

重庆邮电大学

学生实验实习报告册

学年学期： 2020 -2021学年 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： 2018210190

学生姓名： 傅祥

联系电话： 15023433337

重庆邮电大学教务处制

| | | | |
|---|-------------------------|--------|-------------|
| 课程名称 | 信号处理实验 | 课程编号 | A2010550003 |
| 实验地点 | YF304 | 实验时间 | 第八周 周二 一二节 |
| 校外指导教师 | 无 | 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 | |
| <p>一、实验目的</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 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； 2. 学会运用 MATLAB 分析离散时间系统的系统函数的零极点； 3. 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； 4. 学会运用 MATLAB 进行离散时间系统的频率特性分析。 <p>二、实验原理</p> <p>3.2.1 有理函数 z 变换的部分分式展开</p> <p>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</p> $X(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \cdots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \cdots + a_n z^{-n}} = \frac{B(z)}{A(z)} \quad (3-1)$ <p>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 <code>residuez</code>，其语句格式为</p> $[R,P,K]=\text{residuez}(B,A)$ <p>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。</p> | | | |

3.2.2 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

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} \quad (3-2)$$

如果系统函数 $H(z)$ 的有理函数表示式为

$$H(z) = \frac{b_1 z^m + b_2 z^{m-1} + \cdots + b_m z + b_{m+1}}{a_1 z^n + a_2 z^{n-1} + \cdots + a_n z + a_{n+1}} \quad (3-3)$$

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

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

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

$$H(z) = k \frac{(z - z_1)(z - z_2) \cdots (z - z_m)}{(z - p_1)(z - p_2) \cdots (z - p_n)} \quad (3-4)$$

3.2.3 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。

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

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

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 $0 \sim \pi$ 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

实验任务一：

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。

matlab代码展示：

```
B=[2 16 44 56 32];  
A=[3 3 -15 18 -12];  
[R,P,K]=residuez(B,A)
```

输出图像如图一：

```

R =

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

P =

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

K =

-2.6667

