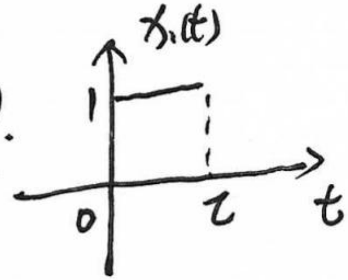
22、求傅里叶变换

(a)

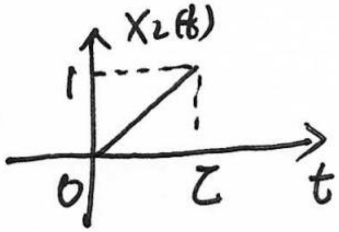


利用时移特性 $x_1(t) = g(t-\frac{\tau}{2})$

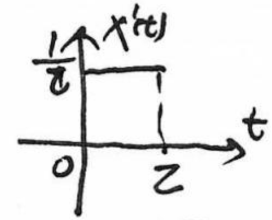
所以 $\mathcal{F}[g(t)] = E\tau\cdot Sa\frac{\omega\tau}{2} = \tau Sa\frac{\omega\tau}{2}$.

$\mathcal{F}[x(t)] = e^{-j\omega\cdot\frac{\tau}{2}}\mathcal{F}[g(t)] = e^{-j\omega\frac{\tau}{2}}\cdot\tau\cdot Sa\frac{\omega\tau}{2}$.

(b)



设 $x'(t) = \frac{dx_2(t)}{dt}$



因为 $x'(t) \longleftrightarrow E\cdot\tau\cdot Sa\frac{\omega\tau}{2}\cdot e^{-j\omega\frac{\tau}{2}} = Sa\frac{\omega\tau}{2}\cdot e^{-j\omega\frac{\tau}{2}}$.

所以 $X_2(t) = \frac{1}{j\omega}Sa\frac{\omega\tau}{2}\cdot e^{-j\omega\frac{\tau}{2}}$.

23. (2) $x(t) = \dfrac{2a}{a^2+t^2} \quad -\infty < t < \infty$

$$e^{-a|t|} \longleftrightarrow \frac{2a}{a^2+w^2} \quad a>0$$

$$f(w) = \frac{2a}{a^2+w^2}$$

$$F^{-1}[f(w)] = e^{-a|t|} \quad a>0$$

$$\therefore \frac{2a}{a^2+t^2} \longleftrightarrow 2\pi e^{-a|w|}$$

2.4(4) $u(-t) \xleftrightarrow{F} \pi\delta(w) + \frac{1}{jw}$

$u(-t+1) \xleftrightarrow{F} [\pi\delta(w) + \frac{1}{jw}]e^{jw}$

$e^{-2t}u(-t+1) \xleftrightarrow{F} [\pi\delta(w+2) + \frac{1}{j(w+2)}]e^{j(w+2)}$

2.4(5) $u(t) \xleftrightarrow{F} \pi\delta(w) + \frac{1}{jw}$

(4). $f(t) = e^{-2t} u(t+1)$

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-2t} u(t+1)\, e^{-jwt} dt = \int_{-1}^{\infty} e^{-(2+jw)t} dt = -\frac{e^{-(2+jw)t}}{2+jw}\Big|_{-1}^{\infty}$$

$$= \frac{e^{2+jw}}{2+jw}$$

(5). $f(t) = u(\frac{t}{2}-1)$

$$F(\omega) = 2\left[\pi\delta(2\omega) + \frac{1}{2j\omega}\right]\cdot e^{-j\cdot 2\omega}$$

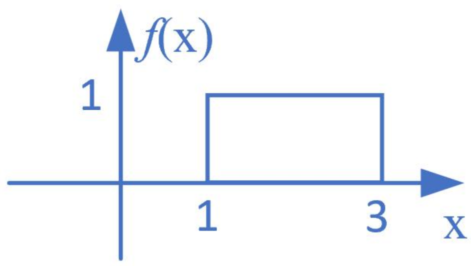
$$= \left[2\pi\delta(2\omega) + \frac{1}{j\omega}\right]\cdot e^{-j\cdot 2\omega}$$

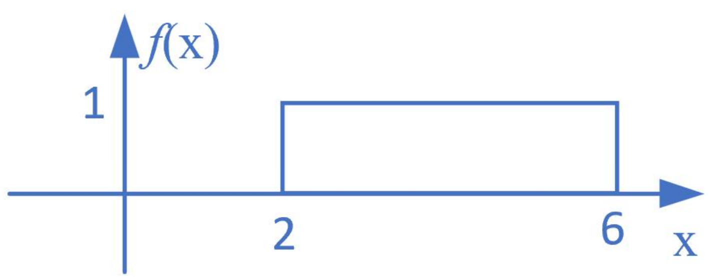
(8). $e^{jt}x(3-2t)$

$$x(3-2t) \leftrightarrow \frac{1}{2}X(-\frac{\omega}{2}\cdot\frac{3}{2}) \leftrightarrow \frac{1}{2}X(-\frac{\omega}{2})\cdot e^{-j\cdot\frac{3}{2}\cdot\omega}$$

$$e^{jt}\cdot x(3-2t) \leftrightarrow \frac{1}{2}X(-\frac{\omega-1}{2})\cdot e^{-j\cdot\frac{3}{2}(\omega-1)} = \frac{1}{2}X(\frac{1-\omega}{2})\cdot e^{j\cdot\frac{3}{2}(1-\omega)}$$

补充：利用傅里叶变换的性质，
计算下列两个信号的频谱





第三章 离散信号的分析

方璐 2教322
杭州电子科技大学 自动化学院

本章大纲

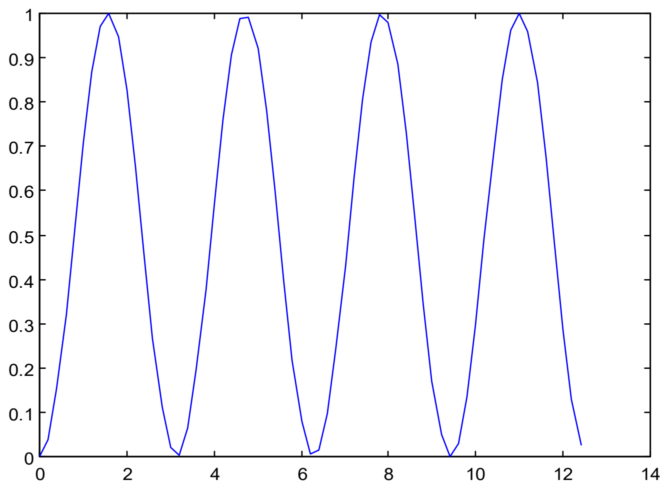
- 离散信号的时域描述和分析
- 离散信号的频域分析
- 快速傅立叶变换（FFT）
- 离散信号的Z域分析

