# 第二章 z 变换与LSI系统频域分析

*The z Transform and Frequency domain analysis of LSI System*

# 第二章 z 变换与LSI系统频域分析

*The z Transform and Frequency domain analysis of LSI System*

## 2.4 系统频率响应的意义(2)

华东理工大学信息科学与工程学院 万永菁

例1：某LSI系统的系统函数如下：

$$H(z)=0.05\frac{1+z^{-1}}{1-0.9z^{-1}}$$

若系统的输入信号为：

$$x(n)=\sin(0.01\pi n)$$

试编程并分析系统的输出。

解：系统的频率响应：

$$H(e^{j\omega})=H(z)\big|_{z=e^{j\omega}}=0.05\frac{1+e^{-j\omega}}{1-0.9e^{-j\omega}}$$

# 2.4 系统频率响应的意义

```
n = 0:199;   %x(n)取200个点
x = sin(0.01*pi*n);
```

$x(n)=\sin(0.01\pi n)$

$$H(z)=\frac{0.05+0.05z^{-1}}{1-0.9z^{-1}}$$

```
b=[ 0.05 , 0.05];      a=[ 1 , -0.9 ];

y=filter(b,a,x);
```

求系统输出

$$y(n)=0.9y(n-1)+0.05x(n)+0.05x(n-1)$$

```
figure(1)
subplot(2,1,1); ylabel('x');
stem(n, x); grid on;
subplot(2,1,2);
stem(n, y); grid on; ylabel('y');
```

# 2.4 系统频率响应的意义

```
figure(2);
[Fh,w] = freqz(b,a);
[Gd,w] = grpdelay(b,a);
subplot(311)
plot(w/pi,abs(Fh));ylabel('|H(w)|'); grid on;
subplot(312)
plot(w/pi,angle(Fh));
ylabel('ang[H(w)]'); grid on;
subplot(313)
plot(w/pi,Gd);ylabel('grd[H(w)]'); grid on;
```

