



# 海洋信息工程学院

## 电子信息综合课程设计

设计题目：\_\_\_\_\_数字滤波器\_\_\_\_\_

专    业：\_\_\_\_\_电子信息科学与技术\_\_\_\_\_

班    级：\_\_\_\_\_2020 级\_\_\_\_\_

学生姓名：\_\_\_\_\_黄昊林\_\_\_\_\_

学    号：\_\_\_\_\_S20244015\_\_\_\_\_

指导教师：\_\_\_\_\_梁静坤\_\_\_\_\_

2023 年 2 月

## 目录

一、设计要求.....	2
二、设计原理.....	2
三、设计思路.....	3
四、设计内容.....	3
A、一阶有源滤波电路 .....	3
B、二阶有源滤波电路 .....	5
1、二阶低通滤波电路 .....	5
C、用仿真软件设计滤波器 .....	6
1、给定性能参数设计滤波器 .....	6
a、二阶低通滤波器 .....	6
D、滤波器的 Matlab 设计仿真.....	7
1、二阶低通滤波器 .....	7
五、实验总结和分析.....	8
六、参考文献.....	9

## 一、设计要求

设计电路系统，构成低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器。利用 Matlab 或其他仿真软件进行仿真。

有源滤波器由是有源元件和无源元件(一般是 R 和 C)共同组成的电滤波器。和无

源滤波器相比，它的设计和调整过程较简便，此外还能提供增益。因此，本课程设计

中选择了二阶有源滤波器作为主要研究对象。

1、自行设计电路图，确定前置放大电路，有源滤波电路，功率放大电路的方案，并使用绘图软件 (Electronics Worrkbench) 画出设计电路，包括低通、高通和带通。

