

# 浙江大学实验报告

专业 1: 机械工程

姓名 1: 徐屹寒

学号 1:

专业 2:

姓名 2:

学号 2:

日期: 11.5

地点: 东 3-308

课程名称: 电工电子学实验 指导老师: 陆玲霞 实验类型: 验证型

实验名称: 集成运算放大器 MWORKS 仿真及实现 (一) 成绩: 教师签名:

## 一、实验目的

1. 了解集成运算放大器的基本使用方法和三种输入方式。完成集成运算放大器 MWORKS 仿真及实现相关实验内容

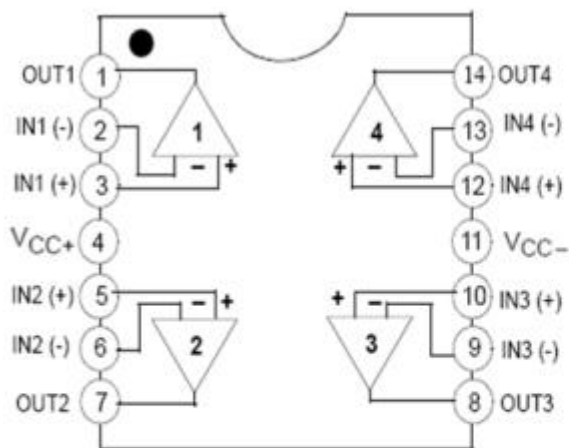
2. 掌握集成运算放大器构成的比例、加法、减法、积分等运算电路的原理和功能。

## 二、实验设备

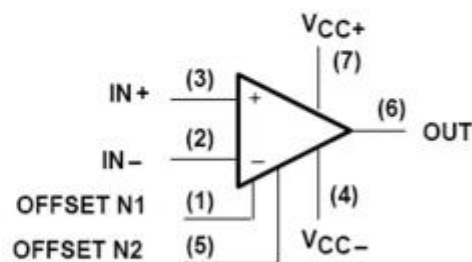
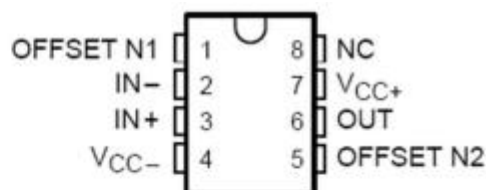
模拟电子技术实验箱（带电源），双踪数字示波器，函数信号发生器，数字式万用表，电脑（用于仿真）

## 三、实验原理

1. 集成运放的外引线排列

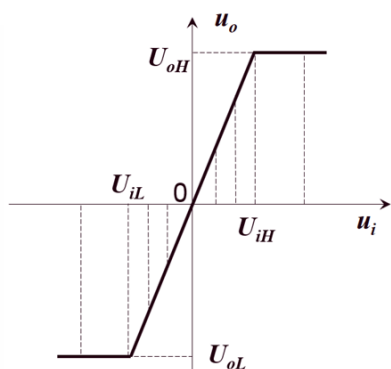


LM324



uA741引脚及符号

2. 集成运放的电压传输特性和理想特性



$$A_{od} \rightarrow \infty$$

$$R_{id} \rightarrow \infty$$

$$R_{od} \rightarrow 0$$

$$K_{CMR} \rightarrow \infty$$

### 集成运放的电压传输特性

### 集成运放的理想特性

#### 3. 同相输入比例运算电路

当输入端 A 加入信号电压  $u_i$  时，在理想条件下（输入电流很小），其输入输出的关系为：

$$u_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) u_i$$

#### 4. 反相加法运算电路

当输入端 A、B 加入  $u_{i1}, u_{i2}$  信号时，其输出电压为：

$$u_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} u_{i1} + \frac{R_f}{R_2} u_{i2}\right)$$

