

2019~2020 学年第二学期

模拟电子电路实验

教 学 计 划 和 要 求

东南大学电工电子实验中心

2019 年 10 月

一、基本情况:

总学时: 32
学时比例: 1(课内): 1(课外)
学 分: 1 学分
适用范围: 电气学院全体学生
先修课程: 高等数学、物理、电路分析、电子电路基础
实验教材: 《电子线路实践》王尧等编, 东南大学出版社出版
实验地点: 九龙湖校区电工电子实验楼, 电子技术实验 1~8 室
实验模式: 集中与开放、线上与线下相结合
实验时间: 2019.10~2020.1

二、教学要求:

预习要求:

- 1、进实验室前必须完成本次实验预习报告, 内容包括:
 - 1) 实验电路功能描述、系统框图和详细设计过程;
 - 2) 实验电路原理图, 并用 MultiSim 软件进行仿真;
 - 3) 实验电路硬件搭接;
 - 4) 如果实验有预习思考题, 提交预习思考题答案。
- 2、相关实验内容可以参考中国大学 MOOC 上的《**模拟电子电路实验**》课程。
- 3、在进实验室前完成与所做实验相关的预习内容, 并将其写在实验报告的实验原理部分, 对正确性无把握的可先写在其他纸上, 完成实验后再补到实验报告上。
- 4、实验电路必须在进实验室前完成预搭接, 在实验室以电路调试为主。
- 5、预习中有问题可以登录电工电子实验中心的网站查找解答或提出问题。电工电子实验中心网址为: cae.seu.edu.cn, 预习时请访问该平台以了解您准备完成的实验内容是否有变动、提示或其他通知, 也可以直接和您的带班教师联系, 具体联系方式可询问各自的带班教师。

实验要求:

- 1、实验采用集中授课+开放模式、线上+线下模式, 实验前请仔细阅读开放实验规章制度, 并在以后的实验中认真遵守。
- 2、每次实验要记得带校园卡、元器件、单股连接线、丁字线和所发的面包板。丁字线和面包板请妥善保管, 勿丢失或损坏, 否则将照价赔偿。
- 3、在进入实验室时, 请在刷卡机上出示您的校园卡, 在刷卡机分配的实验室和实验座位上完成实验, 严禁窜座。
- 4、进入实验座位后请先检查自己座位上的仪器, 如有缺失和损坏请及时通知值班教师处理, 实验过程中如果发生仪器故障, 也请和值班教师联系, 值班教师检查确认后可以更换, **严禁**自己用其他实验座位上的仪器更换。
- 5、按实验设计方案搭接和测试电路, 认真检查确保无误后方可通电测试。
- 6、认真记录实验数据和实验波形, 所有数据和波形都要分析判断, 并与仿真波形对比, 确保其正确。
- 7、要求实物验收的实验内容, 完成并记录所有实验数据后, 请指导老师验收, 验收通过后方可拆除电路结束实验。
- 8、实验过程中遇到故障要独立思考, 耐心查找故障原因并排除, 记录故障现象、排除故障的过程和方法。
- 9、实验中若发生异常现象, 应立即切断电源, 并通知指导老师处理。如有元器件损坏, 可到金智楼 412 室购买。

- 10、每个开放实验室的教室前方配有电烙铁，焊接结束后，请务必拔掉电烙铁电源。
- 11、开放实验每次至少要完成一项实验内容，单次实验时间不少于1个小时。
- 12、实验中途请勿随意离开实验室，如确实有特殊情况请向指导教师请假。
- 13、实验完成后请将仪器归位并关闭仪器电源、整理线缆、打扫干净实验桌面，然后刷卡下机。

实验报告要求（电子实验报告 <http://eae.seu.edu.cn>）：

- 1、实验报告应该包括以下几个部分：
 - 1) 实验目的和要求；
 - 2) 实验原理，请不要大量抄书上已有的内容，实验原理包括实验电路的设计过程、系统框图、原理图、测试方案等，要求在实验前完成；
 - 3) 实验仪器，实验中用到的仪器设备；
 - 4) 实验记录，记录实验具体步骤、原始数据、实验过程、实验中遇到的故障现象、排除故障的过程和方法等；
 - 5) 实验分析，对实验结果进行分析比对；
 - 6) 实验思考题，如有，提交思考题答案；
 - 7) 实验小结，总结实验完成情况，对设计方案和实验结果做必要的讨论，简述实验收获和体会；
 - 8) 参考资料，记录实验过程阅读的有关资料，包含资料名称、作者等。
- 2、模拟电路实验结果验证一般包括波形验证、功能验证、实验分析。
 - 1) 波形验证结果，要求记录在坐标纸上，并标注波形的各项参数，记录的时候注意多路波形之间的时序关系；
 - 2) 功能验证结果，要求用表格记录；
 - 3) 记录实验波形和实验数据之后，一定要对其进行**实验分析**。
- 3、实验报告必须在指定时间完成并提交。

三、实验教学计划：

教学周	学时		实验内容	实验方式
第6周	3	基础实验	实验一 三极管放大电路基本性能的测试（在线实验10）	集中上课
第7周	3	基础实验	实验二 三极管放大电路频率特性的测量与研究（在线实验11）	集中上课
第8周	3	基础实验	实验三 基本比例放大电路（在线实验1）	集中上课
第9周	3	基础实验	实验四 加减运算电路的设计（在线实验2）	集中上课
第10周	3	基础实验	实验五 有源滤波器实验研究（在线实验5）	集中上课
第11周	3	基础实验	实验六 比较器电路实验研究（在线实验6）	集中上课
第12周	3	基础实验	实验七 波形产生电路的设计（在线实验7）	集中上课
第13周	3	基础实验	实验八 RC 振荡电路的设计（在线实验13）	集中上课
第14-15周	6	综合实验	实验九 音响放大器设计（含在线实验14）	集中上课
第16周			考试	

四、考核方法:

本课程最终成绩由 8 个基础实验和 1 个综合实验的成绩以及期末考试成绩组成。期末考试采取给出题目, 设计并搭试电路的模式。

注: 期末考试卷面分数低于 45 分, 实验总评成绩不及格。

平时实验考核依据	MOOC 测试成绩(20%)	预搭(10%)	课堂验收(50%)	报告(20%)
----------	----------------	---------	-----------	---------