2、所设计的滤波器不仅有滤波功能，而且能起放大作用，负载能力要强。

3、根据给定要求和电路原理图计算和选取单元电路的元件参数。

4、用 Matlab 或其他仿真软件 (FilterLab) 对滤波器进行仿真，记录仿真结果。

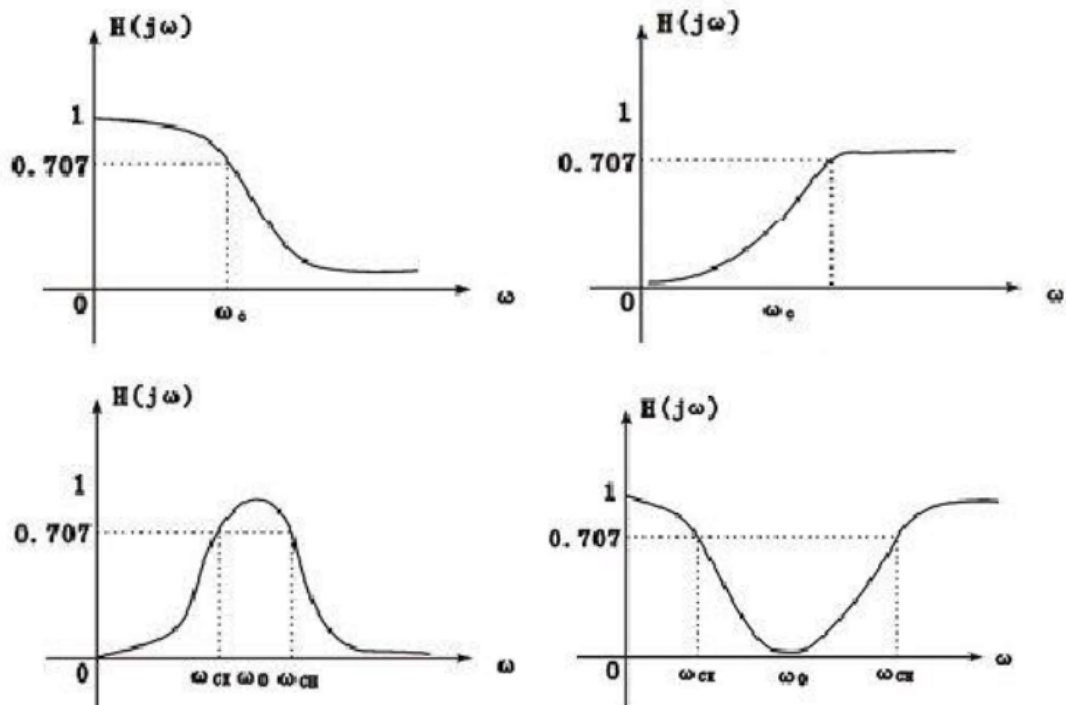
## 二、设计原理

1、电容器 C 具有通高频阻低频的性能。

2、由源滤波器由放大电路部分和滤波电路部分组成。

3、仿真软件可以将滤波器的性能直观的表现出来。

4、各种滤波器的幅频特性：

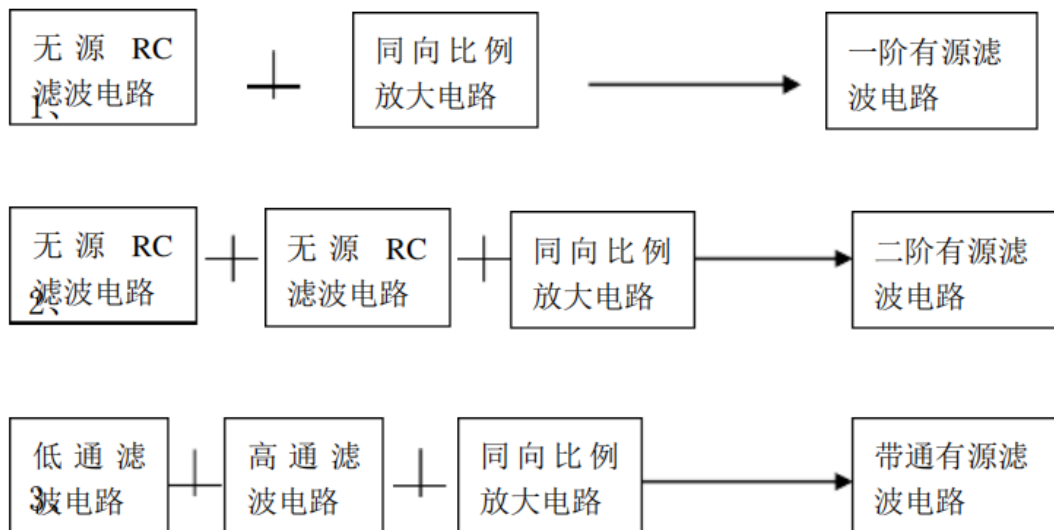


### 三、设计思路

滤波器阶数越高滤波效果越好。当然，无论电感电容滤波器还是模拟滤波器，算法都会随着阶数的增加变得复杂。一阶滤波器是最简单的滤波器，也是高阶滤波器的基础。所以在设计过程中先从一阶滤波器着手考虑，将其原理应用到二阶以致多阶。

实现滤波器的电路很多，在考虑二阶滤波器设计的时候，主要以压控电压源式滤波电路作为考虑，其特点是运算放大器为同相接法，滤波器的输入阻抗很高，输出阻抗很低，滤波器相当于一个电压源。其优点是：电路性能稳定，增益容易调节。

用 Electronics Workbench 绘制电路图。使用 Matlab 设计仿真时，使用 Butterworth 函数研究。使用 Matlab 提供的内建函数 freqz，可以求得滤波器系统的频率相应特性。



