



电子线路
分析与设计

第 24 讲 反馈

陈江
2022.11

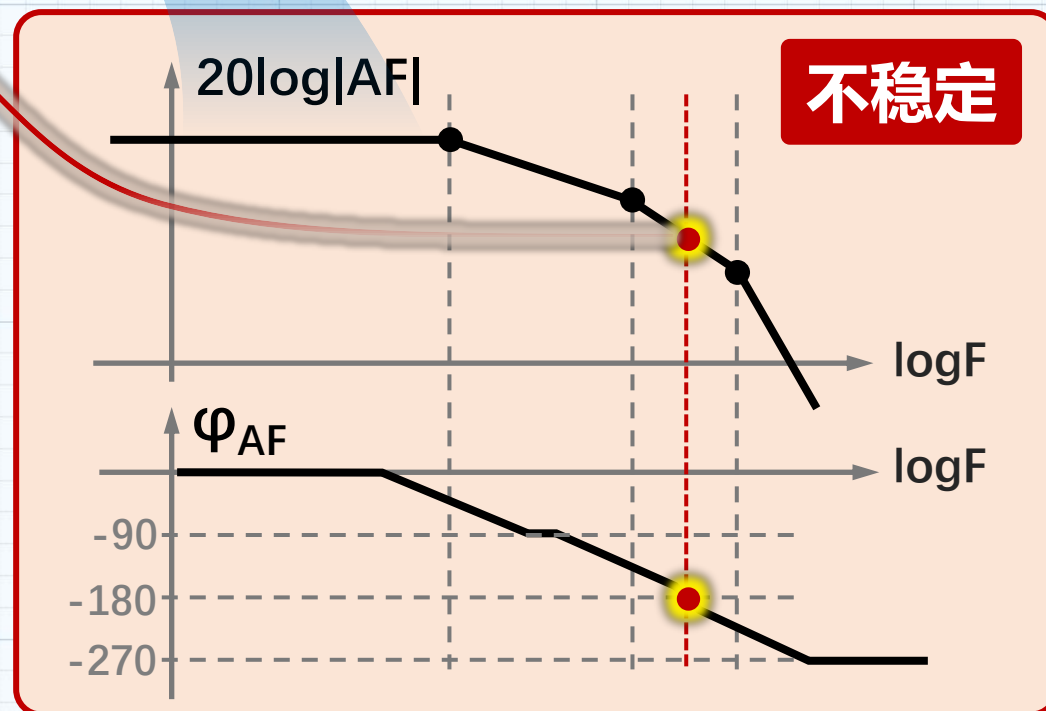
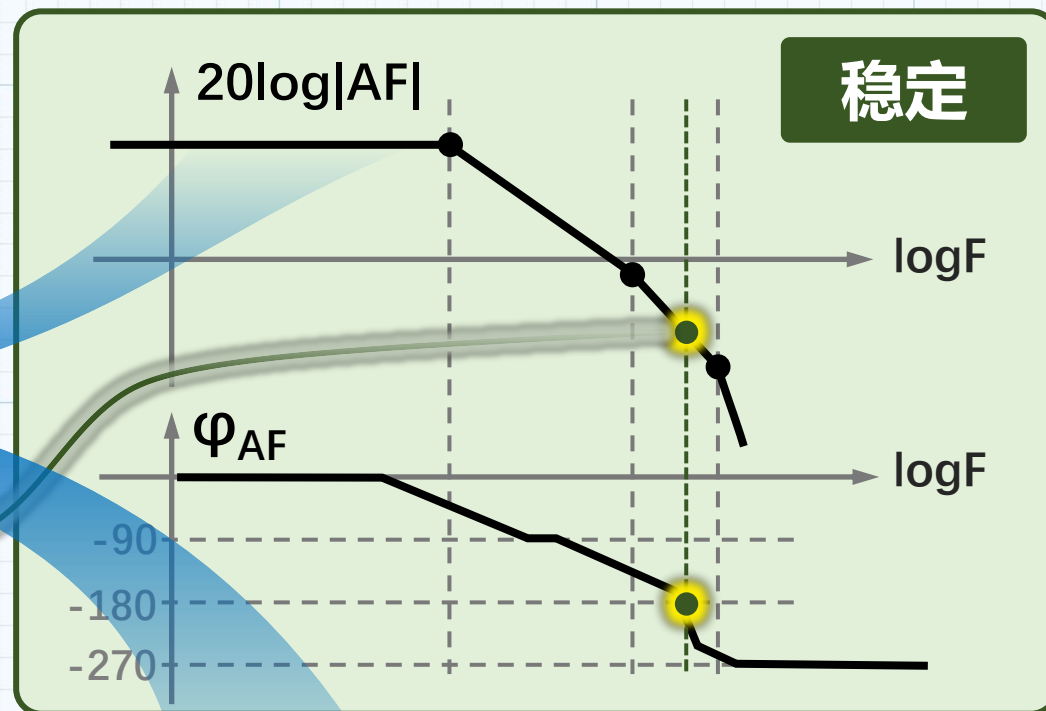
反馈的稳定性 (stability)

! 不同 D 或 AF 功能截然不同

- ▶ $1 + AF > 1$ 负反馈
- ▶ $1 + AF = 1$ 无反馈
- ▶ $1 > 1 + AF > 0$ 收敛的正反馈
- ▶ $1 + AF = 0$ 自激振荡
- ▶ $1 + AF < 0$ 发散的正反馈

? 负反馈会演变为正反馈 ?

