

脉冲超声传感器激发/接收电路设计

冯红亮,肖定国,徐春广,周世圆

(北京理工大学,北京 100083)

摘要:围绕磁致伸缩式超声传感器用脉冲激发/接收电路的设计,讨论了场效应功率管在脉冲超声波激发电路中的应用,重点研究了场效应管驱动电路、脉冲超声波高压激发电路及接收保护电路,并简要介绍了其余电路的实现。对研制的电路进行了性能分析,所用电子元器件均无过热现象,并获得较为理想的电脉冲信号。设计的电路板已成功用于磁致伸缩式超声传感器测量材料弹性模量。

关键词:脉冲超声波;激发/接收;绝缘栅场效应管;驱动电路;高压放电电路;输入保护电路

中图分类号:TP212 **文献标识码:**B **文章编号:**1002-1841(2003)11-0030-03

Device of a Circuit for Transmitting/Receiving Ultrasonic Pulse

FENG Hong-liang, XIAO Ding-guo, XU Chun-guang, ZHOU Shi-yuan

(Beijing Institute of Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: A new transmit/receive circuit for magnetostrictive ultrasonic transducer is studied. The circuit to create high voltage pulse with MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor type field Effect Transistor) and the circuit to drive MOSFET are fully discussed. A high voltage pulse protection circuit is built in the receiver amplifier so that the transducer can work at pulse/echo mode. The other second circuits are introduced simply. The performance test of the circuit showed that the designed circuit system is very suitable for magnetostrictive ultrasonic transducer to transmit/receive ultrasonic pulse and no electronic component in the circuit is hotter under longtime work. The circuit has been used ultrasonically measuring with a magnetostrictive ultrasonic transducer to transmit/receive ultrasonic pulse and no electronic component in the circuit is hotter under longtime work. The circuit has been used ultrasonically measuring with a magnetostrictive ultrasonic transducer for elastic modulus of material.

Key Words: Ultrasonic Pulse; Transmit/Receive; MOSFET; Driving Circuit; High Volt Discharging Circuit; Circuit of Input Protection.

1 脉冲收发电路总体结构

脉冲超声激发/接收电路,如图1所示,由激发电路和接收电路两大部分组成。激发电路包括多谐振荡电路、场效应管驱动电路、充放电电路及电源电路等。接收电路包括输入保护电路、放大电路、滤波电路及电源电路等。激发电路的功能是在外接的磁致伸缩式超声传感器上施加高压脉冲,产生脉冲磁场,进而在磁致伸缩丝中激发出脉冲超声波;接收电路的功能是对磁致伸缩式传感器输出的微弱感应电动势进行调理输出,并抑制激发时施加于传感器的高压激发脉冲,保护放大电路。

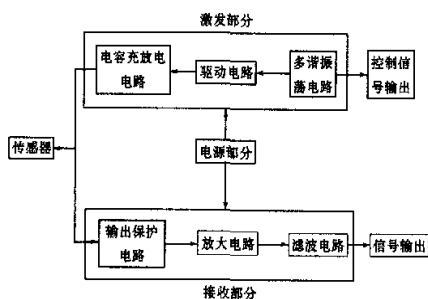


图1 脉冲超声收发电路结构图

对于磁致伸缩式传感器,激发出的脉冲超声波的频率一般在几十 kHz 到几百 kHz 之间,为了产生良好的脉冲波形,要求激发时的高压脉冲宽度为几百 ns 到几 μ s,脉冲电压的幅值为几十到几百 V,脉冲的上升时间为几十 ns。研制的电路板高压脉冲的宽度在 500 ns 到 5 μ s 之间可调,脉冲电压最大为 80 V,

脉冲的上升时间低于 50 ns。

2 激发电路

2.1 激发主电路

在各种脉冲超声检测仪器及超声收发板卡中,都需对传感器施加高压瞬间脉冲。在传感器中激发脉冲超声波,高压脉冲产生电路是各种脉冲超声检测仪器的核心电路,常用的高压脉冲产生方法分为电容瞬间放电法和脉冲电源激励法。