连续信号与离散信号

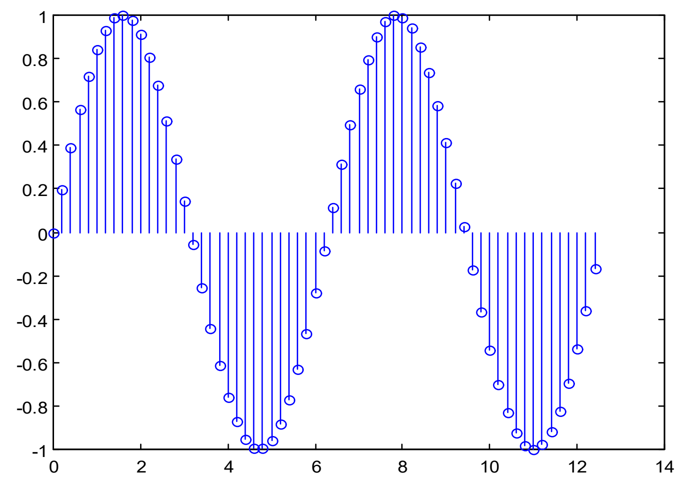
自变量连续可变，信号在自变量的连续值上都有定义

自变量取一组离散值，信号仅定义在离散时刻点上

连续信号



离散信号



第一节 离散信号的时域描述和分析

一、信号的采样和恢复

二、时域采样定理

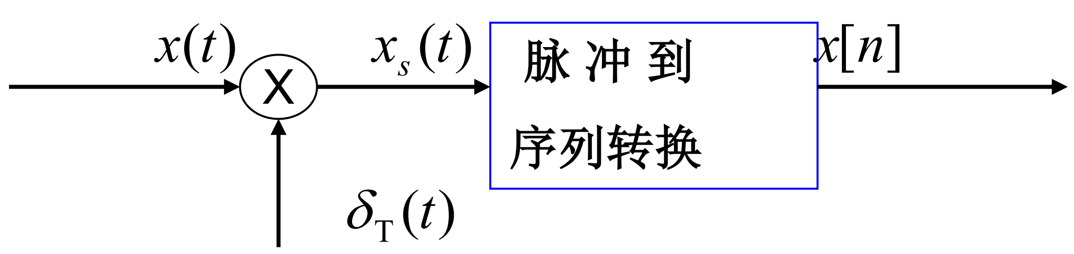
三、频域采样定理

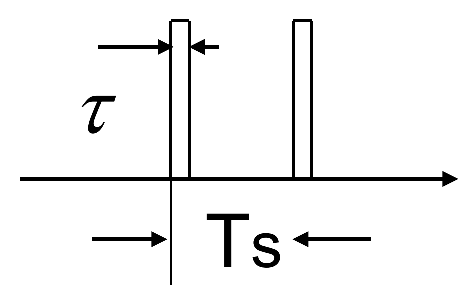
四、离散信号的描述

五、离散信号的时域运算

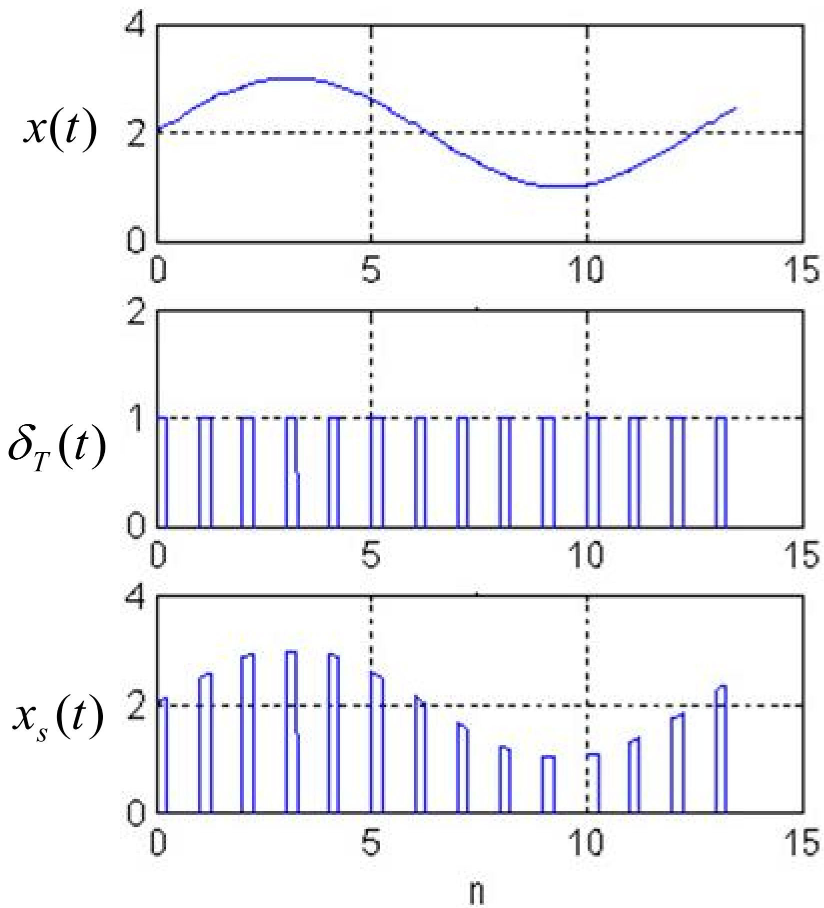
一、信号的采样和恢复

- 采样是利用周期性的脉冲序列p(t)，从连续时间信号中抽取一系列等间隔的离散值，得到采样信号即离散时间信号。
- 实际抽样所得的抽样信号在 $\tau \to 0$ 的极限情况下，将成为一冲激函数序列。这时，周期脉冲信号p(t)变成了冲激函数序列 $\delta_T(t)$。





一、信号的采样和恢复



理想化的采样过程，即为一个将连续信号进行脉冲调制的过程，即连续信号与周期性冲激串的乘积

$$\delta_{\mathrm{T}}(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}\delta(t-nT_s)$$

$$x_s(t)=x(t)\delta_{\mathrm{T}}(t)=x(t)\sum_{n=-\infty}^{\infty}\delta(t-nT_s)$$

$$=\sum_{n=-\infty}^{\infty}x(nT_s)\delta(t-nT_s)$$

其中，采样间隔**Ts**也称为采样周期

采样周期的倒数称为采样频率 $f_s=1/T_s$ ，其大小表示单位时间内采样点的个数，单位为**Hz**，$w_s=2\pi f_s$ 称为采样角频率，单位为**rad/s**。

一、信号的采样和恢复

讨　论：

（1）采样前后信号频谱的变化？

（2）什么条件下，可以从采样信号不失真地恢复出原信号？

一、信号的采样和恢复

$$x_s(t)=x(t)\delta_T(t)=x(t)\sum_{n=-\infty}^{\infty}\delta(t-nT_s)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}x(nT_s)\delta(t-nT_s)$$

$$x(t)\Leftrightarrow X(\omega)=\int_{t=-\infty}^{\infty}x(t)e^{-j\omega t}dt$$

$$\delta_{\mathrm{T}}(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}\delta(t-nT_s)\Leftrightarrow P(\omega)=\omega_s\sum_{n=-\infty}^{\infty}\delta(\omega-n\omega_s)$$

$$x_s(t)\Leftrightarrow X_s(\omega)=\frac{1}{2\pi}X(\omega)*P(\omega)=\boxed{\frac{1}{T_s}\sum_{n=-\infty}^{\infty}X(\omega-n\omega_s)}$$

- 抽样信号的频谱是连续信号频谱的周期延拓，周期为w_s
- 抽样后频谱幅度随着采样周期的增加而下降

课本P43

$$\delta_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_s)$$

$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(n\omega_s)e^{jn\omega_s t}$$

$$X(n\omega_s) = \frac{1}{T_s}\int_{-T_s/2}^{T_s/2} \delta_T(t)e^{-jn\omega_s t}dt$$

$$=\frac{1}{T_s}\int_{-T_s/2}^{T_s/2} \delta(t)e^{-jn\omega_s t}dt$$

$$=\frac{1}{T_s}$$

$\because x(t)$

$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(n\omega_0)e^{jn\omega_0 t}$$ (傅里叶级数展开)

(上式两边同时傅氏变换)

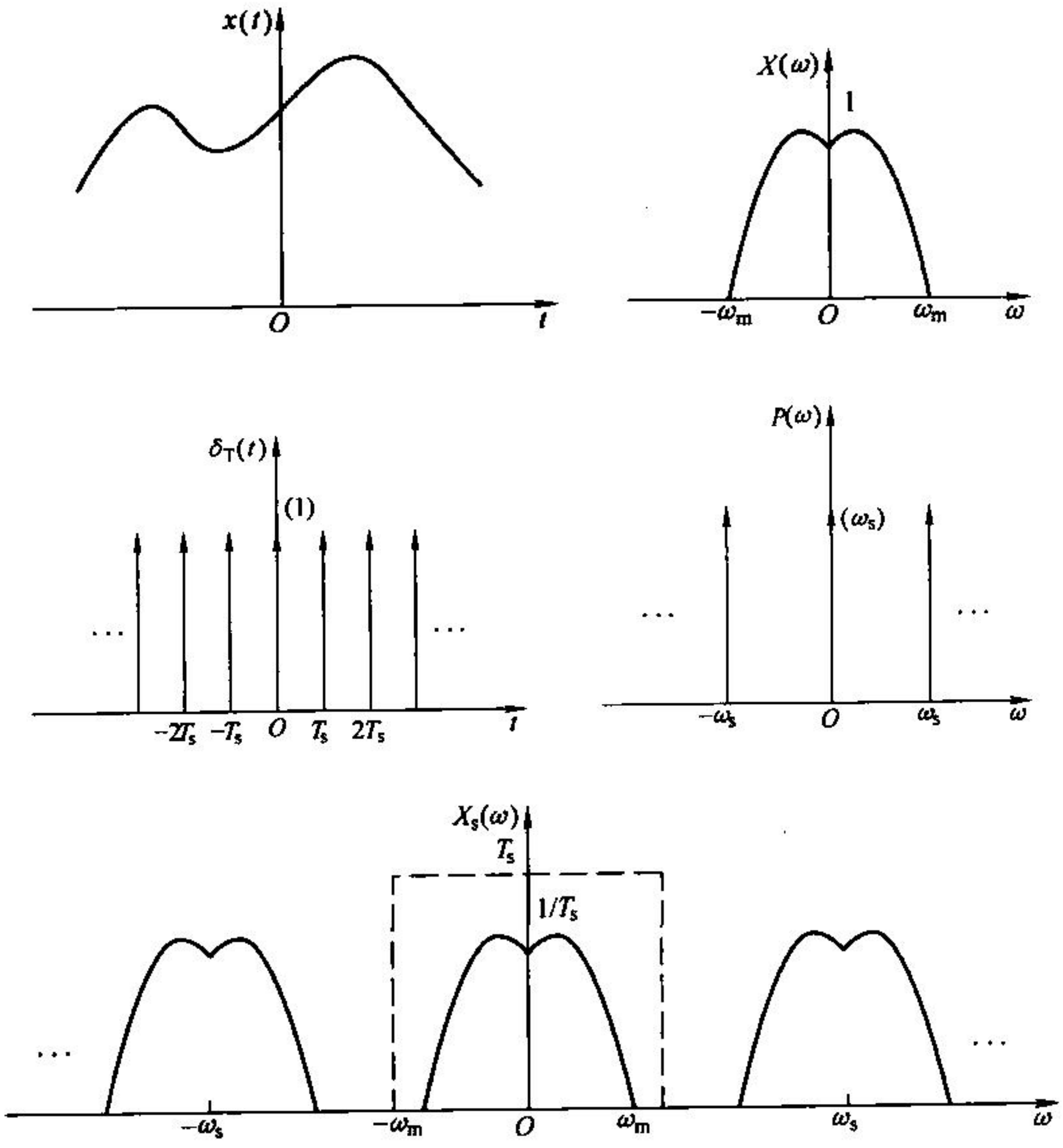
$$\therefore X(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} 2\pi X(n\omega_0)\delta(\omega - n\omega_0)$$

$$\therefore \Phi(\delta_T(t)) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} 2\pi X(n\omega_s)\delta(\omega - n\omega_s)$$

$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} 2\pi \frac{1}{T_s}\delta(\omega - n\omega_s)$$

$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} \omega_s\delta(\omega - n\omega_s)$$

即 $$P(\omega) = \omega_s \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_s)$$



