

## 5 放大电路的频率特性

### 5.1 放大电路频率响应概述

### 实际问题举例



**“高保真”** ( High fidelity 或 hi-fi ) —— 音响的最高品质



16~60Hz, 甚低频  
60~250Hz, 低频  
250~2000Hz, 中频  
2~4kHz, 高中频  
4~6kHz, 高频  
6~16kHz, 最高频





## 电子管功率放大器

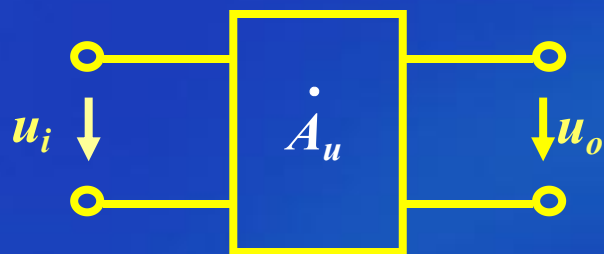
电子管功放凭其独特的优势在声频功放领域里占有重要的地位。它稳定性好、可靠性高特别是电子管柔润甜美的音色, 往往使许多音响爱好者如痴如。

<http://www.tnm-corad.com.cn/news/Show-4365.html>

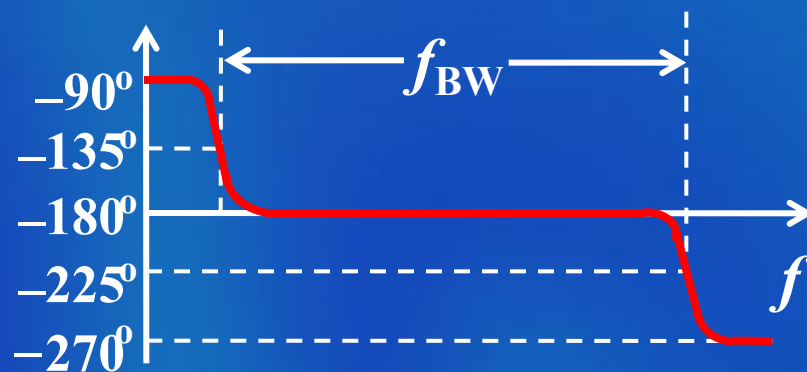
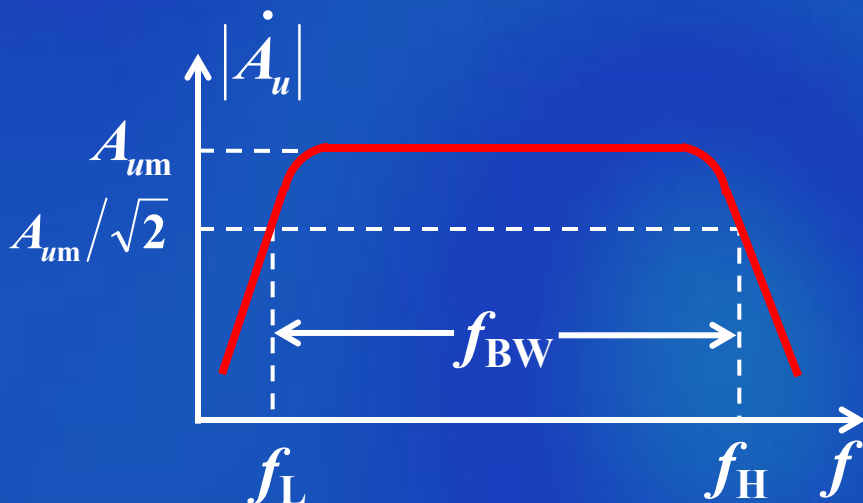
电子管放大器又称真空管放大器, 港台俗称**胆机**。60年代以前, 在声频领域占统治地位的一直是用电子管装置的各种音响设备, 放大器也不例外。60年代后期, 特别是70年代, 可说是电子管最不幸的年代。由于其自身的缺点( 体积大、功耗高等), 使其渐成淘汰状态, 尤其是在国内更是如此。70年代末期, 在国外电子管又开始活跃起来。进入80年代电子管放大器越来越盛行。特别是高音质的音源CD机发明后, 随着制约电子管放大器的输出变压器技术的进步, 电子管放大器能“中和”CD唱机生硬的“数码声”, 电子管放大器的地位在提高。加之老年发烧友当年均领略过其优美的放声, 它的复出首先得到了这些人的欢迎。在国内外, 电子管放大器有时甚至是一种**身份的象征**。

