



重慶理工大學

实验报告

实验课堂表现			实验报告成绩	实验总成绩
A ()	B ()	C ()		

实验名称: 有源滤波器

专业班级: _____

学 号: _____

姓 名: _____

联系电话: _____

指导老师: _____

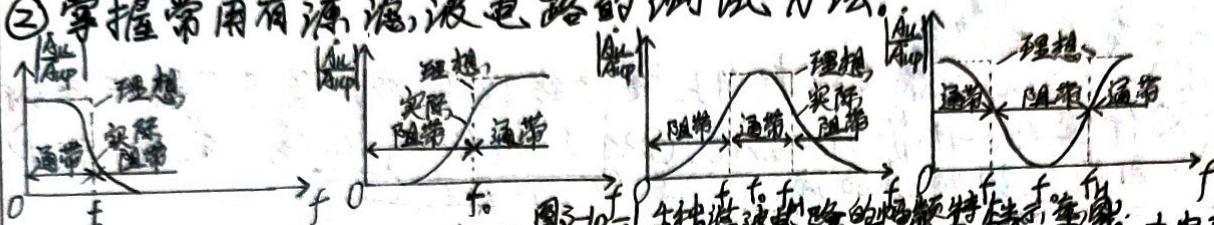
实验时间: _____

电气与工程学院 电工电子技术实验中心

【教师签名】

【实验目的】

- ① 加深对有源滤波电路的电路特性理解。
② 掌握常用有源滤波电路的测试方法。



【实验原理及内容】无源滤波器是指无源元件电阻、电感、电容组成的滤波电路。与有源滤波器相比，有源滤波器具有不用电感、Q值容易提高、输入输出阻抗容易匹配及信号放大的功能。滤波器的功能是让一定频率范围内的信号通过，抑制或急剧衰减此频率范围以外的信号。其可用在信息处理、数据传输、抑制干扰等方面，但因受运算放大器频带限制，这类滤波器主要用于低频范围。根据对频率范围的选择不同，可分为低通(LPF)、高通(HPF)、带通(BPF)与带阻(BEF) 4种滤波器，它们的幅频特性如图3-10-1所示。

它们的幅频特性如图 3-10-1 所示。

(1) 低通滤波器：低通滤波器是用来通过低频信号，衰减或抑制高频信号的。图 3-10-2(a) 所示的二阶有源低通滤波器，由两级 RC 滤波环节与同相比例运算组成，其中第一级电容 C 接至输出端，引入适量的正反馈，以改善幅频特性。图 3-10-2(b) 为二阶低通滤波器的幅频特性曲线。

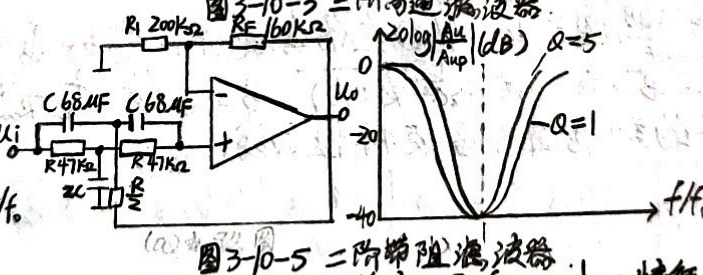
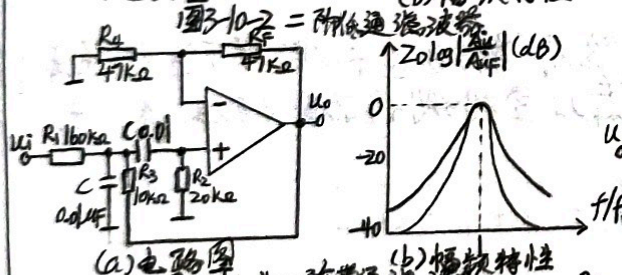
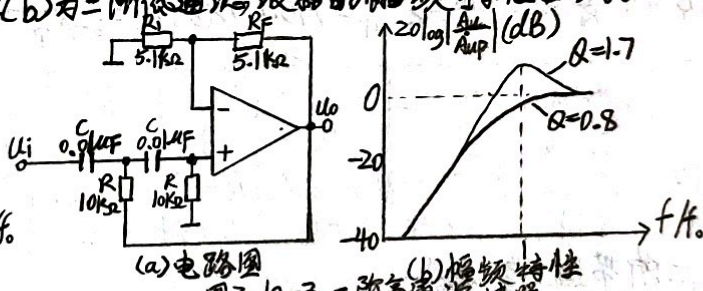
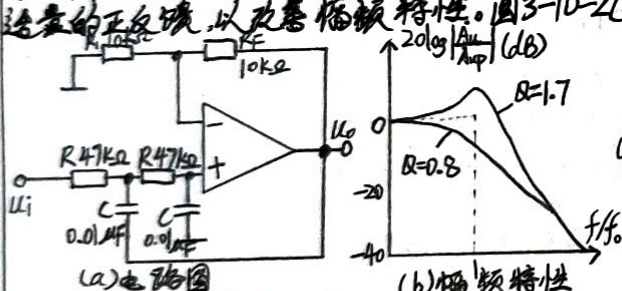


