第四章 放大电路的频率响应

§4.1 频率响应的基本概念

一、本章要研究的问题

二、高通电路和低通电路

三、放大电路中的频率参数

一、研究的问题

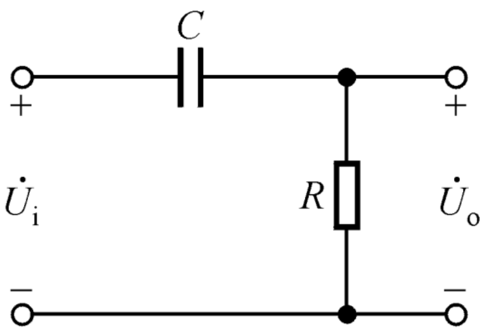
放大电路对信号频率的适应程度，即信号频率对放大倍数的影响。

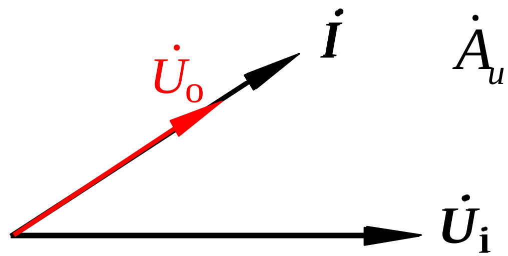
由于放大电路中耦合电容、旁路电容、半导体器件极间电容的存在，使放大倍数为频率的函数。

在使用一个放大电路时应了解其信号频率的适用范围，在设计放大电路时，应满足信号频率的范围要求。

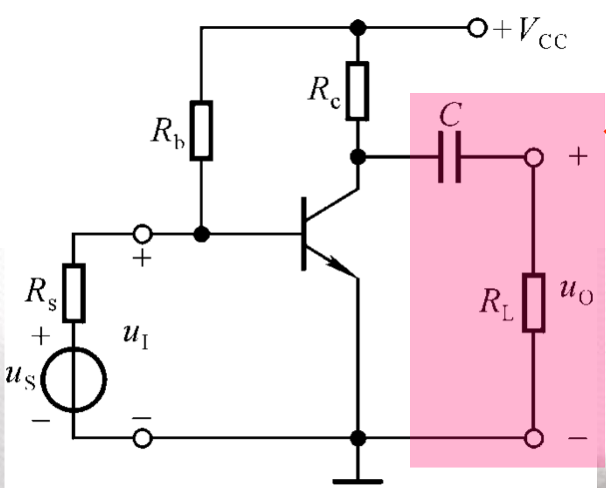
二、高通电路和低通电路

1. 高通电路：信号频率越高，输出电压越接近输入电压。





$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{R}{\frac{1}{j\omega C} + R} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}$$



高通电路

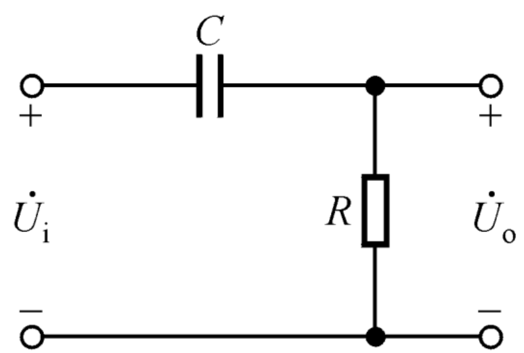
$\dot{U}_o$超前$\dot{U}_i$，当 $f \to 0$ 时，

$|\dot{U}_o| \to 0$，$\dot{U}_o$超前$\dot{U}_i$ 90°。

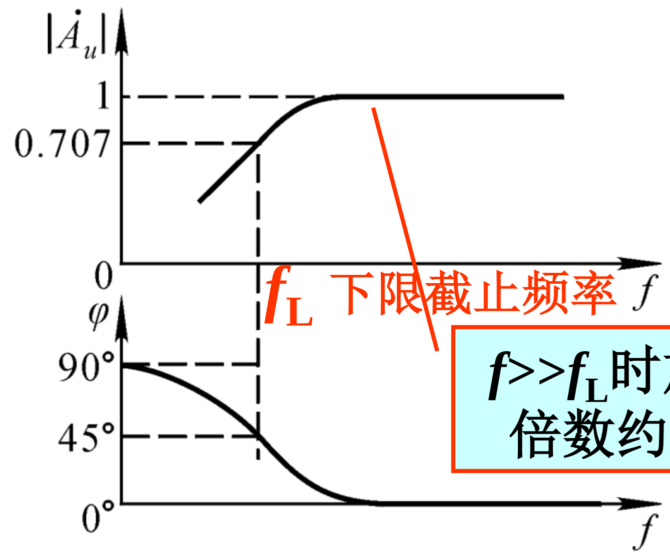
使输出电压幅值下降到70.7%，相位超前45°的信号频率为下限截止频率。

二、高通电路和低通电路

高通电路的幅频特性和相频特性



$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_{\mathrm{o}}}{\dot{U}_{\mathrm{i}}} = \frac{\mathrm{j}\omega RC}{1+\mathrm{j}\omega RC}$$



f>>f_{L}时放大倍数约为1

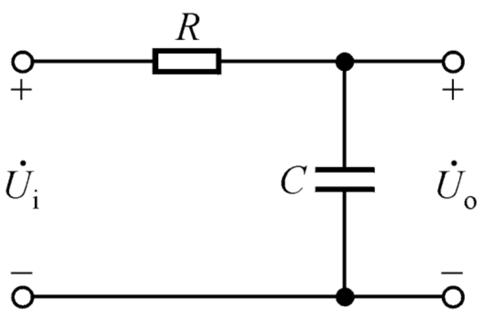
令$f_{\mathrm{L}} = \dfrac{1}{2\pi RC}$，则$\dot{A}_u = \dfrac{\mathrm{j}\,f/f_{\mathrm{L}}}{1+\mathrm{j}\,f/f_{\mathrm{L}}}$ ⇨

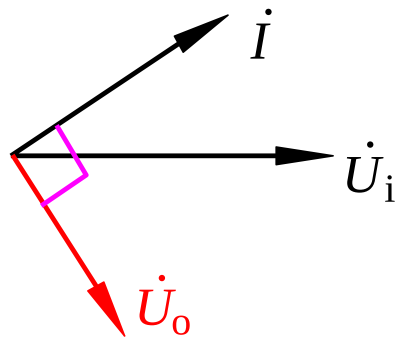
$$\begin{cases} |\dot{A}_u| = \dfrac{f/f_{\mathrm{L}}}{\sqrt{1+(f/f_{\mathrm{L}})^2}} \\ \varphi = 90° - \arctan(f/f_{\mathrm{L}}) \end{cases}$$

低频段放大倍数表达式的特点？下限截止频率的特征？

二、高通电路和低通电路

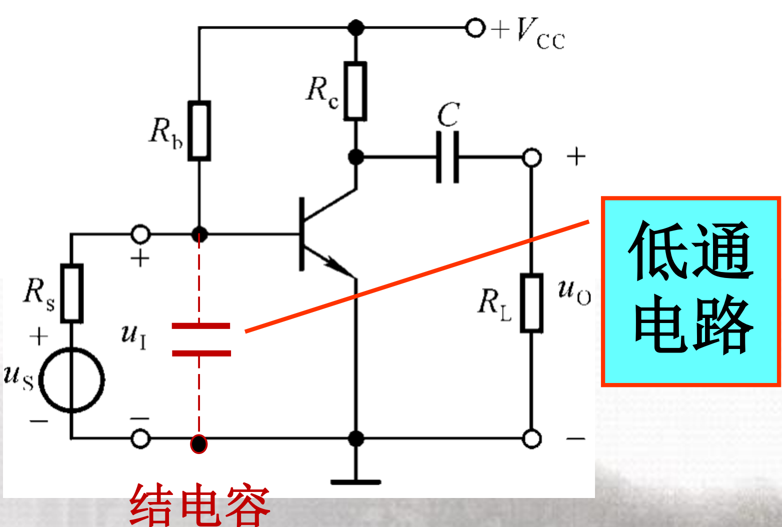
2. 低通电路: 信号频率越低，输出电压越接近输入电压。





$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{\frac{1}{j\omega C}+R} = \frac{1}{1+j\omega RC}$$

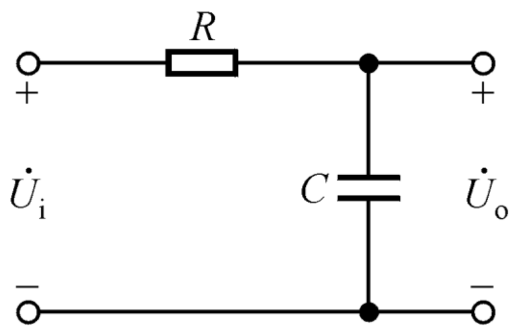
$\dot{U}_o$滞后$\dot{U}_i$，当 $f\to\infty$ 时，$\left|\dot{U}_o\right|\to 0$，$\dot{U}_o$滞后$\dot{U}_i$ 90°。



