

6.4 负反馈放大电路的自激振荡及消除

6.4.1 负反馈放大电路的自激振荡条件

$$\dot{A}\dot{F} + 1 = 0$$

即

$$\dot{A}\dot{F} = -1$$

将上式写成

$$\begin{cases} AF = 1 & \text{幅度条件} \\ \Delta\varphi_A + \Delta\varphi_F = (2n+1)\pi & \text{相位条件} \end{cases}$$

$$\begin{cases} AF = 1 & \text{幅度条件} \\ \Delta\varphi_A + \Delta\varphi_F = (2n+1)\pi & \text{相位条件} \end{cases}$$

式中

$\Delta\varphi_A$ ——基本放大电路在高频或低频区内产生的附加相移

$\Delta\varphi_F$ ——反馈网络高频或低频区内产生的附加相移

对于负反馈电路

1. 在中频区，反馈信号与输入信号反相，即

$$\varphi_A + \varphi_F = 180^\circ$$

2. 高频或低频区，放大电路与反馈网络，因电路中的电容而产生附加相位移 $\Delta\varphi_A$ 、 $\Delta\varphi_F$

当 $\Delta\varphi_A + \Delta\varphi_F = 180^\circ$ 时

反馈电压信号和输入电压信号同相

$$\dot{X}_{id} > \dot{X}_i$$

负反馈变为正反馈

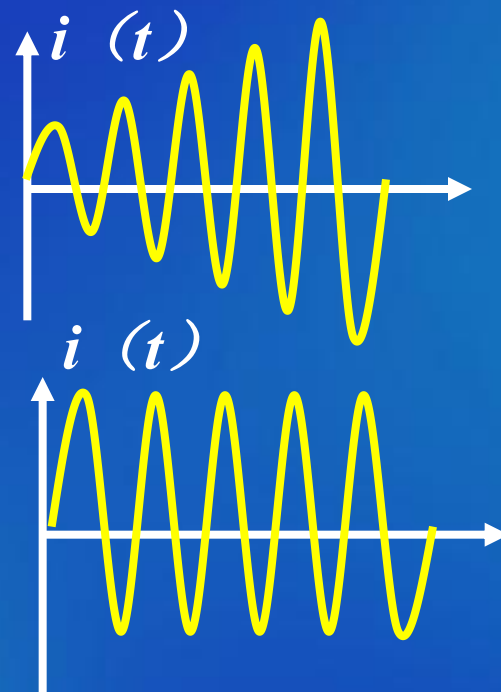
(1) 这时如果 $AF \geq 1$, 产生自激振荡。

表现形式：

a. 输出信号越来越大。

b. 出现等幅振荡。

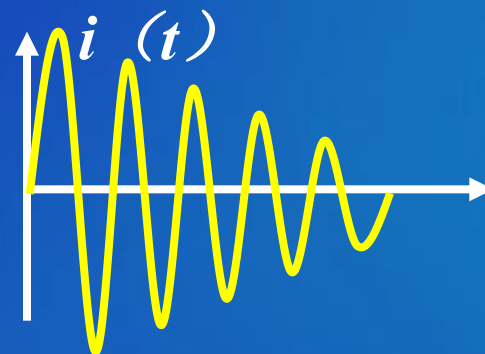
实际情况是：



即使无输入信号，也有一定的信号输出。

产生自激的输入信号的来源：

- a. 放大电路内部元器件的热噪声电压
- b. 启动电源时的瞬间冲击电压



(2) 此时如果 $AF < 1$

输出信号在不断的减小,不会产生自激振荡。

结论：

相位条件是产生自激振荡的必要条件

幅度条件产生自激振荡的充分的条件

5.4.2 负反馈放大电路的稳定性

- a. 电路包含一或二个惯性环节时，附加相移最大不会超过 180° ；不会产生自激振荡。
- b. 电路的级数愈多，附加相移 $|\Delta\varphi_A|$ 愈大，愈容易产生自激振荡。
- c. 反馈系数 F 愈大，愈容易产生自激振荡。

