北京交通大學

主讲人：陈后金

电子信息工程学院

系 统 的 分 类 (I)

※ 连续时间系统 与 离散时间系统

※ 线性系统 与 非线性系统

※ 非时变系统 与 时变系统

※ 因果系统 与 非因果系统

※ 稳定系统 与 非稳定系统

1.连续时间系统与离散时间系统

- 连续时间系统：

系统的输入激励与输出响应均为连续时间信号

$$x(t) \longrightarrow \boxed{\text{连续时间系统}} \longrightarrow y(t)$$

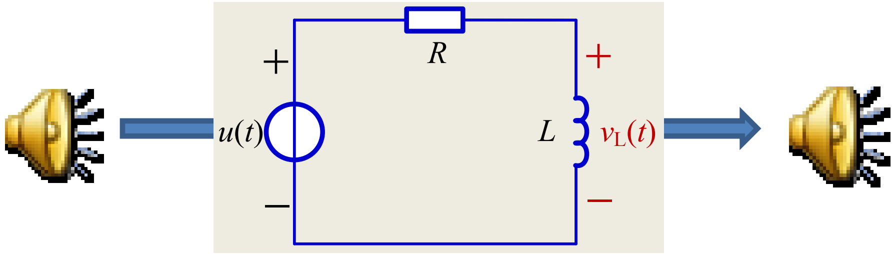
- 离散时间系统：

系统的输入激励与输出响应均为离散时间信号

$$x[k] \longrightarrow \boxed{\text{离散时间系统}} \longrightarrow y[k]$$

1.连续时间系统与离散时间系统

➢ 连续时间系统和离散时间系统举例



连续时间系统

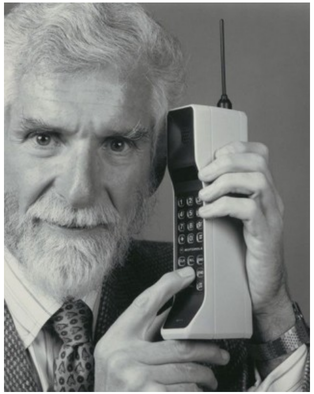
离散时间系统

由电阻、电容、电感、二极管、三极管、模拟放大器等模拟器件组成的电路

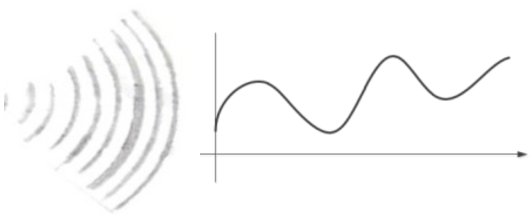
由门电路、触发器、计数器、寄存器、编码器、译码器、比较器等数字元件组成的电路

1.连续时间系统与离散时间系统

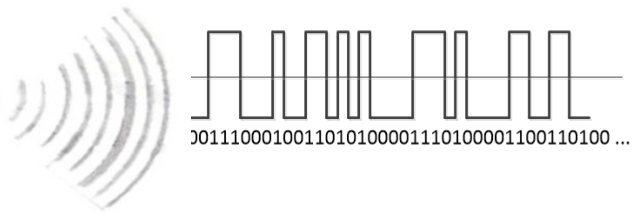
➢ 连续时间系统和离散时间系统举例



大哥大



智能手机



1G通信系统（连续时间系统）

3G通信系统（离散时间系统）

2.线性系统与非线性系统

- 线性系统：具有线性特性的系统。

均匀特性 与 叠加特性

均匀特性可表示为

$$\text{若} \quad x(t) \longrightarrow y(t), \quad \text{则} \quad Kx(t) \longrightarrow Ky(t)$$

叠加特性可表示为

若 $x_1(t) \longrightarrow y_1(t), \quad x_2(t) \longrightarrow y_2(t)$

则 $x_1(t) + x_2(t) \longrightarrow y_1(t) + y_2(t)$

连续系统

2.线性系统与非线性系统

- 线性系统：具有线性特性的系统。

均匀特性 与 叠加特性

同时具有均匀特性与叠加特性才称线性特性，可表示为

若 $x_1(t) \longrightarrow y_1(t)$，$x_2(t) \longrightarrow y_2(t)$

则 $\boxed{\alpha x_1(t) + \beta x_2(t) \longrightarrow \alpha y_1(t) + \beta y_2(t)}$