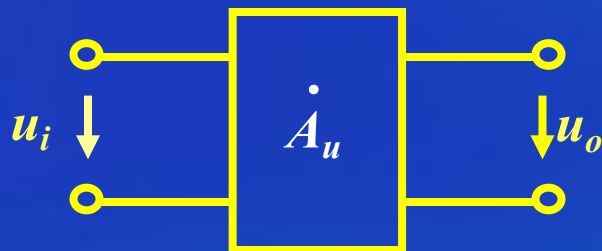
## 5.1.1 频率响应和频率失真

**频率响应**——放大电路输入幅度相同的正弦波信号时，输出信号的幅度与相位随信号频率变化而变化的特性。



频率特性 { 幅频特性  $|\dot{A}_u| \sim f$   
相频特性  $\varphi \sim f$





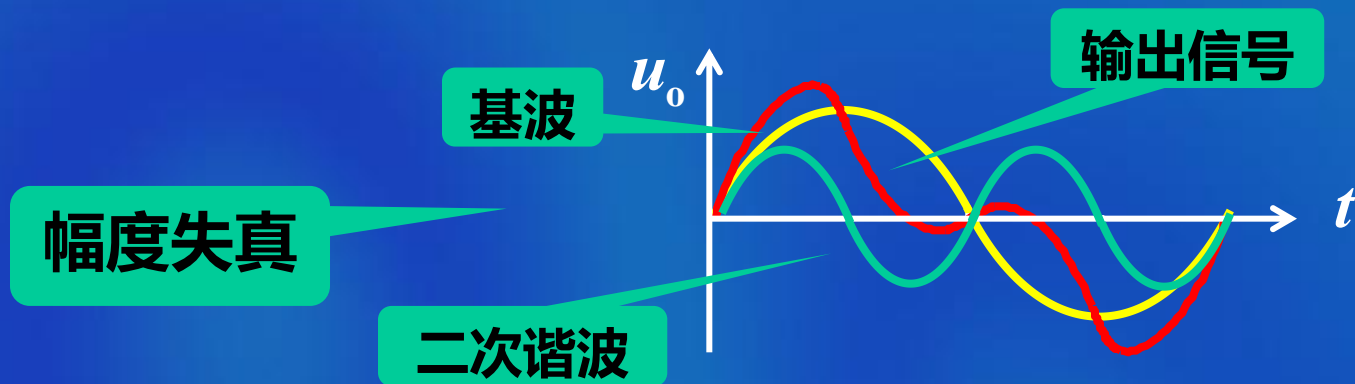
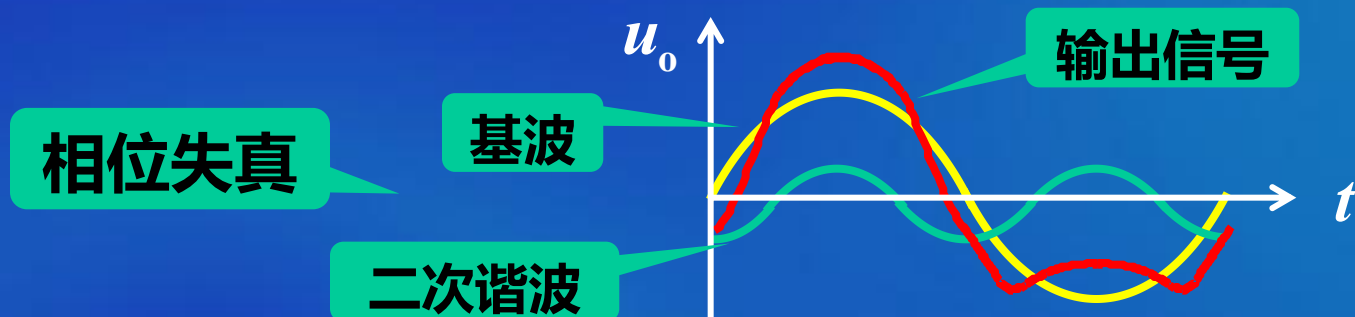
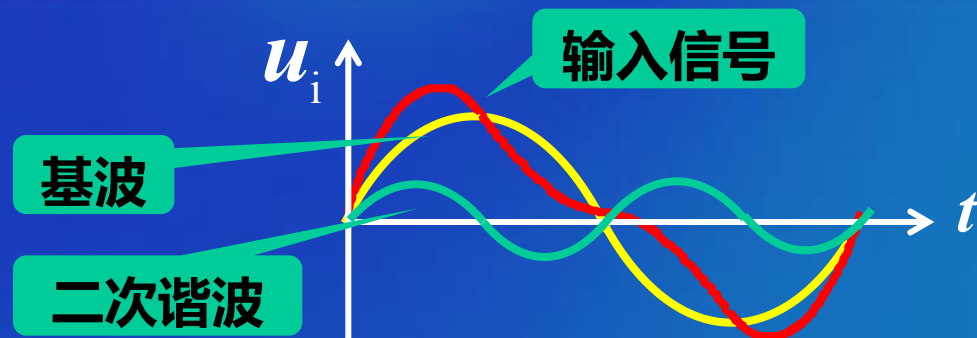
**频率失真**——放大电路对不同频率的输入信号，有不同的放大能力和相移，从而使输出信号产生了失真。

