

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！







Part 14 放大电路的频率响应

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

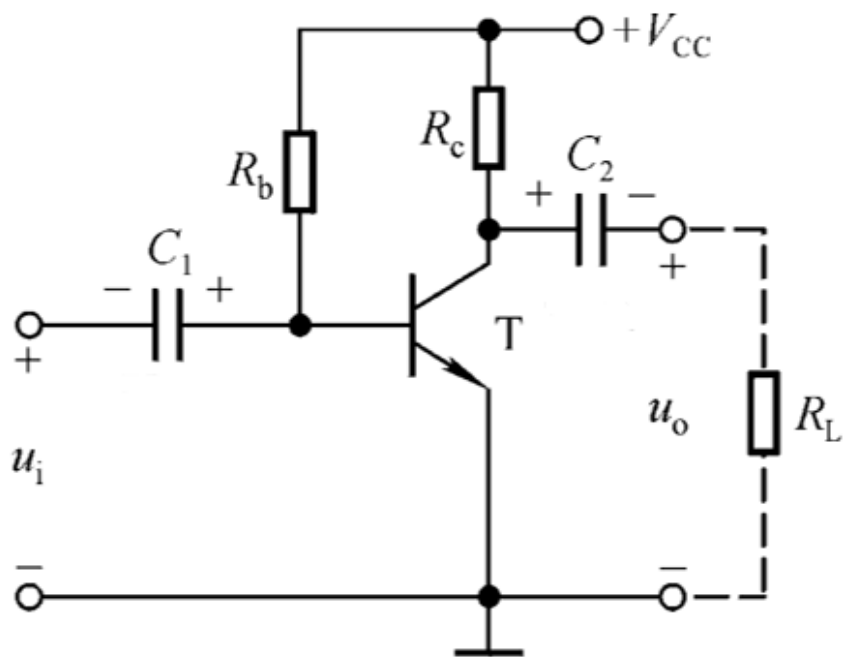
请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

放大电路的频率响应

-  频率响应的基本概念
-  晶体管的高频等效电路模型
-  单管共射放大电路的频率响应
-  多级放大电路的频率响应

频率响应的基本概念

回顾阻容耦合共射放大电路



在阻容耦合共射放大电路中，耦合电容的作用是实现交流信号从信号源到放大电路、从放大电路到负载之间信号的传递，由于电容对于直流信号阻抗为无穷大，而阻容较大的电容对具有频率较高的交流信号阻抗很小，近似短路，因此起到“隔直通交”的作用；思考下面的问题：

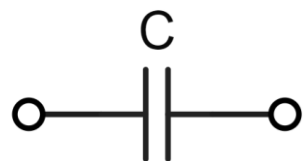
- ①如果信号的频率介于直流量和高频量之间，如何分析电容对放大电路的影响？
- ②回顾晶体管的一个重要参数“特征频率”的概念，为什么频率过高即高频时晶体管放大能力会衰减？

频率响应——研究信号频率的变化对放大电路性能的影响

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

电路理论基础知识复习

○ 电容与电感的阻抗



$$Z = \frac{1}{j\omega C}$$

储能元件，不消耗有功功率，但有对电流的阻碍作用；

电容 —— 对于低频信号阻抗大，对于高频信号阻抗小；

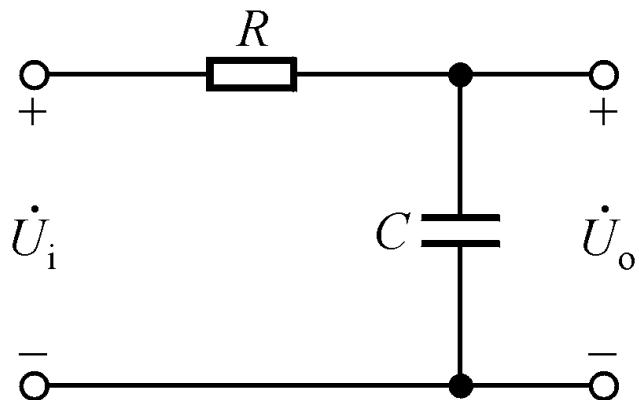


$$Z = j\omega L$$

电感 —— 对于低频信号阻抗小，对于高频信号阻抗大；

频率响应的基本概念

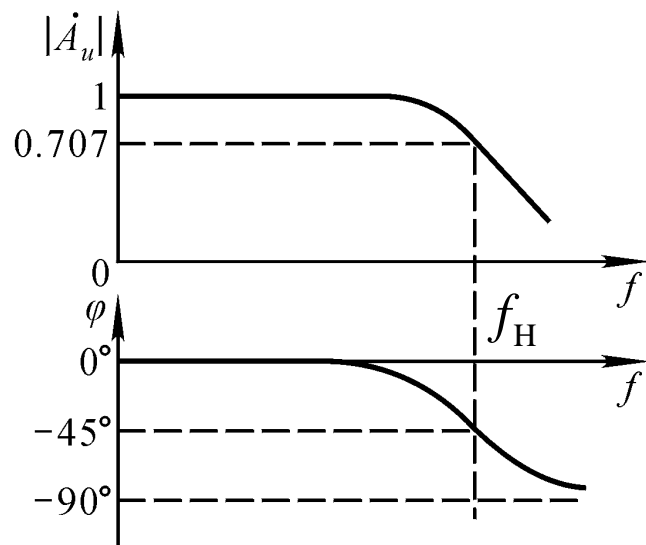
频率响应基本单元电路——低通电路 (Low-Pass)



从频域的角度研究 —— 将信号的频率视为变量：

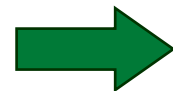
$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{j\omega RC + 1} \quad \text{令 } f_H = \frac{1}{2\pi RC}, \text{ 则 } \dot{A}_u = \frac{1}{1 + jf/f_H}$$

f_H 叫做上限截止频率



把复数写成幅值相角的形式：

$$\dot{A}_u = |\dot{A}_u| e^{j\varphi}$$



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

幅频特性

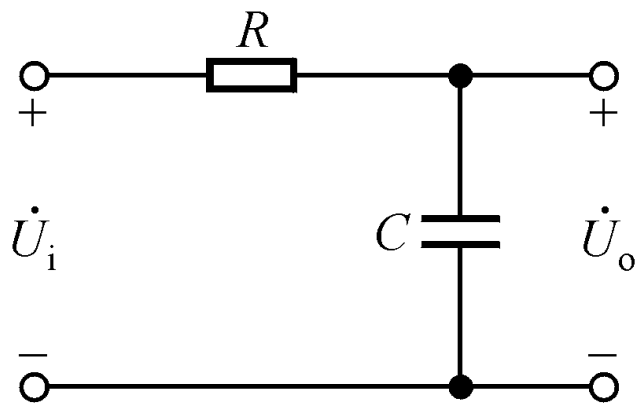
原作者：b站up主——这个xinyu不太冷

相频特性

频率响应的基本概念

频率响应基本单元电路——低通电路 (Low-Pass)

从时域角度研究低通电路：



时域与频域是对应的！

$$i_c(t) = C \frac{du_c(t)}{dt}$$

$$u_o(t) = u_c(t) = \frac{1}{C} \int i_c(t) dt = \frac{1}{C} \int i_R(t) dt = \frac{1}{RC} \int [u_i(t) - u_o(t)] dt$$

$$u_o(t) \approx \frac{1}{RC} \int u_i(t) dt$$

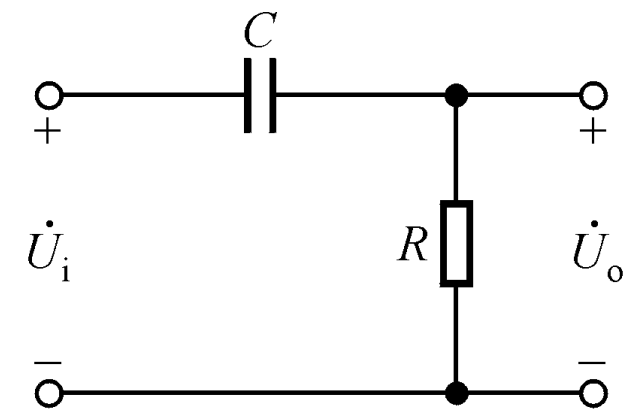
时域中输出电压是对输入电压的积分，称为积分电路；

f_H 上限截止频率，对应着时域中电容阶跃响应充放电的

时间常数： $f_H = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi\tau}$ ， $\tau = RC$

