

## 6 比例求和运算电路

### 一. 实验目的

- (1) 掌握用集成运算放大器组成比例求和电路的特点及性能。
- (2) 学会上述电路的测试和分析方法。

A  
席瑞宇  
202410192

### 二. 实验仪器

- (1) 数字万用表
- (2) 数显示波器
- (3) 信号发生器

### 三. 实验原理

(1) 比例运算放大电路包括反相比例、同相比例运算电路, 是其他各种运算电路的基础。

下面列出放大倍数的计算公式。

反相比例运算放大器:  $A_f = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{R_f}{R_1}$

同相比例运算放大器:  $A_f = \frac{U_o}{U_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$

在同相比例的大器中, 当  $R_f = 0$  和  $R_1 = \infty$  时,  $A_f = 1$ , 这种电路称为电压跟随器。

(2) 求和电路的输出量反映几个模拟输出量相加的结果, 用运算实现求和运算时, 可以采用相输入方式,

也可以采用同相输入或双端输入的方式

下面列出相关计算公式:

反相求和电路:  $U_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} \cdot U_{i1} + \frac{R_f}{R_2} \cdot U_{i2}\right)$

若  $R_1 = R_2 = R$ , 则  $U_o = -\frac{R_f}{R} (U_{i1} + U_{i2})$

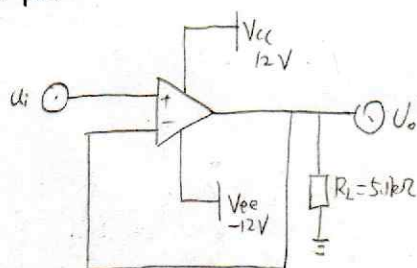
双端输入求和电路:  $U_o = \frac{R_f}{R} \left(\frac{R_2}{R_1} U_{i1} - \frac{R_2}{R_3} U_{i2}\right)$

式中:  $R_2 = R_1 // R_f$ ,  $R_2 = R_1 // R_3$

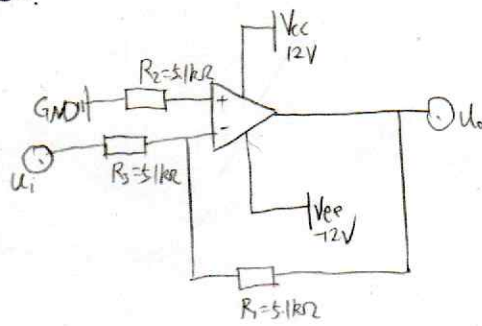
### 四. 实验内容与结果

#### 1. 电压跟随器

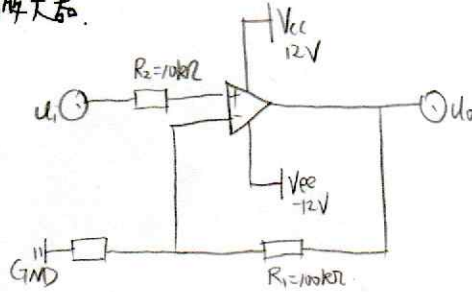
实验电路如图所示



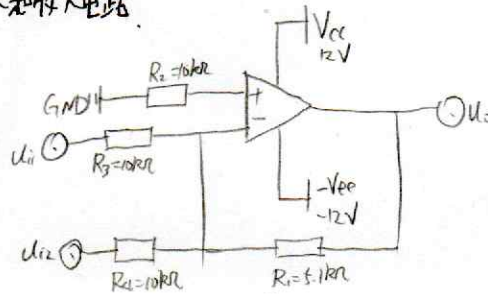
## 2. 反相比例放大器



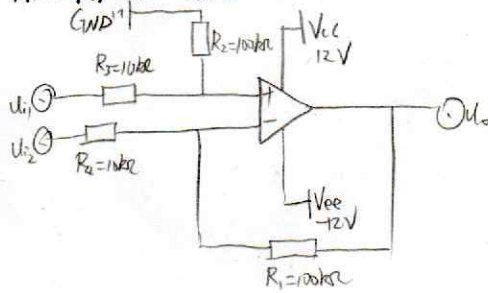
## 3. 同相比例放大器



## 4. 反相求和放大电路



## 5. 双端输入求和放大电路



## 电压跟随器电压值记录

直流信号 $U_i$ (V)	-2.0022	-0.5091	0	0.5022	1.0114
$R_L = \infty$	-2.0022	-0.5041	-0.19m	0.5015	1.0097
$R_L = 51k\Omega$	-2.0021	-0.5053	-0.19m	0.5015	<del>1.0087</del>

交流信号: $U_i$	$U_o$
296	300
616	600
900	900

反相比例放大器电压值记录

直流输入 $U_i$	313.8	100.35	302.68	1002.9	3009.9
理论	-313.8	-1003.5	-3026.8	-10029	-3009.9
实测	-315.98	-1006.5	-3029	-9790	-9837
误差	1.2	3	22	-239	-20182

交流输入 $u_i$	$u_o$
11.6	64
15.8	94
24.4	146
288mV	2.92V
592mV	5.92V
900mV	8.8V

上限截止频率  $f_H = 30\text{kHz}$

同相比例放大器电压值记录

直流输入 $U_i$	30.04	102.3	300.23	1012.9
理论	300.4	1023	3002.3	1012.9
实测	331.35	1135.9	3350.8	1128
误差	30.95	112.9	348.5	1151

$U_o = ?$

交流输入 $u_i$	$u_o$
292mV	3.32V
616mV	6.64V
900mV	9.60V

上限截止频率  $f_H = 27\text{kHz}$

反相求和放大电路电压记录值

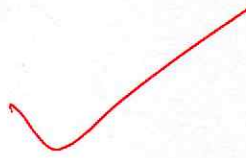
$U_{i1}(V)$	301.34m	-301.2m
$U_{i2}(V)$	200.99m	202.18m
$U_o(V)$	-254.1m	45.78m

交流输入 $u_i$	$u_o$
292m	158m
608m	304m
900m	464m

双端输入单端输出电路电压值记录

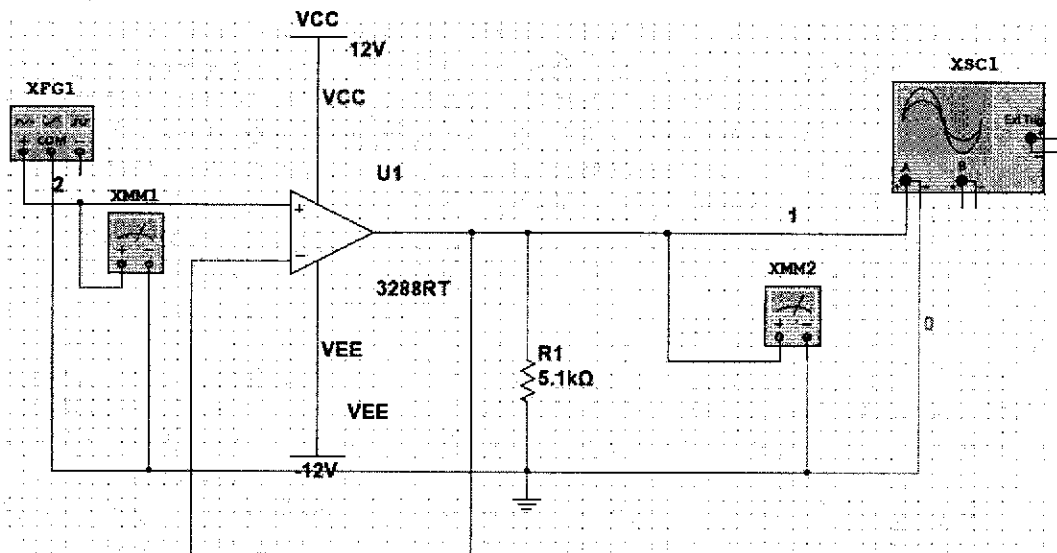
$U_{r1}(V)$	1.0196	2.0025	200.52m
$U_{i2}(V)$	0.5009	1.8014	-195.61m
$U_o(V)$	5.181	2.0272	4.0501V

交流输入	$U_i$	$U_o$
	292m	2.92V
	516m	5.92V
	900m	8.60V

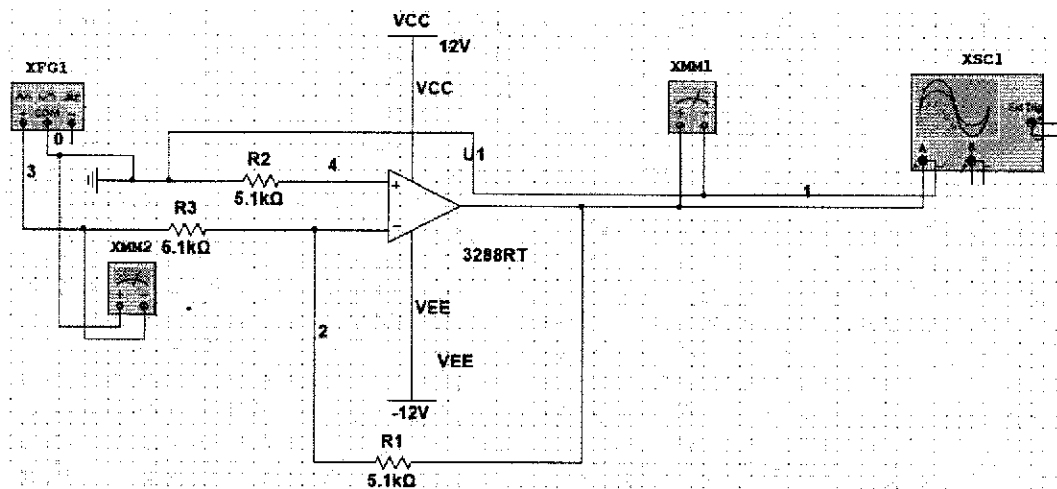




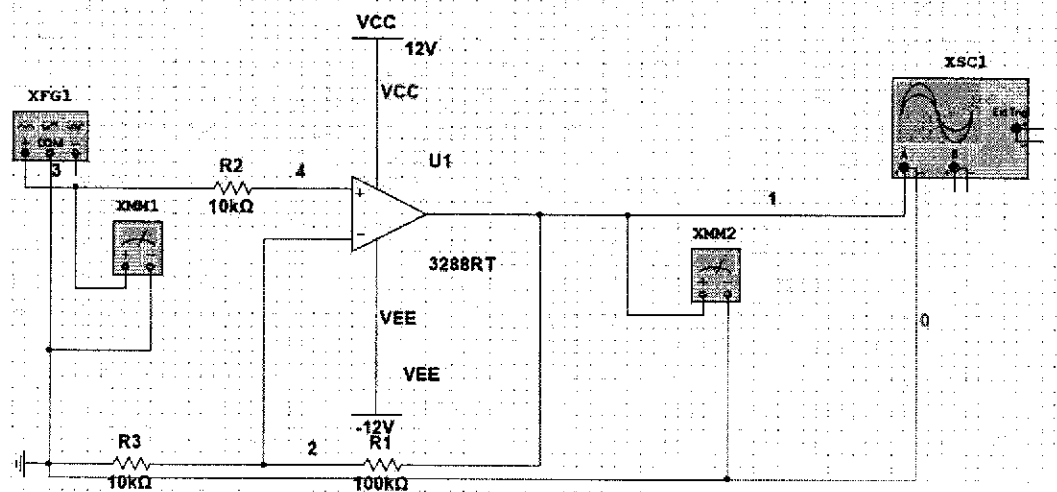
## 电压跟随器



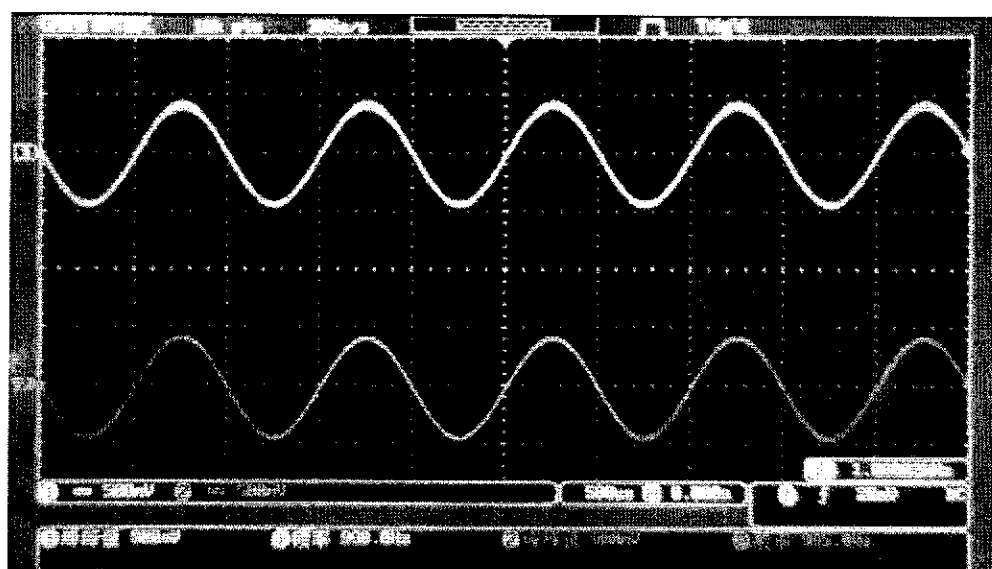
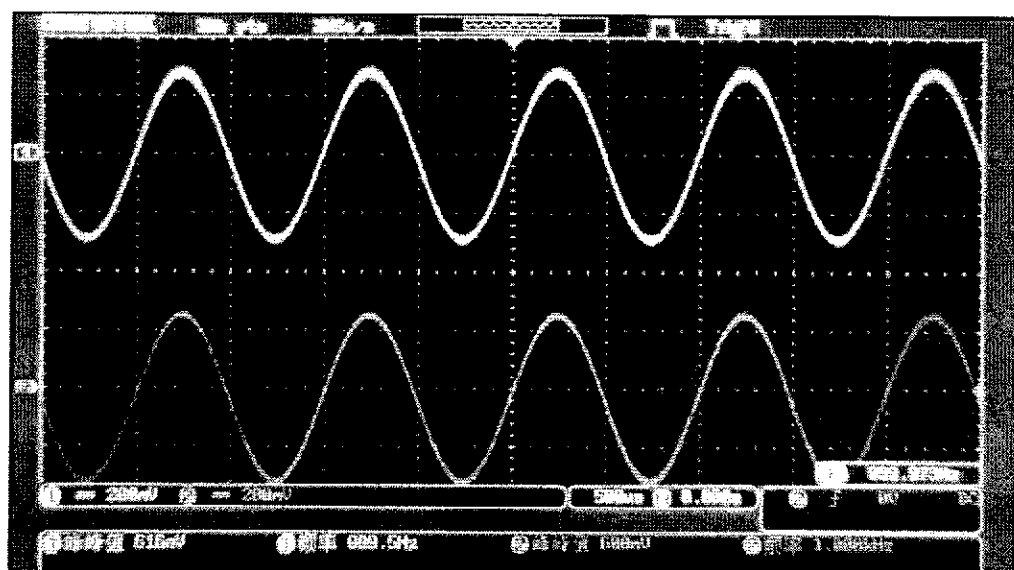
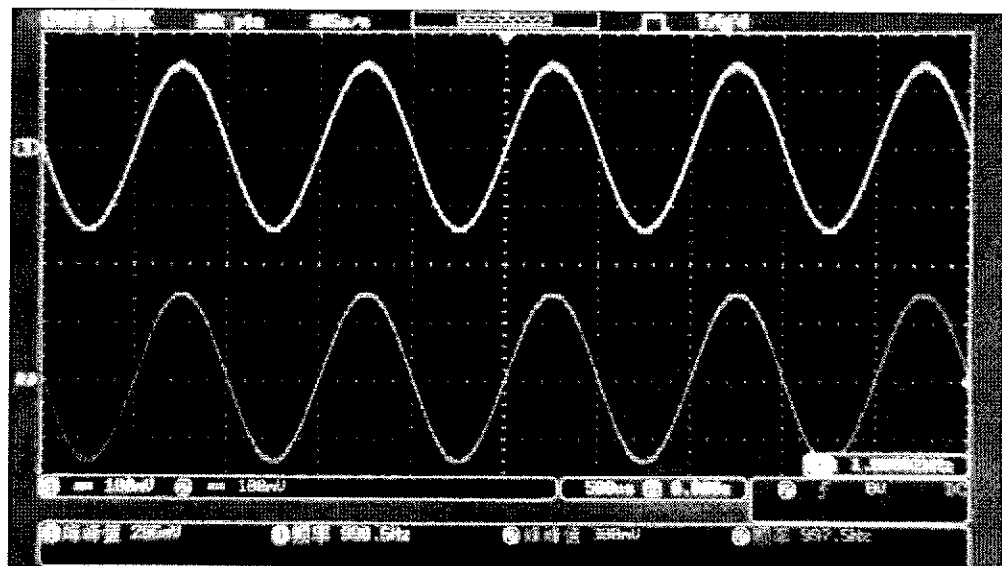
## 反相比例放大器



