

实验 04 集成运算放大器的线性应用

实验学生个人信息栏

课序号： 04 班级： 2307 学号： 20232241110 姓名： 刘晨旭

实验 04 得分：

实验教师（签字）： _____

一、实验目的

使用软件 Proteus 8 进行基于集成运放的反相加法和比例电路的设计和仿真实验。改变输入信号使得电路出现失真的情况，观察失真的情况并分析出失真的原因。根据电路图在实验室进行实际接线，记录数据，研究并理解集成运放的相关性质。

二、实验设备与器件

使用软件：Proteus 8, EXCEL

序号	元件名称	元件符号
1	正弦交流信号源	Vsin
2	集成运算放大器	TL082
3	电位器	Rv
4	电阻	R

三、实验操作过程及结果分析

3.1 课堂实验部分

仿照着实验原理图与课本，在模电实验课上完成了反相比例运算电路的接线，连接了信号发生器和示波器，并将课堂上记录的数据整理得到了附录 4.1。

3.2 反相比例运算电路数据测量

首先计算平衡电阻 R_3 的阻值：

$$R_3 = R_2 // R_1 // R_F \quad (1)$$

代入公式计算可得 $R_3=4.0k\ \Omega$

根据电路图和具体需求，在 Proteus 中进行绘图得到附件 4.2。

调节电位器使得输入电压为 -0.49V 得到输出电压为 0.98V，满足公式：

$$u_o = -\frac{R_F}{R_1} u_i \quad (2)$$

调节电位器多次测量均符合公式，证明了理论分析和仿真实验的有效性，而根据原理图得到的真实的实验的数据（见附件 4.1）也与理论分析相近。笔者对于仿真模拟的数据进行了记录，见附录 4.3。

3.3 仿真环境下反相加法与比例放大电路输出信号波形顶部失真研究

调节电位器使得输入电压为-2V 左右，观察到输出电压为 3.43V，并不符合反相运算电路的公式，即输出电压并不为输入电压的二倍，观察示波器的输入输出信号的波形，观察到输出电压波形的顶部发生了失真。（见附录 4.4）

显然的，如果静态工作点 Q 过低，在输入信号的负半周的某段时间内，晶体管基极-发射极之间的电压 U_{be} 小于开启电压 U_{on} ，晶体管进入截止区，因此，基极电流 I_b 和集电极电流 I_c 波形将产生底部失真，输出电压 U_o 波形将产生顶部失真。

将集成运放的供电从原来的 5v 和-5v 改到 15v 和-15v 观察到失真现象消失，具体图像与原理分析参考附录 4.4.

3.4 仿真环境下反相加法与比例放大电路输出信号波形底部失真研究

与顶部失真类似，调节电位器使得输入电压为 1.66V，观察到输出电压虽然满足输入电压的二倍关系，但是输出信号的波形发生了底部失真，继续调节电位器的位置，使得输入电压继续上升，观察到输出电压与输入电压不在满足二倍关系，且输出电压底部失真的情况也更加明显。

四、实验总结、建议和质疑

无论是理论分析，仿真实验，还是在实验室进行的实验，都符合我们对于反相比例放大电路的预期。通过本次实验，我对于集成运放的性质产生了进一步的了解，同时对于软件 Proteus 8 的运用也更加的熟练，我甚至有信心自己按照自己的想法设计电路，并在软件中进行模拟仿真，得到我预期的效果。

五、附录

附录 4.1 集成运算放大器线性应用的课堂实践部分

附录 4.2 基于集成运放的反相加法和比例放大电路设计

附录 4.3 仿真环境下反相加法与比例放大电路交流输入输出信号的测量

附录 4.4 仿真环境下反相加法与比例放大电路输出信号波形顶部失真研究

附录 4.5 仿真环境下反相加法与比例放大电路输出信号波形底部失真研究

附录 4.1 集成运算放大器线性应用的课堂实践部分

个人信息栏		得分 (百分制)
课序号: 04	实验台号: 64	98
班级: 2307	姓名: 刘晨旭	
学号: 20232241110		

重要提示: 以下操作及全部数据的手动填写需要在课堂上完成, 因此, 课前请大家将此文档打印出来, 上课时随身携带!!!

