

集成运放应用

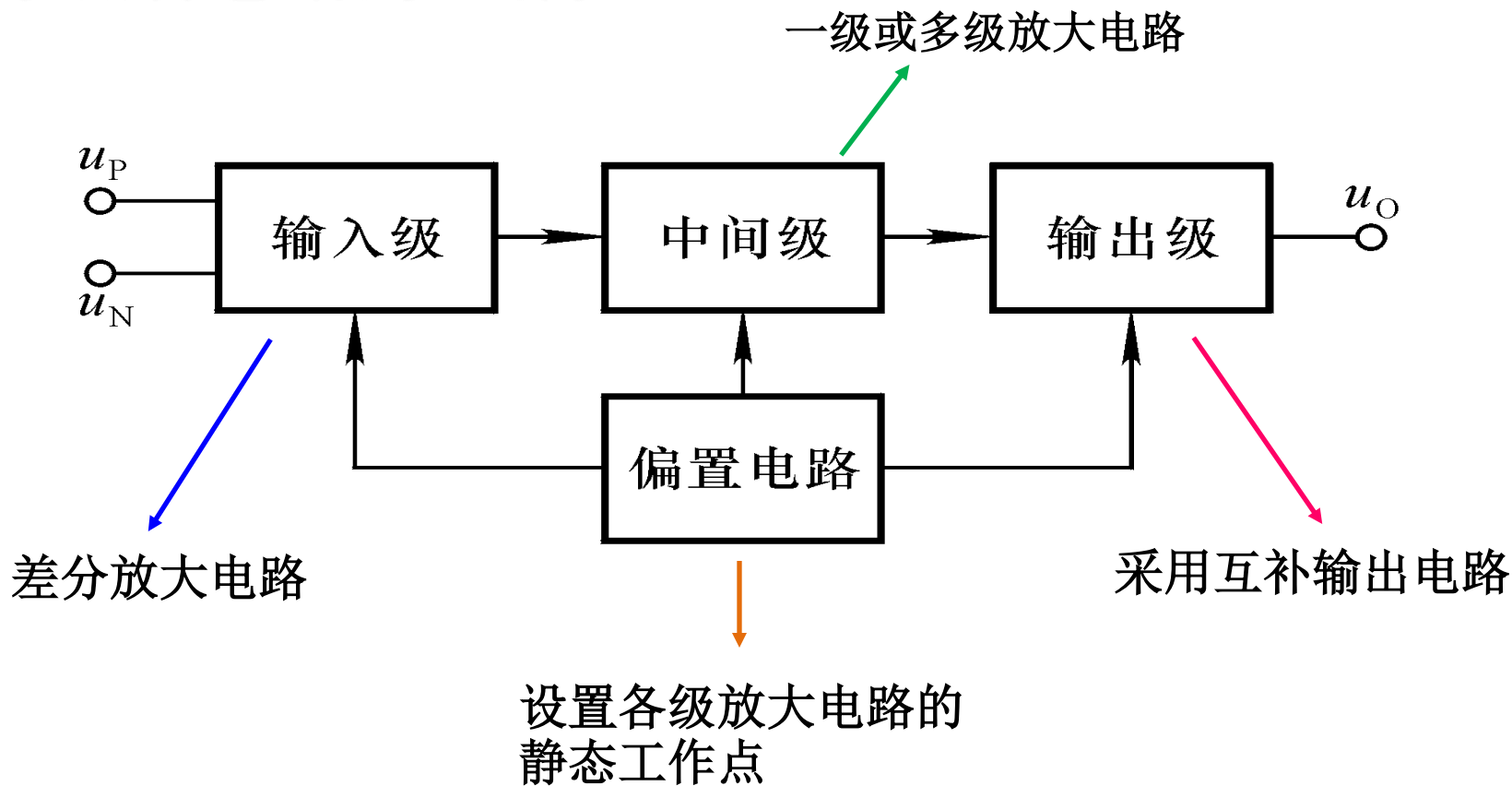
——模拟运算

实验目的

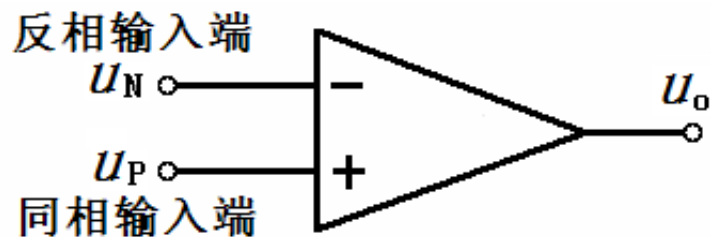
- ◆掌握集成运放的基本特性和工作原理;
- ◆熟悉集成运放在模拟运算方面的应用;
- ◆了解集成运算放大器的正确使用方法。

实验原理

集成运放电路的组成



集成运放的电压传输特性

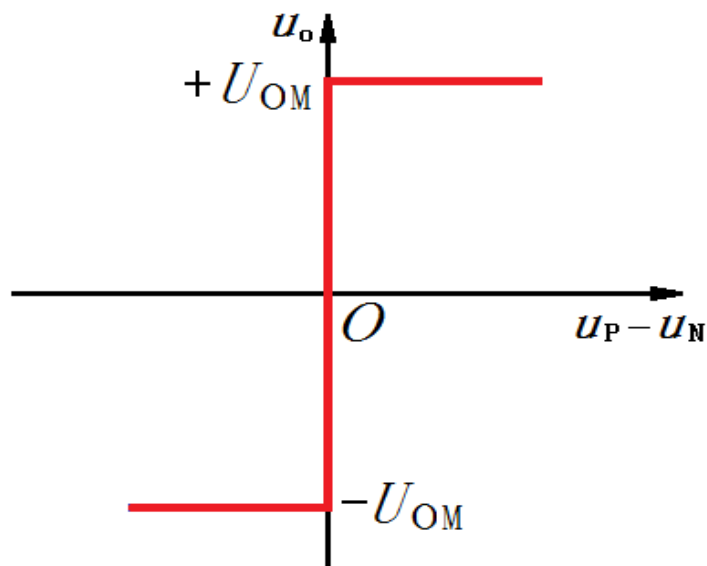
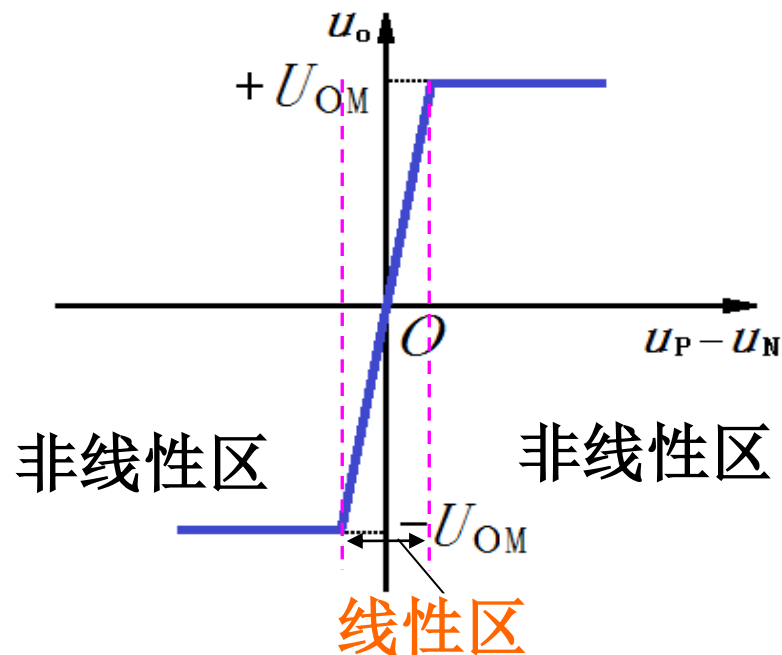


集成运放符号

在线性区，曲线的斜率为电压放大倍数，在非线性区，输出电压只有 $+U_{OM}$ 或 $-U_{OM}$ 两种可能。

$$u_O = A_{od} (u_P - u_N)$$

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



理想集成运算放大器

开环差模电压放大倍数 $A_{od} \approx \infty$;

差模输入电阻 $r_{id} \approx \infty$;