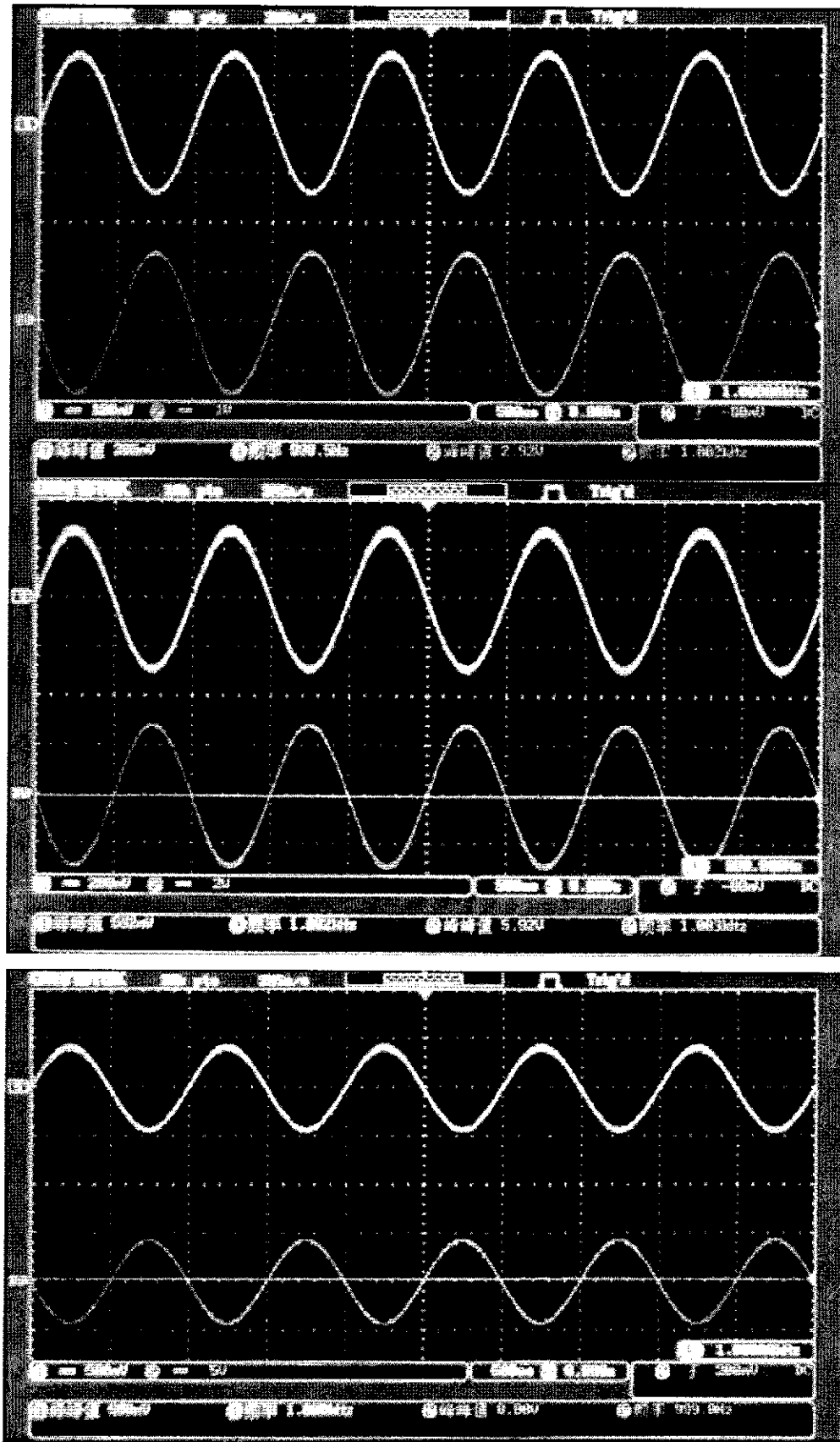
## 同相比例放大器



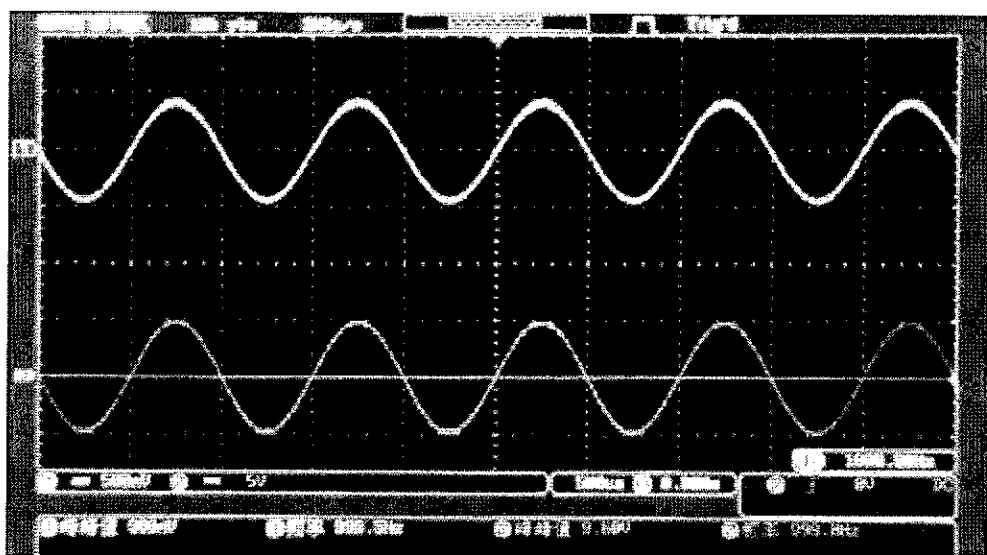
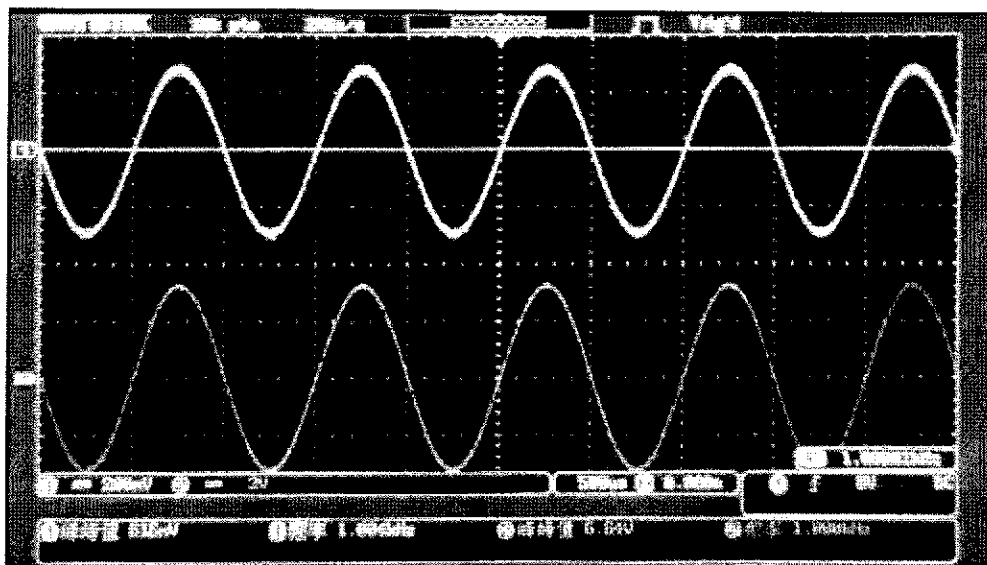
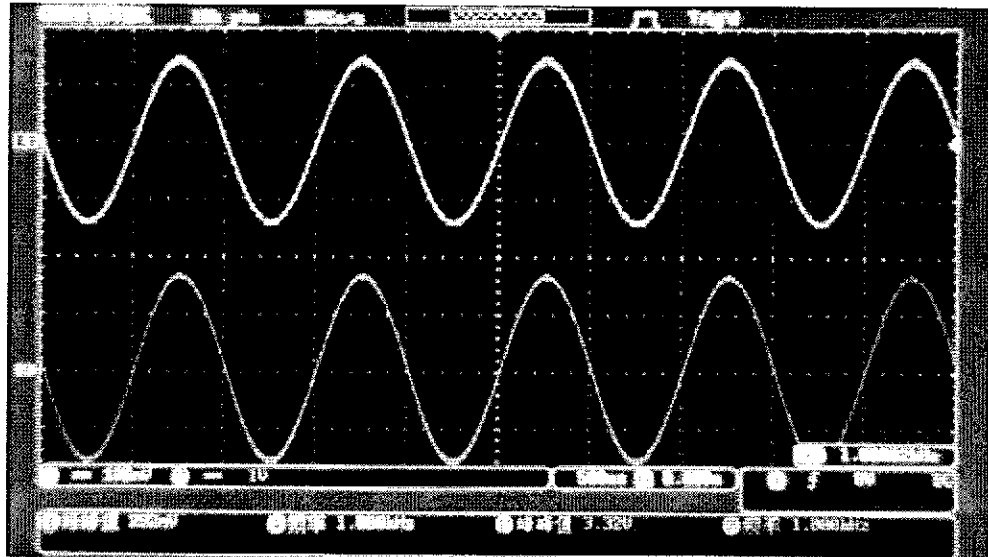
# 电压跟随器