1. 判断放大电路是否稳定的方法

(1) 找相位临界频率 f_c

即满足 $|\Delta\varphi_A + \Delta\varphi_F|_{f=f_c} = 180^\circ$ 的频率点 f_c

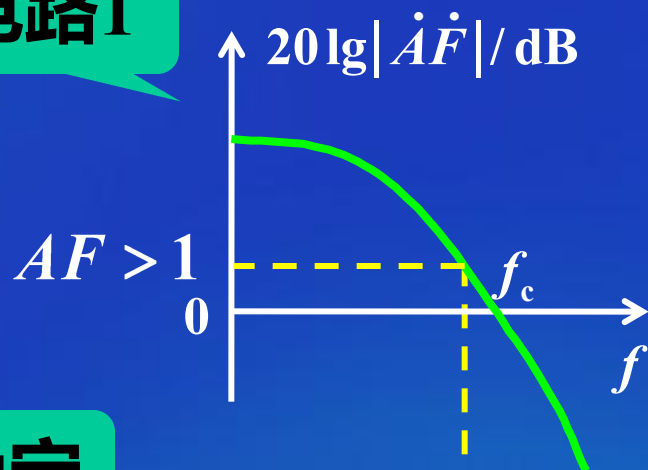
a. 如果 $AF|_{f=f_c} \geq 1$

电路不稳定

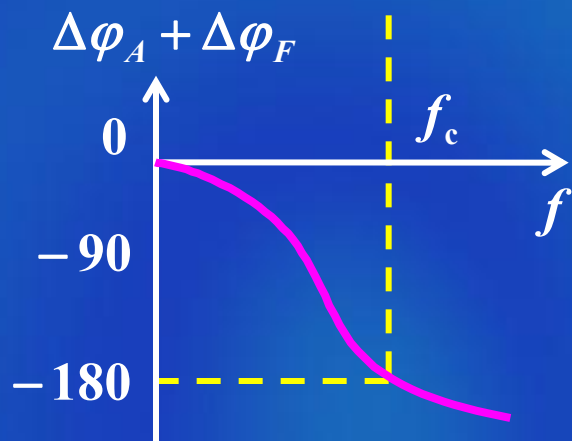
b. 如果 $AF|_{f=f_c} < 1$

电路稳定

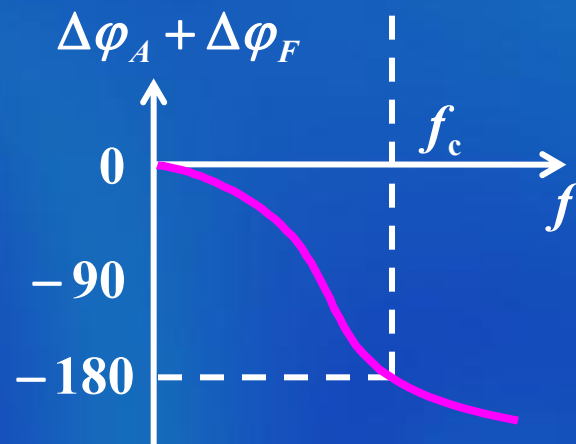
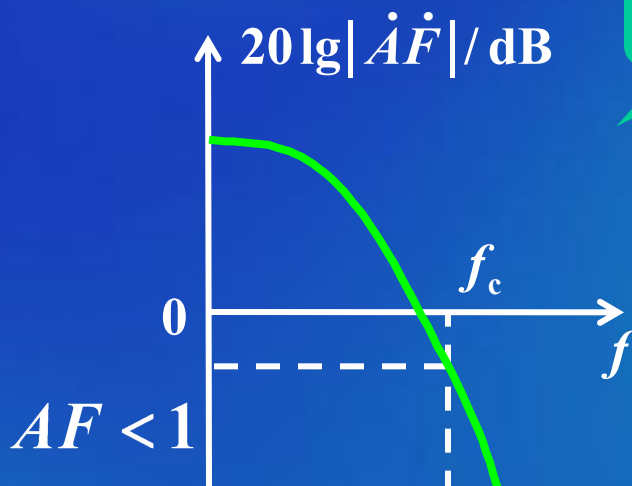
电路1



不稳定



电路2



稳定

(2) 找幅度条件临界频率 f_0

$$f_0 \text{ 满足 } |AF|_{f=f_0} = 1$$

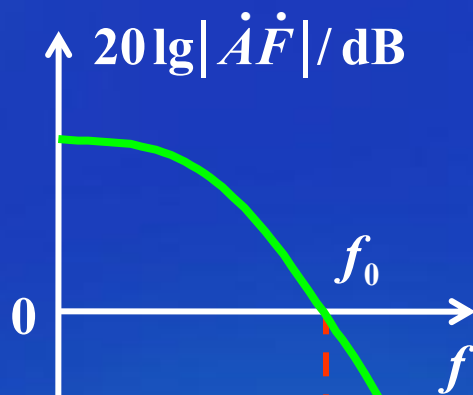
a. 如果 $|\Delta\varphi_A + \Delta\varphi_F|_{f=f_0} < 180^\circ$

电路稳定

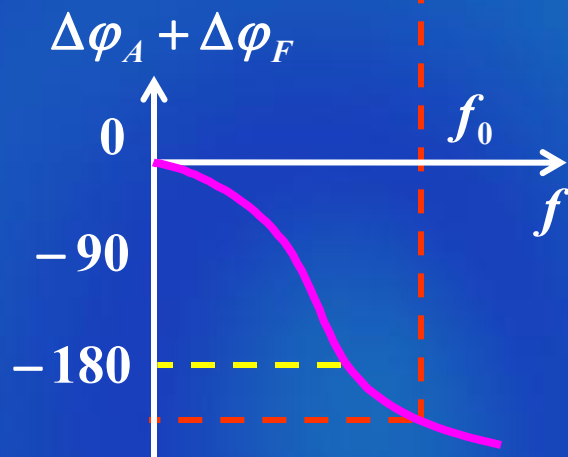
b. 如果 $|\Delta\varphi_A + \Delta\varphi_F|_{f=f_0} > 180^\circ$

