

摘要

本设计主要描述了音频功率放大器的设计思路,电路设计及电路的调试过程及测试结果。本设计采用 OTL 功率放大电路用于音频信号的放大,是本电路设计的重要组成部分。OTL 功放电路由于它不需要变压器,减少了体积和信号的失真。本设计主要由直流电源、音源选择电路与音量控制及 OTL 功率放大模块三部分组成,直流电源将交流电源转换为稳定的直流电源输出,音源选择电路实现音源的切换,音量控制及 OTL 功率放大模块用于放大信号,保证信号有足够的功率可以从扬声器输出。

关键词: 桥式整流电路; OTL 功率放大电路; 音频功率放大器

This design mainly describes the design idea of audio power amplifier, circuit design, circuit debugging process and test results. This design uses OTL power amplifier circuit for audio signal amplification, which is an important part of this circuit design. OTL power amplifier circuit reduces the volume and signal distortion because it does not need a transformer. This design is mainly composed of DC power supply, sound source selection circuit, volume control and OTL power amplification module. DC power supply converts AC power supply into stable DC power output. Sound source selection circuit realizes sound source switching. Volume control and OTL power amplification module are used to amplify the signal to ensure that the signal has enough power to be output from the speaker.

Key words: bridge rectifier circuit; OTL power amplifier circuit; Audio power amplifier

目录

一. 设计任务和要求.....	1
1.1 设计任务.....	1
1.2 设计要求.....	1
二. 系统设计.....	1
2.1 系统要求.....	1
2.2 方案设计.....	2
2.3 系统工作原理.....	2
三. 单元电路设计.....	3
3.1 直流电源部分.....	3
3.1.1 电路结构及工作原理.....	3
3.1.2 元器件的选择及参数确定.....	4
3.2 音源选择电路.....	5
3.2.1 电路结构及工作原理.....	5
3.2.2 元器件的选择及参数确定.....	5
3.3 功率放大电路.....	6
3.3.1 电路结构及工作原理.....	6
3.3.2 元器件的选择及参数确定.....	8
四. 电路仿真.....	9
五. 电路安装、调试与测试.....	11
5.1 电路安装.....	11
5.2 电路调试.....	11
5.3 系统功能及性能测试.....	12

5.3.1 测试方法设计.....	12
5.3.2 测试结果及分析.....	12
六. 结论.....	13
参考文献.....	14
总结、体会和建议.....	15
附录 1.....	17
附录 2.....	19

一. 设计任务和要求

1.1 设计任务

设计且制作一个音频功率放大器，将 MP3 输出的音乐信号放大。

1.2 设计要求

1. 放大器有两个 MP3 输出输入接口；
2. 能够使用电子开关进行音源选择，并且能够用发光二极管指示；
3. 放大器设有音量控制、功率放大功能；
4. 主要技术指标如下：
 - (1) 额定输出功率： $2 \times 1W$ （或 $2 \times 5W$ ）（ $THD \leq 0.5\%$ ）
 - (2) 负载阻抗： 8Ω
 - (3) 输入阻抗： $>> 600\Omega$
5. 电源：220V/50HZ 的工频交流电供电；
6. 按照以上技术要求设计电路，绘制电路图，对设计的电路用 Multisim 进行仿真，用万用板焊接元器件，制作电路，完成调试、测试，撰写设计报告。
7. 发挥部分：①设计均衡电路（音调电路）②有电平指示功能。

二. 系统设计

2.1 系统要求

课题要求设计并制作一个音频放大电路，将 MP3 输出的音乐信号放大，设计均衡电路实现对音源信号进行高低频调音，设计电子开关实现两个音源间的选择。

基本性能指标要求：

- (1) 额定输出功率： $2 \times 1W$ （或 $2 \times 5W$ ）（ $THD \leq 0.5\%$ ）

(2) 负载阻抗: $8\ \Omega$

(3) 输入阻抗: $\gg 600\ \Omega$

2.2 方案设计

根据任务要求,设计总电路需要直流电源,音源选择电路,音量控制及 OTL 功率放大模块三个基本电路:

1、直流电源设计:主要运用到了桥式整流器和稳压集成电路。

2、音源选择电路设计:采用六角自锁开关进行音频线路的切换,实现音源选择。

3、音量控制及 OTL 功率放大模块设计:OTL 功率放大器电路采用单电源供电,实现对信号的电压和电流放大任务。

2.3 系统工作原理

音频放大器原理图如下所示,主要由直流电源、音源选择电路、音量控制及 OTL 功率放大模块组成。将来自 MP3 的音频信号经过音源选择电路选择后送入前置放大器进行电压放大,先由音源选择电路选择音源,音源经由 OTL 功率放大模块进行功率放大后推动扬声器工作,该设计具有音源选择、放音扩大功能。先确定整机电路的级数,再根据各级的功能及技术指标要求分配电压增益,然后分别计算各级电路参数,通常从功放级开始向前逐级计算。

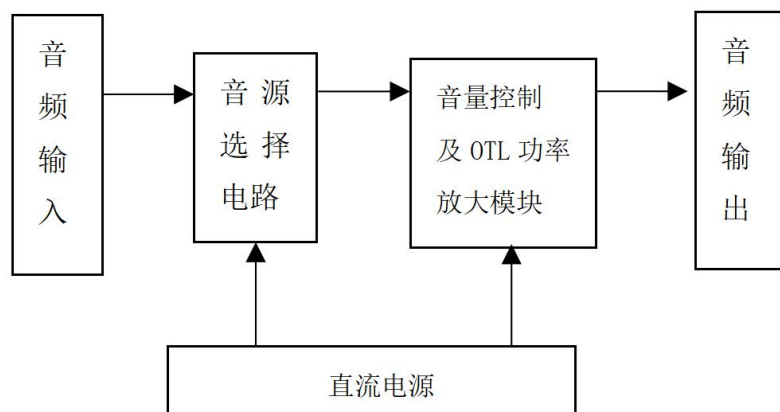


图 1 系统工作流程图

OTL 电路的概念:省去输出变压器的功率放大电路通常称为 OTL 电路。其中,OTL 为 Output TransformerLess 的缩写.OTL 电路为单端推挽式无输出变压器功率放大电路。通常采用电源供电,从两组串联的输出中点通过电容耦合输出信号。OTL 电路是一种没有输出变压器的功率放大电路。过去大功率的功率放大器多采用变压器耦合方式,以解决阻抗变换问题,使电路得到最佳负载值。