- ▶ 中频: 设计为负反馈 ($AF > 0$)
- ▶ 带外: AF 幅度 $\downarrow \rightarrow$ 反馈强度 \downarrow
 AF 相移 $\uparrow \rightarrow$ 负反馈变性
- ▶ $\varphi_{AF} = 180^\circ$ 时: $AF < 0$



反馈的稳定性 (stability)

! 不同 D 或 AF 功能截然不同

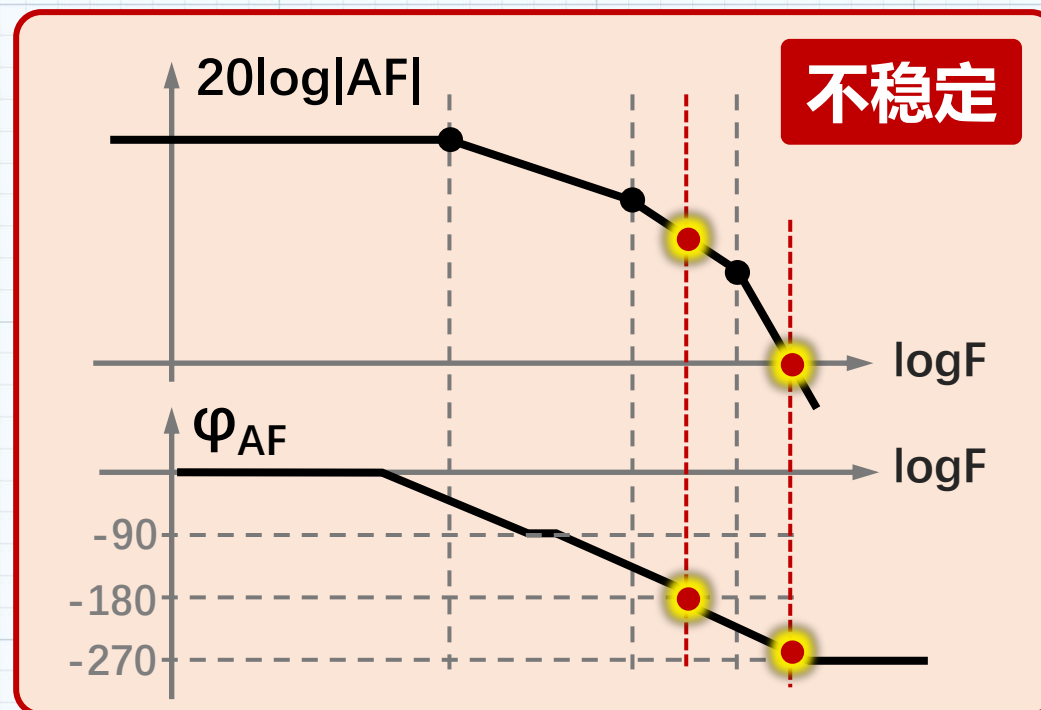
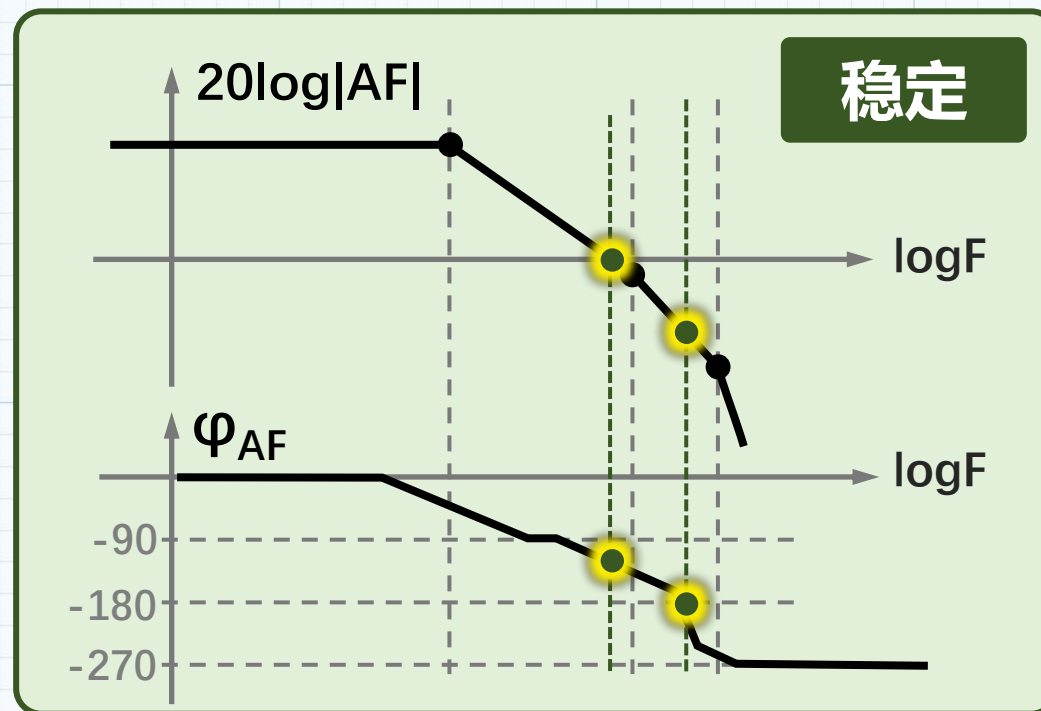
- ▶ $1 + AF > 1$ 负反馈
- ▶ $1 + AF = 1$ 无反馈
- ▶ $1 > 1 + AF > 0$ 收敛的正反馈
- ▶ $1 + AF = 0$ 自激振荡
- ▶ $1 + AF < 0$ 发散的正反馈

稳定性判据

$\varphi_{AF} = 180^\circ$ 处, $AF_{dB} > 0$?

