

超声波语音传输系统发射机的设计与实现

孟佳轩

北京建筑大学机械与车辆工程学院, 北京

收稿日期: 2021年10月24日; 录用日期: 2021年11月22日; 发布日期: 2021年11月29日

摘要

无线传输由于其具有灵活的传输特性, 可实现低成本、高效率的信号传输, 规避传统电磁传输设备的传输局限性。针对目前无线传输设备, 如电磁传输设备以及以光波为载体的光通信传输设备, 无法在海水以及液体等介质中实现数字、语音信号的无线远距离传输。首先, 提出了采用超声波作为传输信息方式, 可实现水下、金属等液体以及固体中进行信号传输。其次, 利用换能器的载频特性通过调频的方式设计出了调制电路, 利用不同特性的超声波换能器并在不同介质中做了音频信号传输。本文提出了超声波语音传输系统发射端的设计实现方案, 利用超声换能器的电/机械效应产生载频在1~4 Mz的机械波信号, 进行了在不同介质中的音频信号传输。

关键词

超声波语音传输系统, 水下通信, 无线通信

Design and Implementation of Transmitter for Ultrasonic Voice Transmission System

Jiaxuan Meng

School of Mechanical and Vehicular Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing

Received: Oct. 24th, 2021; accepted: Nov. 22nd, 2021; published: Nov. 29th, 2021

Abstract

Because of its flexible transmission characteristics, wireless transmission can realize low-cost and high-efficiency signal transmission, avoiding the transmission limitations of traditional electromagnetic transmission equipment. For the current wireless transmission equipment, such as electromagnetic transmission equipment and optical communication transmission equipment using light waves as the carrier, it is impossible to realize the wireless long-distance transmission of digital and voice signals in media such as sea water and liquid. First of all, it is proposed to use

ultrasound as a method of transmitting information, which can realize signal transmission in liquids and solids such as underwater and metal. Secondly, the modulation circuit is designed by frequency modulation using the carrier frequency characteristics of the transducer, and the ultrasonic transducers with different characteristics are used to transmit audio signals in different media. This paper proposes the design and realization of the transmitting end of the ultrasonic voice transmission system, which uses the electrical/mechanical effect of the ultrasonic transducer to generate mechanical wave signals with a carrier frequency of 1~4 Mz, and carries out audio signal transmission in different media.

Keywords

Ultrasonic Voice Transmission System, Underwater Communication, Radio Communication

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着科技的发展与信息化时代浪潮的迅速推进,我们逐步将有线通讯转移到无线通讯的领域上来,在现代信息通讯中,电子设施技术和装备在不断发展,但电磁技术在某些特殊环境,如:水下探测、液体信息传递、电缆故障监测以及金属材料的信息传递等诸多环境存在技术应用瓶颈或无法介入的技术难题。并且,电磁技术设备的造价一般要高于其他设备,而且存在携带不便、无法长时间续航等诸多应用限制。而为了保证通信链路的安全顺畅以及信息化浪潮的继续普及、推广,研究相应的应对方案以及在相应环境下的设备技术攻关就显得十分有必要。超声波语音传输系统就是在这样的大背景下提出的。

对于蓝牙语音传输系统的开发,赵秀玲等[1]设计了一种蓝牙语音传输的导盲器,中利用超声波测距的原理,对盲人前面道路上的障碍物进行距离探测,并把障碍物距离信息变成声音提示。蓝牙传输可以很好地实现地面短距离无线传输,但仍具有一定局限性,在水下及特殊环境中,传输距离大大缩短。还有采用激光作为传输手段的信号传输设备,刘元松等[2]提出了低复杂度水下无线激光通信的系统研究,针对水下激光通信的应用,设计了低复杂度水下无线激光通信验证系统,并对无线激光通信信道下的调制和同步等关键技术进行研究,实现了无线传输。但是对于激光的水下通信受海水吸收和散射影响较大,传输距离限制在几十米,无法实现远距离无线传输。