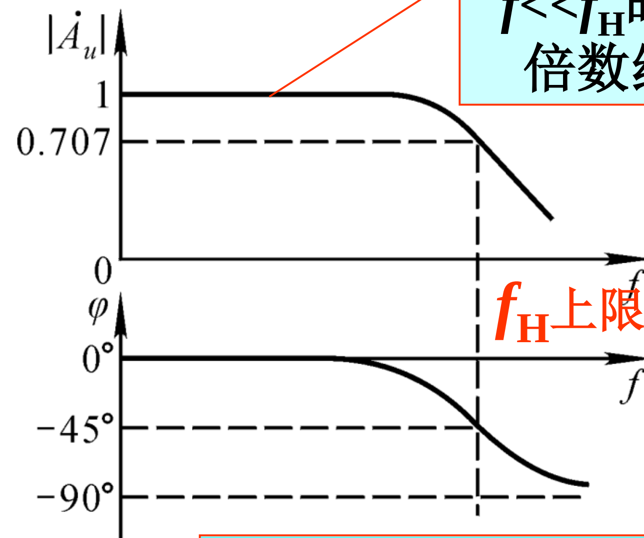
使输出电压幅值下降到70.7%，相位滞后45°的信号频率为上限截止频率。

二、高通电路和低通电路

低通电路的幅频特性和相频特性



$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$



$f << f_H$时放大倍数约为1

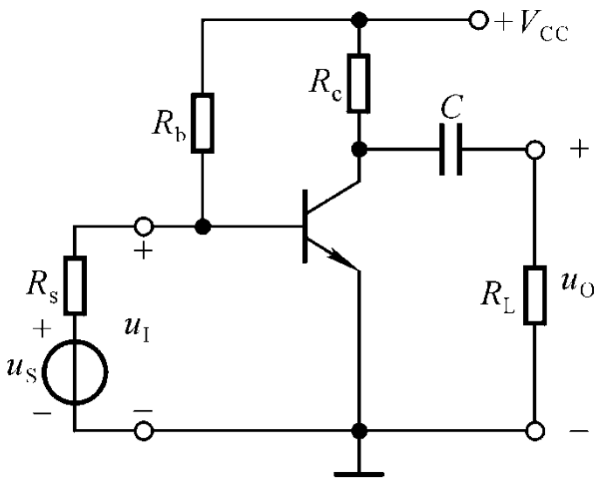
f_H上限截止频率

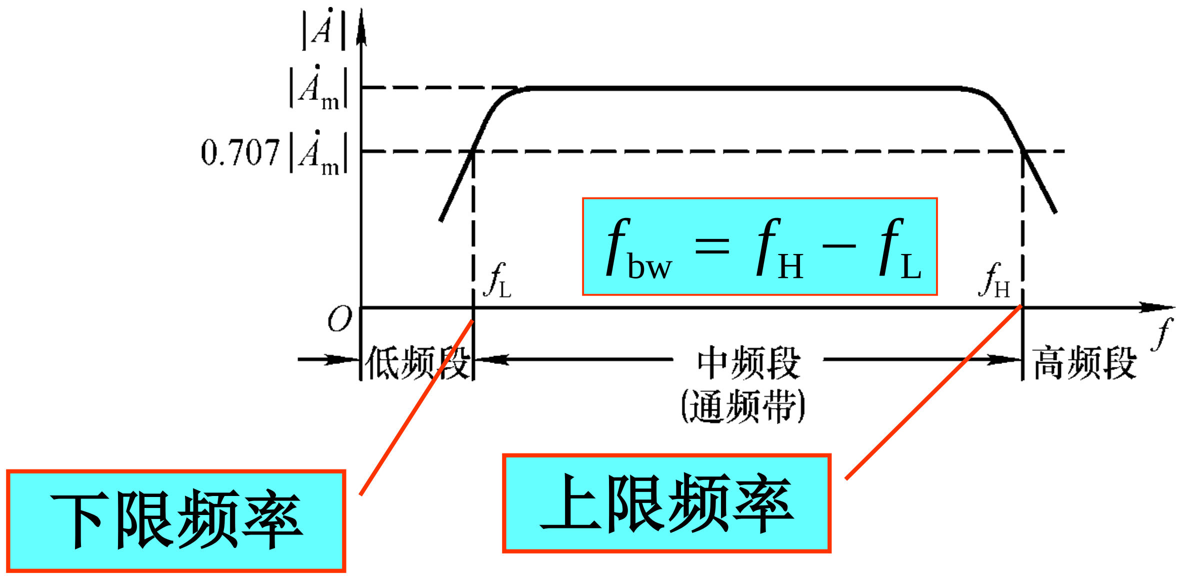
$$令 f_H = \frac{1}{2\pi RC}，\quad 则 \dot{A}_u = \frac{1}{1 + j f / f_H}$$

$$\begin{cases} |\dot{A}_u| = \dfrac{1}{\sqrt{1 + (f / f_H)^2}} \\ \varphi = -\arctan(f / f_H) \end{cases}$$

