

第 3 次仿真作业

一、根据附录补充的知识设计正弦波发生器。

1. 给定文氏 (Wien) 电桥电路如图。其中, $R = 10\text{k}\Omega$, $C = 0.01\mu\text{F}$ 。

要求:

输入输出电压均为正弦交流, 求输出电压 \dot{U}_o 和输入电压 \dot{U}_i 同相时正弦交流的频率, 并求同相时输出电压和输入电压有效值的比值。用仿真软件验证你的推断。

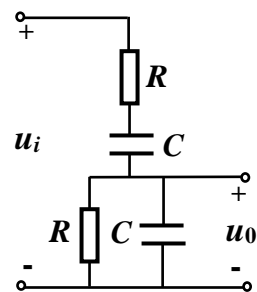


图 1 文氏电桥

2. 采用同相比例器放大电路如图 2 所示。设计一个放大倍数为 3 的放大器。运算放大器建议选用 UA741MJ、LM324AJ 等实际运算放大器, 其电源电压为 $\pm 15\text{V}$ 。设计 R_1 、 R_2 的阻值 (数量级是 $\text{k}\Omega$), 且满足 $R_1/R_2 = R_3$ (可以减少偏置电流对运放的影响), 组成放大倍数等于 3 的同相比例放大器。

要求:

- (1) 给出仿真电路图。
- (2) 给出仿真结果, 设法验证所设计放大器的放大倍数是 3 倍。注意: 输入电压取值应确保运放工作在线性区。

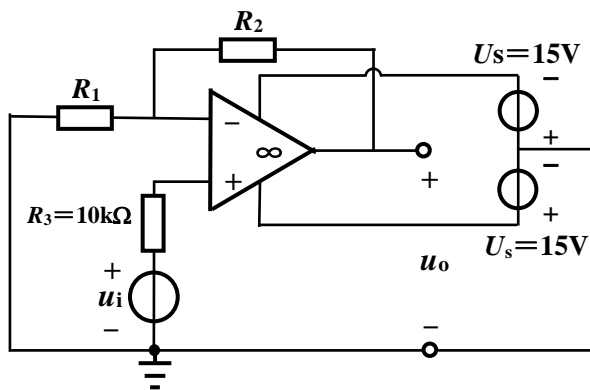


图 2 同相比例放大器的电路原理图

- 3 由文桥电路和三倍同相比例放大器组成一个正弦波发生器如图 3 所示。

说明: 若在设计参数下电路不起振, 可略增大反馈电阻 R_2 以增加放大器的放大倍数 (注意: R_2 取值太大振荡波形会失真)。应避免给电容 C 一个初值的做法。

