chap_10m 频率响应
知识点

一、波特图绘制
二、放大器频率响应估算
三、米勒定理
四、器件特征频率f_t

波特图绘制

- 一阶RC低通电路（侧重描述高频响应）

$$H(s)=\frac{1}{1+sRC}=\frac{1}{1+\dfrac{s}{\omega_n}},\omega_n=\frac{1}{RC}$$

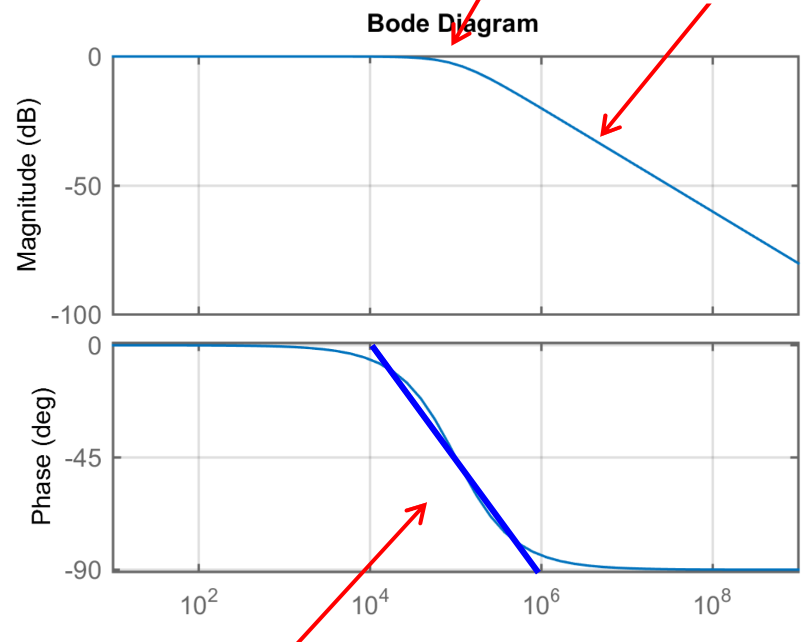
$$H(j\omega)=\frac{1}{1+\dfrac{j\omega}{\omega_n}}$$

- 幅度　$20\log\left|H(j\omega)\right|$

- 相位　$\angle H(j\omega)$

ω_n

$-20\text{dB}/10$倍频



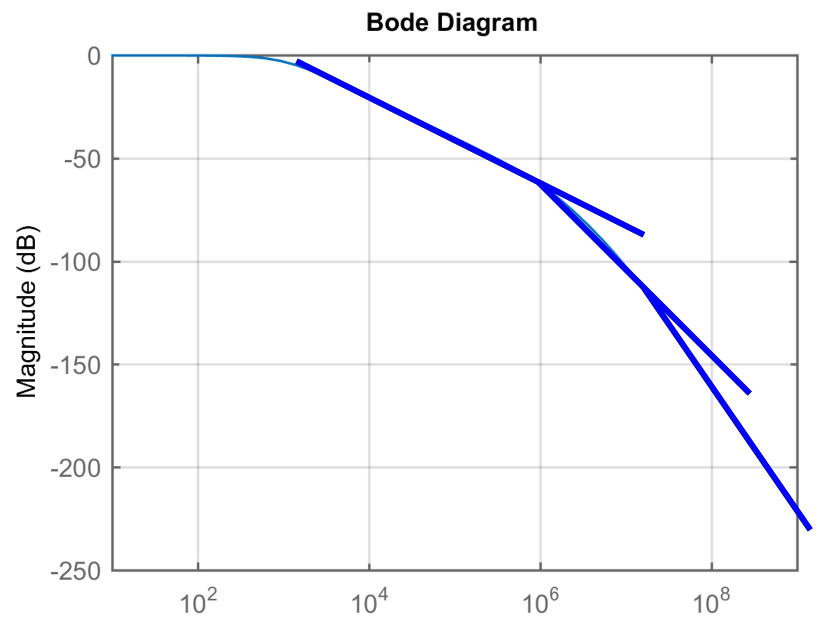
$-45^{o}/10$倍频

$\omega_n=1e5$

波特图绘制

- 多阶RC低通电路

$$H(s)=H_1(s)H_2(s)H_2(s)$$
$$=\frac{1}{\left(1+\frac{s}{\omega_1}\right)\left(1+\frac{s}{\omega_2}\right)\left(1+\frac{s}{\omega_3}\right)}$$



