



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

# 集成运算放大器的基本应用

## ——模拟运算电路





## 实验目的

1

了解集成运放的外形结构及各引脚功能；

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、积分和微分等基本运算电路的功能；

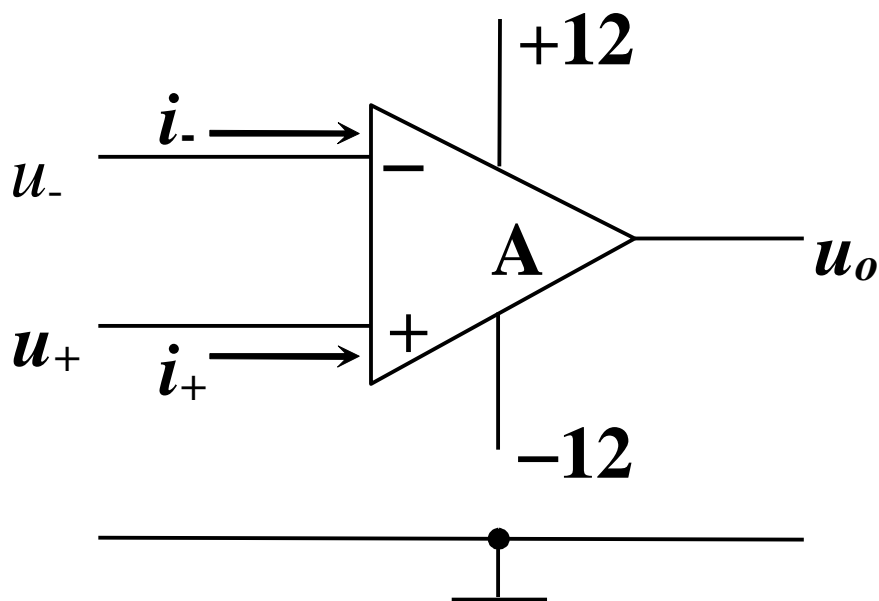
3

了解集成运放在实际应用时应考虑的一些问题。





## 一、集成运放的电路符号和特性



(1) 输入阻抗  $Z_{in} \rightarrow \infty$

(2) 输出阻抗  $Z_{out} \rightarrow 0$

(3)  $u_o = A_{od}(u_+ - u_-)$

$A_{od} \rightarrow \infty$

(4) 模拟运算电路特征:

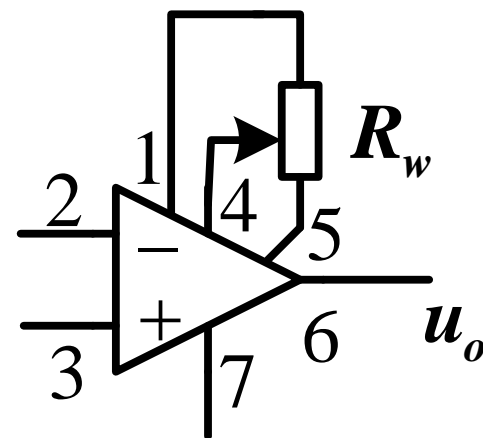
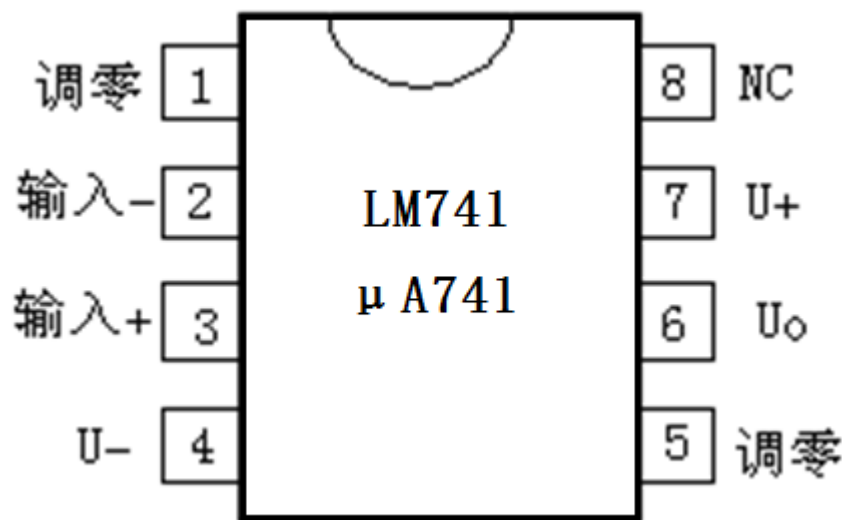
深度电压负反馈