频率失真也称为**线性失真**（因为晶体管工作于放大区时出现的失真）。

注意：与**非线性失真**的区别。

**非线性失真**：截止失真与饱和失真

频率失真 { 相位失真  
幅度失真

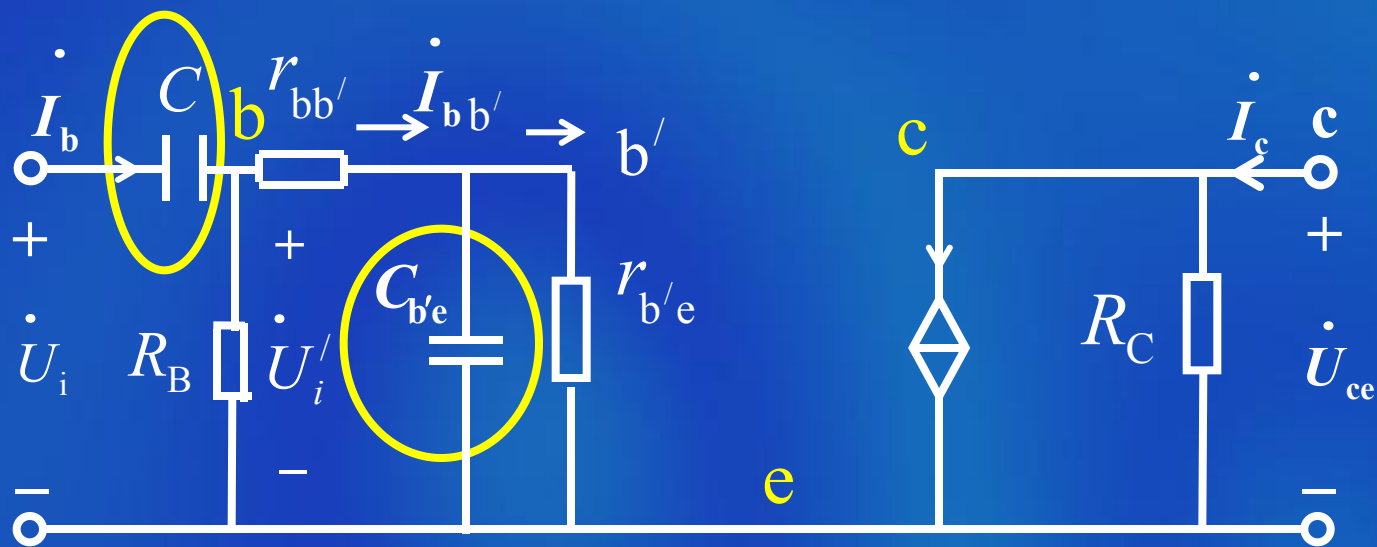




# 频率失真产生的原因：放大电路存在电抗元件

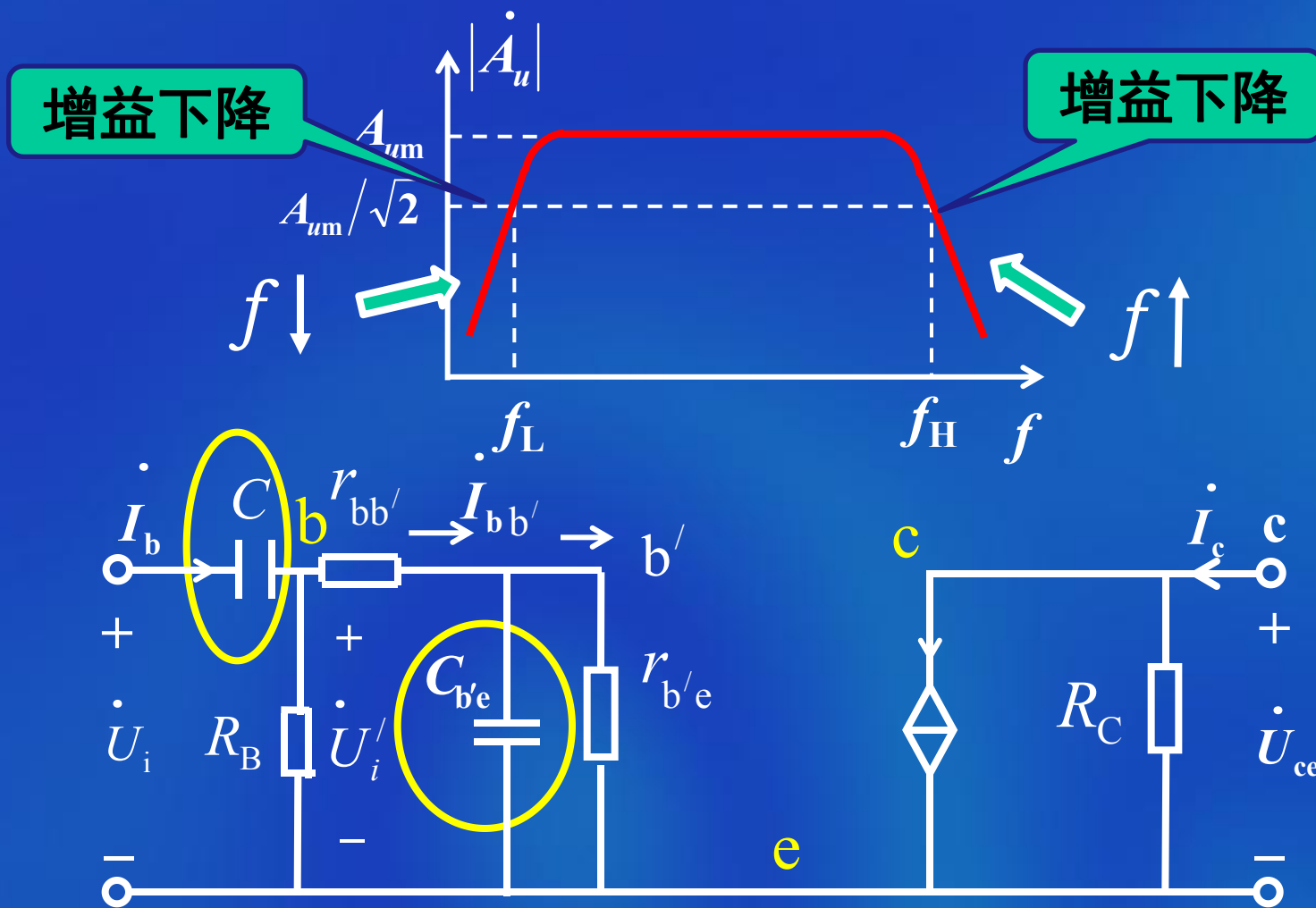
$$f \downarrow \longrightarrow X_C = \frac{1}{2\pi f C} \neq 0 \uparrow U_i' \downarrow \longrightarrow U_O \downarrow$$

$$f \uparrow \longrightarrow \text{晶体管结电容阻抗} \downarrow \dot{I}_b \text{ 分流} \longrightarrow U_O \downarrow$$



