

2018~2019 学年第三学期

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3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: 物理学院全体学生
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: 2019.3~2019.6

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, 并完成相应的单元测试。
- 3、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: <http://10.1.8.30/LimsCMS/>, 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、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才可以更换, **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	时数	实验内容	实验方式
第 6 周	3	实验一 三极管放大电路基本性能的测量（在线实验 10）	集中上课
第 7 周	3	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	实验三 基本比例放大电路（在线实验 1）	集中上课
第 9 周	3	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	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	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	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	实验八 RC 振荡电路的设计（在线实验 13）	集中上课
第 14 周	3	实验九 功率放大电路的设计（在线实验 14）	集中上课
第 15 周	3	实验十 线性稳压电源实验（在线实验 15）	集中上课
第 16 周		考试	

四、考核方法：

本课程最终成绩由 10 个实验的成绩和期末考试成绩组成。期末考试采取给出题目，设计并搭试电路的模式。10 个实验占总评成绩的 80%，期末考试占总评成绩的 20%。

每个实验的成绩构成：

预习并完成在线测试占 20%

进入实验室前预搭占 10%

教师课堂验收 50%

提交电子报告 20%。

★注：期末考试卷面分数低于 45 分，实验总评成绩不及格。

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描如下课程二维码加入课程学习，同时昵称请修改为“seu+学号+姓名”。



用微信扫描二维码
分享至好友和朋友圈



七、网址：www.icourse163.org，搜索由东南大学堵国樑教授开设的《模拟电子电路实验》，点击参加学习。

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 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)。

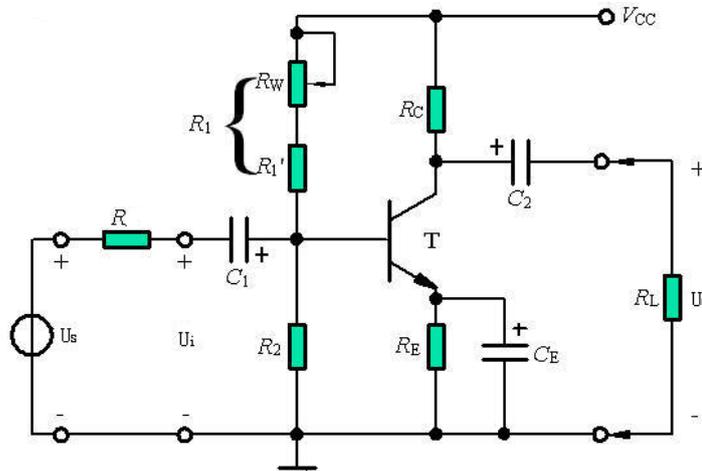


图 1 射级偏置电路

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: $V_{CC}=12\text{ V}$, $U_i=5\text{ mV}$, $R_L=3\text{ k}\Omega$, $R=1\text{ k}\Omega$, 设计指标要求: $A_u>50$, $R_i>1\text{ k}\Omega$, $R_o<3\text{ k}\Omega$, $f_L<100\text{ Hz}$, $f_H>100\text{ kHz}$ 。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饱和失真, 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 的阻值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情况下测量输入电阻)。

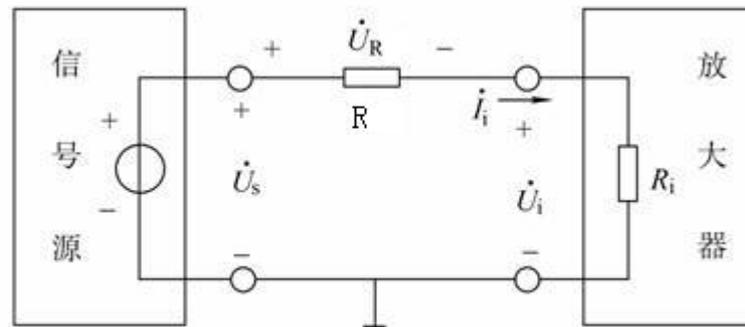


图2 放大器输入阻抗测量原理图

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)。

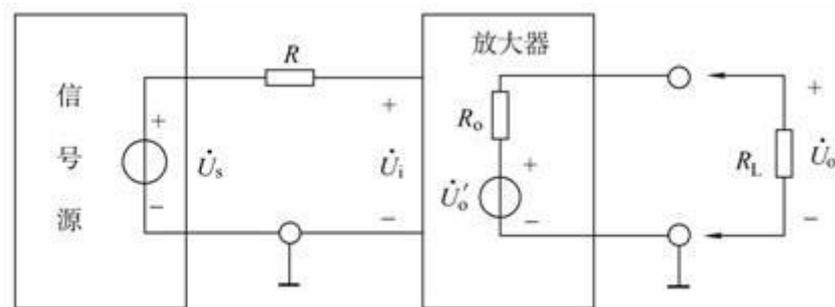


图3 放大器输出阻抗测量原理图

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)		

