

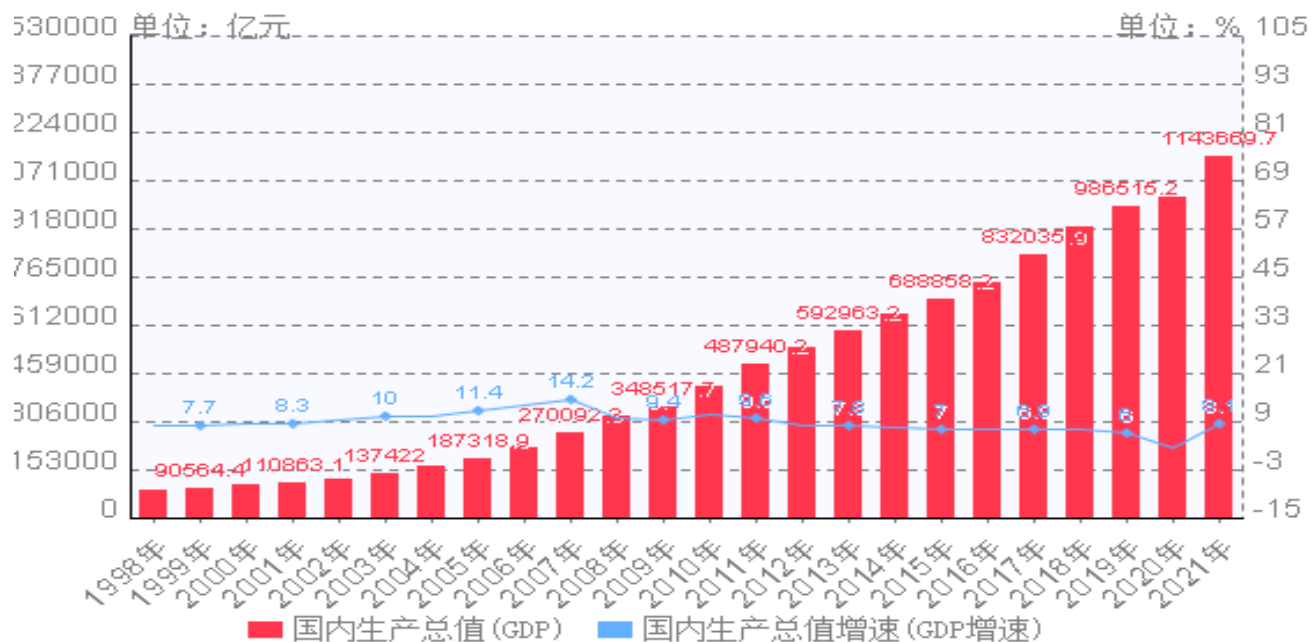
A photograph of an astronaut in a white spacesuit working on the exterior of a large orange and white rocket in space. The Earth's blue and white clouds are visible in the background.

信号与系统

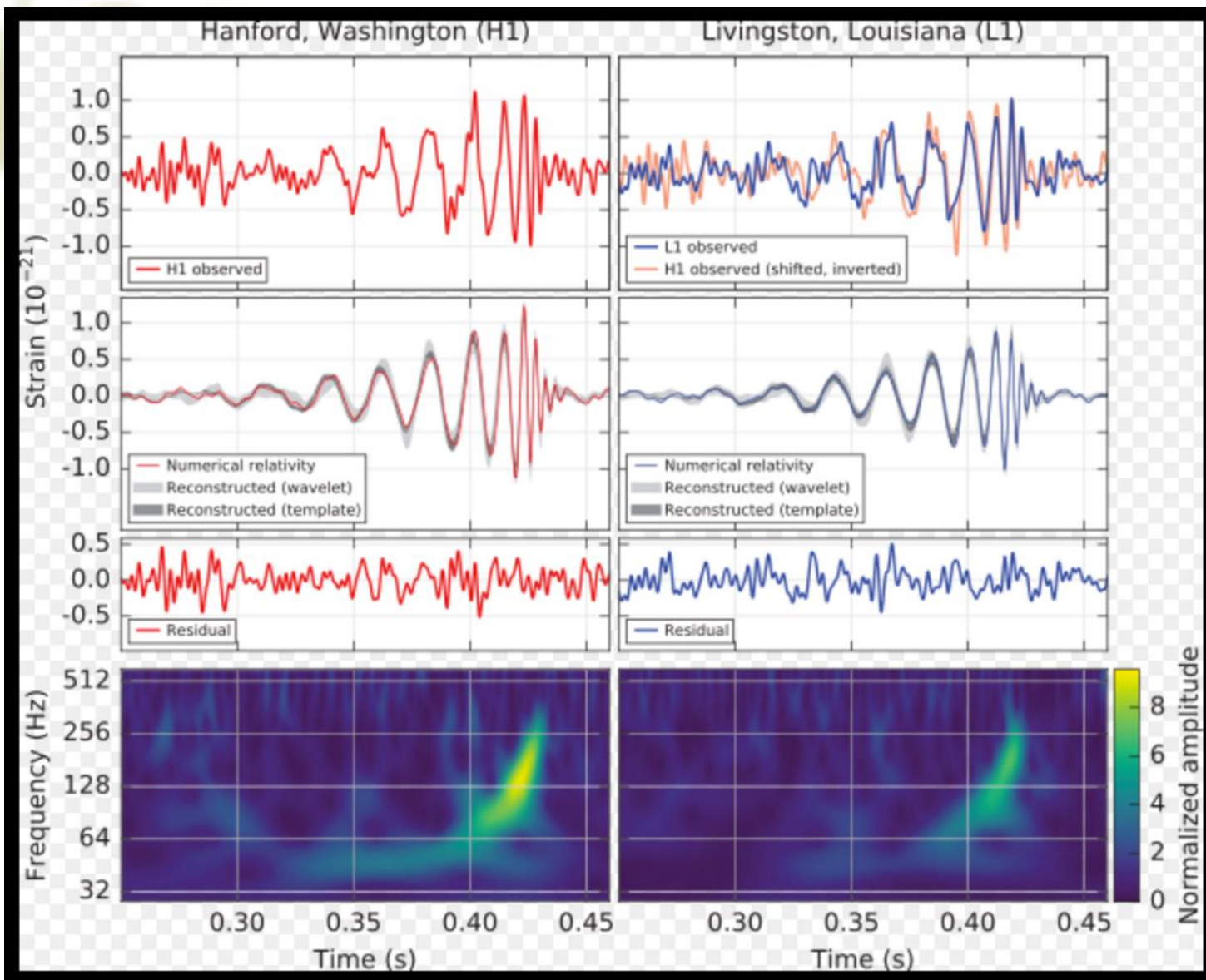
课程号及课程序号：sd01232080-0 崇新23

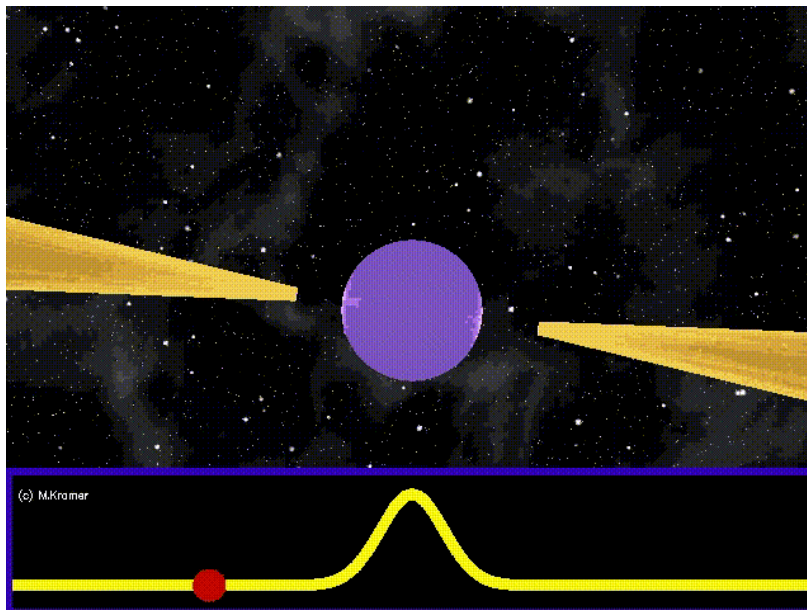
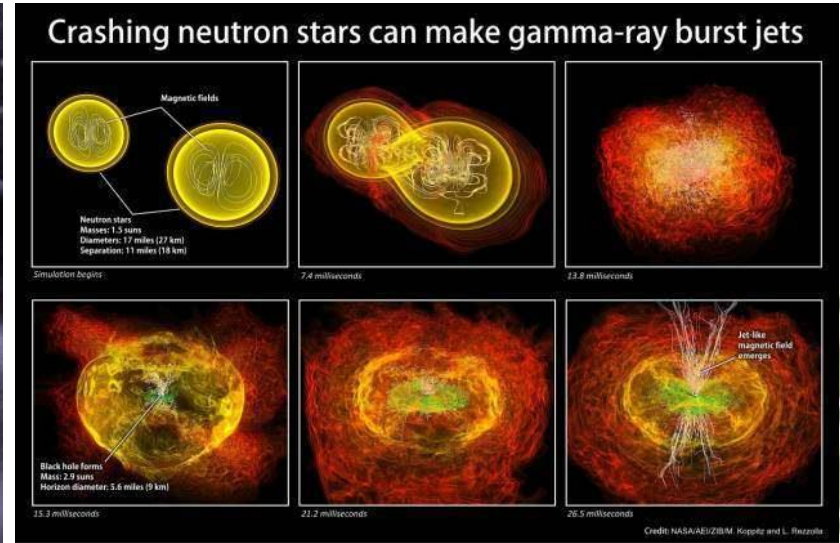
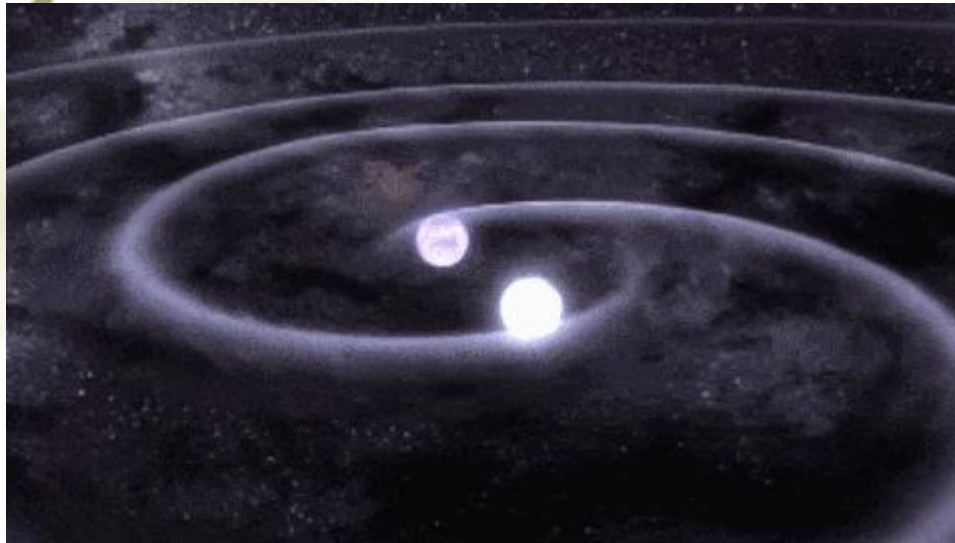
主讲人 杨明强
山东大学信息学院

1998年-2021年国内生产总值(GDP)



引力波 时空曲率的涟漪，从源处以光速传播。

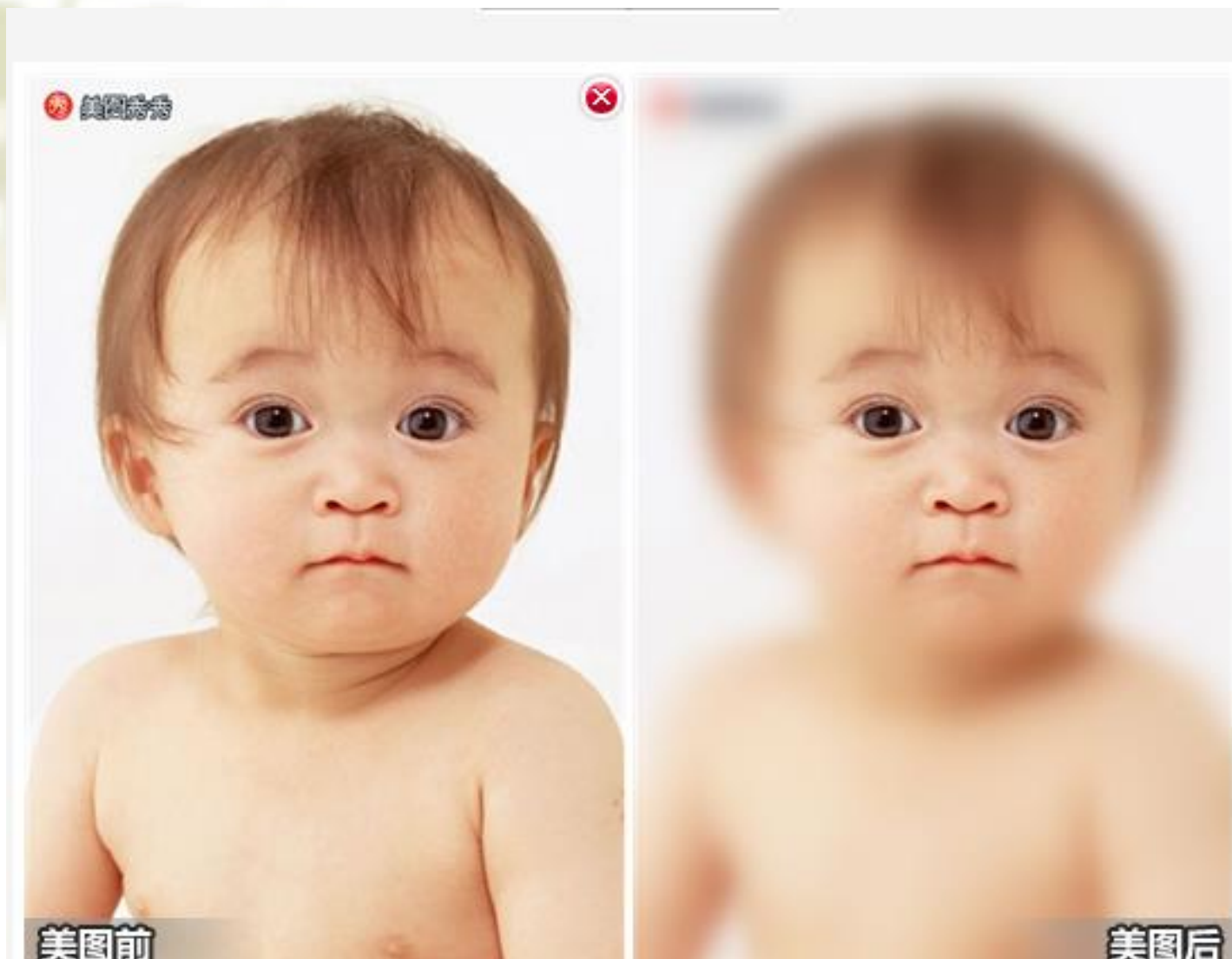






中国载人月球探测
月面着陆器

图像处理



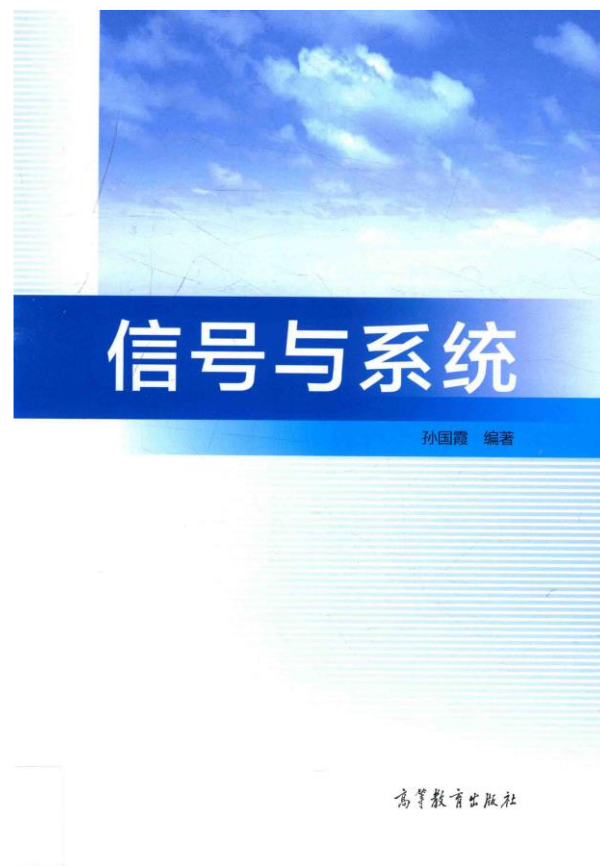
课程定位

先修课程

《高等数学》
《大学物理》
《复变函数》
《电路分析基础》

后续课程

《数字信号处理》
《通信原理》
《图像处理》
⋮



本课程定位为：一门**重要的**专业基础课程。

学习要求

•清晰的物理概念及扎实的数学功底:

注意分析结果的物理解释，各种参量变动时的物理意义及其产生的结果；应用数学知识较多，注重物理概念理解与数学分析方法的有机结合；同一问题可有多种解法，应寻找最简单、最合理的解法。

•牢固的电路分析基础

•课程要求:

以积极乐观的心态学习
提前预习，及时复习

认真**独立**完成作业
遇到问题及时解决

准备一个作业本
(16开大演草)

课程学习方法:

上课: 互动; 利用PPT

作业: 每章一交

实验: 预习-实验

答疑: 周五 9:00-11:30

第周苑D-329-2



联系方式:

E-mail: 905095771@qq.com

主要内容

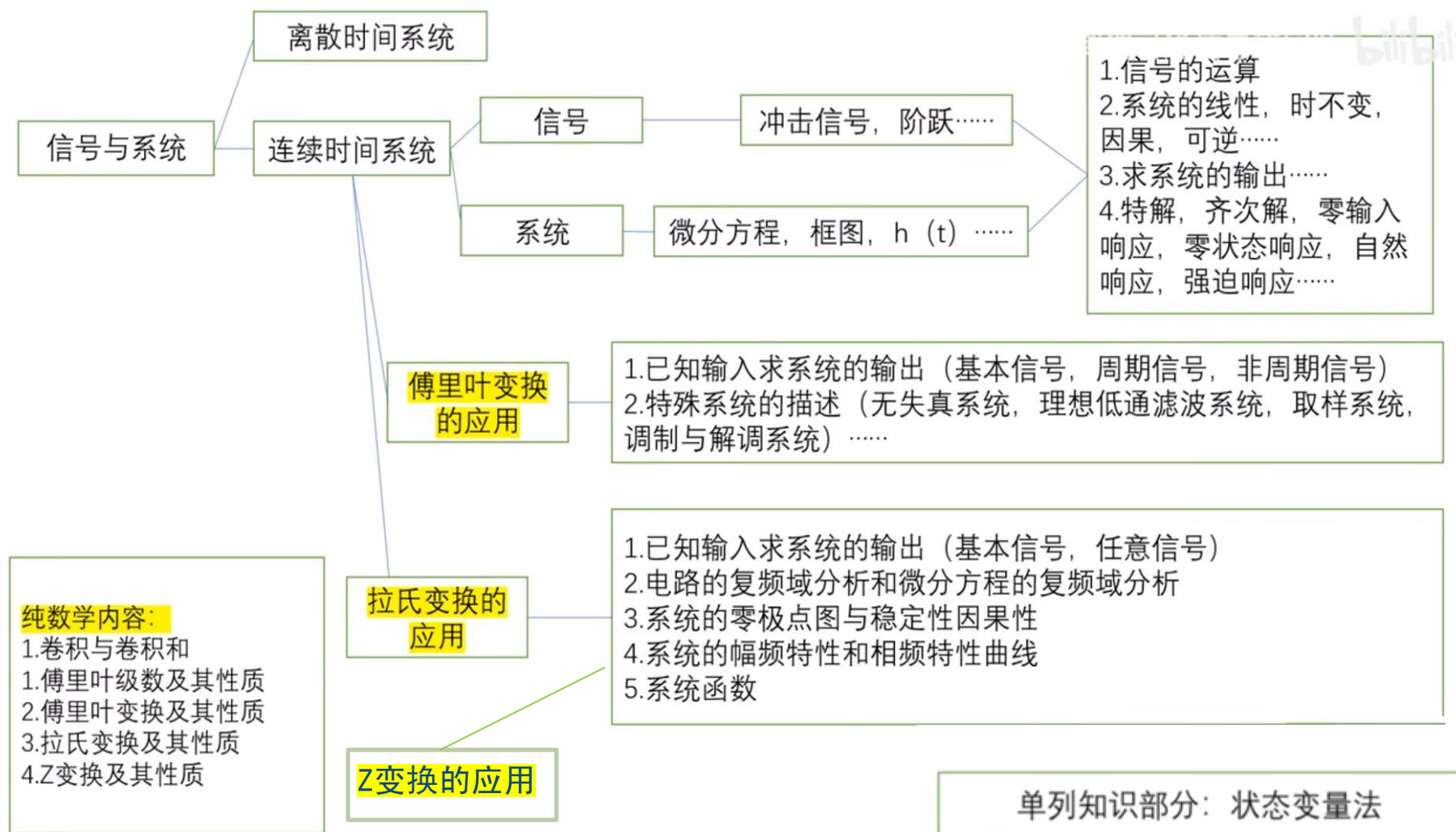
本课程研究确定性信号经线性时不变系统传输与处理的基本概念：

1. 这些系统将对信号产生怎样的影响？
2. 系统具有怎样的特性（系统分析）？
3. 为了达到某种目的，应该设计怎样的系统？

基本分析方法：

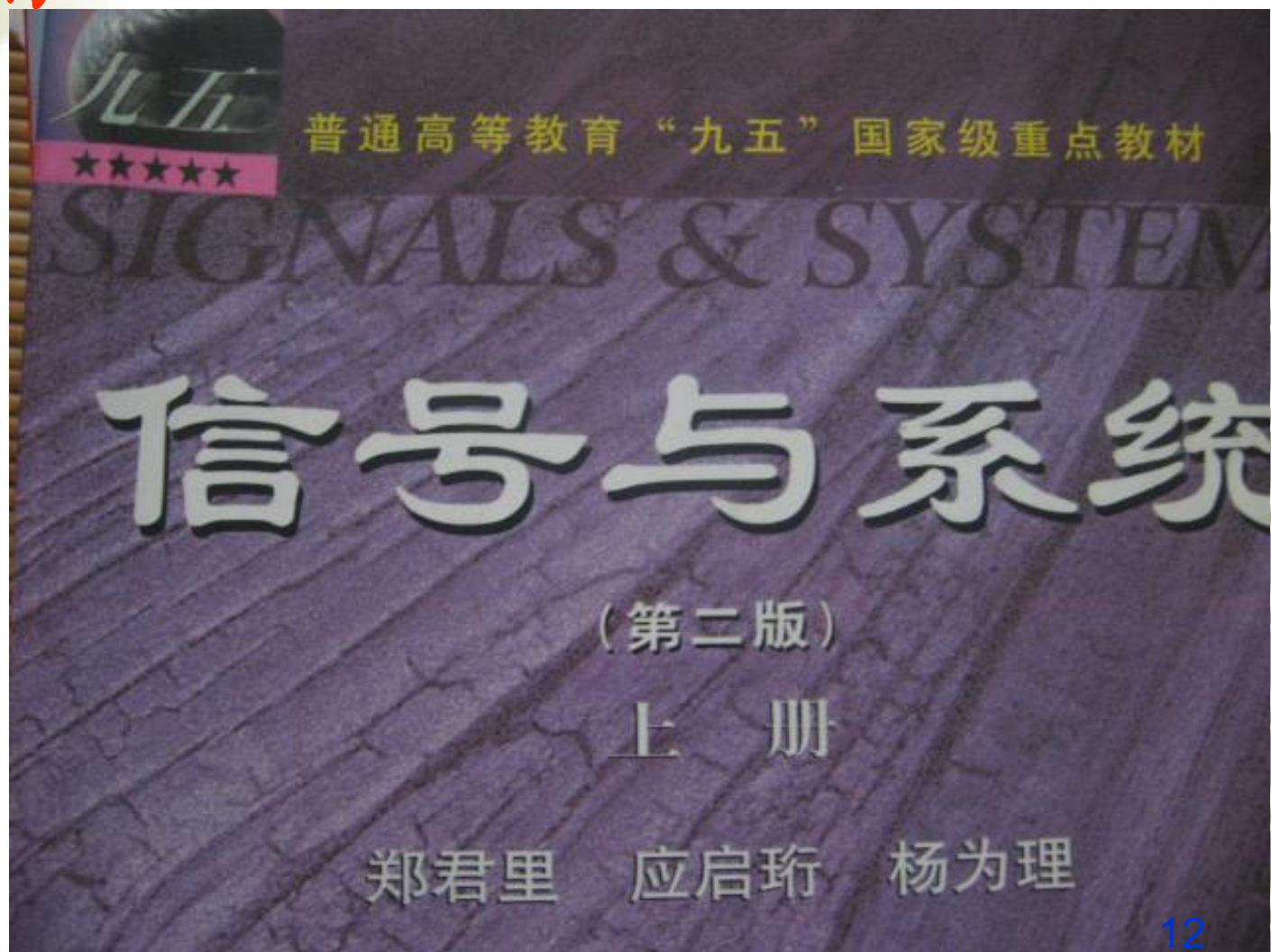
1. 从时间域到变换域；
2. 从连续到离散；
3. 从输入输出分析方法到状态空间描述。

信号与系统知识体系



- ❖ 文档说明：
- ❖ 1、课件（pdf格式）
- ❖ 2、郑君里教授的教材（国内经典教材，作为参考）
- ❖ 3、实验

参考书目



参考书目



第一章 信号与线性系统的基本概念

§ 1.1 信号

1.1.1 信号的概念

一、定义与描述：

信号指消息(message)的表现形式与传送载体。

主观感受到的语言、文字、数据、图象等的总称

信息：消息中有意义的内容。

对消息统计特性的一种定量描述。

1928年哈特莱首先提出信息量量化的初步设想；
1948年仙农(Shannon)对信息量作了深入而系统研究。

§ 1.1 信号

1.1.1 信号的概念

一、定义与描述：

信号指消息(message)的表现形式与传送载体。

主观感受到的语言、文字、数据、图象等的总称

信息：消息中有意义的内容。

对消息统计特性的一种定量描述

将消息转变为信号：便于携带、传输、存储、测量、变换和处理



说明:

1、广义：信号是随时间变化的某种物理量。

时域信号

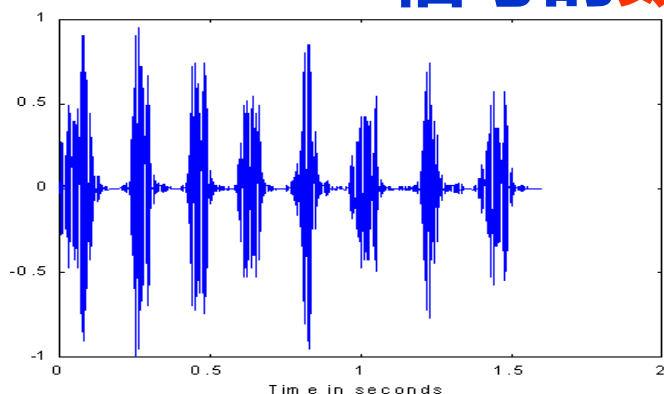
信号的波形描述方法

(空域信号)