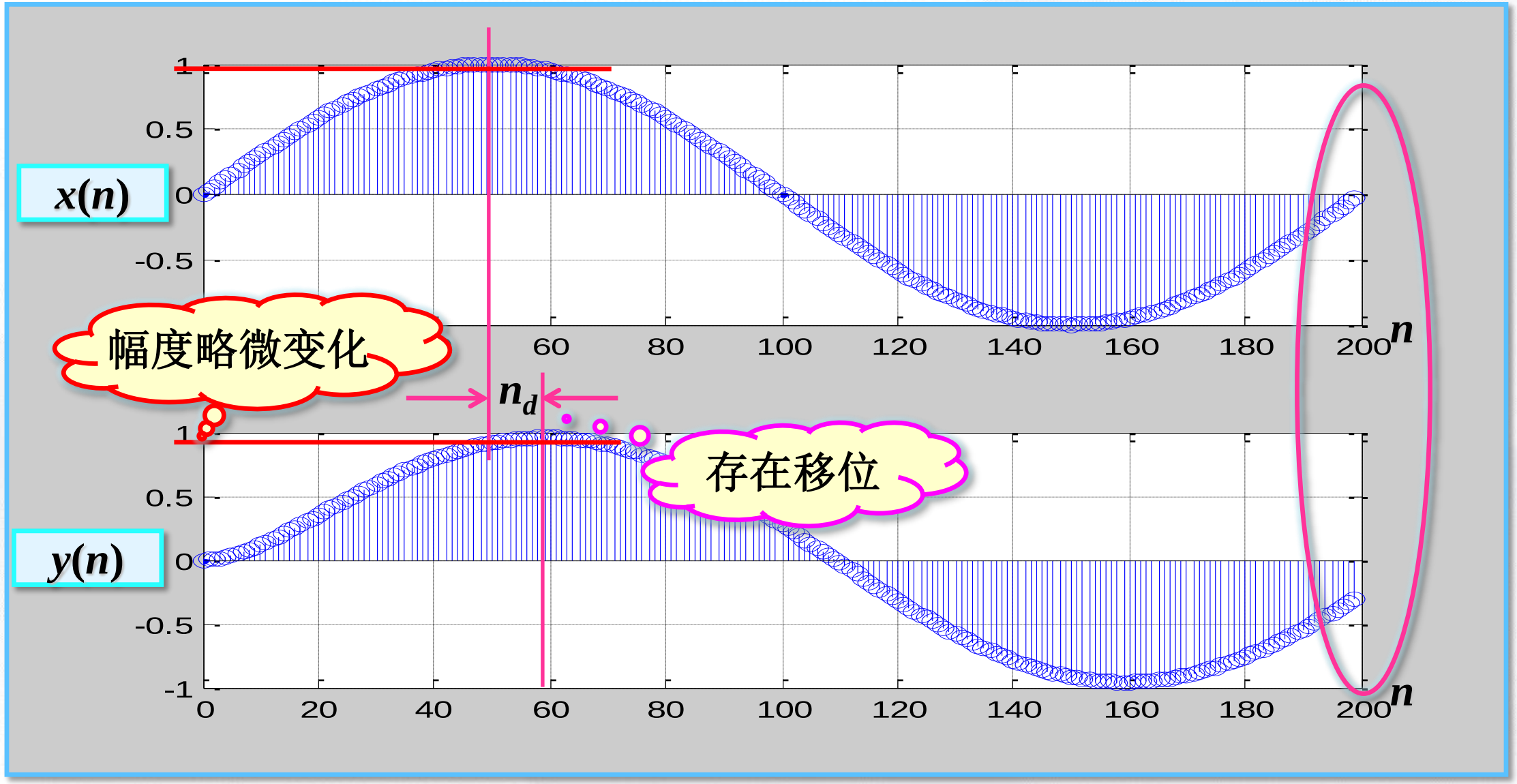
求系统频率响应和群延迟

幅频响应

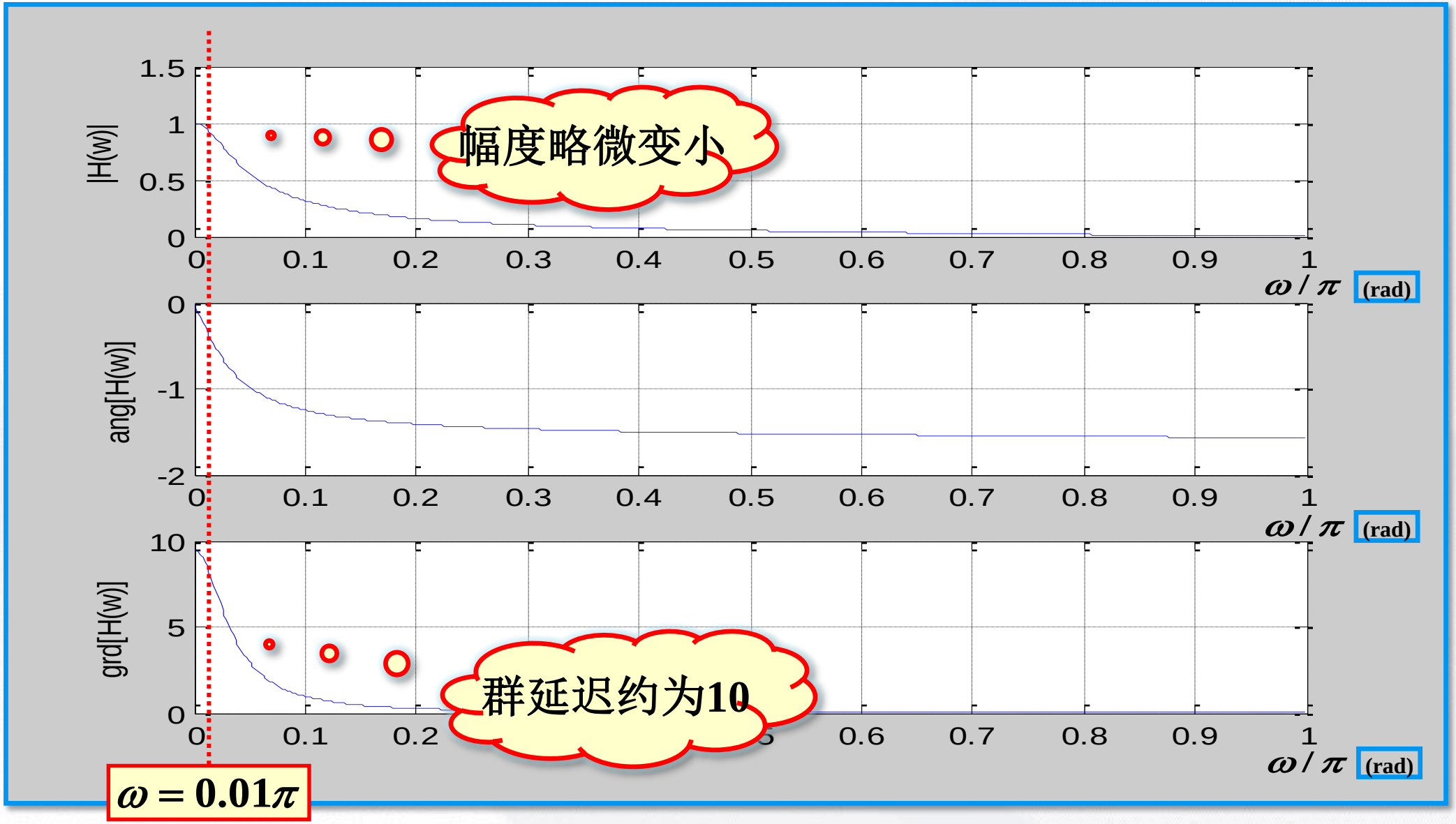
相频响应

群延迟