```

图一

实验任务二：代码展示

```

a1=[0,2,-1.6,-0.9];
b1=[1,-2.5,1.96,-0.48];
subplot(1,2,1)
zplane(a1,b1)
figure(1)

title('零极点分布图')

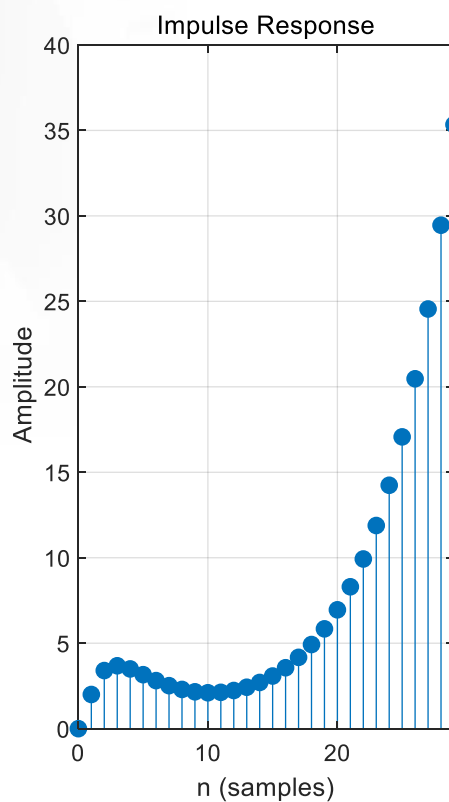
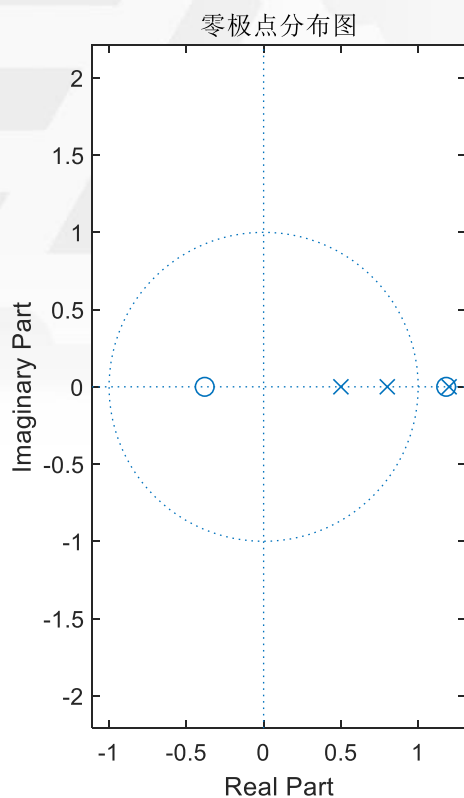
subplot(1,2,2)
impz(a1,b1,30);grid on;
a2=[1,-1];
b2=[1,-0.9,-0.65,0.873,0];
figure(2)
subplot(1,2,1)
zplane(a2,b2)

title('零极点分布图')

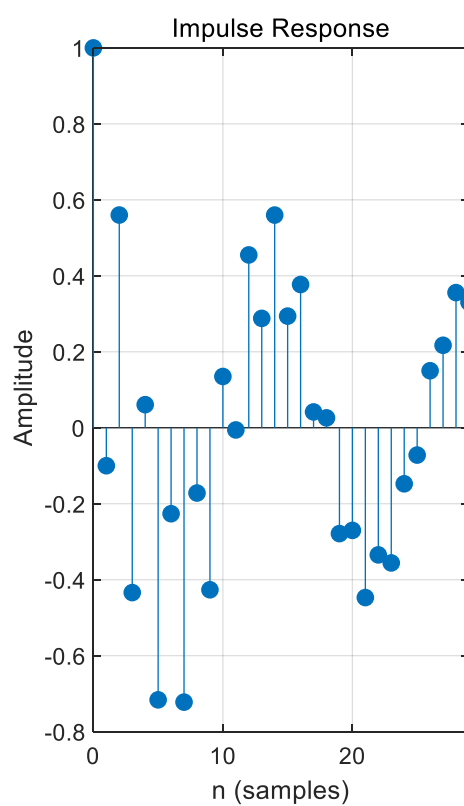
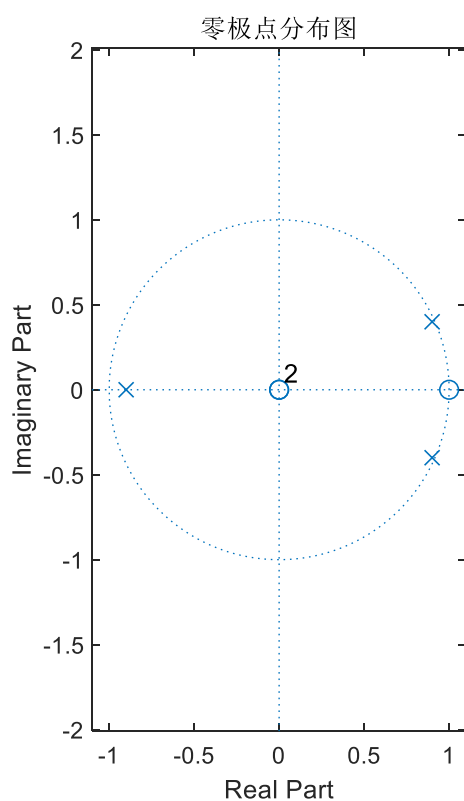
subplot(1,2,2)
impz(a2,b2,30);grid on;