三. 单元电路设计

3.1 直流电源部分

3.1.1 电路结构及工作原理

如图 3.1 所示,假设外部为 220V 交流电源,用 C5 电容与 R1、R2 电阻串联的线路并联,再与桥式整流器串联,将 220v 交流电压变成 5v 交流电,之后采用电容滤波。考虑到电路电流较小,用合适的集成稳压器进行稳压,同时起到一定保护作用。

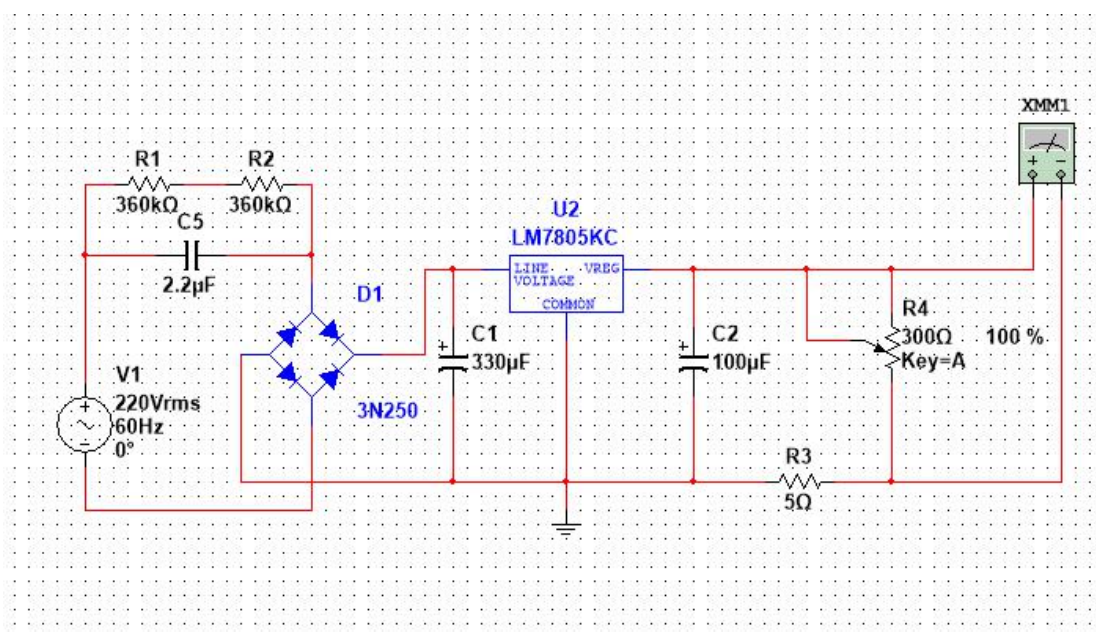


图 2 直流电源原理图

3.1.2 元器件的选择及参数确定

- 1) 用桥式整流器 3N250 对交流电进行整流，原理图见图 3。

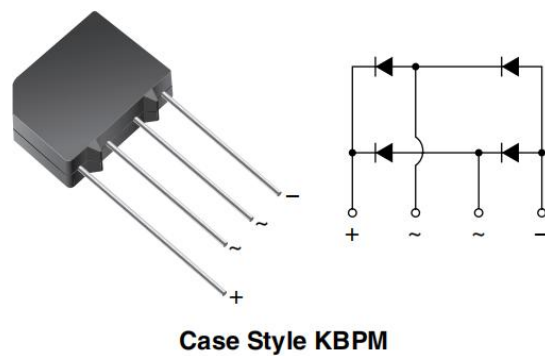


图 3 桥式整流器 3N250 原理图

- 2) C1 滤波电容采用 330uF。
- 3) 经计算，采用 LM7805KC 集成电路进行稳压，原理图见图 4。

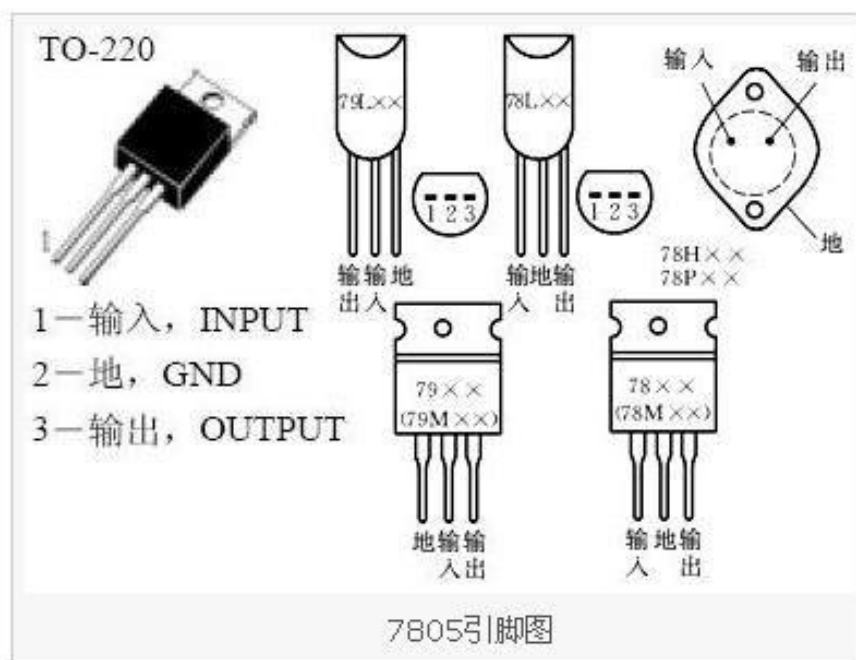


图 4 LM7805 原理图

3.2 音源选择电路

3.2.1 电路结构及工作原理

如图 5 所示，设有两路外部音源输入，通过相应的音源选择电路选择其中的某一路音源输出，本设计指示灯用两不同颜色的发光二极管实现，采用六角自锁开关进行音频线路的切换。

