

第三次仿真

仿 真 报 告

姓名： 李显昱

学号： 2018011498

班级： 自 83

日期： 2020.5.14

目录

1	实验目的	2
2	仿真内容	2
2.1	仿真题 3-1	2
2.2	仿真题 3-2	4
2.2.1	测量滤波器的幅频和相频特性，观察不同 Q 值对幅频特性的影响	4
2.2.2	测量输入信号为 $1kHz$ 方波时滤波器的输出信号波形	4
2.2.3	分析滤波器稳定工作的条件，并观察不稳定工作的现象	4
2.3	仿真题 3-3	9
3	仿真中遇到的问题	10
4	收获与体会	10

1 实验目的

- (1) 熟悉负反馈放大电路的应用；
- (2) 理解运算电路的设计方法；
- (3) 理解 VCVS 二阶滤波电路的特性和稳定工作条件；
- (4) 理解信号发生及转换电路的应用及分析。

2 仿真内容

2.1 仿真题 3-1

· 理论分析

设计一个求解一阶微分方程 $u_i = a \times u_o + b \frac{du_o}{dt}$ 的电路，首先我们对这个方程进行 Laplace 变换，得到：

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{bs + a}$$

我们令 $K = \frac{1}{a}$ ， $T = \frac{b}{a}$ ，则可以将 $u_o(t)$ 解出，得到：

$$u_o(t) = u_i(t) * K e^{-\frac{t}{T}} u(t)$$

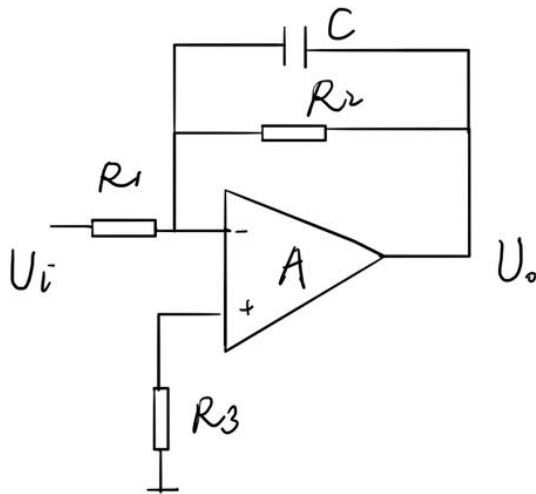


图 1: 一阶系统图

其中图 1 输入输出信号对应的系统函数正好为本题所需要的形式：

$$H(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = -\frac{1}{sR_1C + \frac{R_1}{R_2}} = -\frac{\frac{R_2}{R_1}}{sR_2C + 1}$$