#### 5. 减法运算电路

当输入端 A、B 加入  $u_{i1}, u_{i2}$  信号时，在理想条件下，且

$R_1 = R_2, R_f = R_3$  时，其输出电压为：

$$u_o = \frac{R_f}{R_1} (u_{i2} - u_{i1})$$

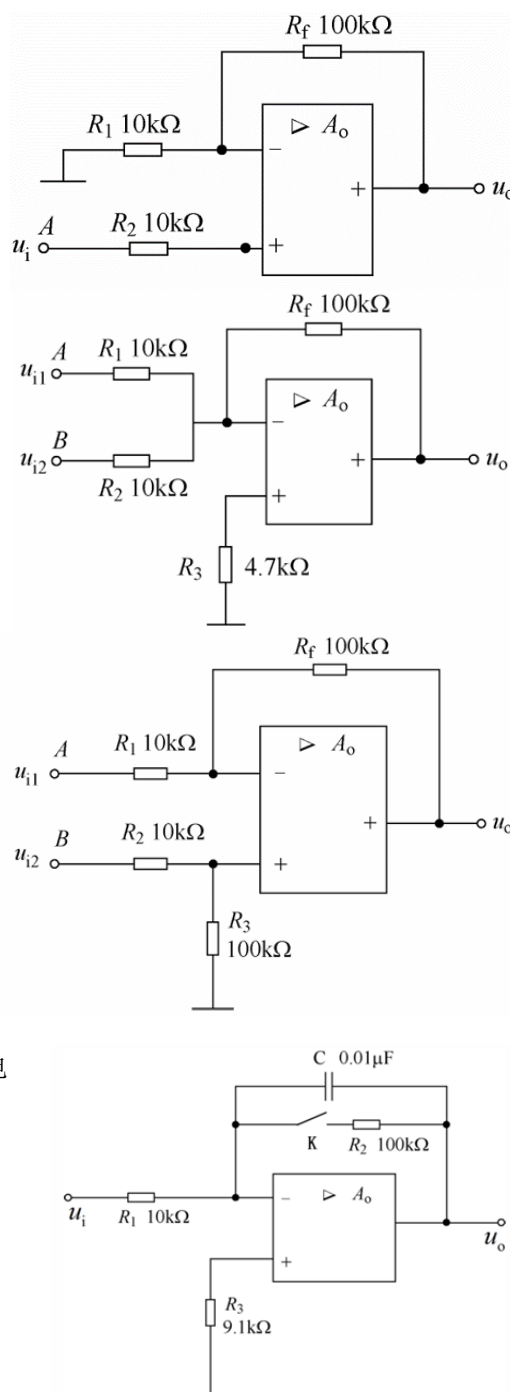
#### 6. 积分运算电路

当开关 K 断开时，输入在  $t=0$  时加入一大为  $U_1$  的信号，电容两端的初始电压为零，则输出为

$$u_o = -\frac{1}{R_1 C} \int u_i dt = -\frac{U_1}{R_1 C} t$$

当开关 K 闭合时，若输入信号的频率满足  $\omega \gg \frac{1}{R_2 C}$ ，则输出

可近似为



$$u_o = -\frac{1}{R_1 C} \int u_i dt$$

若此输入信号为满足频率要求的方波时，则输出为三角波。

#### 四、预习要求

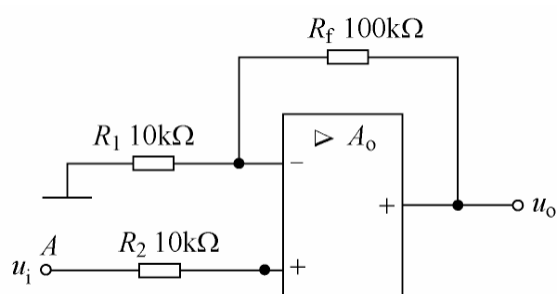
预习课本、学在浙大和钉钉群上传的课件、学银在线（学习通）上的视频学习，学习了电工电子学中的集成运算放大器

#### 五、实验内容

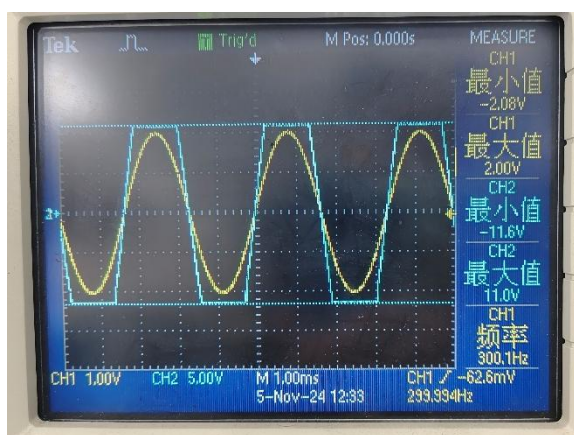
##### 1. 同相输入比例运算电路

###### 1、操作方法与实验步骤

按右图电路接线输入峰值为 2V（峰峰值 4V）、频率为 300Hz 的正弦波。用示波器双踪观察输入和输出波形（YT 和 XY 模式，注意调零），记录示波器波形，根据波形计算比例系数（传输特性曲线）



###### 2、实验记录



YT 模式

$$\text{由 } u_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) u_i, \text{ 比例系数} = \frac{u_o}{u_i} - 1 = 5.54$$



XY 模式

##### 2. 反相加法运算电路

###### 1、操作方法与实验步骤

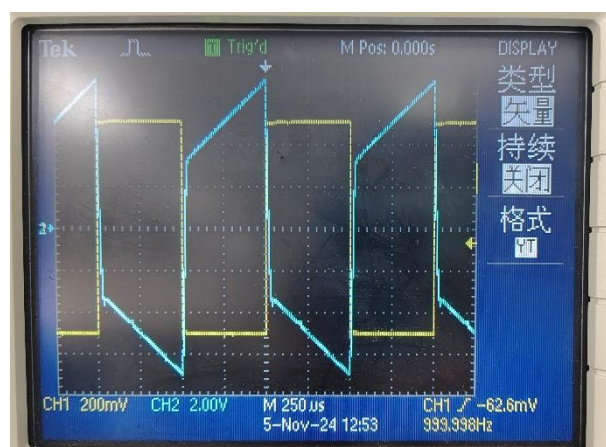
A 端输入峰值为 0.5V、频率为 1kHz 的方波，B 端输入峰值为 0.2V、频率为 1kHz 的三角波，要求方波超前三角波 90°。用示波器双踪观察输入和输出波形，两个输入的波形，确认电路功能正

