

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： 2018210207

学生姓名： 胡洪

联系电话： 15802310335

重庆邮电大学教务处制

课程名称	信号处理实验	课程编号	A2010550
实验地点	YF304	实验时间	第八周周二 一、二节
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 求离散时间系统的有理函数 Z 变换的部分分式展开；
- 学会运用 MATLAB 求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

2.1 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：

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

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

$$[R,P,K]=residuez(B,A) \quad (2)$$

其中，B，A分别表示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。

2.2 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

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} \quad (3)$$

如果系统函数 $H(z)$ 的有理函数表示式为

$$H(z) = \frac{b_1 z^m + b_2 z^{m-1} + \cdots + b_m z + b_{m+1}}{a_1 z^n + a_2 z^{n-1} + \cdots + a_n z + a_{n+1}} \quad (4)$$

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

$$[Z,P,K]=tf2zp(B,A) \quad (5)$$

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 $H(z)$ 的有理分式表示式转换为零极点增益形式，即

$$H(z) = k \frac{(z-z_1)(z-z_2)\cdots(z-z_m)}{(z-p_1)(z-p_2)\cdots(z-p_m)} \quad (6)$$

2.3 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 $h(n)$ 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 $h(n)$ 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。

2.4 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 $y_{ss}(n) = A|H(e^{j\omega})|\sin[n\omega + \varphi(n)]u(n)$ 。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

$$H(e^{j\omega}) = |H(e^{j\omega})|e^{j\varphi(\omega)} \quad (7)$$

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 $\omega_s(\omega_s = \frac{2\pi}{T})$ ，若令 $T=1, \omega_s = 2\pi$ 为周期的周期函数。因此，只要分析在 $H(e^{j\omega})$ 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

$$[H,w]=freqz(B,A,N) \quad (8)$$

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 $H(e^{j\omega})$ 在范围 $0 \sim \pi$ 内N个频率处的值。另一种形式为

$$[H,w]=freqz(B,A,N,'whole') \quad (9)$$

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

% 3. 试用MATLAB绘制系统（见课件）的频率响应曲线。

clc %清空命令行窗口

clear %从工作区删除残留项目

close all %删除所有图窗

%-----实验内容1.1-----

B = [2,16,44,56,32]; %分母系数

A = [3,3,-15,18,-12]; %分子系数

[R,P,K] = residuez(B,A) %进行部分分式展开

%实验报告中把 $X(z)$ 的表达式写出来（公式编辑器）

%仿真图不能截图

%-----实验内容1.2-----

B1 = [0,2,-1.6,-0.9];

A1 = [1,-2.5,1.96,-0.48];

[Z1,P1,K1] = tf2zp(B1,A1); %计算零极点

figure; %新建窗口

zplane(B1,A1); %画零极点分布图

grid on; %生成格栅

legend('零点','极点'); %加图例

title('零极点分布图1'); %给图加标题

xlabel("real part"); %给x轴加标签"实部"

ylabel("imaginary part"); %给y轴加标签"虚部"

% 分析： 由图可知，系统的极点并非完全在圆内，因此此系统不稳定。

```

B2 = [0,0,0,1,-1];
A2 = [1,-0.9,-0.65,0.873,0];
[Z2,P2,K2] = tf2zp(B2,A2);
figure;
zplane(B2,A2);
grid on;

legend('零点','极点');

title('零极点分布图2');

xlabel("real part");
ylabel("imaginary part");

% 分析： 由图可知，系统的极点完全在圆内，因此此系统稳定。

%-----实验内容1.3-----
a = [1,-3/4,1/8];
b = [1,0,0];

[H,w] = freqz(b,a,400,'whole'); %求离散时间系统频响特性

Hm = abs(H); %幅频特性

Hp = angle(H); %相频特性

figure;

subplot(2,1,1); %画子图

plot(w,Hm);
grid on;
xlabel("omega(rad/s)");
ylabel("Magnitude");

title("离散系统幅频特性曲线");

subplot(2,1,2);
plot(w,Hp);
grid on;
xlabel("omega(rad/s)");
ylabel("Phase");

title("离散系统相频特性曲线");