注：本实验完成后不要拆掉，下一个实验还需要测量相关参数。

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 (如去掉负载 R_L 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

$C_e=33\mu\text{F}$	$f_L=$	$f_M=$	$f_H=$
$C_1=$	$f_L=$	$f_M=$	$f_H=$
$C_2=$	$f_L=$	$f_M=$	$f_H=$

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）。

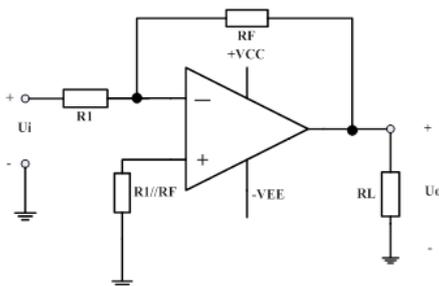
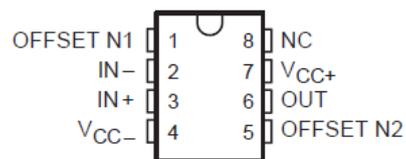


图 1 反相输入比例运算电路



$\mu\text{A}741$ 管脚图

- (1) **直流特性测量：**图 1 中电源电压 $\pm 15\text{V}$ ， $R_1=10\text{k}\Omega$ ， $R_F=100\text{k}\Omega$ ， $R_L=100\text{k}\Omega$ ， $R_p=10\text{k}\Omega/100\text{k}\Omega$ 。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 的正弦波，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				
400				
4000				
		(请测量记录最大不失真输出波形)		

- (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 _L (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	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=10 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) 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、撰写实验报告 (见在线实验第 2 单元的作业)。

实验指导:

a) **直流减法功能测量:** 两个输入端加上不同的直流电压 (如: U_1 加上 0.1V, U_2 加上 0.5V; U_1 加上 5V, U_2 加上 -2V 等), 用万用表测量输出电压, 数据记录在直流减法功能测量记录表中。

直流减法功能测量记录表

	第一组	第二组	第三组	第四组	第五组
U_1/V					
U_2/V					

U_0/V (理论值)					
U_0/V (测量值)					

实验结果分析:

- 有明显不满足减法关系的测量结果, 是什么原因?
 - 如果用负电压输入, 减法电路可以实现加法功能?
- b) 交流减法功能测量: 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, 记录在交流减法功能测量记录表中。实验中如波形不稳定, 可微调 U_2 的频率。

交流减法功能测量记录表

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				

- c) 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……);

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、 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

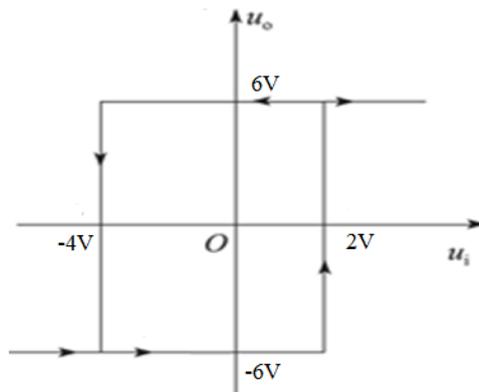
二、 实验目的

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

四、 应用拓展

1. DDS 技术

直接数字合成技术 (Direct Digital Synthesizer DDS) 是采用数字技术产生波形的一种频率合成技术。可以用 FPGA 来实现, 目前也有用很多的 DDS 芯片 (例如 AD9850, AD9852, AD9854 等)。

2. 音频合成技术

正弦波、三角波、锯齿波、方波、脉冲波、噪声、白噪声这些基本波形在模拟声音合成中, 是电压控制振荡器与低频振荡器的发生依据。

(1) 正弦波(Sine Wave)

正弦音是最纯的音响，它只由一个力度水平均匀的单一频率构成，即只有一个基频，也就是它自己本身，而没有其他泛音。之所以称作“正弦”音，是因为在图表显示中，正弦波波形振动曲线是随三角函数正弦曲线的规律来变化的。

(2) 三角波(Triangle Wave)

三角波的形状包含两个线性阶段，所以三角波的泛音的位置会落在其奇数的地方。如果与相同频率的正弦波来作比较，三角波听起来有 C, E, G, B 四个音，三角波第一泛音可以明显地辨别出来，而其他泛音能量很小，因此我们经常将三角波误认为正弦波。

(3) 锯齿波(Sawtooth Wave)

