节方便, 效率高, 实用性强等特点。

**关键词** PWM 信号; 高频逆变; 超声换能器

**中图分类号** TN78 TN752.6

## 0、引言

随着科学的发展和技术的进步, 超声波在工农业生产、国防建设和人民生活中的应用越来越广, 如超声焊接、超声清洗、干燥、雾化、导航、测距、育种等领域的应用日趋广泛。现有的大功率超声波发生器, 大都采用大功率电子管或高频可控硅组成。近年来, 由于全控制型电子器件和 PWM 技术的迅速发展<sup>[3], [2]</sup>, 促进了超声波电子系统的进步, 我们根据生产的需求, 设计制作了这套系统, 它具有效率高、性能稳定、体积小、重量轻和使用方便等特点。

## 1、电路组成及工作原理

图1是系统电路原理框图, 它由电网滤波器、工频整流及滤波、高频逆变、高频变压器、超声换能器以及 PWM 电路组成。

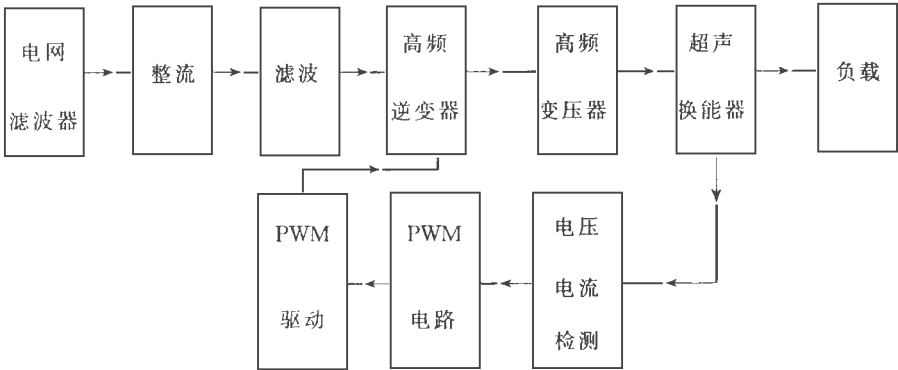


图1 超声波发生器电路框图

### 1.1 主电路

主电路原理如图2所示。高频逆变器中的功率开关管采用目前国际上最先进的电力电

子器件 IGBT (绝缘栅双极型晶体管)<sup>[3]</sup>。它是将 MOSFET 和 GTR 的优点集于一体的新型复合器件,具有 MOSFET 的高输入阻抗, GTR 的低通态功耗的特点。

来自电网的220V 50HZ 的电压经电网滤波器  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $L_1$   $L_2$ 、可控硅半控全桥整流  $D_1\sim D_4$ 、 $\Pi$ 型滤波后得

到0~220V 连续可调的直流电压  $U_1$ , 该直流电压加到半桥式的逆变器上, 功率开关管  $T_1$  和  $T_2$  在一对互差180° 的方波脉冲触发下轮流导通和截止, 将直流电压变换成交变的高频方波电压<sup>[1]</sup>, 经高频变压器 B (采用铁基非晶高频磁性材料) 变换后输出  $U_3$  加到超声换能器上, 根据超声换能器的谐振频率和阻抗, 选择变压器的变比和  $U_3$  的大小,  $U_2$  的大小还可以通过调整整流可控硅导通角予以调节。

图3为逆变电路的  $T_1$ 、 $T_2$  的栅极驱动  $U_{gs1}$ 、 $U_{gs2}$ 、 $U_2$ 、 $U_3$  的电压波形图, 由于有两个互差180° 方波脉冲分别加在  $T_1$ 、 $T_2$  的门射极之间, 所以  $T_1$ 、 $T_2$  是轮流导通和截止。在  $t_0\sim t_1$  期间,  $U_{gs1}=U_{gs2}=0$ ,  $T_1$ 、 $T_2$  均截止,  $T_1$ 、 $T_2$  集一射极间的电压均为  $\frac{U_1}{2}$ , 变压器 B 无电流通过, 所以  $U_2=U_3=0$ 。

在  $t_1\sim t_2$  期间,  $U_{gs1}$  为高电压,  $U_{gs2}$  为低电压,  $T_1$  导通,  $T_2$  截止。电流  $i_1$  从  $U_1$  的 "+" 端经  $T_1$ 、B、 $C_5$ 、 $C_4$  流向  $U_1$  的 "-" 端, 变压器 B 的原边电压  $U_2$  为

$$U_2 = U_1 - U_{C_4} \approx U_1 - \frac{U_1}{2} = \frac{U_1}{2}$$

(1)

在  $t_2\sim t_3$  期间,  $U_{gs1}$ 、 $U_{gs2}$  均为低电平,  $T_1$ 、 $T_2$  均截止,  $U_2=U_3=0$ 。

