



计算机与控制工程学院

## 《信号与系统》课程实验报告

系 (所) : 自动化, 学号: 2313672 姓名: 王一博

系 (所) : 自动化, 学号: 2312566 姓名: 生士博

系 (所) : 自动化, 学号: 2313770 姓名: 刘何祥

实验名称: 无源、有源滤波器特性测试 (低通、高通部分)

实验台号: 20      实验地点: 实验楼 B301

实验日期: 2025 年 12 月 16 日

## **一、 实验目的:**

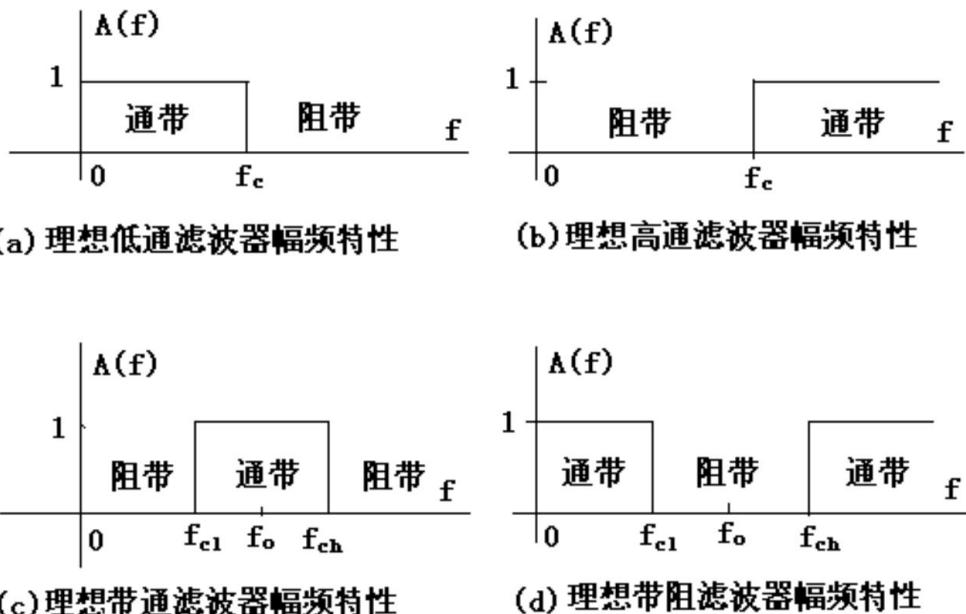
1. 了解无源、有源低通滤波器，高通滤波器的基本结构、特点，比较理想滤波器与实际滤波器的差别。
2. 用对比法研究测试 RC 低通滤波器及有源 RC 低通滤波器的频率特性。
3. 用对比法研究测试 RC 高通滤波器及有源 RC 高通滤波器的频率特性。

## **二、 实验仪器:**

名称类别	规格/型号	数量	备注
示波器	/	1	
直流稳压电源	/	1	
信号发生器	/	1	
电阻	1k、10k	若干	
电容	0.01u	若干	
开关	/	1	
双运算放大器	/	1	
电位器	100k	1	

### 三、实验原理:

- 滤波器可以用 R、L、C 无源元件组成，这类滤波器称为无源滤波器，当滤波器由无源元件和运算放大器等有源器件共同组成，称为有源滤波器。
- 各种理想滤波器的幅频特性如图 8-1 所示



信号能够通过的频率范围定义为通带，阻止或衰减信号的频率范围定义为阻带，通带与阻带的分界点频率称为截止频率  $f_c$ ，亦称转折频率，对于带通、带阻滤波器  $f_0$  为中心频率， $f_{cl}$  和  $f_{ch}$  分别称为滤波器的低端和高端截止频率。