所以， $a = \frac{R_2}{R_1}$ ， $b = R_2C$ ，即可得到。

· 仿真实验

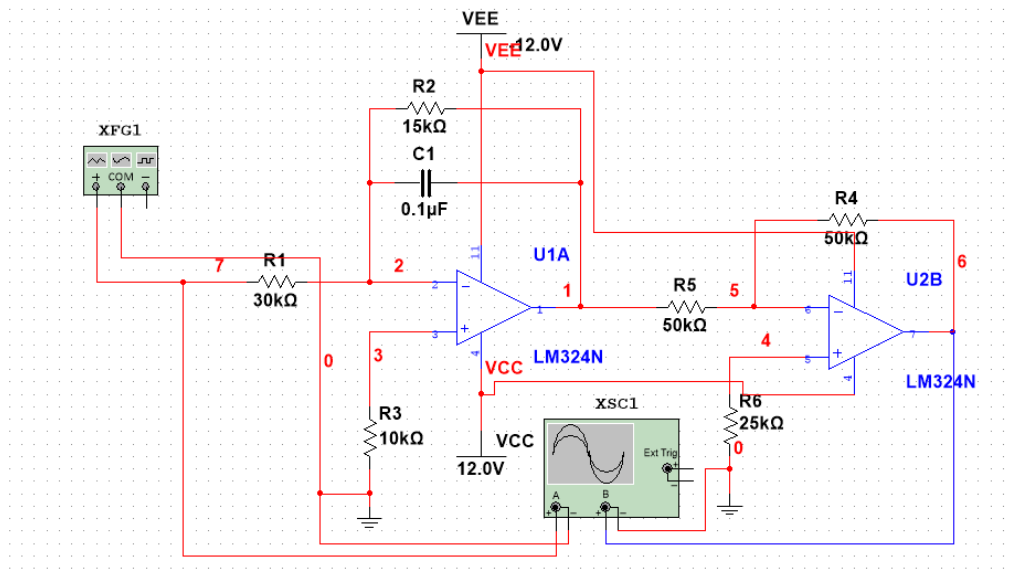
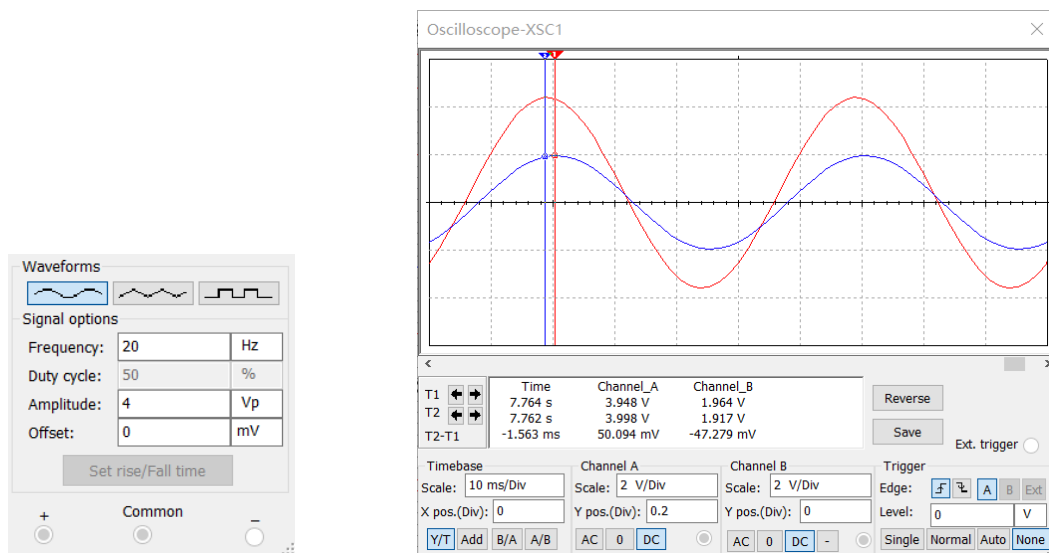


图 2: 仿真题 3-1 电路

本题假设 $a = 2$, $b = 3ms$, 可以计算得到时间常数 $T = 1.5ms$, 增益 $K = 0.5$ 。如图 2 为此题中使用的仿真电路。

正弦波仿真验证

求正弦信号的响应, 输入信号 $u_i(t) = 4 \sin(40\pi t)u(t)V$, $f = 20Hz$ 。产生了相位相移的正弦波, 同时可以看到, $\frac{U_{opp}}{U_{ipp}} = \frac{2 \times 1.964}{2 \times 3.998} = 0.49 \approx 0.5 = K$ 。可以认为计算正确。



(a) 输入信号

(b) 示波器波形图

图 3: 正弦波仿真验证

方波仿真验证

求方波信号的响应。如图, 4(a), 选择输入频率为 $20Hz$, 幅值为 $4V$, 占空比为 50% 的方波序列信号, 输入输出波形如图 4(b)所示。通过测量信号的稳态幅值 $u_o(\infty) \approx 2V$, 以及稳态时间 $ts \approx 6.45ms$,