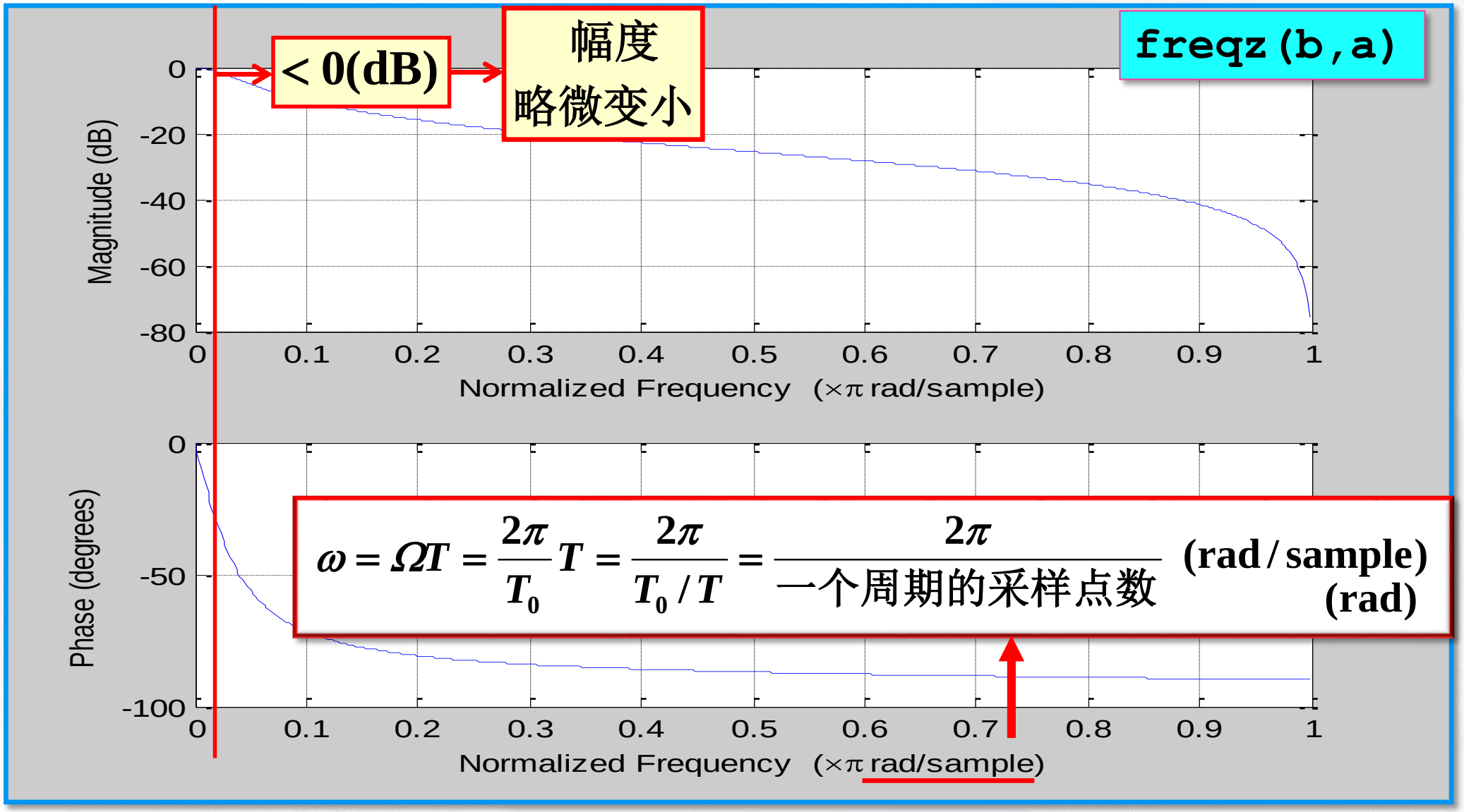
# 2.4 系统频率响应的意义



# 2.4 系统频率响应的意义



# 2.4 系统频率响应的意义



## 例2：分析3点均值滤波系统的频率响应

$$h(n)=\frac{1}{3}[\delta(n)+\delta(n-1)+\delta(n-2)]$$

$$\delta(n)=\begin{cases}1 & n=0\\ 0 & n\neq 0\end{cases}$$

$x(n)*\delta(n-R)=x(n-R)$

$$y(n)=x(n)*h(n)$$

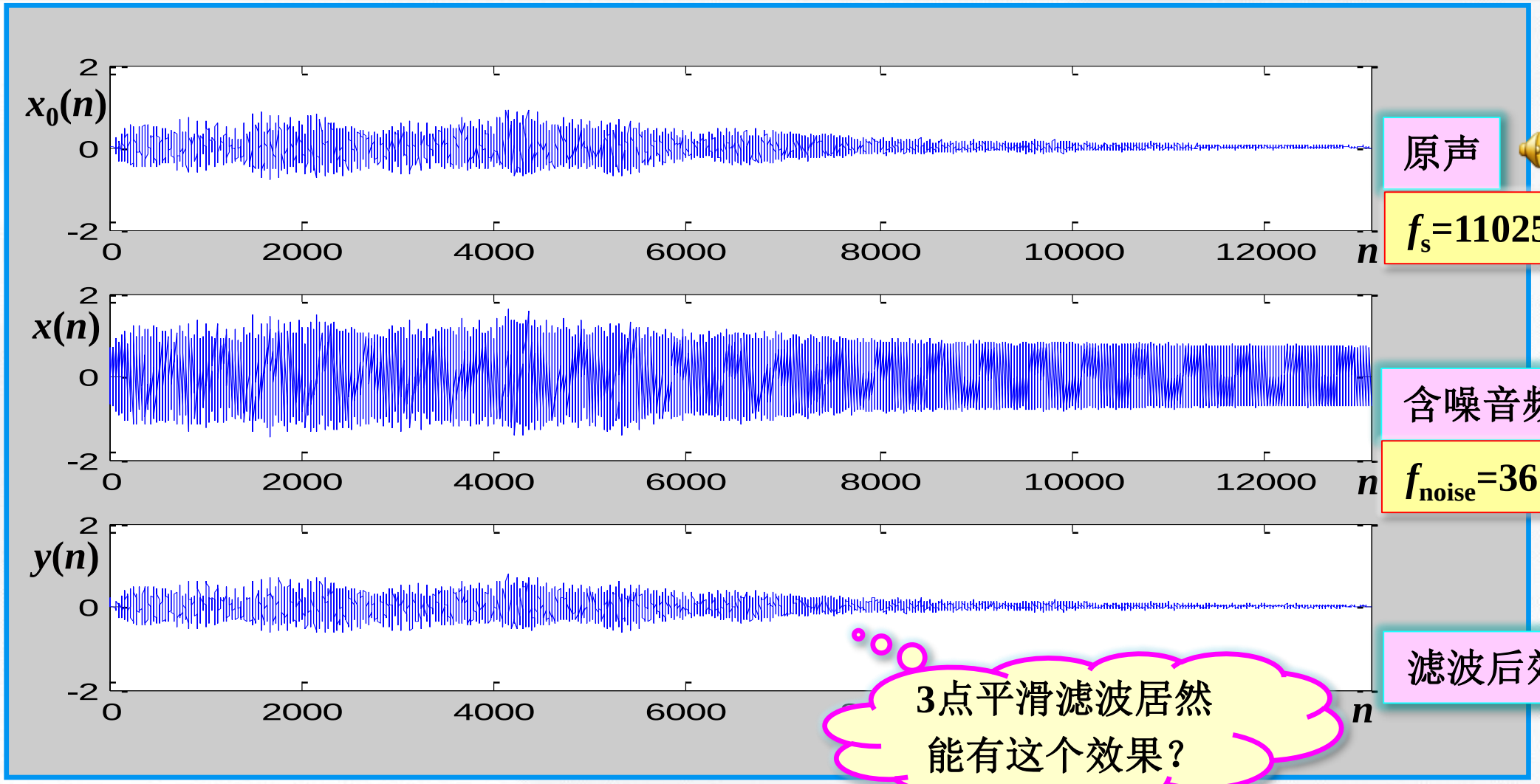
$$=x(n)*\left[\frac{1}{3}[\delta(n)+\delta(n-1)+\delta(n-2)]\right]$$