```

输出图形如图二、图三：



图二



图三

图像分析：由零极点图二，看出极点有位于圆外的，也有圆内的，故系统1不稳定；

由零极点图三，看出极点有位于圆上的，也有圆内的，故系统2临界稳定。

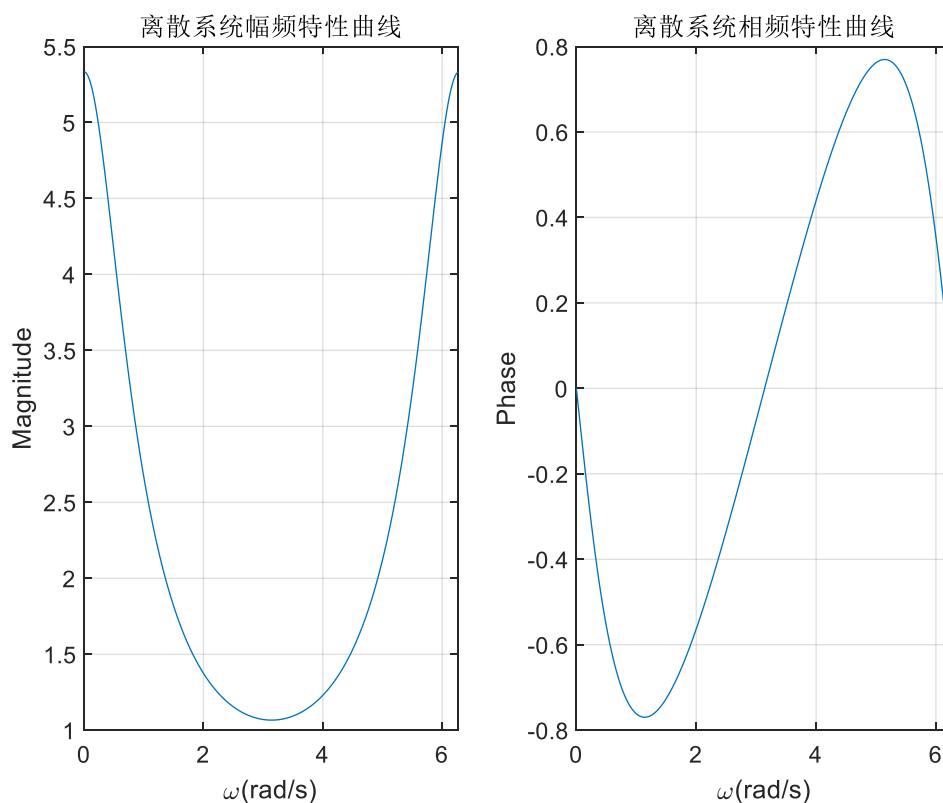
实验任务三:

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

代码展示:

```
b=[2,0,0];  
a=[1,-0.75,0.125];  
[H,w]=freqz(b,a,400,'whole');  
Hm=abs(H);  
Hp=angle(H);  
subplot(1,2,1)  
plot(w,Hm),grid on  
xlabel('\omega(rad/s)'),ylabel('Magnitude')  
  
title('离散系统幅频特性曲线')  
  
subplot(1,2,2)  
plot(w,Hp),grid on  
xlabel('\omega(rad/s)'),ylabel('Phase')  
  
title('离散系统相频特性曲线')
```

结果截图如图四:



图四

四、思考题

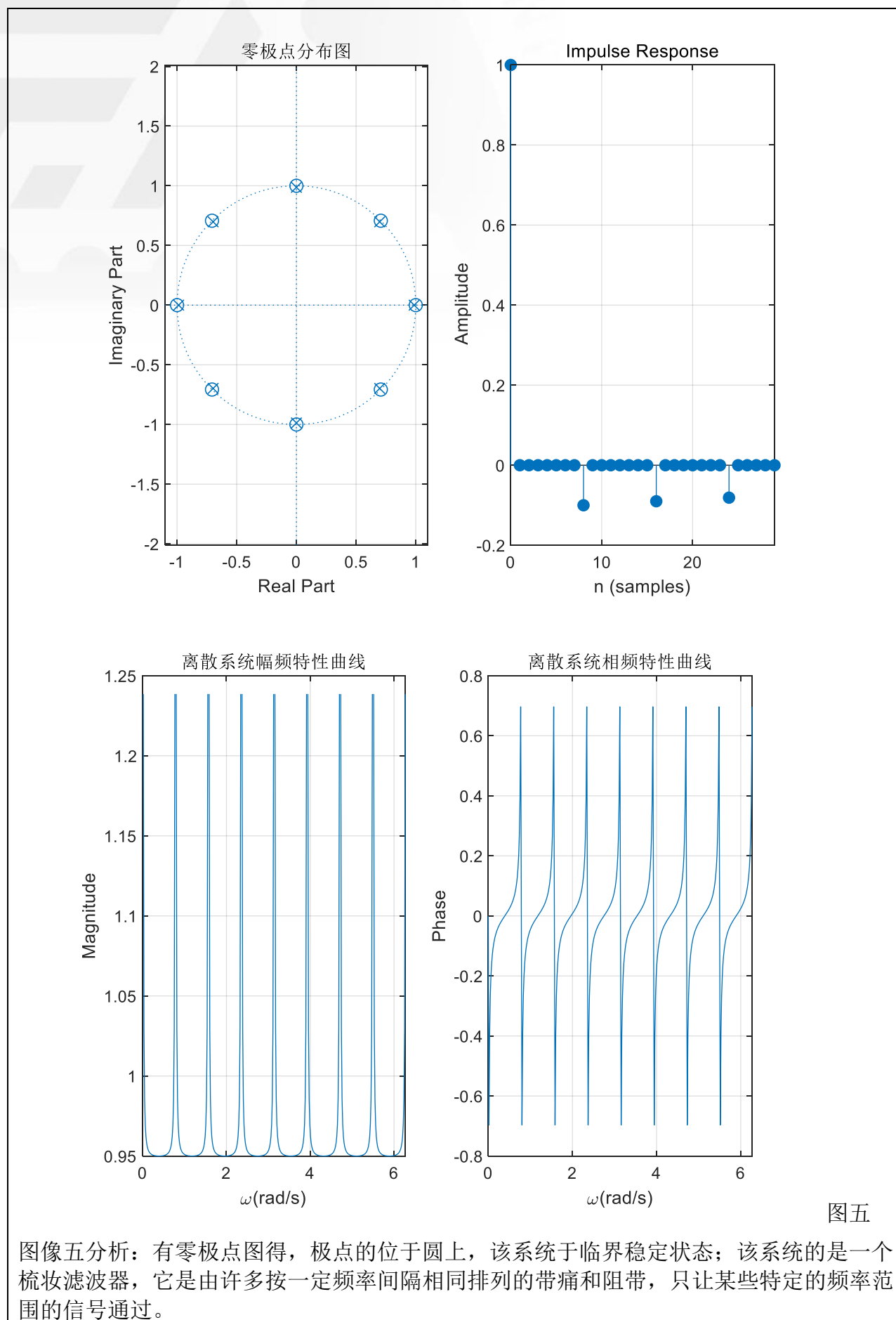
- 1、编写 MATLAB 程序，已知系统的差分方程 $y(n) - 0.9y(n-8) = x(n) -$

$x(n -$

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 $0 \sim 2$ 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:

```
b1=[1,0,0,0,0,0,0,0,-0.9];
a1=[1,0,0,0,0,0,0,0,-1];
figure(1)
subplot(1,2,1);
zplane(a1,b1),grid on;
title('零极点分布图');
subplot(1,2,2);
impz(a1,b1,30);
grid on;
[H,w]=freqz(b1,a1,400,'whole');
Hm=abs(H);
Hp=angle(H);
figure(2)
subplot(1,2,1)
plot(w,Hm),grid on
xlabel('\omega(rad/s)'),ylabel('Magnitude')
title('离散系统幅频特性曲线')
subplot(1,2,2)
plot(w,Hp),grid on
xlabel('\omega(rad/s)'),ylabel('Phase')
title('离散系统相频特性曲线')
```

输出图像如图五:



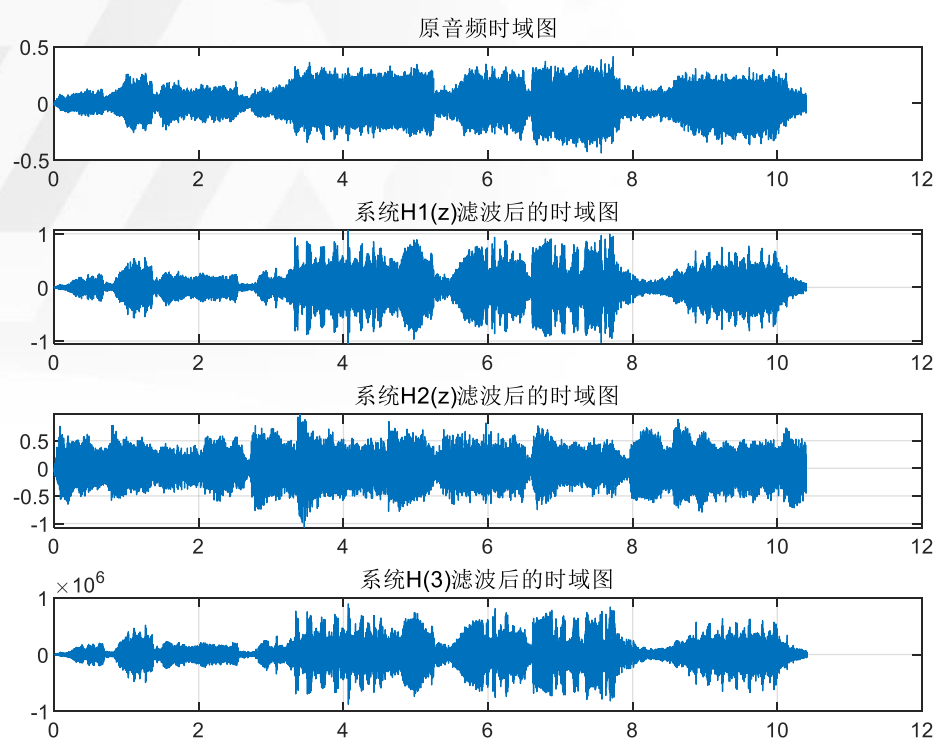
2、编写MATLAB程序，分别采用系统 $H_1(z) = \frac{z}{z+0.8}$ 、 $H_2(z) = \frac{z}{z-1}$ 、 $H_3(z) = \frac{z}{z+1.2}$

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。

代码展示：

```
[xn,fs]=audioread('motherland.wav');
N=length(xn);
t=[0:N-1]/fs;
b1=[1];a1=[1 0.8];
b2=[1];a2=[1 -1];
b3=[1];a3=[1 1.2];
h1=impz(b1,a1);
h2=impz(b2,a2);
h3=impz(b3,a3);
subplot(4,1,1);
%sound(xn,fs);
plot(t,xn);title('Ô-ÔôÆµÊ±ÓòÍ¼');
subplot(4,1,2);
y1=conv(h1,xn);
M=length(y1);
t1=[0:M-1]/fs;%41»Ý¹Ý°óµÄÊ±Óò³ª¶È
%sound(y1,fs);
plot(t1,y1);title('ÏµÍ³H1(z)Ä²°óµÄÊ±ÓòÍ¼');grid on;

subplot(4,1,3);
y2=conv(h2,xn);
M=length(y2);
t1=[0:M-1]/fs;%41»Ý¹Ý°óµÄÊ±Óò³ª¶È
%sound(y2,fs);
plot(t1,y2);title('ÏµÍ³H2(z)Ä²°óµÄÊ±ÓòÍ¼');
grid on;
输出图像如图六：
```



结果分析：原音频时域图经过 $H_1(z)$, $H_2(z)$, $H_3(z)$ 后波形都有一定量的变化，第一个声音基本没什么变化，但是第二个滤波器无论是在什么时刻都有一定的变化，第三个变化幅度也基本没什么变换。