平时实验 80 分	期末实验考试 20 分	总成绩 100 分
-----------	-------------	-----------

五、本学期开放时间安排

1、开放实验时间(6-15 周)

- 1) 周一 14:00~21:00 (上午实验室检修)
- 2) 周二 09:30~21:00
- 3) 周三 09:30~21:00
- 4) 周四 09:30~21:00
- 5) 周五 09:30~16:30
- 6) 周六 09:30~16:30
- 7) 其他时间如实验室有空位也可插班实验

2、法定假期和校历规定的假期, 实验室不开放;

3、开放时间如有变更, 将在实验中心主页上提前通知, 来实验室前最好请访问实验中心主页确认是否开放。

六、模拟电子电路实验线上学习请扫如下课程二维码加入课程学习, 同时昵称务必请修改为“seu+学号+姓名”。



用微信扫描二维码
分享至好友和朋友圈

实验一 三极管放大电路基本性能的测量

(在线实验 10)

一、 基本信息

实验时数: 3 学时+课外开放

实验检查: 预习、预搭检查, 部分实验验收, 提交实验报告

二、 实验目的

1. 掌握单级放大电路的工作原理、电路设计、安装和调试;
2. 了解三极管各项基本参数的意义、选择器件的注意事项;
3. 理解三极管偏置电路的基本概念, 掌握静态工作点的调试和测量方法;
4. 掌握放大电路输入阻抗、输出阻抗、增益等的基本概念以及测量方法。

三、 实验内容

根据图 3.1 所示电路, 研究静态工作点变化对放大器性能的影响(预习时, 查阅三极管 9013 的数据手册, 自拟表格记录相关的参数, 解释参数含义)。

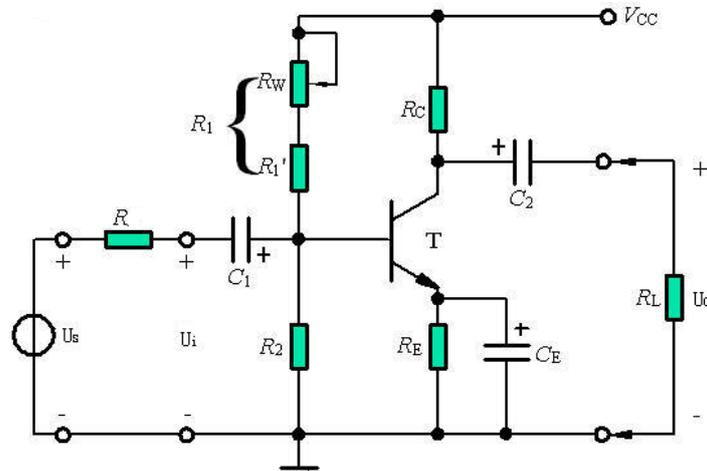


图 3.1 射级偏置电路

利用三极管 9013 设计一个分压式偏置共发射极放大电路。要求: 已知: $V_{CC}=12\text{ V}$, $U_i=5\text{ mV}$, $R_L=3\text{ k}\Omega$, $R=1\text{ k}\Omega$ 指标要求: $A_u>50$, $R_i>1\text{ k}\Omega$, $R_O<3\text{ k}\Omega$, $f_L<100\text{ Hz}$, $f_H>100\text{ kHz}$ 。理解三极管 9013 的数据手册, 掌握关键参数的意义并能正确使用; 完成仿真设计并正确连接电路; 调整合适的静态工作点; 测量放大电路放大倍数、输入电阻、输出电阻及最大输出幅度等; 其他性能测量(如不同工作点对放大电路性能的影响、不同的电源电压对放大电路性能的影响。。。)拟定实验方案、设计记录表格、分析数据波形(见在线实验 10 的作业)。

实验指导: (可以按照如下步骤进行实验的各项数据测量)

1) **静态工作点的调整和测量:** 调整 R_w , 使静态集电极电流 $I_{CQ}=1\text{mA}$, 通过测量集电极或发射极电阻两端压降确定, 测量静态时晶体管集电极—发射极之间电压 U_{CEQ} 。调整不同的静态电流, 记入表中。

静态工作点电流 I_{CQ} (mA)		1	2
输入端 接地	U_{BQ} (V)		
	U_{CQ} (V)		
	U_{EQ} (V)		
	U_{CEQ} (V)		

2) **放大性能的测量:** 在放大器输入端输入频率为 $f=1\text{kHz}$ 的正弦信号, 调节信号源输出电压 U_s 使 $U_i=5\text{mV}$, 测量 U_s 、 U_o 和 U_o' (负载开路时的输出电压) 的值并填于表中。注意: 用双踪示波器监视 U_o 及 U_i 的波形时, 必须确保在 U_o 基本不失真时读数 (教师当堂验收)。

静态工作点电流 I_{CQ} (mA)		1	2
输入信号 $U_i=5\text{mV}$	U_s (mV)		
	U_o (V)		
	U_o' (V)		

3) **静态工作点对输出波形的影响:** 适当加大输入信号, 调整 R_w , 使输出电压波形出现截止失真, 绘出失真波形, 并将测量值记录表中。使输出电压波形出现截止失真, 绘出失真波形, 并将测量值记录表中。

		截止失真	饱和失真	R_w 变化对失真的影响
测量值	U_{BQ} (V)			
	U_{CQ} (V)			
	U_{EQ} (V)			
	波形			——

4) **测量放大器的最大不失真输出电压:** 分别调节 R_w 和 U_s , 用示波器观察输出电压 U_o 波形, 使输出波形为最大不失真正弦波。测量并记录此时静态集电极电流 I_{CQ} 和输出电压的峰峰值 U_{OPP} 。

测量值	记录数据
U_{BQ} (V)	
U_{CQ} (V)	
U_{EQ} (V)	

$U_{OFF}(V)$	
--------------	--

5) **输入电阻的测量:** 输入电阻的测量方法一般是在待测电路的输入端串接一个电阻 R , R 电阻值的大小和待测电路输入电阻相当, 这样测量的误差比较小。用信号源加入一个信号 U_s , 用毫伏表或示波器分别测量出所加电阻 R 两端的电压 U_s 和 U_i 电路

的输入电阻为: $R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R$ (注意: 输出用示波器检测, 保证放大电路在不失真的