相频多为单调减函数

$AF_{dB} = 0$ 处, $\varphi_{AF} > 180$?



反馈的稳定性 (stability)

❓ 如何定量描述 “稳定性” ？

▶ 增益裕度

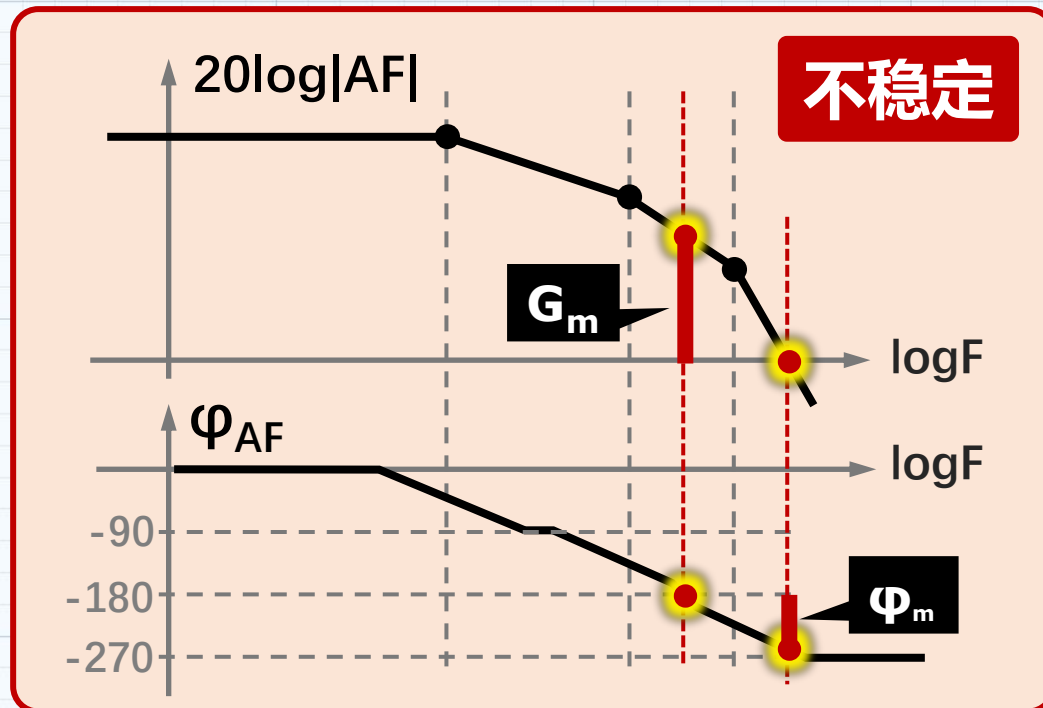
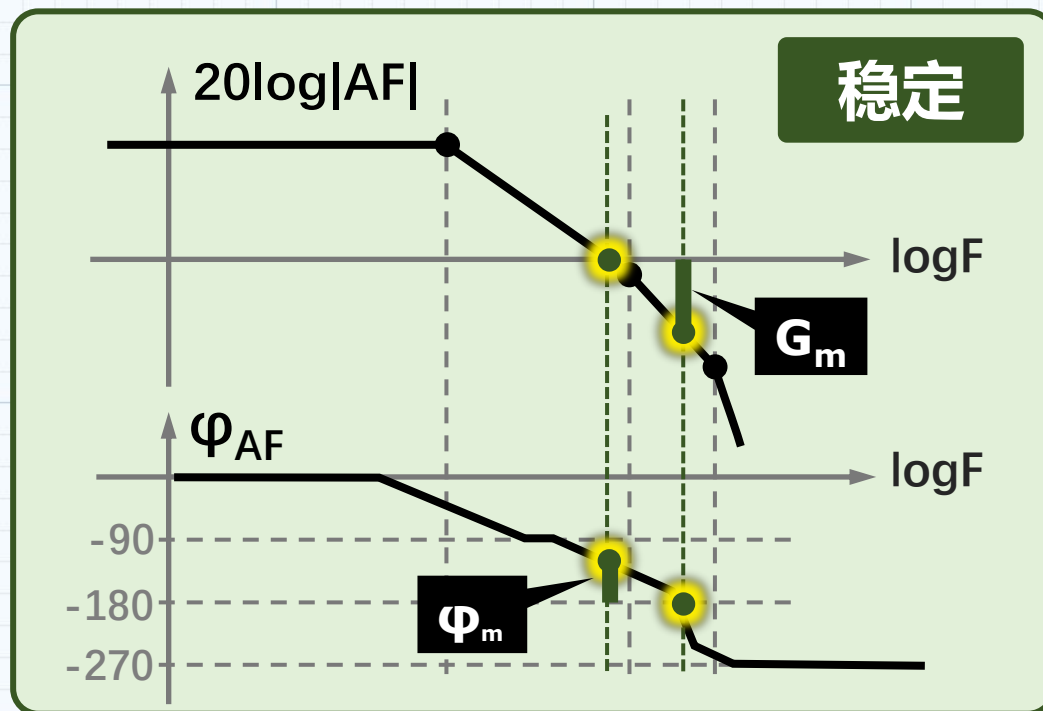
当 $\varphi_{AF} = 180^\circ$

$$G_M = AF_{dB}$$

▶ 相位裕度

当 $AF = 0dB$

$$\varphi_M = \varphi_{AF} - 180^\circ$$



稳定性判据

$G_M < 0$?