$$x(t) \leftrightarrow X(\omega)$$

$$\delta(t) \leftrightarrow P(\omega)$$

$$x_s(t) \leftrightarrow X_s(\omega)$$

$$\boxed{\frac{1}{T_s}\sum_{n=-\infty}^{\infty} X(\omega - n\omega_s)}$$

第一节 离散信号的时域描述和分析

一、信号的采样和恢复

二、时域采样定理

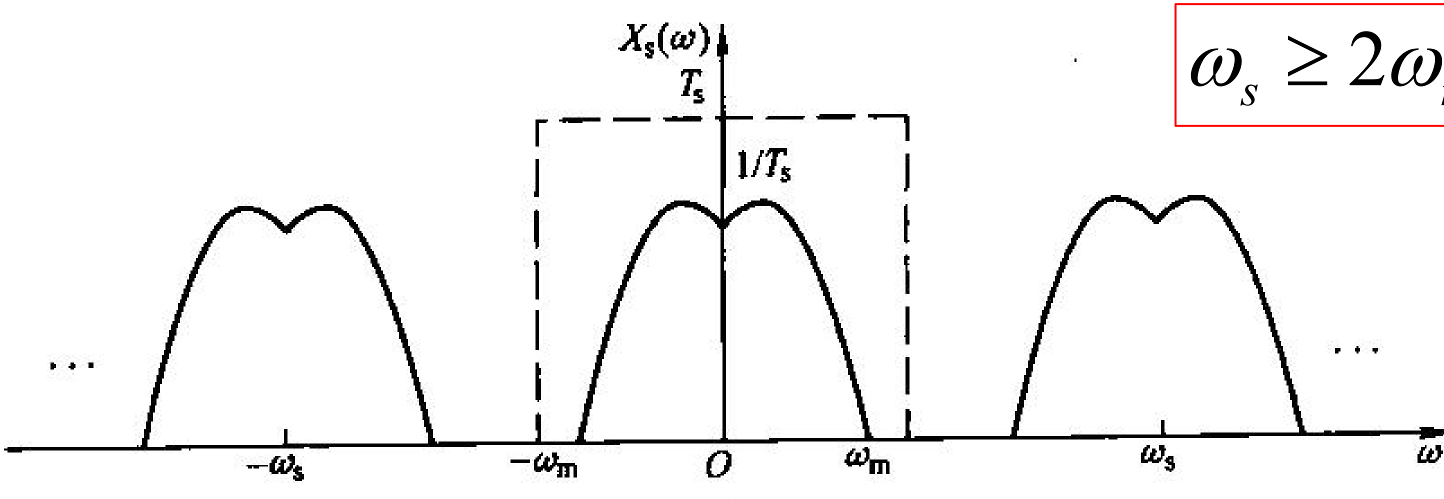
三、频域采样定理

四、离散信号的描述

五、离散信号的时域运算

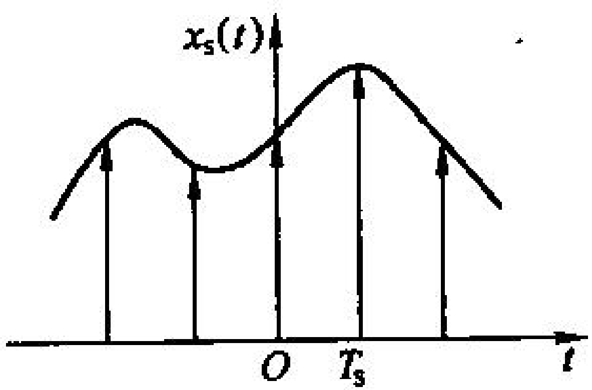
二、时域采样定理

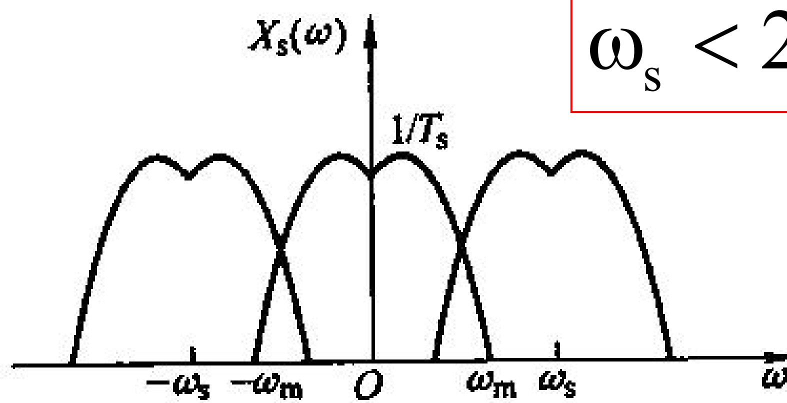
$$\omega_s \geq 2\omega_m$$



$$\omega_s < 2\omega_m$$

频谱混叠





二、时域采样定理

时域采样定理（香农定理）：

对于频谱受限的信号 $x(t)$，如果其最高频率分量为 ω_m，为了保留原信号的全部信息，或能无失真地恢复原信号，在通过采样得到离散信号时，其采样频率应满足 $\omega_s \geq 2\omega_m$。

通常把最低允许的采样频率 $\omega_s = 2\omega_m$ 称为奈奎斯特频率。

怎样恢复原信号？（重构）

- 重构的频域表示

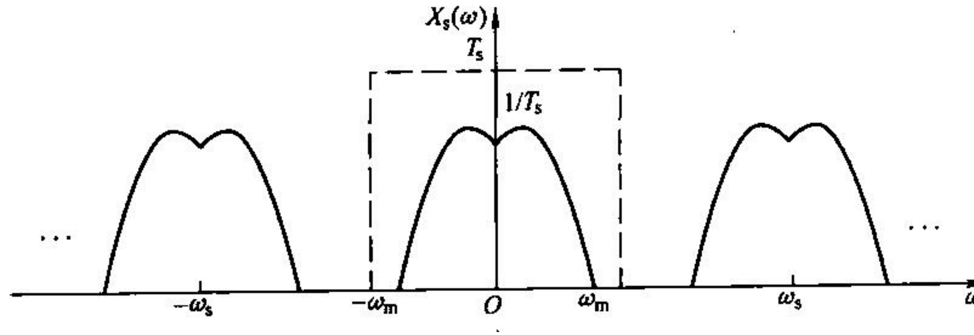
$$X(\omega)=G(\omega)X_s(\omega)$$

式中，

$$G(\omega)=\begin{cases}T_s, & |\omega|\le\omega_s/2\\ 0, & |\omega|\ge\omega_s/2\end{cases}$$

且，

$$x(t)=g(t)*x_s(t)$$



$$\boxed{g(t)=\frac{\sin\pi t/T_s}{\pi t/T_s}=Sa(\frac{\omega_s}{2}t)}$$

$$\boxed{x_s(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}x(nT_s)\delta(t-nT_s)}$$

二、时域采样定理

$$x(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}x(nT_s)\delta(t-nT_s)*g(t)$$

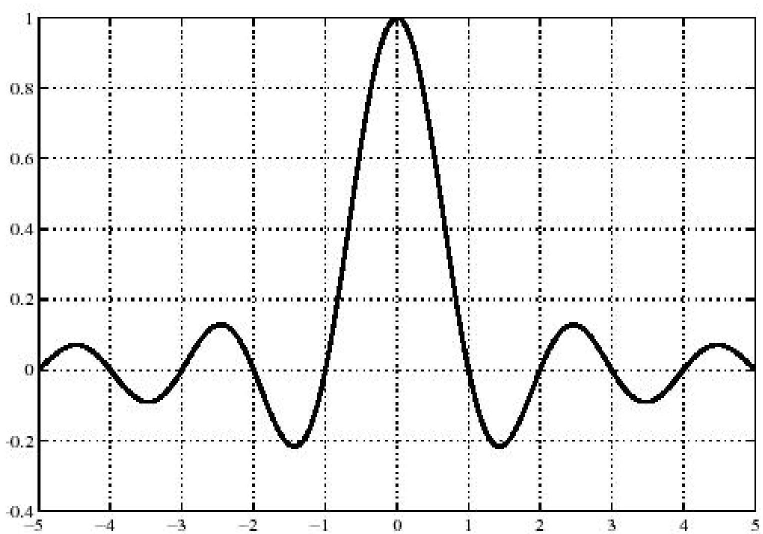
$$=\sum_{n=-\infty}^{\infty}x(nT_s)g(t-nTs)$$

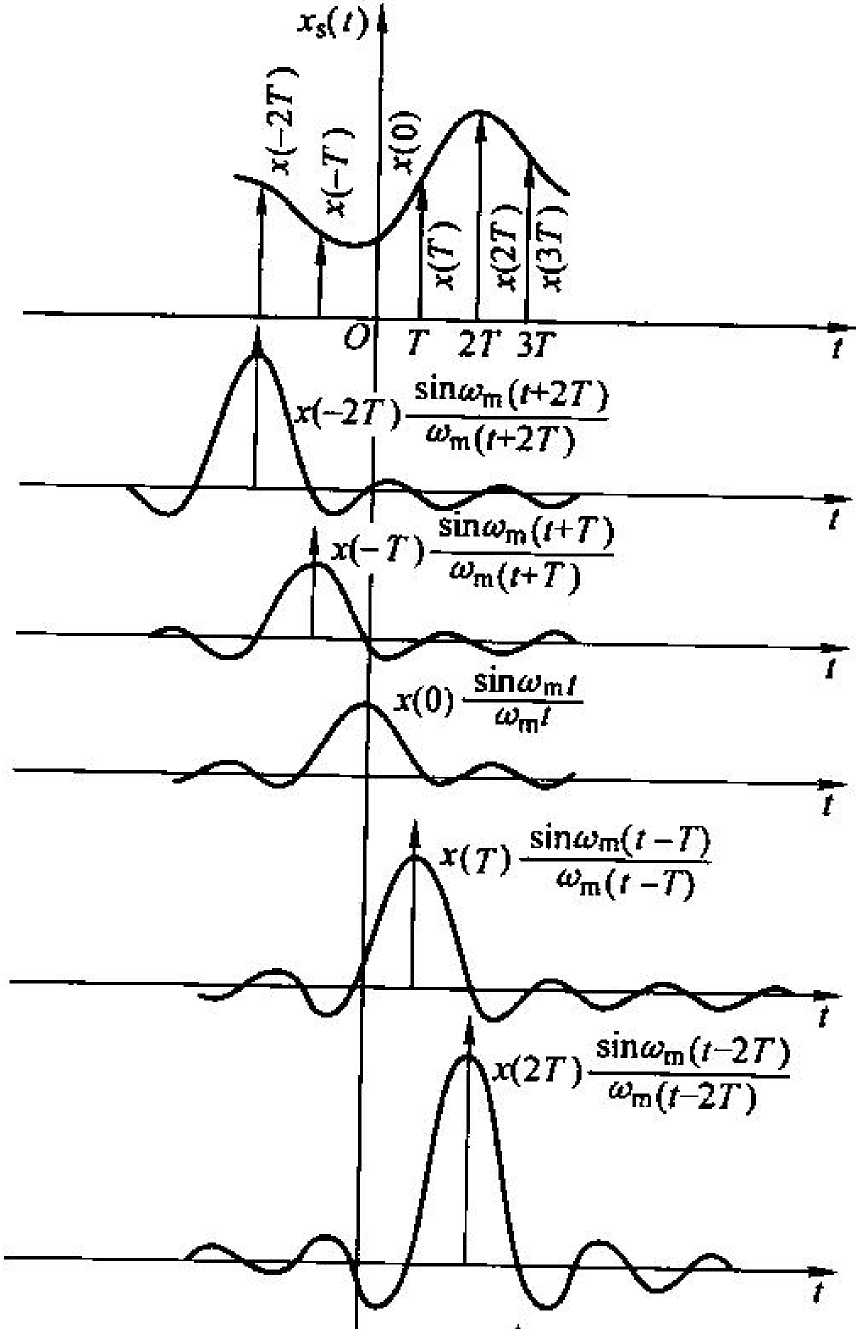
$$=\sum_{n=-\infty}^{\infty}x(nT_s)\frac{\sin[\pi(t-nT_s)/T_s]}{\pi(t-nT_s)/T_s}$$

