

# 浙江大学实验报告

专业： 信息工程  
姓名： 张青铭  
学号： 3200105426  
日期： 2021.12.22  
地点： 东 4-216

课程名称： 电子电路设计实验 I 指导老师： 李锡华、叶险峰、施红军 成绩： \_\_\_\_\_

实验名称： 集成运算放大器应用电路研究 I 实验类型： 设计型 同组学生姓名： 姚星

## 一、实验目的

## 二、实验任务与要求

三、实验方案设计与实验参数计算（3.1 实验方案总体设计、3.2 各功能电路设计与计算、3.3 完整的实验电路……）

## 四、主要仪器设备

## 五、实验步骤、实验调试过程、实验数据记录

## 六、实验结果和分析处理

## 七、讨论、心得

## 八、思考题

### 一、实验目的

- 1、研究由集成运放构成的比例、加法、减法等基本运算电路的组成与功能，加深对集成运放线性应用电路结构和性能特点的理解，掌握其设计方法。
- 2、研究放大电路增益带宽积与单位增益带宽的关系。
- 3、了解运算放大器构成的基本运算电路在实际应用时的局限性和应考虑的问题。

### 二、实验理论基础

#### 1、集成运放概述

高电压增益、高输入电阻、低输出电阻、直接耦合的多级放大集成电路。由于集成运放具有极高的差模电压增益，要使其稳定工作于线性区，必须加深度负反馈，否则它将工作于饱和区或非线性状态。在分析或设计集成运放构成的电路时，通常可认为运放是“理想的”：

输入阻抗  $R_i = \infty$

开环差模电压增益  $A_{vd} = \infty$

输出阻抗  $R_o = 0$

共模抑制比  $CMRR = \infty$

带宽  $BW = \infty$

失调、温漂等均为零

#### 2、理想运放在线性应用时的两个重要特性

（1）“虚短  $V_+ = V_-$ ”

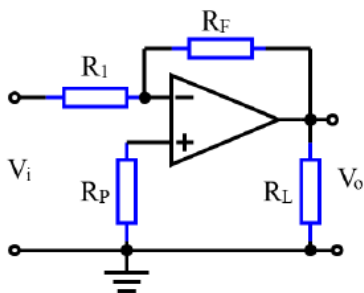
即运放的两个输入端的电位“无限”接近，就象短路一样，但不是真正的短路 ---虚短。

（2）“虚断  $I_+ = 0$ 、 $I_- = 0$ ”

