

# 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： 通信工程01011803

学生学号： 2018210201

学生姓名： 刘俊龙

联系电话： 15310404744

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	移动通信技术实验室 YF304	实验时间	2020 年 10 月 27 日第八周 1、2 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	

## 一、实验目的

- 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。

## 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：

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

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：

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

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

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

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  $H(z)$  的有理分式表示式转换为零极点增益形式，即

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

若要获得系统函数  $H(z)$  的零极点分布图，可直接应用 `zplane` 函数，其语句格式为

$$zplane(B, A)$$

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。它的作用是在  $Z$  平面上画出单位圆、零点与极点。

### 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：

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

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  $H(e^{j\omega})$  在范围  $|\omega| \leq \pi$  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  $[0 \sim \pi]$  扩展到  $[0 \sim 2\pi]$ 。

## 三、实验程序及结果分析

$$X(z) = \frac{2z^4 + 16z^3 + 44z^2 + 56z + 32}{3z^4 + 3z^3 - 15z^2 + 18z - 12}$$

- 1、试用 MATLAB 的 `residuez` 函数，求出  $X(z)$  的部分分式展开和。
- 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。

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

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

$$H(z) = \frac{z^2}{z^2 - \frac{3}{4}z + \frac{1}{8}}$$

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

答：运行环境：Matlab R2019b

1、

**程序代码：**

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

**运行结果：**

```
>> test3_1
```

```
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 1

2、由零极点分布图可知，第一问  $H(z)$  系统不稳定，第二问  $H(z)$  系统稳定。

**程序代码：**

```
B1=[0, 2, -1.6, -0.9];
A1=[1, -2.5, 1.96, -0.48];

B2=[1, -1];
A2=[1, -0.9, -0.65, 0.873];
```

```
subplot(211)
```

```

zplane(B1,A1),grid on
legend('零点','极点');
title('零极点分布图1');

```

```

subplot(212)
zplane(B2,A2),grid on
legend('零点','极点');
title('零极点分布图2');

```

运行结果:

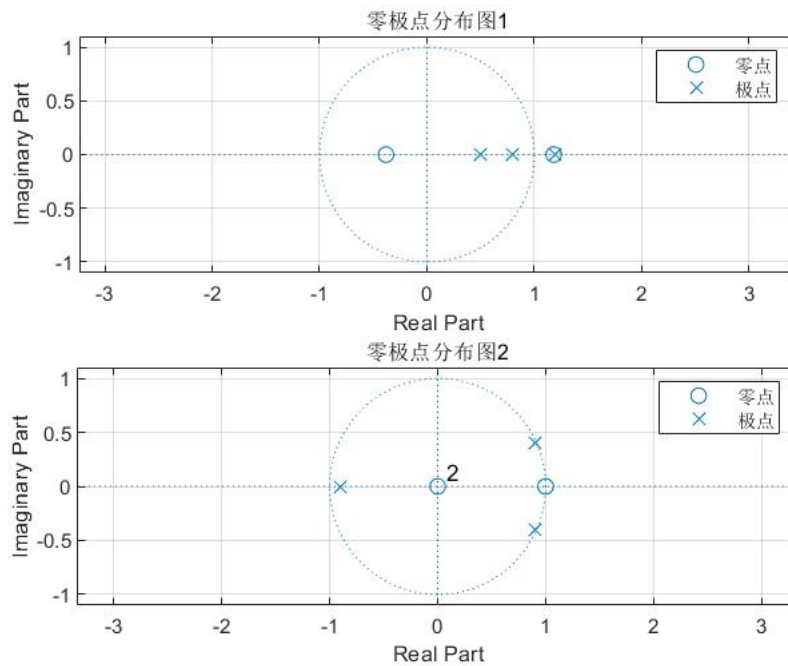


图 2

3、

程序代码:

```

B=[1,0,0];
A=[1,-3/4,1/8];

