

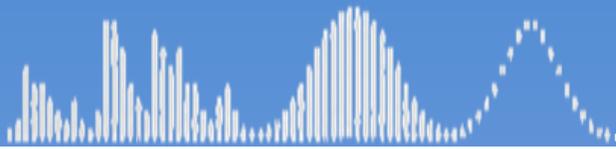


2024年全国大学生电子设计竞赛模拟 电子系统设计专题赛初赛G题解析

天津大学 微电子学院 刘开华

2024.9

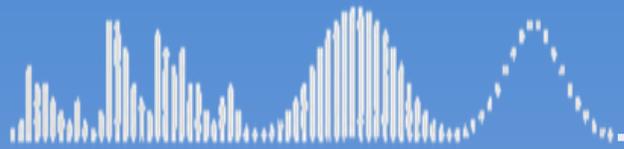




一、题目介绍

二、题目解读与考点分析

三、问题讨论



一、题目介绍

简易录音屏蔽系统（G题）

1. 任务：

设计并制作一个简易阻塞式录音屏蔽系统（简称“屏蔽系统”），包括：录音屏蔽信号发生器（简称“信号发生器”）和音频信号监测/识别模块，能够屏蔽（选择屏蔽）录音/回放装置和普通录音设备的窃录，且对正常音频交流无影响。

一、题目介绍 (续)

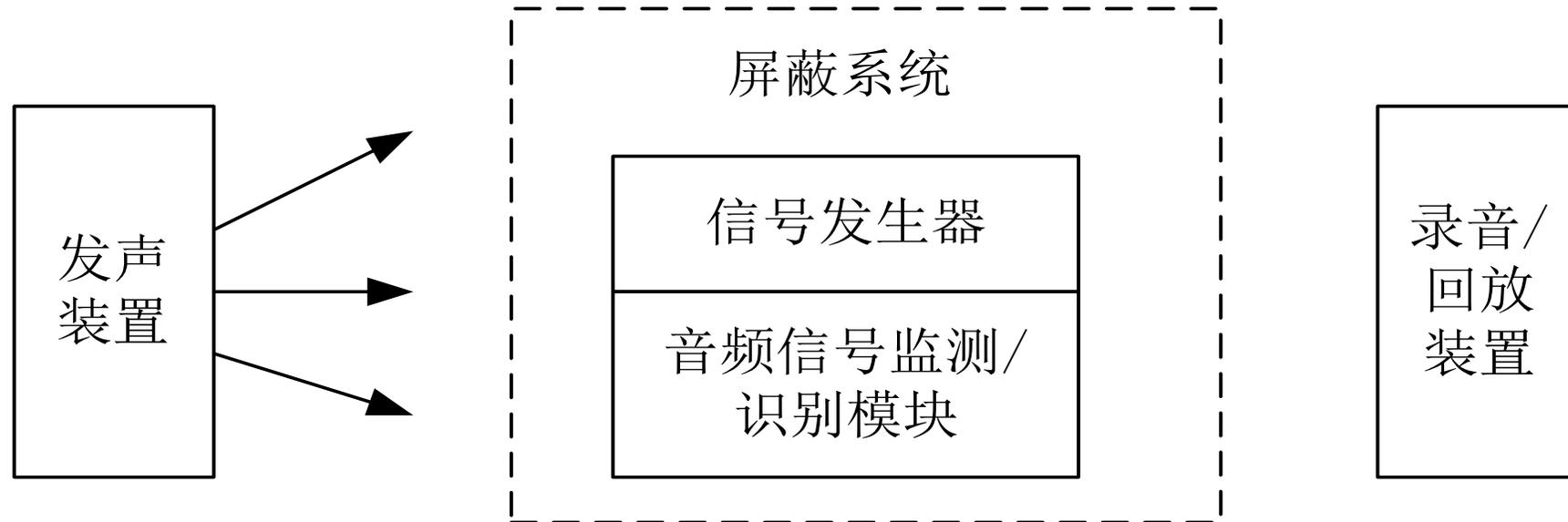


图 1 屏蔽系统工作原理框图

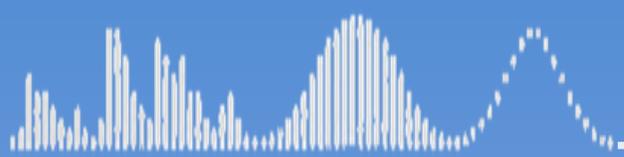


一、题目介绍 (续)

2. 要求:

(1) 信号发生器可发出录音屏蔽信号, 能有效屏蔽录音/回放装置窃录, 屏蔽距离 $\geq 1\text{m}$, 屏蔽角度 $\geq 60^\circ$ 。 (35分)

(2) 音频信号监测/识别模块可判断音频信号的有无, 当无音频信号出现时, 该模块通知 (控制) 信号发生器停止工作, 并关闭指示信号发生器工作状态的LED灯。 (25分)