一、“加法和比例运算”的实际电路的建立

按照“实验 04 第 01 讲”课件中所示的基于集成运算放大器 TL082 的电路原理图, 在实验箱上建立“加法和比例运算”电路。在此过程中, 应注意使用数字万用表的直流电压挡测量实验箱上的 $\pm 5V$ 电源是否能正常工作, 用“通断”测试挡测量实验用的连接线是否能正常工作。

二、电路的静态调节和测量

在电路图中的交流输入 $U_i=0$ 时 (即函数信号发生器的“Output1”按键没有被激活的条件下), 利用真实的数字万用表, 调节 10K 电位器使直流输入信号 $U_{IN} \approx -0.5V$, 然后用数字万用表测量此时的输出电压 U_o , 并填写下附表 4.1。

附表 4.1 静态 (即 $U_i=0$) 条件下调节产生直流输入 $U_{IN} \approx -0.5V$ 时的测量

调节产生的直流输入电压 U_{IN} (V)	对应的直流输出电压 U_o (V)
-0.479	0.954

三、电路的动态调节和测量

完成静态调节和测量之后, 请首先进行函数信号发生器和示波器恢复“默认出厂设置”的操作。然后, 激活函数信号发生器的“Output1”按键并调节使电路图中的 U_i 产生幅值为 1V (即最大值为 500mV, 最小值为 -500mV), 频率为 100Hz 的正弦交流信号。请参照“实验 04 第 01 讲”给出的仿真的结果, 调节真实的函数信号发生器和示波器, 直到输入输出波形同时显示在真实示波器的屏幕上。然后利用示波器操作面板左上角“MENU”按键的功能进行测量, 并填写附表 4.2。

附表 4.2 利用“MENU”按键调出输入输出波形的时间和电压参数的测量

	频率 (Hz)	周期 (ms)	最大值 (V)	最小值 (V)	峰峰值 (V)	平均值 (V)
输入信号 U_i	100	10.00	0.560	-0.540	1.10	0.008
输出信号 U_o	100	10.00	2.08	-0.020	2.10	1.03

四、输出波形顶部失真状况的研究

请参照“实验 04 第 01 讲”给出的仿真的结果, 调节电路图中的电位器使实际的直流输

入 $U_{IN} \approx -2.0V$ 左右，观测输出波形 U_o 顶部失真的情况，利用示波器操作面板左上角“MENU”按键的功能进行测量，并填写附表 4.3。

附表 4.3 利用“MENU”按键对输出波形 U_o 的相关电压参数进行的实际测量

输出波形 U_o 最大值 (V)	输出波形 U_o 最小值 (V)	输出波形 U_o 平均值 (V)
4.34	2.92	3.82

然后，参照“实验 04 第 01 讲”给出的仿真的结果，用 $\pm 15V$ 直流电源为实际的 TL082 芯片供电，并且观测此时的输出波形 U_o 的情况，利用示波器操作面板左上角“MENU”按键的功能进行测量，并填写附表 4.4。

附表 4.4 利用“MENU”按键对 $\pm 15V$ 供电时输出波形 U_o 的相关电压参数进行的实际测量

输出波形 U_o 最大值 (V)	输出波形 U_o 最小值 (V)	输出波形 U_o 平均值 (V)
5.06	2.28	3.96

五、实验结果检查验收

在进行实验操作及数据填写时，请务必认真检查，认真对待，主讲教师也会在实验进行的过程中给予最大的帮助，坚决杜绝数据抄袭!!!

完成上面附表 4.1-附表 4.4 测量数据的填写之后，即可进行实验结果检查验收，验收的方式是考查各位实际操作的情况，即：是否能够调节电路，使示波器屏幕上显示的波形和数据状态在附表 4.2 和附表 4.3 之间切换，就是在输出波形“正常放大”的状态和“顶部失真”的状态之间进行切换。

因此，请完成实验的同学在座位上等待，进行必要的练习。检查验收完成之后，由主讲实验教师签字确认。

主讲教师（签字）确认：

特别说明如下：

确认之后，应对实验电路进行拆除，将实验元件装盒送回，对示波器和函数信号发生器进行调出“默认出厂设置”的操作。可继续利用课堂剩余的时间研究真实示波器的“光标 Cursor”的“追踪”测量功能，实验 05 会用到。