2.1.1 电容瞬间放电电路

图2为简化的传感器激发电路,电路由N沟道绝缘栅场效应管Q、旁路电阻 R_c 、能量存储电容C和开关二极管 D_1 、 D_2 组成,在绝缘栅场效应管Q的栅极输入控制脉冲,当Q的栅极为低电位时,栅-源极电压差为零,场效应管Q关断,能量存储

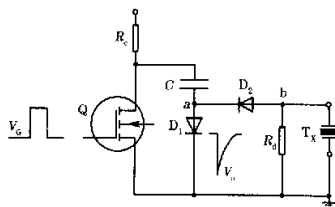


图2 电容瞬间放电电路模型

电容C通过旁路电阻 R_c 和二极管 D_1 充电,充电时间由时间常数决定,时间常数还决定了最大脉源极电压为正电压,场效应管Q导通,能量存储电容C存储的能量通过场效应管Q、二极管 D_2 向传感器 T_x 放电,在传感器 T_x 中激发出超声波。电阻 R_d 用于调节激发能量,改变激发的超声波幅值大小。

2.1.2 脉冲电源激励电路

如图3所示,电路由缓冲器U、二极管D、P沟道绝缘栅场

收稿日期:2002-11-12 收修改稿日期:2003-07-25

效应管 Q、电阻 R 和电容 C 组成。当给缓冲器 U 输入控制脉冲, a 点为高电平时, 绝缘栅场效应管 Q 的栅极、源极都为高电平 V_H , P 沟道绝缘栅场效应管 Q 截止, 传感器 T_x 两端仅有微弱的电流流过, 不能激发超声波; a 点电位变为低电平时, 由于电容 C 两端电压不能突变, P 沟道绝缘栅场效应管 Q 的栅极电位随 a 点电位突然降低 15 V, 使得栅极电位低于源极电位, 栅-源电压为负电压, 绝缘栅场效应管 Q 导通, 电源电压直接加到传感器上, 在传感器 T_x 中激发出超声波之后电源通过电阻 R 给电容 C 充电, 栅极电压达到电源电压 V_H , 绝缘栅场效应管截止。当 a 点电位从低变高时, 栅极电位瞬间高于电源电压, 之后电容通过电阻向电源 V_H 放电, 直到栅极电位达到电源电压, 在此期间绝缘栅场效应管一直保持截止。

由于导通时, 电源直接给传感器 T_x 加热, 而传感器 T_x 的等效阻抗较小, 电源近似短路, 流过电源的瞬间电流很大, 对电源的过载能力要求很高, 且电源损耗较大、功率大; 而电容瞬间放电发电电路对电源的要求低, 具有明显的优势。

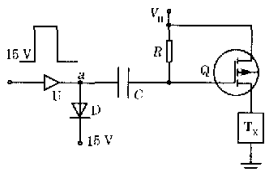


图3 脉冲电源激励电路模型

超声脉冲收发电路采用电容瞬间放电产生高压脉冲, 电损耗小, 采用 80 V、2 W 的高压模块供电。

2.2 场效应管驱动电路

驱动功率绝缘栅场效应管相当于驱动带容性负载的网络。在高频下工作时, 绝缘栅场效应管电容的充、放电造成的损耗十分显著, 结电容越小, 充、放电引起的损耗越小。

一般的中功率绝缘栅场效应管会有 nF 级的栅电容, 开关电压为 7~10 V, 最大上升时间为几十 ns。这样在产生驱动绝缘栅场效应管的门脉冲时, 会最高达几 A 的门电流, 这超出了 TTL 芯片的驱动能力。为提高脉冲幅值需增强绝缘栅场效应管的开关特性, 需要合理的驱动电路。