频率失真产生的原因：

放大电路存在**电抗元件**



## 5.1.2 放大电路频率响应的分析方法

### 1. 频域法

频率特性

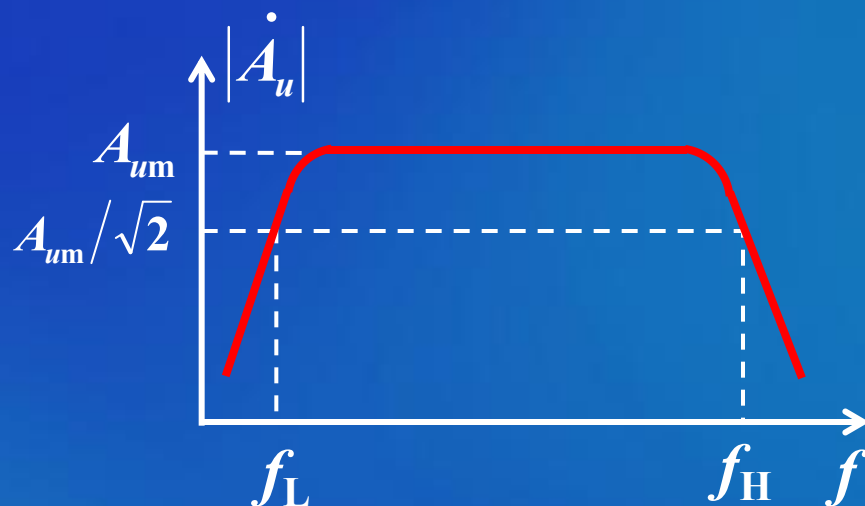


幅频特性

$$|\dot{A}_u| \sim f$$

相频特性

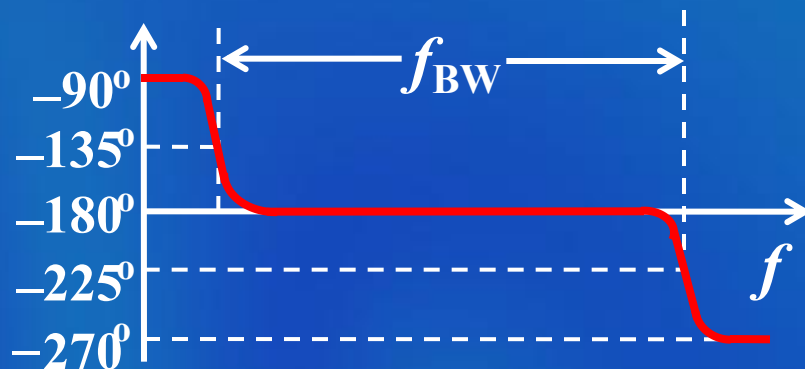
$$\varphi \sim f$$



描述频率特性的参数

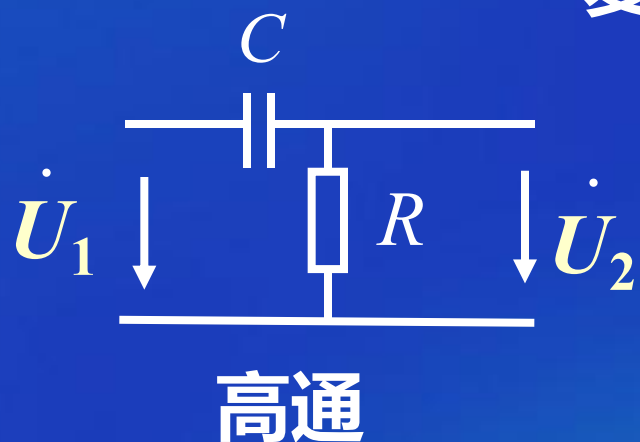
$$f_L, f_H, f_{bw}$$

频域法——在频率范畴内研究频率特性的方法, 或称**稳态法**。

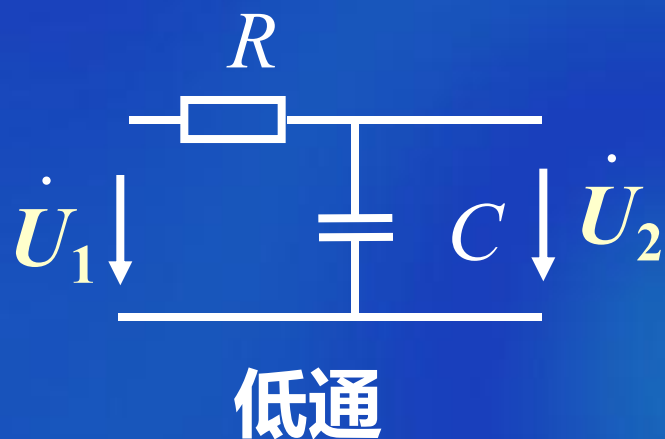
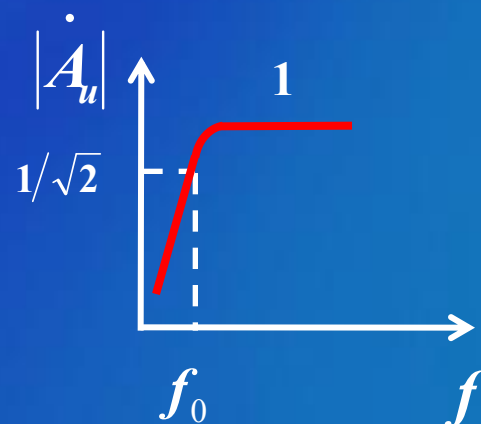