电信号易于测量、变换、处理和传送。

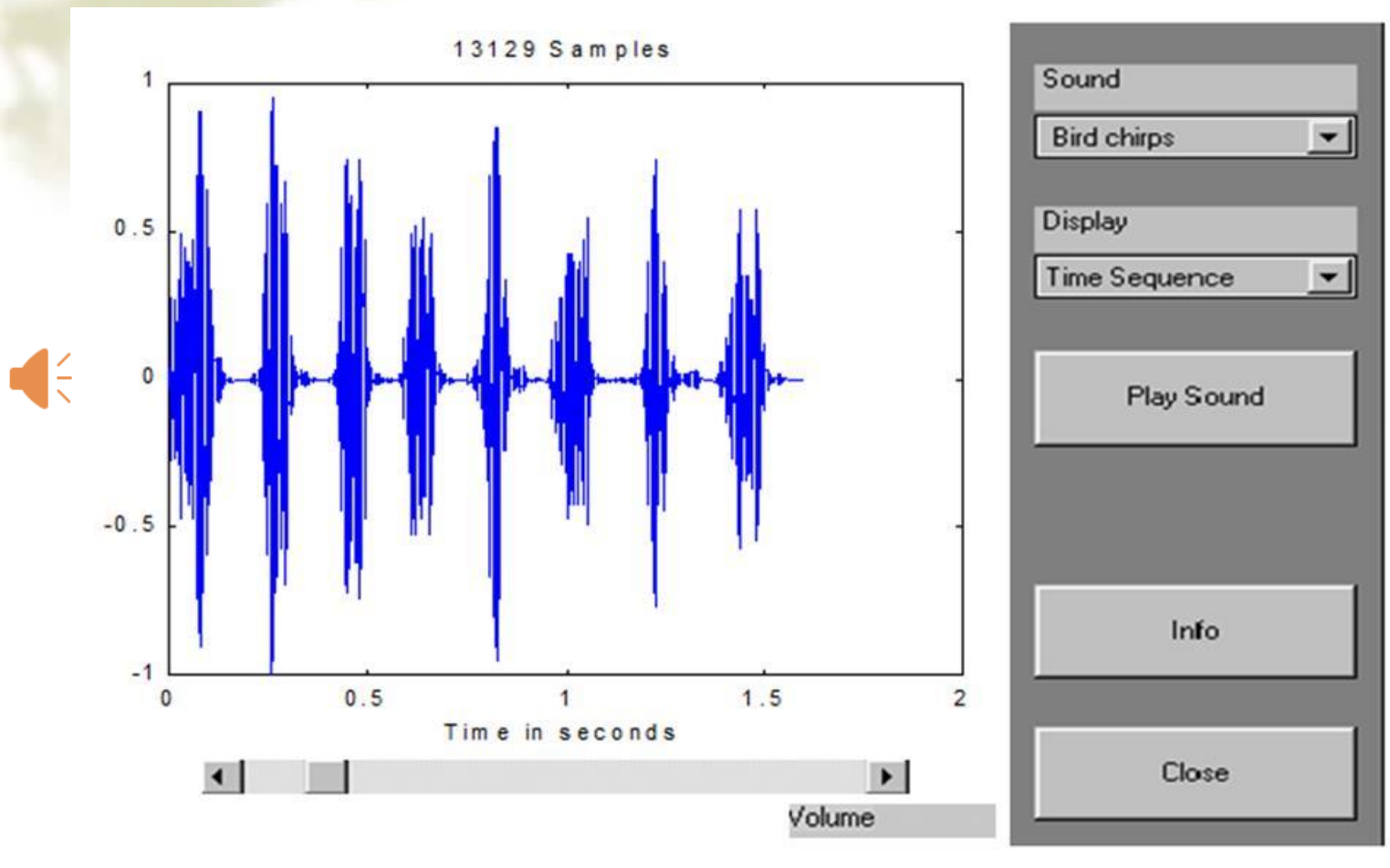
2、数学：信号可视作一个或多个自变量的函数。

信号的数学描述方法

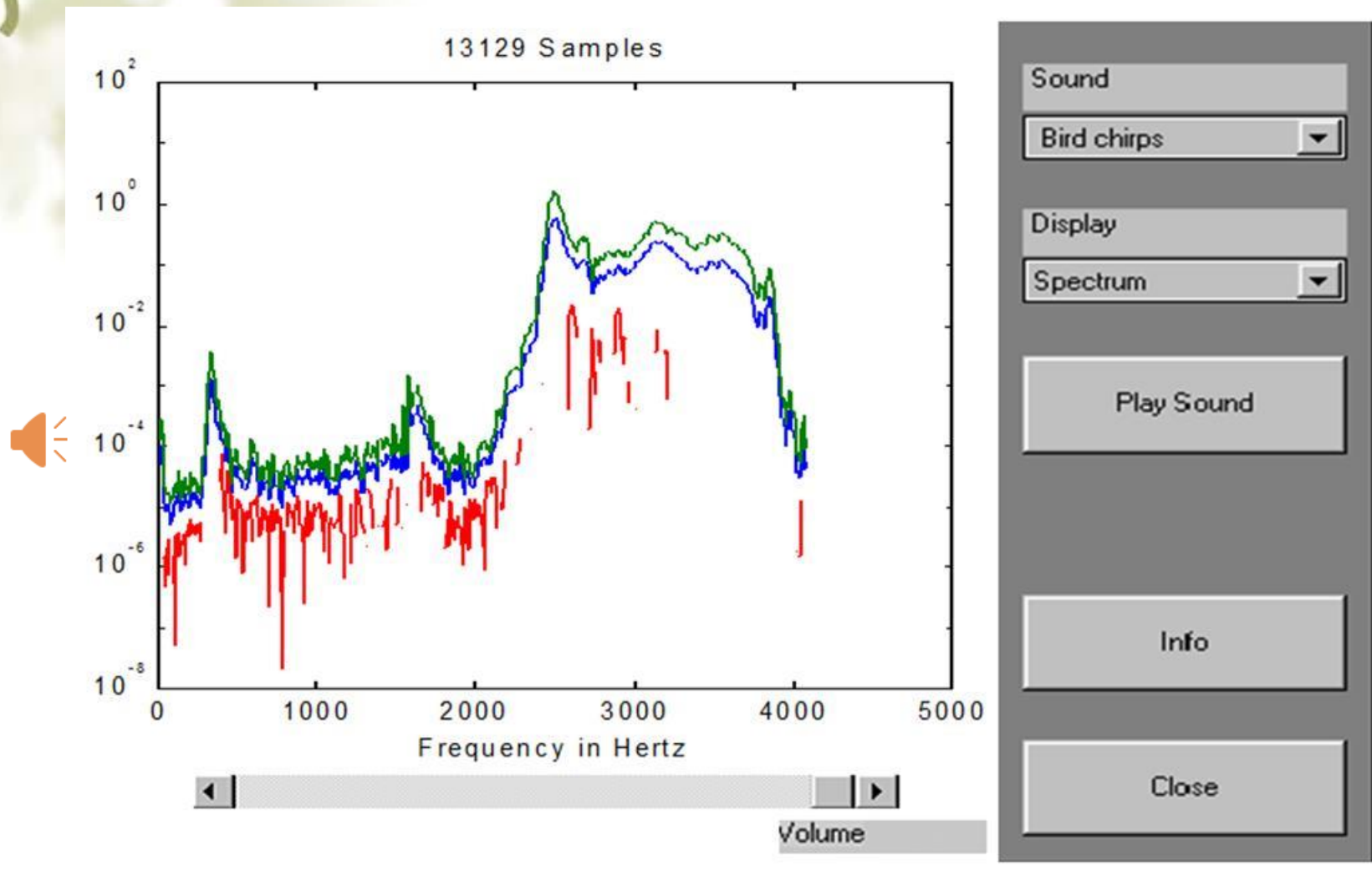


上面2个图是信号吗？

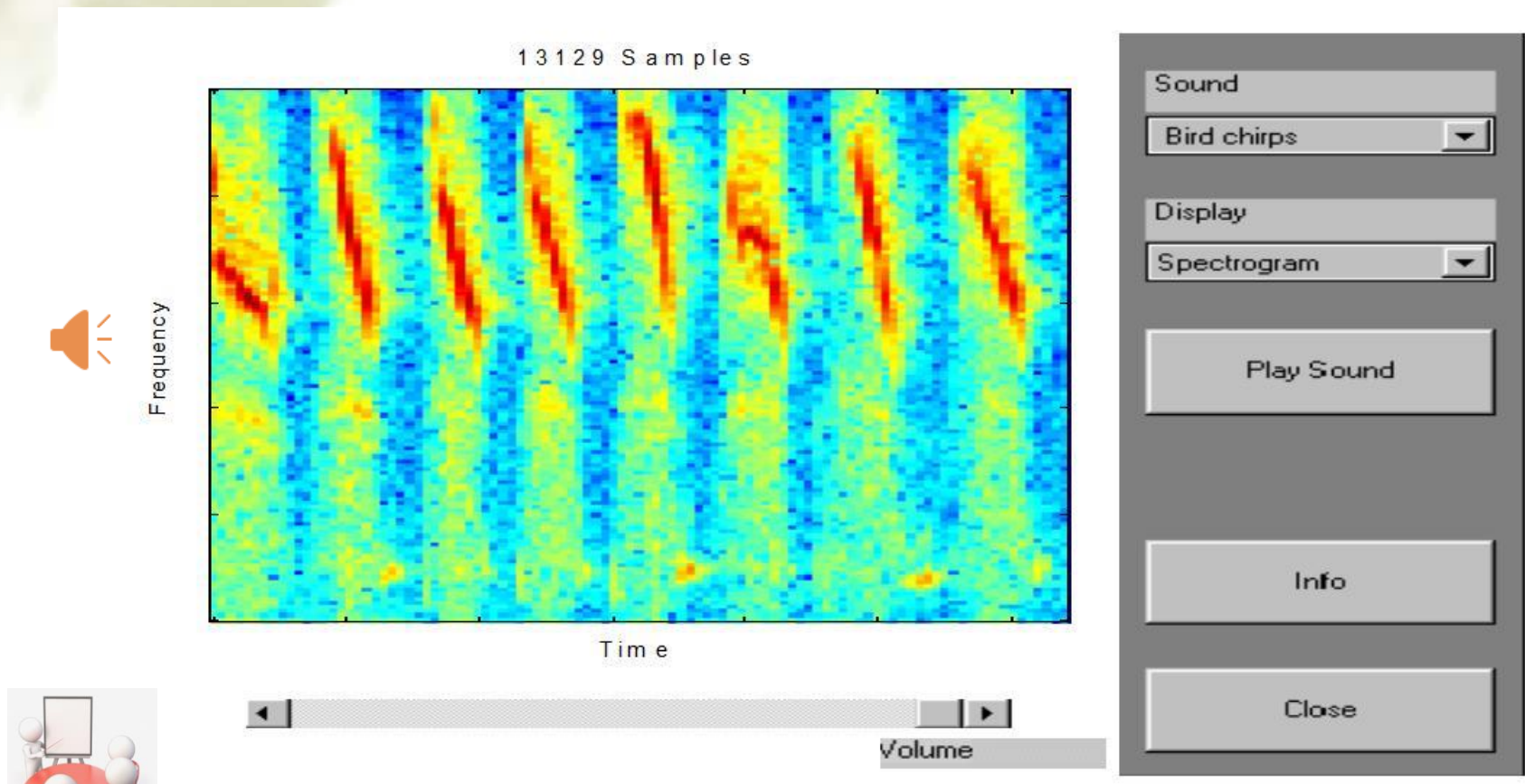
一段鸟鸣的声音的时域波形



鸟鸣在不同频率时的幅度分布—频谱

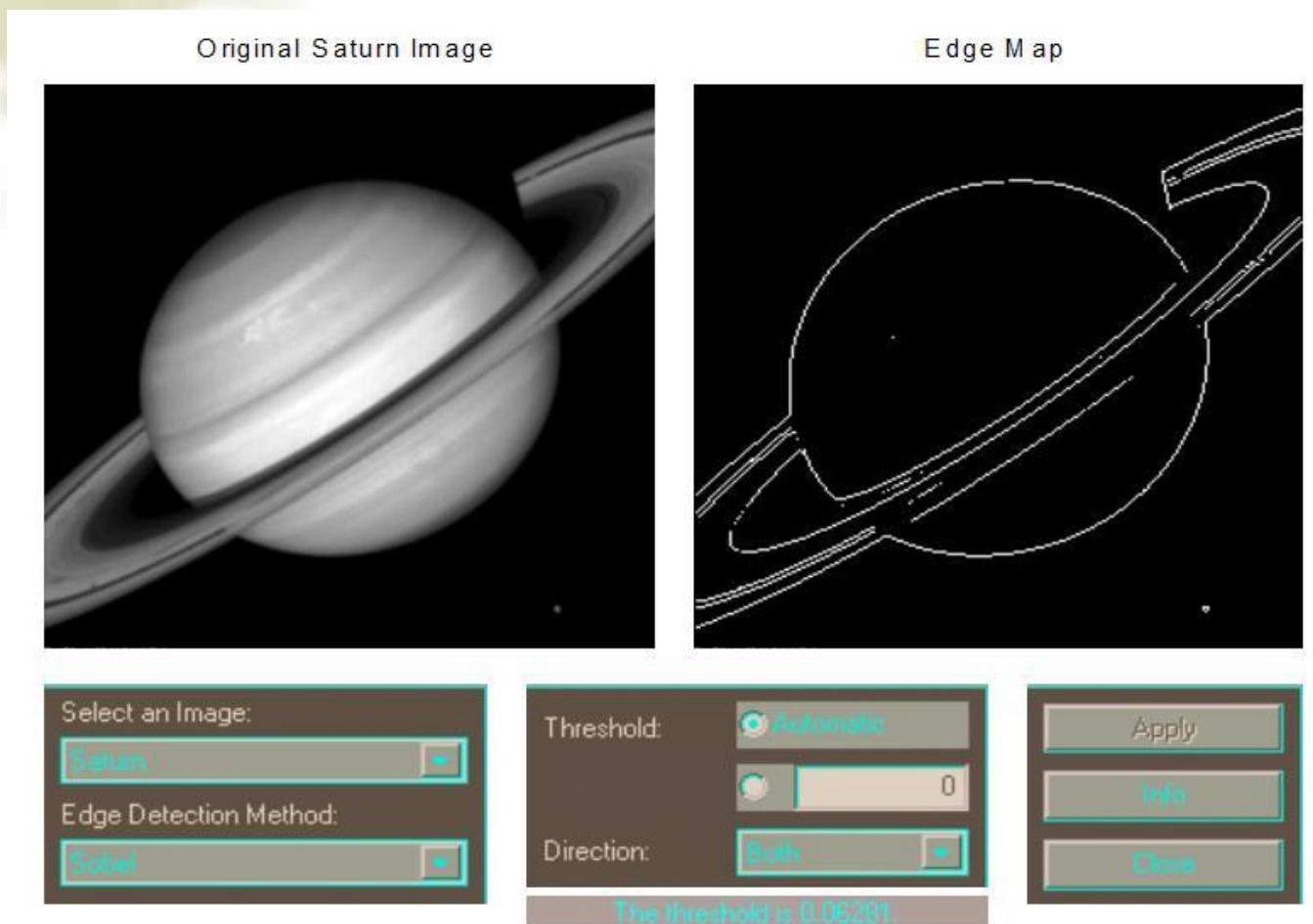


鸟鸣声的时-频谱阵图

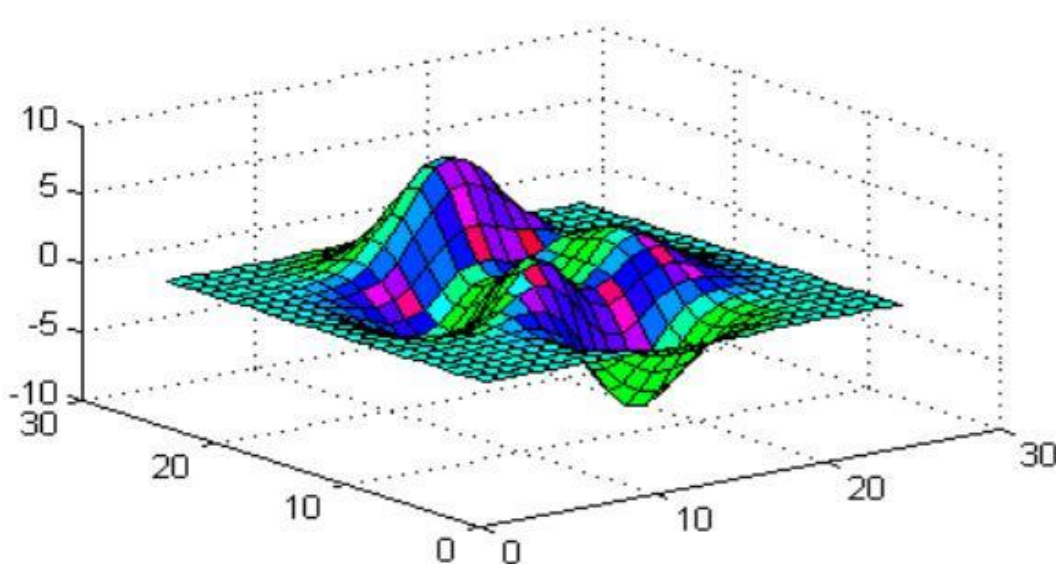


讨论：通过该图能发现什么？即如何读懂时频图

图象携带信息特征——轮廓



波形的三维描述



Command Window

```
z=peaks(25);  
surf(z)  
colormap(hsv)
```

Plot Type
surf

Shading
faceted

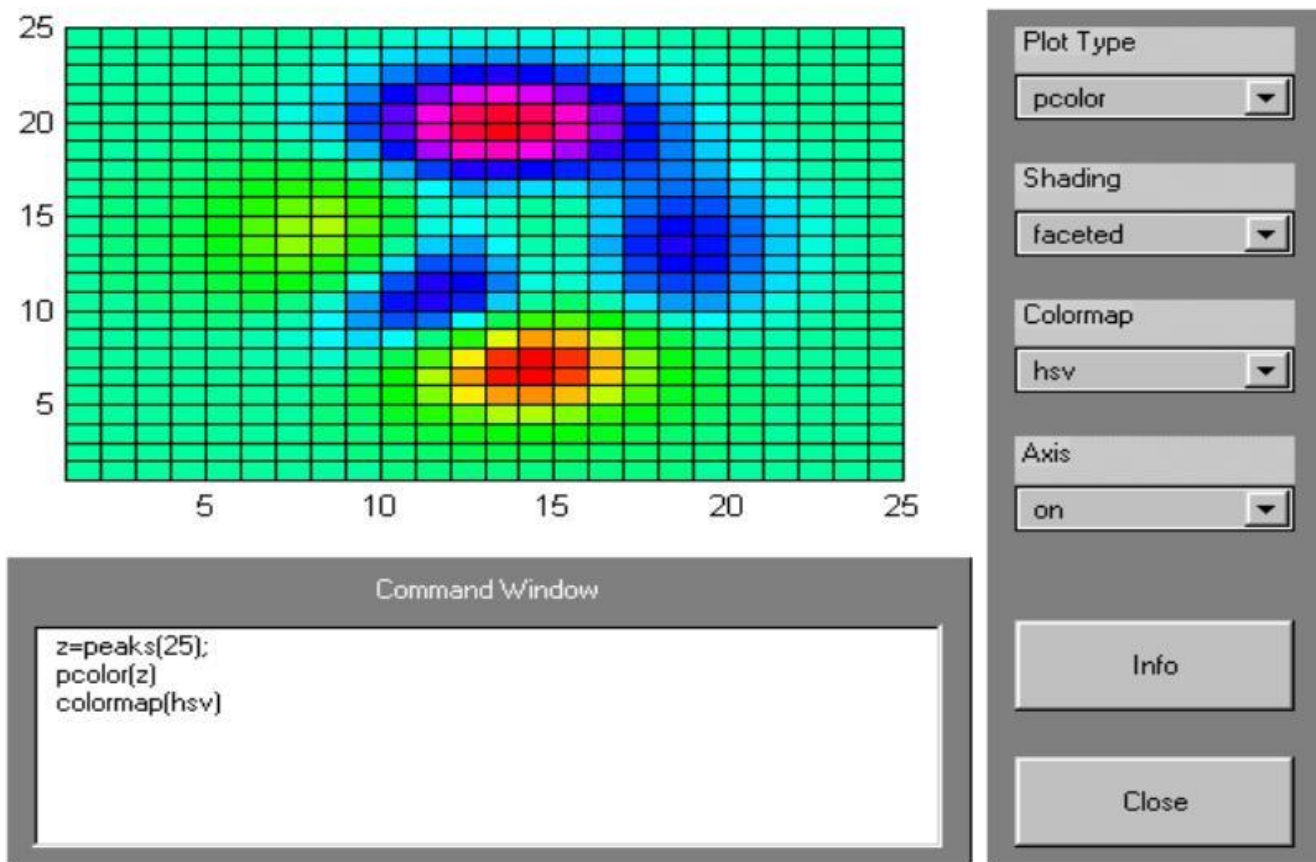
Colormap
hsv

Axis
on

Info

Close

等高面的表示



1.1.2 信号的分类和描述

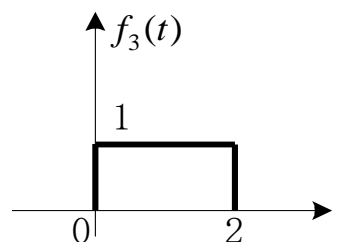
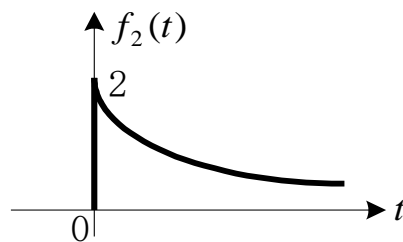
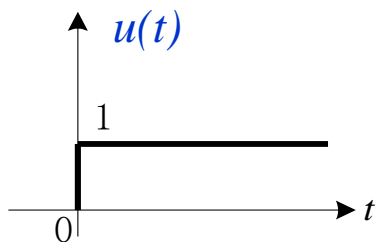
1. 信号的分类

(依据不同特性做多种分类)



1) 确定性信号和随机信号

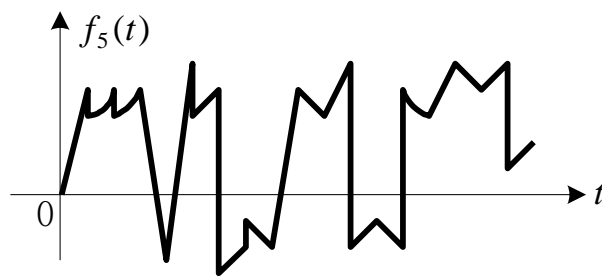
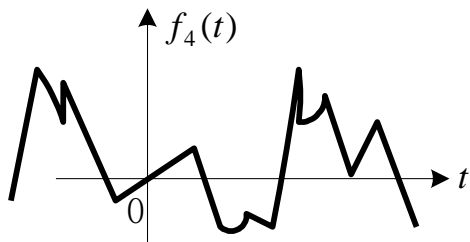
确定性信号



阅读下面7页，
回答

- 1、信号有哪几种分类；
- 2、如何判断某信号属于哪一类

随机信号