### 四、设计内容

#### A、一阶有源滤波电路(基础)

如果在一阶 RC 低通电路的输出端，再加上一个电压跟随器，使之与负载很好隔离

离开来，就构成一个简单的一阶有源 RC 低通滤波电路，如图 1 所示，由于电压跟随

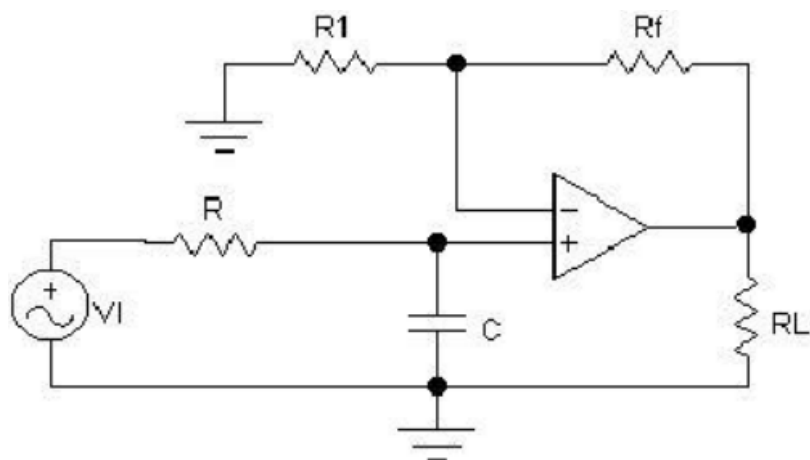
器的输入阻抗很高，输出阻抗很低，因此，其带负载能力很强。

如果希望电路不仅有滤波功能，而且能起放大作用，则只要将电路中的电压跟随器改为同相比比例放大电路即可。下面介绍它的性能。

#### a. 传递函数

$$V_P(s) = \frac{1}{1 + sRC} V_I(s)$$

RC 低通电路的传递函数为：



一阶低通滤波器

对于电压跟随器，其通带电压增益  $A_0$  等于同相比例放大电路的电压增益

$$A_0 = A_{VF} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

AVF，即

因此，可导出电路的传递函数为：

$$A(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = A_{VF} \frac{1}{1 + s/\omega_n} = \frac{A_0}{1 + s/\omega_n}$$

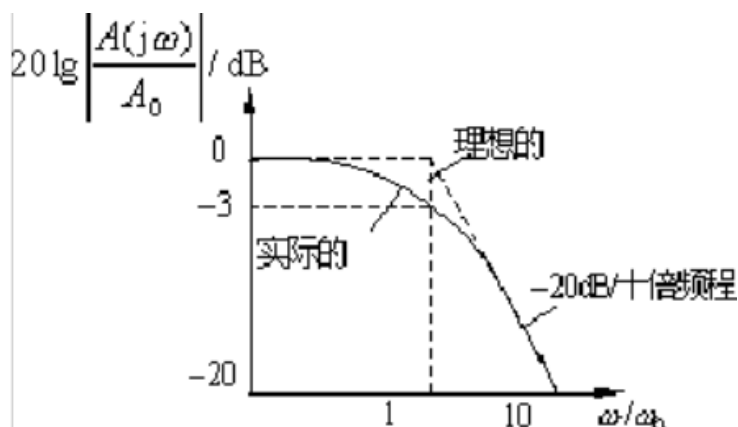
式中  $n=1/(RC)$ ， $n$  称为特征角频率。

由于传递函数中分母为  $s$  的一次幂，故上述滤波电路称为一阶低通有源滤波电路。

## b. 幅频响应

对于实际的频率来说，式(1)中的  $s$  可用  $s=j\omega$  代入，由此可得

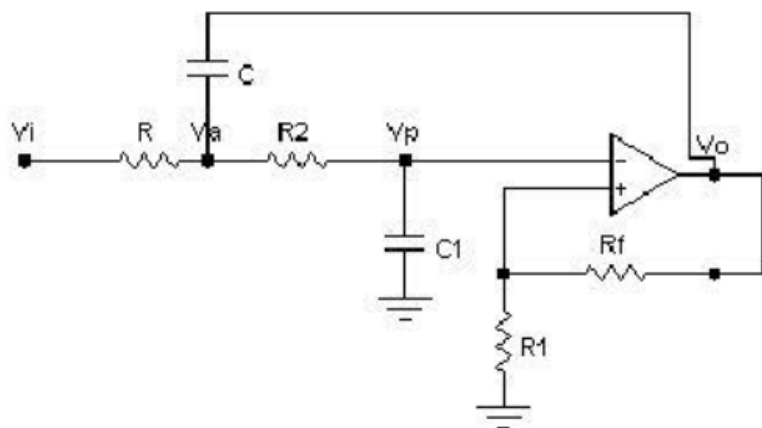
$$A(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} = \frac{A_0}{1 + j(\frac{\omega}{\omega_n})} \quad |A(j\omega)| = \frac{A_0}{\sqrt{1 + (\frac{\omega}{\omega_n})^2}}$$



幅频响应

## B、二阶滤波电路

### 1、二阶低通滤波电路



二阶低通滤波电路

二阶低通滤波器如图所示，它由两节 RC 滤波器和同相放大电路组成。其中同相放大电路实际上就是所谓的压控电压源，它的电压增益就是低通滤波的通带电压

增益，即

$$A_0 = A_{VF} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

#### a. 传递函数

$$A(s) = \frac{A_{VF} \omega_n^2}{s^2 + \frac{\omega_n}{Q}s + \omega_n^2} = \frac{A_0 \omega_n^2}{s^2 + \frac{\omega_n}{Q}s + \omega_n^2}$$

