

第四次电路仿真实验

傅世平 2021K8009926014

一：正弦波发生器

1. (1) 频率计算过程如下

由分压, 得

$$\frac{U_o}{U_i} = \frac{R \parallel \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C} + (R \parallel \frac{1}{j\omega C})} = \frac{\frac{R \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}}}{R + \frac{1}{j\omega C} + \frac{R \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}}} = \frac{R \cdot \frac{1}{j\omega C}}{(R + \frac{1}{j\omega C})^2 + R \cdot \frac{1}{j\omega C}}$$
$$= \frac{R}{3R + R^2 j\omega C + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R}{3R + j(R^2 \omega C - \frac{1}{\omega C})}$$

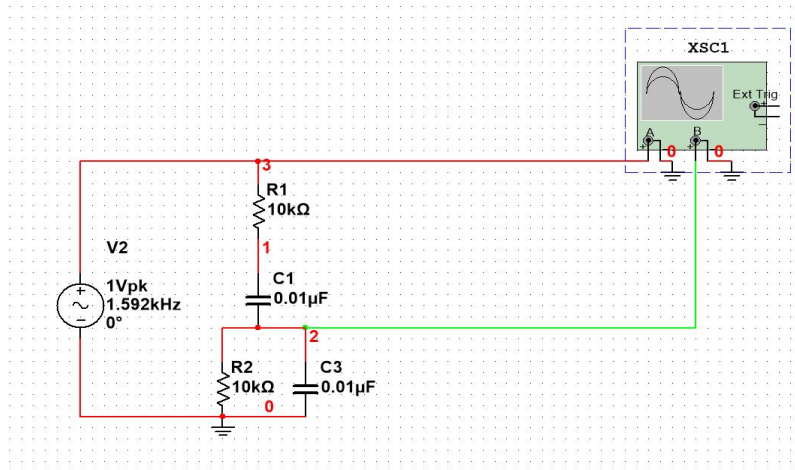
令 U_o 与 U_i 同相位, 即虚部为 0, 得

$$R^2 \omega C - \frac{1}{\omega C} = 0, \text{ 得 } \omega = \frac{1}{CR}$$

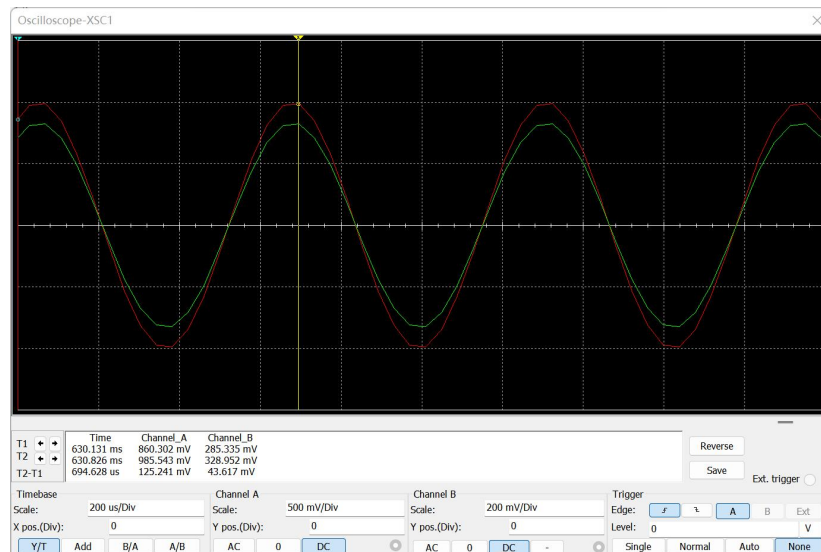
代入数值有 $\omega = 1 \times 10^4 \text{ rad/s}$, 即 $f = \frac{\omega}{2\pi} \approx 1.592 \times 10^3 \text{ Hz}$

此时有 $\frac{U_o}{U_i} = \frac{R}{3R} = \frac{1}{3}$.

