

一. 实验目的.

- (1) 熟悉有源滤波器的构成及其特性
- (2) 学会测量有源滤波器的幅频特性.

二. 实验仪器

- (1) 数字示波器
- (2) 信号发生器

三. 实验原理.

滤波器是一种能使有用频率信号通过而同时抑制(或大幅衰减)无用频率信号的电子装置.

工程上常用它进行信号处理. 数据传送或抑制干扰等.

这里讨论模拟滤波器, 以往这种滤波器主要采用无源元件 R, L 和 C 组成, 20 世纪 60 年代以来,

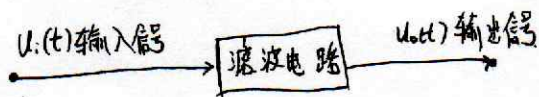
集成运放获得迅速发展, 由它和 R, C 组成的有源滤波电路, 具有采用电感器, 体积小, 重量轻等优点.

此外, 集成运放的开环电压增益和输入阻抗均很高, 输出阻抗又低, 构成有源滤波电路后还有一定的电压缓冲作用, 但是集成运放的带宽有限,

所有目前有源滤波电路的工作频率难以做得很高, 这是它的不足之处.

1. 基本概念.

滤波电路的一般结构如下图所示.



假设滤波器是一个线性时不变网络, 则在复频域中有 $A(s) = U_o(s) / U_i(s)$

式中 $A(s)$ 是滤波电路的电压传递函数, 一般为复数.

对实际频率来说 ($s = j\omega$) 则有 $A(j\omega) = |A(j\omega)| e^{j\varphi(\omega)}$

这里 $|A(j\omega)|$ 为传递函数的模, $\varphi(\omega)$ 为相位角.

此外, 在滤波电路中关心的另一个量是时延 $\tau(\omega)$, 它定义为 $\tau(\omega) = -\frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} (s)$

通常从幅频响应率表示一个滤波电路的特性, 即使信号通过滤波器的失真很小, 则相位和时延响应也要考虑, 当相位角 $\varphi(\omega)$ 作线性变化, 即时延响应 $\tau(\omega)$ 为常数时, 输出信号才可能避免失真.

2. 滤波电路的分类

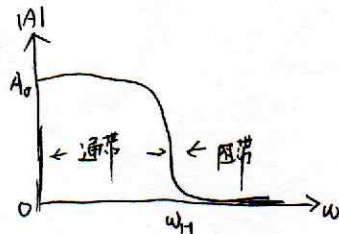
对于幅频响应, 通常把能够通过的频率范围定义为通带, 而把受阻或衰减的信号范围

称为阻带. 通带和阻带的界限频率称为截止频率.

理想滤波电路在通带内应具有零衰变的幅频响应的特性, 而在阻带内应具有

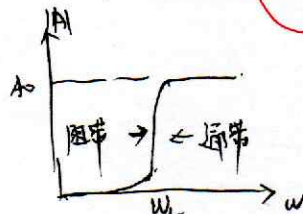
无限大的幅度衰减 ($|A(j\omega)| = 0$). 通常通带和阻带的相互位置不同, 滤波电路通常可分为低通

① 低通滤波电路：其幅频响应如图所示



图中表示低频增益 $|A|$ 的幅值。由图可知，它的功能是通过从零到某一截止频率 ω_H 的低频信号，而将高于 ω_H 的所有频率完全衰减，因此是带宽 $BW = \omega_H$ 。

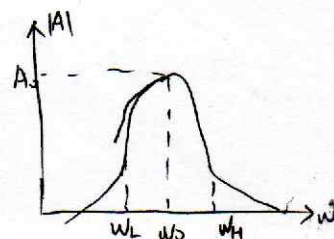
② 高通滤波电路：其幅频响应如图所示



由图可以看到，在 $0 < \omega < \omega_L$ 范围内的频率为阻带，高于 ω_L 的频率为通带。从理论上讲它的带宽 $BW = \infty$ ，但由于受有源器件带宽的限制，高通滤波器的带宽也是有限的。

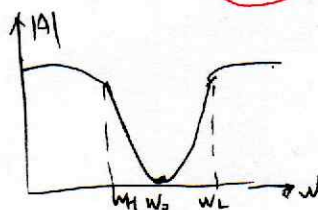
③ 带通滤波电路：其幅频响应如图所示，图中 ω_L 为低边截止频率， ω_H 为高边截止频率，

ω_0 为中心频率，幅



由图可知：它有两个通带 ($\omega < \omega_L$ 和 $\omega > \omega_H$) 和两个阻带 ($\omega_L < \omega < \omega_H$)。因此带宽 $BW = \omega_H - \omega_L$ 。

④ 带阻滤波电路：其幅频响应如图所示



由图可知，它有两个通带 ($0 < \omega < \omega_L$ 和 $\omega > \omega_H$) 和一个阻带 ($\omega_L < \omega < \omega_H$)，因此它的功能是将 ω_L 到 ω_H 间的信号，同高通滤波电路相似，由于受有源器件带宽的限制，通带 $\omega > \omega_L$ 也是有限的。

中点所在频率 ω_0 也叫中心频率

四. 实验内容与结果.

1. 低通滤波器

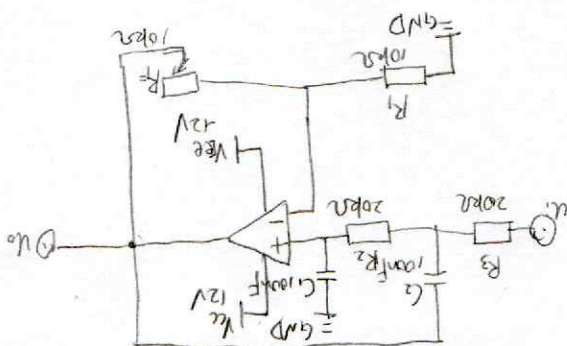
实验电路图如下，其中反馈电阻 R_f 选用 $10k\Omega$ 电位器，实际可值为 $5.7k\Omega$ 。

接通电源，将信号发生器的输出端接入实验电路的输入端，并使其输出为 $1V$ 的正弦信号，

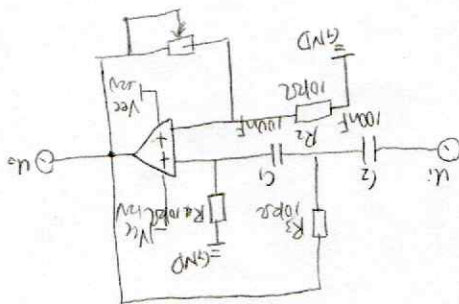
按表改变输入信号频率，用交流毫伏表测出电压值 U_o 并记录，从而测试出电路的幅频特性。在测量过程中，保持输入电压 $1V$ 不变。

$f(\text{Hz})$	5	10	15	30	60	100	150	200	300	400
$U_o(\text{V})$	4.72	4.72	4.72	4.72	4.16	2.56	1.44	0.8	0.4	0.32

