

实验报告

课程名称: 模拟电子技术实验 实验名称: 实验五: 有源滤波电路的研究

专业-班级: 自动化7班 学号: 220320726 姓名: 彭尚品

实验日期: 2024 年 6 月 3 日 评分: _____

教师评语:

助教签字: _____

教师签字: _____

日期: _____

实验预习

实验预习和实验过程原始数据记录

预习结果审核：_____ 原始数据审核：_____

(包括预习时，计算的理论数据)

- 1、一阶有源低通滤波器实域仿真：按照 5-8 图参数进行仿真

保存仿真电路图截屏和输出波形 V_{out} 图，测量不同频率下的输入输出信号的幅值、周期并截图，课堂上要求统一给老师看波形图。

- 2、一阶有源低通滤波器仿真：按照 5-9 图参数，计算的截止频率= 361.716Hz (写出计算过程)

$$f_H = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 20k\Omega \cdot 22nF} \approx 361.716Hz$$

保存仿真电路图截屏和输出波形 V_{out} 图 (幅频特性曲线)，测量其截止频率并截图，课堂上要求统一给老师看波形图。

- 3、二阶有源低通滤波器频域仿真：按照 5-10 图参数，计算的特征频率= 3.617kHz，截止频率= 361Hz $Q = 0.67$ 。改变 R_3, R_4 大小， $R_3=10k\Omega, R_4=10k\Omega$ ，计算的 $Q_1 = 1$ ； $R_3=20k\Omega, R_4=10k\Omega$ ，计算的 $Q_2 = \infty$ 。(写出计算过程)

$$f_{特} = 10 \times \frac{1}{2\pi \cdot 20k\Omega \cdot 22nF} \approx 3.617kHz$$
$$f_{截} = \frac{1}{2\pi \cdot 20k\Omega \cdot 22nF} \approx 361.7Hz$$
$$Q = \frac{1}{3-A_0} = \frac{1}{3-(1+\frac{R_3}{R_4})} = 0.67$$
$$Q_1 = \frac{1}{3-(1+\frac{R_3}{R_4})} = 1$$
$$Q_2 = \infty$$

保存三组 Q 值下仿真电路图截屏和输出波形 V_{out} 图 (幅频特性曲线)，测量其截止频率并截图，课堂上要求统一给老师看波形图。

在 $Q=\infty$ 时，选择一合适的输入电压 (幅值、频率)，测试此电路的实域波形并保存，课堂上要求统一给老师看波形图。

- 4、二阶有源高通滤波器频域仿真：按照 5-11 图参数，计算的特征频率= 3.617kHz。(写出计算过程)

$$f_{特} = 10 \times \frac{1}{2\pi \cdot 20k\Omega \cdot 22nF} = 3.617kHz$$

保存仿真电路图截屏和输出波形 V_{out} 图 (幅频特性曲线)，测量其截止频率并截图，课堂上要求统一给老师看波形图。

- 5、二阶有源带通滤波器频域仿真：按照 5-12 图参数，计算的中心频率= 79.58Hz 上限截止频率= 128.76Hz 下限截止频率= 49.18Hz 通频带 79.58Hz。(写出计算过程)

$$f_{\phi_{\text{心}}} = \frac{1}{2\pi RC} = 79.58\text{Hz}$$

$$f_{\text{上}} = f_{\phi_{\text{心}}} \left(\frac{1}{2Q} + \sqrt{1 + \frac{1}{4Q^2}} \right) = 128.76\text{Hz}$$

$$f_{\text{下}} = f_{\phi_{\text{心}}} \left(\frac{1}{2Q} - \sqrt{1 + \frac{1}{4Q^2}} \right) = 49.18\text{Hz}$$

保存仿真电路图截屏和输出波形 V_{out} 图（幅频特性曲线），测量其中心频率，上下限截止频率并截图，课堂上要求统一给老师看波形图。

- 6、二阶有源带阻滤波器频域仿真：按照 5-13 图参数，计算的中心频率=49.97Hz。（写出计算过程）

$$f_{\phi_{\text{心}}} = \frac{1}{2\pi RC} = 49.97\text{Hz}$$

保存仿真电路图截屏和输出波形 V_{out} 图，测量其中心频率并截图，课堂上要求统一给老师看波形图。

一、实验目的

- 1、掌握有源滤波器的组成原理及滤波特性，学会用运算放大器、电阻、电容设计组成的有源低通、高通、带通、带阻滤波器。
- 2、掌握仿真软件 ORCAD PSPICE 的使用。
- 3、学习 RC 有源滤波器的设计，并用仿真软件验证其工作特性。
- 4、学会调节滤波器截止频率及了解等效 Q 值对滤波器幅频特性的影响。

二、实验设备及元器件

表 5-1 实验仪器和器件表

	名称	数量	型号
1	线性直流稳压电源	1 台	DP832A
2	手持万用表	1 台	Fluke 287C
3	示波器	1 台	Tek MSO2012B
4	信号发生器	1 台	Tek AFG1062 或 DG4062
5	交流毫伏表	1 台	SM2030A
6	电阻	若干	任选
7	电容	若干	任选
8	集成运放	2 只	LM741×2 或 $\mu\text{A}741 \times 2$
9	短接桥和连接导线	若干	P8-1 和 50148
10	实验用 9 孔插件方板	1 块	300mm×298mm
11	装有 PSPICE 软件电脑	1 台	

三、实验原理（重点简述实验原理，画出原理图）

1、Pspice 简介

Pspice 是由 SPICE（Simulation Program with Intergrated Circuit Emphasis）发展而来的用于微机系列的通用电路分析程序。Pspice 软件是一个通用的电路分析程序，它可以仿真

和计算电路的性能。由于该软件提供了丰富的元件库，使得各种常用元器件随手可得，在软件上我们可以搭接任何模拟和数字或者数模混合电路。该软件使用的编程语言简单易学，对电路的计算和仿真快速而准确，强大的图形后处理程序可以将电路中的各电量以图形的方式显示在计算机的屏幕上，就像一个多功能、多窗口的示波器一样。PSPICE 软件具有强大的电路图绘制功能、电路模拟仿真功能、图形后处理功能和元器件符号制作功能，以图形方式输入，自动进行电路检查，生成图表，模拟和计算电路。它的用途非常广泛，不仅可以用于电路分析和优化设计，还可用于电子线路、电路和信号与系统等课程的计算机辅助教学。与印制版设计软件配合使用，还可实现电子设计自动化。被公认是通用电路模拟程序中最优秀的软件，具有广阔的应用前景。