图3-10-5 二阶带阻滤波器

低通滤波器电路性能参数：① $A_{up} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$ ：二阶低通滤波器的通带增益。② $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ ：特征频率，即截止频率。
低通滤波器通带与阻带的界限频率。③ $Q = \frac{1}{2 - A_{up}}$ ：品质因数，它的大小影响低通滤波器在截止频率处的幅频特性的形状。(2) 高通滤波器：用来通过高频信号，衰减或抑制低频信号的。只要将图3-10-2(a)的低通滤波器中起滤波作用的电阻、电容互换，即可成为二阶高通滤波器，如图3-10-3(a)所示。高通滤波器与低通滤波器相反，其频率响应和低通滤波器是“镜像”关系，仿照LPH分析方法，可求得HPF的幅频特性。(3) 带通滤波器：典型带通滤波器可以由二阶低通滤波器的其中一级改成高通而得，如图3-10-4(a)所示。它的作用是只允许在某一通频带范围内的信号通过，而此通频带下限频率和此通频带上限频率的信号均被衰减或抑制。电路性能参数计算方式：通带增益： $A_{up} = 1 + \frac{R_f + R_1}{R_1}$ ，中心频率： $f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 (C_1 + C_2)}}$ ，通带宽度： $B = \frac{1}{Q} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 - R_2} \right)$ ，选择性： $Q = \frac{f_c}{B}$ 。(4) 带阻滤波器：如图3-10-5所示，在双T网络上加一级同相比例运算就构成了典型的二阶有源带阻滤波器。带阻滤波器和带通滤波器相反，即在规定的频带内，信号不能通过(或受很大衰减或抑制)，而在频带外，信号可顺利通过。电路性能参数计算方式：通带增益： $A_{up} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$ ，中心频率： $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ ，通带带宽宽度： $B = \frac{1}{Q} (2 - A_{up}) f_c$ ，选择性： $Q = \frac{f_c}{B}$ 。

【实验设备】

- ① 信号发生器 1台；② 双踪示波器 1台；③ 数字万用表 1块；
④ 模拟电路实验箱 1台；⑤ UA741 1块；⑥ 电阻、电容元件 若干。

【实验方案及步骤】

1. 二阶低通有源滤波器：

- ① 按照图3-10-2(a)在仿真软件上接好线路图，并设置不同的频率分别运行仿真；② 计算 $A_{up} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$, $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$ ；③ 将测得的数据填入表1中；④ 根据测得的数据画出幅频特性曲线。并计算 $A_{u1} = \frac{A_{up}}{1 - (A_{up})^2}$ 。

$$A_{up} = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 1 + \frac{20k}{20k} = 2, f_0 = 795.775 \text{ Hz}, Q = \frac{1}{3 - A_{up}} = 1.$$

表1

	79.5775 Hz	397.8875 Hz	577.0425 Hz	795.775 Hz	1010.6413 Hz	2387.325 Hz	11936.625 Hz
U_i	1V	1V	1V	1V	1V	1V	1V
U_o	2.0098V	2.2202V	2.2911V	1.9903V	1.4141V	240.0873mV	8.9848mV
A_u	2.010	2.220	2.291	1.990	1.414	0.240	0.009

2. 二阶高通有源滤波器：

- ① 按照图3-10-3(a)在仿真软件上接好线路图，并分别在不同频率下运行仿真；② 计算 $A_{up} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$, $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$ ；③ 将测得的数据填入表2中；④ 根据测得的数据画出幅频特性曲线。

$$A_{up} = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 1 + \frac{20k}{20k} = 2, f_0 = 795.775 \text{ Hz}, Q = \frac{1}{3 - A_{up}} = 1.$$