频率响应的基本概念

频率响应基本单元电路——高通电路 (High-Pass)



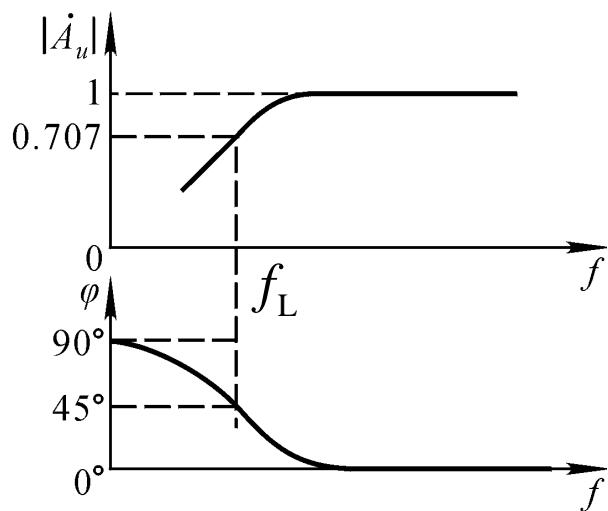
从频域的角度研究 —— 将信号的频率视为变量：

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

令 $f_L = \frac{1}{2\pi RC}$, $\dot{A}_u = \frac{j\frac{f}{f_L}}{j\frac{f}{f_L} + 1} = \frac{1}{\frac{f_L}{jf} + 1}$ f_L 叫做下限截止频率

把复数写成幅值相角的形式：

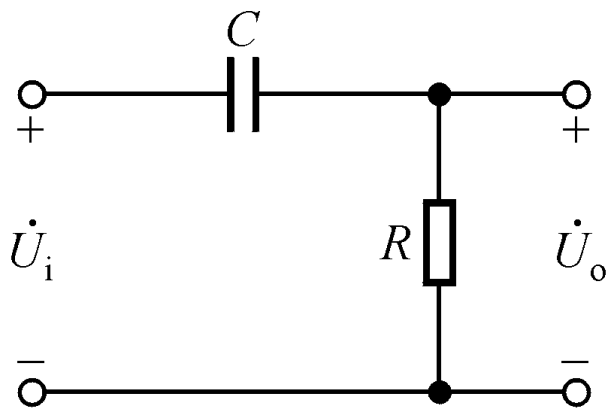
$$\dot{A}_u = |\dot{A}_u| e^{j\varphi} \rightarrow \begin{cases} |\dot{A}_u| = \frac{f/f_L}{\sqrt{1 + (f/f_L)^2}} \\ \varphi = 90^\circ - \arctan(f/f_L) \end{cases}$$



频率响应的基本概念

频率响应基本单元电路——高通电路 (High-Pass)

从时域角度研究高通电路：



时域与频域是对应的！

$$u_o(t) = u_R(t) = Ri_R(t) = Ri_c(t) = RC \frac{du_c(t)}{dt} = RC \frac{d[u_i(t) - u_o(t)]}{dt}$$

$$u_o(t) \approx RC \frac{du_i(t)}{dt}$$

时域中输出电压是对输入电压的微分，称为微分电路；

f_L 下限截止频率，对应着时域中电容阶跃响应充放电的

$$\text{时间常数: } f_L = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi\tau}$$

频率响应的基本概念

○ 如何区别低通和高通？

一个简单的方法，取两个极限，即频率为 0 和 $+\infty$ 处——频率为 0 将电容开路，频率为 $+\infty$ 将电容短路；记频率为 0 和 频率为 $+\infty$ 时的增益分别为 A_0 和 A_∞ ：

若 A_0 为有限值，而 A_∞ 为零，则为低通（即高不通）；

若 A_0 为零，而 A_∞ 为有限值，则为高通（即低不通）；

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

频率响应的基本概念

波特图

横轴采用对数刻度：

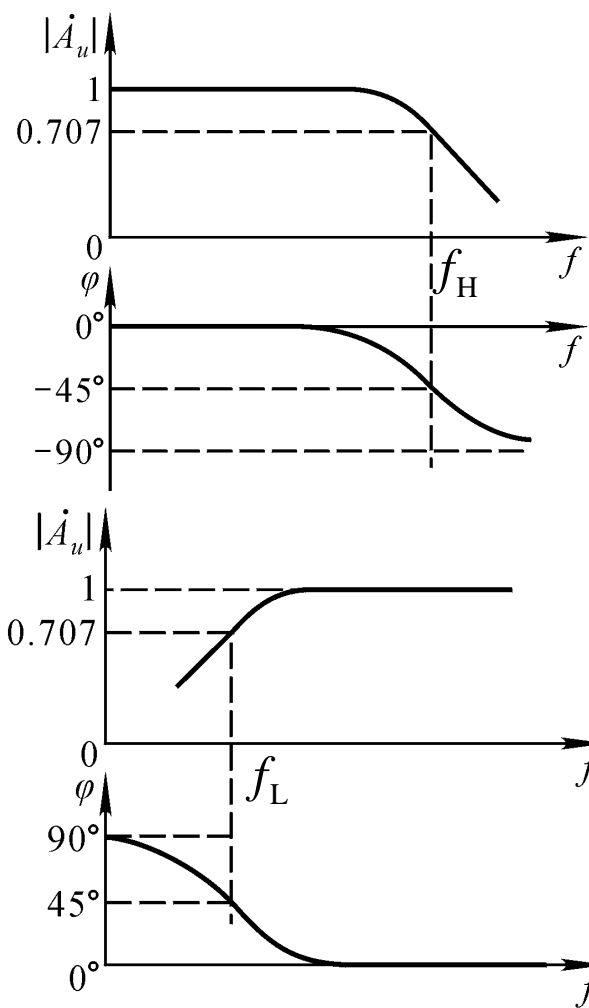
$10^0, 10^1, 10^2$ Hz.....;