- 幅度 $20\log\left|H(j\omega)\right|=$

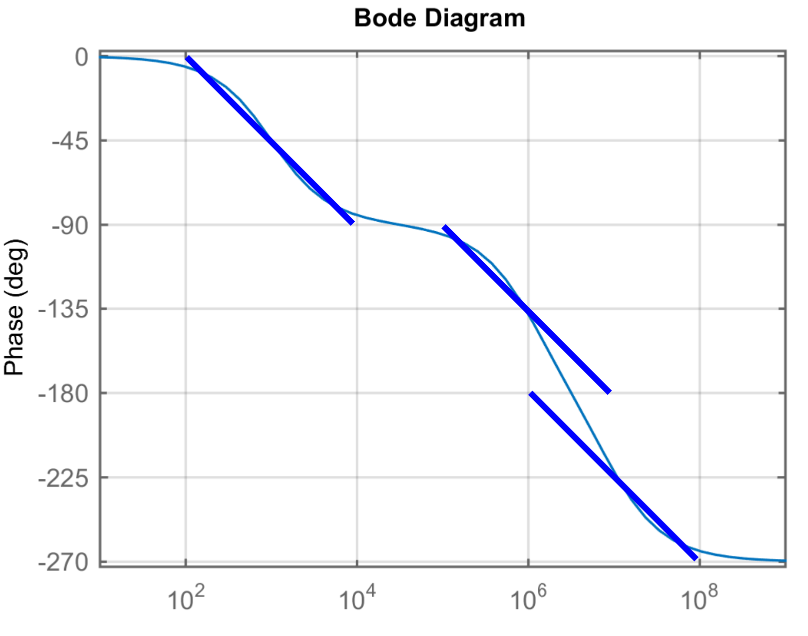
$$20\log\left|H_1(j\omega)\right|+20\log_2\left|H(j\omega)\right|+20\log_3\left|H(j\omega)\right|$$

$\omega_1=1e3, \omega_2=1e6, \omega_3=1e7$

波特图绘制

- 多阶RC低通电路

$$H(s)=H_1(s)H_2(s)H_2(s)$$
$$=\frac{1}{\left(1+\frac{s}{\omega_1}\right)\left(1+\frac{s}{\omega_2}\right)\left(1+\frac{s}{\omega_3}\right)}$$



- 相位

$$\angle H(j\omega)=\angle H_1(j\omega)+\angle H_2(j\omega)+\angle H_3(j\omega)$$

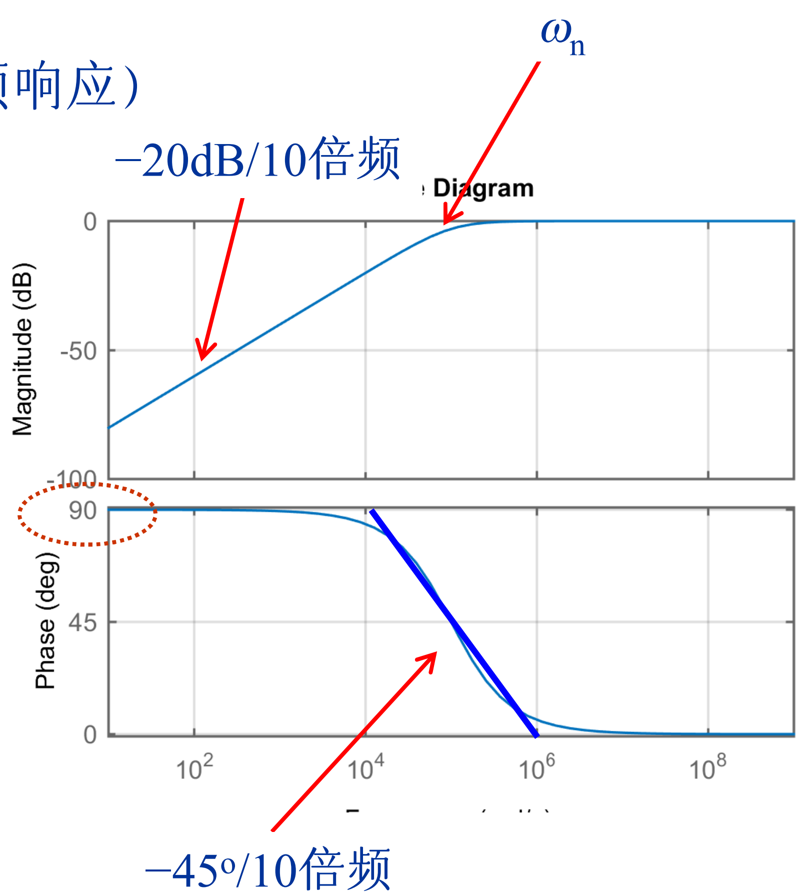
$\omega_1 = 1e3, \omega_2 = 1e6, \omega_3 = 1e7$