## 复习:一阶滤波器

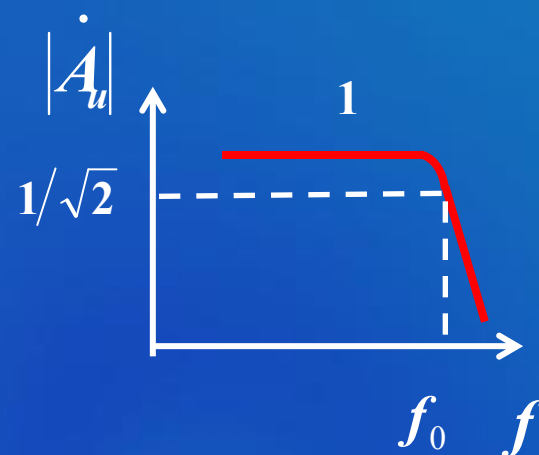


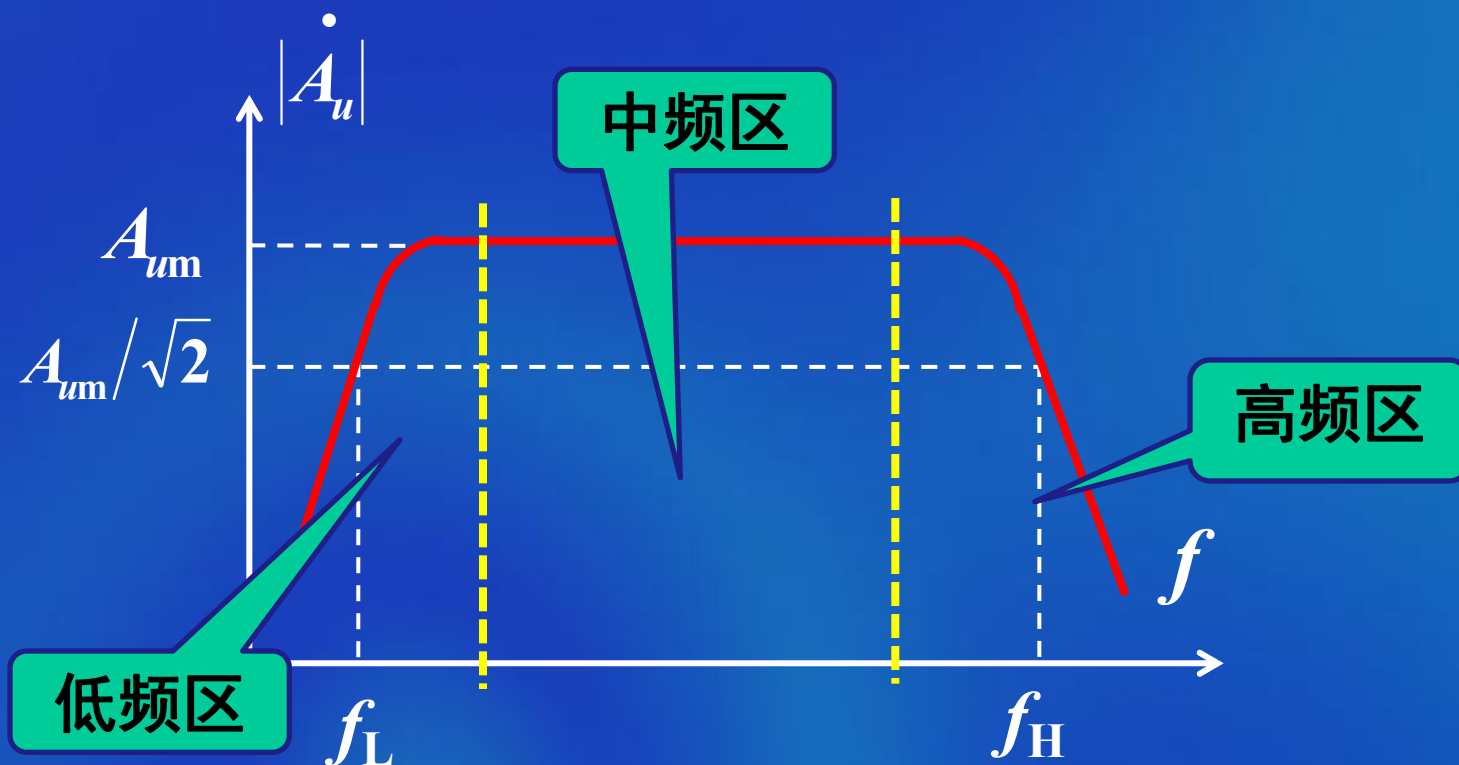
$$\dot{A}_u = \frac{1}{(1 - j\frac{f_0}{f})}$$