可以推导出二阶低通滤波器的传递函数为

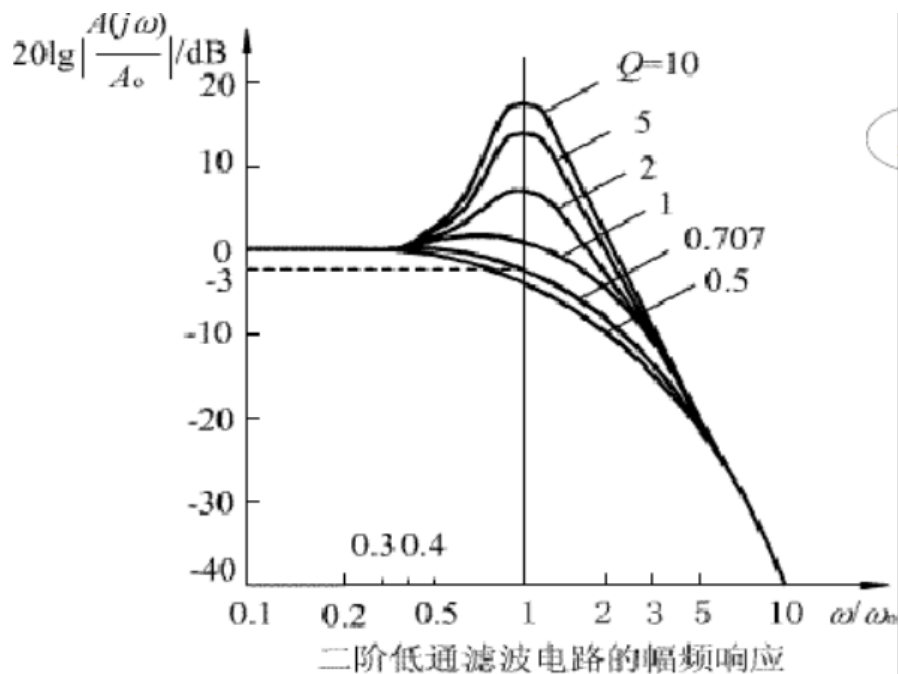
上式为二阶低通滤波器传递函数的典型表达式。其中  $\omega_n$  为特征角频率，而  $Q$  则称为等效品质因数。上式表明， $AO=AVF < 3$ ，才能稳定工作。当  $AO=AVF \geq 3$ ， $A(s)$  将有极点处于右半  $s$  平面或虚轴上，电路将自激振荡。

#### b. 幅频响应

用  $s=j\omega$  代入上式可得幅频响应和相频响应表达式为

$$|A(j\omega)| = \frac{A_0}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_n Q}\right)^2}} \quad \varphi(j\omega) = -2 \operatorname{ctg} \frac{\omega / (\omega_n Q)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$$

相频响应表达式表明，当  $\omega=0$  时， $|A(j\omega)| = A_{VF} = A_0$ ；当时， $|A(j\omega)| \rightarrow 0$ 。显然，这是低通滤波电路的特性。由幅频响应表达式可画出不同  $Q$  值下的幅频响应，如图所示。



由图可见，当 $Q=0.707$ 时，幅频响应较平坦，而当 $Q>0.707$ 时，将出现峰值，当 $Q=0.707$ 和 $\omega/\omega_n=1$ 情况下， $20\lg|A(j\omega)/A_0|=3\text{dB}$ ；当 $\omega/\omega_n=10$ 时，

$20\lg|A(j\omega)/A_0|=-40\text{dB}$ 。这表明二阶比一阶低通滤波电路的滤波效果好得多。

## C、用仿真软件设计滤波器

使用工具：FilterLab

FilterLab 2.0 is an innovative software tool that simplifies active filter design. The FilterLab 2.0 active filter software design tool provides full schematic diagrams of the filter circuit with recommended component values and displays the frequency response.

