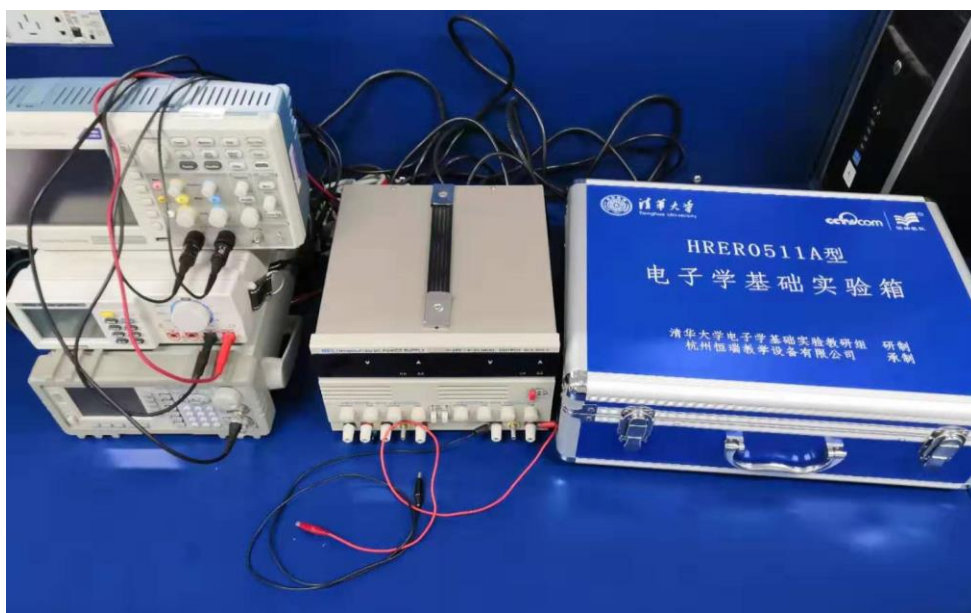


电子学基础实验报告

集成运算电路



封面照：本次实验所用到的仪器

班级：计 86

学号：2018011438

姓名：周恩贤

实验班次：J84

实验桌号：#8 => #5

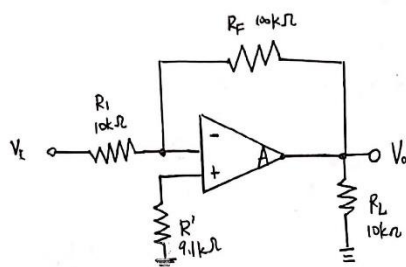
实验日期：2019. 11. 29

预习报告拍照

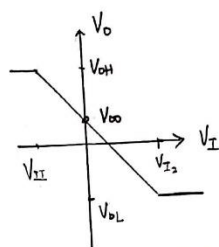
清华大学实验报告 预报

系别 计算机系 班号 计 86 姓名 周恩贤 (同组姓名)
 作实验日期 2019 年 11 月 29 日 教师评定

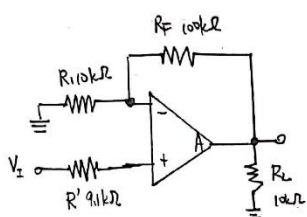
实验六 集成运算电路



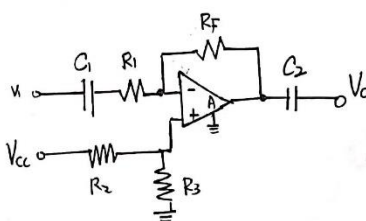
▲ 图 6-1 反相比例放大电路



▲ 图 6-2 直流传输特性



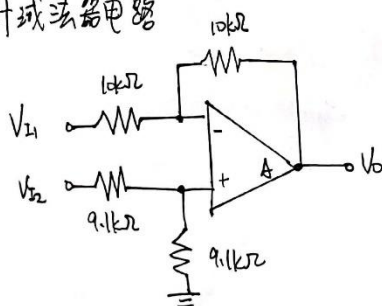
▲ 图 6-3 同相比例放大电路



▲ 图 6-4 单电源供电的交流放大电路。

预习计算：

设计减法器电路



$$\text{则 } V_o = V_{i2} - V_{i1}$$

终结报告

一、实验报告要求

1. 原始数据整理，与理论值比较

(1) 任务一 测量电路的直流传输特性

电路图、说明图、实验值如下：

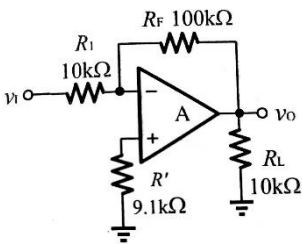


图 6.1 反相比例放大电路

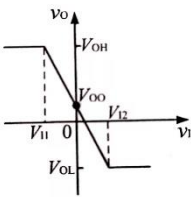


图 6.2 直流传输特性

任务一 实验值整理表	
$V_{I1} = -1.00V$	$V_{I2} = 1.10V$
$V_{OH} = 10.78V$	$V_{OL} = -11.33V$
$V_{OO} = -15.0mV$	

