

《模拟电路实验》课程教学大纲

课程代码：A390005

课程名称：模拟电路实验（Analog circuit experiment）

学分/总学时：2 学分/32 学时

课程类别：集中实践环节

开课学期：二（2）

适用专业：电子信息工程专业、电子科学与技术专业、自动化专业

先修课程：高等数学（I）、大学物理、电路基础（A）、模拟电子电路

后续课程：综合电子与 PCB 设计、电子电路课程设计、微机原理课程设计

课程负责人：吴春红

一、课程目标

《模拟电路实验》与《模拟电子电路》理论课程同步进行。本课程的教学目标是通过该课程大纲所列内容的学习与实践，巩固理论课所学知识，提高电子线路的分析和设计水平，培养学生的基本技能和工程实践能力，为今后继续学习与研究打下坚实基础。具体为：

1. 深刻理解运算放大器的“虚短”、“虚断”的概念，熟悉运放在信号放大和模拟运算方面的应用。（支撑毕业要求 1-2/H）
2. 掌握运放在信号产生、信号放大、波形变换、信号处理等电路的设计方法，学会根据指标要求计算电路元件参数。（支撑毕业要求 3-2/H）
3. 能够运用运放芯片在面包板上或通用电路板上，自主搭接各模拟运算电路，学会测试上述各运算电路的工作波形，并对测试结果进行分析。（支撑毕业要求 4-2/M、5-2/H）
4. 利用仿真软件对单级低频电压放大电路和有源滤波器进行仿真分析，了解电路各元器件对电路主要性能指标的影响，进一步提高自己设计和分析电路的能力。（支撑毕业要求 12-1/H）

二、课程目标与教学内容和教学环节的关系

序号	课程目标	教学内容	教学环节	
			课堂教学	实验

1	深刻理解运算放大器的“虚短”、“虚断”的概念，熟悉运放在信号放大和模拟运算方面的应用。	(一) 模拟运算电路 (1) (二) 模拟运算电路 (2) (三) 模拟运算电路 (3) (四) 波形变换电路 (积分、微分) 设计与调试		+
2	掌握运放在信号产生、信号放大、波形变换、信号处理等电路的设计方法，学会根据指标要求计算电路元件参数。	(一) 模拟运算电路 (1) (二) 模拟运算电路 (2) (三) 模拟运算电路 (3) (四) 波形变换电路 (积分、微分) 设计与调试 (六) 信号处理电路之二：有源滤波器电路的特性测试 (仿真) (七) 信号处理电路之一：比较器设计与调试 (八) 波形产生电路的设计与调试 (九) 光强检测电路的设计		+
3	能够运用运放芯片在面包板上或通用电路板上，自主搭接各模拟运算电路，学会测试上述各运算电路的工作波形，并对测试结果进行分析。	(一) 模拟运算电路 (1) (二) 模拟运算电路 (2) (三) 模拟运算电路 (3) (四) 波形变换电路 (积分、微分) 设计与调试 (七) 信号处理电路之一：比较器设计与调试 (八) 波形产生电路的设计与调试 (九) 光强检测电路的设计		+
4	利用仿真软件对单级低频电压放大电路、有源滤波器和直流稳压电源电路进行仿真分析，了解电路各元器件对电路主要性能指标的影响，进一步提高自己设计和分析电路的能力。	(五) 单级低频电压放大电路特性测试 (仿真) (六) 信号处理电路之二：有源滤波器电路的特性测试 (仿真)		+

三、课程内容与学时分配

(一) 模拟运算电路 (1) (3 学时) (第九周)

教学任务：

- 1.模电实验箱的组成结构简单介绍
- 2.复习元器件的测量

3.运放的介绍

4.反相比例运算电路

(1) 电源连接

(2) 元器件的正确连接和布线

(3) 输入信号：①直流输入：分压器电路的介绍

②输入直流信号 $U_i=\pm 0.5V$ 、 $\pm 2V$ ，用万用表测量 U_o 值，完成表 2.5.2；

课时安排：

本实验安排 1 次课，3 学时，要求必须完成指标要求中所有内容。

(二) 模拟运算电路 (2) (3 学时) (第九周)