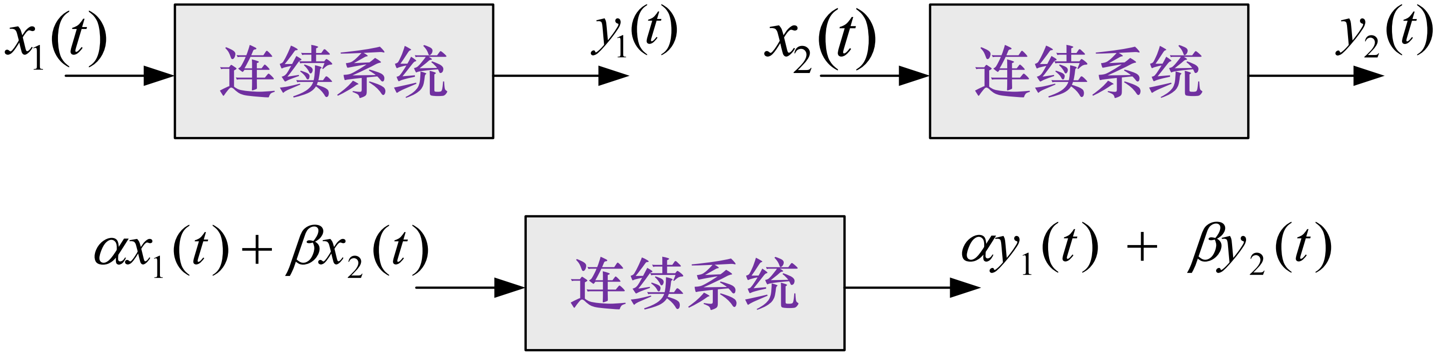
其中 α 、β 为任意常数

2.线性系统与非线性系统

- 线性系统：具有线性特性的系统。

均匀特性 与 叠加特性

同时具有均匀特性与叠加特性才称线性特性，可表示为



2.线性系统与非线性系统

➢ 线性系统：具有线性特性的系统。

均匀特性 与 叠加特性

同时具有均匀特性与叠加特性才称线性特性，可表示为

$$x_1[k] \longrightarrow \boxed{\text{离散系统}} \longrightarrow y_1[k] \qquad x_2[k] \longrightarrow \boxed{\text{离散系统}} \longrightarrow y_2[k]$$

$$\alpha x_1[k]+\beta x_2[k] \longrightarrow \boxed{\text{离散系统}} \longrightarrow \alpha y_1[k]+\beta y_2[k]$$

2.线性系统与非线性系统

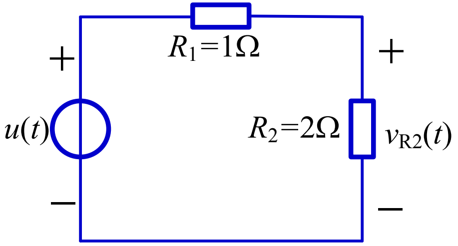
- 线性系统：具有线性特性的系统。

  均匀特性 与 叠加特性

- 非线性系统：不具有线性特性的系统。

2.线性系统与非线性系统

➤ 线性系统举例



分压器

$$v_{R2}(t)=\frac{R_2}{R_1+R_2}u(t)$$

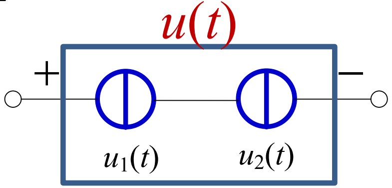
$$=\frac{2}{3}u(t)$$

当 $u(t)=3V$时， $v_{R2}(t)=2V$

当$u(t)=2\times 3V$时， $v_{R2}(t)=2\times 2V$

满足
均匀性

若 $u(t)=u_1(t)+u_2(t)$



当$u_1(t)$单独作用时，$v_{R2\_1}(t)=\frac{2}{3}u_1(t)$

当$u_2(t)$单独作用时， $v_{R2\_2}(t)=\frac{2}{3}u_2(t)$

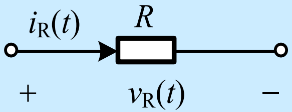
满足
叠加性

当两者共同作用时，

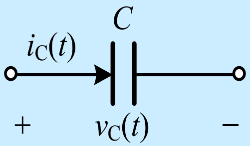
$$v_{R2}(t)=\frac{2}{3}u(t)=\frac{2}{3}[u_1(t)+u_1(t)]=v_{R2\_1}(t)+v_{R2\_2}(t)$$