幅频特性曲线纵坐标取对数：

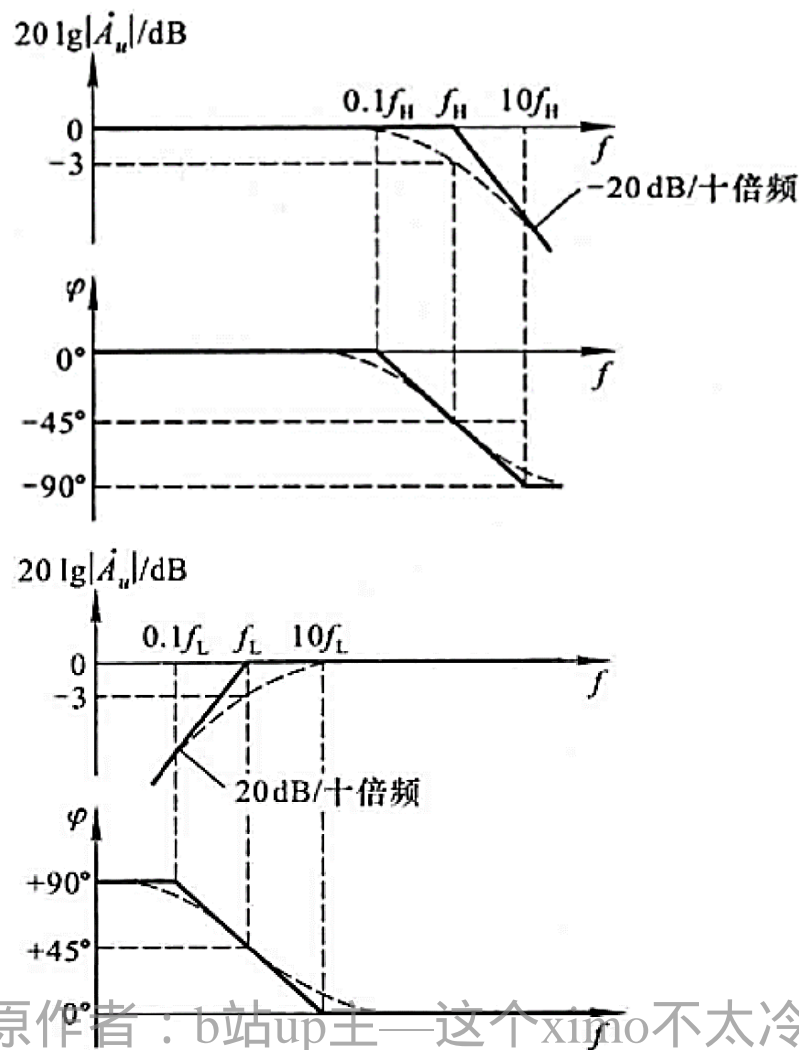
$20\lg|A|$ ，单位为分贝即dB；

相频特性曲线纵坐标不变；

近似的波特图——折线化；



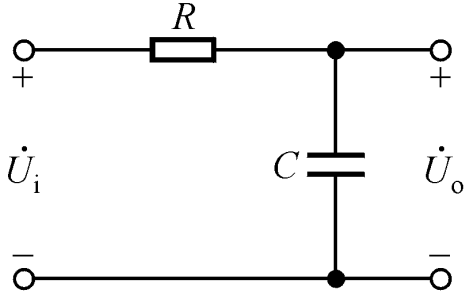
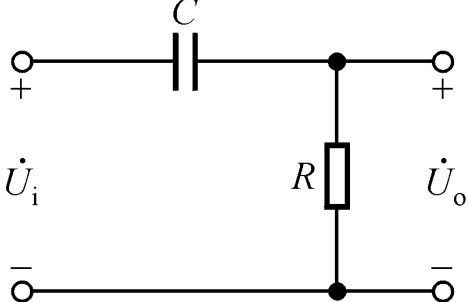
自测：
请练习画出前面的低通电路和高通电路的
近似的波特图（折线化后的）



原作者：b站up主——这个ximo不太冷

频率响应的基本概念

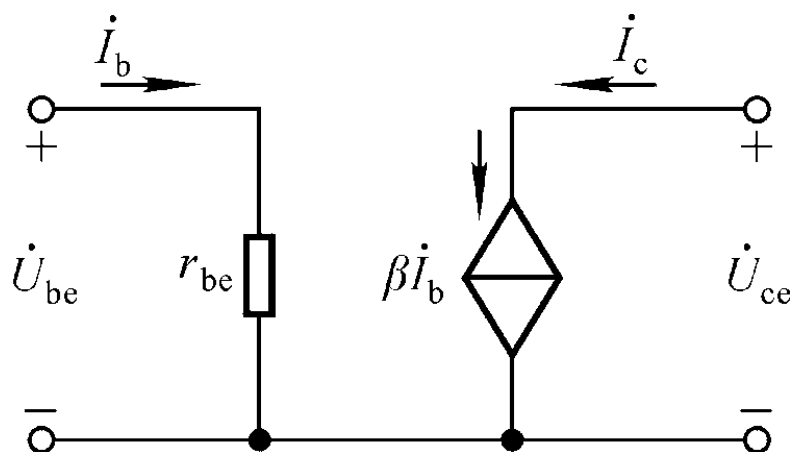
小结

	
低通电路	高通电路
积分电路	微分电路
存在上限截止频率 f_H	存在下限截止频率 f_L
中低频电容开路处理 仅高频时考虑其频响特性	中高频电容短路处理 仅低频时考虑其频响特性
相角滞后 ($0^\circ \sim -90^\circ$, 转折频率处 -45°)	相角超前 ($+90^\circ \sim 0^\circ$, 转折频率处 $+45^\circ$)
-20dB/dec 斜率	+20dB/dec 斜率
$\dot{A}_u = \frac{1}{1 + j\frac{f}{f_H}}$	$\dot{A}_u = \frac{j\frac{f}{f_L}}{j\frac{f}{f_L} + 1} = \frac{1}{\frac{f_L}{f} + 1}$

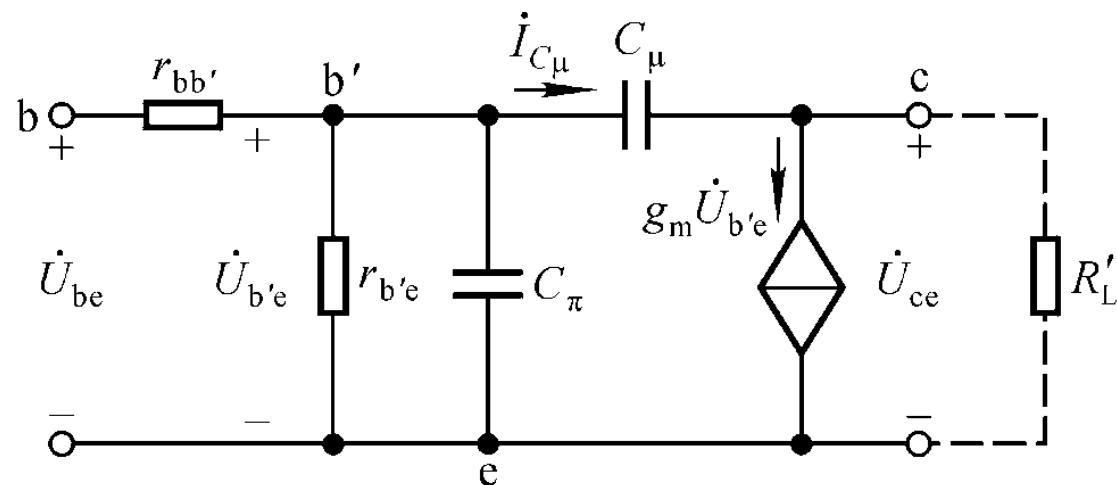
思考：
高频等效电路模型与第二章的中低频等效电路模型
有什么联系？
(中低频时电容开路，两个图相同)

晶体管的高频等效模型

晶体管的混合 π 模型 (高频等效模型)