# 反相比例放大器

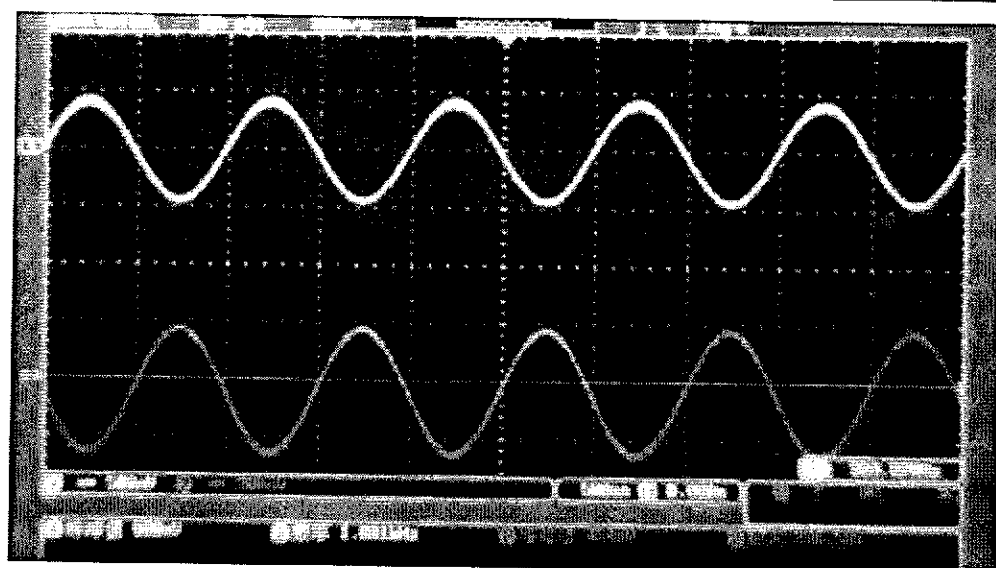
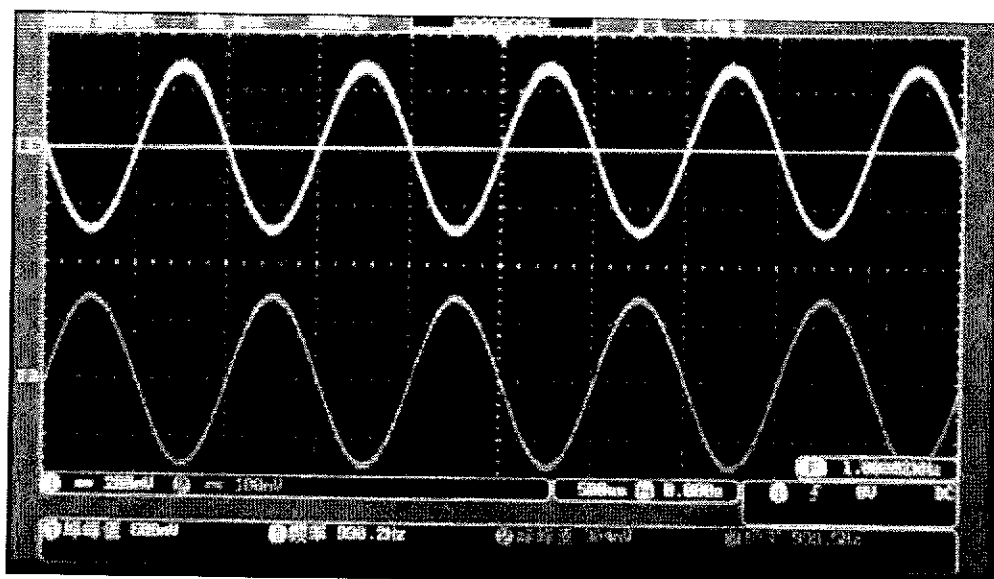
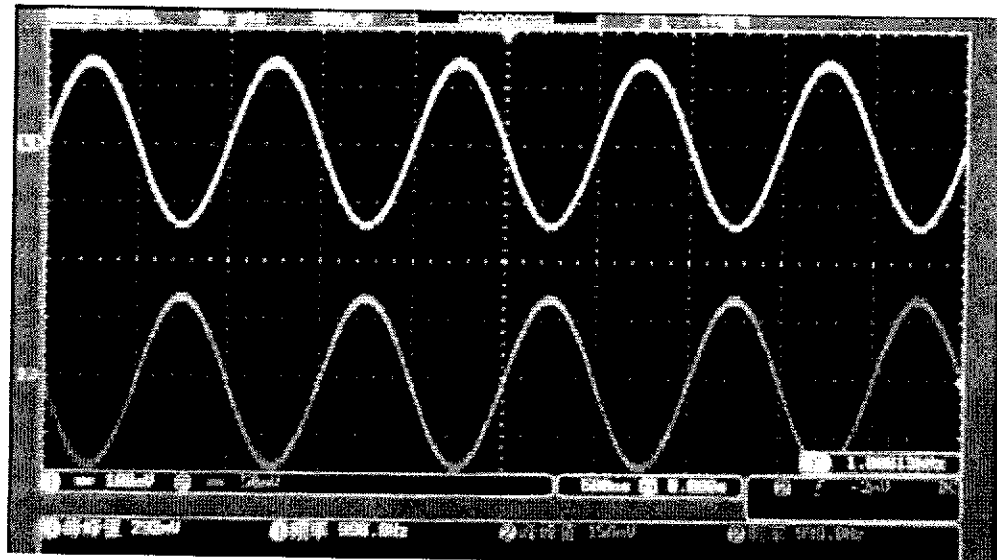


同相比例放大器

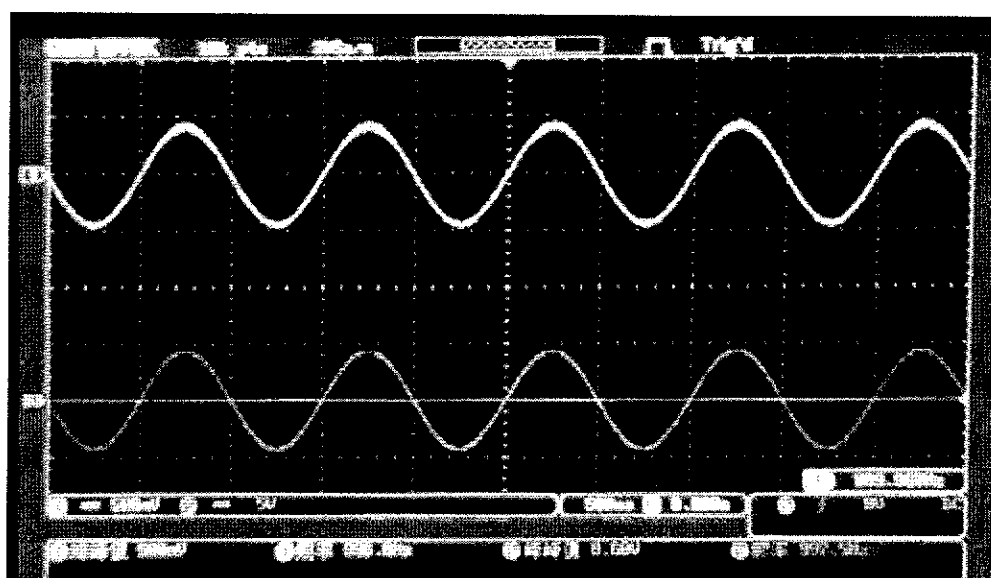
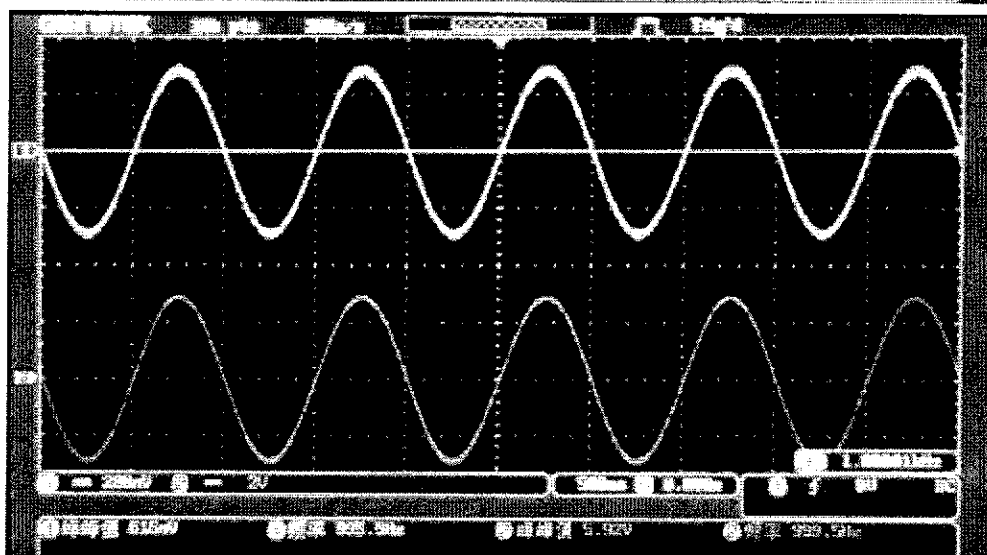
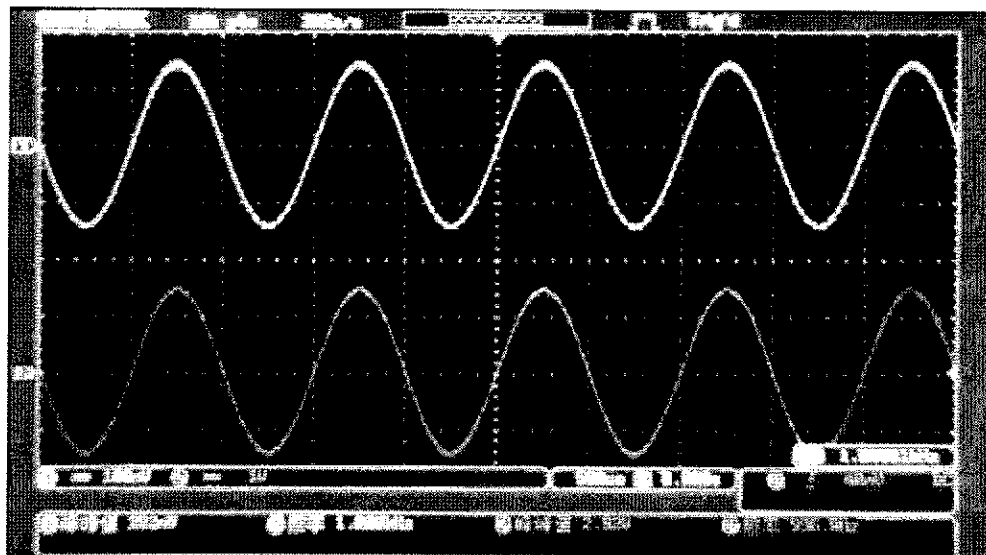




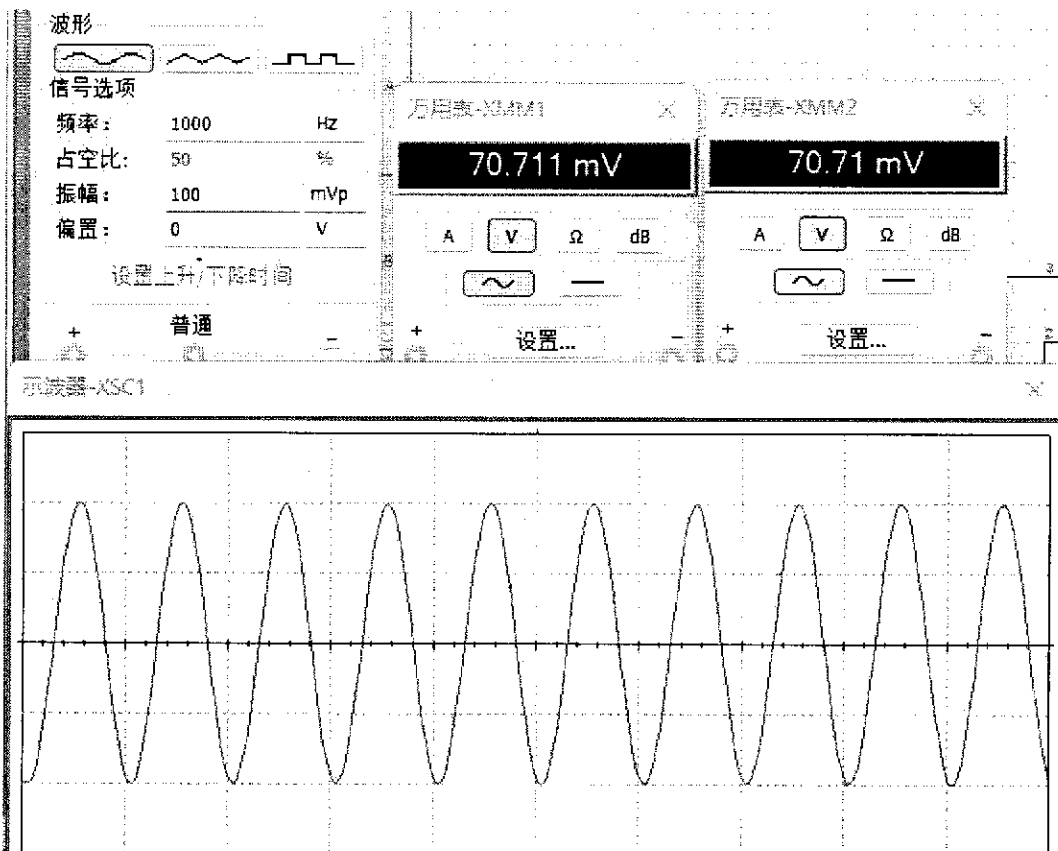
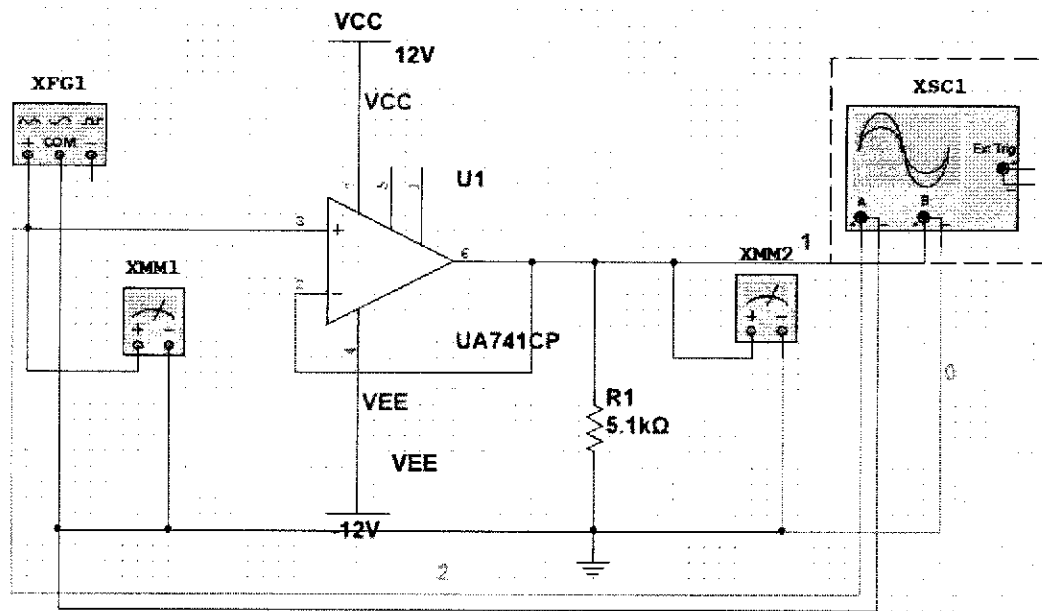
# 反相求和放大电路