输出电阻 $r_o \approx 0$ 等。

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

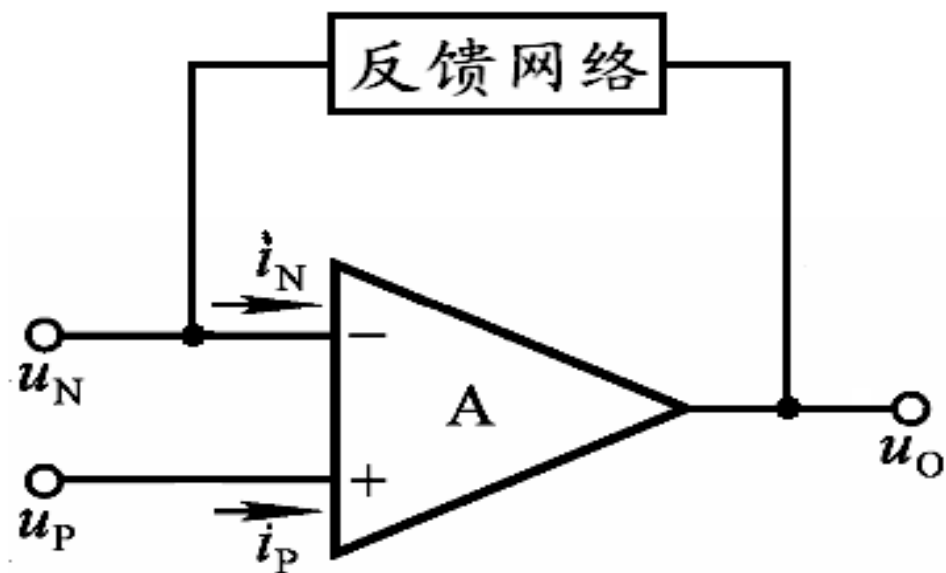
$$u_o = A_{od} (u_p - u_N)$$

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“**虚短**”。

(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:

电路引入负反馈



对于单个集成运放，通过无源的反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： $i_P = i_N = 0$ 。

