

重庆邮电大学

学生实验实习报告册

学年学期： 2020 -2021学年 ☐春☒秋学期

课 程 名 称： 信号处理实验

学 生 学 院： 通信与信息工程学院

专 业 班 级： 01011803

学 生 学 号： 2018210218

学 生 姓 名： 石凌霄

联 系 电 话： 13996915548

重庆邮电大学教务处制

		课程编号	
实验地点	移动通信技术实验室 YF304	实验时间	2020. 10. 27
校外指导教师		校内指导教师	邵凯
实验名称	z 变换及离散时间 LTI 系统的 z 域分析		
评阅人签字		成绩	

一、实验目的

学会运用 MATLAB 求离散时间信号的有理函数 z 变换的部分分式展开；

学会运用 MATLAB 分析离散时间系统的系统函数的零极点；

学会运用 MATLAB 分析系统函数的零极点分布与其时域特性的关系；

学会运用 MATLAB 进行离散时间系统的频率特性分析。

二、实验原理

1. 有理函数 z 变换的部分分式展开

如果信号的 z 域表示式 $X(z)$ 是有理函数，设 $X(z)$ 的有理分式表示为

$$X(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \cdots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \cdots + a_n z^{-n}} = \frac{B(z)}{A(z)}$$

MATLAB 信号处理工具箱提供了一个对 进行部分分式展开的函数 `residuez`，其语句格式为

$$[R, P, K] = \text{residuez}(B, A)$$

其中，B，A 分别表示 $X(z)$ 的分子与分母多项式的系数向量；R 为部分分式的系数向量；P 为极点向量；K 为多项式的系数。若 $X(z)$ 为有理真分式，则 K 为零。

2. 系统函数的零极点分析

离散时间系统的系统函数定义为系统零状态响应的 z 变换与激励的 z 变换 之比，即

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)}$$

如果系统函数 $H(z)$ 的有理函数表示式为

$$H(z) = \frac{b_1 z^m + b_2 z^{m-1} + \cdots + b_m z + b_{m+1}}{a_1 z^n + a_2 z^{n-1} + \cdots + a_n z + a_{n+1}}$$

那么，在 MATLAB 中系统函数的零极点就可通过函数 `roots` 得到，也可借助函数 `tf2zp` 得到，`tf2zp` 的语句格式为

$$[Z, P, K] = \text{tf2zp}(B, A)$$

其中，B 与 A 分别表示 $H(z)$ 的分子与分母多项式的系数向量。它的作用是将的有理分式表示式转换为零极点增益形式，即

$$H(z) = k \frac{(z - z_1)(z - z_2) \cdots (z - z_m)}{(z - p_1)(z - p_2) \cdots (z - p_n)}$$

3. 系统函数的零极点分布与其时域特性的关系

与拉氏变换在连续系统中的作用类似，在离散系统中， z 变换建立了时域函数 $h(z)$ 与 z 域函数 $H(z)$ 之间的对应关系。因此， z 变换的函数 $H(z)$ 从形式可以反映 $h(z)$ 的部分内在性质。我们仍旧通过讨论 $H(z)$ 的一阶极点情况，来说明系统函数的零极点分布与系统时域特性的关系。

4. 离散时间 LTI 系统的频率特性分析

对于因果稳定的离散时间系统，如果激励序列为正弦序列 $x(n) = A \sin(n\omega)u(n)$ ，则系统的稳态响应为 $y_{ss}(n) = A |H(e^{j\omega})| \sin[n\omega + \varphi(\omega)]u(n)$ 。其中， $H(e^{j\omega})$ 通常是复数。离散时间系统的频率响应定义为

$$H(e^{j\omega}) = |H(e^{j\omega})| e^{j\varphi(\omega)} \quad (3-5)$$

其中， $|H(e^{j\omega})|$ 称为离散时间系统的幅频特性； $\varphi(\omega)$ 称为离散时间系统的相频特性； $H(e^{j\omega})$ 是以 ω_s ($\omega_s = \frac{2\pi}{T}$ ，若零 $T=1$ ， $\omega_s = 2\pi$) 为周期的周期函数。