满足过渡过程时间在 $3 \sim 5T$ 的条件，可认为求解正确。

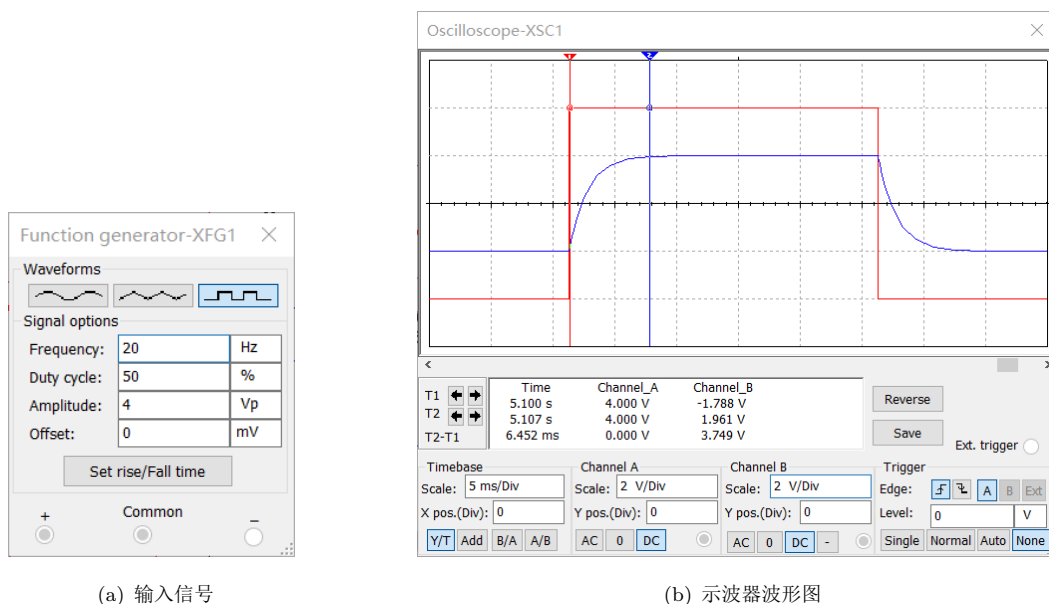


图 4: 方波仿真验证

2.2 仿真题 3-2

2.2.1 测量滤波器的幅频和相频特性，观察不同 Q 值对幅频特性的影响

使用交流分析的方法获得幅频和相频曲线，如图 6。使用游标可以读出在 $f = 1kHz$ 处，放大倍数达到最大，约为 2；相移近似为 0。符合 VCVS 二阶带通滤波器的理论值。

接下来进一步分析不同 Q 值下的幅频和相频曲线，利用参数扫描扫描 R_3 ，得到不同 Q 值下的幅频和相频特性曲线图 7。可以得到， R_3 越大， Q 越大，幅频特性曲线在截止频率处愈尖，选频特性更好，相频特性则在此点斜率更大，即变化更加剧烈。

2.2.2 测量输入信号为 $1kHz$ 方波时滤波器的输出信号波形

将输入信号调整为 $1kHz$ 的方波，利用示波器观察波形，如图 8。可以观察得到，波形基本可以看作一个略有失真的 $1kHz$ 的正弦波，由上一小问可以得到：带通滤波器在 $f = 1kHz$ 的增益最大，所以基频部分分量得以大部分保留，但是又因为此时 $Q = 1$ ，所以高频部分衰减不是很明显，所以会有少量高频部分认然含在其中，所以波形有些许失真。

2.2.3 分析滤波器稳定工作的条件，并观察不稳定工作的现象

我们先看一下稳定状态 ($Q = 1, R_4 = 10k\Omega$) 时候的正弦波输出波形，图 9：

可以看到输出波形的幅值约为输入波形的 2 倍，且没有相移。

VCVS 二阶带通滤波电路满足：

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{uf} \cdot \frac{j \frac{f}{f_0}}{1 + j(3 - \dot{A}_{uf}) \frac{f}{f_0} - (\frac{f}{f_0})^2}$$