◆ 虚假短路:  $u_+ = u_-$

◆ 虚断:  $i_+ = i_- = 0$



## 二、741集成运放的管脚图和主要性能参数



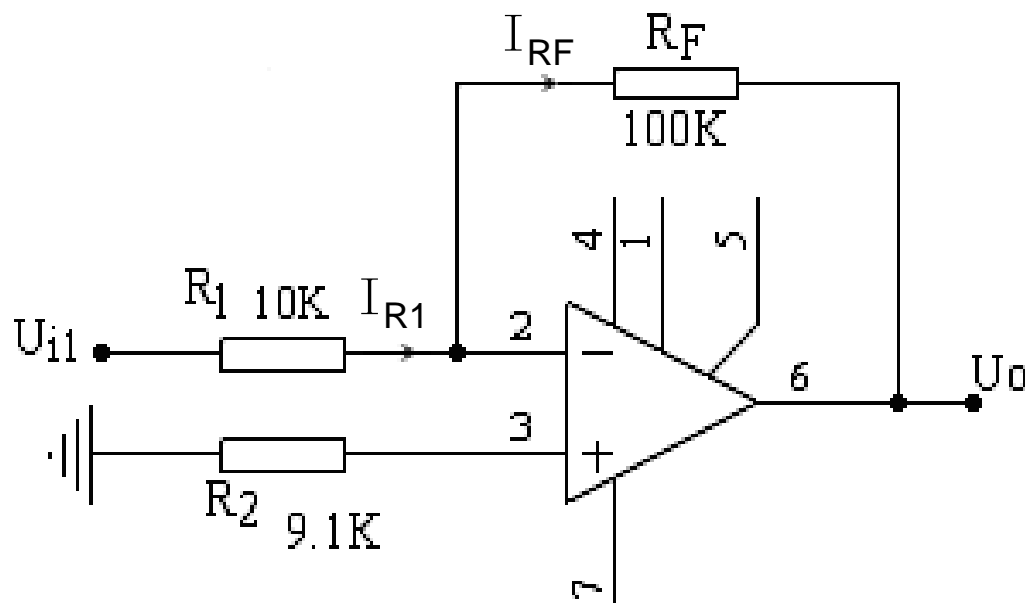
差动增益	输入阻抗	CMRR	输出阻抗	输入失调电流	输入失调电压	特征频率
$2 \times 10^5$	$> 2\text{M}\Omega$	90dB	$75\Omega$	200nA	1~5mV	1MHz