常用的栅极驱动电路有 CMOS 缓冲器并联驱动、场效应管对管驱动和双极性三极管功率驱动 3 种形式, 第一种驱动形式相对简单些。

2.2.1 场效应管对管驱动

如图 4 所示, 驱动电路由缓冲器 U、电阻 R_2 及 1 对小功率

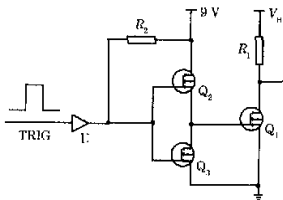


图4 场效应管对管驱动

场效应管 Q_1 、 Q_2 组成。当控制信号为低电平时, 同向缓冲器 U 输出低电平, 使得与 +9 V 电源相联的 P 沟道场效应管 Q_2 导通, 与地相联的 N 沟道场效应管 Q_1 截止, 绝缘栅场效应管 Q_1 的栅极为高电平, N 沟道绝缘栅场效应管 Q_1 导通; 当控制信号为高电平时, 同向缓冲器 U 输出高电平, 使得与 +9 V 电

源相联的 P 沟道场效应管 Q_2 截止, 与地相联的 N 沟道场效应管 Q_1 导通, 绝缘栅场效应管 Q_1 的栅极为低电平, 绝缘栅场效应管 Q_1 管截止。电阻 R_2 是集电极开路同向缓冲器 U 的上拉电阻。

2.2.2 双极型三极管对管驱动

如图 5 所示, 驱动电路由缓冲器 U、电阻 R_2 、 R_3 及 1 对小功率开关三极管对管 B_1 、 B_2 组成。当控制信号为低电平时, 同向缓冲器 U 输出低电平, a 点电位为低电位, 双极型三极管 B_1 、 B_2 对管的基极电位为低电位, 流过 NPN 型三极管 B_1 的基极电流近似为零, 三极管 B_1 截止, 相当于集电极与发射极间串联大电阻, 而流过 PNP 型三极管 B_2 的电流迅速达到饱和电流, 三极管 B_2 饱和导通, N 沟道绝缘栅场效应管 Q_1 的栅极近似接地, Q_1 管截止; 当控制信号为高电平时, 同向缓冲器 U 输出高电平, a 点电位为高电位, 双极型三极管 B_1 、 B_2 对管的基极电位为高电位, 流过 NPN 型三极管 B_1 的基极电流迅速达到饱和, 三极管 B_1 饱和导通, 而流过 PNP 型三极管 B_2 的基极电流近似为零, 三极管 B_2 截止, 绝缘栅场效应管 Q_1 的栅极电位几乎等于 +9 V, 场效应管 Q_1 导通。电阻 R_2 是集电极开路同向缓冲器 U 的上拉电阻, 电阻 R_3 的作用是与功率三极管基极相连, 在基极回路中形成电流。

这样通过三极管对管和场效应管驱动, 可以提高带容性负载的能力, 具有较大的峰值电流, 且可以提高开关速度。

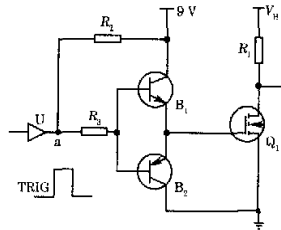


图5 双极型三极管对管驱动电路

板卡中采用了三极管对管驱动方式。

2.3 控制信号产生电路

脉冲超声发电电路的控制信号为可变占空比的脉冲方波信号, 脉冲宽度为 1 μ s 左右, 周期为 1~5 ms, 使用 74LS14 斯密特触发器外接电阻、电容、二极管构成占空比可调的振荡电路产生控制信号(重复脉冲), 电路如图 6 所示。调整电阻 R_1 的大小可调整脉冲宽度, 调整电阻 R_2 的大小可以调整脉冲的重复周期。