中低频等效电路模型



高频等效电路模型

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

晶体管的高频等效模型

晶体管的混合 π 模型（高频等效模型）

回顾晶体管的特征频率 f_T 的定义：

高频时电流放大系数会下降，下降到 1 时的频率称为特征频率；

随着信号频率的增高，当 b 和 e 之间的电压近似不变时，

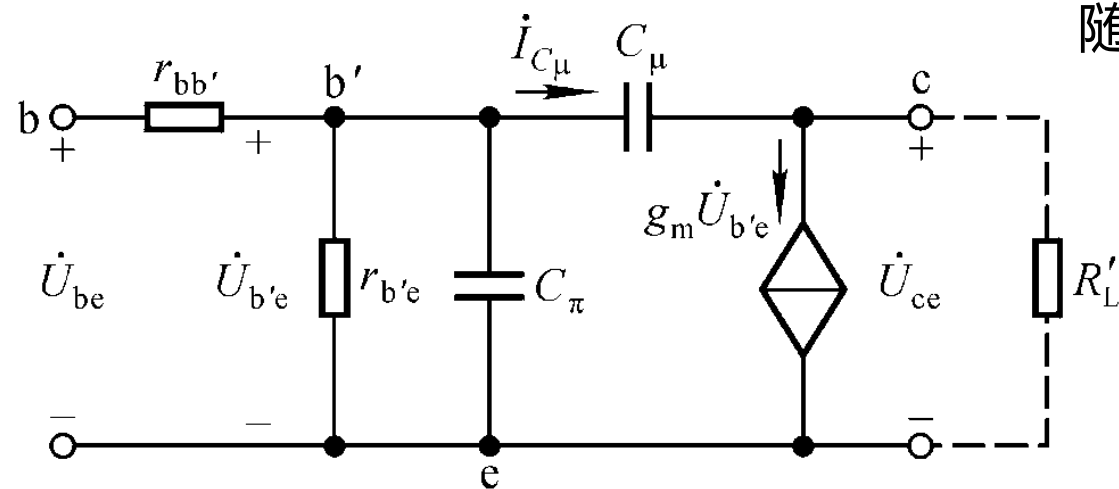
电容的阻抗减小，流过电阻 $r_{b'e}$ 的电流减小，

受控电流源的电流减小，

因此集电极电流会减小；

说明高频信号时晶体管内部的寄生电容会衰减其放大能力；

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

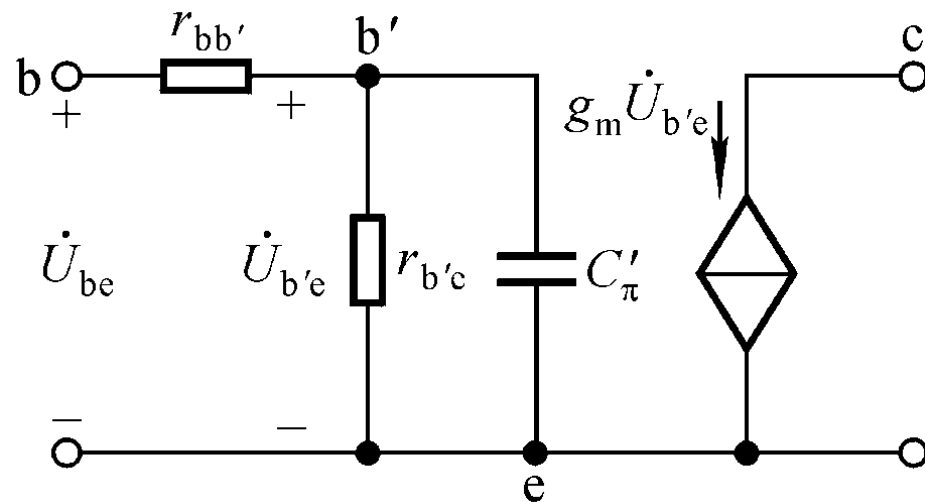
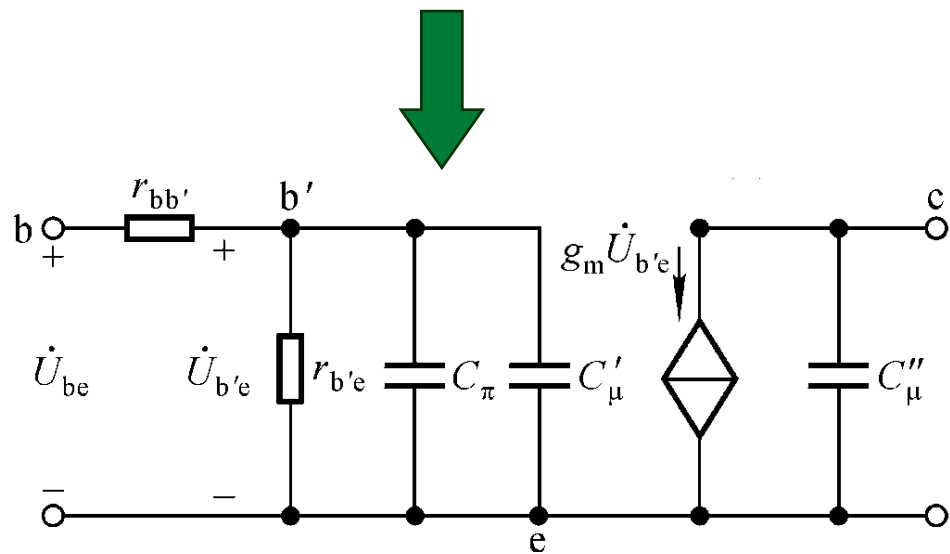
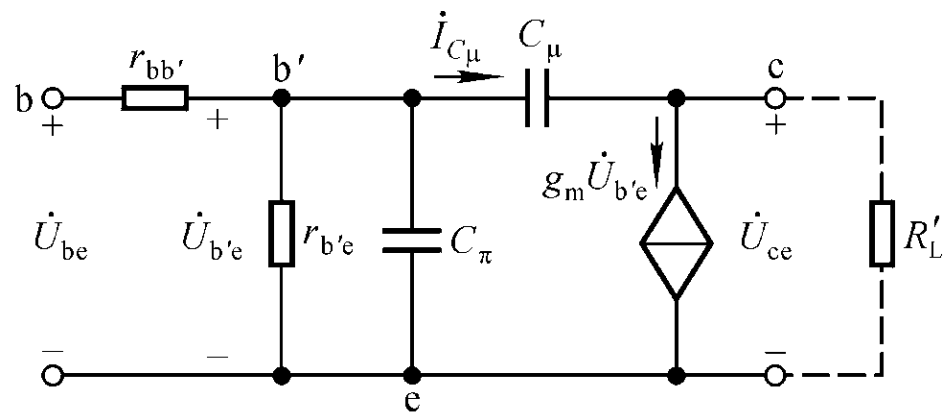


请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

晶体管的高频等效模型

关于此模型中各个元件参数的求解，此处略！

晶体管的混合 π 模型的简化（密勒等效）

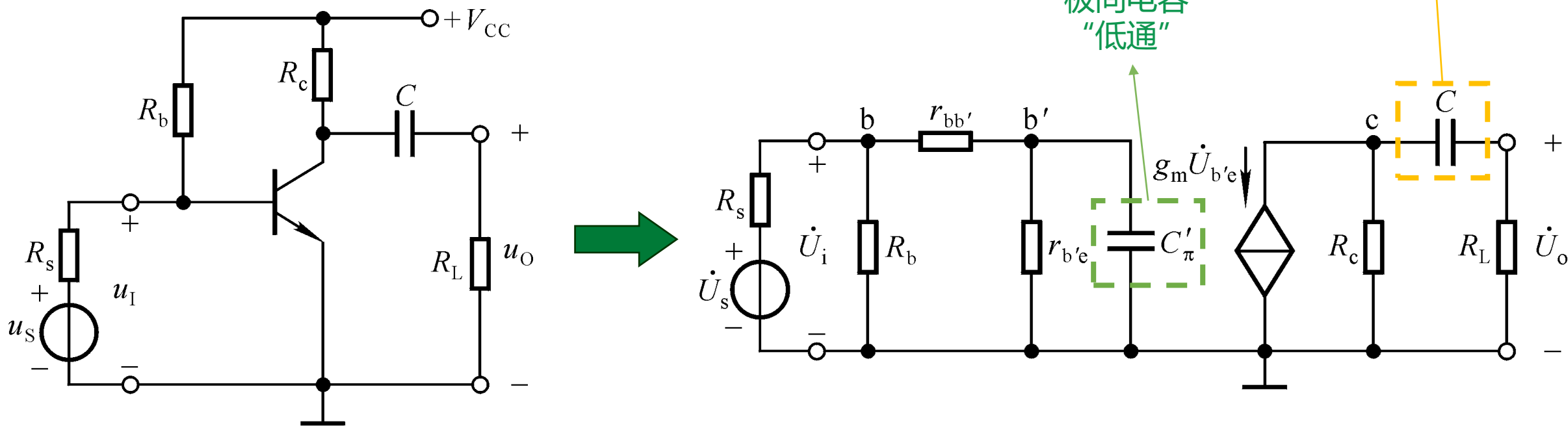


原作者：b站up主—这个ximo不太冷

单管共射放大电路的频率响应

单管共射放大电路的全频段等效电路

以带有输出侧耦合电容的共射放大电路为例进行分析：



实际的电路中有两个电容 —— 极间电容 C_π' （隐性）与 输出耦合电容 C （显性）；

单管共射放大电路的频率响应

○ 单管共射放大电路全频段频率响应的分析思路

对于这样一个同时含有输出侧耦合电容和极间电容的单管共射放大电路，由于耦合电容呈现高通特性，极间电容呈现低通特性，因此单管共射放大电路全频段频率响应的求解可以分解为三个部分：

①中频段，不考虑两个电容的作用，此时耦合电容短路，极间电容开路，求解此共射放大电路的中频电压放大倍数 A_{um} / A_{usm} ；（与第二章的分析方法一致，区别在于受控源的参数为 g_m ，而 g_m 和 β_0 是相通的，可以通过静态工作点求解）