此外,国外水声通信技术已逐渐向网络化的发展阶段并进,将无线电中的网络技术(Ad Hoc)应用到水声通信网络中,可以在海洋里实现全方位、立体化通信(可以与AUV、UUV等无人设备结合使用)。可由于我国有关声波的科技研究较国外起步晚,所以有关技术支持,很多国内产品都依赖于国外有关研究文献,所以该系统设计就这一研究方向进行具体理论、实践探究,拟在国内有关空白领域提供些许微薄理论经验和技术支持。

本文设计系统预期超声波语音传输系统不仅可以在液体,如:水、油质等材料中进行信息传递,而且还可以在金属制品,如:铁、铜等器材中进行信息的传递。并且做到将失真、时延降到最低,以保证信息的准确性与及时性。并且也可以极大的避免其他诸如:电信号、磁场信号等非同类信号的干扰和此类非同频率语音信号的串扰,并做到精确地保真效果和及时性。并且在水声探测以及大规模信息识别方面有及其重要的意义。

2. 基本原理

2.1. FM 调频基本原理

采用语音信号为输入信息源，而音频信号的改变往往是周期性的，“FM 合成理论”有着发音体(载体)和调制体两个元素。发音体或称载波体，是实际发出声音的频率振荡器；调制体或称调制器，负责调整变化载波所产生出来的声音。载波频率、调制体频率以及调制数值大小，都是影响 FM 合成理论的重要因素。

2.2. 传输系统的技术参数

压电换能器(如压电晶体、压电陶瓷等)具有高耦合系数、高电声效率、高灵敏度等特点，在声学领域中得到广泛应用，是声学技术研究与应用的重要元件。对于压电换能器的基本原理分析。可以通过波动方程、相应的压电方程和力学边界条件来完成，但工程上常采用等效电路法，将压电换能器用等效电路来表示。这样可以将一个机电耦合的复杂关系转化为单一的电路问题来讨论[3]。对于计算换能器的阻抗，导纳，导纳圆的公式如下：

阻抗与导纳的转化公式为：

$$Z_d = \frac{1}{Y_d} = R_d + jX_d = R_d + j\left(\omega L_d - \frac{1}{\omega C_d}\right) \quad (1)$$

式(1)中 Z 为阻抗， Y 为导纳， R 为电阻分量， X 为电抗分量。该公式解释了阻抗和阻纳的推导过程。

导纳整理后可以得到：

$$\left[G - \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{2R_d}\right)\right]^2 + (B - \omega C_0)^2 = \frac{1}{(2R_d)^2} \quad (2)$$

式(2)中 G 、 B 分别表示换能器的总电导和总电纳。在谐振频率附近， G 和 B 随频率变化大，而 ωC_0 变化小，可近似认为 $\omega C_0 = \omega_0 C_0$ 。