在  $t_3\sim t_4$  期间,  $U_{gs2}$  为高电平,  $U_{gs1}$  为低电平,  $T_1$  截止、 $T_2$  导通, 电流  $i_2$  从  $U_1$  的 "+" 端经  $C_3$ 、 $C_5$ 、B、及  $T_2$  流向  $U_1$  的 "-" 端, B 的初级电压为  $-\frac{U_1}{2}$  所以  $U_3$  也变成负电压。

以此类推,  $T_1$ 、 $T_2$  两管在  $U_{gs1}$ 、 $U_{gs2}$  按上述规律驱动下, 交替导通、截止。流过 B 的电流方向交替改变, 在其次级两端感应出交变的准方波电压, 变化的周期  $T=t_4-t_1$ , 脉宽  $\tau$  为

$$\tau = t_2 - t_1 = t_4 - t_3, \text{ 占空比 } \delta = \frac{\tau}{T}$$

(2)

高频方波电压加在超声换能器 y 的两端, 换能器便发出超声波并传输到负载。若超声换能器的阻抗为 Z, 特征频率为 f, 当  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_4-t_1}$  时, 换能器谐振, 此时, 换能器消耗的电功率

$$P_0 \approx \frac{(U_3 \cdot \frac{\tau}{T})^2}{Z} = \frac{U_3^2 \delta}{Z} = \frac{U_1^2 N_2^2 \delta}{4ZN_1^2}$$

(3)

式中,  $U_1$  为可控硅整流后的直流电压,  $N_1$ 、 $N_2$  分别为高频变压器初次级的匝数。

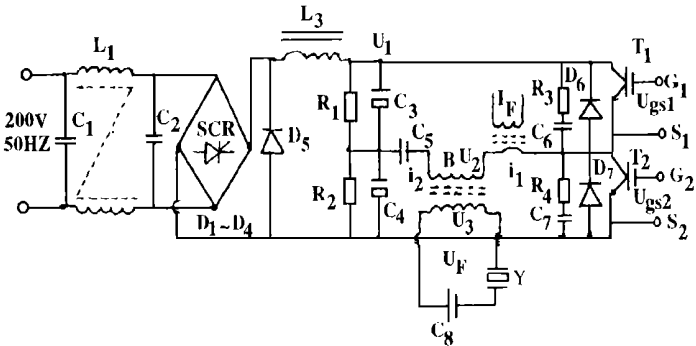


图2 主电路原理图

若换能器的转换效率为  $\eta$  则换能器辐射的超声功率

$$P_s = P_o \cdot \eta = \frac{U_1^2 N_2^2 \delta}{4ZN_1^2} \cdot \eta \tag{4}$$

从上式可以看出，调节 PWM 电路的振荡占空比  $\delta$  便可以调节超声波的功率。一般作为微调，改变可控硅的导通角，使  $U_1$  在  $0\sim 220V$  可调，作为输出功率的粗调。

1.2 控制电路

控制电路如图4所示，其核心是 PWM 专用集成电路 TL494。TL494性能优越，通过适当的外接电路，可以产生 PWM 信号输出，同时还具有过流过压保持功能。TL494内部包含振荡器 OSC、误差放大器，脉宽调制比较器及输出级电路等部分。OSC 振荡频率由外接元件  $C_T$ 、 $R_T$  之值决定，其公式为

$$f_{osc} = \frac{1.1}{R_T \cdot C_T} \tag{5}$$

$f_{osc}$  可以从  $1KHZ\sim 45KHZ$  之间选择，本电路取  $f_{osc} = 20KHZ$ ，与换能器的谐振频率一致。

TL494内部的稳压电源将外部供给的 +15V 电源变成 +5V 电源，除供芯片内部电路作电源外，并通过14脚对外输出 +5V 基准电源。可向外输出10mA 电流，13脚为输出脉冲控制端，当13脚接地时，输出脉冲中最大占空比为96%，当提高电位时，最大占空此为48%。

该电路是互差  $180^\circ$  的双脉冲输出，振荡频率由  $RW_2$  调节选择， $RW_1$  是用于选择输出脉冲占空比，9、10脚输出 PWM 脉冲控制驱动电路  $T_1T_2$ 、 $B_1B_2$ 。IGBT 的门极驱动在其

应用中是有非常重要的地位的，门极驱动电路性能不好，可能会导致 IGBT 的损坏，IGBT 的门极驱动一般采用光耦或脉冲变压器，这两种方式有利于实现主电路与控制电路的隔离。由于 IGBT 的快速开通和关断都会导致电位的突变，所以尽管电位隔离布局最佳化，但干扰仍将存在。因为作为电

