# 第三章 动态电路频域特性分析

## **3.3** 电路系统函数

# 系统函数

$$H(s)=\frac{V_o(s)}{V_i(s)}$$

- 系统函数是电路特性在复频域中的描述，令 $s=jw$ ，可以得到电路的频域特性，即系统频率响应

$$H(jw)=H(s)\big|_{s=jw}=\underbrace{|H(jw)|}_{\text{幅频特性}}\underbrace{e^{jj(w)}}_{\text{相频特性}}$$

- 已知系统函数，对于任意输入，可以得到输出响应

$$V_o(s)=V_i(s)H(s)$$

# 时域单位冲激响应

$$\boxed{V_o(s)=V_i(s)H(s)}$$

时域

复频域

$$\boxed{v_o(t)\big|_{v_i(t)=d(t)}} = h(t) \quad \Longleftarrow \quad V_o(s)\big|_{V_i(s)=1} = H(s)$$

单位冲激响应

$$H(s) \leftrightarrow h(t)$$ **而$h(t)$是单位冲激响应**

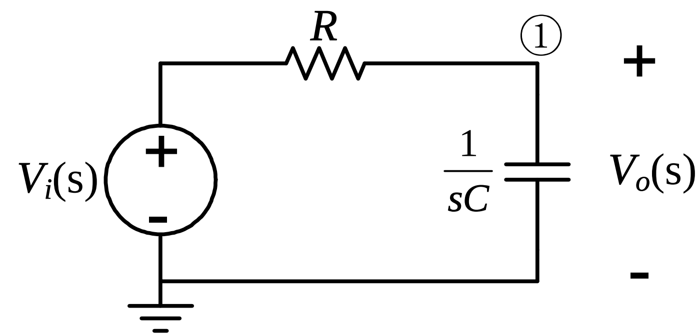
- 系统函数经拉普拉斯反变换，就是时域的单位冲激响应

# 时域单位冲激响应

- **1阶RC电路**

$$H(s)=\frac{1}{sRC+1}$$

$$h(t)=\frac{1}{RC}e^{-\frac{t}{RC}}$$




- 零状态初始条件下的输出响应，即零状态响应

$$v_o(t)=h(t)*v_i(t)=\int_0^t h(t-t\ )v_i(t\ )dt\ =\frac{1}{RC}\int_0^t e^{-\frac{1}{RC}(t-t\ )}v_i(t\ )dt$$

$$V_o(s)=H(s)V_i(s)$$

**时域卷积 ó 复频域乘法**

# 系统函数性质

- 系统函数的两个多项式相除的形式

$$H(s)=\frac{Q(s)}{P(s)}=\frac{a_m s^m + a_{m-1}s^{m-1} + \mathbf{L} + a_1 s + a_0}{b_n s^n + b_{n-1}s^{n-1} + \mathbf{L} + b_1 s + b_0}$$

- 系统函数的极点、零点表示

$$H(s)=\frac{a_m(s-z_1)(s-z_2)\mathbf{L}(s-z_m)}{b_n(s-p_1)(s-p_2)\mathbf{L}(s-p_n)}$$

- $p_i$ ——极点
- $z_i$ ——零点

# 系统函数性质

- 系统函数是电路本身的属性，与输入量的大小和性质无关

- 系统函数满足交换律与结合律

$$H_1(s)H_2(s) = H_2(s)H_1(s)$$

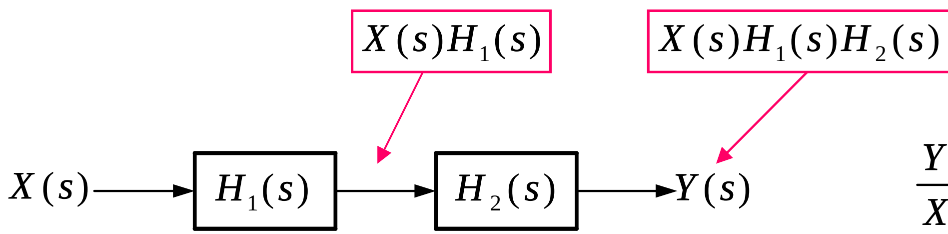
交换律

$$H_1(s) + H_2(s) = H_2(s) + H_1(s)$$

# 系统函数的框图表示

- 框图表示要点
  - 每一个框图表示一个子系统的系统函数，即子系统的输入-输出关系
  - 子系统之间的信号流由框图间的连接方式定义

- 级联系统

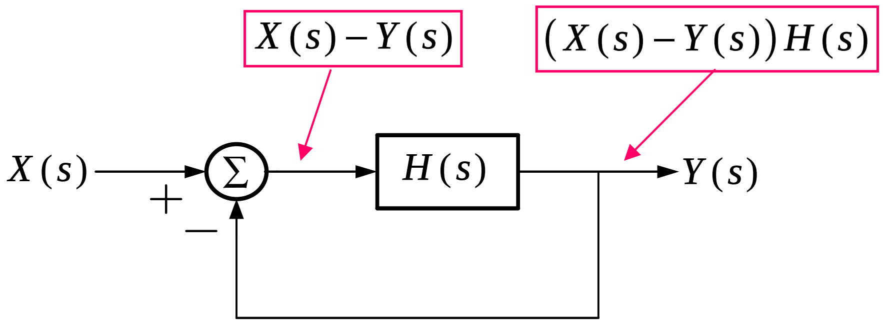



$$\frac{Y(s)}{X(s)} = H_1(s)H_2(s)$$

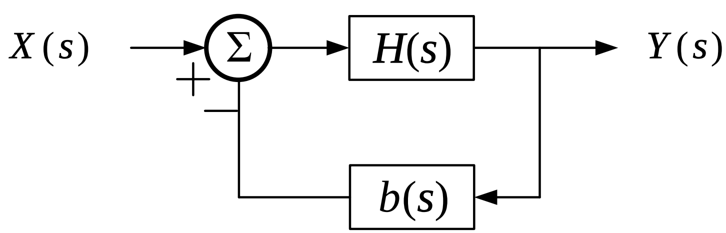
  - 对应子系统的系统函数相乘

# 系统函数的框图表示

- 反馈系统




$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{H(s)}{1+H(s)}$$




$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{H(s)}{1+b(s)H(s)}$$

# 系统函数的框图表示

- 框图可以把系统架构以及系统的输入-输出关系形象地表示出来
- 根据系统框图表示，可直接写出电路的系统函数
- 将复杂的电路系统分解为若干子电路系统的互连组合，则只要求出各子系统的系统函数，即可得到整个电路系统的系统函数
- 如果根据应用需求，得到电路需要满足的系统函数，则可以基于该系统函数，构建系统框图，并用以指导子系统的设计