高频段放大倍数表达式的特点？上限截止频率的特征？

三、放大电路中的频率参数





在低频段，随着信号频率逐渐降低，耦合电容、旁路电容等的容抗增大，使动态信号损失，放大能力下降。

在高频段，随着信号频率逐渐升高，晶体管极间电容和分布电容、寄生电容等杂散电容的容抗减小，使动态信号损失，放大能力下降。

§4.2 晶体管的高频等效电路

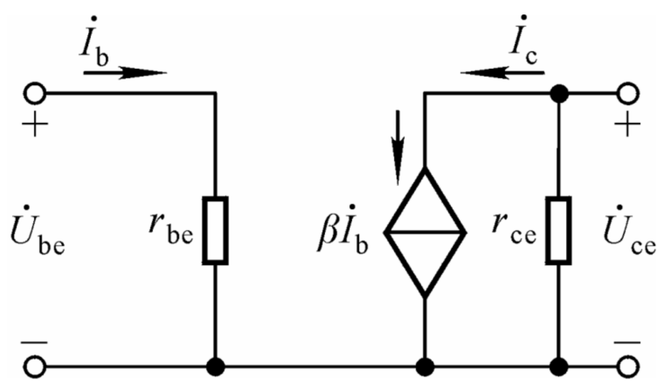
一、混合π模型

二、电流放大倍数的频率响应

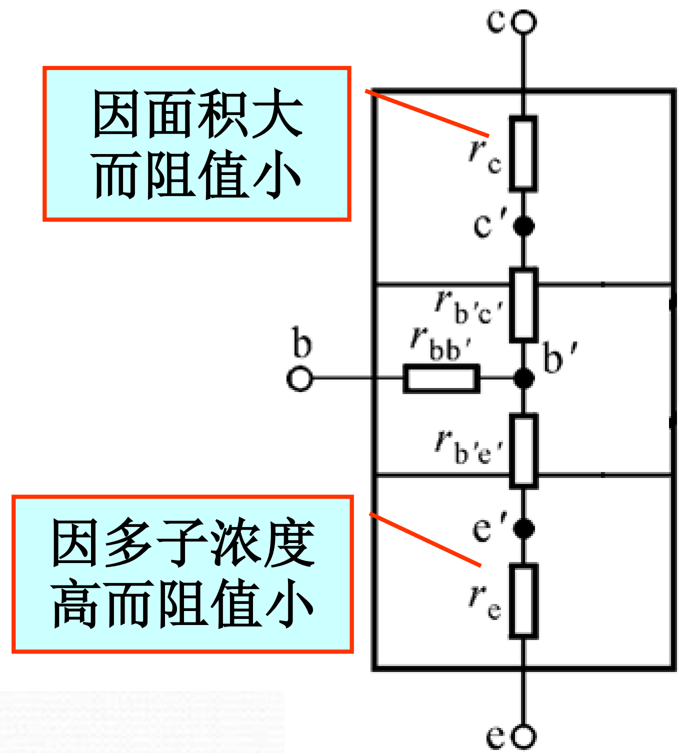
三、晶体管的频率参数

一、混合π模型

1. 中低频混合模型



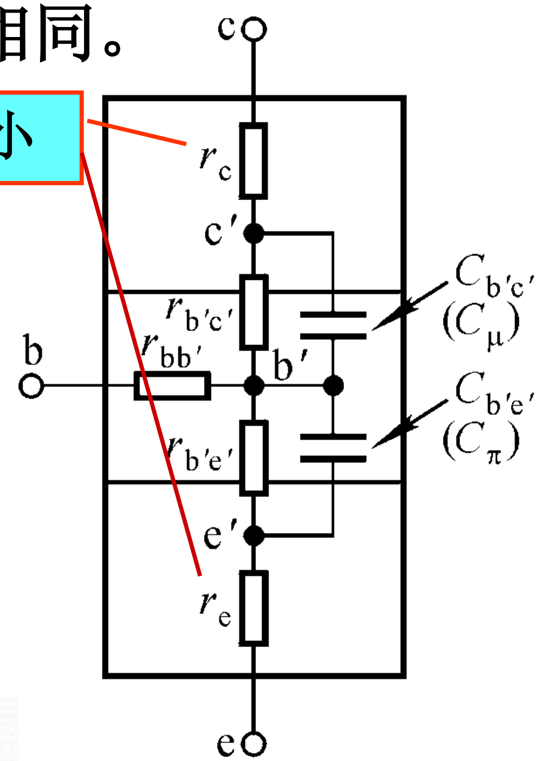
i_c受i_b控制的电流源

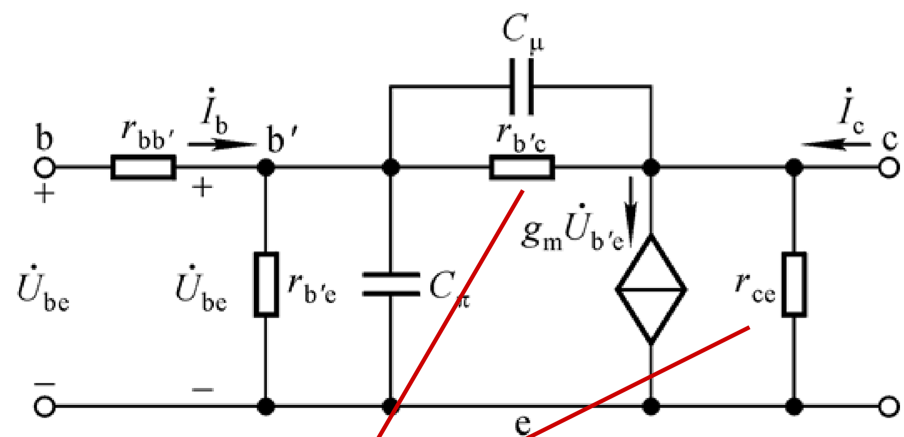


一、混合π模型

2. 高频混合模型： 由结构而建立，形状像Π，参数量纲各不相同。

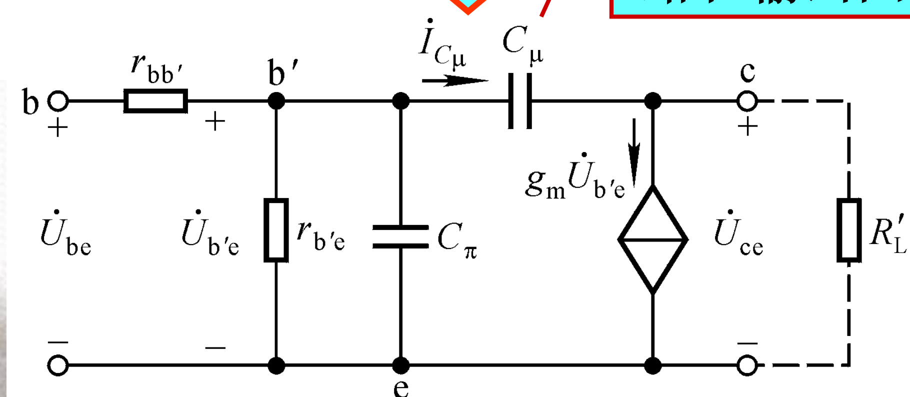
阻值小





阻值大

连接了输入回路和输出回路



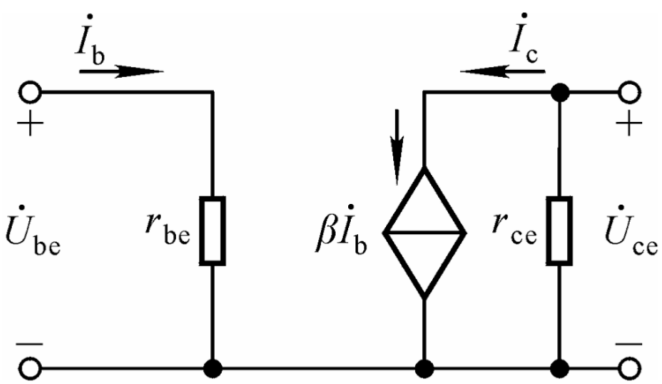
g_m为跨导，它不随信号频率的变化而变化。

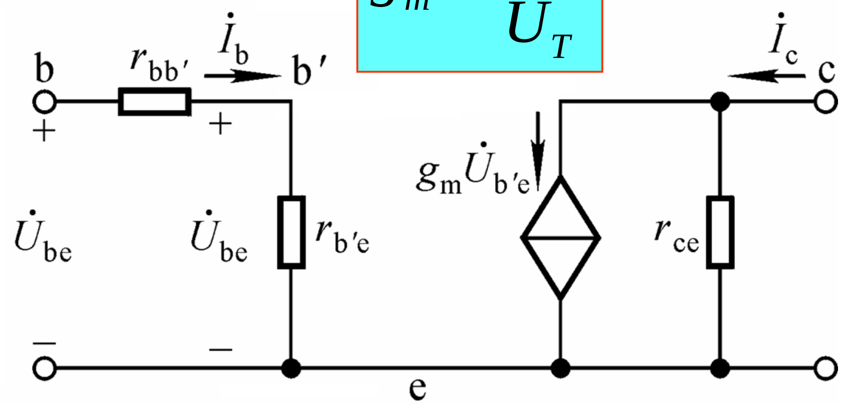
一、混合π模型

g_m是什么？

跨导，不随信号频率变化而变化

$$g_m \approx \frac{I_{EQ}}{U_T}$$





i_c受i_b控制的电流源

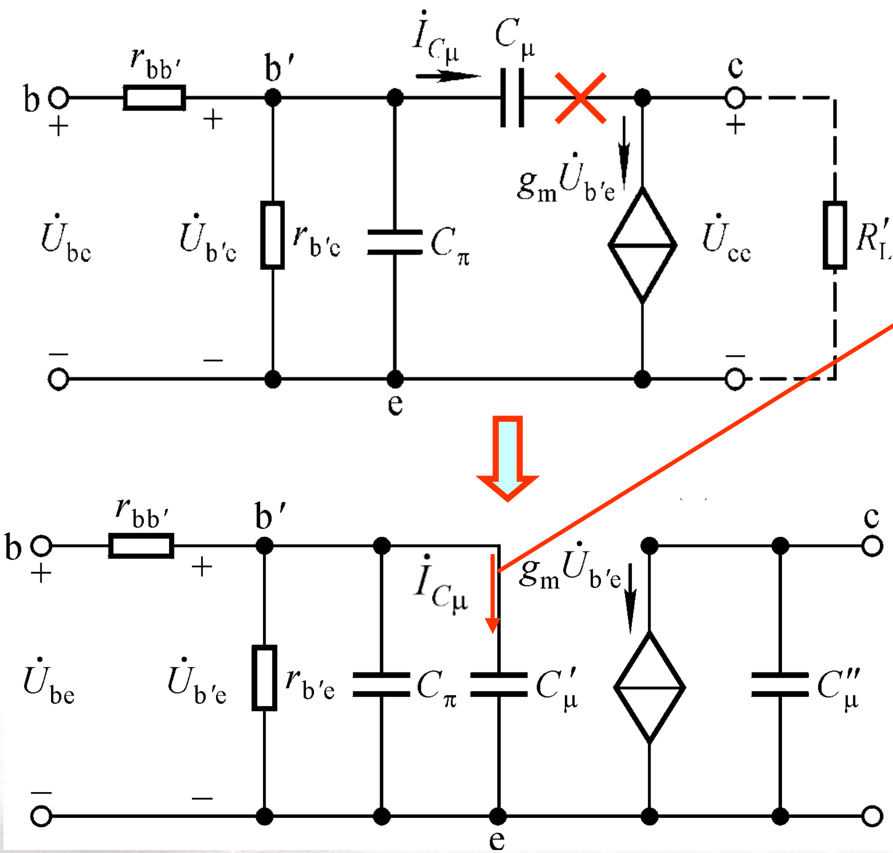
i_c受$u_{b'e}$控制的电流源

$$\dot{I}_c = \beta_0 \dot{I}_b = \beta_0 \frac{\dot{U}_{b'e}}{r_{b'e}} = \frac{\beta_0}{r_{b'e}} \dot{U}_{b'e} = g_m \dot{U}_{b'e}$$

$$g_m = \frac{\beta_0}{r_{b'e}}$$

$$r_{b'e} = (1+\beta_0)\frac{U_T}{I_{EQ}}$$

3. 混合π模型的单向化（使信号单向传递）



$$\dot{I}_{C\mu}=\frac{\dot{U}_{b'e}-\dot{U}_{ce}}{X_{C\mu}}=(1-k)\frac{\dot{U}_{b'e}}{X_{C\mu}}$$

$$k\approx -g_m R_L'$$

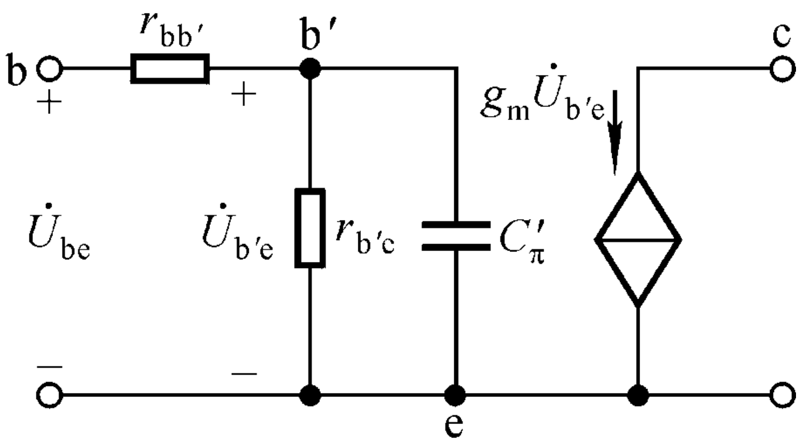
等效变换后电流不变

$$X_{C'\mu}=\frac{\dot{U}_{b'e}}{\dot{I}_{C\mu}}\approx\frac{X_{C\mu}}{1+g_m R_L'}$$

$$C_\mu'\approx(1+g_m R_L')C_\mu$$

同理可得，$C_\mu''\approx\dfrac{k-1}{k}\cdot C_\mu$

4. 晶体管简化的高频等效电路



为什么不考虑 C''_μ？

如何得到模型中的参数？

$r_{bb'}$、C_μ可从手册查得

$$r_{b'e} = (1+\beta_0)\frac{U_T}{I_{EQ}}$$

$$C'_\pi = C_\pi + C'_\mu$$

$=$？

$$\beta_0 \dot{I}_b = g_m \dot{U}_{b'e} = g_m \dot{I}_b r_{b'e}$$

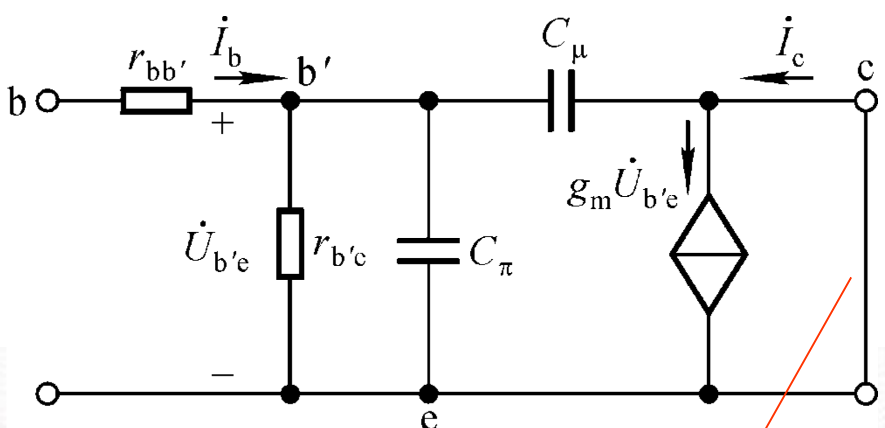
$$g_m = \frac{\beta_0}{r_{b'e}} \approx \frac{I_{EQ}}{U_T}$$

二、电流放大倍数的频率响应

1. 适于频率从0至无穷大的表达式

$$\dot{\beta}=\frac{\dot{I}_c}{\dot{I}_b}\bigg|_{U_{CE}}$$

因为$k=-g_m R_L'=0$，所以$C_\pi'=C_\pi+C_\mu$



为什么短路？

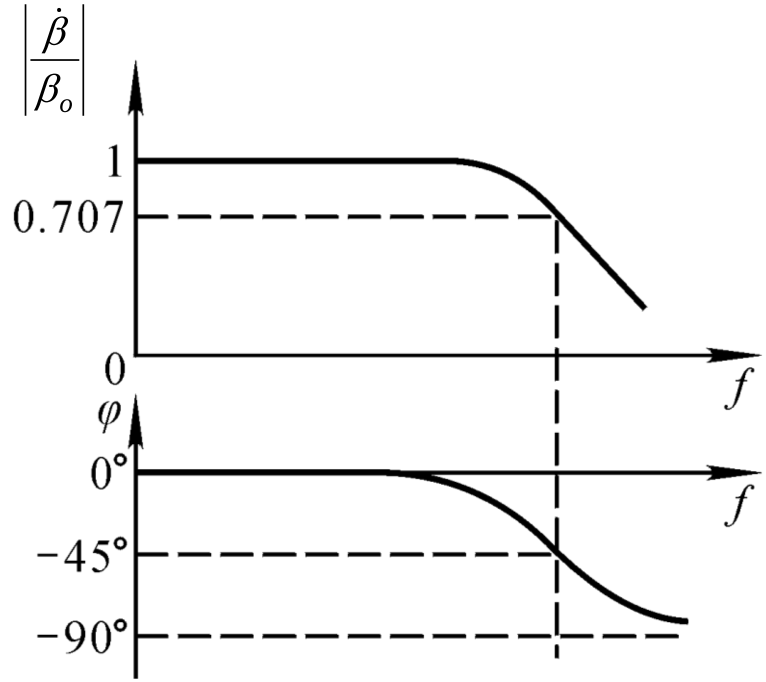
$$\dot{\beta}=\frac{g_m\dot{U}_{b'e}}{\dot{U}_{b'e}[\frac{1}{r_{b'e}}+j\omega(C_\pi+C_\mu)]}$$

$$=\frac{\beta_0}{1+j\frac{f}{f_\beta}}$$

$$f_\beta=\frac{1}{2\pi r_{b'e}(C_\pi+C_\mu)}$$

2. 电流放大倍数的频率特性曲线

$$\dot{\beta} = \frac{\beta_0}{1 + \mathrm{j}\frac{f}{f_\beta}} \Rightarrow \begin{cases} |\dot{\beta}| = \dfrac{\beta_0}{\sqrt{1 + (\frac{f}{f_\beta})^2}} \\ \varphi = -\mathrm{tg}^{-1}\dfrac{f}{f_\beta} \end{cases}$$

