



# 滤波器和谐振电路

## 第14章

### 14.1 电路的频率响应

### 14.2 滤波器

主讲人：邹建龙

时 间：     年   月   日





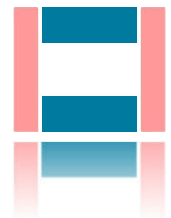
## 14.1-14.2 电路的频率响应、滤波器——主要内容

### □ 引言

### □ 14.1 电路的频率响应

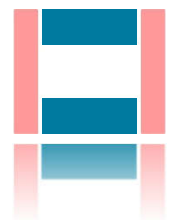
### □ 14.2 滤波器

### □ 小结





## 14.1-14.2 电路的频率响应、滤波器——引言

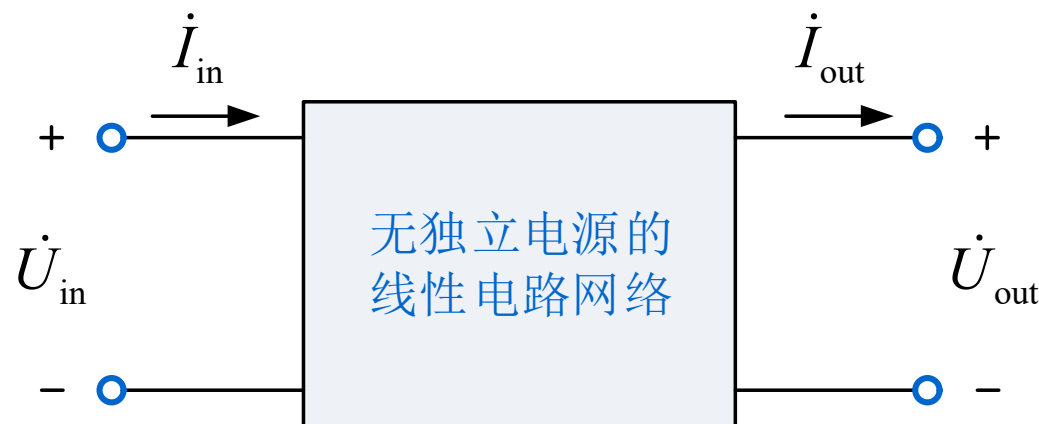


## 14.1 电路的频率响应

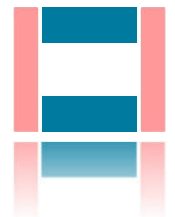
传递函数的定义：

传递函数（transfer function）是以角频率为自变量的函数。其定义为图示无独立电源线性电路网络的输出信号相量与输入信号相量之比：

$$H(j\omega) = \frac{\text{输出信号相量}}{\text{输入信号相量}}$$

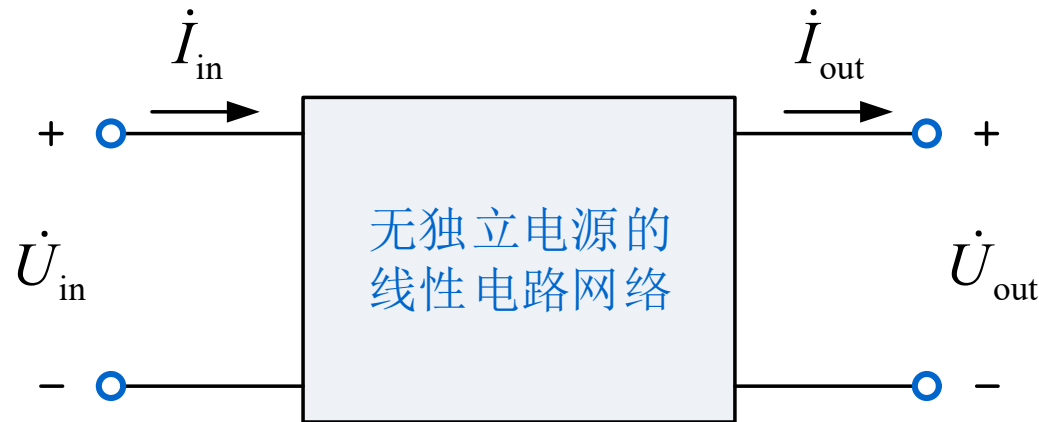


传递函数的作用是建立输入信号与输出信号（不一定是实际的输入和输出）在频域内的传递关系



## 14.1 电路的频率响应

传递函数的类型：



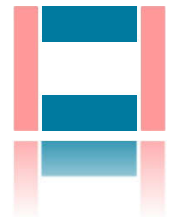
电压增益  $H(\omega) = \frac{\dot{U}_{out}(\omega)}{\dot{U}_{in}(\omega)}$

电流增益  $H(\omega) = \frac{\dot{I}_{out}(\omega)}{\dot{I}_{in}(\omega)}$

转移阻抗  $H(\omega) = \frac{\dot{U}_{out}(\omega)}{\dot{I}_{in}(\omega)}$

转移导纳  $H(\omega) = \frac{\dot{I}_{out}(\omega)}{\dot{U}_{in}(\omega)}$

四种传递函数中，电压增益传递函数最常用。

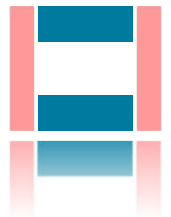




## 14.1 电路的频率响应

### 传递函数与网络函数的关系：

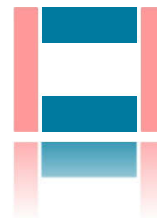
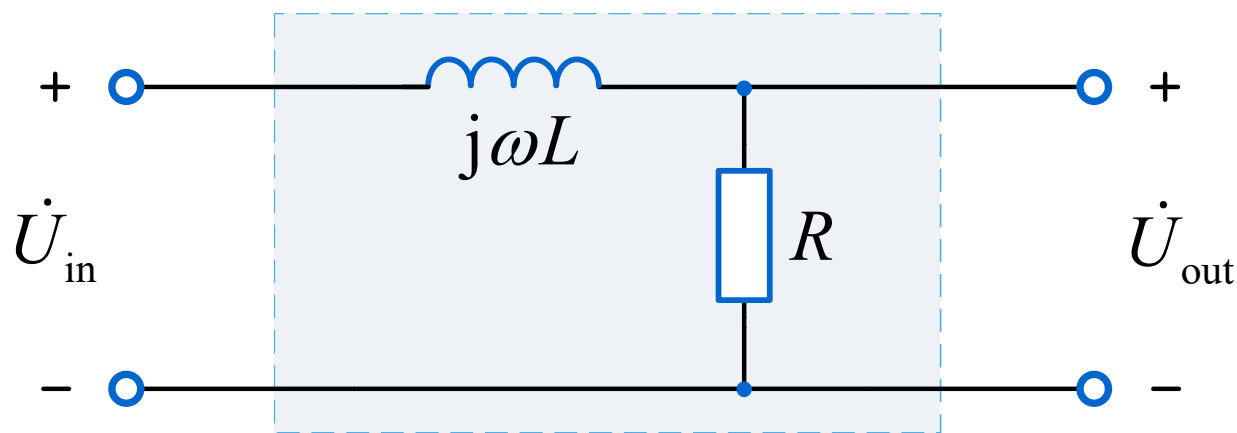
- 传递函数只能用于含有多个端口的网络，而网络函数既可以用于多个端口，也可以用于只有一端口的网络
- 传递函数属于网络函数
- 一端口网络的网络函数即等效阻抗或等效导纳，此时再引入网络函数的概念，显得有些画蛇添足
- 对于含有多个端口的网络而言，传递函数的概念较之网络函数的概念含义更加清晰、形象，因此，本章采用传递函数的概念