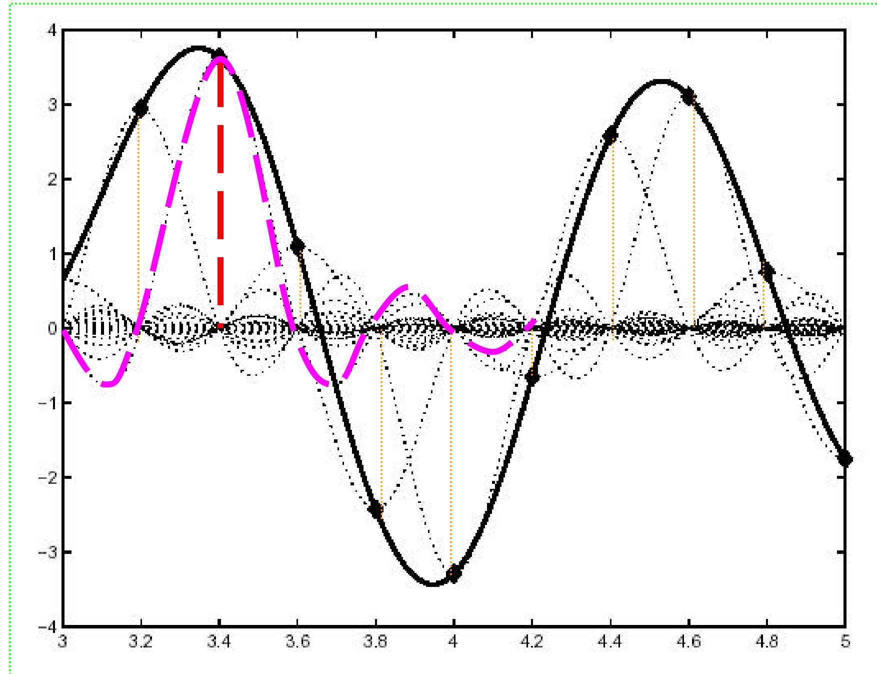
$$=\sum_{n=-\infty}^{\infty}x(nT_s)Sa\left(\frac{\omega_s}{2}(t-nT_s)\right)$$

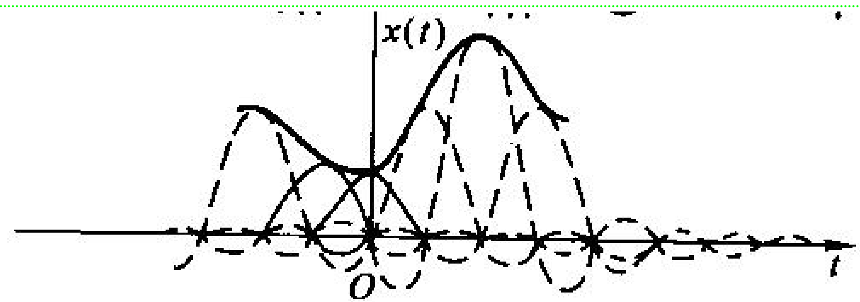
带限信号的插值

时域内插公式







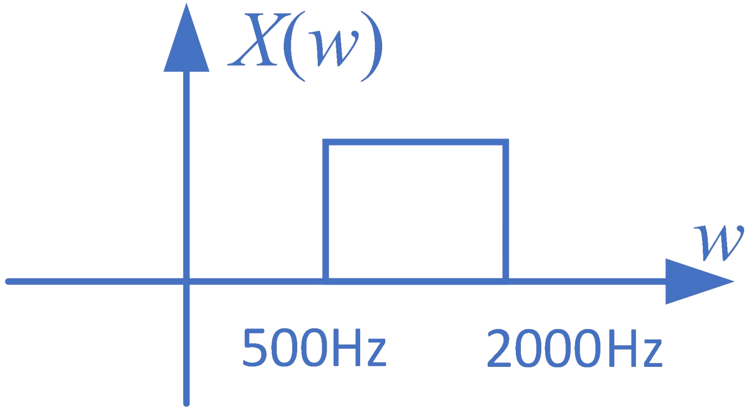


在时域中，每个采样时刻能给出准确的x(t)值，非采样时刻的x(t)由无限项之和决定。

单选题 5分

设置

已知某信号的频谱如下图所示，则为了在采样后能恢复出原信号的频谱，采样频谱应满足什么条件?



A 大于2000Hz

B 大于1000Hz

C 大于3000Hz

D 大于4000Hz

提交

第一节 离散信号的时域描述和分析

一、信号的采样和恢复

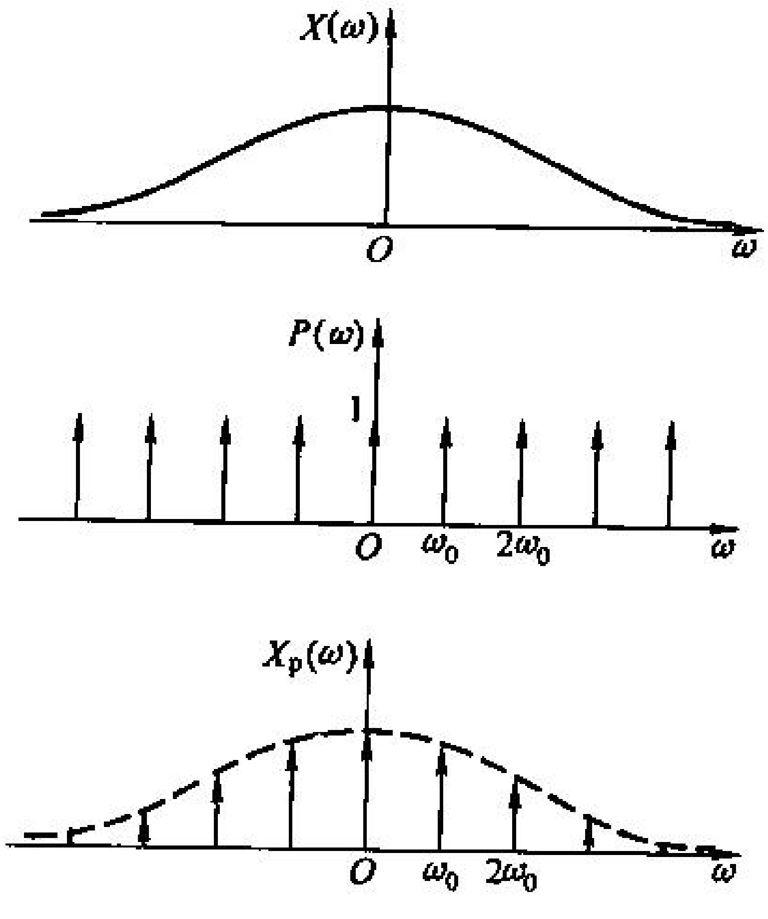
二、时域采样定理

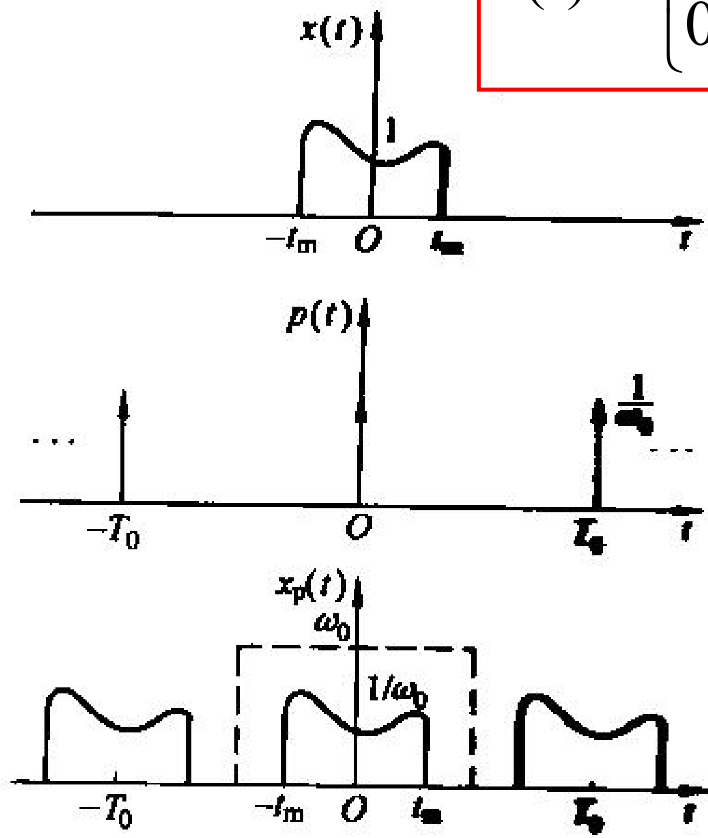
三、频域采样定理

四、离散信号的描述

五、离散信号的时域运算

三、频域采样定理





$$x(t) = \begin{cases} x(t) & |t| \le t_m \\ 0 & |t| > t_m \end{cases}$$

$$T_0 \ge 2t_m$$

$$\frac{2\pi}{T_0} \le \frac{2\pi}{2t_m}$$

$$\omega_0 \le \frac{\pi}{t_m}$$

三、频域采样定理

$$x(t) \Leftrightarrow X(\omega)$$

$$P(\omega)=\sum_{k=-\infty}^{\infty}\delta(\omega-k\omega_0) \Leftrightarrow p(t)=\frac{1}{\omega_0}\sum_{k=-\infty}^{\infty}\delta(t-kT_0)$$

$$X_p(\omega)=X(\omega)P(\omega)$$

式中，$\omega_0=2\pi/T_0$ —采样角频率（$radians/s$）.

$$x_p(t)=x(t)*p(t)=x(t)*\frac{1}{\omega_0}\sum_{k=-\infty}^{\infty}\delta(t-kT_0)$$

$$=\frac{1}{\omega_0}\sum_{k=-\infty}^{\infty}x(t-kT_0)$$

这一结论与时域信号的采样完全形成对偶关系。

$$\boxed{X_s(\omega)=\frac{1}{2\pi}X(\omega)*P(\omega)=\frac{1}{T_s}\sum_{k=-\infty}^{\infty}X(\omega-n\omega_s)}$$

三、频域采样定理

频域采样定理：

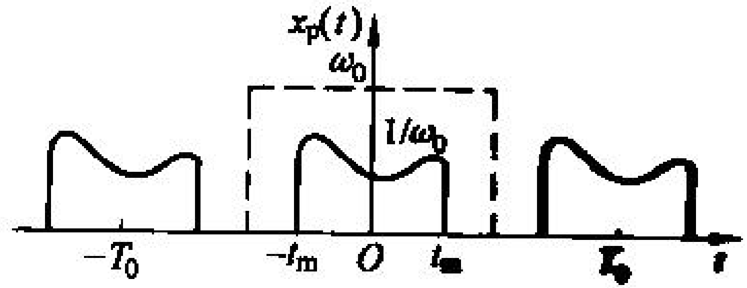
对于一个长度为 $2t_m$ 的时限信号，为了能够从频域样本集合完全恢复原信号的频谱，其频域采样间隔必须满足

$$\omega_0 \le \frac{\pi}{t_m}$$ 。

恢复原信号x(t)的连续频谱X(w)：将其周期延拓的信号$x_p(t)$乘上时域窗函数g(t)