```

%-----实验扩展内容-----

% FIR系统，A设为1，B设为偶对称或奇对称，看是否为1

% zplane to tf 可以把零极点转换为tf

% 零点0.2，0.5，极点5，2.全通滤波器

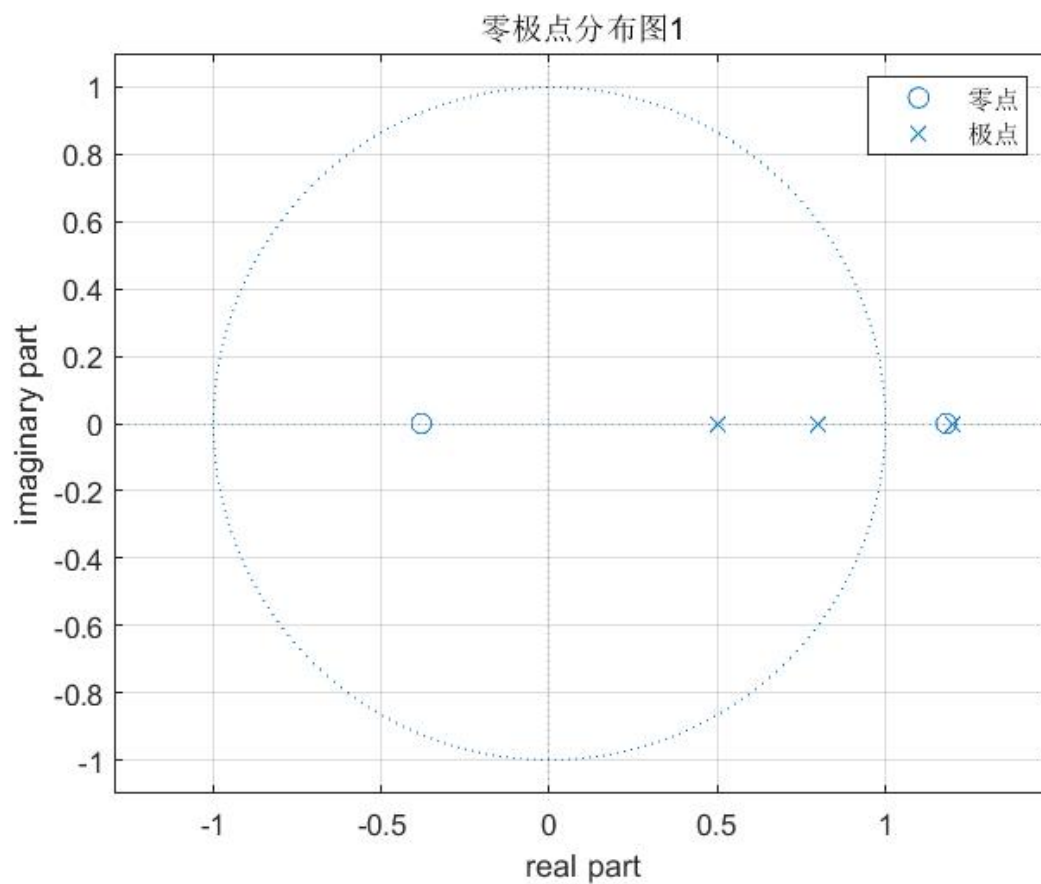
% 梳子状滤波器

实验运行结果

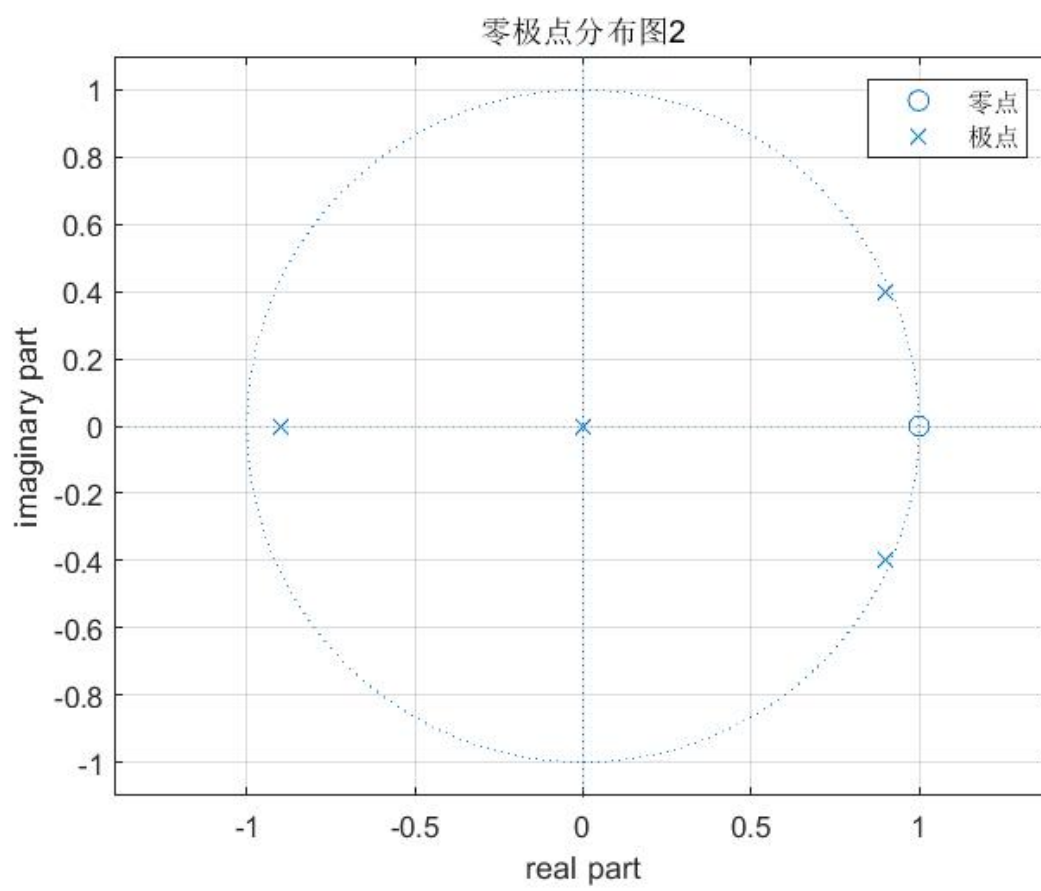
1 由命令行窗口显示的 R,P,K 值可知系统有四个极点，所以可写出 $X(z)$ 的部分分式展开为：

$$X(z) = (-2.6667) \frac{-0.0177}{1+3.2361z^{-1}} + \frac{9.4914}{1-1.2361z^{-1}} + \frac{-3.0702+2.3398i}{1-(0.5+0.866i)z^{-1}} + \frac{-3.0702-2.3398i}{1-(0.5-0.866i)z^{-1}}$$