## 14.1 电路的频率响应

### 传递函数的推导（相量法）

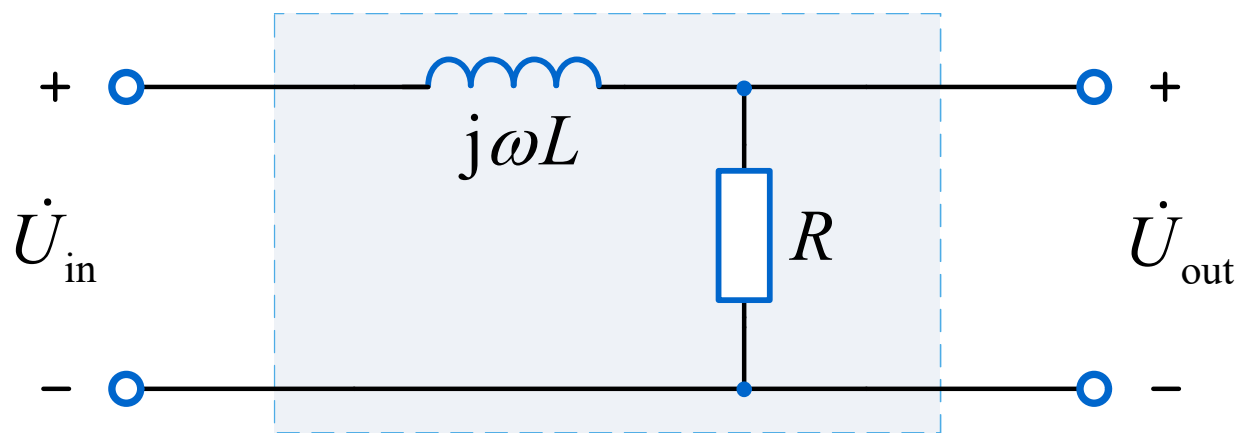
**例题1（基础）** 求电压增益传递函数  $H(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{out}}}{\dot{U}_{\text{in}}}$



## 14.1 电路的频率响应

### 传递函数的推导（相量法）

**例题1（基础）** 求电压增益传递函数  $H(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{out}}}{\dot{U}_{\text{in}}}$



$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{out}}}{\dot{U}_{\text{in}}} = \frac{R}{R + j\omega L}$$



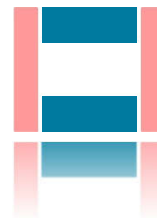
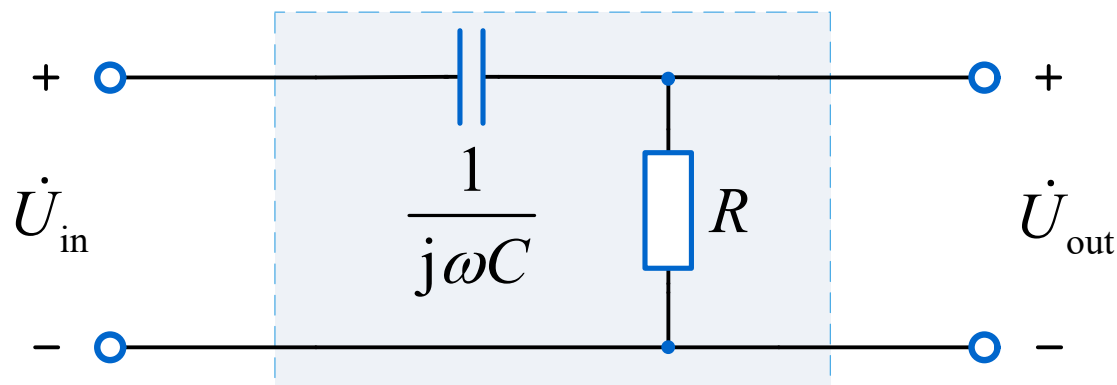


## 14.1 电路的频率响应

### 传递函数的推导（相量法）

同步练习题1（基础）

求传递函数  $H(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{out}}}{\dot{U}_{\text{in}}}$

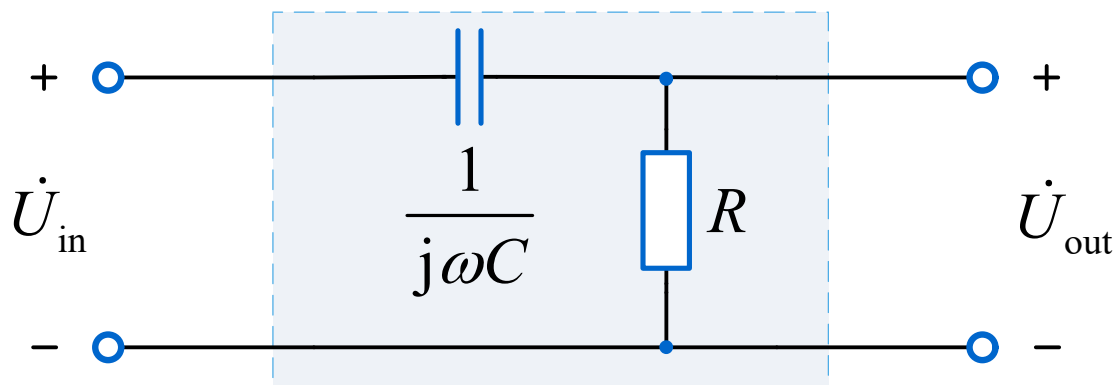


## 14.1 电路的频率响应

### 传递函数的推导（相量法）

同步练习题1（基础）

求传递函数  $H(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{out}}}{\dot{U}_{\text{in}}}$

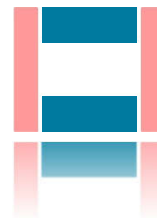
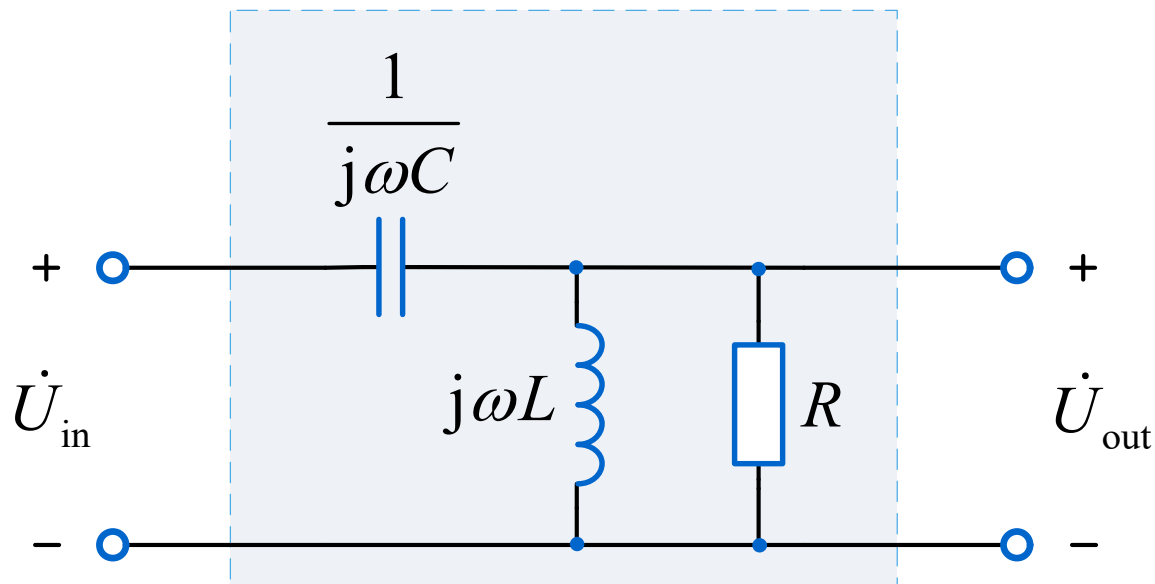


答案:  $H(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{out}}}{\dot{U}_{\text{in}}} = \frac{jR\omega C}{1 + jR\omega C}$