波特图绘制

- 一阶RC高通电路（侧重描述低频响应）

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

$$H(j\omega)=\frac{1}{1+\frac{\omega_n}{j\omega}}$$



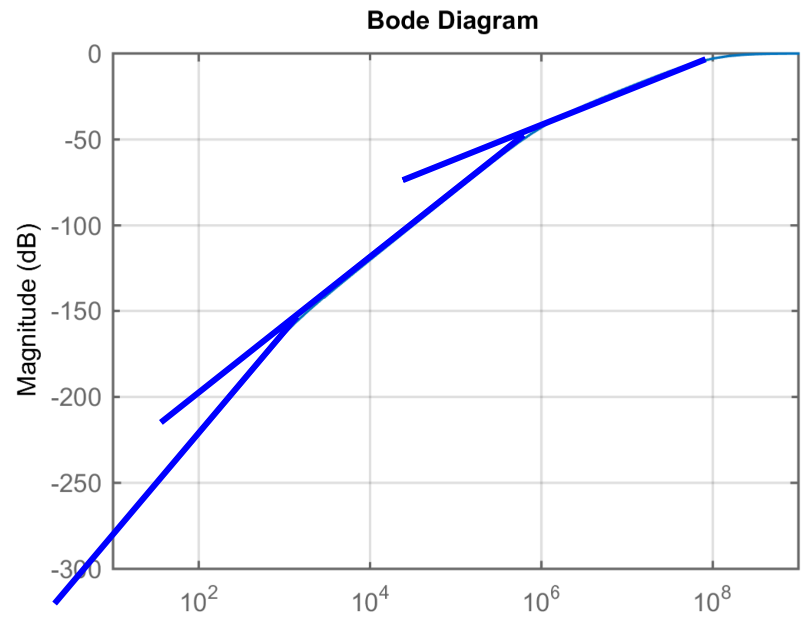
$\omega_n = 1e5$

波特图绘制

- 多阶RC高通电路

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

$$=\frac{1}{\left(1+\frac{\omega_1}{s}\right)\left(1+\frac{\omega_2}{s}\right)\left(1+\frac{\omega_3}{s}\right)}$$



- 幅度 $20\log\left|H(j\omega)\right|=$

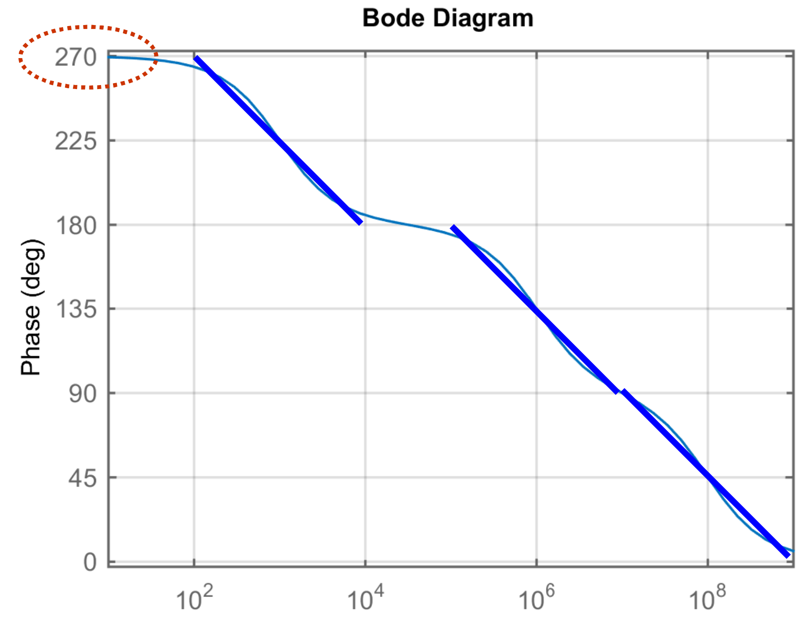
$$20\log\left|H_1(j\omega)\right|+20\log_2\left|H(j\omega)\right|+20\log_3\left|H(j\omega)\right|$$

$$\omega_1=1e8,\ \omega_2=1e6,\ \omega_3=1e3$$

波特图绘制

- 多阶RC高通电路

$$H(s)=H_1(s)H_2(s)H_2(s)$$
$$=\frac{1}{\left(1+\frac{\omega_1}{s}\right)\left(1+\frac{\omega_2}{s}\right)\left(1+\frac{\omega_3}{s}\right)}$$



- 相位

$$\angle H(j\omega)=\angle H_1(j\omega)+\angle H_2(j\omega)+\angle H_3(j\omega)$$