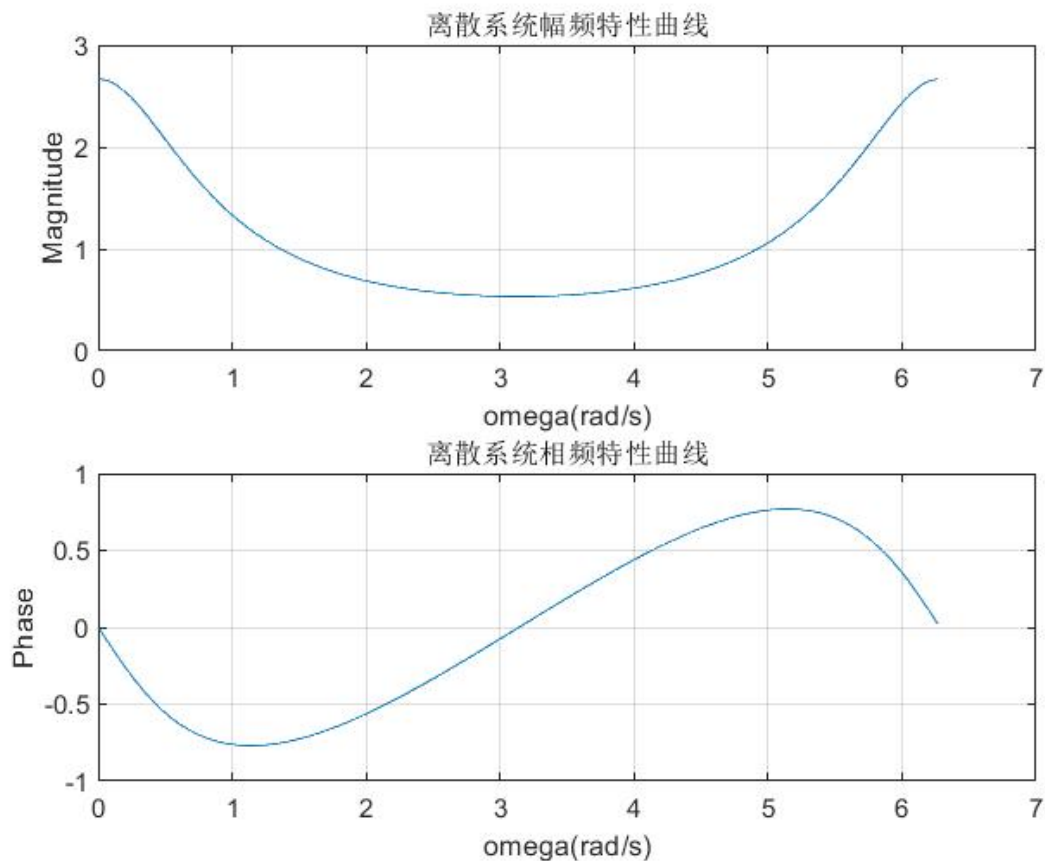
2.1



2.2



3



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。

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：

%-----实验思考题-----

%-----第一问-----

```
a2 = [1,0,0,0,0,0,0,0,-0.9];
b2 = [1,0,0,0,0,0,0,0,-1];
[z2,p2,k2] = tf2zp(b2,a2);
figure;
zplane(b2,a2);
```

```

grid on;
legend('零点','极点');

title('零极点分布图2');
xlabel("real part");
ylabel("imaginary part");

[H2,w2] = freqz(b2,a2,400,'whole');    %求离散时间系统频响特性

Hm2 = abs(H2);                        %幅频特性

Hp2 = angle(H2);                      %相频特性

figure;

subplot(2,1,1);                      %画子图
plot(w2,Hm2);
grid on;
xlabel("omega(rad/s)");
ylabel("Magnitude");
title("离散系统幅频特性曲线");

subplot(2,1,2);
plot(w2, Hp2);
grid on;
xlabel("omega(rad/s)");
ylabel("Phase");
title("离散系统相频特性曲线");

%-----第二问-----

figure;

[xn,fs] = audioread('D:\数字信号处理报告\第三次\motherland.wav');
h1=[1,0;1,0.8];
h2=[1,0;1,-1];
h3=[1,0;1,1.2];
x1=impz(h1(1,:),h1(2,:),40);
x2=impz(h2(1,:),h2(2,:),40);
x3=impz(h3(1,:),h3(2,:),40);
yn1=conv(xn,x1);
yn2=conv(xn,x2);