处,

$G_M < -10$?

理论要求

工程要求

$\varphi_M > 0$?

处,

$\varphi_M > 45^\circ$?

AF 次主极点
低于横轴

稳定性：条件稳定 | 绝对稳定

❗ 不稳定可能是 A 和 F 共同造成

▶ A: 厂商生产; F: 据需求设定

❗ A的属性: 绝对稳定 或 条件稳定

▶ 绝对稳定: 纯电阻反馈必然稳定

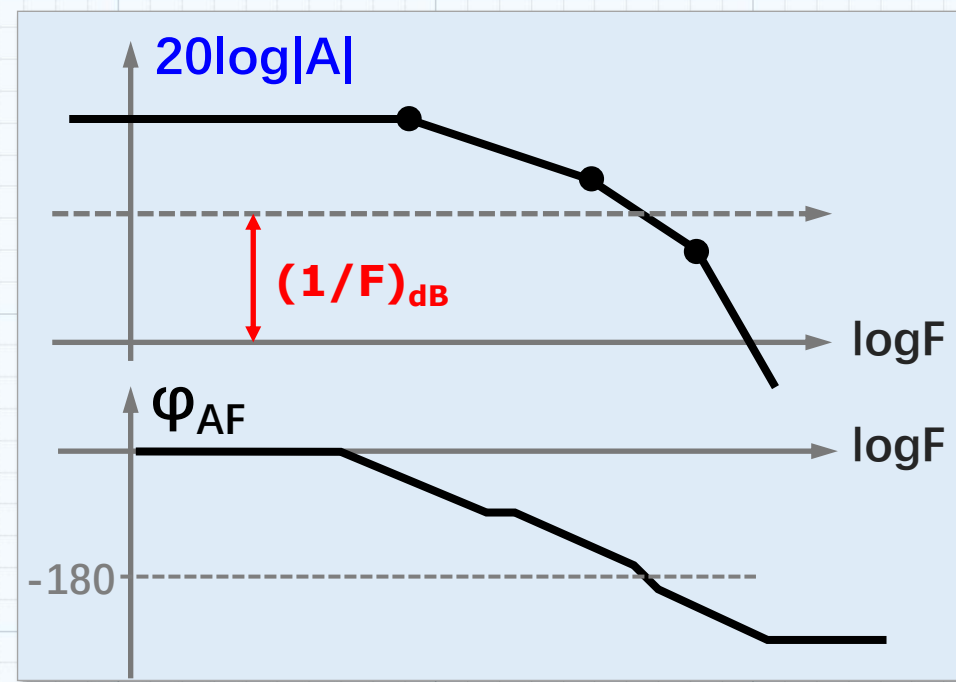
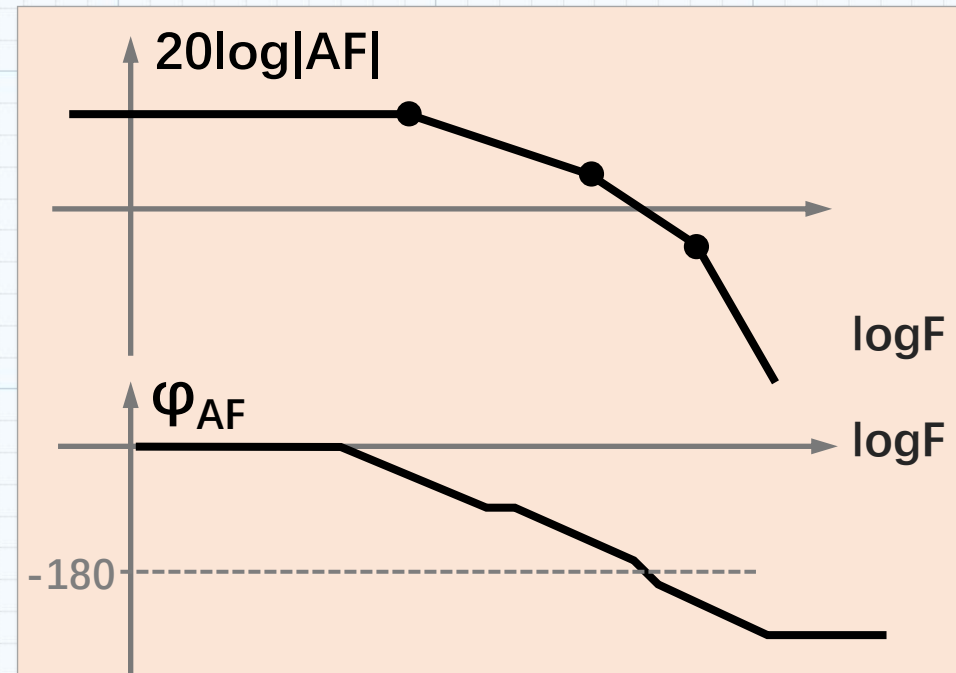
▶ 条件稳定: 纯电阻反馈未必稳定

❗ 如何判定 条件稳定 | 绝对稳定?