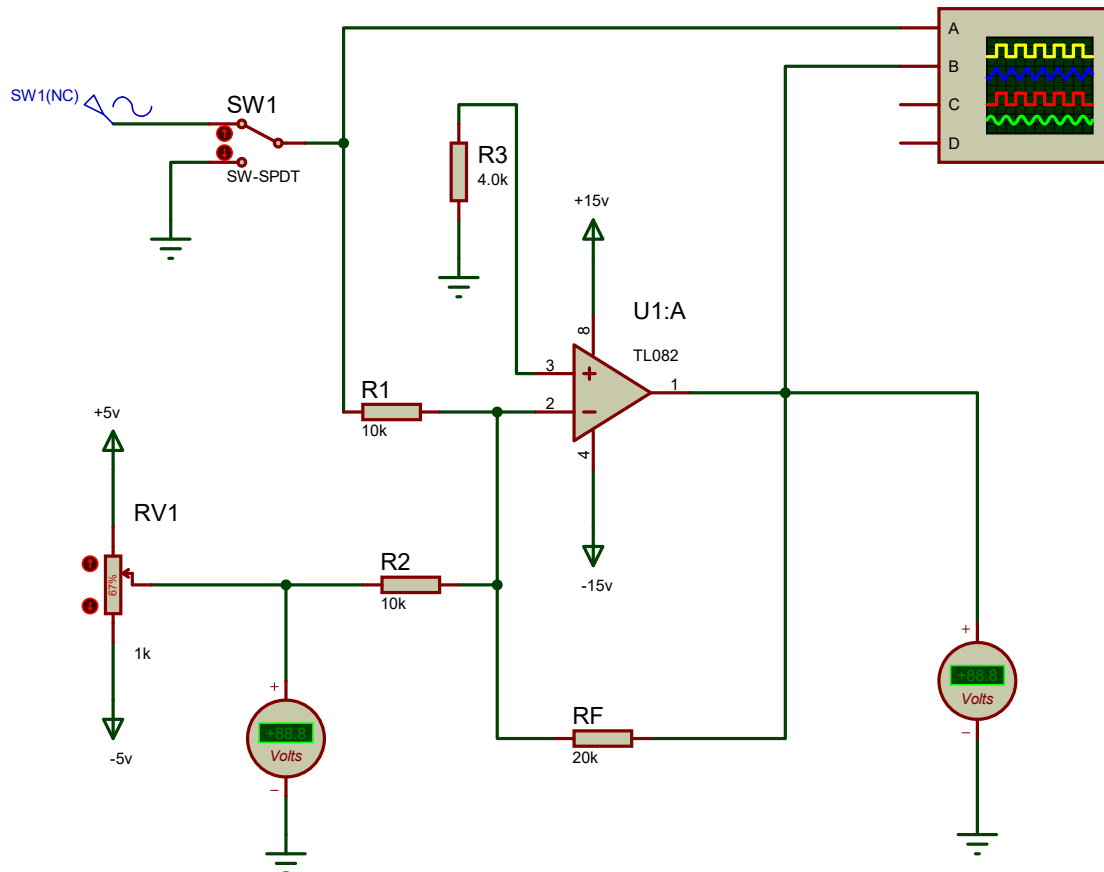
此时，也可以在主讲教师的允许下下课，下课离开前，应按照要求拆除实验电路，关闭设备电源，将椅子推回至实验台下，不按要求收拾实验台的同学会被扣分!!!

本次实验由于各种原因课上未能完成实验操作的同学也不要着急，主讲实验教师会帮助你分析原因，并安排时间进行补做。

本次实验实践部分完成后需要课上提交，主讲教师手动批改后，会尽快返回。在确认批改成绩之后，会要求大家将批改后的结果扫描成 PDF 文件与实验报告的正文及仿真设计部分一起合并提交，因此，批改后的作业一定要保管好切勿丢失!!!