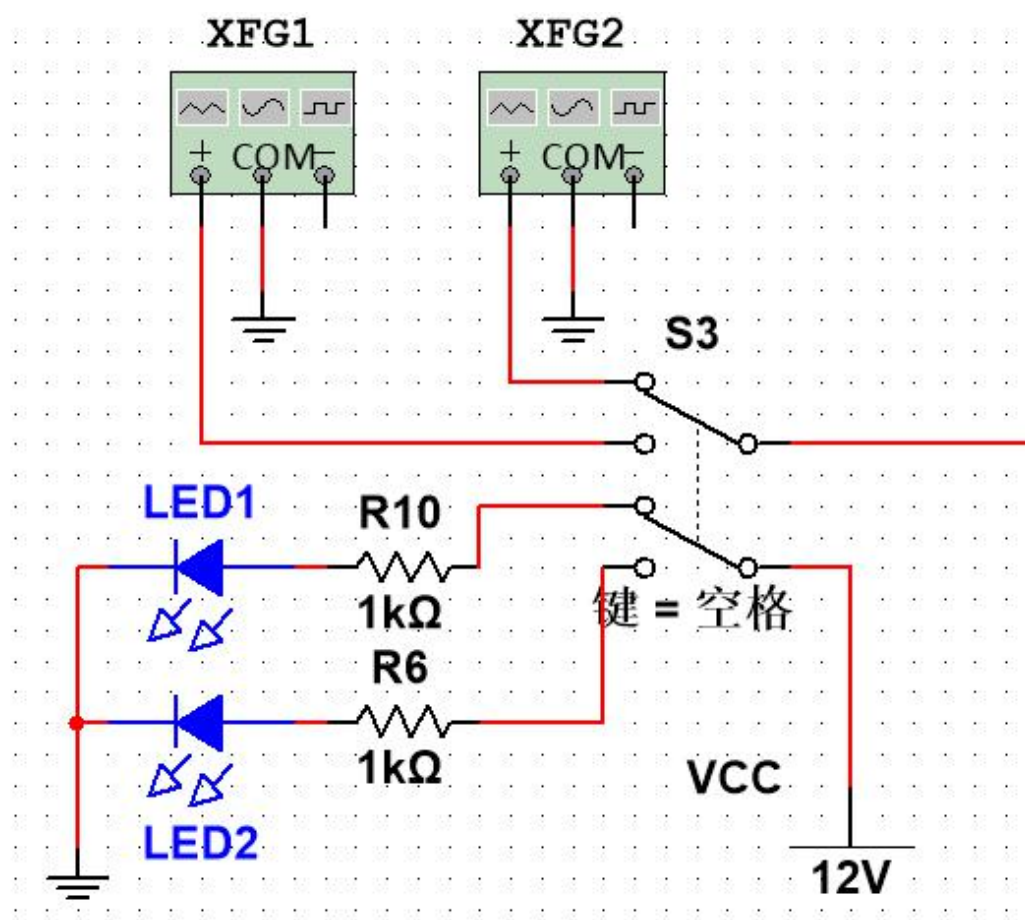


图 5 音频选择电路原理图

3.2.2 元器件的选择及参数确定

1) 选用自锁式六角开关一端连接音源与 LED 灯，一端与 OTL 功率放大电路相连。自锁式六角开关原理图见图 6。

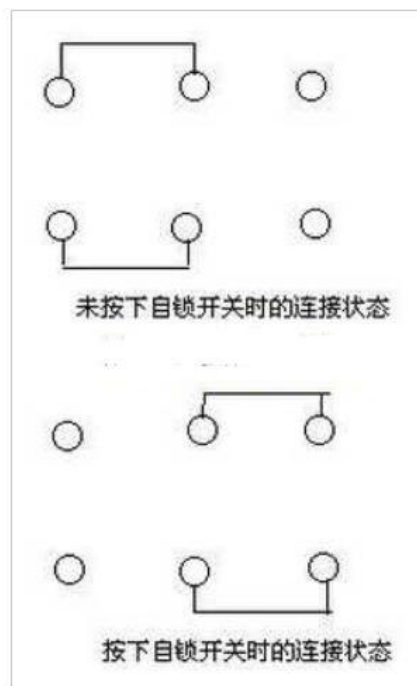


图 6 自锁式六脚开关

2) 选用发光二极管作为指示器。当开关置换时，根据选择音源的不同，不同的 LED 灯亮起，起到选择音源和电平指示的作用。

发光二极管的优点有：

①发热低和低电压的需求，是一个安全的光源。发光二极管是一种没有辐射和红外线辐射的灯种类型，非常耐冲击，抗震能力也很强，发光二极管内没有灯丝和玻璃外壳，不容易出现裂碎的现象，使用它对人体也不会造成危害。

②不易损坏性。发光二极管被完全的封装在环氧树脂中，比灯泡和荧光灯管更坚固。灯体内也没有松动的部分，这也就使得发光二极管不易损坏。

③更强的兼容性。发光二极管的电压数能够在全球范围内使用，也就是发光二极管的全电压范围指数是在 85v 至 264v 之间，这进一步的保证了发光二极管的亮度和使用寿命不会受电压波动的影响。

3.3 功率放大电路

3.3.1 电路结构及工作原理

Q1 管工作于甲类状态，它的集电极电流 IC_1 由电位器 R8 进行调节。 IC_1 的一部分流经电位器 R8 及二极管 D2，给 T2、T3 提供偏压。调节 R9，可以使 Q2、Q3 得到合适的静态电流而工作于甲、乙类状态，以克服交越失真。静态时要求输出端中点 A 的电位等于 U_{CC} 的一半，可以通过调节 R9 来实现，又由于 R8 的一端接在 Q2、Q3 与 C4 的交点，因此在电路中引入交、直流电压并联负反馈，一方面能够稳定放大器的静态工作点，同时也改善了非线性失真。当输入正弦交流信号 u_i 时，经 Q1 放大、倒相后同时作用于 Q2、Q3 的基极， u_i 的负半周使 Q2 管导通(Q3 管截止)，有电流通过负载 R_L ，同时向电容 C4 充电，在 u_i 的正半周，Q3 导通(Q2 截止)，则已充好电的电容器 C4 起着电源的作用，通过负载 R_L 放电，这样在 R7 上就得到完整的正弦波。