因此，只要分析 $H(e^{j\omega})$ 在 $|\omega| \leq \pi$ 范围内的情况，便可分析出系统的整个频率特性。

MATLAB 提供了求离散时间系统频响特性的函数 `freqz`，调用 `freqz` 的格式主要有两种。一种形式为

$$[H, w] = \text{freqz}(B, A, N)$$

其中， B 与 A 分别表示 $H(z)$ 的分子和分母多项式的系数向量； N 为正整数，默认值为 512；返回值 w 包含 $[0, \pi]$ 范围内的 N 个频率等分点；返回值 H 则是离散时间系统频率响应 $H(e^{j\omega})$ 在 $0 \sim \pi$ 范围内 N 个频率处的值。另一种形式为

$$[H, w] = \text{freqz}(B, A, N, 'whole')$$

与第一种方式不同之处在于角频率的范围由 $[0, \pi]$ 扩展到 $[0, 2\pi]$ 。

三、实验程序及结果分析

1. 试用 MATLAB 的 `residuez` 函数，求出 $X(z) = \frac{2z^4 + 16z^3 + 44z^2 + 56z + 32}{3z^4 + 3z^3 - 15z^2 + 18z - 12}$ 的部分分式展开和。

代码

```
clear; %清空缓存
b=[2, 16, 44, 56, 32];
a=[3, 3, -15, 18, -12];
[R, P, K]=residuez(b, a)%对函数进行部分展开
```

运行结果

R =

-0.0177 + 0.0000i
9.4914 + 0.0000i
-3.0702 + 2.3398i
-3.0702 - 2.3398i

图 1

P =

-3.2361 + 0.0000i
1.2361 + 0.0000i
0.5000 + 0.8660i
0.5000 - 0.8660i

图 2

K =

-2.6667

图 3

2. 试用 MATLAB 画出下列因果系统的系统函数零极点分布图,并判断系统的稳定性。

$$(1) H(z) = \frac{2z^2 - 1.6z - 0.9}{z^3 - 2.5z^2 + 1.96z - 0.48}$$

$$(2) H(z) = \frac{z - 1}{z^4 - 0.9z^3 - 0.65z^2 + 0.873z}$$

代码

```
clear;
b1=[0,2,-1.6,-0.9];
a1=[1,-2.5,1.96,-0.48];
zplane(b1,a1),grid on;%在 Z 平面上画出单位圆，零点和极点
legend('零点','极点');
title('零极点分布图 1');
figure
b2=[0,0,0,1,-1];
a2=[1,-0.9,-0.65,0.873,0];
zplane(b2,a2),grid on;
legend('零点','极点');
title('零极点分布图 2')
```

运行结果

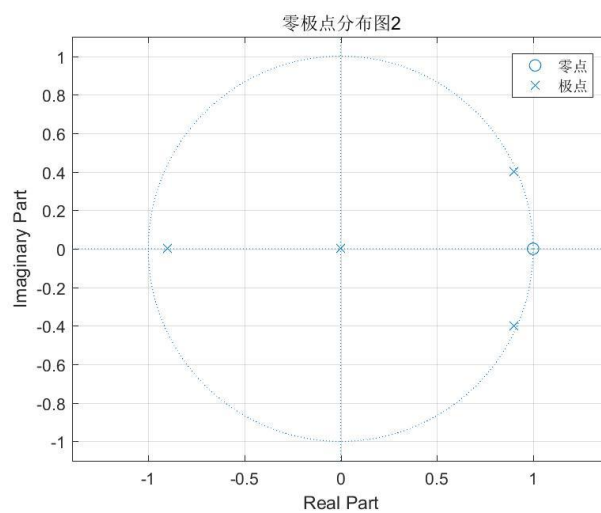
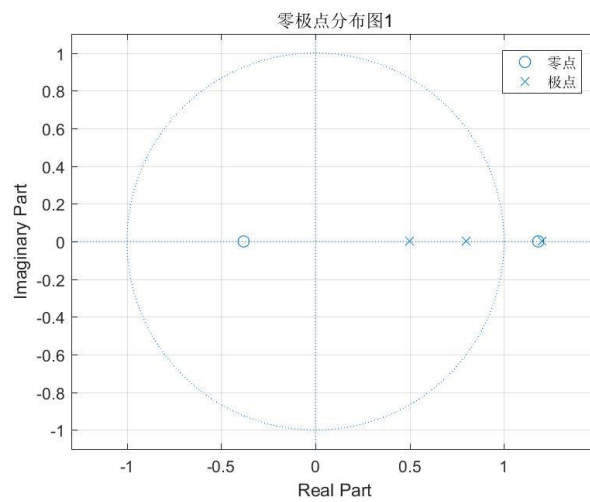
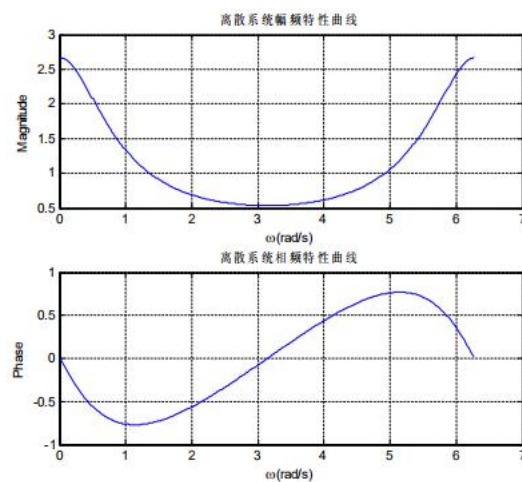