三、频域采样定理

$$g(t)=\begin{cases}\omega_0 & |t|\le\dfrac{T_0}{2}\\ 0 & |t|\ge\dfrac{T_0}{2}\end{cases}$$



$$x(t)=x_p(t)g(t)\Leftrightarrow X(\omega)=\frac{1}{2\pi}X_p(\omega)*G(\omega)$$

$$X_p(\omega)=X(\omega)\sum_{k=-\infty}^{\infty}\delta(\omega-k\omega_0)=\sum_{k=-\infty}^{\infty}X(k\omega_0)\delta(\omega-k\omega_0)$$

$$\text{且}G(\omega)=2\pi Sa(\frac{T_0}{2}\omega)$$

$$\therefore X(\omega)=\frac{1}{2\pi}[\sum_{k=-\infty}^{\infty}X(k\omega_0)\delta(\omega-k\omega_0)*2\pi Sa(\frac{T_0}{2}\omega)]$$

$$\boxed{=\sum_{k=-\infty}^{\infty}X(k\omega_0)Sa(\frac{T_0}{2}(\omega-k\omega_0))}$$

频域内插公式

当$t_m=T_0/2$时，则有：

$$X(\omega)=\sum_{k=-\infty}^{\infty}X(k\omega_0)Sa(t_m(\omega-k\omega_0))$$

$$=\sum_{k=-\infty}^{\infty}X(k\omega_0)\frac{\sin t_m(\omega-k\omega_0)}{t_m(\omega-k\omega_0)}$$

频域内插公式表明：

在频域中，每个采样样本能给出准确的X(*w*)值，非样本值的X(w)由无限项之和决定。

频域的带限信号在时域是非时限的；
时域的时限信号在频域是非带限的。

第一节 离散信号的时域描述和分析

一、信号的采样和恢复

二、时域采样定理

三、频域采样定理

四、离散信号的描述

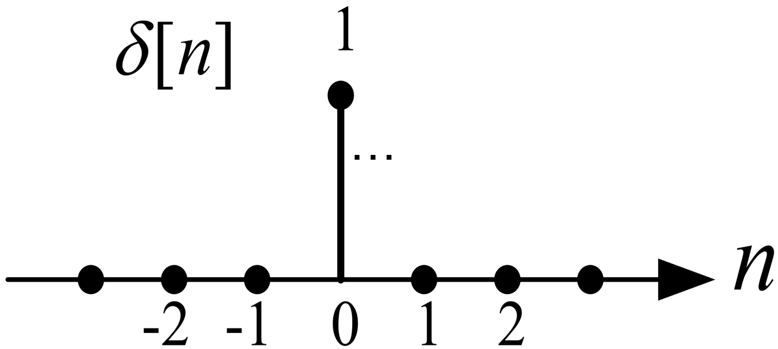
五、离散信号的时域运算

四、离散信号的描述

离散信号: {x[n]}

1. 单位脉冲序列:

$$\delta(n)=\begin{cases}1, & n=0\\ 0, & \text{其它}\end{cases}$$

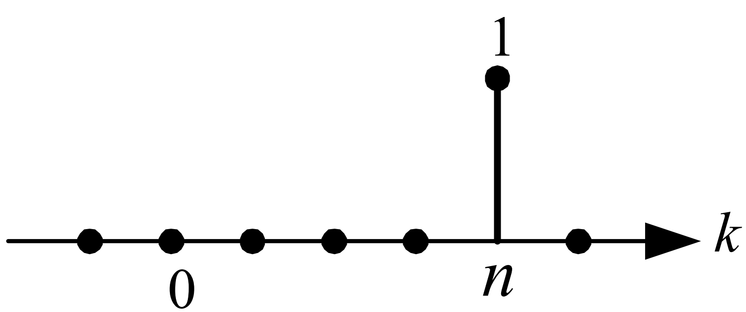


单位脉冲序列的作用

表示任意离散时间信号

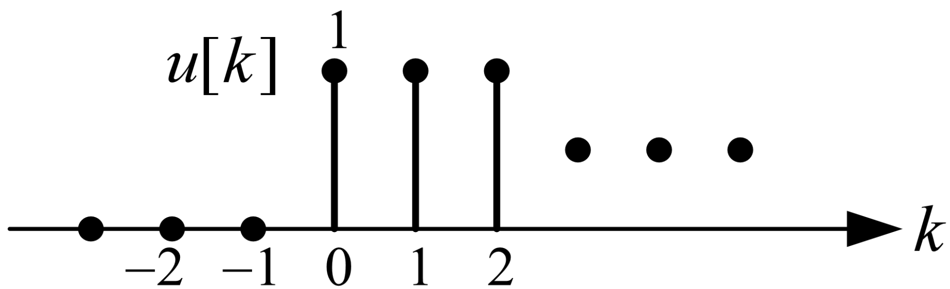
$$x(n)=\sum_{k=-\infty}^{\infty}x(k)\delta(k-n)$$

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



四、离散信号的描述

2. 单位阶跃序列：$u[n]=\begin{cases}1, & n\geq 0\\ 0, & 其它\end{cases}$



✓ δ[n]与u[n]的关系：

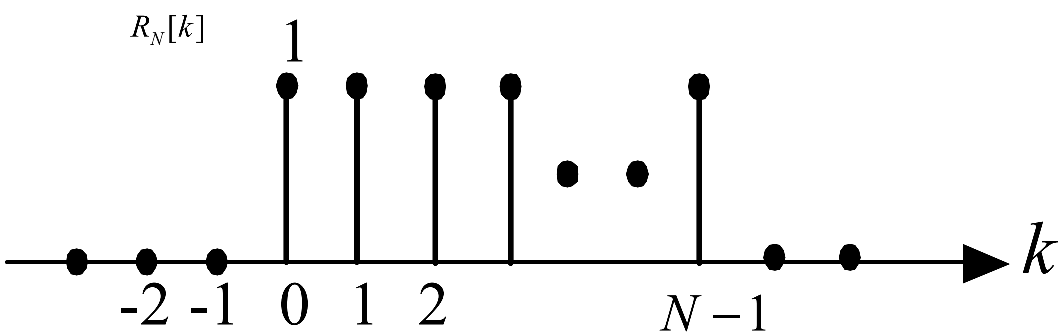
$$\delta[\mathbf{n}]=u[n]-u[n-1]$$

$$u[n]=\sum_{k=0}^{\infty}\delta[n-k]$$

四、离散信号的描述

3.矩形序列：

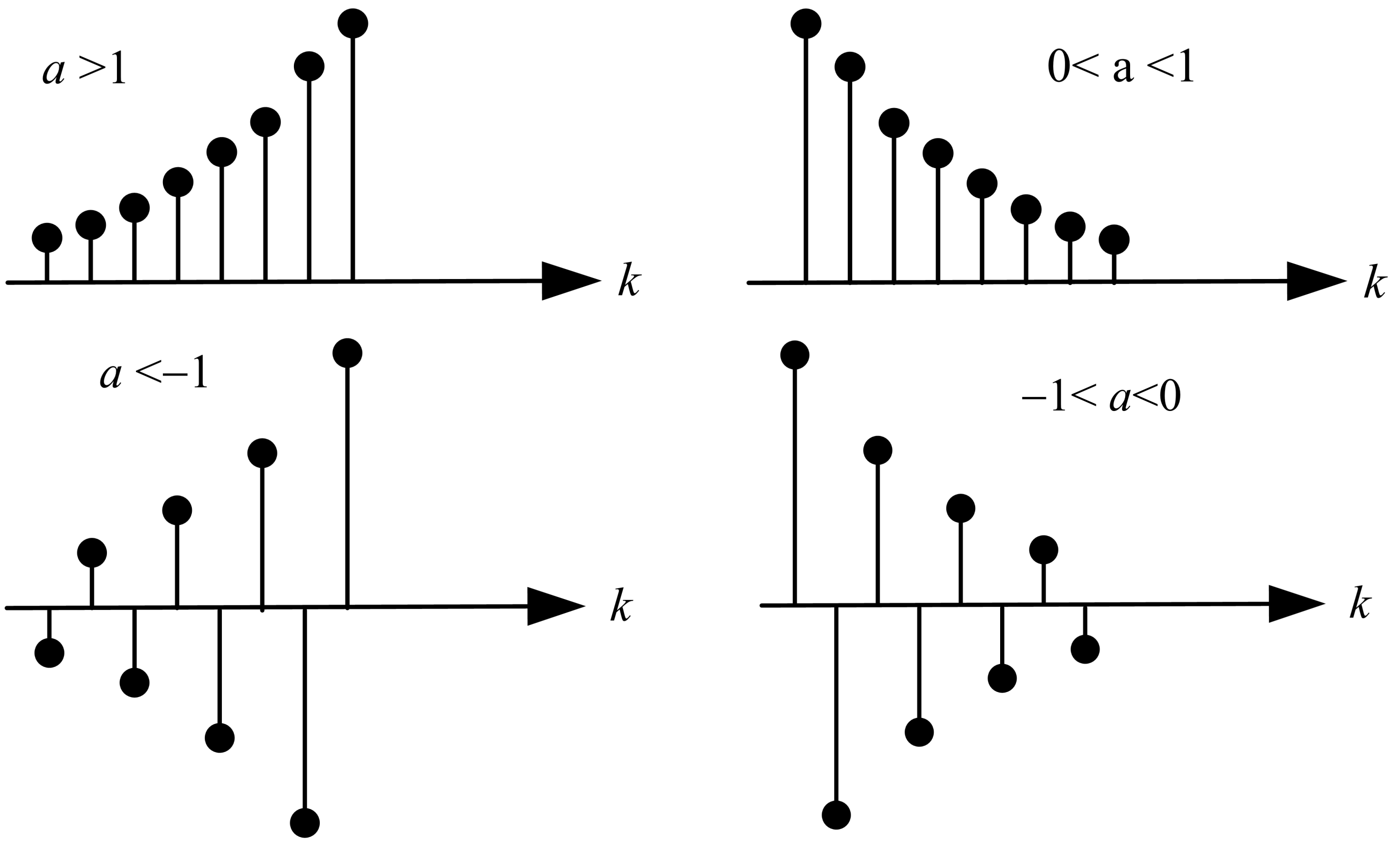
$$R_N[n]=\begin{cases}1, & 0\le n\le N\text{-}1\\ 0, & \text{其它}\end{cases}$$