## 14.1 电路的频率响应——传递函数的推导

同步练习题1（提高）

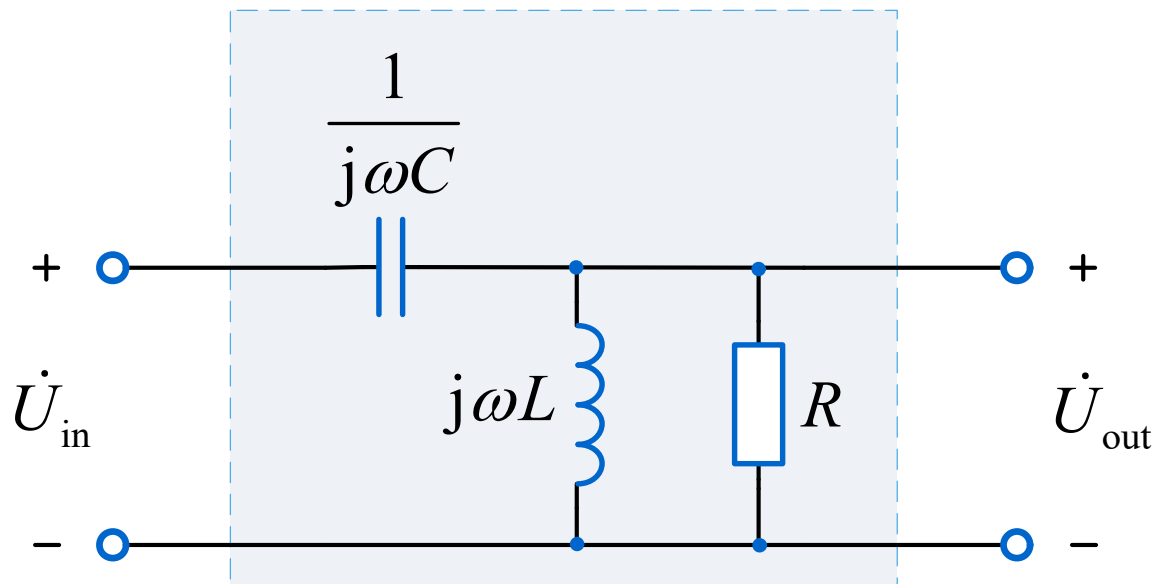
求传递函数  $H(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{out}}}{\dot{U}_{\text{in}}}$



## 14.1 电路的频率响应——传递函数的推导

同步练习题1（提高）

求传递函数  $H(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{out}}}{\dot{U}_{\text{in}}}$



答案: 
$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{out}}}{\dot{U}_{\text{in}}} = \frac{-R\omega^2 LC}{R + j\omega L - R\omega^2 LC}$$

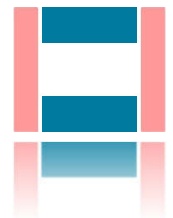
## 14.1 电路的频率响应

传递函数的频率特性包含幅频特性和相频特性：

- **幅频特性**指传递函数幅值（模值）随角频率变化的特性
- **相频特性**指传递函数辐角（相位）随角频率变化的特性
- 在电路分析中，主要关心幅频特性

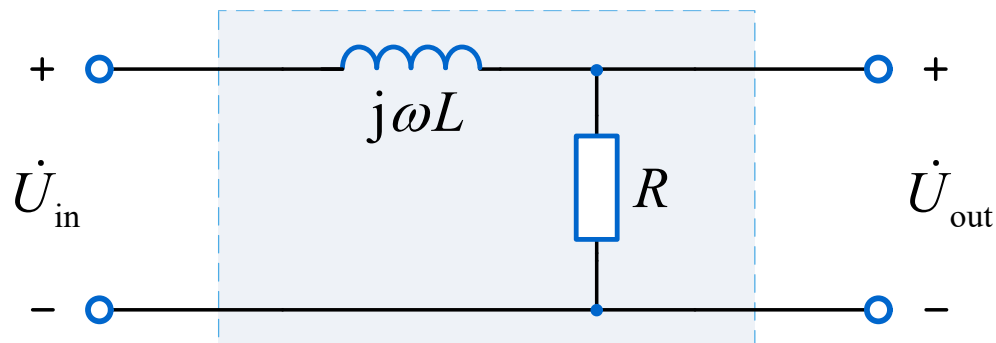
$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{out}}}{\dot{U}_{\text{in}}} = |H(j\omega)| \angle \varphi(j\omega)$$

传递函数的频率特性对正弦交流电路极为重要。



## 14.1 电路的频率响应——传递函数的幅频特性

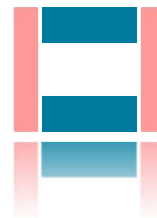
### 例题2（基础）



求电压增益传递函数

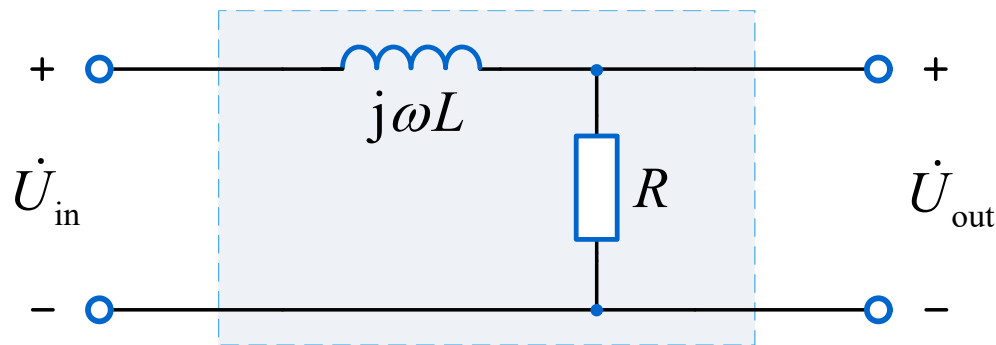
$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_{out}}{\dot{U}_{in}} \text{ 的幅值,}$$

并定性绘制其幅频特性曲线



## 14.1 电路的频率响应——传递函数的幅频特性

### 例题2（基础）

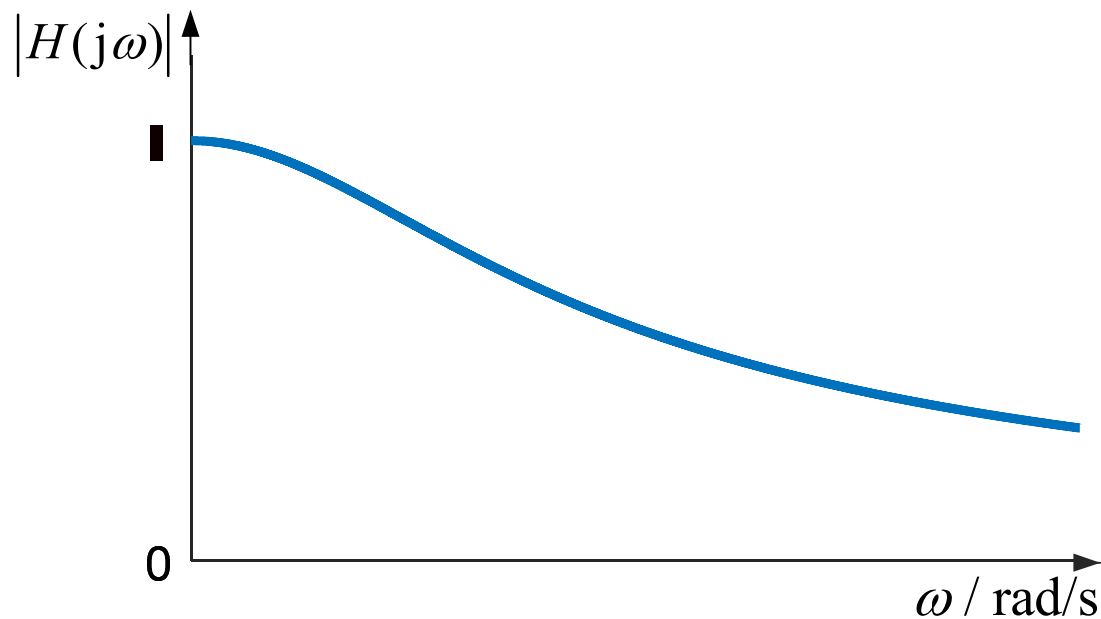


$$\begin{aligned} |H(j\omega)| &= \left| \frac{R}{R + j\omega L} \right| \\ &= \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \end{aligned}$$

求电压增益传递函数

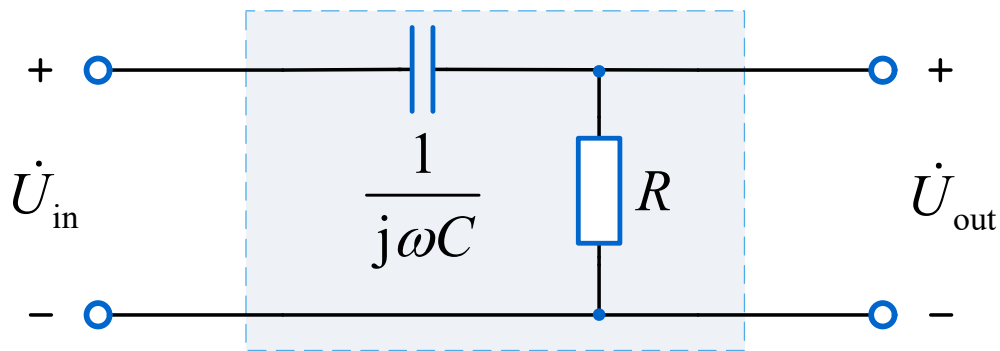
$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_{out}}{\dot{U}_{in}} \text{ 的幅值,}$$