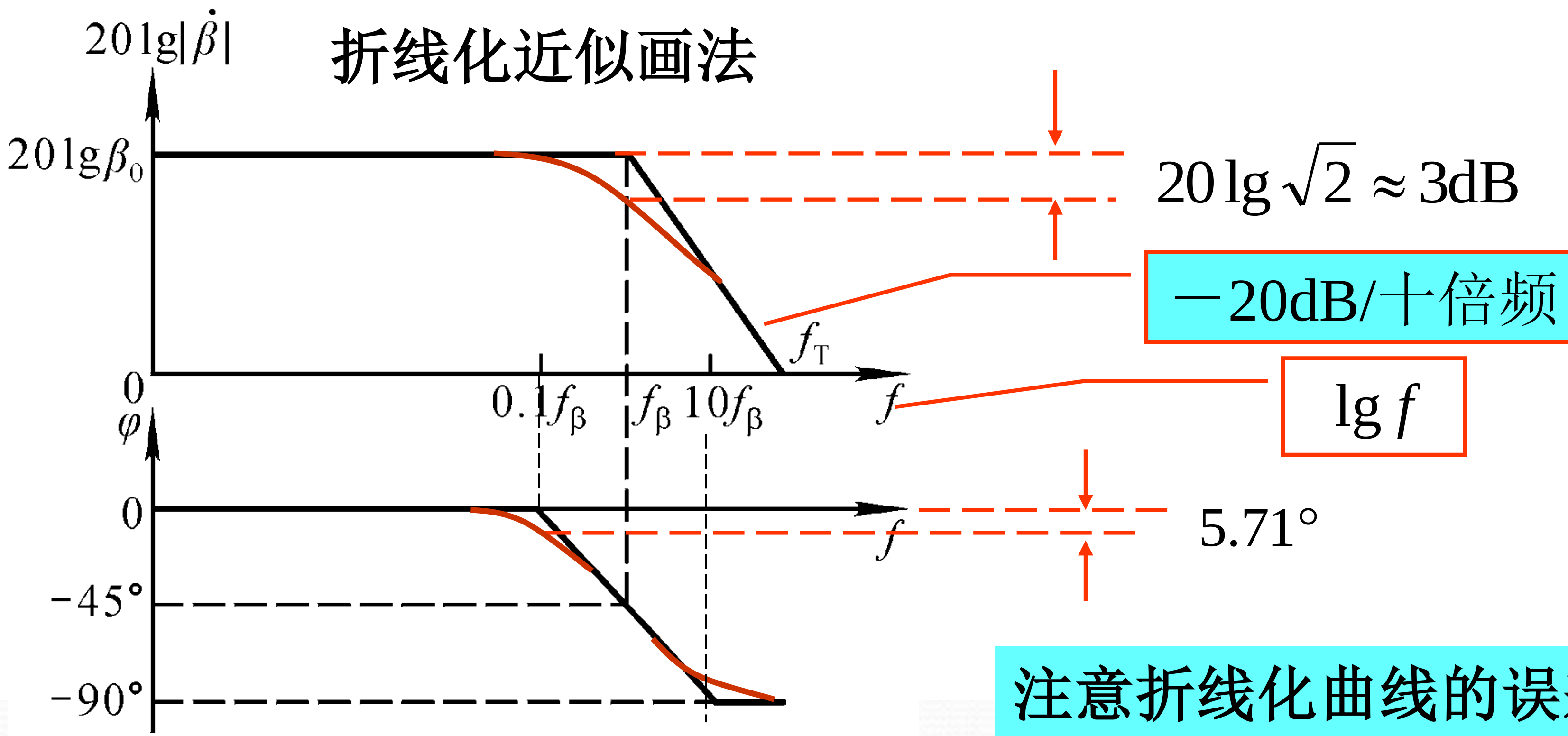


$f << f_\beta$ 时，$|\dot{\beta}| \approx \beta_0$;

$f = f_\beta$ 时，$|\dot{\beta}| = \frac{\beta_0}{\sqrt{2}} \approx 0.707\beta_0$， $\varphi = -45°$;

$f >> f_\beta$ 时，$|\dot{\beta}| \approx \frac{f_\beta}{f} \cdot \beta_0$; $f \to \infty$ 时，$|\dot{\beta}| \to 0$， $\varphi \to -90°$

3. 电流放大倍数的波特图：采用对数坐标系



注意折线化曲线的误差

采用对数坐标系，横轴为**lg *f***，可开阔视野；纵轴为 $20\lg\left|\dot{\beta}\right|$，单位为“分贝”（**dB**），使得“ ×”→“ ＋”。

三、晶体管的频率参数

共射截止频率

共基截止频率

特征频率

集电结电容

f_β、f_α、f_T、$C_{ob}(C_\mu)$。

使$|\dot{\beta}|=1$时的频率为f_T

$f_T \approx f_\alpha \approx \beta_0 f_\beta$

$$\dot{\beta}=\frac{\beta_0}{1+j\frac{f}{f_\beta}} \qquad f_\beta=\frac{1}{2\pi r_{b'e}(C_\pi + C_\mu)}$$

手册查得

通过以上分析得出的结论：

① 低频段和高频段放大倍数的表达式；

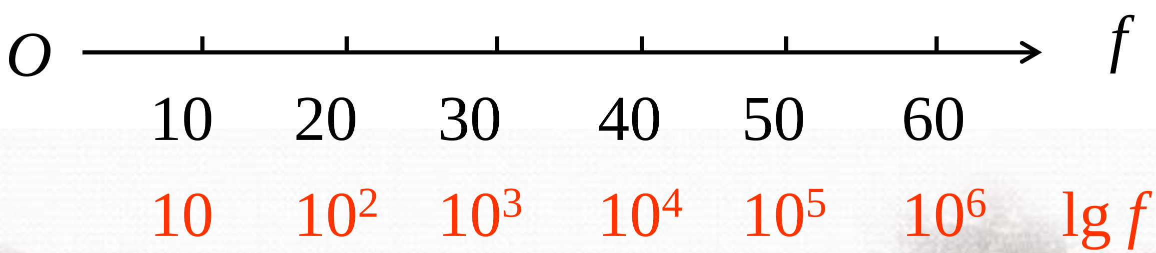
② 截止频率与时间常数的关系；

③ 波特图及其折线画法；

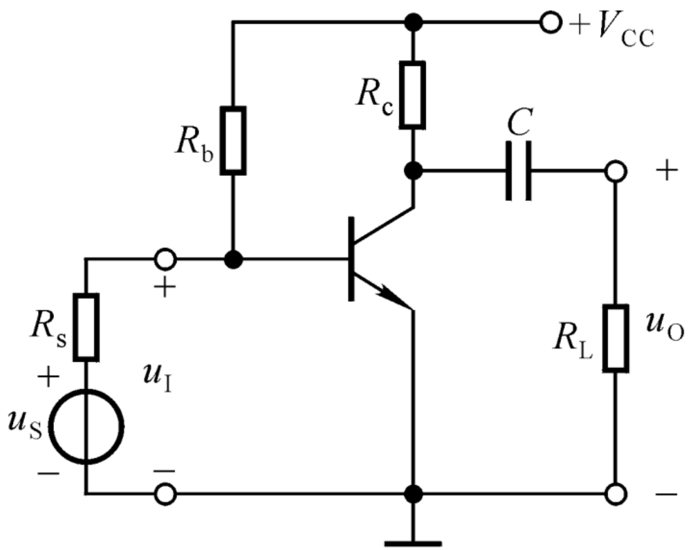
④ C_π的求法。

讨论一

1. 若干个放大电路的放大倍数分别为1、10、10^2、10^3、10^4、10^5，它们的增益分别为多少？
2. 为什么波特图开阔了视野？同样长度的横轴，在单位长度不变的情况下，采用对数坐标后，最高频率是原来的多少倍？



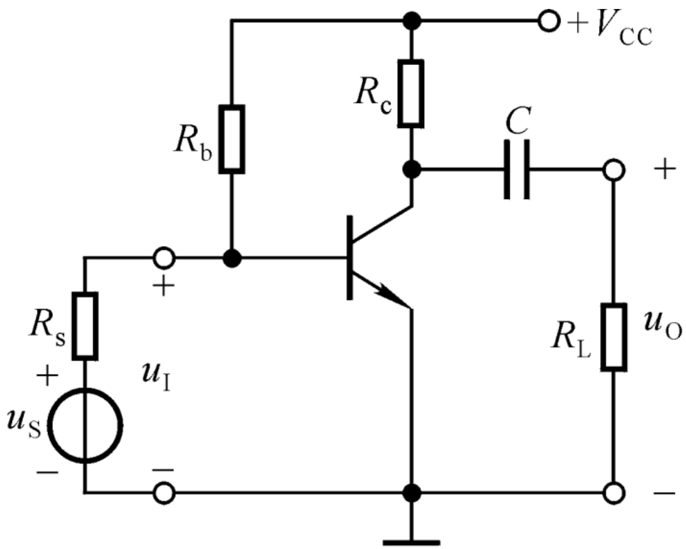
讨论二



电路如图。已知各电阻阻值；静态工作点合适，集电极电流$I_{CQ}=2mA$；晶体管的 $r_{bb'}=200\Omega$，$C_{ob}=5pF$，$f_{\beta}=1MHz$。

试求解该电路中晶体管高频等效模型中的各个参数。

讨论二



$$I_{CQ} \to g_m、r_{b'e}$$

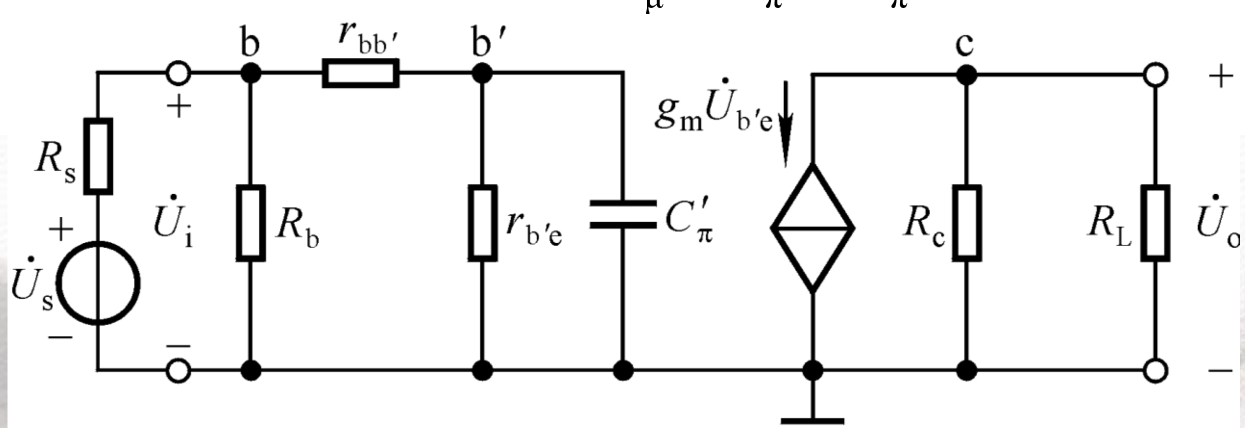
$$C_\mu(\approx C_{ob})、g_m、R_c、R_L \to C'_\mu$$