的情况下测量输入电阻)。

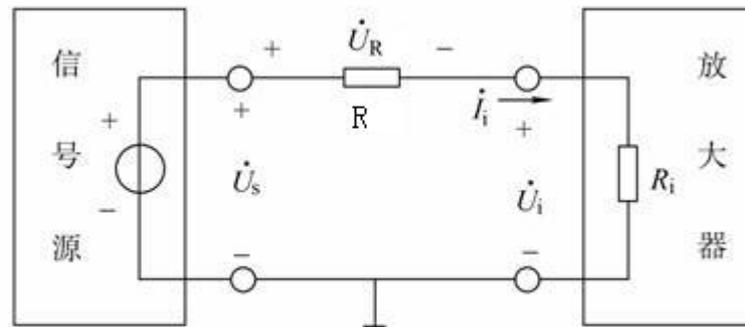


图 3.2 放大器输入阻抗测量原理图

静态工作点电流 $I_{CQ}(mA)$	1	2
输入信号 $U_i=5mV$	$U_s(mV)$	
	$R_i(\Omega)$	

6) **输出电阻的测量:** 输出电阻反映了放大电路的带负载能力, 常用的测量方法是在输出端测量不带负载电阻 R_L 时候的输出端电压 U_o' 和带上负载电阻 R_L 后的输出

电压值 U_o 放大电路的输出电阻为 $R_o = \frac{U_o' - U_o}{U_o} R_L$ (输出用示波器检测, 保证

放大电路在不失真的情况下测量输入电阻)。

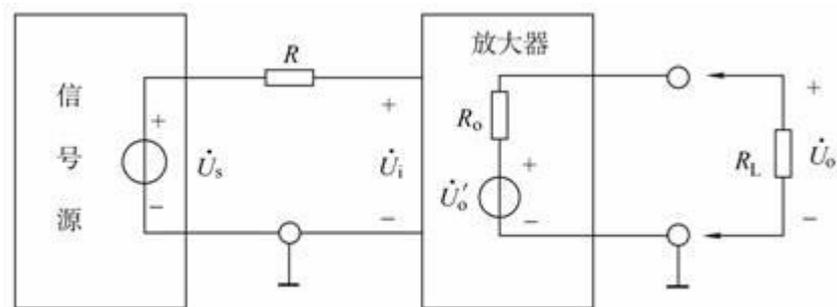


图 3.3 放大器输出阻抗测量原理图

静态工作点电流 I_{CQ} (mA)		1	2
输入信号 $U_i=5\text{mV}$	U_o (V)		
	U_o' (V)		
	R_o (Ω)		

实验二 三极管放大电路频率特性的测量与研究

(在线实验 11)

一、 基本信息

实验时数: 3 学时+课外开放
实验检查: 预习、预搭检查, 部分实验验收, 提交实验报告

二、 实验目的

1. 理解单级放大电路的频率响应的基本概念;
2. 理解放大电路频率响应的测量方法
3. 掌握放大电路频率特性的逐点测量法;
4. 理解放大电路参数对高频和低频响应的影响。

三、 实验内容

设计 RC 耦合共发射极放大电路, 用软件完成频率特性的仿真测量。完成放大电路的频率特性测量, 记录放大倍数和频率的对应关系, 画出幅频特性曲线; 按仿真设计的电路参数完成电路的连接; 如果去掉发射极旁路电容, 合理调整电路参数, 测量下限频率的变化, 分析原因。其他(如去掉 RL 对频率特性的影响, 加大或减小耦合电容对频率特性的影响。。。)拟定实验方案、设计记录表格、分析数据波形(见在线实验 11 的作业)。

实验指导: (可以按照如下步骤进行实验的各项数据测量):

1) 放大电路频率特性测量与研究: 连接好电路, 确保正确无误, 调整电源值为 12V, 调整电路的静态工作点, 使 $I_{CQ}=2\text{mA}$, 开始频率特性的测量, 使用逐点法测量放大电路的频率, 并把实验数据记录在表格中。

逐点法测量放大电路的频率记录表

f/KHz	$f_1=$	$f_2=$	$f_L=$	$f_3=$	$f_M=$	$f_4=$	$f_H=$	$f_5=$	$f_6=$
U_o/V									
A_u									

2) 电路参数对频率特性的影响: 改变发射极旁路电容 C_E , 由原来的 100 μF 调整为 33 μF , 再测量电路的频率特性, 研究电路参数对频率特性的影响, 类似的实验方法也可以测量分析耦合电容 C_1 、 C_2 对电路下限频率的影响, 将实验结果记录在表格中。

电路参数对频率特性的影响记录表

$C_E=33\mu F$	$f_L=$	$f_M=$	$f_H=$
$C_1=$	$f_L=$		
$C_2=$	$f_L=$		

实验三 基本比例放大电路

(在线实验 1)

一、 基本信息

实验时数： 3 学时+课外开放

实验检查： 预习、预搭检查，部分实验验收，提交实验报告

二、 实验目的

1. 了解运放的基本特性，以运放构成的反相比例放大电路为例，研究比例放大电路的基本性能；
2. 掌握运放的最大输出电压和最大输出电流的测量及分析；
3. 掌握放大电路传输特性的概念及测量方法。

三、 实验内容

反相输入比例运算电路各项参数测量实验（预习时，查阅 $\mu\text{A}741$ 运放的数据手册，自拟表格记录相关的直流参数、交流参数和极限参数，解释参数含义）。

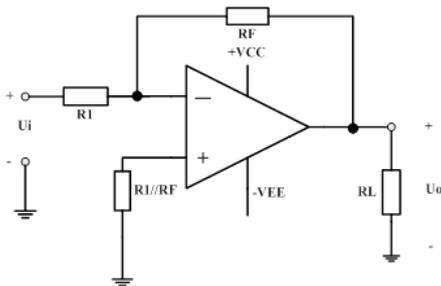
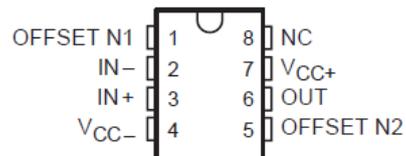


