

## 实验目的

1

掌握集成运算放大器的基本特性及正确使用方法；

2

掌握集成运放的三种输入方式，研究由集成运放组成的比例、加法、减法、积分和微分和精密全波整流等基本应用；

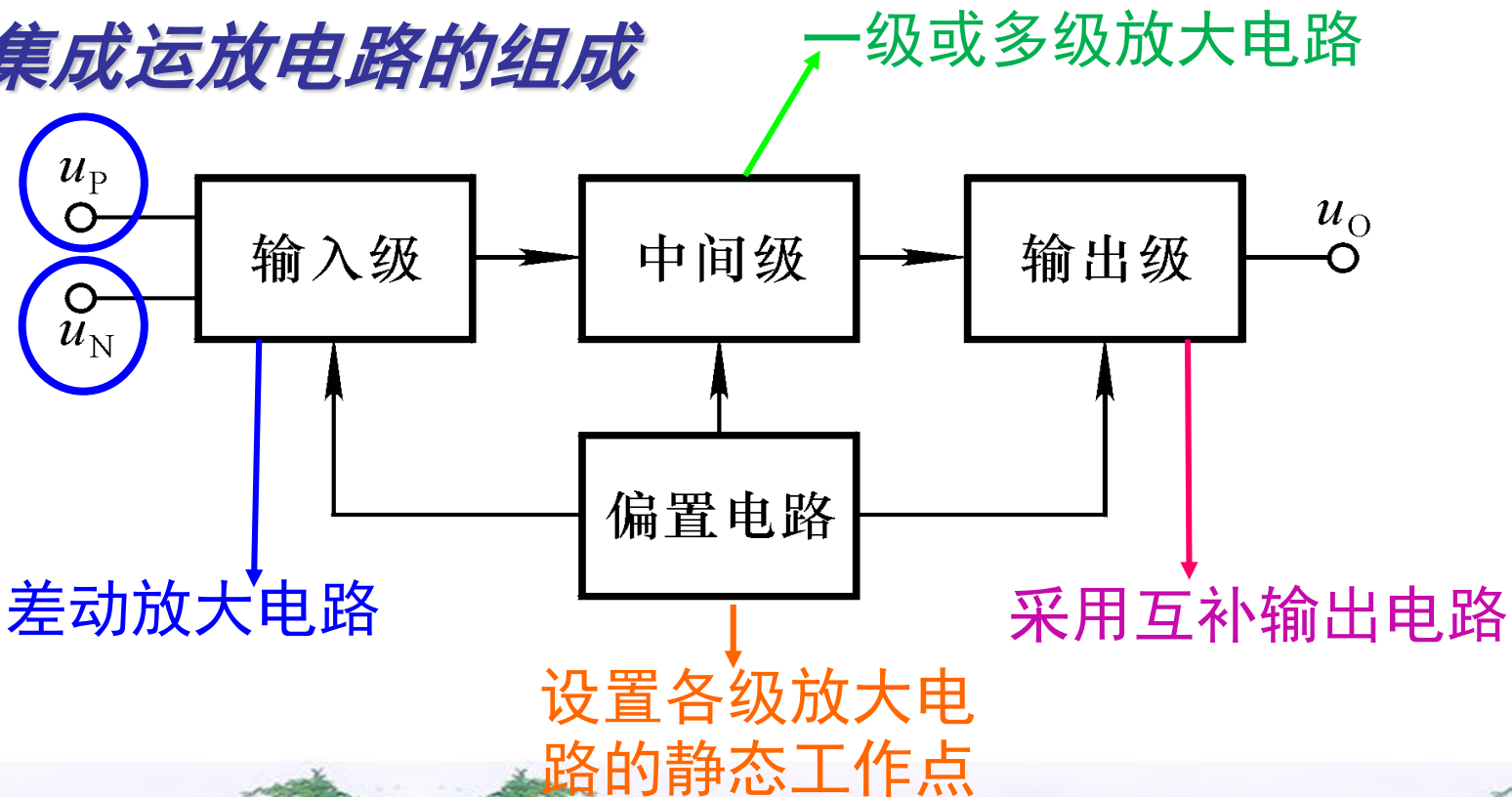
3

了解集成运放在实际应用时应考虑的一些问题。





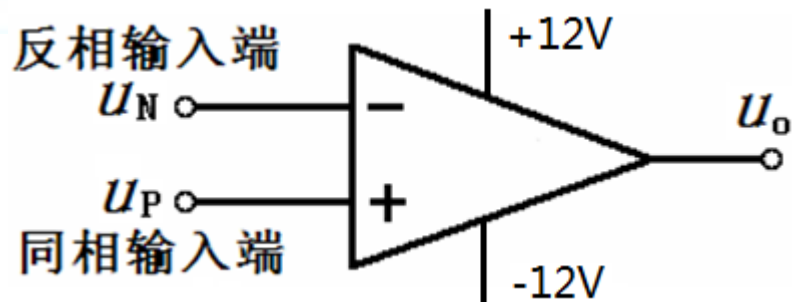
## 集成运放电路的组成



# 集成运放的电压传输特性



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

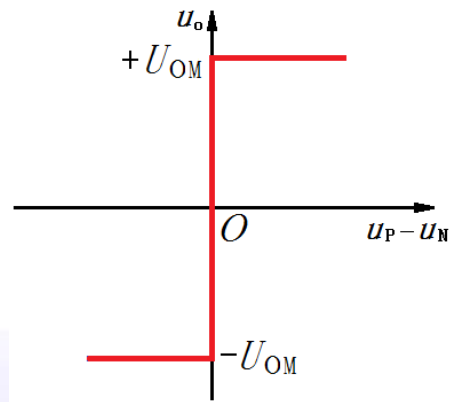
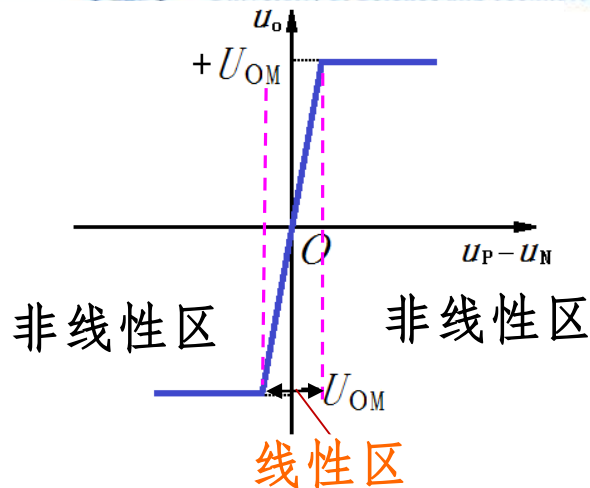