$$\omega_1=1e8,\ \omega_2=1e6,\ \omega_3=1e3$$

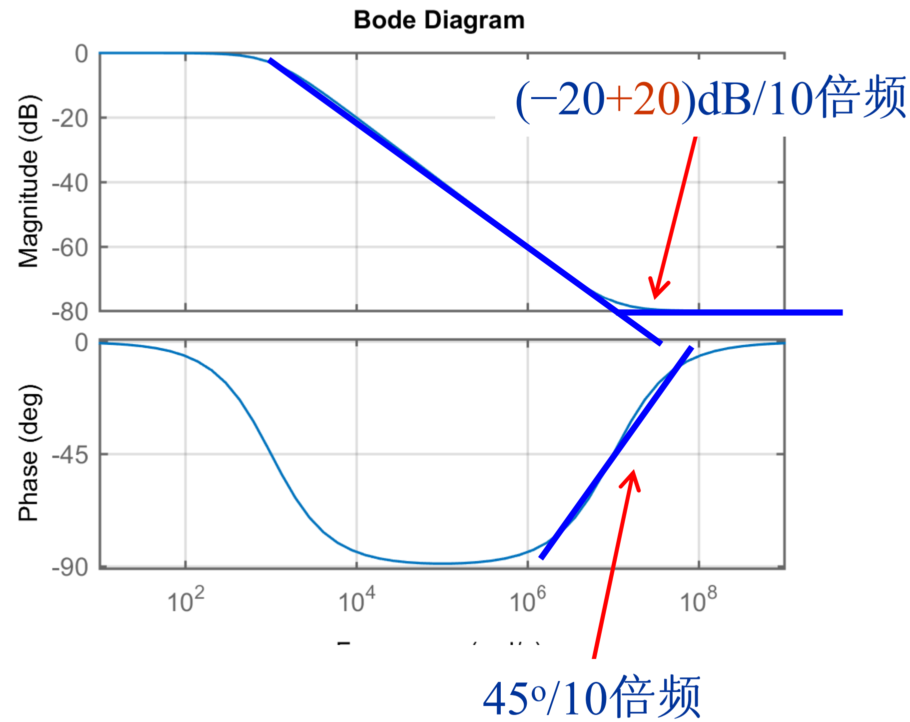
波特图绘制

- 零点影响

$$H(s)=\frac{\omega_{p1}}{\omega_{z1}}\frac{s+\omega_{z1}}{s+\omega_{p1}}$$

- 对于高频响应
  - $\omega_z >> \omega_p$，零点影响可忽略

- 类似地，对于低频响应
  - $\omega_z << \omega_p$，零点影响可忽略



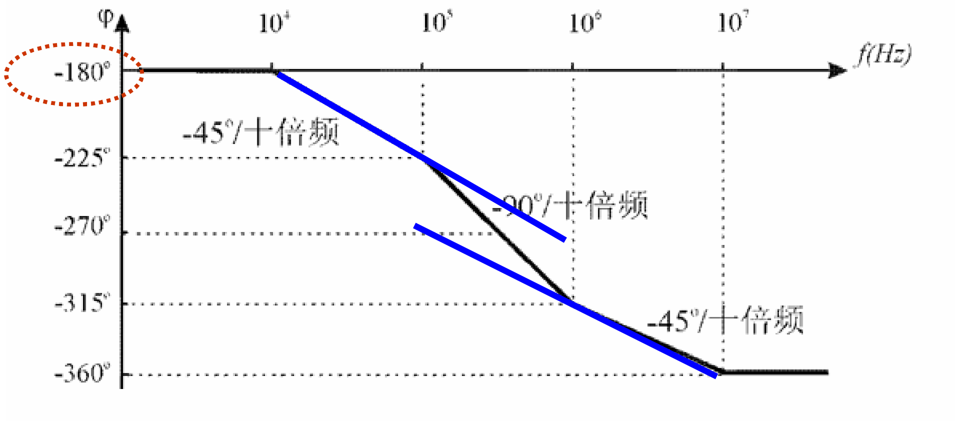
$\omega_{z1}=1e7,\omega_{p1}=1e3$

10.1.2

- 反相

- 二阶低通

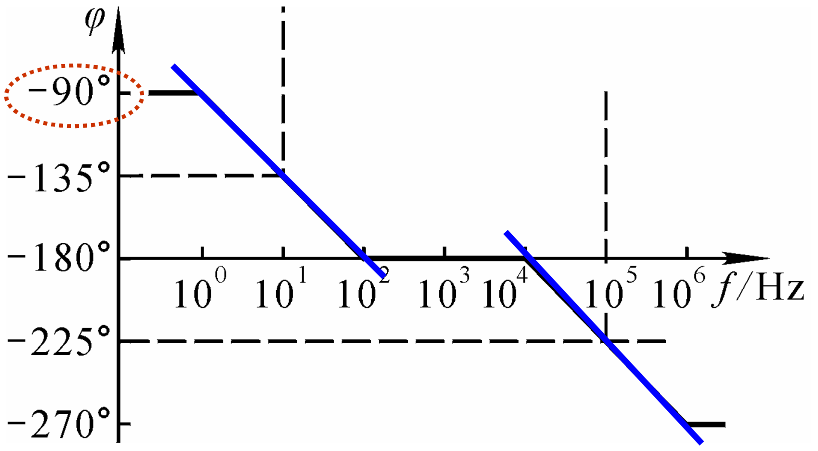
$$f_1 = 1e5,\ f_2 = 1e6$$



10.1.6

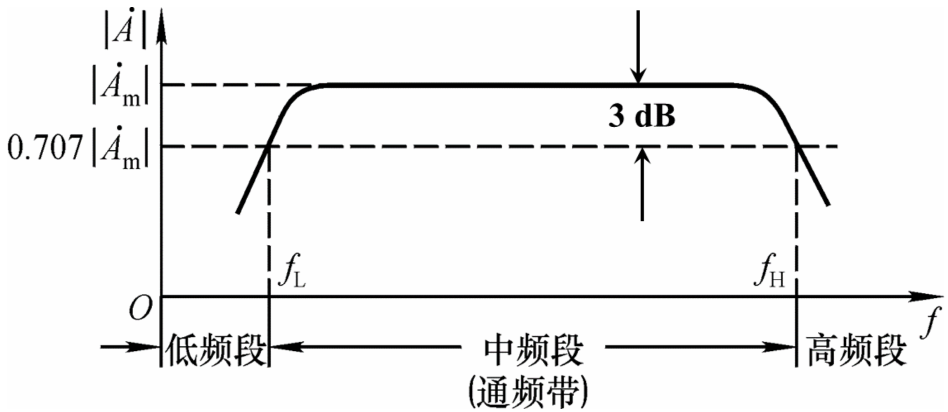
- 反相、一阶高通
- +一阶低通

$$f_1 = 1e1,\ f_2 = 1e5$$



放大器传递函数的一般表示

$$A(s)=A_M F_L(s) F_H(s)$$



- A_{M}—— 中频增益（与频率无关）
- $F_{\mathrm{L}}(s)$—— 描述低频响应