$R_F: 5.78\text{k}\Omega$
 $U_i: 2.92\text{V}$

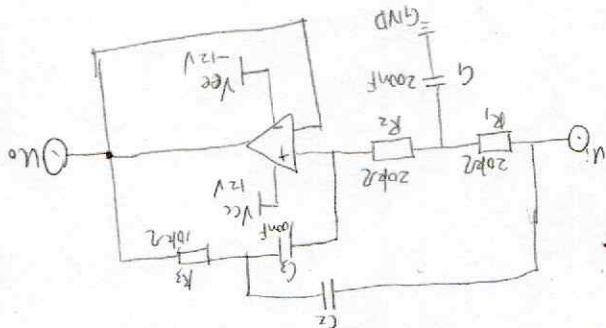


2.高通滤波器



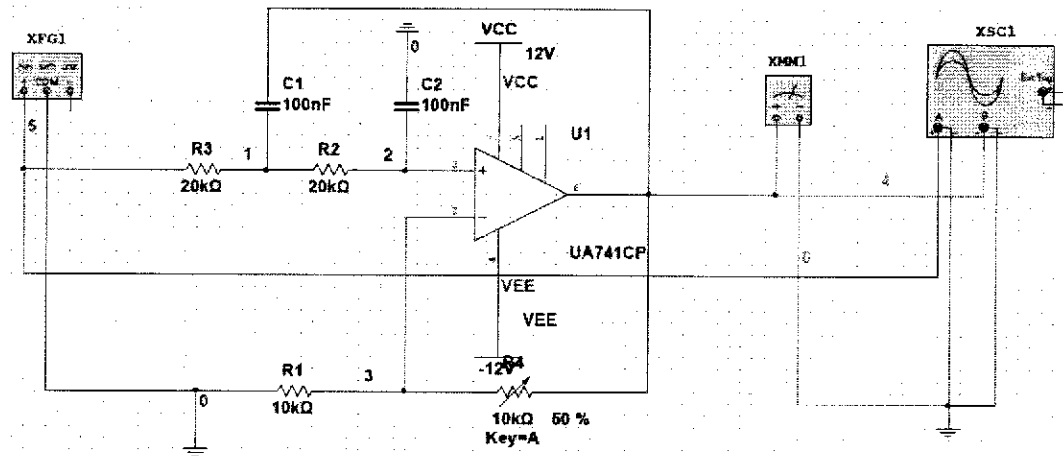
$f(\text{Hz})$	100	160	500	1k	10k	20k	30k	40k
$U_o(\text{V})$	1.84	3.28	4.64	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72

3.带阻滤波器

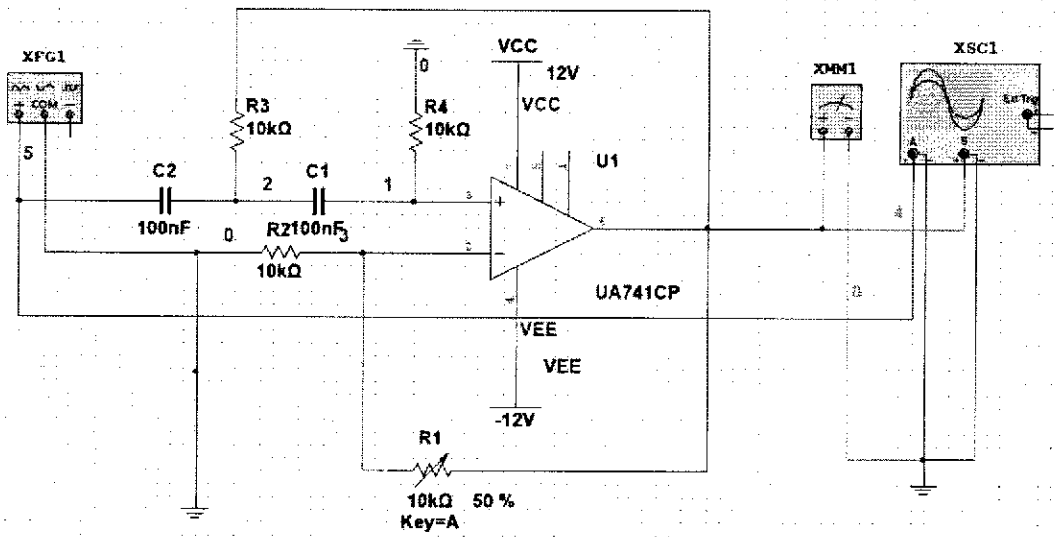


$f(\text{Hz})$	10	20	30	40	50	70	80
$U_o(\text{V})$	2.84	2.58	2.22	1.76	1.32	0.376	0.08
$f(\text{Hz})$	90	100	150	200	300	500	800
$U_o(\text{V})$	0.372	0.68	1.16	2.1	2.52	2.74	2.84