通过压电换能器的基本公式，可以推导出等效电路中各等效原件的参数，从而推算出该型号压电陶瓷换能器的电阻值并绘制出换能器在不同介质中的特性曲线[3]。

3. 模拟信号调制系统设计

系统电路图设计

为了实现超声波的发射，本文设计了一个发射系统通过换能器的压电效应将电信号转换为声信号，从而发送超声波进行传送的超声波发射机如图 1。

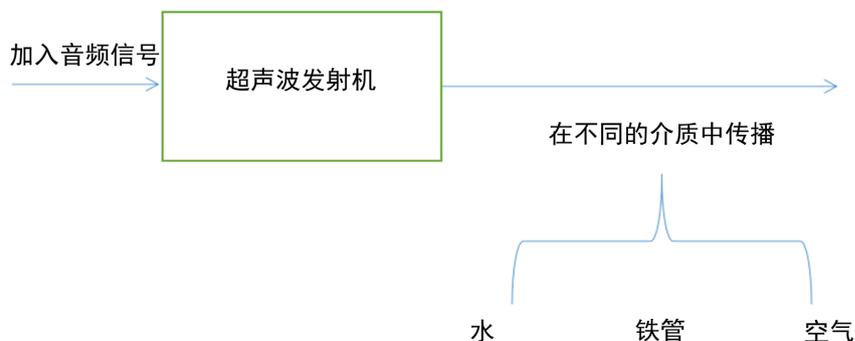


Figure 1. Principles of system diagram of the transmitter

图 1. 发射机原理系统图

先算出相应的信号放大器的负荷以及规划出相应的前端电路图，如图 2。

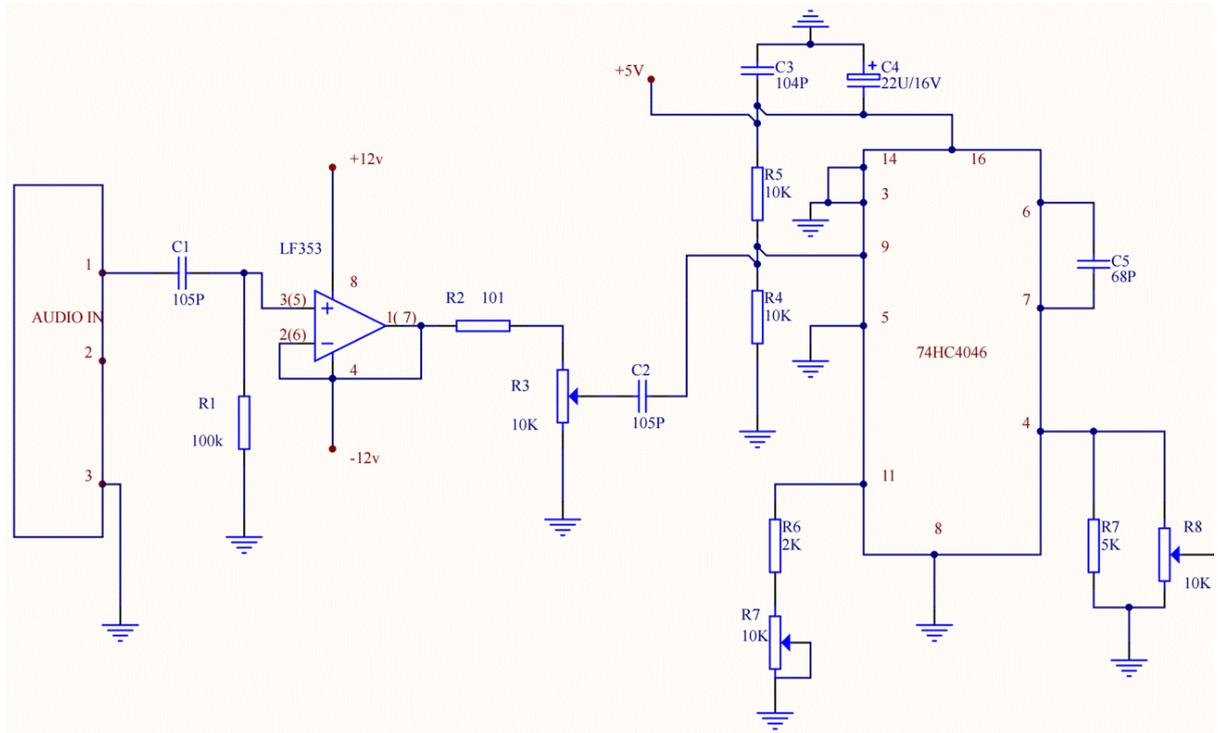


Figure 2. Front-end circuit diagram
图 2. 前端电路图