一、题目介绍 (续)

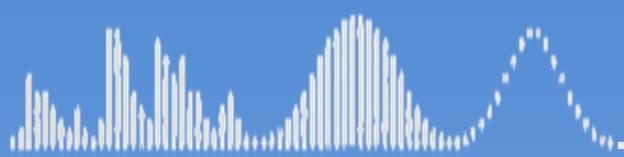
2. 要求 (续) :

(3) 信号发生器的电源输入功率 6W, 其功率在1W~4W范围内可调整, 调整步长为1W, 调整方式自定。信号发生器在相同额定电源输入功率的条件下, 屏蔽距离越远越好。 (25分)

(4) 对不同类型的音频信号, 音频信号监测/识别模块可实现自动识别信号类型, 并按要求选择屏蔽某种音频信号。识别时间 1s。 (10分)

(5) 其他。 (5分)

(6) 设计报告。 (20分)



3. 说明

(1) 信号发生器可采用低频超声波换能器生成录音屏蔽信号。**竞赛期间，应注意安全使用超声波换能器，不提倡过度追求大功率输出，并避免直射人体，造成人身伤害。**

(2) 屏蔽距离：在可正常屏蔽录音的条件下，屏蔽系统与录音装置之间的直线距离。屏蔽角度：在可正常屏蔽录音的条件下，屏蔽信号能覆盖的夹角。如图2所示。

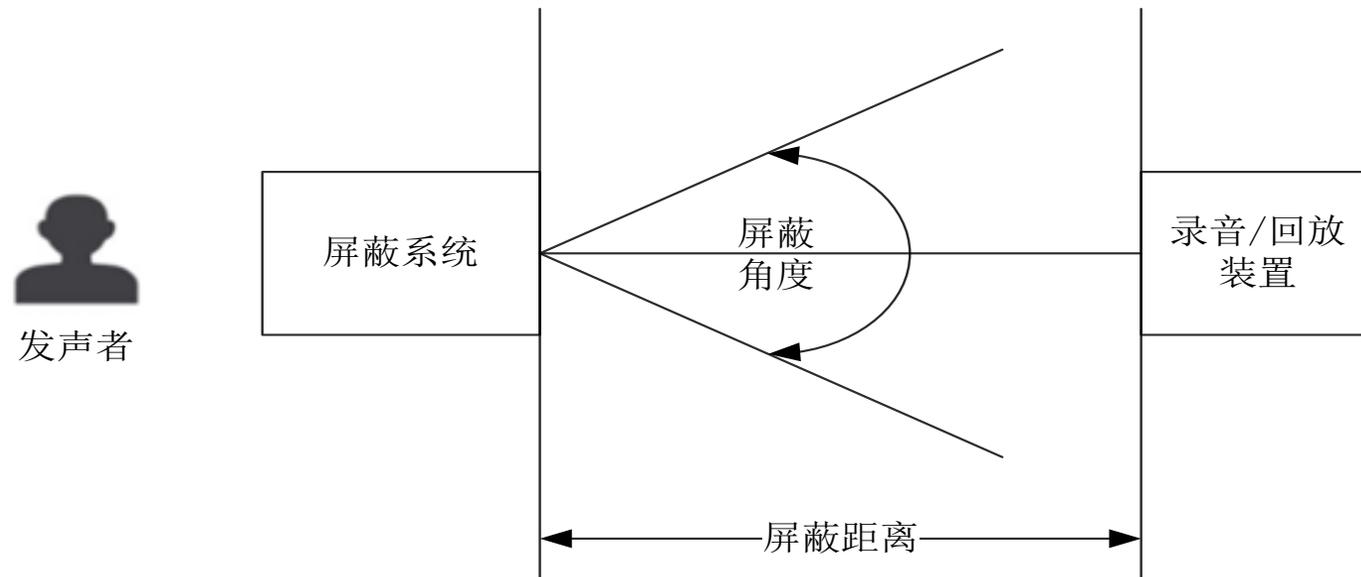
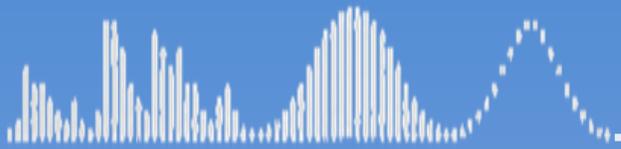


图2 屏蔽距离，
屏蔽角度示意图



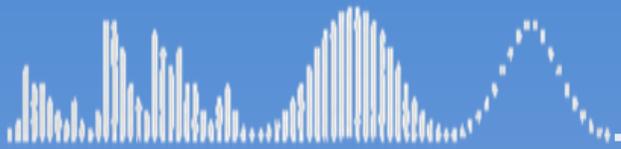
3. 说明 (续)