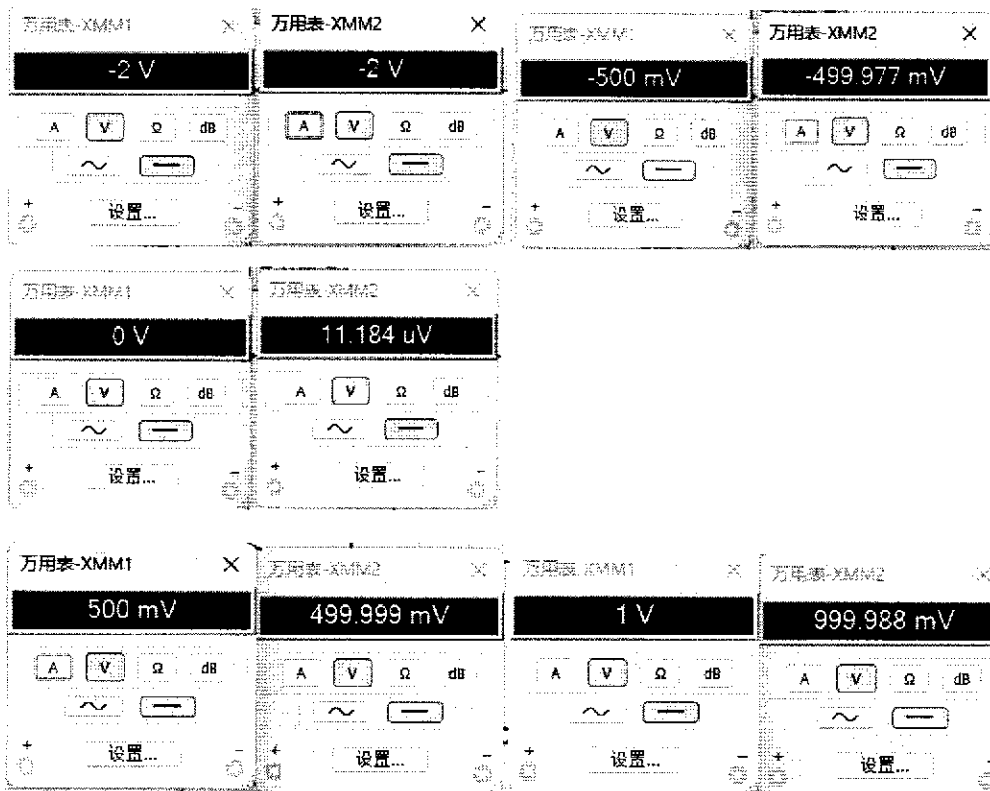


# 双端输入求和放大电路



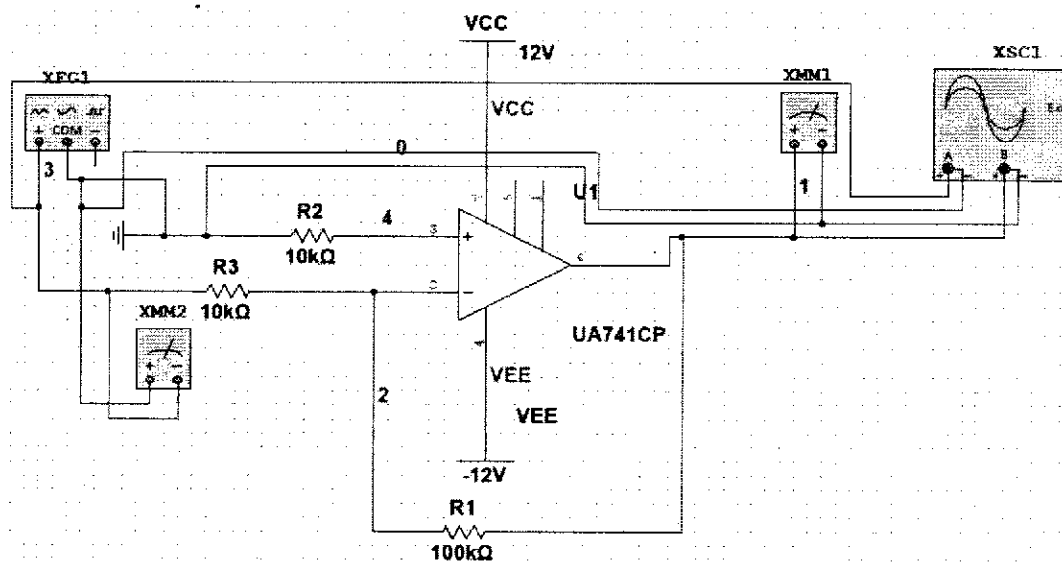
# 1. 电压跟随器





$U_i$	-2	-0.5	0	0.5	1
$U_o$	-2	-0.499977	11.184u	0.499999	0.999988

## 2. 反比例放大器



函数发生器-XFG1

波形

信号选项

频率:

1

kHz

占空比:

50

%

振幅:

100

mVp

偏置:

0

V

设置上升/下降时间

普通

万用表-XMM2

70.71 mV

A

V

$\Omega$

dB

~

—

设置...

万用表-XMM1

707.036 mV

A

V

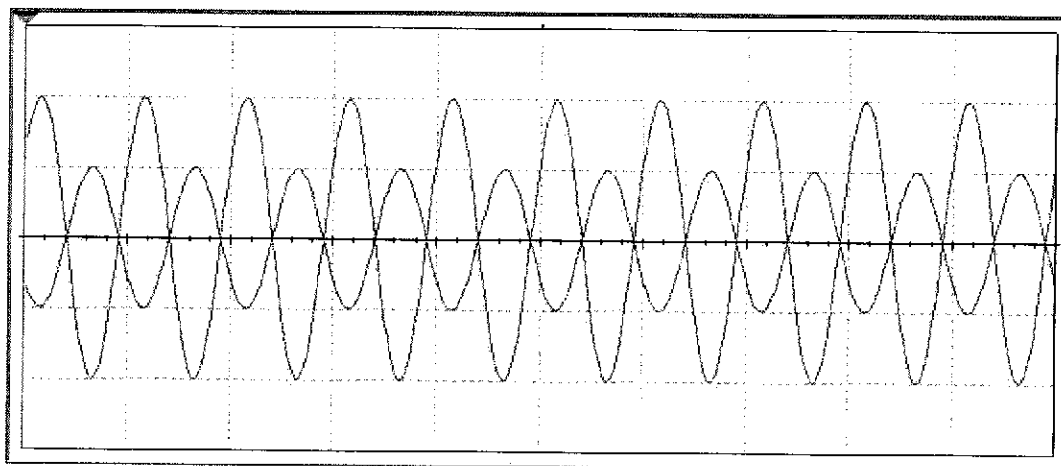
$\Omega$

dB

~

—

设置...



T1

T2

T2-T1

时间

通道\_A

通道\_B

反向

保存

外触发

时基

通道 A

通道 B

触发

标度: 1 ms/Div

刻度: 100 mV/Div

刻度: 500 mV/Div

边沿: F  $\square$  A B Ext

X轴位移(格): 0

Y轴位移(格): 0

Y轴位移(格): 0

水平: 0 V

Y/T 添加 B/A A/B

交流 0 直流

交流 0 直流

单次 正常 自动 无

万用表-XMM2

30 mV

A

V

$\Omega$

dB

~

—

设置...

万用表-XMM2

-300.656 mV

A

V

$\Omega$

dB

~

—

设置...

万用表-XMM2

100 mV

A

V

$\Omega$

dB

~

—

设置...

万用表-XMM1

-1.001 V

A

V

$\Omega$

dB

~

—

设置...

万用表-XMM2

300 mV

A

V

$\Omega$

dB

~

—

设置...

万用表-XMM1

-3.001 V

A

V

$\Omega$

dB

~

—

设置...

万用表-XMM2

1 V

A

V

$\Omega$

dB

~

—

设置...

万用表-XMM1

-9.937 V

A

V

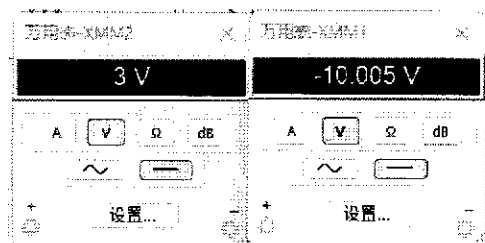
$\Omega$

dB

~

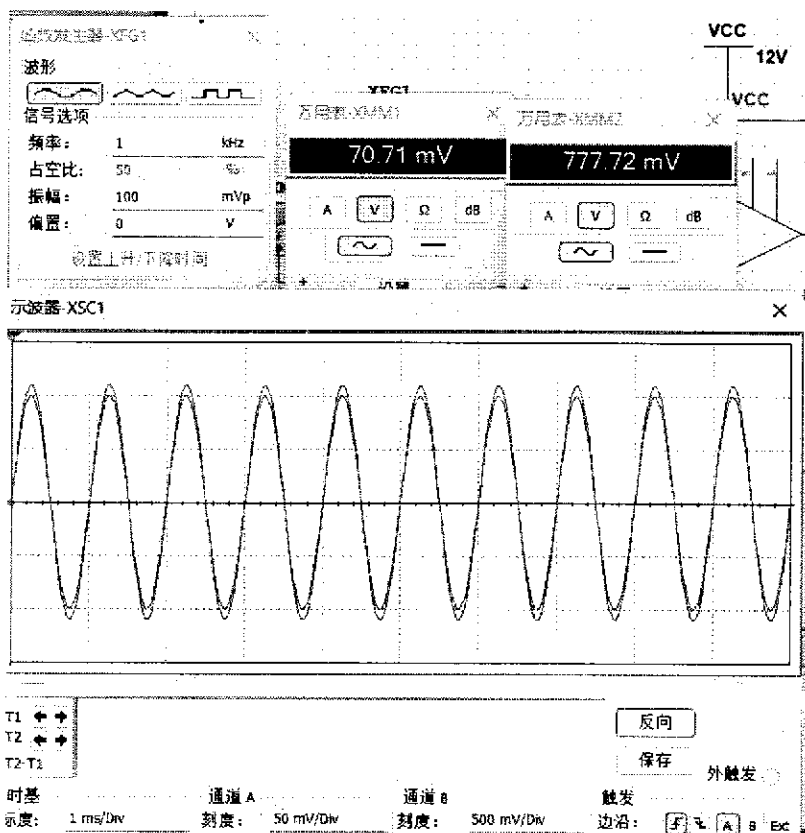
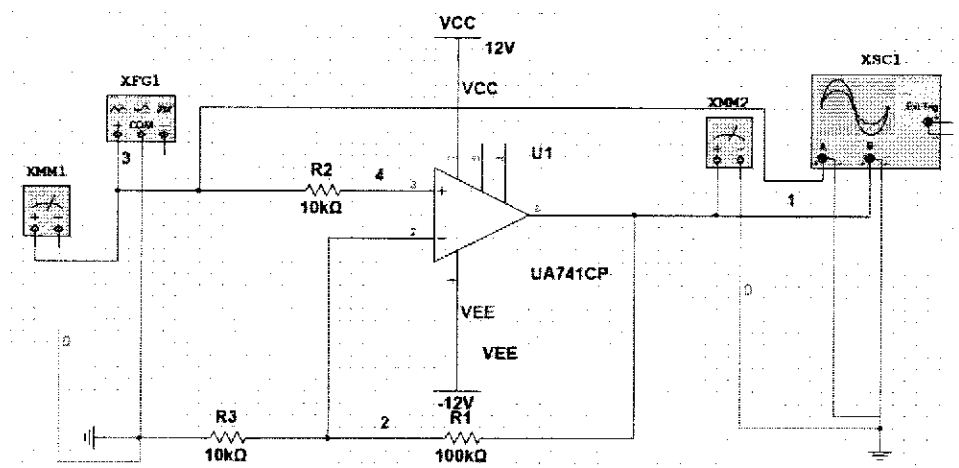
—

设置...

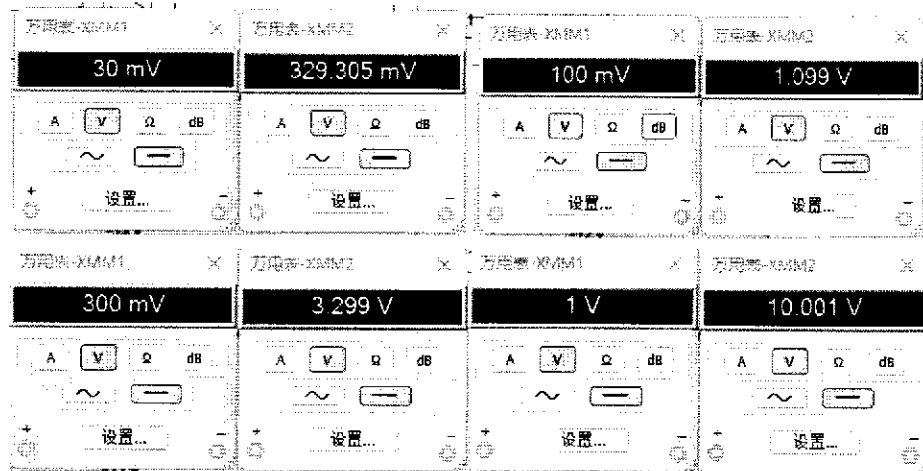


U <sub>i</sub>	0.03	0.1	0.3	1	3
理论	-0.3	-1	-3	-10	-30
实测	-0.300656	-1.001	-3.001	-9.937	-10.005
误差	-0.000656	-0.001	-0.001	0.063	19.995

### 3. 同相比例放大器

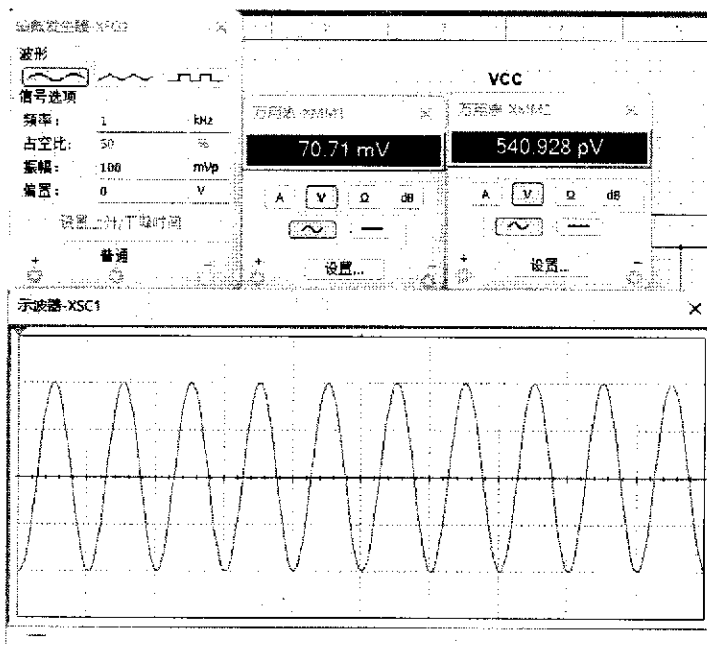
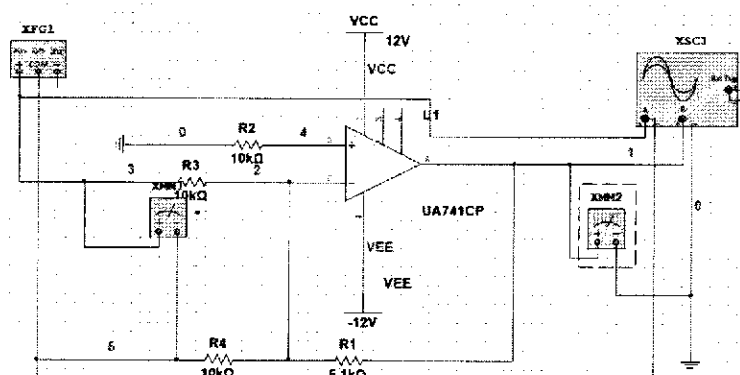