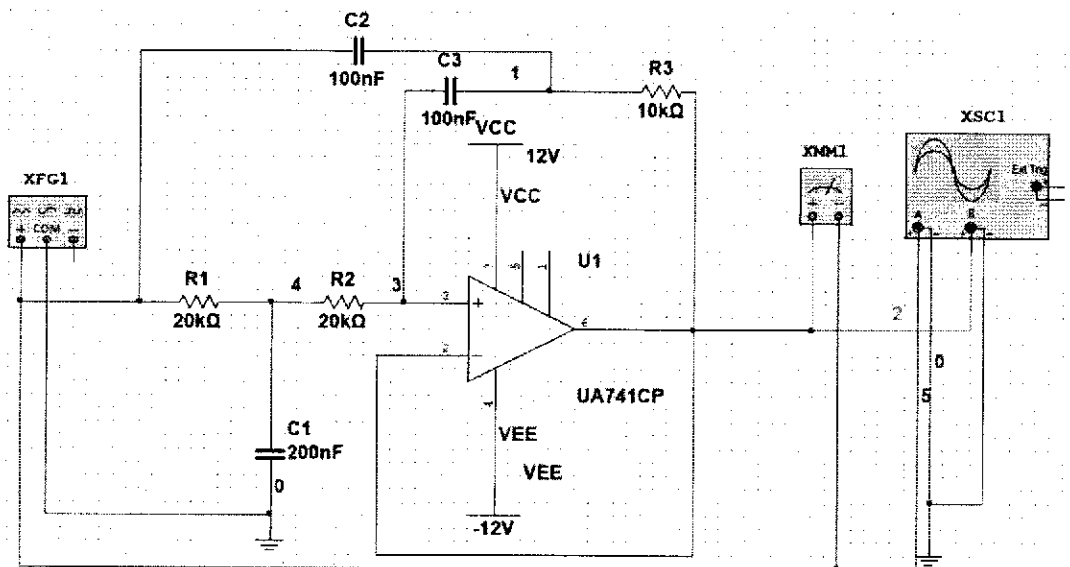
低通滤波器



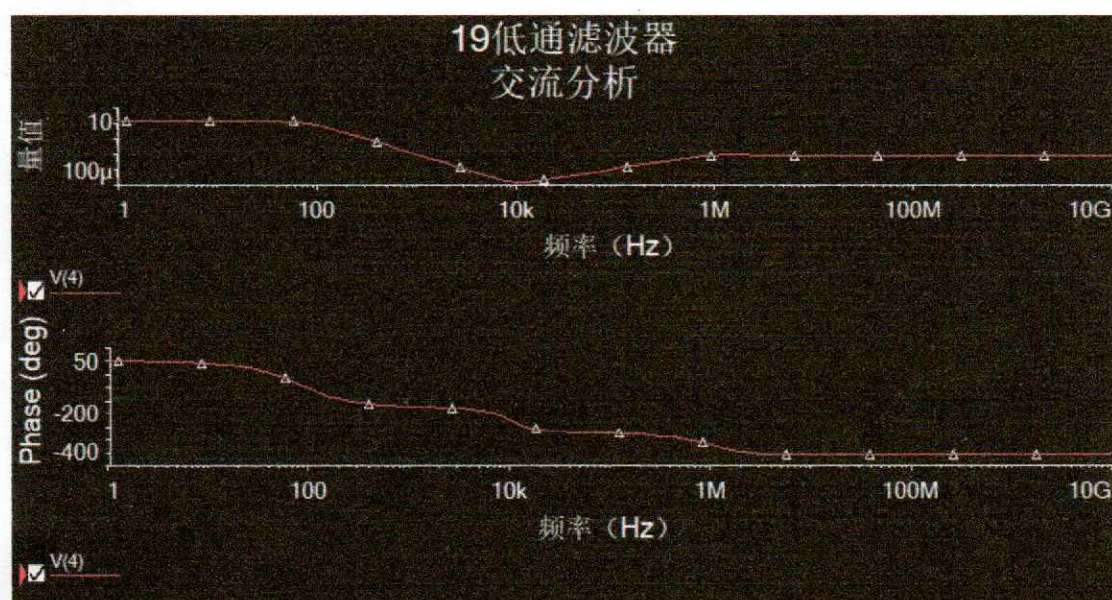
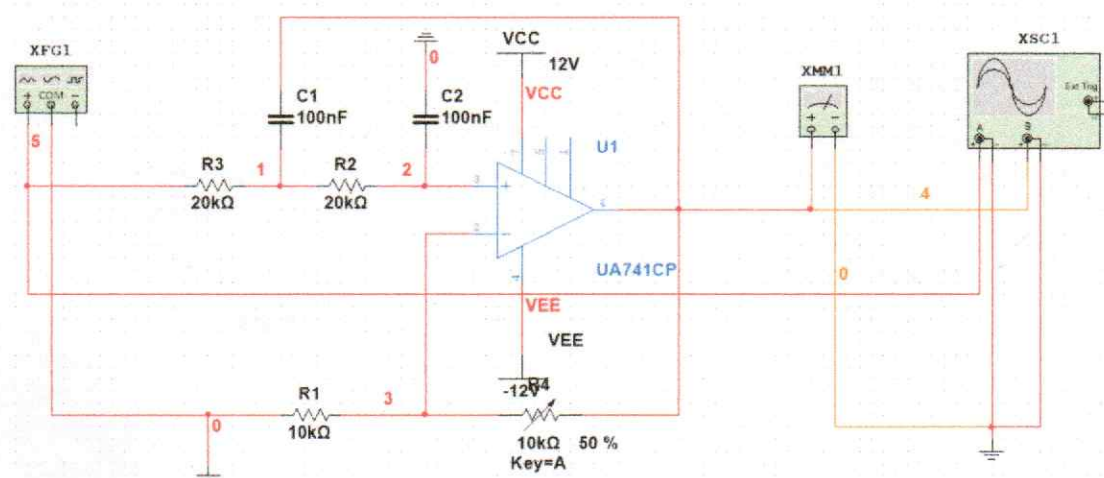
高通滤波器



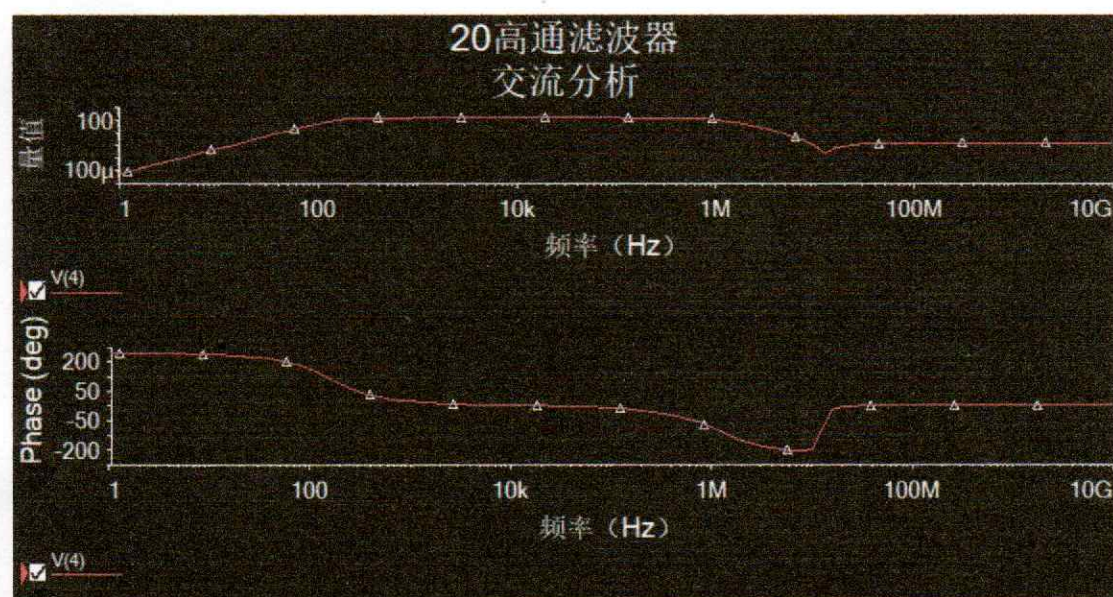
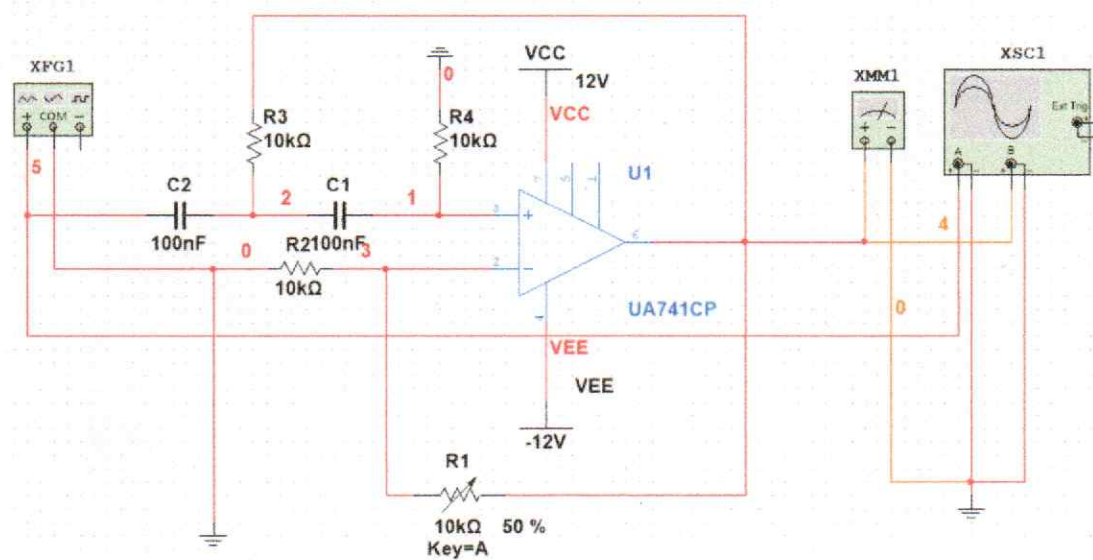
带阻滤波器