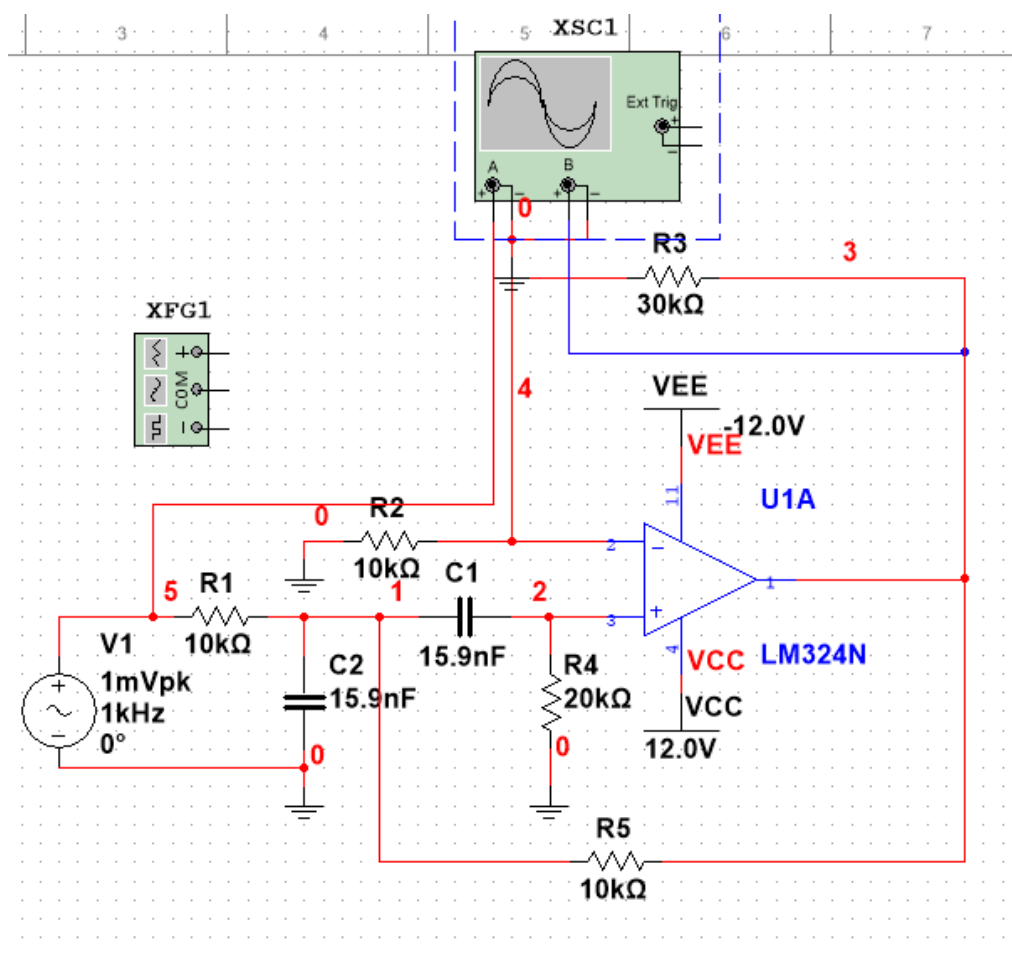


图 5: 二阶带通滤波器电路图

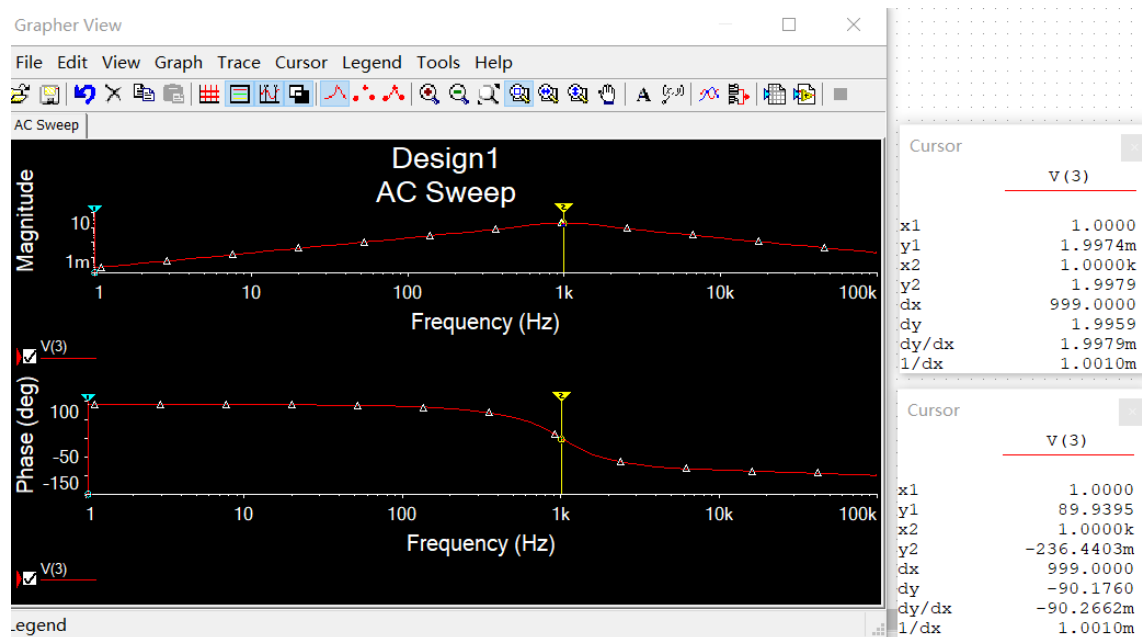


图 6: 二阶带通滤波器幅频和相频特性

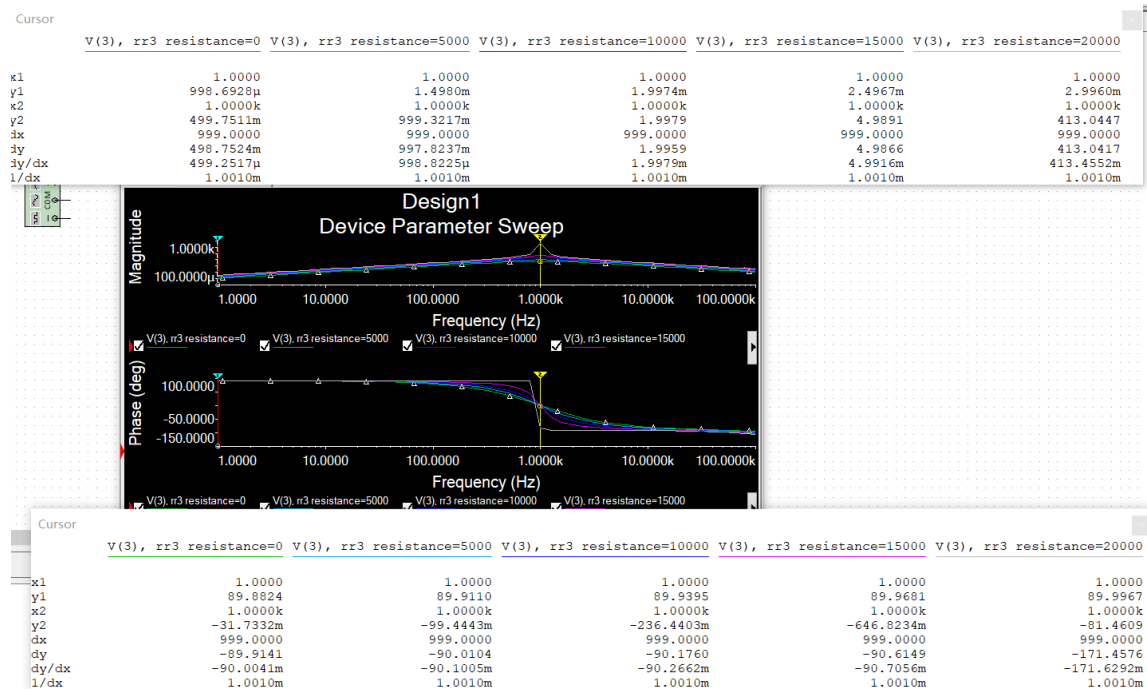


图 7: 二阶带通滤波器不同 Q 值的幅频特性和相频特性

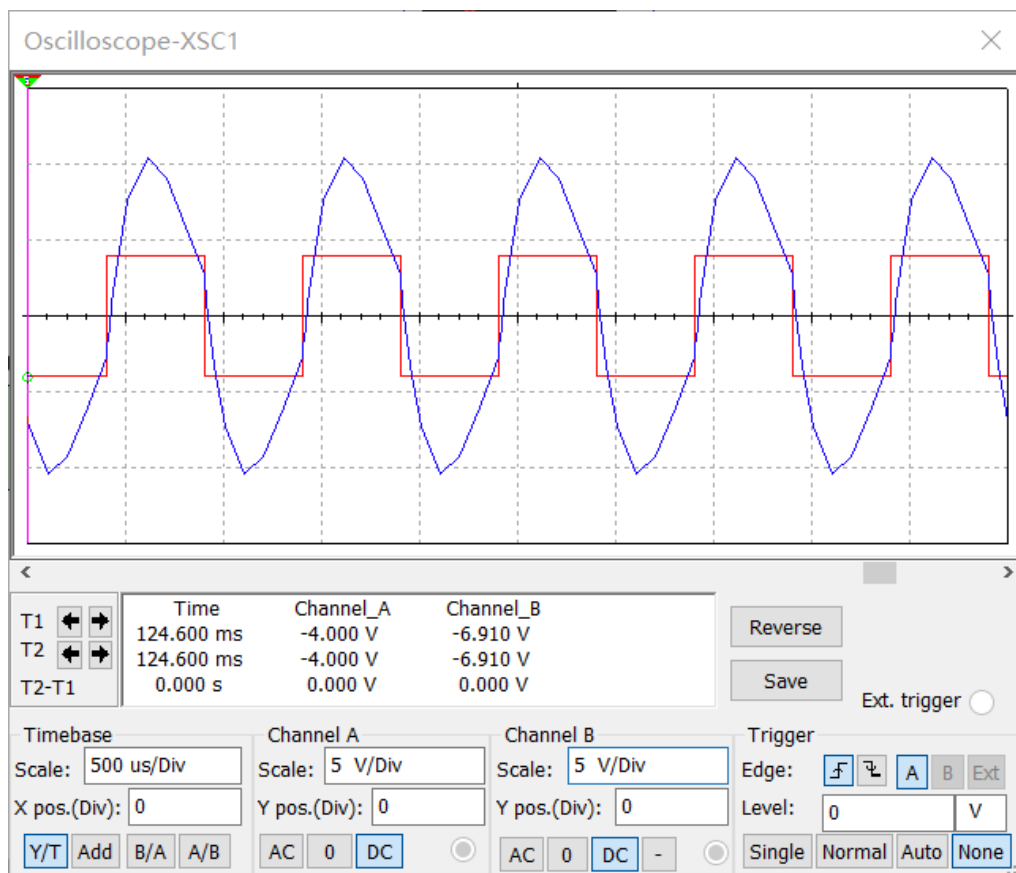