$$R_N[n]=u[n]-u[n-N]=\sum_{m=0}^{N-1}\delta[n-m]$$

四、离散信号的描述

4.实指数序列: $x(n) = a^n u(n)$



四、离散信号的描述

5. 正弦型序列：

$$x(n) = A\sin(\omega t + \phi_0)\big|_{t=nT} = A\sin(n\omega T + \phi_0)$$

$$= A\sin(n\Omega + \phi_0)$$

式中，A是幅度，T为采样周期，$\Omega=\omega T$是离散域的角频率, 称为数字角频率，单位为弧度；ψ_0为初始相角。

周期性问题：$f(k) = \sin\Omega_0 k$是否为周期的？周期为多少？

满足下列式子，则$f(k)$为周期序列：

$$f(k) = f(k+N) = \sin\Omega_0 k = \sin(\Omega_0 k+\Omega_0 N)$$

所以必须满足：$N=2\pi k/\Omega_0$，(k为一整数，其取值使得$N=2\pi k/\Omega_0$为最小正整数)。

离散信号周期判断举例：

1) $f_1[k] = \sin(k\pi/6)$

$2\pi/\Omega_0 = 12$, 由于12是不可约的有理数，
故离散序列的周期N=12。 K=1

2) $f_2[k] = \sin(k/6)$,

$2\pi/\Omega_0 = 12\pi$, 由于 12π不是有理数，
故离散序列是非周期的。

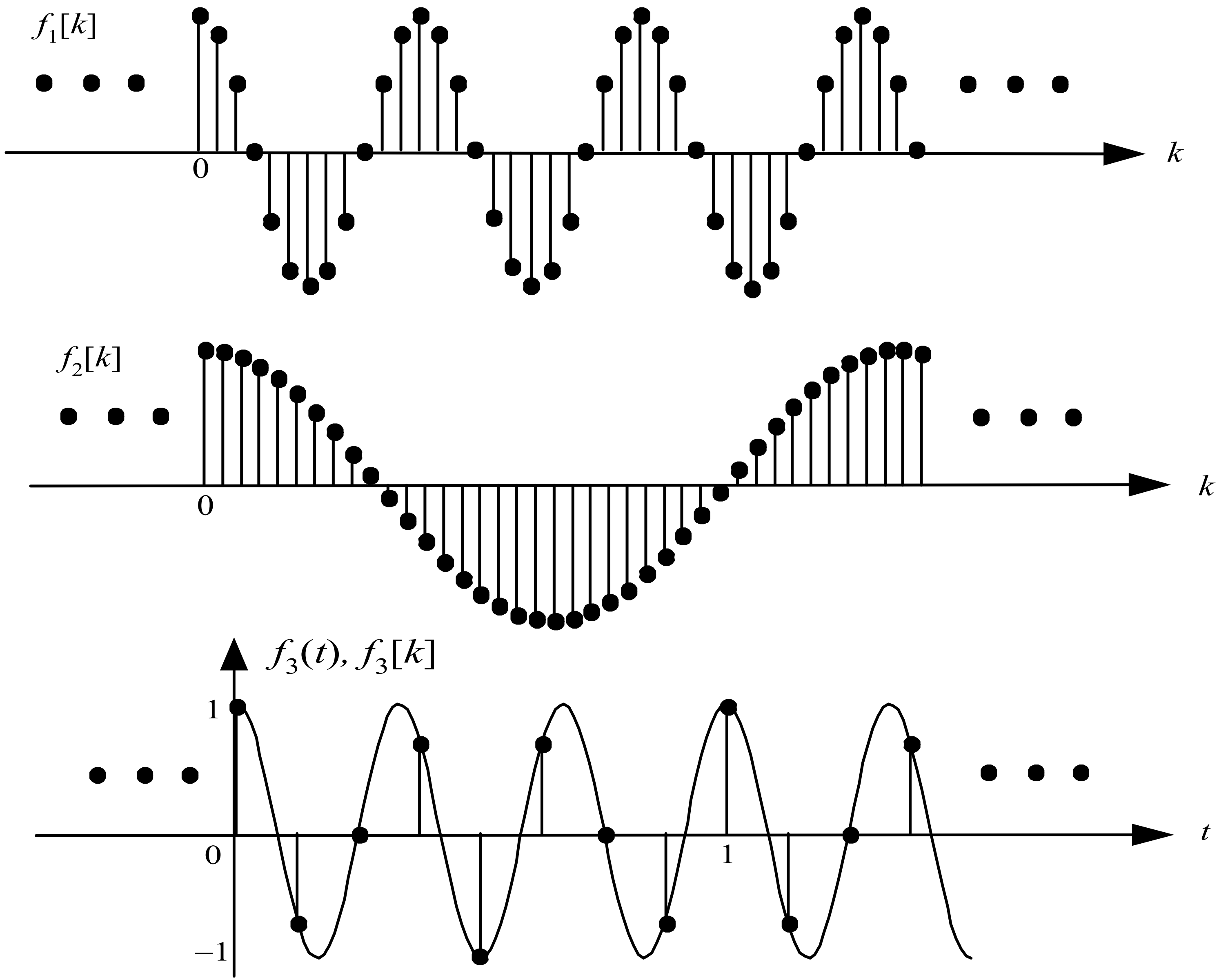
$N=2\pi k/\Omega$

3)对$f_3(t) = \sin 6\pi t$, 以f_s=8 Hz抽样所得序列

$$f_3[k] = f_3(t)\Big|_{t=\frac{1}{8}k} = \sin(\frac{6\pi}{8}k)$$

$2\pi/\Omega_0 = 8/3$, 由于8/3是不可约的有理数，故$f_3[k]$的周期为N=8。 K=3

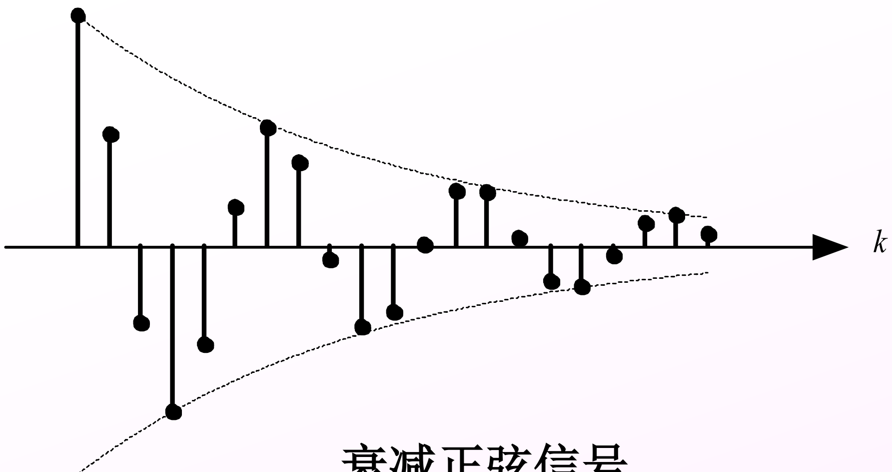
四、离散信号的描述



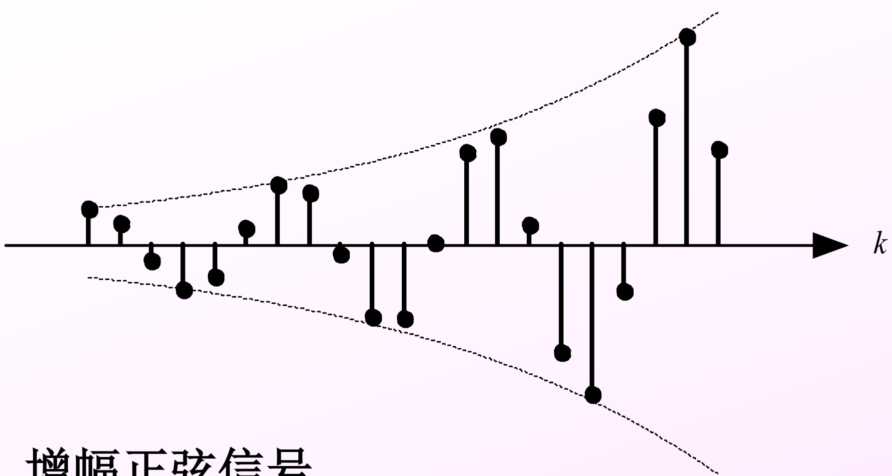
四、离散信号的描述

6. 复指数序列：

$$x(n) = e^{(\sigma + j\Omega)n} = e^{\sigma n}(\cos\Omega n + j\sin\Omega n)$$



衰减正弦信号



增幅正弦信号

Ω周期性

第一节 离散信号的时域描述和分析

一、信号的采样和恢复

二、时域采样定理

三、频域采样定理

四、离散信号的描述

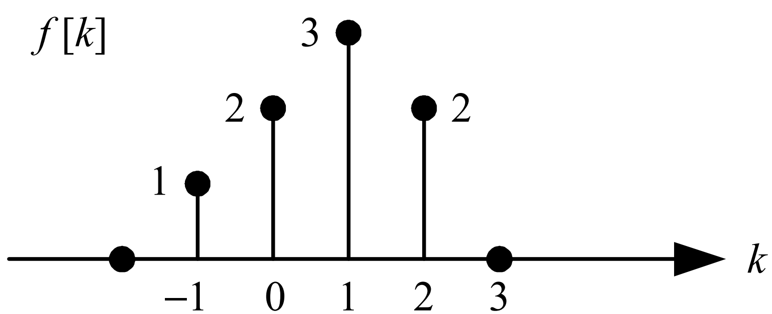
五、离散信号的时域运算

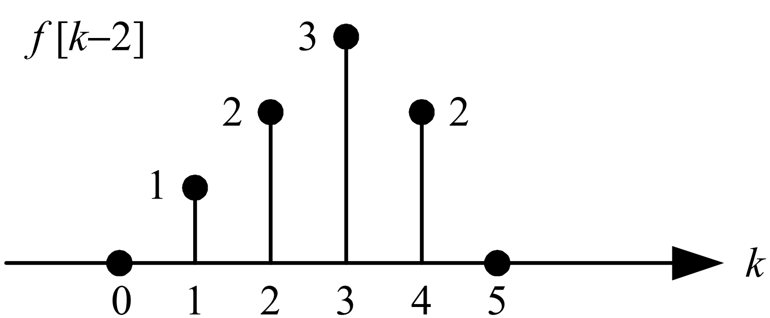
五、离散信号的时域运算

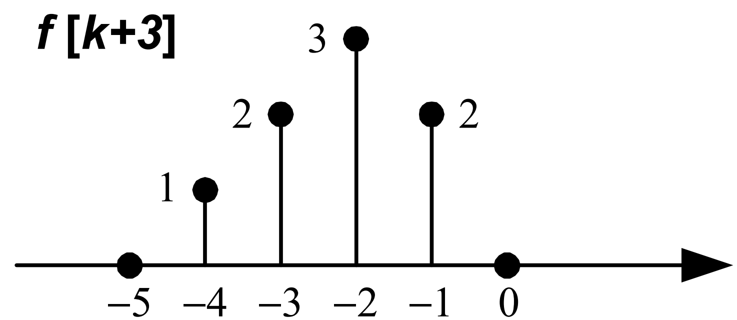
1. 平移 $x[k] = x[k \pm n]$

f **[*k*–*n*]表示将*f* [*k*]右移*n*个单位。**

f **[*k*+*n*]表示将*f* [*k*]左移*n*个单位。**



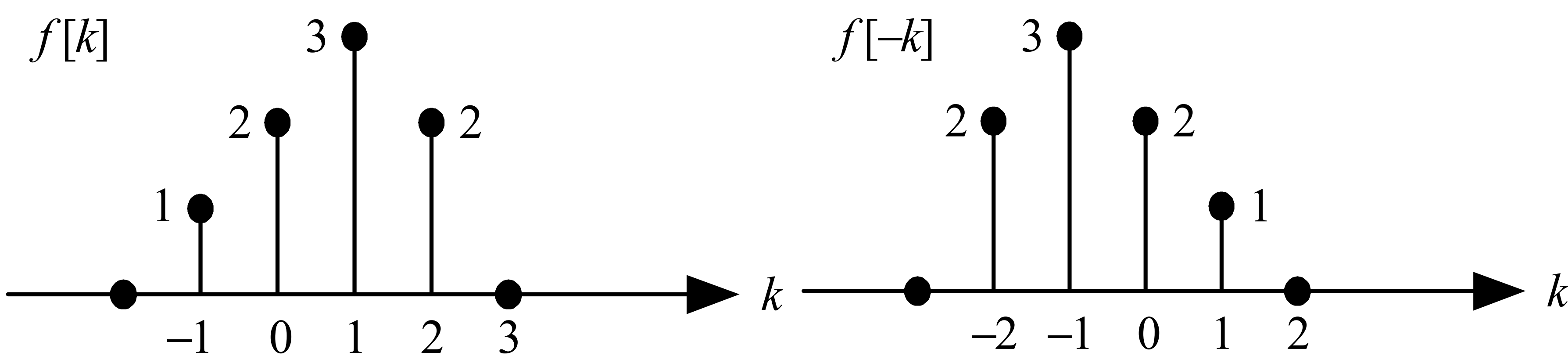




五、离散信号的时域运算

2. 翻转 $x[k] \rightarrow x[-k]$

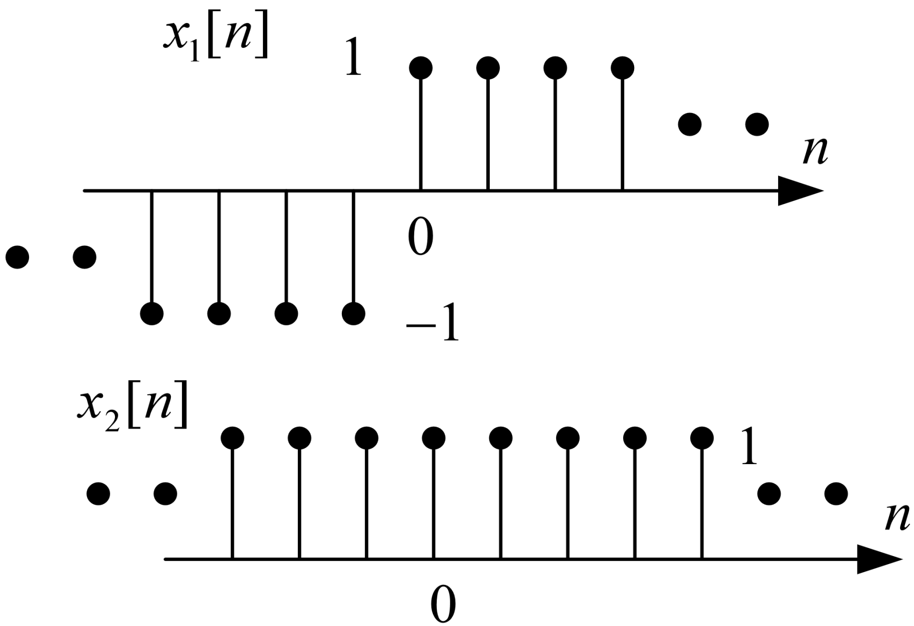
若有序列x(k)，则x(-k)是以纵轴为对称轴将序列x(k)加以翻转得到的新序列