$$\boxed{C'_\mu \approx (1+g_m R'_L)C_\mu}$$

$$f_\beta、C_\mu(\approx C_{ob})、r_{b'e} \to C_\pi$$

$$\boxed{C_\pi = \frac{1}{2\pi r_{b'e} f_\beta} - C_\mu}$$

$$C'_\mu + C_\pi = C'_\pi$$

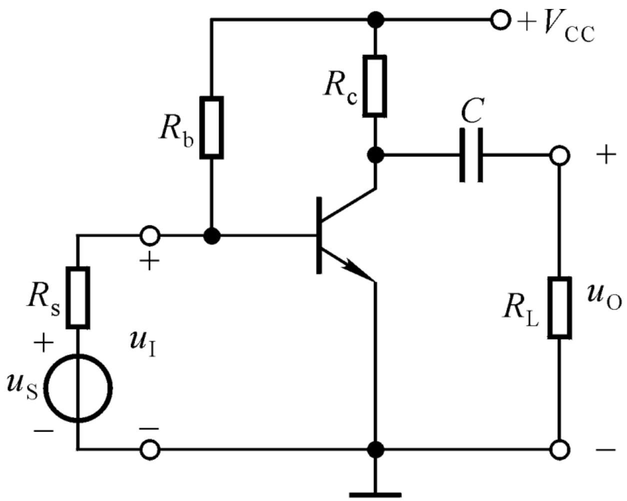


§4.3 放大电路的频率响应

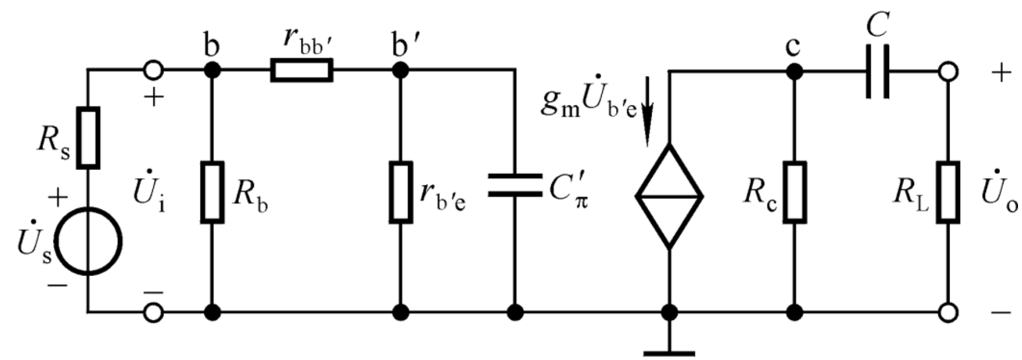
一、单管共射放大电路的频率响应

二、多级放大电路的频率响应

一、单管共射放大电路的频率响应



适用于信号频率从0～∞的交流等效电路

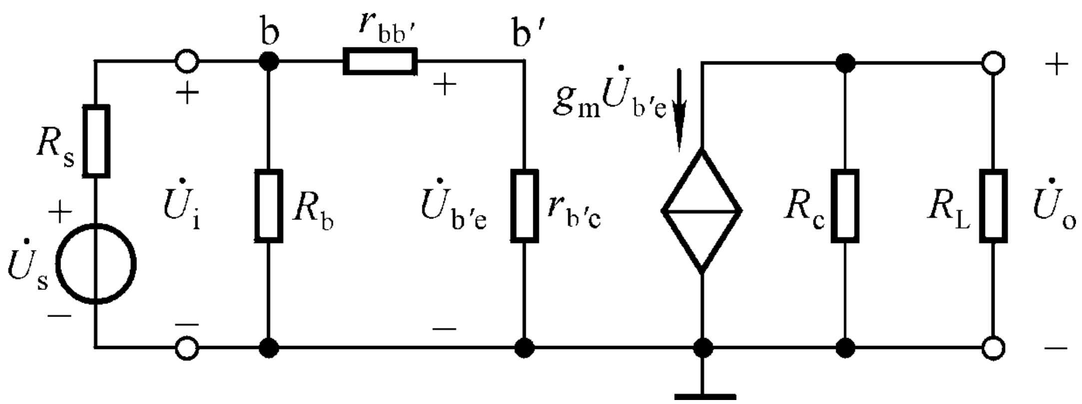


中频段：C 短路，$C_\pi^{'}$ 开路。

低频段：考虑C 的影响，$C_\pi^{'}$ 开路。

高频段：考虑 $C_\pi^{'}$ 的影响，C 短路。

1. 中频电压放大倍数



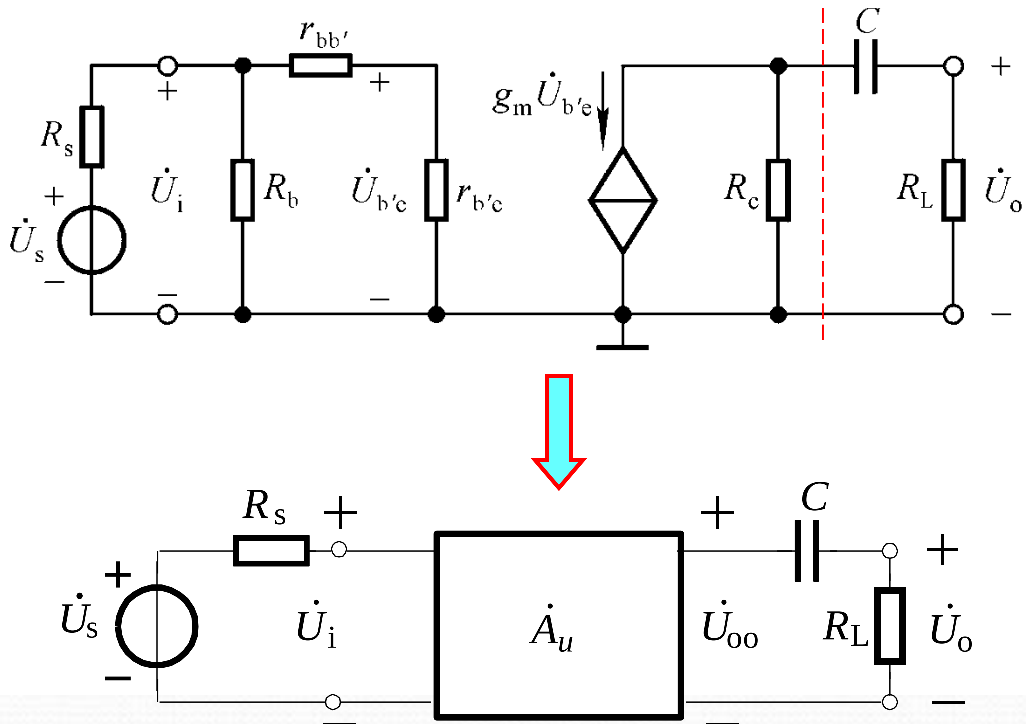
$$\dot{A}_{usm}=\frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s}$$

$$=\frac{\dot{U}_i}{\dot{U}_s}\cdot\frac{\dot{U}_{b'e}}{\dot{U}_i}\cdot\frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_{b'e}}$$

带负载时： $\dot{A}_{usm}=\dfrac{R_i}{R_s+R_i}\cdot\dfrac{r_{b'e}}{r_{be}}\cdot[-g_m(R_c\ //\ R_L)]$

空载时： $\dot{A}_{usmo}=\dfrac{R_i}{R_s+R_i}\cdot\dfrac{r_{b'e}}{r_{be}}\cdot(-g_m R_c)$

2. 低频电压放大倍数:定性分析

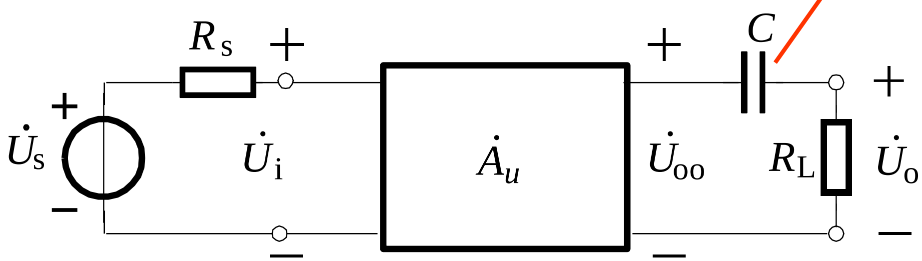


$$\dot{A}_{usmo} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot \frac{r_{b'e}}{r_{be}} \cdot (-g_m R_c)$$

$\dot{U}_o$超前$\dot{U}_{oo}$，当 $f \to 0$ 时，$|\dot{U}_o| \to 0$，$\dot{U}_o$超前$\dot{U}_{oo}$ 90°。

Tsinghua University

2. 低频电压放大倍数：定量分析



C所在回路的时间常数？

$$A_{usmo}=\frac{R_i}{R_s+R_i}\cdot\frac{r_{b'e}}{r_{be}}\cdot(-g_m R_c)$$

$$\dot{A}_{usl}=\frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s}=\frac{\dot{U}_{oo}}{\dot{U}_s}\cdot\frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_{oo}}=\dot{A}_{usmo}\cdot\frac{R_L}{R_c+\frac{1}{j\omega C}+R_L}$$

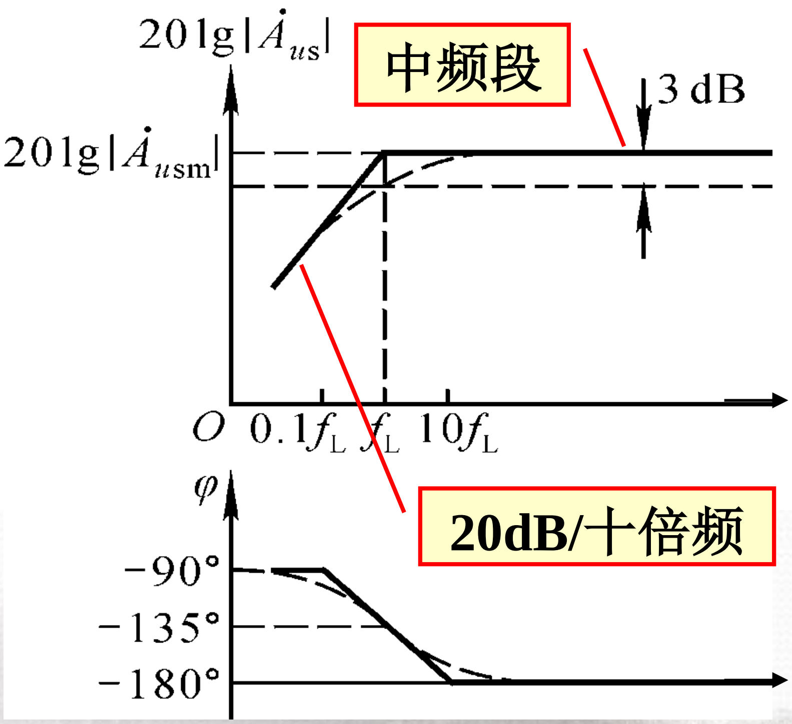
$$\dot{A}_{usl}=\dot{A}_{usmo}\cdot\frac{R_L}{R_c+\frac{1}{j\omega C}+R_L}\cdot\frac{R_c+R_L}{R_c+R_L}=\frac{\dot{A}_{usm}}{1+\frac{1}{j\omega(R_c+R_L)C}}$$

$$\dot{A}_{usl}=\frac{\dot{A}_{usm}}{1+f_L/(jf)}=\frac{\dot{A}_{usm}(j\,f/f_L)}{1+j\,f/f_L}\qquad f_L=\frac{1}{2\pi(R_c+R_L)C}$$