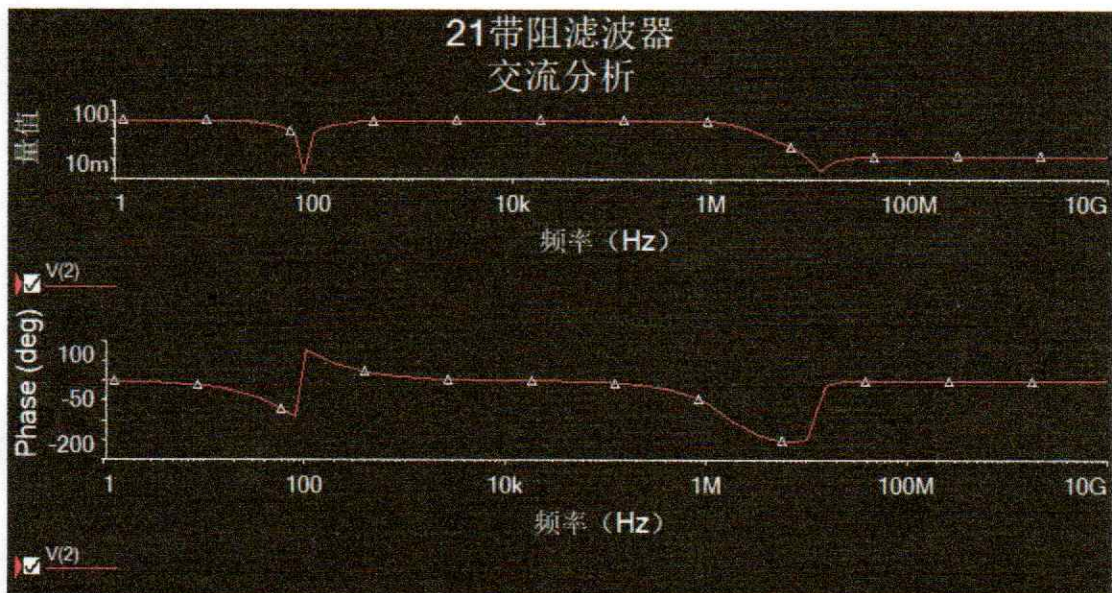
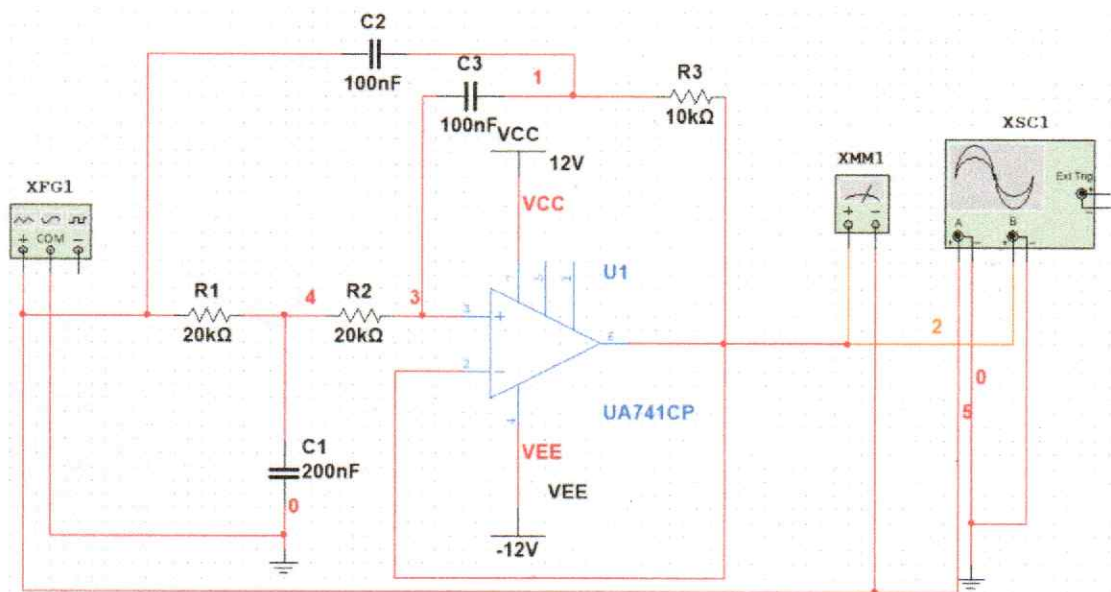
低通滤波器



高通滤波器



带阻滤波器



9 电压比较器

一. 实验目的.

- (1) 掌握比较器的电路构成及特点.
- (2) 学会测试比较器的方法.

李树宇

2024/10/19

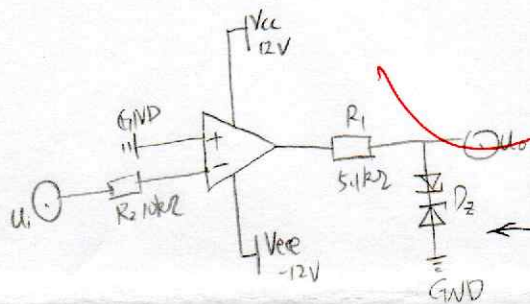
二. 实验仪器

- (1) 数字示波器
- (2) 信号发生器
- (3) 数字万用表

三. 实验原理.

电压比较器就是将一个模拟量的电压信号与一个参考电压相比较, 在二者幅度相等附近, 输出则发生跃变, 通常用于越限报警, 模数转换和波形变换等场合.

1. 过零比较器.



如图所示为反相输入方式的过零比较器, 利用两管靠背的稳压管实现限幅,

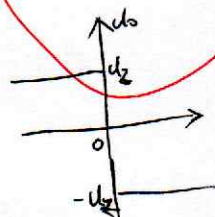
集成运放处于工作状态, 此时理想运放的开环差模增益 $A_{od} = \infty$ 则

当 $U_i < 0$ 时, $U_o = +U_{opp}$ (为最大输出电压) $> U_Z$, 导至上稳压管导通, 下稳压管反向击穿

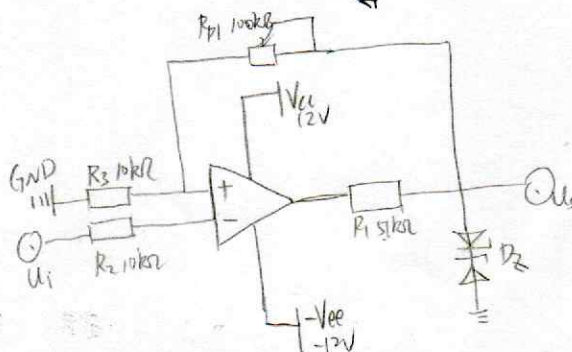
$U_o = +U_Z = +6V$.

当 $U_i > 0$ 时 $U_o = -U_{opp}$, 导至上稳压管反向击穿, 下稳压管正向导通, $U_o = -U_Z = -6V$.

传输特性如图所示



2. 反相滞回比较器.



如图所示为反相滞回比较器, 利用叠加原理求得同相输入端的电压为

$$U_+ = \frac{R_F}{R_2 + R_F} U_{ref} + \frac{R_2}{R_2 + R_F} U_o.$$

若原来的 $U_0 = -U_{Z_2}$ 当 U_i 逐渐增大时, 使 U_0 从 $-U_{Z_2}$ 跳变到 $+U_{Z_2}$ 所需的门限电平用 U_T 表示, 则

$$U_T = \frac{R_F}{R_2 + R_F} U_{REF} + \frac{R_2}{R_2 + R_F} U_{Z_2}$$

若原来的 $U_0 = +U_{Z_2}$ 当 U_i 逐渐减小时, 使 U_0 从 $+U_{Z_2}$ 跳变到 $-U_{Z_2}$ 所需的门限电平用 U_L 表示, 则