2、有源滤波电路

若滤波电路含有有源元件（双极型管、单极型管、集成运放）组成，成为有源滤波电路。有运算放大器和阻容元件组成的选频网络。用于传输有用频段的信号，抑制或衰减无用频段的信号。滤波器阶数越高，性能越逼近理想滤波器特性。有源滤波器主要分为四类：低通滤波器（LPF），高通滤波器（HPF），带通滤波器（BPF），带阻滤波器（BEF）。集成运算放大器是具有高开环电压放大倍数的多级直接耦合放大器。它具有体积小、功耗低、可靠性高等优点，广泛应用于信号的运算、处理和测量以及波形的发生等方面。

四、实验过程

（叙述具体实验过程的步骤和方法，记录实验数据在原始数据表格，如需要引用原始数据表格，请标注出表头，如“实验数据见表 1-1”）

本次实验过程可简述，不需要描述软件的使用，需要描述遇到的问题，以及你是怎么解决的。

（1）启动 Cadence→ORCAD→ORCAD Capture→在主页下创建一个工程项目 **Active filter**。

①选 **File/New/ Project**

②建立一个子目录→**Create Dir** (键入 **e:\AF**)，并双击、打开子目录；

③选中 **●Analog or Mixed A/D**

④键入工程项目名 **Active filter**；

⑤在设计项目创建方式选择对话框下，选中 **●Create a blank project**

（2）画电路图

①打开库浏览器选择菜单 **Place/Part → Add Library** (先添加模型库)

注意：选择库的时候，需要在 **Library/Pspice** 文件夹下面选择器件库，采用对应的器件的仿真模型。

提取：**LM741**、电阻 **R**、电容 **C** (analog 库)、电源 **VDC** (source 库)、输入信号源 **VSIN**。

②移动元器件。

鼠标选中元器件并单击（元、器件符号变为红色），然后压住鼠标左键拖到合适位置，放开鼠标左键即可。

③删除某一元器件。

鼠标选中该元器件并单击（元器件符号变为红色），**delete**。

④翻转或旋转某一元器件符号。

鼠标选中该元器件并单击（元器件符号变为红色），右键，选择 `rotate`。

⑤画电路连线

选择菜单中 `Place/wire`

⑥为了突出输出端，需要键入标注 `Out` 字符，

选择菜单 `Place/Net Alias` → `Out`，放置到输出端。

⑦放大缩小快捷键。

放大：`Ctrl+鼠标中键向前`；缩小：`Ctrl+鼠标中键向后`。

⑧从连线模式到放器件模式。图 5-7 放置元器件，增加元器件库界面

点击 `select`

（3）修改元器件的标号和参数

用鼠标箭头双击该元件符号显示的标号和参数，此时出现修改框，即可进入标号和参数的设置，修改完记得要点 `OK`。按图 5-8 的参数搭建电路图。

（4）设置分析功能

Time domain（时域分析）

①选择菜单 `PSpice/New Simulation Profile`，在 `New Simulation` 对话框下，键入 `AF1`，用鼠标单击 `Create`，然后在屏幕上弹出模拟类型和参数设置框；

②在模拟类型和参数设置框下，见 `Analysis type` 栏目，用鼠标选中及单击 `Time Domain` → 然后，在 `General Setting` 栏目下键入下列数据：`Run to time 10m`，`Maximum step size 1us`。

（5）仿真

仿真输出电压波形。①选择菜单 `PSpice/RUN`（或用鼠标点击符号 `RUN`）。②若无出错，便可观察瞬态分析(时域分析)。单击菜单 `Trace/Add Trace` → 弹出 `Add Trace` 对话框。单击 `V(out)`，单击 `OK!` 返回(显示 `V(out)` 波形)，即为电路输出波形曲线。同样步骤，添加 `V(in)`。

（6）保存波形

在 `SCHEMATITC` 窗口里面，选择菜单 `Window`，点击“`Copy to Clipboard`”，在弹出的对话框里面，点击 `background`，让背景呈现透明，单击 `OK`，即可将波形复制到其他 `Word` 文档。保存仿真电路图截屏和输入输出波形图，测量输入输出信号的幅值、周期并截图。结合理论分析，得出仿真实验结论。

（7）实验比较

修改 `VSIN` 电源的频率参数为 `200Hz`，`Run to time` 改为 `50m`。重复步骤（5）到（6），比较两种情况下实验结果的差异，结合理论分析，得出仿真实验结论。

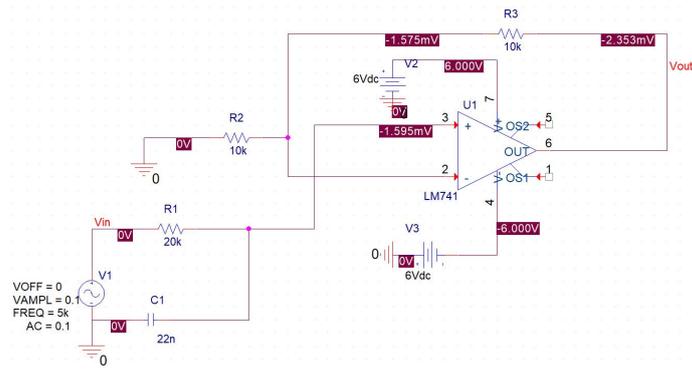
五、实验数据分析

（按指导书中实验报告的要求用图表或曲线对实验数据进行分析 and 处理，并对实验结果做出判断，如需绘制曲线请在坐标纸中进行。也可以按要求自拟实验数据分析文档附上。）