基本运算电路

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。

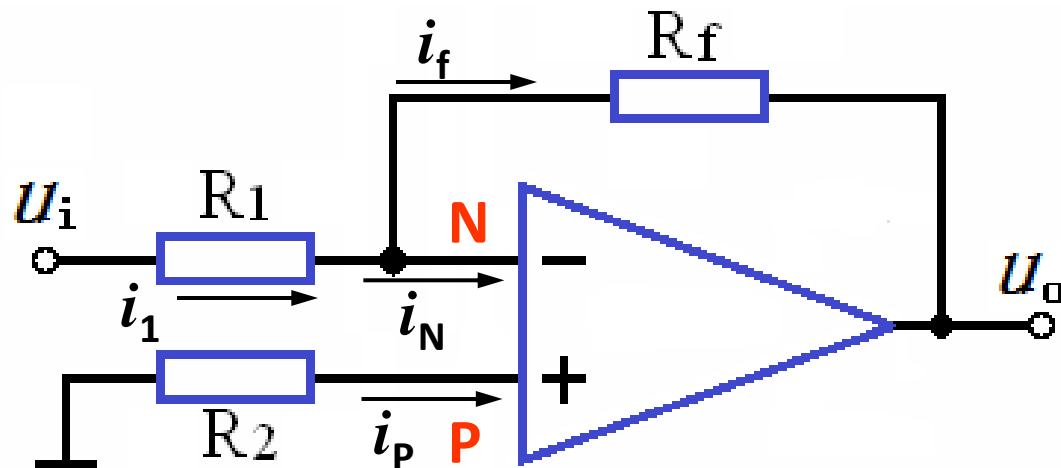
运算电路的特点是：

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。

比例运算电路

1.反相比例运算电路



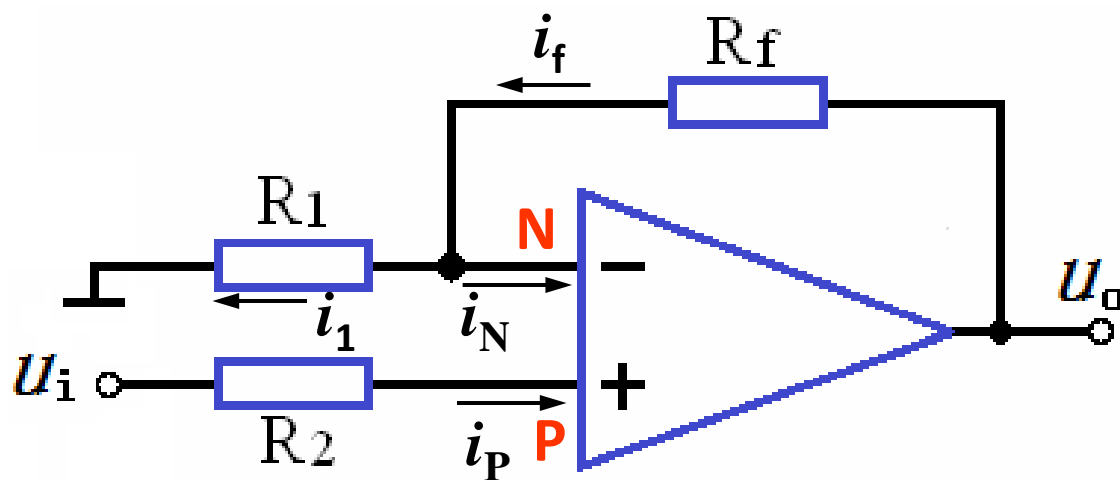
虚断 $i_P = i_N = 0$, $i_1 = i_f$

$$\frac{u_i - u_N}{R_1} = \frac{u_N - u_o}{R_f}$$

虚短 $u_P = u_N$, $u_P = 0$

$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_f}{R_1}$$

2.同相比例运算电路



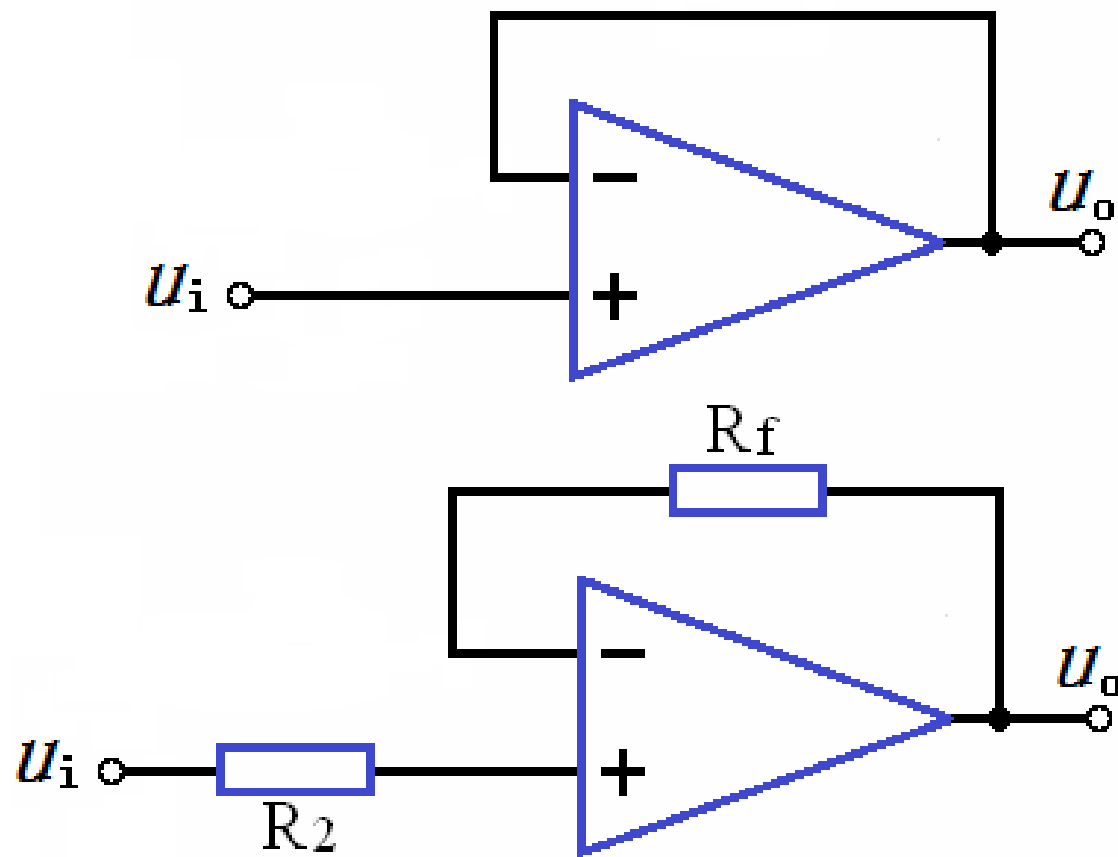
虚断 $i_P = i_N = 0$, $i_1 = i_f$

$$\frac{u_N - 0}{R_1} = \frac{u_o - u_N}{R_f}$$

虚短 $u_P = u_N$, $u_P = u_i$

$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

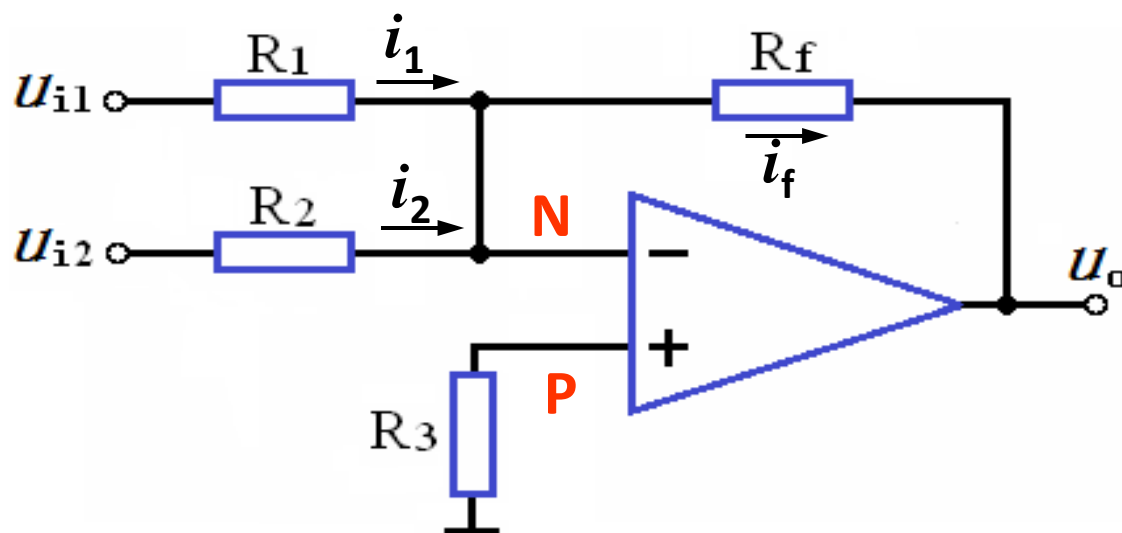
3. 电压跟随器



$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = 1$$

加减运算电路

1. 反相加法运算电路



虚断 $i_P = i_N = 0$, $i_1 + i_2 = i_f$

$$\frac{u_{i1} - u_N}{R_1} + \frac{u_{i2} - u_N}{R_2} = \frac{u_N - u_o}{R_f}$$

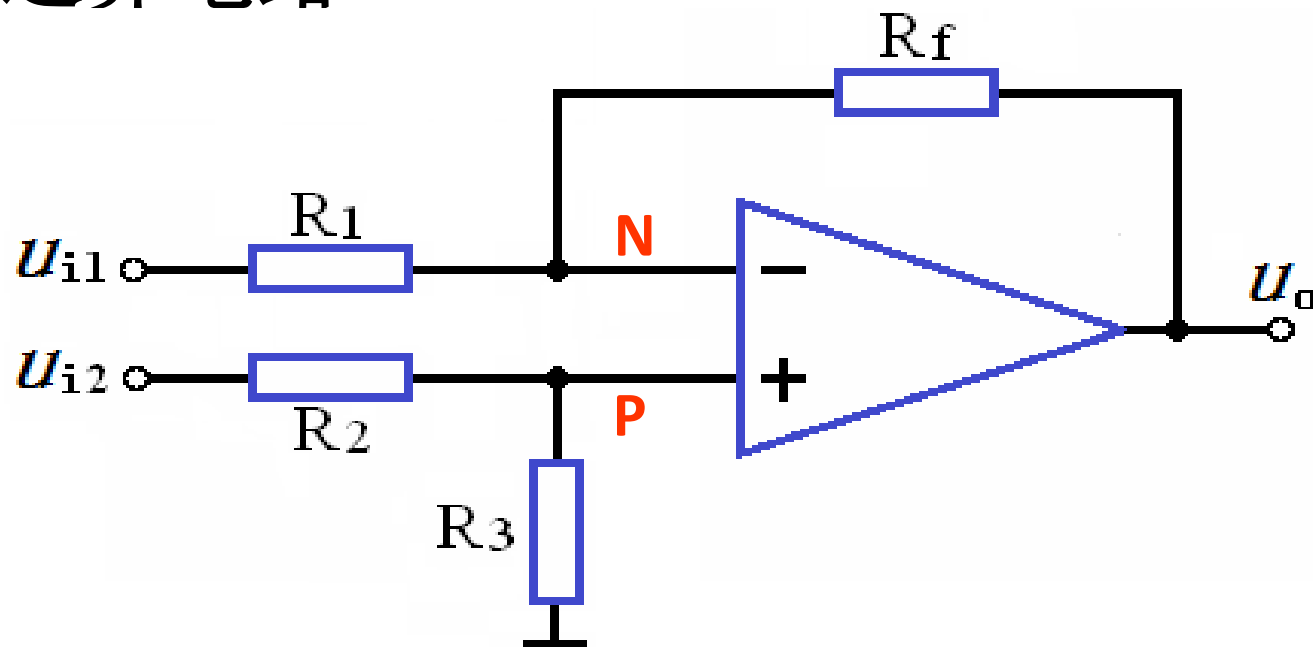
虚短 $u_P = u_N$, $u_P = 0$

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

(若 $R_1 = R_2$)

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

2. 减法运算电路



令 $u_{i2}=0$

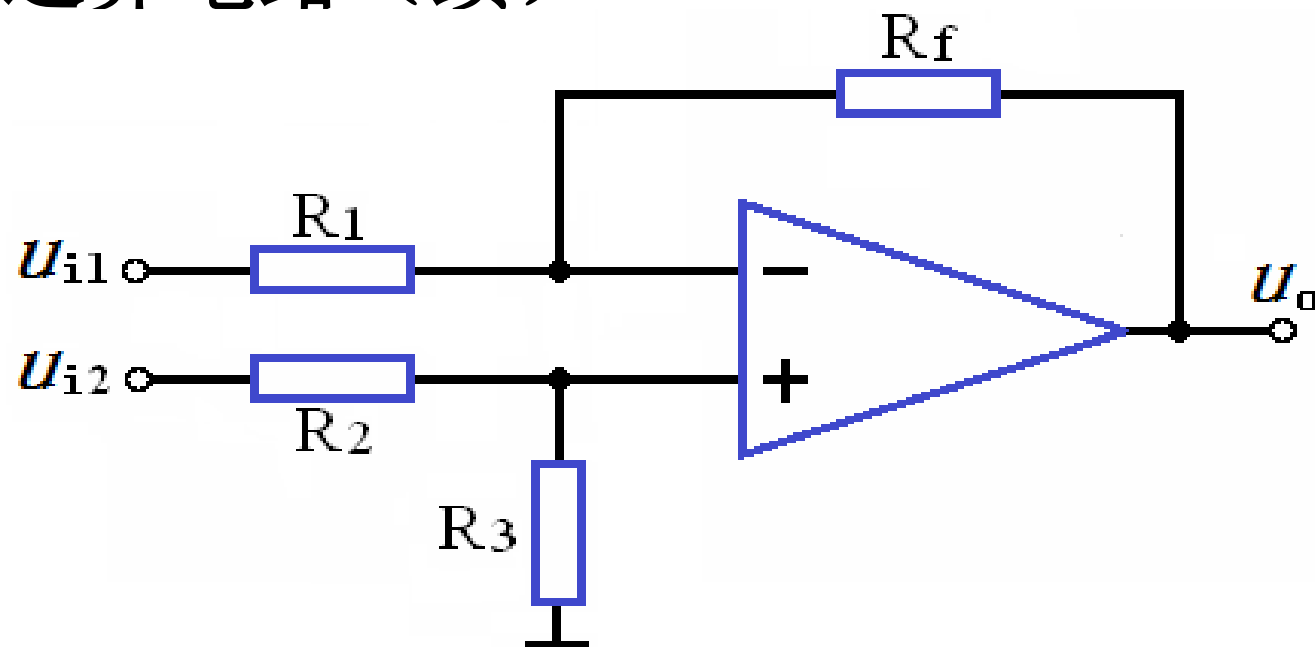
$$u_{o1} = -\frac{R_f}{R_1} u_{i1}$$

再令 $u_{i1}=0$

$$u_{o2} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) u_P \quad \left(u_P = \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{i2}\right)$$