图 8: 二阶带通滤波器输入方波

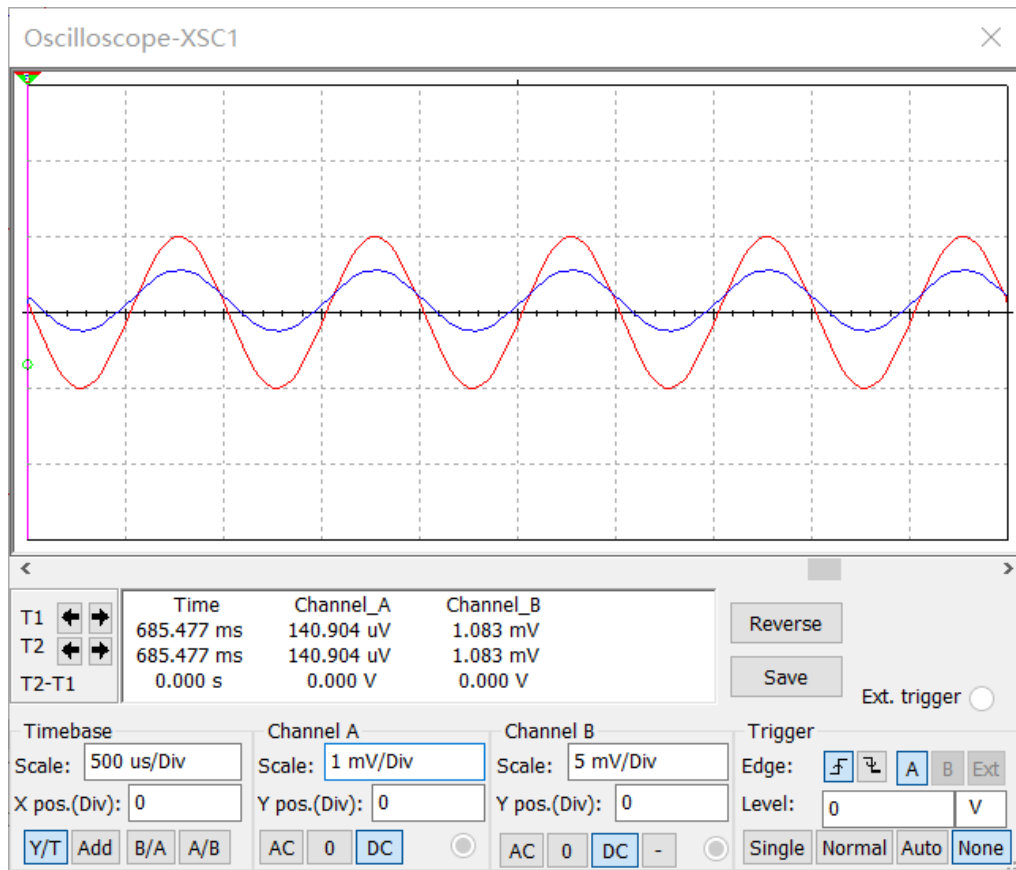


图 9: 稳定状态输入正弦波输出波形

表达为传递函数为:

$$A_u(s) = A_{uf} \cdot \frac{\frac{s}{\omega_0}}{1 + (3 - A_{uf})\frac{s}{\omega_0} + (\frac{s}{\omega_0})^2}$$

用传递函数表示,可以得到当系统稳定时,所有极点位于左半平面,即方程 $1 + (3 - A_{uf})\frac{s}{\omega_0} + (\frac{s}{\omega_0})^2 = 0$ 的根位于左半平面,等价于:

$$\begin{cases} p_1 + p_2 = (A_{uf} - 3)\omega_0 < 0 \\ p_1 p_2 = \omega_0^2 > 0 \end{cases}$$

因为 $\omega_0 > 0$, 所以稳定条件为:

$$A_{uf} < 3$$

对应于电路中即为:

$$\frac{R_3}{R_2} > 2$$

所以我们选取 $\frac{R_3}{R_2} = 3$, 即 $R_3 = 30k\Omega$, 对应 $A_{uf} = 4 > 3$ 。

得到图 10, 可以发现输出波形存在明显失真而且输出达到正负饱和电压, 不再是之前的放大倍数, 二阶带通滤波器处于不稳定工作的状态。

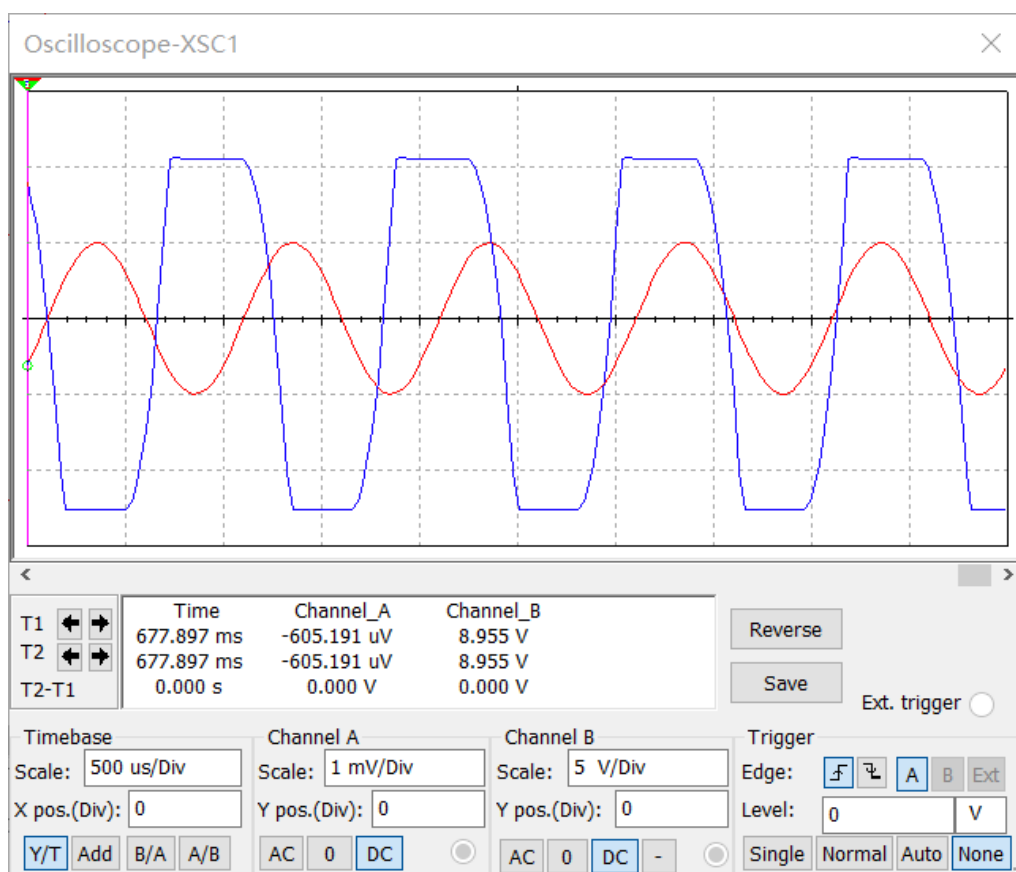


图 10: $A_{uf} = 4$ 时稳定状态输入正弦波输出波形

2.3 仿真题 3-3

此处我选择第二小问：利用运放和模拟乘法器设计一个正弦波有效值测量电路。

设正弦波有效值为 A_{rms} ，频率为 ω ，正弦波信号函数可以写为：

$$x(t) = \sqrt{2}A_{rms} \sin \omega t$$

本题即需要对 A_{rms} 进行测量。

对信号进行平方运算，得到：

$$y_{o1}(t) = x(t)^2 = 2A_{rms}^2 \sin^2 \omega t = A_{rms}^2 (1 - \cos 2\omega t)$$