图 1.1 反相输入比例运算电路



$\mu\text{A}741$ 管脚图

- (1) **直流特性测量：**图 1.1 中电源电压 $\pm 15\text{V}$ ， $R_I=10\text{k}\Omega$ ， $R_F=100\text{k}\Omega$ ， $R_L=10\text{k}\Omega$ ， $R_p=10\text{k}\Omega/100\text{k}\Omega$ 。按图连接电路，输入直流信号 U_i 分别为 -2V 、 -0.5V 、 0.5V 、 2V ，用万用表测量对应不同 U_i 时的 U_o 值，列表计算 A_u 并和理论值相比较。其中 U_i 通过电阻分压电路产生。

直流特性测量记录表		
U_i/V	U_o/V	A_u

		测量值	理论值
-2			
-0.5			
0.5			
2			

- (2) **交流特性测量**：设定输入信号频率为 1kHz，调整不同的信号幅度，用双踪示波器观察并记录输入输出波形，在输出不失真的情况下测量交流电压增益，并和理论值相比较。注意此时不需要接电阻分压电路。

交流特性测量记录表				
U _i	U _o		增益	
峰峰值 (mV _{pp})	峰峰值 (mV _{pp})	波形	A _u	误差
200				
300				
400				
4000				

- (3) **增益改变的测量**：通过改变反馈电阻或输入电阻，就可以调整放大器增益，这也是做可控增益放大器的一个基本电路结构。

增益改变的测量记录表						
R ₁ KΩ	R _F KΩ	U _i mV _{pp}	U _o mV _{pp}	A _u 实验值	A _u 理论值	误差
10	100	100				
10	200	100				
20	200	100				
20	100	100				

- (4) **运放特性测量——最大输出电压**：电源电压改为±12V，重复实验(2)，并对实验结果进行分析比较，表格自拟。
- (5) **运放特性测量——最大输出电流**：重新加负载（减小负载电阻 R_L），使 R_L=220Ω，测量最大不失真输出电压，并和 R_L=100 kΩ 数据进行比较，分析数据不同的原因。（提示：考虑运算放大器的最大输出电流）。
- (6) **设计一个同相输入比例运算电路**，要求其放大倍数为 11。完成同相比例放大电路的设计及仿真。测量同相比例放大电路的交、直流特性。测量运放的最大输出电压和最大输出电流。拟定实验方案、设计记录表格、分析数据波形。

实验四 加减运算电路的设计

(在线实验 2)

一、 基本信息

实验时数: 3 学时+课外开放

实验检查: 预习、预搭检查, 部分实验验收, 提交实验报告

二、 实验目的

1. 了解运放的运用, 以加法运算电路为例进行特性分析,
2. 掌握加/减法运算电路的基本结构原理特点, 共模信号的大小, 输入电阻的大小、电路调试的方便性、应用拓展 (VGA、PGA)。

三、 实验内容

(1) 加法电路: 选用 uA741 运放开展加法电路实验, 满足表达式: $u_o = -(3u_1 + 2u_2)$,

(预习时设计好电路图, 并用 Multisim 软件仿真), 根据电路结构和设计参数正确连接电路, 运放电源选用正负 12V, 检查无误后可以加电开始实验。

a) 直流加法功能测量: 两个输入端加上不同的直流电压, 用万用表测量输出电压, 数据记录在直流加法功能测量记录表中。

直流加法功能测量记录表

U_1/V	0.1	0.5	0.5	1	3	3	3
U_2/V	0.5	0.5	1	2	4	-1	-2
U_o/V (理论值)							
U_o/V (测量值)							

实验结果分析:

- 有明显不满足加法关系的测量结果, 是什么原因?
- 如果用负电压输入, 加法电路可以实现加法功能?

b) 交流加法功能测量: 两个输入端加上不同的交流信号 (如: U_1 加上一个方波, 频率为 1kHz, 幅度为 1V; U_2 加上一个正弦波, 频率为 5kHz, 幅度为 200mV 调整不同

的输入信号周期), 用示波器观察输入、输出波形, 画出波形图并与理论值比较, 记录在交流加法功能测量记录表中。实验中如波形不稳定, 可微调 U_{i2} 的频率。

交流加法功能测量记录表

输入	第一组实验波形	误差	第二组实验波形	误差
U_1				
U_2				
U_0				

(2) **减法电路**: 设计一个减法电路, 满足 $u_o = 3u_1 - 2u_2$, 预习时设计好电路图, 并用

Multisim 软件仿真, 完成减法电路的设计及仿真测量; 按仿真设计的电路参数完成电路的连接; 用不同的直流电压输入测量输出与输入的关系; 用一个方波信号和一个正弦波信号观察波形叠加; 改变输入波形幅度观察输出波形变化规律; 其他自主测量与发现 (例如输入幅度、频率变化, 输入电阻对测量的影响……); 拟定实验方案、设计记录表格、分析数据波形。

实验五 有源滤波器实验研究

(在线实验 5)

一、 基本信息

实验时数: 3 学时+课外开放
实验检查: 预习、预搭检查, 实验验收, 提交实验报告

二、 实验目的

- 1、 掌握 RC 有源滤波器的工作原理;
- 2、 掌握滤波器选择应用的基本原则;
- 3、 掌握滤波器基本参数的测量调试方法;
- 4、 熟悉 RC 有源滤波器的仿真设计方法。

三、 实验内容

有源低通滤波器的设计

内容: 设计一个有源低通滤波器, 要求其截止频率为 1.6kHz, 品质因数 $Q=0.7$, 带外衰减不小于 30dB/十倍频程。

要求:

- 1、 完成电路的设计和仿真测量;
- 2、 确定电路参数并正确连接电路;
- 3、 测量并画出滤波器的幅频特性;
- 4、 分析理论设计和实际测量之间的误差;
- 5、 其他 (如何调整截止频率、滤波器相移等)
- 6、 拟定实验方案、设计记录表格、分析数据波形、撰写实验报告。