$$=\frac{1}{3}[x(n)+x(n-1)+x(n-2)]$$

3点算术平均滤波系统

# 2.4 系统频率响应的意义

◆仿真实验：3点算术平均滤波效果




原声

$f_s$=11025Hz

含噪音频

$f_{noise}$=3675Hz

滤波后效果

3点平滑滤波居然能有这个效果？

◆ 用频域分析法重识3点算术平均滤波系统

$$h(n)=\frac{1}{3}[\delta(n)+\delta(n-1)+\delta(n-2)]$$

$$\delta(n)=\begin{cases}1 & n=0\\ 0 & n\neq 0\end{cases}$$

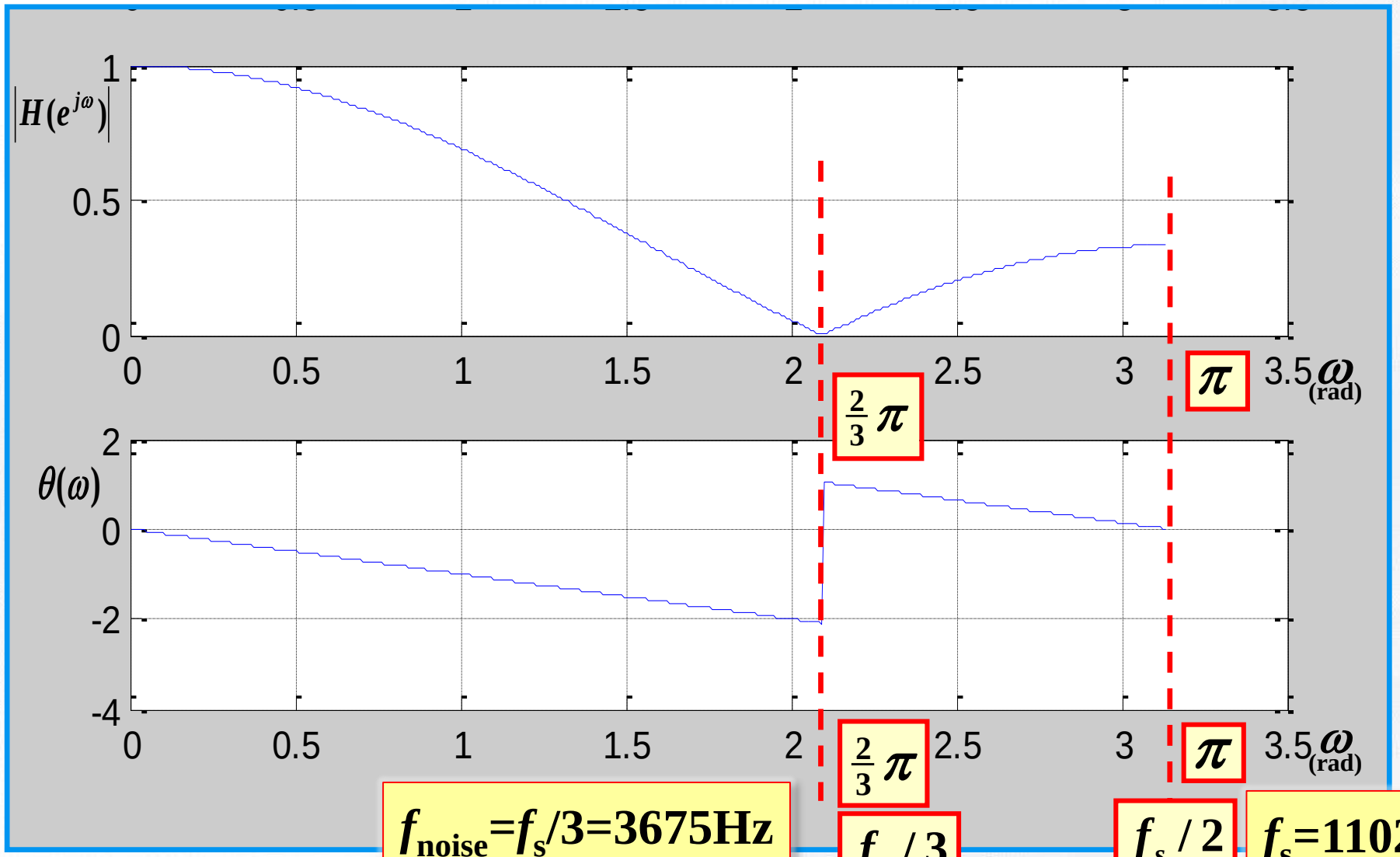
$$H(e^{j\omega})=\sum_{n=-\infty}^{\infty}h(n)e^{-j\omega n}=\sum_{n=-\infty}^{\infty}\frac{1}{3}[\delta(n)+\delta(n-1)+\delta(n-2)]e^{-j\omega n}$$

$$=\frac{1}{3}\sum_{n=0}^{2}e^{-j\omega n}=\frac{1}{3}\frac{1-e^{-j\omega 3}}{1-e^{-j\omega}}$$

$$=\frac{1}{3}\frac{e^{-j\omega 3/2}(e^{j\omega 3/2}-e^{-j\omega 3/2})/2j}{e^{-j\omega/2}(e^{j\omega/2}-e^{-j\omega/2})/2j}=\frac{1}{3}e^{-j\omega}\frac{\sin\left(\frac{3}{2}\omega\right)}{\sin\left(\frac{\omega}{2}\right)}$$

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

# 2.4 系统频率响应的意义




$$H(e^{j\omega})=\frac{1}{3}\frac{\sin\left(\frac{3}{2}\omega\right)}{\sin\left(\frac{\omega}{2}\right)}e^{-j\omega}$$

幅频响应：

$$|H(e^{j\omega})|=\frac{1}{3}\left|\sin\left(\frac{3}{2}\omega\right)\Big/\sin\left(\frac{\omega}{2}\right)\right|$$