(3) 设计、制作 (集成) 屏蔽系统的各部分电路时, 应考虑方便指标测试, 注意预留测试端口, 如预留监测信号发生器电源输入功率的端口。

(4) 要求 (1) 中, 屏蔽距离 $\geq 1\text{m}$, 屏蔽角度越大越好。

(5) 要求 (3) 中, 信号发生器输出功率可由其电源输入功率体现, 输出功率调整方式可手动或程控, 采用程控方式成绩高; 若信号发生器采用多超声波换能器方案, 则其输出功率由各换能器电源输入功率之和体现。

(6) 要求 (4) 中, “对不同类型的音频信号, 可实现自动识别、选择屏蔽录音功能”, 举例说明: 当音频信号为语音信号, 或为音乐信号时, 可自动识别信号类型, 并按要求, 选择仅屏蔽语音信号, 或仅屏蔽音乐信号。



二、题目解析与考点分析

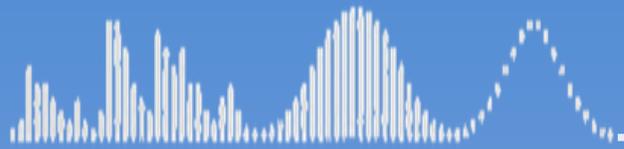
1. 题目解读

(1) 主要的任务:

制作一台简易录音屏蔽系统。

(2) 要求具备的功能:

- ① 能够屏蔽录音设备的窃录，同时不影响正常的音频交流。
- ② 能够识别有无音频信号，无音频信号时停止发出屏蔽信号。
- ③ 能够识别音频信号的类型，并可选择性的屏蔽录音操作。
- ④ 能够控制屏蔽信号的输出功率。

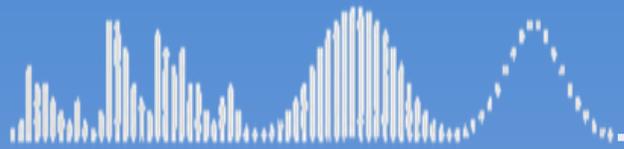


二、题目解析与考点分析

2. 考点分析

(1) 录音屏蔽方案设计

- 在录音设备外部形成干扰
- 方案一，音频屏蔽方式。
 - 方案二，电磁屏蔽方式
- 在录音设备内部形成干扰
- 方案三，超声波阻塞屏蔽方式。
 - 方案四，声学Berklay宽带参量阵理论模型

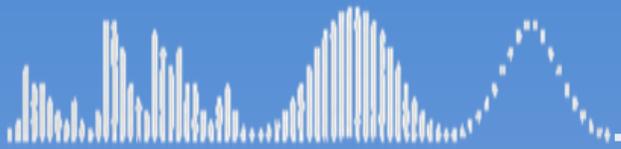


二、题目解析与考点分析--考点分析

(2) 超声信号设计

① 受“不影响人物的正常语音交流”限制：超声载波信号的频率应选择在人的听力范围之外，即超声波换能器的谐振频率需高于15kHz（使得交流者听不到发出的屏蔽信号）。

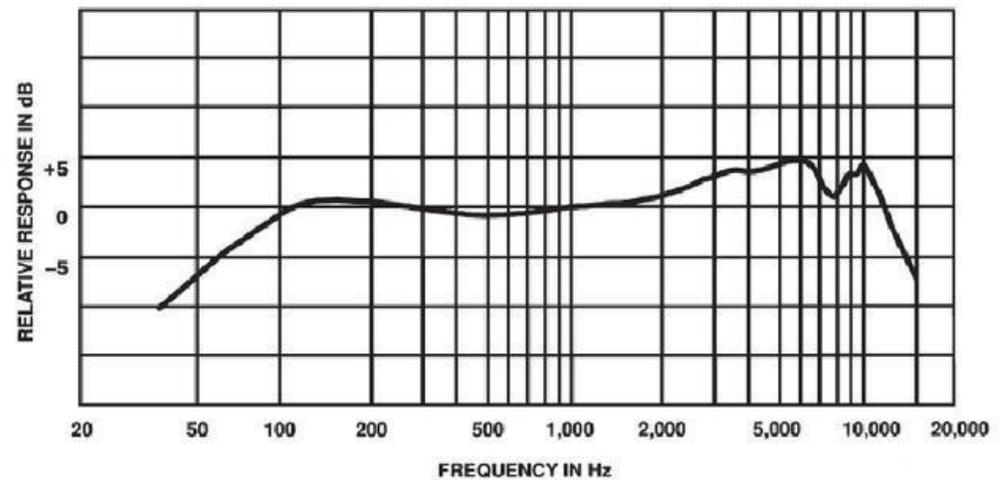
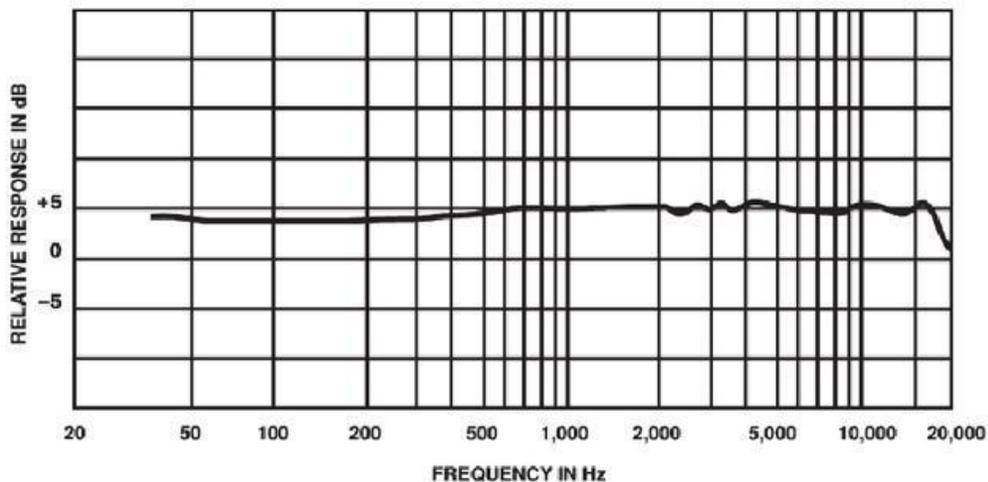
② 受窃录设备输入级的频响特性限制：常用录音设备输入级（咪头、前置放大电路）均为非线性电路，超声载波信号的频率应等于或稍高于输入级的上限频率（适当，不能太高，以免幅度衰减的过小）。