2) 连续时间信号(Continuous-time (CT) Signals)和离散时间信号(Discrete-time (DT) Signals)

定义域连续?

NO

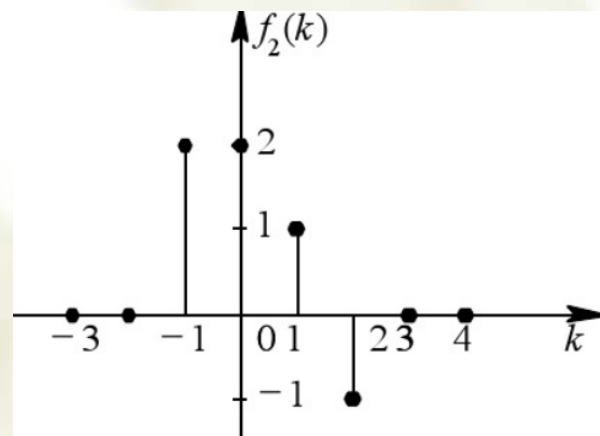
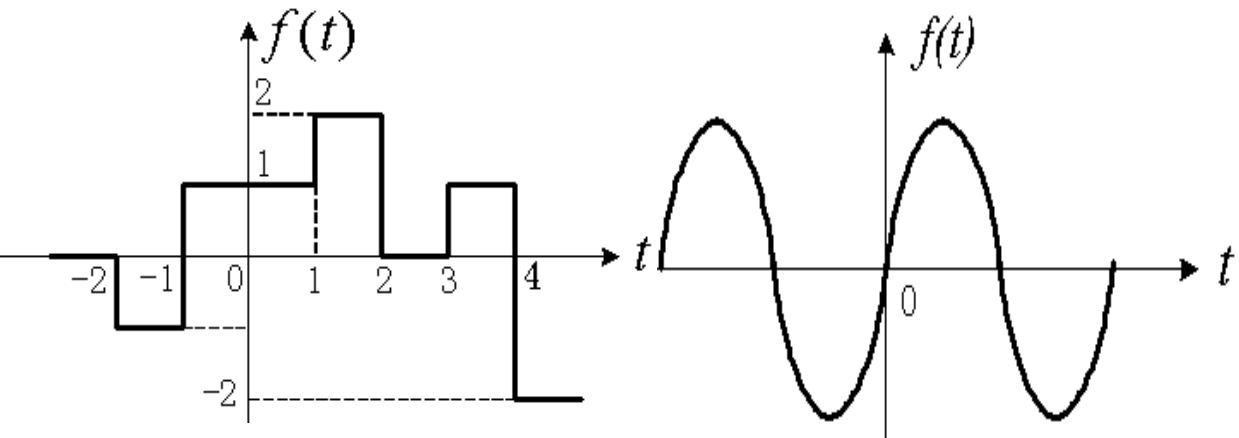
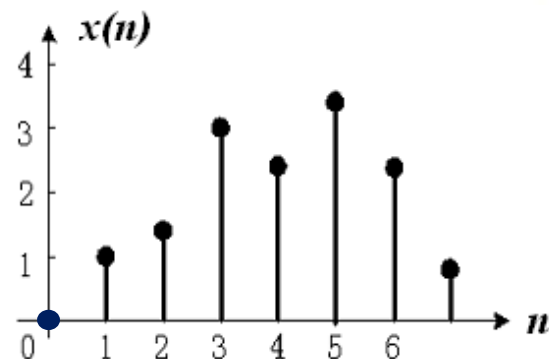
离散时间信号

YES

连续时间信号

脉冲信号

模拟信号

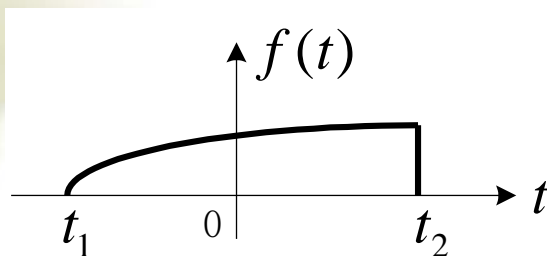


连续信号与数字信号转换

数字信号 25

3) 时限信号和非时限信号

时限信号

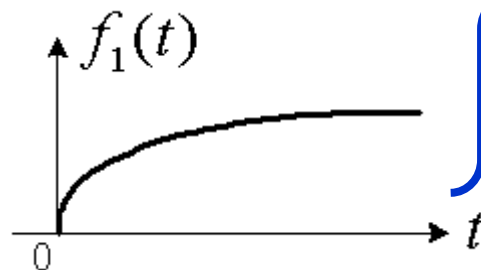


若 $t < t_1$ 时,
 $f(t) = 0$, 称
为有始信号

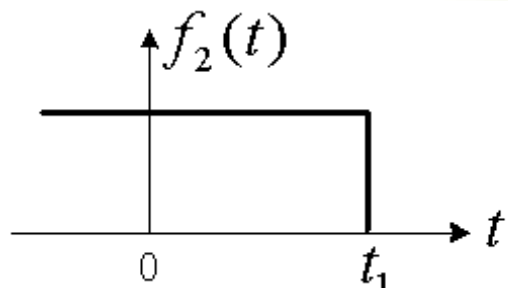
当 $t_1 = 0$ 称为
因果信号

非时限信号

右边信号

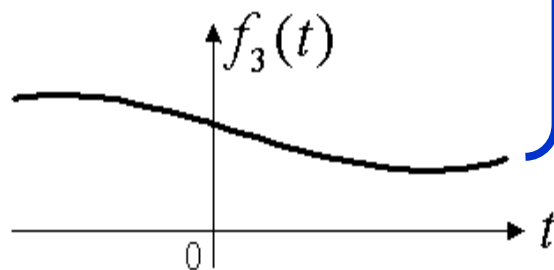


左边信号



称为无始信号

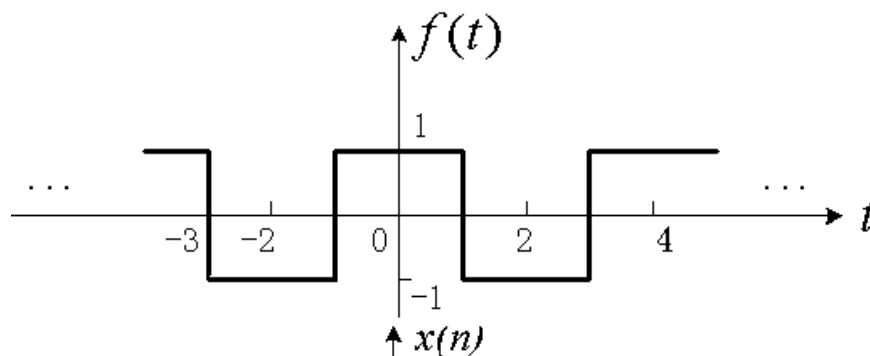
双边信号



4) 周期信号(Periodic signals)和非周期信号

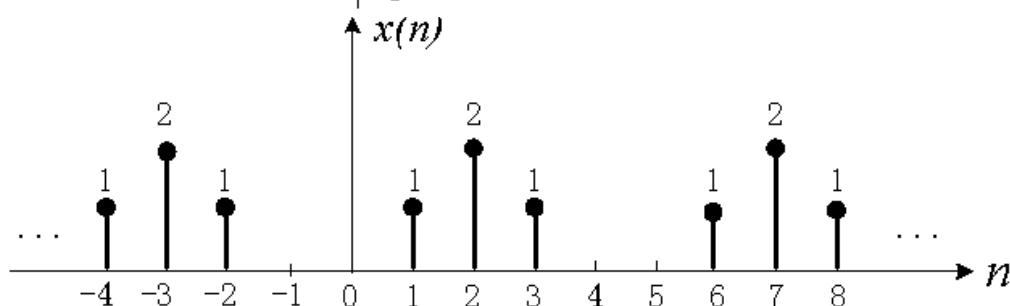
$$f(t) = f(t + mT_0)$$

(m 为整数, T_0 为正常数)



$$x(n) = x(n + mN_0)$$

(m 为整数, N_0 为正整数)



实际周期信号多数是时间有限的。

数学上与工程上

非周期信号可以视为是周期无穷大的周期信号

两个周期信号 $x(t)$, $y(t)$ 的和 $x(t)+y(t)$ 一定是周期信号吗?

两个周期信号 $x(t)$, $y(t)$ 的积 $x(t) \times y(t)$ 一定是周期信号吗?

