

西北工业大学
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY

信号与系统：绪论

柳艾飞，副教授
西北工业大学软件学院

Email: liuaifei@nwpu.edu.cn



信号与系统

课程要求:

考核要求: 平时10%+期末60%+实验30%

期末考试: 闭卷

参考资料:

- 《信号与线性系统》管致中等, 第六版, 高等教育出版社
- 《信号与系统》Alan V.Oppenheim等著, 刘树堂译, 西安交通大学出版社
- 《信号与系统》郑君里、杨为理、应启珩编, 高等教育出版社
- 《信号处理与系统课件》吴京, 国防科技大学。

信号与系统：第一章

- 信号与系统的概念
- 信号的分类
- 信号的运算
- 系统的分类
- 系统的特性

信号与系统：第一章

- 信号与系统的概念

- 信号的分类

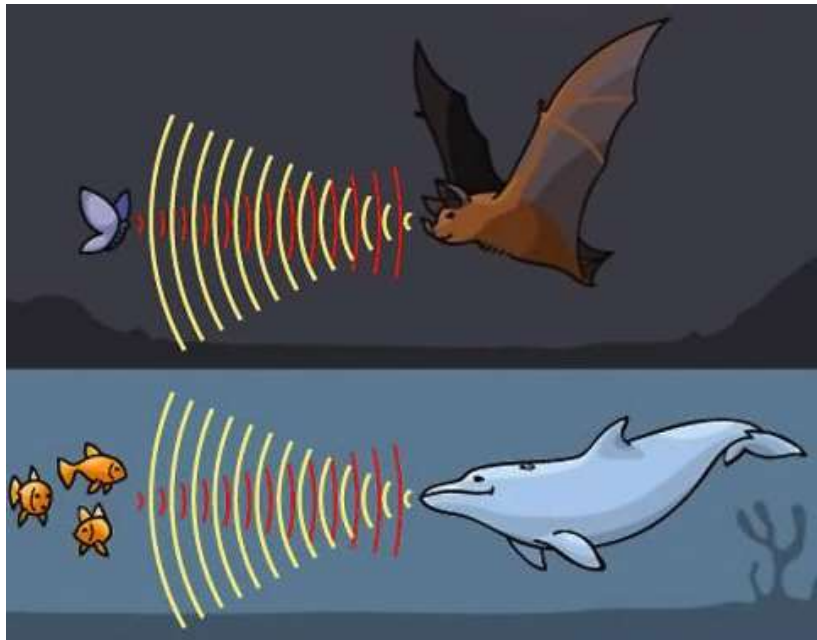
- 信号的运算

- 系统的分类

- 系统的特性

信号与系统的基本概念

□ 信号的基本概念 感性认识

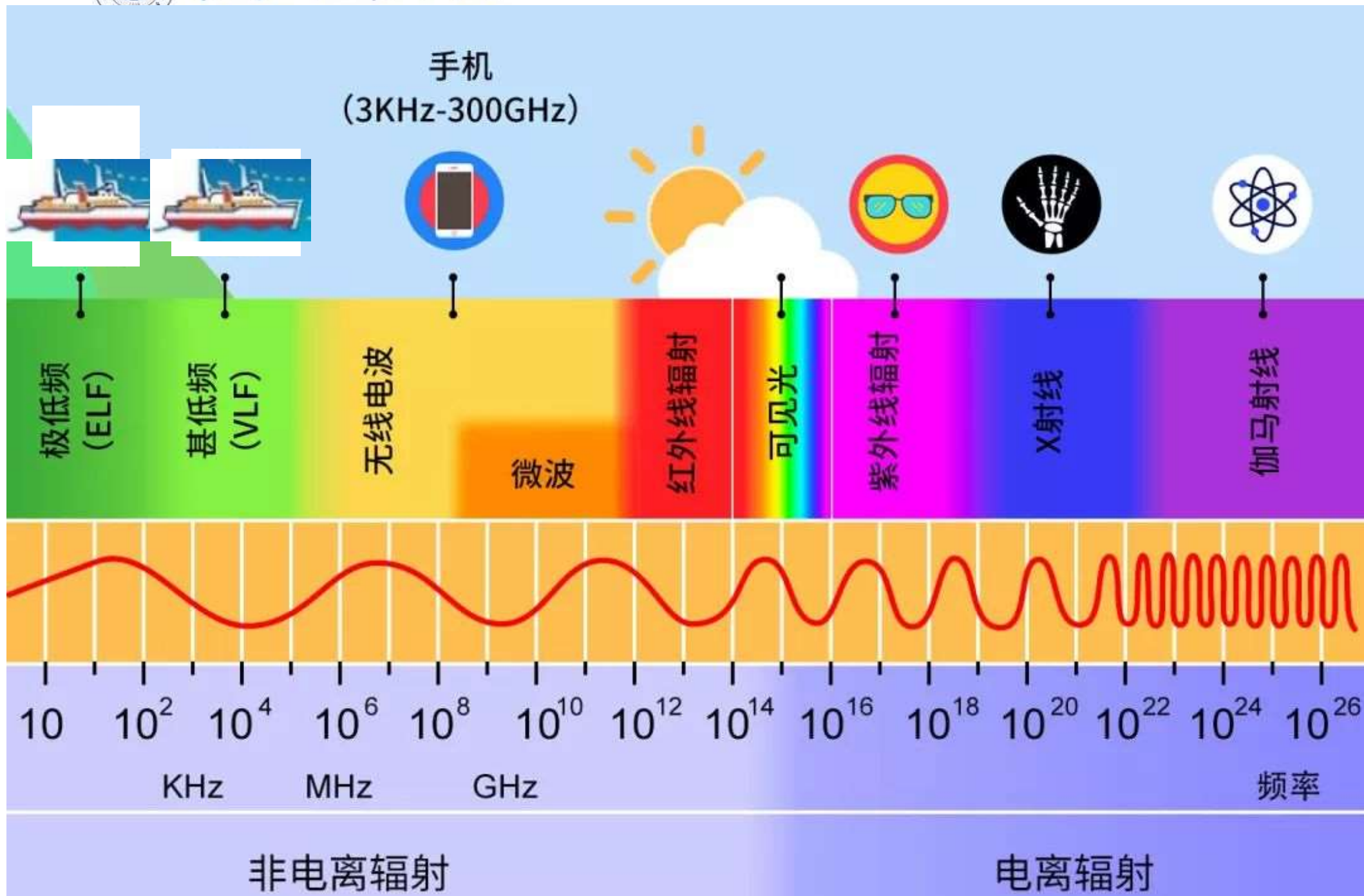


听觉范围: 20-20000Hz

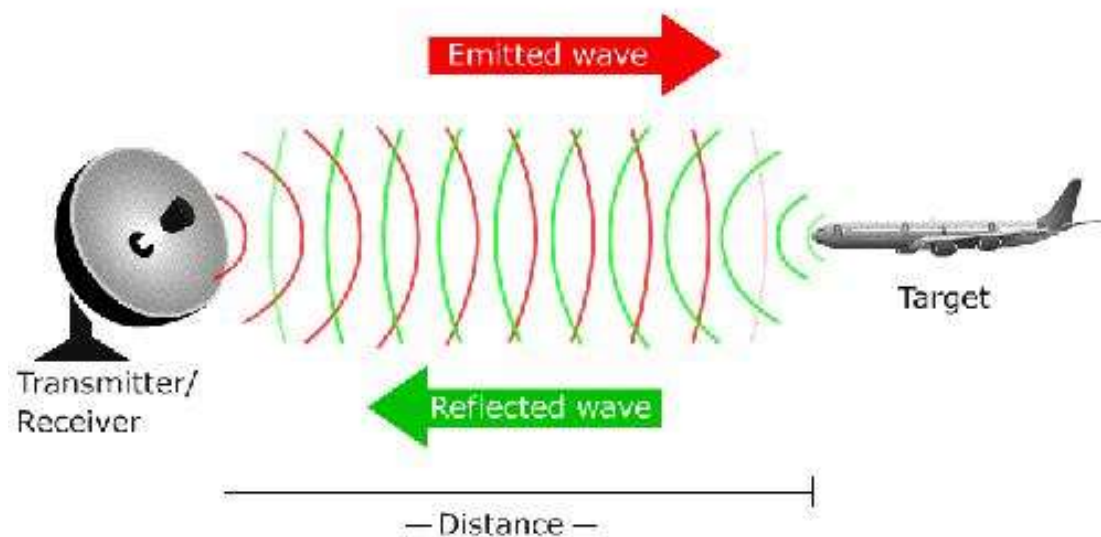
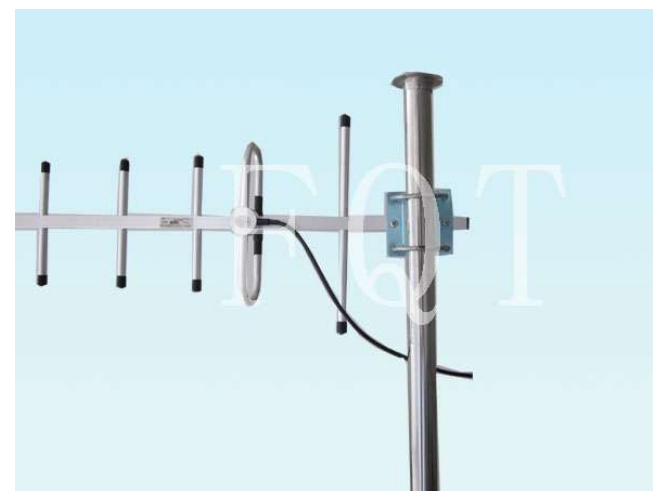
视觉范围: 380~750THz