即运放的两个输入端的偏置电流趋于 0，就象断路一样，但不是真正的断路 ---虚断。

#### 3、基本运算电路

（1）反相比例放大器（电压并联负反馈）



$$\text{放大倍数 } A_V = -\frac{R_F}{R_1}$$

$$\text{输入电阻 } R_i = R_1$$

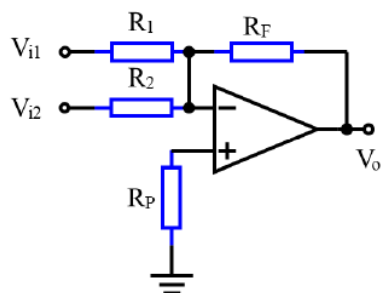
$$\text{输出电阻 } R_o = 0$$

$$R_P = R_F || R_1$$

$$V_o = -\frac{R_F}{R_1} V_i \quad \text{输出与输入成比例关系}$$

实验名称：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_

### (2) 反相权重加法器



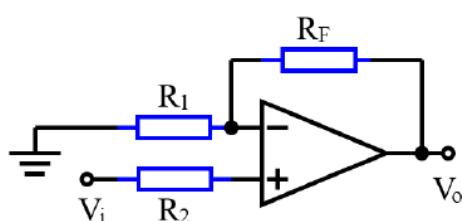
$$R_P = R_F || R_1 || R_2$$

$$V_o = -\left(\frac{R_F}{R_1} V_{i1} + \frac{R_F}{R_2} V_{i2}\right)$$

$$\text{若 } R_1 = R_2, \text{ 则 } V_o = -\frac{R_F}{R_1} (V_{i1} + V_{i2})$$

$$\text{若 } R_1 = R_2 = R_F, \text{ 则 } V_o = -(V_{i1} + V_{i2})$$

### (3) 同相放大器



$$\text{放大倍数 } A_V = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

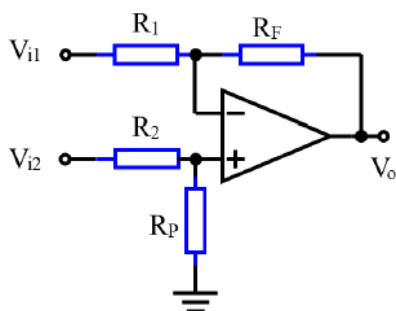
$$\text{输入电阻 } R_i = \infty$$

$$\text{输出电阻 } R_o = 0$$

$$R_2 = R_F || R_1$$

$$\text{若 } R_1 = \infty, \text{ 则 } V_o = V_i, \text{ 电压跟随器}$$

### (4) 差动放大器 (减法器)



$$V_o = \left(\frac{R_P}{R_2 + R_P} \cdot \frac{R_1 + R_F}{R_1} V_{i2} - \frac{R_F}{R_1} V_{i1}\right)$$

$$\text{若 } R_1 = R_2, R_F = R_P$$

$$\text{则 } V_o = \frac{R_F}{R_1} (V_{i2} - V_{i1})$$

## 三、实验任务和要求

### 1、反相放大器设计研究

(1) 设计一反相放大电路，要求  $R_i = 10K \Omega$ ， $|A_V| = 10$ 。

(2) 安装该电路，加 1kHz 正弦信号，研究输入、输出信号的幅度、相位关系。输入信号幅度自定。

### 2、设计并安装一个算术运算电路，要求实现：

A、 $V_o = -(V_{i1} + 0.5V_{i2})$

B、 $V_o = V_{i1} - V_{i2}$  (A、B 选做一个)

$V_{i1}$  用直流、 $V_{i2}$  用正弦信号在合适的幅度和频率范围内，进行验证并记录波形及参数。

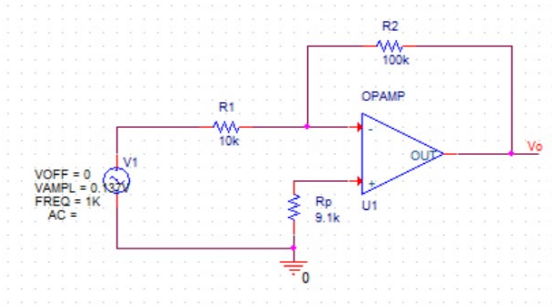
### 3、增益带宽积研究

## 四、实验过程与数据处理及记录

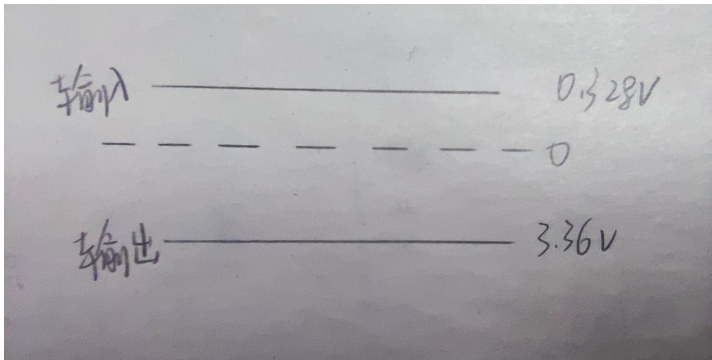
### 1、反相放大器设计研究

#### (1) 实验电路设计

实验名称: \_\_\_\_\_ 姓名: \_\_\_\_\_ 学号: \_\_\_\_\_



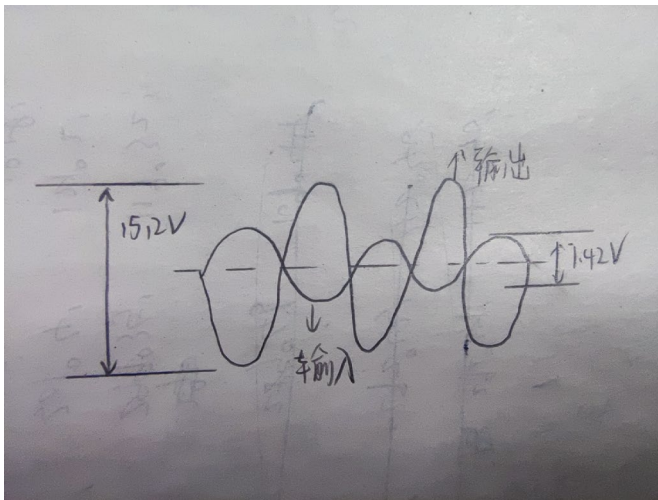
## (2) 一组直流



输入  $V_i = 0.328V$ , 输出  $V_o = -3.36V$ , 两者关系约为  $V_o/V_i \approx -10$ , 图中可以看出输入输出反相。