并定性绘制其幅频特性



## 14.1 电路的频率响应——传递函数的幅频特性

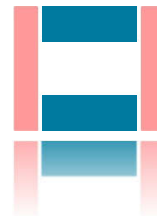
### 同步练习题2（基础）



求电压增益传递函数

$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_{out}}{\dot{U}_{in}} \text{ 的幅值,}$$

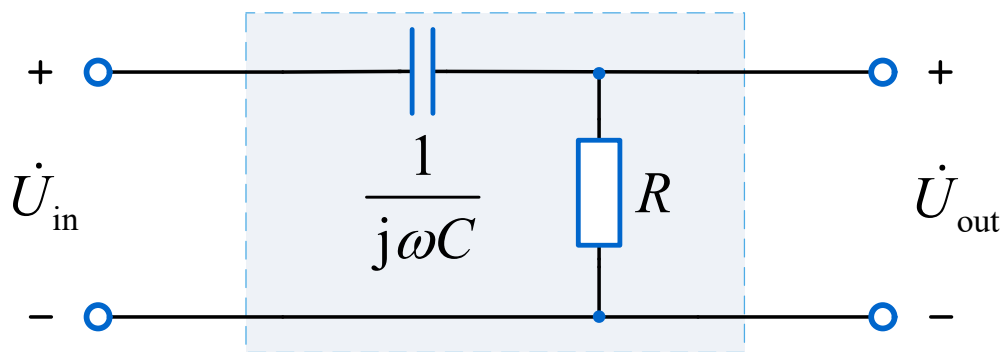
并定性绘制其幅频特性曲线





## 14.1 电路的频率响应——传递函数的幅频特性

### 同步练习题2（基础）



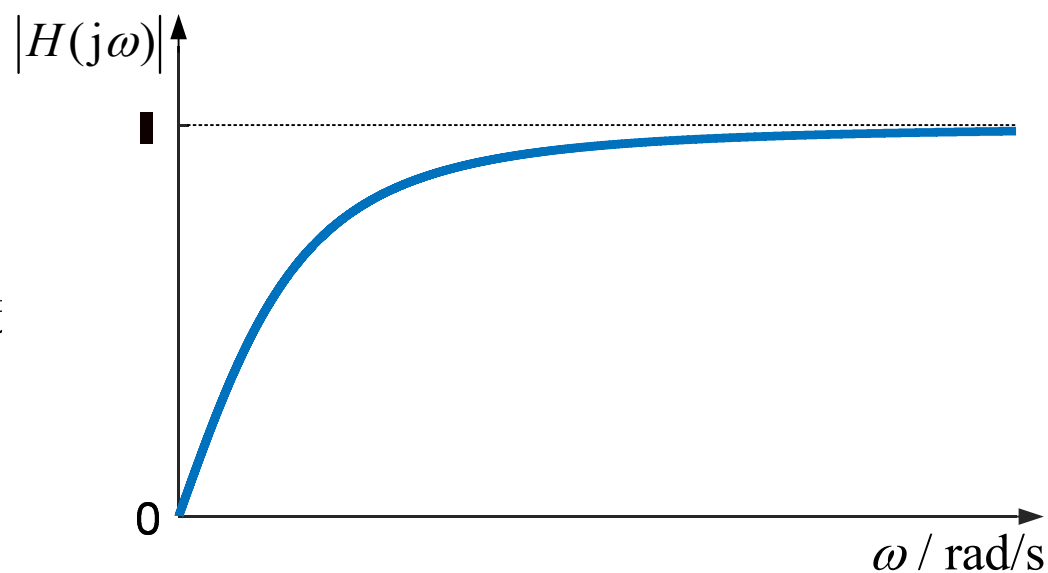
$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R\omega C}\right)^2 + 1}}$$

求电压增益传递函数

$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{out}}}{\dot{U}_{\text{in}}}$$

的幅值，

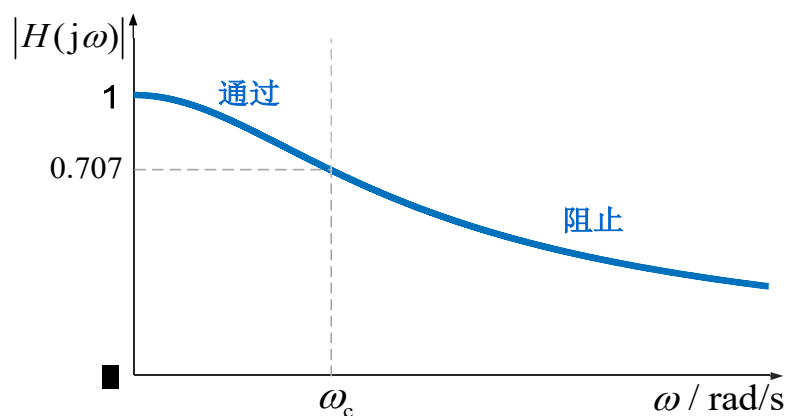
并定性绘制其幅频特性曲线



## 14.2 滤波器

### 滤波器的定义：

滤波器（filter）是一个能使在期望频率范围内的信号**通过**，**同时阻止**通过其他频率范围内的信号（即为使在其他频率范围内的信号不通过）的电路；或者说是一个能**阻止**通过不需要频率范围内的信号，**同时**使其他频率范围内的信号**通过**的电路。