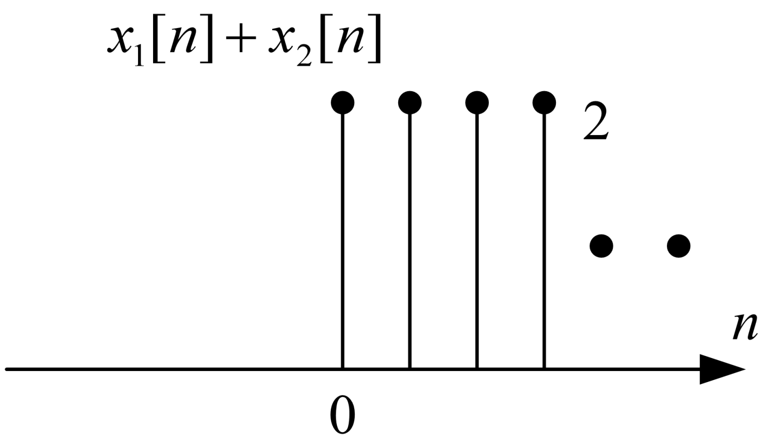


五、离散信号的时域运算

3. 相加 $$y[n]=x_1[n]+x_2[n]$$

指将若干离散序列序号相同的数值相加





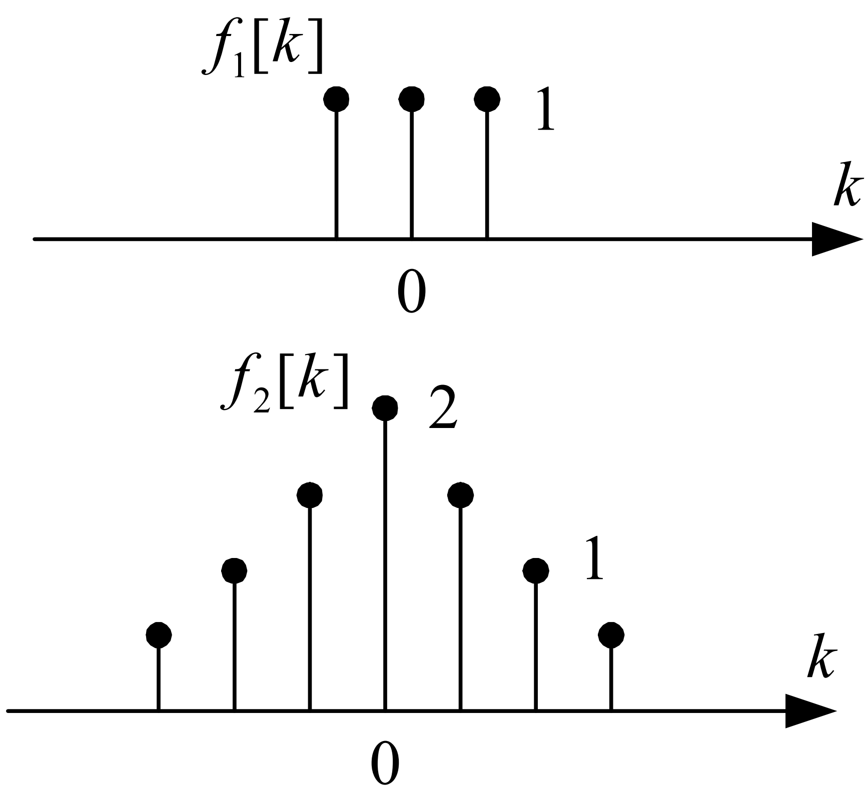
例题：课本P120 例2-3

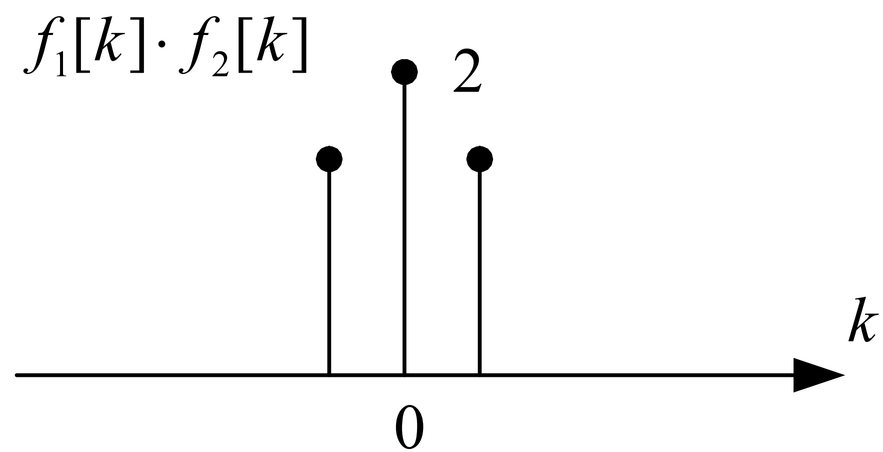
注意区分x和y函数的自变量区间的不同

五、离散信号的时域运算

4. 相乘 $y[\mathrm{n}]=x_1[n]x_2[n]$

指若干离散序列序号相同的数值相乘

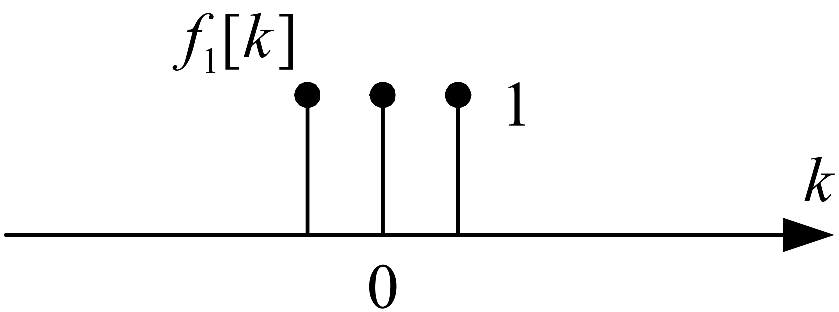


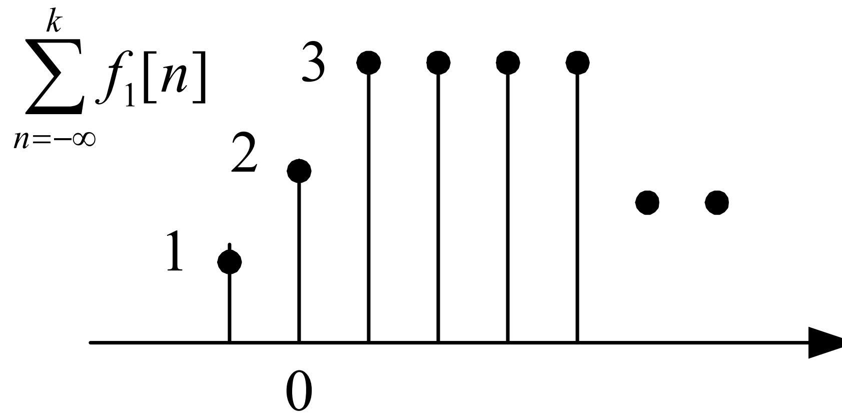


五、离散信号的时域运算

5. 累加

$$y[n]=\sum_{k=-\infty}^{n}x[k]$$





- 单位阶跃序列可用单位脉冲序列的求和表示

$$u[k]=\sum_{n=-\infty}^{k}\delta[n]$$

五、离散信号的时域运算

6. 差分运算

前向差分：$\Delta x[n]=x[n+1]-x[n]$

后向差分：$\nabla x[n]=x[n]-x[n-1]$

由此得出：$\nabla x[n]=\Delta x[n-1]$

- **单位脉冲序列可用单位阶跃序列的差分表示**

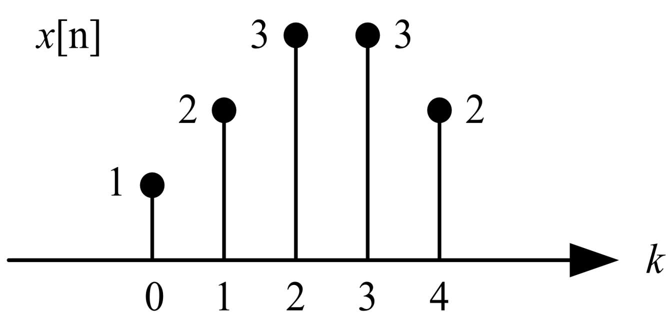
$$\delta[n]=u[n]-u[n-1]$$

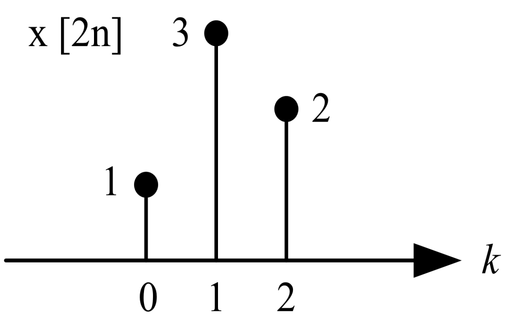
五、离散信号的时域运算

7. 时间尺度（比例）变换

- **抽取(decimation)** $\downarrow m$

$x[n] \rightarrow x[nm]$ m为正整数

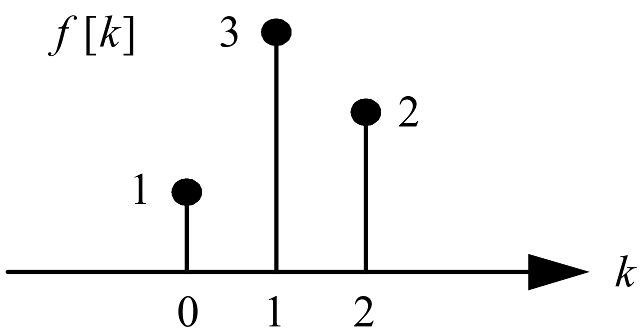


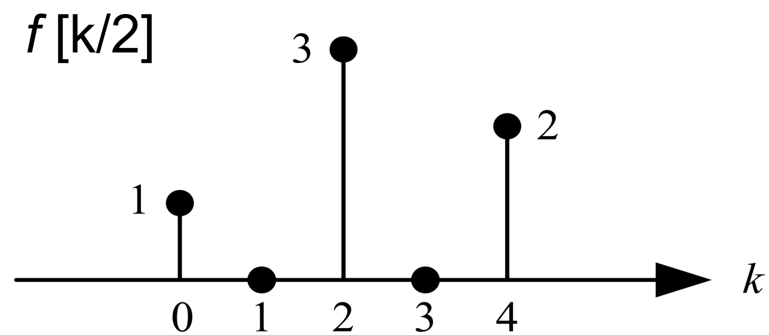


五、离散信号的时域运算

➢ 内插(interpolation) ↑*M*

$$f_{\mathrm{I}}[k]=\begin{cases} f[k/M] & k\text{是}M\text{的整数倍} \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$





在序列2点之间插入*M*–1个点

五、离散信号的时域运算

8. 卷积和

$$y(n) = x(n) * h(n) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x(m)h(n-m)$$

卷积和运算的一般步骤为：

（1）换坐标：将原坐标n换成m坐标，而把n视为m坐标中的参变量。

（2）翻转：将h(m)以m=0的垂直轴为对称轴转成h(-m)

（3）平移：当取某一定值n时，将h(-m)平移n，即得h(n-m)。

（4）相乘：将h(n-m)和x(m)的相同m值的对应点值相乘。

注： 离散信号的卷积性质与连续信号的卷积类似，交换律、分配律、结合律等，P124

例题：课本P123 例2-7

要注意两个函数x和y的变量取值区间

例题：课本P123 例2-7　*要注意两个函数x和y的变量取值区间*

已知

$$x(n)=\begin{cases}\frac{1}{2}n & 1\le n\le 3\\ 0 & \text{else}\end{cases}$$

$$y(n)=\begin{cases}1 & 0\le n\le 2\\ 0 & \text{else}\end{cases}$$

求

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