$$u_o = u_{o1} + u_{o2}$$

2. 减法运算电路（续）



当 $R_1=R_2$ 、 $R_3=R_f$ 时

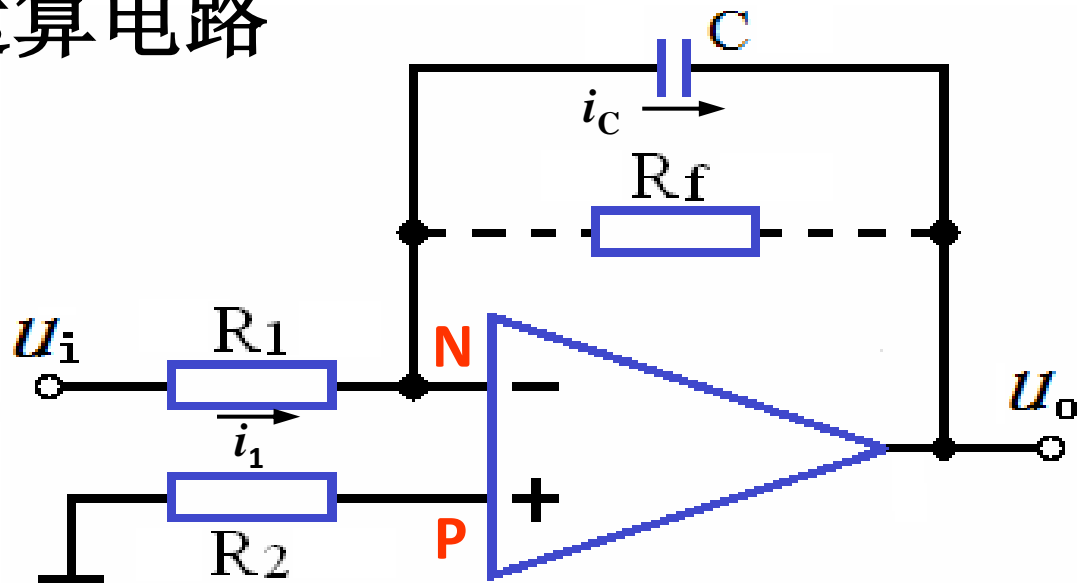
$$u_o = \frac{R_f}{R_1} (u_{i2} - u_{i1})$$

当 $R_1=R_2=R_3=R_f$ 时

$$u_o = u_{i2} - u_{i1}$$

积分、微分运算电路

1. 积分运算电路



虚断 $i_P = i_N = 0$, $i_1 = i_C$

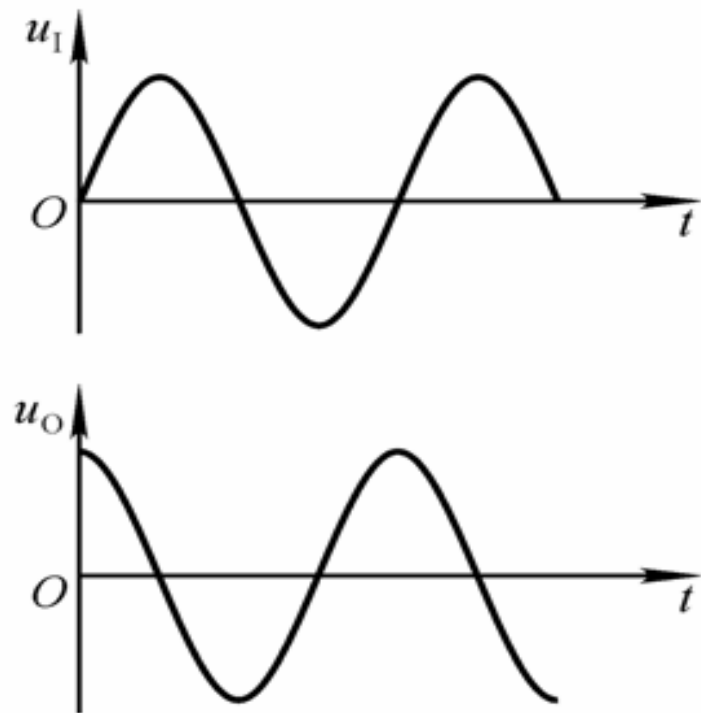
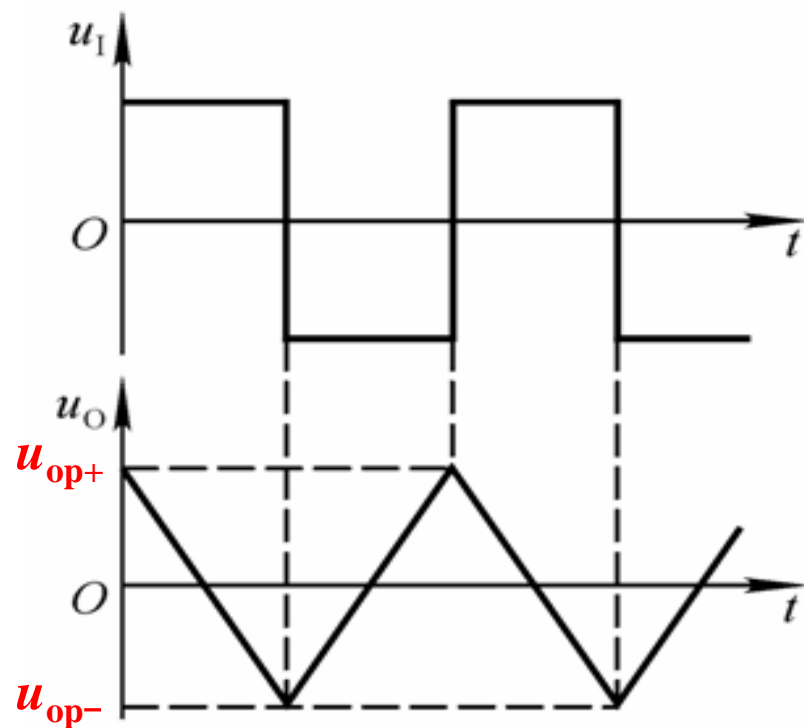
$$\frac{u_i - u_N}{R_1} = C \frac{du_C}{dt}$$

虚短 $u_P = u_N$, $u_P = 0$, $u_o = -u_C$

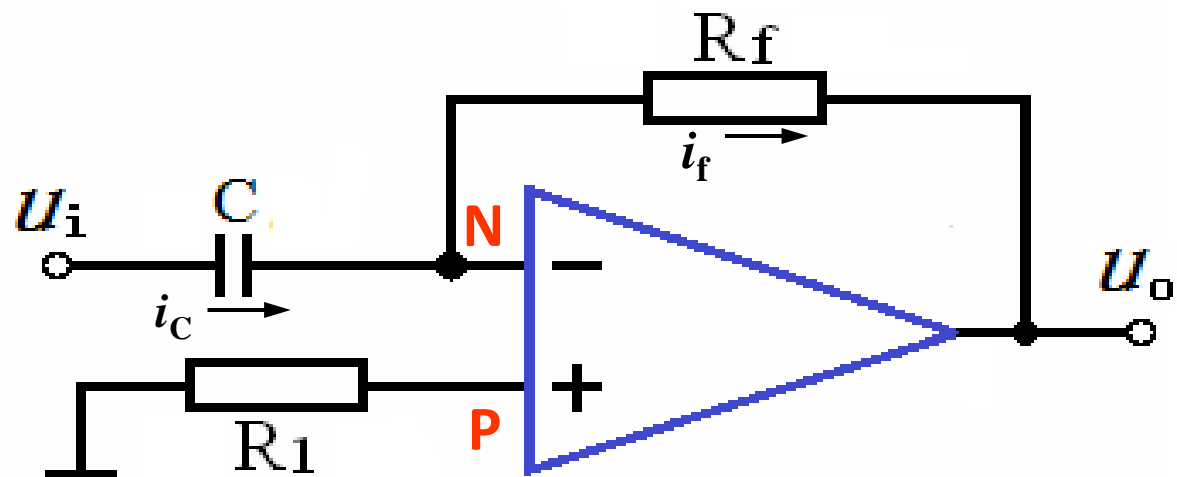
$$u_o = -\frac{1}{R_1 C} \int u_i dt$$

$$u_o = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^{t_1} u_i dt + u_C(0)$$