表2

	80 Hz	400 Hz	640 Hz	795 Hz	1.25 kHz	7.5 kHz	12 kHz
U_i	1V	1V	1V	1V	1V	1V	1V
U_o	20.627mV	574.3546mV	1.4416V	1.9543V	2.2576V	2.0046V	1.9979V
A_u	0.021	0.574	1.441	1.954	2.258	2.005	1.998

3. 二阶带通滤波器：

- ① 按照图3-10-4(a)在仿真软件上接好线路图，并分别在不同频率下运行仿真；② 计算 $A_{up} = \frac{R_1 + R_f}{R_1 + R_2}$, $f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C^2 (1 + \frac{R_f}{R_1})}}$, $B = \frac{1}{1 + (\frac{R_f}{R_1} - \frac{R_1}{R_2})}$ ；③ 将测得的数据填入表3中；④ 根据测得的数据画出幅频特性曲线。

表3

	100 Hz	500 Hz	970 Hz	1590 Hz	2.58 kHz	4.8 kHz	15 kHz
U_i	1V	1V	1V	1V	1V	1V	1V
U_o	126.3627mV	665.8826mV	1.3924V	1.9961V	1.4091V	688.2316mV	210.3078mV
A_u	0.126	0.666	1.392	1.996	1.409	0.688	0.210