$$=\sum_{m=-\infty}^{\infty}x(m)y(n-m)$$

首先，

$$x(m)=\begin{cases}\frac{1}{2}m & 1\le m\le 3\\ 0 & \text{else}\end{cases}$$

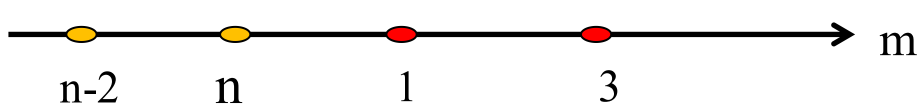
$$y(n-m)=\begin{cases}1 & n-2\le m\le n\\ 0 & \text{else}\end{cases}$$

然后，

比较x和y的自变量m的取值区间：

1）$n<1$，$x(m)$与$y(n-m)$无交叉，

故，$z(n)=0$

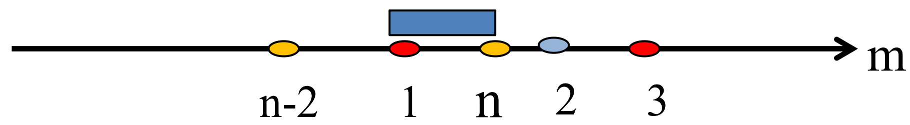


$2)1 \le n < 3$,即$1 \le n \le 2$

x与y交叉范围： $1 \le m \le n$

$$z(n)=\sum_{m=1}^{n}\frac{1}{2}m\times 1=\frac{1}{4}n(n+1)$$

$$z(1)=\frac{1}{2},z(2)=\frac{3}{2}$$



$$x(m)=\begin{cases}\frac{1}{2}m & 1\le m\le 3\\ 0 & \text{else}\end{cases}$$

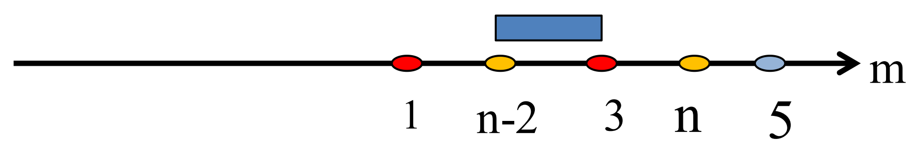
$$y(n-m)=\begin{cases}1 & n-2\le m\le n\\ 0 & \text{else}\end{cases}$$

$3)n \ge 3 \,\&\&\, 1 \le n-2 \le 3$,即$3 \le n \le 5$

x与y交叉范围： $n-2 \le m \le 3$

m的下限$n-2$在变化

$$z(n=3)=\sum_{m=1}^{3}\frac{1}{2}m\times 1=3$$



$$z(n=4)=\sum_{m=2}^{3}\frac{1}{2}m\times 1=\frac{5}{2}$$

$$z(n=5)=\sum_{m=3}^{3}\frac{1}{2}m\times 1=\frac{3}{2}$$

$$x(m)=\begin{cases}\frac{1}{2}m & 1\le m\le 3\\ 0 & \text{else}\end{cases}$$

$$y(n-m)=\begin{cases}1 & n-2\le m\le n\\ 0 & \text{else}\end{cases}$$

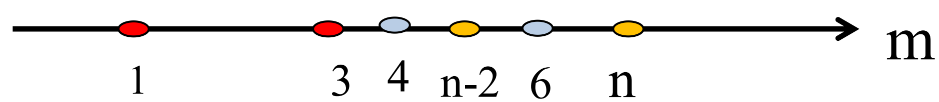
两个长度分别为N和M的序列求卷积和，其结果是一个长度为L=N+M-1的序列

4) $n>5$

即 $n\ge 6$, 则

x与y无交叉，

故 $z(n)=0$



五、离散信号的时域运算

9. 两序列相关运算

$$\mathrm{R}_{xy}(m)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}x(n)y(n+m)$$

$$\mathbf{R}_{xy}(m)=x(m)*y(-m)$$

当 $y(n)=x(n)$时，则有自相关序列

$$\mathbf{R}_{xy}(m)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}x(n)x(n+m)=x(m)*x(-m)$$

具有偶对称性：

$$\mathbf{R}_{xx}(m)=\mathbf{R}_{xx}(-m)$$

当 $\mathbf{m}=0$时，表示序列的总能量

$$\mathbf{R}_{xx}(0)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}x^2(n)$$