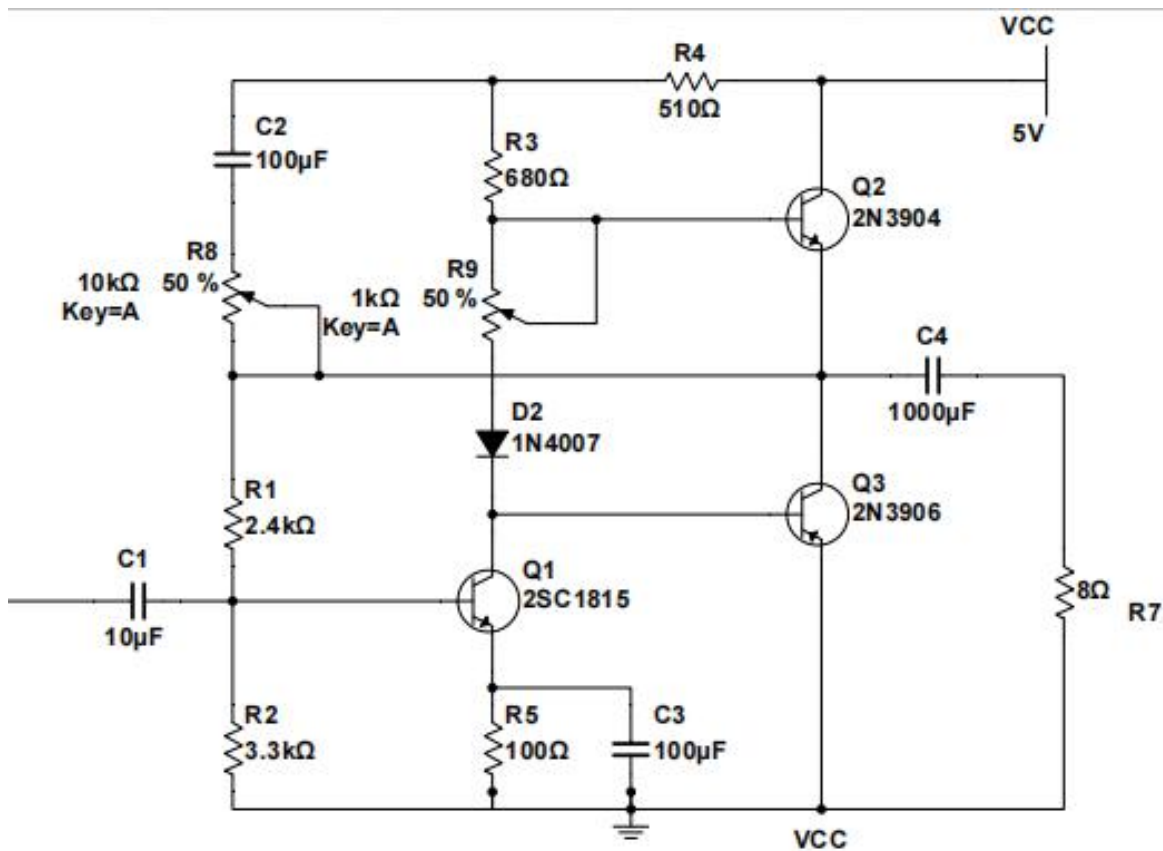


图 7 功率放大电路原理图

3.3.2 元器件的选择及参数确定

1) OTL 功率放大器电路采用单电源供电,由前面设计的正负 5V 稳压直流电源供电。

2) 三极管:

①Q1 为 2SC1815,是一种常用的 NPN 小功率硅三极管。该管耐压值是 40V, $P_{cm}=400mW$, $I_{cm}=150mA$, 采用 TO-92 封装方式。晶体管极性是 NPN。

②Q2 为 2N3904,耐压值为 40V, $I_{cm}=200mA$, 极性为 NPN 型; Q3 为 2N3906,耐压值为 40V, $I_{cm}=200mA$, 极性为 PNP 型。2N3904、2N3906 虽然是固定稳压电路,但使用外接元件,可获得不同的电压和电流。一般的双电源(正负对称电源)都没有连续可调的功能,给使用带来一定程度上的不便。用一块 3904 和一块 3906 三端稳压器对称连接,可获得一组正负对称的正负 15V 稳压电源。如果能够提供足够的散热片,它们就能够提供大于 1.5A 的输出电流。虽然是按照固定电压值来设计的,但是当接入适当的外部器件后,就能获得各种不同的电压和电流。

3) 电阻 $R1=2.4K\Omega$, $R2=3.3K\Omega$, $R4=510K\Omega$, $R5=2.4K\Omega$, $R6=3.3K\Omega$, $R7=8\Omega$ 。

4) 电位器 $R8$ 为 $10K\Omega$ 的范围, $R9$ 为 $1K\Omega$ 的范围。

5) 电容 $C1=10\mu F$, $C2=C3=100\mu F$, $C4=1000\mu F$ 。

电容全部采用电解电容,优点在于:

①单位体积的电容量非常大,比其它种类的电容大几十到数百倍。

②额定的容量可以做到非常大,可以轻易做到几万 μF 甚至几 F 。

③物美价廉。价格比其它种类具有压倒性优势,因为电解电容的组成材料都是普通的工业材料,比如铝等等。这些材料都是普通的工业材料及设备,适合大规模生产,成本相对较低。

6) 二极管为 1N4007,1N4007 是封装形式为 DO-41 的塑料封装型通用硅材料整流二极管。广泛应用于各种交流变直流的整流电路中,也用于桥式整流电路。1N4007 利用二极管单向导电性,可以把方向交替变化的交流电变换成单一方向的脉冲直流电。