对实验值和理论值分析如下：

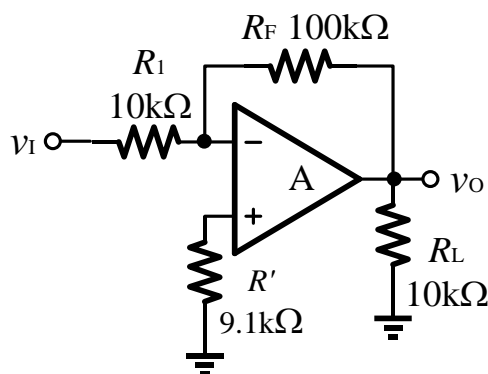
- a. 对于理想运放， $v_1 = 0$ 时， $v_o = 0$ 。实际运放存在偏置， $v_1 = 0$ 时 $v_o \neq 0$ 时，这个分析与实验所得到的 $v_{OO} = -15mV$ 相符。
- b. 运放工作与线性区时， v_o 随 v_1 线性变化，这与实验结果相近。存在 V_{I1} 与 V_{I2} ，当 $v_1 < V_{I1}$ 或 $v_1 > V_{I2}$ 时， v_o 几乎不随 v_1 变化而变化，运放进入正向或负向饱和状态，呈现限幅特性。这与实验得到的结果相符。在实验

中, $v_1 < V_{I1} = -1.00V$ 时, v_o 基本维持在 $10.78V$ 不变。

$v_1 > V_{I2} = 1.10V$ 时, v_o 基本维持在 $-11.33V$ 不变。

(2) 任务二 测量电路的交流传输特性 (测量增益)

电路图如下:



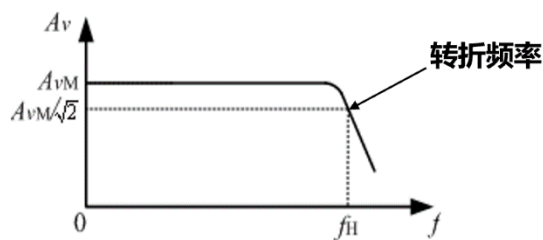
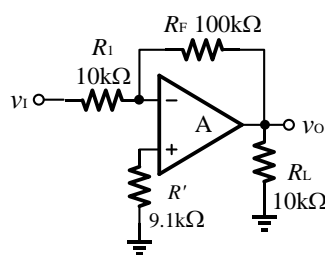
令 v_1 为 $100mV_{pp}$ (实验中测得 $101mV_{pp}$) 频率 $1kHz$

的正弦信号, 测得 $v_o = -992mV$ (波形与输入相反)。

得 $A_v = \frac{-992}{1.01} = -9.82$, 与理论值 $|A_v| = \frac{R_F}{R_1} = 10$ 接近。

(3) 任务三 测量电压增益的幅频特性

电路图、说明图如下:



输入峰峰值为 $100mV_{pp}$ 的正弦信号, 改变信号频率,

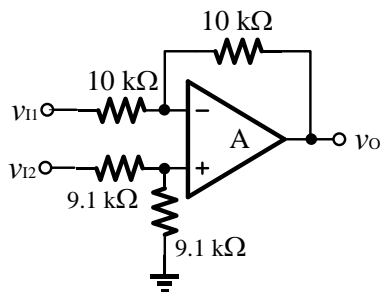
当增益 A_{vM} 变为原来的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍时, 也就是 $v_o = \frac{992}{\sqrt{2}} =$