(2) 仿真电路如下:



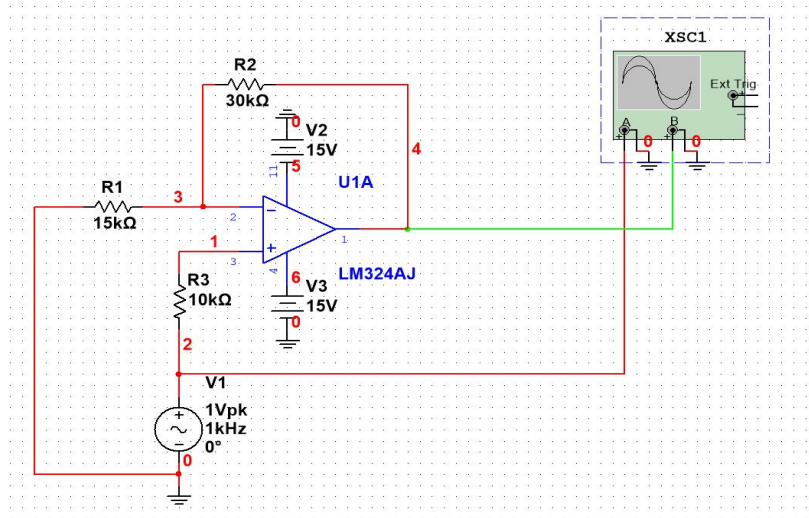
示波器图像如下图所示:



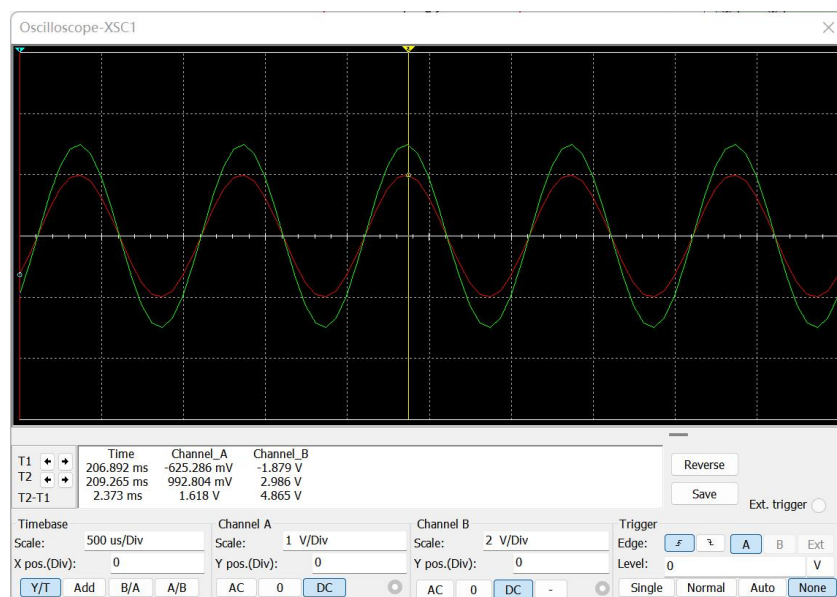
从图中看出, U_o 与 U_i 同相, 且比值为 $\frac{328.952}{985.543} \approx 0.3338$, 与理论结果 $1/3$

大致相等。

2. (1) 根据运算放大器的计算结果, 可确定 R_1 为 $15\text{K}\Omega$, R_2 为 $30\text{K}\Omega$ 。
仿真电路图如下:



(2) 示波器波形如下:

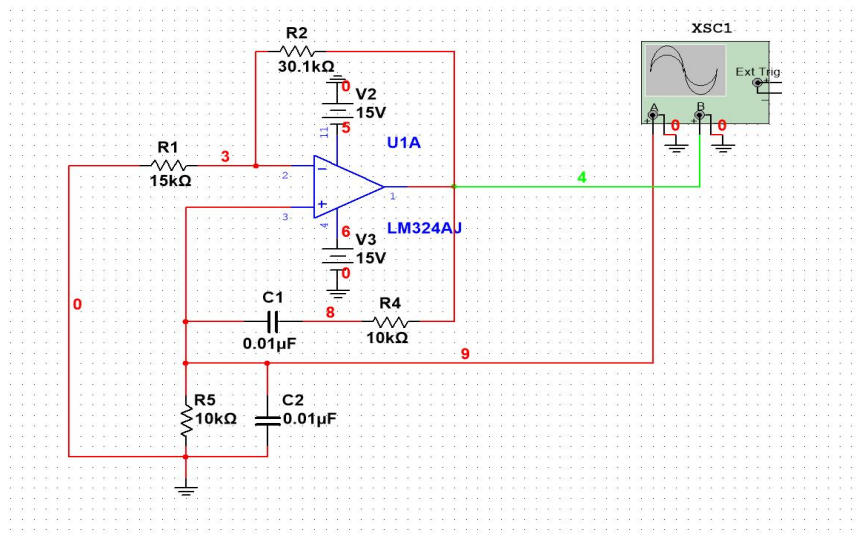


可发现电压之比为 $\frac{2.986}{0.993} = 3.01$, 大致符合预测结果。

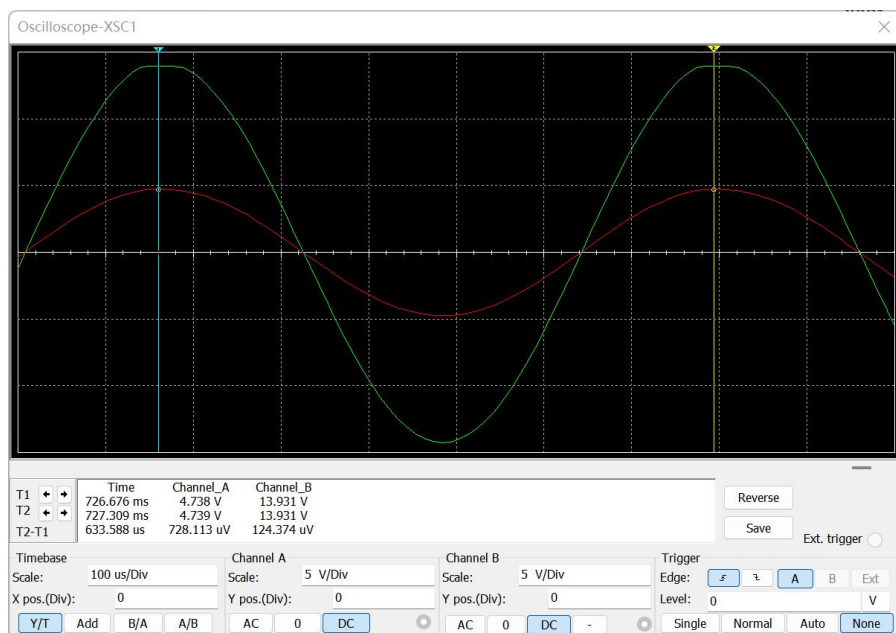
3. (1) 原因:

由附录原理可知, 文氏电路得到的 $\frac{U_o}{U_i} = \frac{1}{3}$, 即 $U_o = \frac{1}{3} U_i$ 中 $\frac{1}{3}$, 而在同相放大器中, $U_o = A U_i$, 要使 U_o 、 U_i 维持频率稳定的正弦波, 应有 $A \cdot \frac{1}{3} = 1$, 即 $A = \frac{1}{\frac{1}{3}} = 3$, 故应设计放大倍数为了的放大器。

(2) 仿真电路图如下:



(3) 示波器波形如下：



可见两个电压同相，且频率 $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{633.588} \times 10^6 = 1.58\text{kHz}$ ，与文氏电路计算的结果（1.592kHz）大致相等。