②高频段，此时耦合电容短路，只考虑极间电容（低通电容）的频率响应；对电路有一个基本低通单元的附加效应；

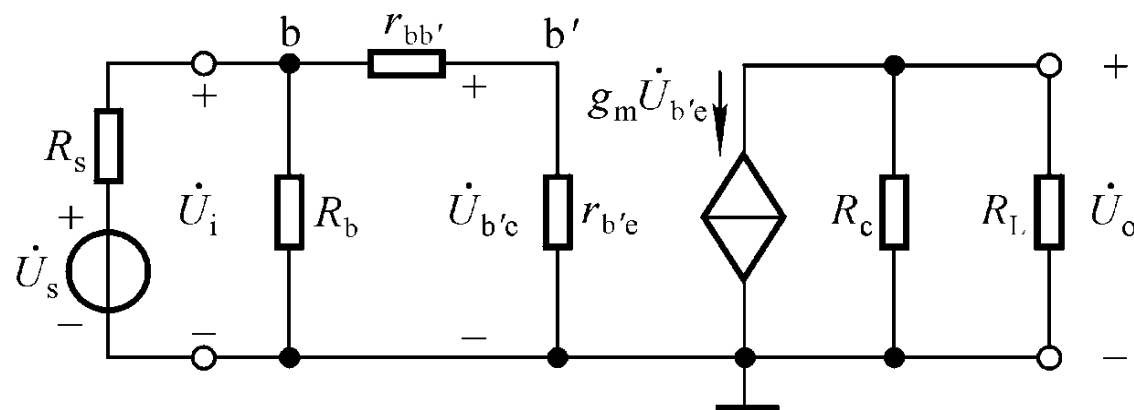
③低频段，此时极间电容开路，只考虑耦合电容（高通电容）的频率响应；对电路有一个基本高通单元的附加效应；

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

单管共射放大电路的频率响应

单管共射放大电路的中频电压放大倍数

将耦合电容短路，极间电容开路：



与第二章基本共射放大电路的分析方法完全一致！

单管共射放大电路的频率响应

单管共射放大电路极间电容的低通效应（高频段）

极间电容并联在 b' 和 e 之间，是一个低通特性的电容，即“高不通”，中低频时开路处理；在高频时需要考虑其频响特性，其频响特性是在高频段为放大电路带来幅值的衰减（-20dB/dec）和相角的滞后，使电路存在上限截止频率 f_H ；

即极间电容对应着低通基本单元的一项：

$$C'_\pi \rightarrow \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_H}}$$

上限截止频率的求解需要计算极间电容所在回路的时间常数，即极间电容与其回路等效电阻的乘积，利用戴维南定理即可求解，此处略；

单管共射放大电路的频率响应

单管共射放大电路耦合电容的高通效应（低频段）

耦合电容串联在放大电路集电极和负载之间，是一个高通特性的电容，即“低不通”，中高频时短路处理，在低频时需要考虑其频响特性，其频响特性是在低频段为放大电路带来幅值的衰减（+20dB/dec，即从右往左看是 -20dB/dec）和相角的超前，使电路存在下限截止频率 f_L ；

即耦合电容对应着高通基本单元的一项：

$$C \rightarrow \frac{j\frac{f}{f_L}}{j\frac{f}{f_L} + 1} \text{ 或 } \frac{1}{\frac{f_L}{jf} + 1}$$

下限截止频率的求解需要计算耦合电容所在回路的时间常数，即耦合电容与其回路等效电阻的乘积，利用戴维南定理即可求解，此处略；

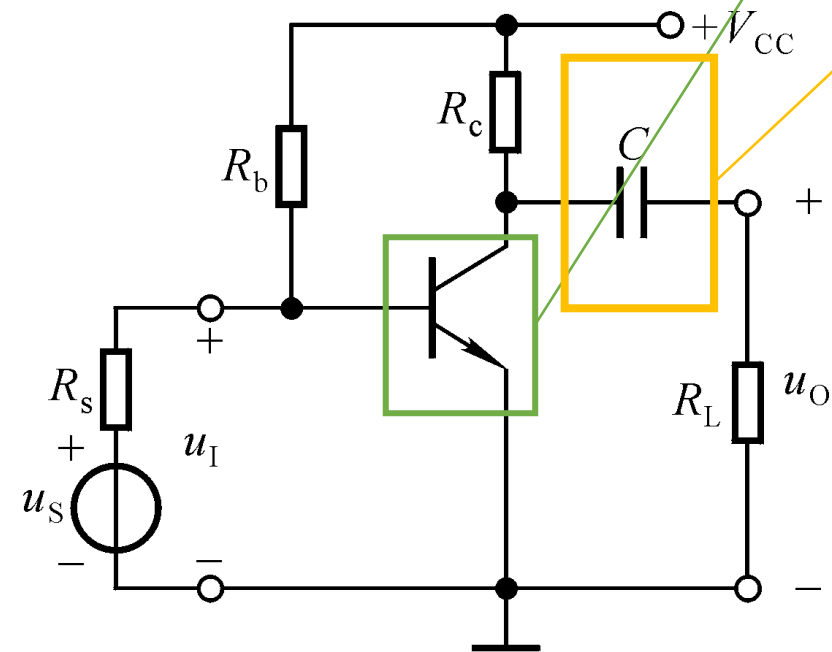
单管共射放大电路的频率响应

小结

$$\dot{A}_{us} = A_{usm} \left(\frac{1}{1 + j \frac{f}{f_H}} \right) \left(\frac{1}{\frac{f_L}{f} + 1} \right) = A_{usm} \left(\frac{1}{1 + j \frac{f}{f_H}} \right) \left(\frac{j \frac{f}{f_L}}{1 + j \frac{f}{f_L}} \right)$$

全频段的电压放大倍数频率响应表达式
由三部分构成：

- ①中频放大倍数——不考虑任何电容，即高通电容短路，低通电容开路时的放大倍数
- ②晶体管极间电容的基本低通单元频响特性，对应表达式中 f_H 项；
- ③输出侧耦合电容的基本高通单元频响特性，对应表达式中 f_L 项；



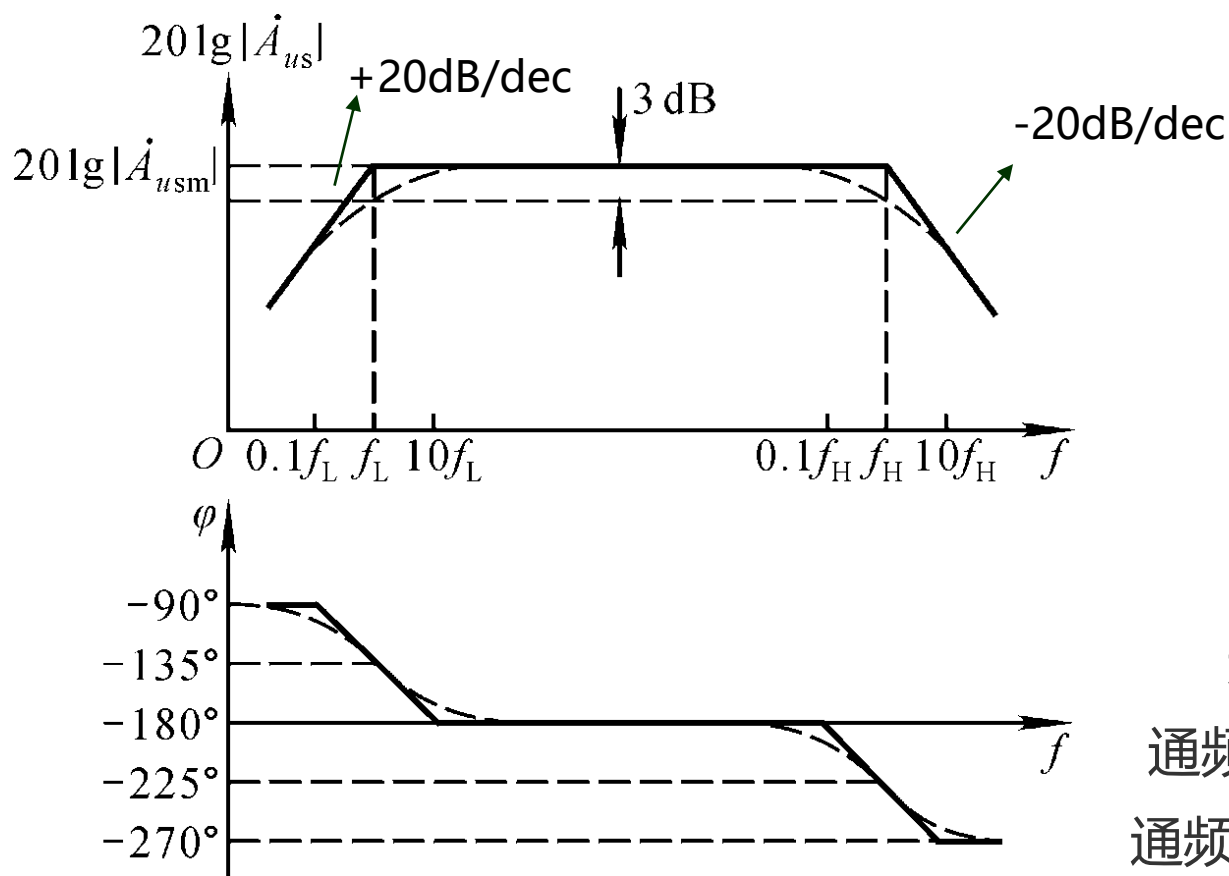
请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