超过这个范围的信号, 我们制造实际传感器来获取,
比如: 雷达天线, 声纳水听器





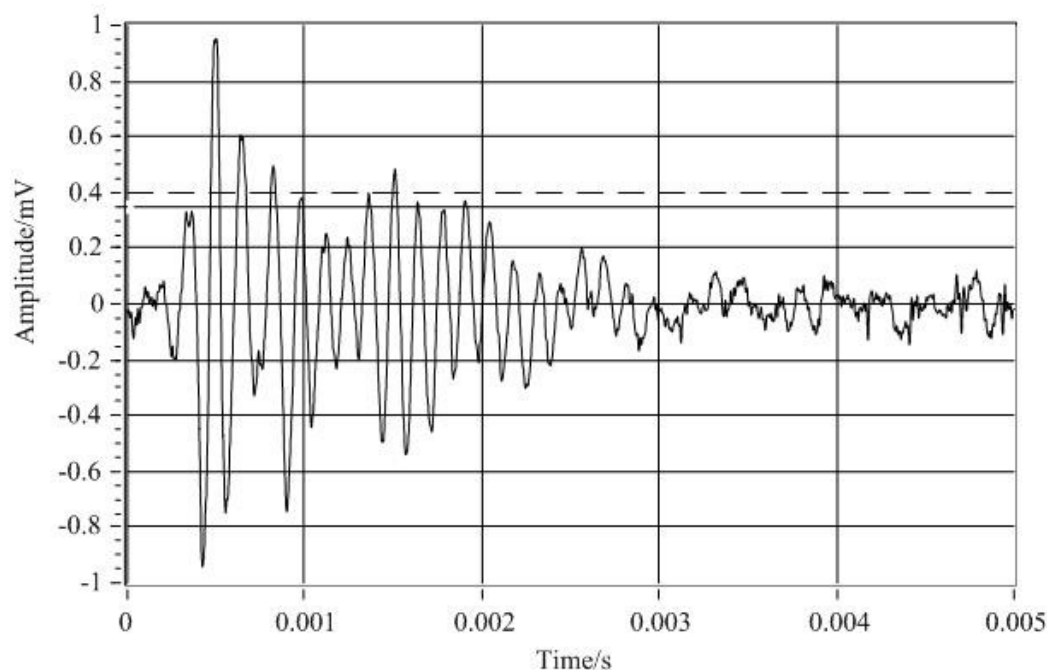
信号与系统的基本概念



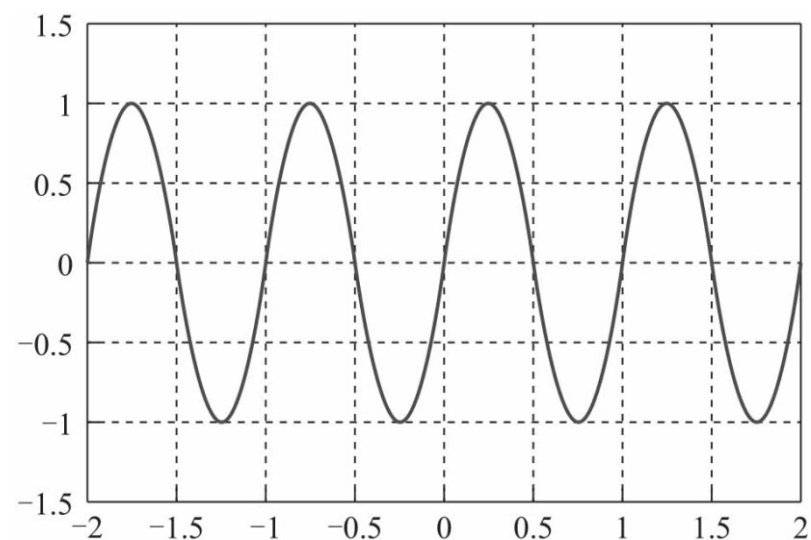
信号与系统的基本概念

通过以上信号，我们可以获知目标物体的方位、类别、还可以进行通信，总之可以获得某种信息。因此信号可以定义为：

- 信号是信息的承载方式，数学上表示为一个或多个变量的函数（自变量通常为时间 t ，也可以是高度、深度等）。



一段声信号



正弦波信号

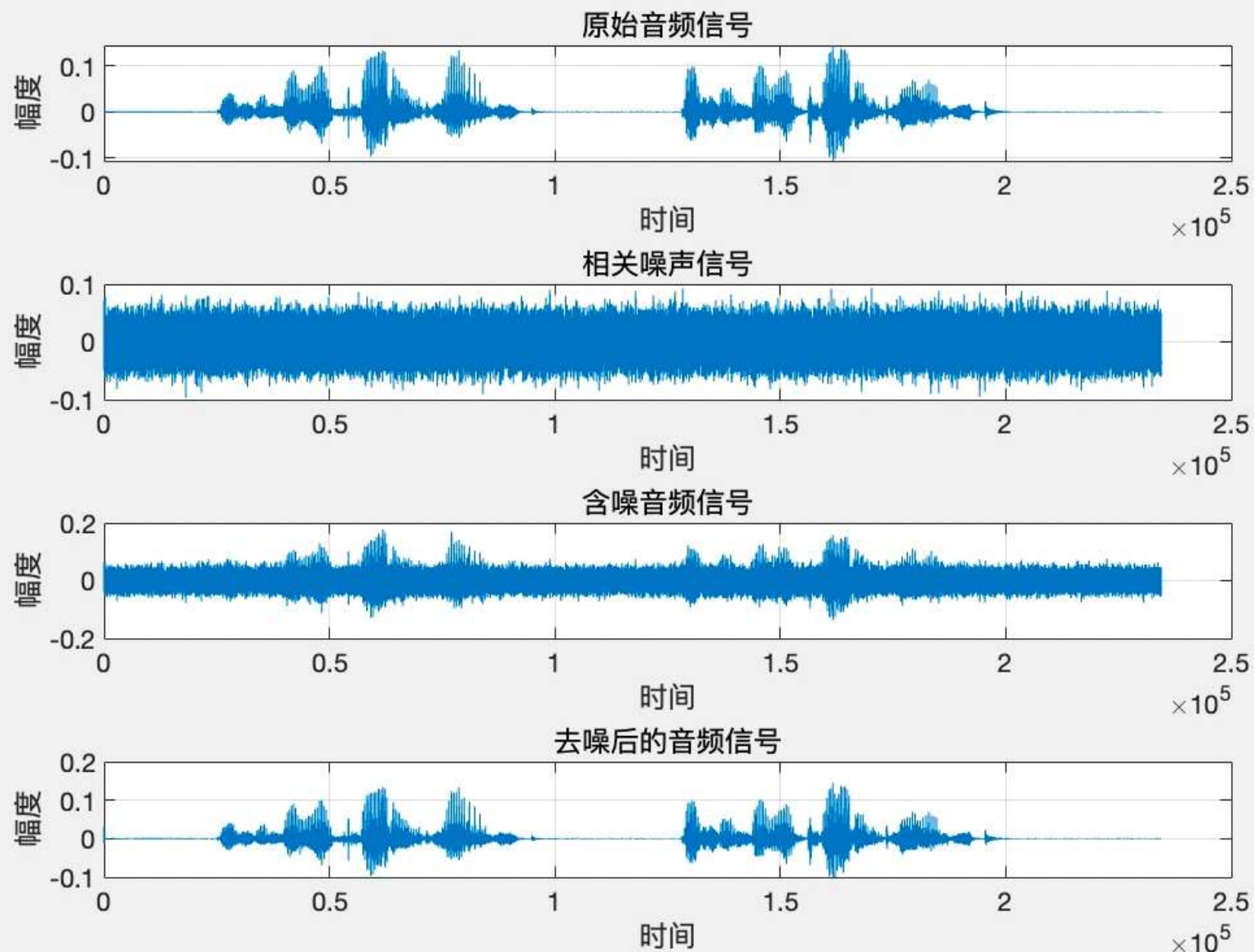
- 信号处理算法：对传感器接收的数据进行某些变换和数学运算，从而达到提取信息的目的，可以实现目标的探测和识别等。

信号与系统的基本概念

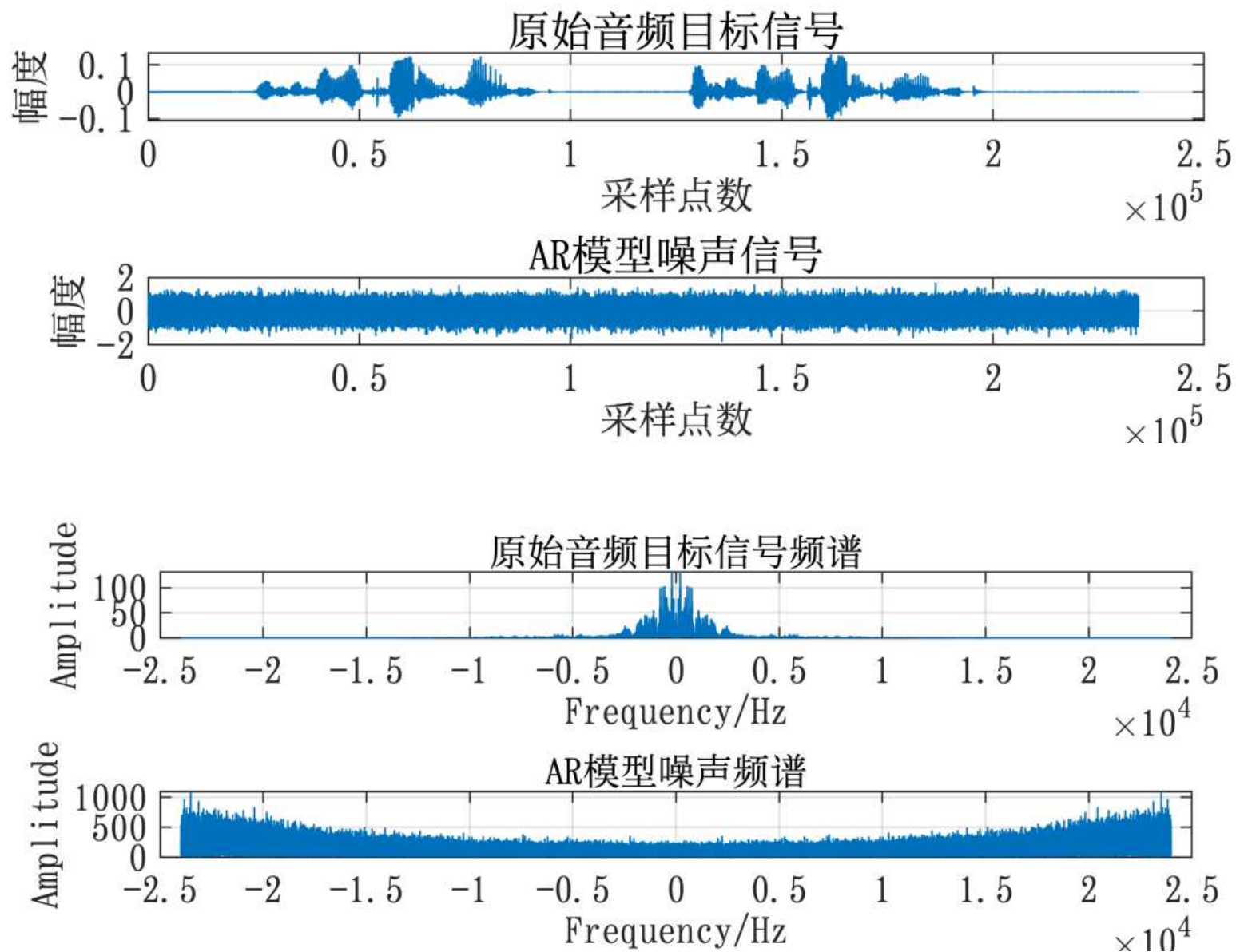


涉及到统计信号处理、自适应时域滤波、滤波器设计等

信号与系统的基本概念



信号与系统的基本概念

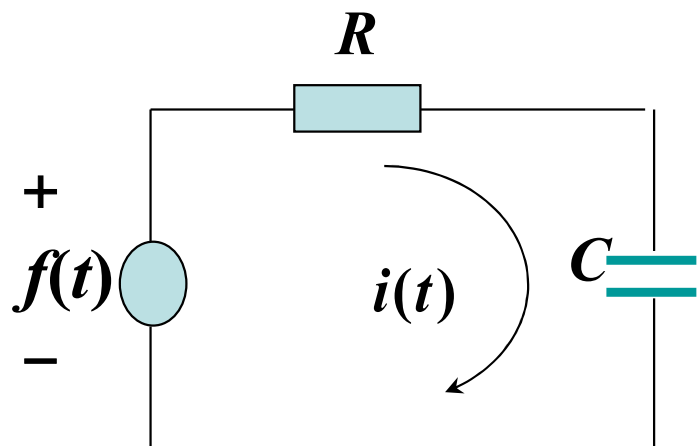


信号与系统的基本概念

系统

由一些‘单元’按一定规则相互连接而成的具有一定功能的有机整体。

模拟电路系统



无线信道系统



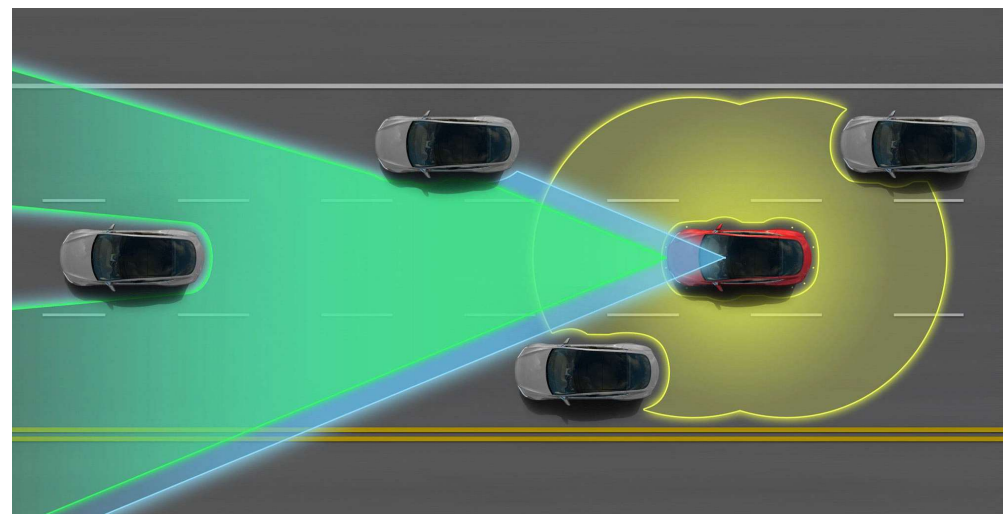
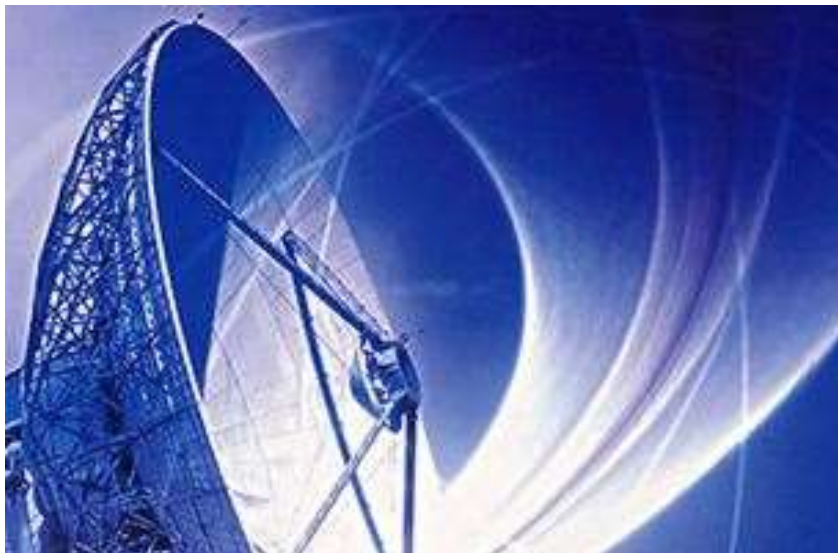
信号与系统的基本概念



- 已知系统特性和激励信号，求系统的输出；
- 已知系统的输入和输出信号，求系统特性；
- 已知输入信号和欲得到的输出信号，构造系统。

应用场景

<信号与系统> 以及其高阶课程<信号处理>的应用场景



信号与系统的基本概念

□ 信号与系统教学内容

➤ 信号运算与变换

- 卷积
- 傅里叶变换
- 拉普拉斯变换
- Z 变换

研发信号处理算法

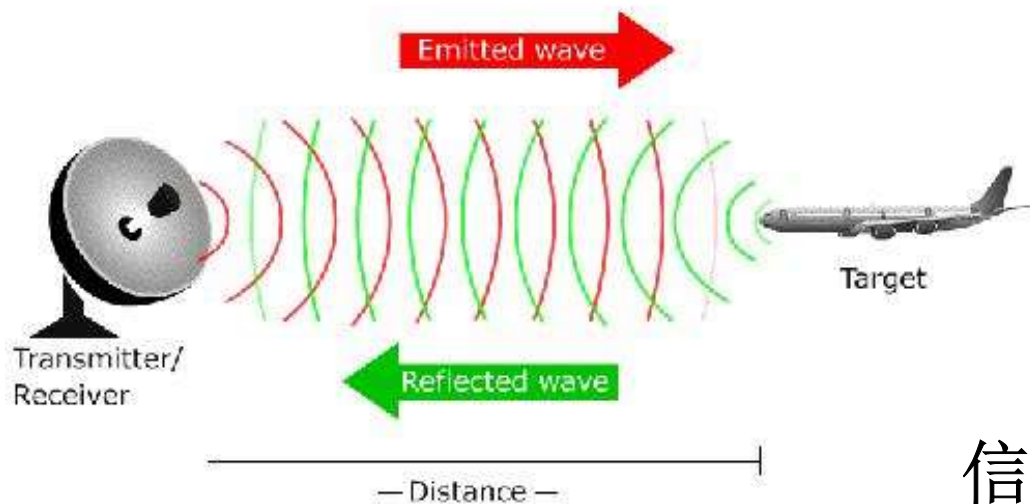
➤ 系统分析

- 时域卷积分析
- 傅里叶变换分析法（频域分析）
- 拉普拉斯变换分析法（复频域分析）
- Z 变换分析法（ Z 域分析）

分析与设计系统

信号与系统的基本概念

- 信号是信息的承载方式，数学上表示为一个或多个变量的函数。
- 由一些‘单元’按一定规则相互连接而成的具有一定功能的有机整体。
- *信号与系统*的研究对象就是对信号的运算与变化以及对系统进行分析。