$701mV$ 时, 得到转折频率 $f_H = 107.380kHz$ 。理论计算

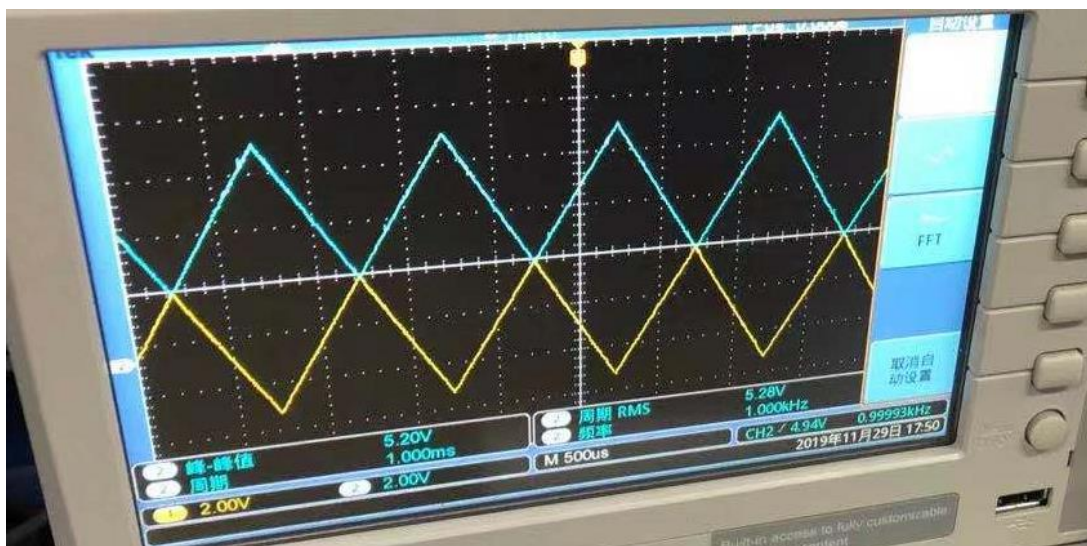
得到的转折频率处的增益为 $\frac{10}{\sqrt{2}} \approx 7.07$, 与实验值相近。

(4) 任务四 模拟减法器

电路图如下：



实验中令 $v_{I1} = 5V_{pp}$, $f = 1kHz$, $v_{I2} = 5V$, 用示波器测得 v_{I1} 与 v_o 波形如下



由理论分析可得, $v_o = v_{I2} - v_{I1}$, v_{I2} 为 5V 直流, v_{I1} 是峰峰值为 5V 的三角波, 得到的 v_o 应该是峰峰值为 5V 的三角波, 最大值为 7.5V, 最小值为 2.5V, 并且 v_{I1} 达到最大值时 v_o 有最小值, v_{I2} 达到最小值时 v_o 有最大值。实验得到的波形图与理论分析相符。

二、思考题

1. 用图 6.1、图 6.2 或图 6.4 所示的电路输出端直接驱动电阻为 8Ω 的负载可以吗？为什么？

答：不可以，一般运放的功率不够，该电路的输出电阻比较大，驱动 8Ω 的负载所得到的电压很小。。

2. 在图 6.3 所示的电路中，设集成运放的最大输出电压为 $12V$ ，转换速率 $S_R = 0.5V/\mu s$ ，输入正弦信号，当输入信号为 $1kHz$ 时，其最大不失真输出电压的幅度是多少？为了使最大不失真输出电压的幅度达到 $8V$ ，信号的最高频率是多少？

答：由公式 $S_R = 2\pi f V_p$ ，可得题中所需的最大失真电压为 $12V$ 。当电压的幅度达到 $8V$ 时，信号最高频率为 $9.95kHz$

3. 在图 6.1 所示的电路中，电阻 R_1 的取值不可能太小（如几十欧姆），为什么？

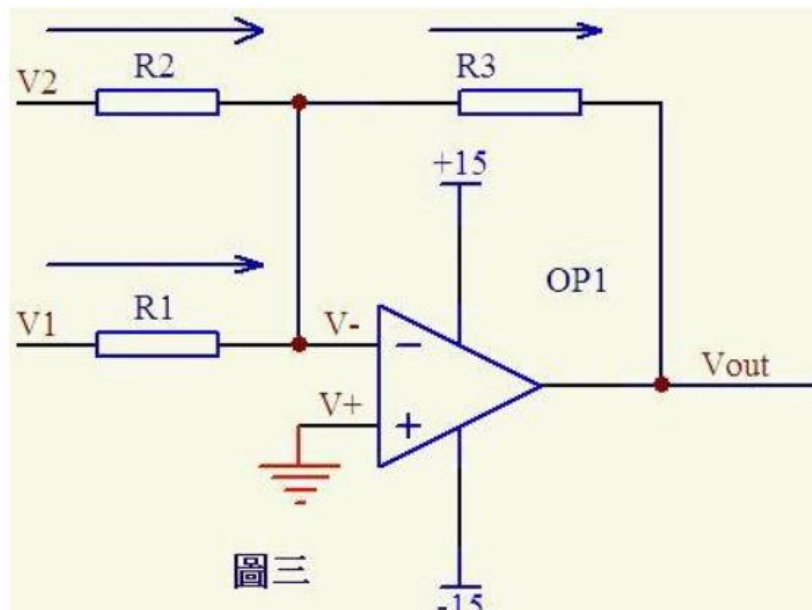
答：图中的运放需要满足运放负端电阻与正端电阻相等的平衡条件。正端电阻值为 R_1 与 R_F 的并联，若 R_1 电阻为十几欧姆， R_F 如图中所示是 $100k\Omega$ ，得到的正端电阻是十几欧姆。而负端电阻为 $R' = 9.1k\Omega$ ，这样就会导致运放正负两端电阻差距较大，不能满足电阻平衡条件，运放的对称性受到影响，可能导致共模信号抑制效果不好，影响运放的工作。

再来，若 R_1 过小时，由于运放有最大电流限制，在电压固定时激励会超过最大输出电流。

三、创新

1. 本次实验中只要求实现模拟减法器，那运放能模拟加法器吗？若可以，画出电路图。若不行则解释原因。

答：可以的，电路图如下



令 $R_1 = R_2 = R_3$ ，则

$$I_1 + I_2 = \frac{V_1 - V^-}{R_1} + \frac{V_2 - V^-}{R_2} = \frac{V_{out} - V^-}{R_3}$$

由虚短知道 $V^- = V^+ = 0$

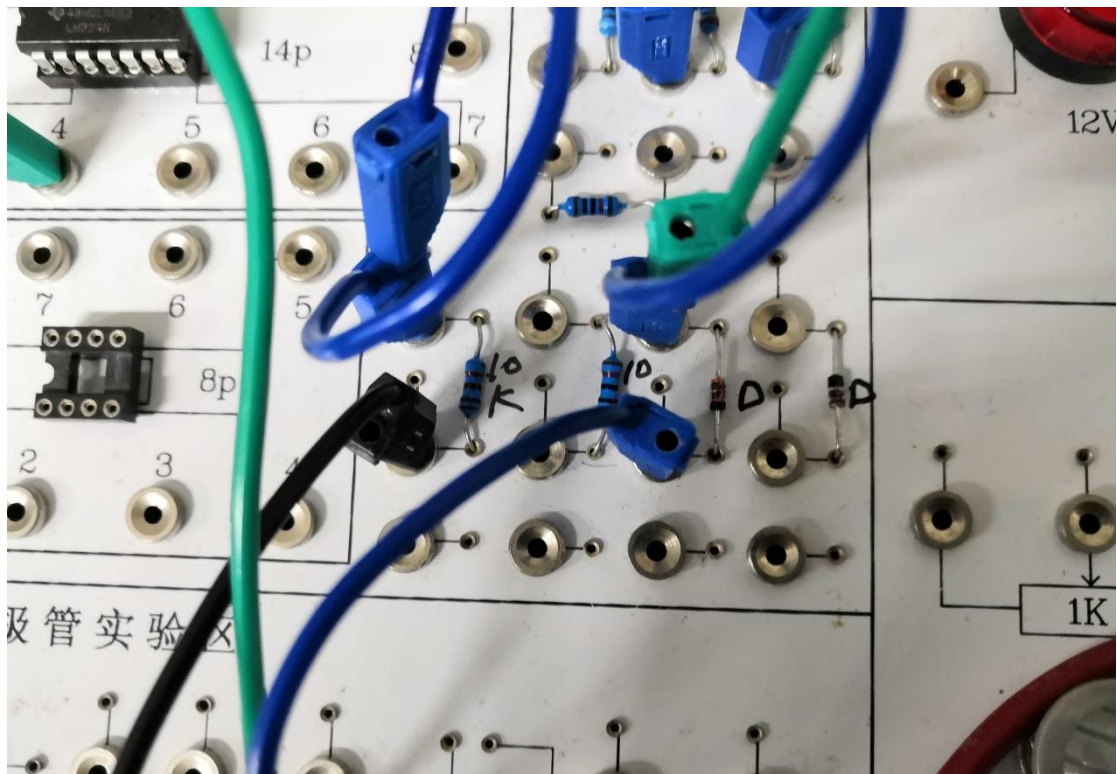
则因为 $R_1 = R_2 = R_3$ 有 $V_{out} = V_1 + V_2$

