

文章编号:1001-2486(2004)03-0107-05

一种新型的超声换能器驱动与回波检测电路设计*

隋卫平,潘仲明,王跃科

(国防科技大学机电工程与自动化学院,湖南长沙 410073)

摘要:通过对超声换能器的工作原理分析,设计了一种新型的超声换能器驱动与回波检测电路。驱动电路由功率放大器、脉冲变压器及一定的补偿电路组成;回波检测电路由前置放大器、带通滤波器和自动电平控制电路组成。试验结果显示,此电路性能良好,能明显提高超声换能器的测距范围。

关键词:超声测距;超声换能器;脉冲变压器;自动电平控制

中图分类号:TB552;TB553 **文献标识码:**A

A New Type of Driving and Echoes Detection Circuit for Ultrasonic Transducers

SUI Wei-ping, PAN Zhong-ming, WANG Yue-ke

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073 China)

Abstract: This paper presents a new type of driving and echoes detection circuit for ultrasonic transducers based on the analysis of their working mechanization. The driving circuit consists of a power amplifier, a pulse transformer and a compensation circuit. The echoes detection part is made up of a preamplifier, a band-pass filter and an ALC circuit. The experiment shows that this circuit can improve ultrasonic ranging distance and has good performances than the original ones.

Key words: ultrasonic ranging; ultrasonic transducer; pulse transformer; auto level control

超声测距是一种非接触的测量方式,和红外、激光及无线电测距相比,在近距离范围内,超声测距结构简单、成本较低,且有不易受光线、烟雾、电磁影响的特点,因此超声测距在车辆导航、测井工程、料位测量、机器人定位等领域得到广泛应用。

超声测距系统中的核心部件是超声传感器,也即超声换能器,它是一种既可以把电能转化为声能、又可以把声能转化为电能的装置,其工作机理是依据压电材料的正逆压电效应,利用逆压电效应产生超声波,即在压电材料上加上某种特定频率的交变正弦信号,材料就会产生随所加信号频率变化的机械形变,继而在周围介质中产生疏密相间的机械波,如果其振动频率在超声范围,这种机械波就是超声波。接收时,利用正压电效应把来自探测物的声信号变成电信号输出。

超声换能器是超声测试系统中产生并接收超声的部件,其驱动电路和回波检测电路的性能对整个测试系统有着至关重要的作用。本文通过对换能器工作机理进行分析,设计了一种新型的驱动和回波检测电路,取得了良好的效果。

1 换能器驱动电路设计

超声换能器的驱动电源用来产生一个与压电振子谐振基频相等的交流信号。产生这种信号的方法一般有振荡—放大型和逆变型两种,对于中、小功率且频率大于 25kHz 的超声换能器一般采用振荡—放大型驱动电源,如图 1 所示。由于超声换能器按照信号理论相当于一个带通滤波器,因此本方案用微处理器产生的矩形脉冲作为激励信号,这样就简化了产生驱动信号的程序。

* 收稿日期:2003-11-15

作者简介:隋卫平(1975—),男,讲师,硕士。

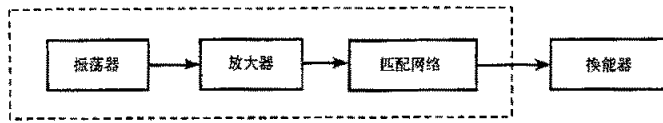


图1 振荡—放大型驱动电源

Fig.1 Framework of oscillation-amplification power

1.1 换能器驱动电路原理

图2是振荡—放大型驱动电源的实现方案,其中变压器 TR 的左侧为激励信号的功率放大电路。微处理器发出的方波信号经光电耦合输入。选用高速光耦6N135作为强弱电间的隔离器件。6N135的输出信号经三极管 Q_1 射极跟随器放大后,驱动MOSFET管 Q_2 。 Q_2 和变压器 TR 接成单端激励方式,由变压器完成升压和阻抗匹配工作。由于变压器初级直流电阻很小,所以当MOSFET导通时流过的电流将很大,因此,电路中设置了由限流电阻 R_6 和三极管 Q_3 构成的限流保护电路。