确，记录示波器波形。

## 2、实验记录



输入端



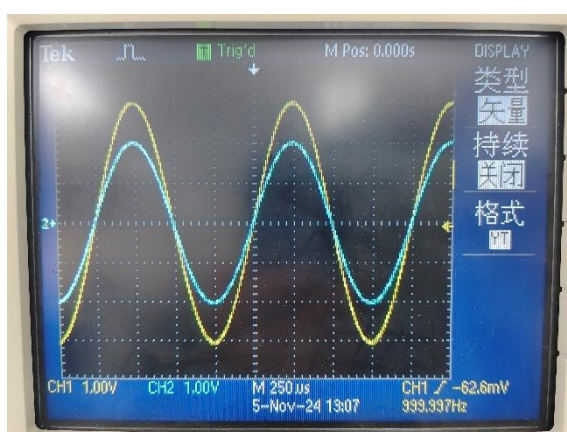
输出端

## 3. 减法运算电路

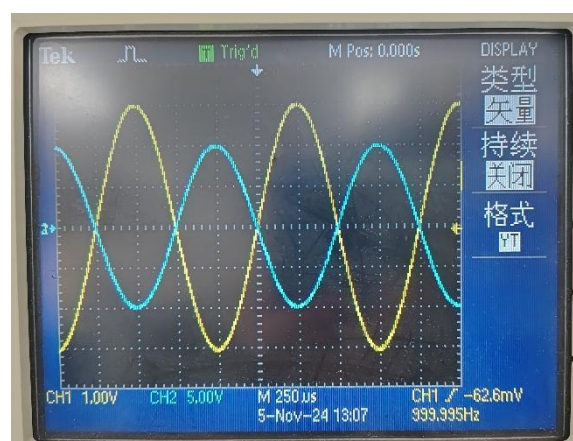
### 1、操作方法与实验步骤

A 端输入峰值为 3V、频率为 1kHz 的正弦波，B 端输入峰值为 2V、频率为 1kHz 的同相位正弦波。用示波器双踪观察输入和输出波形，确认电路功能正确，记录示波器波形（YT 模式下两个输入、一个输入与输出的波形）。

## 3、实验记录



输入信号



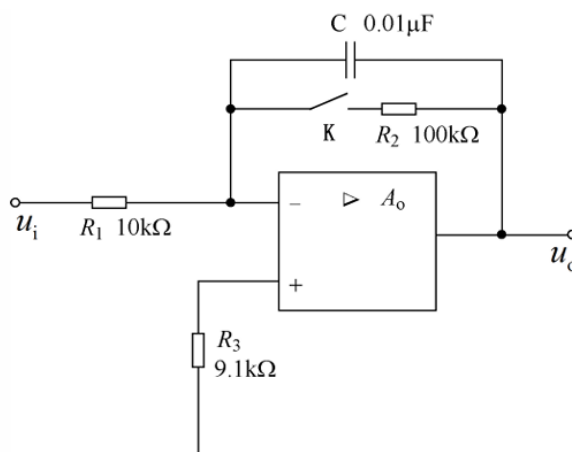
输出信号



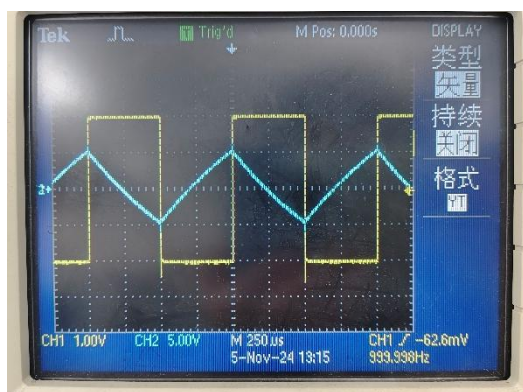
#### 4. 积分运算电路

##### 1、操作方法与实验步骤

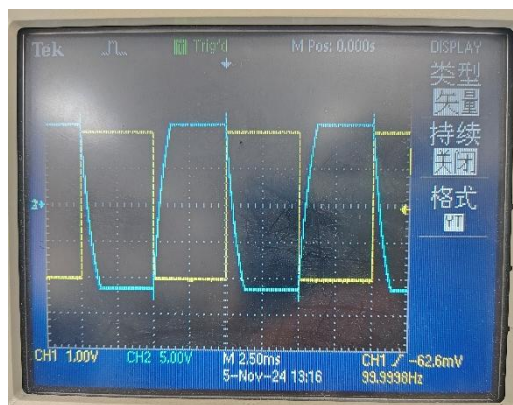
输入峰值为 2V，频率为 1kHz 的方波。用示波器双踪观察输入和输出波形，记录示波器波形。改变方波的频率为 100Hz 和 10kHz，观测输入和输出波形。