四、 设计指导

1. 滤波电路的设计

(1) 通过无源电路实现

RC 带通滤波器可以看作为低通滤波器和高通滤波器的串联, 其电路及其幅频、相频特性如图 1 所示。

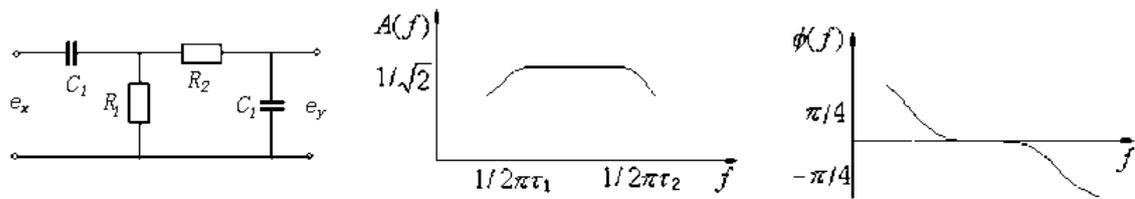


图 1 无源带通滤波器

这时极低和极高的频率成分都完全被阻挡，不能通过；只有位于频率通带内的信号频率成分能通过。

应注意，当高、低通两级串联时，应消除两级耦合时的相互影响，因为后一级成为前一级的“负载”，而前一级又是后一级的信号源内阻。同时，所需要的信号经过 RC 滤波器分离后出来后，幅度都有一定衰减。实际上，两级间常用射极输出器或者用运算放大器进行隔离并放大，所以实际的带通滤波器常常是有源的。有源滤波器由 RC 调谐网络和运算放大器组成。运算放大器既可起级间隔离作用，又可起信号幅值的放大作用。

(2) 通过有源电路实现

通过有源低通滤波器和有源高通滤波器联级实现带通滤波器：此方法可实现带通和带阻滤波器，但因为其具有离散的实极点，因此，只适合于宽带或者品质因素极低的系统设计。直接设计有源滤波器，可节省元器件，而且对于电路参数的选择与调整也带来了便利。有源滤波器设计中选择运算放大器主要考虑**带宽、增益范围、噪声、动态范围**这四个参数。

- (I) **带宽**：当为滤波器选择运算放大器时，一个通用的规则就是确保它具有所希望滤波器频率 10 倍以上带宽，最好是 20 倍的带宽。如果设计一个高通滤波器，则要确保运算放大器的带宽满足所有信号通过。
- (II) **增益范围**：有源滤波器设计需要有一定的增益。如果所选择的运算放大器是一个电压反馈型的放大器，使用较大的增益将会导致其带宽低于预期的最大带宽，并会在最差的情况下振荡。对一个电流反馈型运算放大器来说，增益取的不合适将被迫使用对于实际应用来说太小或太大的电阻。
- (III) **噪声**：运算放大器的输入电压和输入电流的噪声将影响滤波器输出端的噪声。在噪声为主要考虑因素的应用里，你需要计算这些影响（以及电路中的电阻所产生热噪声的影响）以确定所有这些噪声的叠加是否处在有源滤波器可接受的范围内。
- (IV) **动态范围**：在具有高 Q 值的滤波器里面，中间信号有可能大于输入信号或者大于输出信号。对操作恰当的滤波器来说，所有的这些信号必须能够通过而无出现削波或过度失真的情况。

目前已经有很多专业的有源滤波器设计软件如：德州仪器的 FilterPro、国家半导体 WEBENCH® 中的 Active Filter Designer、Nuhertz Technologies 的 Filter Solutions 等。这些软件可以根据您的设计指标要求很快的算出电路参数，很大程度上节省了开发周期。

本次实验中使用的有源带通滤波器，其参数设计建议使用 TI 公司的滤波器设计专用软件 FilterPro。FilterPro 可以对滤波器的各种详细参数进行设计，输入参数后，就可以得到滤波器的幅频特性、相频特性曲线，并且可以得到具体的电路。

五、 注意事项

1. 用 Filterpro 辅助设计时，要注意增益带宽积，优先考虑带宽，其次是增益，效果会

更好一些。

2. 在使用 Filterpro 软件的时候，一定要注意将 set order 之前的复选框打勾，否则设计出来的滤波电路为多阶的。
3. 电位器存在温漂和不稳定性，所以不能为了调节省事而将电路中的电阻全部用电位器代替，这样不但不利于电路的调试，也很难保证电路的稳定。

实验六 比较器电路实验研究 (在线实验 6)

一、 基本信息

实验时数: 3 学时+课外开放

实验检查: 预习、预搭检查, 实验验收, 提交实验报告

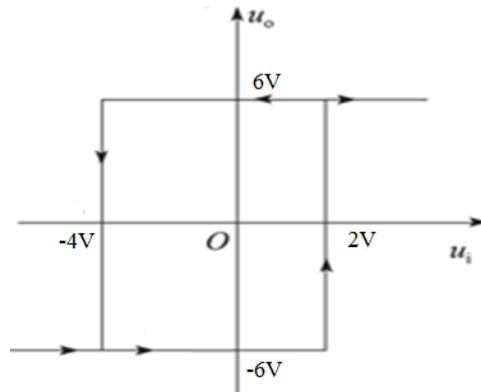
二、 实验目的

- 1、熟悉比较器的电路结构和工作原理
- 2、掌握比较器的电路设计方法
- 3、掌握比较器的电路特性及测量方法
- 4、理解不同比较器的应用场合

三、 实验内容

施密特比较器的设计

内容: 利用 uA741 设计一个具有图示传输特性的施密特比较器, 测量其传输特性曲线, 如何调整回差, 观察波形的变化。



要求:

- 1、完成电路的设计及仿真测量;
- 2、确定电路参数并正确连接电路;
- 3、用不同频率的正弦波输入, 观察并分析输出波形;
- 4、测量电路的电压传输特性, 记录相关参数;
- 5、其他 (如何调整回差、调整中心电压……)
- 6、拟定实验方案、设计记录表格、分析数据波形、撰写实验报告。

实验七 波形产生电路的设计

(在线实验 7)

一、 基本信息

实验时数: 3 学时+课外开放

实验检查: 预习、预搭检查, 实验验收, 提交实验报告

二、 实验目的

- 1、了解运放在非正弦波产生电路方面的各种应用
- 2、掌握矩形波产生电路的基本结构和工作原理
- 3、掌握波形产生电路的输出幅度、周期等测量方式
- 4、掌握矩形波产生电路的设计调试方式

三、 实验内容

设计一个输出频率、占空比分别可调的矩形波发生器, 输出频率范围为 50Hz 到 500Hz。

要求:

- 1、完成电路的设计及仿真测量;
- 2、确定电路参数并正确连接电路;
- 3、测量输出波形的最大周期和最小周期;
- 4、测量输出波形的占空比变化范围;
- 5、其他 (运放同相端反馈电阻的改变对输出波形的影响……)
- 6、拟定实验方案、设计记录表格、分析数据波形、撰写实验报告

实验八 RC 振荡电路的设计

(在线实验 13)

一、 基本信息

实验时数: 3 学时+课外开放

实验检查: 预习、预搭检查, 实验验收, 提交实验报告

二、 实验目的

- 1、理解正弦波振荡电路的基本构成
- 2、掌握 RC 串并联振荡电路的特性
- 3、掌握振荡频率的调整及测量方法
- 4、了解振荡电路的各种稳幅方法

三、 实验内容

RC 正弦波振荡电路的设计

内容: 设计 RC 串并联振荡电路, 输出正弦波频率为 800Hz。

要求:

- 1、完成电路的设计及仿真测量;
- 2、确定电路参数并正确连接电路;
- 3、测量输出正弦波频率及最大不失真幅度;
- 4、如何调整输出正弦波的频率;
- 5、其他(观察起振条件、反馈量和输出波形的关系等……)
- 6、拟定实验方案、设计记录表格、分析数据波形、撰写实验报告

实验九 音响放大器设计

(含在线实验 14)

一、 基本信息

实验时数: 6 学时+课外开放
实验检查: 预习、预搭检查, 实验验收, 提交实验报告

二、 实验目的

1. 掌握音响放大器的设计方法和调试方法;
2. 了解集成功率放大器内部电路工作原理, 掌握其外围电路的设计与主要性能参数的测试方法。

三、 实验内容

设计一个音响放大器, 性能指标要求为:

功能要求	话筒扩音、音量控制、混音功能、音调可调(选作)
额定功率	$\geq 0.5\text{W}$ (失真度 $\text{THD} \leq 10\%$)
负载阻抗	$8\ \Omega$
频率响应	$f_L \leq 50\text{Hz}$ $f_H \geq 20\text{kHz}$
输入阻抗	$\geq 20\text{k}\ \Omega$
话音输入灵敏度	$\leq 5\text{mV}$
音调控制特性(扩展)	1kHz 处增益为 0dB, 125Hz 和 8kHz 处有 $\pm 12\text{dB}$ 的调节范围

1. 基本要求

功能要求	话筒扩音、音量控制、混音功能
额定功率	$\geq 0.5\text{W}$ (失真度 $\text{THD} \leq 10\%$)
负载阻抗	$8\ \Omega$
频率响应	$f_L \leq 50\text{Hz}$ $f_H \geq 20\text{kHz}$
输入阻抗	$\geq 20\text{k}\ \Omega$
话音输入灵敏度	$\leq 5\text{mV}$

2. 提高要求

音调控制特性 1kHz 处增益为 0dB, 125Hz 和 8kHz 处有 $\pm 12\text{dB}$ 的调节范围。

四、 实验要求

1. 实验要求:
 - (1) 根据实验内容、技术指标及实验室现有条件, 自选方案设计出原理图, 分析工作原

- 理，计算元件参数。
- (2) 利用 EDA 软件进行仿真，并优化设计。
 - (3) 实际搭试所设计电路，使之达到设计要求。
 - (4) 按照设计要求对调试好的硬件电路进行测试，记录测试数据，分析电路性能指标。
 - (5) 撰写实验报告。
2. 说明
- (1) 要求先用软件设计并仿真，然后硬件实现。
 - (2) 功放电路采用集成功放，也可以采用集成运放加复合管的电路结构。

五、 预习思考

1. 什么叫集成功放？查阅相关资料并记录 LM386 的相关性能。

六、 设计指导

1. 明确设计任务要求，确定总体方案

对系统的设计任务进行具体分析，充分理解题目的要求、每项指标的含义。

针对系统提出的任务、要求和条件，查阅资料，广开思路，提出尽量多的不同方案，仔细分析每个方案的可行性和优缺点，加以比较，从中选取合适的方案。

将系统分解成若干个模块，明确每个模块的功能、各模块之间的连接关系以及信号在各模块之间的流向等等。构建总体方案与框图，清晰地表示系统的工作原理、各单元电路的功能、信号的流向及各单元电路间的关系。

2. 音响放大器原理框图如下图 9.1 所示：

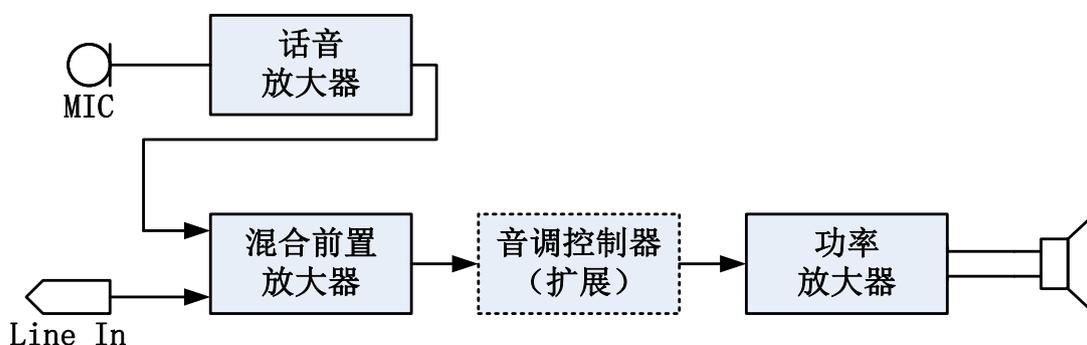


图 9.1 音响放大器原理框图

- (1) 话音放大器：

由于话筒的输出信号一般只有 5mV 左右，而输出阻抗可能高达 20k。(亦有低输出阻抗的话筒如 20Ω、200Ω 等)，所以话音放大器的作用是不失真地放大声音信号(最高频率达到 20kHz)。其输入阻抗应远大于话筒的输出阻抗。

- (2) 混合前置放大器

混合前置放大器的作用是将放大后的话音信号与 Line In 信号混合放大，起到了混音的功能。(Line In 信号可以用一般的 MP3 输出)