▶ 纯阻性反馈: F 为实数

▶ 电压串联|电流并联时: $|F| < 1$

▶ $(1/F)_{dB}$ 在横轴上方



AF 次主极点低于横轴

A 极点 2 低于横轴

稳定性：相位补偿

❓ 如何 条件稳定 → 绝对稳定？

- ▶ 相位补偿电路：也称频率补偿
- ▶ 如何调整 A 的电路？

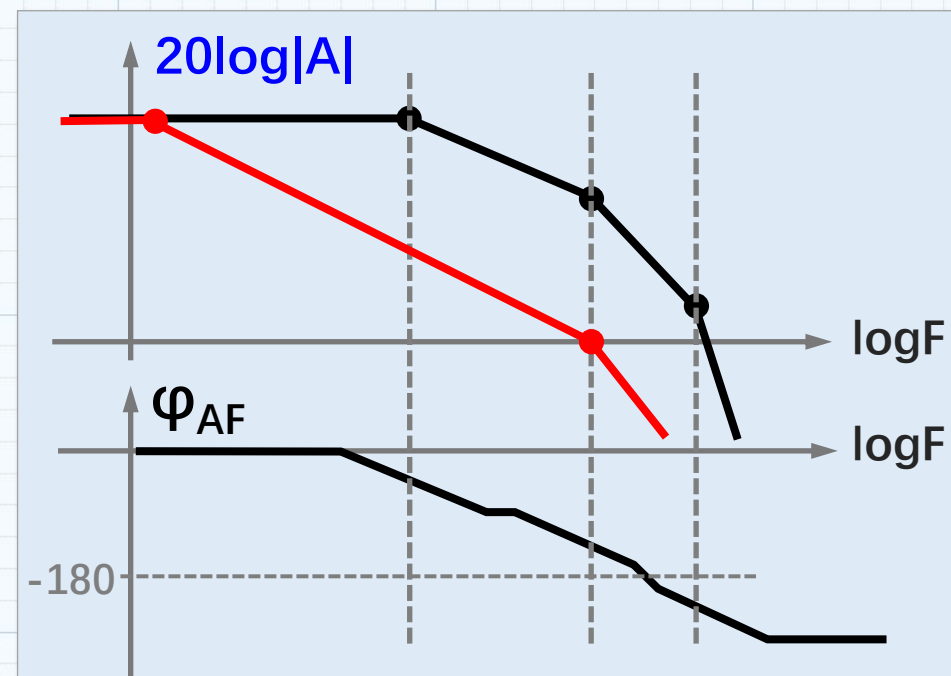
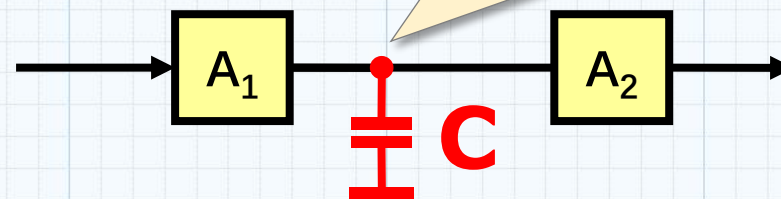
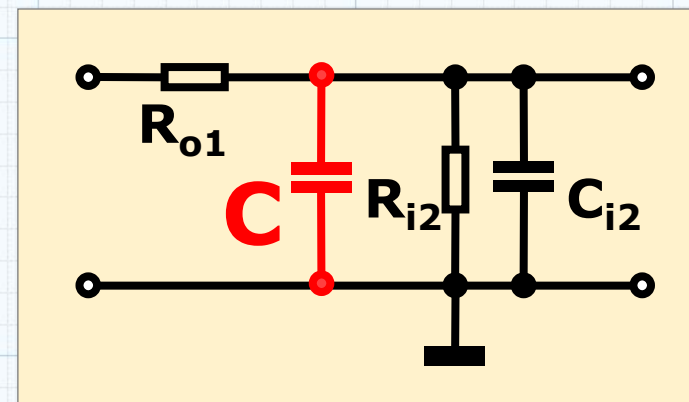
❗ 典型做法1：滞后补偿