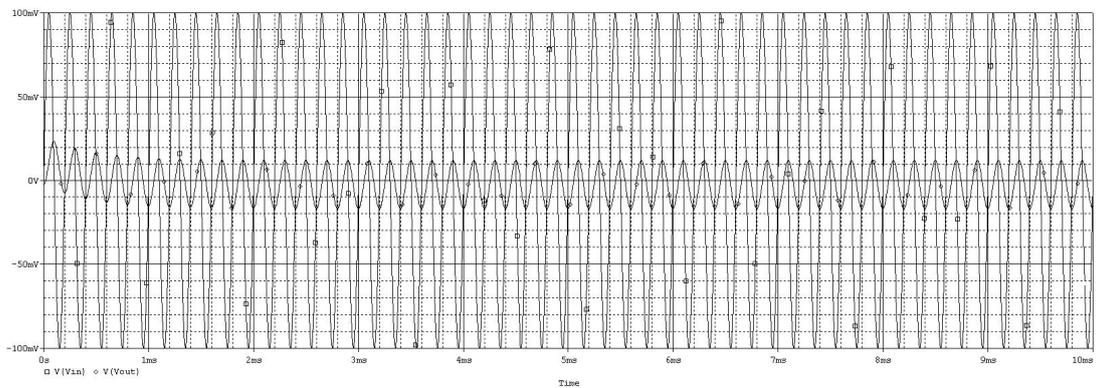
1、一阶有源低通滤波器实域仿真：

在两种输入条件下，测试并保存仿真电路图截屏和输入、输出波形图，测量输入信号和输出信号的幅值、周期等信息并截图。

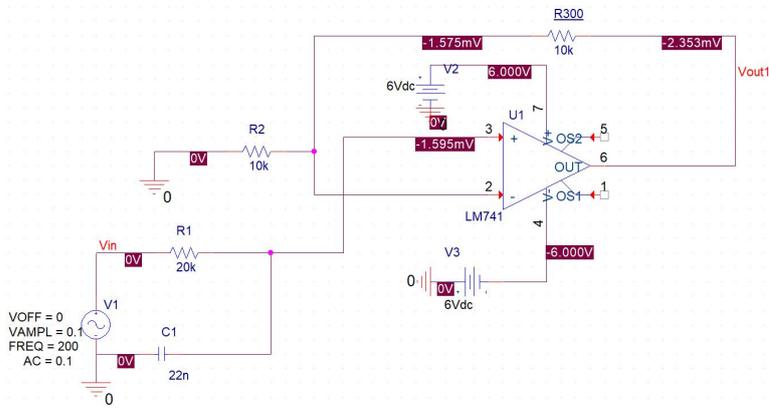
第一种输入条件：



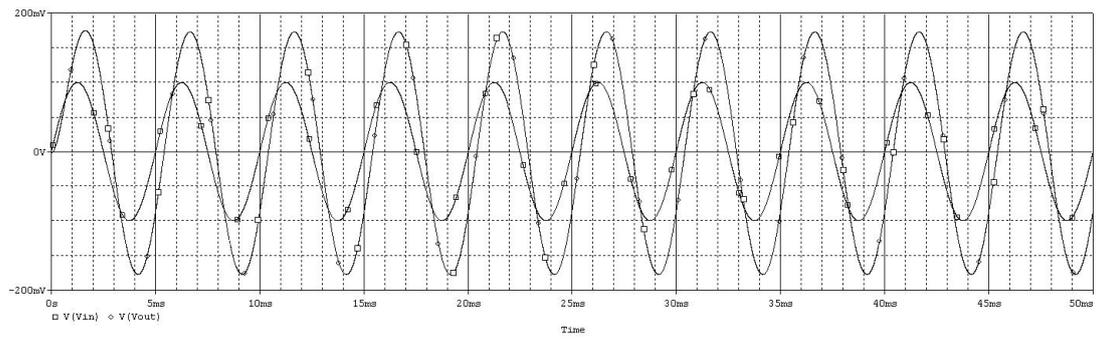
Evaluate	Measurement	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Period(V(Vout))	212.24427u
<input checked="" type="checkbox"/>	Period(V(Vin))	199.99999u
<input checked="" type="checkbox"/>	Peak(V(Vout),5ms)	23.62552m



第二种输入条件:

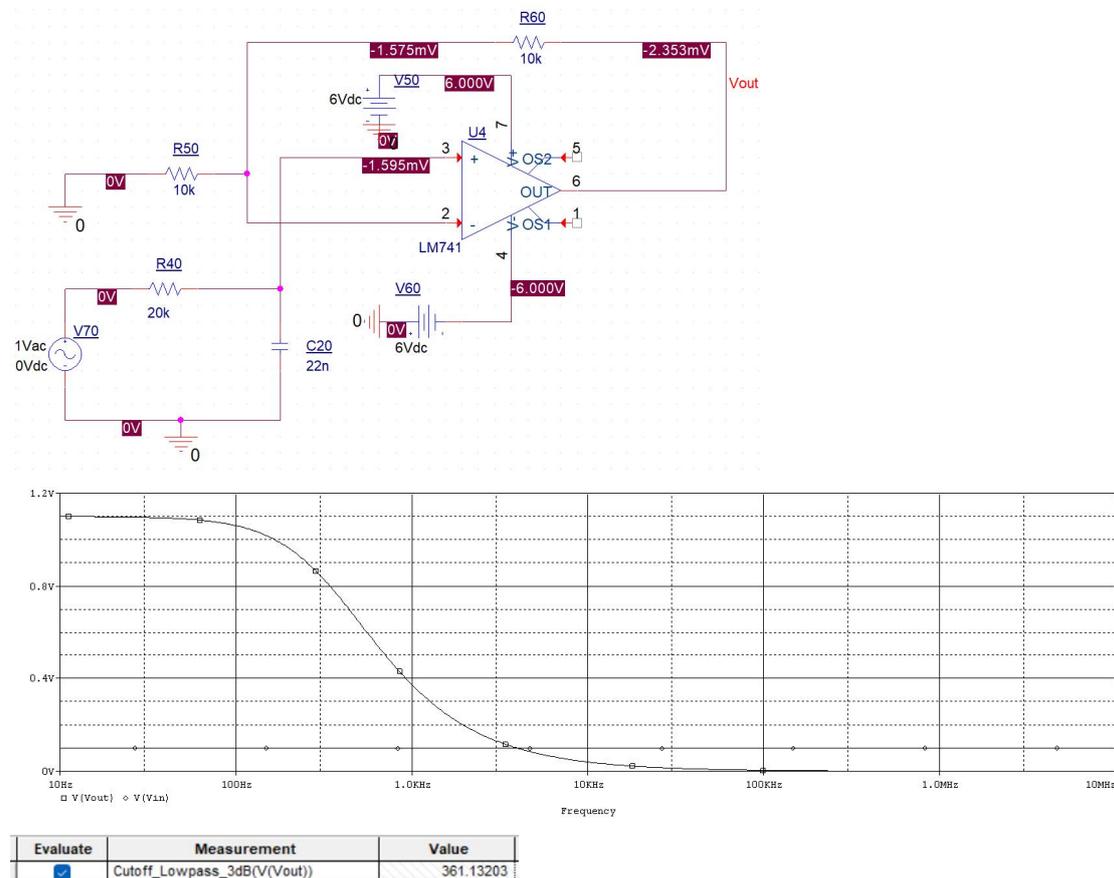


Evaluate	Measurement	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Period(V(Vout))	5.34565m
<input checked="" type="checkbox"/>	Period(V(Vin))	5.00000m
<input checked="" type="checkbox"/>	Peak(V(Vout),5)	172.66516m



2、一阶有源低通滤波器频域仿真:

保存仿真电路图截屏和输出波形 V_{out} 图, 测量其截止频率并截图, 同计算的截止频率相比较, 得出实验和理论分析结论



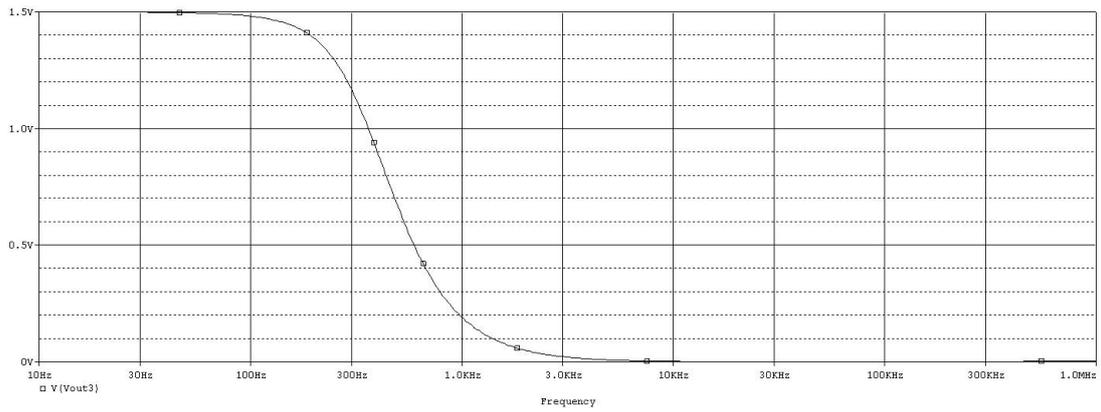
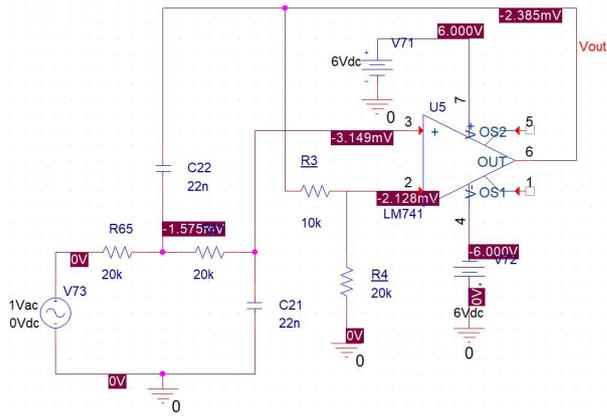
低通滤波器在低频段的电压放大倍数大, 在高频段的电压放大倍数小, 仿真得到的截止频率和理论所计算的截止频率在误差允许范围内一致, 仿真符合理论的分析。

3、二阶有源低通滤波器频域仿真:

保存仿真电路图截屏和输出波形 V_{out} 图, 测量其截止频率并截图。通过改变 R_3 , R_4 的大小, 来改变 Q 值的大小, 需测试 3 种不同 Q 值下的波形。分析 Q 值大小对于二阶有源低通滤波器幅频特性的影响, 并同一阶有源滤波器幅频特性进行比较。

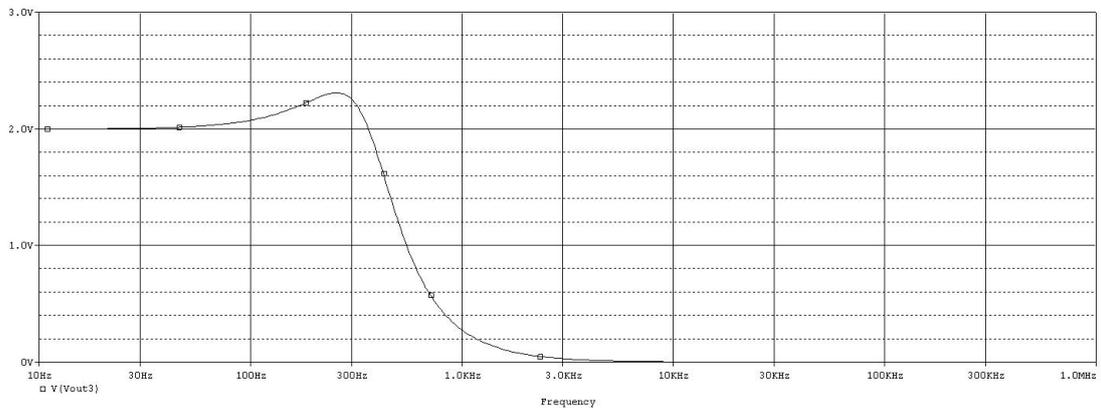
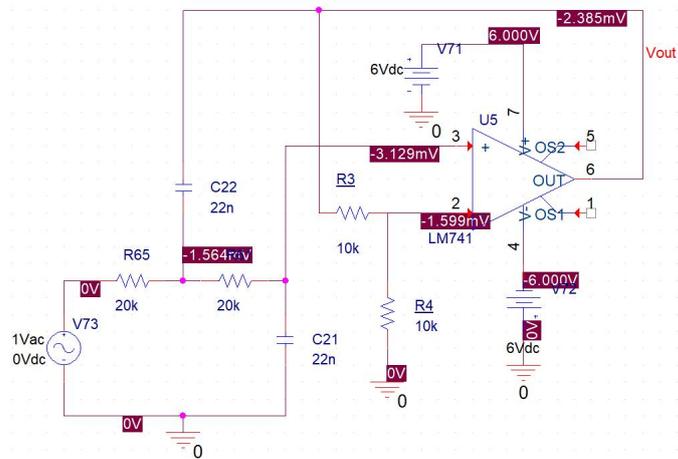
改变 R_3 , R_4 的大小, 在 $Q=\infty$ 时, 选择一合适的输入电压 (幅值、频率), 测试此电路的实域波形并保存, 观察输入电压 VSIN 和输出电压 V_{out} 之间的关系, 得出结论, 分析理论和仿真是否一致。