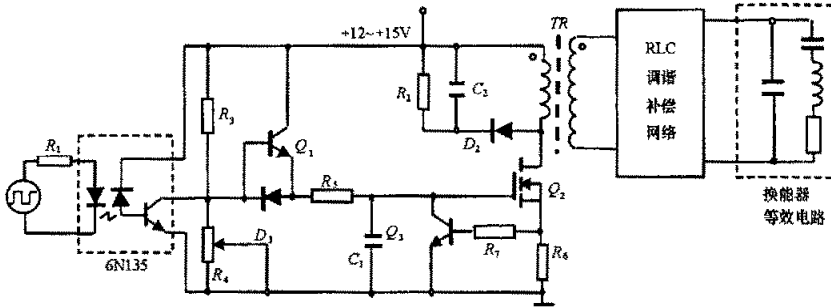


图2 超声换能器驱动电路

Fig.2 Power supply schematic of ultrasonic transducers

新型的功率MOSFET与双极型晶体管相比,有着开关速度快、导通电阻低、控制灵活方便的优点,使得激励信号得到充分的放大,再加上有较好的电气隔离和保护措施,使整个功率放大电路效率高、抗干扰能力强,达到了预期的设计效果。

1.2 脉冲变压器的设计

脉冲变压器是电子变压器的一种特殊类型,它所变换的是接近矩形的单极性脉冲。在超声频电源中,脉冲变压器的主要用途是升高脉冲电压和使振荡器的输出阻抗与负载阻抗匹配。由于脉冲变压器是超声频电源的关键器件,故必须确保所设计的脉冲变压器的各项指标都是最佳的。

1. 工作频率的确定

脉冲变压器的工作频率取决于被驱动的超声换能器的工作频率。若换能器的工作频率 f_r 选为40kHz,因此有

$$T = \frac{1}{f_r} = \frac{1}{40 \times 10^3} = 25 \mu\text{s}$$

其中, T 为脉冲变压器的工作周期。

2. 最大导通时间的确定

最大导通时间 $T_{\text{ON max}}$ 按下式计算:

$$T_{\text{ON max}} = T \times D_{\text{max}} \quad (1)$$

对于正向激励变换器, D 选为0.4~0.45较适宜。 D_{max} 是设计电路时的一个重要参数,它对主开关元件、输出变压器和变换器效率等都有很大的影响。在此,选 $D_{\text{max}} = 0.42$,则有

$$T_{ON\max} = 25 \times 0.42 = 10.5\mu\text{s}$$

3. 变压器变比 N 的确定

设换能器的额定功率 P_{out} 为 30W, 则变压器的功率负荷应为 P_{out}/η (η 为变压器的效率, 可取 $\eta = 0.8$)。于是:

$$P_{\text{out}}/\eta = \frac{2}{\pi^2} R'_L (V_{DC} - 2V_{DSS})^2 = \frac{2N^2}{\pi^2 R'_L} (V_{DC} - 2V_{DSS})^2 \quad (2)$$

式中, R'_L 为压电换能器谐振电路的等效阻抗, $R'_L \approx 400\Omega$ 。

将最小输入电压 $V_{1\min} = V_{DC} = 12\text{V}$ 和 $V_{DSS} = 1\text{V}$ 代入式(2), 就可以近似估算变压器的变比 N :

$$N = \frac{\pi}{(V_{DC} - 2V_{DSS})} \times \sqrt{\frac{P_{\text{out}} R'_L}{2\eta}} = 0.314 \times \sqrt{\frac{30 \times 400}{2 \times 0.8}} = 27 \quad (3)$$