## 1. 反相比例运算电路



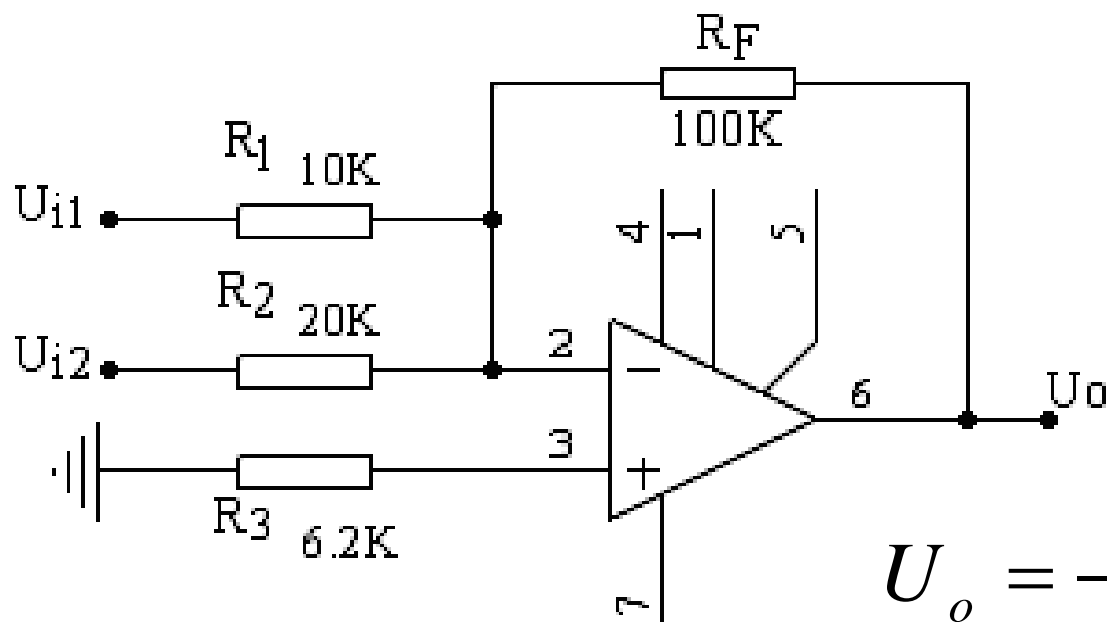
$$U_o = -\frac{R_F}{R_1} U_i$$

图6-1 反相比例运算电路





## 2. 反相加法电路



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

图6-2 反相加法运算电路





## 3. 同相比例运算电路

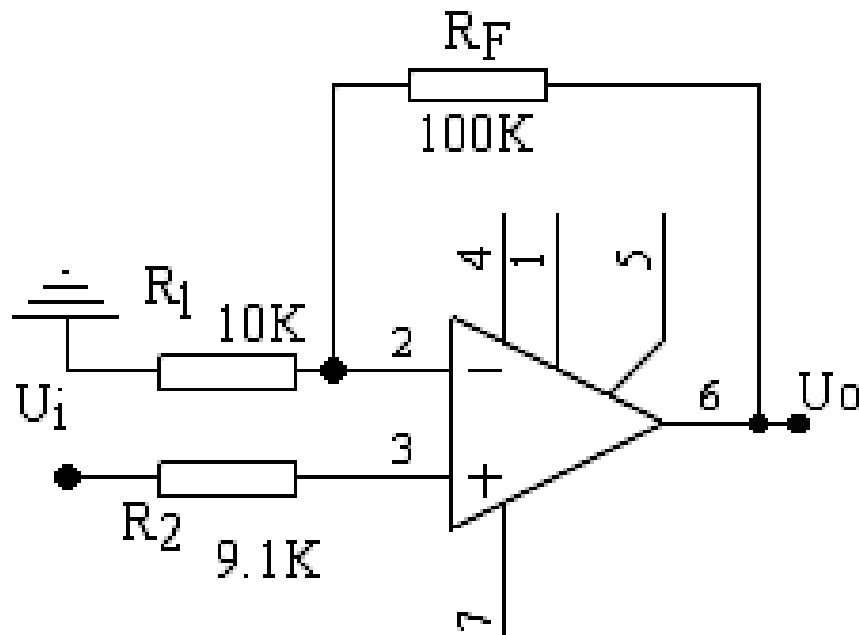


图6-3 同相比例运算电路

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

当  $R_1 = \infty$

或者  $R_F = 0$

$$U_o = U_i$$





## 4. 差动放大电路（减法器）

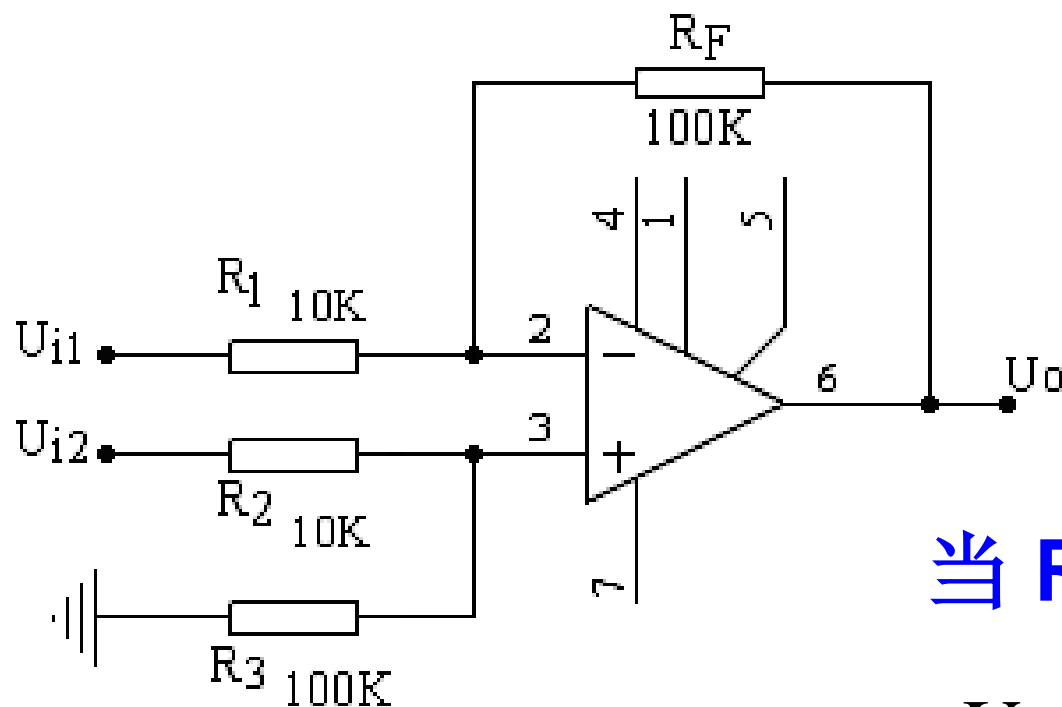


图6-4 差动放大电路