积分电路在不同输入信号时的输出波形



2.微分运算电路



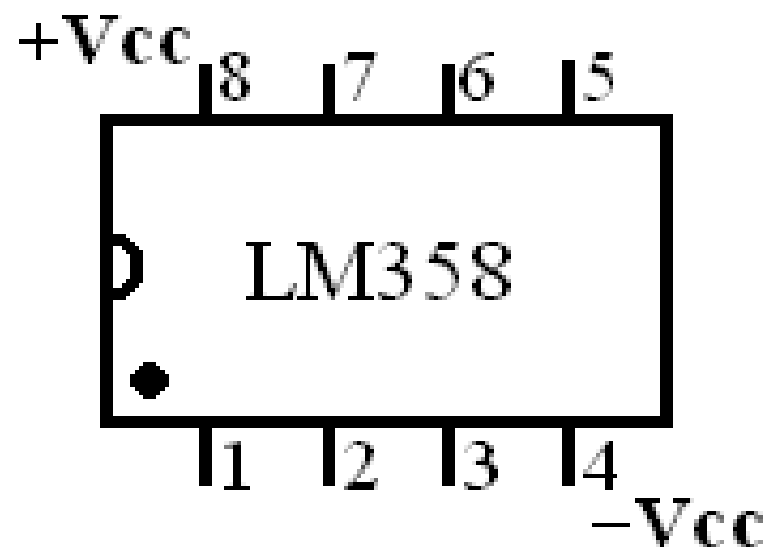
虚断 $i_P = i_N = 0$, $i_C = i_f$

$$C \frac{du_C}{dt} = \frac{u_N - u_O}{R_f}$$

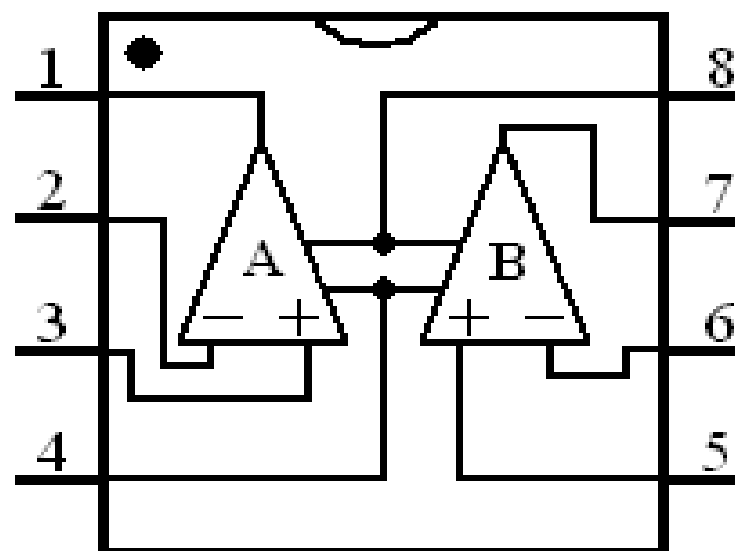
虚短 $u_P = u_N$, $u_P = 0$, $u_C = u_i$

$$u_o = -R_f C \frac{du_i}{dt}$$

LM358



LM358引脚图



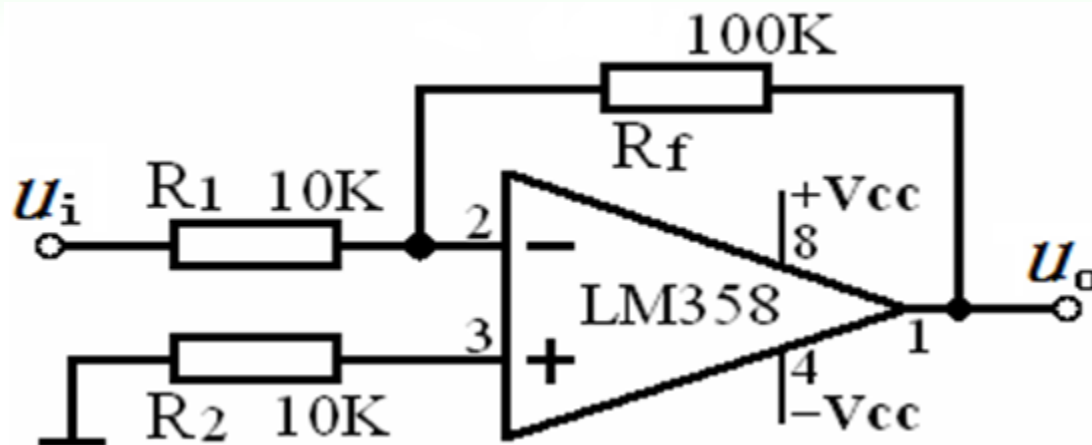
LM358内部结构

$$\pm V_{cc} = \pm 12V$$

实验内容

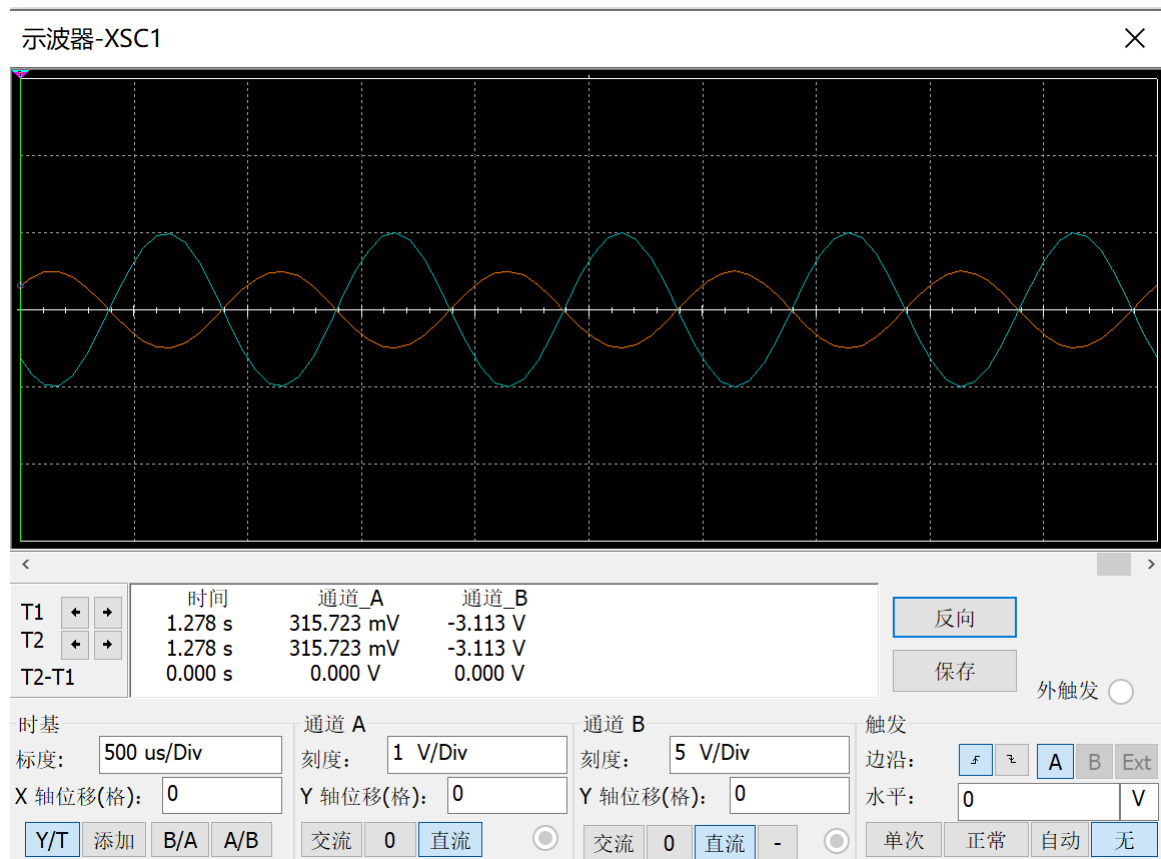
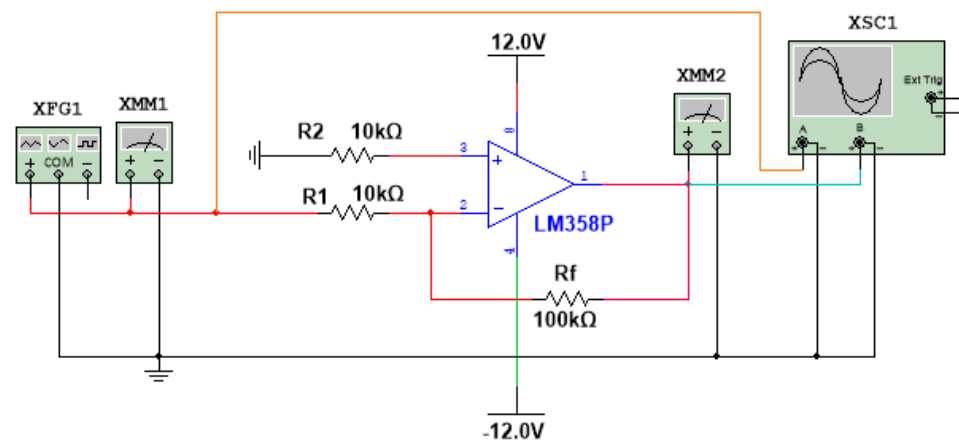
1.反相比例运算电路

u_i 为正弦波， $f=1\text{KHz}$ ， $u_i=1\text{V}$ (峰峰值)，通过示波器观察并记录输入、输出波形图，再用万用表ACV档测 u_i ， u_o ，填写下表。