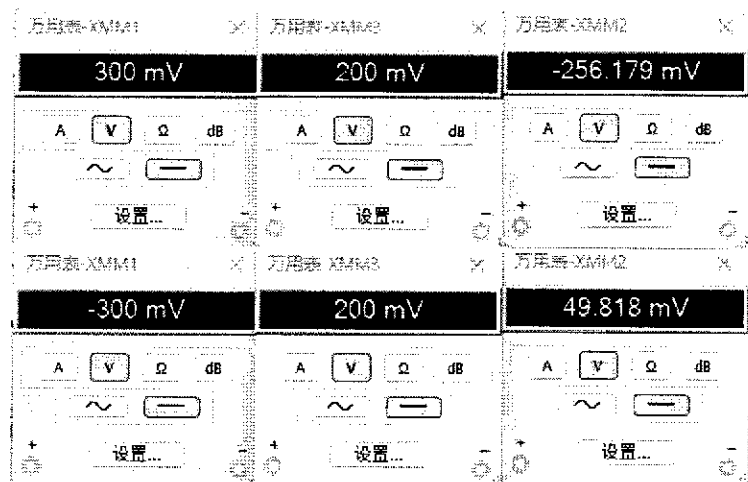




Ui	0.03	0.1	0.3	1
理论	0.3	1	3	10
实际	0.329305	1.099	3.299	10.001
误差	0.029305	0.099	0.299	0.001

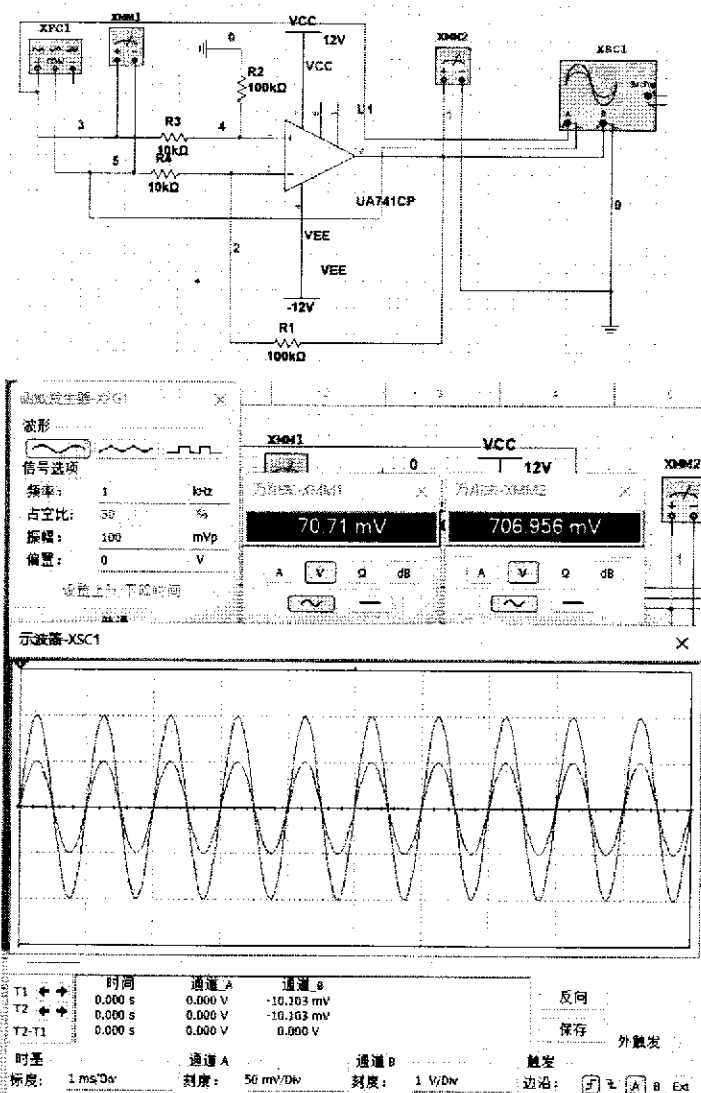
#### 4. 反相求和放大电路

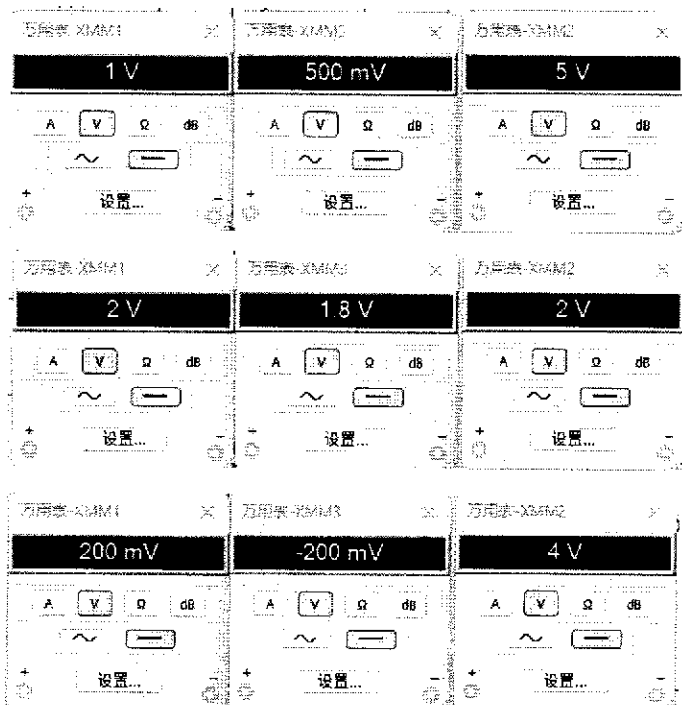




Ui1	0.3	-0.3
Ui2	0.2	0.2
Uo	-0.256179	0.049818

### 5. 双端输入求和放大电路





Ui1	1	2	0.2
Ui2	0.5	1.8	-0.2
Uo	5	2	4

# 积分与微分电路

## 一. 实验目的

- (1) 学习用运算放大器组成积分与微分电路
- (2) 学会积分与微分电路的特点及性能

## 二. 实验仪器

- (1) 数字万用表
- (2) 信号发生器
- (3) 数字示波器

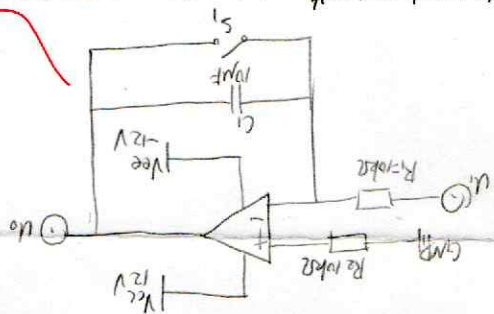
## 三. 实验原理

(1) 积分电路是模拟计算机中的基本单元, 利用它可以实现对微分方程的模拟, 同时它也是控制和测量系统中的重要单元, 利用它的充、放电过程, 可以实现延时, 定时以及产生各种波形。

下图为积分电路, 它和反相比例放大器的不同之处在于电容 C 代替反馈电阻 R, 由虚地的概念可知:

$$I_i = \frac{U_i}{R} \quad U_o = -U_c = -\frac{1}{C} \int I_i dt = -\frac{1}{RC} \int U_i dt$$

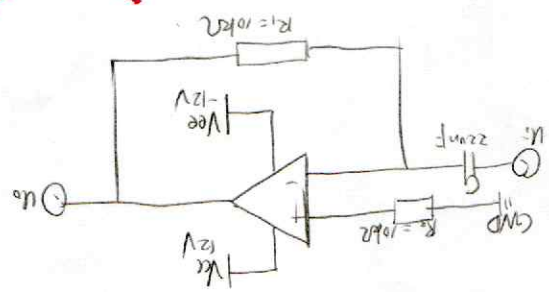
即输出电压与输入电压呈积分关系。



(2) 微分电路是积分运算的逆运算, 下图为微分电路, 它与上图的区别在于电容 C 接在输入端

电阻 R 接了位置。由虚地的概念可知  $U_i = -I_R R = -I_R \frac{dU_c}{dt} = -RC \frac{dU_o}{dt}$

故知输出电压是输入电压的微分。



## 四. 实验内容与结果

### 1. 积分电路

- (1) 取  $U_i = -1V$  实测值  $-0.9980V$ , 断开开关 S, 用示波器观察 U 发现输出电压逐渐上升
- (2) 测得输出电压  $-9.931V$   $-10.013V$

李瑞宇  
2024/09/02

(3) 将输入电容改为  $0.1\mu$ ，断开  $S_1$ ， $U_i$  分别输入  $100\text{Hz}$ ，幅值为  $2\text{V}$  的正弦波和三角波信号，观察大小及相位关系，记录见附图。

(4) 改变电路的  $U_i$  的频率，发现随着输入频率的提高，输出电压相位。

## 2. 微分电路

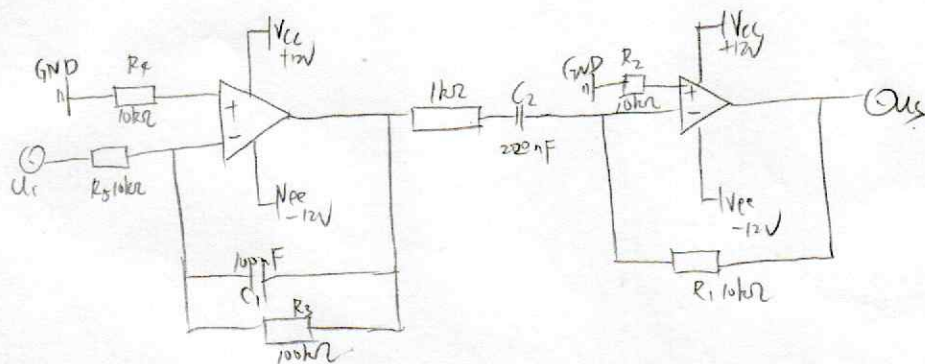
(1) 输入正弦波信号， $f = 200\text{Hz}$ ，有效值为  $1\text{V}$ （实测  $1.0053\text{V}$ ），用示波器观察  $U_i$  与  $U_o$  的波形，见附图，测得输出电压  $U_o = 2.8491\text{V}$ 。

(2) 改变正弦波频率（ $20 \sim 400\text{Hz}$ ），观察  $U_i$  与  $U_o$  的相位，幅值变化。

(3) 输入方波， $f = 200\text{Hz}$ ， $U_i = \pm 5\text{V}$ ，记录  $U_o$  的波形。

的输入三角信号， $f = 200\text{Hz}$ ， $U_i = \pm 2\text{V}$ ，记录  $U_o$  的波形。

## 3. 级联微分电路



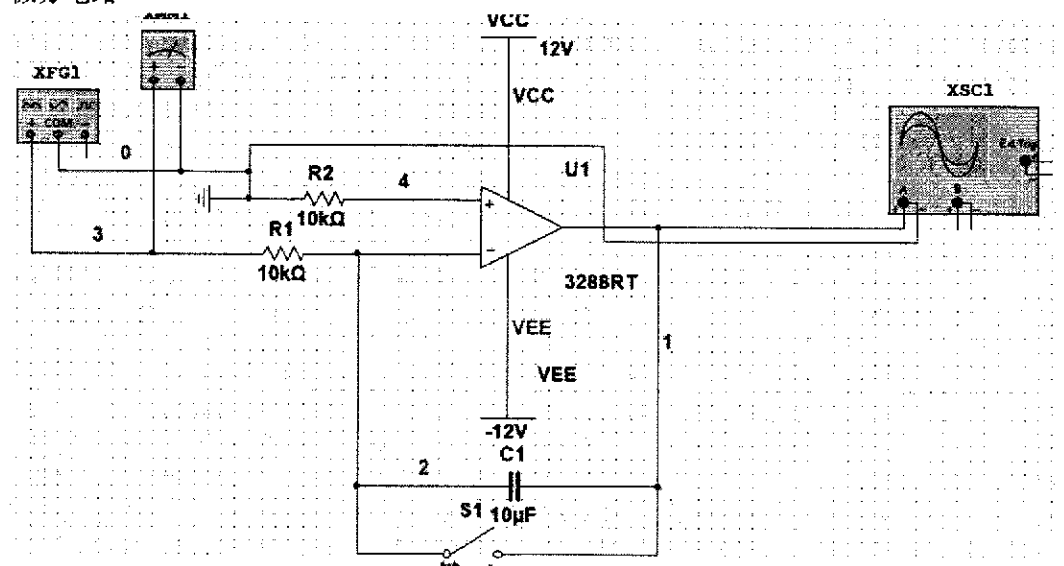
(1) 输入  $f = 200\text{Hz}$ ， $U_i = \pm 5\text{V}$  的方波信号，记录  $U_o$  的波形。