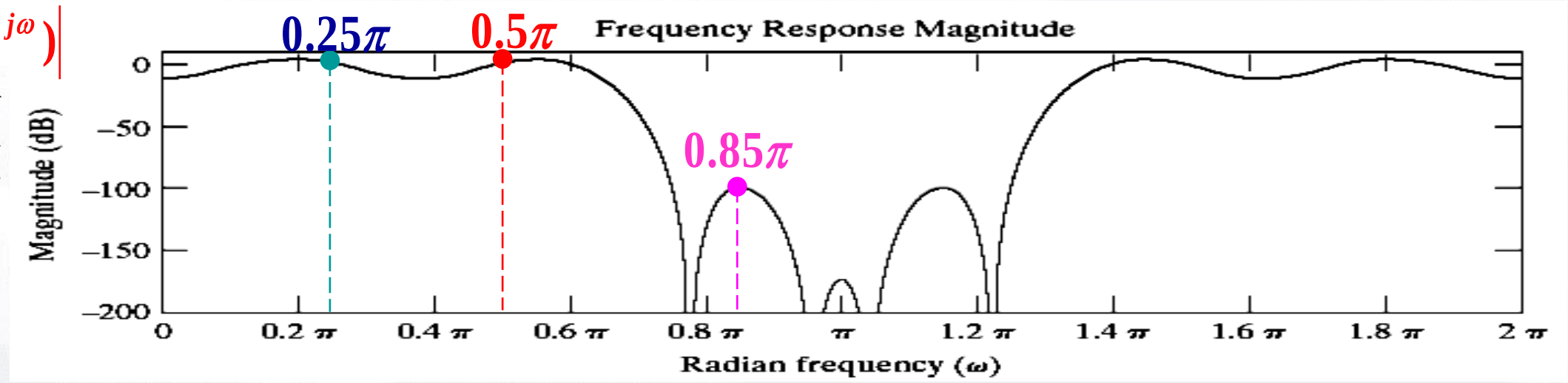
相频响应：

$$\theta(\omega)=\begin{cases}-\omega & 0\le\omega<\frac{2}{3}\pi\\ \pi-\omega & \frac{2}{3}\pi\le\omega\le\pi\end{cases}$$