在前端电路中，利用模拟电子电路理论[4]中的基本设计电路思想设计了一条设计跟随电路。并设计了射级跟随电路，如图 3。

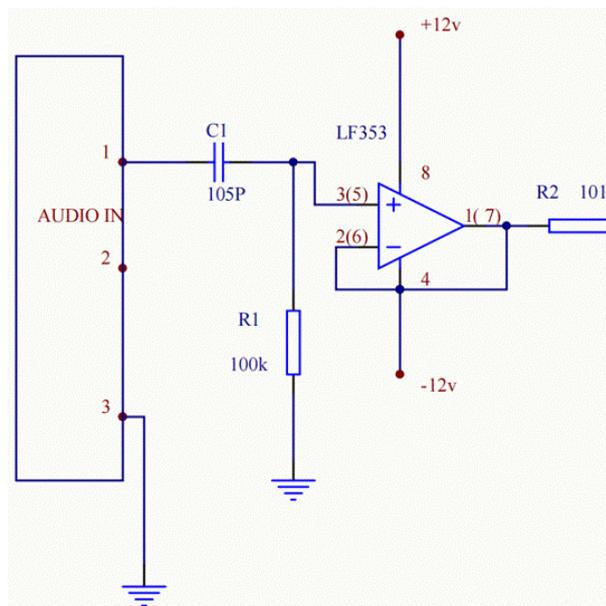


Figure 3. Following the circuit diagram
图 3. 跟随电路图

由于输入信号频率与超声波发生器载波频率范围不相符，所以在前端电路还需设计一个压控振荡装置[5]，采用 74HC4046 芯片为主体，设计了一个 VCO 电路，将输入的设计跟随信号输入，并将其调制到适当频率，如图 4。

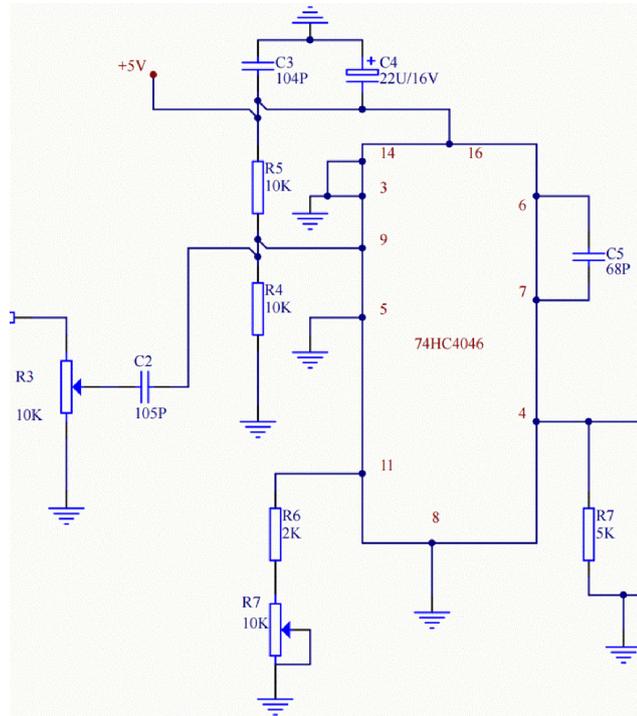


Figure 4. VCO circuit design
图 4. 设计的 VCO 电路

用电压放大电路[6]来进行输入电压的能量放大，放大器为应用放大电路实现放大的装置。并设计一条电压放大电路。将输入的音频信号通过电压放大器放大至 FM 调制器，如图 5。