(2) 输入  $f = 50\text{Hz}$ ，———

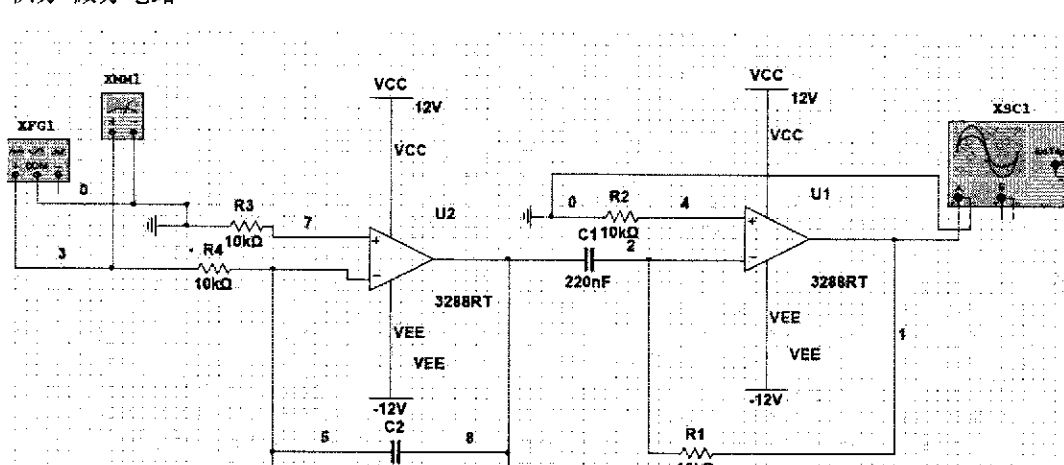
频率变大 幅值变大，频率变大 幅值变大，相位始终差  $90^\circ$

$\Delta$ 频率	$20\text{Hz}$	$40\text{Hz}$	$60\text{Hz}$	$80\text{Hz}$	$100\text{Hz}$	$120\text{Hz}$	$140\text{Hz}$	$160\text{Hz}$	$180\text{Hz}$	$200\text{Hz}$
	$736\text{mV}$	$1.32\text{V}$	$1.84\text{V}$	$2.42\text{V}$	$2.96\text{V}$	$3.52\text{V}$	$4.24\text{V}$	$4.72\text{V}$	$5.36\text{V}$	$5.92\text{V}$

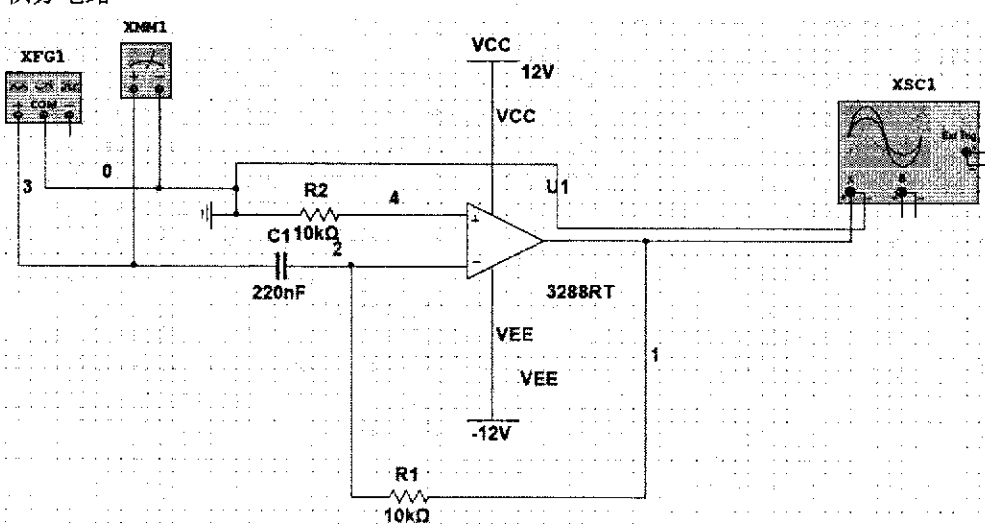
微分电路



积分-微分电路

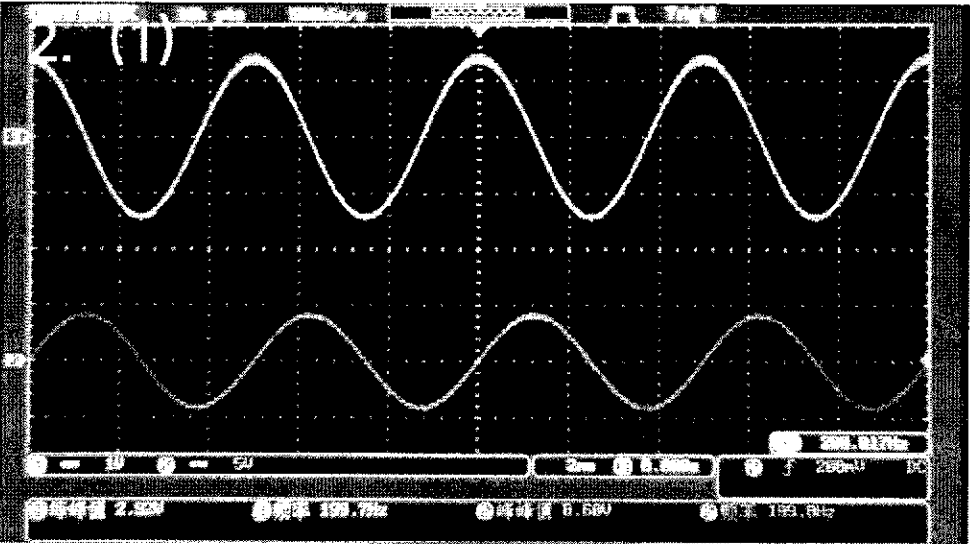
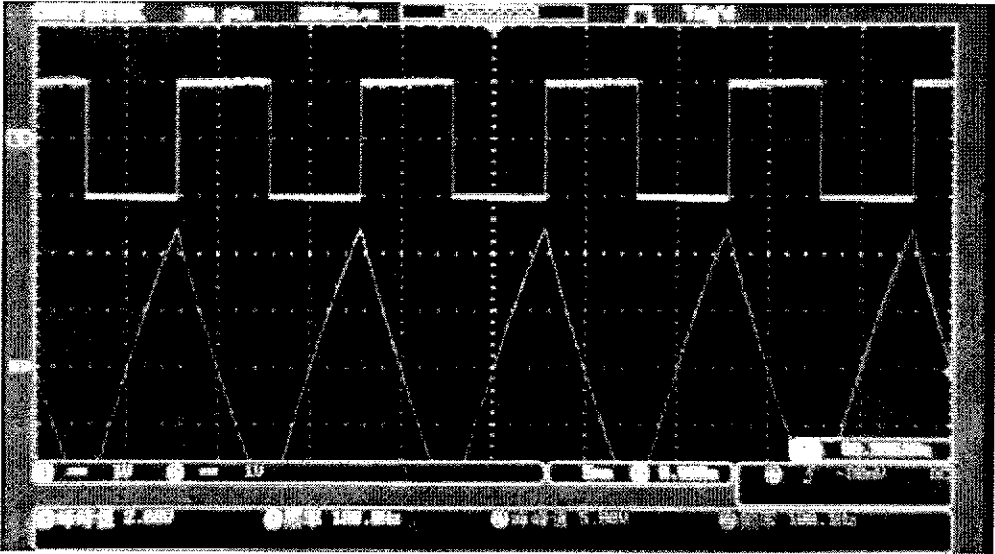
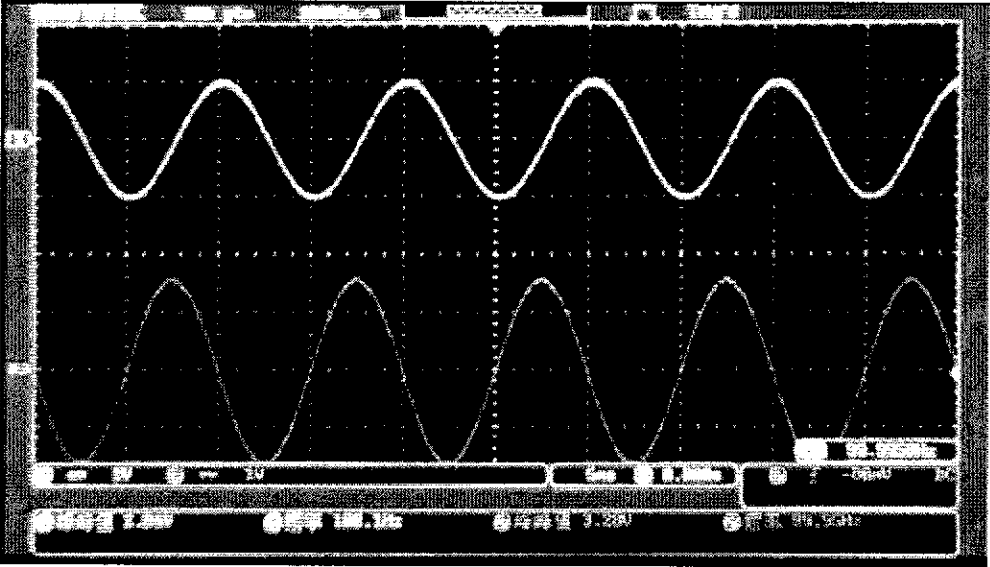