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

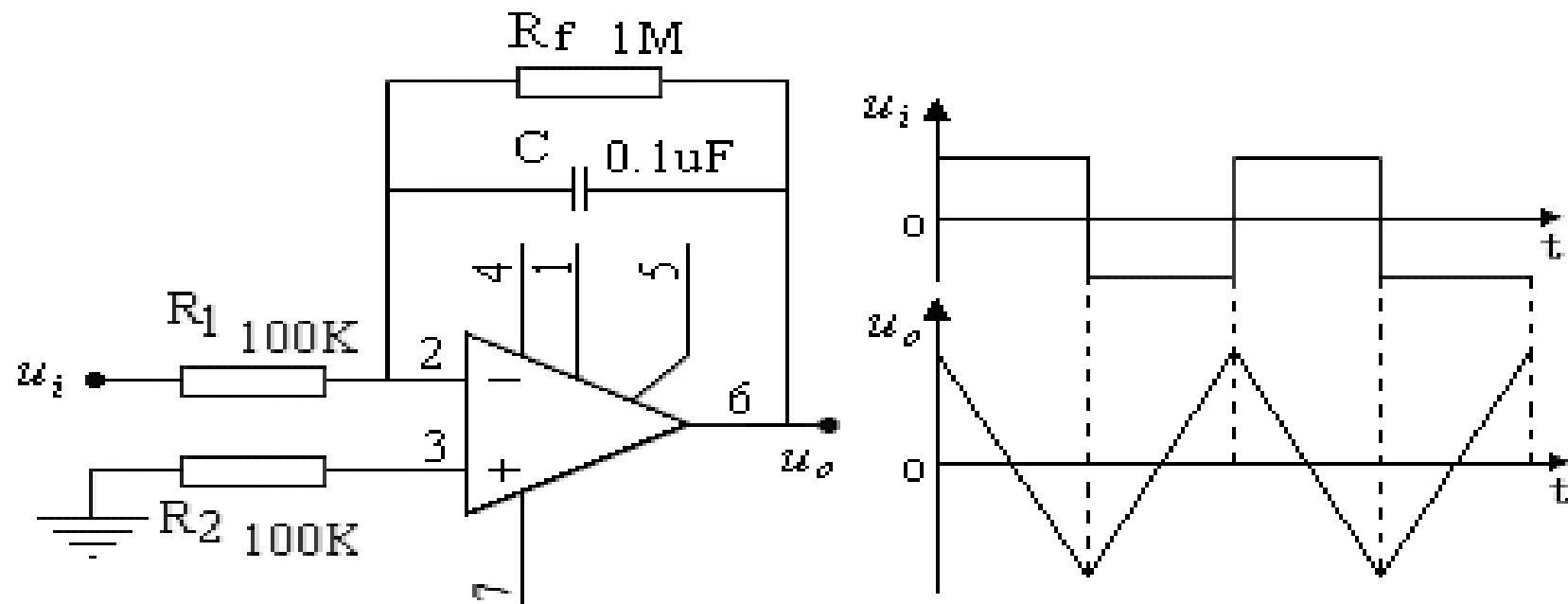


图6-5 反相积分运算电路

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





## 6. 微分运算电路

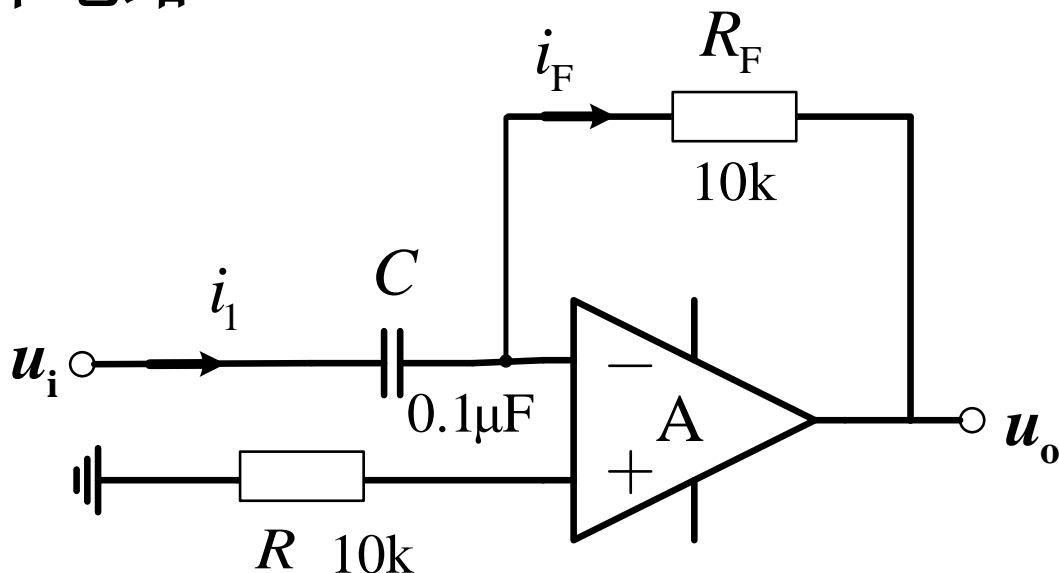


图6-6 反相微分运算电路

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





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 $R_1$ ，当输入频率小于

$f_i = \frac{1}{2\pi R_1 C}$  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。