是

不一定是

一定不是

结论: 连续周期信号周期比值为有理数时,
其和信号为周期信号。

证明过程教材p6 例1-1

信号中的数学小知识3——【信号基础阶段】
高频问题答疑 哔哩哔哩 bilibili

求最小公倍数的方法:

- 1、提取公共无理数因子 (比如 π) (如果有) (如果没有)
- 2、通分使其分母相同, 提取分母为公因子
- 3、对分子提取公因子
- 4、乘所有公因子得到的积即为最小公倍数。

5) 能量信号和功率信号

定义信号的能量为:

连续时间信号

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

离散时间信号

$$E = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |x(n)|^2$$

定义信号的功率为:

连续时间信号

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

离散时间信号

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

能量信号： $0 < E < \infty$ 且 $P = 0$ 的信号

能量有限的为能量信号

功率信号： $0 < P < \infty$ 且 $E = \infty$ 的信号

功率有限的为功率信号

非能量非功率信号：能量和功率都不是有限的信号

判断方法1：

时限信号为能量信号；

周期信号和随机信号为功率信号；

非时限非周期信号可能是能量信号也可能是功率信号。

$$3e^{-2t} \quad t \geq 0$$

$$3e^{2t} \quad t \geq 0$$

判断方法2:

能量信号：持续时间有限的脉冲信号，或 $t \rightarrow \infty$ 时， $f(t) \rightarrow 0$

功率信号：持续时间无限，但幅度有限而不趋近零的信号；

$$1 \quad t \geq 0$$

既非功率又非能量信号：当 $t \rightarrow \infty$ 时， $f(t) \rightarrow \infty$ 。 $3e^{2t} \quad t \geq 0$
(持续时间无限，但幅度无限的信号)

下列说法不正确的是（ ）。

一般周期信号为功率信号。

时限信号为能量信号。

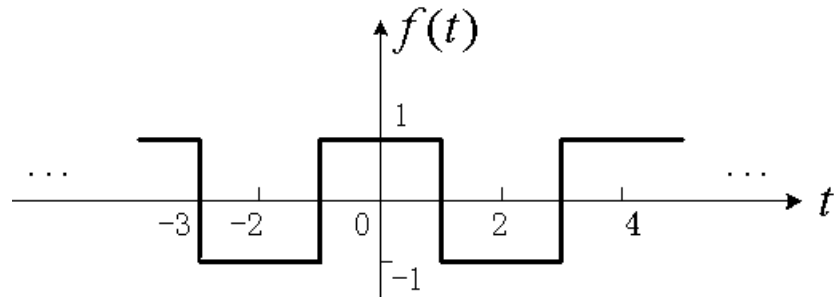
$u(t)$ 是功率信号；

e^t 为功率信号；

2. 信号的描述

❖ 1) 解析式表示 $f(t) = Ke^{st} \quad (-\infty < t < \infty)$
 $= Ke^{\sigma t} \cos(\omega t) + iKe^{\sigma t} \sin(\omega t)$

❖ 2) 波形图表示



❖ 3) 数据集合表示

$$x(n) = \left\{ \begin{array}{ccccccc} 0 & 4 & 11 & 20 & 14 & 8 & 3 \end{array} \right\}$$

\uparrow
 $n=0$

如果没有，则默认第一个数从 $n=0$ 开始

习题1-6 (1)

1.1.3 信号的基本运算

阅读下面15页, 学习信号运算方法:

相加、相乘、微分、积分、差分、累加、**翻转**、**时移**、**尺度变换**



1. 信号的相加和相乘

两个信号相加, 其和信号在任意时刻的信号值等于两信号在该时刻的信号值之和。两个信号相乘, 其积信号在任意时刻的信号值等于两信号在该时刻的信号值之积。

设两个连续信号 $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$, 则其和信号 $s(t)$ 与积信号 $p(t)$ 可表示为

$$s(t) = f_1(t) + f_2(t)$$

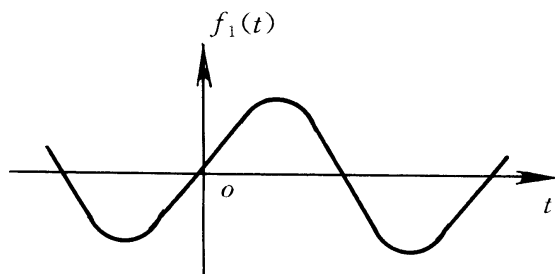
$$p(t) = f_1(t) \cdot f_2(t)$$

同样，若有两个离散信号 $f_1(k)$ 和 $f_2(k)$ ，则其和信号 $s(k)$ 与积信号 $p(k)$ 可表示为

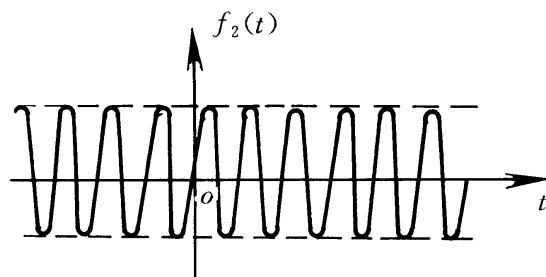
$$s(k) = f_1(k) + f_2(k)$$

$$P(k) = f_1(k) \cdot f_2(k)$$

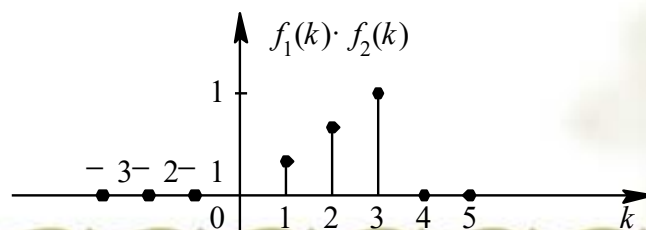
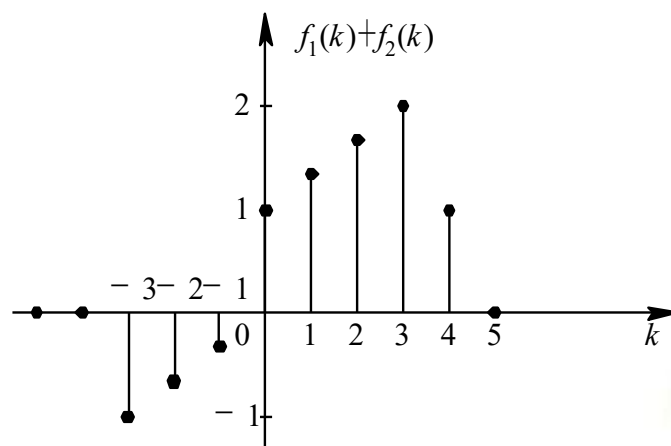
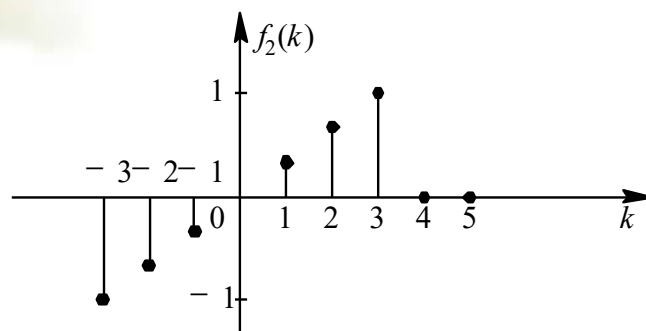
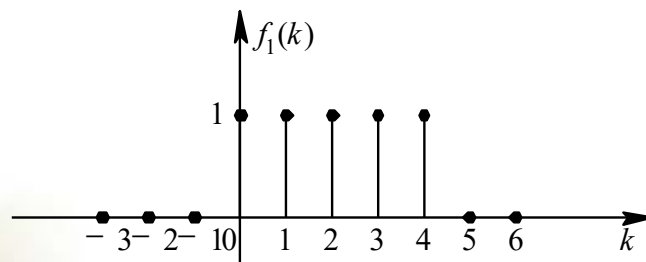
连续信号的相加和相乘



$$\sin \omega_1 t + \sin \omega_2 t$$



离散信号的相加和相乘



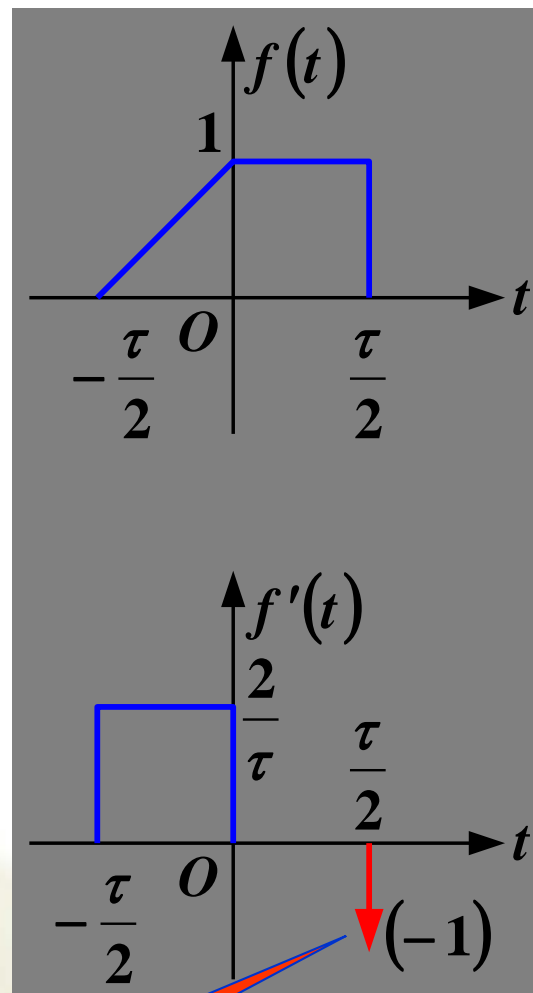
2. 连续信号的微分和积分

连续时间信号 $f(t)$ 的导数

$$y(t) = f^{(1)}(t) = \frac{d}{dt} f(t)$$

信号在跳变处有冲击函数，
其强度为跳变差。

用途：边沿提取等



冲激信号

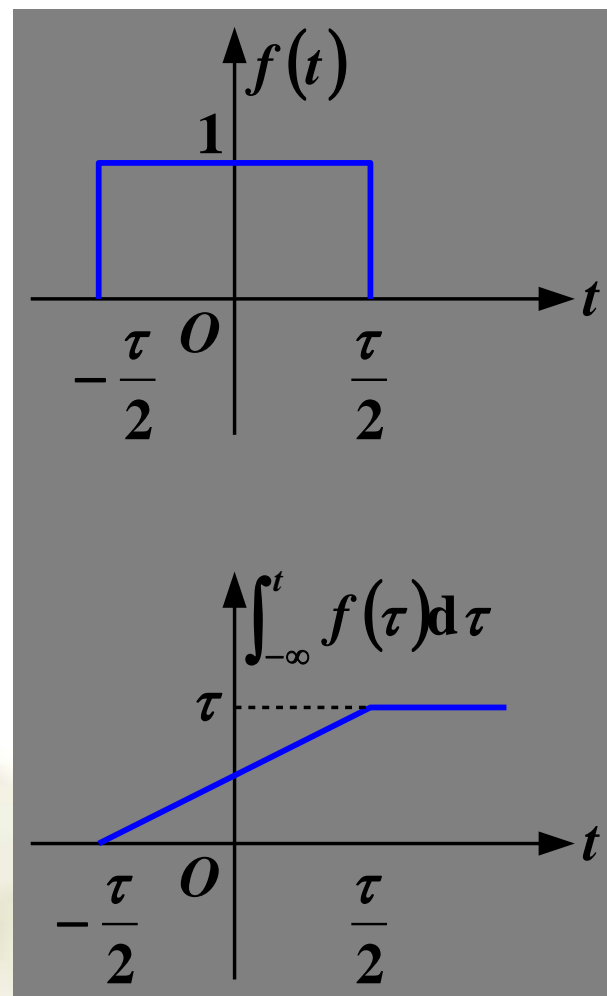
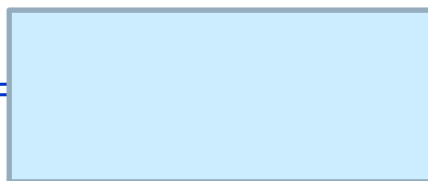
连续时间信号 $f(t)$ 的积分（变上限积分）

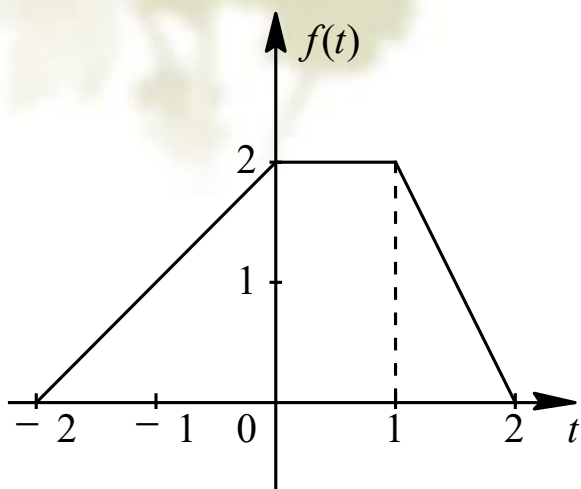
$$y(t) = f^{(-1)}(t) = \int_{-\infty}^t f(x) dx$$

产生另一个连续时间信号，其任意时刻 t 的信号值为 $f(t)$ 波形在 $(-\infty, t)$ 区间上所包含的净面积。

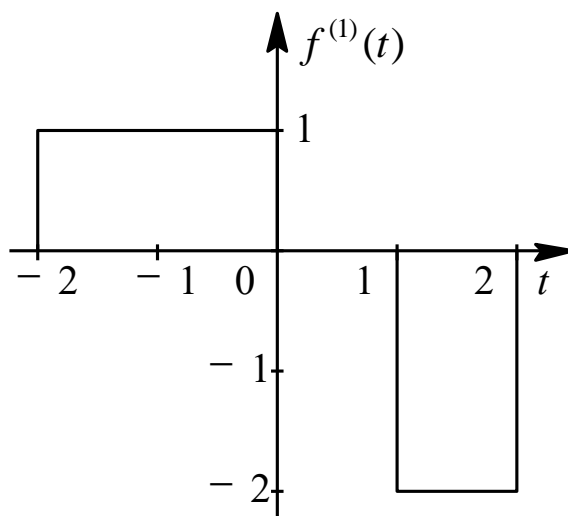
多重积分

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

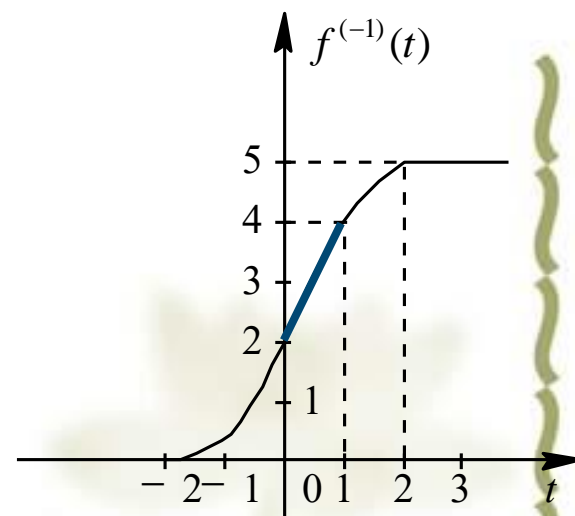




(a)



(b)



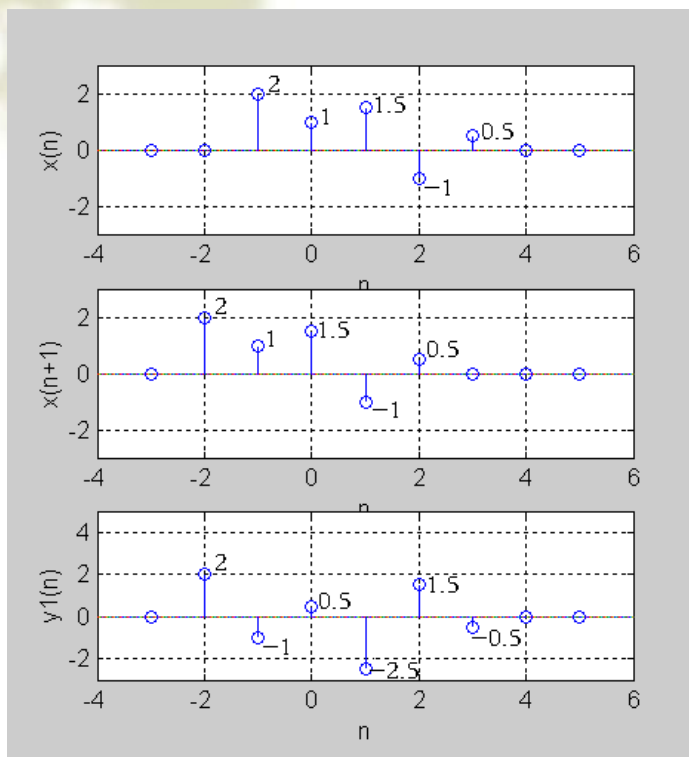
(c)

信号的微分和积分

(a) 信号 $f(t)$; (b) 信号的微分; (c) 信号的积分

3. 离散信号的差分和累加 前向差分:

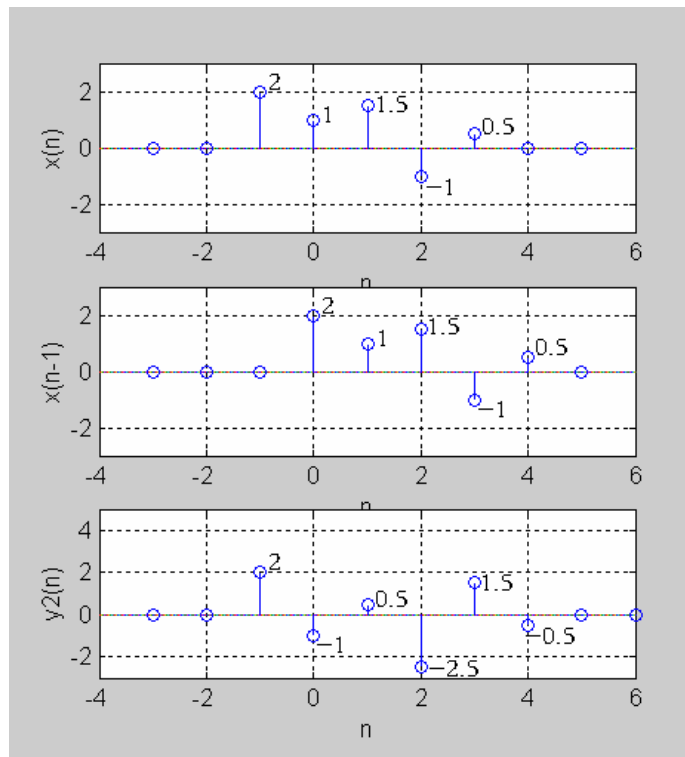
$$\Delta x(n) = x(n+1) - x(n)$$



$$\Delta x(n) = \nabla x(n+1)$$

后向差分:

$$\nabla x(n) = x(n) - x(n-1)$$



$$\nabla x(n) = \Delta x(n-1)$$

结论: 前向差分与后向差分无原则区别

差分的阶数：序列变量序号最大值与最小值之差

二阶后向差分

$$\begin{aligned}\nabla^2(n) &= \nabla(\nabla x(n)) = \nabla[x(n) - x(n-1)] \\ &= \nabla x(n) - \nabla x(n-1) = x(n) - 2x(n-1) + x(n-2)\end{aligned}$$

M阶后向差分

$$\nabla^m(n) = x(n) + a_1 x(n-1) + a_2 x(n-2) + \cdots + a_m x(n-m)$$

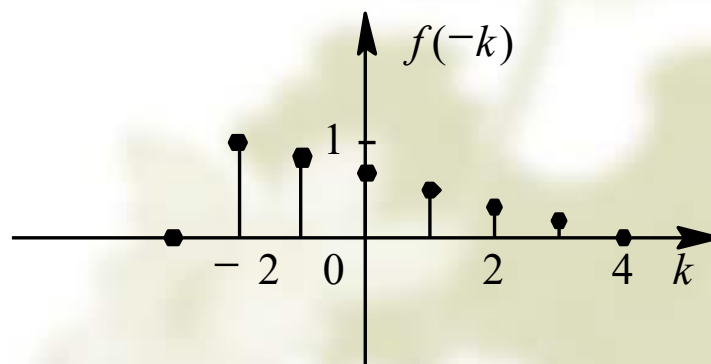
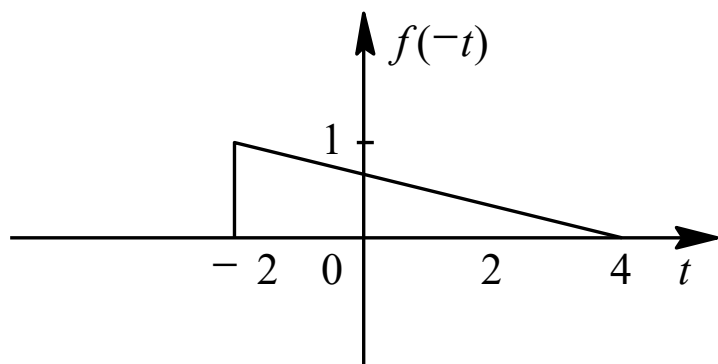
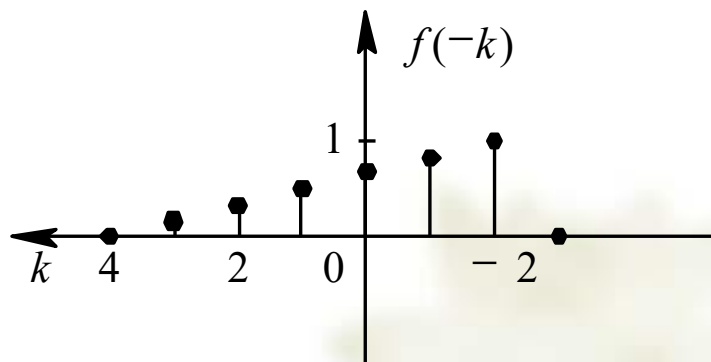
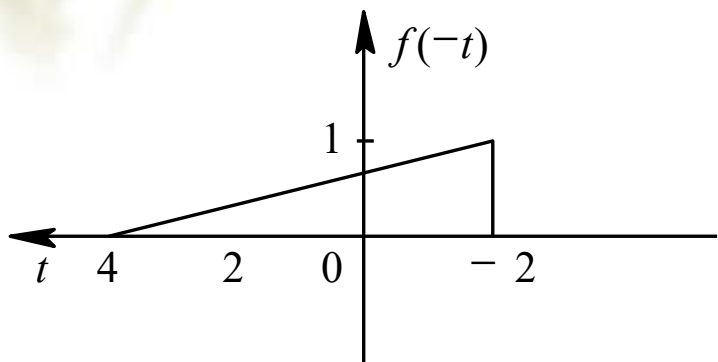
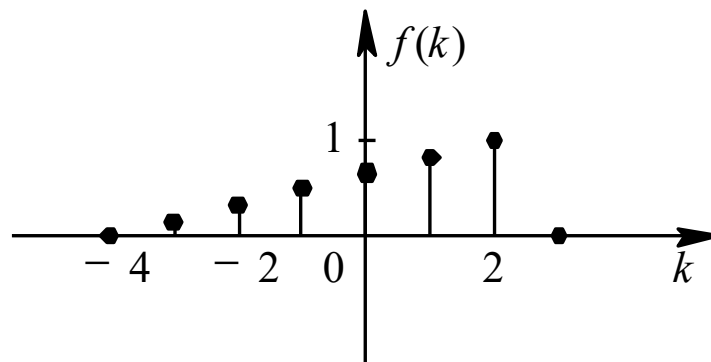
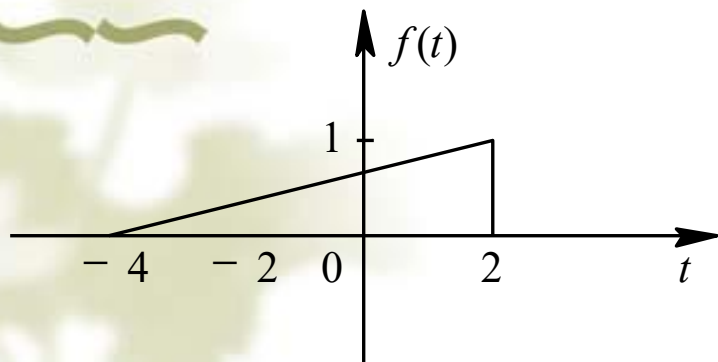
序列的累加：

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

序列的差分和累加运算 对应 连续信号的微分和积分运算

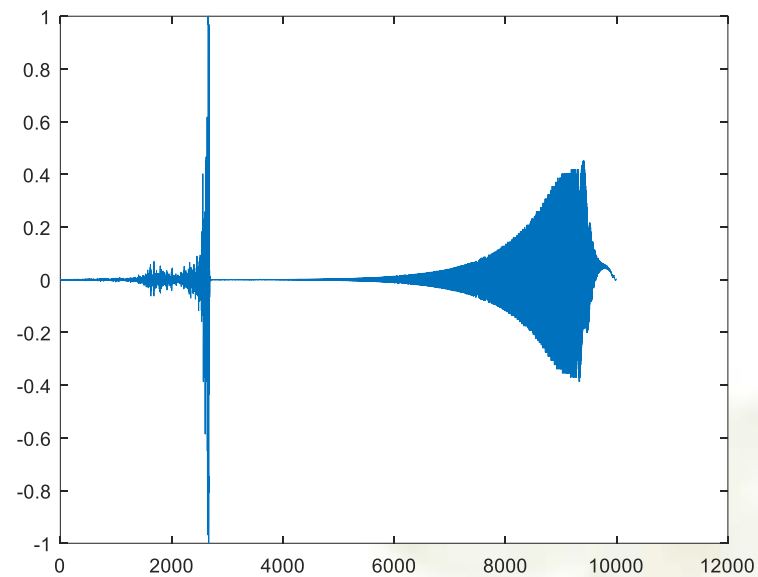
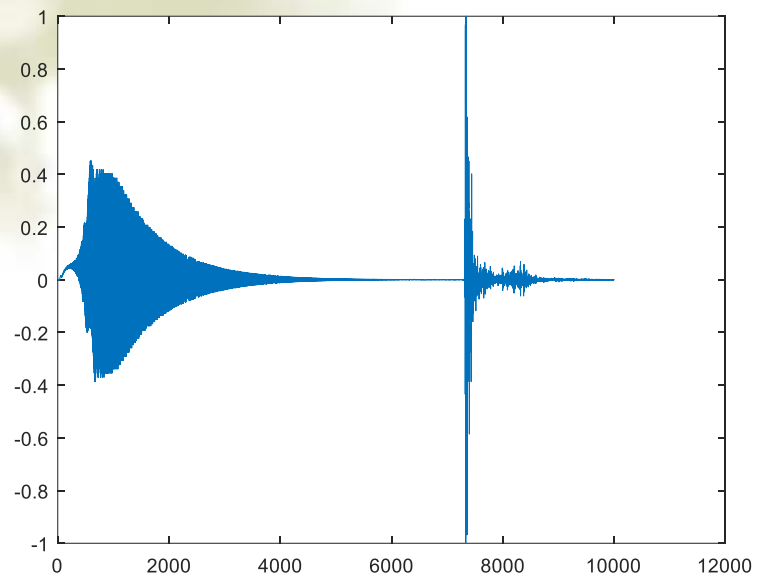
4. 时间翻转（反褶，反折）

将信号 $f(t)$ (或 $f(k)$) 的自变量 t (或 k) 换成 $-t$ (或 $-k$)，得到另一个信号 $f(-t)$ (或 $f(-k)$)，称这种变换为信号的翻转。它的几何意义是将自变量轴“倒置”，取其原信号自变量轴的负方向作为变换后信号自变量轴的正方向。或者按照习惯，自变量轴不“倒置”时，可将 $f(t)$ 或 $f(k)$ 的波形绕纵坐标轴翻转 180° ，即为 $f(-t)$ 或 $f(-k)$ 的波形。



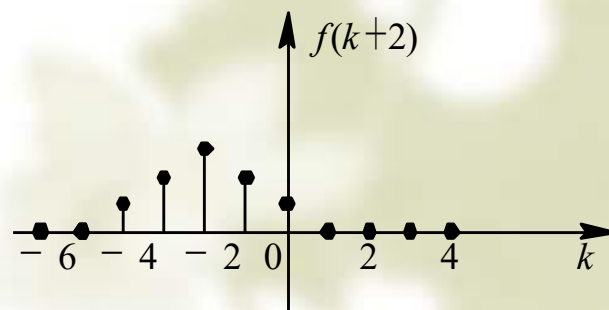
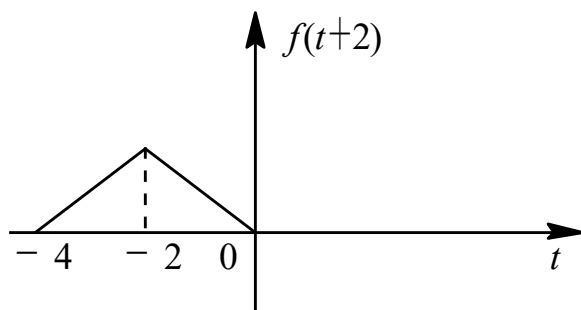
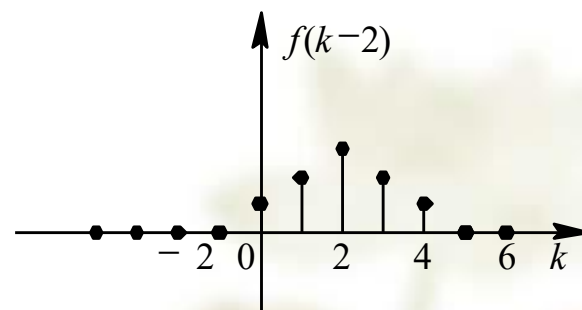
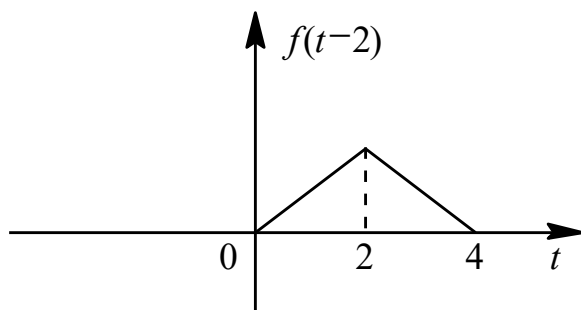
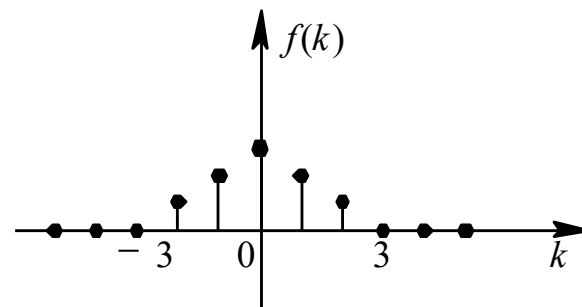
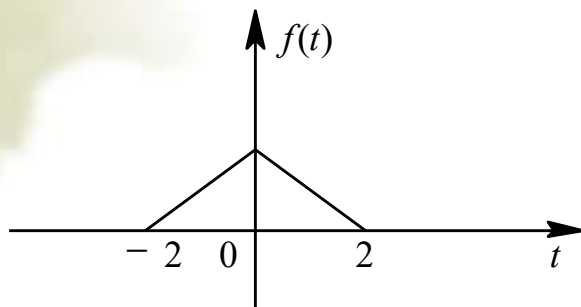
(a)

(b)



5. 时移

信号的平移（时移） $f(t-t_0) \rightarrow f(t)$

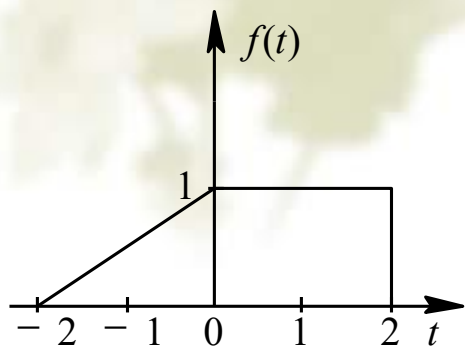


(a)

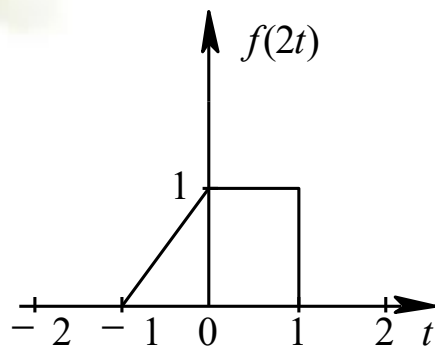
(b)