2. 低频电压放大倍数：低频段频率响应分析

$$\dot{A}_{usl}=\frac{\dot{A}_{usm}(\mathrm{j}f/f_{\mathrm{L}})}{1+\mathrm{j}f/f_{\mathrm{L}}}\qquad f_{\mathrm{L}}=\frac{1}{2\pi(R_{\mathrm{c}}+R_{\mathrm{L}})C}$$

$$\begin{cases}20\lg\left|\dot{A}_{usl}\right|=20\lg\left|\dot{A}_{usm}\right|-20\lg\dfrac{1}{\sqrt{1+(\frac{f_{\mathrm{L}}}{f})^2}}\\ \varphi=-180^\circ+(90^\circ-\arctan\dfrac{f}{f_{\mathrm{L}}})\end{cases}$$



$f \gg f_{\mathrm{L}}$时，$20\lg\left|\dot{A}_{us}\right|\approx 20\lg \dot{A}_{usm}$

$f = f_{\mathrm{L}}$时，$20\lg\left|\dot{A}_{us}\right|$下降3dB，$\varphi=-135^\circ$

$f \ll f_{\mathrm{L}}$时，$20\lg\left|\dot{A}_{us}\right|\approx 20\lg(\dot{A}_{usm}\dfrac{f_{\mathrm{L}}}{f})$

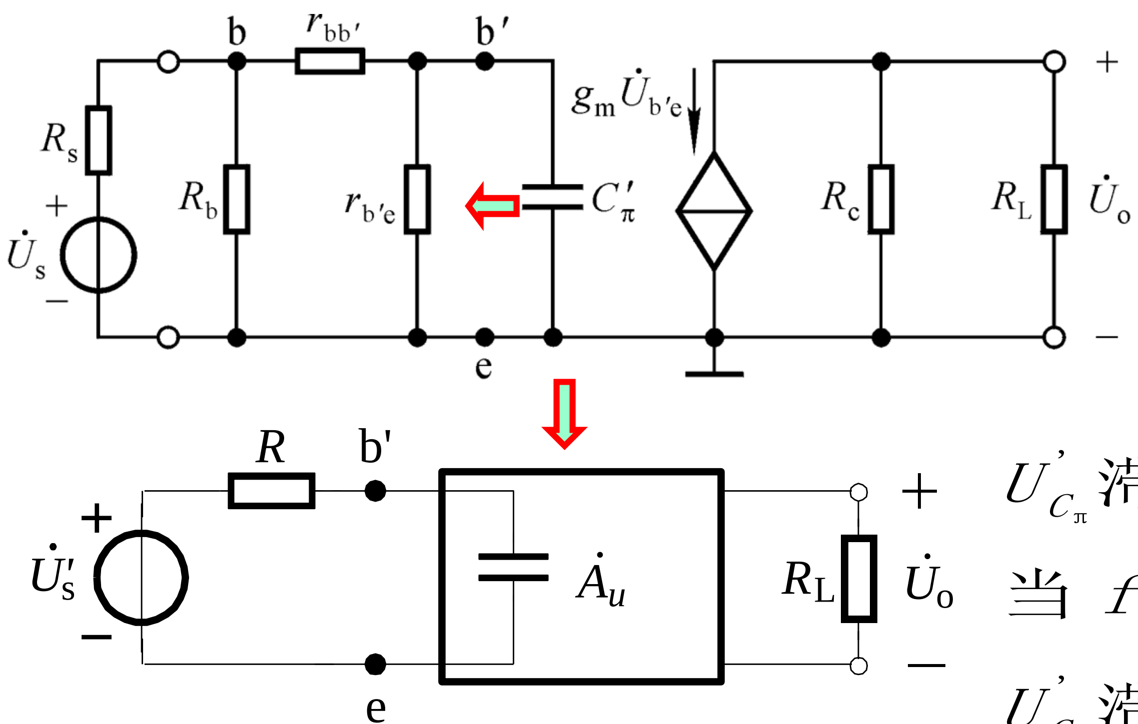
$f\to 0$时，$\left|\dot{A}_{us}\right|\to 0$，$\varphi\to -90^\circ$。

- 截止频率与电容所在回路时间常数的关系

$$f_{\mathrm{L}}=\frac{1}{2\pi(R_{\mathrm{c}}+R_{\mathrm{L}})C}=\frac{1}{2\pi\tau}$$

  - τ是决定电路截止频率的电容所在回路的时间常数。
  - 求解截止频率，关键是找出决定截止频率的电容，然后找出该电容所在回路的等效电阻，并求出时间常数。

3. 高频电压放大倍数：定性分析



U'_{C_π} 滞后 U'_s，

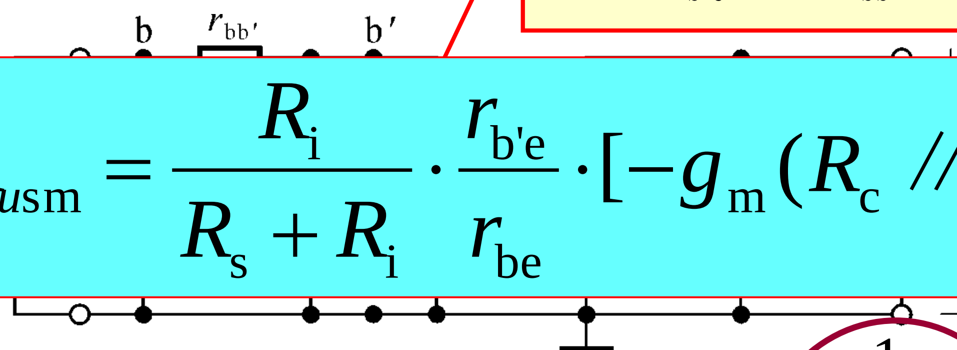
当 $f \to \infty$ 时，$\left|U'_{C_\pi}\right| \to 0$，

U'_{C_π} 滞后 U'_s 90°。

$$\frac{\dot{U}''_s}{\dot{U}_s} = \frac{\dot{U}_i}{\dot{U}_s} \cdot \frac{\dot{U}_{b'e}}{\dot{U}_i} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot \frac{r_{b'e}}{r_{be}}, \quad R = r_{b'e} \,//\, (r_{bb'} + R_b \,//\, R_s)$$

3. 高频电压放大倍数：定量分析

$$R = r_{b'e} \ // \ (r_{bb'} + R_b \ // \ R_s)$$



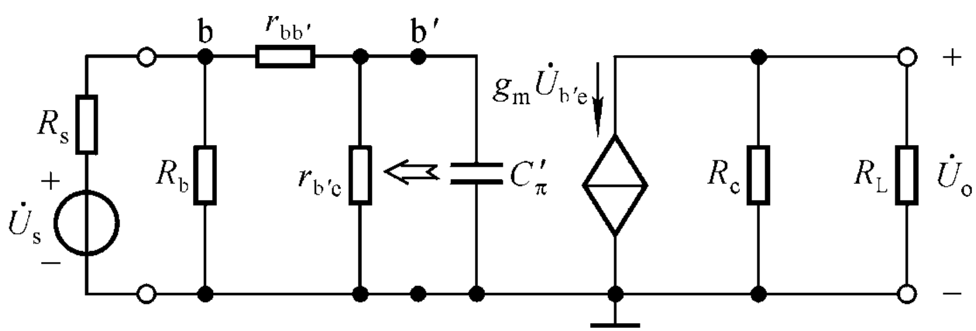
$$\dot{A}_{usm} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot \frac{r_{b'e}}{r_{be}} \cdot [-g_m (R_c \ // \ R_L)]$$

接得出

$$\dot{A}_{ush} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = \frac{\dot{U}_s'}{\dot{U}_s} \cdot \frac{\dot{U}_{C_\pi'}}{\dot{U}_s'} \cdot \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_{C_\pi'}} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot \frac{r_{b'e}}{r_{be}} \cdot \frac{\frac{1}{j\omega C_\pi'}}{R + \frac{1}{j\omega C_\pi'}} \cdot (-g_m R_L')$$

$$\dot{A}_{ush} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = \frac{\dot{A}_{usm}}{1 + j\frac{f}{f_H}} \qquad f_H = \frac{1}{2\pi R C_\pi'} = \frac{1}{2\pi [r_{b'e} \ // \ (r_{bb'} + R_b \ // \ R_s)] C_\pi'}$$

3. 高频电压放大倍数：高频段频率响应分析



$$\dot{A}_{ush}=\frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s}=\frac{\dot{A}_{usm}}{1+j\dfrac{f}{f_H}}$$

$$f_H=\frac{1}{2\pi[r_{b'e}\ //\ (r_{bb'}+R_b\ //\ R_s)]C'_\pi}$$

$$\begin{cases}20\lg\left|\dot{A}_{ush}\right|=20\lg\left|\dot{A}_{um}\right|-20\lg\sqrt{1+(\dfrac{f}{f_H})^2}\\ \varphi=-180^\circ-\arctan\dfrac{f}{f_H}\end{cases}$$