单管共射放大电路的频率响应

思考：

什么叫做对信号频率的“选择性”？
(回顾电路理论中品质因数、谐振等概念)

单管共射放大电路频率响应——Bode图



一个重要的概念：

通频带 f_{bw} ：上限频率与下限频率之差

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

通频带衡量放大电路对不同频率信号的放大能力，
通频带越宽，表征放大电路对不同频率信号适应能力强；
通频带越窄，表征放大电路对某频率范围内信号选择性强；

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

单管共射放大电路的频率响应

单管共射放大电路通频带与增益的关系

回顾极间电容的表达式： $C'_\pi = C_\pi + C'_\mu = C_\pi + (1 + |\dot{K}|)C_\mu$

K 表示的是中频时电压增益；

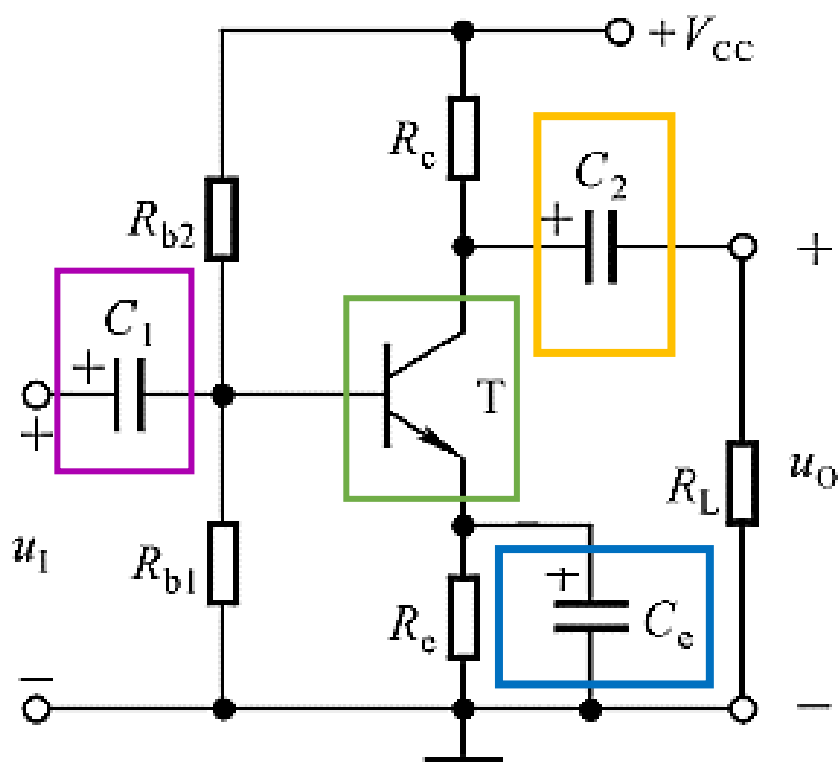
因此，当通过改变电路的参数提高中频段电压增益，极间电容也会增大，极间电容的时间常数增大，其对应的上限截止频率会减小，通频带会变窄；

所以，放大电路的增益与通频带是一个相互矛盾的指标，可以证明，增益与通频带的乘积近似是一个常量，称作增益带宽积，此增益带宽积只取决于晶体管；

(推导的过程参考教材 P201 ~ 202，了解即可，能够掌握增益与带宽的矛盾性与增益带宽积的概念即可)

单管共射放大电路的频率响应

单管共射放大电路频率响应——考虑发射极旁路电容



输入侧耦合电容 C_1 ：高通电容；

输出侧耦合电容 C_2 ：高通电容；

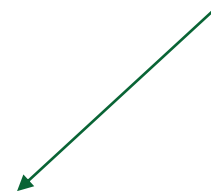
晶体管内部极间电容 C_π' ：低通电容；

发射极旁路电容 C_e ：低通 or 高通？

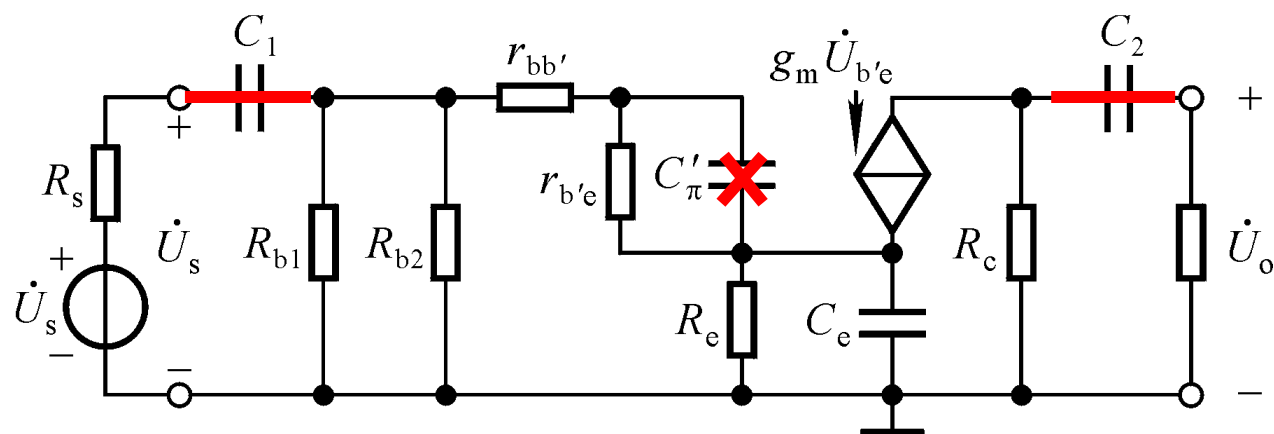
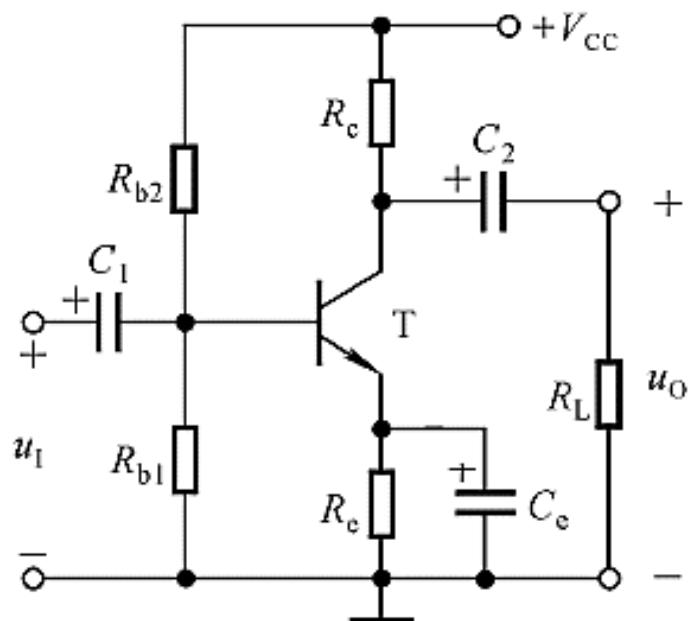
以分压偏置式阻容耦合放大电路为例
(静态工作点稳定电路)