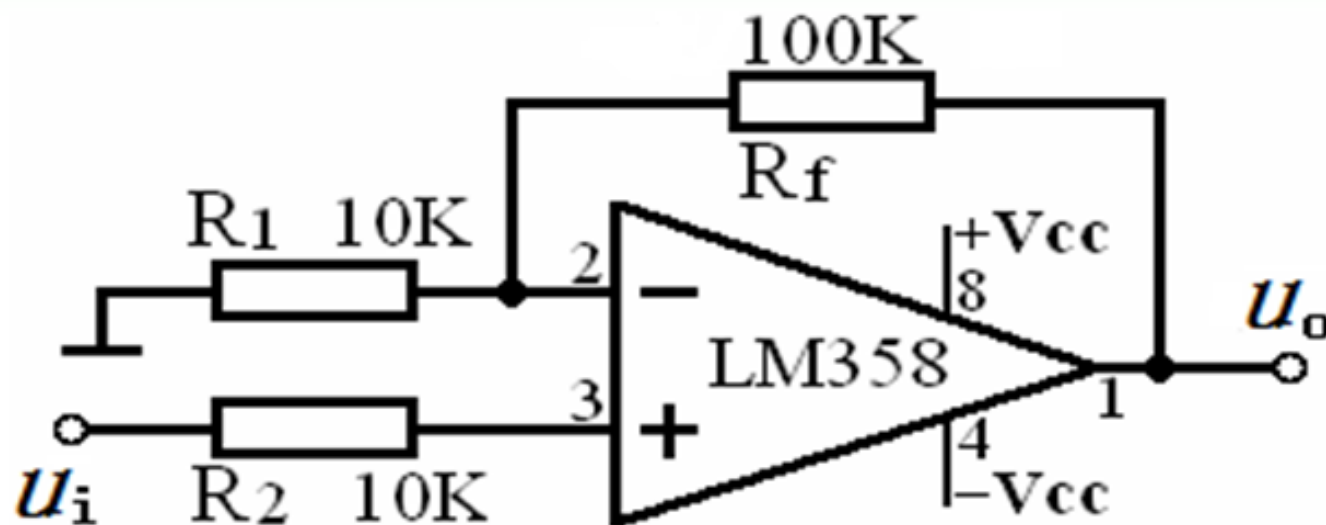
R_f	u_i	u_o	A_u 实际值 (U_o/U_i)	A_u 理论值 ($-R_f/R_1$)
100K				

1.反相比例运算电路（续）



2.同相比例运算电路

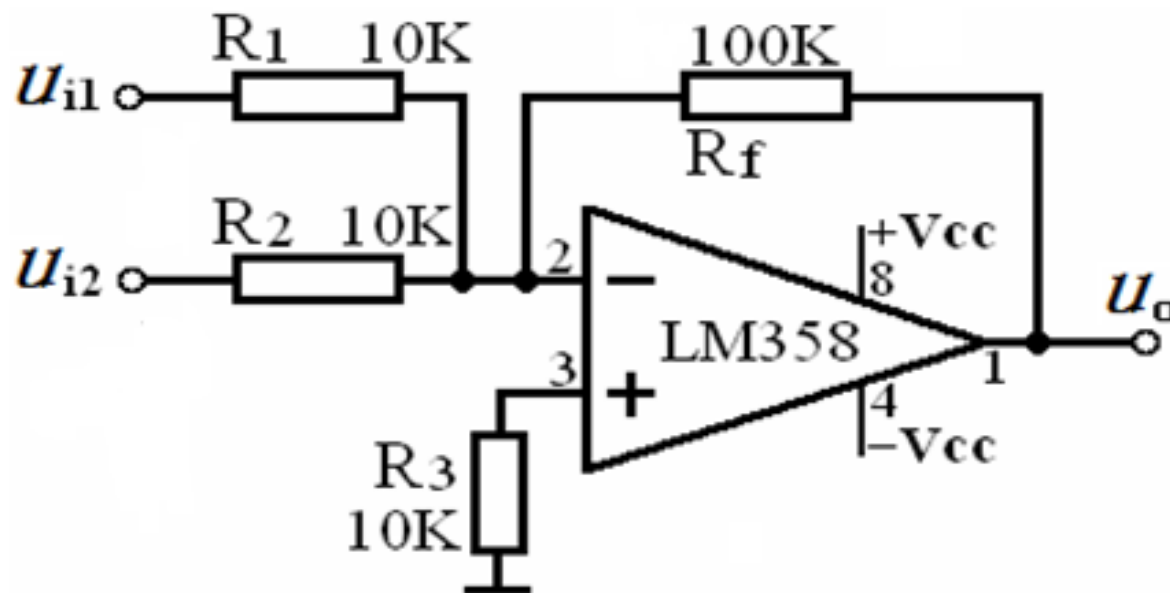
u_i 为正弦波， $f=1\text{KHz}$ ， $u_i=1\text{V}$ (峰峰值)，通过示波器观察并记录输入、输出波形图，再用万用表ACV档测 u_i ， u_o ，填写下表。