集成运放电路符号

在线性区，曲线的斜率为电压放大倍数， $u_O = A_{od}(u_P - u_N)$

$A_{od}$ 越大，线性区越小，当 $A_{od} \rightarrow \infty$ 时，**线性区  $\rightarrow 0$** 。

在**非线性区**，输出电压只有 $+U_{OM}$ 或 $-U_{OM}$ 两种可能。 **$\pm U_{OM}$ 受运放直流工作电源大小的限制**



# 理想集成运算放大器特点



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- ① 开环电压放大倍数  $A_{ud} \rightarrow \infty$  ;
- ② 输入电阻  $r_{id} \rightarrow \infty$  ;
- ③ 输出电阻  $r_{od} \rightarrow 0$  。

## 理想运放在线性区的两个重要特性：

(1) 输出电压与输入电压之间满足关系式

$$u_o = A_{od} (u_p - u_N)$$

由于  $A_{od} \approx \infty$ ，而  $u_o$  为有限值，因此， $u_p - u_N = 0$ 。即  $u_p = u_N$ ，称为“**虚假短路**”。

(2) 由于输入电阻  $r_{id} = \infty$ ，故流进运放两个输入端的电流可视为零，即  $i_p = i_N = 0$ ，称为“**虚断**”。





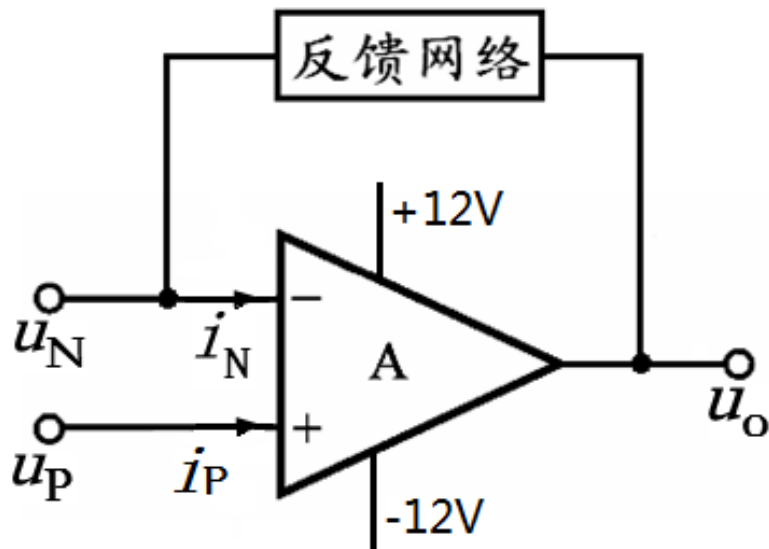
# 集成运放工作在线性区的电路特征：



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

## 电路引入负反馈

对于单个集成运放，  
通过无源的反馈网络将  
集成运放的输出端与反  
相输入端连接起来，就  
表明电路引入了负反馈。



可以通过电路是否引入了负反馈来判断电路是否工作在线性区。



## 理想运放的非线性工作区

若集成运放处于开环状态，或是只引入了正反馈，则表明集成运放工作在非线性区。

理想运放工作在非线性区的两个特点：

(1) 输出电压  $u_o$  只有两种可能的情况，分别为  $\pm U_{OM}$ 。

即：  $u_p > u_n$ ，  $u_o = + U_{OM}$  ；

$u_p < u_n$ ，  $u_o = - U_{OM}$  。

(2) 仍具有“虚断”的特点，即：  $i_p = i_n = 0$ 。





在运算电路中，以输入电压作为自变量，以输出电压作为函数，当输入电压变化时，输出电压将按一定的数学规律变化，即输出电压反映输入电压某种运算的结果。

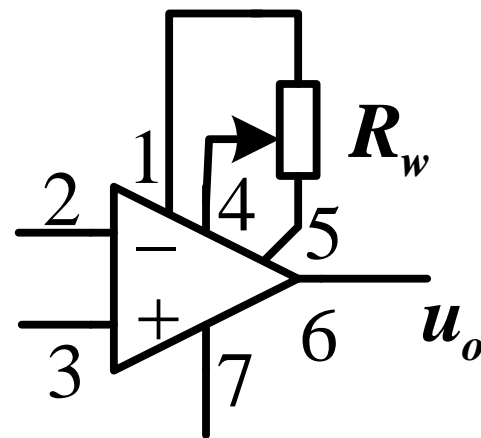
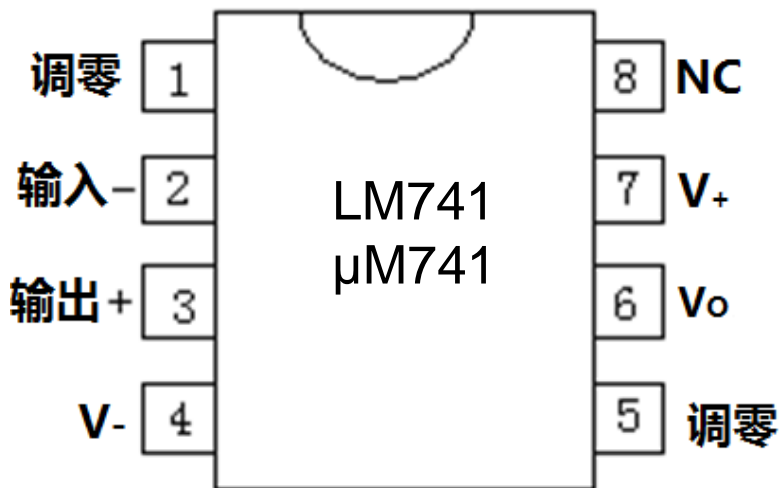
**运算电路**的特点是：

1. 集成运放必须工作在**线性区**，电路必须引入负反馈；
2. “**虚短**”和“**虚断**”是分析运算电路的基本出发点。在运算电路中，无论输入电压，还是输出电压，均是对“**地**”而言的。





## 二、741集成运放的管脚图 and 主要性能参数



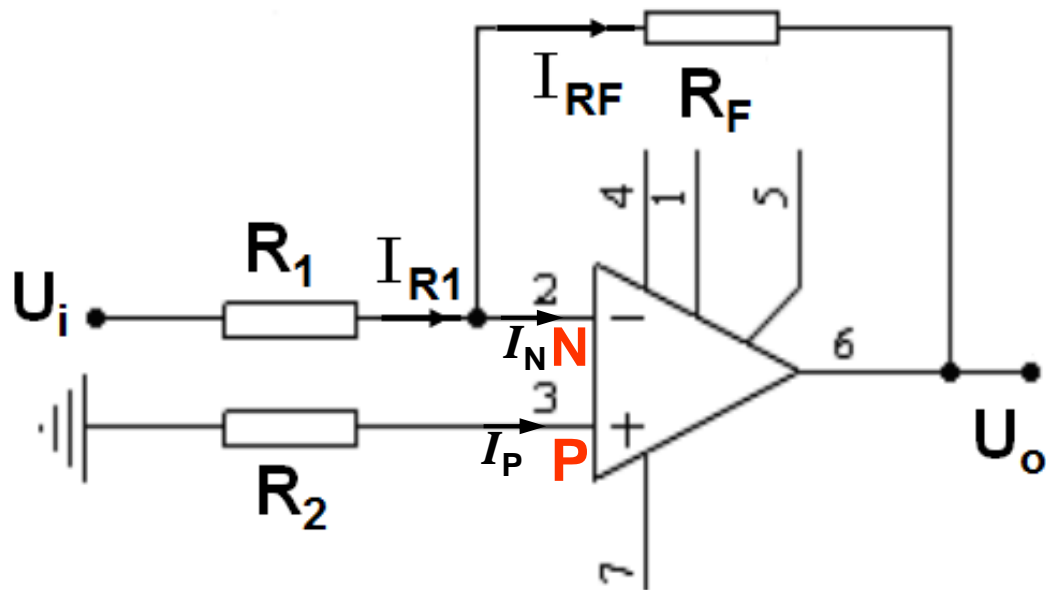
差动增益	输入阻抗	CMRR	输出阻抗	输入失调电流	输入失调电压	特征频率
$2 \times 10^5$	$> 2\text{M}\Omega$	90dB	$75\Omega$	200nA	1~5mV	1MHz