$f \ll f_H$时，

$20\lg\left|\dot{A}_{ush}\right|\approx 20\lg\left|\dot{A}_{usm}\right|$；

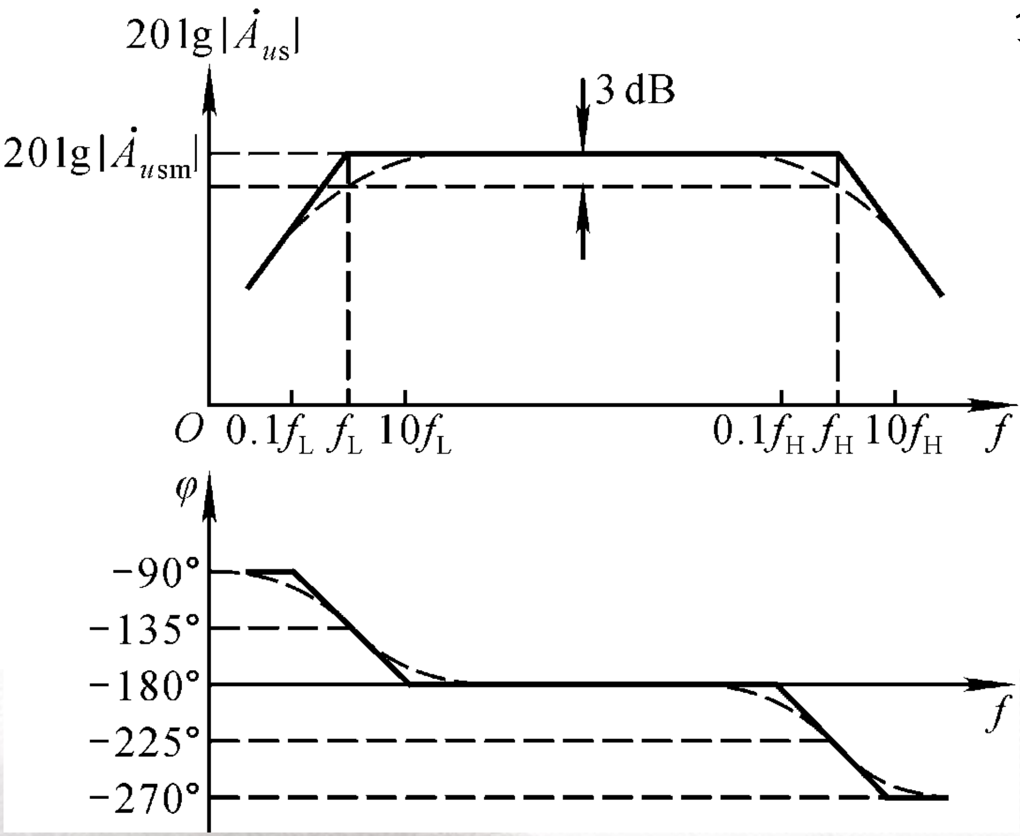
$f = f_H$时，

$20\lg\left|\dot{A}_{ush}\right|$下降3dB，$\varphi=-225^\circ$

$f \gg f_H$时，f 每增大10倍，$20\lg\left|\dot{A}_{ush}\right|$下降20dB；

$f\to\infty$时，$\left|\dot{A}_{ush}\right|\to 0$，$\varphi\to -270^\circ$。

4. 电压放大倍数的波特图



全频段放大倍数表达式：

$$\dot{A}_{us}=\frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s}$$

$$=\frac{\dot{A}_{usm}(\mathrm{j}\frac{f}{f_L})}{(1+\mathrm{j}\frac{f}{f_L})(1+\mathrm{j}\frac{f}{f_H})}$$

$$=\frac{\dot{A}_{usm}}{(1+\frac{f_L}{\mathrm{j}f})(1+\mathrm{j}\frac{f}{f_H})}$$

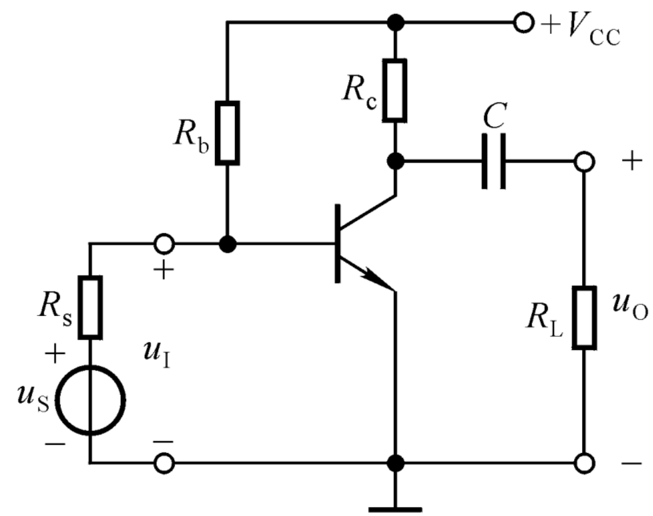
5. 带宽增益积：定性分析

$$\dot{A}_{usm} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot \frac{r_{b'e}}{r_{be}} \cdot [-g_m (R_c // R_L)]$$

$$f_{bw} = f_H - f_L \approx f_H$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi [r_{b'e} // (r_{bb'} + R_b // R_s)] C'_\pi}$$

$$C'_\pi \approx C_\pi + (1 + g_m R'_L) C_\mu$$



带宽增益积 $|\dot{A}_{um} f_{bw}| \approx |\dot{A}_{um} f_H|$

$$\begin{cases} g_m R'_L \uparrow \rightarrow C'_\pi \uparrow \rightarrow f_H \downarrow \\ g_m R'_L \uparrow \rightarrow |\dot{A}_{um}| \uparrow \end{cases}$$

矛盾

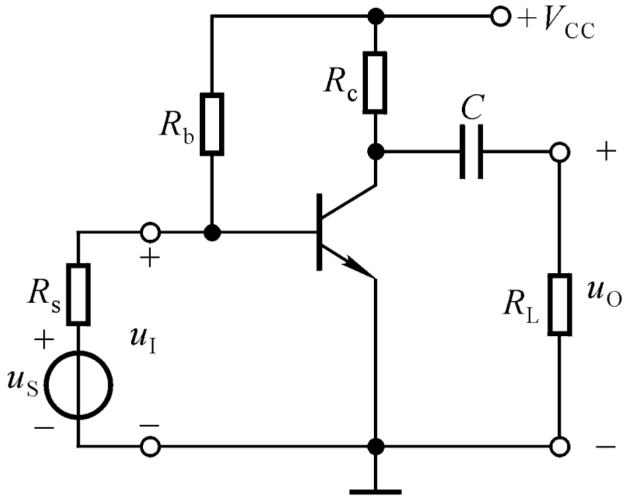
当提高增益时，带宽将变窄；反之，增益降低，带宽将变宽。

5. 带宽增益积：定量分析

根据 $\dot{A}_{usm} = \dfrac{R_i}{R_s + R_i} \cdot \dfrac{r_{b'e}}{r_{be}} \cdot [-g_m(R_c // R_L)]$

$$f_H = \frac{1}{2\pi[r_{b'e} // (r_{bb'} + R_b // R_s)]C_\pi'}$$

$$C_\pi' \approx C_\pi + (1 + g_m R_L')C_\mu$$



若r_{be}<<R_b、 R_s<<R_b、$g_m R_L'$ >> 1、$C_{\pi'} \approx g_m R_L' C_\mu$，则可以证明图示电路的

约为常量

$$\left|\dot{A}_{um} f_H\right| \approx \frac{1}{2\pi(r_{bb'} + R_s)C_\mu}$$

说明决定于管子参数

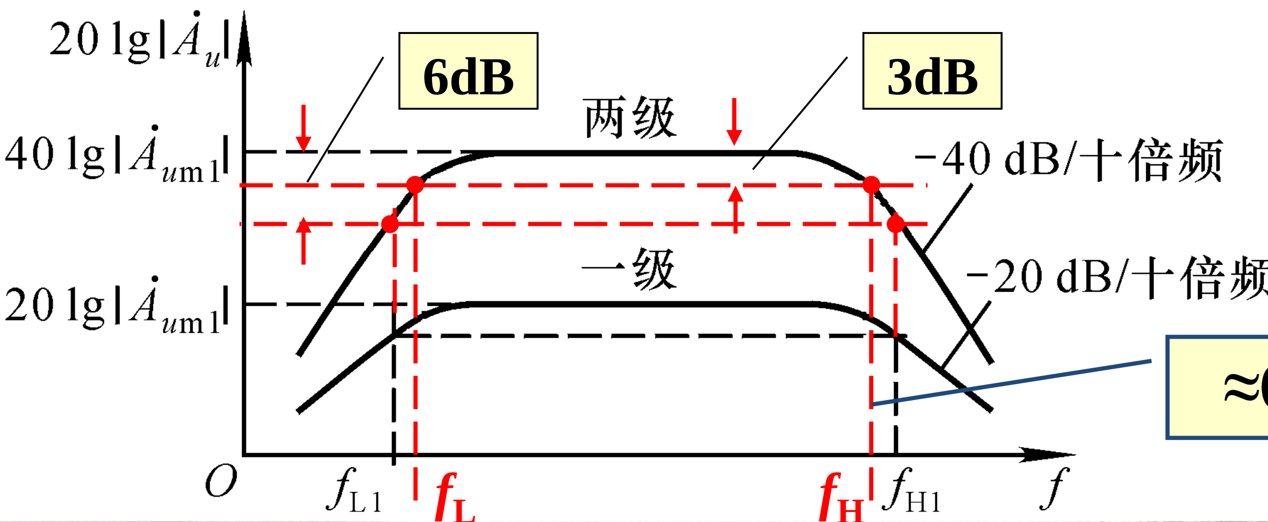
对于大多数放大电路，增益提高，带宽都将变窄。

要想制作宽频带放大电路需用高频管，必要时需采用共基电路。

二、多级放大电路的频率响应

1. 讨论： 一个两级放大电路每一级（已考虑了它们的相互影响）的幅频特性均如图所示。

$$20\lg\left|\dot{A}_u\right| = 20\lg\left|\dot{A}_{u1}\right| + 20\lg\left|\dot{A}_{u2}\right| = 40\lg\left|\dot{A}_{u1}\right|$$



$f_L > f_{L1}$，$f_H < f_{H1}$，频带变窄！

Tsinghua University

2. 多级放大电路的频率响应与各级的关系

对于**n**级放大电路，若各级的下、上限频率分别为$f_{L1}\sim f_{Ln}$、$f_{H1}\sim f_{Hn}$，整个电路的下、上限频率分别为f_L、f_H，则

$$\boxed{\begin{cases} f_L > f_{Lk} \\ f_H < f_{Hk} \qquad (k=1,2,\ldots,n) \\ f_{bw} < f_{bwk} \end{cases}}$$

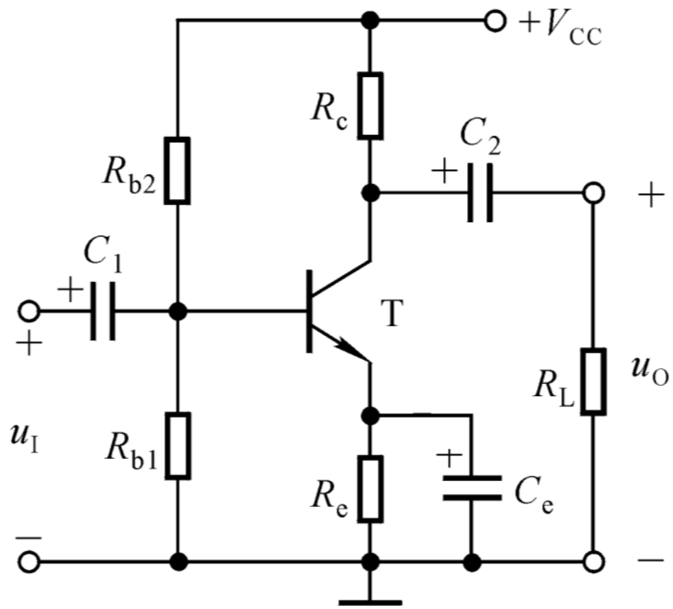
由于 $$\begin{cases} 20\lg\left|\dot{A}_u\right| = \sum_{k=1}^{n} 20\lg\left|\dot{A}_{uk}\right| \\ \varphi = \sum_{k=1}^{n} \varphi_k \end{cases}$$

求解使增益下降3dB的频率，经修正，可得

$$\boxed{f_L \approx 1.1\sqrt{\sum_{k=1}^{n} f_{Lk}^2} \qquad \frac{1}{f_H} \approx 1.1\sqrt{\sum_{k=1}^{n} \frac{1}{f_{Hk}^2}}}$$