教学任务：选用 $\mu A741$ 运放芯片，在面包板上完成反相比例运算电路和同相比例运算电路。

指标要求：

1.反相比例运算电路 (必做)

教学要求：设计一反相比例运算电路 (2) 输入 $f=1kHz$ 正弦信号，调整输入信号 $U_i=0.1V$ ，测量 A_{vf} ，并与理论值比较；(3) 观察并记录电压传输特性。

2.同相比例运算电路 (选做)

教学要求：设计一同相比例运算电路 (1) 输入直流信号 $U_i=\pm 0.5V$ 、 $\pm 2V$ ，用万用表测量 U_o 值，画表同 2.5.2；(2) 输入 $f=1kHz$ 正弦信号，调整输入信号 $U_i=0.1V$ ，测量 A_{vf} ，并与理论值比较；(3) 观察并记录电压传输特性。

课时安排：

本实验安排 1 次课，3 学时，要求必须完成指标要求中的反相比例运算电路部分，同相比例运算电路部分学生自主选择，可以在课上完成或者课后在开放实验室完成。

(三) 模拟运算电路 (3) (3 学时) (第十周)

教学任务：选用 $\mu A741$ 运放芯片，在面包板上完成加法电路和减法电路。

指标要求：

1.设计电路满足运算关系 $U_o=-(10U_{i1}+5U_{i2})$ ， $\pm V_{CC}=\pm 15V$ (必做)

(1) $U_{i1}=0.5V$ ， $U_{i2}=-0.2V$ 直流电压，计算并测量输出电压 U_o ；

(2) $U_{i1}=0V$ 直流电压， $U_{i2}=0.1V$ ， $f=1kHz$ 正弦电压，观察并画出输入输出波形；

(3) $U_{i1}=0.5V$ 直流电压， $U_{i2}=0.1V$ ， $f=1kHz$ 正弦电压，观察并画出输入输出波形；

2.设计电路满足运算关系 $U_o = -5(U_{i1} - U_{i2})$, $\pm V_{CC} = \pm 15V$ 。(选做)

(1) $U_{i1} = 0.5V$, $U_{i2} = -0.2V$ 直流电压, 计算并测量输出电压 U_o ;

(2) $U_{i1} = 0V$ 直流电压, $U_{i2} = 0.1V$, $f = 1kHz$ 正弦电压, 观察并画出输入输出波形;

(3) $U_{i1} = 0.5V$ 直流电压, $U_{i2} = 0.1V$, $f = 1kHz$ 正弦电压, 观察并画出输入输出波形;

课时安排:

本实验安排 1 次课, 3 学时, 要求必须完成指标要求中的加法电路部分, 减法电路部分学生自主选择, 可以在课上完成或者课后在开放实验室完成。

(四) 波形变换电路(积分、微分)设计与调试(3 学时)(第十周)

教学任务: 选用 $\mu A741$ 运放芯片, 在面包板上完成积分电路和微分电路。

指标要求:

1.积分电路(必做)

(1) 画出电路图, $C = 0.01\mu F$, $R = 10k\Omega$, $R_F = 100k\Omega$, $R_P = 10k\Omega$, $R_L = 1k\Omega$, $\pm V_{CC} = \pm 15V$, 计算 f_c 的值;

(2) 输入 $U_{ip-p} = 1V$, $f = 50Hz$ 、 $160Hz$ 、 $10kHz$ 方波信号;

(3) 用示波器观察并记录输入输出波形, 坐标规范, 标注参数, 并与理论值比较;

(4) 分析三种频率情况下, 积分电路的输出结果。

(5) 输入 $U_{ip-p} = 1V$, $f = 50Hz$ 、 $160Hz$ 、 $10kHz$ 正弦信号, 要求同(3)(4)。

2.微分电路(选做)

(1) 设计一反相微分电路, 时间常数为 $1ms$;

(2) 输入 $U_{ip-p} = 2V$, $f = 1KHz$ 三角波信号;

(3) 用示波器观察并记录输入输出波形, 坐标规范, 标注参数, 并与理论值比较;