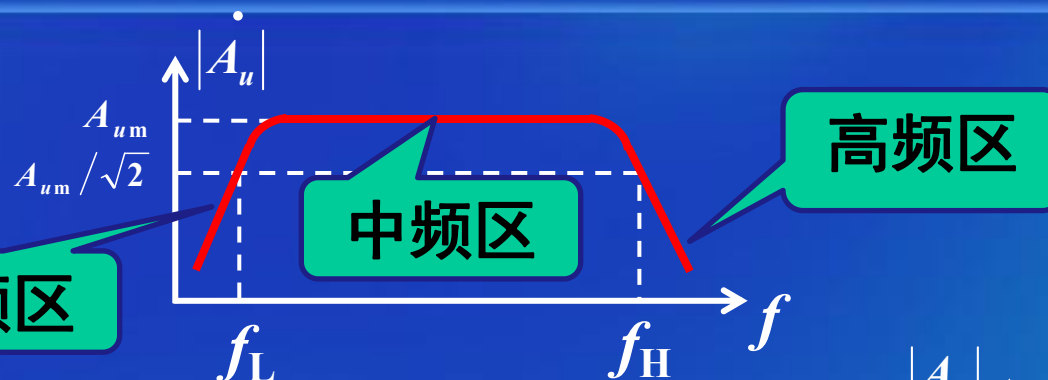


$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$\dot{A}_u = \frac{1}{(1 + j\frac{f}{f_0})}$$



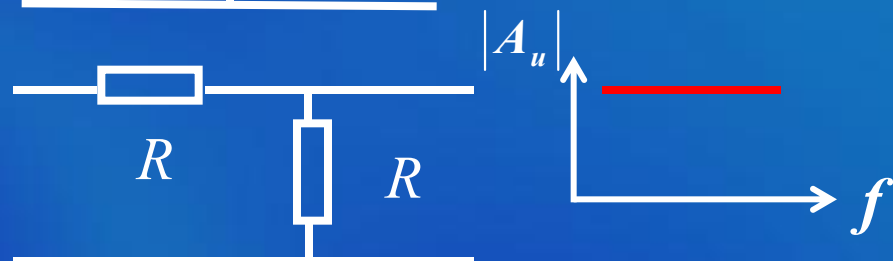




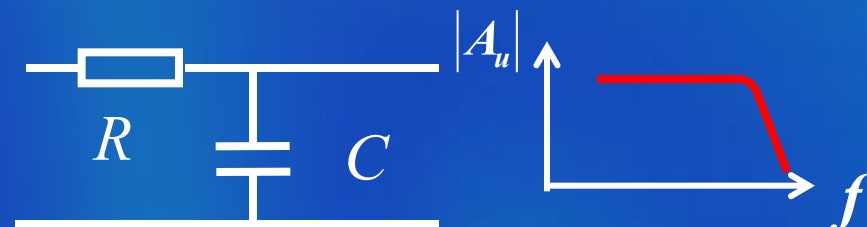
低频区  $\rightarrow$  高通  $\xrightarrow{\text{等效}}$