$$F_L(s)=F_{L1}(s)F_{L2}(s)\cdots,\quad F_{Ln}(s)=\frac{1}{1+\dfrac{\omega_n}{s}}=\frac{s}{s+\omega_n}$$

- $F_{\mathrm{H}}(s)$—— 描述高频响应

$$F_H(s)=F_{H1}(s)F_{H2}(s)\cdots,\quad F_{Hn}(s)=\frac{1}{1+\dfrac{s}{\omega_n}}=\frac{\omega_n}{s+\omega_n}$$

放大器ω_L估算

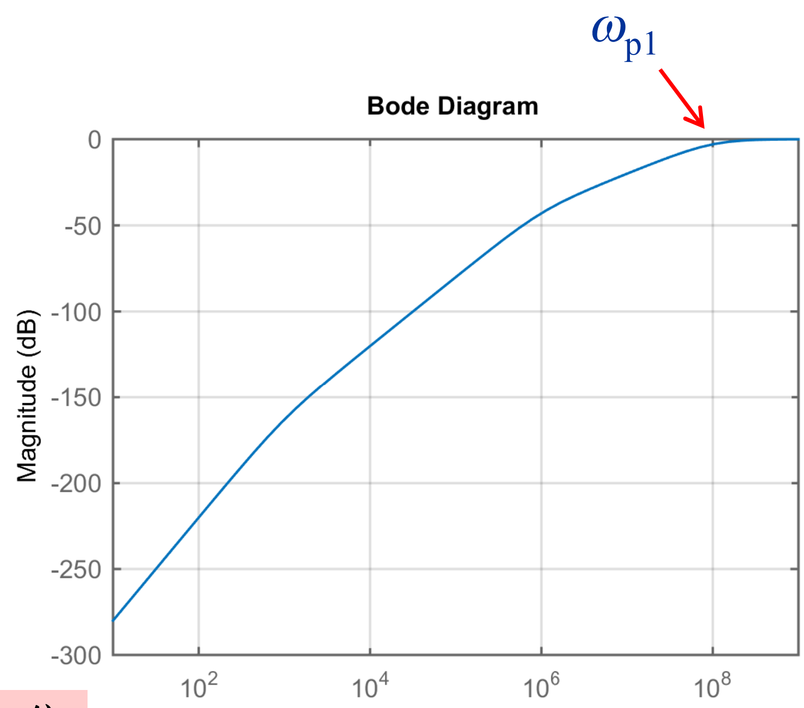
- 如果传递函数已知

$$F_L(s)=\frac{(s+\omega_{z1})(s+\omega_{z2})....(s+\omega_{zn})}{(s+\omega_{p1})(s+\omega_{p2})....(s+\omega_{pn})}$$

- 如果存在主极点ω_{p1}
  - 假设零点无影响（ $\omega_{zk} << \omega_{p1}$ ）

$$F_L(s)\approx\frac{s}{s+\omega_{p1}},\quad \omega_L\approx\omega_{p1}$$

主极点：较最近的零/极点频率，大至少4倍



- 如果不存在主极点

$$\omega_L\approx\sqrt{\left(\omega_{p1}^2+\omega_{p2}^2+\cdots\right)-2\left(\omega_{z1}^2+\omega_{z2}^2+\cdots\right)}$$