信号与系统先修课程

- 复变函数：复数运算，积分变换
- 高等数学：常系数微分方程求解
- 电路知识：电阻、电容、电感、基尔霍夫定律

信号与系统：第一章

□ 信号与系统的概念

■ 信号的分类

□ 信号的运算

□ 系统的分类

□ 系统的特性

信号的分类1：确定信号与随机信号

1. 按时间函数的确定性划分

确定信号（**Determinate Signal**）

对该信号重复观测，结果相同。

——每一确定时刻的值是完全确定的，
（可用确定的时间函数表示）。

例： $f(t)=\sin t$

随机信号（**Random Signal**）

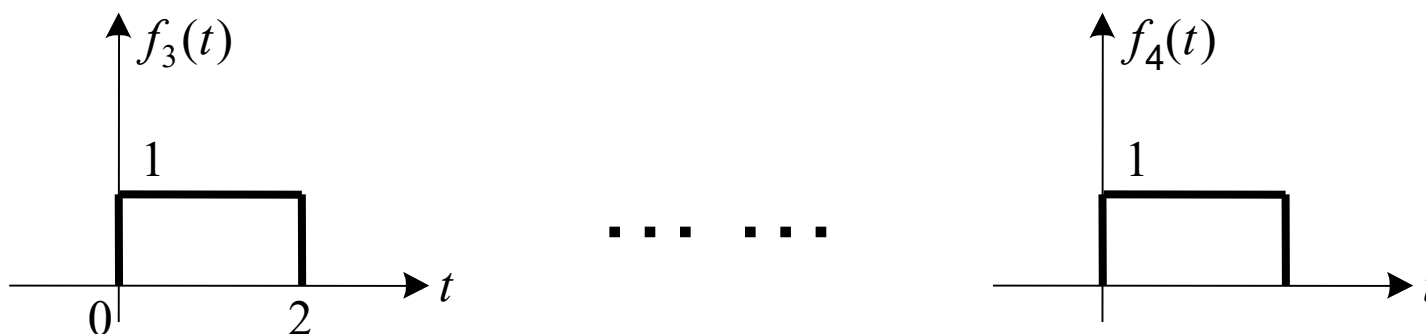
对该信号重复观测，结果不同。

——每一确定时刻的值分布是服从某一概率分布。

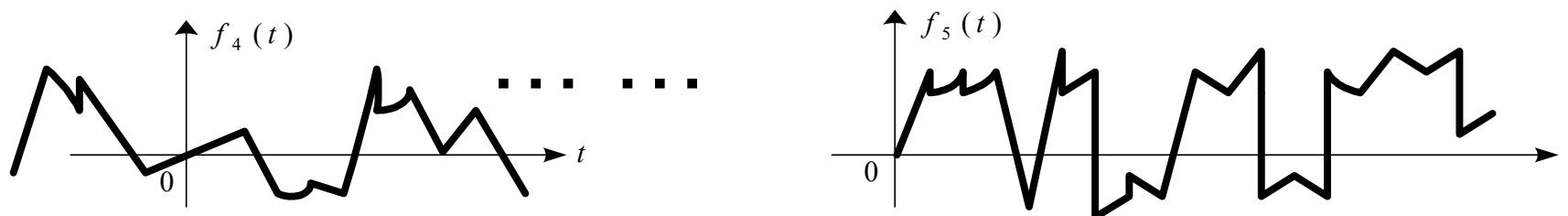
信号分类1：确定信号与随机信号

对信号的重复观测是否完全重现

确定信号



随机信号



信号的分类1：确定信号与随机信号

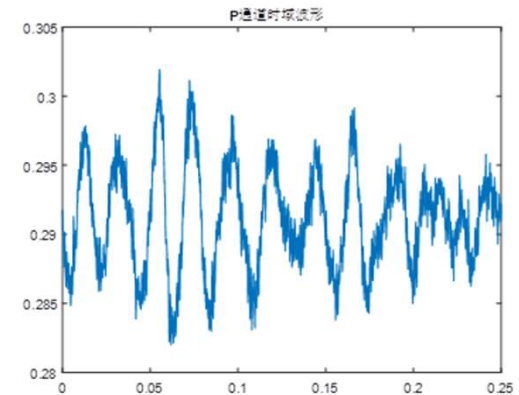
随机信号实际中是如何产生的？



$$x(t) = a \times \sin(\omega t)$$

实际中的噪声每个时刻都是在变化的，而且通常不可重现

$$x(t) = \sin(\omega t) + n(t)$$



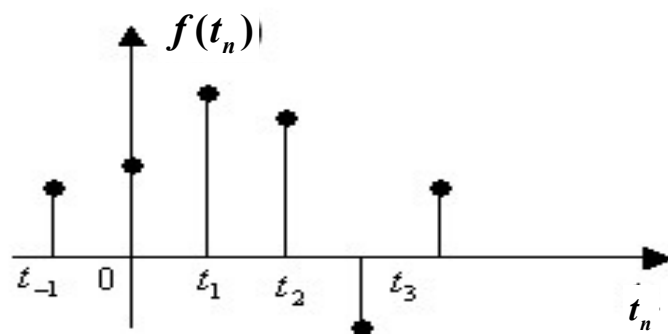
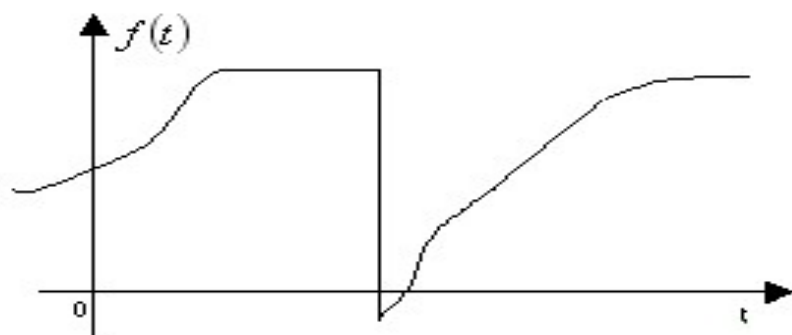
如何分析随机信号尼？统计信号分析，概率论

信号的分类2：连续信号与离散信号

2.按自变量（时间 t ）取值是否连续分

连续时间信号 (Continuous-Time Signals 记作CTS)

信号存在的时间范围内，任意时刻都有定义。通常用 $f(t)$ 表示。

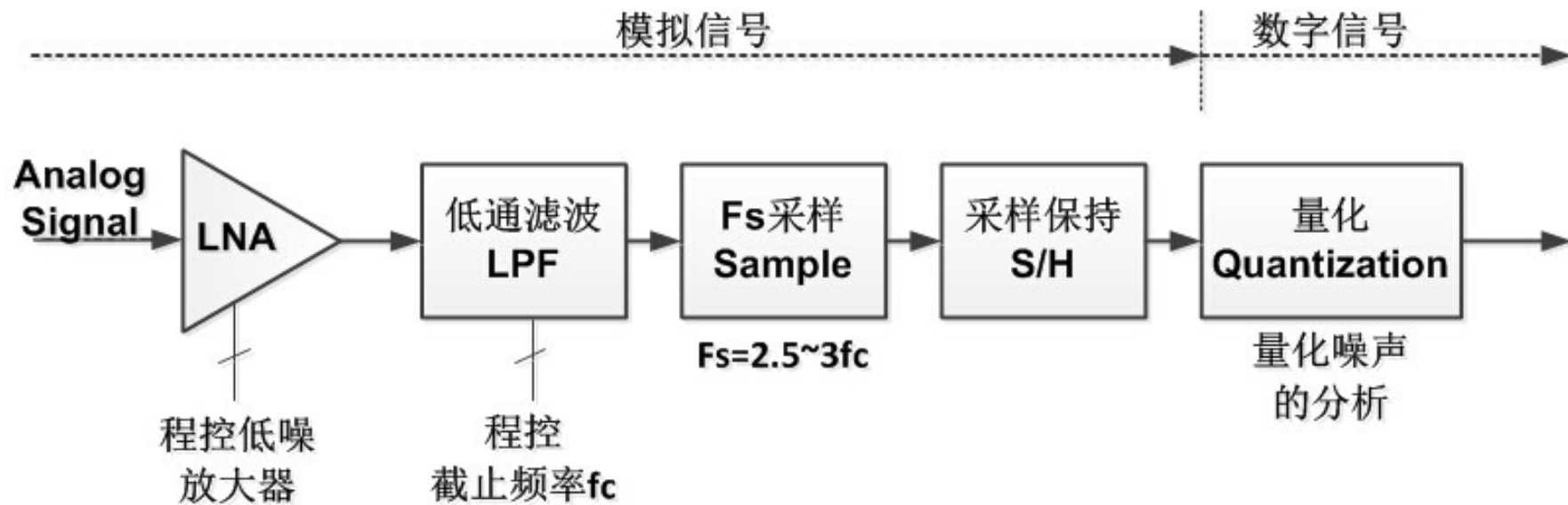


离散时间信号 (Discrete-Time Signals 记作DTS)

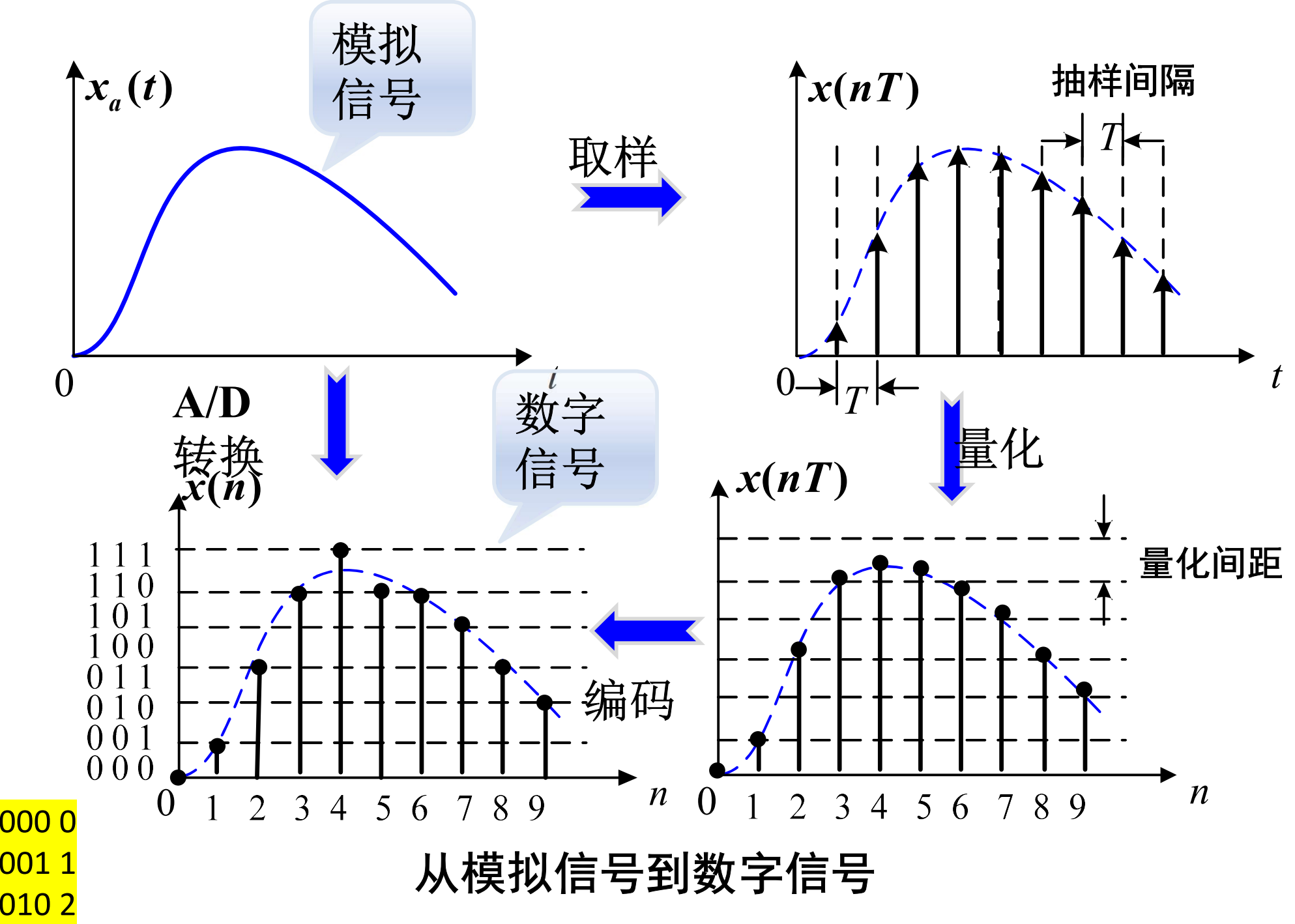
信号存在的时间范围内，某些时刻才具有确定的数值，其余时刻没有意义。通常用 $x(n)$ 表示。简称序列。

$$f(t_n) \xrightarrow{T} x(nT) \rightarrow x(n)$$

信号的分类2：连续信号与离散信号



信号的分类2：连续信号与离散信号



信号分类4：周期信号与非周期信号

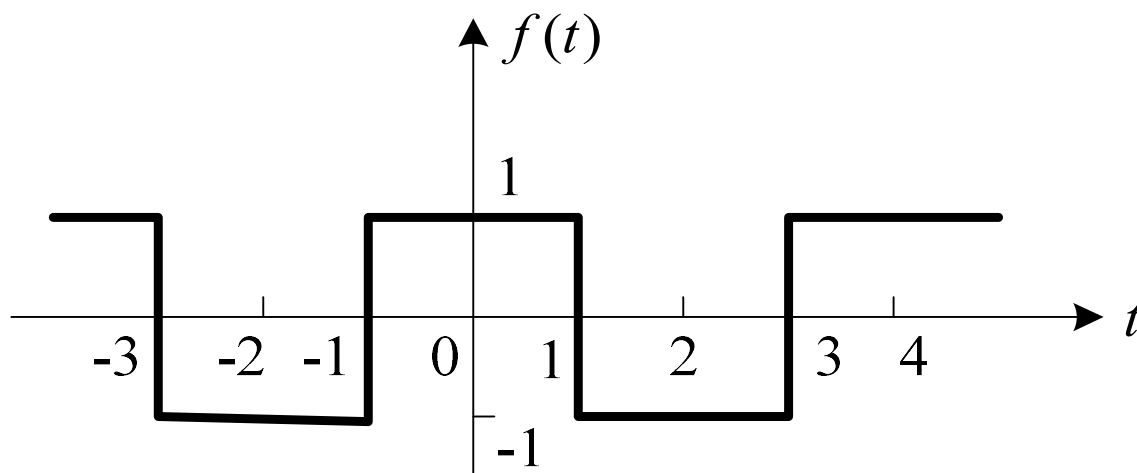
4. 信号的周期性分

周期信号 (Periodic Signal)