### 滤波器的应用领域：

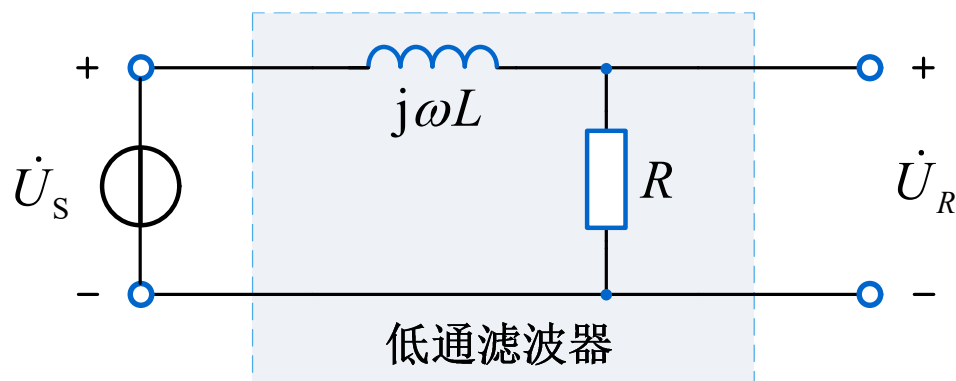
电力系统、通信系统、声音和图像处理系统、医疗设备等。

### 滤波器的类型：

从信号的频率范围划分，主要包括：低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器和带阻滤波器。。

## 14.2 滤波器——典型的滤波器电路

### 低通滤波器

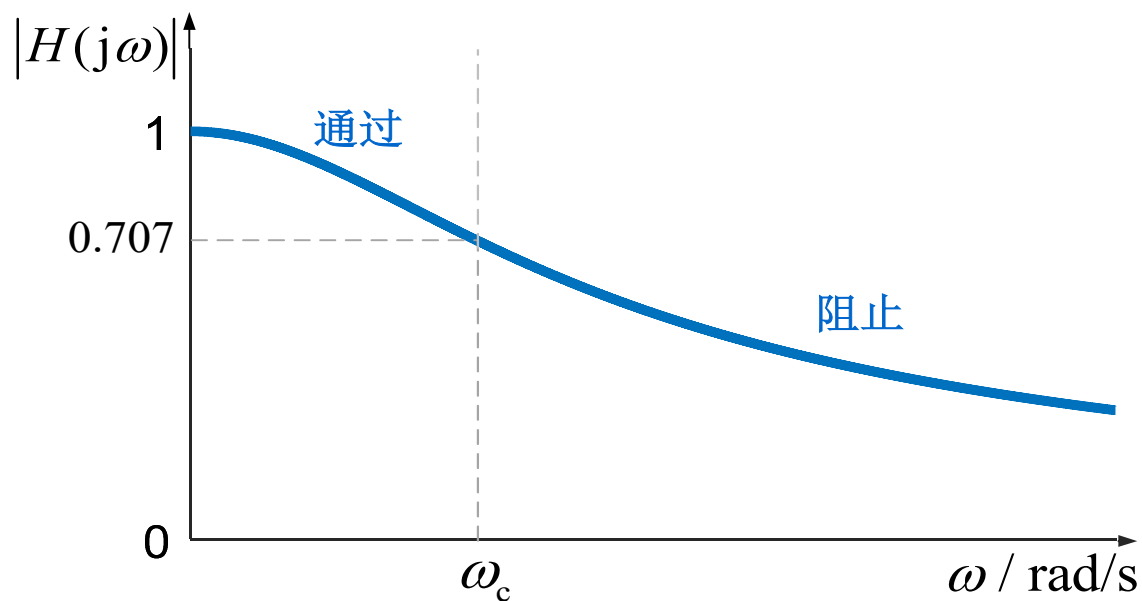


$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_R}{\dot{U}_S} = \frac{R}{R + j\omega L},$$

$$|H(\omega)| = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

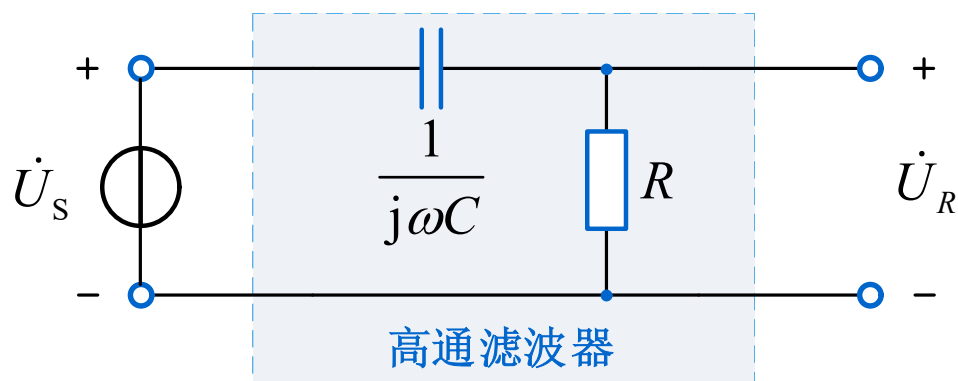
截止角频率：

0.707对应的角频率  
 $\omega_c$ 称为截止角频率，  
该点对应半功率点，  
用于区分信号通过  
还是阻止。



## 14.2 滤波器——典型的滤波器电路

### 高通滤波器

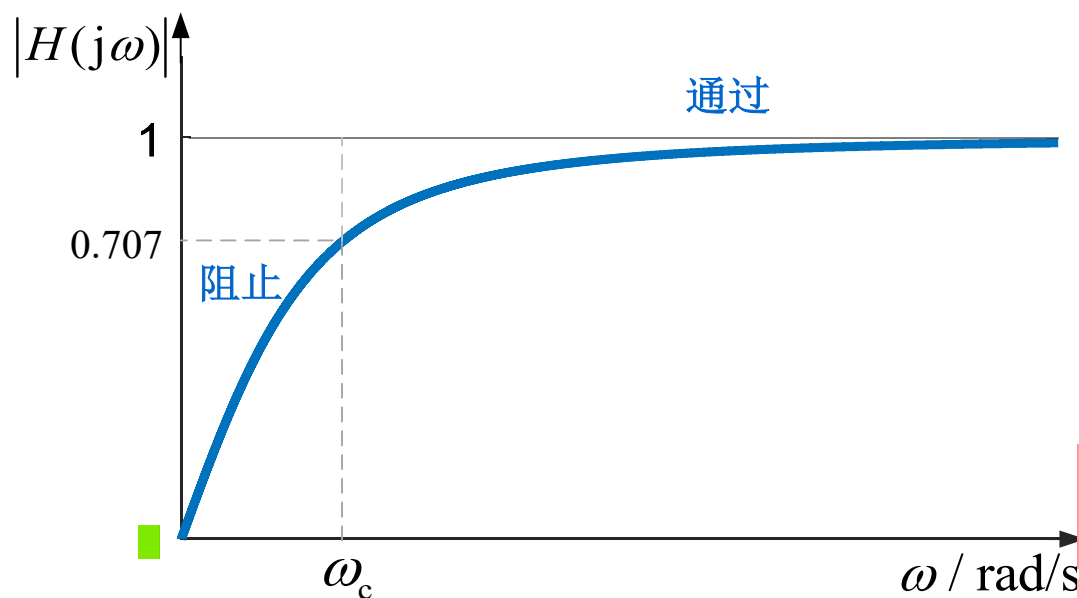


$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_R}{\dot{U}_s} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}}$$