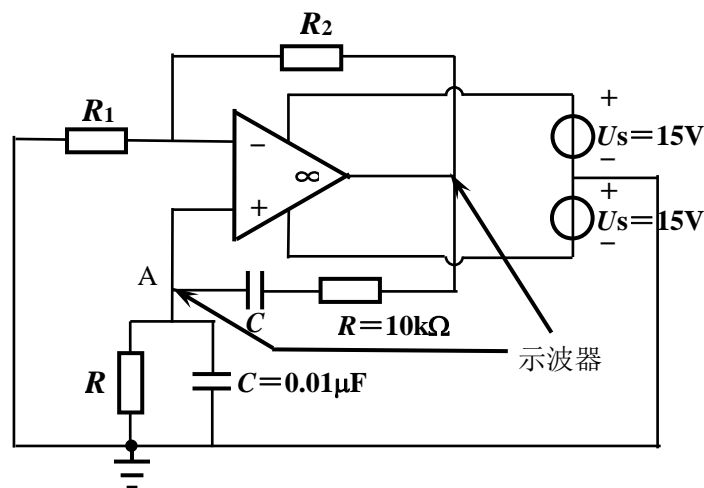


图 3 正弦波发生器的电路原理图

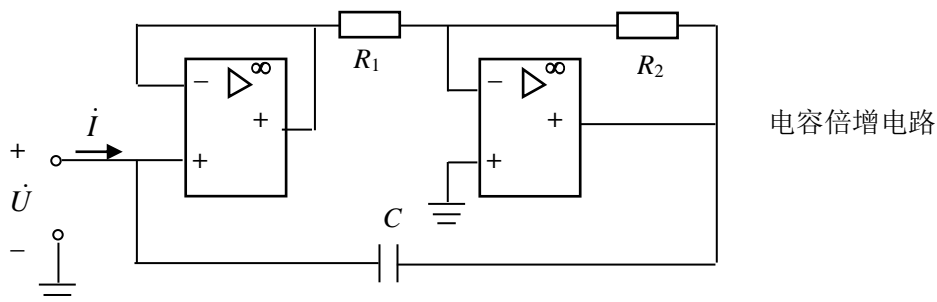
要求：

- (1) 回答：为什么第 2 部分需要设计放大倍数为 3 的同相比例放大器？
- (2) 给出仿真电路图。
- (3) 给出示波器显示的波形（图 3 中给出了示波器两个通道的接入点）。图中需要用游标测出周期和峰值。在振荡波形不失真的条件下（通过调节 R_2 达到要求），将 2 个游标分别移至正弦波的 2 个相邻的最大值处，从而显示正弦波的峰值和周期。
- (4) 在上一步的基础上要想获得 2 倍频率的正弦波，给出一种解决方案。仿真验证你的解决方案。给出示波器显示的波形。图中需要用游标测出周期和峰值。

注：作为要求，第二、三题选作 1 个即可。当然我们鼓励大家都完成。

二、设计并验证电容倍增器

在集成电路中，电容在晶片上所占的面积比晶体管 and 电阻都要大。而且即使在分立元件电路中，实现高容值的电容难度也比较大。综合以上两个原因，人们关注如何用 Op Amp 构成使电容值增大的有源电路——电容倍增器。一种电容倍增器的电路如下图所示。



- (1) 说明该电路为何能够实现电容倍增功能。
- (2) 已知 $C=10\text{nF}$ ，设计该电路的其他参数，使得从端口上得到 $0.11\mu\text{F}$ 的电容。检验你的设计是否达到要求。频率取 1kHz 即可。

注意：

(1) 关于检验方法。可以采用示波器。通道 1 显示端口电压，通道 2 显示流入端口的电流。判断电压和电流的相位、幅值是否达到设计要求。当然鼓励你提出并实现其他检验方法。

(2) 关于正常工作的端口电压范围。写出每个运放输出电压与端口电压的关系，从而可以得出该电路可作为电容倍增器的端口电压范围。检验所用的电压应处于该范围内。

三、设计并验证虚拟电感

与电容相比，电感集成的难度非常大。即使不考虑集成电路设计，电感的体积有时也严重影响电路的布局。因此如何用 R 、 C 和运放模拟电感是电子电路（包括微电子电路）设计的一个比较重要的问题。教材例 6.2.10