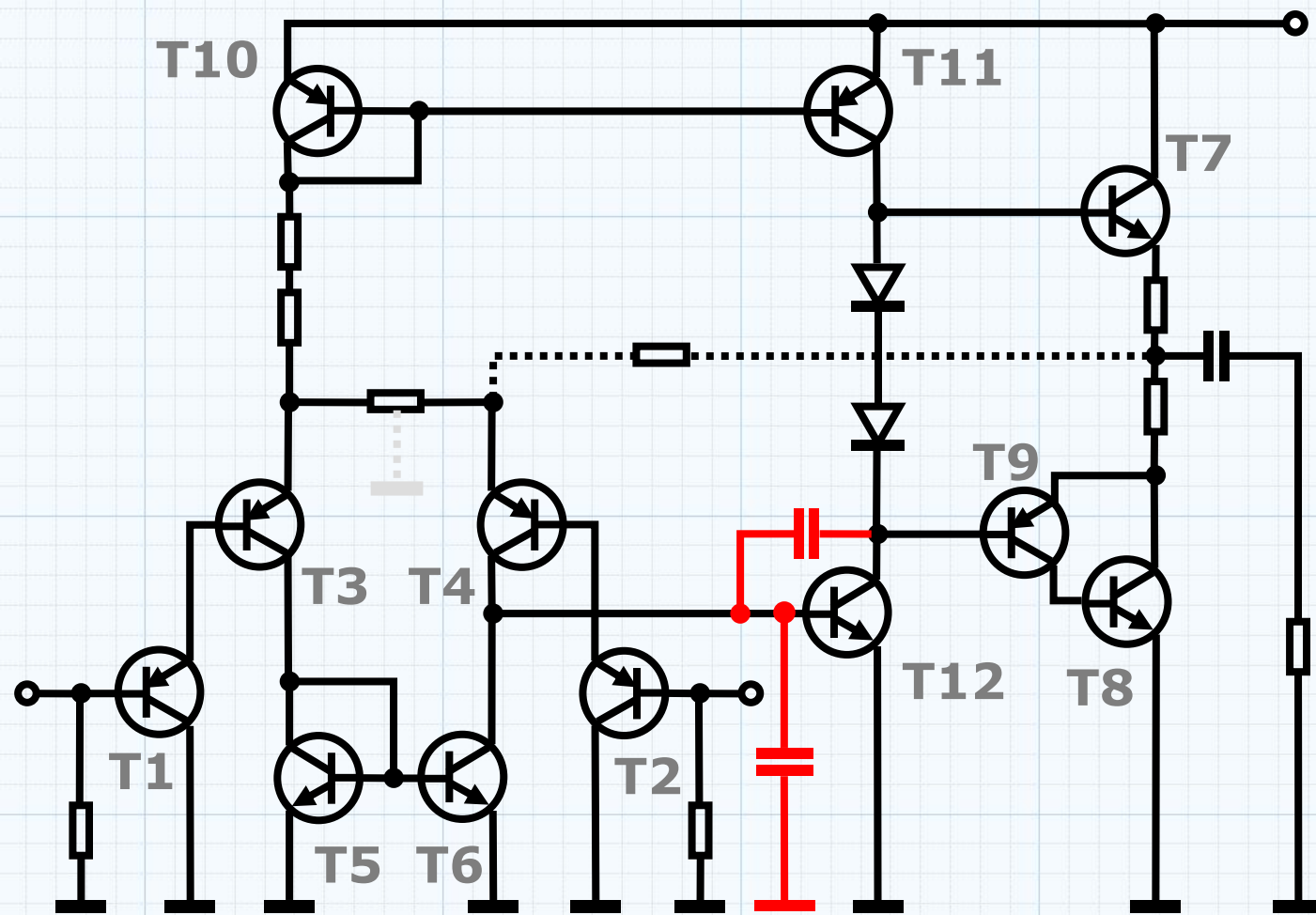
- ▶ 极大降低主极点： $f_H \rightarrow f_H'$
- ▶ 使 $A_{dB}(f_{H2})$ 落在横轴以下
- ▶ 找到电路中构成 f_{H1} 的电容
- ▶ 将其增大 ...