$R_3=10k\ \Omega$, $R_4=20k\ \Omega$



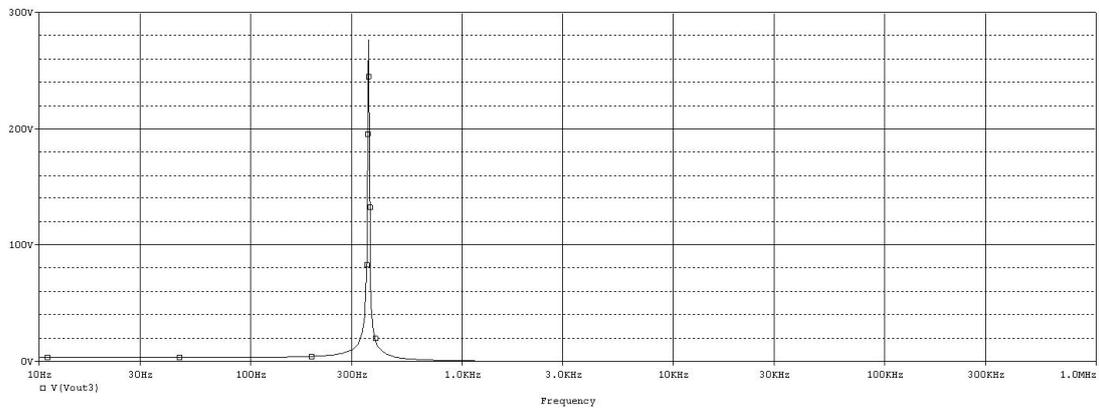
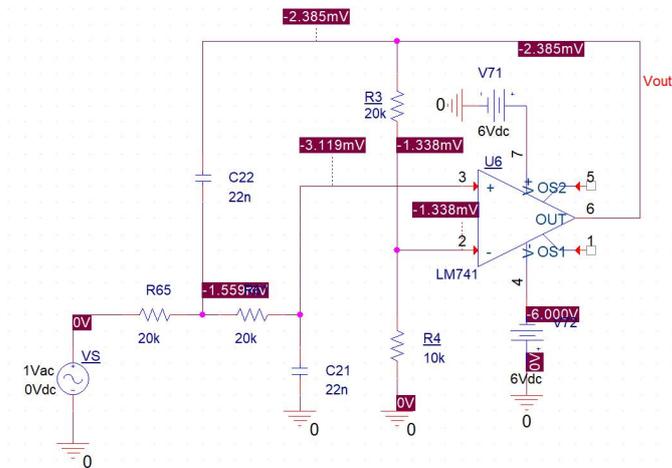
Evaluate	Measurement	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Cutoff_Lowpass_3dB(V(out))	339.43406

$R_3=10k\ \Omega$, $R_4=10k\ \Omega$

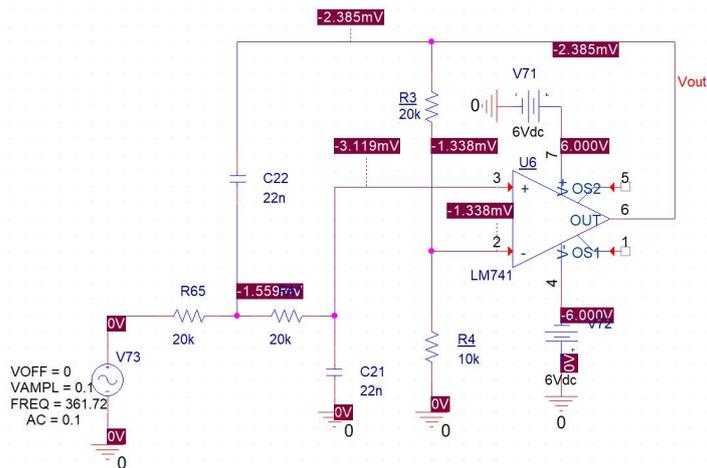


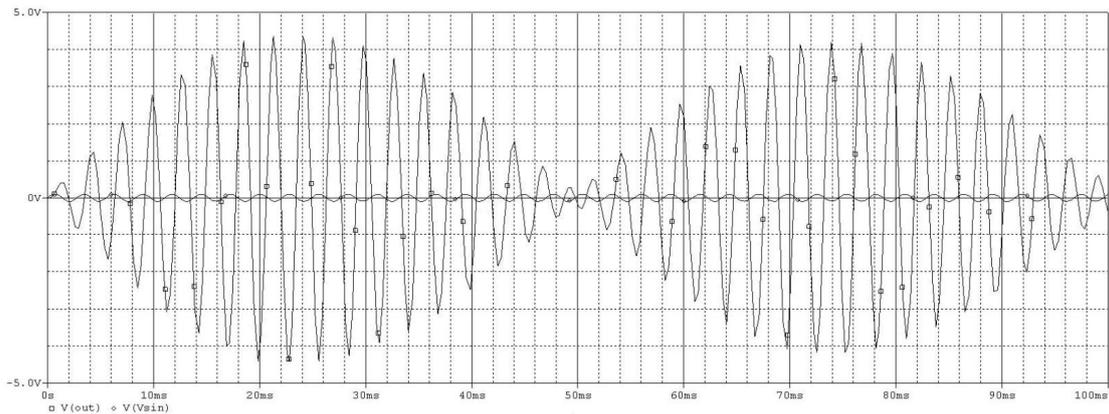
Evaluate	Measurement	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Cutoff_Lowpass_3dB(V(out))	422.15513

$R_3=20k\ \Omega$, $R_4=10k\ \Omega$



Evaluate	Measurement	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Cutoff_Lowpass_3dB(V(out))	364.81335
<input checked="" type="checkbox"/>	Cutoff_Highpass_3dB(V(out))	360.61480

