

一种新型超声波电源

A Novel Ultrasonic Power Supply

重庆大学 张梅 侯振程 漆小龙 (重庆 400044)

摘要:研制出一种工作频率为 20kHz~1MHz 的超声波电源,介绍了超声换能器的基本性质、应用及其主电路的原理和设计。

Abstract: An ultrasonic power supply of operating frequency 20kHz to 1MHz is developed. The basic characteristics and applications of the ultrasonic transducer are introduced and the principle and design of the main circuit are described.

叙词: 超声换能器 电源/零电流谐振 功率因数校正

Keywords: ultrasonic transducer; power supply; zero-current resonance; PFC

1 引言

传统的超声波仪是采用振荡器来产生超声波的,其缺点是当更换负载(换能器)时,振荡电路必须重新设计,并且传统超声波仪采用的是电子管,它工作在线性区,而非开关状态,因此损耗大且工作频率也不高。本文研制的超声波电源采用新一代电力电子器件功率 MOSFET,它工作在开关状态,损耗小且工作频率高,可达兆赫级。另外,当换用不同负载时,该电路可自动跟踪负载谐振频率,无须重新设计电路,因此这种工作频率可达 20kHz~1MHz 的超声波电源具有很强的实用性。

2 超声波换能器

换能器是把超声频率的电能转换成声能的器件,可分为两种:机械型和电-机械型^[1]。机械型换能器具有结构简单、可靠性高、不需要超声频电源等特点,但它们只能产生较低的频率。电-机械型换能器是通过相应频率的电场信号转变为换能器的机械振动来实现的。目前使用得较多的是钛酸钡换能器,具有加工方便、成本低、外加电压低的特点。其符号、等效电路和频率特性分别如图 1a、b、c 所示。

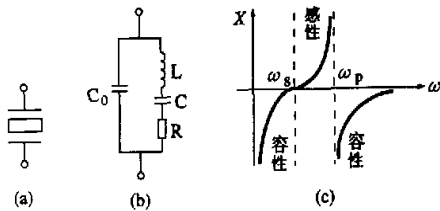


图1 换能器的符号、等效电路和频率特性

由图 1 知,换能器既可工作于串联也可工作于并联状态。 ω_s 、 ω_p 分别为串联谐振和并联谐振角频率。当工作在谐振频率点时,换能器输出功率最大。

3 电路工作原理

图 2 示出超声波电源工作原理框图。交流电经过整流和滤波,形成直流电,再经过 PFC 电路,利用

其电流环和电压环来提高功率因数并实现调压功能,得到直流电压。通过逆变器将该直流电压转换为频率与换能器谐振频率一致的交变电压,并将其加在换能器上,就可获得超声波。当电路工作在谐振状态时,负载输出正弦电压(电流),并获得最大输出功率。

当电流采样环节采得电流信号后,将该信号输入锁相环,锁相环可跟踪工作频率,得到相应的频率信号,经过驱动电路得到驱动波形。死区形成电路为驱动波形加上死区时间,最后通过变压器隔离后,将该信号作为开关的控制信号,让逆变器桥臂上的开关正确导通、关闭,形成闭环控制回路。

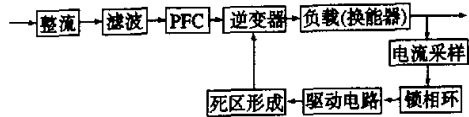


图2 超声波电源框图

4 主电路及控制电路

4.1 主电路结构

图 3 示出主电路结构及其各点工作波形。

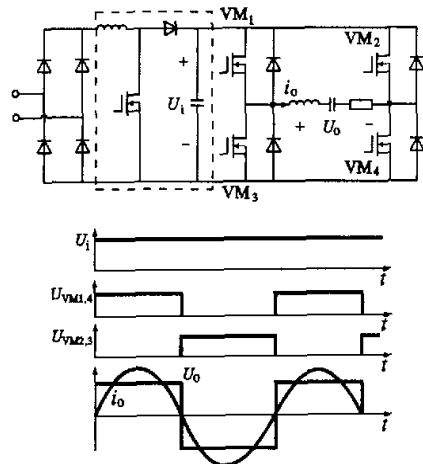


图3 主电路波形及其各点工作波形

超声波电源实际上是交-直-交变频器,输出频率达 20kHz 以上。相应地,其主电路在性能和元件及参数的选择上与一般逆变器有所不同。主要区别是采用了 PFC 电路和软开关技术。