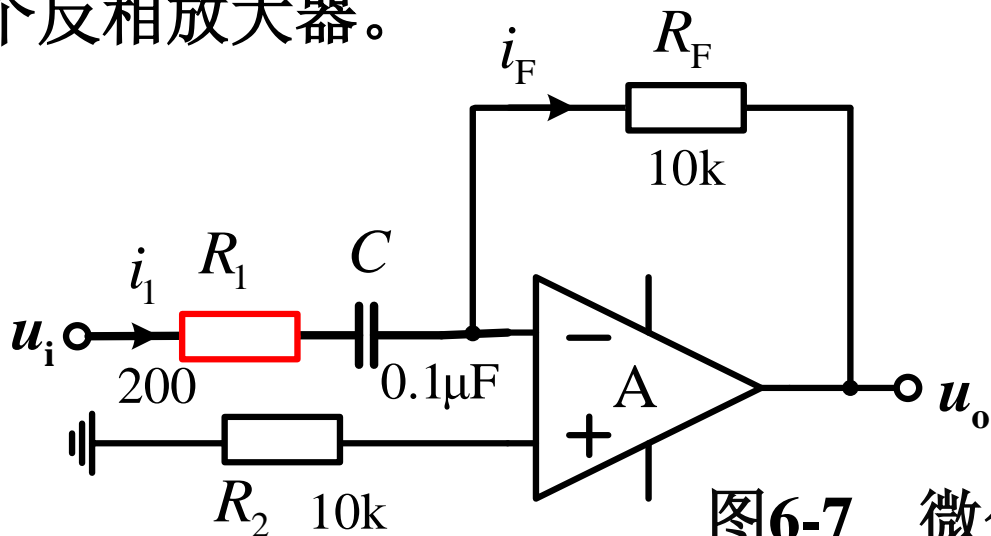


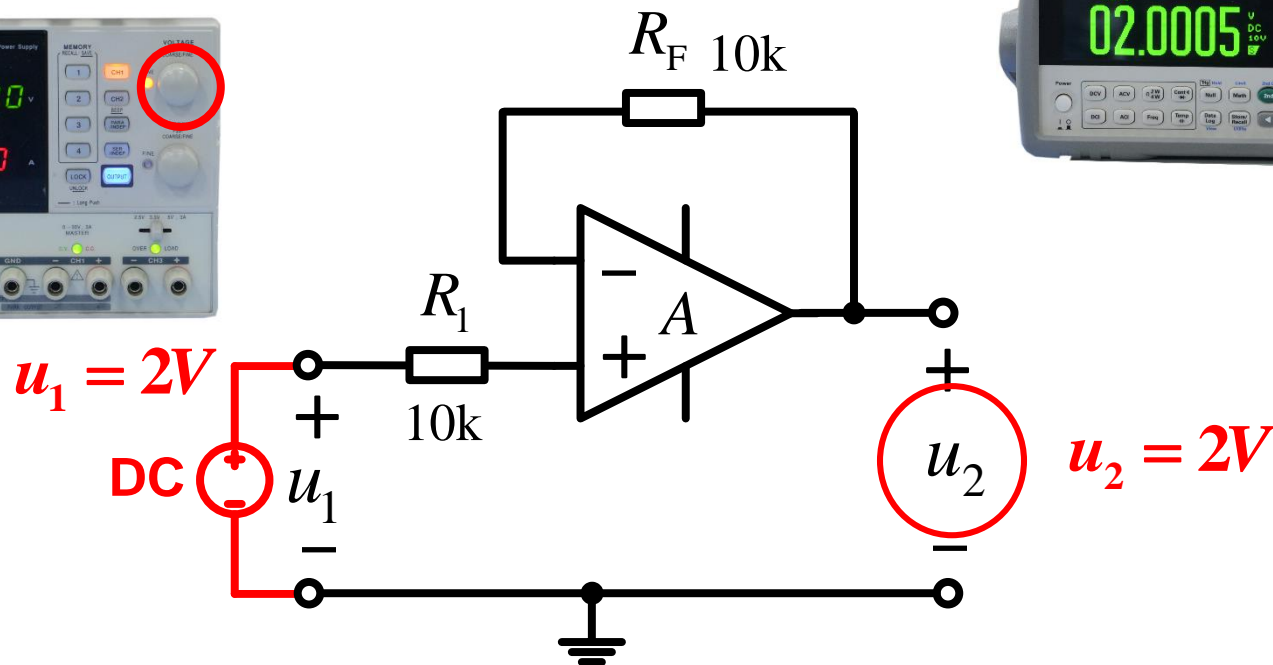
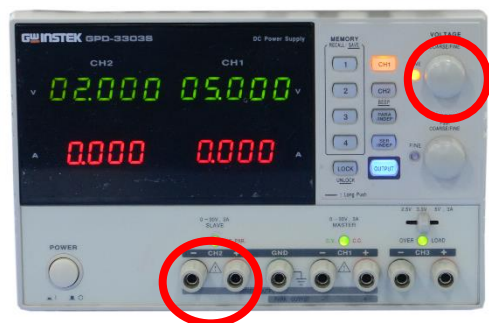
图6-7 微分电路

# 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。





## 实验内容

### 1. 反相比例运算电路

按图6-1正确连线。输入  $f=500\text{Hz}$ ,  $U_i=0.5\text{V}$  (有效值) 的正弦交流信号, 用毫伏表测量  $U_i$ 、 $U_o$  有效值, 并观察  $u_o$  和  $u_i$  的相位关系, 将结果记入表6-1。