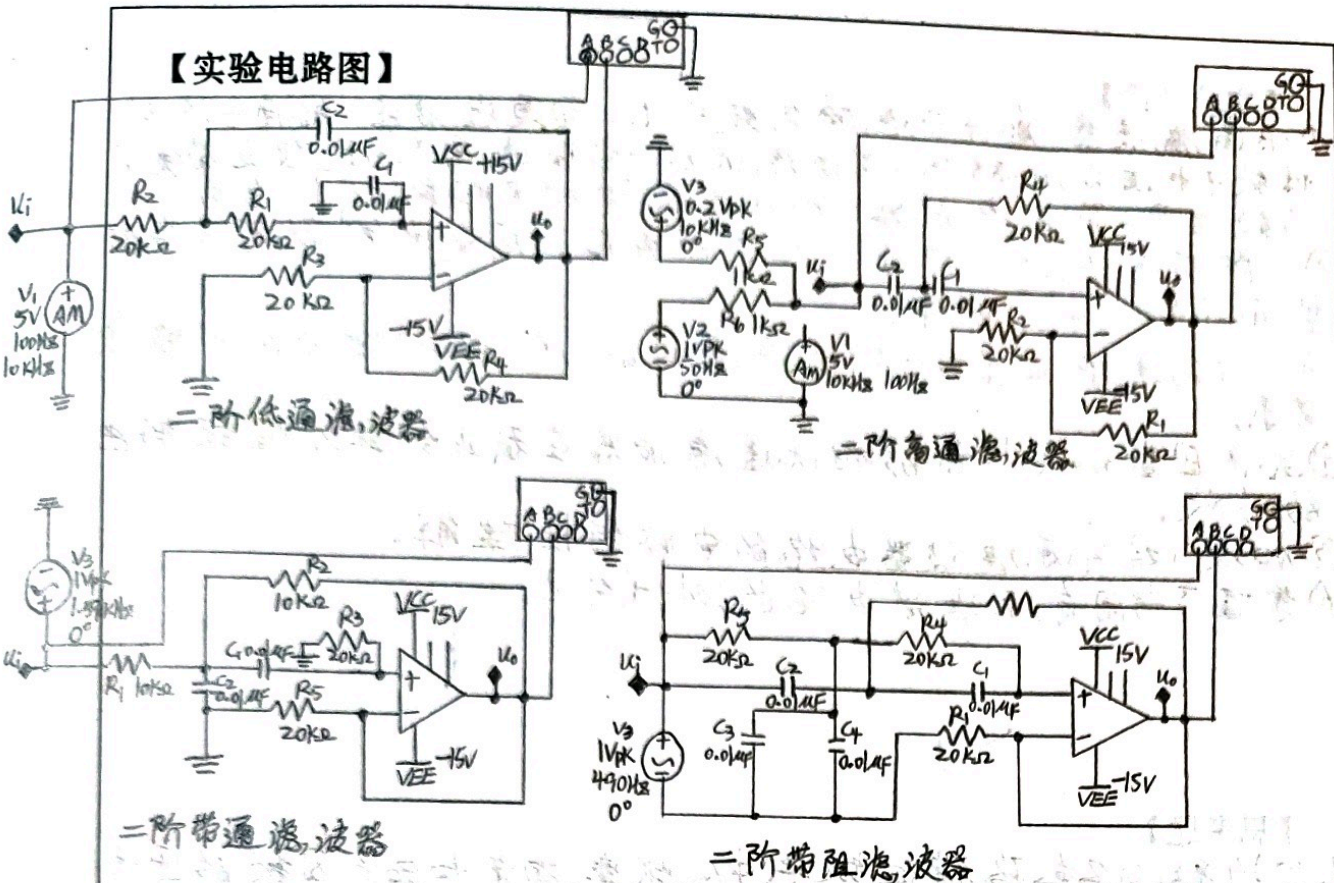
4. 二阶带阻滤波器：

- ① 按照图3-10-5在仿真软件上接好线路图，并分别在不同频率下运行仿真；② 计算 $A_{up} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$, $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$, $B = 2(2 - A_{up})$, $Q = \frac{1}{2(2 - A_{up})}$ ；③ 将测得的数据填入表4中；④ 根据测得的数据画出幅频特性曲线。

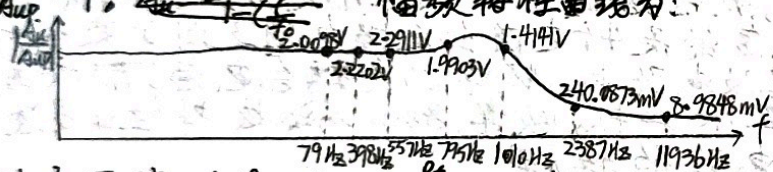
表4

	50 Hz	500 Hz	600 Hz	795 Hz	1.05 kHz	1.3 kHz	12 kHz
U_i	1V	1V	1V	1V	1V	1V	1V
U_o	1.4916V	1.0270V	722.9871mV	19.9194mV	704.4703mV	1.0631V	1.4916V
A_u	1.497	1.027	0.723	0.020	0.704	1.063	1.492

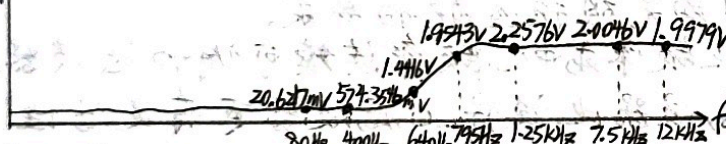
【实验电路图】



【实验数据处理及分析】1. 二阶低通有源滤波器: $A_{up} = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 1 + \frac{20k}{20k} = 2, f_0 = 75.775Hz$
 $Q = \frac{1}{3 - A_{up}} = 1, \underline{f_{LC} = 1.775} \text{ 幅频特性曲线为:}$



2. 二阶高通滤波器: $A_{up} = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 1 + \frac{20K}{20K} = 2$, $f_p = 75.775 \text{ Hz}$, $Q = \frac{1}{3 - A_{up}} = 1$. 幅频特性曲线为:



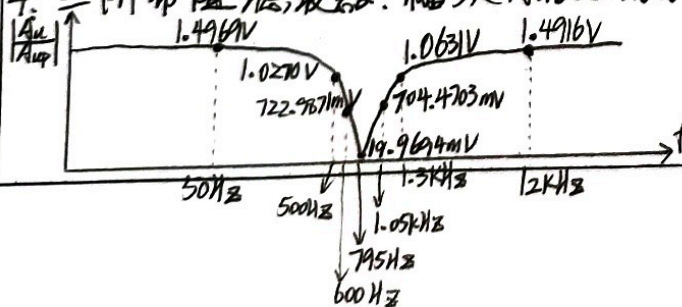
3. 二阶带通滤波器: 幅频特性曲线为: $A_{up} = \frac{R_4 + R_f}{R_4 R_{CB}} = \frac{20 \times 10^3 + 20 \times 10^3}{20 \times 10 \times 10^6 \times 0.01 \times 10^{-6}} = 2$

$$A_{up} = \frac{R_4 + R_t}{R_4 R_{CB}} = \frac{20 \times 10^3 + 20 \times 10^3}{20 \times 10 \times 10^6 \times 0.01 \times 10^{-6} \times 10^4} = 2$$

$$f_0 = 1591.55 \text{ Hz},$$

$$B = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{2}{R_2} - \frac{R_4}{R_3 R_4} \right) = \frac{1}{0.01 \times 10^6} \left(\frac{1}{10 \times 10^3} + \frac{2}{20 \times 10^3} - \frac{20 \times 10^3}{10 \times 20 \times 10^6} \right)$$