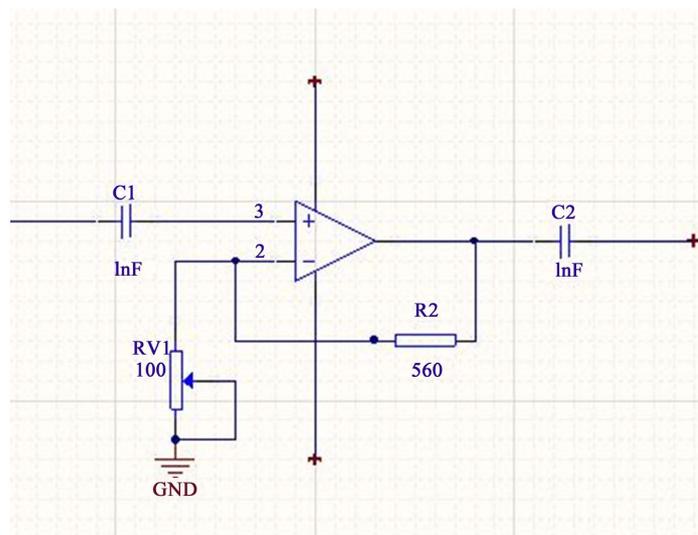


Figure 5. Amplifier circuit diagram
图 5. 放大器电路图

最终的发射机电路图总图为，如图 6：

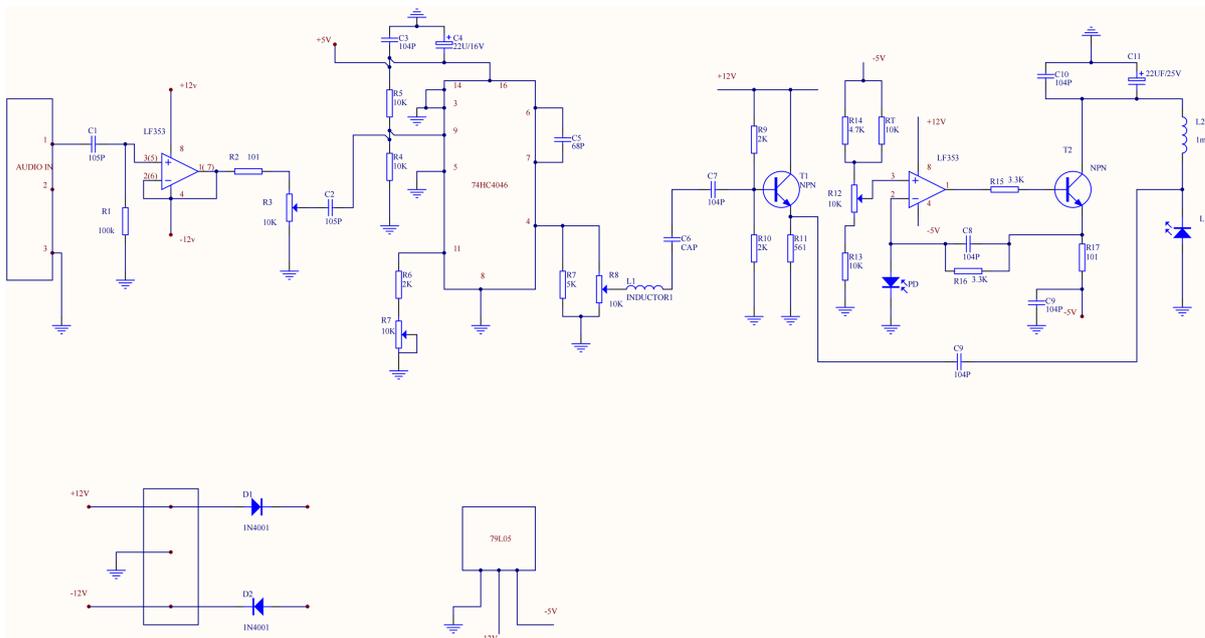


Figure 6. Ultrasonic voice transmission circuit diagram of the transmitter
图 6. 超声波语音传输发射机电路图

按照上面的理论[7]设计加工了相应的控制模块。然后，进行语音信号的传输，将语音信号进行 FM 调制后，再通过功率放大器加到换能器上，在水下进行传输；在接收器端接入低噪前放装置，并进行 FM 解调和语音功放，检验语音传输效果[8]，如图 7。



Figure 7. Results map
图 7. 成果图

4. 实验分析与讨论

4.1. 水下性能探究

由于在水下传输环境复杂，水温、水中杂质浓度、水流速度都会对系统的超声语音传输质量产生影响，为了探究超声传输的水下性能，并将温度、水流速度、悬浮颗粒物浓度作为单一环境变量，进行模拟水下不同环境[9]的实践研究。

通过系统调试,依次进行不同环境数据测量与信息记录。

数据记录与分析:

超声波在空气中的传播速度为 340 m/s, 在水中传播速度为 1425 m/s。

根据波长和频率的转换物理公式[6]可推算出超声波在不同介质中的物理量:

$$f = 4 \text{ MHz} \quad (3)$$

$$\lambda = v * T = v/f \quad (4)$$

公式(4)中 λ 为超声波波长, f 为频率, 可推算出超声波在不同介质中的波长。

可推算出超声波在各种介质中的波长如表 1 所示:

Table 1. Ultrasonic wavelength of different media

表 1. 不同介质超声波波长

介质	空气	水
超声波在介质中的波长	$8.5 \times 10^{-5} \text{ m}$	$3.56 \times 10^{-4} \text{ m}$

不同的流水速度对超声波的语音传输质量存在一定影响, 在实际系统应用环境中, 水流速度为重要变量, 所以本文探究系统在长度为 95.3 cm 的水槽中 0.95 m/s 和 1.75 m/s 的两种水速传播质量。

可通过基本物理公式计算速度得:

$$v_1 = \frac{s}{t_1} = \frac{0.953 \text{ m}}{0.95 \text{ s}} = 1.003 \text{ m/s}, v_2 = \frac{s}{t_2} = \frac{0.953 \text{ m}}{1.75 \text{ s}} = 0.545 \text{ m/s} \quad (5)$$

实验所需水槽清水体积:

高: 13.2 cm; 宽: 35.6 cm; 长: 95.3 cm; 体积: 44,783.376 立方厘米

超声波模块距离 50 cm

原始输入信号: 正弦波形; 频率: 1 khz; 峰峰值: 1 v

水下实验数据如下表 2 所示:

Table 2. Underwater experimental data records

表 2. 水下实验数据记录

	噪声电压/mv	信噪比/dB	加入量
清水	4.0 mv	52.568 dB	原体积
搅拌水	4.0 mv	52.568 dB	无变化
水中玻璃格挡	一块 7.6 mv; 两块 20 mv	46.992 dB/38.588 dB	4 mm 玻璃两块
清水加铁板	4.0 mv	52.568 dB	2.5 mm 铁板
清水加纸	2.2 v	-2.24 dB	1 张 A4 白纸

实验数据分析:

清水噪音小传输效果好; 搅拌水传输效果好, 与清水中无明显变化; 玻璃与铁板小于 0.3 cm 厚度噪声无影响, 大于 0.45 cm 的板子厚度噪音极大传输效果差; 白纸噪声极大, 无法正常传输。可知, 该超声语音传输系统在清水中通信时, 水波的搅拌与无线语音通信无明显影响。

仅改变水温再进行清水下数据实验及测量, 可得出以下数据如表 3, 表 4:

Table 3. Different water temperature experiment data records**表 3.** 不同水温实验数据记录

	噪声电压	信噪比	传输效果
50 度清水	3.2 mv	54.506 dB	效果好，噪音小
40 度清水	2.4 mv	57.004 dB	效果好，噪音很小
30 度清水	4 mv	52.568 dB	噪音极小，效果很好
27 度清水	4 mv	52.568 dB	噪音极小，效果很好
24 度清水	4.2 mv	52.114 dB	噪音极小，效果很好
20 度清水	4.8 mv	52.568 dB	效果好，噪音小

从表中数据可以明显的看出，在 20 度到 40 度之间随着温度的提升，超声波的能量衰减降低，噪声干扰减小，在 40 度时为最佳，40 度后温度的提升会导致噪声随之加大，超声波的能量衰减也加大。可知该试验系统在 40 摄氏度左右水下语音通信传输时效果最佳。

具有杂质的模拟海水中进行系统实践：

在水箱依次加入不同量的海盐进行数据记录可得如下表：

Table 4. Different salt density data records**表 4.** 不同盐密度数据记录

	噪声电压/mv	信噪比/dB	加入量
盐(3.5%)	4.8 mv	50.984	1567 g
盐(4.0%)	3.6 mv	53.482	1791 (+224 g)
盐(4.5%)	3.2 mv	54.506	2015 (+224 g)

实验数据分析：

在清水中加入不同浓度的盐观察超声波的传输效果制作成如表 5 所示：

Table 5. Different salt density ultrasonic transmission effect detection**表 5.** 不同盐密度超声波传输效果探测