单管共射放大电路的频率响应

这一点很重要！！



发射极旁路电容的频率响应特性



在研究某一电容的频率响应特性时，
其余的电容理想化处理，
即高通电容短路，低通电容开路！

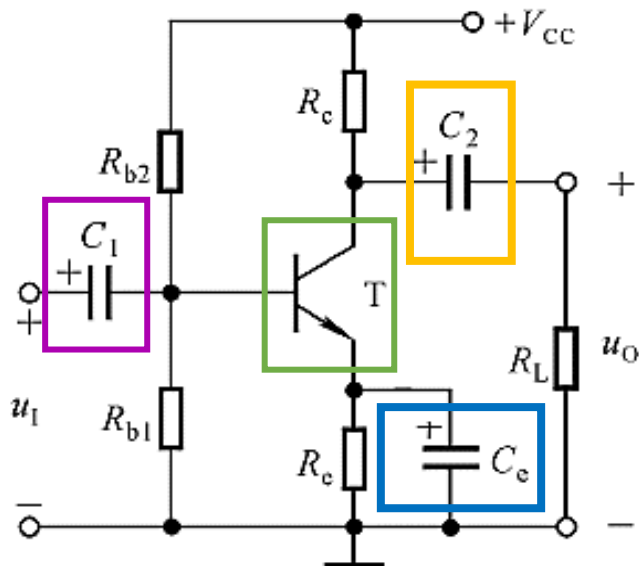
$\omega = 0$ ，直流， C_e 开路，此时电压放大倍数最小（第二章的结论，发射极电阻无旁路电容时电压放大倍数会衰减）；

$\omega = +\infty$ ， C_e 短路，此时电压放大倍数最大（即电阻 r_{be} 上获得的压降最大）

因此， C_e 呈现的是“高通”特性，即低频时会衰减电路的增益；

单管共射放大电路的频率响应

考虑发射极旁路电容的单管共射放大电路频率响应的特点



比较三个高通电容的时间常数以及对应的下限截止频率：

输入侧耦合电容 C_1 的时间常数：
$$\tau_1 = (R_s + R_{b1} // R_{b2} // r_{be})C_1$$

输出侧耦合电容 C_2 的时间常数：
$$\tau_2 = (R_c + R_L)C_2$$

发射极旁路电容 C_e 的时间常数：
$$\tau_e = (R_e // \frac{r_{be} + R_s // R_{b1} // R_{b2}}{1 + \beta})C_e$$

发射极旁路电容 C_e 的回路等效电阻最小（含有除以 β 的项，相当于共集的输出电阻），因此其时间常数最小，**发射极旁路电容对应的下限截止频率远高于耦合电容对应的下限截止频率，因此，当电路既含有耦合电容又含有旁路电容时，下限截止频率主要取决于旁路电容对应的较高的 f_L ；**

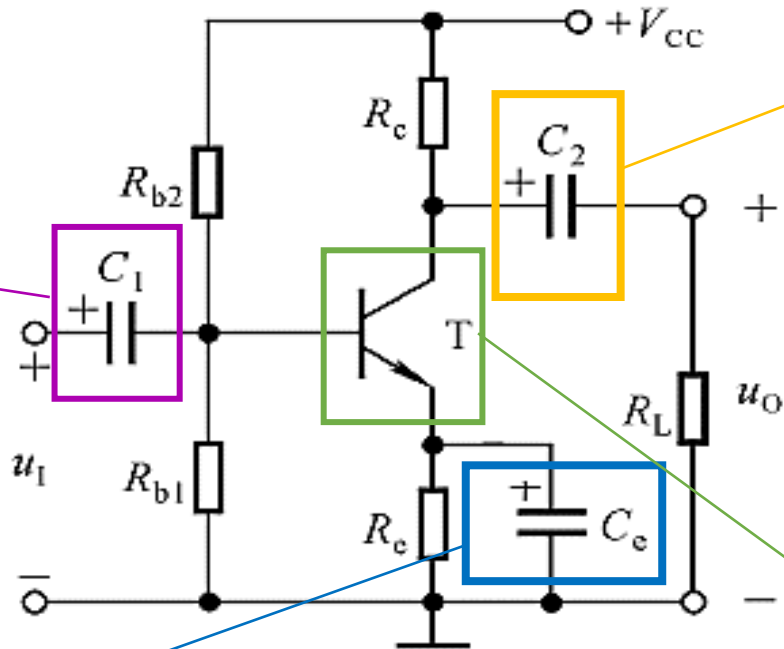
单管共射放大电路的频率响应

小结

$$\dot{A}_{us} = A_{usm} \left(\frac{1}{\frac{jf}{f_H} + 1} \right) \left(\frac{1}{\frac{f_{L1}}{jf} + 1} \right) \left(\frac{1}{\frac{f_{L2}}{jf} + 1} \right) \left(\frac{1}{\frac{f_{Le}}{jf} + 1} \right)$$

输入侧耦合电容
高通电容
(即中高频段看作短路；
仅低频时考虑其频响特性)
对应一个 f_{L1}

发射极旁路电容
高通电容
(即中高频段看作短路；
仅低频时考虑其频响特性)
对应一个 f_{Le} ，
且其对应的下限截止频率远大于
另外两个下限截止频率



输出侧耦合电容
高通电容
(即中高频段看作短路；
仅低频时考虑其频响特性)
对应一个 f_{L2}

晶体管极间电容 (C_{π}')
低通电容
(即中低频段看作开路；
仅高频时考虑其频响特性)
对应一个 f_H

单管共射放大电路的频率响应

○ 小结

对于单管电路即一级来说：

上限频率 f_H 只可能有一个，来源于晶体管极间电容（低通电容）；

下限频率 f_L 可以有不止一个，可能的来源——耦合电容、发射极旁路电容（高通电容）；
当然，下限截止频率 f_L 也可以不存在即为零，即直接耦合放大电路；

每有一个上限截止频率，电路增益频率响应表达式中就会含有基本低通单元的一项： $\left(\frac{1}{1+j\frac{f}{f_H}}\right)$

每有一个下限截止频率，电路增益频率响应表达式中就会含有基本高通单元的一项： $\left(\frac{1}{\frac{f_L}{f}+1}\right)$

思考：

再次理解为什么Bode图要对幅值取对数！
将非线性的乘法→线性的加法

多级放大电路的频率响应

○ 多级放大电路频率响应的特点

每一级的电压放大倍数频率响应写作幅值与相角的形式： $\dot{A}_i = |\dot{A}_i| \angle \varphi_i = |\dot{A}_i| e^{j\varphi_i}$

多级放大电路的电压放大倍数为各级电压放大倍数的乘积：

$$\dot{A} = \dot{A}_1 \dot{A}_2 \cdots \dot{A}_n$$

$$|\dot{A}| = |\dot{A}_1| |\dot{A}_2| \cdots |\dot{A}_n| \Rightarrow 20\lg |\dot{A}| = 20\lg |\dot{A}_1| + 20\lg |\dot{A}_2| \cdots + 20\lg |\dot{A}_n|$$

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 \cdots + \varphi_n$$

因此多级放大电路频率响应的 Bode 图即对数幅频特性曲线与对数相频特性曲线与各级的 Bode 图是**线性叠加**的关系；

多级放大电路的频率响应

多级放大电路频率响应的特点

多级放大电路的电压放大倍数为各级的乘积，而根据上一节单管放大电路一级的特点，多级放大电路频率响应的表达式的形式如下：

$$\dot{A}_{us} = \dot{A}_{usm} \frac{1}{\left(1 + \frac{jf}{f_{H1}}\right)} \frac{1}{\left(1 + \frac{jf}{f_{H2}}\right)} \cdots \frac{1}{\left(1 + \frac{jf}{f_{Hn}}\right)} \frac{1}{\left(1 + \frac{f_{L1}}{jf}\right)} \frac{1}{\left(1 + \frac{f_{L2}}{jf}\right)} \cdots \frac{1}{\left(1 + \frac{f_{Lm}}{jf}\right)}$$

各级晶体管极间电容对应项
n级→n项

各级耦合电容或旁路电容对应项
n级→m项

m可以大于n、等于n、小于n

各级放大电路的中频放大倍数之积

多级放大电路的频率响应

○ 多级放大电路的通频带

多级串联后整体的上下限截止频率与各个上下限截止频率的基本计算关系为：

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

因此，多级放大电路的通频带相较于各个单级放大电路变窄了，其整体的下限截止频率大于其中任何一个下限截止频率，其整体的上限频率小于其中任何一个上限截止频率；

特殊地，如果其中某一个下限截止频率远高于其他所有的下限截止频率，那么整体的下限截止频率就近似为该下限截止频率；如果其中某一个上限截止频率远低于其他所有的上限截止频率，那么整体的上限频率就近似为该上限截止频率；

多级放大电路的频率响应

○ 多级放大电路频率响应的Bode图

根据前面的分析，多级放大电路频率响应表达式与其Bode图对应的特点为：

每一个 $f_H \rightarrow$ 对应一个 $\frac{1}{1 + \frac{jf}{f_H}}$ 项 \rightarrow 对应高频段的一次-20dB/dec的变化