R_f	U_i	U_o	A_u 实际值 (U_o/U_i)	A_u 理论值 ($1+R_f/R_1$)
100K				

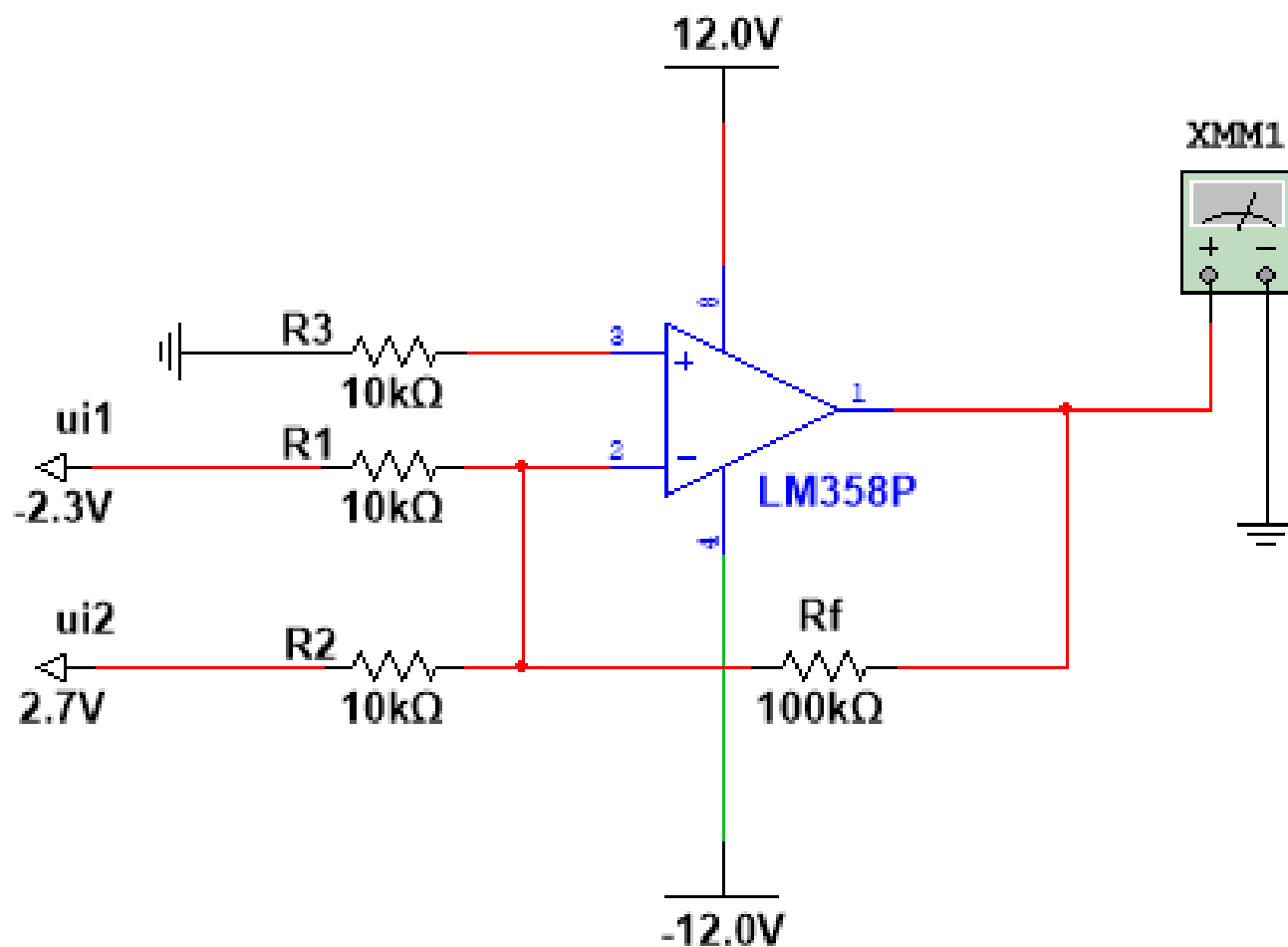
3.反相加法运算电路

按下图连接电路，从 u_{i1} , u_{i2} 输入直流信号，用万用表DCV档测量输出电压 U_o ，填写下表。



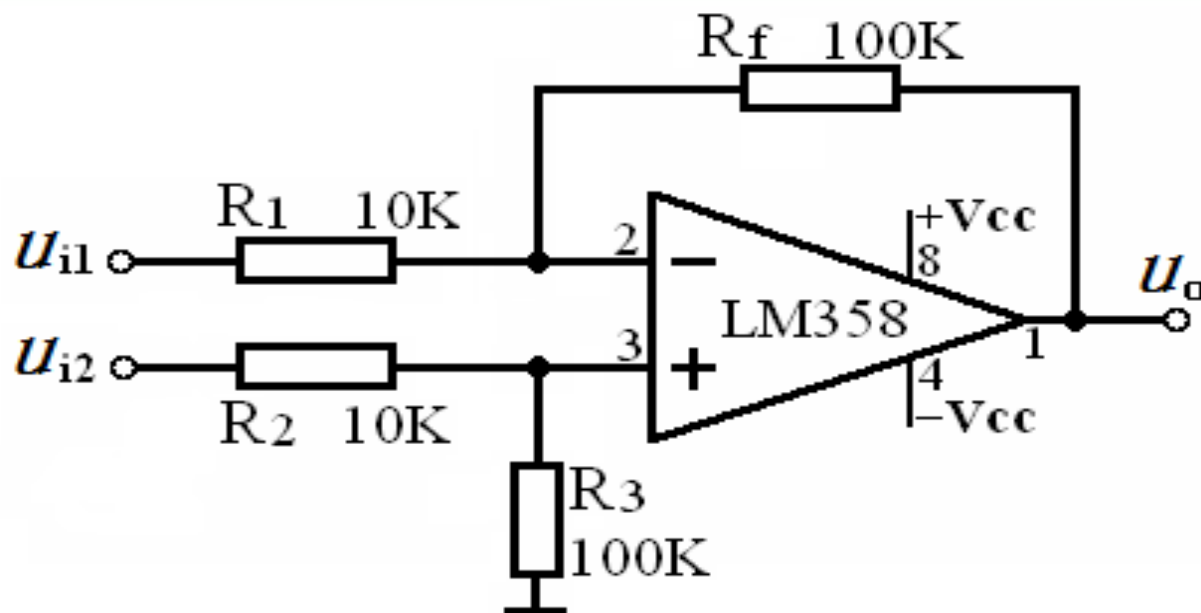
$U_{i1}(\text{v})$	0.4	-2.3	5
$U_{i2}(\text{v})$	0.1	2.7	-4.5
$U_o(\text{v})$			

3.反相加法运算电路（续）



4.减法运算电路

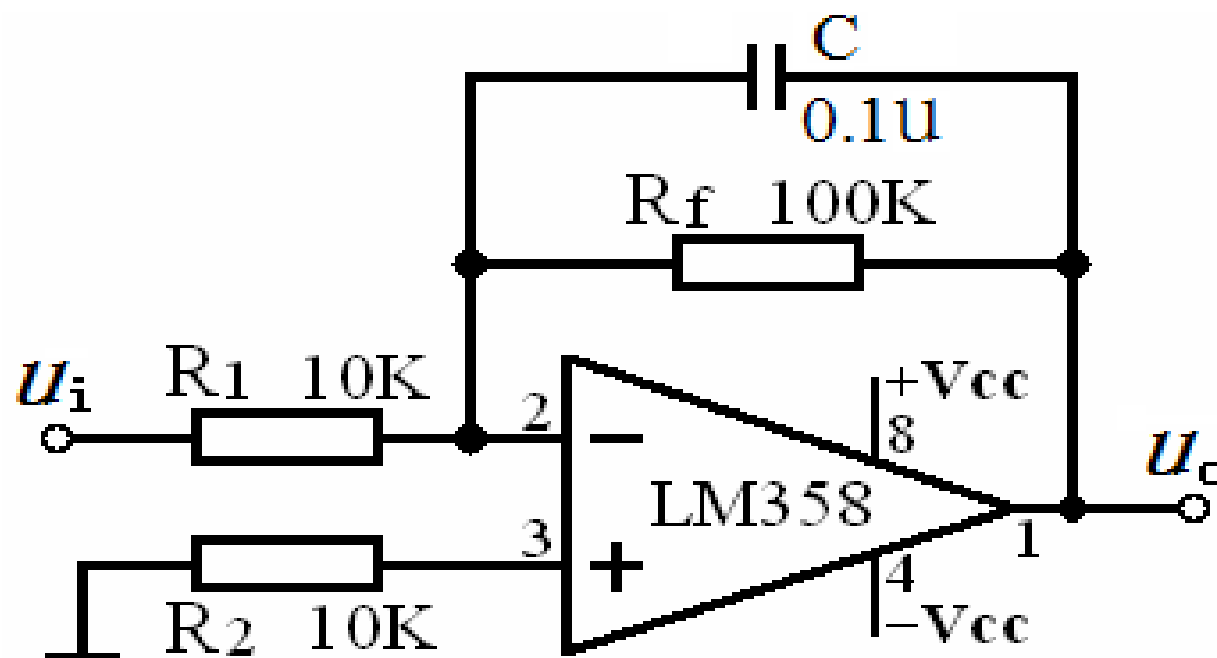
按下图连接电路，从 u_{i1} , u_{i2} 输入直流信号，用万用表 DCV 档测量输出电压 U_o ，填写下表。



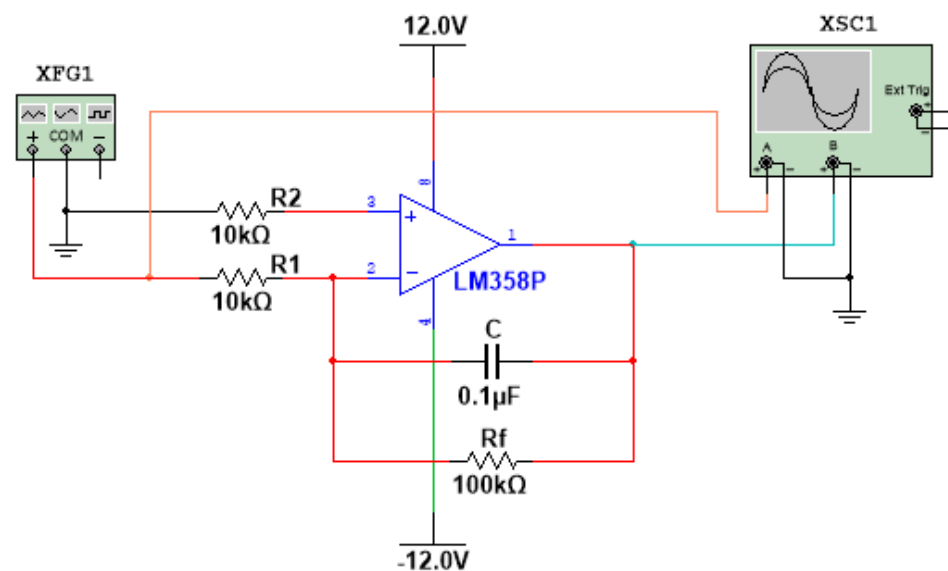
$U_{i1}(V)$	0.4	3.8	-5.3
$U_{i2}(V)$	0.1	4.6	-4.6
$U_o(V)$			