6. 尺度变换 (信号展缩 或 时间比例变化)

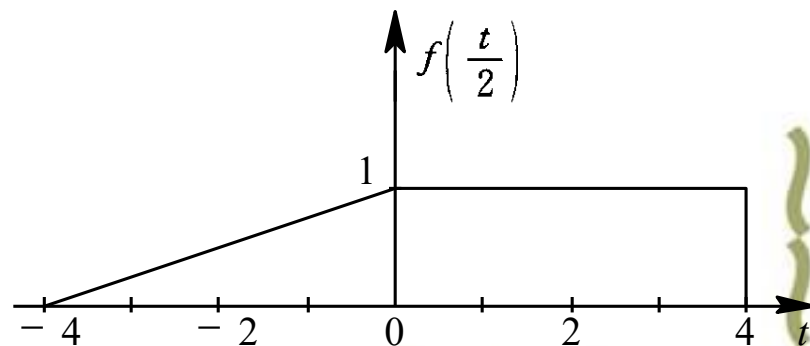
$$f(at) \longrightarrow f(t) \quad (a>1 \quad \square \quad 0<a<1 \quad \square)$$



(a)



(b)



(c)

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{2}t + 1 & -2 < t < 0 \\ 1 & 0 < t < 2 \\ 0 & \text{其他 } t \end{cases}$$

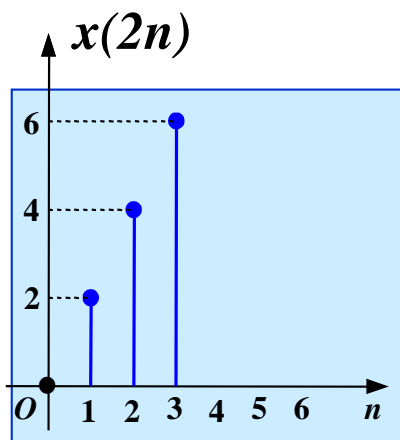
$$\begin{aligned} f(2t) &= \begin{cases} \frac{1}{2}(2t) + 1 & -2 < 2t < 0 \\ 1 & 0 < 2t < 2 \\ 0 & \text{其他 } t \end{cases} \\ &= \begin{cases} t + 1 & -1 < t < 0 \\ 1 & 0 < t < 1 \\ 0 & \text{其他 } t \end{cases} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f\left(\frac{t}{2}\right) &= \begin{cases} \frac{1}{2}\left(\frac{t}{2}\right) + 1 & -2 < \frac{t}{2} < 0 \\ 1 & 0 < \frac{t}{2} < 2 \\ 0 & \text{其他 } t \end{cases} \\ &= \begin{cases} \frac{t}{4} + 1 & -4 < t < 0 \\ 1 & 0 < t < 4 \\ 0 & \text{其他 } t \end{cases} \end{aligned}$$

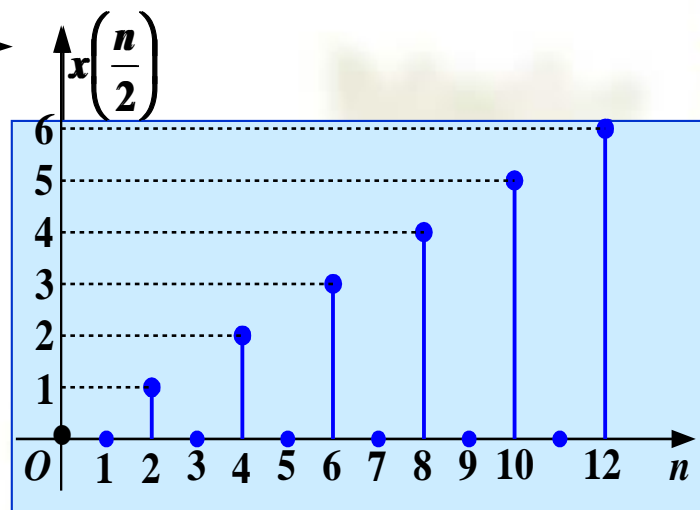
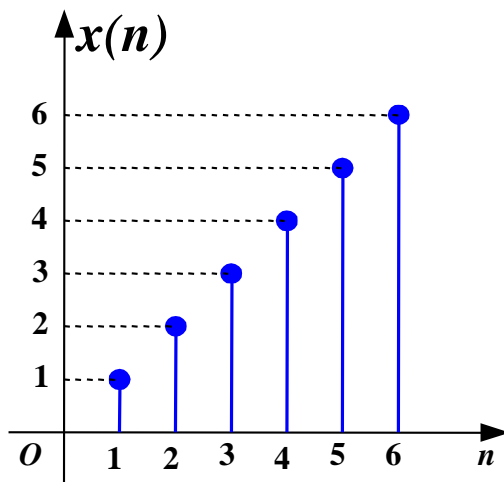
对于离散信号

$$an \rightarrow n \quad x(an) \rightarrow x(n)$$

为什么学
习信号的
基本运算



抽取

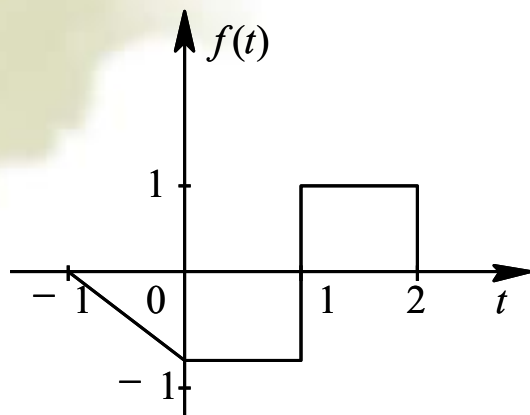


插值

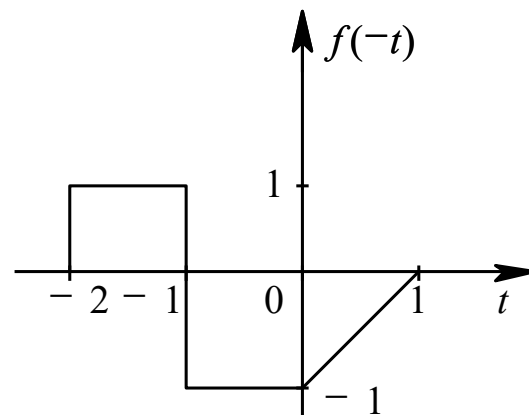
练习：教材p43 1-25 (2)

补充例 已知信号 $f(t)$ 的波形如图所示，试画出 $f(1-2t)$ 的波形。方法1

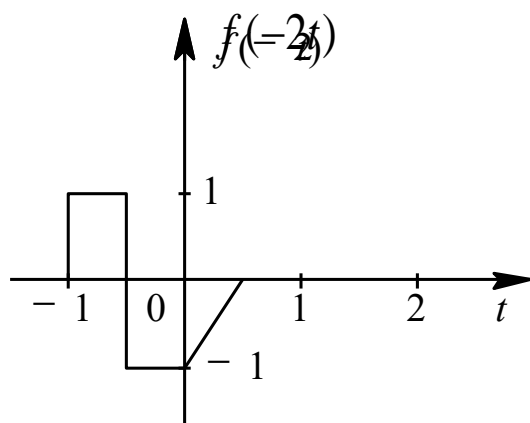
用三种方法完成本题



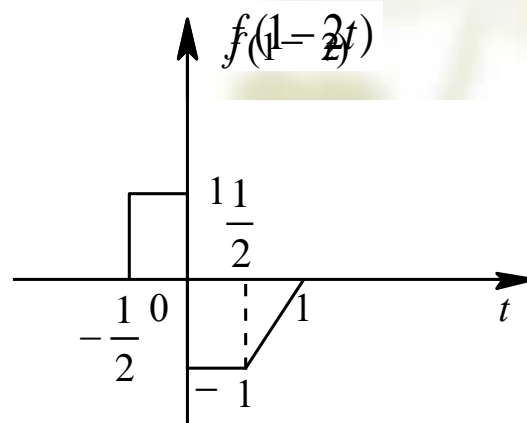
(a)



(b)



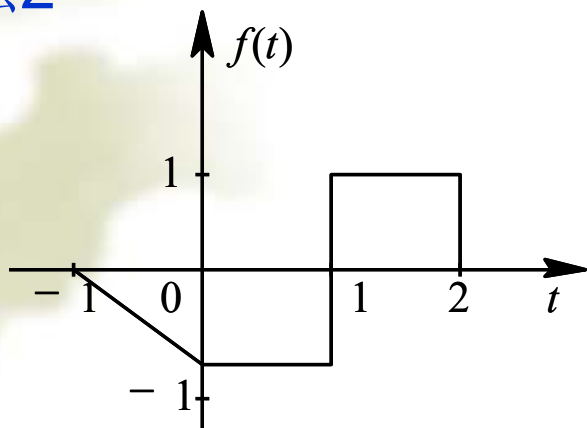
(c)



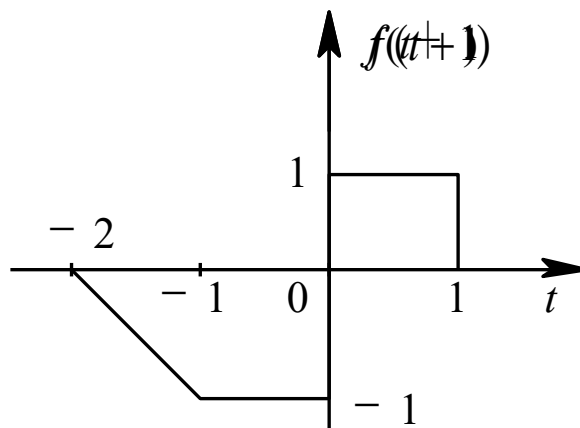
(d)



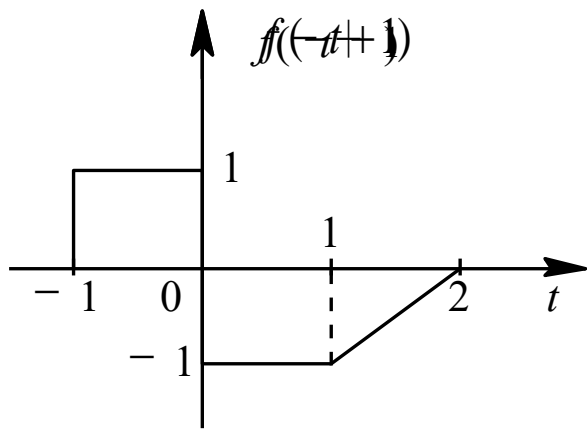
方法2



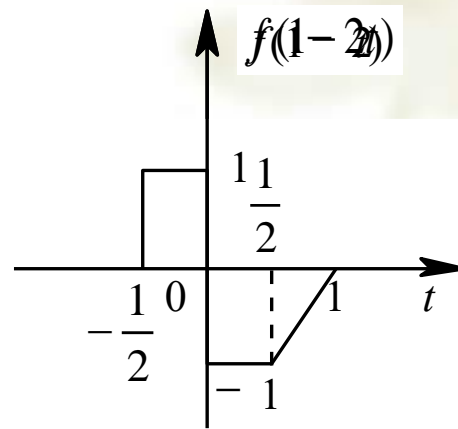
(a)



(b)



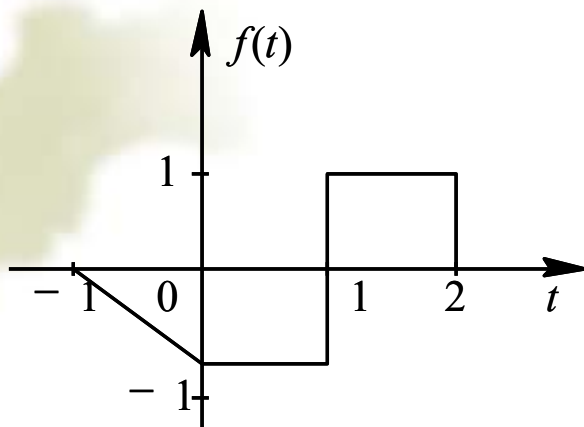
(c)



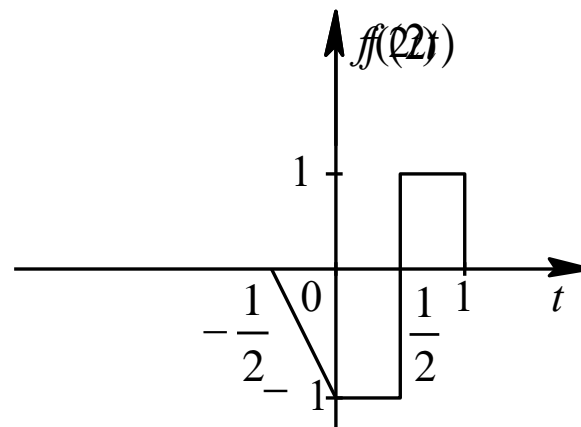
(d)



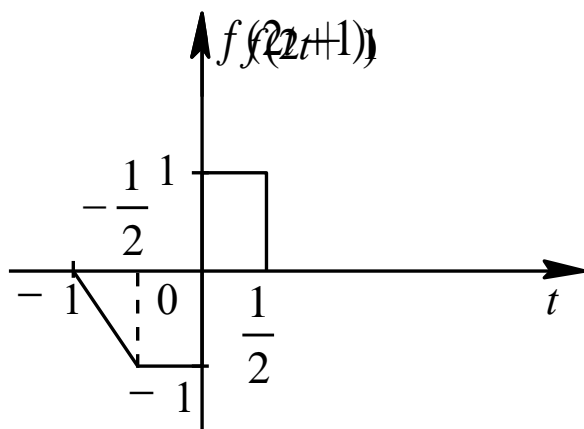
方法3



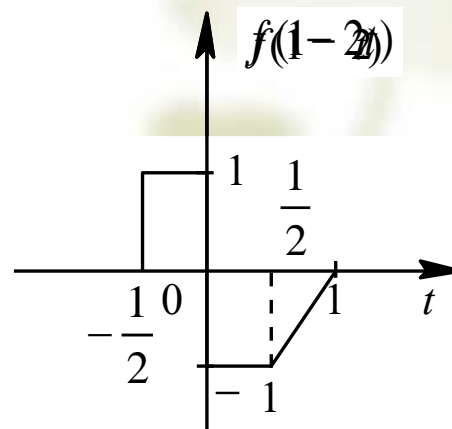
(a)



(b)