积分电路

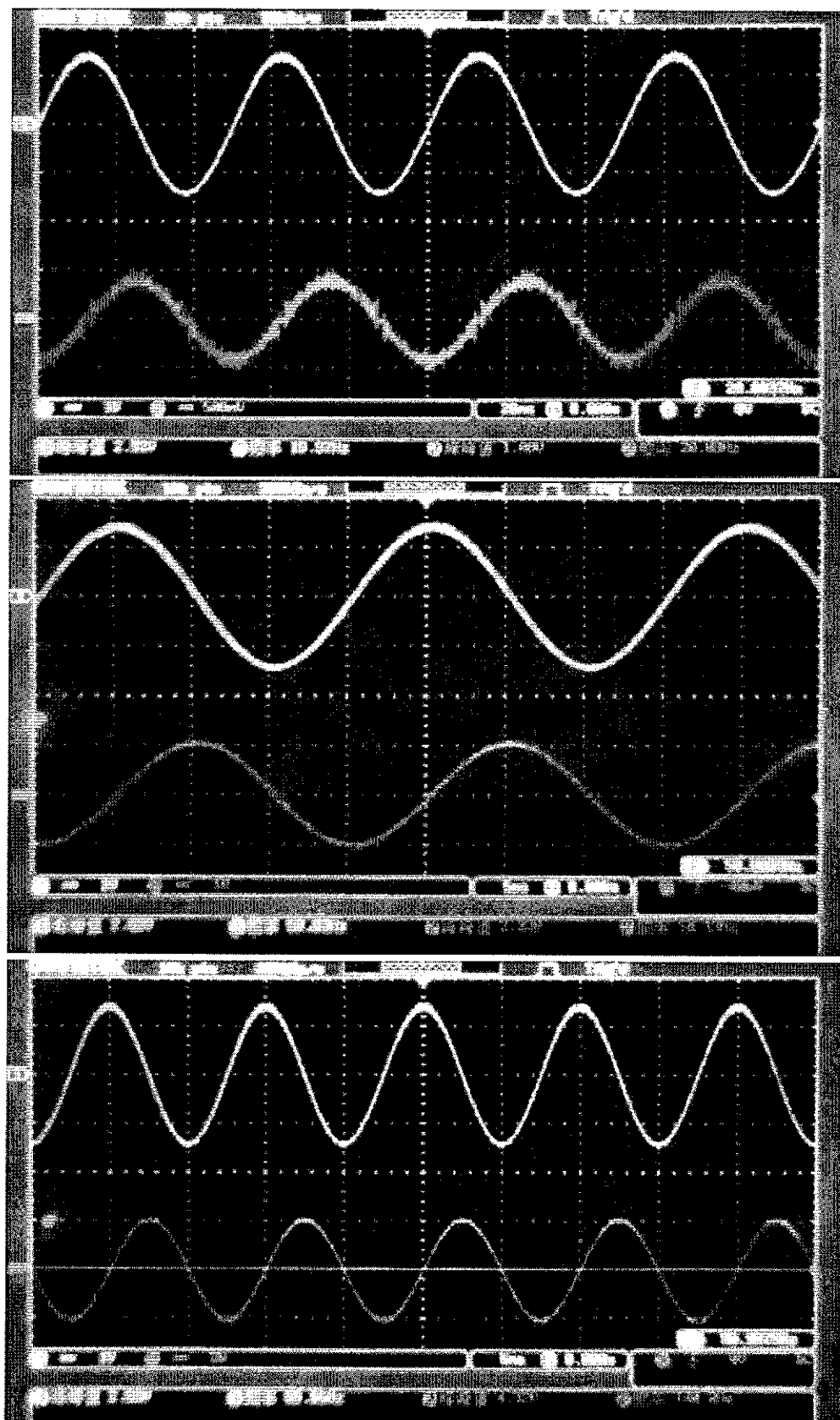


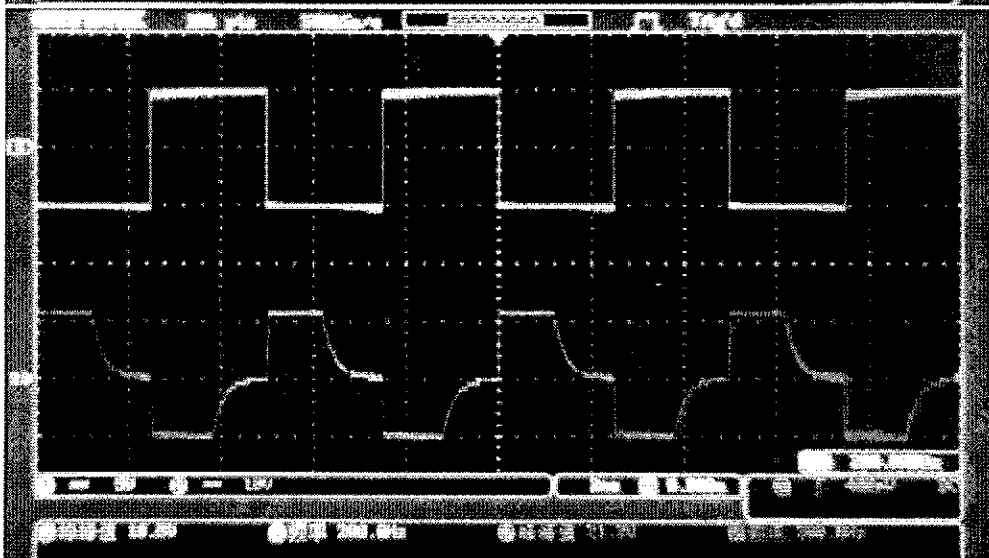
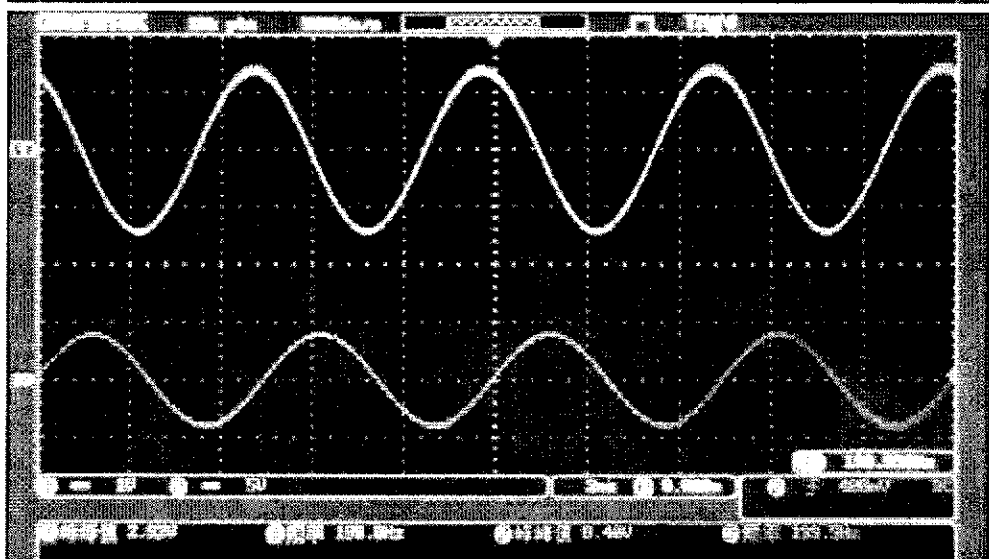
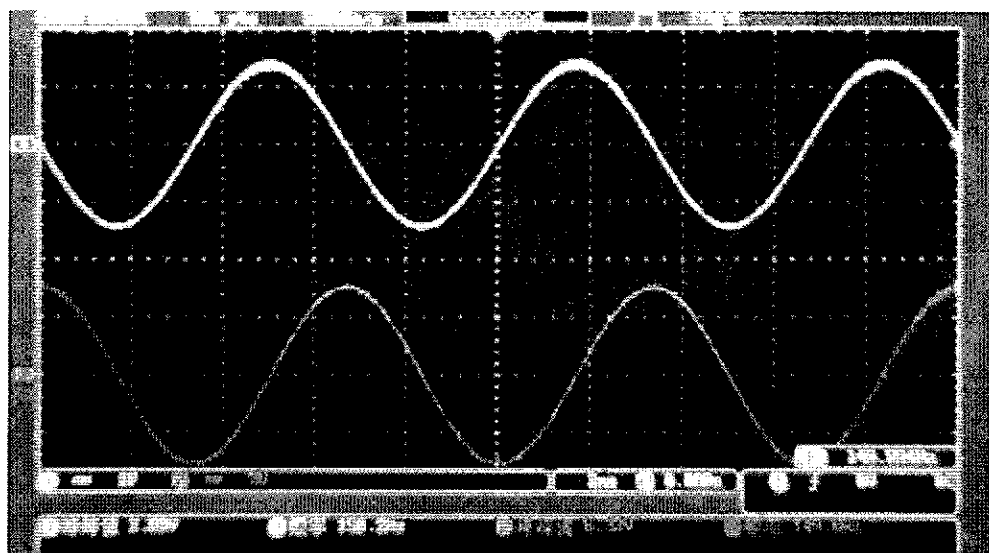


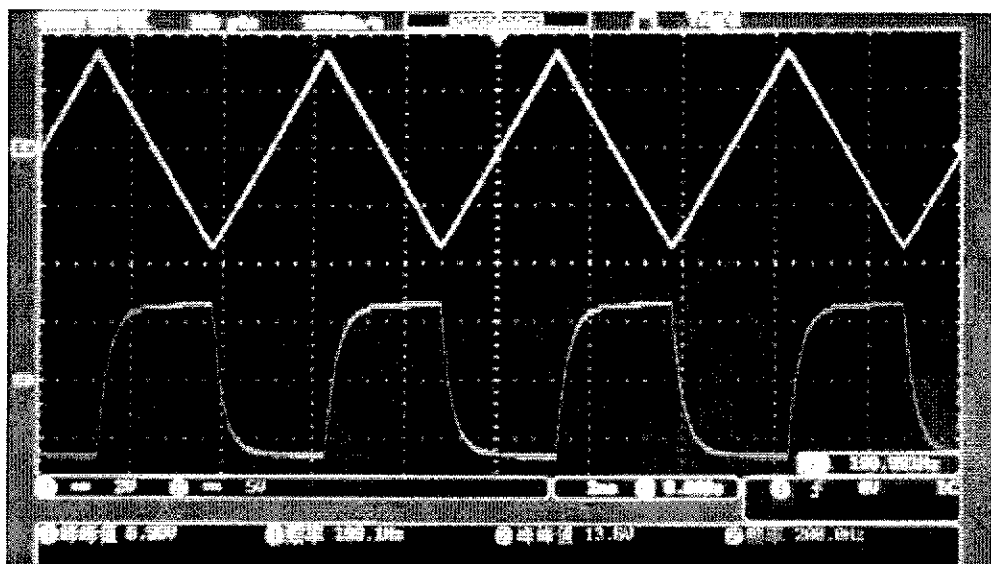
积分电路



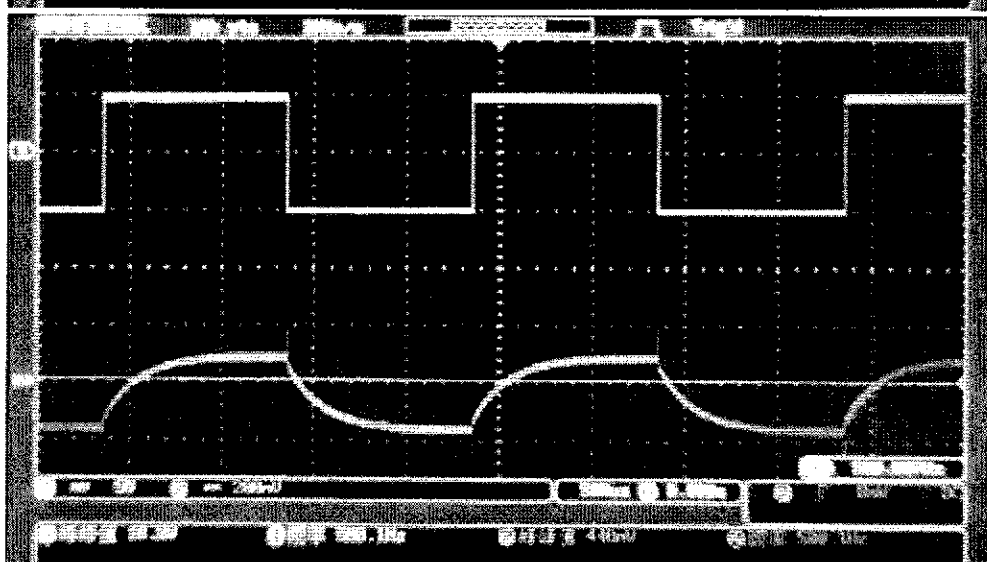
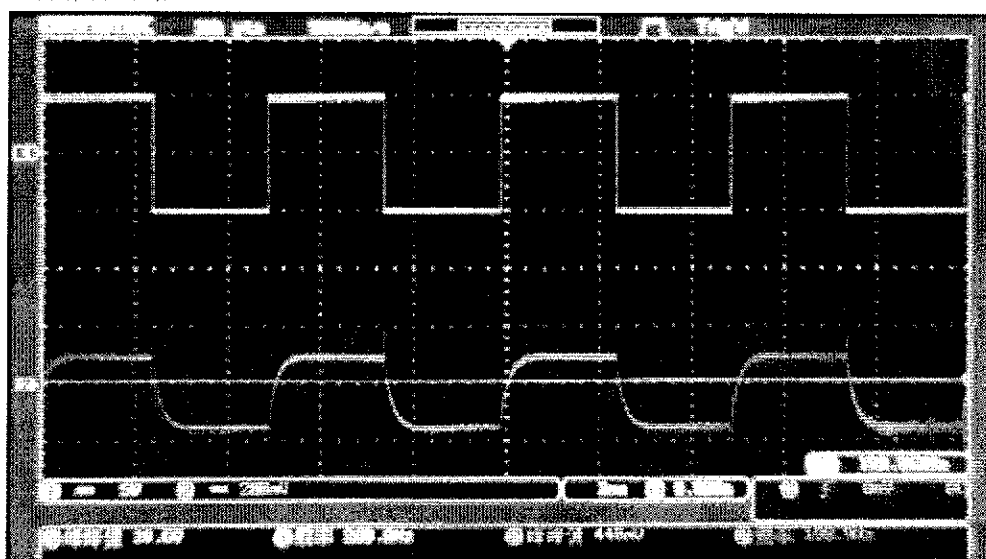
# 微分电路



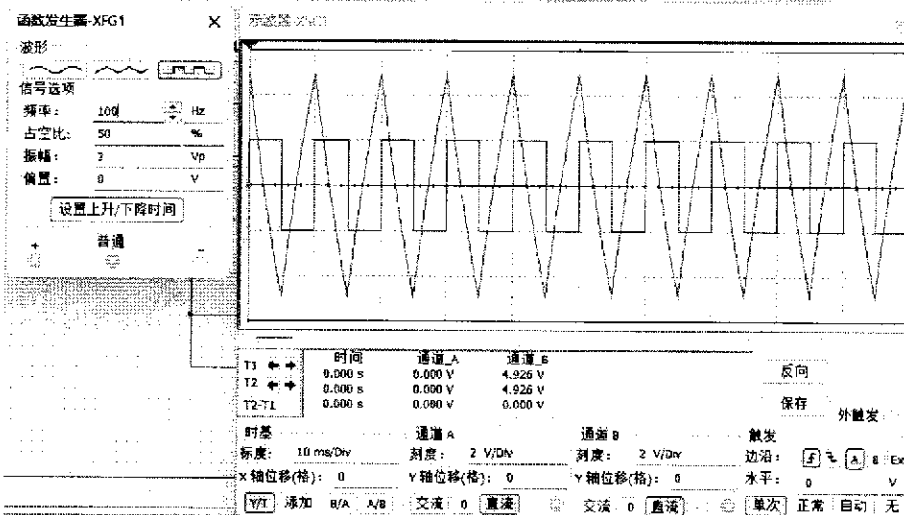
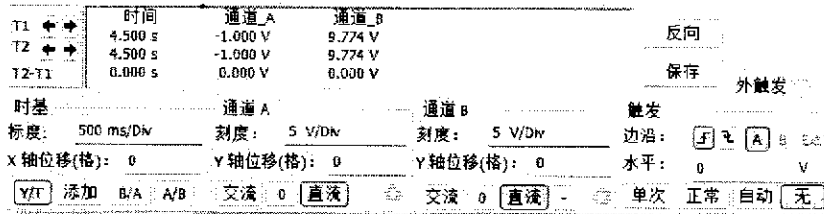
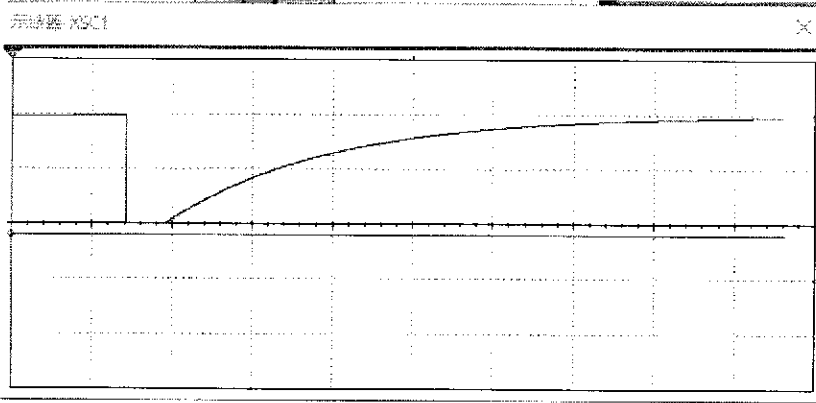
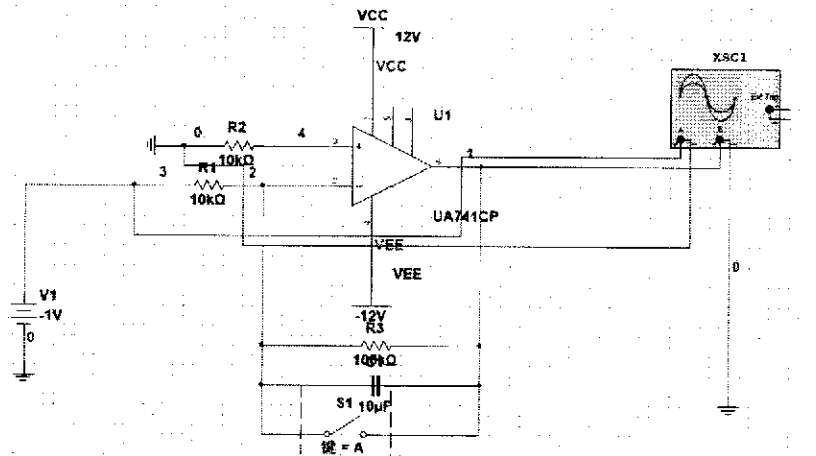