图 5

3. 试用 MATLAB 绘制系统 $H(z) = \frac{z}{z^2 - \frac{3}{4}z + \frac{1}{8}}$ 的频率响应曲线。



代码

```
b=[1,0,0];  
a=[1,-3/4,1/8];  
[H,W]=freqz(b,a,400,'whole');%求离散时间系统的频率响应，400 为返回值包含[0,  $\pi$ ]  
%内有 400 个频率等分点  
Hm=abs(H); %求 H 的幅频特性  
Hp=angle(H);%求 H 的相频特性  
subplot(211);  
plot(W,Hm);grid on;  
title('幅频特性');  
subplot(212)  
plot(W,Hp);grid on;  
title('相频特性');
```

运行结果

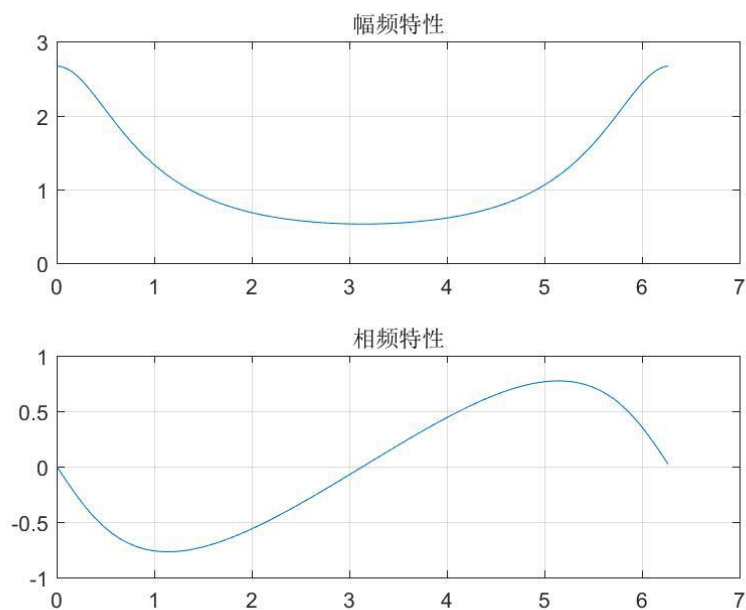


图 7

四、思考题

- 1、编写MATLAB程序，已知系统的差分方程 $y(n) - 0.9y(n-8) = x(n) - x(n-8)$ 。（1）画出该系统的零极点分布图，判断系统的稳定性；（2）画出系统在 $0 \sim 2\pi$ 范围内的幅频特性曲线和相频特性曲线；（3）查找资料说明该系统的功能。

代码

```
clear;  
b=[1,-0.9];  
a=[1,-1];  
zplane(b,a),grid on;  
legend('零点','极点');
```

```

figure
[H,W]=freqz(b,a,400,'whole');
Hm=abs(H); %求 H 的幅频特性
Hp=angle(H); %求 H 的相频特性
subplot(211)
plot(W,Hm);grid on;
title('幅频特性');
subplot(212)
plot(W,Hp);grid on;
title('相频特性');