(4) 解决方案：

由文氏电路原理，同相时频率

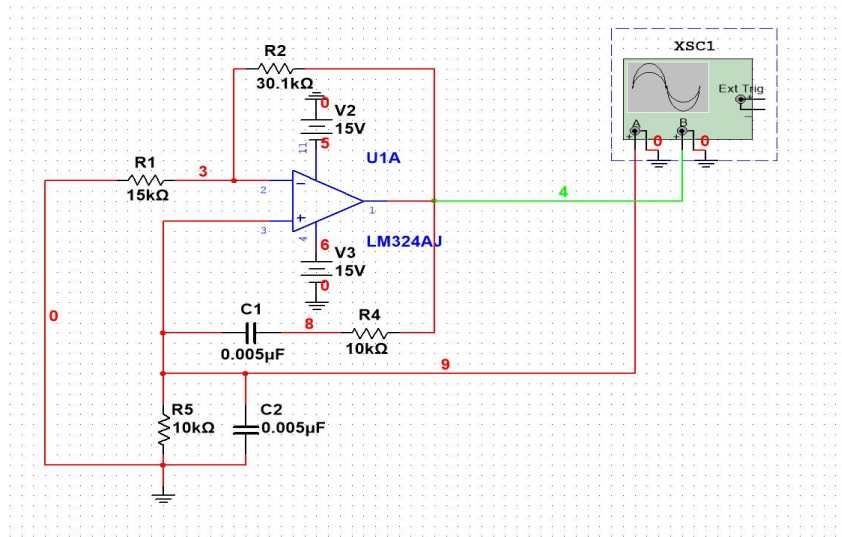
$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi \cdot RC}$$

这里不改变R（会影响同相比例放大器），故令

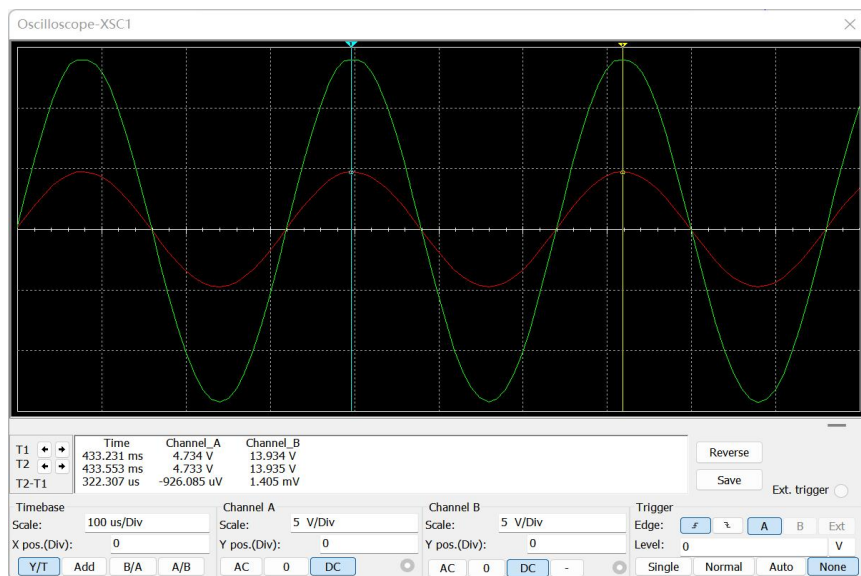
$$C' = \frac{1}{2}C = 0.005\mu\text{F}$$