二、题目解析与考点分析--考点分析

(3) 录音设备的拾音模块分析

根据前面的讨论，需要研究对进入录音设备非线性区域的超声载波的要求。下图为两种典型拾音器的频响特性曲线图。可见当信号频率在10kHz-20kHz左右时，拾音器将进入衰减区域。所以，超声波换能器的谐振频率设计可选择在16kHz-25kHz范围内。

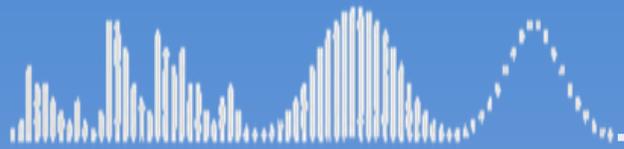




二、题目解析与考点分析--考点分析

(3) 录音设备的拾音模块分析

另外，咪头的动态范围一般在100dB左右，输入信号强度高，拾音器可进入非线性区域。有文献显示，录音设备接收的超声已调制信号强度为90dB时，即可有效屏蔽多种手机的窃录行为。因此，可结合超声波换能器的动态范围和频响特性确定超声信号的谐振频点和强度。



二、题目解析与考点分析--考点分析

(4) 硬件设计

系统硬件包括：发声装置，音频信号监测/识别模块（含处理器），超声信号发生与驱动模块（含低频噪声信号发生电路），录音回放装置。

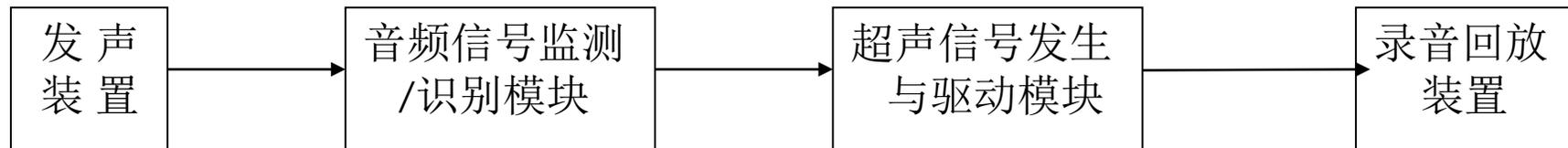


图3 简易屏蔽系统框图

二、题目解析与考点分析--考点分析

(4) 硬件设计 (续)

其中，音频发声装置和录音回放装置采用手机。由于音频信号监测/处理模块需要监测和处理的信号频率不高，采用普通运放、ADC等芯片即可，不再叙述。

① 超声波换能器选择，其谐振频率在16kHz~25kHz之间选择即可。因超声换能器的输出功率2W，屏蔽距离即可达到1m以上。题目较宽松，仅要求信号发生器的电源输入功率 6W。所以，超声换能器（阵列总）的输出功率选10W以内的完全可满足要求。特别注意，不提倡过度追求大功率超声波输出，且不能直对人体发射大功率超声波。