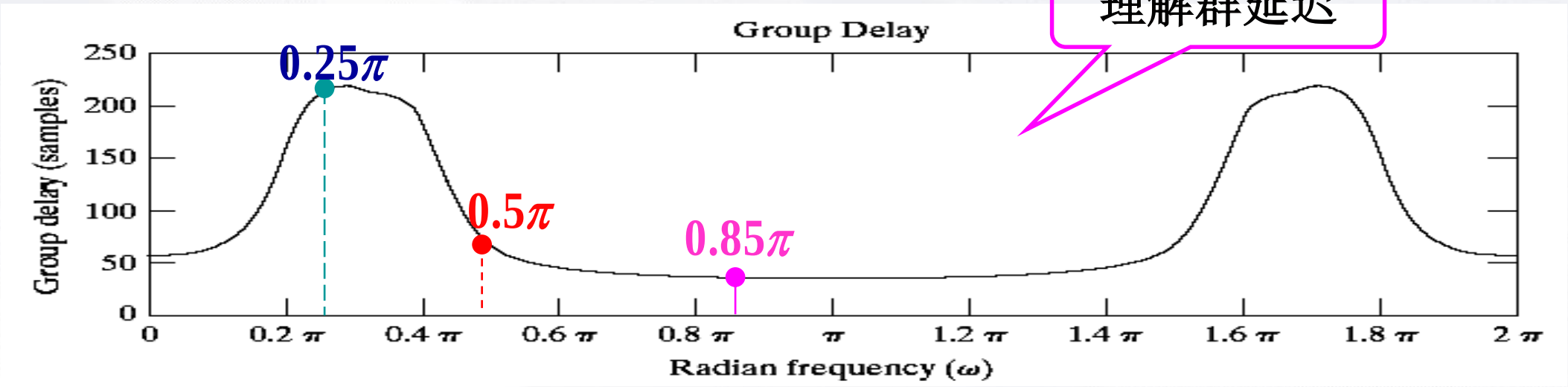
# 2.4 系统频率响应的意义

## 例3：分析下图的系统频率响应的作用

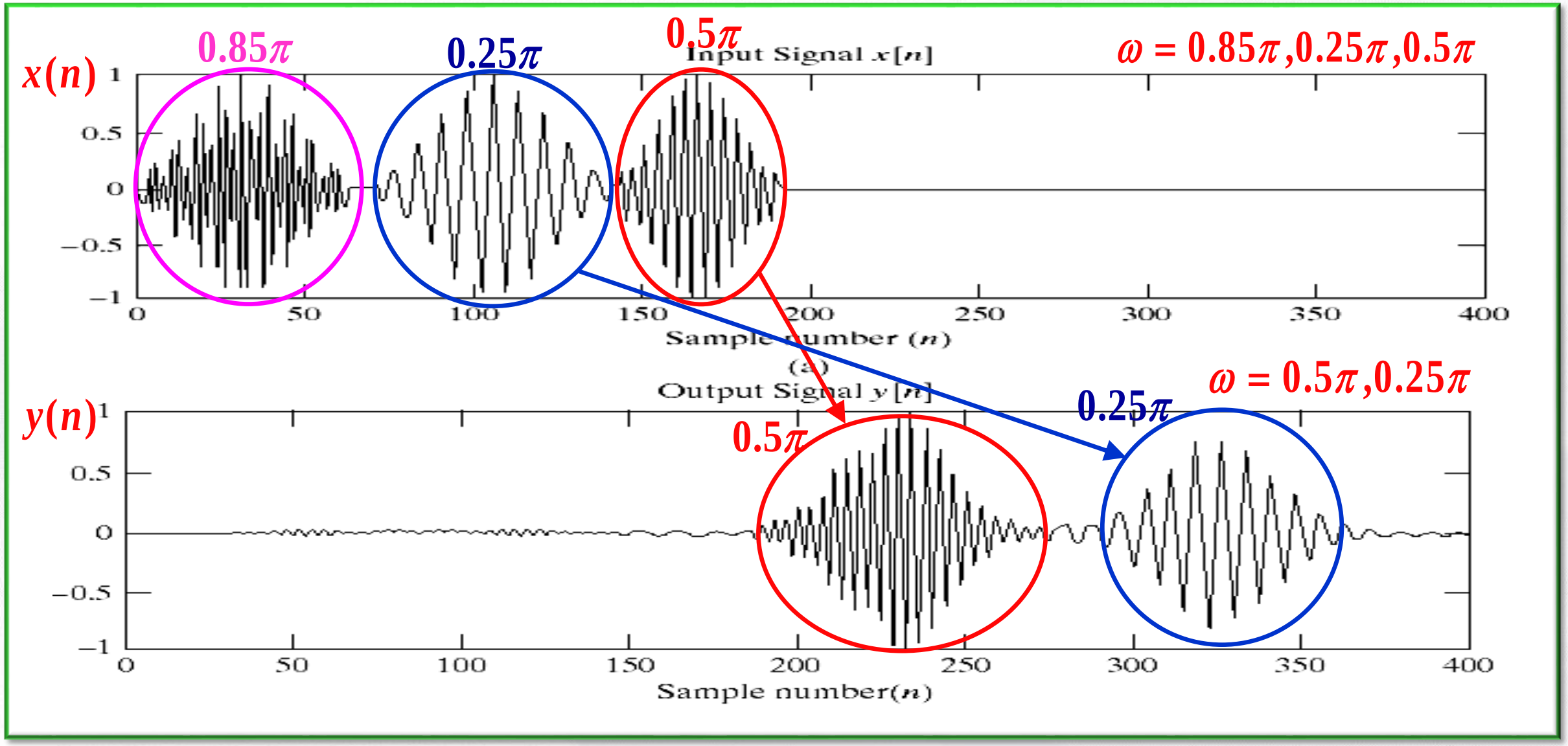
$|H(e^{j\omega})|$ 幅度（dB）




群延迟（样本）



# 2.4 系统频率响应的意义



# 第二章 z 变换与LSI系统频域分析

*The z Transform and Frequency domain analysis of LSI System*

## 2.4 系统频率响应的意义(2)

华东理工大学信息科学与工程学院 万永菁