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{R\omega C}\right)^2}}$$

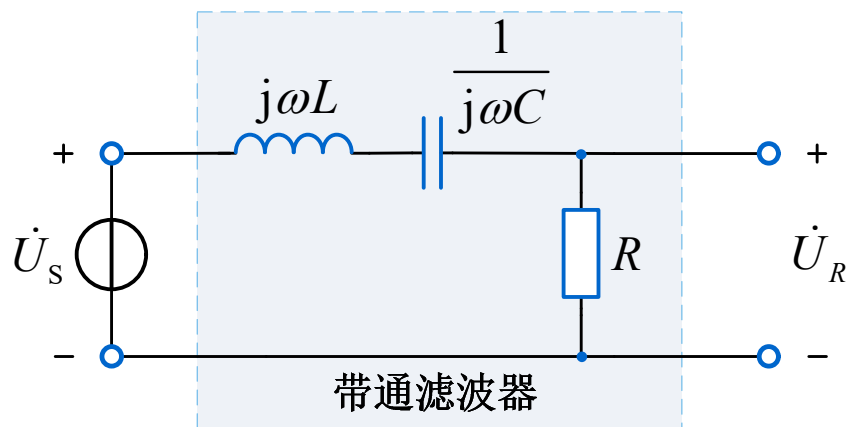
截止角频率：

0.707对应的角频率  
 $\omega_c$ 称为截止角频率，  
该点对应半功率点，  
用于区分信号通过  
还是阻止。



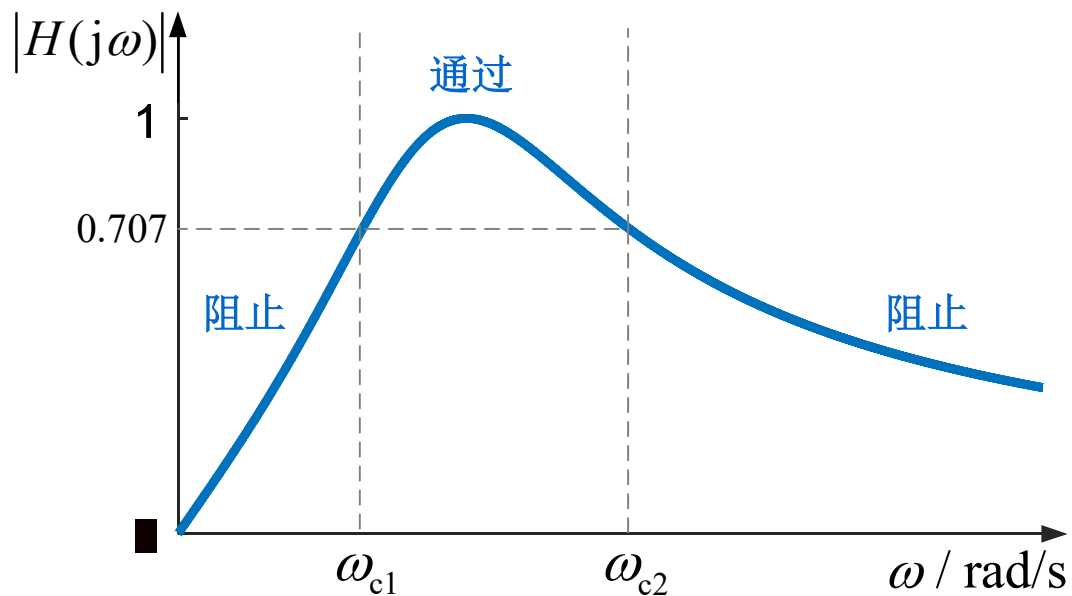
## 14.2 滤波器——典型的滤波器电路

### 带通滤波器



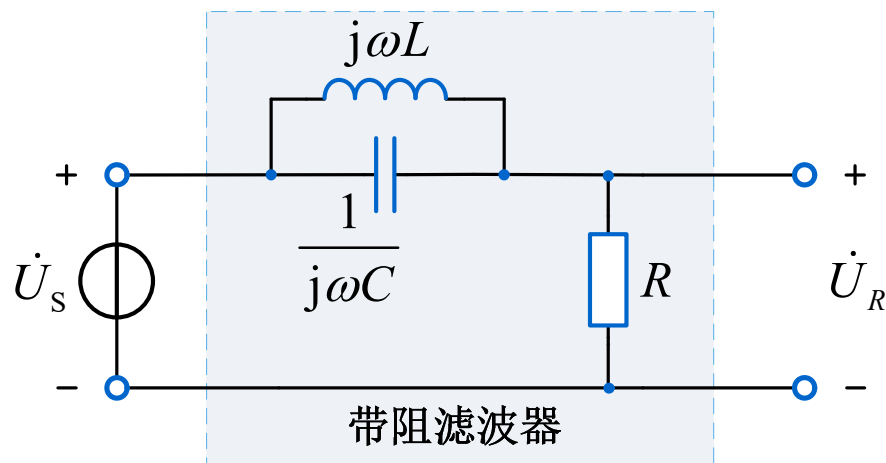
$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_R}{\dot{U}_s} = \frac{R}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}},$$

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{\omega L}{R} - \frac{1}{R\omega C} \right)^2}}$$



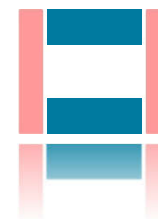
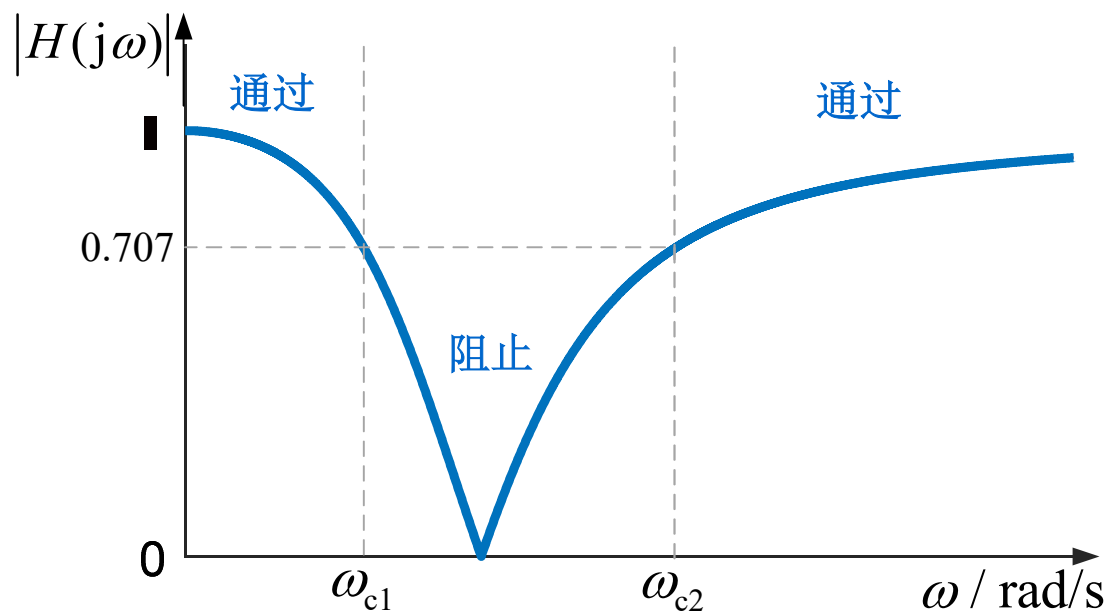
## 14.2 滤波器——典型的滤波器电路

### 带阻滤波器



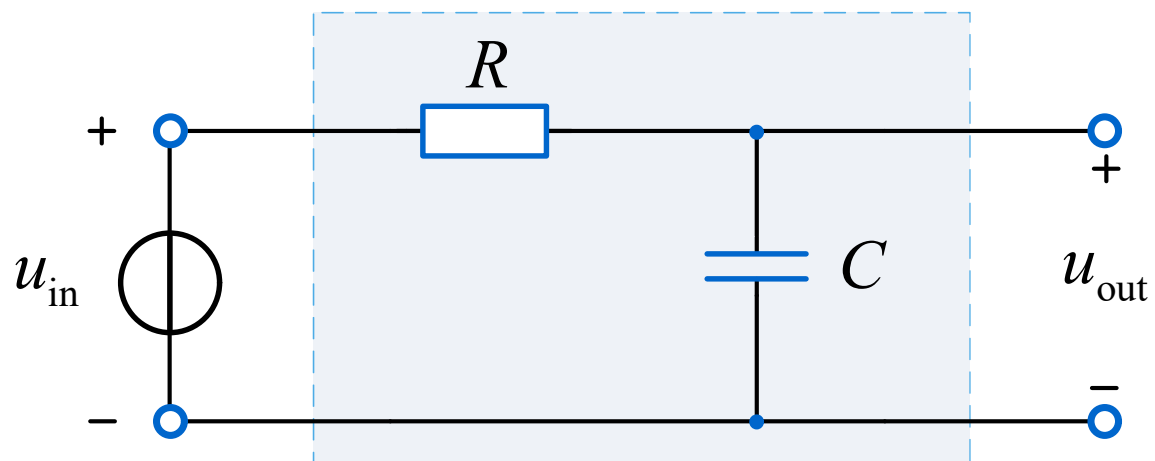
$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_R}{\dot{U}_s} = \frac{R}{R + \frac{j\omega L \times \frac{1}{j\omega C}}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}}$$

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{L}{RC}\right)^2 \left(\frac{1}{\omega L} - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$