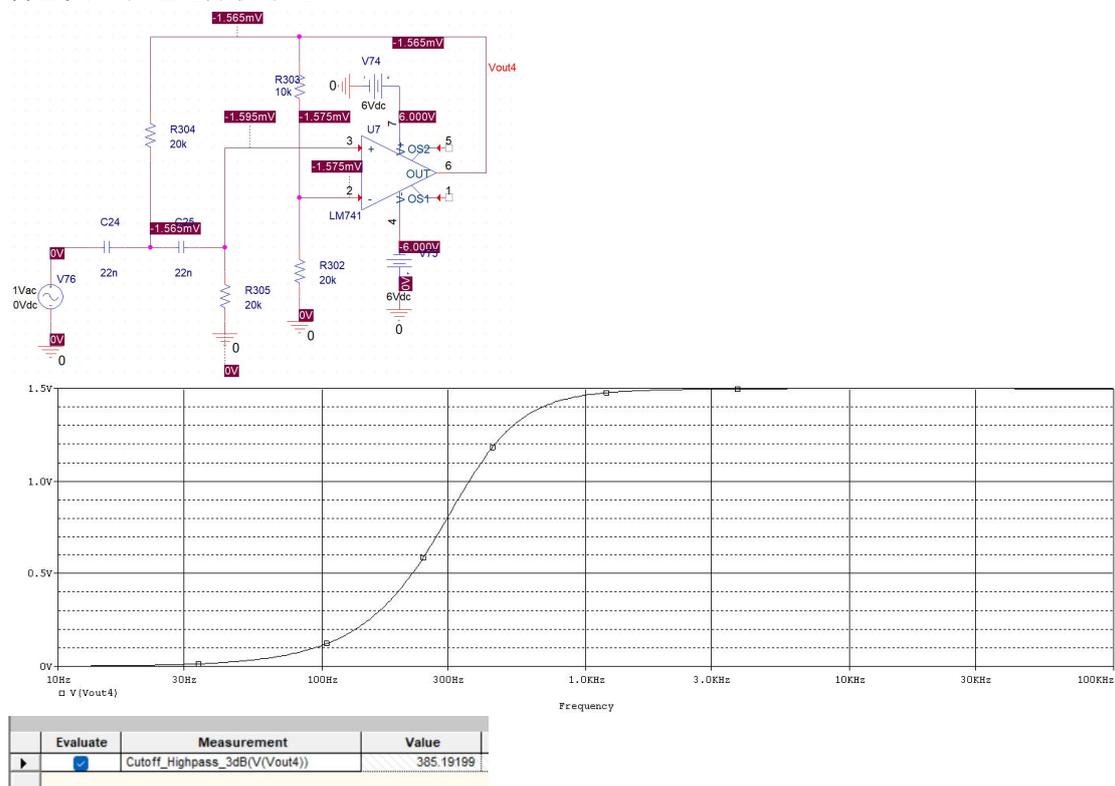




仿真得到的截止频率和理论所计算的截止频率在误差允许范围内一致，仿真符合理论的分析。

4、二阶有源高通滤波器频域仿真：

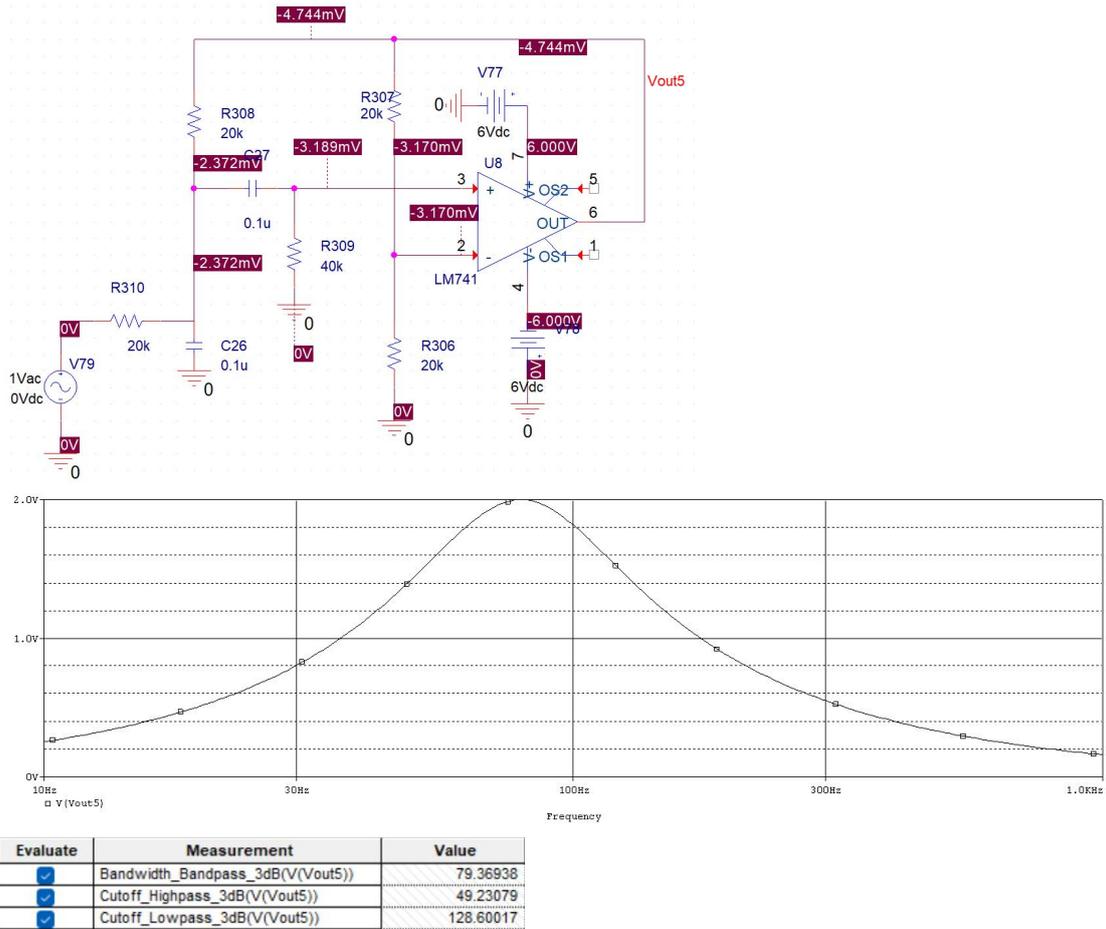
保存仿真电路图截屏和输出波形 V_{out} 图，测量其截止频率并截图，同计算的截止频率相比较，得出实验和理论分析结论。



仿真得到的截止频率和理论所计算的截止频率在误差允许范围内一致，仿真符合理论的分析。

5、二阶有源带通滤波器频域仿真：

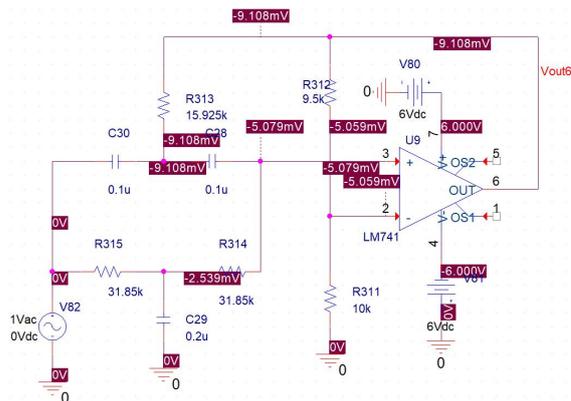
保存仿真电路图截屏和输出波形 V_{out} 图，测量其中心频率并截图，同计算的中心频率相比较，得出实验和理论分析结论。