每一个 $f_L \rightarrow$ 对应一个 $\frac{1}{1 + \frac{f_L}{jf}}$ 项 \rightarrow 对应低频段的一次+20dB/dec 的变化

多级放大电路的频率响应

○ 通过Bode图求解多级放大电路频域表达式及电路特性：

- 几级放大电路？——看Bode图高频段最后的斜率：每 -20dB/dec 为一级即一个极间电容；
- 是否为直接耦合放大电路？有几个耦合电容？——看低频段，低频段为平行于横轴的直线，即不存在下限频率，即为直接耦合；每 $+20\text{dB/dec}$ 对应一个耦合电容或旁路电容；
- 电路的下限频率 f_L 和上限频率 f_H ？——要先求解各级的，再求解整体的！

Step1：去找Bode图幅频特性曲线的拐点（斜率发生变化的点）

Step2：从中频段（平坡）开始，向右确定 f_{H1} 、 f_{H2} 、 f_{H3}

（注意一个拐点可能对应不止一个级！注意结合斜率的变化，每 -20dB/dec 的变化对应一个 f_H ）

Step3：从中频段（平坡）开始，向左确定 f_{L1} 、 f_{L2} 、 f_{L3}

（结合斜率的变化，每 $+20\text{dB/dec}$ 的变化对应一个 f_L ）

Step4：根据各级的下限/上限频率求解整体的下限/上限频率（基本公式，近似公式）

多级放大电路的频率响应

○ 通过Bode图求解多级放大电路频域表达式及电路特性：

- 求解电压放大倍数频域表达式——“组合”

Step1：求解中频放大倍数——看中频段平坡，注意dB转化为基本单位，注意**正负号**；

Step2：根据拐点和斜率变化情况求解出各个 f_{Hi} 、 f_{Li} （同上页）；

Step3：通过中频放大倍数和各级单独的 f_{Hi} 、 f_{Li} 来表示；

（易错！！！不要用系统整体的 f_L 和 f_H 去代入表示！！！）

- 求解指定频率处的相移——幅频与相频的对应，“线性叠加”

注意：不必画出完整的相频特性曲线（除非题目要求），只需要看各个 f_{Hi} 、 f_{Li} 对于这个点的附加相移，最后相加即可；

- 已知反馈网络（纯阻性）反馈系数判断稳定性/求解能够使系统稳定的反馈系数
用第五章自激振荡的判据即可！（结合第五章反馈的内容分析）

多级放大电路的频率响应

例 1

已知两级共射放大电路的电压放大倍数为：

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

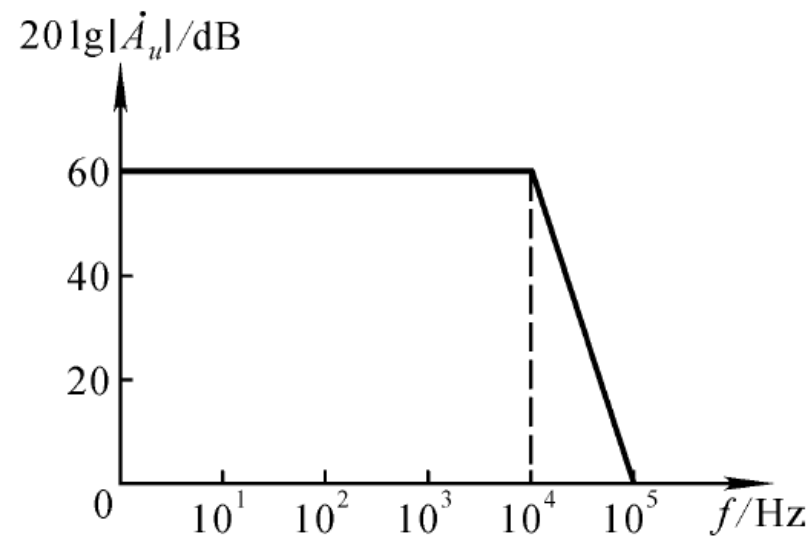
请问：该放大电路的中频电压放大倍数 A_{um} 、下限截止频率 f_L 、上限截止频率 f_H 为多少？并画出此电路的 Bode图。

多级放大电路的频率响应

例 2

已知某电路的Bode图幅频特性如图所示，试问：

- (1)该电路的耦合方式；
- (2)该电路由几级放大电路组成；
- (3)当 $f = 10^4 \text{ Hz}$ 时，附加相移为多少？ 当 $f = 10^5 \text{ Hz}$ 时，附加相移又约为多少？
- (4)试写出该电路电压放大倍数的频率响应表达式，同时近似估算该电路的上限频率 f_H 。



多级放大电路的频率响应

例 3

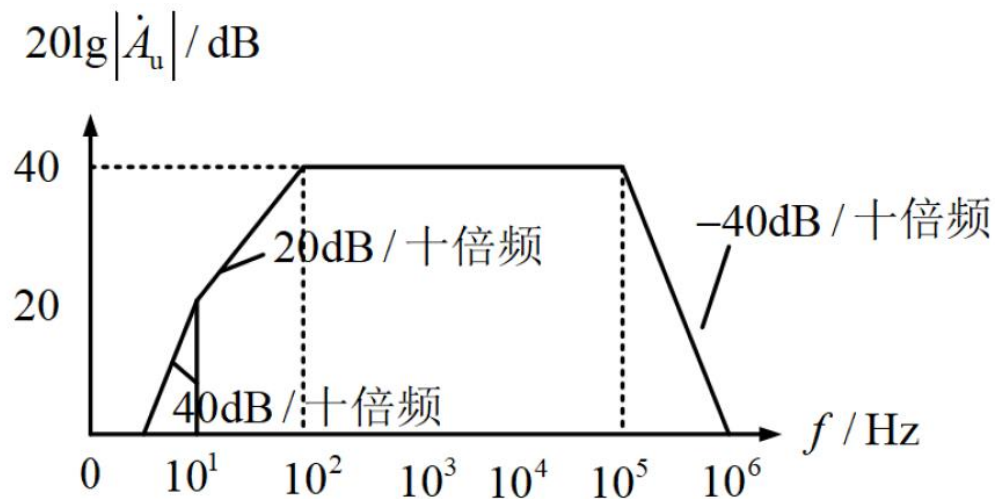
已知某多级放大电路的Bode图幅频特性如图所示，试问：

(1)该放大电路由几级电路组成？是否为直接耦合放大电路？

(2)该多级放大电路的中频电压放大倍数、下限截止频率 f_L 和上限截止频率 f_H 为多少？

(3)写出其电压放大倍数的频率响应表达式；

(4)求解在 10Hz 和 10^5 Hz 处的附加相移；



放大电路的频率响应 —— 小结

- 熟记基本低通单元和基本高通单元的频率响应特性；
- 认识到晶体管寄生电容的存在，理解晶体管放大电路高频段放大能力衰减的原因；
- 单管共射放大电路频率响应
 - 单管共射放大电路频率响应表达式的形式（基本组成部分）；
 - 单管共射放大电路的频率响应的上限频率与下限频率的来源；
- 多级放大电路的频率响应
 - 多级放大电路频率响应的特点；
 - 根据频率响应表达式绘制多级放大电路的Bode图；
 - 根据Bode图求解多级放大电路频率响应表达式及电路特性和参数；

放大电路的频率响应

○ 总结

对于任何一个放大电路包括我们在电路理论中学习的各种由电容、电感、电阻组成的无源网络，从电路的角度，频率响应表示的是不同频率的输入信号对放大电路性能的影响；从信号的角度，频率响应表示的是不同频率的输入信号在通过放大电路后，其输出信号与输入信号的偏差——即幅值的变化与相位的变化，因此放大电路也可以称为滤波器；电路、网络、滤波器这些概念是相通的；从时域的角度来说，一个放大电路对一个输入的信号进行积分、微分、加减、放大或衰减等运算后输出；从频域的角度，一个放大电路即滤波器对不同频率的输入信号呈现低通、高通（其他如全通、带通、带阻等）的滤波特性，在改变其幅值与相位后进行输出；

学习频率响应这一章最重要的并不是会计算；对概念的理解，例如低通/高通、幅频特性相频特性、Bode图、通频带这些名词的定义和物理含义才是学完这一章真正应该掌握的内容；