```

运行结果

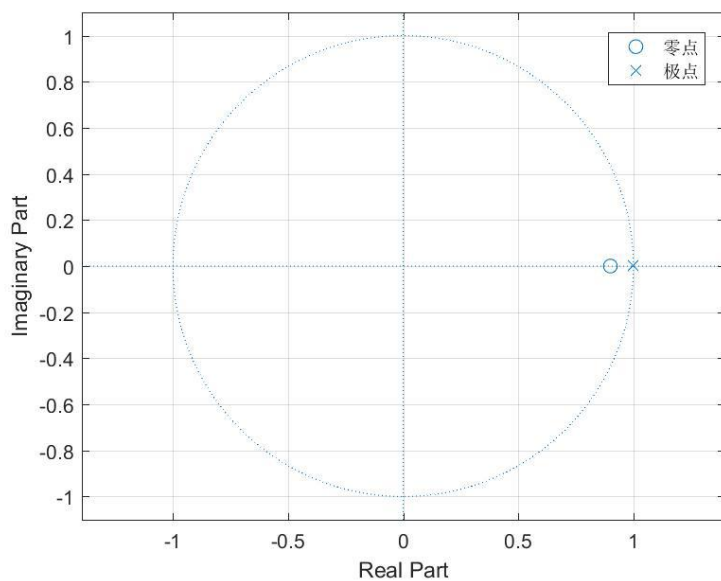


图 8

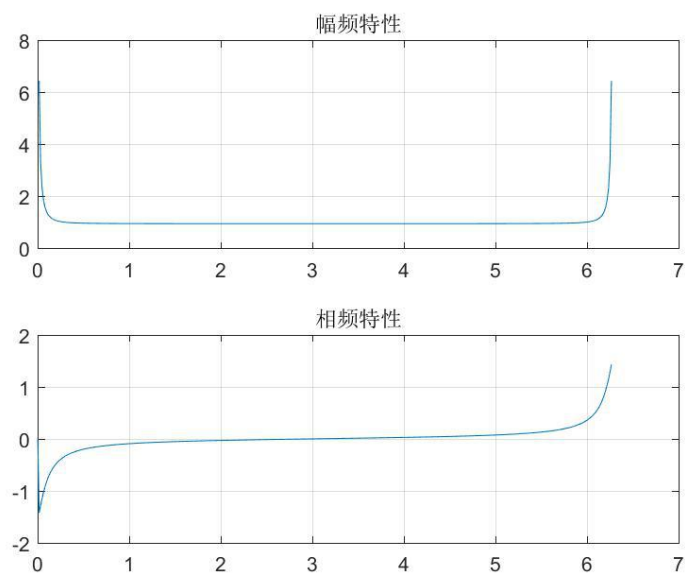


图 9

该系统功能：梳状滤波器梳状滤波器它是由许多按一定频率间隔相同排列的通带和阻带，只让某些特定频率范围的信号通过。梳状滤波器其特性曲线象梳子一样，故称为梳状滤波器。

2、编写MATLAB程序，分别采用系统 $H_1(z) = \frac{z}{z+0.8}$ 、 $H_2(z) = \frac{z}{z-1}$ 、 $H_3(z) = \frac{z}{z+1.2}$ 对音频文件motherland.wav进行滤波（可采用实验二的conv函数）。（1）画出滤波前后该音频文的连续时域波形图；（2）分析说明滤波后信号幅度变化的原因。

代码

```
[xn,fs]=audioread('I:\MATLAB 文件\guitartune.wav');
b=[1,0];a1=[1,0.8];a2=[1,-1];a3=[1,1.2];
x1=impz(b,a1,30),grid on;
x2=impz(b,a2,30),grid on;
x3=impz(b,a3,30),grid on;
y1=conv(x1,xn);
x1=0:size(y1)-1;
y2=conv(x2,xn);
x2=0:size(y2)-1;
y3=conv(x3,xn);
x3=0:size(y3)-1;
subplot(411)
plot(xn),grid on;
subplot(412);
plot(x1,y1),grid on;
subplot(413);
plot(x2,y2),grid on;
subplot(414);
plot(x3,y3),grid on;
sound(y3,fs);
```

运行结果

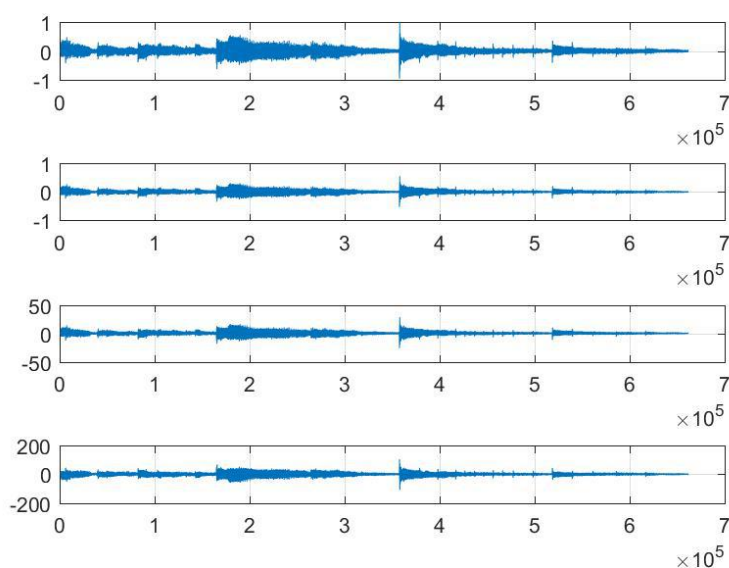


图 10