5.积分运算电路

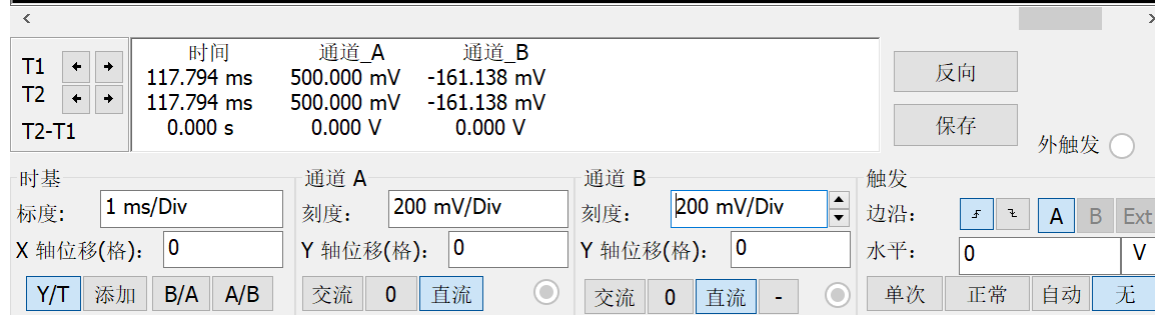
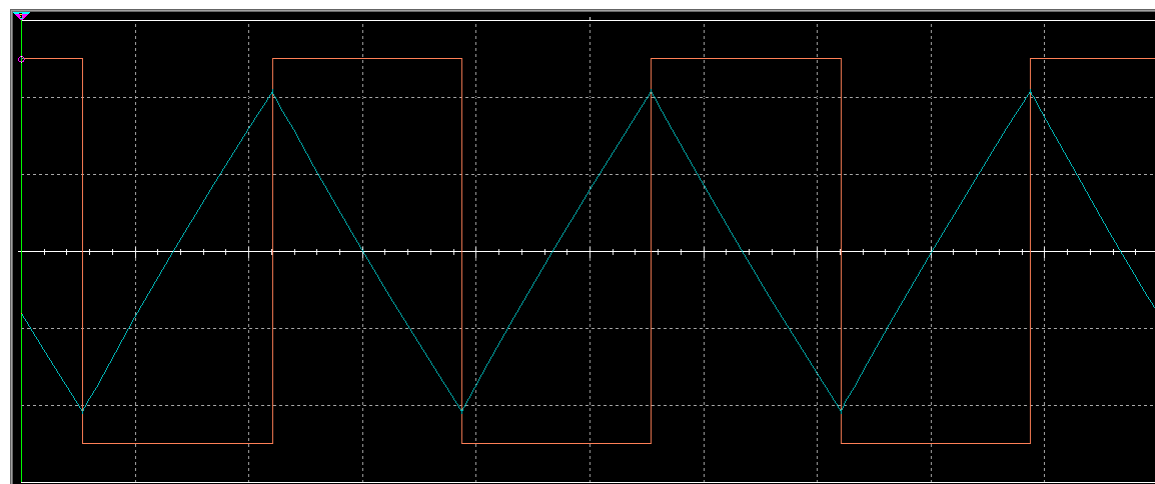
按下图连接电路，信号 u_i 从反相端输入 ($f=300\text{Hz}$, $u_{i\text{pp}}=1\text{V}$ 的方波)，用示波器观察并记录输入、输出波形图。



5. 积分运算电路（续）

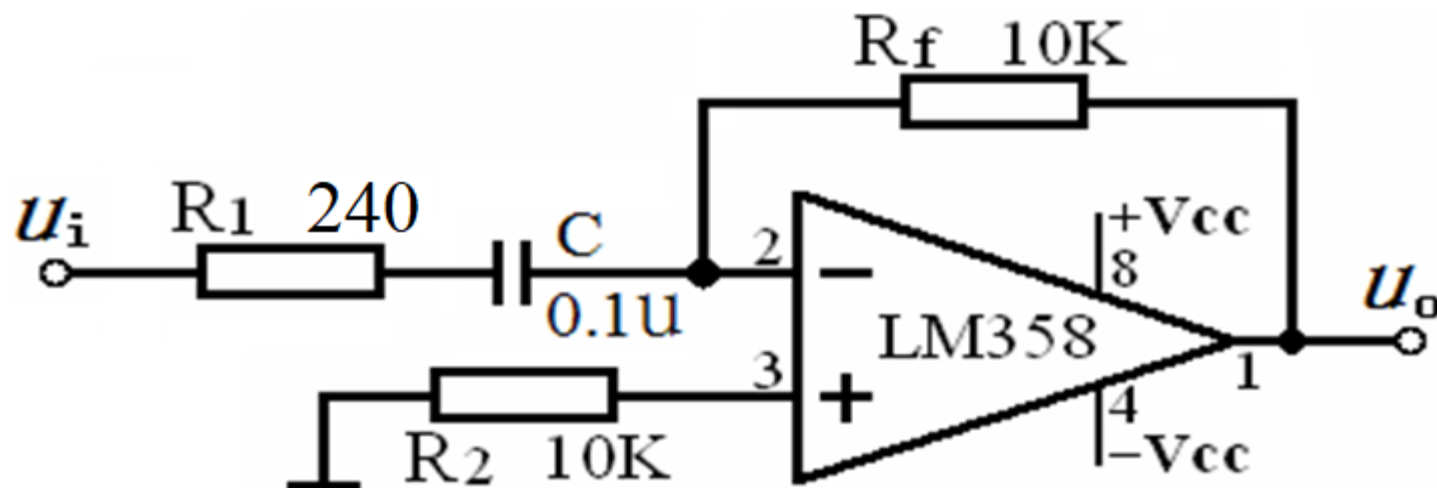


示波器-XSC1



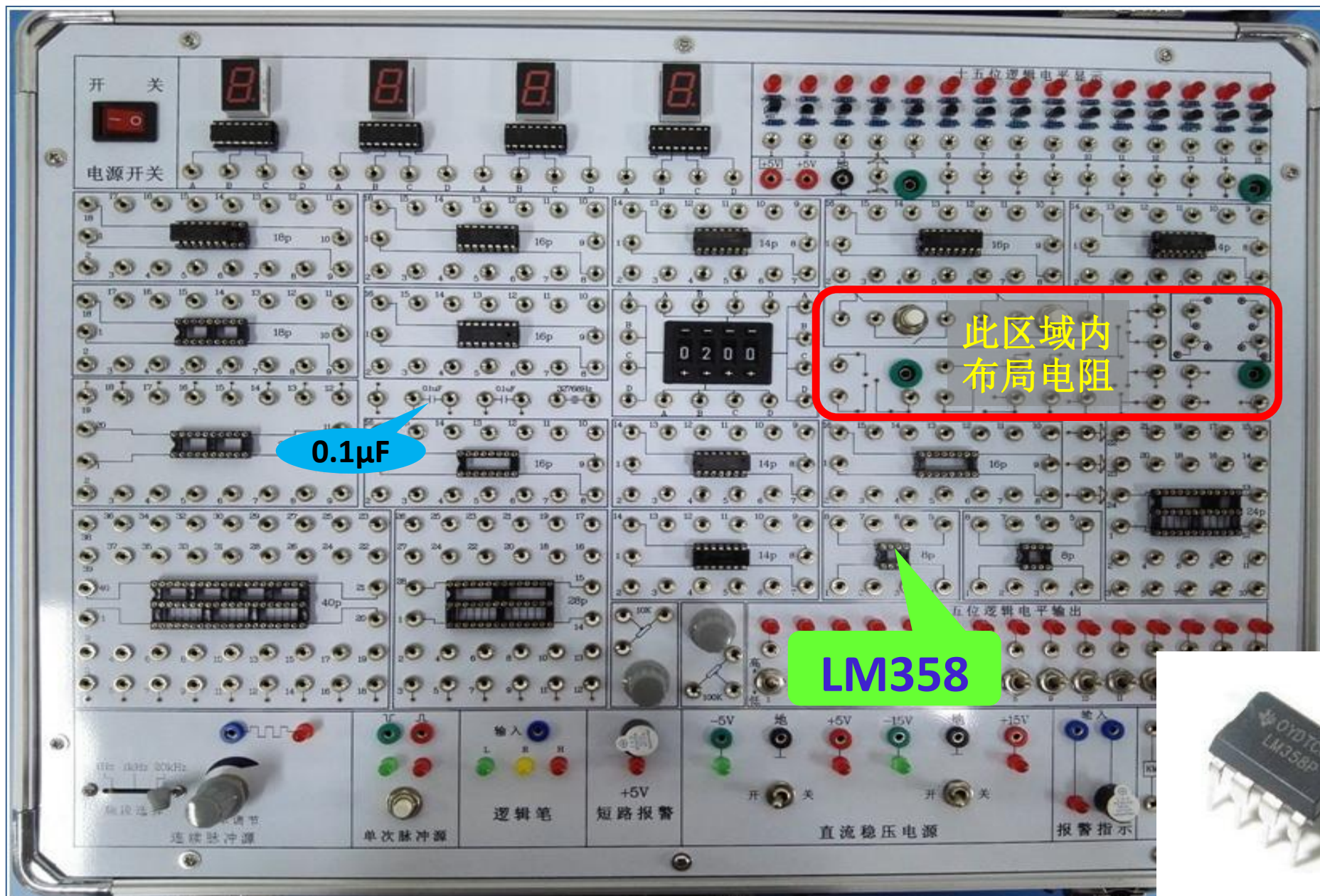
6.微分运算电路（选做）

按下图连接电路，信号 u_i 从反相端输入（ $f=200\text{Hz}$ ， $u_{i\text{pp}}=3\text{V}$ 的三角波），用示波器观察并记录输入、输出波形图。



实验思考题

1. 运算放大器在同相比例运算电路和反相比例运算电路的接法上有什么异同点？同相比例运算电路若把反馈电路也接到同相端行不行？为什么？
2. 在反相加法运算电路中，若 U_{i1} 和 U_{i2} 均采用直流信号，并选定 $U_{i2} = -1V$ ，当考虑到运算放大器的最大输出幅度 $\pm 12V$ 时， $|U_{i1}|$ 的大小不应超过多少伏？



实验设备与器件

函数发生器

直流电源

示波器

万用表

(实验箱)

集成运放**LM358** (Analog → OPAMP → **LM358P**)

电容、电阻若干