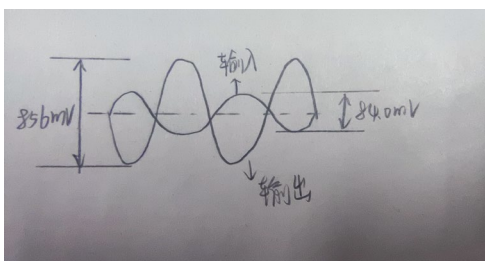
## (3) 两组交流

### A、无衰减



输入电压峰峰值1.42V, 输出电压峰峰值15.2V, 增益约为10, 信号周期为1ms, 图中可以看出输入输出反相

### B、40dB衰减



实验名称：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_

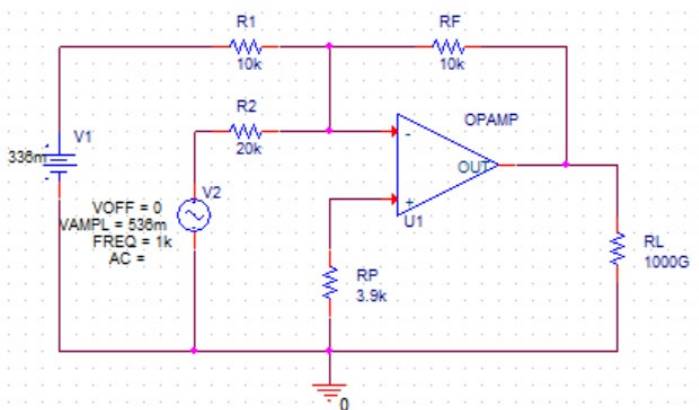
此模式下，输入电压峰峰值 856mV，输出电压峰峰值 84.0mV，仍约为 10 倍关系。

(4) 数据表格

|             | 输入信号 Vi           | 输出信号 Vo         | $A_v= V_o/V_i $ |
|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| 直流信号        | 0.328V            | 3.36V           | 10.24           |
| 无衰减交流信号     | $1.42V/2=0.71V$   | $15.2V/2=7.6V$  | 10.70           |
| 40dB 衰减交流信号 | $84.0mV/2=42.0mV$ | $856mV/2=428mV$ | 10.19           |

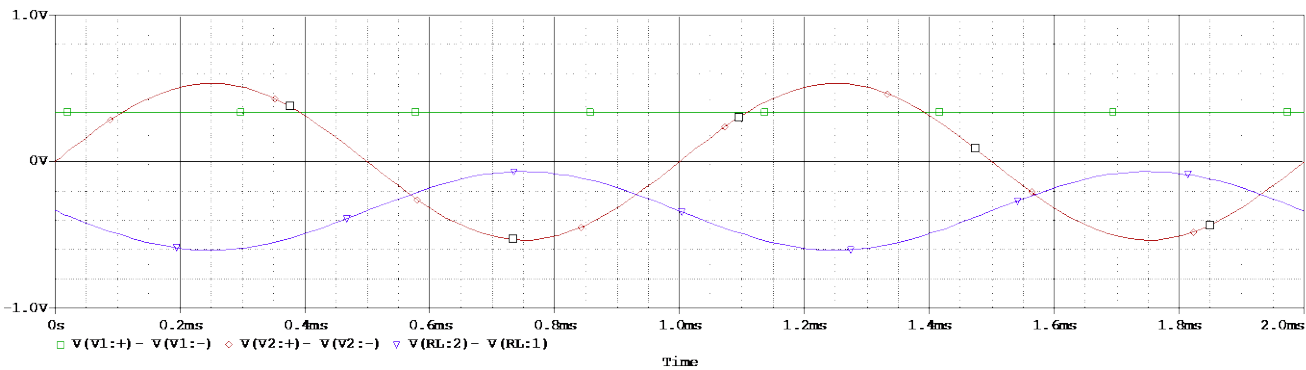
2、设计并安装一个算术运算电路，要求实现：  $V_o = (V_{i1} + 0.5V_{i2})$

(1) 实验电路设计



(2) 仿真

设置时域扫描，仿真结果如下：



各信号幅值：

$V(V1:+) - V(V1:-)$  336.000m  $V(V2:+) - V(V2:-)$  535.797m  $V(RL:2) - V(RL:1)$

在误差允许范围内，输出信号幅值  $V_o = V_{i2}/2$ ；交流输入信号与输出信号相位差恒定，为  $\pi$  的奇数倍，任取一处， $V_o = -603.137mV$ ， $V_{i1} = 336mV$ ， $V_{i2} = 534.278mV$ ； $-(V_{i1} + 0.5V_{i2}) = -603.139mV$ ，可见  $V_o = -(V_{i1} + 0.5V_{i2})$  成立