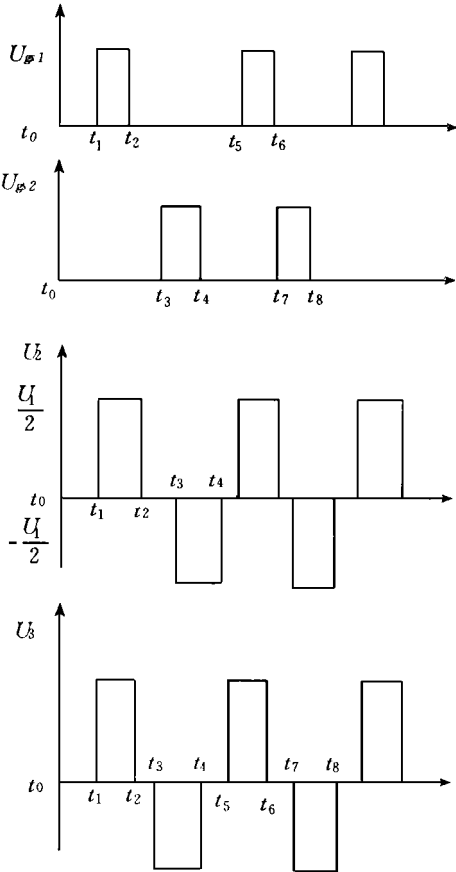


图3  $U_{g1}$ 、 $U_{g2}$ 、 $U_2$ 、 $U_3$  波形

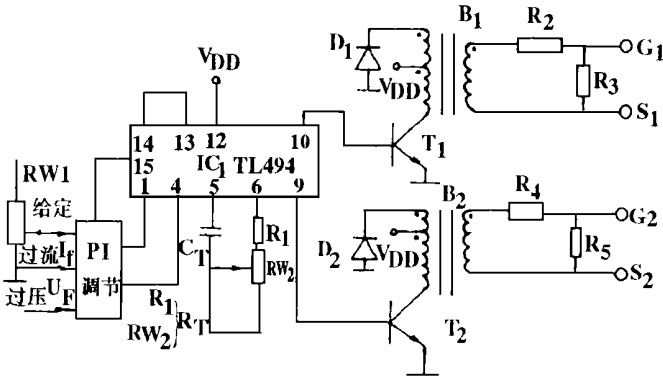


图4 控制电路

隔离的元件内部的电容耦合，在前级控制单元中可能存在噪声信号，同样的噪声信号在后级产生不希望出现的振荡或开关指令，特别是在标准光耦件中，由于它具有较大的耦合电容和相当大的接线电阻，所以脉冲变压器更适合于传输控制信号到驱动极，因为它对噪声电压的敏感度比光耦元件低得多，并且具有更高的绝缘电压。

1.3 超声换能器

超声换能器的作用是将电磁振荡转换为弹性机械振动<sup>[4]、[5]</sup>。这里使用以铁酸钙改性的锆钛酸铅二元系压电陶瓷材料，其主要特点是强场介电损耗低，介电损耗和机械损耗在高电压，高静压和较高温度下变化很大，机械强度高，矫顽场高，属于较硬性材料，适用于超声强力加工，超声清洗等方面。超声清洗实验中采用的 CQH 换能器为夹心式喇叭型超声振子，功率200W，频率20KHZ，阻抗为30Ω。

3、实验结果

发生器电路谐振于20KHZ,换能器端面与∅280×300mm 不锈钢容器底部相胶接,通过振子端面向清洗槽内辐射超声能量,槽内盛清洗液,工件悬吊浸入,槽内超声能量密度在0.15~0.30W/cm<sup>2</sup>可调,清洗效果较好,电路系统工作正常。

参 考 文 献

1 徐德高等. 脉宽调制变换型稳压电路 P24—P32. 北京: 科学出版社. 1986  
2 标渭勋等. 电力电子技术基础. 北京: 机械工业出版社. 1990  
3 王志良. 电力电子新器件及其应用技术 P93—P117. 北京: 国防工业出版社. 1995  
4 韩熙麟等. 机械制造清洗技术 P69—P75、P120—P129北京: 机械工业出版社. 1988  
5 J·范兰德拉特等主编. 彭浩波等译. 压电陶瓷. 北京: 科学出版社. 1981

20 KHZ IGBT PWM Model Powerful Ultrasonic Generator

Chen Zhiwei Si Huaiji  
(Henan Agriculture University, Zhengzhou, 450002)

**Abstract** This thesis expounds the theory and the circuit system of the 20 KHZ PWM (pulse width modulability) model Powerful ultrasonic generator, PWM signal results from the superior integrated circuit, TL494; and the high frequencg inverter adopts the worlds advanced magnetic materials and the IGBT power devices. The inverter sends the output high frequency voltage into the ultrasonic transducer, so the ultrasonic radiates out This system has the Practical functions and the steady working abilities with its simpler circuit, smaller volume, lower costs, higher efficiency and the characteristics of convenient adjusting of the output

**Keywords** PWM signal; high frequency inversion; ultrasonic; inverter