主极点
补偿

AF 极点2低于横轴

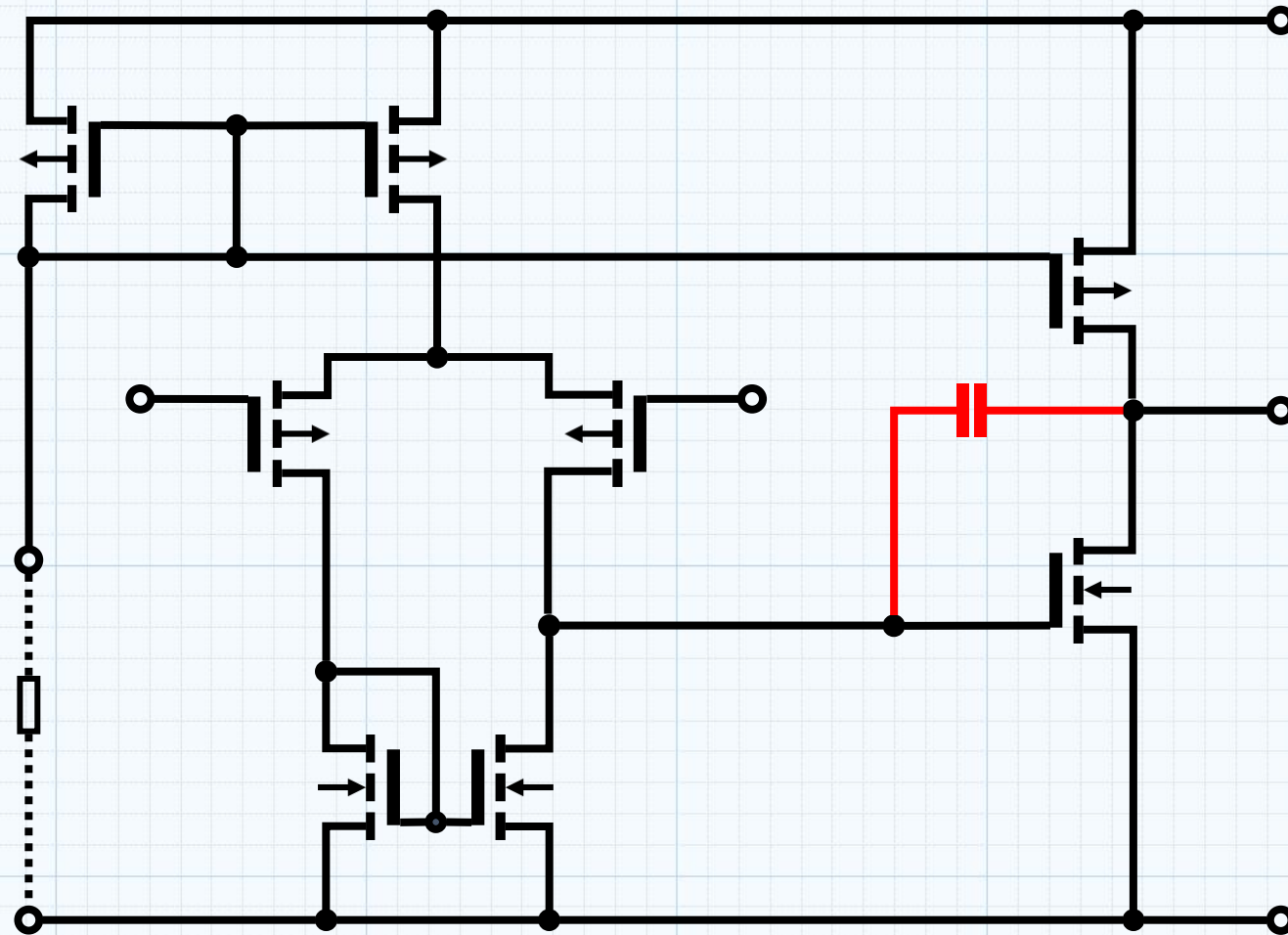
A 极点 2 低于横轴





主极点 滞后补偿

借助密勒效应



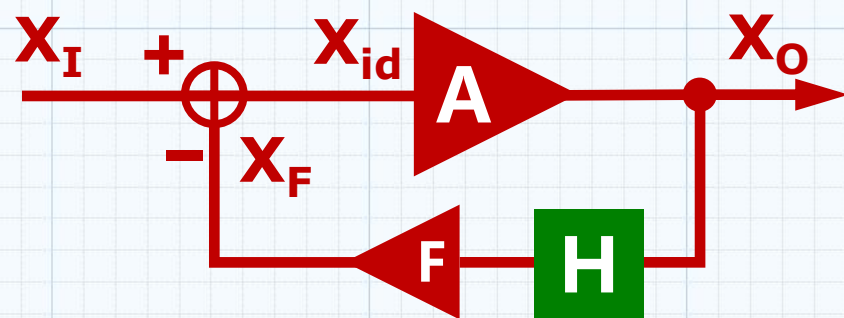
主极点 滞后补偿

借助密勒效应

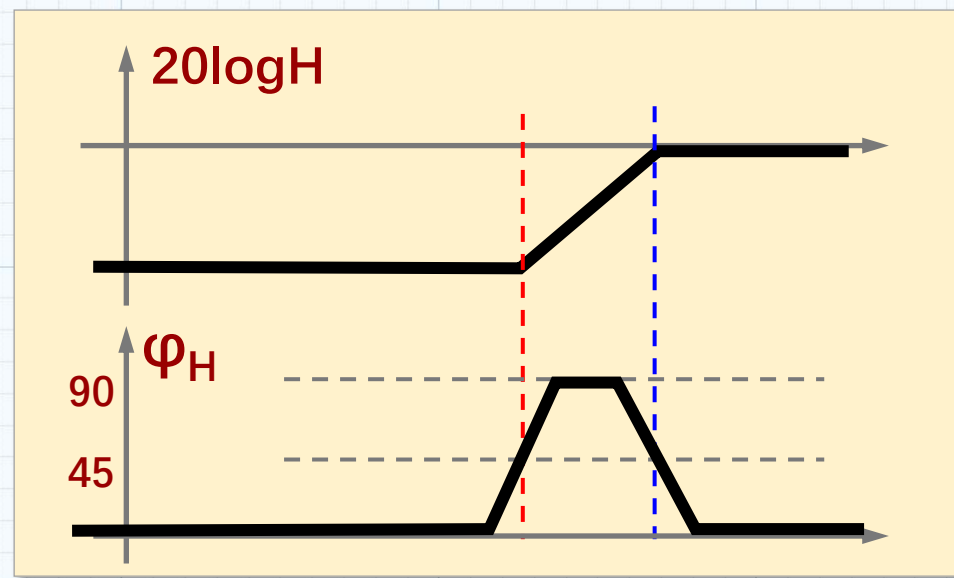
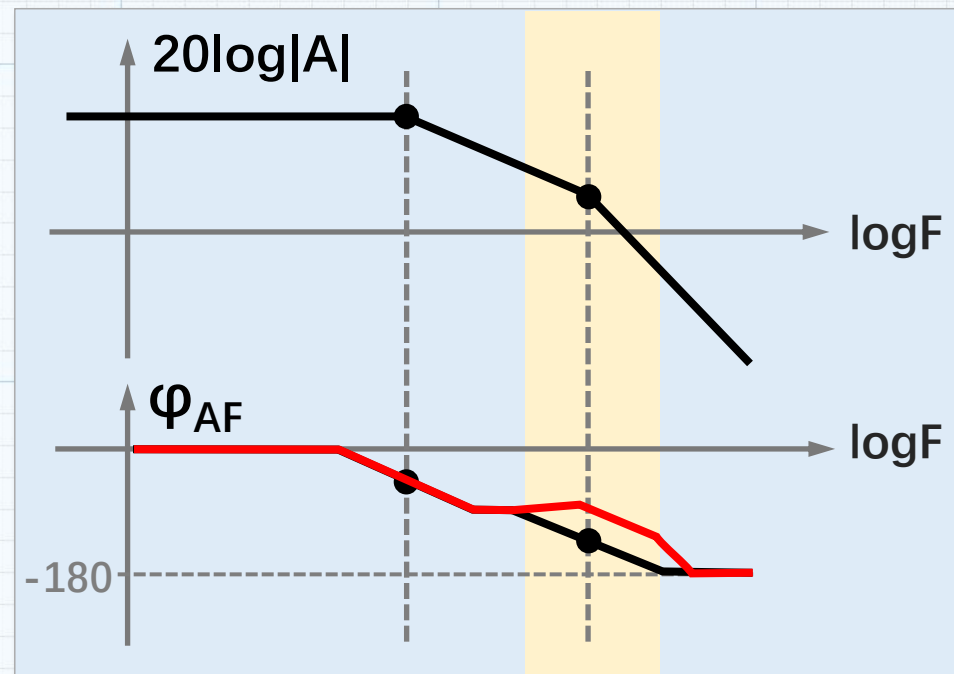
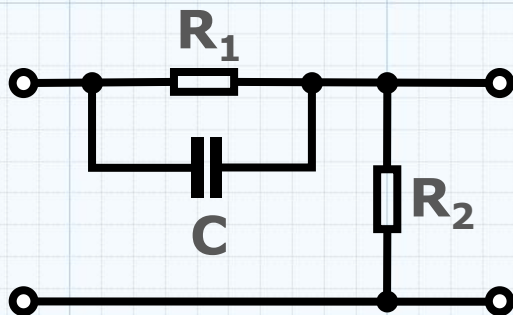
稳定性：相位补偿