## 1. 反相比例运算电路



**虚断**  $I_P = I_N = 0$ ,  $I_{R1} = I_{RF}$

$$\frac{U_i - U_N}{R_1} = \frac{U_N - U_o}{R_F}$$

**虚短**  $U_N = U_P = 0$

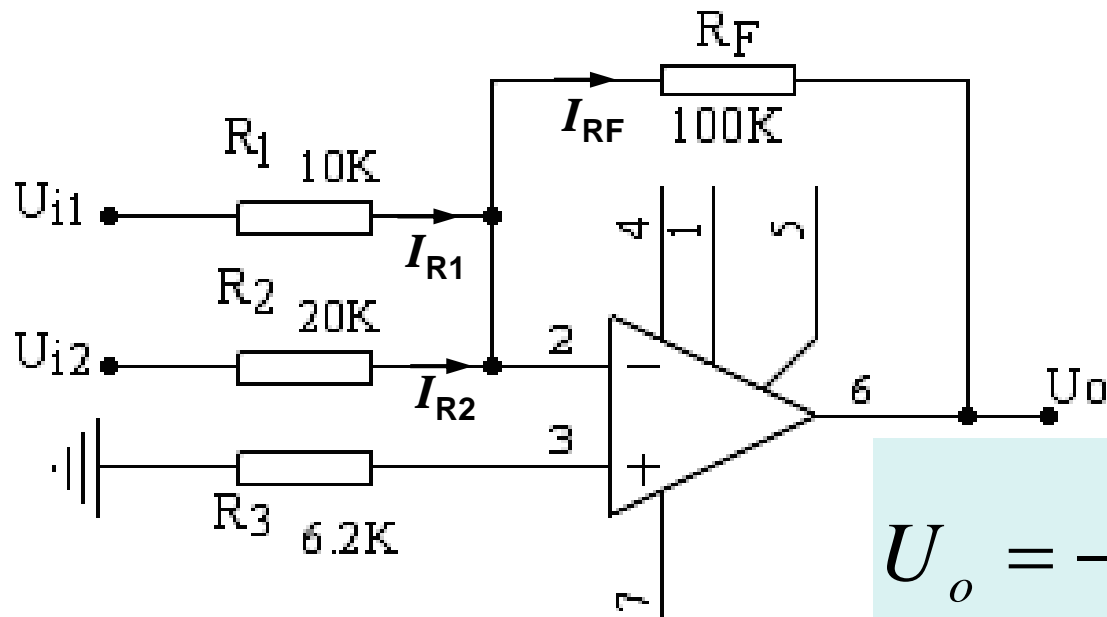
$$U_o = -\frac{R_F}{R_1} U_i$$

图3-1 反相比例运算电路





## 2. 反相加法电路



$$I_{R1} + I_{R2} = I_{RF}$$

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

图3-2 反相加法运算电路





## 3. 同相比例运算电路

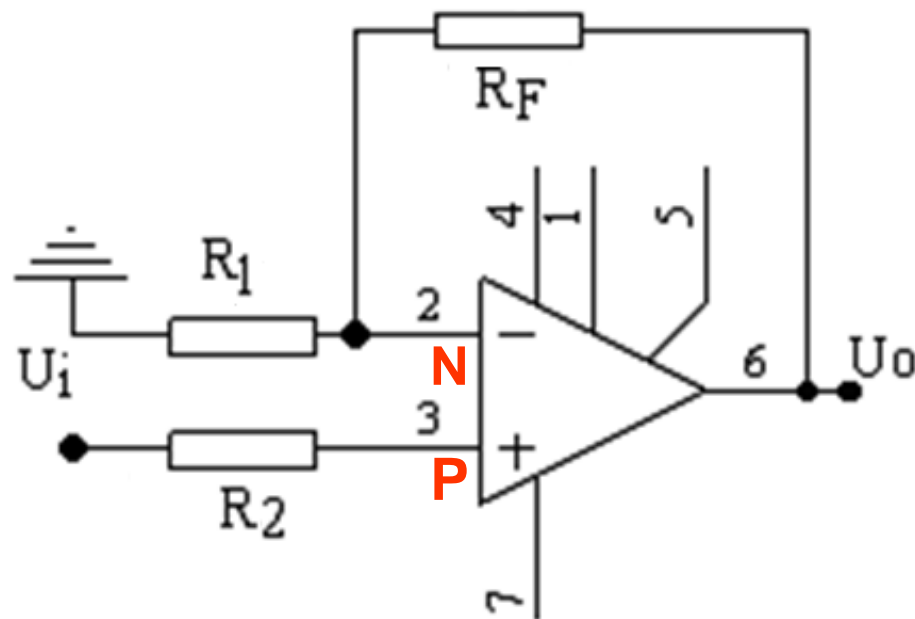


图3-3 同相比例运算电路

$$U_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) U_i$$

当  $R_1 = \infty$

或者  $R_F = 0$

$$U_o = U_i$$





# 实验原理



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

## 4. 差动放大电路（减法器）

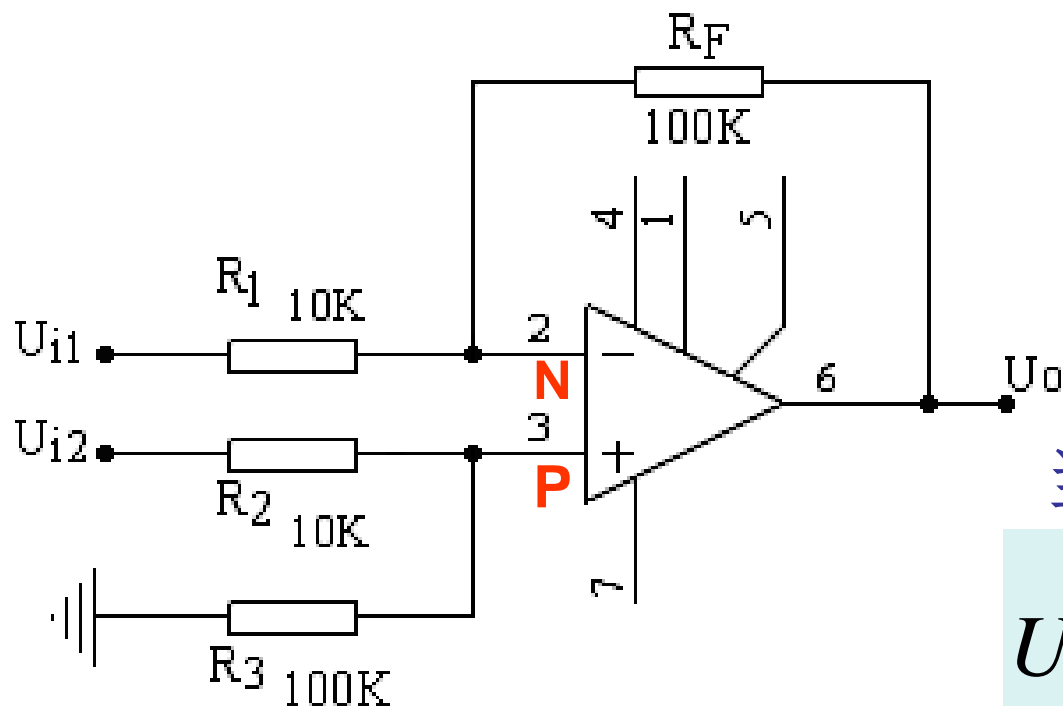