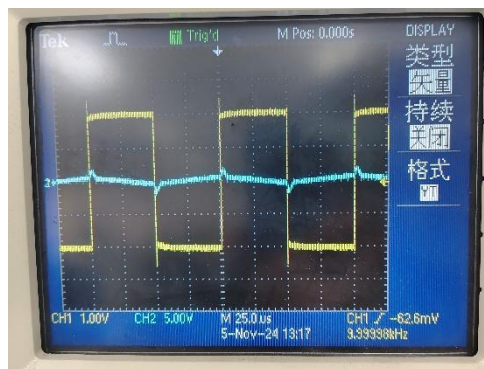
##### 2、实验记录



1kHz



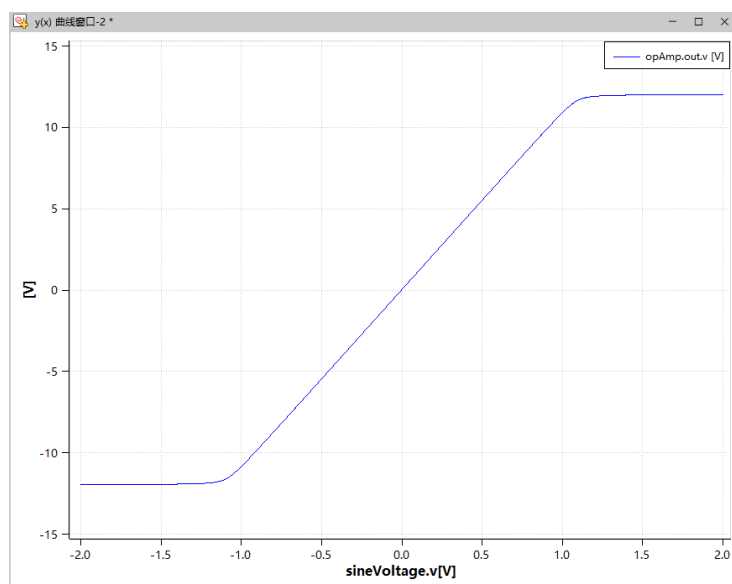
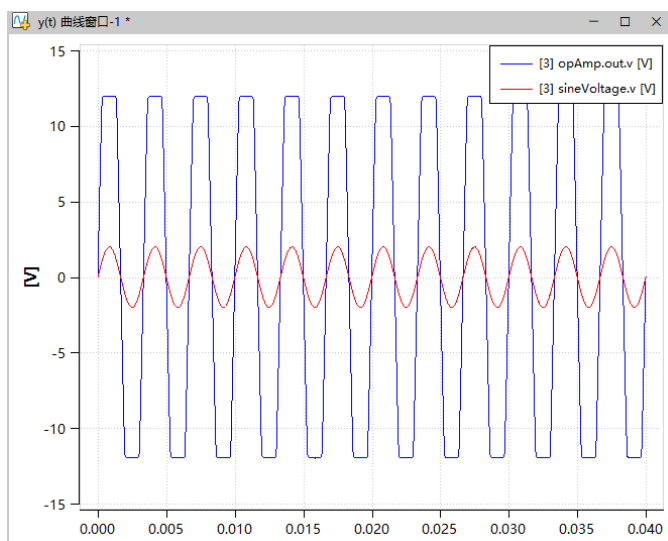
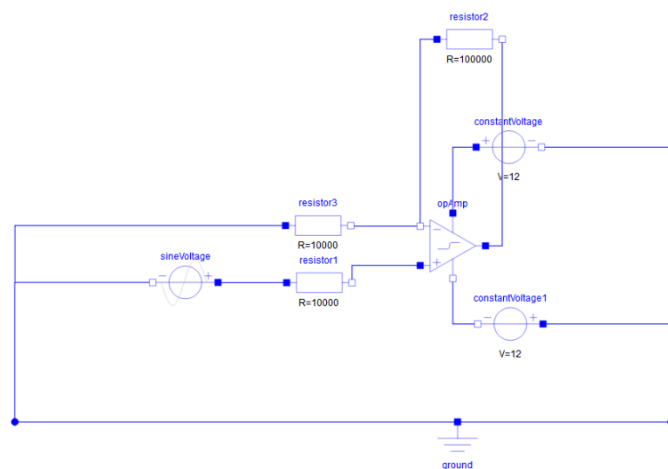
100Hz



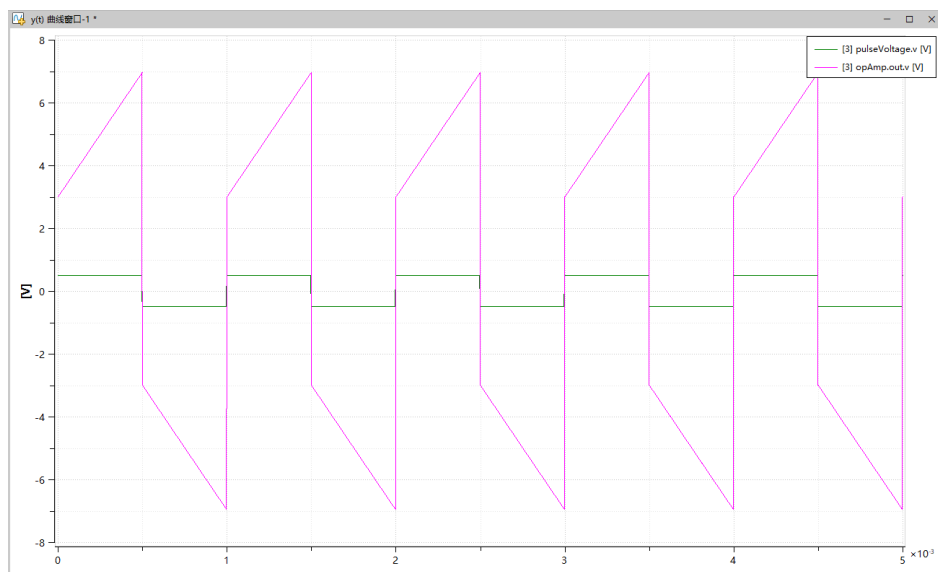
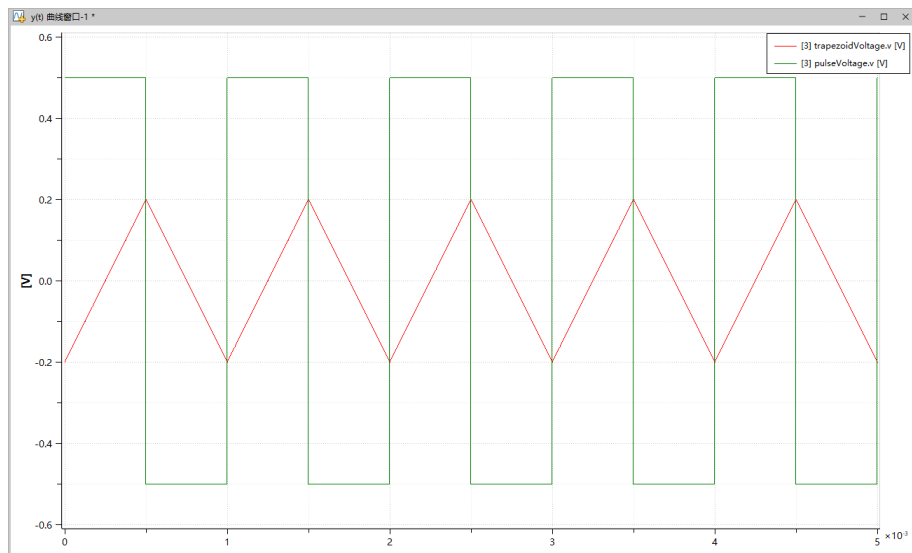
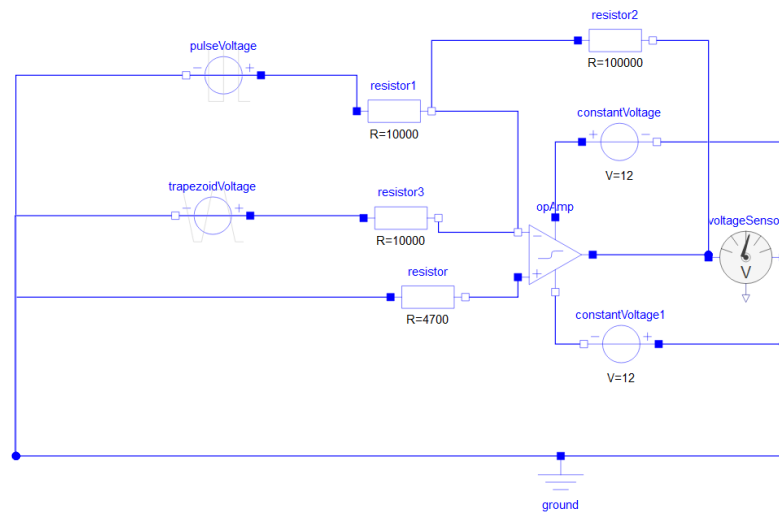
10kHz