2.线性系统与非线性系统

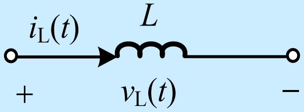
线性系统举例



$$v_R(t)=Ri_R(t)$$



$$v_C(t)=\frac{1}{C}\int_{-\infty}^{t} i_C(\tau)\mathrm{d}\tau$$



$$v_L(t)=L\frac{\mathrm{d}i_L(t)}{\mathrm{d}t}$$

对于电阻，设 $i_R(t)=\alpha i_{R1}(t)+\beta i_{R2}(t)$

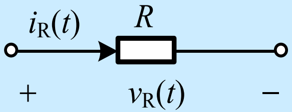
则 $v_R(t)=R[\alpha i_{R1}(t)+\beta i_{R2}(t)] \;=\alpha R i_{R1}(t)+\beta R i_{R2}(t)$

$$=\alpha v_{R1}(t)+\beta v_{R2}(t)$$ 具有线性特性

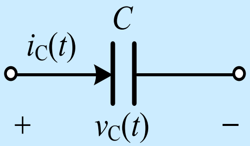
电阻是线性元件

2.线性系统与非线性系统

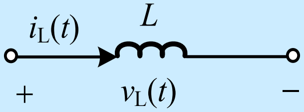
➢ 线性系统举例



$$v_R(t) = R i_R(t)$$



$$v_C(t) = \frac{1}{C}\int_{-\infty}^{t} i_C(\tau)\mathrm{d}\tau$$



$$v_L(t) = L\frac{\mathrm{d}i_L(t)}{\mathrm{d}t}$$

对于电容，设 $i_C(t) = \alpha i_{C1}(t) + \beta i_{C2}(t)$

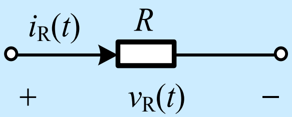
则 $v_C(t) = \dfrac{1}{C}\displaystyle\int_{-\infty}^{t}[\alpha i_{C1}(\tau) + \beta i_{C2}(\tau)]\mathrm{d}\tau = \dfrac{\alpha}{C}\displaystyle\int_{-\infty}^{t} i_{C1}(\tau)\mathrm{d}\tau + \dfrac{\beta}{C}\displaystyle\int_{-\infty}^{t} i_{C2}(\tau)\mathrm{d}\tau$

$= \alpha v_{C1}(t) + \beta v_{C2}(t)$　具有线性特性

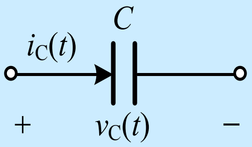
电容是线性元件

2.线性系统与非线性系统

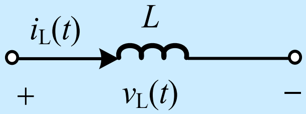
➢ 线性系统举例



$$v_R(t)=Ri_R(t)$$



$$v_C(t)=\frac{1}{C}\int_{-\infty}^{t} i_C(\tau)\mathrm{d}\tau$$



$$v_L(t)=L\frac{\mathrm{d}i_L(t)}{\mathrm{d}t}$$

对于电感，设 $i_L(t)=\alpha i_{L1}(t)+\beta i_{L2}(t)$

则 $$v_L(t)=L\frac{\mathrm{d}[\alpha i_{L1}(t)+\beta i_{L2}(t)]}{\mathrm{d}t}=\alpha L\frac{\mathrm{d}i_{L1}(t)}{\mathrm{d}t}+\beta L\frac{\mathrm{d}i_{L2}(t)}{\mathrm{d}t}$$

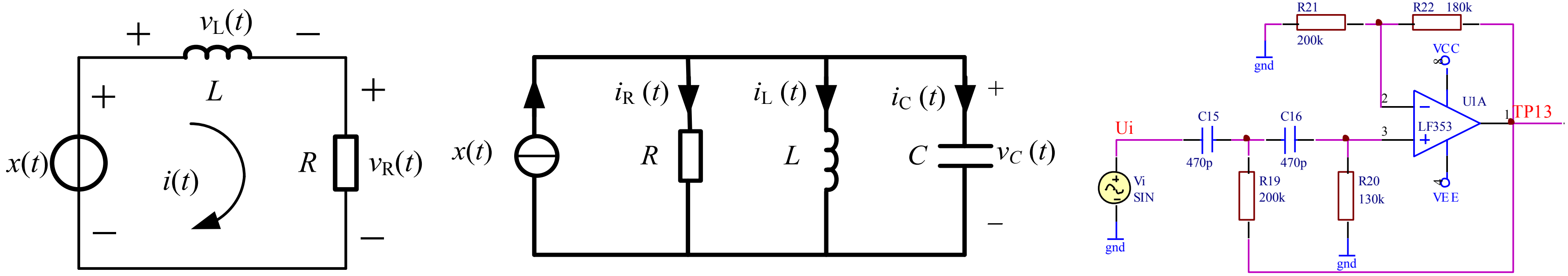
$$=\alpha v_{L1}(t)+\beta v_{L2}(t)$$ 具有线性特性