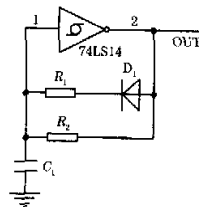


图6 控制信号产生电路

3 接收电路

3.1 输入保护电路

在脉冲超声检测中, 多数情况下接收换能器与发射换能器是同一个换能器, 发射和接收用同一信号线, 高压激发信号会

加到接收电路,要采用串联或并联的限幅电路保护输入放大电路。

3.1.1 串联输入限幅电路

如图 7 所示,串联输入限幅电路由电源 V_{CC} 、电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、开关二极管 D_1 、 D_2 、电容 C_1 、 C_2 及运算放大器 A 组成,输入端 2 接地。当 1,2 输入端不接传感器 T_X 时,在电源 V_{CC} 、电阻 R_1 、 R_2 、二极管 D_1 组成的支路中,二极管 D_1 完全导通, b 点电位比 a 点电位高约 0.7 V, b 点电位为

$$V_b = \frac{(V_{CC} - 0.7) R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

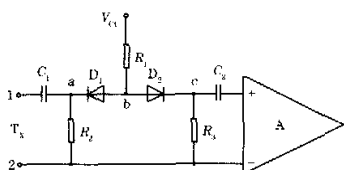


图 7 串联输入限幅电路

在电源 V_{CC} 、电阻 R_1 、 R_3 、二极管 D_2 组成的支路中,电阻 $R_3 = R_2$,使得二极管 D_2 也完全导通,即 b 点电位比 c 点电位高约 0.7 V。由于存在电容 C_1 、 C_2 , a 点的直流电位不能耦合到传感器, c 点的电位也不能耦合到运算放大器。当 1,2 输入端接入传感器后,激发时的瞬变脉冲通过电容 C_1 耦合到 a 点,对于正电压 V_+ ,当 $V_+ > V_b$ 时,二极管 D_1 完全截止,瞬变电压不能通过二极管 D_1 、 D_2 ,进而通过电容 C_2 耦合输入到运算放大器 A;对于负电压 V_- ,当 $0.7 + V_- < 0$ 时,虽然二极管 D_1 能完全导通,但二极管 D_2 完全截止,传感器中的瞬变电压不能耦合输入到运算放大器 A 中。当传感器两端的瞬变电压在 $-0.7 \sim \frac{(V_{CC} - 0.7) R_2}{R_1 + R_2}$ V 之间时,二极管 D_1 、 D_2 能完全导通或处于非线性工作区,传感器两端的输入电压可通过耦合电容 C_1 、 C_2 和开关二极管 D_1 、 D_2 输入到运算放大器 A,实现保护运算放大器 A 的作用。

3.1.2 并联输入限幅电路

如图 8 所示,并联输入保护电路有 2 种形式。在图 8 (a) 中,传感器激发时的瞬变高压信号可通过电容 C、电阻 R 耦合到 a 点,因二极管 D_1 、 D_2 的开关作用,把 a 点电位钳位到 ± 0.7 V,使输入到运算放大器 A 的高压信号得到钳位,对于微小信号,经电容 C、电阻 R 耦合到 a 点,因 a 点电位与 b 点电位间差值很小,开关二极管 D_1 、 D_2 截止,微信号直接输入到运算放大器中,得到对运算放大器 A 的输入限幅作用;在图 8 (b) 中,把并联的二极管 D_1 、 D_2 换成串联的稳压二极管 DZ_1 、 DZ_2 ,可把激发时耦合到 a 点的高压信号钳位到 $\pm (V_Z + 0.7)$ V,其中 V_Z 为稳压管的稳定电压,对运算放大器 A 起到保护作用。

串联限幅电路及并联限幅电路都是利用开关二极管或稳压二极管的开关特性及非线性工作区工作,都可以起到对运算放大器的输入保护。并联限幅电路相对简单些,不需要额外的

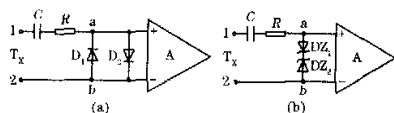


图 8 并联输入限幅电路

直流电源。研制中电路采用图 8 (b) 并联的输入保护电路的形式。

3.2 放大及滤波电路

放大电路的作用就是将接收换能器输出的微小的电信号经过充分放大而得到足够大的信号,以便驱动各种分析、控制和显示电路。根据磁致伸缩传感器的设计计算,激发接收电路的原始接收信号约为 15 mV,在电路中采用两级放大电路,增益控制在 20 ~ 40 dB 之间可调,可以得到 1.5 V 左右的放大输出信号。