二、题目解析与考点分析--考点分析

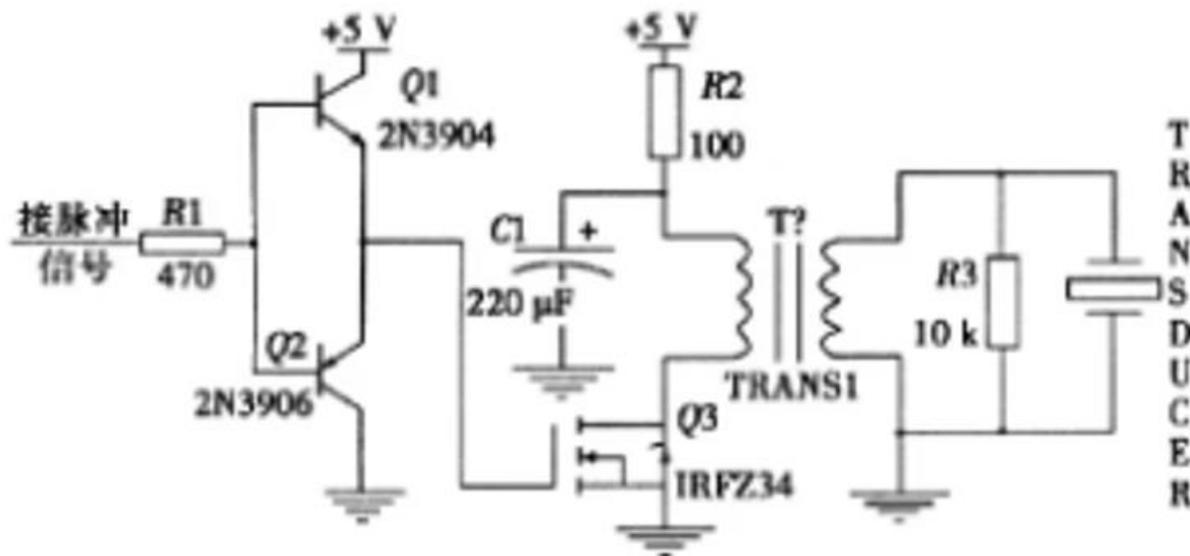
(4) 硬件设计 (接上页)

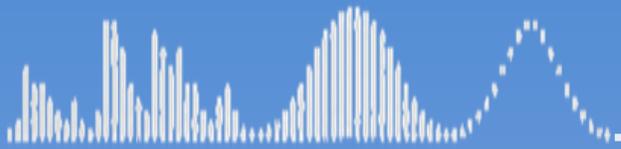
② 音频噪声信号生成。窄带噪声信号生产的方法较多，不再详述。

有文献介绍，可利用伪随机码针对基带信号扩频，形成宽带音频噪声信号。还可用多个不同频点的调制波实现对音频段的覆盖，以提高屏蔽效果。

③ 换能器驱动电路设计

需要考虑阻抗匹配等因素。特别是换能器的阻抗较高，需要高电压驱动。通常，采用变压器升压的方法得到高电压。典型的驱动电路如右图所示：





二、题目解析与考点分析--考点分析

(4) 硬件设计 (续)

③ 换能器驱动电路设计。

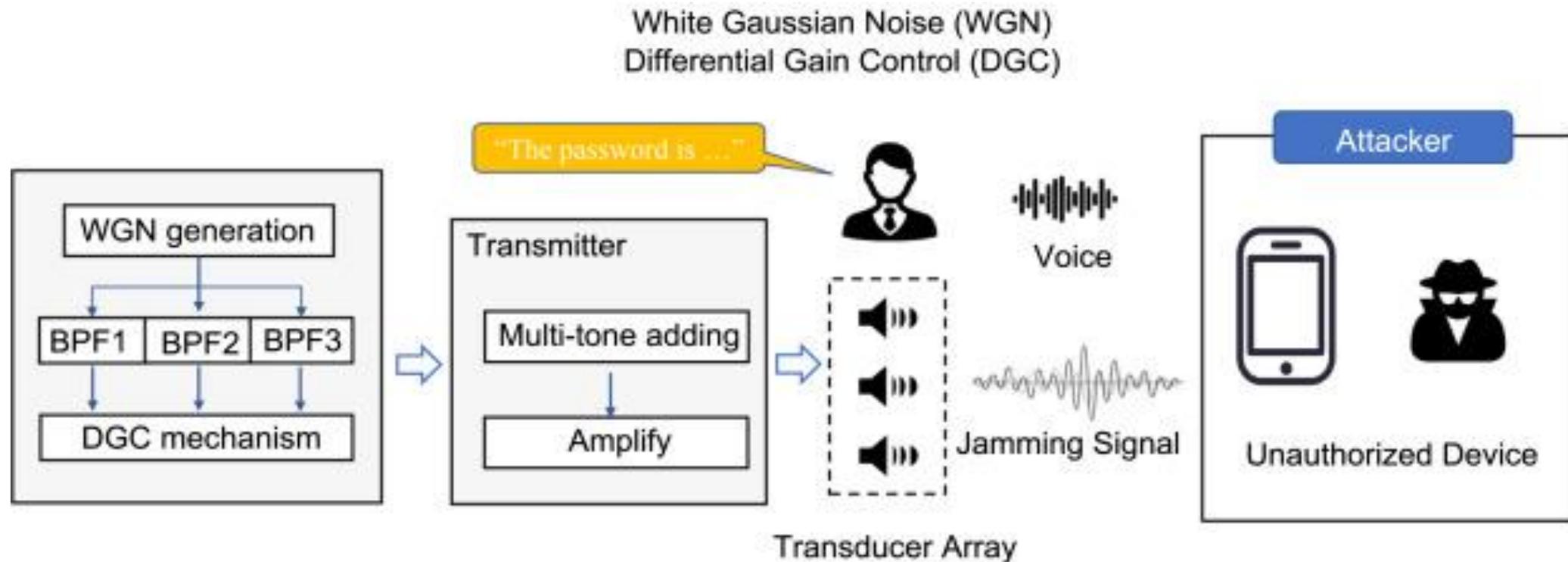
变压器的变换比例由驱动电路的输出电压和换能器需要的驱动电压确定。如采用该方案，变压器设计是一个考点，因为这是一个学生接触、实践较少的知识点。