顾名思义，就是按一定的间隔重复的信号

非周期信号 (Aperiodic Signal)

信号的分类4：周期信号与非周期信号



按一定的间隔重复出现

连续周期信号

$$\forall t \in (-\infty, +\infty) \quad f(t + mT_0) = f(t) \quad m = 0, \pm 1, \dots$$

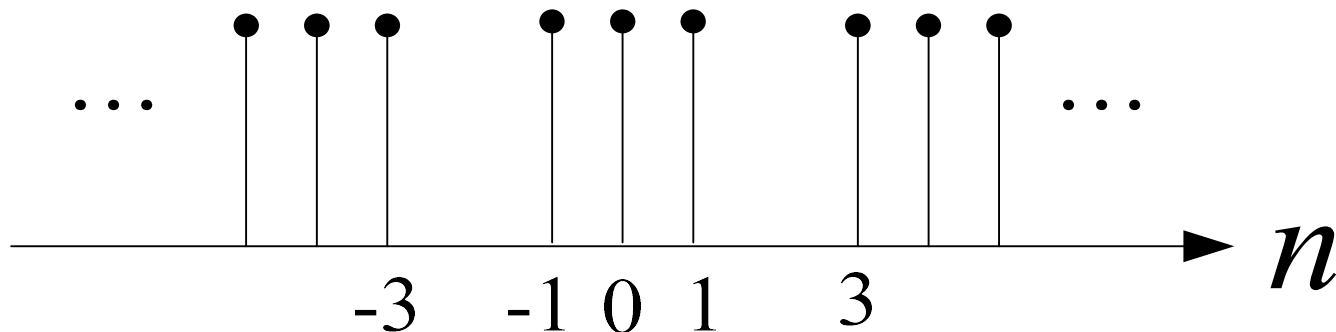
满足上式最小正数 T_0 称为周期，或基本周期

信号的分类4：周期信号与非周期信号

离散周期信号

$$\forall n \in (-\infty, +\infty) \quad x(n + mN) = x(n) \quad m = 0, \pm 1, \dots$$

满足上式最小正整数 N 称为周期，或基本周期



信号的分类4：周期信号与非周期信号

自我测试

- 直流信号是周期信号吗？若是其周期是多少？
- 求如下信号的周期

1) $\sin t, \sin n$

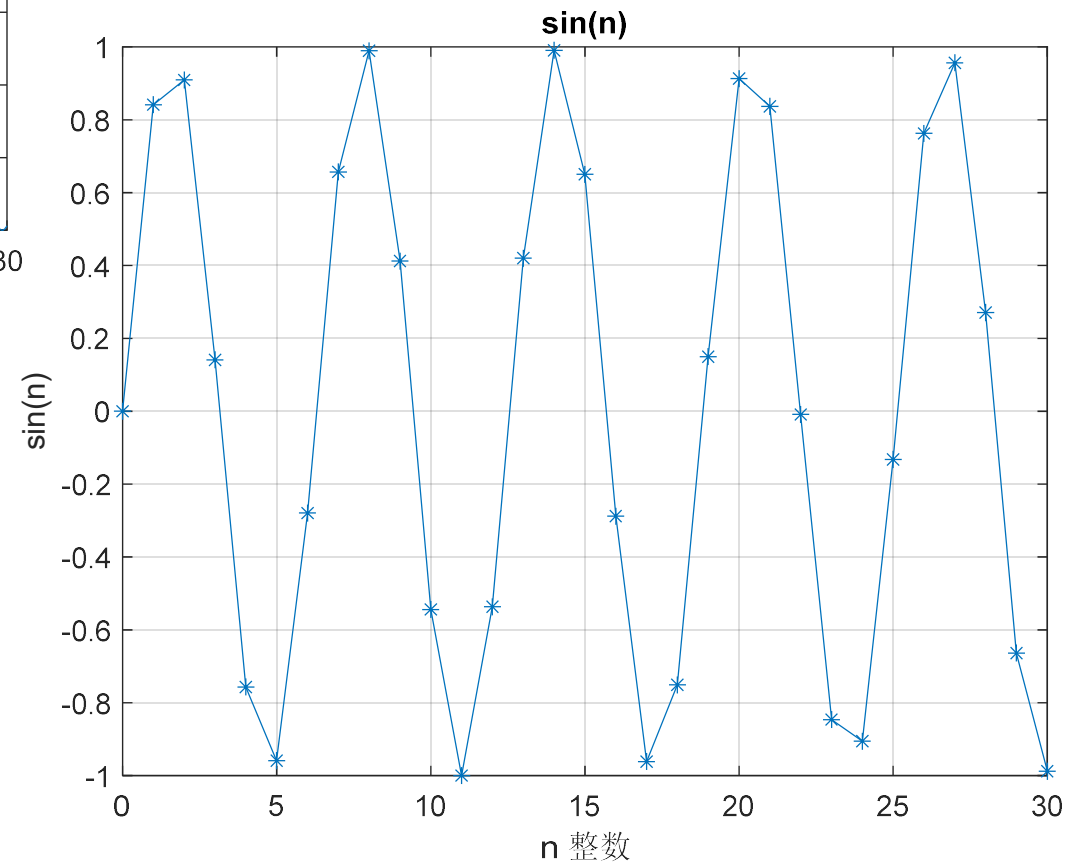
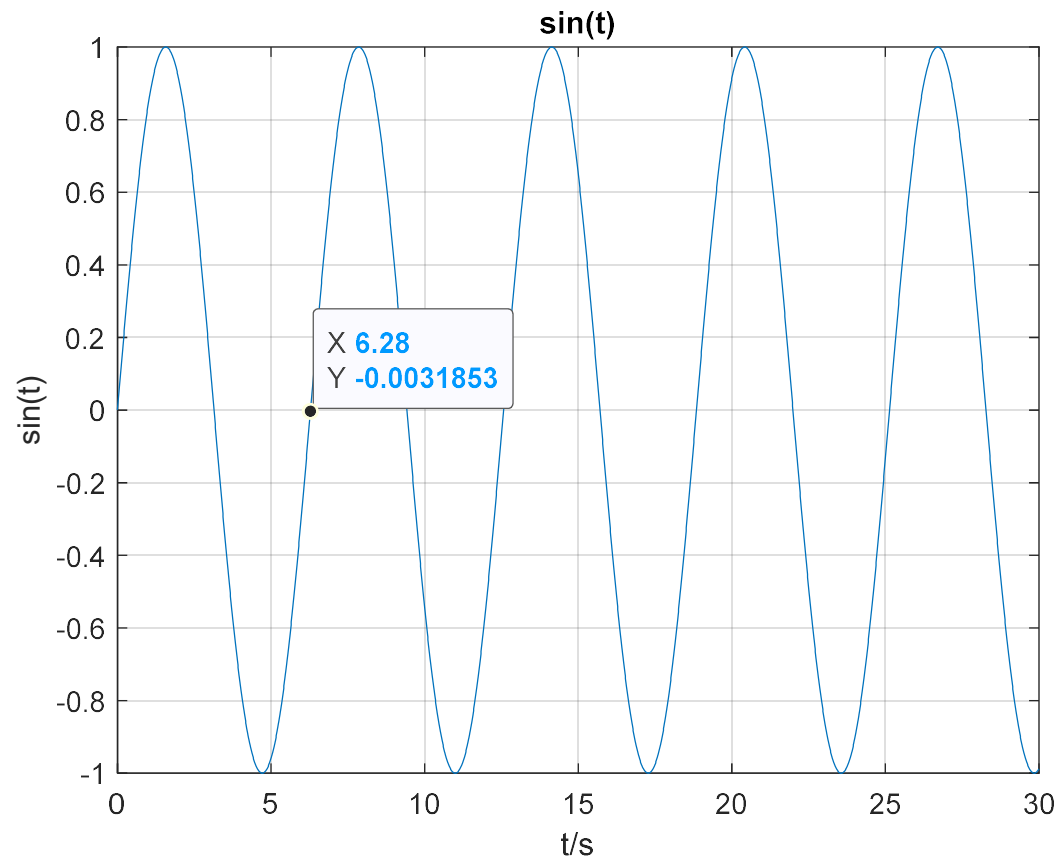
2) $\sin \frac{\pi t}{4}, \sin \frac{\pi n}{4}, \sin \frac{\pi t}{2}$

3) $\sin t + \sin \frac{\pi t}{4}$

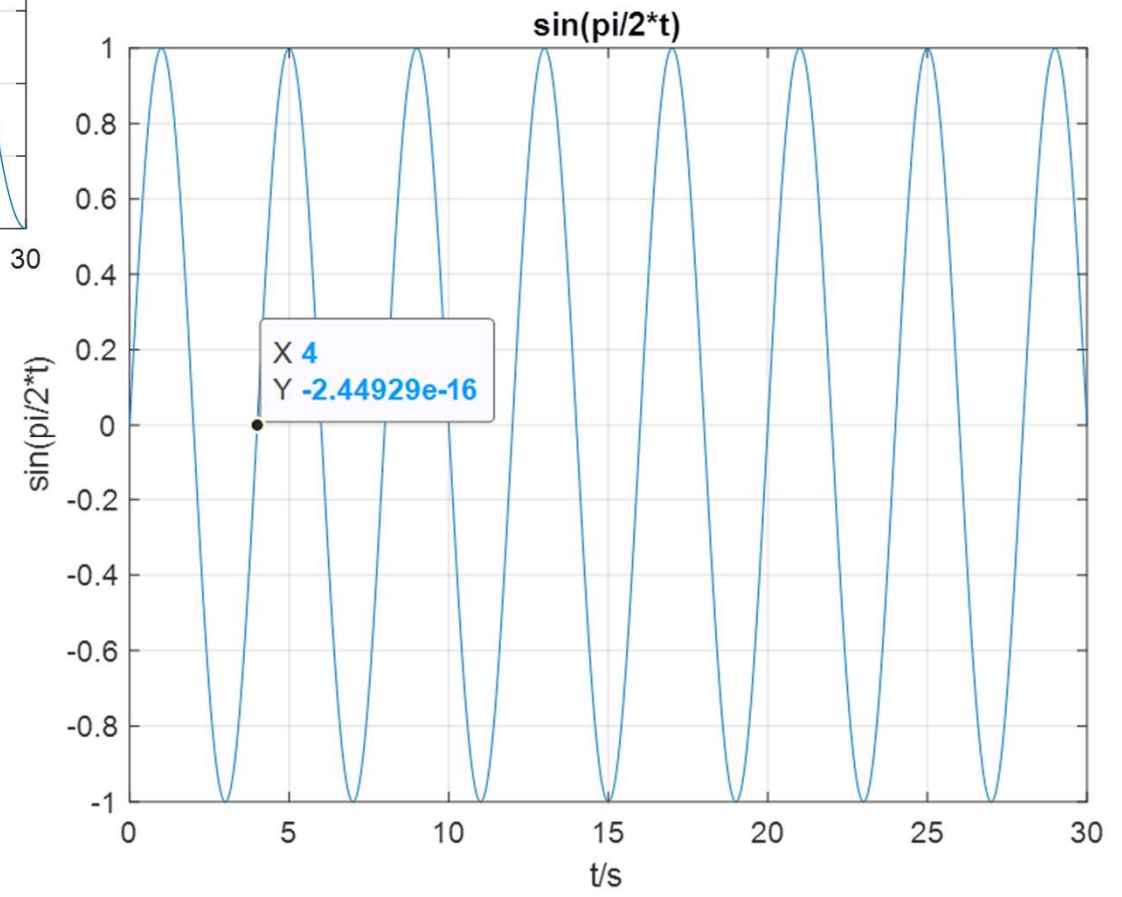
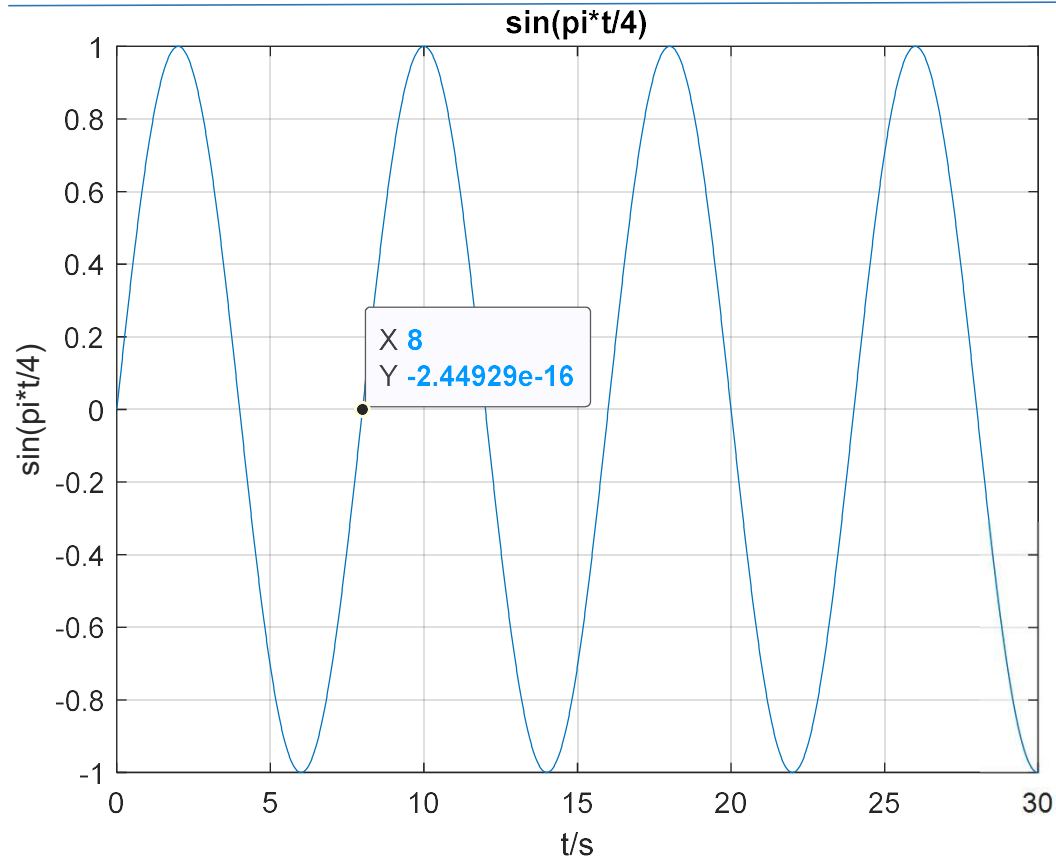
4) $\sin \frac{\pi t}{2} + \sin \frac{\pi t}{4}$
 $t \in \mathbf{R}; n \in \mathbf{Z}$