四．电路仿真

本设计采用 Multisim 软件来进行仿真。

按照电源设计原理图在仿真软件中的连接原理图，并连接原理图的过程中注意元件的参数设置。在输入电压为 220v，频率 60Hz 时，输出如图 8 所示。

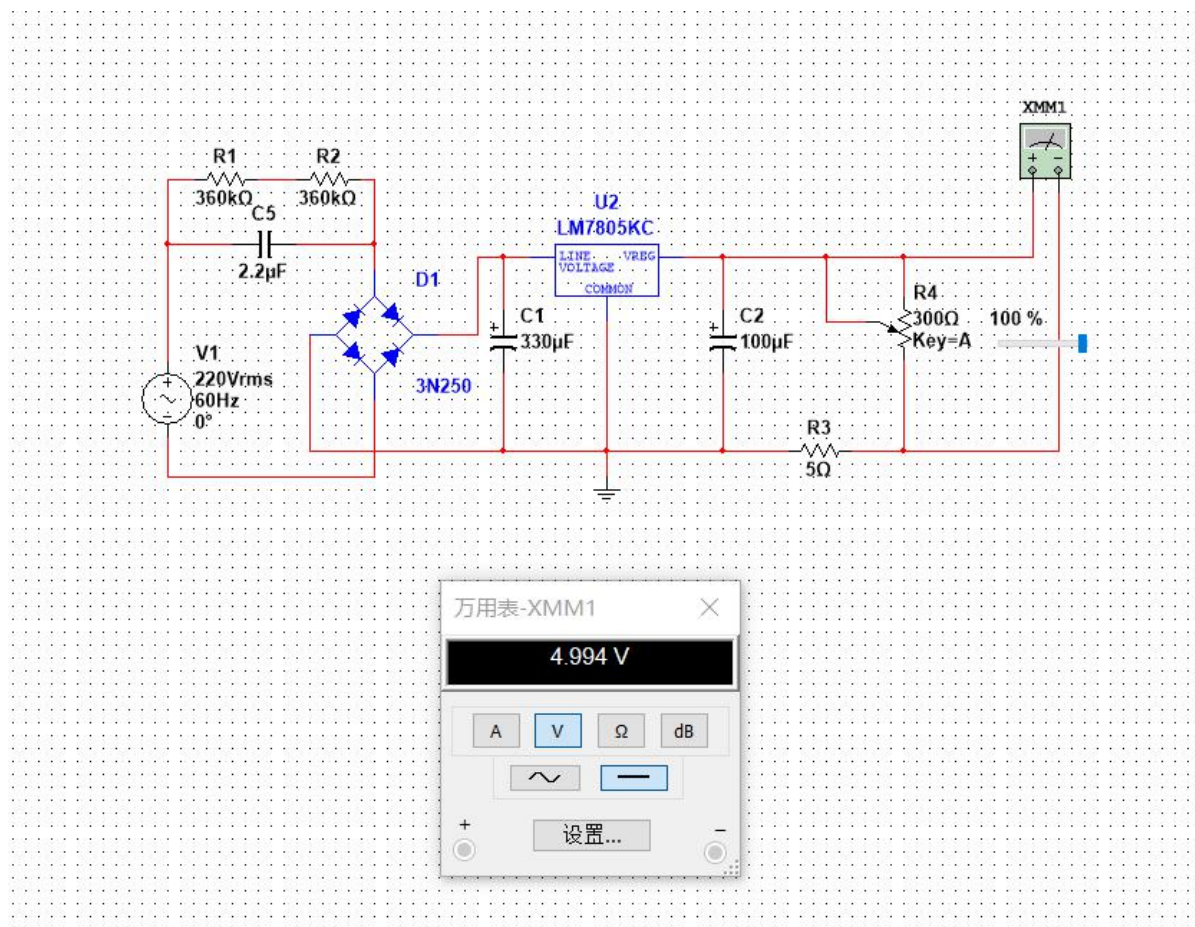


图 8 直流电源部分仿真图

按照音频功率放大器的设计原理图在仿真软件中的连接原理图，并连接原理图的过程中注意元件的参数设置。经过电气规则检测无误后用示波器检测输入端输出波形。

在最大不失真的时候，低音信号的输入输出与高音信号的输入输出比较，如图 9，10 所示。

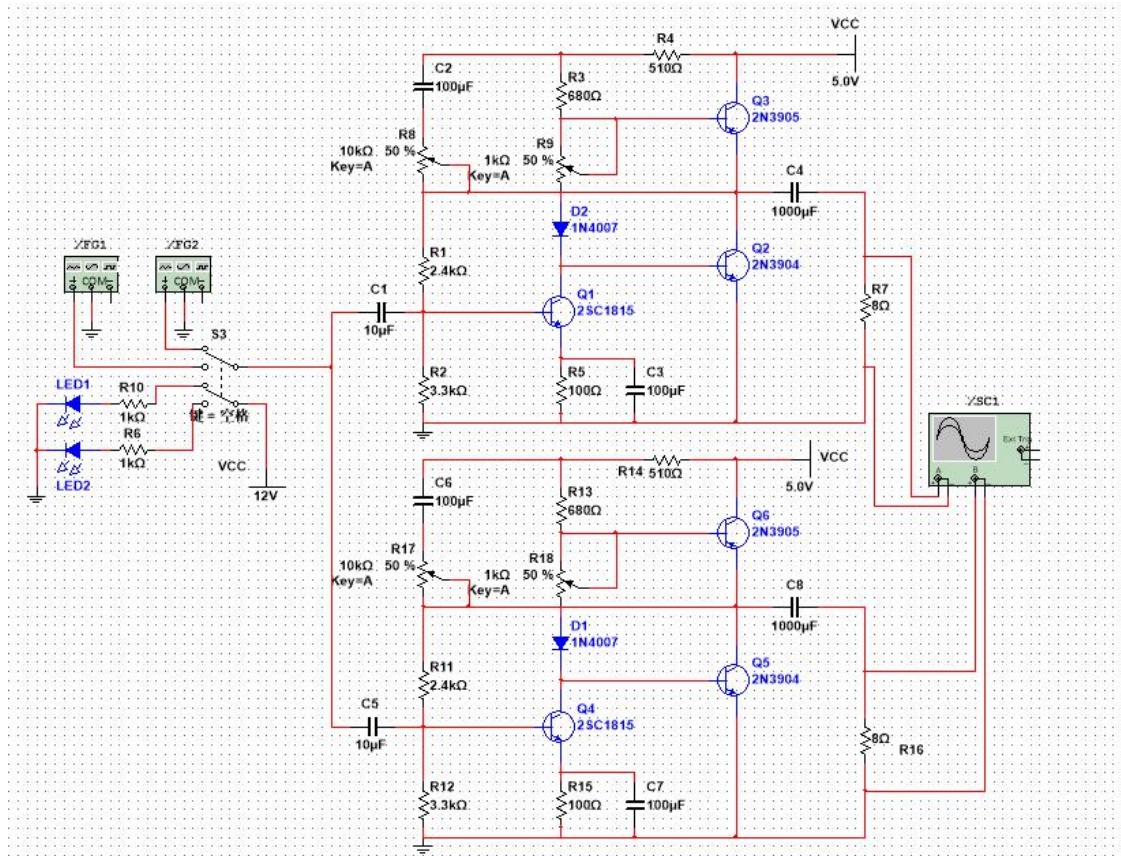


图 9 电路仿真图

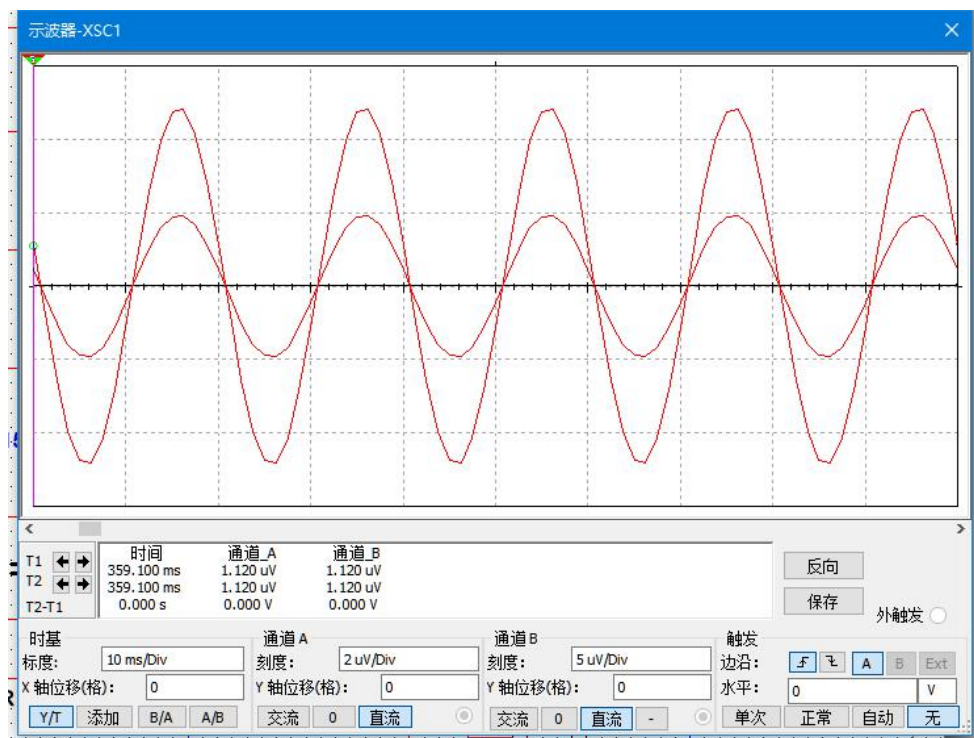


图 10 后级放大电路仿真示波图

五. 电路安装、调试与测试

5.1 电路安装

本设计硬件电路板采用手工焊接，按照图 4.2 总电路图焊接对应的元器件。在焊接时，将运用到电烙铁、焊锡丝、斜口钳等工具。焊接时，掌握好电烙铁的温度很重要。看清楚元器件的管脚后在进行焊接，脚都要焊上而不能悬空，做到不漏焊、虚焊。硬件制作的目的是在原有的理论上通过示波器等一些常规的实验仪器来验证电路原理的过程，实现电路设计要求。本设计由前级放大电路和功率放大电路两部分组成。电路板采用单面板，一面用来放置元器件，另一面用于焊接。整个系统的硬件部分调试可分为各个模块调试和逐级联成整体调试，这样确保了调试的成功率。静态调试时，将输出端对地短接，用万用表测出该级输出端对地的直流电压。动态调试时，输入端接入信号为 10mv，频率为 1khz，用示波器观察该输出级出现的波形。并测量各项性能指标是否满足题目要求，如果相差很大，应检查电路是否接错，相应的接地是否接上，元器件是否符合要求，否则是会出现很大的误差。在音频功率放大器中主要是通过调节滑动变阻器的阻值，输出不同频率的正弦波来满足设计要求。音频选择电路的调试较为简单，只要测量一下输出电压是否符合驱动要求；功率放大电路的测量较为复杂，含有较多的三极管，对整个电路的影响较大，需要多次测量来获得较为正确的数据。

5.2 电路调试

电路板焊接完成后，先进行全面的检查。检查无误后，开始进行电路板的有源调试。调试步骤如下：

（1）输出波形的调试：先利用函数信号发生器，将信号设置成电压有效值为 5mv 正弦波信号，然后连接到 μ ，将信号送入音频功率放大器。在喇叭的 两端通过测试线连接到数字双踪示波器，接通电源后，观察示波器的波形，并记录输出功率的大小，画出波形图。完成数据的记录后，与设计中要求的数据进行比较，确定硬件电路是否符合设计要求。