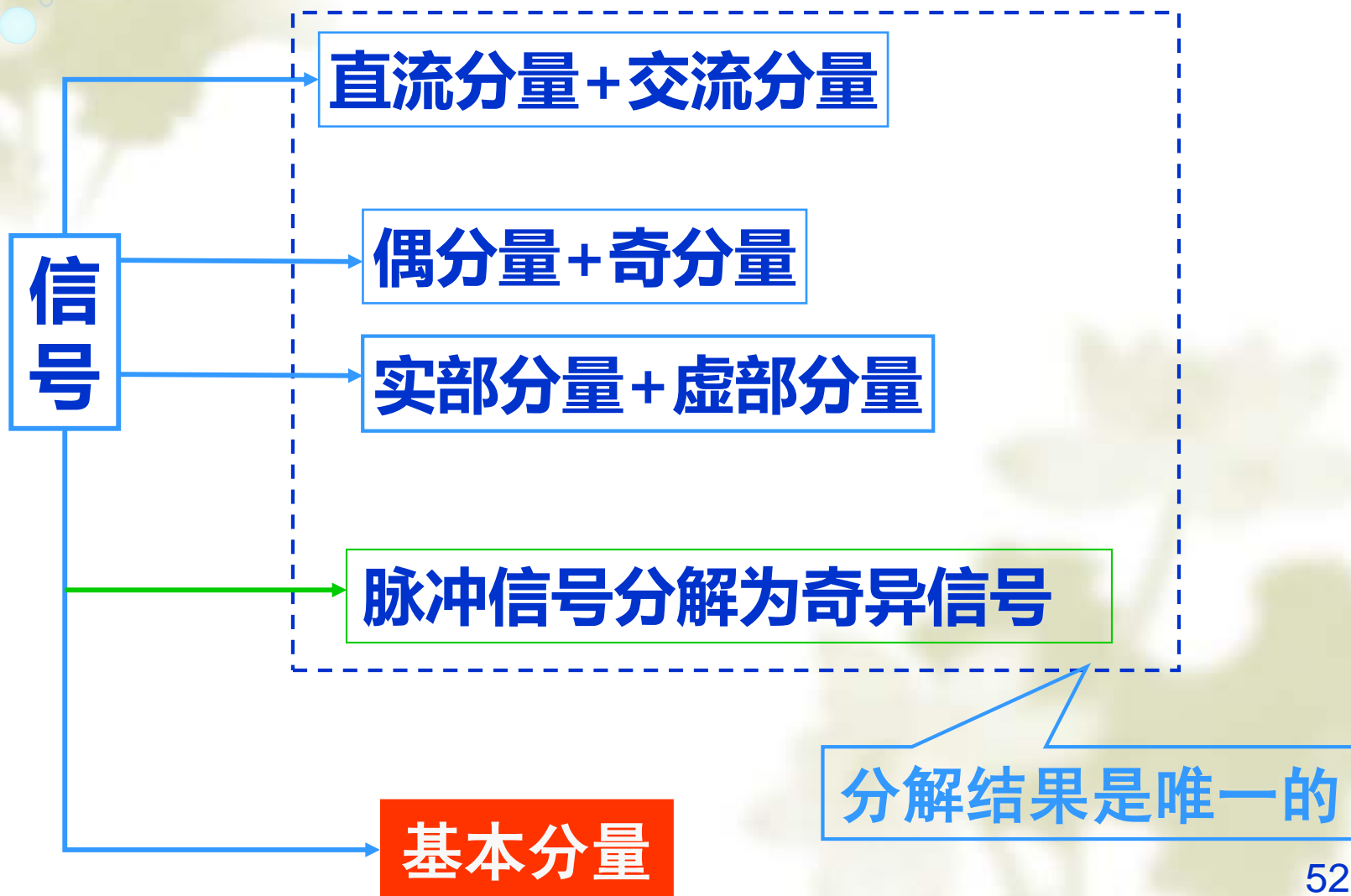
(c)



(d)

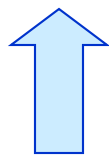
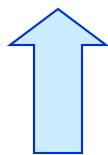


7. 信号的分解



1) 直流(Direct)分量和交流(Alternating)分量

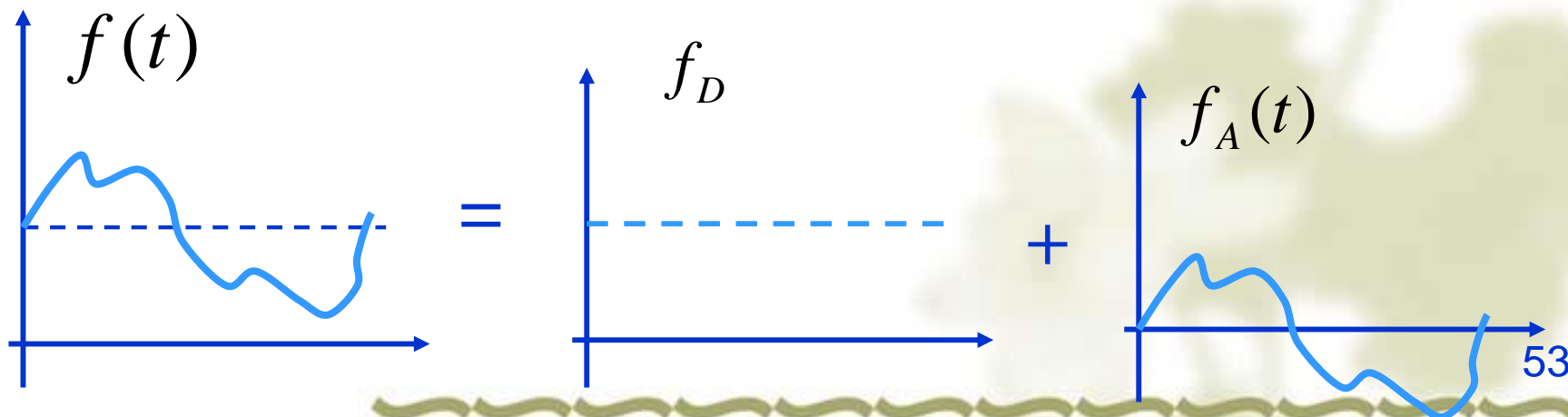
$$f(t) = f_D + f_A(t)$$



直流分量 交流分量
信号平均值

$$f_D = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{\tau} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} f(t) dt$$

$$f_A(t) = f(t) - f_D$$




平均功率：直流功率与交流功率之和

$$P = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f^2(t) dt = f_D^2 + \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f_A^2(t) dt$$

$$f(t) = f_D + f_A(t)$$

2) 偶(Even)分量与奇(Odd)分量

$$f(t) = f_e(t) + f_o(t)$$


偶分量 **奇分量**

$$f_e(t) = f_e(-t)$$

$$f_o(t) = -f_o(-t)$$

$$f_e(t) = \frac{1}{2}[f(t) + f(-t)] \quad f_o(t) = \frac{1}{2}[f(t) - f(-t)]$$

例: $f(t) = t^2 + t$

$$f_e(t) = t^2$$

$$f_o(t) = t$$

奇(O) 偶(E)信号的性质:

1. $E * E \longrightarrow E$

2. $O * O \longrightarrow E$

3. $O * E \longrightarrow O$

4. $E + / - E \longrightarrow E$

5. $O + / - O \longrightarrow O$

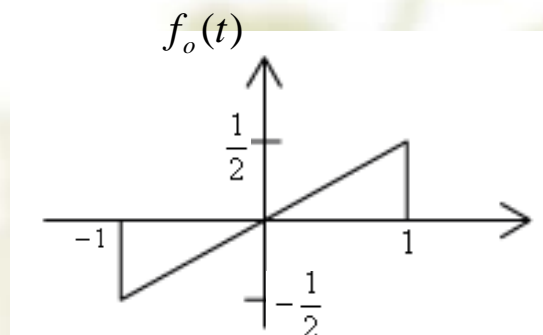
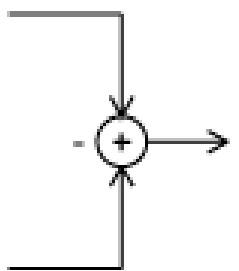
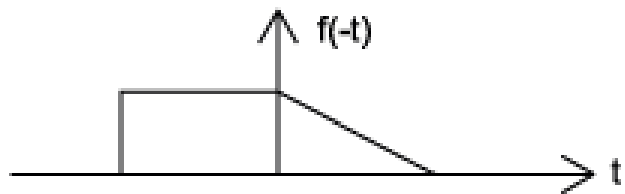
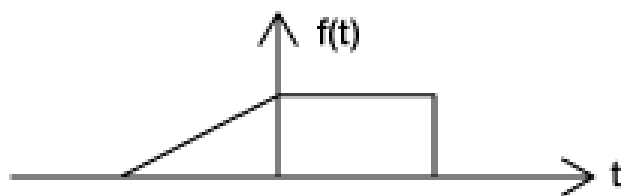
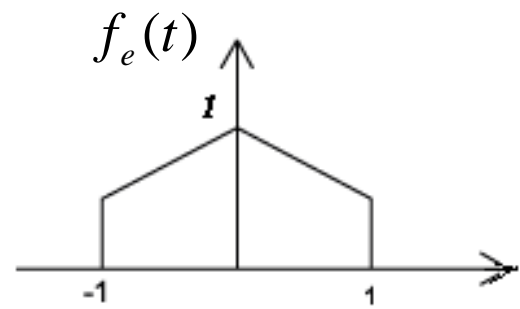
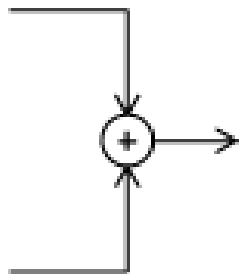
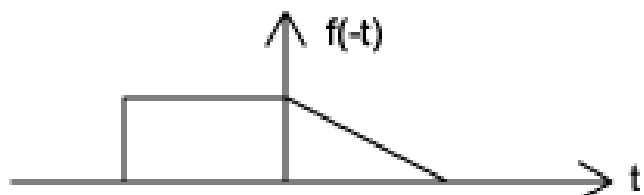
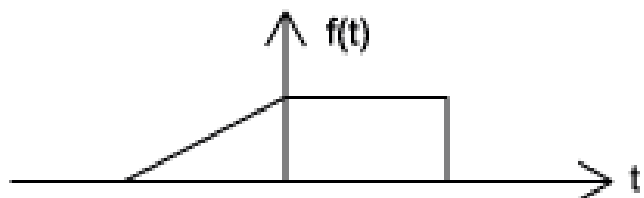
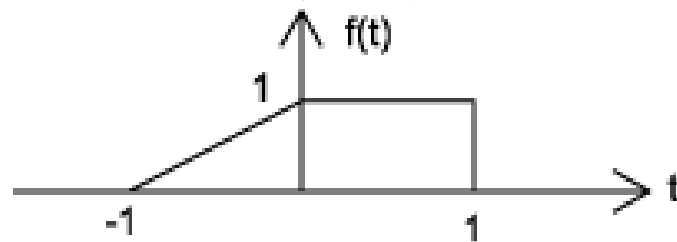
6. $E + / - O \longrightarrow \text{No } O \text{ No } E$



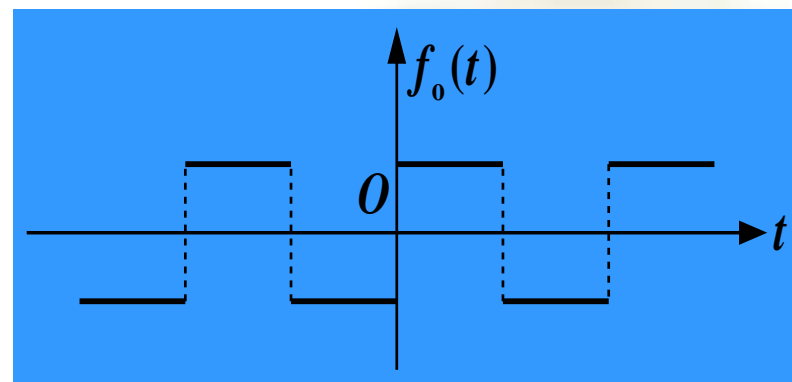
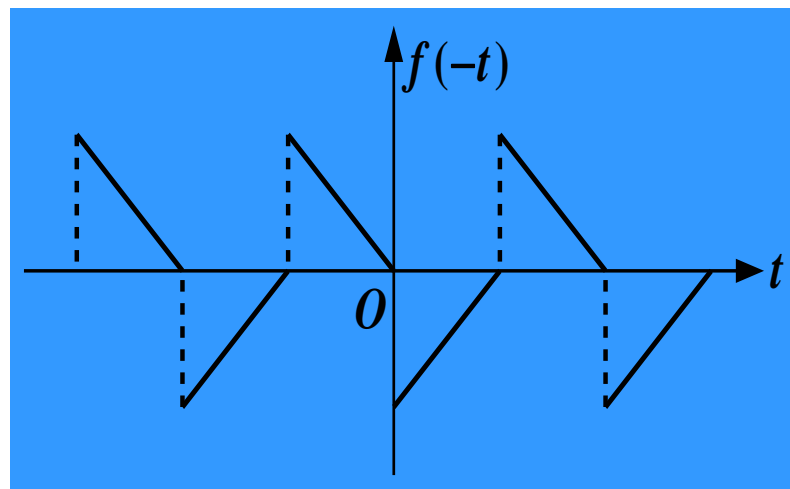
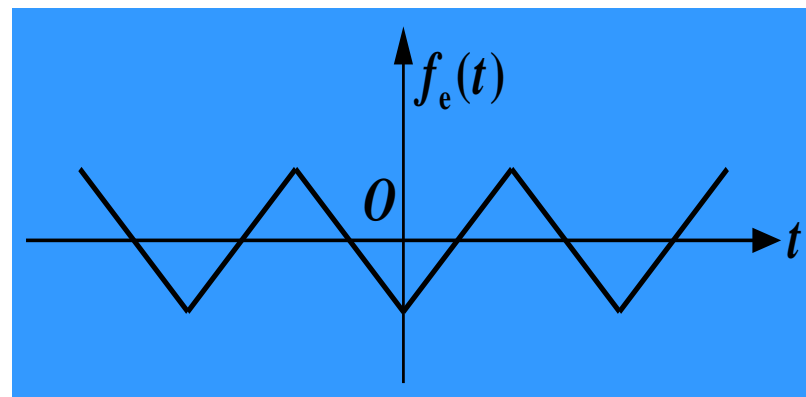
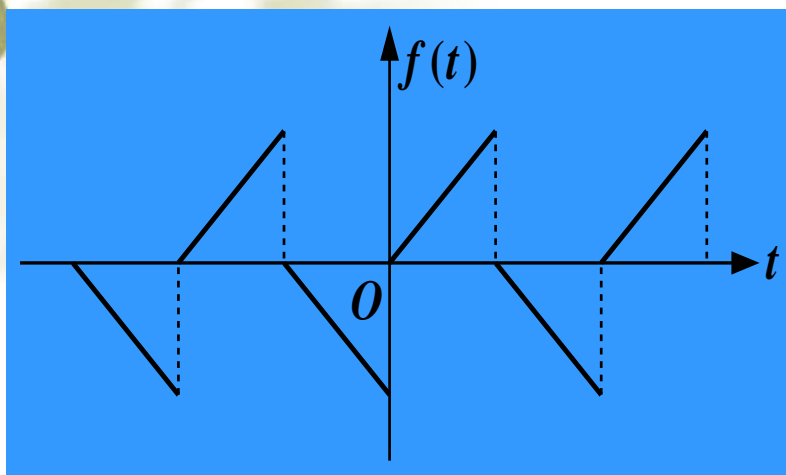
7. If $x(t)$ is E, $\int_{-a}^a x(\tau) d\tau = 2 \int_0^a x(\tau) d\tau \quad (a > 0)$

8. If $x(t)$ is O, $\int_{-a}^a x(\tau) d\tau = 0 \quad (a > 0)$

补充例 求信号的奇偶分量，并绘图表示



续：求 $f(t)$ 的奇分量和偶分量



第一章作业说明

1、更正p34 图1-53

2、画图题要求：

1) 用尺子

2) 坐标轴横、纵轴标出自变量和函数（信号）

3) 坐标轴上标明数字，尤其是在信号变化的位置必须标出，尽量按比例画出，如果数值差距很大，就标出数值。

4) 冲激函数箭头处要标出冲激强度（注意正负）。

5) 画离散信号，需要有柱。

6) 冲激信号，一定起源于横轴。