4.1.1 PFC 电路

PFC 的主电路采用 Boost 变换器结构如图 3a 虚框内所示。为实现输入功率因数为 1、输出电压稳定的功能,PFC 需引进电压和电流反馈,以构成一个双环控制系统,外环可稳定输出电压,内环则实现输入电流整形,使之成为与电压同相位的标准正弦波,这样就可实现输入功率因数为 1。内环的电流反馈控制就是对输入电流进行控制,使之连续易控,功率因数高。电路中功率因数校正器控制电路采用 U-nitrode 公司的芯片 UC3854,其外围电路见图 4。

图 4 中的 5 脚和 4 脚各通过一个电阻接在主电路中电流采样电阻的两端,11 脚接在 PFC 主电路输出端,在 6 脚处输入线电压波形;8 脚处输入线电压有效值。经过 UC3854 的处理,在 16 脚得到开关管的驱动信号。

电路中还设计了一些保护措施。当 10 脚接高电平时,控制电路工作,芯片的工作电压为 17~22V,15 脚处接一个稳压管对其进行电压限幅保护。13 脚接电容可实现软起动功能。2 脚处的电路可进行最大电流限制。实验证明,输入电流变成了与电压同相位波形,其功率因数为 1。

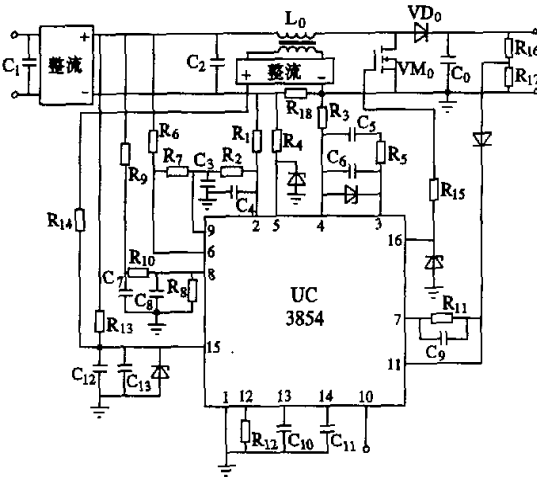


图 4 UC3854 外围电路图

4.1.2 逆变器

逆变器工作时, MOSFET 开关根据负载(换能

器)的谐振频率进行切换。如图 3a 所示, VM₁、VM₄ 和 VM₂、VM₃ 分别组成两组开关,这两组开关轮流导通,负载中的电流过零时开关切换。当逆变器工作频率等于换能器的串联谐振频率时,电路输出电压为方波,输出电流为正弦波,如图 3b 所示。

本电路采用的零电流开关是软开关的一种。其开关损耗极小, dv/dt 及 di/dt 应力大为下降,与此相应的电磁干扰可以消除,这些优点正好克服了 PWM 硬性开关的缺点。当逆变器换流时,负载中的电感电流要维持下去,则要流经下桥臂的反并联二极管。而当开关元件采用功率 MOSFET 时,这种方式无需增加外接二极管,且工作频率可高达 500kHz 以上,是传统器件无法比拟的。

4.2 控制电路

控制电路如图 5 所示。

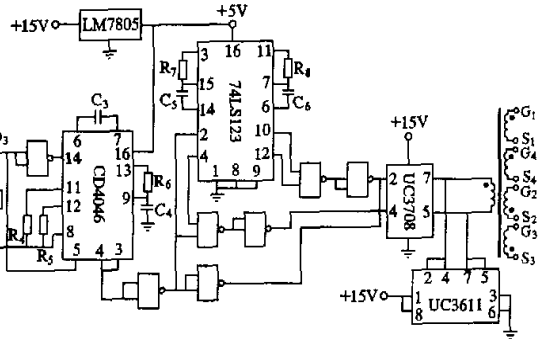


图 5 控制电路图

负载上的电流波形经检测和整形后,送入锁相环的 14 脚作为输入信号,经锁相环进行频率跟踪,跟踪信号从 3、4 脚输出,该信号经过驱动电路得到 MOSFET 的驱动波形,并通过死区形成电路为驱动波形加上死区时间,最后经过变压器隔离后,将该信号作为开关的控制信号,分别加在开关管 VM₁、VM₄ 和 VM₂、VM₃ 上,让逆变器桥臂上的开关根据负载(换能器)的谐振频率进行切换,以使电路输出最大输出功率。下面将着重介绍锁相环电路。