2. 在任务四模拟减法器中，输入的 v_{I2} 为直流电压，若输入信号 v_{I2} 为交流电压时情况如何？

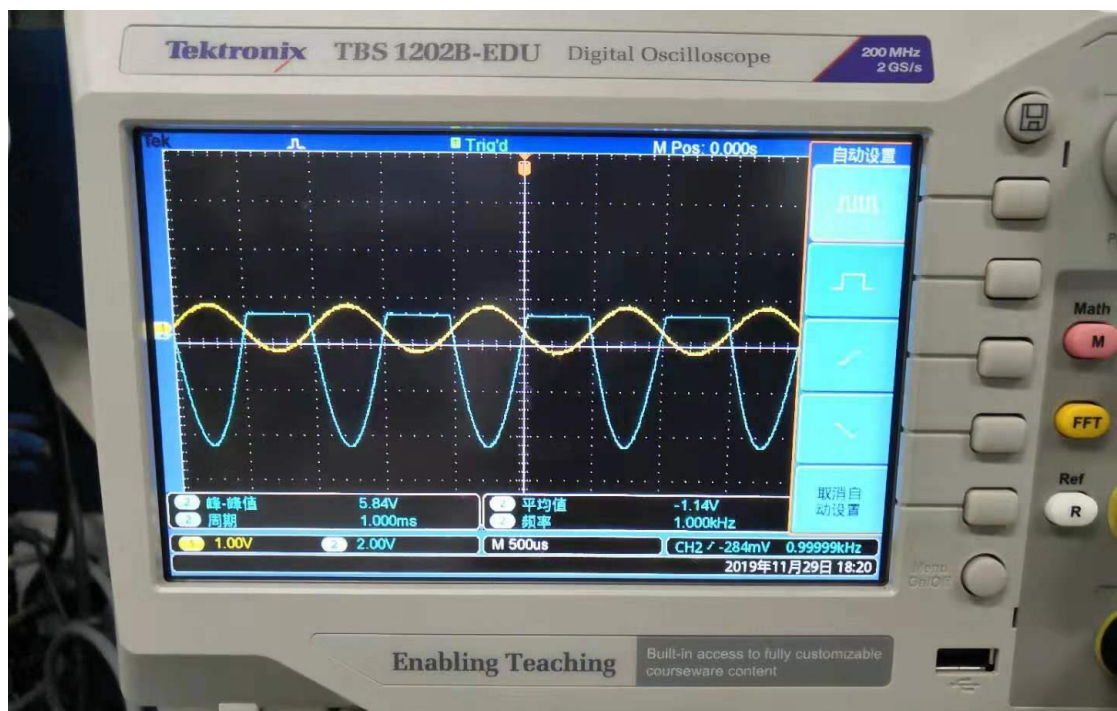
答：猜测也可以运行，当运放于工作区时，对于同频率的交流信号应该可以利用之前学过的相量法进行相减。（其他情况呢？）

3. 若反向电压被截断至 0.8V，有可能是是什么原因？

答：很有可能是不小心串联到了二极管。如下图：



图中是伪装成电阻的二极管（误），我们实验因而做错了



用示波器测得的反向截止电压

四、实验结论

1. 通过调整电路图接法，运放可以实现反向比例放大、正向比例放大、加减法运算电路。
2. 在反向比例放大电路中，运放具有直流传输特性：当输入电压高于或低于特定值时运放进入正向或负向饱和状态，呈现限幅特性，即输出电压不随输入电压的变化而变化。在这两个特定值之间，运放工作于线性区，输出电压随输入电压线性变化。

五、实验心得、体会

这次实验让我再次对模电实验产生了更大的阴影... 当其他同学陆陆续续接好电路，而我们组还在重接电路时，心理压力其实非常大的。幸好在助教、老师的带领以及与伙伴的合作下，我们也顺利完成了这次实验。

这次实验更让我知道**细心**的重要性... 电阻旁边的引脚就是一个二级管，我们不小心接错了，导致反向电压被截断。也十分不好意思让助教帮我们重新看电路看了这么久... QwQ

最后，很荣幸能跟**助教姐姐一起检查电路**，不仅让我学习到很多宝贵的经验，也让我再次感受到助教的辛苦。这是一次永生难忘的实验经验！谢谢助教！

附件 1：原始数据表

$$一、V_{00} = \frac{-15.0}{-15.0} mV$$

$$V_{0L} = -11.43 V \quad V_{I2} = 112 V$$

$$V_{0H} = 10.78 V \quad V_{I1} = -1.0 V$$

$$二、V_{in} = 10 mV \quad A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -9.82$$

$$V_{out} = 992 mV$$

$$\Sigma. \quad \text{调整 } f \quad V_{out}' = 701.45 mV \approx 701 mV \quad f_H = 107.38 kHz$$

(12),

周恩贤

数字示波器	15016622
万用表	
函数信号发生器	13014440
电子模电实验箱	13015764
直流电源	013070247

桌号: 8# \Rightarrow 5# 周恩贤 董博文

附件 2：方格纸作图（减法器电路所观测出的波形图）