(2) 通频带的调试：测量放大器通频带，测的是放大器增益随频率变化的情况。在改变输入信号频率时，保持输入信号幅值不变，输出信号幅值的变化正比于增益的变化。两级放大器的增益是各级放大器增益的乘积，因此两级放大器的通频带比单级放大器的通频带要窄。在调试时，将函数信号发生器与 μ 相连，数字双踪示波器接到喇叭的两端。改变输入信号的频率，保持输入信号幅度不变，通过示波器记录下输出信号幅度值。多次测量后，与设计要求数据进行比较。

5.3 系统功能及性能测试

5.3.1 测试方法设计

使用器件见图 11，在确认以上级连调试正常无误后，在线路输入端加入一音源信号，检查并试听各项功能。具体测试时可以用 8Ω 的扬声器代替负载电阻 R_L 。将一 MP3 的输出信号或幅值约为 25mV 的音频信号接入到音频功率放大器，调节音量控制电位器，应能改变音量的大小。调节高、低音控制电位器，应能明显听出高、低音调的变化。敲击电路板应无声音间断和自激现象。如果达到这些要求，则可说明本系统基本设计成功。

仪器名称	型号	用途
直流稳压电源	GTZ-H50T5	提供稳定5v直流电压
数字式万用表	VT890D	测量重要位置电压，电流
数字双踪示波器	COS5020B	测量输出波形
函数信号发生器	VC2002	信号输入

图 11 使用仪器

5.3.2 测试结果及分析

接入信号发生器，输入正弦波，用示波器测量扬声器输出波形，波形失真不严重。接入音源信号，按动开关，进行音源之间的切换，选择不同的音源。将 MP3 输出的音乐信号，接入音频选择器，扬声器的输出经过放大的音乐。改变音量调节电位器，扬声器的音量明显发生变化。

本系统涉及的模拟硬件电路较多。直流电源模块纯属于硬件部分，又属于高频部分。这就导致管脚分布时电容对电路的影响极大。因晶体管的特性参数存在较大差别，所以实际测试结果与理论数据值存在一定的误差。不过在测试硬件电路时反复调整滑动变阻器和电容的具体数值，也可达到理想的结果。在设计电路时，选用元器件也要有所考虑，尽量减小误差值。当然在焊接电路的过程中，由于焊接工艺的好坏，也会间接影响电路的输出。在焊接电路时避免虚焊，漏焊等状况。在音频功率放大器的调试中，还会受到外界信号的干扰。这种干扰通常是无法消除的，只能尽可能的较小。

六．结论

在为期 2 周的综合训练后，本课题音频功率放大器的设计与制作终于完成。从电路的设计、仿真到实物的制作，我们确实遇到了许多难以解决的问题，同时也学到了很多知识。在老师的指导和与同学的互相交流下，我得到了很多的帮助。在选择电路图方面花的时间较长，通过各类音频功放电路图的不断比较和计算最终得出了想要的电路图实现了设计的各种功能，达到了设计的要求。