电感是线性元件

2.线性系统与非线性系统

- 线性系统举例

　　由线性元件（电阻、电容、电感等）、独立源或线性受控源构成的电路都是线性系统。



线性系统

2.线性系统与非线性系统

- [例1]已知连续时间系统的输入$x(t)$与输出$y(t)$ 约束关系如下，试判断这些系统是否为线性系统。

$$(1)\ y(t)=3x(t)+4 \quad (2)\ y(t)=4x^2(t) \quad (3)\ y(t)=2\frac{\mathrm{d}x(t)}{\mathrm{d}t}+x(t)$$

解：(1) 考察均匀特性

$$x(t)\to y(t)=3x(t)+4$$

$$Kx(t)\to 3Kx(t)+4 \neq Ky(t)$$

不满足均匀特性，该系统为非线性系统。

2.线性系统与非线性系统

- [例1]已知连续时间系统的输入$x(t)$与输出$y(t)$ 关系如下，试判断这些系统是否为线性系统。

$$(1)\ y(t)=3x(t)+4 \quad (2)\ y(t)=4x^2(t) \quad (3)\ y(t)=2\frac{\mathrm{d}x(t)}{\mathrm{d}t}+x(t)$$

解：(2) 考察均匀特性

$$x(t)\to y(t)=4x^2(t)$$

$$Kx(t)\to 4[Kx(t)]^2=K^2[4x^2(t)]\neq Ky(t)$$

不满足均匀特性，该系统为非线性系统。

2.线性系统与非线性系统

➢ [例1]已知连续时间系统的输入$x(t)$与输出$y(t)$ 关系如下，试判断这些系统是否为线性系统。

$$(1)\ y(t)=3x(t)+4 \quad (2)\ y(t)=4x^2(t) \quad (3)\ y(t)=2\frac{\mathrm{d}x(t)}{\mathrm{d}t}+x(t)$$

解：(3) 考察均匀特性

$$x(t)\rightarrow y(t)=2\frac{\mathrm{d}x(t)}{\mathrm{d}t}+x(t)$$

$$Kx(t)\rightarrow 2\frac{\mathrm{d}Kx(t)}{\mathrm{d}t}+Kx(t)=K[2\frac{\mathrm{d}x(t)}{\mathrm{d}t}+x(t)]$$

$$=Ky(t)$$

满足
均匀特性

2.线性系统与非线性系统

➢ [例1]已知连续时间系统的输入$x(t)$与输出$y(t)$ 关系如下，试判断这些系统是否为线性系统。

$$(1)\ y(t)=3x(t)+4 \quad (2)\ y(t)=4x^2(t) \quad (3)\ y(t)=2\frac{\mathrm{d}x(t)}{\mathrm{d}t}+x(t)$$

解：(3) 考察叠加特性

$$x_1(t)\to y_1(t)=2\frac{\mathrm{d}x_1(t)}{\mathrm{d}t}+x_1(t) \qquad x_2(t)\to y_2(t)=2\frac{\mathrm{d}x_2(t)}{\mathrm{d}t}+x_2(t)$$

$$x_1(t)+x_2(t)\to 2\frac{\mathrm{d}[x_1(t)+x_2(t)]}{\mathrm{d}t}+[x_1(t)+x_2(t)]$$

$$=[2\frac{\mathrm{d}x_1(t)}{\mathrm{d}t}+x_1(t)]+[2\frac{\mathrm{d}x_2(t)}{\mathrm{d}t}+x_2(t)]=y_1(t)+y_2(t)$$

满足
叠加特性

同时满足均匀特性和叠加特性，该系统为线性系统。

2.线性系统与非线性系统

➢ [例2] 判断积分器、延时器是否为线性系统。

$$x(t) \longrightarrow \boxed{\int} \longrightarrow y(t)=\int_{-\infty}^{t} x(\tau)\mathrm{d}\tau \qquad\qquad x[k] \longrightarrow \boxed{\mathrm{D}} \longrightarrow y[k]=x[k-1]$$

解：

设 $x(t)=\alpha x_1(t)+\beta x_2(t)$

则 $y(t)=\int_{-\infty}^{t}[\alpha x_1(\tau)+\beta x_2(\tau)]\mathrm{d}\tau$

$$=\alpha\int_{-\infty}^{t} x_1(\tau)\mathrm{d}\tau+\beta\int_{-\infty}^{t} x_2(\tau)\mathrm{d}\tau$$

$$=\alpha y_1(t)+\beta y_2(t)$$

故为线性系统

设 $x[k]=\alpha x_1[k]+\beta x_2[k]$

则 $y[k]=\alpha x_1[k-1]+\beta x_2[k-1]$

$$=\alpha_1 y_1[k]+\alpha_2 y_2[k]$$

故为线性系统

积分器、延时器是线性系统

谢 谢

本课程所引用的一些素材为主讲老师多年的教学积累，来源于多种媒体及同事、同行、朋友的交流，难以一一注明出处，特此说明并表示感谢！