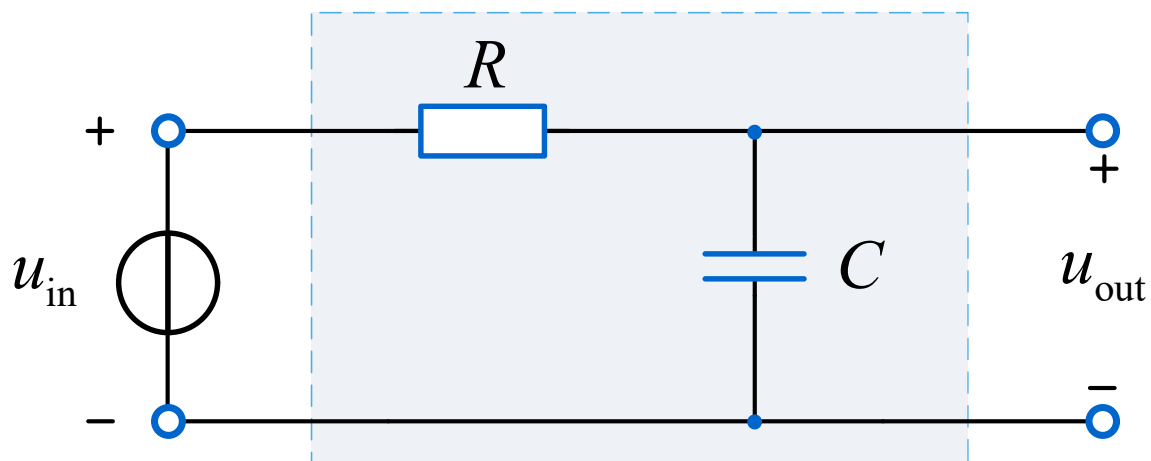
## 14.2 滤波器——典型的滤波器电路

例题3（基础） 判断图示电路对应滤波器类型

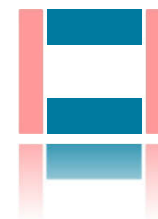


## 14.2 滤波器——典型的滤波器电路

例题3（基础） 判断图示电路对应滤波器类型



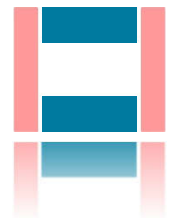
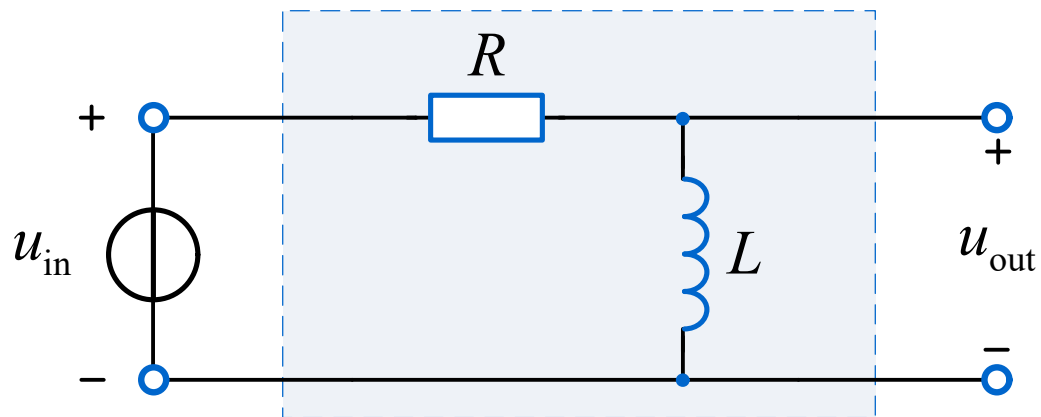
电容阻抗模值随着频率增加而减小，  
根据阻抗分压，电路为低通滤波器





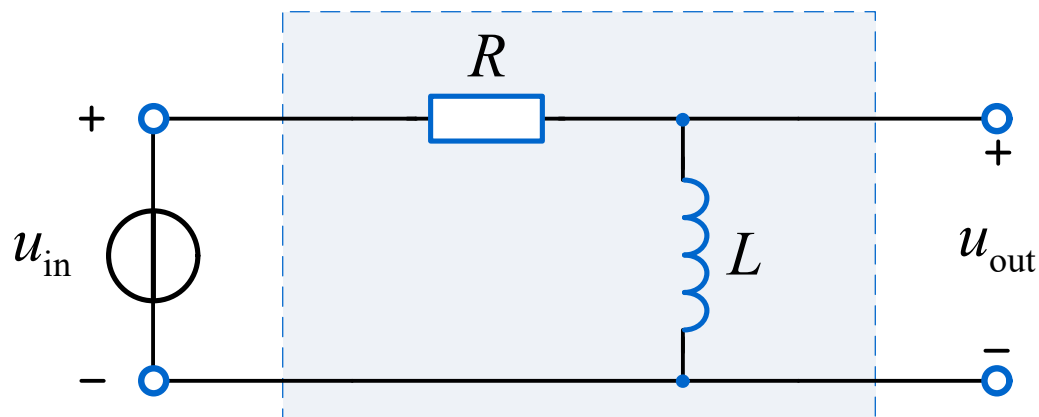
## 14.2 滤波器——典型的滤波器电路

同步练习题3（基础） 判断图示电路对应滤波器类型

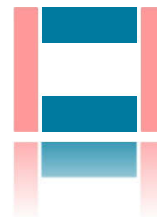


## 14.2 滤波器——典型的滤波器电路

同步练习题3（基础） 判断图示电路对应滤波器类型

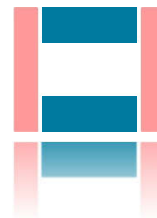
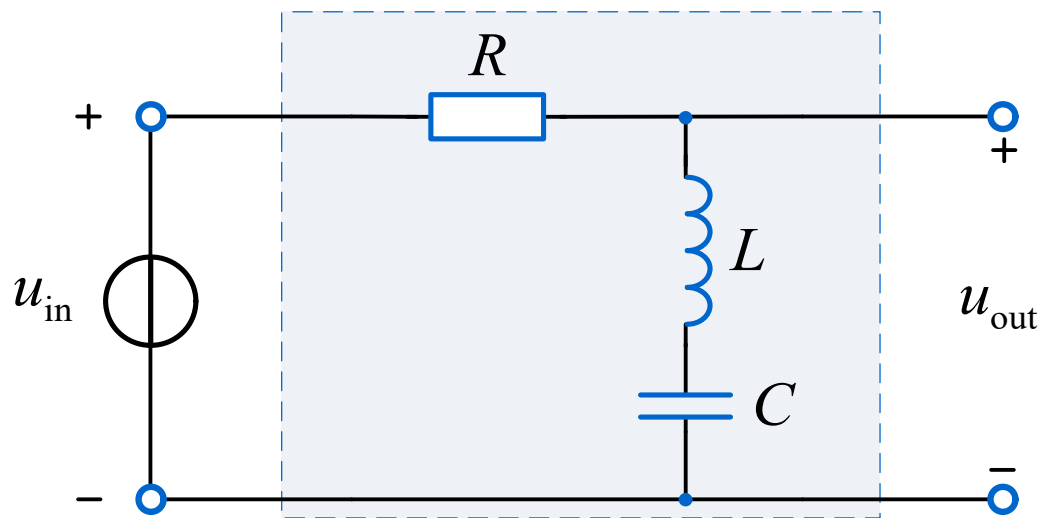