#### 3. R-C 无源低通滤波器频率特性

二阶 R-C 无源低通滤波器电路 (LPF) 如图 8-2 (a) 所示

二阶无源 RC 低通滤波器的频响如图 8-2(b) 所示：

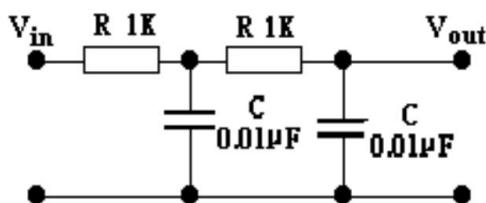


图 8-2(a) 二阶无源 LPF 电路

#### 4. R-C 有源低通滤波器的频率特性

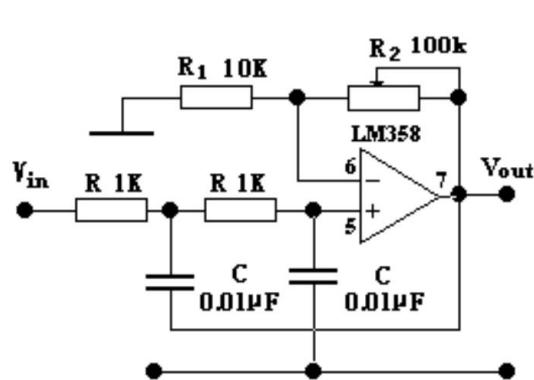


图 8-3a R-C 有源 LPP 电路

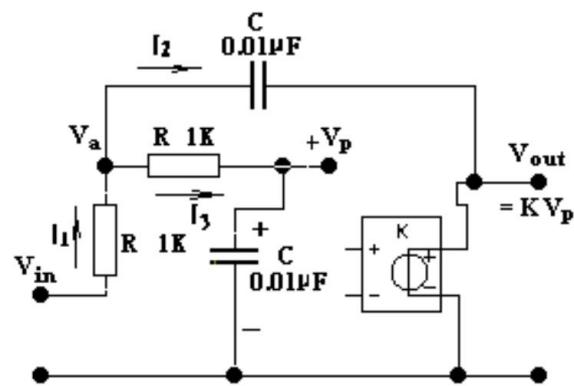


图 8-3b R-C 有源 LPP 等效电路

二阶 R-C 有源低通滤波器如图 8-3 a 所示

#### 5. 无源、有源高通滤波器特性

二阶的无源、有源高通滤波器的电路如图 8-5(a)、(b)所示

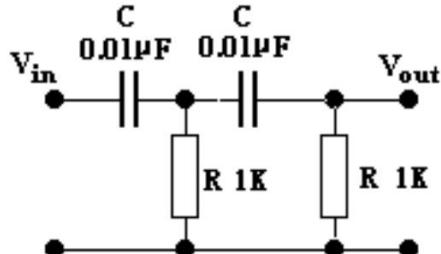


图 8-5a 二阶无源高通滤波器电路

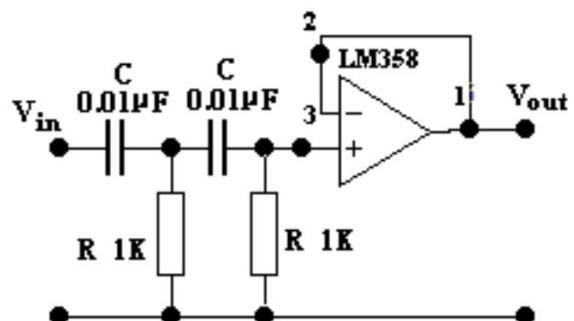


图 8-5b 二阶有源高通滤波器电路

#### **四、 实验内容及步骤:**

##### **1. R-C 无源低通滤波器幅频特性，相频特性测试**

将函数信号发生器接到RC无源低通滤波器输入端，函数信号发生器输出正弦波，调节其输出电压，使滤波器输入电压峰-峰值 $V_{ip-p}=2$  伏，保持该电压恒定，调节信号源的正弦波输出频率，测量 $f=0\sim 5f_0$ 范围内各频率时，低通滤波器输出电压峰-峰值 $V_o$  p-p，并用双踪示波器测出在各频率时，输出 $V_o$ 相对于 $V_i$ 的相移。

##### **2. R-C 有源低通滤波器幅频和相频特性的测试**

将函数信号发生器接到 RC 有源低通滤波器输入端，调节信号发生器的正弦波输出电压，使滤波器的输入电压  $V_{ip-p}=200mV$ ，并保持该电压值恒定，调节信号源输出频率，用示波器测量各频率时滤波器的输出电压  $V_{op-p}$ ，并测出在各频率时，输出信号  $V_o$  的相位