? 典型做法2：超前补偿

- ▶ 若相位裕度不够充足
- ▶ 在临界区域稍渐少相移 → 增加裕度
- ▶ 具体做法：引入超前相移网络

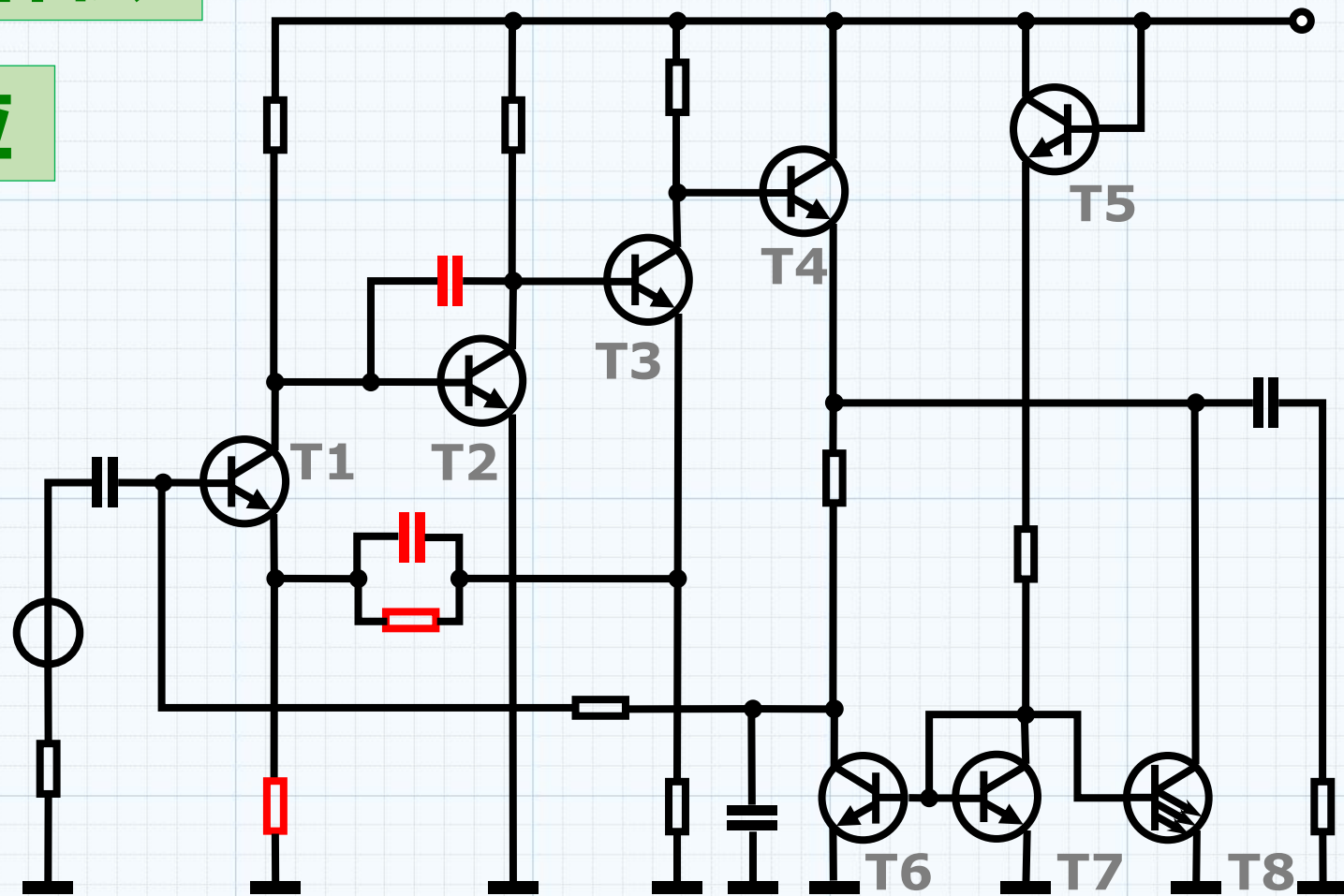


$$H = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{1 + jf/f_z}{1 + jf/f_p}$$



主极点 滞后补偿

借助密勒效应



级间 超前补偿