“两个周期信号之和不一定是周期信号。举例： $\sin(x) + \sin(\pi x)$ ，两者之和不是周期信号。当且仅当两个周期信号的周期之比为有理数时（两个整数之比； π 不是有理数），两信号相加之和才为周期信号，且和信号周期为两信号周期的最小公倍数。

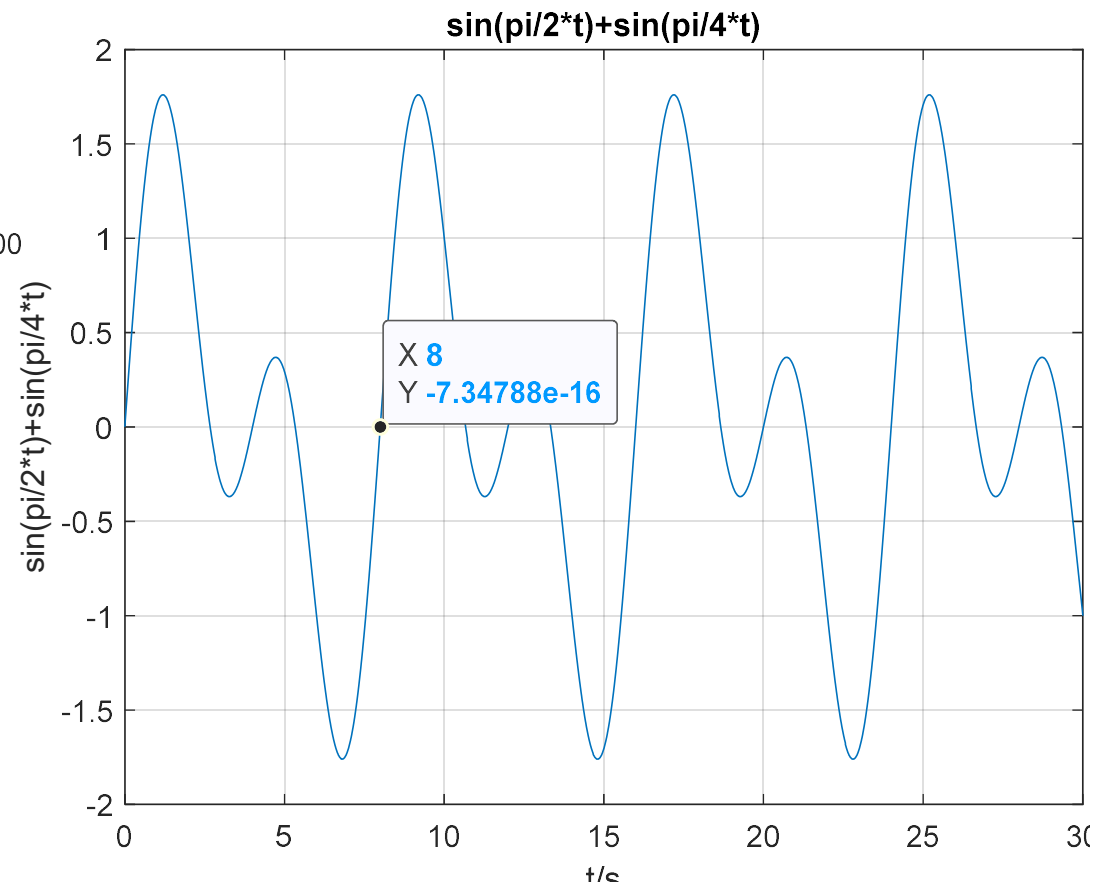
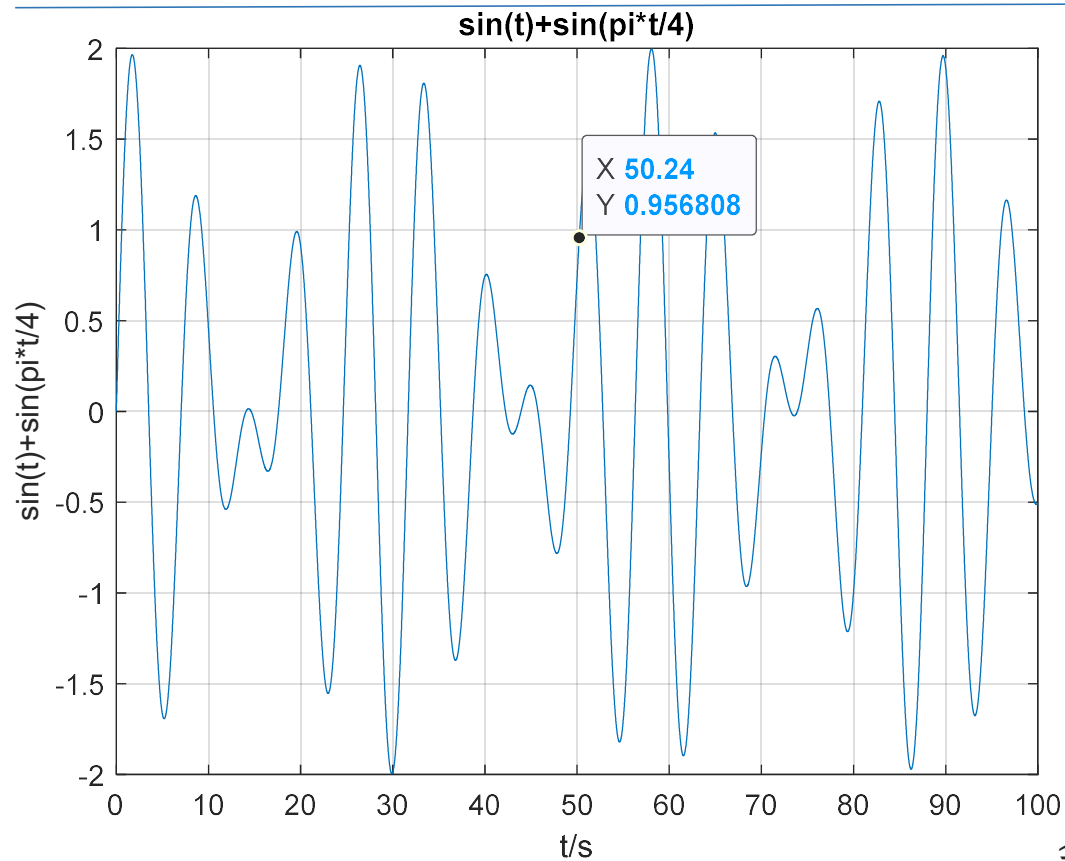
信号的分类4：周期信号与非周期信号



信号的分类4：周期信号与非周期信号



信号的分类4：周期信号与非周期信号



5.功率有限信号与能量有限信号

CTS: 瞬时功率: $P_t = |f(t)|^2$

时段能量: $t \in [-T, T]$ $E = \int_{-T}^T |f(t)|^2 dt$

时段平均功率: $t \in [-T, T]$ $P = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |f(t)|^2 dt$

能量: $t \in [-\infty, \infty]$ $E = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T |f(t)|^2 dt$

平均功率: $t \in [-\infty, \infty]$ $P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |f(t)|^2 dt$

信号的分类5：能量信号和功率信号

5.功率有限信号与能量有限信号

DTS: 瞬时功率:

$$P_t = |x(n)|^2$$

时段能量:

$$n \in [-N, N] \quad E = \sum_{n=-N}^N |x(n)|^2$$

时段平均功率: $n \in [-N, N] \quad P = \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N |x(n)|^2$

能量:

$$n \in [-\infty, \infty] \quad E = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{n=-N}^N |x(n)|^2$$

平均功率:

$$n \in [-\infty, \infty] \quad P = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N |x(n)|^2$$

信号的分类5：能量信号和功率信号

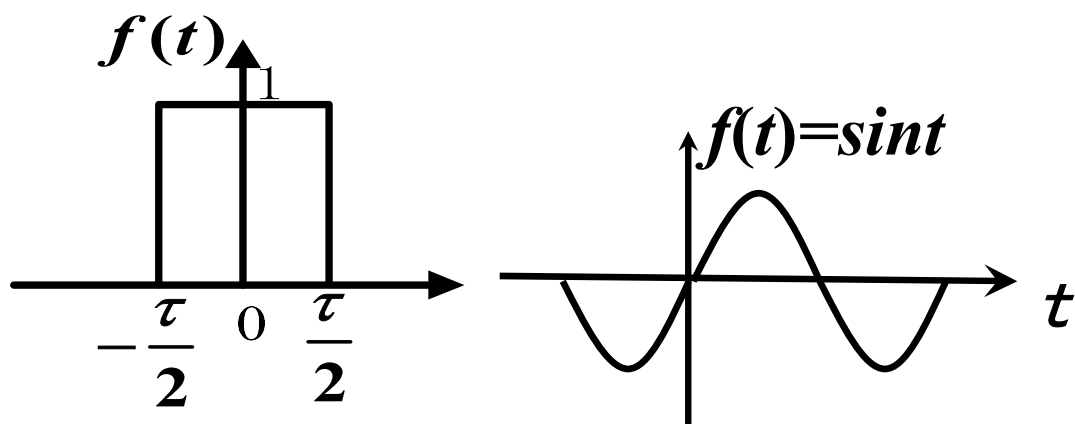
5.功率有限信号与能量有限信号

能量有限信号（energy signal）

如果信号的能量 E 满足 $0 < E < \infty$ （且 $P=0$ ），
简称能量信号。

功率有限信号（power signal）

如果信号的功率 P 满足 $0 < P < \infty$ （且 $E=\infty$ ），
简称功率信号。



$$E = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T |f(t)|^2 dt$$

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |f(t)|^2 dt$$

周期信号的功率等于一个周期的能量除以周期时间

信号的分类5：能量信号和功率信号

- 能量信号和功率信号是互不相容的，
能量信号的平均功率总是零，而功率信号的总能量是无穷大。
- 大部分周期信号是功率信号。（一个周期内能量有限的信号）
- 一般而言，持续时间有限的非周期信号是能量信号。