图3-4 差动放大电路

$$\frac{U_i - U_N}{R_1} = \frac{U_N - U_o}{R_F}$$

$$U_N = U_P = \frac{R_3}{R_2 + R_3} U_{i2}$$

当  $R_1 = R_2$ ,  $R_3 = R_F$  时

$$U_o = \frac{R_F}{R_1} (U_{i2} - U_{i1})$$





## 5. 积分运算电路

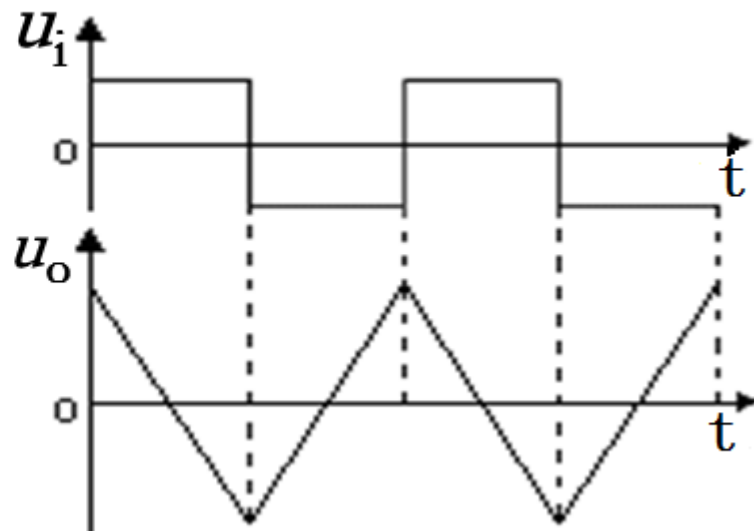
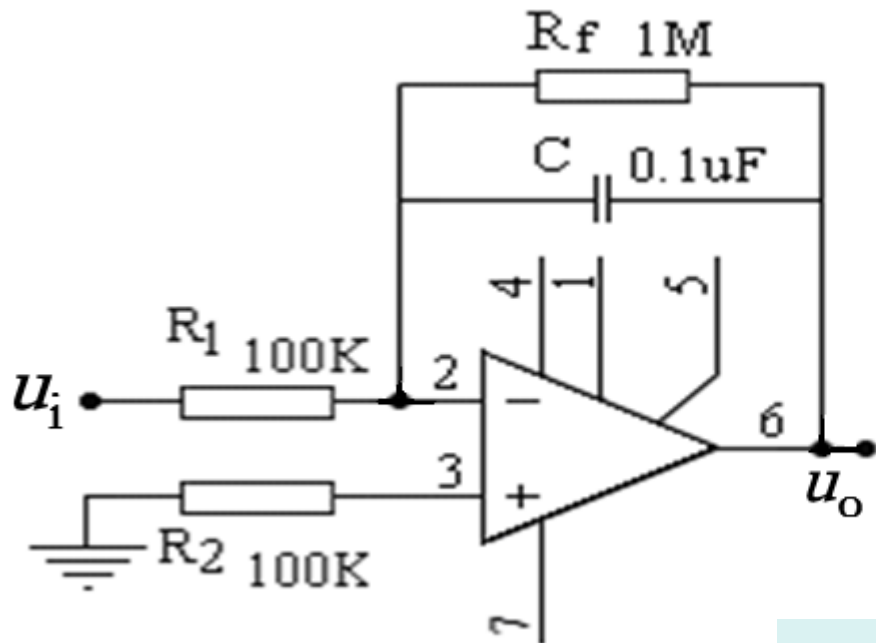


图3-5 反相积分运算电路

$$u_o(t) = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t u_i dt + u_c(0)$$





## 6. 微分运算电路

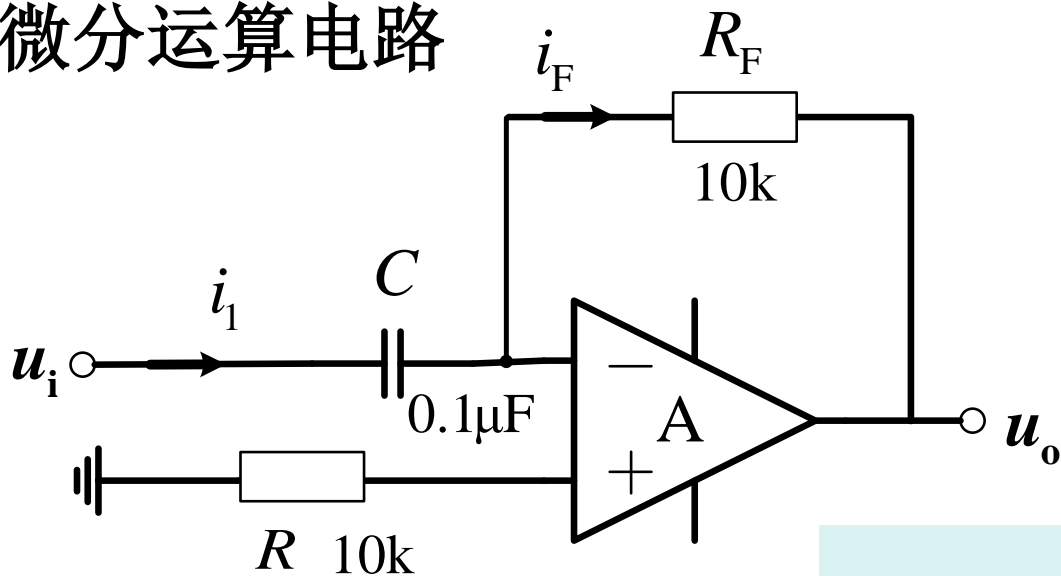


图3-6 反相微分运算电路

$$u_o(t) = -R_F C \frac{du_i}{dt}$$





由于电容 $C$ 的容抗随输入信号的频率升高而减小，导致输出电压随频率的升高而增加，为限制电路的高频电压增益，在输入端与电容 $C$ 之间接入一小电阻 $R_1$ ，当输入频率 $f_i$ 小于 $\frac{1}{2\pi R_1 C}$ 时，电路起微分作用；若输入频率远高于 $f_i$ 时，电路近似一个反相放大器。