讨论了一种通过回转器实现电感的方法。下面来研究利用负电阻来实现电感。图 3 所示电路在仿真 1 中已经详细研究过。

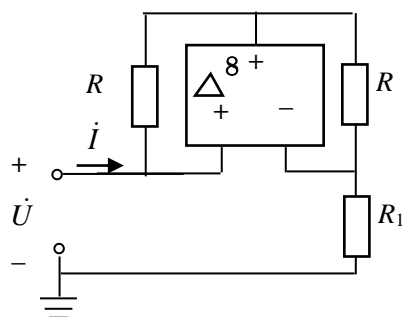


图3 负电阻电路

利用两个负电阻电路和电容可以模拟电感。电路如图 4 所示。

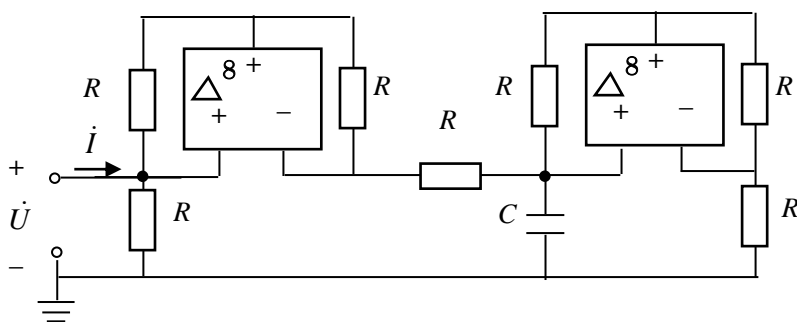


图4 模拟电感电路

(1) 分析图 4 所示电路为何能模拟电感。提示：能够利用负电阻电路的结果来证明吗？

(2) 设计 R 和 C 的数值，在端口上构成 $0.1H$ 的电感。已知端口接 $1.5V$ 有效值的正弦电压，频率为 $5kHz$ 。检验你的设计是否达到要求。

注意：

(1) 关于检验方法。可以采用示波器。通道 1 显示端口电压，通道 2 显示流入端口的电流。判断电压和电流的相位、幅值是否达到设计要求。当然鼓励你提出并实现其他检验方法。

(2) 关于正常工作的端口电压范围。写出每个运放输出电压与端口电压的关系，从而可以得出该电路可作为电容倍增器的端口电压范围。检验所用的电压应处于该范围内。

附录

利用文氏电路组成正弦波发生器

要想产生正弦波，所需的必备条件有：（1）电路中有噪声（电压很小），这些噪声中包含有丰富的频率成分。（2）电路存在着对某个频率的噪声来说放大倍数大于 1 而且相位不变的反馈机制，对其他频率的噪声来说要么放大倍数小于 1，要么相位发生改变。对于那个特定频率的噪声来说，由于放大倍数大于 1，而且相位不变，峰值不断增大。（3）为了最终获得峰值稳定的正弦波，一般需要利用电路元件的非线性性质来进行限幅。将这 3 个因素结合起来，就可以产生特定频率、峰值稳定的正弦波了。

正弦波发生器有很多形式，一般由选频网络、反馈网络和放大器组成，在电子学课程中将会详细讨论。这里我们介绍文氏电路正弦波振荡器。

在图 3 所示电路中，A 点的电压经过由运算放大器构成的同相比例放大器的放大为 B 点的电压（令 $\dot{U}_B = \dot{A}\dot{U}_A$ ，其中 \dot{A} 是同相比例放大器对某一频率的放大倍数，在频率不太大的范围内是一个正实数），B 点电压又经过文氏电桥反馈回 A 点（令 $\dot{U}_A = \dot{F}\dot{U}_B$ ，其中 \dot{F} 是文氏电桥构成的反馈网络的反馈系数，一般是复数）。如果对于某个频率的正弦波来说，电路满足 $\dot{A}\dot{F} = 1$ （平衡条件），即 A 点特定频率的正弦波经过放大器和反馈网络回到 A 点之后的幅值和相位都没有发生改变，则能够在 A 点和 B 点维持特定频率稳定的正弦波。

上面讨论的是电路稳定状态下的情况，要想使得电路进入稳定状态，就需要能够从一开始仅存在噪声的电路中将特定频率的正弦波选择并且放大出来。因此要想起振，就需要对特定频率的正弦波来说 $\dot{A}\dot{F} > 1$ （起振条件），对其他频率的噪声来说要么放大倍数小于 1，要么相位发生改变。正弦波发生器的起振是依靠电路的选频网络（文氏电桥），从电路元件中的噪声电压或电源接通瞬时的噪声中选出特定频率的正弦波，在满足起振条件的情况下，正弦波由小而大建立起来的。振荡建立起来以后，实际实验中往往将 R_2 适当调小，以确保特定频率的正弦波满足平衡条件，从而将正弦波的峰值稳定下来。仿真中不便于实时调整 R_2 的值。但如果起振的 R_2 设置得不是太大，也可以得到波形失真比较小的正弦波。