##### **3. RC 无源高通滤波器幅频特性、相频特性测试**

将函数信号发生器接到RC无源高通滤波器输入端，函数信号发生器输出正弦波，调节其输出电压，使滤波器输入电压 $V_{ip-p}=2$  伏，保持该电压恒定，调节信号源的正弦波输出频率，测量 $f=0\sim 5f_0$ 范围内各频率时，高通滤波器输出电压 $V_o$  p-p，并用双踪示波器测出在各频率时，输出 $V_o$ 相对于 $V_i$ 的相移。并记录测试数据。

##### **4. RC 有源高通滤波器特性测试**

将函数信号发生器接到 RC 有源高通滤波器输入端，调节信号发生器的正弦波输出电压，使滤波器的输入电压  $V_{ip-p}=200mV$ ，并保持该电压值恒定，调节信号源输出频率，用示波器测量各频率时滤波器的输出电压  $V_{op-p}$ ，并测出在各频率时，输出信号  $V_o$  的相位，并记录测试数据。

## 五、实验结果：（包括曲线、图形、测量数据表格）

### 1. R-C 无源低通滤波器幅频特性，相频特性测试

将函数信号发生器接到RC无源低通滤波器输入端，函数信号发生器输出正弦波，调节其输出电压，使滤波器输入电压峰-峰值 $V_{ip-p}=2$  伏，保持该电压恒定，调节信号源的正弦波输出频率，测量 $f=0\sim 5f_0$ 范围内各频率时，低通滤波器输出电压峰-峰值 $V_o$  p-p，并用双踪示波器测出在各频率时，输出 $V_o$ 相对于 $V_i$ 的相移。

测量条件 $V_{pp}=2V$ , 正弦波									
输入频率 (Hz)	100	1k	5k	10k	16k	25k	50k	100k	1m
输出 $V_{pp}$ (V)	2.00	2.00	1.60	1.08	0.76	0.46	0.22	0.12	0.08
输出相位 (°)	-1.4	-8.6	-45.3	-68.5	-88.0	-96.9	-148	-168	-179

由表格数据、图像测量可得，特征频率约为 16kHz，截止频率约为 6kHz

由计算可得，特征频率为  $\frac{1}{2\pi RC} = 15.9\text{kHz}$ ，截止频率为 5.88kHz

### 2. R-C 有源低通滤波器幅频和相频特性的测试

将函数信号发生器接到 RC 有源低通滤波器输入端，调节信号发生器的正弦波输出电压，使滤波器的输入电压  $V_{ip-p}=200\text{mV}$ ，并保持该电压值恒定，调节信号源输出频率，用示波器测量各频率时滤波器的输出电压  $V_{op-p}$ ，并测出在各频率时，输出信号  $V_o$  的相位

测量条件 $V_{pp}=0.2V$ , 正弦波									
输入频率 (Hz)	100	1k	5k	10k	16k	25k	50k	100k	1m
输出 $V_{pp}$ (V)	0.40	0.41	0.49	0.51	0.43	0.14	0.16	0.11	0.09
输出相位 (°)	-2.8	-5.1	-28.7	-74.4	-144	-150	-174	-177	-178

由表格数据、图像测量可得，特征频率约为 16kHz，截止频率约为 20kHz (-3dB 处)

由计算可得，特征频率为  $\frac{1}{2\pi RC} = 15.9\text{kHz}$ ，截止频率为

$$\zeta = \frac{3 - K}{2}$$
$$f = \frac{\omega_0 \sqrt{1 - 2\zeta^2 + \sqrt{(1 - 2\zeta^2)^2 + 1}}}{2\pi} = 20.2\text{kHz}$$

### 3. RC 无源高通滤波器幅频特性、相频特性测试

将函数信号发生器接到RC无源高通滤波器输入端，函数信号发生器输出正弦波，调节其输出电压，使滤波器输入电压 $V_{ip-p}=2$  伏，保持该电

压恒定，调节信号源的正弦波输出频率，测量 $f=0\sim 5f_0$ 范围内各频率时，高通滤波器输出电压 $V_o$  p-p，并用双踪示波器测出在各频率时，输出 $V_o$ 相对于 $V_i$ 的相移。并记录测试数据。

测量条件 $V_{pp}=2V$ , 正弦波									
输入频率 (Hz)	100	1k	5k	10k	16k	25k	50k	100k	1m
输出 $V_{pp}$ (V)	0.08	0.08	0.20	0.42	0.72	1.02	1.44	1.70	1.78
输出相位 (°)	180	178	145	109	90.8	70.7	45.7	21.6	1.9