[H,W]=freqz(B,A,400,'whole');
Hm=abs(H);
Hp=angle(H);

subplot(211)
plot(W,Hm),grid on
xlabel('\omega(rad/s)');
ylabel('Magnitude');
title('离散系统幅频特性曲线');

```

```
subplot(212)
plot(W, Hp), grid on
xlabel('\omega(rad/s)');
ylabel('Phase');
title('离散系统相频特性曲线');
```

运行结果:

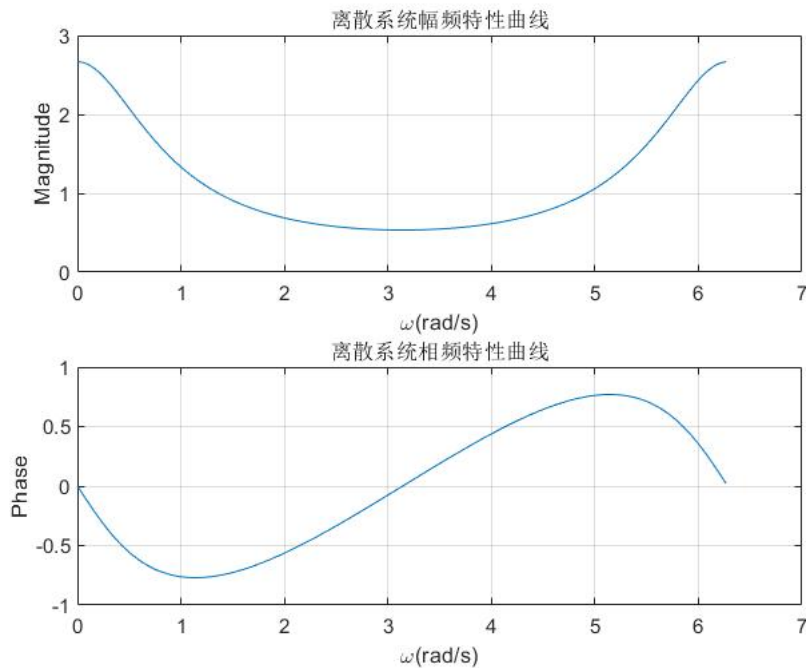


图 3

#### 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。

答：运行环境：Matlab R2019b

1、(1) 从零极点分布图得知，该系统稳定性良好。

程序代码：

```
A=[1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1];
B=[1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -0.9];
```

```

subplot(311)
zplane(B,A),grid on
legend('零点','极点');
title('零极点分布图');

[H,W]=freqz(B,A,400,'whole');
Hm=abs(H);
Hp=angle(H);

subplot(312)
plot(W,Hm),grid on
axis([0 2*pi 0.9 1.3]);
xlabel('\omega(rad/s)');
ylabel('Magnitude');
title('离散系统幅频特性曲线');

subplot(313)
plot(W,Hp),grid on
axis([0 2*pi -1 1]);
xlabel('\omega(rad/s)');
ylabel('Phase');
title('离散系统相频特性曲线');

```

**运行结果：**

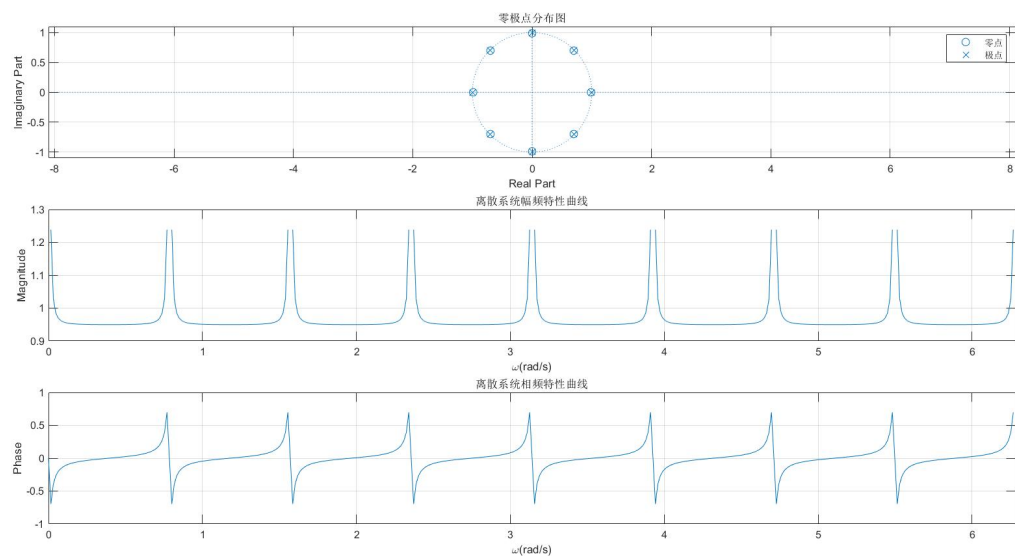


图 4

2、(1)

**程序代码：**