4.2.1 锁相环原理

锁相环的原理框图如图 6 所示^[2]。

图 6 锁相环原理框图

锁相环路实际上是一个传输相位的闭环反馈系统。当输入信号的相位和角频率不随时间变化时,环路能够锁定;当输入信号的相位和角频率不断变化时,环路能够跟踪输入角频率和相位的变化而变

化,这种变化状态称为“跟踪状态”。对每一个谐振频率为定值的负载来说,频率跟踪技术可使逆变器在该谐振值附近的某一范围内工作时进行调整,使其工作在谐振点。对不同频率的负载来说,只要该负载的谐振频率在锁相环的跟踪频率范围内,锁相电路都可以实现频率的自动跟踪和锁定。

本文在控制回路中采用 IC CD4046 锁相环进行频率跟踪,保证逆变器的工作频率等于谐振频率。CD4046 的最高工作频率可达 1.2MHz。

在图 5 的控制电路中还设计了过流保护措施。当谐振电流过大时,相应地由采样环节得到的采样电流也会增大,如果这个电流超出了设计值,从采样环节发出的信号经处理后可封锁锁相环,使其不工作,那么,后面的驱动信号就没有了,逆变器的负载谐振电流相应减小。当电流减小到正常范围时,锁

相环又开始工作。

4.2.2 驱动电路

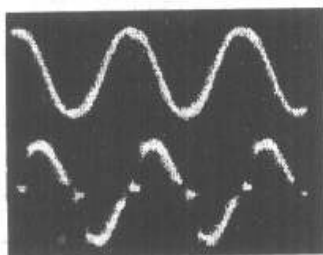
图 5 中 MOSFET 的驱动电路采用芯片 UC3708。为了对 UC3708 进行输出电压钳位保护,本电路采用了芯片 UC3611,它是四肖特基二极管阵列。主电路和控制电路之间采用变压器进行隔离。

4.2.3 死区形成电路

驱动电路不仅要保证开关的可靠开通与关断,而且要保证桥式逆变器同一桥臂两个开关元件不发生直通,因此控制信号中必须设定封锁时间,即死区时间。本文中用 74LS123 来形成死区。通过选择外接 RC 的值可得到不同的死区时间。

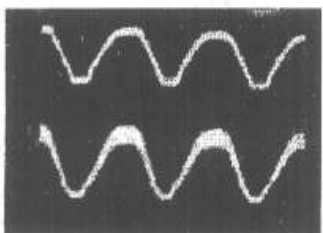
5 实验结果

基于以上分析,设计了一套实验装置。实验结果如图 7~10 所示。



上:电容电压 下:负载电流 横轴:5 μ s/格

图 7 逆变器谐振频率约为 100kHz 时负载上的电压电流波形



上:电压 下:电流

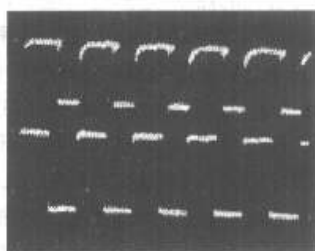
图 9 PFC 电路 UC3854 输入电压、电流波形

6 结论

采用 PFC、软开关等新技术和新器件 MOSFET 的超声波电源,具有功率大、频率高的优点,在医学上可利用它来治疗疾病、杀死病变细胞等。这一技术现在还停留在实验阶段,如能形成产品,则对医疗事业无疑是一大福音。

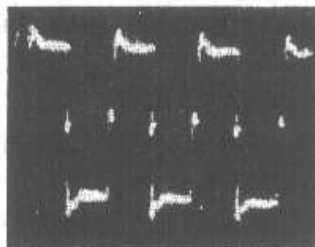
作者简介

张梅:女,1971 年生,硕士,专业为电力电子技术。



上:14 脚电压 下:3、4 脚电压 横轴:10 μ s/格

图 8 锁相环 CD4046 的频率跟踪波形(跟踪频率约 50kHz)



横轴:20 μ s/格 死区时间约 2 μ s(变压器初级)

图 10 带死区的 MOSFET 驱动波形

参考文献

- 1 金长善. 超声工程. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 1989.
- 2 万心平等. 集成锁相环路——原理、特性、应用. 北京:人民邮电出版社. 1988.

收稿日期:1998-05-19

定稿日期:1998-09-04