放大器ω_L估算

- 短路时间常数近似法
  Method of Short-Circuit Time Constants
- 估算低频响应⇨低频等效电路（高频电容视为开路）

$$\omega = 1e5\ (f = 16kHz),\quad C = 5e-12(5\,pF)$$

$$\left|\frac{1}{j\omega C}\right| = 2e6\ (2M\Omega)$$

- 低次单独考虑每个电容C_i
  - 所有其它电容视为**短路**（无穷大）

$$\omega_{pi} = \frac{1}{R_i C_i}$$

- 如果存在主极点ω_{p1}

$$\omega_L \approx \omega_{p1}$$

- 如果不存在主极点

$$\omega_L \approx \sum \omega_{pi}$$

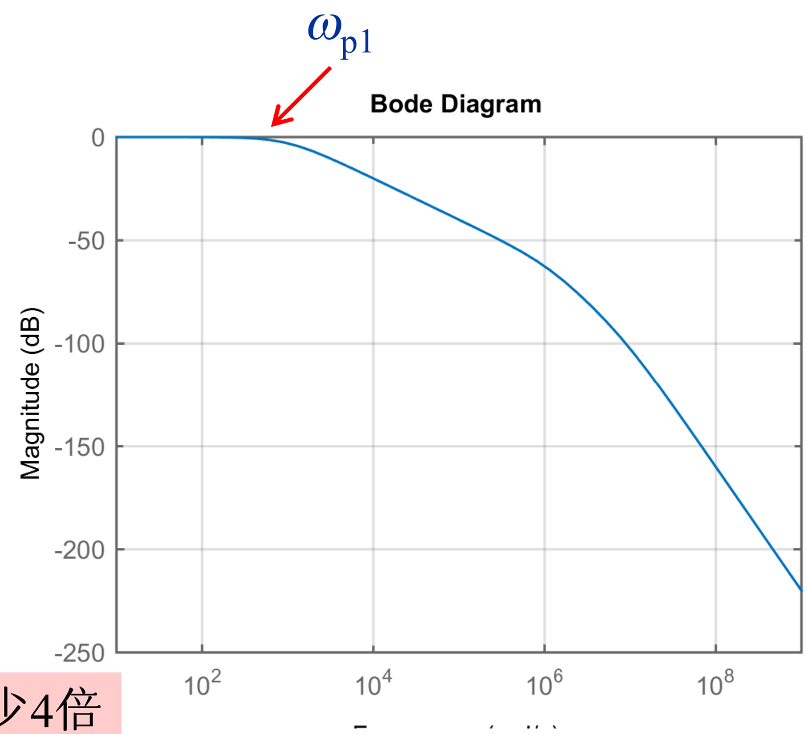
放大器ω_H估算

- 如果传递函数已知

$$F_L(s)=\frac{(s+\omega_{z1})(s+\omega_{z2})....(s+\omega_{zn})}{(s+\omega_{p1})(s+\omega_{p2})....(s+\omega_{pn})}$$

- 如果存在主极点ω_{p1}
  - 假设零点无影响（ $\omega_{zk} >> \omega_{p1}$ ）

$$F_L(s)\approx\frac{\omega_{p1}}{s+\omega_{p1}},\quad \omega_H\approx\omega_{p1}$$



主极点：较最近的零/极点频率，小至少4倍

- 如果不存在主极点

$$\frac{1}{\omega_H}\approx\sqrt{\left(\frac{1}{\omega_{p1}^2}+\frac{1}{\omega_{p2}^2}+\cdots\right)-2\left(\frac{1}{\omega_{z1}^2}+\frac{1}{\omega_{z2}^2}+\cdots\right)}$$