附录4.2 基于集成运放的反相加法和比例放大电路设计

课序号：04 班级：软2307 学号：20232241110 姓名：刘晨旭



附录 4.3 仿真环境下反相加法与比例放大电路交流输入输出信号的测量

调节电位器使得输入电压为-0.49V，得到输出电压为 0.98V，同时得到输入输出信号图像与相关参数如图 Figure 1 所示。

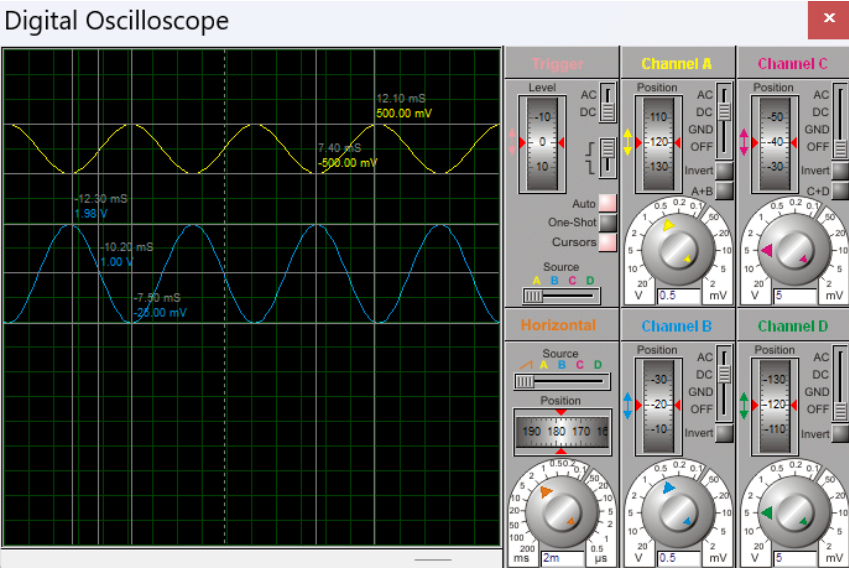


Figure 1 输入输出信号的电压与时间参数

从图上可以看出输入信号 U_i 的最大值为 500mV，最小值为-500mV，周期为 10ms，输出信号 U_o 的最大值为 1.98V，最小值为-20mV，周期为 10ms。

该电路此时将输入信号放大了两倍大，但是信号的周期没有发生变换，这与理论结果相符。

通过不断调整电位器的位置，同时保证波形没有发生失真现象，记录并得到了表格 1 的数据。

表格 1 反相比例运算电路输入信号与输出信号

标号	U_i / V	U_o / V
1	0.39	-0.78
2	0.29	-0.59
3	0.20	-0.39
4	0.09	-0.19
5	0.00	0.00
6	-0.09	0.20
7	-0.20	0.39
8	-0.29	0.59
9	-0.39	0.78
10	-0.49	0.98

附录 4.4 仿真环境下反相加法与比例放大电路输出信号波形顶部失真研究

调节电位器使得输入电压 U_i 为-1.96V（约为-2V），观察到输出电压 U_o 为 3.43V，其输入与输出信号如图 Figure 1 所示。黄线为输入信号，蓝线为输出信号。

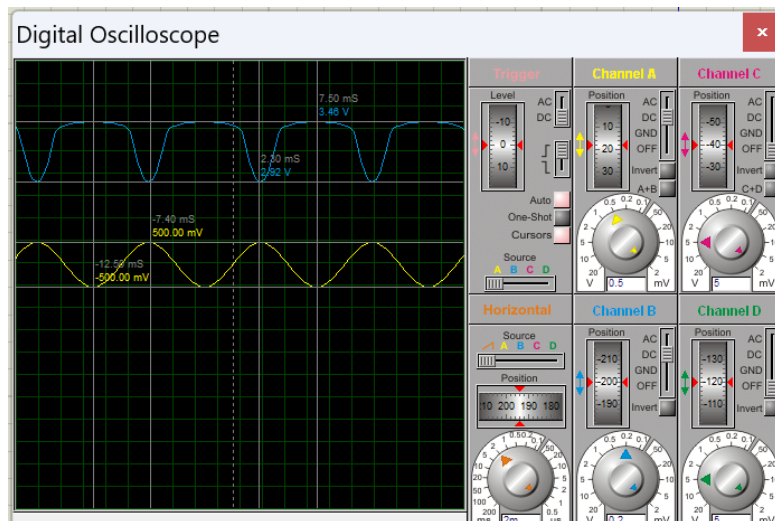


Figure 1 输出信号波形顶部失真图像

保持电位器的位置不变，将集成运放芯片的供电从 5v 和-5v 改到 15v 和-15v，观察到输入输出信号的波形如图 Figure 2 所示，黄线为输入信号，蓝线为输出信号。