如果，屏蔽信号采用超声换能器阵列方案产生，则由于多只换能器并联降低了换能器阵列的等效阻抗，此时系统电源就可能满足驱动电压的要求。这样不仅省去了变压器以及变压器设计环节；而且换能器阵列可以扩大屏蔽覆盖范围和角度，有效提高屏蔽效果。本次竞赛，许多参赛队采用超声换能器阵列解决方案，取得好的成绩。

二、题目解析与考点分析--考点分析

(4) 硬件设计 (续)

某文献的系统框图





二、题目解析与考点分析--考点分析

(5) 算法与软件设计

该系统涉及的算法主要有：音频信号有无判断和信号类型识别，信号发生器输出功率控制，以及载波和噪声信号生成。

① 音频信号识别

该功能一般是使用FFT求出信号的频谱参数，并根据信号的频谱参数判断是否有信号，以及是什么类型的信号。题目要求分辨男播音员的广播语音信号和乐器音乐信号，在频谱上区分较明显，工作量和难度不大。



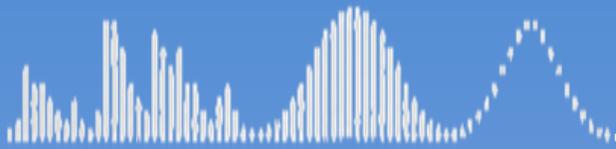
二、题目解析与考点分析--考点分析

(5) 算法与软件设计 (续)

② 输出功率控制

输出功率控制，可从驱动电路的功率场效应管的输入信号幅度入手，通过改变输入信号的幅度，达到改变输出电压的目的。通常采用控制驱动电路前置放大电路的增益（AD8336），达到控制场效应晶体管输入信号幅度的目的。

如果，采用多换能器并联生成屏蔽信号方案，可利用功率场效应管或功率集成电路的输出电压直接做换能器阵列的驱动，同样可通过调整功率放大模块的输出电压幅度实现输出功率控制。



二、题目解析与考点分析--考点分析

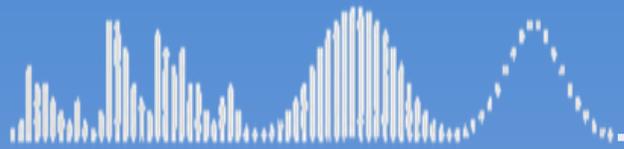
(5) 算法与软件设计 (续)