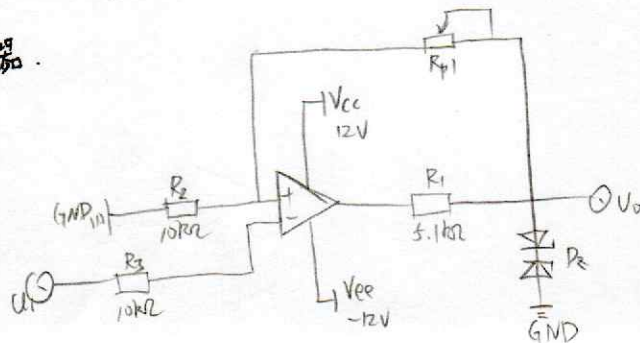
$$U_L = \frac{R_F}{R_2 + R_F} U_{REF} - \frac{R_2}{R_2 + R_F} U_{Z_2}$$

上述两个门限电平之差称为门限宽度或回差, 用 ΔU_I 表示:

$$\Delta U_I = U_T - U_L = \frac{2R_2}{R_2 + R_F} U_{Z_2}$$

门限宽度 ΔU_I 的值取决于 U_{Z_2} 及 R_2 和 R_F 的值, 与参考电压 U_{REF} 无关, 改变 U_{REF} 的大小可同时调节 U_T 和 U_L 的大小, 滞回比较器的传输特性可在左右移动, 但滞回曲线的宽度将保持不变。

3. 同相滞回比较器



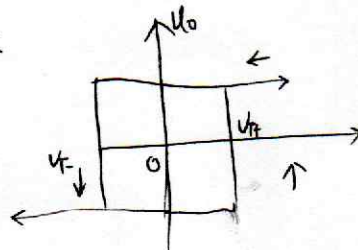
如图示为同相滞回比较器, 由于 $U_{REF} = 0$, 故 $U_T = U_L = 0$,

利用叠加原理可得: $U_T = \frac{R_F}{R_2 + R_F} U_i + \frac{R_1}{R_1 + R_F} U_0$, $U_L = -\frac{R_1}{R_F} U_0$

U_i 即为阈值, $U_T = \frac{R_1}{R_F} U_{Z_2}$, $U_L = -\frac{R_1}{R_F} U_{Z_2}$, 则

$$\Delta U_T = U_T - U_L = \frac{R_1}{R_F} U_{Z_2} - (-\frac{R_1}{R_F} U_{Z_2}) = 2\frac{R_1}{R_F} U_{Z_2}$$

滞回曲线图如图所示



四、实验内容及结果

1. 测量比较器

(1) 当 U_i 悬空时 $U_0 = 11.271V$

(2) U_i 输入 $50Hz$, 有效值 $1V$ 的正弦波, 记录波形

(3) 改变 U_i 幅值 U_0 不随之变化。

2. 反相滞回比较器

(1) 将 R_{P1} 调整为 $100\text{k}\Omega$ (实测 $100.87\text{k}\Omega$), U_i 接 DC 电源,

测得 U_o 由 $+U_{om} \rightarrow -U_{om}$ U_i 的临界值 0.9125V

(2) 测得 U_o 由 $-U_{om} \rightarrow +U_{om}$ U_i 的临界值 -0.8895V

(3) U_i 接 500Hz 有效值 1V 的正弦信号, 记录 U_i 和 U_o

(4) 将 R_{P2} 调整为 $200\text{k}\Omega$ (实测 $201.03\text{k}\Omega$), U_i 接 DC 电源

测得 U_o 由 $+U_{om} \rightarrow -U_{om}$ U_i 的临界值 0.5485V

测得 U_o 由 $-U_{om} \rightarrow +U_{om}$ U_i 的临界值 -0.5622V

3. 同相滞回比较器

(1) 将 R_{P1} 调整为 $100\text{k}\Omega$, U_i 接 DC 电源

测得 U_o 由 $+U_{om} \rightarrow -U_{om}$, U_i 的临界值 $+0.0166\text{V}$

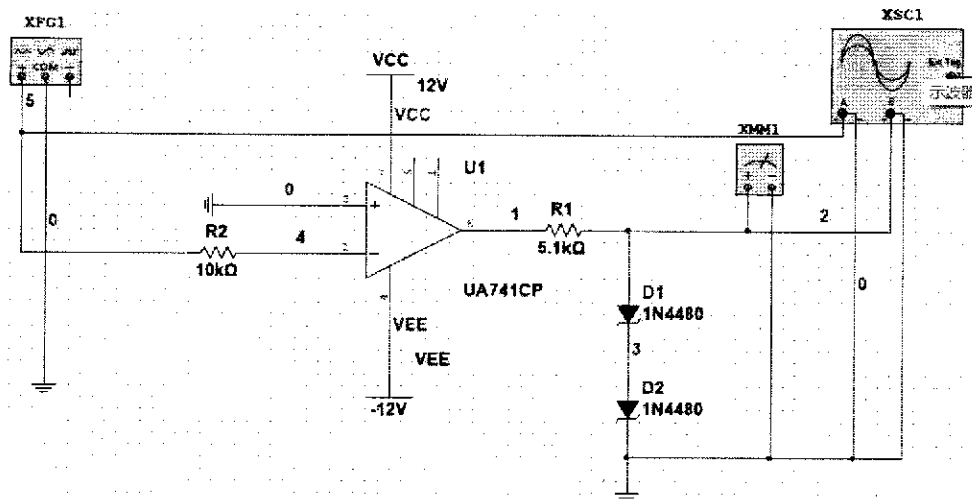
测得 U_o 由 $-U_{om} \rightarrow +U_{om}$, U_i 的临界值 -0.1149V

(2) 将 R_{P1} 调整为 $200\text{k}\Omega$, U_i 接 DC 电源

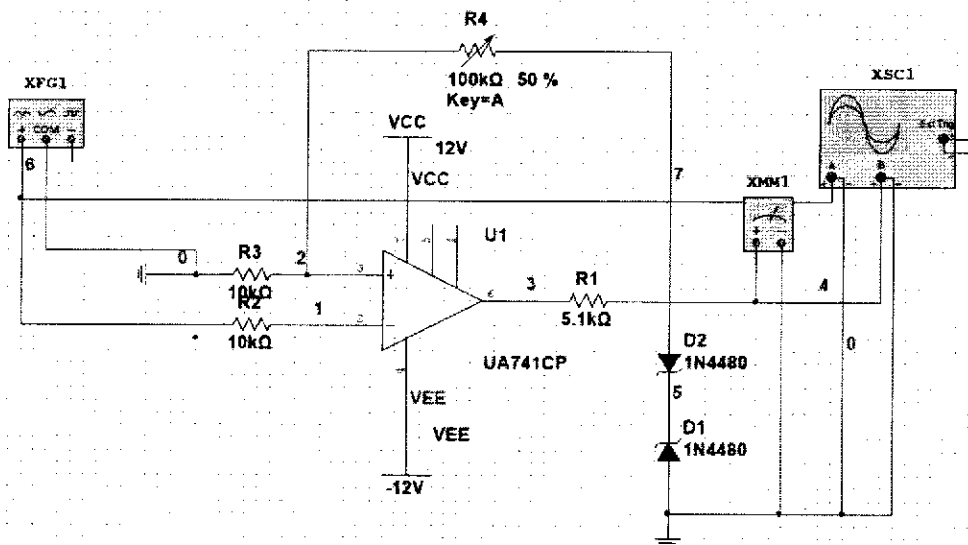
测得 U_o 由 $+U_{om} \rightarrow -U_{om}$, U_i 的临界值 -0.6922V