1、给定参数设计并仿真滤波器

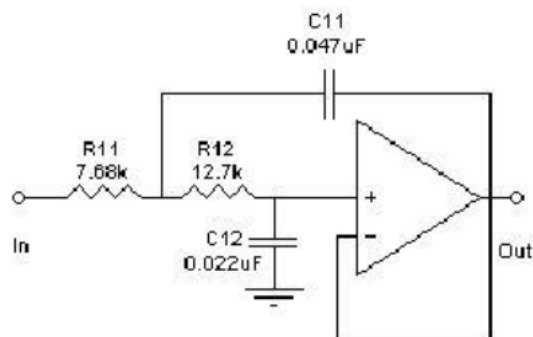
a、二阶低通滤波器

$F_p=500$

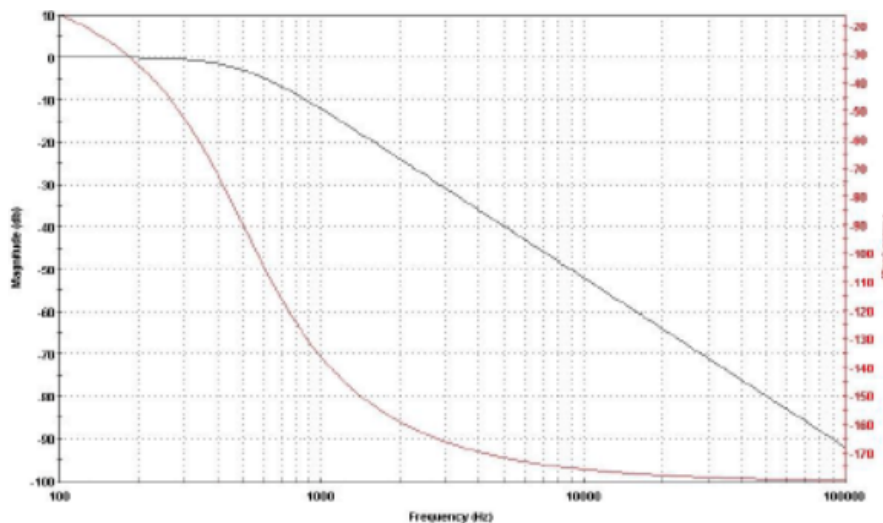
$F_s=1500$

Order=2

Circuit:



二阶低通滤波器仿真电路



二阶低通滤波器频率响应曲线

## D、滤波器的 Matlab 设计仿真（辅助）

Matlab 提供的滤波器分析函数  $\text{freqz}[H,F] = \text{freqz}(B,A,N,F_s)$

其中 B/A 提供滤波器系数 B 为分子 A 为分母

$(b_0 + b_1Z^{-1} + \dots)/(a_0 + a_1Z^{-1} + \dots)$  N 表示选取单位圆的上半圆等间距的 N 个点作为频响输出； $F_s$  为采样频率，该参数可以省略

H 为 N 个点处的频率响应复值输出向量，其模即为频响幅值曲线幅值  $20\log_{10}(\text{abs}(H))\text{DB}$ ，其幅角  $\text{angle}(H)$  即为频响相位曲线相位值。

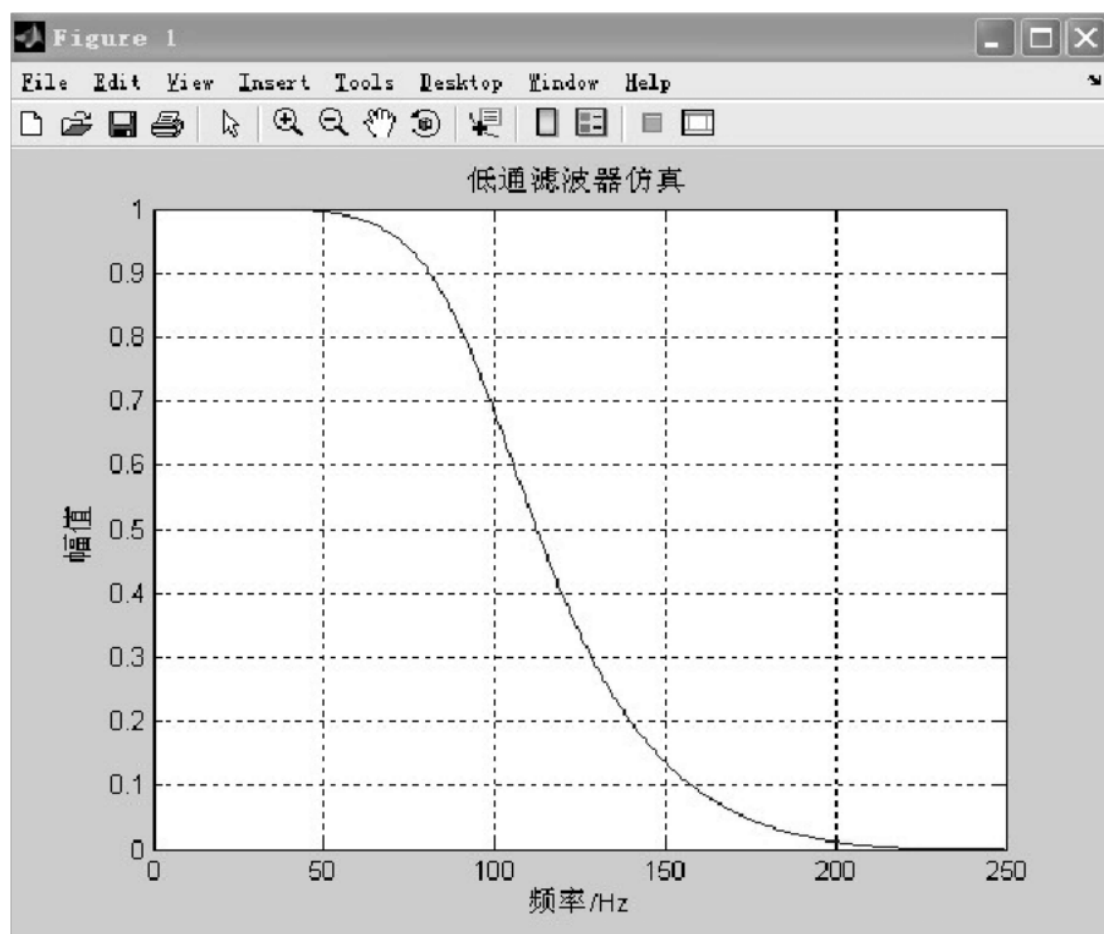
F 为与第 N 点处对应的频率值 f (Hz)，如果  $F_s$  参数省略时，则频率值 w 为 rad/sample,  $w = 2\pi f/F_s$