可实现2倍频率正弦波

仿真电路如下所示：



示波器波形如下所示，可看出周期 $T=322.307$ 变为原来周期的 $\frac{1}{2}$ ，即频率变为原来的 2 倍。



二：电容倍增器

(1) 原理如下：

正弦电路首先通过缓冲器消除原电路影响，之后接入反相比例放大器，由虚断虚短原理，有

$$\frac{U_o}{U_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

则电容两端电压

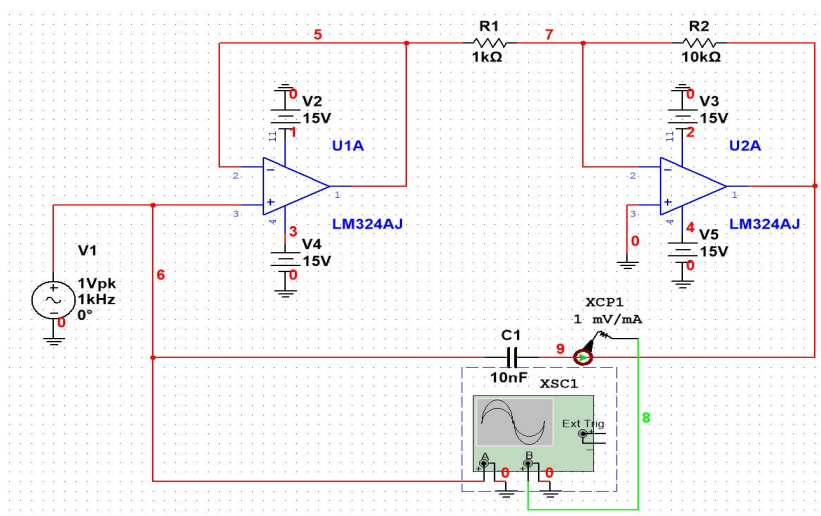
$$U_c = U_i - U_o = (1 + \frac{R_2}{R_1}) U_i$$

端口流入电流即为 $I_c = \frac{U_c}{jX_c} = \frac{(1 + \frac{R_2}{R_1}) U_i}{j \cdot \frac{1}{\omega C}}$

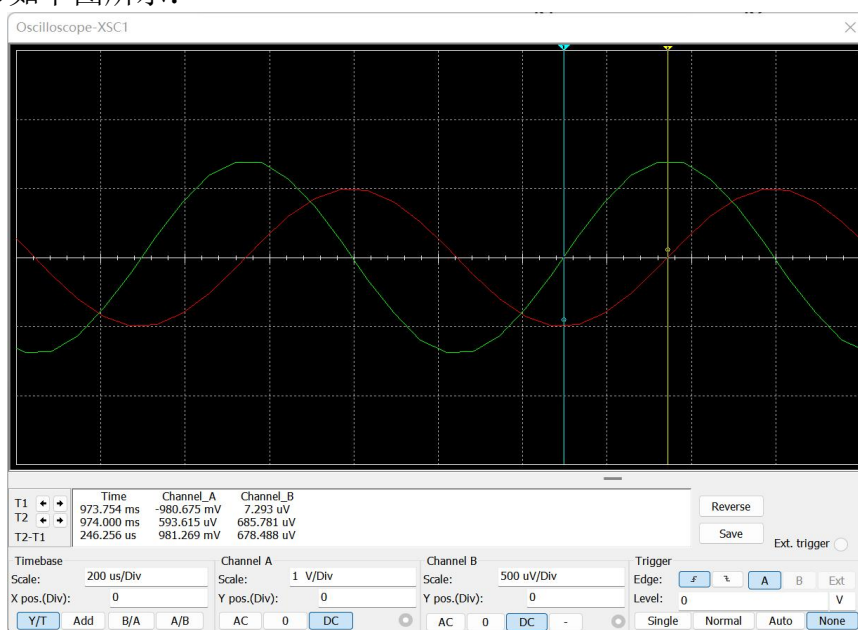
故等效电容 $C_{eq} = (\frac{U_i}{\frac{1}{\omega I_c}})^{-1} = (1 + \frac{R_2}{R_1}) C$

即当 $\frac{R_2}{R_1} > 0$ 时， $C_{eq} > C$ ，实现了电容倍增

(2) 由于本题中 $\frac{C_{eq}}{C} = 11$, 故 $\frac{R_2}{R_1} = 10$, 这里取 $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$ 。仿真电路如下图所示:



示波器 A 通道测端口电压, B 通道通过电流探针将电流表示为电压, 波形如下图所示:



可发现电流 (绿色) 超前电压 (红色) 90° , 由公式计算可得

$$C = \frac{1}{\omega U_i} \frac{I_c}{U_i} = \frac{685.781 \mu A}{1000 \times 980.675 \text{ mA}} = 0.111 \mu F$$

结果与理论值相符。

对于端口电压的范围, 下面是推导过程:

第一个放大器, $|U_o| = |U_i| < U_{sat}$

第二个放大器, $|U_o| = \frac{R_2}{R_1} |U_i| = 10 |U_i| < U_{sat}$

综上可得 $|U_i| < \frac{1}{10} U_{sat}$, 仿真电路中 $U_{sat} = 15V$, 故 U_i 峰值应小于 $1.5V$ 。