```

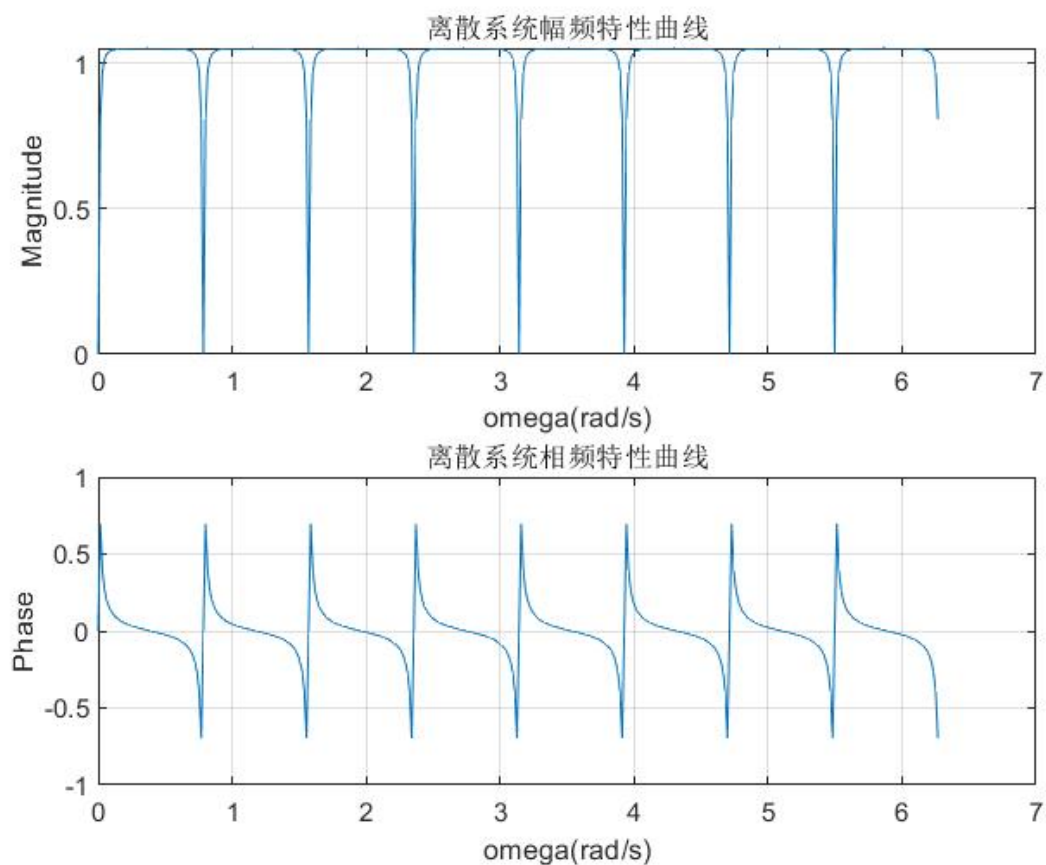
```

yn3=conv(xn,x3);
subplot(4,1,1);
plot(1/fs:1/fs:length(xn)/fs,xn);
xlabel('t(s)')
subplot(4,1,2);
plot(1/fs:1/fs:(length(xn)+length(x3)-1)/fs,yn1);
xlabel('t(s)')
subplot(4,1,3);
plot(1/fs:1/fs:(length(xn)+length(x3)-1)/fs,yn2);
xlabel('t(s)')
subplot(4,1,4);
plot(1/fs:1/fs:(length(xn)+length(x3)-1)/fs,yn3);
xlabel('t(s)')

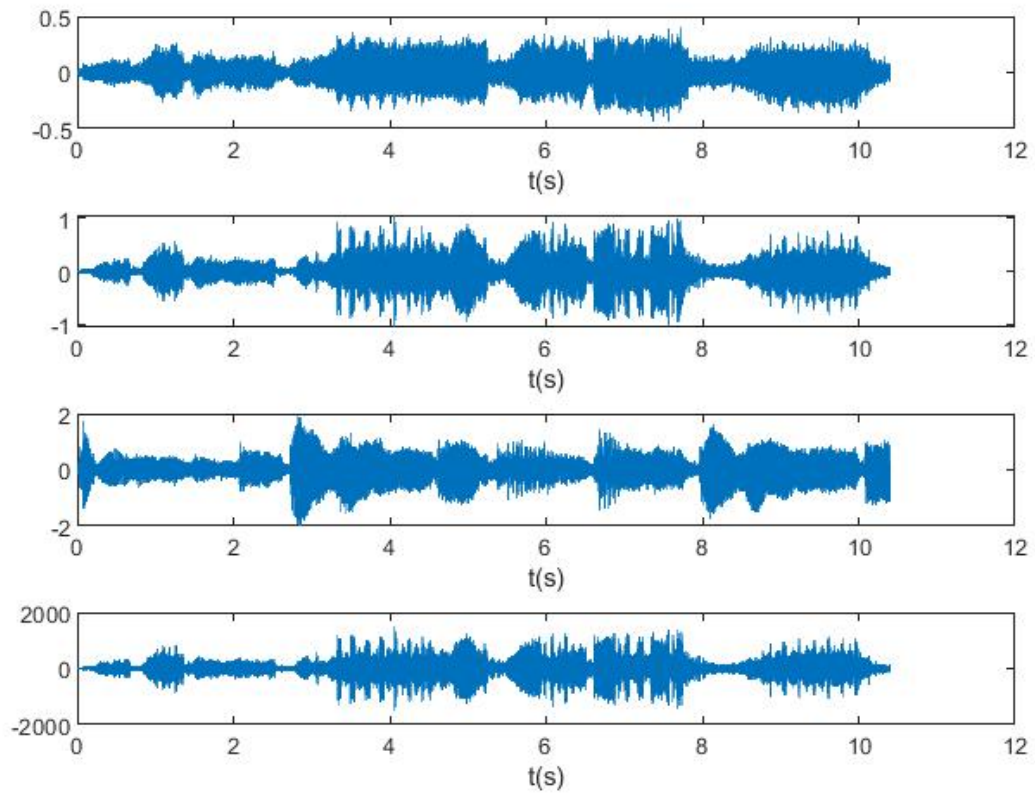
```

实验运行结果:

第一问



第二问



1. 可以用于消除信号中的电网谐波干扰和其他频谱等间隔分布的干扰
2. 幅度变化的原因：因为第三个 $H_3(z)$ 的极点在单位圆外，所以造成该系统不是一个因果稳定的时域离散系统，而是一个非稳定的系统，所以造成幅度的剧烈变化。