## 5. 静态工作点的调整和测量 MWORKS 仿真及实现

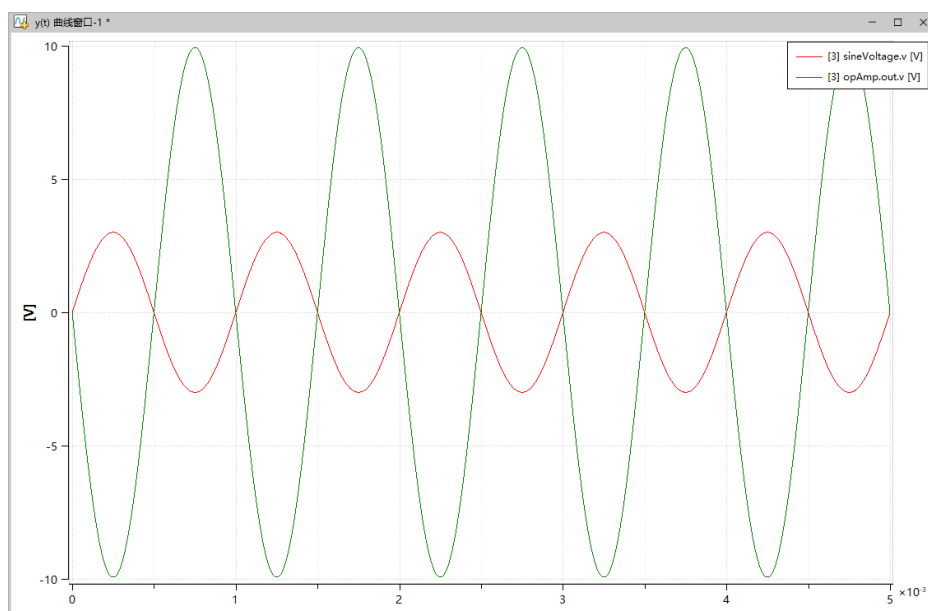
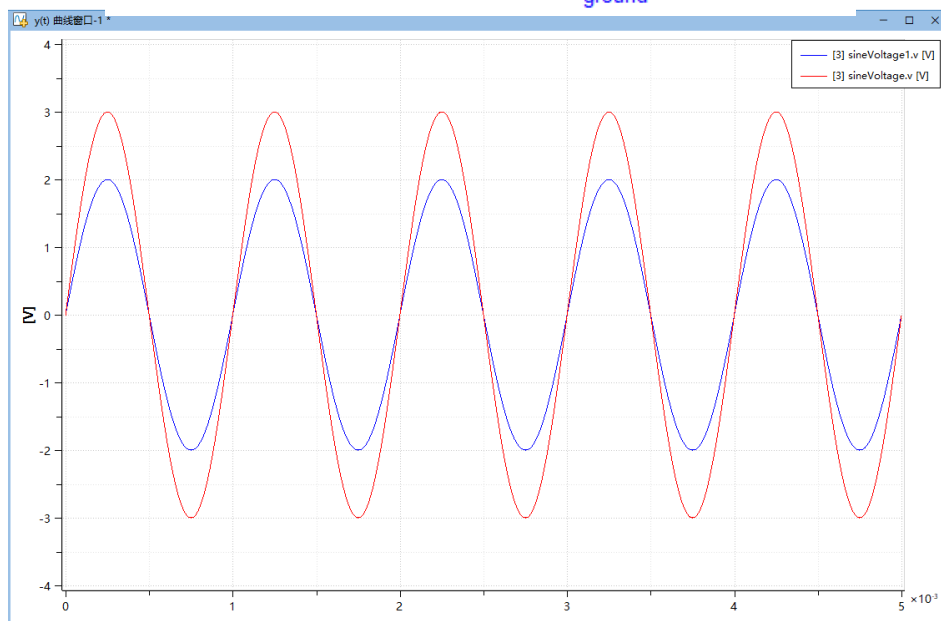
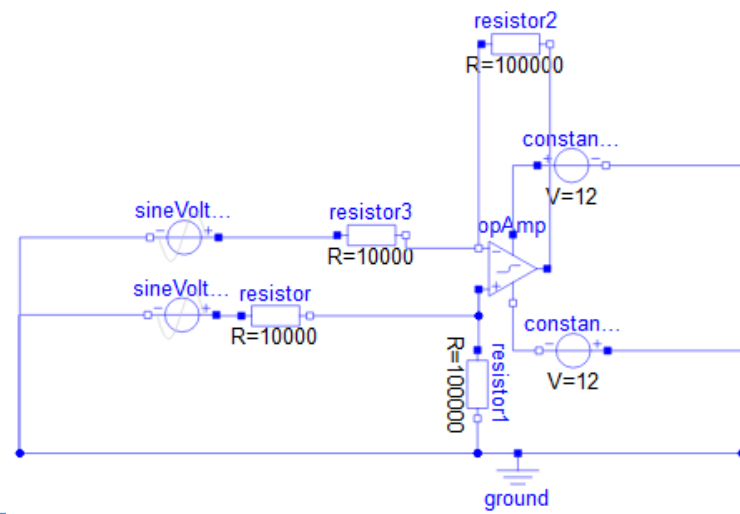
### (1) 同相输入比例运算电路