这样, 变压器次级的最小输出电压就可以达到: $V_{DC} \times N = 324\text{V}$ 。

4. 变压器初、次级绕组匝数的计算

变压器初级绕组的匝数 N_1 与最大工作磁通密度 B_m (Gauss) 之间的关系为

$$N_1 = \frac{V_{1\min} \times T_{ON\max}}{B_m \times S} \times 10^4 \quad (4)$$

其中, S 为磁芯的有效截面积。

磁芯型号选为 EI(E)-22, 它的有效截面积 $S = 42\text{mm}^2$, 最大工作磁通密度 B_m 可由该材料的 B-H 特性曲线查出, 通常可取 $B_m = 2000\text{Gauss}$ 。将有关参数代入式(4), 求得

$$N_1 = \frac{V_{1\min} \times T_{ON\max}}{B_m \times S} \times 10^4 = \frac{12 \times 10.5}{2000 \times 42} \times 10^4 = 15 \text{ 匝} \quad (5)$$

于是, 由变压器的变比 N 可求出变压器次级绕组的匝数, 即 $N_2 = 27 \times 15 = 405$ 匝。

除了选用上述型号的磁芯外, 还可采用软磁铁氧体 R2KB 罐状磁芯和 SQ 型漆包线来绕制小功率脉冲变压器, 其计算方法和绕制工艺可参考有关文献。由于脉冲变压器是超声频电源中最重要的器件, 所以在制作变压器时, 要反复调试, 以达到最佳的阻抗匹配。

在脉冲变压器的输出级, 还有一个 RLC 调谐补偿电路, 它可以起到一定的阻抗匹配作用, 能够抵消换能器中的电抗分量, 提高超声换能器的机电转换效率。

2 超声回波信号的调理电路

图 3 所示的超声波接收电路是由前置放大电路、带通滤波器和自动电平控制 ALC 电路所组成。在此, 由于考虑到扩频测距对波形的要求, 故本设计方案比常规接收电路略为复杂。下面分别介绍这三部分电路的设计方案。

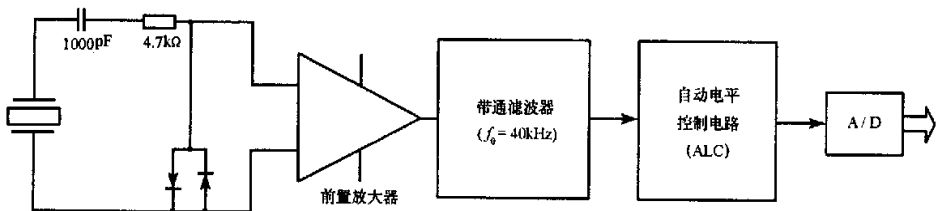


图 3 回波接收电路框图

Fig.3 Framework of the ultrasonic receiving circuit

2.1 前置放大电路

考虑到超声换能器的输出电阻比较大, 因此前置放大器必须有足够大的输入阻抗。前置放大电路是由高输入阻抗的精密仪表放大器 AD620 构成的。因为施加在换能器的峰值电压较大, 故在放大器的

输入端并联一对反向箝位二极管,以保护后面的放大电路。电源电压取为 $\pm 12 \sim 15V$ 。

2.2 带通滤波器

有源带通滤波器由运算放大器 OP177 和 RC 阻容网络构成,如图 4 所示,其输出与输入同相。为方便起见,可令 $C_1 = C_2 = C, R_1 = R_3 = R_4 = R, R_2 = 2R$,于是滤波器的谐振频率、品质因数和谐振增益可表示为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$Q = \frac{1}{2 - R_5/R_4}$$

$$A_V = \frac{R_4 + R_5}{2R_4 - R_5}$$

设谐振频率 $f_0 = 40\text{kHz}$,品质因数 $Q = 3$,则可以先选定电容 $C = 400\text{pF}$,联立方程得 $R_1 = R_3 = R_4 = 10\text{k}\Omega$, $R_2 = 20\text{k}\Omega$,解得 $R_5/R_4 = 1.67$, $R_5 = 17\text{k}\Omega$,谐振增益 $A_V = 8$ 。