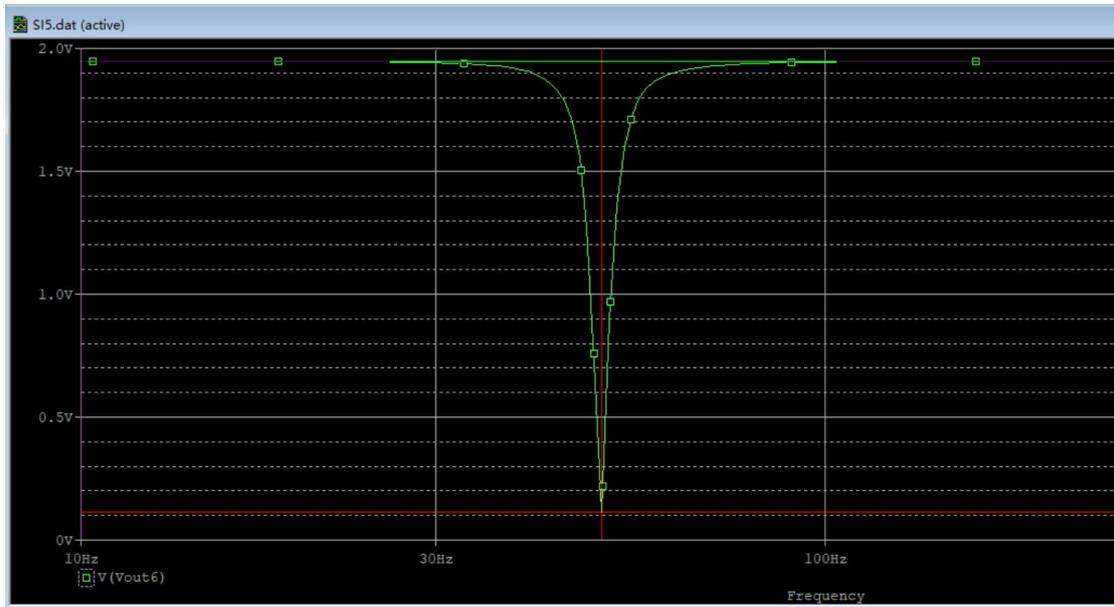
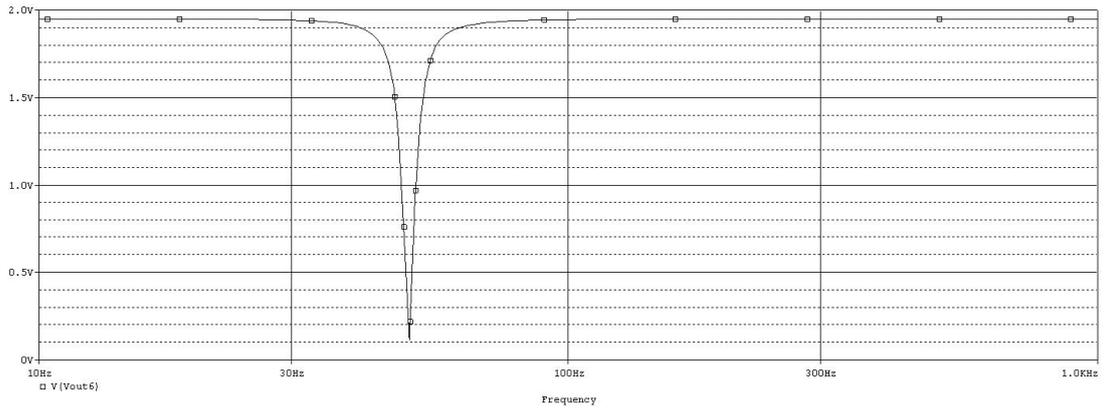


仿真得到的截止频率和理论所计算的截止频率在误差允许范围内一致，仿真符合理论的分析。

6、二阶有源带阻滤波器频域仿真：

保存仿真电路图截屏和输出波形 V_{out} 图，测量其中心频率并截图，同计算的中心频率相比较，得出实验和理论分析结论。





SI5.dat ...

Reading and checking circuit
 Circuit read in and checked, no errors
 Calculating bias point
 Bias point calculated
 AC (and Noise) Analysis

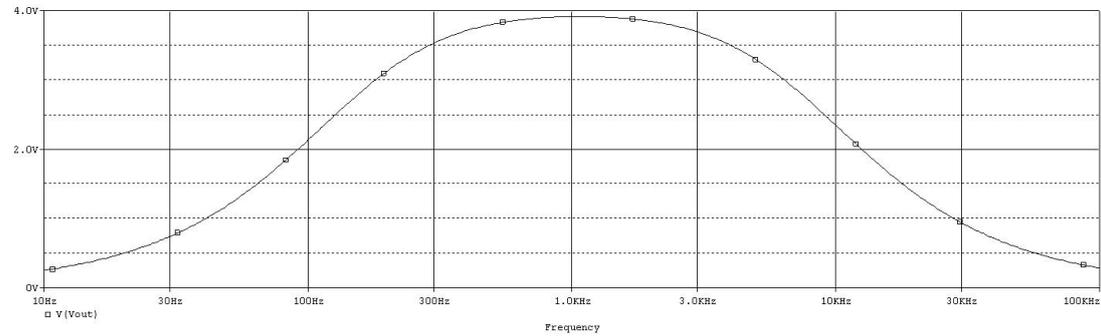
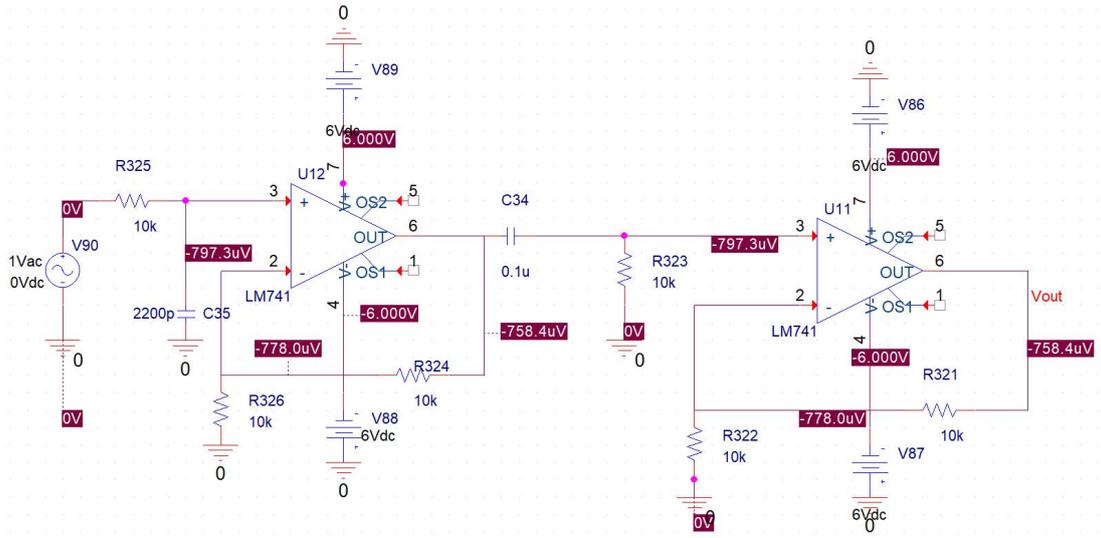
Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2	Y1(Cursor1) - Y2(Cursor2)	-1.8355			
	X Values	50.121	10.000	40.121	Y1 - Y1(Cursor1)	Y2 - Y2(Cursor2)	Max Y	Min Y	Avg Y
CURSOR 1,2	V(Vout6)	114.035m	1.9495	-1.8355	0.000	0.000	1.9495	114.035m	1.0318