注意冲激信号！

是功率信号

信号的分类5：能量信号和功率信号

- “信号若不是能量信号就是功率信号”，正确与否？

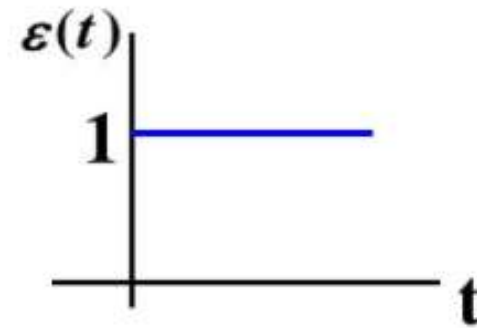
理论上存在：功率无限信号。 即：

$$P_{\infty} = \infty \Rightarrow E_{\infty} = \infty$$

信号的分类5： 能量信号和功率信号

(1) $f(t) = \varepsilon(t)$

解：

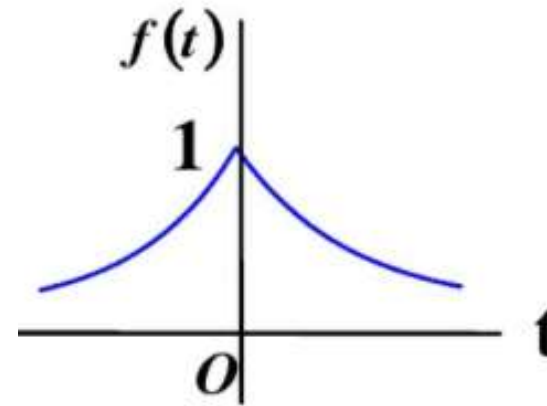


功率信号

信号的分类5： 能量信号和功率信号

(2) $f(t) = e^{-2|t|}$

解：

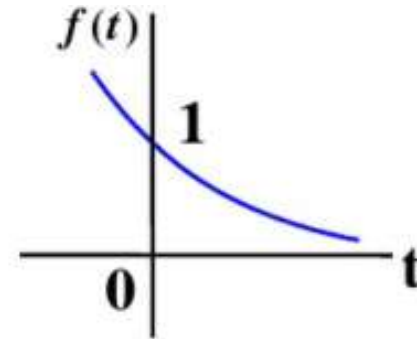


能量信号

信号的分类5： 能量信号和功率信号

(3) $f(t) = e^{-2t}$

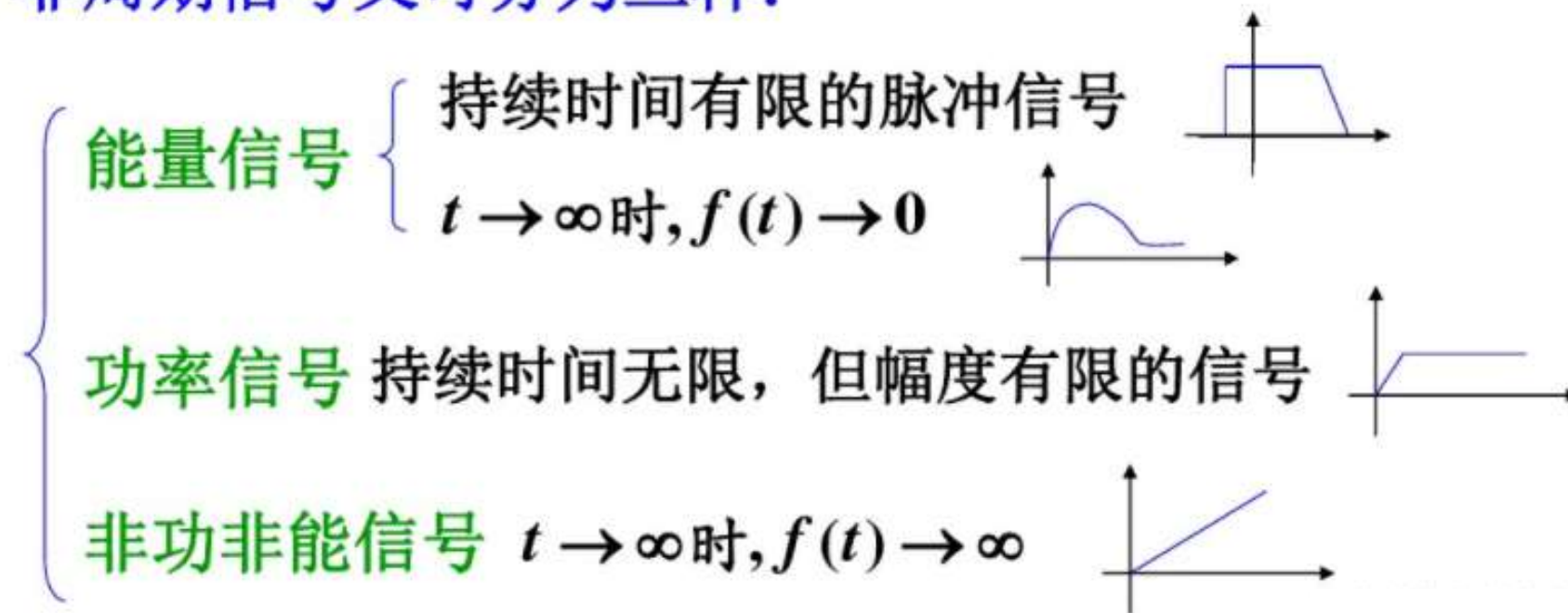
解：



非功非能信号

信号的分类5：能量信号和功率信号

非周期信号又可分为三种：



信号的分类3：因果信号与非因果信号

3. 信号的时间范围来分

因果信号 (causal signal)

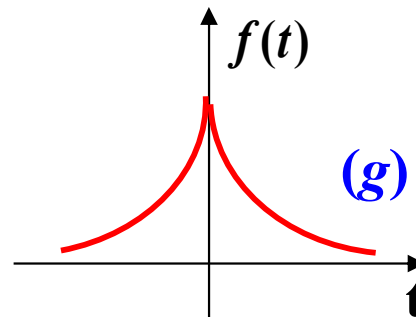
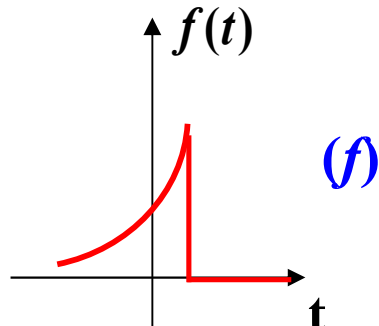
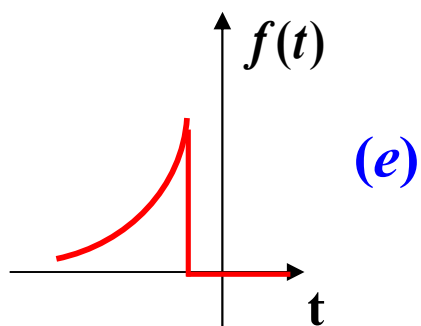
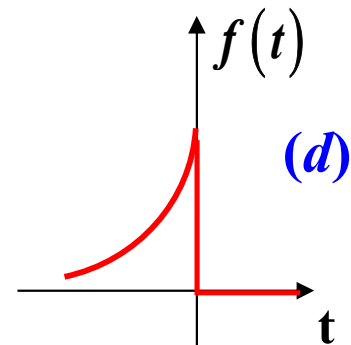
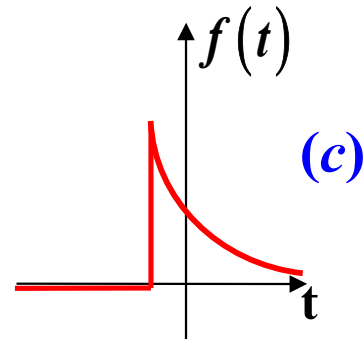
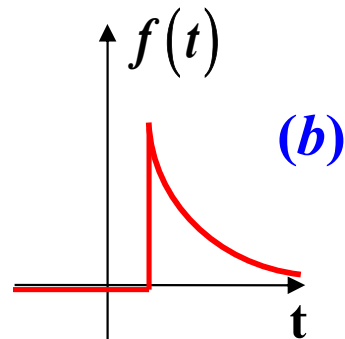
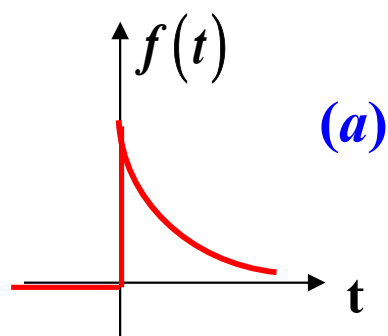
非因果信号 (noncausal signal)

If $t < 0$ $f(t) \equiv 0$ or $n < 0$ $x(n) \equiv 0$
then $f(t)/x(n)$ is causal signal
else $f(t)/x(n)$ is noncausal signal

反因果信号 (anticausal signal)

$t > 0$ 时 $f(t) \equiv 0$ or $n > 0$ 时 $x(n) \equiv 0$

信号分类3：因果信号与非因果信号



因果信号: (a)(b)

非因果信号: (c)(d)(e)(f)(g)

反因果信号: (d)(e)

右边信号: $t < t_0$ $f(t) \equiv 0$ 或 $n < n_0$ $x(n) \equiv 0$ (a)(b)(c)

左边信号: $t > t_0$ $f(t) \equiv 0$ 或 $n > n_0$ $x(n) \equiv 0$ (d)(e)(f)

双边信号: (g)

信号的分类6:奇信号与偶信号

6 奇信号： 满足等式 $f(t)=-f(-t)$ 的信号。

偶信号： 满足等式 $f(t)=f(-t)$ 的信号。

信号的分类

1. 确定信号和随机信号
2. 连续时间信号和离散时间信号
3. 周期信号和非周期信号
4. 能量信号和功率信号
5. 因果信号和非因果信号
6. 奇信号与偶信号