```
[xn,fs]=audioread('E:\Experiment Course\Signal processing\test1\motherland.wav');

%原始波形
subplot(4,1,1)
chang4=length(xn);
t4=(0:chang4-1)/fs;
plot(t4,xn);
title('原始波形');

%H1
subplot(4,1,2);
a1=[1,0.8];
b1=[1,0];
[h]=impz(b1,a1,30);
y1=conv(xn,h);
chang1=length(y1);
t1=(0:chang1-1)/fs;
plot(t1,y1);
title('H1 滤波波形图');

%H2
subplot(4,1,3);
a2=[1,-1];
b2=[1,0];
[h2]=impz(b2,a2,30);
y2=conv(xn,h2);
chang2=length(y2);
t2=(0:chang2-1)/fs;
plot(t2,y2);
title('H2 滤波波形图');

%H3
subplot(4,1,4);
a3=[1,1.2];
b3=[1,0];
[h3]=impz(b3,a3,30);
y3=conv(xn,h3);
chang3=length(y3);
t3=(0:chang3-1)/fs;
```



```
plot(t3,y3);  
title('H3 滤波波形图');
```

运行结果:

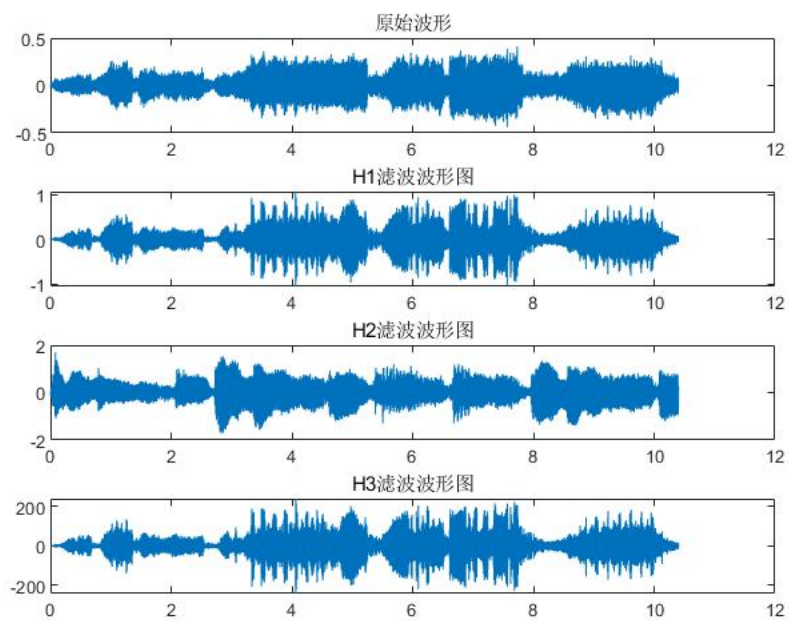


图 5

(2) 波形变化的原因是因为通过不同函数的滤波造成一部分波形被滤掉，从而造成原始波形失真。