仿真得到的截止频率和理论所计算的截止频率在误差允许范围内一致，仿真符合理论的分析。

7、有源滤波器电路设计：

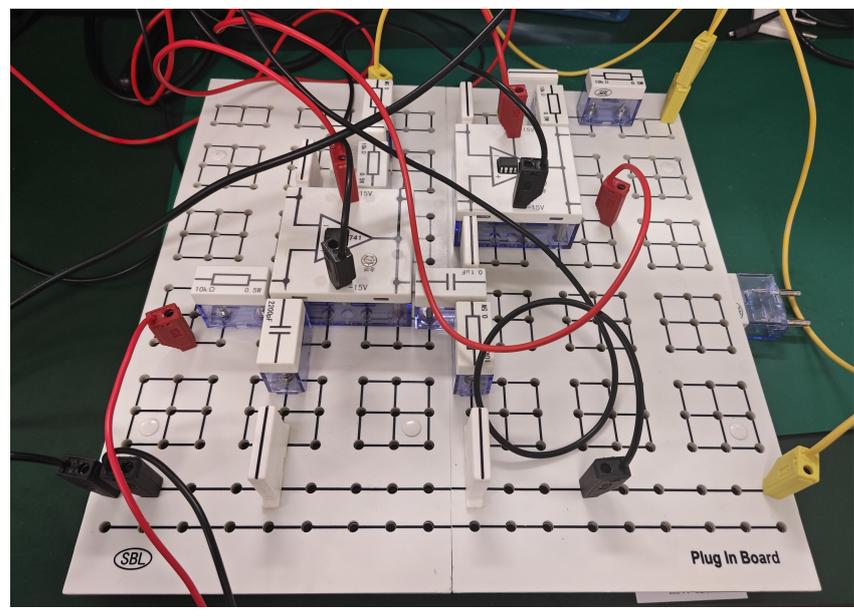
画出设计的电路图，写出电路参数的计算过程，搭建出电路，测试滤波器的幅频特性曲线并进行绘制（可用对数坐标）。

仿真结果：



Evaluate	Measurement	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Cutoff_Lowpass_3dB(V(Vout))	7.52644k
<input checked="" type="checkbox"/>	Cutoff_Highpass_3dB(V(Vout))	152.94701

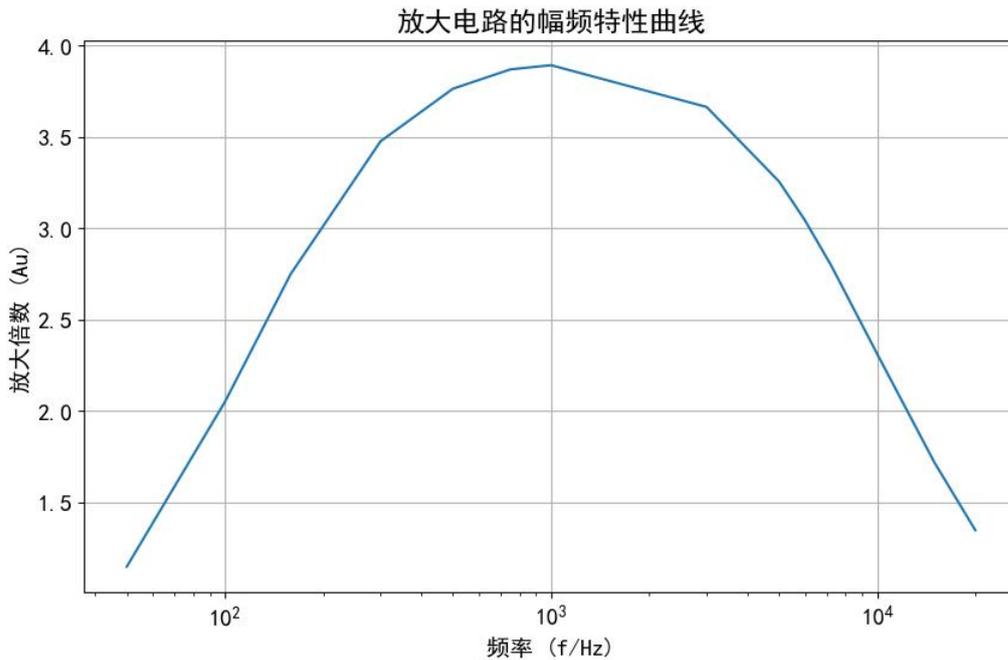
线路搭建:



测量数据:

f/kHz	0.05	0.1	$f_L=0.159$	0.3	0.5	0.75	1	3	5	6	$f_H=7.23$	10	15	20
U_{in}/V	0.996	0.996	0.996	0.997	0.998	0.996	0.996	0.996	0.996	0.995	0.996	0.996	0.996	0.996
U_o/V	1.142	2.041	2.738	3.466	3.757	3.855	3.878	3.650	3.244	3.030	2.785	2.303	1.709	1.341

幅频特性曲线:



仿真得到的截止频率和理论所计算的截止频率在误差允许范围内一致，仿真符合理论的分析。

六、问题思考

1. 分析有源滤波器和无源滤波器的差异。

答：无源滤波器仅由无源元件 RLC 组成，缺点是无源滤波器的 A_u 和 f_p 随着负载而变化，有源滤波器包含有源元件集成运放， A_u 和 f_p 不随负载而变化，但是不适于高电压大电流的负载

2. 是否可以运用两个运放搭建二阶有源滤波器，如果可以，和单个运放构成的二阶有源滤波器有什么差异。

答：可以使用两个运放搭建二阶有源滤波器，其中一个运放作为前级放大器，另一个运放作为后级放大器，中间连接一个电容和一个电阻构成滤波网络。与单个运放构成的二阶有源滤波器相比，使用两个运放的滤波器具有更高的增益和更好的线性性能。因为使用两个运放时，前级放大器和后级放大器的增益可以分别设计，可以实现更高的总增益。同时，使用两个运放可以减小运放的非线性失真，提高滤波器的线性性能。但是使用两个运放的滤波器也存在一些缺点，如电路复杂度更高，成本更高等。

七、实验体会与建议

不错