③ 载波和音频噪声信号

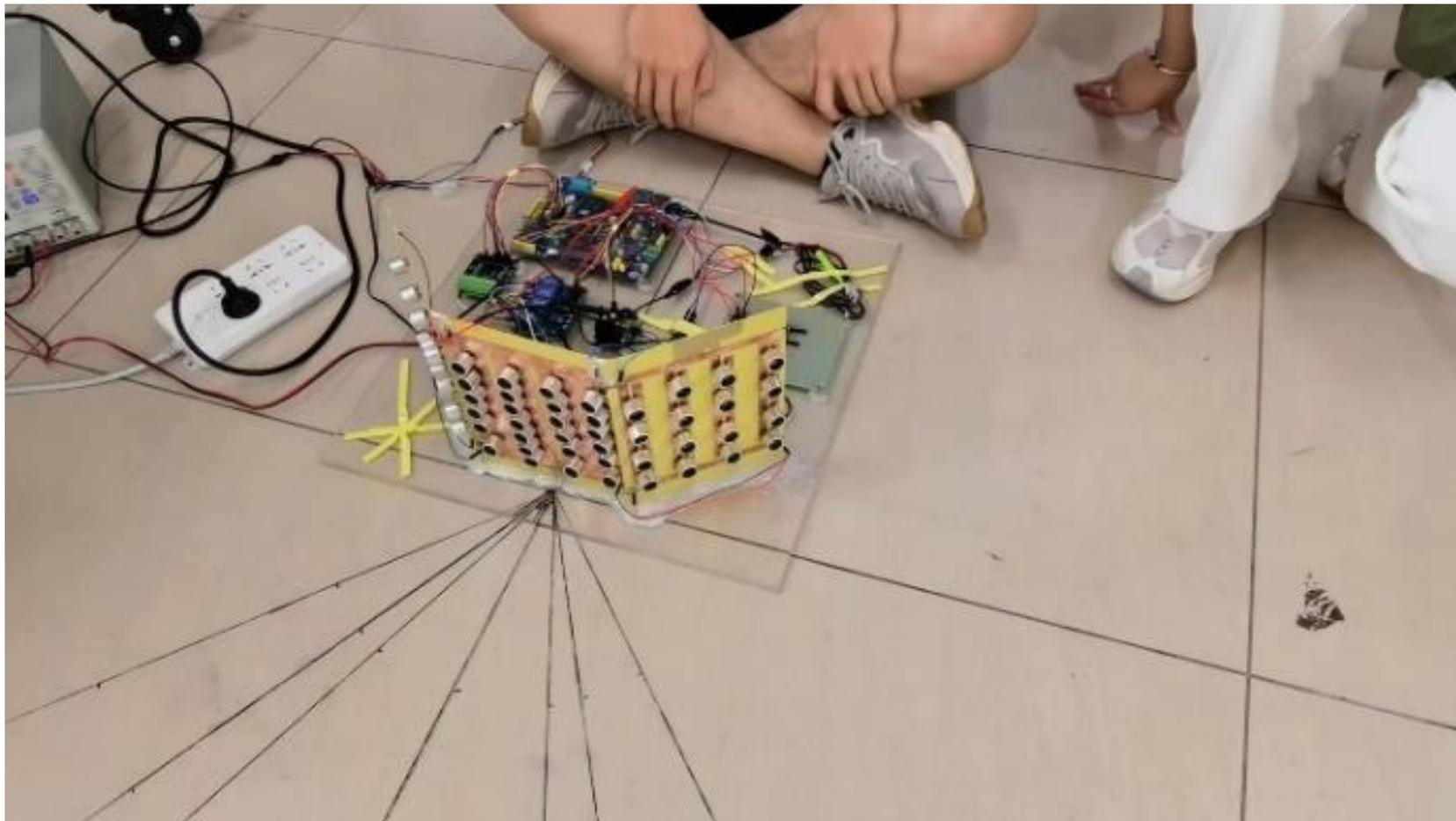
超声载波信号可由处理器控制DDS芯片直接生成（也有采用处理器输出相关频率的脉冲信号），然后放大、驱动换能器。

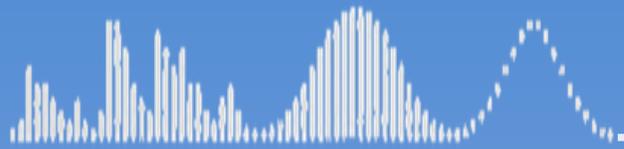
生成窄带音频噪声信号的方法有多种，技术比较成熟，不再多说。宽带音频噪声信号，可采用伪随机码实现基带信号扩频，形成宽带音频噪声调制信号。在此基础上，采用乘法器（如AD835）生成已调波。可利用多个不同中心频率的宽带调制信号实现对音频段的覆盖，以提高屏蔽效果。