4. 二阶带阻滤波器: 幅频特性曲线为:



$$A_{up} = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 1 + \frac{10k}{20k} = 1.5,$$

$$f_0 = 795.7755 \text{ Hz}$$

$$B = 2(2 - A_{up})f_o = 2 \times (2 - 1.5) \times 795.7755$$

$$= 795.7755$$

$$Q = \frac{1}{2(2 - A_{up})} = \frac{1}{2 \times (2 - 1.5)} = 1$$

【实验结论】

- ① 低通滤波器一般用于滤除高频干扰；高通滤波器一般用于滤除低频干扰或交流耦合；带通滤波器一般用于通过限定带宽的有效信号；带阻滤波器一般用于滤除特定频率的干扰信号。
- ② 二阶带通滤波电路的优点是改变 R_f 和 R_4 的比例就可改变带宽而不影响中心频率。
- ③ 二阶高通滤波器与二阶低通滤波器的幅频特性曲线有“镜像”关系。
- ④ 品质因数的大小会影响低通滤波器在截止频率处幅频特性的形状。
- ⑤ 加深了对有源滤波器电路的电路特性理解。
- ⑥ 掌握了常用有源滤波电路的测试方法。

【思考题】

1. 分析影响各电路特征频率、中心频率、带宽和品质因数的因素，有哪些？

答：① 影响低通滤波器特征频率的是耦合电容，影响其品质因素的是通带增益 A_{up} ；
② 影响带通滤波电路的中心频率的是 ~~耦合电容~~ 耦合电容，影响其通带宽度的是4个电阻和反馈电阻之间的 ~~关系大小~~ 关系；
③ 影响带阻滤波电路中心频率的是耦合电容，影响其带宽的是通带增益 A_{up} 和中心频率，影响其选择性的也是通带增益。

2. 总结有源滤波电路的特性：

答：① 输入阻抗高，输出阻抗极低，因为具有良好的隔离性能，所以各级之间均无阻抗匹配的要求。
② 易于制作截止频率或中心频率连续可调的滤波器且调整容易。
③ 设计有源滤波器比设计LC滤波器更有灵活性，也可得到电压增益。

【原始记录】

一、二阶低通有源滤波器: $A_{up} = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 2$, $f_0 = \frac{1}{2RC} = \frac{1}{2 \times 10^{-3} \times 10^{-6}} = 795.775 \text{ Hz}$, $Q = \frac{1}{3 - A_{up}} = 1$.

	79.5775 Hz	397.8875 Hz	557.0425 Hz	795.775 Hz	1010.6343 Hz	2387.325 Hz	11936.625 Hz
U_i	1V	1V	1V	1V	1V	1V	1V
U_o	2.0098V	2.2202V	2.2911V	1.9903V	1.4141V	240.0873mV	8.9848mV
A_u	2.010	2.220	2.291	1.990	1.414	0.240	0.009

二、二阶高通有源滤波器: $A_{up} = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 2$, $f_0 = 795.775 \text{ Hz}$, $Q = 1$...

	80 Hz	400 Hz	640 Hz	795 Hz	1.25 kHz	7.5 kHz	12 kHz
U_i	1V	1V	1V	1V	1V	1V	1V
U_o	20.627mV	574.3546mV	1.4410V	1.9543V	2.2576V	2.0046V	1.9979V
A_u	0.021	0.574	1.441	1.954	2.258	2.005	1.998

三、二阶带通滤波器: $f_0 = 1591.55 \text{ Hz}$

	100 Hz	500 Hz	970 Hz	1590 Hz	2.58 kHz	4.8 kHz	15 kHz
U_i	1V	1V	1V	1V	1V	1V	1V
U_o	126.3627mV	665.8826mV	1.3924V	1.9961V	1.4091V	688.2316mV	210.3078mV
A_u	0.126	0.666	1.392	1.996	1.409	0.688	0.210

四、带阻滤波器: $f_0 = 795.775 \text{ Hz}$, $A_u < 2$.

	50 Hz	500 Hz	600 Hz	795 Hz	1.05 kHz	1.3 kHz	12 kHz
U_i	1V	1V	1V	1V	1V	1V	1V
U_o	1.4969V	1.0270V	722.9871mV	19.9694mV	704.4703mV	1.0631V	1.4916V
A_u	1.497	1.027	0.723	0.020	0.704	1.063	1.492