(4) 若输出波形有振荡, 对电路进行改进, 直至振荡基本消除。

课时安排:

本实验安排 1 次课, 3 学时, 要求必须完成指标要求中的积分电路部分, 微分电路部分学生自主选择, 可以在课上完成或者课后在开放实验室完成。

(五) 单级低频电压放大电路特性测试(仿真)(3 学时)(第十一周)

教学任务: 利用 Multisim 仿真软件完成单级低频电压放大电路特性测试。

指标要求:

1.参照 P72 图 2.2.4, 电路参数 $C_1=C_2=47\mu\text{F}$, $R_W=100\text{k}\Omega$, $R_1'=10\text{k}\Omega$, $R_2=10\text{k}\Omega$, $R_C=3\text{k}\Omega$, $R_E=1\text{k}\Omega$, $R_L=3\text{k}\Omega$, $C_E=100\mu\text{F}$, $V_{CC}=+15\text{V}$ 。

2.静态工作点测试

输入正弦信号 $U_S=5\text{mV}$, 调节 R_W 使 $U_E=2.5\text{V}$ 左右, 同时保证输出波形不失真, 进行直流工作点分析。

3.动态测试

(1) 在有负载和无负载的情况下, 分别观察 U_i 和 U_o , 记录波形, 读取参数 U_{p-p} 、 T 、 U_{rms} (有效值), 计算放大倍数 A_u 。

(2) 通过测量 U_S 和 U_i , 计算输入电阻 R_i 。

(3) 通过测量输出开路电压 U_o 和带负载输出电压 U_o' , 计算输出电阻 R_o 。

(4) 改变 R_W 的值, 进行直流工作点分析, 并观察两种失真波形。

(5) 观察幅频特性, 记录带宽 BW 、 f_H 、 f_L 。

(6) 观察温度对放大器放大倍数的影响, 记录最大输出电压偏差 ΔU_o 。

课时安排:

本实验安排 1 次课, 3 学时, 先介绍软件, 画出电路图, 再介绍各种测试的方法, 学生完成上述指标要求。

(六) 信号处理电路之一: 有源滤波器电路的特性测试 (仿真) (3 学时) (第十一周)

教学任务: 利用 Multisim 仿真软件完成有源滤波器电路特性测试。

指标要求:

1.二阶低通有源滤波器

参考图 2.11.4 设计一二阶低通有源滤波器电路。

(1) 利用交流分析方法详细测量 $Q=0.707$ 截止频率点, 与理论值比较。

(2) 利用波特图的方法详细测量 $Q=0.707$ 截止频率点, 与理论值比较。

(3) 调整 R_f 查看 $Q=10$, $Q=1$, $Q=0.707$ 值下幅频特线曲线。

2.二阶高通有源滤波器

参考图 2.11.6 设计一二阶高通有源滤波器电路。

(1) 利用交流分析方法详细测量 $Q=0.707$ 截止频率点, 与理论值比较。

(2) 利用波特图的方法详细测量 $Q=0.707$ 截止频率点, 与理论值比较。

(3) 调整 R_f 查看 $Q=10$, $Q=1$, $Q=0.707$ 值下幅频特线曲线。

课时安排:

本实验安排 1 次课, 3 学时, 先画出电路图, 计算 $Q=10$, $Q=1$, $Q=0.707$ 情况下 R_f 的值, 再介绍各种测试的方法, 学生完成上述指标要求。

(七) 信号处理电路之二：比较器设计与调试（3 学时）（第十二周）

教学任务：选用 $\mu A741$ 运放芯片，在面包板上完成比较器电路的设计与调试。

指标要求：

1. 设计具有滞回特性的反相电平比较器（必做）

(1) 画出电路图， $\pm V_{CC} = \pm 15V$ ， $R = R_1 = 10k\Omega$ ，通过调整反馈电阻比值 n 和参考电压 U_{REF} 使 $U_{UT} = 8V$ ， $U_{LT} = 1V$ 。观察并绘出电压传输特性。