测得 U_o 由 $-U_{om} \rightarrow +U_{om}$, U_i 的临界值 0.6180V

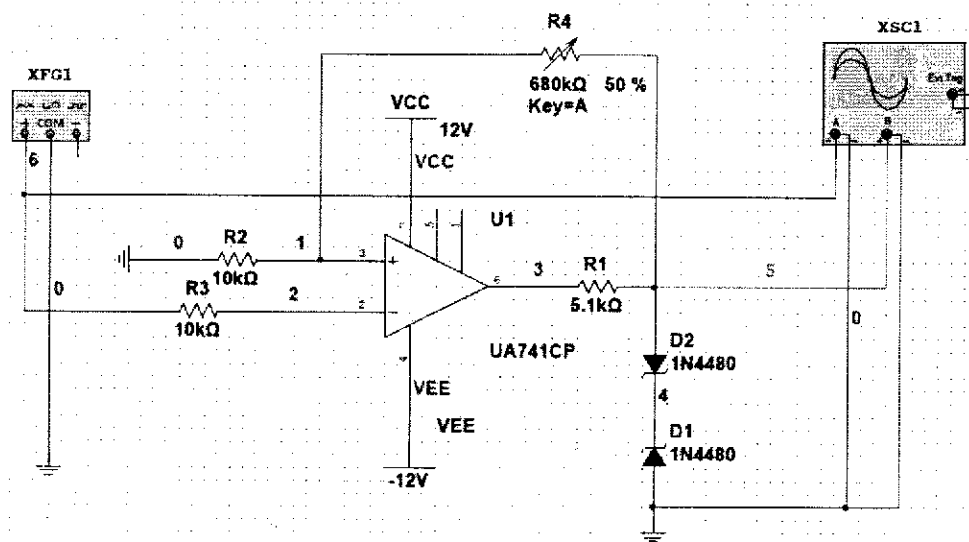
过零比较器



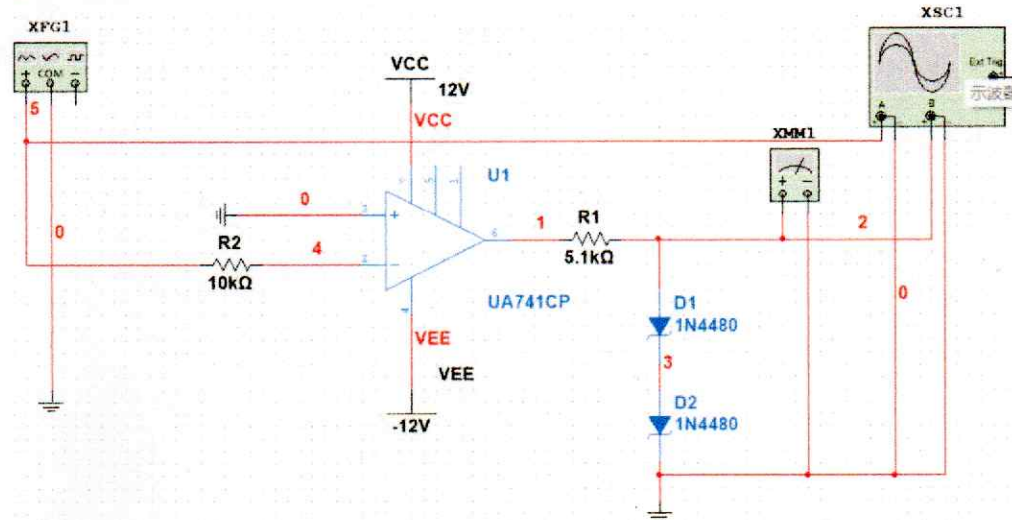
反相滞回比较器



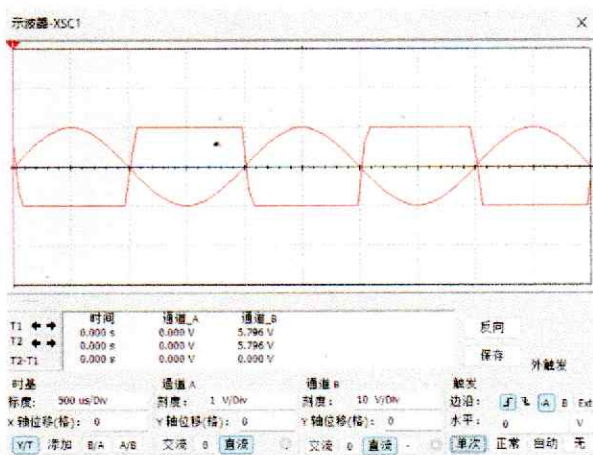
同相滞回比较器



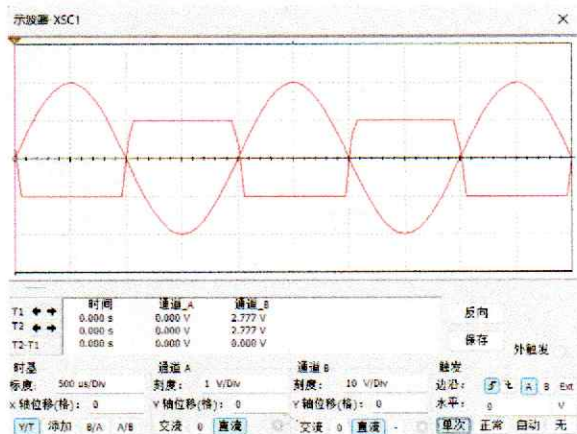
过零比较器



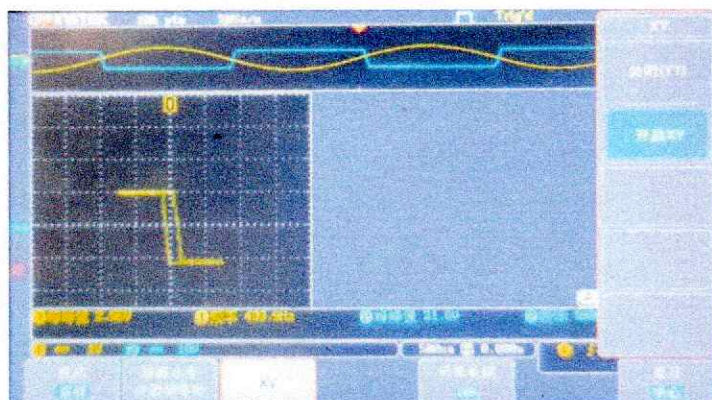
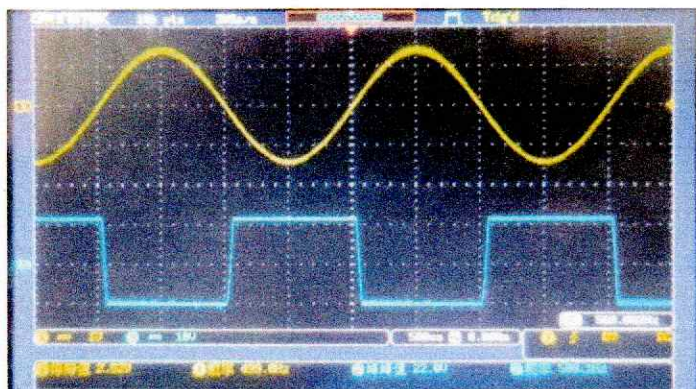
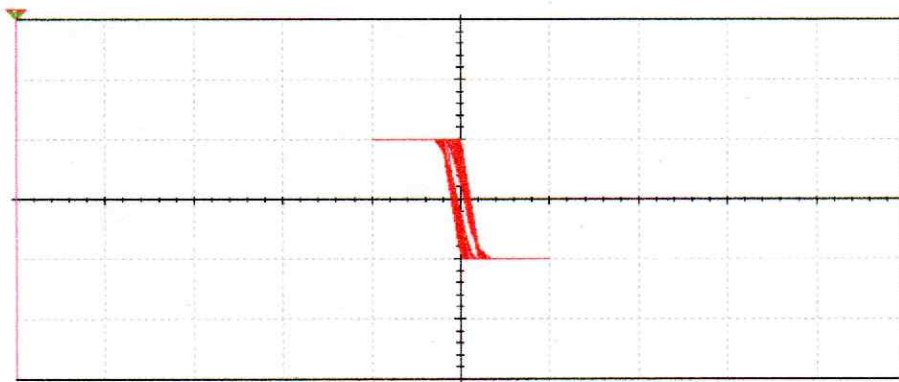
Ui 悬空时 Uo 为