信号与系统：第一章

□ 信号与系统的概念

□ 信号的分类

■ 信号的运算

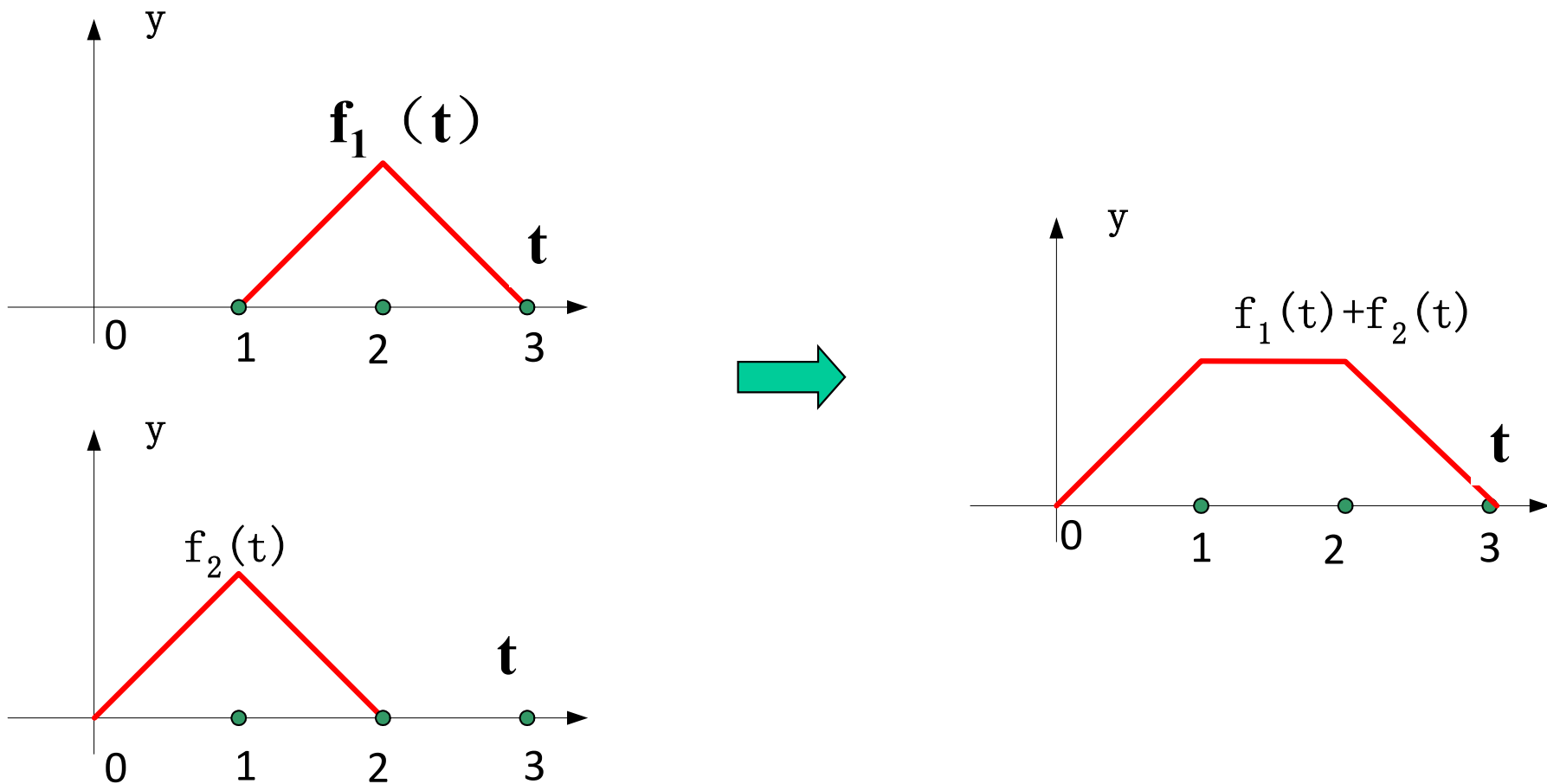
□ 系统的分类

□ 系统的特性

信号的运算：加减

1. 信号的加减 $f(t) = f_1(t) + f_2(t)$

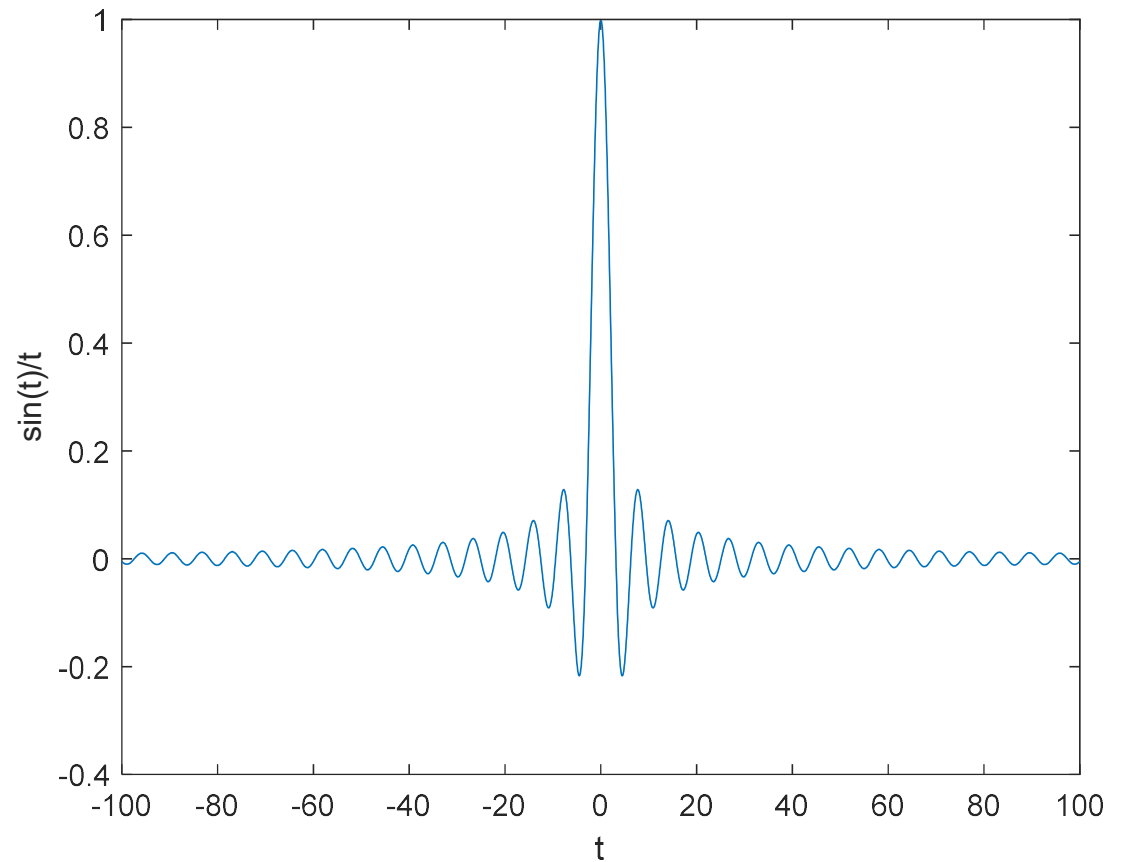
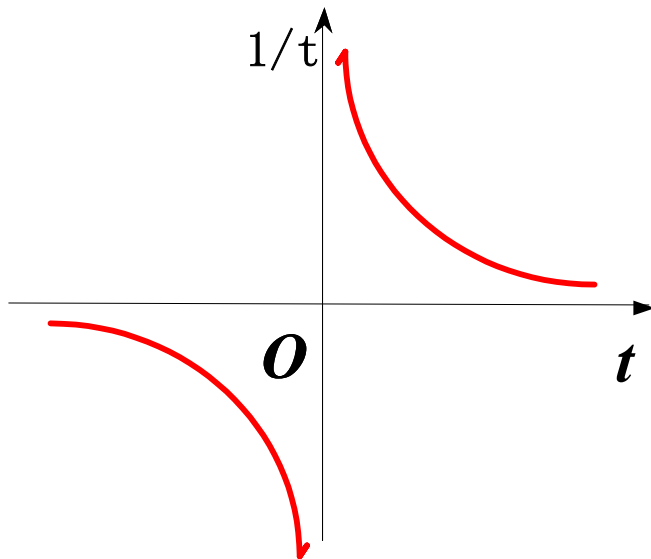
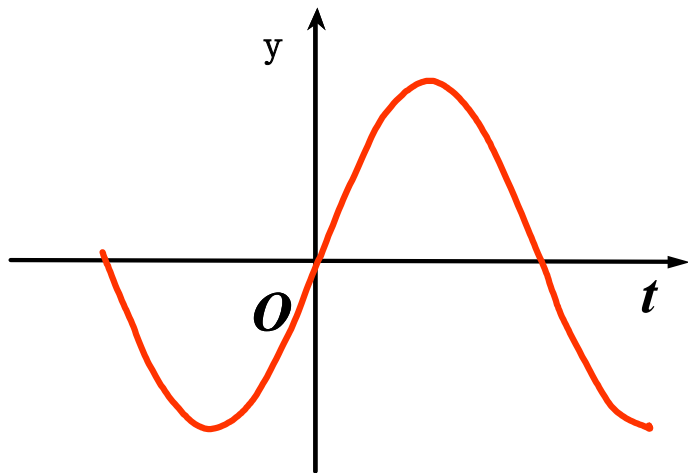
是指**同一瞬时**两信号之值对应相加所构成的“和信号”



信号的运算：乘除

2. 信号的乘除 $f(t) = f_1(t) \cdot f_2(t)$

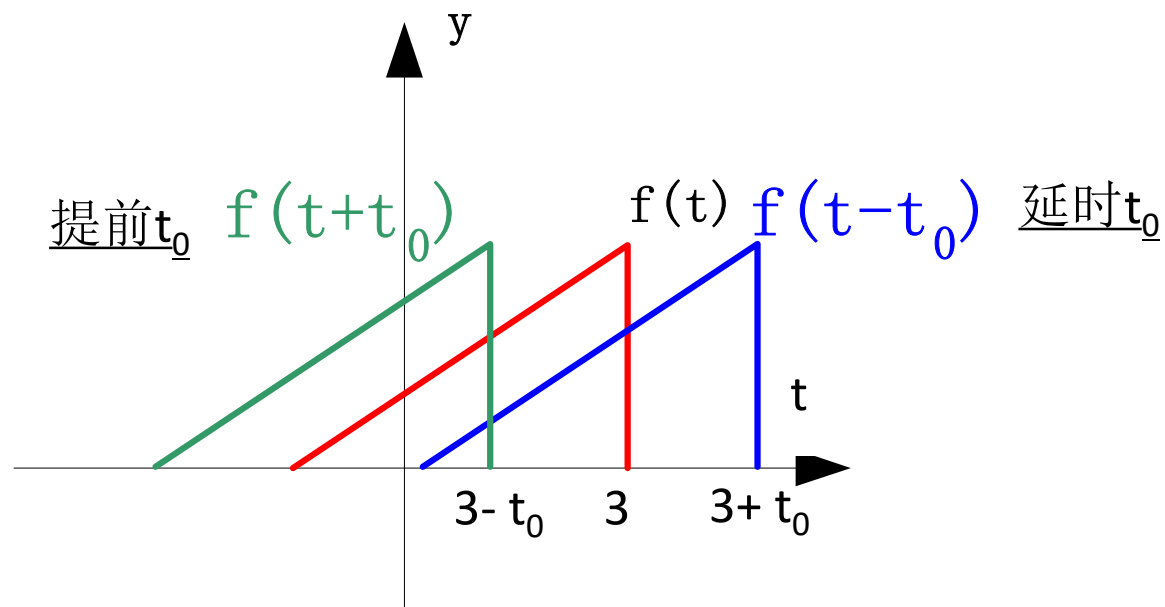
$$\text{Sinc}(t) = \sin(t)/t$$



信号的运算：平移

3 平移

$$f(t) \rightarrow f(t \pm t_0), t_0 > 0$$

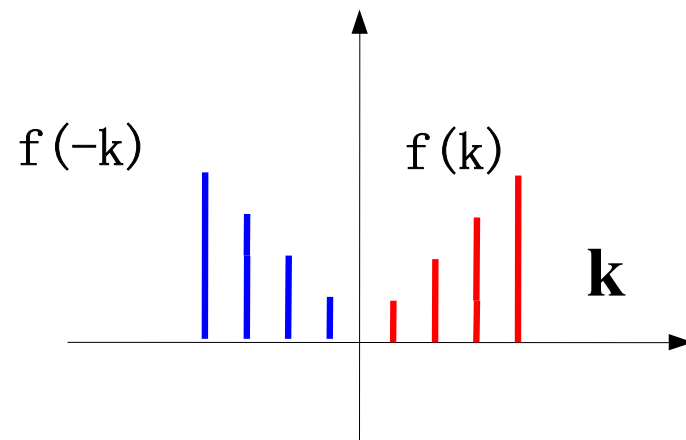
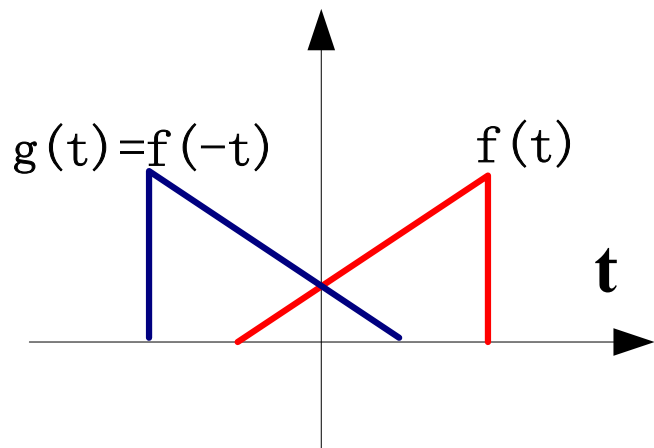


信号的运算：反褶

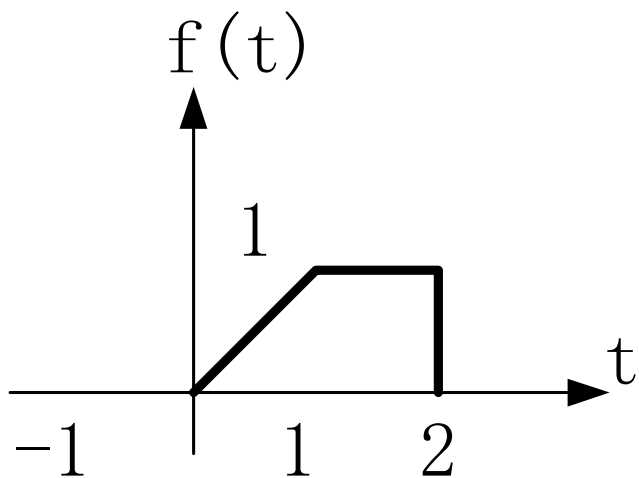
4.信号的反褶：

$$\begin{array}{c} \text{反褶} \\ f(t) \rightarrow f(-t) \\ \text{反褶} \\ f(k) \rightarrow f(-k) \end{array}$$

自变量取相反数



信号的运算：反褶



例1：一信号 $f(t)$,那么它的反褶信号是？

反褶是将信号中的 t 换为 $-t$

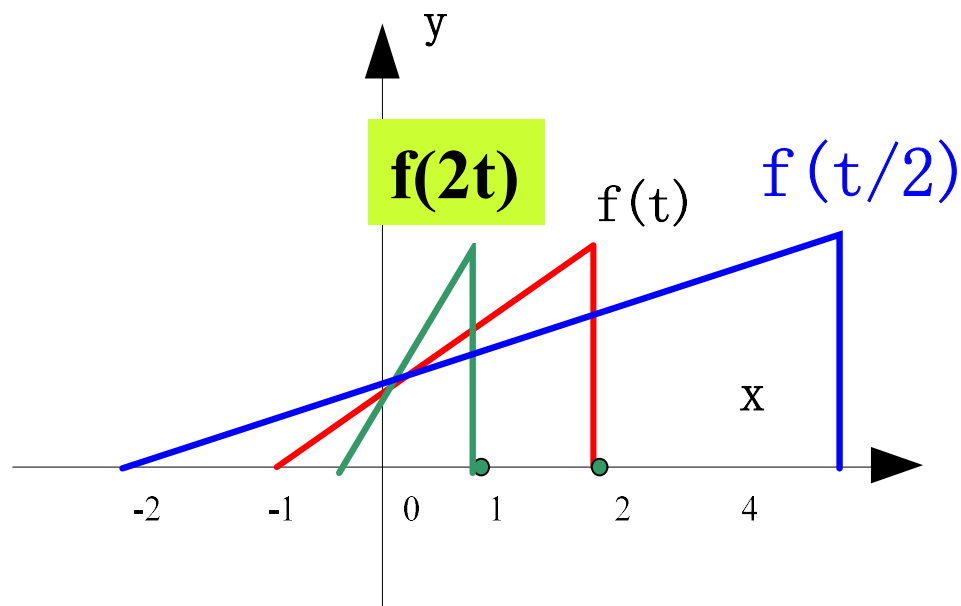
例2：问信号 $f(-t+2)$ 波形？

运算都是关于自变量(t)的

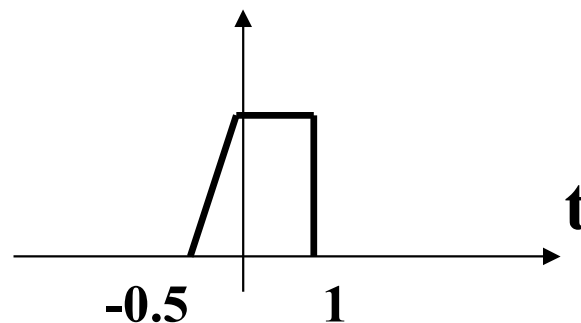
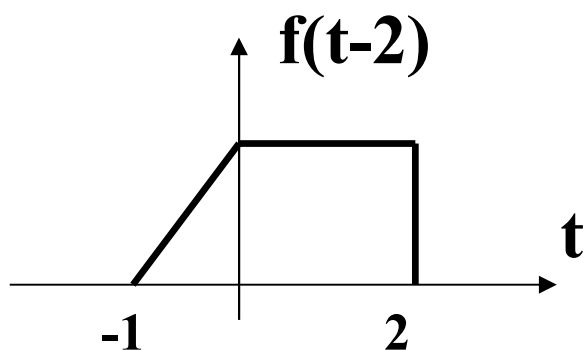
信号的运算：尺度变换