	噪声电压	信噪比 dB	加入量	传输效果
盐水(3.5%)	4.8 mv	50.984	1567 克	效果较好，噪声稍大于清水
盐水(4.0%)	3.6 mv	53.482	224 克	效果好，噪声比 3.5%的盐水更小
盐水(4.5%)	3.2 mv	54.506	224 克	噪声比 4%的盐水噪声更小

从表中数据可以看出盐水浓度越高，形成的静噪声越小，信噪比也越好。说明超声波在 3.5%到 4.5%的盐水浓度中，随着浓度的增大，超声波的能量衰减变小，相比于 3.5%盐水，传输效果有所提高。可得，在模拟海水(盐水浓度大约为 3.5%)中进行该系统的语音传输效果测试，可以进行正常高信噪比语音传输，并无明显能量消耗。但是越接近盐水饱和，语音传输系统传输效果越好[10]。

4.2. 在金属中进行测试

参照实验要求，该系统需将系统产生的超声波耦合到金属材料中，进行不同介质的语音发射传输，并于接收机相配合，记录实验结果，最终做出实验分析。

本文研究打算在金属钢管中进行实验探究。实际探究发现当频率保持在 100~300 KHz 时效果最好。于是本文选用 110 KHz 的超声波换能器进行实验探究。

所需器材如下：

- 1) 频率为 110 KHz 换能器一对
- 2) 一根中空铁管\铝板
- 3) 12 V 锂电池
- 4) 水槽
- 5) 系统设备
- 6) 示波器，功放小功率喇叭等所需基本器材

在金属中测试结果与分析

挑选中空铁管长度为 1.2 m，在金属管中输入原始音频信号频率为 1 KHz 峰~峰 1 v 的正弦波形。其输出信号探测结果频率为 1 KHz，峰峰值为 2.88 v，如表 6 所示。

Table 6. The data recorded in the metal

表 6. 金属中数据记录

	噪声电压/mv	信噪比/dB
中空铁管	18.4 mv	40.724 dB

数据分析结果：

铁管虽然静噪声数值大，但播放效果极佳；下一步改进，应加大电压功放电压，将输入到换能器的电压由 5 V 增至 100 V 以上，进一步实现更远距离的传输。

5. 结束语

本文主体为研究超声波语音传输系统发射机的设计应用，具体在讨论水下或模拟海水以及金属器材上的超声波语音传输系统的发射机的设计与实现。本文提出的超声波传输系统实现了：① 采选 2 MHz 和 4 MHz 超声波发射换能器在不同水速、水温以及不同悬浮颗粒物浓度水下环境的高信噪比、低失真率以及较远距离传输，② 采用 110 KHz 电/声换能器在 1.2 m 长度的金属中的低失真率传输。

本文设计的实验方案，可实现调频电信号转换为超声波在不同介质、不同情况下的传输；而且结构简单，易于实现，所采集的数据以及应用的理论分析皆为主流文研究思想。并且实现了无线通信的介质局限突破。

参考文献

- [1] 赵秀玲, 邱思杰, 林永军. 基于蓝牙语音传输的导盲器[J]. 电子世界, 2013(15): 78+81.
- [2] 刘元松. 低复杂度水下无线激光通信验证系统研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2017.
- [3] 左全生. 压电换能器的导纳分析及其应用[J]. 常州工程学报, 2000, 13(2): 37-42.
- [4] 吕玉琴, 等. 信号与系统[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014.
- [5] 周炯槃, 庞沁华, 等, 编著. 通信原理(第四版) [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2015.

- [6] 祝之光, 编. 物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012.
- [7] 黄玉. 基于改进混合高斯模型的前景检测算法研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 长沙理工大学, 2014.
- [8] 生利英, 编著. 超声波检测技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- [9] 许天增, 编著. 水声数字通信[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.
- [10] 方金, 丁春林, 钱卫国. 超声波在水产养殖中的应用[J]. 渔业现代化, 2007, 34(6): 17-20.