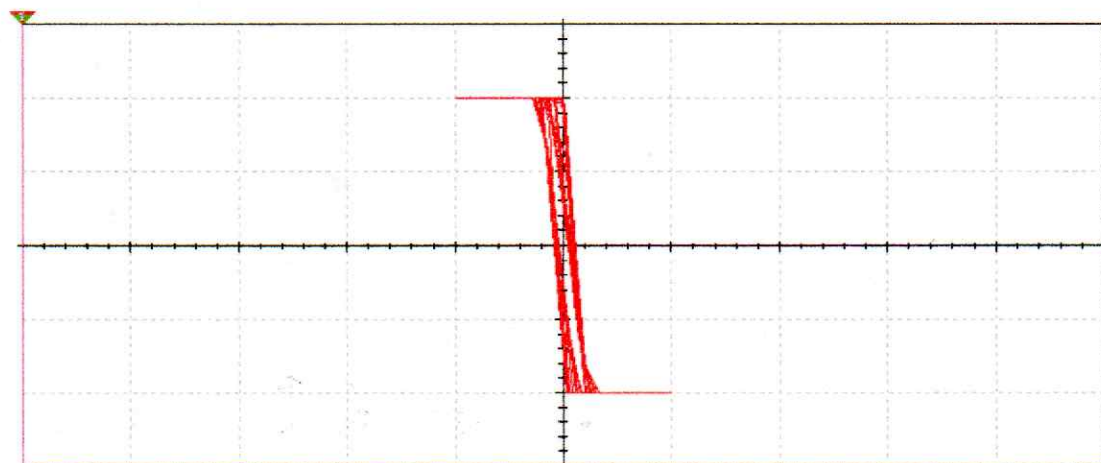
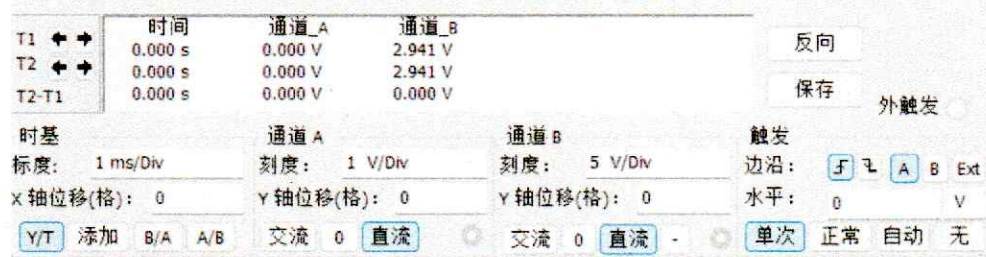
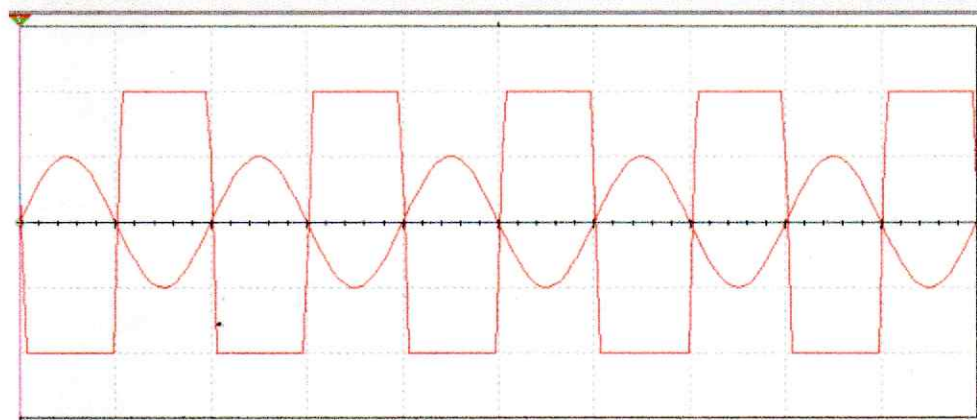
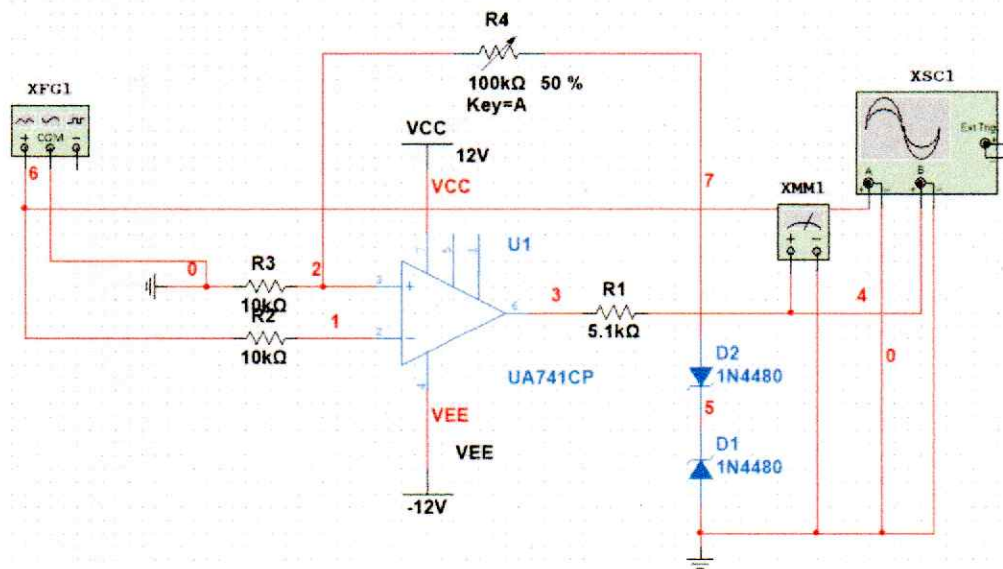
改变 ui 的幅值