5 尺度变换：

$$f(t) \rightarrow f(at)$$



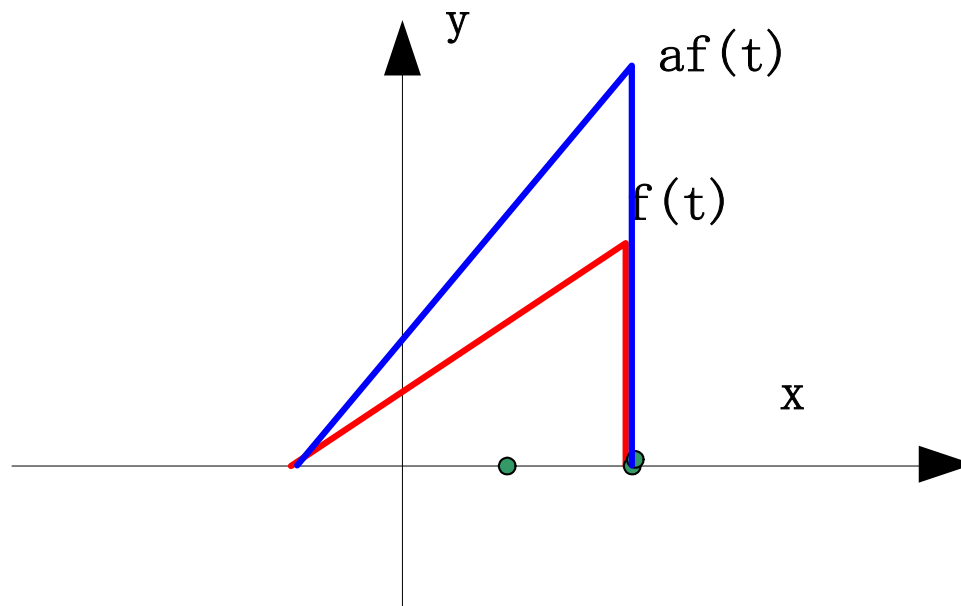
例：已知 $f(t-2)$ 的波形，请画出 $f(2t-2)$ 的波形。



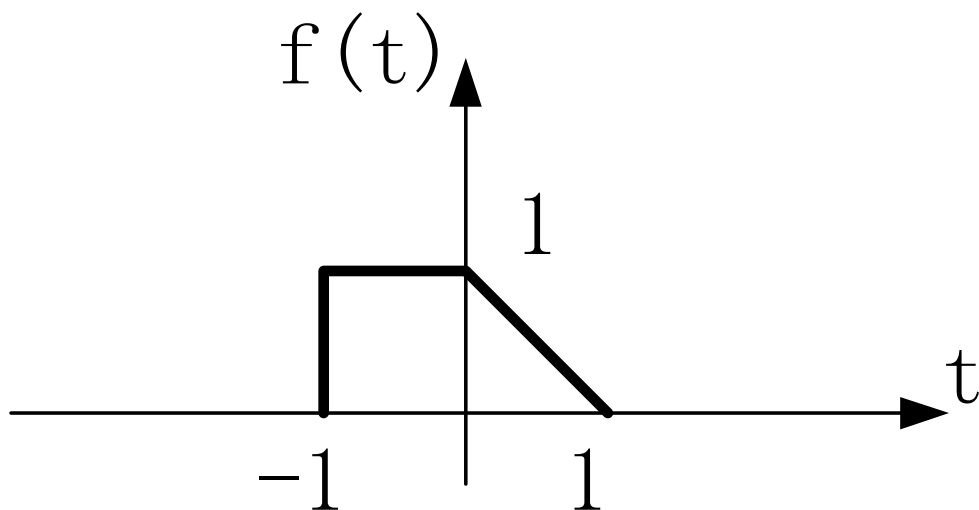
信号的运算：标量乘法

6 标量乘法:

$$f(t) \rightarrow af(t)$$



例：已知 $f(t)$ 如下图所示，求 $f(1-2t)$ 的波形。



分析：

$f(t)$ 平移 $f(t+1)$

$f(t+1)$ 反褶 $f(-t+1)$

$f(-t+1)$ 尺度 $f(-2t+1)$

信号的运算：综合

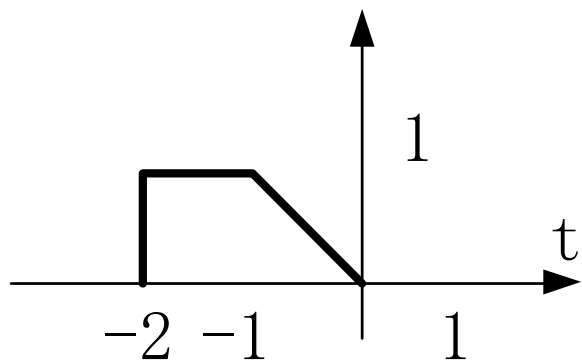
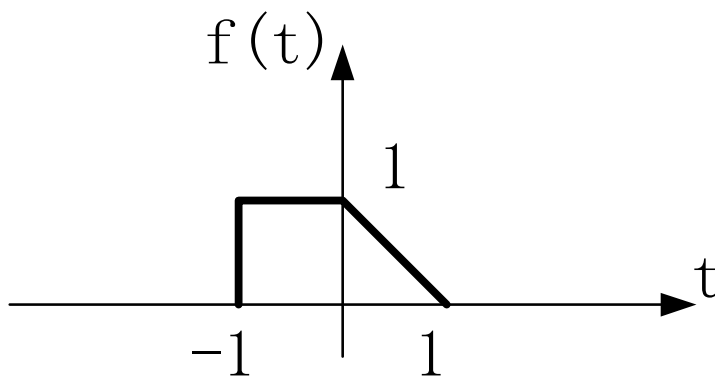
例：已知 $f(t)$ 如下图所示，求 $f(1-2t)$ 的波形。

分析：

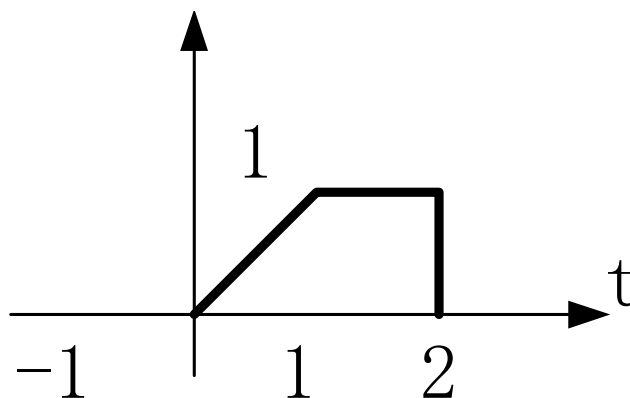
$f(t)$ 平移 $f(t+1)$

$f(t+1)$ 反褶 $f(-t+1)$

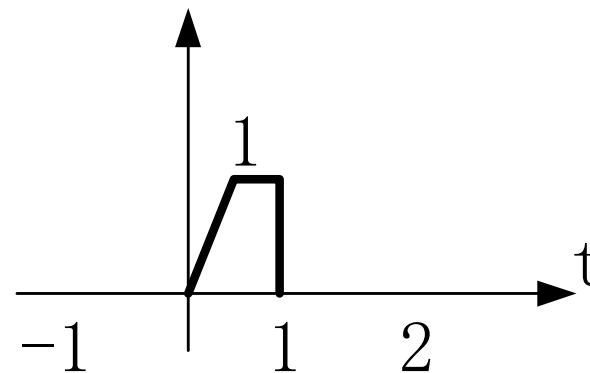
$f(-t+1)$ 尺度 $f(-2t+1)$



$f(t+1)$



$f(-t+1)$



$f(-2t+1)$

信号的运算：综合

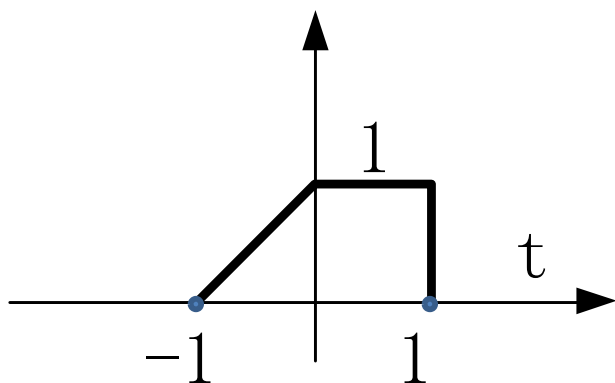
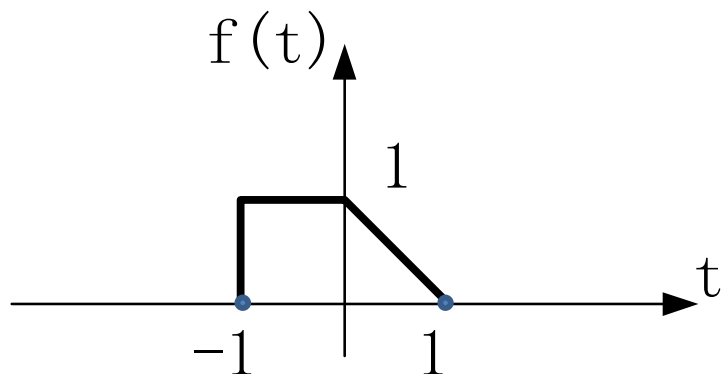
例：已知 $f(t)$ 如下图所示，求 $f(1-2t)$ 的波形. $f(-2(t-1/2))$

分析：

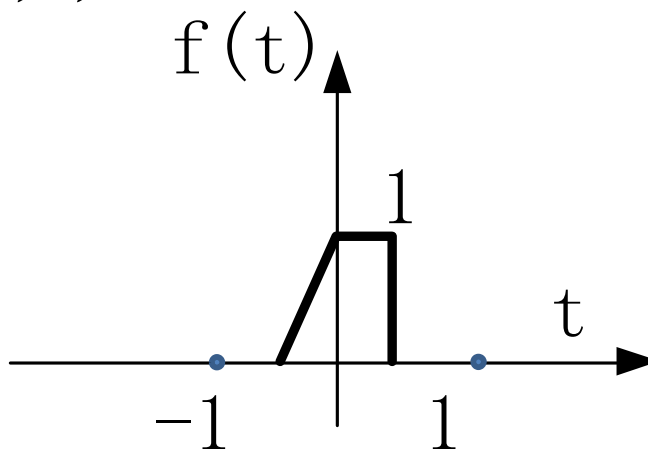
$f(t)$ 反褶 $f(-t)$

$f(-t)$ 尺度 $f(-2t)$

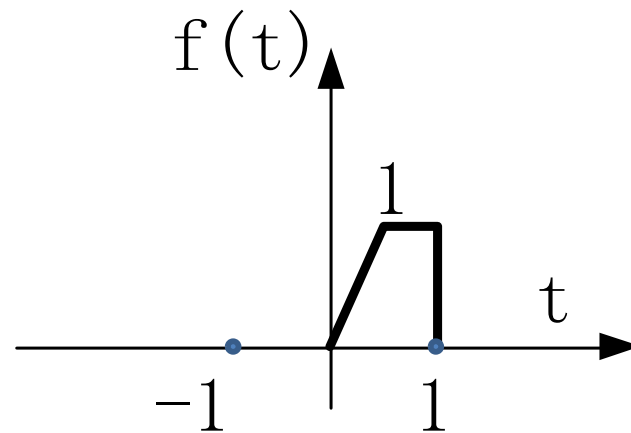
$f(t)$ 平移 $f(-2(t-1/2))$



$f(-t)$



$f(-2t)$



$f(-2(t-1/2))$

切记：所有操作都是对于自变量 t

信号的运算

- 加减
- 乘除
- 平移
- 反褶
- 尺度变换
- 标量乘法
- 综合：所有操作都是对于自变量 t

信号与系统：第一章

- 信号与系统的概念
- 信号的分类
- 信号的运算
- 系统的分类
- 系统的特性

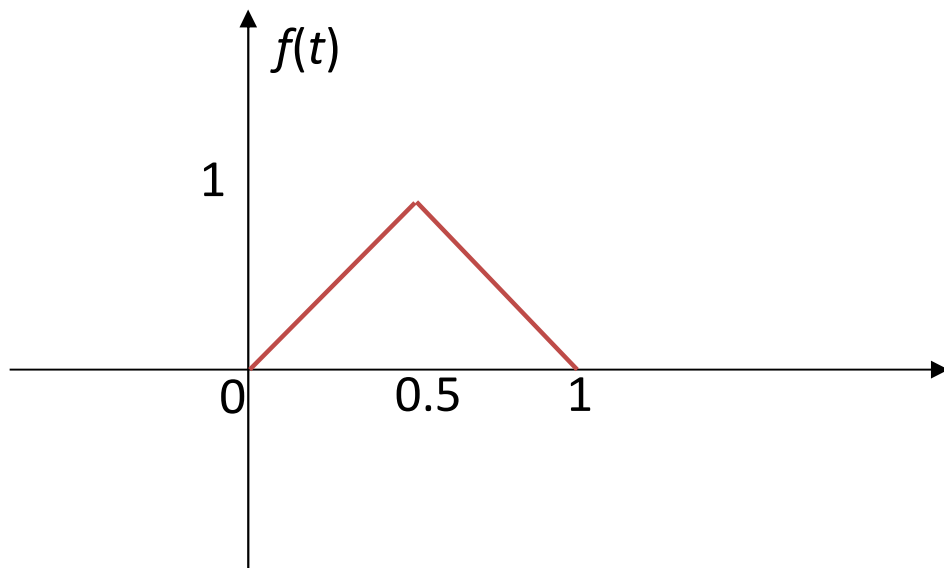
信号的分类5： 能量信号和功率信号

练习1： 判断如下函数是能量信号、功率信号、还是非功非能信号？

$$f(t) = e^{j\omega_0 t}$$

注意此函数是周期信号！！

练习2： 画出 $f(-2-2t)$



习题： 1.1, 1.2(a)-(d), 1.3, 1.4, 1.6