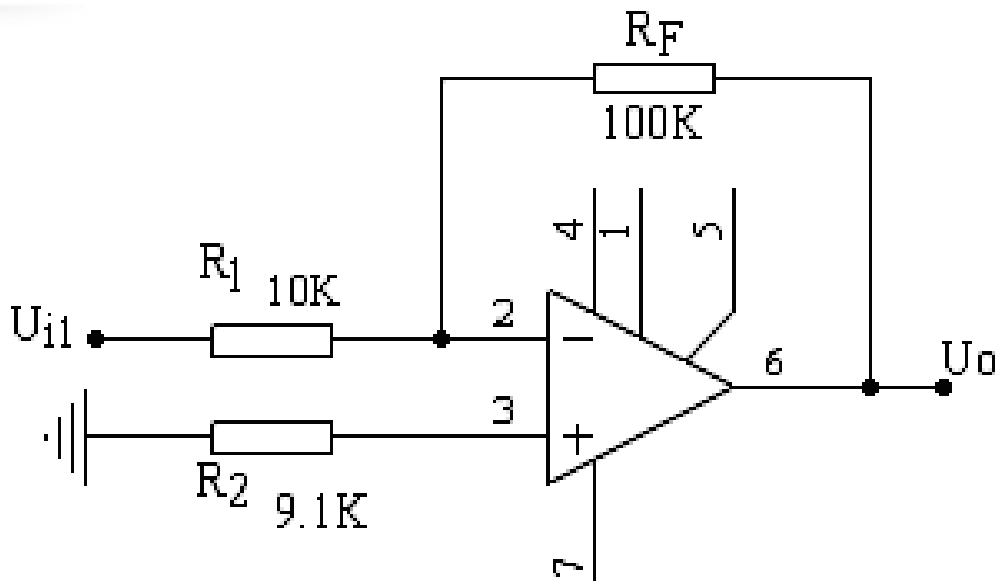


表6-1  $U_i=0.5\text{V}$  (有效值),  $f=500\text{Hz}$

$U_i(\text{V})$	$U_o(\text{V})$	$u_i$ 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6-2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6-2中。

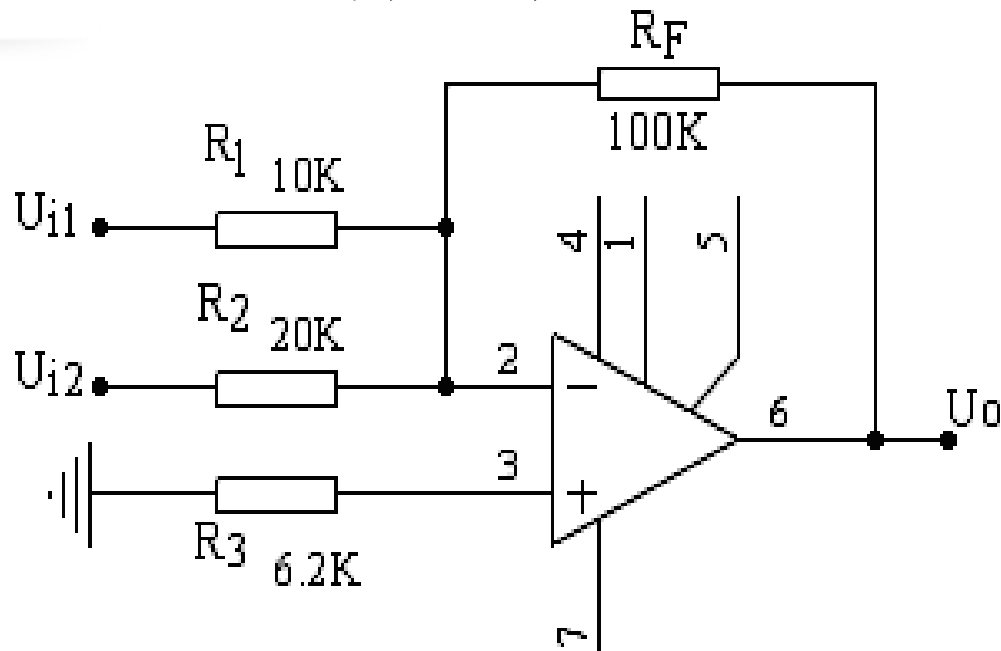


表6-2

$U_{i1}(\text{V})$	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. 同相比比例运算电路

按图6-3正确连线。输入  $f=500\text{Hz}$ ,  $U_i=0.5\text{V}$  (有效值) 的正弦交流信号, 用毫伏表测量  $U_i$ 、 $U_o$  有效值, 并观察  $u_o$  和  $u_i$  的相位关系, 将结果记入表6-3。