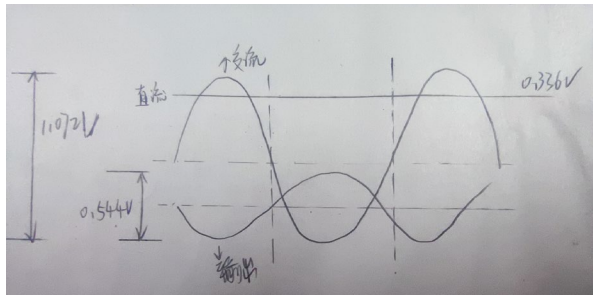
(3) 数据记录

| 输入信号 $V_{i1}$ (直流) | 输入信号 $V_{i2}$ 幅值 (交流) | 输出信号 $V_{i1}$ 幅值  |
|--------------------|-----------------------|-------------------|
| 0.336V             | $1.072V/2=0.536V$     | $0.544V/2=0.272V$ |

实验结果与仿真结果相符，该电路实现了  $V_o = -(V_{i1} + 0.5V_{i2})$ ；在误差允许范围内，输出信号幅值  $V_o = V_{i2}/2$ ；交流输入信号与输出信号相位差恒定，为  $\pi$  的奇数倍

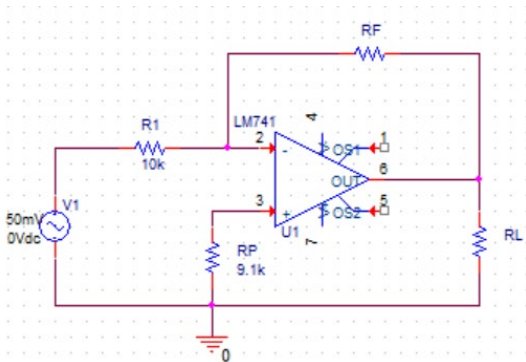
装  
订  
线

实验名称: \_\_\_\_\_ 姓名: \_\_\_\_\_ 学号: \_\_\_\_\_

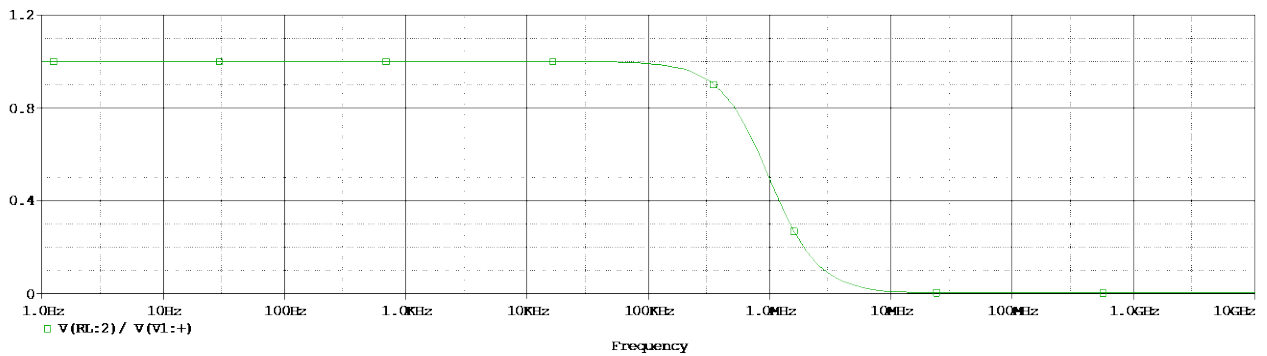


### 3、增益带宽积研究

#### (1) 仿真结果



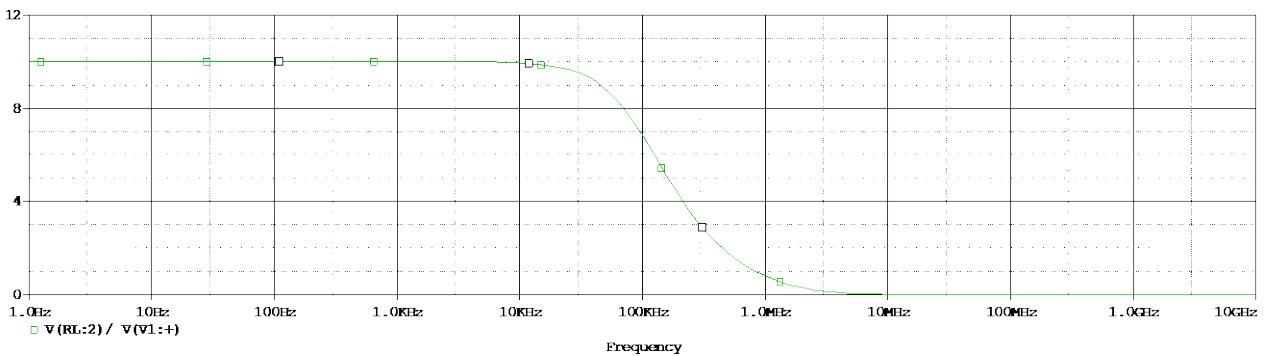
a.  $R_f=10k\Omega$



| X Values        | 10.000K |
|-----------------|---------|
| V(RL:2)/V(V1:+) | 1.0000  |

| X Values        | 641.800K |
|-----------------|----------|
| V(RL:2)/V(V1:+) | 710.383m |

b.  $R_f=100k\Omega$

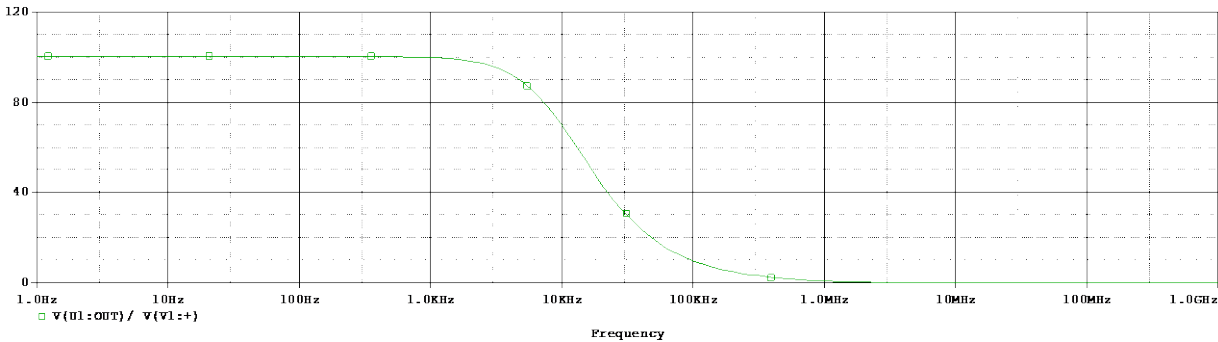


| X Values        | 1.0000K |
|-----------------|---------|
| V(RL:2)/V(V1:+) | 10.003  |

| X Values        | 94.869K |
|-----------------|---------|
| V(RL:2)/V(V1:+) | 7.0503  |