根据磁致伸缩传感器激发出超声波信号的频率设计滤波电路,研究使用的磁致伸缩式传感器,激发出的超声波频率在几十 kHz 到几百 kHz,设计高通和低通滤波器的截止频率分别为 10 kHz、500 kHz,采用有源滤波的形式。

4 直流电源变换电路

脉冲收发电路中需要多种电压供电,可以采用交流—交流—交流—直流的 AC—DC 变换方式得到,也可以采用直流—交流—交流—直流的 DC—DC 变换方式得到。

为了便于与计算机配套使用,采用 5 V 直流电压供电,经两个 DC—DC 电源变换模块得到 ± 12 V 和 80 V 直流电压,给电路板提供电源。

5 试验

由所设计的超声波激发/接收电路、数字示波器、磁致伸缩式传感器、直流稳压电源构成的试验系统如图 9 所示,利用超声波激发/接收电路对磁致伸缩式超声传感器加脉冲高压,激

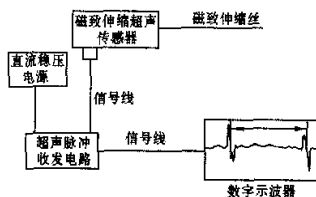


图 9 实验装置示意图

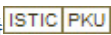
发超声脉冲,在磁致伸缩丝中传播、反射后,传感器经磁致伸缩效应将超声脉冲转换为电脉冲,再由接收电路调制。接收到的脉冲波宽度为 11 μ s 左右,幅值为 1.2 V 左右,信号清晰,杂波小,激发/接收电路较好的实现了设计的功能。电路长时间工作,所用元器件均无过热现象。

6 结束语

脉冲超声波收发电路可对磁致伸缩式传感器激发和接收超声脉冲,激发出的超声波脉冲波形比较理想;通过改变激发脉冲的宽度、运算放大器的带宽、滤波电路的截止频率、激发电压的幅值,也可以用于压电式的超声传感器。超声波收发电路已成功用于磁致伸缩式超声传感器检测材料的弹性模量。

参考文献

- [1] 同济大学声学研究室. 超声工业测量技术. 上海: 上海人民出版社, 1977.
- [2] 叶慧贞, 杨兴洲. 新颖开关稳压电源. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [3] 华中工学院电子学教研室. 电子技术基础. 北京: 高等教育出版社, 1993.
- [4] 清华大学电子学教研组. 数字电子技术基础. 北京: 高等教育出版社, 1997.

作者: [冯红亮](#), [肖定国](#), [徐春广](#), [周世圆](#)
作者单位: [北京理工大学](#), 北京, 100083
刊名: [仪表技术与传感器](#) 
英文刊名: [INSTRUMENT TECHNIQUE AND SENSOR](#)
年, 卷(期): 2003 (11)
被引用次数: 15次

参考文献(4条)

1. [同济大学声学研究室](#) [超声工业测量技术](#) 1977
2. [叶慧贞](#); [杨兴洲](#) [新颖开关稳压电源](#) 1999
3. [华中工学院电子学教研室](#) [电子技术基础](#) 1993
4. [清华大学电子学教研组](#) [数字电子技术基础](#) 1997

本文读者也读过(4条)