锯齿波的形状类似于三角波，但锯齿波包含了奇数与偶数的泛音，只是分为正向(Positive Sawtooth)和反向(Negative Sawtooth)，锯齿波的声音听起来非常明亮。

(4) 方波(Square Wave)

方波的泛音只落在奇数位位置，方波有着丰富的泛音内容，因此，其产生的声音效果与正弦音形成对照，在古典工作室里被广泛应用。方波发生器不只在早期工作室里受到欢迎，由于其丰富的声音资源，后来已经成为标准的设备。

(5) 脉冲波(Pulse Wave)

将方波在时域上变化正负级长度从而带来频谱的变化，就形成了脉冲波。脉冲波与方波比较接近，都拥有丰富的泛音，因此有些教科书将两者视为一类。脉冲波的最大特点是会随着时域变化与所设定的参数来变化调整泛音数，泛音的多少取决于脉冲波形状的变化。

(6) 噪音

从客观物理现象看，噪音与乐音相比，乐音含有确定的音高，有突出的谐和的频谱，而噪音包含有理论上无限、持续的频率分布。波形不是规律的周期循环，振幅是任意无规律的波动起伏。

而从主观上看，噪声泛指听者主观不需要的一切声音。凡时对人来说不需要的声音，那怕是乐音，或本人曾经喜欢的乐音，都可能被视为噪音。当然对噪音的界定，往往主客观两者有着紧密的联系。

总之，从声音合成的角度看，噪音有着丰富的频谱内容。这就为计算机合成、加工提供了理想的材料，这尤其表现在后面介绍的减法合成中。因此，对于计算机音乐来说，噪音是电子音响合成至关重要的声音资源。

(7) 白噪声

所谓白噪声(White Noise)，是指一种声音信号，(一般是噪音)其所有频率的振幅

强度与它的频率高低相对应。就是说，高频振幅相对高，低频振幅相对低。白噪声有时也称作白声，辞源上是从光学中的“白光”(White Light)一词引申而来。白光是指同时呈现所有光谱的光学现象。

纯粹在白噪声在现实物理世界中几乎是没有的，它只能通过白噪声发生器来产生。由于白噪声丰富的频谱和极大的可塑空间，它一直是计算机声音合成中非常有用的声音资源。

一个频率变化在三个八度的白噪声频谱。可以看出它的特点是随着频率的增高，其振幅能量也在增长。与此相对应的是粉噪声(Pink Noise)，它的振幅不随着频率变化，各个八度频率的振幅能量都是一样的。

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 功率放大电路的设计

(在线实验 14)

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. 了解功率放大电路的基本结构和工作原理
2. 理解 OCL 和 OTL 电路的区别及各自特点
3. 掌握集成功放的性能参数及正确应用方法
4. 掌握功放电路性能指标的测量方法

三、 实验内容

利用 LM386 设计一个功率放大电路, 在输入为 120mVpp 驱动时, 要求在 8Ω 负载上获得 0.5W 的功率。

要求: 研读器件数据手册, 完成电路的设计及仿真测量; 确定电路参数并正确连接电路; 测量电路增益、输出电压、功率等参数; 分析理论设计和实际测量之间的误差; 其他(测量功放电路的频率响应、灵敏度等……)拟定实验方案、设计记录表格、分析数据波形。

实验指导:

(1) 功放电路的测量:

输入一个 1kHz 的正弦波, 测量电路放大倍数、输出电压、输出功率、效率等参数。

Ui (mVpp)	Uo (Vpp)	增益	输出功率 (mW)	电源电流 (mA)	电源功率 (mW)	效率
100						
200						

(2) 测量最大输出电压、最大输出功率:

Ui (mVpp)	Uomax (Vpp)	增益	输出功率 (mW)	电源电流 (mA)	电源功率 (mW)	效率

(3) 测量连接话音放大器+功放的输出电压、增益、输出功率:

Ui(mVpp)line 输入	Uo (Vpp)	增益	输出功率
100			
200			

实验十 线性稳压电源实验

(在线实验 15)

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. 熟悉直流稳压电源的基本构成及工作原理;
2. 理解三端稳压器件的性能指标含义;
3. 掌握三端稳压器件的正确应用方法;
4. 掌握稳压电路性能指标的测量方法。

三、 实验内容

正负稳压电源的设计

内容: 利用三端固定稳压器件 7812 和 7912, 设计可以用于运放工作的正负电源。

要求:

1. 研读器件数据手册, 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. 测量相关点的参数并记录波形;
4. 计算稳压电源相关的性能指标;
5. 其他(整流输出波形、滤波效果和电容电阻的关系等……)
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