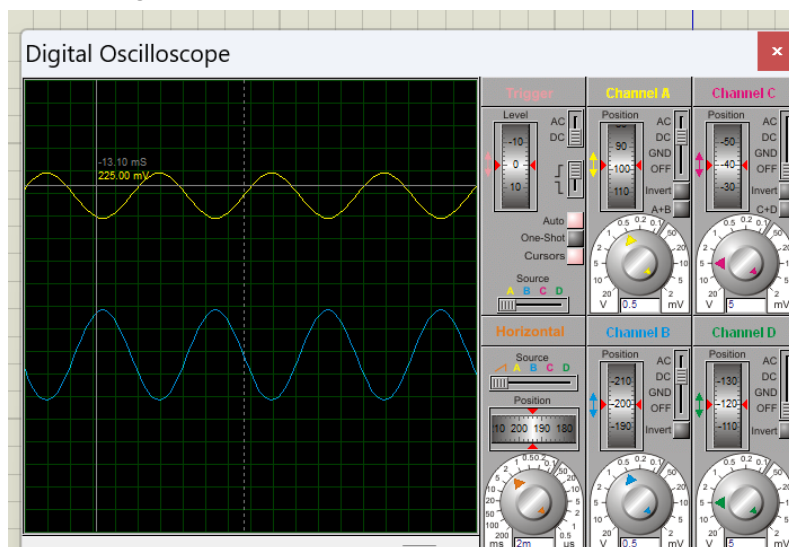


Figure 2 集成运放为 15v 的情况下的输入输出波形

观察到顶部失真情况消失，由此可以得出顶部失真情况和静态工作点的位置有关，改变集成运放的供电大小可以改变静态工作点的位置，进而改善输出信号顶部失真的情况。

附录 4.5 仿真环境下反相加法与比例放大电路输出信号波形底部失真研究

调节电位器使得输入电压 U_i 为 1.66V，观察到输出电压 U_o 为-3.32V，其输入与输出信号如图 Figure 1 所示。黄线为输入信号，蓝线为输出信号。

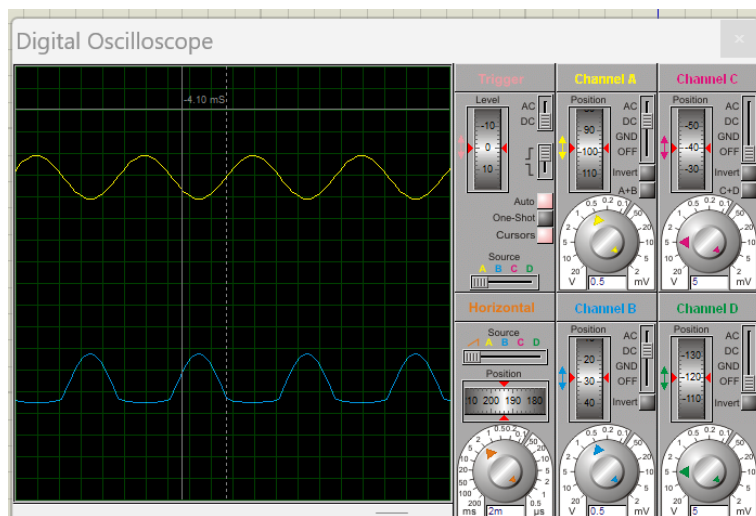


Figure 1 输出信号波形底部失真图像

保持电位器的位置不变，将集成运放芯片的供电从 5v 和-5v 改到 15v 和-15v，观察到输入输出信号的波形如图 Figure 2 所示，黄线为输入信号，蓝线为输出信号。

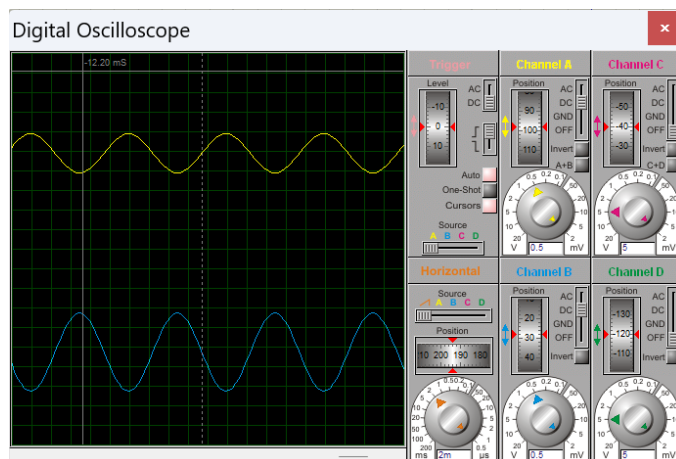


Figure 2 集成运放为 15v 的情况下的输入输出波形

观察到底部失真情况消失，由此可以得出底部失真情况和静态工作点的位置有关，静态工作点较高输入信号又比较大的情况下，就容易发生底部失真。改变继承运放的供电大小可以改变静态工作点的位置，进而改善输出信号顶部失真的情况。