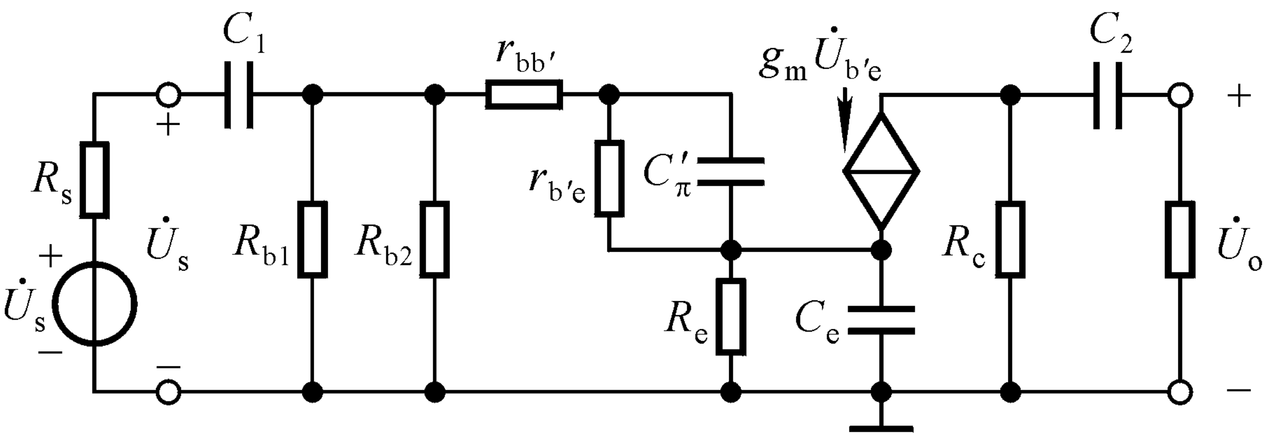
1.1为修正系数

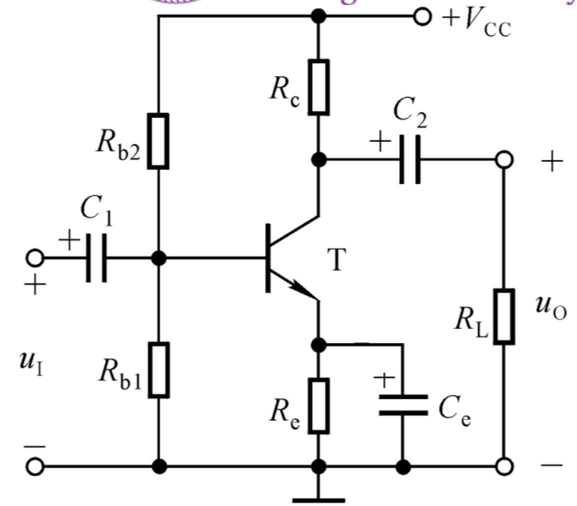
讨论一



1. 信号频率为0～∞时电压放大倍数的表达式？
2. 若所有的电容容量都相同，则下限频率等于多少？

时间常数分析





分别考虑C_1、C_2、C_e、C'_π所确定的截止频率。

C_2、C_e短路，C'_π 开路，求出

$$\tau_1 = (R_s + R_{b1} // R_{b2} // r_{be})C_1$$

C_1、C_e短路，C'_π 开路，求出

$$\tau_2 = (R_c + R_L)C_2$$

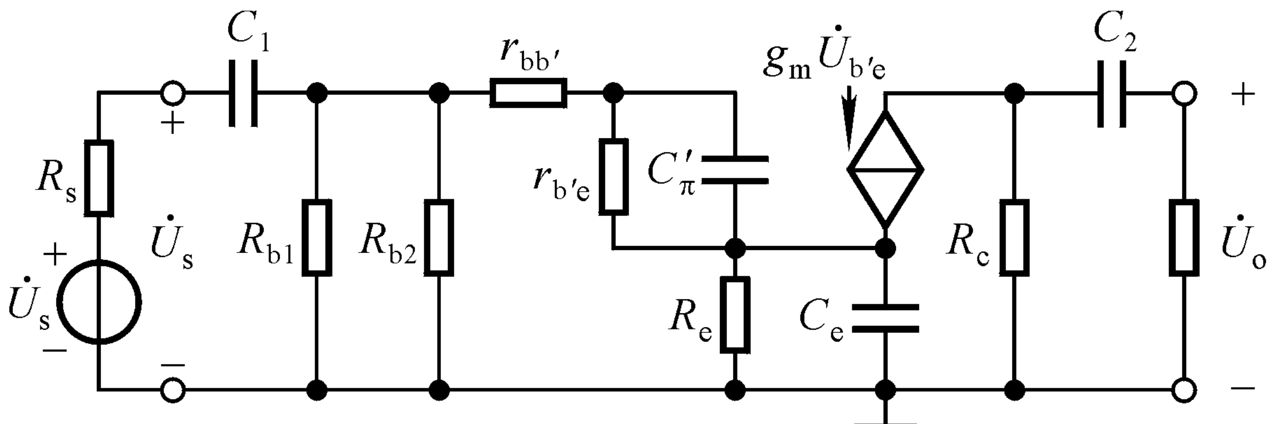
C_1、C_2短路，C'_π开路，求出

$$\tau_e = (R_e // \frac{r_{be} + R_s // R_{b1} // R_{b2}}{1+\beta})C_e$$

C_1、 C_2、 C_e短路，求出

$$\tau_{C'_\pi} = [r_{b'e} // (r_{bb'} + R_s // R_{b1} // R_{b2})]C'_\pi$$

电压放大倍数



$$\tau_1 = (R_s + R_{b1} // R_{b2} // r_{be})C_1$$

$$\tau_2 = (R_c + R_L)C_2$$

$$\tau_e = \left(R_e // \frac{r_{be} + R_s // R_{b1} // R_{b2}}{1+\beta}\right)C_e$$

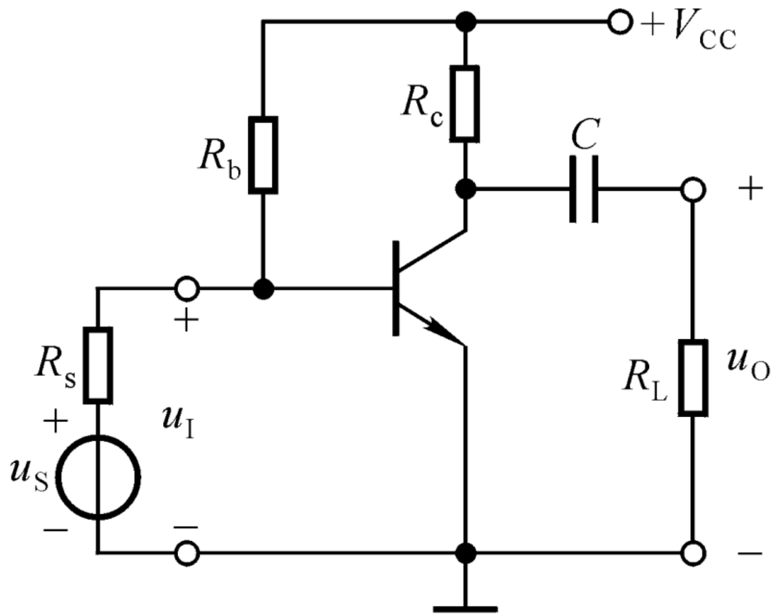
很小！

$$\tau_{C'_\pi} = [r_{b'e} // (r_{bb'} + R_s // R_{b1} // R_{b2})]C'_\pi$$

$$f_{L1} = 1/(2\pi\tau_1)$$
$$f_{L2} = 1/(2\pi\tau_2)$$
$$f_{L3} = 1/(2\pi\tau_e)$$
$$f_H = 1/(2\pi\tau_{C'_\pi})$$

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{um} \cdot \frac{j^3 f^3 / f_{L1} f_{L2} f_{L3}}{(1+jf/f_{L1})(1+jf/f_{L2})(1+jf/f_{L3})(1+jf/f_H)}$$

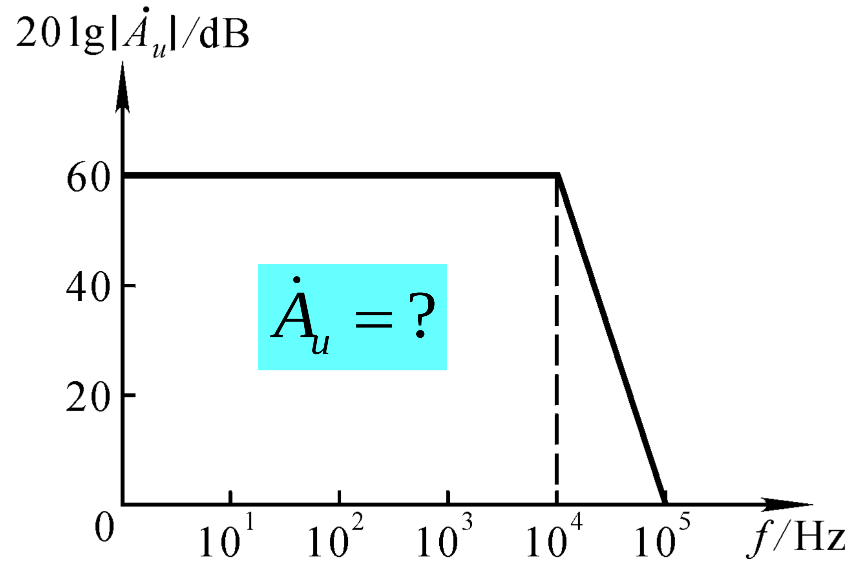
讨论二



已知Vcc=15V，Rs=1kΩ，Rb=20kΩ，Rc=R_L=5kΩ，C=5uF，晶体管的U_{BEQ}=0.7V，rbb'=100Ω，$\dot{\beta}$=100，f_β=0.5MHz，C_{ob}=5pF。试估算电路的截止频率，并画出幅频和相频的波特图。

讨论三

已知某放大电路的幅频特性如图所示，讨论下列问题：



1. 该放大电路为几级放大电路?
2. 耦合方式?
3. 在 $f=10^4\mathrm{Hz}$ 时，增益下降多少？附加相移 $\varphi'=$？
4. 在 $f=10^5\mathrm{Hz}$ 时，附加相移 $\varphi'\approx$?
5. 画出相频特性曲线；
6. $f_H=$？

讨论四

已知两级共射放大电路的电压放大倍数为：

$$\dot{A}_u = \frac{200 \cdot \mathrm{j}f}{\left(1+\mathrm{j}\frac{f}{5}\right)\left(1+\mathrm{j}\frac{f}{10^4}\right)\left(1+\mathrm{j}\frac{f}{2.5\times10^5}\right)}$$

1. A_{um}=？，f_L=？，f_H=？

2. 画出波特图。

$$\dot{A}_u = \frac{10^3 \cdot \mathrm{j}\frac{f}{5}}{(1+\mathrm{j}\frac{f}{5})(1+\mathrm{j}\frac{f}{10^4})(1+\mathrm{j}\frac{f}{2.5\times10^5})}$$

$$\dot{A}_{um} = 10^3$$

$$f_L = 5\mathrm{Hz}$$

$$f_H \approx 10^4\,\mathrm{Hz}$$