放大器ω_H估算

- 开路时间常数近似法
  Method of Open-Circuit Time Constants

- 估算高频响应⇨高频等效电路（低频电容视为短路）

$\omega = 1e5\ (f = 16kHz),\quad C = 1e-5(10\mu F)$

$\left|\dfrac{1}{j\omega C}\right| = 1\,\Omega$

- 低次单独考虑每个电容C_i
  - 所有其它电容视为开路（零）

$$\omega_{pi} = \frac{1}{R_i C_i}$$

- 如果存在主极点ω_{p1}

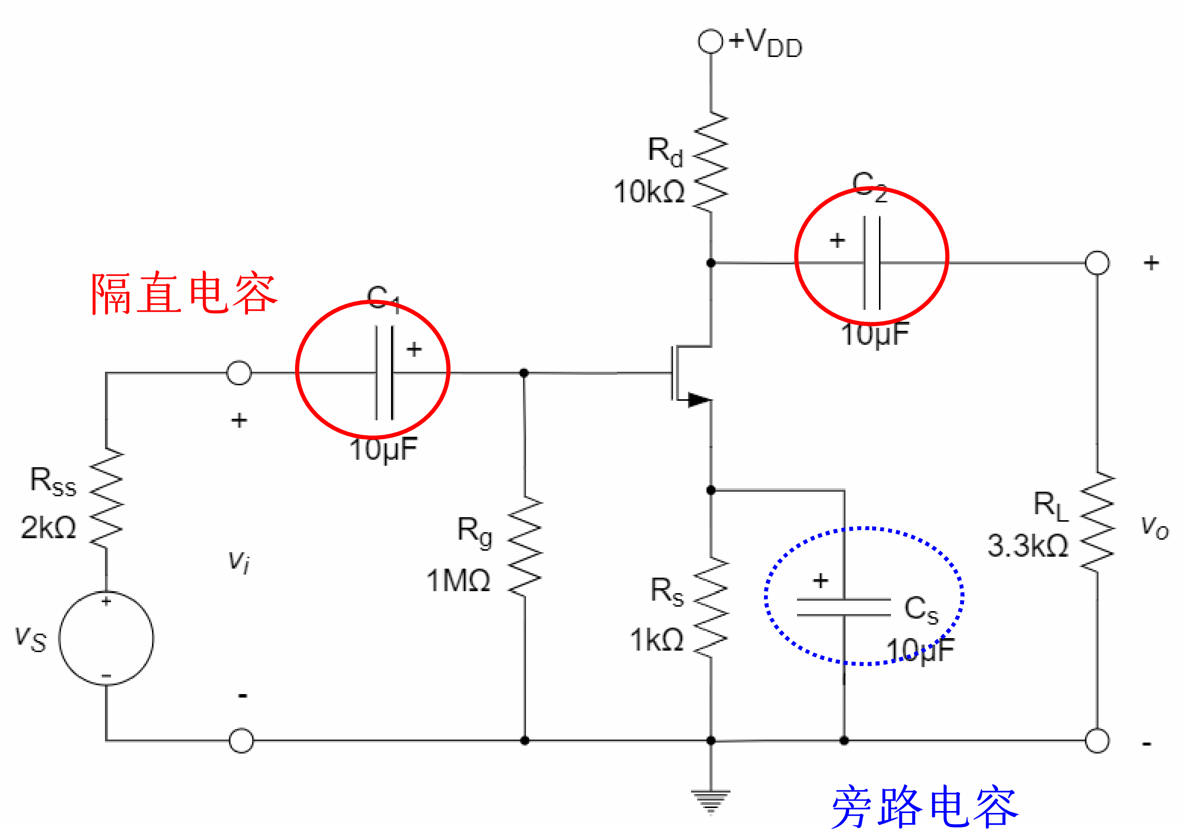
$$\omega_H \approx \omega_{p1}$$

- 如果不存在主极点

$$\frac{1}{\omega_H} \approx \sum \frac{1}{\omega_{pi}}$$

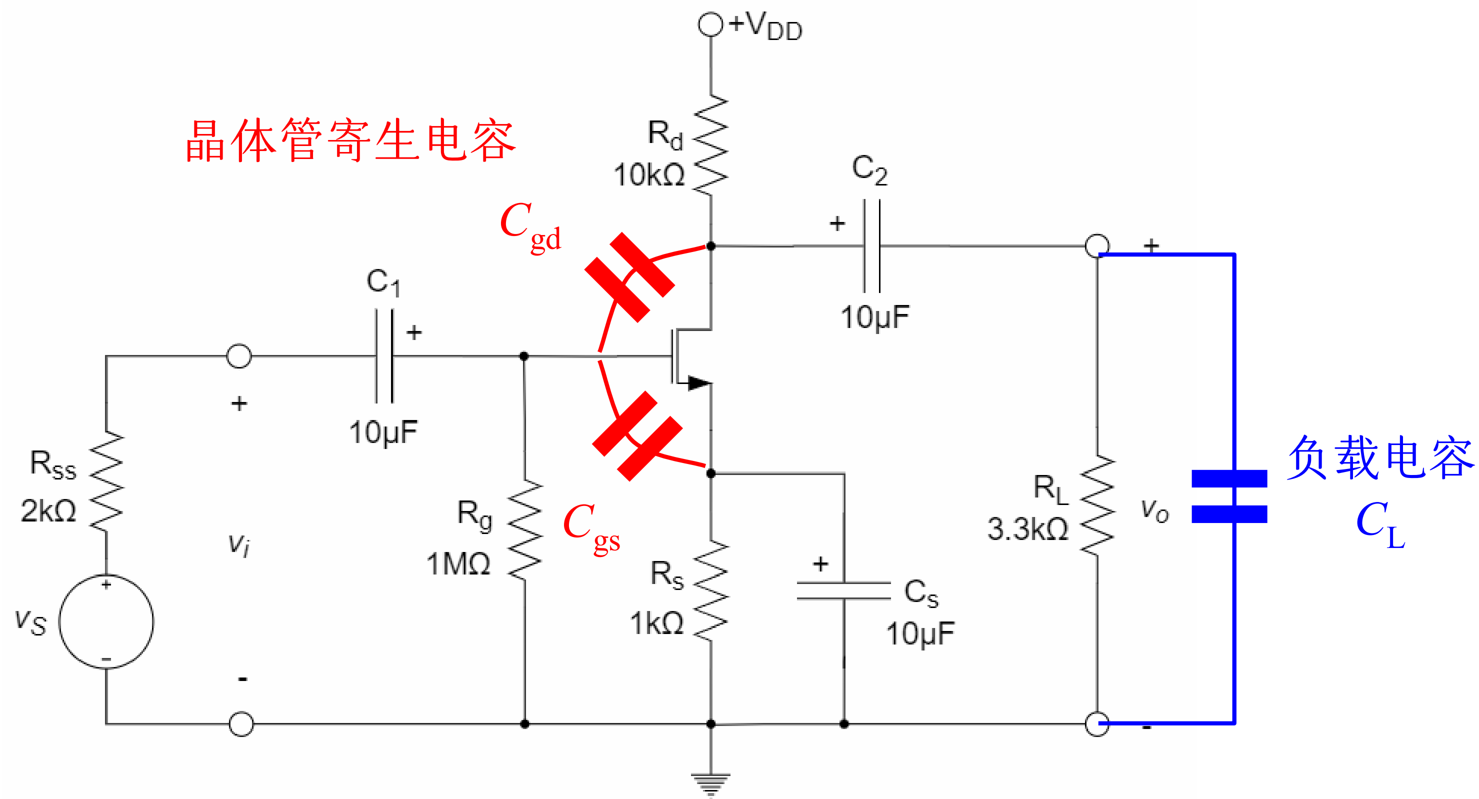
电容对极点的贡献

- 隔直电容、旁路电容➪低频极点



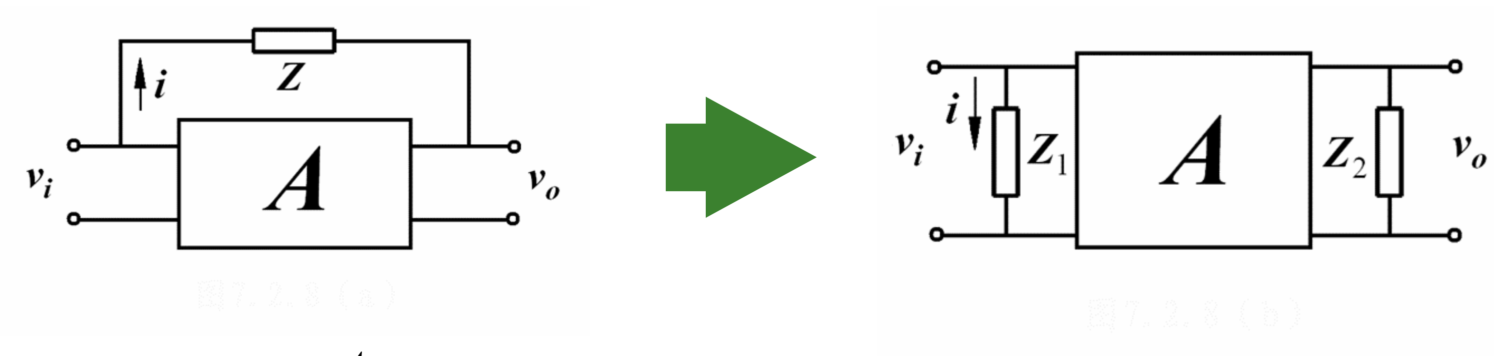