中频区  $\rightarrow$  纯电阻  $\xrightarrow{\text{等效}}$



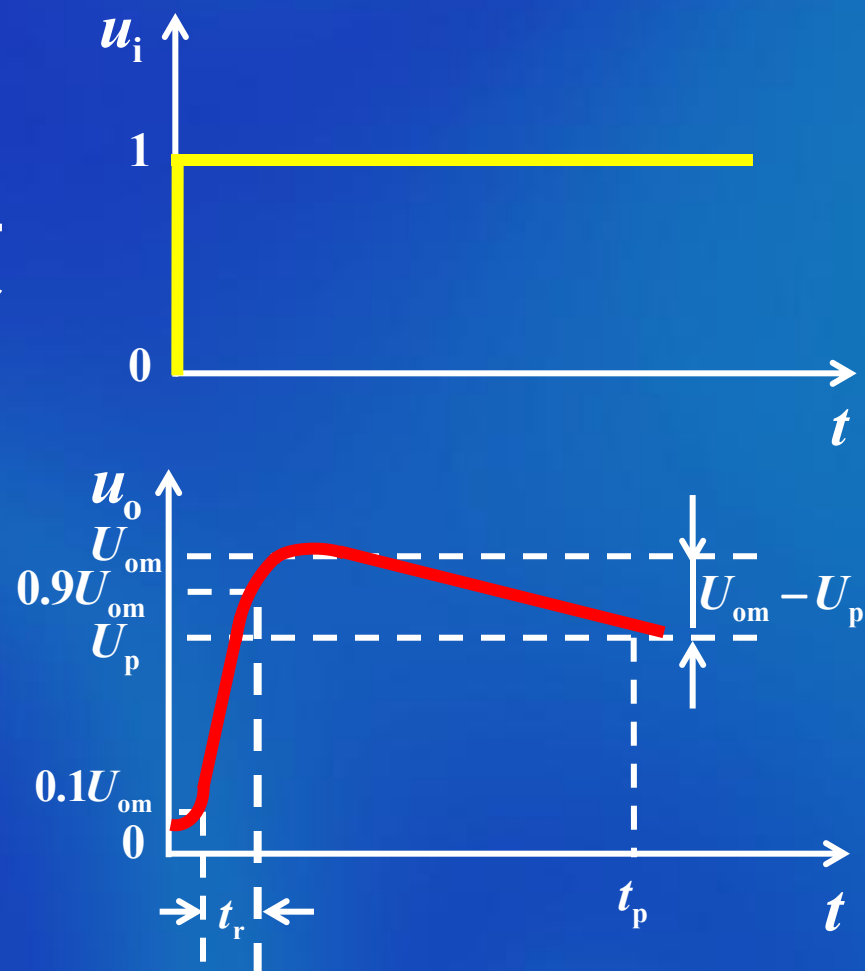
高频区  $\rightarrow$  低通  $\xrightarrow{\text{等效}}$



## 2. 时域法

**瞬态响应**——将一单位阶跃信号加到放大电路的输入端，观察输出信号随时间变化的情况。

**瞬态法**——通过分析研究放大电路瞬态响应，研究放大电路的频率特性的方法。



失真的表示

$\left\{ \begin{array}{l} \text{上升时间 } t_r \\ \text{平顶降落率 } \delta \end{array} \right.$

$$(\delta = \frac{U_{om} - U_{op}}{U_{om}} \times 100\%)$$

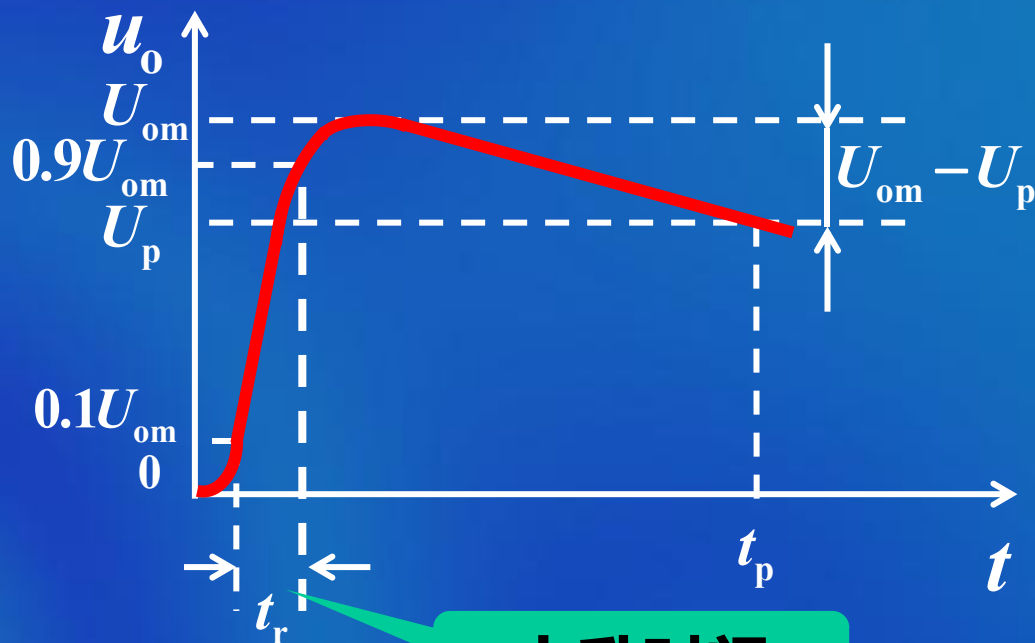
a.  $t_r$  与  $f_H$  的关系

$$t_r \cdot f_H \approx 0.35$$

b.  $\delta$  与  $f_L$  的关系

$$\delta = 2\pi \cdot f_L \cdot t_p \times 100\%$$

可以分别获得  $f_H$  与  $f_L$  的值



上升时间