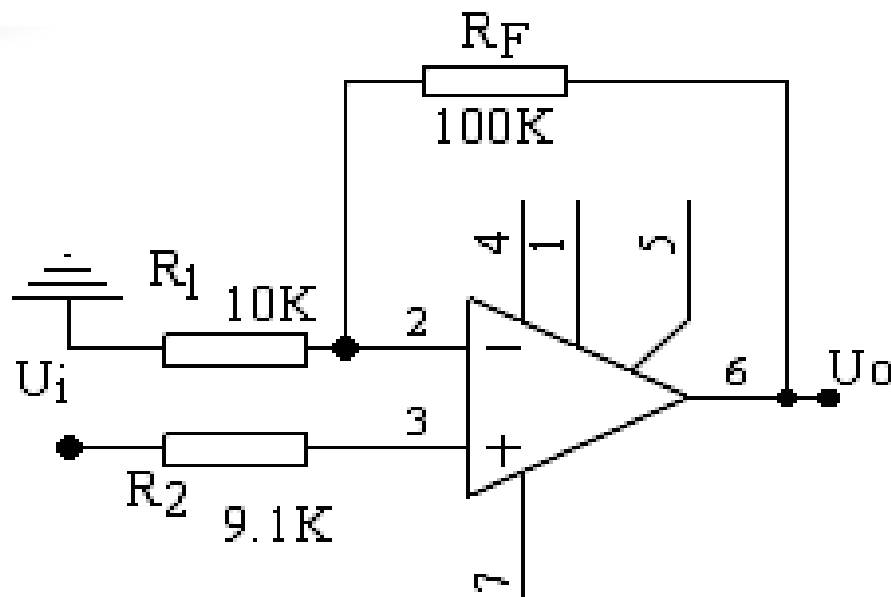


表6-3  $U_i=0.5\text{V}$  (有效值),  $f=500\text{Hz}$

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

## 实验内容 4. 差动放大电路（减法器）

按图6-4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6-4中

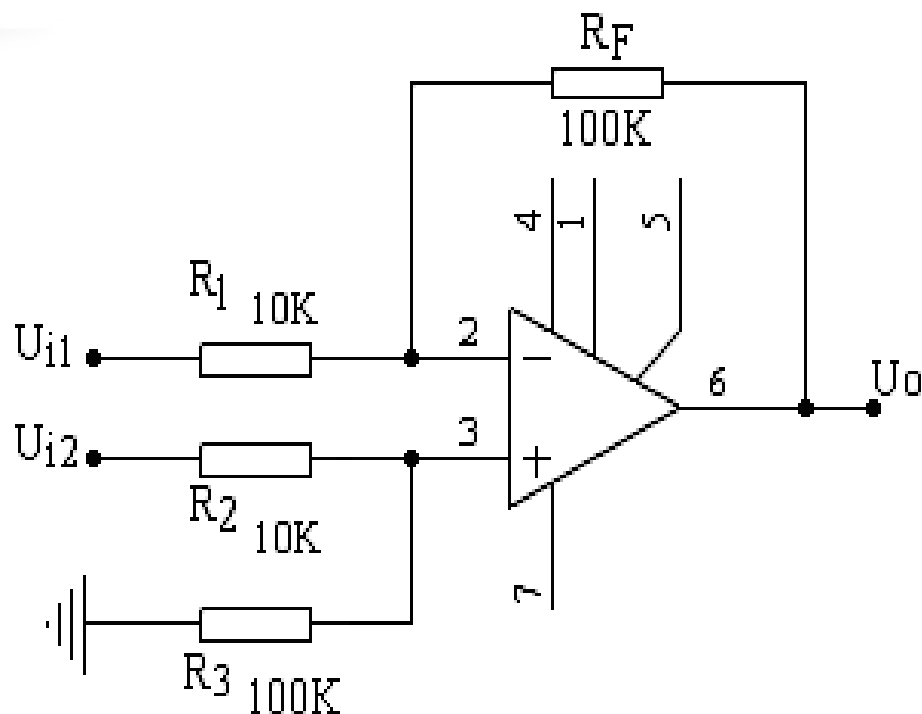


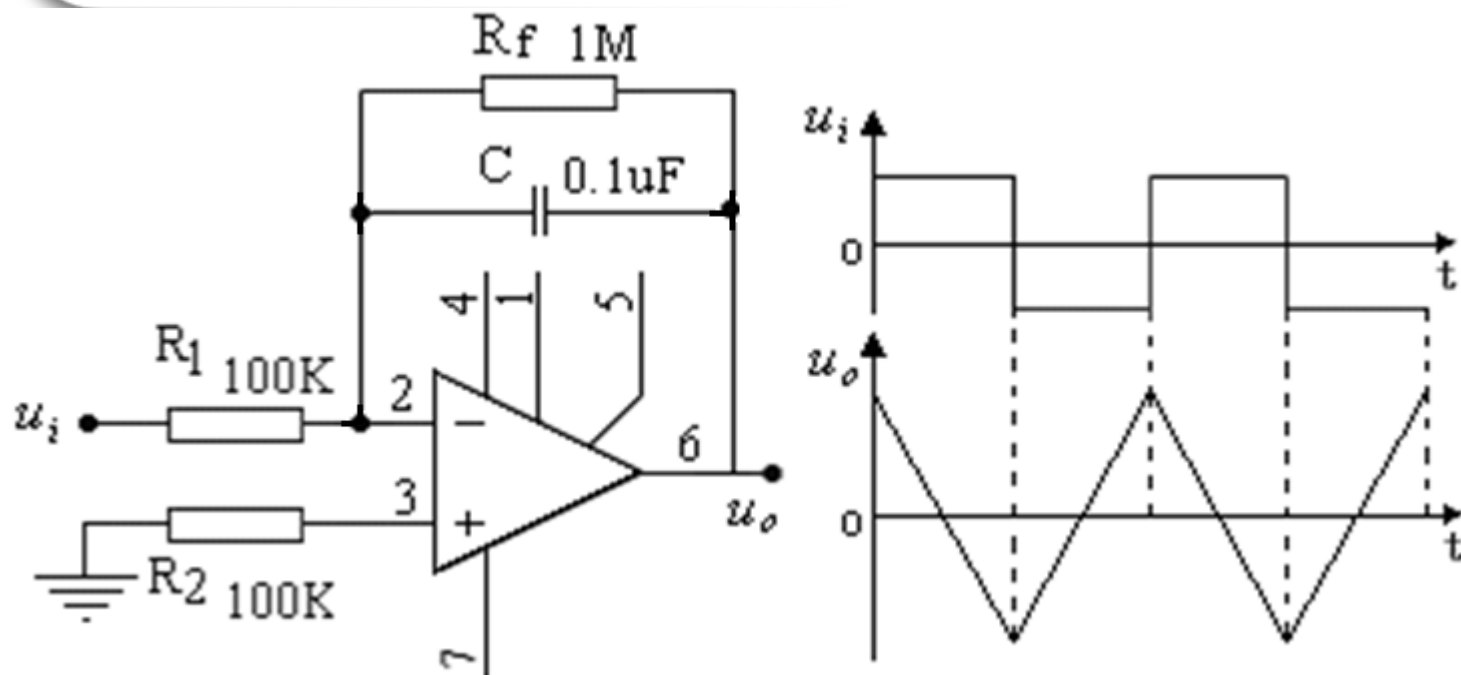
表6-4

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



## 实验内容

### 5. 积分运算电路



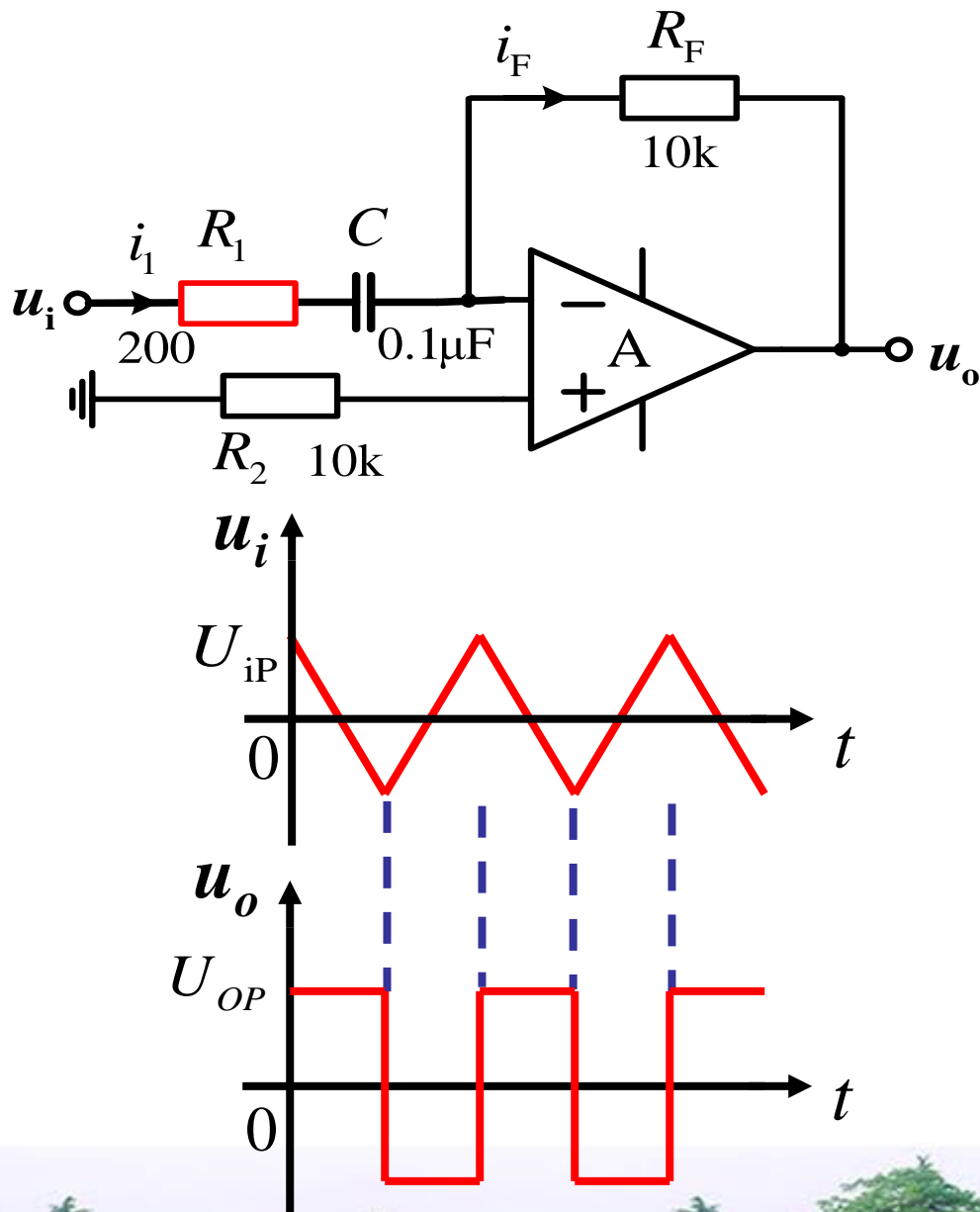
按积分电路如图6-5所示正确连接电路，取频率 $f$ 为**100Hz**，峰峰值为**2V**的方波作为输入信号 $u_i$ ，用示波器测量并记录 $u_i$ ， $u_o$ 波形，计算理论的 $u_{opp}$ ，进行误差计算和分析。



# 实验内容

## 6. 微分电路

按图6-7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。**B单频**，波形选择数字2，按OK，从**CHB**输出三角波。



## 补充思考题

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：

$$(1) \quad U_o = 2U_{11} + U_{12} - 3U_{13}$$

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



# 课后思考题



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

1. 如何判断集成运算放大器的好坏?为了不损坏集成运算放大器, 实验中应注意什么问题?
2. 在反相加法运算电路6-2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5-5中, 分析电阻 $R_f$ 的作用, 说明 $R_f$ 的精度对积分电路的精度有何影响?

下次实验: 负反馈放大器(101室)

或 考试(112室)