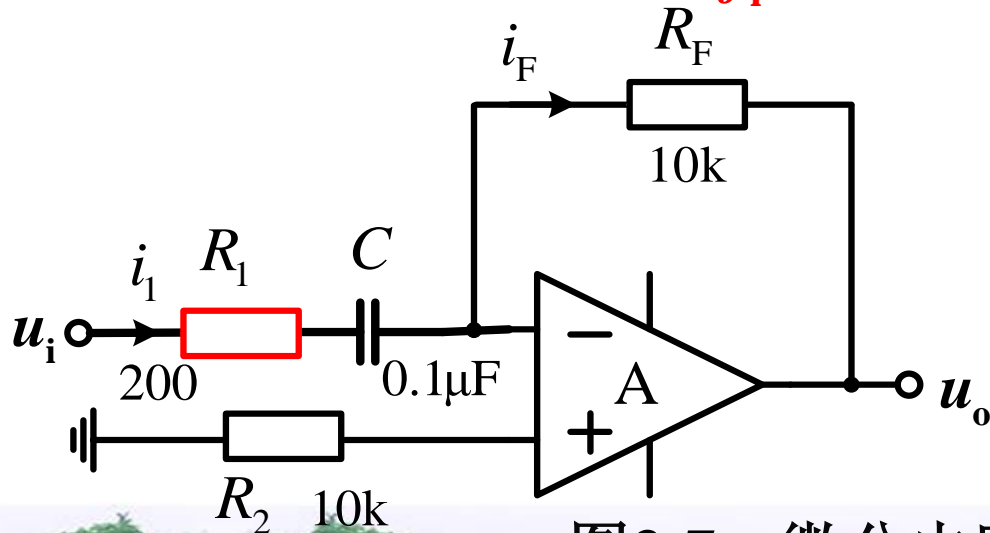


图3-7 微分电路



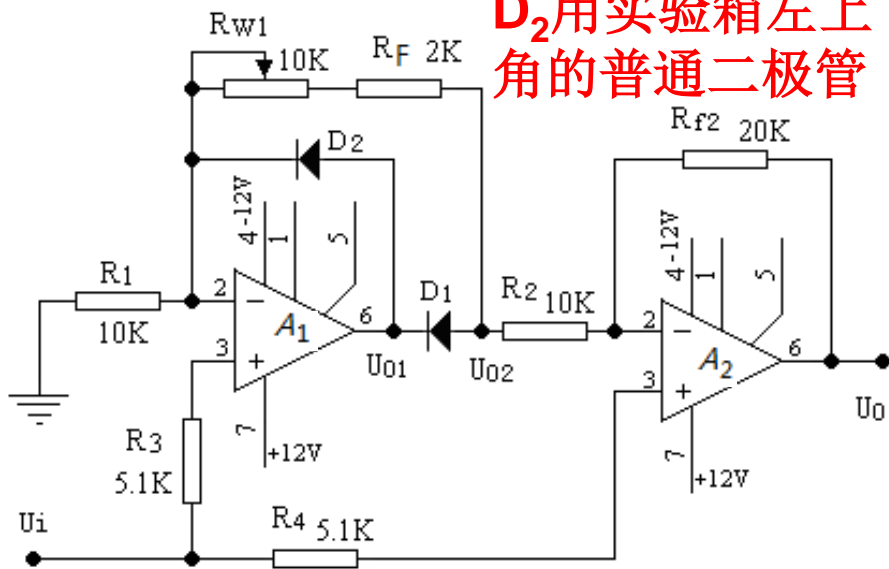
# 实验原理



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

## 7. 精密整流电路

$D_2$ 用实验箱左上角的普通二极管



设  $R_{f1} = R_{W1} + R_F$ ,

当  $u_i > 0$  时,  $D_2$  导通,  $D_1$  截止

$$u_o = \left(1 + \frac{R_{f2}}{R_{f1} + R_2}\right)u_i - \frac{R_{f2}}{R_{f1} + R_2}u_i = u_i$$

当  $u_i < 0$  时,  $D_1$  导通,  $D_2$  截止

$$u_{01} = u_{02} = \left(1 + \frac{R_{f1}}{R_1}\right)u_i$$

图3-8 整流电路  $u_o = \left(1 + \frac{R_{f2}}{R_2}\right)u_i - \frac{R_{f2}}{R_2}u_{01} = \left(1 + \frac{R_{f2}}{R_2}\right)u_i - \frac{R_{f2}}{R_2}\left(1 + \frac{R_{f1}}{R_1}\right)u_i$

如果选择  $R_{f2} = 2R_{f1} = 2R_1 = 2R_2$  时, 则有:

$A_1$ 用实验箱上两个运放中左边的,  $A_2$ 用右边的那个运放

$$u_o = 3u_i - 4u_i = -u_i$$

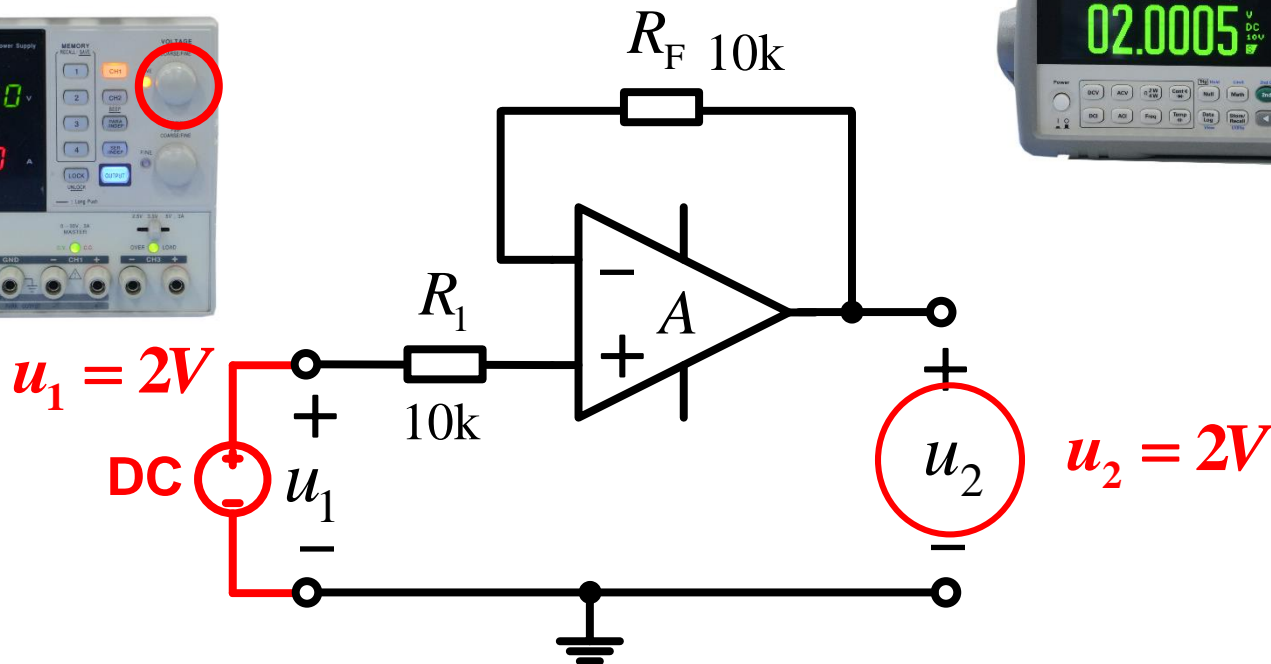
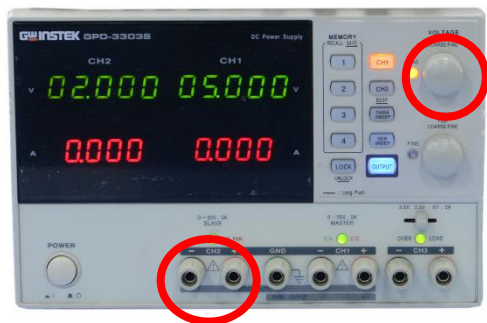


# 运算放大器好坏的检查



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

接成电压跟随器，电路如下图所示。



当万用表上电压  $u_2 = 2V$  时，表示集成运算放大器是好的，反之就坏了，需更换芯片。注意  $u_1$  的地接实验箱的GND



# 实验内容



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

## 1.反相比例电路

设计一个反相比例放大器，要求：

(1)电压放大倍数 $A_u = -10$ ，(2)输入阻抗 $1k\Omega \leq R_i \leq 10k\Omega$ 。

建议输入 $f=500\text{Hz}$ ， $U_i=0.5\text{V}$ (有效值)的正弦交流信号，测量 $U_i$ 、 $U_o$ 有效值及波形，并观察 $u_o$ 和 $u_i$ 的相位关系，注意输出波形不失真，将结果记入表3-1。

表3-1  $U_i=0.5\text{V}$ （有效值）， $f=500\text{Hz}$

$U_i(\text{V})$	$U_o(\text{V})$	$u_i$ 与 $u_o$ 波形	$A_u$	
			实测值	计算值



## 实验内容



### 2. 反相加法运算电路

按图2-2接线， $U_{i1}$ 和 $U_{i2}$ 采用直流稳压电源输入，用万用表DCV档测量 $U_{i1}$ 和 $U_{i2}$ 及输出电压 $V_O$ ，将结果记入表3-2中。

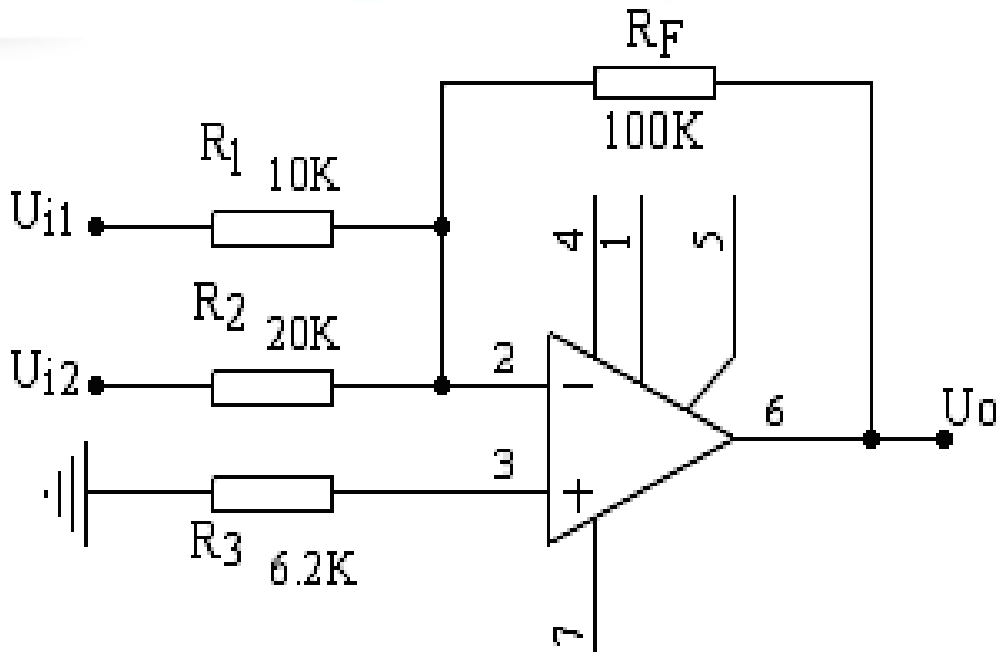


表3-2

$U_{i1}(\text{V})$	0.1	0.3	-0.1	-0.3
$U_{i2}(\text{V})$	0.2	0.6	-0.2	-0.6
$U_O(\text{V})$				

## 实验内容

### 3. 差动放大电路（减法器）

按图3-4正确连接实验电路， $U_{i1}$ 和 $U_{i2}$ 采用直流稳压电源输入，用万用表测量 $U_{i1}$ 和 $U_{i2}$ 及输出电压 $U_o$ ，注意 $U_{i1}$ 和 $U_{i2}$ 输入不能过大，防止 $U_o$ 进入饱和区，将测量结果记入表3-3中