c.  $R_f=1M\Omega$

实验名称：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_



| X Values           | 9.767K | 1.0000  |
|--------------------|--------|---------|
| V(U1:OUT)/ V(V1:+) | 71.141 | 100.325 |

(2) 实验测试结果

|   | Rf (Ω) | R1 (Ω) | Vi           | Vo             | Av =  Vi/Vo | BW (Hz) | Av·BW  |
|---|--------|--------|--------------|----------------|-------------|---------|--------|
| 1 | 10k    | 10k    | 116mV/2=58mV | 114mV/2=57mV   | 0.9828      | 400k    | 393.1k |
| 2 | 100k   | 10k    | 106mV/2=53mV | 1048mV/2=524mV | 9.887       | 68k     | 672.3k |
| 3 | 1M     | 10k    | 114mV/2=57mV | 11.28V/2=5.64V | 98.95       | 7k      | 692.6k |

在第二组第三组实验中，增益带宽积大致相等，为 680k 左右，但在反馈电阻为 10kΩ的情况下，增益带宽积出现了较大偏差，与仿真结果相仿。

五、讨论与心得

通过本次放大电路设计实验，了解了如何利用运算放大器搭建基本运算电路。对于几种连接方式和运算放大器的理解都得到了一定提升。此外在仿真过程中也学习了其仿真和设计方法，而在实际操作中，需要根据电路的条件，来选择合适的运放及输入电阻、反馈电阻的阻值，我设计电路的能力也得到了很大的锻炼。

这次实验需注意的是在测量增益带宽积时，如果电压增益较大，在测电压增益时就需要适当调小信号频率，否则测得结果会有比较大的误差。

这次运放的设计也帮我复习了一些理论课的知识，在做这次实验之前很多运放的相关的知识已经记不太清了，但经过这次实验许多要注意的地方又得到了一定加强。