(2) 观察并记录输入输出波形，标注参数值。准确读取 $\pm U_{OM}$ 。

(3) 测量此时 U_{REF} 的值，断开电路测量 R 、 nR 的值，计算比值 n ，代入公式计算 U_{UT} 、 U_{LT} ，与理论值比较。

2. 设计具有滞回特性的同相电平比较器（选做）

(1) 画出电路图， $\pm V_{CC} = \pm 15V$ ， $R = 10k\Omega$ ， $U_{REF} = -15V$ ，通过调整 mR 和 nR 的值，使 $U_{UT} = 8V$ ， $U_{LT} = 1V$ 。观察并绘出电压传输特性。

(2) 观察并记录输入输出波形，标注参数值。准确读取 $\pm U_{OM}$ 。

(3) 断开电路测量 R 、 mR 、 nR 的值，计算比值 m 、 n ，代入公式计算 U_{UT} 、 U_{LT} ，与理论值比较。

课时安排：

本实验安排 1 次课，3 学时，要求必须完成指标要求中的反相滞回比较器电路部分，同相电平比较器电路部分学生自主选择，可以在课上完成或者课后在开放实验室完成。

(八) 波形产生电路的设计与调试（3 学时）（第十三周）

教学任务：选用 $\mu A741$ 运放芯片，在面包板上完成波形产生电路的设计与调试。

指标要求：

1. 正弦波信号发生器（必做）

要求：振荡频率在 1.6kHz 左右；振荡幅度峰-峰值不小于 10V；波形无明显失真。

(1) 调节反馈电阻 R_F ，用示波器观察并画出 U_O （停振、失真、正常）的波形，记录波形参数；

(2) 调节反馈电阻 R_F ，用示波器观察稳定地最大不失真正弦波波形，记录振荡频率 f ，与理论值比较并分析误差；

(3) 在最大不失真的情况下，用交流毫伏表测量输出电压有效值 U_O 和反馈电压 U_+ ，计算反馈系数 $f_v = U_+/U_O$ ，分析研究振幅平衡条件；

(4) 在最大不失真的情况下, 断开电路测量 R_F 、 R_4 的值, 分析负反馈强弱对起振条件及输出波形的影响。

(5) 用李沙育 (又称利萨如) 图形法测出振荡频率 f , 测量方法见 P104;

(6) 将 C_1 、 C_2 上并联等值电容 $0.01\mu\text{F}$ 重测一次振荡频率, 计算理论振荡频率, 比较并分析误差。

2. 方波信号发生器 (选做)

(1) 参考图 2.7.2 设计一方波信号发生器, $\pm V_{CC}=\pm 15\text{V}$;

(2) 调节电位器 R_W 至合适的位置, 用双踪示波器观察 U_O 、 U_C 的波形, 并测量其电压峰-峰值, 画出波形, 标注幅值和周期;

(3) 调节 R_W 观察波形频率变化规律, 分别测量 R_W 调至最大和最小时的方波频率 $f_{\min}$ 和 $f_{\max}$, 在两种情况下分别断开电路测量 R_1 、 R_2 和 R 的值, 计算理论值, 并与测量值比较, 分析误差。

3. 占空比可调的矩形波信号发生器 (选做)

(1) 参考图 2.7.4 设计一占空比可调的矩形波发生器, $\pm V_{CC}=\pm 15\text{V}$;

(2) 将电位器 R_W 调至合适的位置, 用双踪示波器观察 U_O 、 U_C 的波形, 并测量其电压峰-峰值, 画出波形, 标注幅值和周期;

(3) 调节 R_W 观察波形宽度变化规律, 分别测量 R_W 调至最大和最小时的矩形波占空比, 并与理论值比较。

4. 三角波信号发生器 (选做)

(1) 参考图 2.7.6 设计一三角波信号发生器, $\pm V_{CC}=\pm 15\text{V}$;

(2) 调节电位器 R_{W1} 至合适的位置, 用示波器观察并绘出方波输出 U_{O1} 和三角波输出 U_{O2} 的波形, 测其幅值、频率及 R_{W1} , 记录结果, 并与理论值比较;