音频功率放大器的制作是由直流电源、音源选择电路、音量控制及 OTL 功率放大模块组成。本电路的设计综合了模拟电子技术和电力电子技术的相关知识，其中有用到滤波整流电路，OTL 功放等专业知识。本设计的要输入一定要求的正弦波信号，然后从 8Ω 负载上输出基本不失真的正弦波音频信号，当然在焊接电路的过程中，由于焊接工艺的好坏，也会间接影响电路的输出。在焊接电路时避免虚焊，漏焊等状况。在音频功率放大器的调试中，还会受到外界信号的干扰。这种干扰通常是无法消除的，只能尽可能的较小。

通过我们不懈的努力，经检测电路完全符合题目要求。

参考文献

- [1] 李颖. 32 阶对数增益控制的 AB 类音频放大器的分析与设计[D]. 湖南大学, 2010.
- [2] 方明. 基于 D 类功放的音频放大器设计[D]. 华南理工大学, 2010.
- [3] 姜皓月. 基于 Multisim 的无线调频接收机设计[J]. 数字技术与应用, 2020, 38(03):26-27.
- [4] 范樟. Class-D 音频放大器芯片的研究和设计[D]. 福州大学, 2010.
- [5] 孙煜晴, 武传欣, 金杰. 一款高效率、高保真的 D 类音频放大器设计[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(03):154-157+162.
- [6] Cirrus Logic 发布超低功耗智能升压音频放大器[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2019, 19(04):96.
- [7] 王莹. 音频放大器发展趋势[J]. 电子产品世界, 2009, 16(04):11-13.
- [8] 叶春晖. 高效率、低失真的 D 类音频功率放大器[D]. 厦门大学, 2009.
- [9] 刘巍, 李刚. 超保真高性能双通道音频放大器 LM1876[J]. 国外电子元器件, 1996(07):37-41.