### 1、二阶低通滤波器

程序：

```
clear all;
close all;
wp=100*2*pi;
ws=200*2*pi;
rp=2;
rs=15;
Fs=500;
[n,wc]=buttord (wp,ws,rp,rs,'s');
[z,p,k]=buttap(n);
[a,b,c,d]=zp2ss(z,p,k);
[at,bt,ct,dt]=lp2lp(a,s,c,d,wc);
[num1,den1]=ss2tf(at,bt,ct,dt);
[num2,den2]=bilinear(num1,den1,500);
[h,w]=freqz(num2,den2);
plot(w*Fs/(2*pi),abs(h));grid;
xlabel('频率/Hz');
ylabel('幅值');
title('低通滤波器仿真');
```





## 五、实验总结和分析

通过这次滤波器课题设计，了解了滤波器的一些概念、功能和一些基本的类型，对模电知识有了进一步的了解，学习了低通原型滤波器及其传递参数、频率变换、滤波器的设计流程，在对截止频率  $f_c$  和滤波器的阶数  $N$  求解时，运算由于太复杂，在计算过程中运用了 MATLAB，通过上网和查阅书籍以及上学期所学习的 matlab 课程知识，了解了它的一些基本的用法，软件具有强大的功能，能很好的帮助滤波器电路的设计，以及辅助模电教学能很快的解决复杂的试解过程用有源滤波器的快速实用设计方法设计了二阶低通滤波器的初电路。经过翻阅资料，成功解决了这个难题。总的来说，这次课题设计比较成功，从中学到不少知识，在进行电路的设计和参数设计以及优化时，都应该大胆的尝试，不要怕出现错误，要从中学会运用所学的知识发现问题、分析问题并解决问题。

## 参考文献:

- [1] 《电子技术基础·模拟部分》 高等教育出版社 康华光 1999 年
- [2] 《有源滤波器精确设计手册》 电子工业出版社 约翰逊 穆尔 1984 年
- [3] 《信号分析和处理-MATLAB 语言及应用》 国防科技大学出版社黄文梅 杨勇 2000 年
- [4] 《无源与有源滤波器—理论与应用》 人民邮电出版社 陈开惠 1989
- [5]《信号与系统基础——应用 WEB 和 MATLAB》(影印版) 科学出版社 Edward W.Kamen & Bonnie S. Heck 2002
- [6] 《Rapid practical designs of active filters》 John wiley & sons Davide Johnson & Johnl Hilbur 1975

## 《电子信息综合课程设计》评分表

设计题目：数字滤波器      学生姓名：黄昊林

指导教师签名：

2023 年   3 月   7 日

项目	主要内容	满分	得分
设计报告	设计报告规范、完整、无原理性错误	20	
系统设计	系统方案论证与设计	30	
系统实现	系统实现与分析总结、答辩	50	
总分		100	