答案：高通滤波器



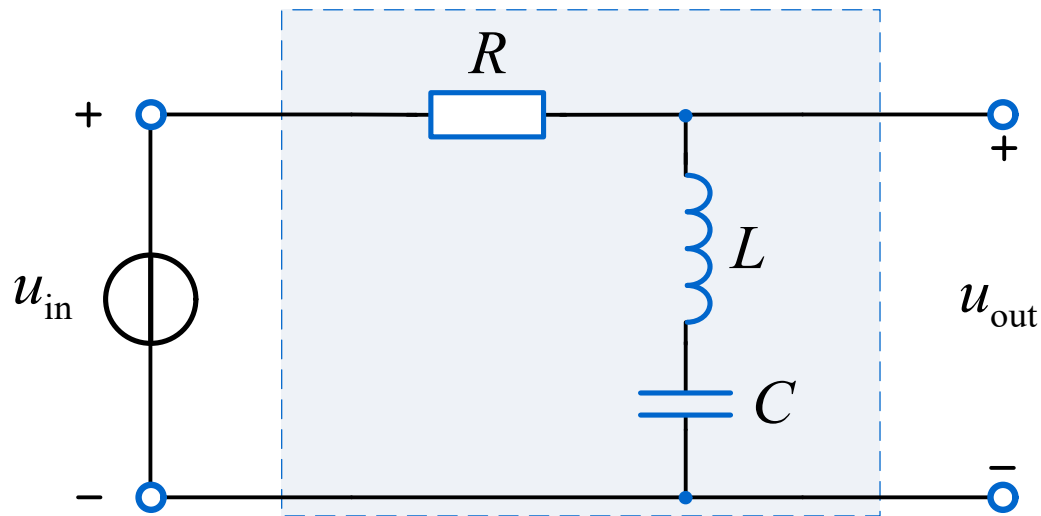
## 14.2 滤波器——典型的滤波器电路

同步练习题3（提高） 判断图示电路对应滤波器类型

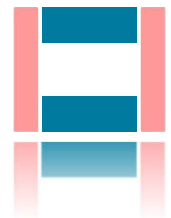


## 14.2 滤波器——典型的滤波器电路

同步练习题3（提高） 判断图示电路对应滤波器类型

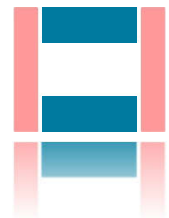
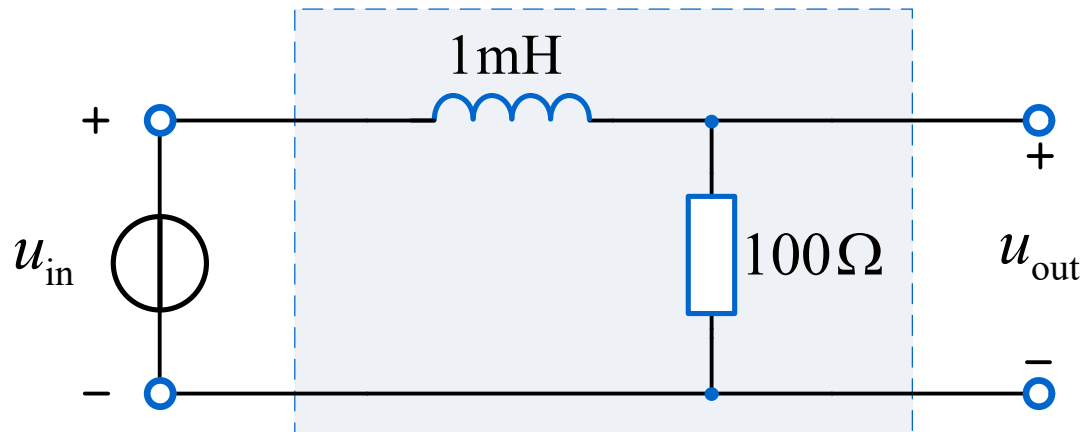


答案：带阻滤波器



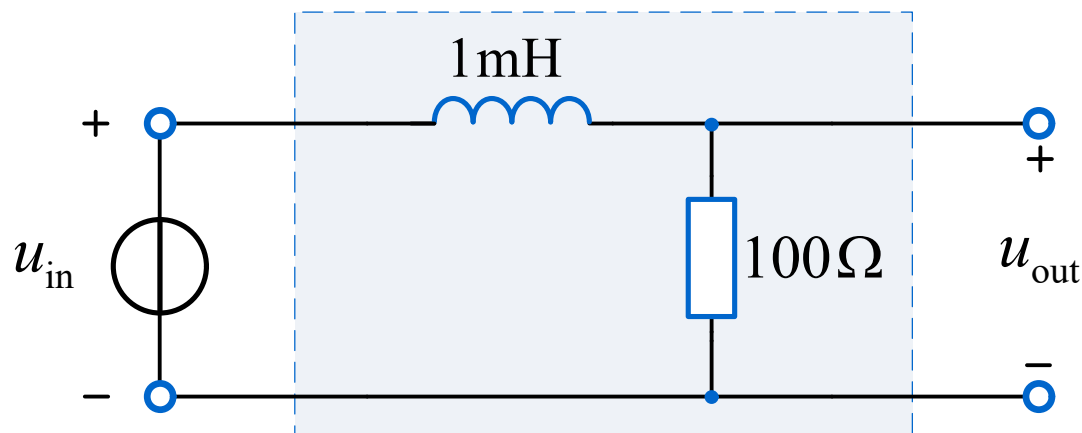
## 14.2 滤波器——典型的滤波器电路

**例题4（基础）** 求图示低通滤波器的截止角频率。



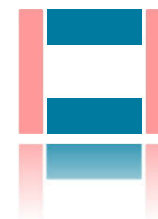
## 14.2 滤波器——典型的滤波器电路

**例题4（基础）** 求图示低通滤波器的截止角频率。



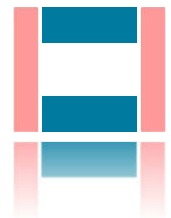
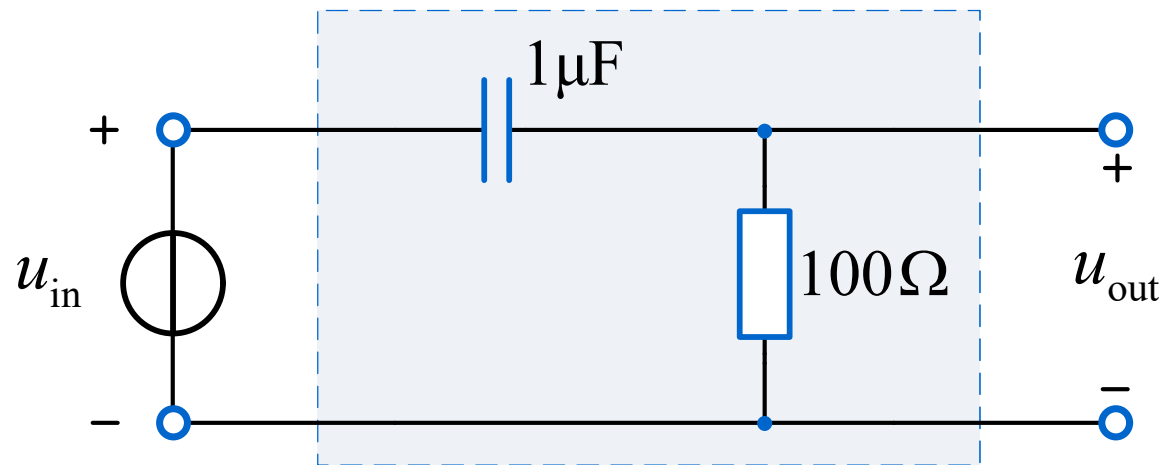
$$|H(\omega)| = \left| \frac{R}{R + j\omega L} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{\omega L}{R} \right)^2}}$$

$$\text{令 } |H(\omega)| = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \frac{\omega_c L}{R} = 1 \quad \omega_c = 10^5 \text{ rad/s}$$



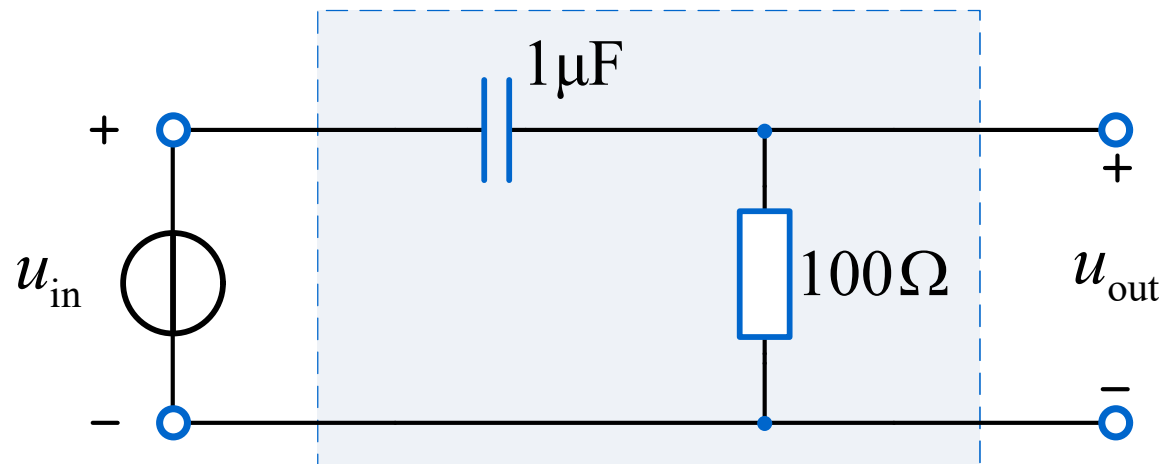
## 14.2 滤波器——典型的滤波器电路

同步练习题4（基础） 求图示低通滤波器的截止角频率。

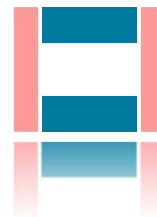


## 14.2 滤波器——典型的滤波器电路

同步练习题4（基础） 求图示高通滤波器的截止角频率。



答案：  $\omega_c = 10^4 \text{ rad/s}$





## 14.1-14.2 电路的频率响应、滤波器——小结

- **传递函数** 定义为频域内两个相量的比值
- 传输函数属于网络函数，但网络函数不一定是传递函数
- 传递函数的**幅频特性**对于正弦交流电路分析非常重要
- **滤波器** 定义为“**滤除**”或“**滤出**”某一频率范围信号的电路
- 典型滤波器类型：**低通、高通、带通、带阻滤波器**
- 可通过电容和电感的频率特性定性判断滤波器的类型
- 区分滤波器通过还是阻值信号的角频率称为**截止角频率**，对应半功率点

# 感谢大家聆听

主讲人：邹建龙

时 间：      年    月    日