④ 软件设计： 略。

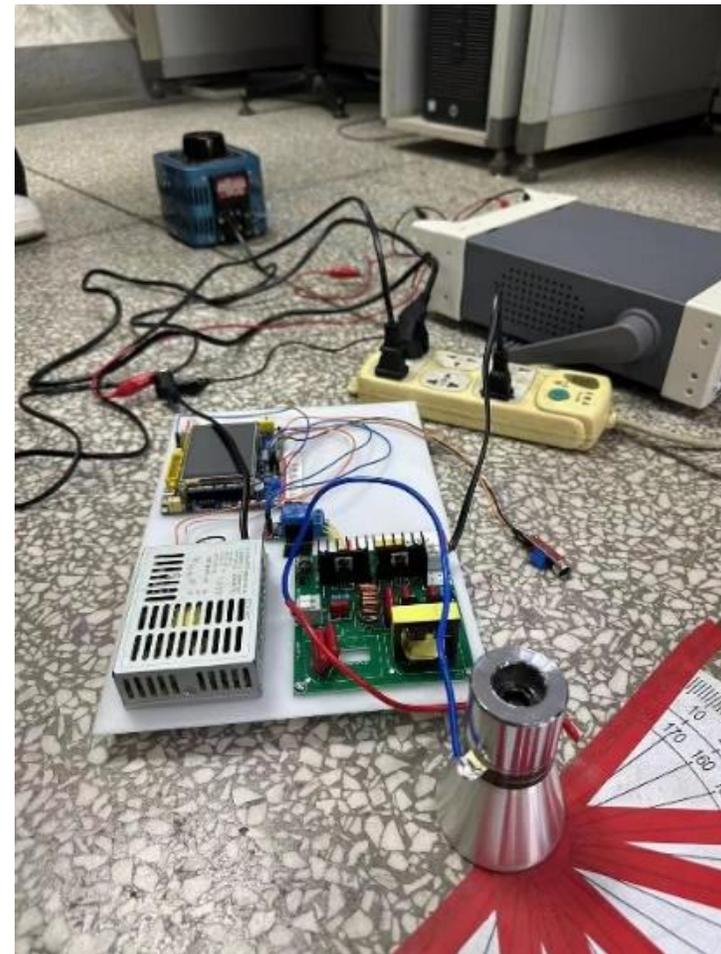
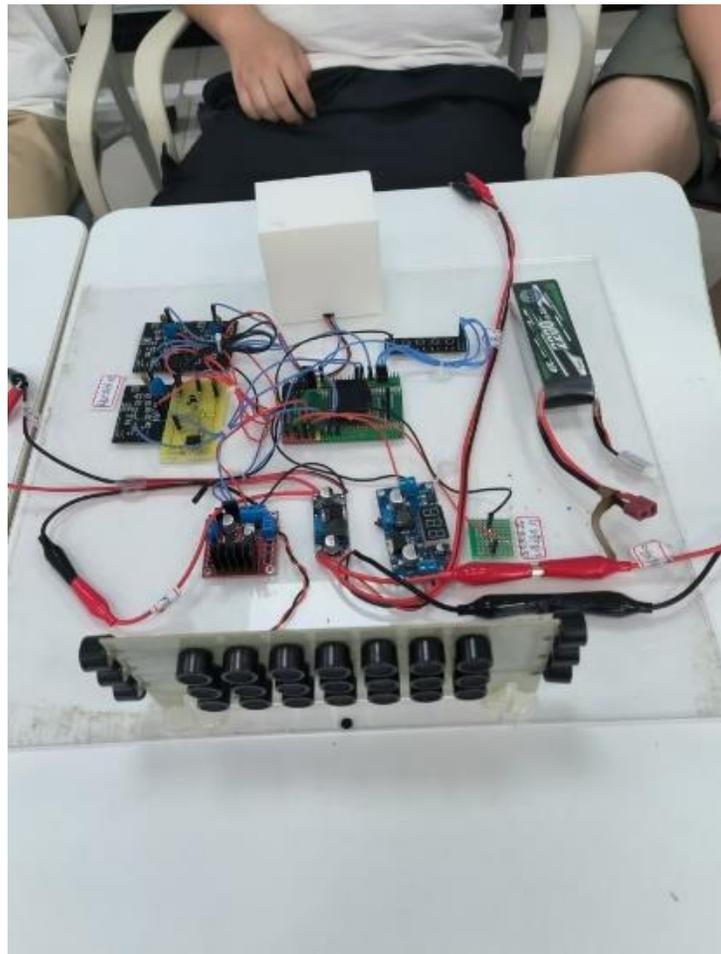


二、题目解析与考点分析---优秀作品





二、题目解析与考点分析---优秀作品





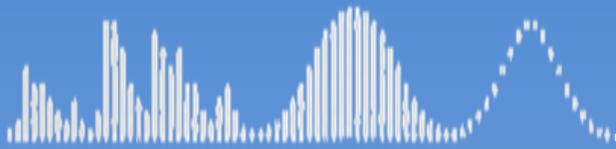
三、问题讨论

1. 播音语音信号有间隔，与有无信号的区别。
2. 信号发生器电源输入功率与换能器输出信号功率的关系。
3. 屏蔽效果不好。
4. 同学们的问题
 - (1) 没有认真审题。如：G题的录音回放可以用手机吗？
 - (2) 希望通过老师验证一些理解，也有想获取一些信息。如：“说明（6）给出的示例中，音乐信号是纯音乐信号吗？还是人唱歌的歌曲？”；“G题的音频信号识别模块是可以直接用现成的模块吗？”
 - (3) 较好的提问。如：“语音信号与音乐信号是分开播放还是同时一起播放？”



参考文献:

- 【1】 宋宇波,马小松,等.基于声学参量阵理论的超声波防录音屏蔽研究与实现【J】.北京理工大学学报,2020(12):1282-1288
- 【2】 杨才山, 一种便携式的语音录音防窃听截断器的设计【J】 , 产品与质量, P39-43
- 【3】 吴燕静, 基于电磁干扰麦克风的防窃听技术研究【M】 , 浙江大学硕士学位论文, 2016
- 【4】 Zhicheng Han, Jun Ma, Chao Xu, Guoming Zhang.UltraJam: Ultrasonic adaptive jammer based on nonlinearity effect of microphone circuits. High-Confidence Computing 【J】 , Volume 3, Issue 3, September 2023



谢 谢