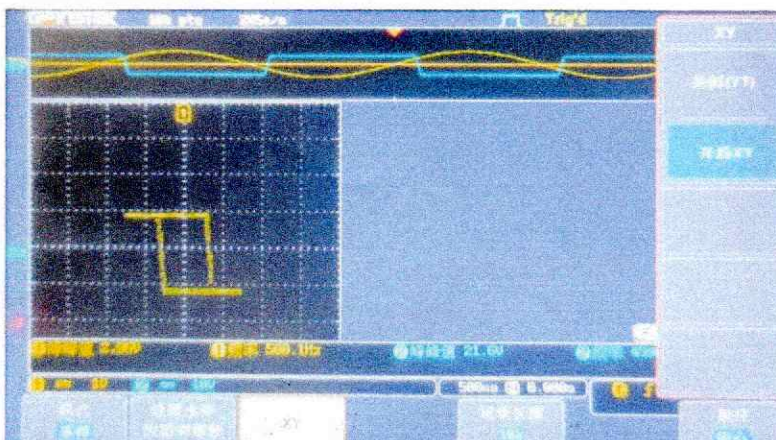
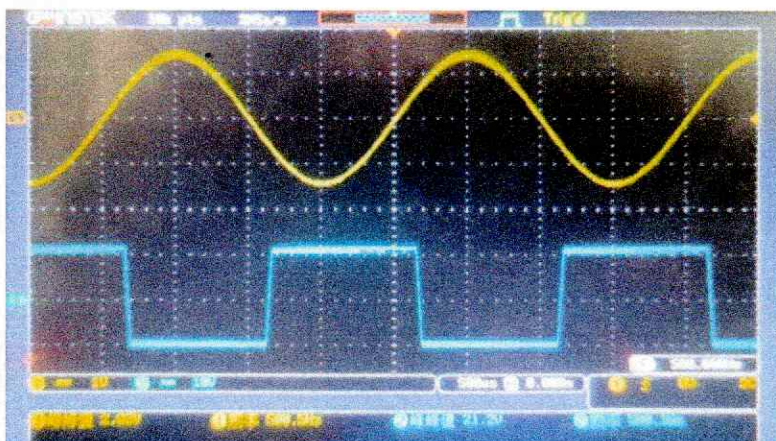
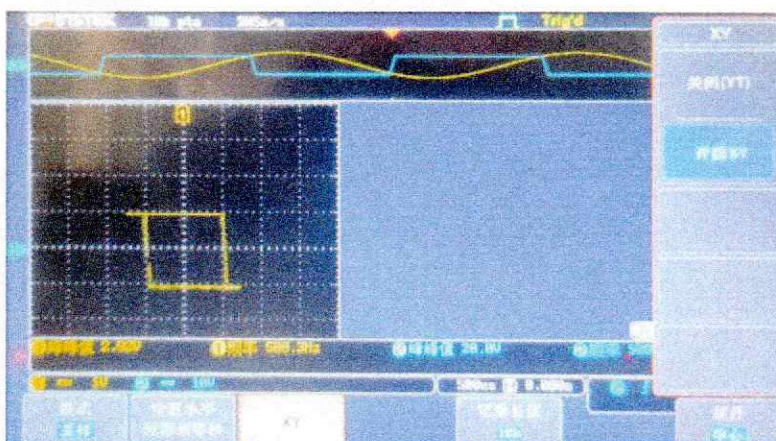
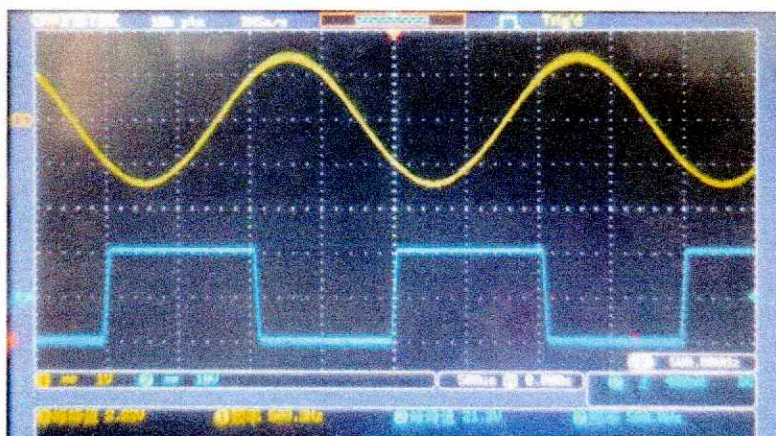


发现 uo 不随之变化

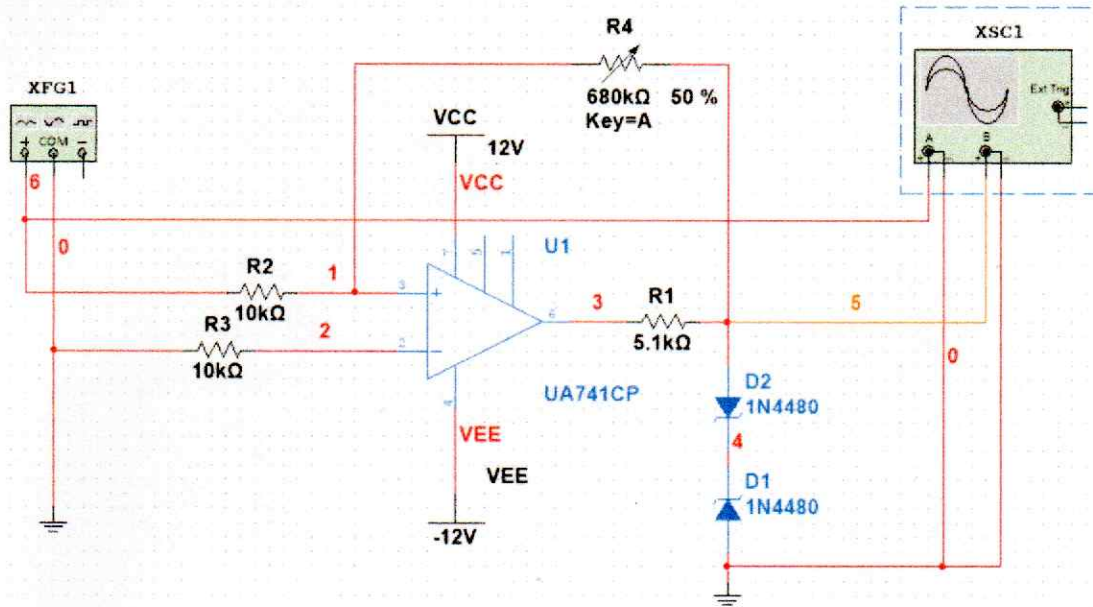


反相滞回比较器

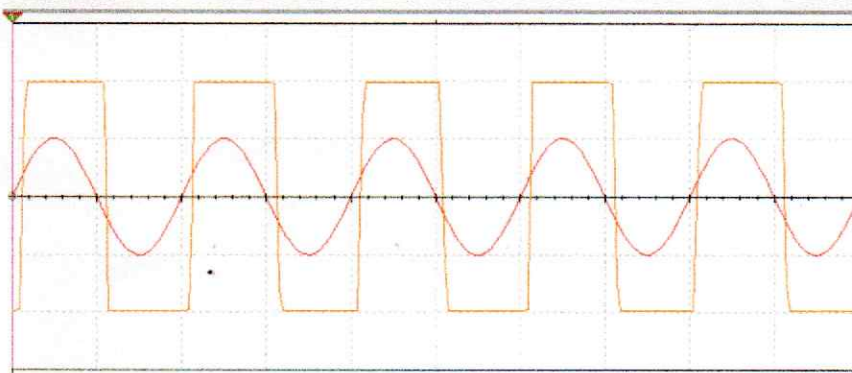




同相滞回比较器



示波器-XSC1



时间	通道_A	通道_B
T1	0.000 s	0.000 V
T2	0.000 s	-9.861 V
T2-T1	0.000 s	0.000 V

时基	通道 A	通道 B	触发
标准: 1 ms/Div	刻度: 1 V/Div	刻度: 5 V/Div	边沿: f f 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
<input checked="" type="checkbox"/> Y/T	<input checked="" type="checkbox"/> 添加	<input checked="" type="checkbox"/> B/A	<input checked="" type="checkbox"/> A/B
<input checked="" type="checkbox"/> 交流	<input checked="" type="checkbox"/> 直流	<input checked="" type="checkbox"/> 交流	<input checked="" type="checkbox"/> 直流
<input checked="" type="checkbox"/> 单次	<input checked="" type="checkbox"/> 正常	<input checked="" type="checkbox"/> 自动	<input checked="" type="checkbox"/> 无