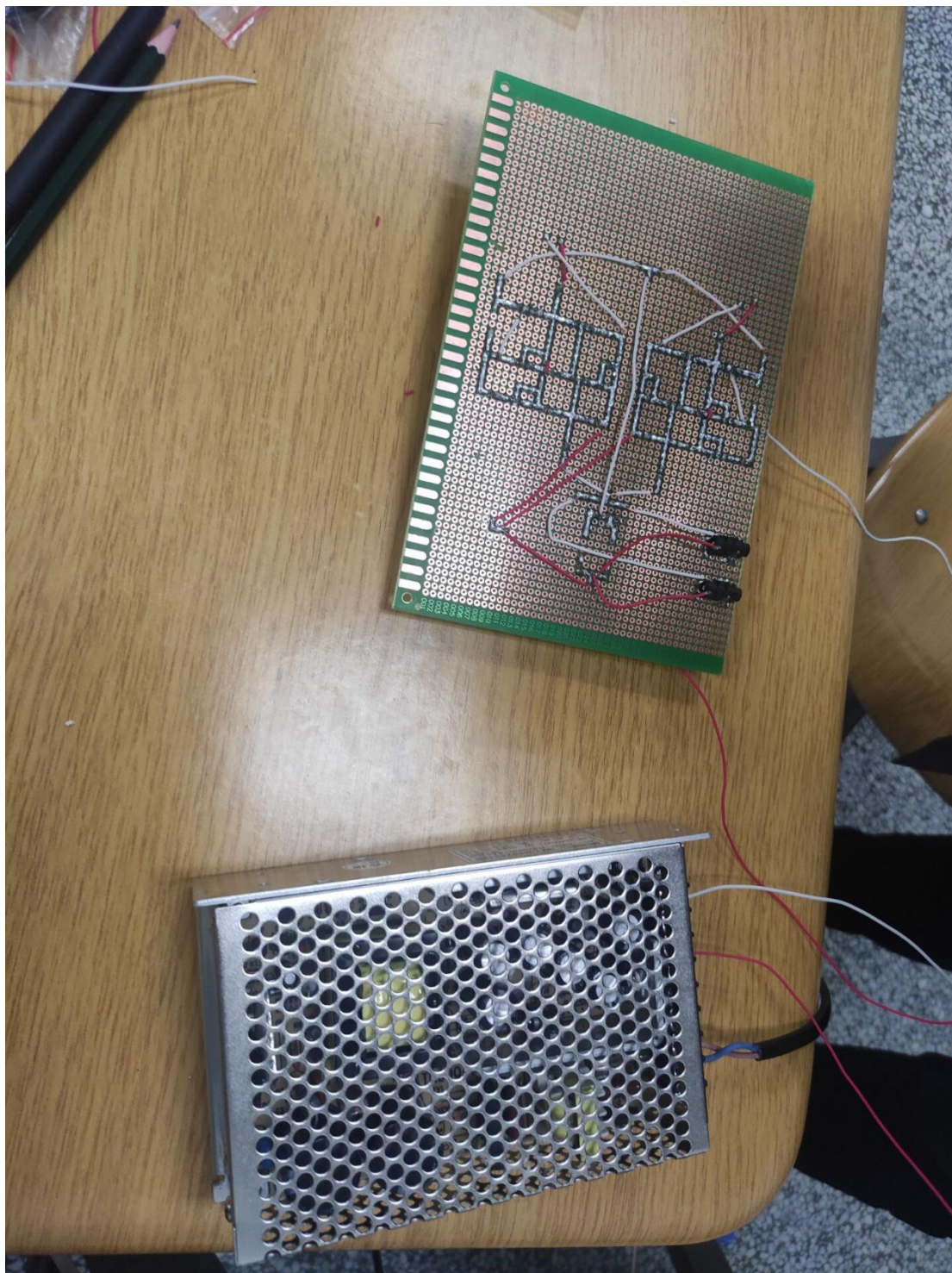
总结、体会和建议

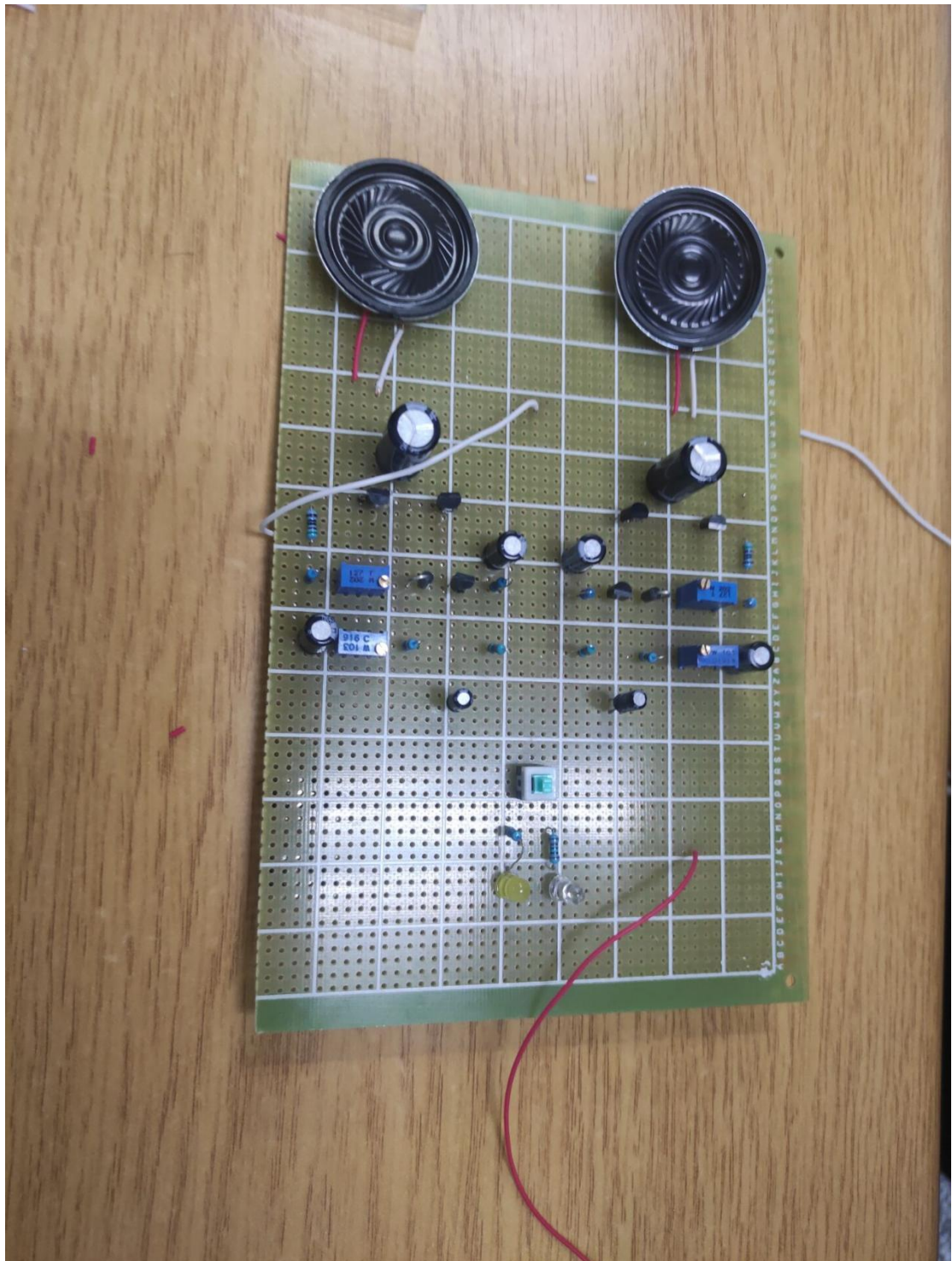
在这次设计课题一种音频功率放大器的设计中运用了很多我学过的知识,比如模拟电子技术,电力电子技术等专业知识,这次的综合训练是对我这三年来所学知识的综合考察。通过这次的综合训练不仅让我对许多知识有了更深的了解,还锻炼了我的独立思考问题的能力,这为我以后步入社会工作奠定了一个基础。在设计过程中我遇到了很多问题,一开始的设计使自己感到很迷茫不知道该从何入手,甚至都觉得这个课题比想象中的更难。但是后来通过在网上搜索电子资料,且在学校图书馆借到的书本参考资料使我对本设计逐渐有了信心。即使有了丰富的参考资料,但是还是遇到了许多问题,通过各类方案的比较最终得出了最适合的方案。当然,在设计中遇到的问题也是很多,例如参数的计算、元器件的选择、电路的焊接以及电路的调试等等。不过,这些问题也并不构成阻碍,最终都在我的努力和老师的指导下都得到了解决。此次课程设计中经历了很多次失败,每一次的原因不尽相同,有的是由于接线时不够仔细,接错线,有的是因为基础知识掌握的不牢固,影响最大的是对电路分析的欠缺,设计一个电路是选择元件并不能很快就确定好大概的范围,而是需要通过仿真软件进行一点一点的修改,最后凑出一些参数的值,虽然最后仿真的结果正确,但是在实际操作的过程中有可能就因为元件的误差而得不到想要的结果,并且如果是较复杂的电路,不能掌握电路的基本原理和计算方法很难迅速找出对结果有较大影响的元件,会浪费大量的时间。所以在平时应该多了解一些常用的电路,熟能生巧,在练习中逐渐掌握相关的知识。1969年,英国工程师虎德在英国《无线电》杂志当年4月号上发表了《简易甲类功率放大器》一文,以“最简单的电路获得最好的音质”为宗旨,推出了一个只有4个晶体管,但线性状态极佳的功放电路。虎德只是画了这个电路,自己可能并没有意思要做这个东西,但有厂家给做出来了,其迷人的音质立刻风靡音响界,这个放大器被称为“虎德1969放大器”。近半个世纪以来,1969功放在全球被不间断地制造出来,至今国内厂家还有十多个品牌,发烧友手工更是不计其数。简单的电路简单的设计并不代表简陋的性能,我认为本次设计完美的诠释了这个道理。

不知不觉中，两周的综合训练已接近尾声了，接下来就是要步入社会投入真正的社会实战中去了，此时我不免有些后悔三年的学习中没有学好哪怕就是一门或是一种使自己终身受用的。这次实践是对自己大学三年所学的一次大检阅，使我明白自己知识还很浅薄，虽然马上要毕业了，但是自己的求学之路还很长，以后更应该在工作中学习，努力使自己成为一个对社会有所贡献的人。

附录 1

电路实物图：





附录 2

元器件清单

名称及参数	数量（个）	名称及参数	数量（个）
电阻100 Ω	2	电容 1000uF	2
电阻3.3k Ω	2	1N4007	2
电阻2.4k Ω	2	2SC1815	2
电阻 510 Ω	2	2N3905	2
电阻 680 Ω	2	2N3904	2
电阻 1k Ω	2	发光二极管（红蓝各一个）	2
变阻器 1k Ω	2	自锁式六角开关	1
变阻器 10k Ω	2	耳机插座	2
电容 100uF	4	喇叭	2
电容 10uF	2		