1. [孙凌逸](#), [高钦和](#), [蔡伟](#), [王明章](#), [SUN Ling-yi](#), [GAO Qin-he](#), [CAI Wei](#), [WANG Ming-zhang](#) [低压电源驱动的超声波发射接收电路设计](#) [期刊论文] - [仪表技术与传感器](#) 2010 (10)
2. [丁丽娟](#), [宋寿鹏](#), [高福学](#), [易立单](#), [DING Li-juan](#), [SONG Shou-peng](#), [GAO Fu-xue](#), [YI Li-dan](#) [超声管外测压中发射电路的设计](#) [期刊论文] - [仪表技术与传感器](#) 2009 (8)
3. [柳智鑫](#), [申玉宏](#), [王欢](#), [LIU Zhi-xin](#), [SHEN Yu-hong](#), [WANG Huan](#) [基于LPC2210控制的超声波发射接收实现](#) [期刊论文] - [装备制造技术](#) 2008 (3)
4. [简盈](#), [王跃科](#), [潘仲明](#) [超声换能器驱动电路及回波接收电路的设计](#) [期刊论文] - [电子技术应用](#) 2004, 30 (11)

引证文献(17条)

1. [刘金鸽](#), [宋寿鹏](#), [马晓昆](#) [基于Boost原理的脉冲超声发射电路设计](#) [期刊论文] - [传感器与微系统](#) 2011 (8)
2. [孙凌逸](#), [高钦和](#), [蔡伟](#), [王明章](#) [低压电源驱动的超声波发射接收电路设计](#) [期刊论文] - [仪表技术与传感器](#) 2010 (10)
3. [李海廷](#), [杨涛](#) [超声波穿金属厚壁通信电路系统设计与实现](#) [期刊论文] - [仪表技术与传感器](#) 2013 (3)
4. [刘运峰](#), [宋寿鹏](#), [王成](#) [可编程的低频高能超声波收发系统设计](#) [期刊论文] - [仪表技术与传感器](#) 2012 (8)
5. [王杰](#) [脉冲超声波的发射与接收电路设计](#) [期刊论文] - [自动化应用](#) 2011 (10)
6. [戴波](#), [杨卓然](#), [赵晶](#), [田小平](#) [管道超声内检测发射电路设计](#) [期刊论文] - [微纳电子技术](#) 2007 (7)
7. [高丙坤](#), [潘翔](#) [非介入式超声波液位检测系统设计](#) [期刊论文] - [科学技术与工程](#) 2012 (1)
8. [杨志勇](#), [蔡伟](#), [孙凌逸](#) [小管径超声波测压发射电路分析设计](#) [期刊论文] - [计量技术](#) 2012 (4)
9. [赵娜](#), [莫德举](#) [非满管污水流量测量中液位检测电路设计](#) [期刊论文] - [仪器仪表用户](#) 2008 (1)
10. [陆贵荣](#), [倪鹏昊](#), [陈树越](#) [超声波密闭容器液位传感器设计](#) [期刊论文] - [工矿自动化](#) 2013 (9)
11. [黄艳芝](#), [贾伟](#), [范思航](#), [艾治余](#) [超声波测流量的收发电路研究](#) [期刊论文] - [电子测试](#) 2013 (1)
12. [肖亮](#), [陶学恒](#) [新一代智能化磁致伸缩液位传感器](#) [期刊论文] - [机电产品开发与创新](#) 2005 (6)
13. [傅元](#), [李德健](#) [超声扫描成像测井仪发射电路](#) [期刊论文] - [仪表技术与传感器](#) 2012 (9)
14. [骆英](#), [徐佳](#), [李伯全](#), [王自平](#) [基于FPGA技术的新型相控阵驱动电路](#) [期刊论文] - [仪表技术与传感器](#) 2011 (12)
15. [丁丽娟](#), [宋寿鹏](#), [高福学](#), [易立单](#) [超声管外测压中发射电路的设计](#) [期刊论文] - [仪表技术与传感器](#) 2009 (8)
16. [颜庆伟](#), [赵玉龙](#), [蒋庄德](#) [磁致伸缩液位传感器的电路设计及性能分析](#) [期刊论文] - [传感技术学报](#) 2008 (5)
17. [武晓冬](#) [基于数字信号处理器的超声自动无损检测技术研究](#) [学位论文] 硕士 2005

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_ybjsycgq200311014.aspx