- (3) 功率放大

功率放大器(简称功放)的作用是给音响放大器的负载(扬声器)提供一定的输出功率。当负载一定时，希望输出的功率尽可能的大，输出信号的线性失真尽可能的小，效率尽可能

的高。功率放大器的常用形式有 OTL 电路和 OCL 电路等。有用专用集成运算放大器和晶体管组成的功率放大器，也有专用集成电路功率放大器。

3. 关于自激

自激：由于功放级输出信号较大，对前级容易产生影响，引起自激。因此功率放大器的安装调试对布局和布线的要求很高，安装前要根据所设计的电路对整机线路进行合理布局，级和级之间要分开，每一级的地线要接在一起，同时要尽量短，否则很容易产生自激。自激分高频自激和低频自激

(1) 高频自激：

集成块内部电路多极点引起的正反馈易产生高频自激，常见高频自激现象如图 9.2 所示，可以加强外部电路的负反馈（如外接电容负反馈等）予以抵消。

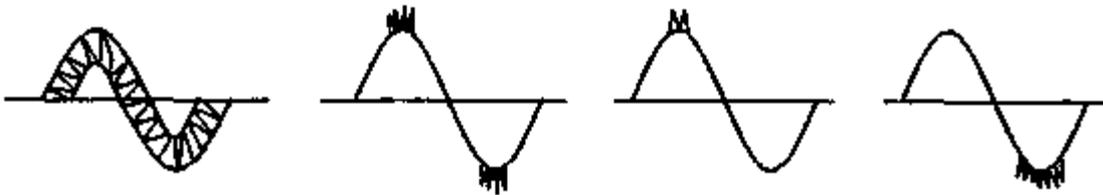


图 9.2 常见的高频自激现象

(2) 低频自激：

常见的现象是电源电流表有规则地左右摆动、或输出波形上下抖动。产生的主要原因是输出信号通过电源及地线产生了正反馈，可以通过接入 RC 去耦滤波电路消除。

4. 音调控制部分的电路设计

音调控制器是控制和调节音响放大器的幅频特性，人为地改变信号中高、低频成分的比重，以满足听者的爱好、渲染某种气氛、达到某种效果、或补偿扬声器系统及放音场所音响的不足。音调控制电路一般应满足或尽量达到的幅频特性如图 9.3 所示。图中折线（实线）为理想的幅频特性，其中 f_0 为表示中音频率，一般取 1kHz，一个好的音调控制电路，要有足够的高、低音调节范围，但又同时要求高、低音从最强到最弱的整个调节过程里，中音信号不发生明显的幅度变化，以保证音量大致不变。

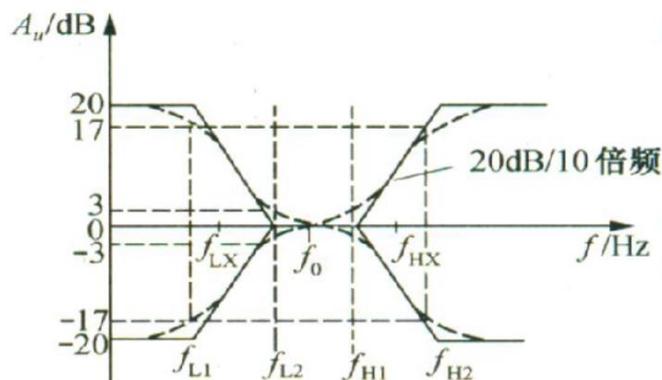


图 9.3 音调控制电路的幅频特性曲线

由图 9.3 可见，音调控制器只是对低频信号与高频信号的增益进行提升或衰减，中频信号增益保持不变，所以音调控制器是由低通滤波器与高通滤波器共同组成。

关于音调电路的实现方法，可自行查阅相关资料，尽量不采用专用处理芯片。

5. 电路性能指标及测量方法

(1) 电路性能指标及测量方法

- 1) **额定功率**：音响放大器输出失真度小于某一数值时的最大功率称为额定功率，其表达式为： $P_o=U_o^2/R_L$ ，式中， R_L 为额定负载阻抗， U_o 为 R_L 两端的最大不失真电压有效值。测量时函数发生器输出 $f_i=1\text{kHz}$ 正弦波作为音响放大器的输入信号，功率放大器的输出端接额定负载电阻，如有音调控制器，控制器的两个电位器调节到中间位置，音量控制电位器调到最大值，用双踪示波器观察 U_i 及 U_o 的波形，失真度测量仪监测 U_o 的波形失真（无失真度仪可用肉眼观察无明显失真）。逐渐增大输入电压 U_i ，直到输出的波形刚好不出现削波失真，此时对应的输出电压为最大输出电压，同时可算出额定功率值。
- 2) **频率响应**：调节音量旋钮使输出电压约为最大输出电压的50%， $U_i=5\text{mV}$ ，测量方法和其他实验中幅频特性曲线的测量方法相同。
- 3) **输入阻抗**：从音响放大器输入端(话筒放大器输入端)看进去的阻抗称为输入阻抗，测量方法和放大器的输入阻抗测量方法相同。
- 4) **输入灵敏度**：使音响放大器输出额定功率时所需的输入电压有效值称为输入灵敏度。测量时函数发生器输出 $f_i=1\text{kHz}$ 正弦波作为音响放大器的输入信号，功率放大器的输出端接额定负载电阻，如有音调控制器，控制器的两个电位器调节到中间位置，音量控制电位器调到最大值，测量方法是，使 U_i 从零开始逐渐增大，直到 U_o 达到额定功率值时所对应的输入电压值即为输入灵敏度。
- 5) **噪声电压**：音响放大器的输入为零时，输出负载 R_L 上的电压称为噪声电压，测量时功率放大器的输出端接额定负载电阻，如有音调控制器，控制器的两个电位器调节到中间位置，音量控制电位器调到最大值，输入端对地短路，用示波器观测输出负载 R_L 端的电压波形，用交流毫伏表测量其有效值。
- 6) **整机效率**：在输出额定功率的情况下，将电流表串入 V_{CC} 支路中，测得总电流 I ，则效率为