电容对极点的贡献

- 晶体管寄生电容、负载电容、以及其他信号通路上并联到地的电容⇨高频极点



米勒定理

- 用于将跨接在输出、输入的电容（MOSFET的C_{gd}或BJT的C_{μ}）
  - 等效为两个电容（分别接在输入回路与输出回路）



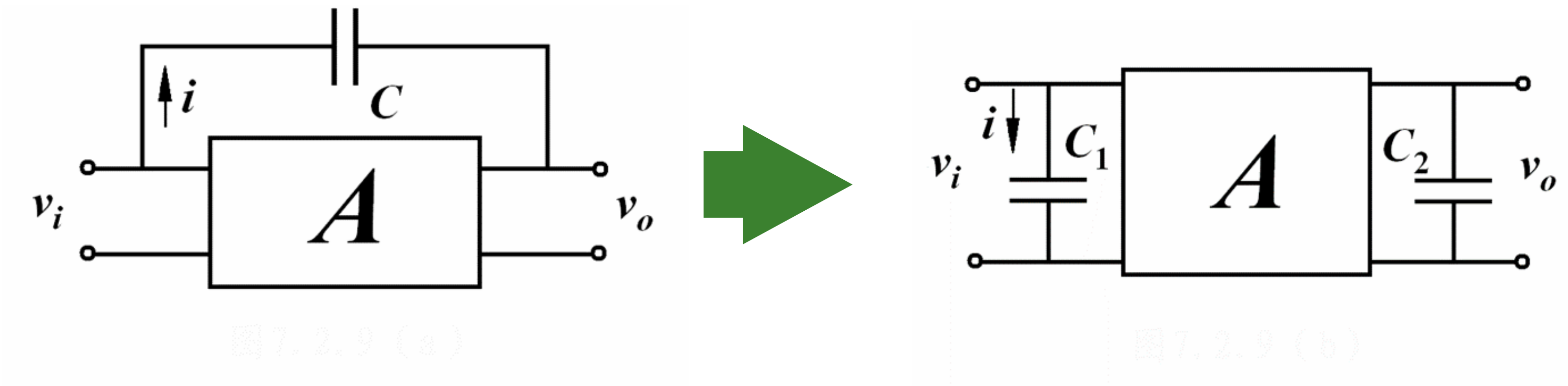
$$i=\frac{v_i-v_o}{Z}=\frac{v_i-Av_i}{Z}=\frac{v_i}{Z/(1-A)}=\frac{v_i}{Z_1}$$

$$Z_1=\frac{1}{1-A}Z$$

类似地 $Z_2=\frac{A}{A-1}Z$

米勒定理

- 若跨接的元件为电容 C



$$Z_1 = \frac{1}{1-A} Z$$

$$Z_2 = \frac{A}{A-1} Z$$

$$C_1 = (1-A)C$$

$$C_2 = \frac{A-1}{A} C \approx C$$

假设增益A较大

器件特征频率f_t

- BJT：共射，输出端短路，电流放大系数降为1的频率
- MOSFET: 共源，输出端短路，电流放大系数降为1的频率