2.3 自动增益控制电路

超声波回波信号的动态范围宽,随着被测距离大小的变化,回波信号的幅值变化很大,因此必须经过增益控制,将幅值控制在 A/D 转化的范围之内。

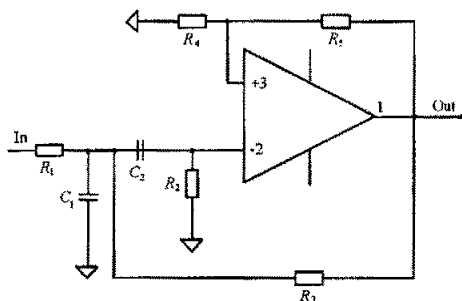


图 4 带通滤波器原理图

Fig. 4 Schematic of the band-pass filter

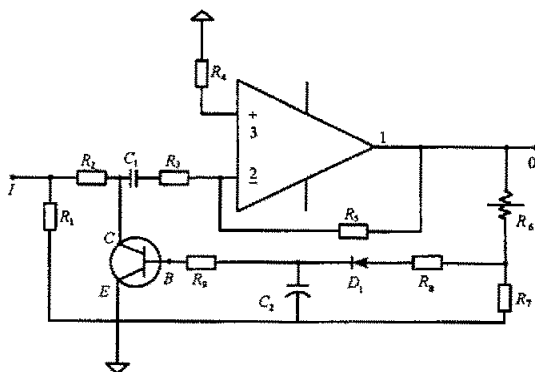


图 5 自动电平控制电路

Fig. 5 Auto level control circuit

图 5 是用三极管作控制元件的 ALC (Auto Level Control) 电路。在此,三极管的集电极经 R_2, R_1 接地。 R_6, R_7 组成输出分压电路,经 D_1, C_2 变成直流信号,直接驱动三极管的基极。当 V_i 较小,则 V_o 较小,不足使三极管导通,此时三极管的 CE 内阻很大,相当于开路。随着 V_i 增加,则 V_o 增加, V_b 升高,三极管导通, CE 间电阻 Z_{CE} 下降, Z_{CE} 与 R_2 分压使 V_i 的增加量变小。因此, V_i 升高时, Z_{CE} 则变小, V_i 被限制在一定的电平内,从而完成自动电平控制作用。

3 试验与结论

对所设计的电路进行了超声回波对比试验。图 6(a)是某超声换能器厂家配套的驱动电路所产生的超声回波波形,幅值较小而且有畸变。图 6(c)是在相同条件下,本驱动电路所产生的回波波形,效果有明显改善。

在图 6 中,(b)图是没有 ALC 电路作用的回波图,在近距离测试中回波信号幅度较大,超出 ADC 测

量范围而使采样结果产生畸变。(c)图同时反映了 ALC 电路的作用效果,近距离测试时仍然可以将信号控制在可测范围。在较远距离测量试验中,标称最大测距为 8m 的换能器,在距离 15m 处仍然可以测得有效信号。

本电路的设计经过较严格的推导,各参数得到优化,电路的性能表现良好,控制方便,使大范围的超声测距成为可能。

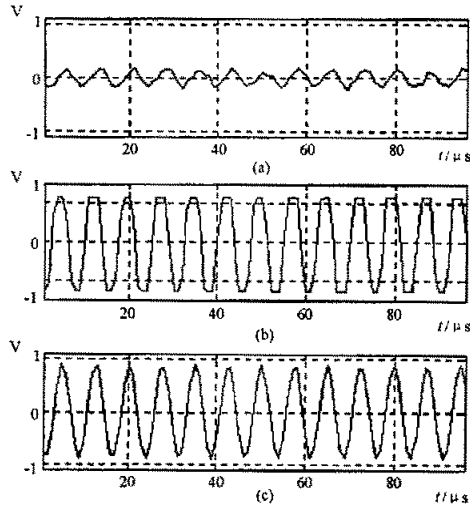


图 6 回波检测效果对比

Fig.6 Comparison of experimental echoes waveform

参考文献:

- [1] Willatzen M. Ultrasound Transducer Modeling-general Theory and Applications to Ultrasound Reciprocal Systems[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2001,48(1).
- [2] Brown J A, Lockwood G R. A Low-cost, High-performance Pulse Generator for Ultrasound Imaging. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2002,49(6).
- [3] 王瑞华. 脉冲变压器设计[M]. 北京:科学出版社,1996.
- [4] 冯若. 超声手册[M]. 南京:南京大学出版社,1999.