## (2) 反相加法运算电路

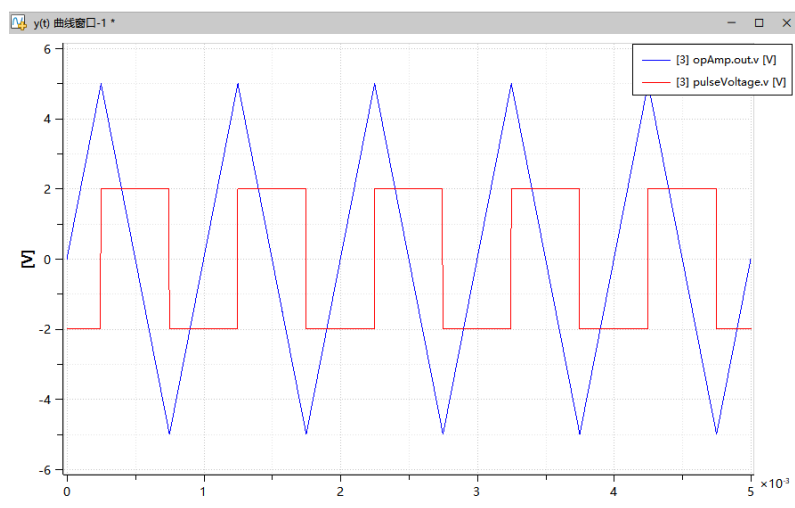
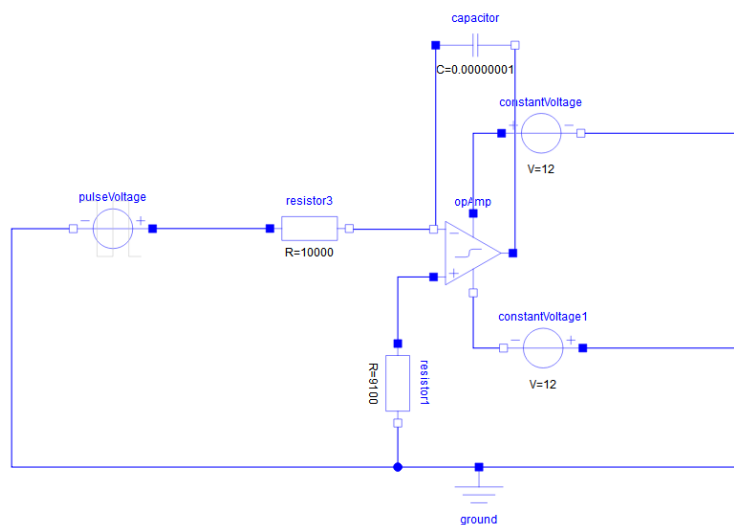