由表格数据、图像测量可得，特征频率约为 16kHz，截止频率约为 6kHz

由计算可得，特征频率为  $\frac{1}{2\pi RC} = 15.9\text{kHz}$ ，截止频率为 5.88kHz

#### 4. RC 有源高通滤波器特性测试

将函数信号发生器接到 RC 有源高通滤波器输入端，调节信号发生器的正弦波输出电压，使滤波器的输入电压  $V_{ip-p}=200\text{mV}$ ，并保持该电压值恒定，调节信号源输出频率，用示波器测量各频率时滤波器的输出电压  $V_{op-p}$ ，并测出在各频率时，输出信号  $V_o$  的相位，并记录测试数据。

测量条件 $V_{pp}=0.2V$ , 正弦波									
输入频率 (Hz)	100	1k	5k	10k	16k	25k	50k	100k	1m
输出 $V_{pp}$ (V)	0.01	0.01	0.02	0.04	0.07	0.10	0.14	0.17	0.2
输出相位 (°)	180	180	151	108	90.8	71.8	43.2	18.6	1.7

由表格数据、图像测量可得，特征频率约为 16kHz，截止频率约为 50kHz

由计算可得，特征频率为  $\frac{1}{2\pi RC} = 15.9\text{kHz}$ ，截止频率为

$$\frac{(\omega RC)^4}{(1 - (\omega RC)^2)^2 + (3\omega RC)^2} = \frac{1}{2}$$

$$\omega = \frac{\omega}{2\pi} = 42.5\text{kHz}$$

## 六、 试验思考题:

RC 无源低通、RC 有源低通与理想低通特性的比较

(1)理想低通特性:

在截止频率以下，信号无衰减通过；在截止频率以上，信号完全阻断，过渡带为零，相位响应为线性或为零。

(2)RC 无源低通实测特性:

幅度响应：在低频段输出接近输入，但随着频率升高，输出逐渐衰减，过渡带平缓。

相位响应：相位从接近  $0^\circ$  逐渐滞后，至截止频率附近约为  $-45^\circ$ 。

实测截止频率约 6kHz，与理论计算值 5.88kHz 基本吻合。

(3)RC 有源低通实测特性:

幅度响应：在通带内有一定增益，但过渡带仍较平缓。

相位响应：相位滞后更为明显，在截止频率附近约为  $-144^\circ$ 。

实测截止频率约 20kHz，与理论计算值 20.2kHz 基本一致。

(4)说明:

实际 RC 滤波器无法实现理想滤波特性，过渡带存在一定斜率，无法实现无限大衰减。

无源滤波器无增益，有源滤波器可提供增益，但两者均受限于二阶系统的频率响应特性。

相位响应存在非线性，尤其在有源滤波器中更明显，由运放和反馈引入的附加相移所致。

RC 无源高通、RC 有源高通与理想高通特性的比较

(1)理想高通特性:

在截止频率以下信号完全阻断，以上信号无衰减通过，过渡带为零，相位响应为恒定或为零。

(2)RC 无源高通实测特性:

幅度响应：低频衰减明显，随频率升高输出逐渐增大，过渡带平缓。

相位响应：相位从  $180^\circ$  逐渐趋近于  $0^\circ$ ，在截止频率附近约为  $90^\circ$ 。

实测截止频率约 6kHz，与理论计算值 5.88kHz 基本一致。

(3)RC 有源高通实测特性:

幅度响应：在通带内有一定增益，但过渡带仍较宽。

相位响应：相位从  $180^\circ$  逐渐减小，在截止频率附近约为  $90^\circ$ 。

实测截止频率约 50kHz，与理论计算值 42.5kHz 接近。

(4)说明:

实际 RC 高通滤波器同样无法实现理想特性，过渡带存在，且衰减斜率有限。

有源高通滤波器在通带内可提供增益，但受限于运放带宽和反馈，高响应可能衰减。

相位响应也存在非线性，尤其截止频率附近变化显著，与储能元件引起的相移有关。

## 总结

实际 RC 滤波器（无论无源还是有源）均无法达到理想滤波器的“阶跃型”频率响应。其过渡带存在一定宽度，衰减斜率有限，相位响应非线性。有源滤波器虽然能提供增益和更好的负载隔离能力，但仍受限于运放性能和电路结构，无法完全实现理想特性。实验中测量值与理论计算值基本吻合，验证了滤波器频率响应的理论模型。