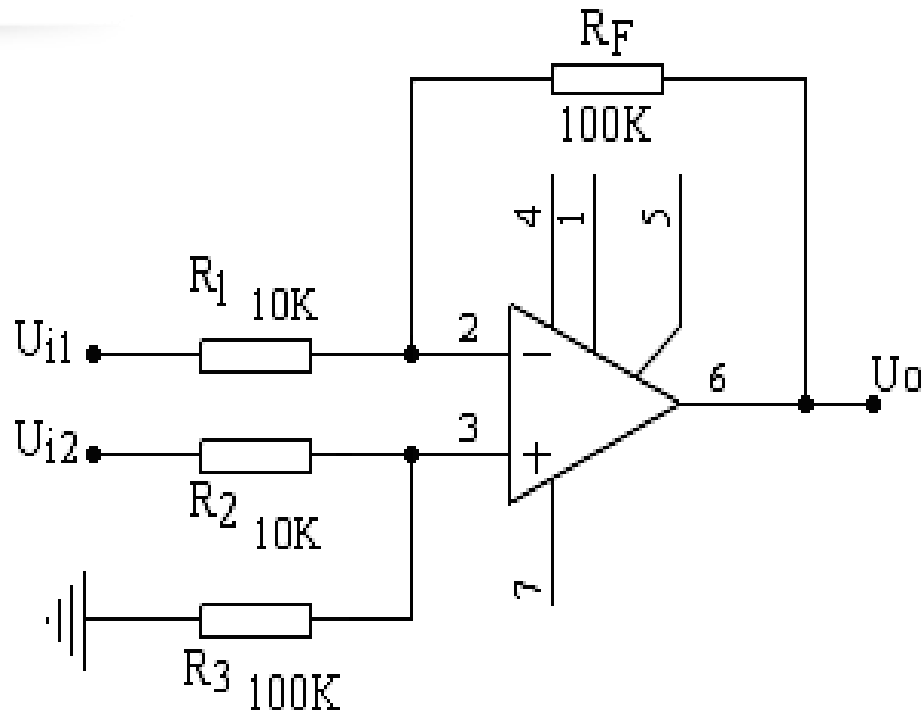


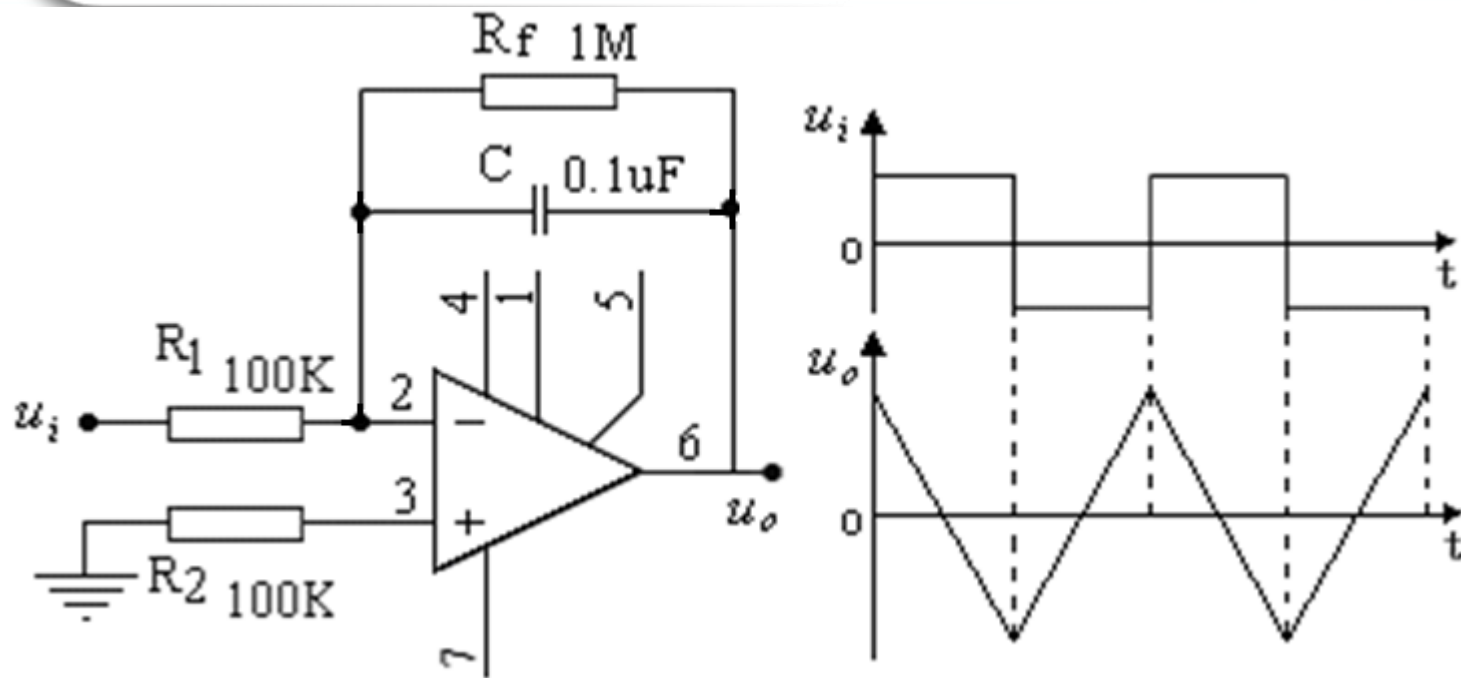
表3-3

$U_{i1}(\text{V})$	1	2	-1	-2
$U_{i2}(\text{V})$	0.5	1.7	-0.5	-1.7
$U_o(\text{V})$				



# 实验内容

## 4. 积分运算电路



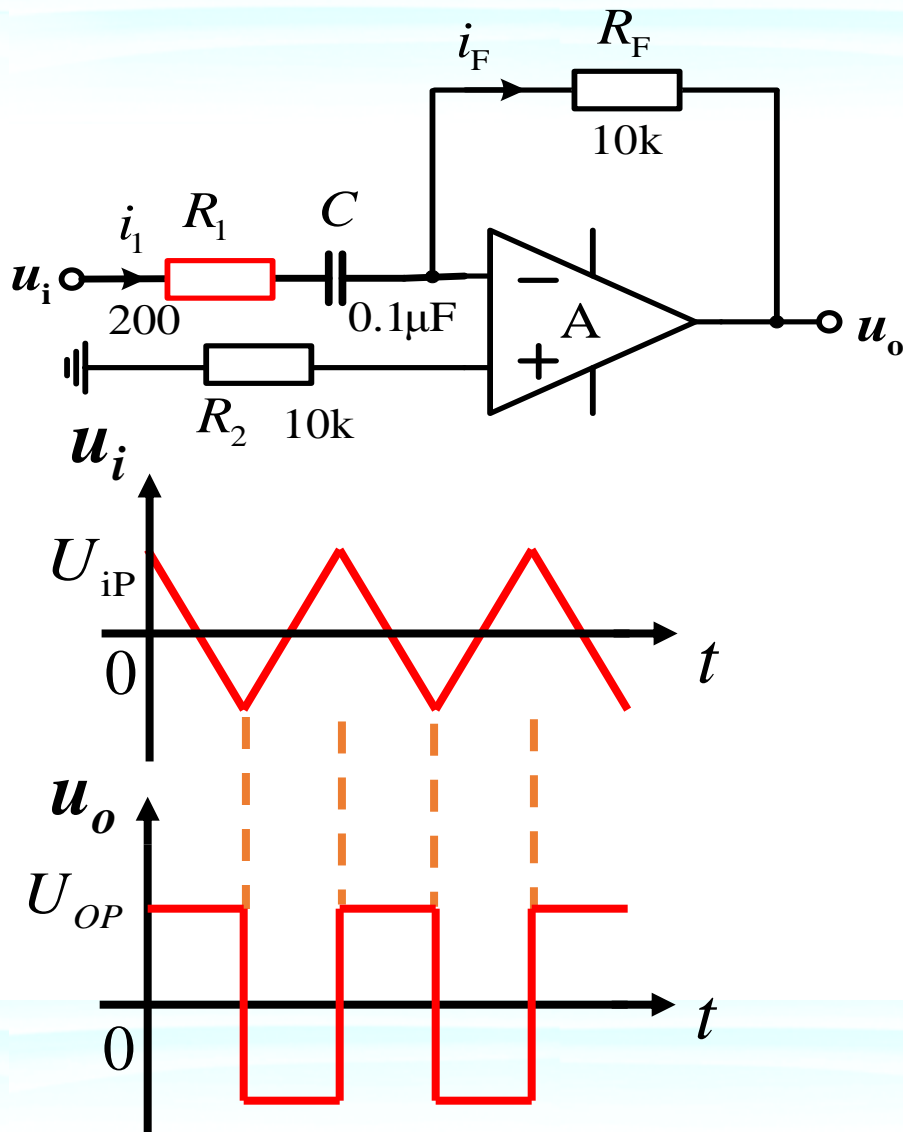
按积分电路如图3-5所示正确连接电路，取频率 $f$ 为**100Hz**，峰峰值为**2V**的方波作为输入信号 $u_i$ ，用示波器测量并记录 $u_i$ ， $u_o$  波形，计算理论的 $u_{opp}$ ，进行误差计算和分析。  
电容要用万用表电容档测量找一个最接近**100nF**并记录下来