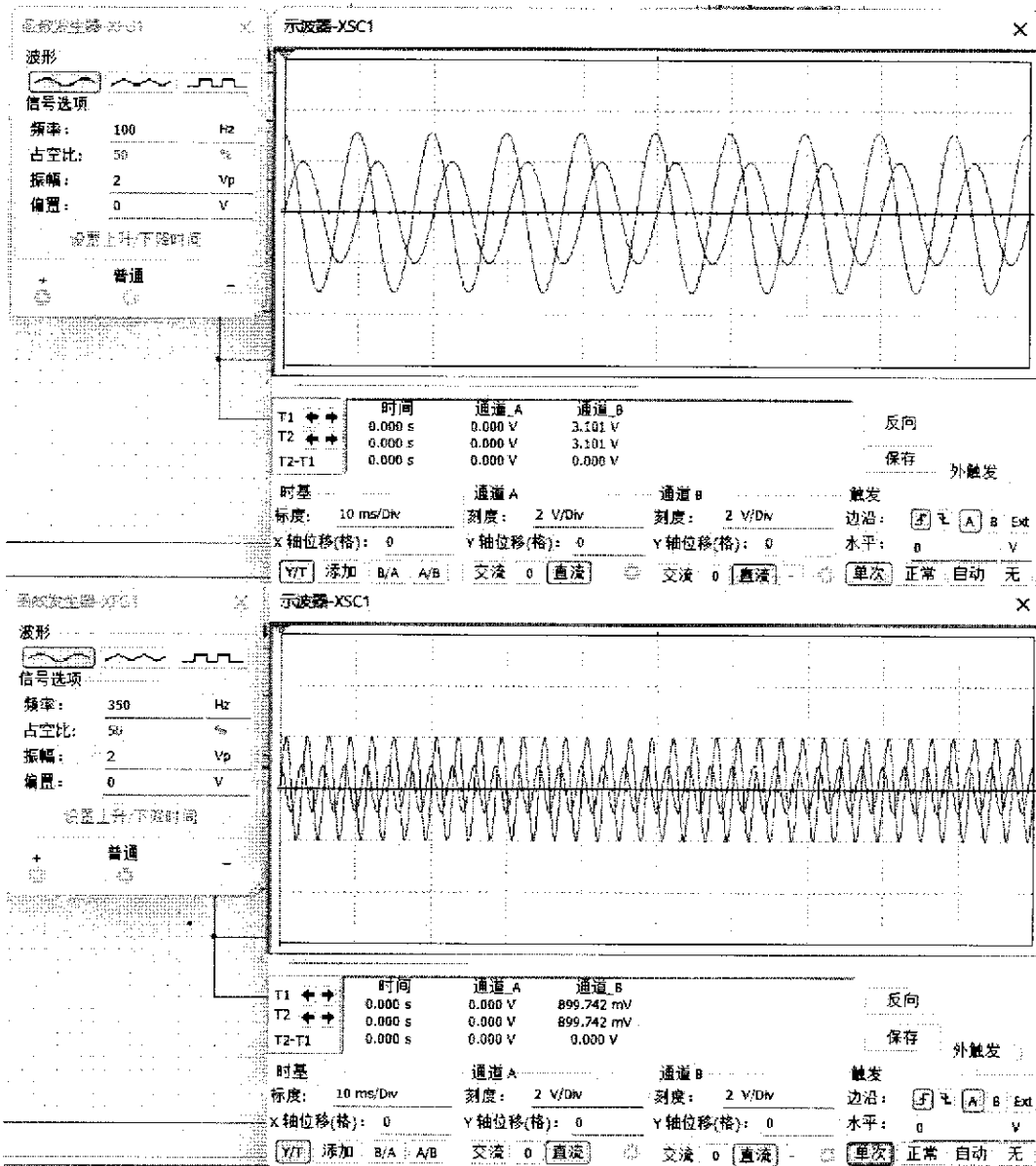
积分微分电路



## 1. 积分电路



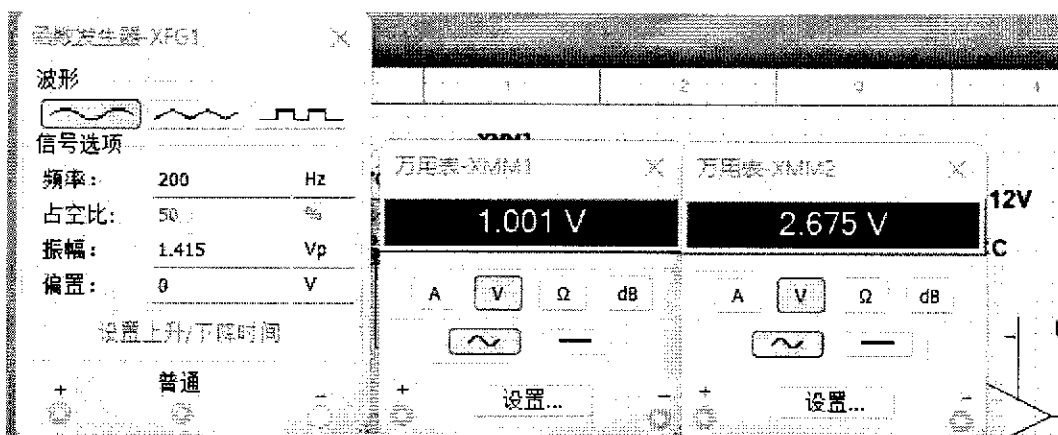
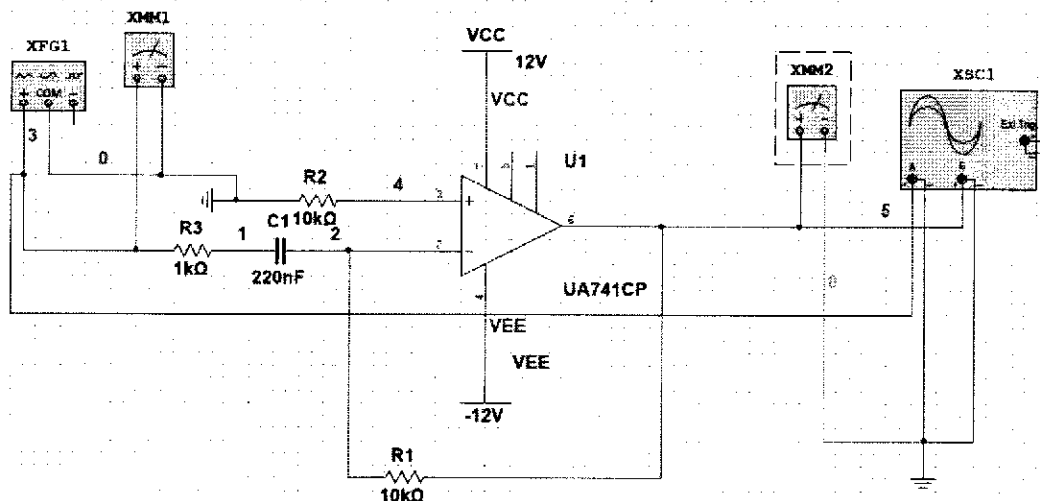
输入的方波输出三角波，输入正弦波输出余弦波



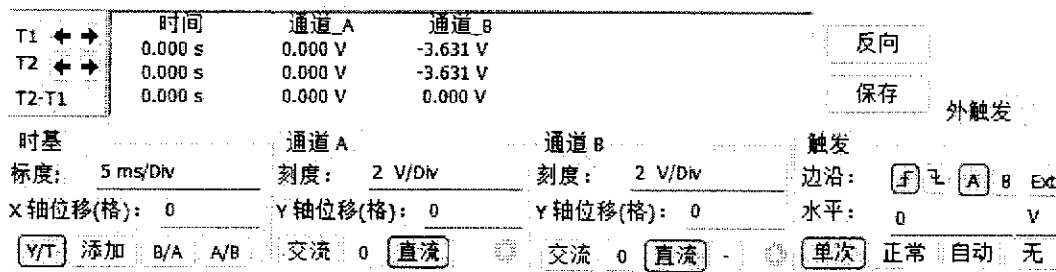
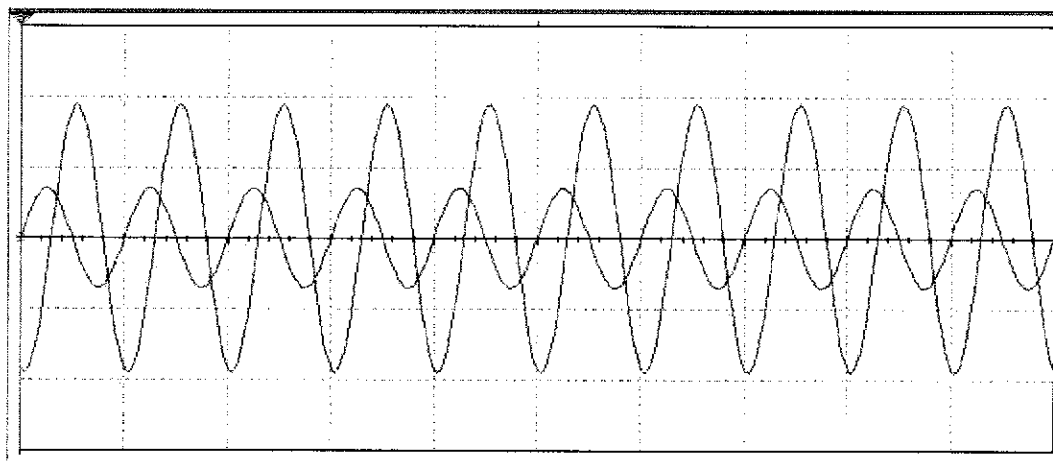
随着输入频率的升高,  $u_o$  逐渐减小, 相位始终相差  $90^\circ$

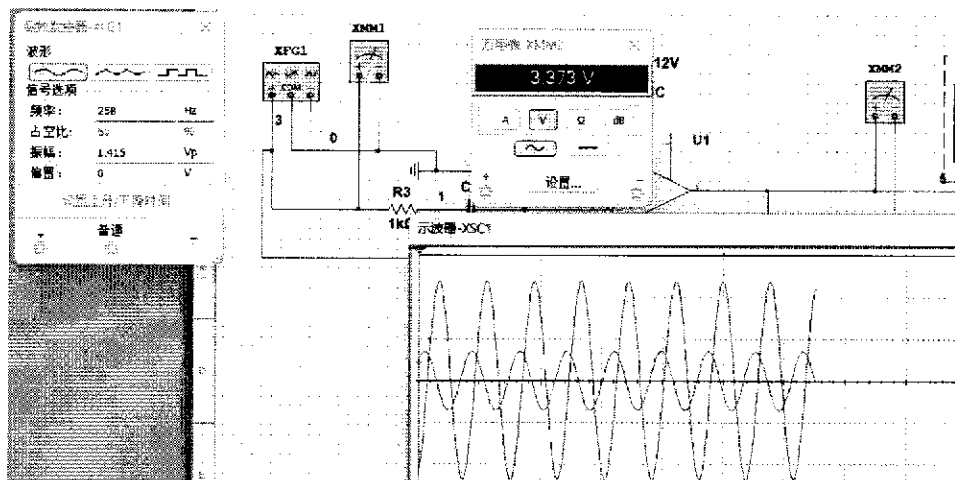
## 2. 微分电路



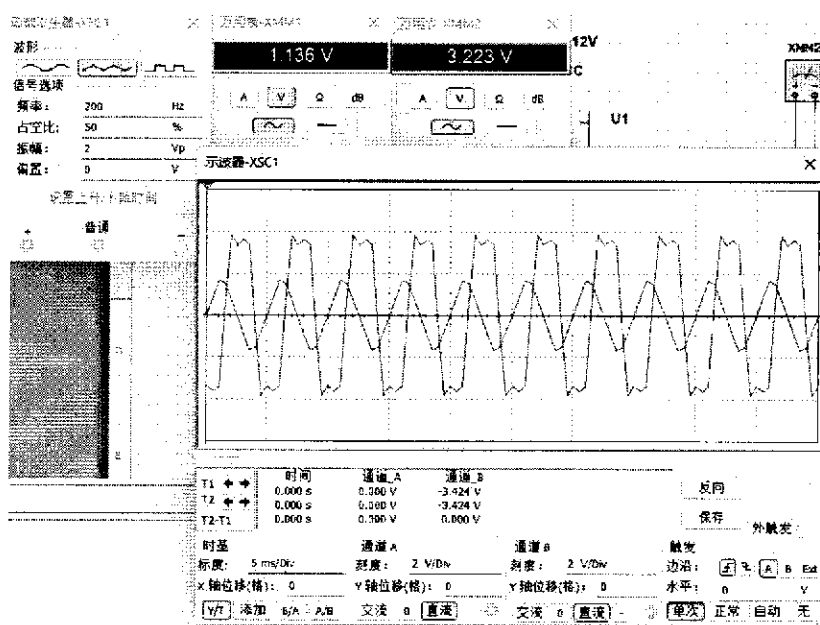
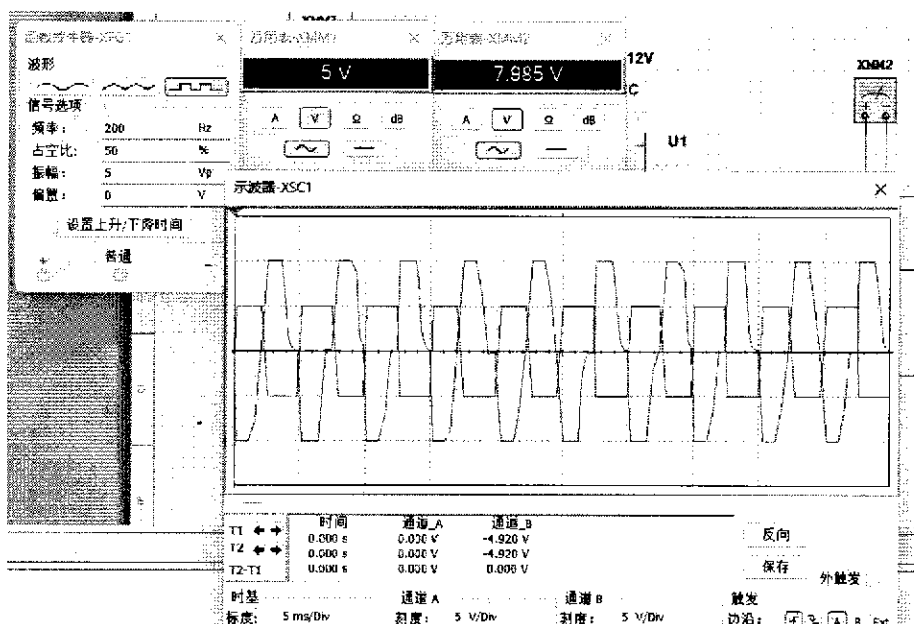


示波器-XSC1





随着频率的增大,  $u_o$  的幅值随之增大, 相位始终相差  $90^\circ$



### 3. 积分微分电路