可以利用模拟乘法器进行平方运算之后，在利用低通滤波器得到：

$$y_{o2}(t) = A_{rms}^2$$

最后再利用模拟乘法器和运放构建开方电路，可以得到：

$$y_{o3}(t) = A_{rms}$$

综上所述，需要平方，低通滤波和开方三步骤。

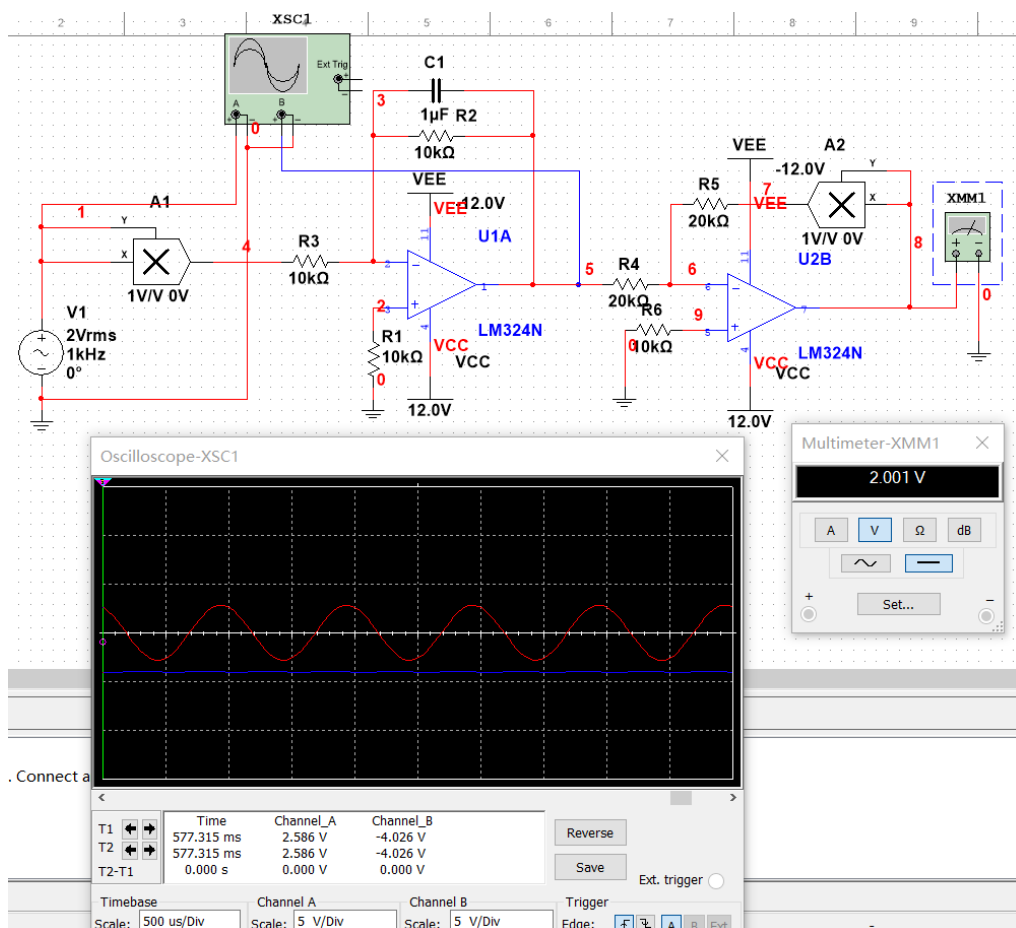


图 11: 正弦波有效值测量电路

因为最后一个步骤开方要求 $u_I < 0$ ，但是采用课上所学的一阶或是二阶的低通滤波器则会导致 $u_I > 0$ ，此时可以对低通滤波器进行改写，或是在低通滤波器和开方电路之间加一个放大倍数为-1 的反相放大电路。为了使电路变得简洁，此处采用第一个方式。

对图中滤波器进行写出 Laplace 表达式：

$$\dot{A}_u = -\frac{R_2 // \frac{1}{sC_1}}{R_3} = -\frac{R_2}{R_3(sC_1R_2 + 1)}$$

由此式子可以得到，确实为低通滤波器，直流信号 $\omega = 0$ ， $\dot{A}_u = -\frac{R_2}{R_3} = -1$

最后在输出电压处接上万用表，见图可以看到得到为 2.001V，而输入信号我才用了有效值为 2V 的信号，所以可以认为计算成功。

3 仿真中遇到的问题

- (1) 调参。本次实验主要是设计类仿真练习，在设计出大体框架的时候，参数的设置非常重要，因为还不太熟练，所以在参数设置花了比较多的时间。
- (2) 在分析二阶带通滤波器的幅频与相频特性中，因为时间太久，交流分析一开始没有很好的回忆起，后来在 AC Sweep 的尝试中成功仿真，但后面想要同时对 R_4 进行扫描，得到不同的 Q 值对应的特性。利用 Parameter Sweep 按照之前仿真方式尝试中得到了想要的图像。
- (3) 在正弦波有效值测量电路中，一开始由于没有注意到开方电路中对输入信号符号的要求，低通滤波电路采用了课堂上所讲解的，导致输出电压不符合预期。后来我注意到了这一点，对低通电路进行设计，受到了第一题仿真中电路的启发，解决了这个问题。

4 收获与体会

- (1) 最大的收获就是利用最近所学的运算电路进行了设计。同时对于一些细节处有了更好的把握。同时使用运放构成各种实际功能电路，完成模拟信号的处理与变换，使我对模拟电路的实际意义有着更加深刻的认识。
- (2) 在二阶带通滤波器仿真过程中，体会到了理想和现实还是有不可忽略的差异。
- (3) 对 Multisim 中一些之前较少利用到的分析方法再次熟悉。