### (3) 减法运算电路

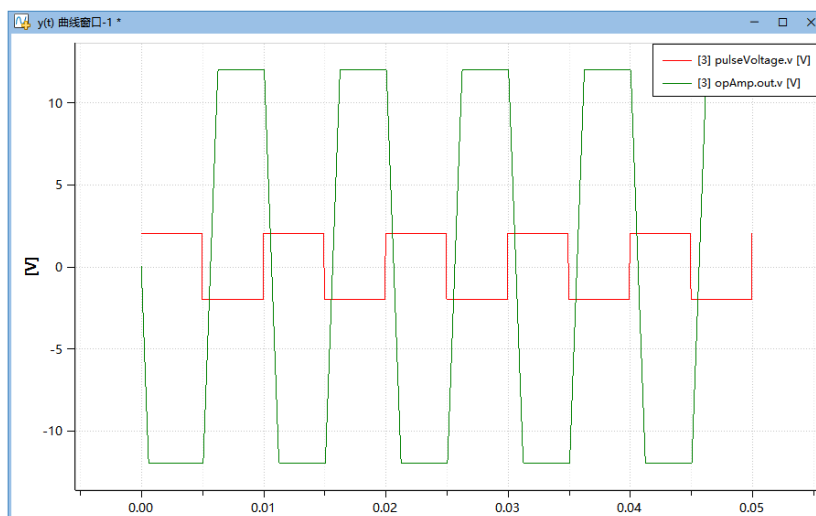




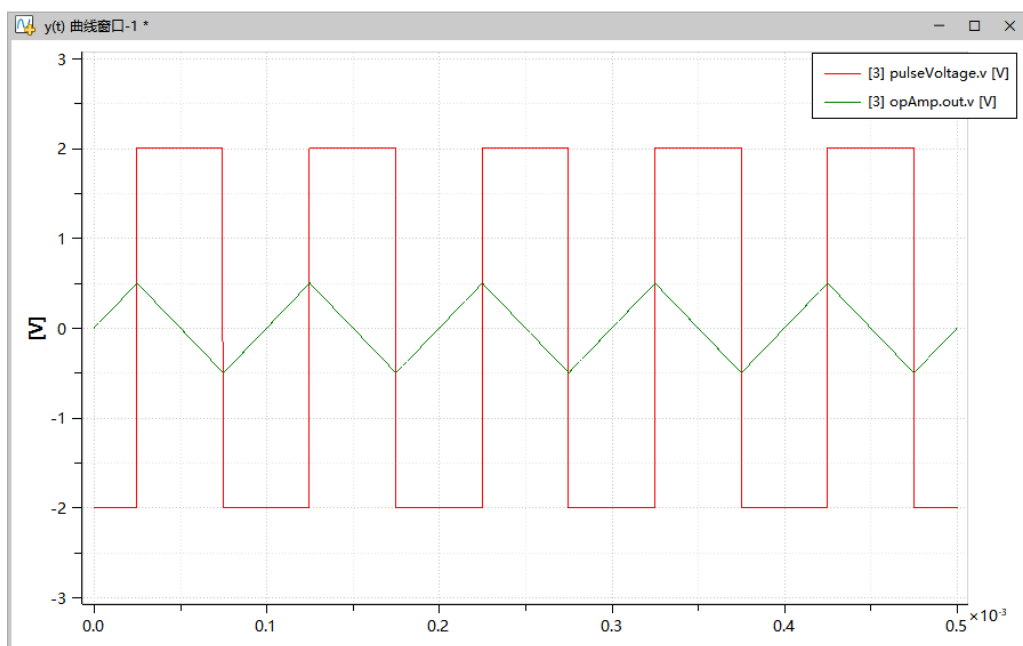
#### (4) 积分运算电路



1kHz



100Hz



10kHz

## 六、实验总结

### 1、实验结果分析

1、推导集成运放基本运算电路输入输出关系表达式。

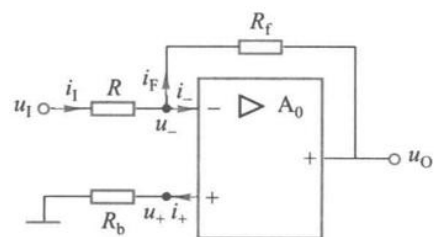
(1) 反相输入比例运算电路：

$$i_- = i_+ \approx 0, u_- \approx u_+ = R_b i_+ \approx 0$$

$$u_0 = u_- - R_f i_F = -R_f i_F$$

$$i_F = i_1 - i_- = i_1 = \frac{u_1 - u_-}{R} = \frac{u_1}{R}$$

$$u_0 = -\frac{R_f}{R} u_1$$

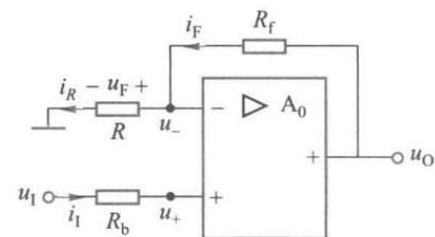


(2) 同相输入比例运算电路

$$u_- \approx u_+ = u_1 - R_b i_1 \approx u_1$$

$$u_0 = u_- + R_f i_F = u_1 + R_f i_F$$

$$i_F = i_R = \frac{u_-}{R} = \frac{u_1}{R}$$

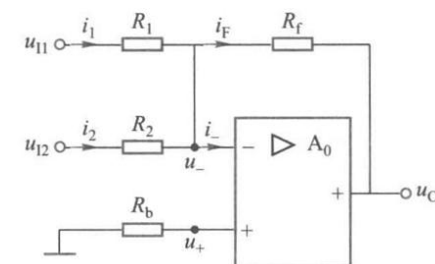


(3) 加法运算电路

$$i_- \approx 0$$

$$i_1 + i_2 = i_F$$

$$\text{因此 } \frac{u_{11} - u_-}{R_1} + \frac{u_{12} - u_-}{R_2} = \frac{u_- - u_0}{R_f}$$



$$u_- \approx 0$$

$$\frac{u_{11}}{R_1} + \frac{u_{12}}{R_2} = -\frac{u_0}{R_f}$$

$$u_0 = -\left(\frac{R_f}{R_1}u_{11} + \frac{R_f}{R_2}u_{12}\right)$$

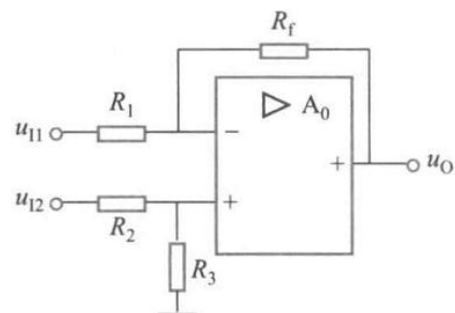
(4) 减法运算电路

$$\text{当只有 } u_{11} \text{ 作用时 } u'_0 = -\frac{R_f}{R_1}u_{11}$$

$$\text{当只有 } u_{12} \text{ 作用时 } u''_0 = \frac{R_1+R_1}{R_1}u_+ = \frac{R_1+R_1}{R_1} \frac{R_3}{R_2+R_3}u_{12}$$

共同作用时

$$u_0 = u'_0 + u''_0 = -\frac{R_f}{R_1}u_{11} + \frac{R_1+R_1}{R_1} \frac{R_3}{R_2+R_3}u_{12}$$