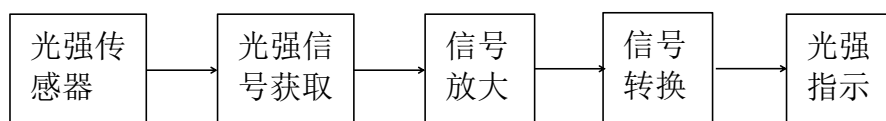
(3) 观察 R_{W1} 、 R_{W2} 对波形的影响。

课时安排:

本实验安排 1 次课, 3 学时, 要求必须完成指标要求中的正弦波信号发生器部分, 方波、占空比可调的矩形波和三角波产生电路部分学生自主选择, 可以在课上完成或者课后在开放实验室完成。

(九) 综合实验: 光强检测电路的设计 (6 学时) (第十四、十五周)

教学任务: 设计一系统电路, 可以实现光强的测量并显示。



指标要求:

(1) 完成信号放大部分，可以将有效值为 10mV~100mV 的正弦波放大 10~100 倍可调，输出信号为单极性正弦波，有效值为 1V。

要求：输入正弦波信号不含直流分量，完成电路设计并搭接，按照表格调节输入信号大小，改变电路的放大倍数，使得输出信号有效值为 1V。

输入信号	输出信号	电路设计参数	
U_i (有效值)	U_o (有效值)	R_1	R_F
10mV	1V		
50mV	1V		
100mV	1V		

如电路涉及直流信号，对照表格测量并记录。

(2) 结合光强传感器，设计光强信号获取部分的电路，并与信号放大电路结合，测试输出波形及信号电压大小。

(3) 结合信号转换电路，自行设定光强上限阈值和下限阈值，超过阈值指示灯报警。

课时安排：

提前预习，查阅资料，选择元器件，设计出各模块电路，计算元件参数。并用仿真软件仿真验证。

第 1 课时：搭接信号放大电路，调节输入信号，示波器测量输入输出信号，记录波形，标注参数，完成表格。

第 2 课时：完成指标要求中的 (2) 和 (3)。

(十) 现场考查 (2 学时) (第十六周)

任务：选用 $\mu A741$ 运放芯片，在面包板上完成电路的设计与调试。

指标要求：

- (1) 具体指标现场公布；
- (2) 写出设计过程，搭接电路，记录测试结果。

课时安排：

现场考查 2 学时，先画出电路图，搭接电路，完成以上指标要求，老师验收。

四、教学方法

(1) 要求学生在课前做好实验内容的预习，了解实验中的难点和可能出现的问题以及解决这些问题的方法。

(2) 要求学生在课前利用仿真软件对设计电路先进行仿真，了解电路输入输出的关系，与课堂操作结果对应比较分析。

(3) 课堂授课时，采用多媒体教学和现场板书的相结合的方式，对电路设计和搭接等内容讲解时。适当板书可以减缓授课节奏，便于学生理解和接受。

(4) 在实验结果出现错误时，要求学生尽可能独立分析原因，或者与授课教师讨论，在课上及时解决问题。

(5) 课后认真撰写实验报告，详细记录实验测量数据和计算结果，以及实验中出现的問題和解决方法。

五、考核方式与成绩评定

1. 考核环节及要求、成绩比例

考核环节	分值	要求	考核/评价细则
平时	70%	学生在实验过程中按照实验室的规定进行实验准备、操作和整理，保持实验台的洁净和整齐，正确使用仪器，完成实验内容，认真撰写实验报告。	学生的出勤，实验预习情况，课上实验态度、独立完成实验情况，操作熟练程度，测量数据是否正确。(50%) 认真撰写实验报告，详细记录实验测量数据和计算结果并对结果进行分析，分析实验中出现的問題和解决方法。(20%)
现场考查	30%	按照题目要求完成电路设计和电路搭接，记录实验结果。	电路设计正确，参数标注完整，电路搭接并测试实验结果，与题目要求一致。(30%)

六、建议教材与教学参考书

书名：模拟电子技术实验与综合训练

作者：主编 徐玉菁

出版社：东南大学出版社

出版年月：2021 年