$$\eta = \frac{P_o}{V_{CC} \times I}$$

7) 测量谐波失真度 THD

- 8) **音调控制特性(扩展)**：音调控制级输入端接入100mV、1kHz正弦波，测量音调控制级的输出信号，计算增益；再将低音音调控制电位器分别旋至最左端和最右端，频率从10Hz至1kHz变化，记下对应的电压增益。同样，测高频特性时是将高音音调控制电位器分别旋至最左端和最右端，频率从1kHz至20kHz变化，记下对应的电压增益。最后定量绘制音调控制特性曲线。
- (2) 整机信号试听，用8Ω、4W的扬声器代替负载电阻 R_L ，进行以下功能试听：
- 1) **话音扩音**：将低阻话筒接话音放大器的输入端，应注意，扬声器输出的方向与话筒输入的方向相反，否则扬声器的输出声音经话筒输入后，会产生自激啸叫。讲话时，扬声器传出的声音应清晰，改变音量电位器，可控制声音大小。
 - 2) **MP3音乐试听**：将MP3输出的音乐信号，接入混合前置放大器，扬声器传出的声音应清晰，改变音量电位器，可控制声音大小。
 - 3) **混音功能**：MP3音乐信号和话筒声音同时输出，扬声器传出的声音应清晰，适当控制话音放大器与Line In输出的音量电位器，可以控制话音音量与音乐

音量之间的比例。

- 4) **音调控制（提高）**：改变音调控制级的高低音调控制电位器，扬声器的输出音调发生明显变化。

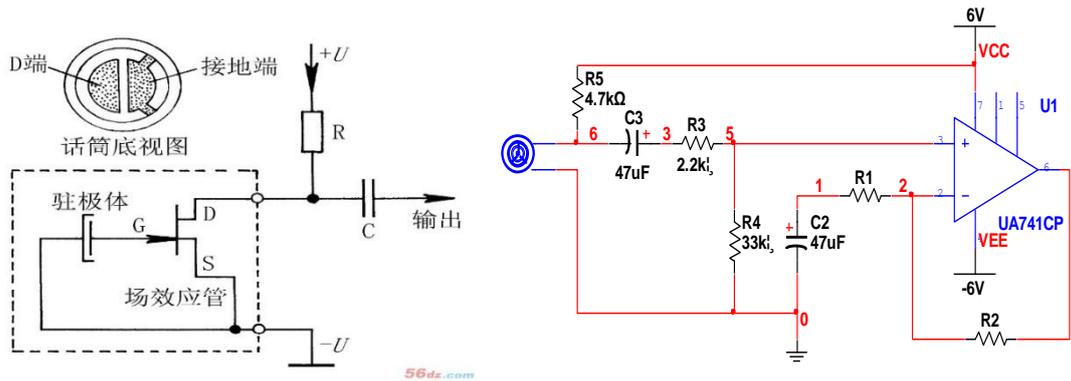
七、考核要求

1. 预习报告；
2. 实验预搭；
3. 实验验收（要求见验收表），只完成基本部分实验，成绩占 80%；
4. 实验报告（要求见教学计划）。

音响放大器验收表																		
日期	板号	学号	姓名	基本要求（占 80%）						提高要求（占 20%）				概念理解程度	操作熟练程度	备注		
				波形			试听			音调控制电路								
				输入	话放输出	混放输出	功放输出	输入	混放输出	功放输出	MIC IN	LINE IN	混音				输入	1kHz 输出

八、注意事项

1. 音响放大器是一个小型电路系统，安装前要对整机线路进行合理布局，一般按照电路的顺序一级一级地布线，功放级应远离输入级，每一级的地线尽量接在一起、连线尽可能短，否则很容易产生自激。安装前应检查元器件的质量，安装时特别注意功放管、运算放大器、电解电容等主要器件的引脚和极性，不能接错。从输入级开始向后级安装，也可以从功放级开始向前逐级安装。安装一级调试一级，安装两级要进行级联调试，直到整机安装与调试完成。
2. 搭试电路时要用分立元件在面包板上完成，电路的元件布局按照集成电路内部电路结构安排，器件之间的连接也尽量用器件管脚连接，尽量不要用实验箱上的元件和长连接线，否则很容易产生自激振荡。为防止功放电路对其它电路或对前级电路产生影响，功放的电源线要单独连接，接线不要交叉，并尽可能短。
3. 由于话放的输入音源采用了驻极体话筒，因此话放电路需要做一些修改，可参考下图：



4. 电路的调试过程一般是先分级调试，再级联调试，最后进行整机调试与性能指标测试。电路分三级，电路总增益大约为 400~1000，一定要合理分配每级增益，级与级之间一般采用交流耦合方式。
5. 分级调试又分为静态调试与动态调试。调试时要用示波器监视输出波形，如发现电路产生了高频自激振荡，加接消振电容或反馈电阻以增加负反馈强度来加以克服，如果已加接消振电容还发生高频自激振荡，修改电容或电阻值，如有低频自激振荡，可在每级电路的电源和地之间接入一个大电容，注意电容的耐压必须大于电源电压。
静态调试时，将输入端对地短路，用万用表测量该级输出端对地的直流电压。
动态调试时，在输入端接入规定的信号，用示波器观测该级输出波形，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，元器件数值是否合乎要求。
6. 单级电路调试时的技术指标较容易达到，但进行级联时，由于级间相互影响，可能使单级的技术指标发生很大变化，甚至两级不能进行级联。产生的主要原因：一是布线不太合理，形成级间交叉耦合，应考虑重新布线；二是级联后各级电流都要流经电源内阻，内阻压降对某一级可能形成正反馈，应接 RC 去耦滤波电路。R 一般取几十欧姆，C 一般用几百微法大电容与 0.1μF 小电容相并联。
7. 如果电路自激比较明显，可修改电路的接地连接情况，并在电源和地间接 100uF 及 0.1uF 的滤波电容。
8. 话筒接入后可能会啸叫，这一般是话筒外壳接地不善引起的。
9. 在测试 P_o 时，最大输出电压测量后应迅速减小 U_i ，否则会因测量时间久而损坏功率放大器。
10. 检查验收时分波形验收和试听验收，波形验收指导教师将分别检查各级的输出波形，记录各级增益。波形调试的时候注意一定要接 8 欧姆负载电阻。试听验收分为语音扩音、Line-In 试听和混音，详细要求请参看教学计划书的相关内容。
 如无法联调，可单独验收每级电路，指导教师将根据评分要求，相应给分。