(5) 积分运算电路

$$i_- \approx 0, u_- \approx u_+ \approx 0$$

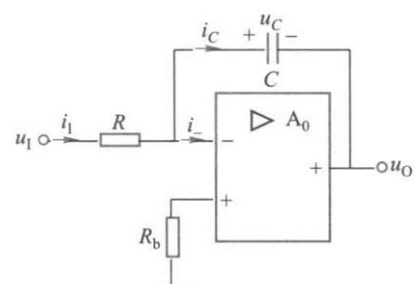
设电容电压  $u_C$  的初始值为  $u_C(0)$

$$u_0 = u_- - u_C = -u_C = -u_C(0) - \frac{1}{C} \int i_C dt = -u_C(0) - \frac{1}{C} \int i_i dt$$

$$i_i \approx u_i / R$$

$$u_0 = -u_C(0) - \frac{1}{RC} \int u_i dt$$

$$u_C(0) = 0 \text{ 时 } u_0 = -\frac{1}{RC} \int u_i dt$$



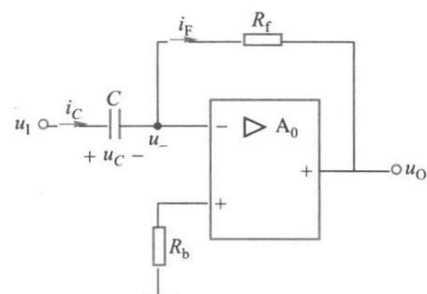
(6) 微分运算电路

$$u_0 = u_- - R_f i_F = -R_f i_F = -R_f i_C$$

$$i_C = C \frac{du_C}{dt}$$

$$= C \frac{du_1}{dt} \quad (u_C = u_1 - u_- = u_1)$$

$$u_0 = -R_f C \frac{du_1}{dt}$$



2、由集成运放构成的比例、加法、积分等运算电路，随着输入电压或时间的增大，电路的输出电压会无限增大吗？为什么？

不会。运放的输入输出电压的线性关系只是在某一个电压范围才有效,超过这个范围就不是线性关系了。

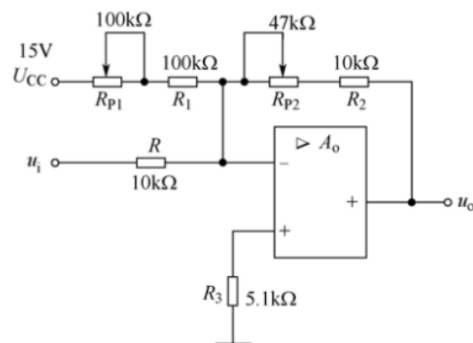
- 3、如图所示电路,要求当  $u_i$  在  $-1V \sim -5V$  范围内变

化时,  $u_o$  在  $0 \sim 10V$  范围内变化。试计算  $(R_1 + R_{p1})$  和

$(R_2 + R_{p2})$  的阻值。

$$\text{由 } u_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} u_{i1} + \frac{R_f}{R_2} u_{i2}\right)$$

$$(R_1 + R_{p1}) = 150k\Omega, (R_2 + R_{p2}) = 25k\Omega$$



- 4、同相输入比例运算电路实验中,比例系数理论值为  $\frac{R_f}{R_1} = 10$ , 实际值为  $\frac{u_o}{u_i} - 1 = 5.54$ , 原因是

能量守恒,  $u_o$  不可能高于  $12V$

积分运算电路实验中,信号频率越高,输出电压波形越接近输入电压的积分。

- 5、运放构成的各种运算电路的功能:即反相输入比例运算、同相输入比例运算、加法运算、减法运算、微分运算、积分运算

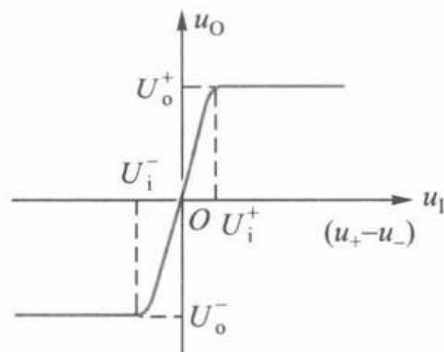
- 6、在线性区工作时,即  $U_i^- < u_i < U_i^+$ , 输出电压  $u_o$  与两

输入端之间的电压  $u_i$  呈线性关系,

在饱和区工作时,输出电压  $u_o = U_0^+$  (当  $u_i > U_i^+$  时)

或  $u_o = U_0^-$  (当  $u_i < U_i^-$  时), 这里  $U_0^+$  和  $U_0^-$  分别为

输出正饱和电压和负饱和电压,其绝对值分别略低于正、负电源电压。



## 2、误差分析

- 1、电路板上的电阻、电容及其它器件的标称值与实际值存在差异引起误差;

2、测量仪器本身具有的系统误差:函数信号发生器使用时间过长老化了而产生误差,实验中用示波器监视信号源输入电压,调节信号源幅值与示波器对照时发现两者的示数和读数间存在一定的差异,说明一起的老化带来了不课避免的系统误差,为了减少误差,本次实验中一律以示波器的读数为准。

3、信号源存在内阻,信号源的频率和幅值在实验过程中会发生波动,而在实验中并未考虑内阻带来的影响,也是误差的来源之一。

4、信号源与示波器必须共地,但是接线时注意同一个节点接线数目不能超过三个,否则会对实验结果产生较大的偏差。

- 5、积分运算电路实验中  $f = 10kHz$  时,为了方便对比未改变量程,导致输出电压测量精度很低,看

起来甚至不如  $f = 1kHz$  接近积分效果

6、仿真中运放的电压在  $t = 0$  时默认为 0，导致波形不对，我将信号源开始时间后移解决了这个问题。

### 3、心得体会

本次实验中我对集成运算放大电路有了更深一步的理解，也能够更熟练地运用各种仪器和 MWORKS 仿真软件。