# 实验内容

## 5. 微分电路

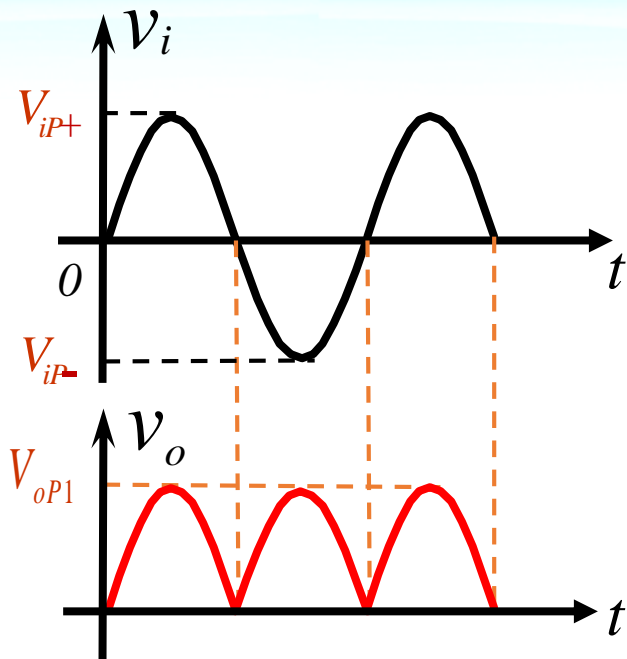
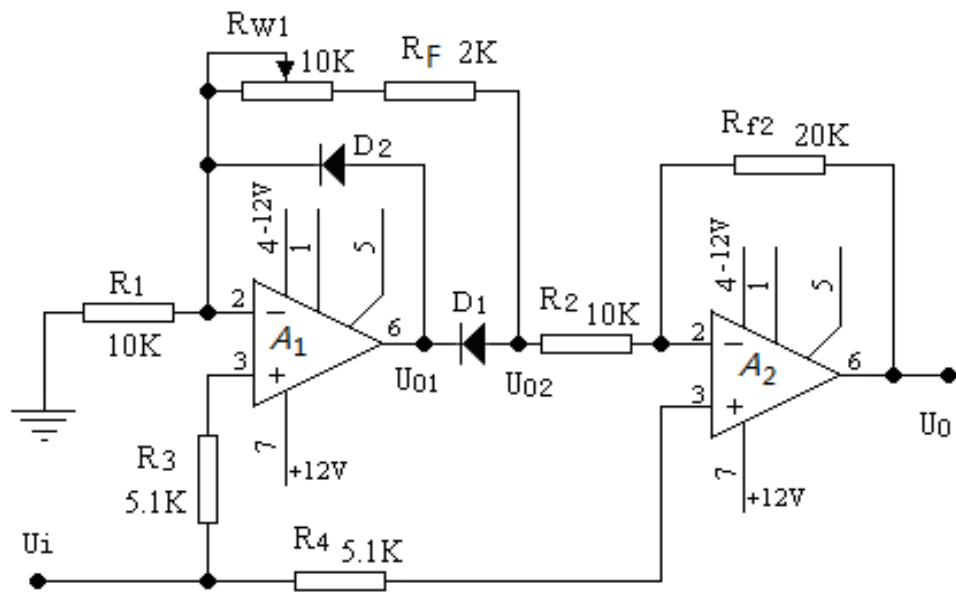
按图3-7微分电路所示正确连接。输入三角波信号 $u_i$ 的频率为 $f=1\text{kHz}$ ，峰峰值为 $2\text{V}$ ，用示波器观察并定量画出输入、输出波形。理论计算，误差计算和分析。





# 实验内容

## 6. 精密整流电路（选做）



(a) 输入输出波形

**A<sub>1</sub>**用实验箱上两个运放中左边的那个运放，**D<sub>2</sub>**用实验箱左上角的普通二极管  
输入正弦信号  $v_i(t) = 1.5 \cos(2\pi \times 10^3 t) V$

调节**R<sub>w1</sub>**使输出波形对称，用示波器观测并画出**v<sub>i</sub>**，**v<sub>o</sub>**波形，测量并记录**R<sub>w1</sub>**值

# 课后思考题



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

1. 当反相或者同相放大器的输入 $u_i$ 固定时，如果负反馈电阻 $R_F$ 选择过大， $U_O$ 可能不再随 $R_F$ 的增加而增大，且输出的交流波形限幅，试说明原因？
2. 在反相加法运算电路3-2中，如果 $U_{i1}$ 和 $U_{i2}$ 均采用直流信号，并选定 $U_{i2}=-1V$ ，考虑到运算放大器的最大输出幅度为 $\pm 12V$ ， $U_{i1}$ 的绝对值不应超过多少伏？
3. 在积分运算电路图3-5中，分析电阻 $R_f$ 的作用，说明 $R_f$ 的大小对积分电路的精度有何影响？

# 补充思考题



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

设计一个能实现下列运算关系的运算电路。(运放数 $\leq 2$ )

已知条件如下：

$$(1) \quad U_o = 2U_{11} - 3U_{12}$$

$$(2) \quad U_o = U_{11} - 2U_{12} + 3U_{13}$$

下次实验(102室)：RC电路的频率特性或者  
单管放大器