电路不稳定

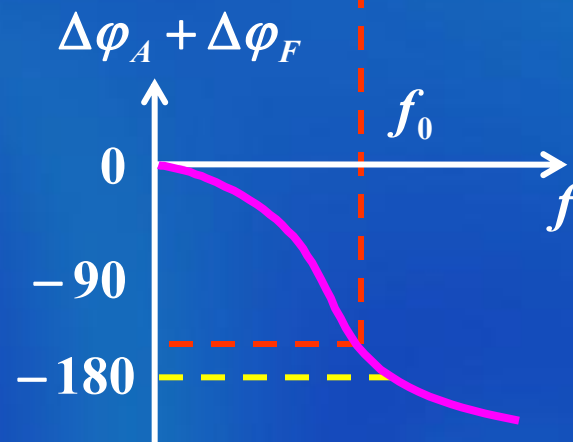
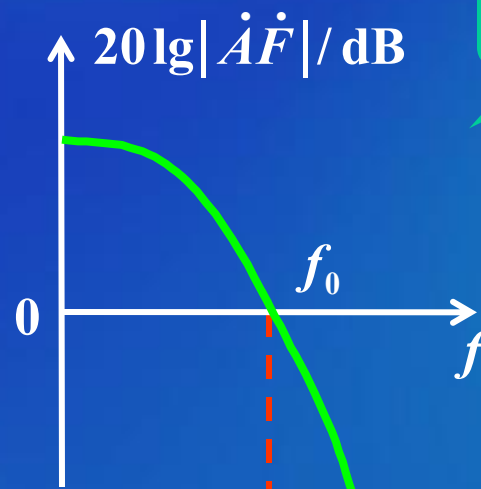
电路1



不稳定



电路2

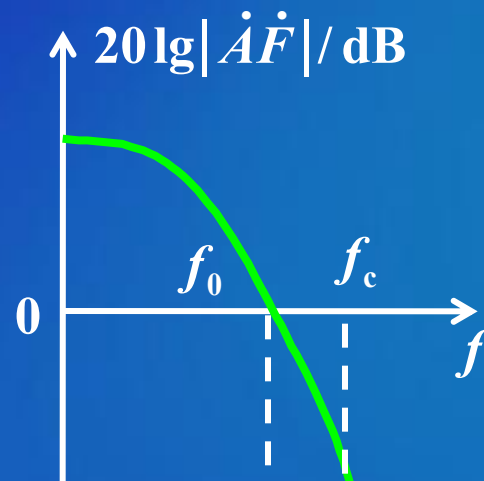
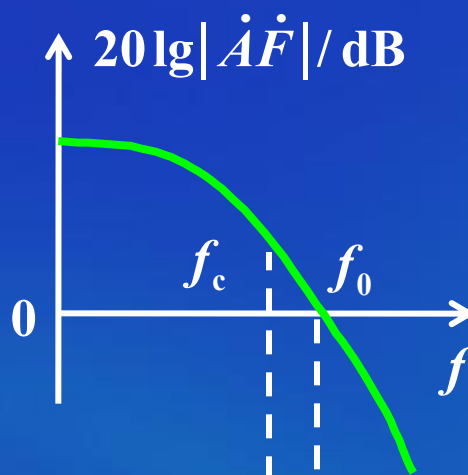


稳定

(3) 根据 f_c 和 f_0 的位置判断

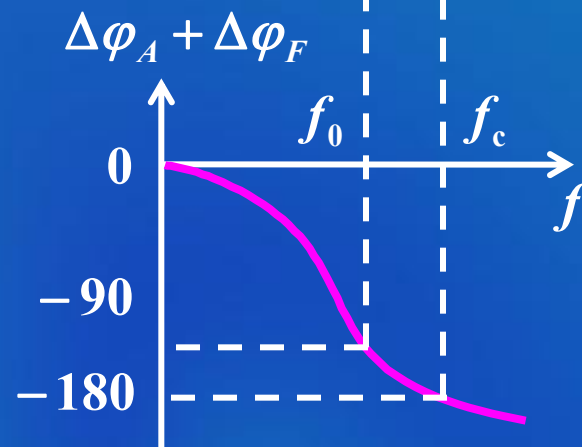
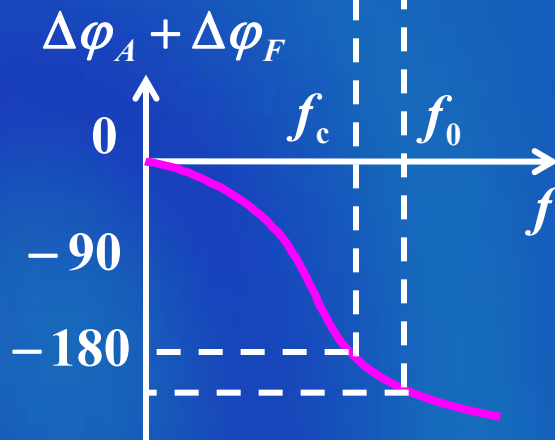
a. 当 $f_c < f_0$ 时

电路不稳定



b. 当 $f_c > f_0$ 时

电路稳定



2. 稳定裕度

(1) 幅度裕度 $G_m(\text{dB})$

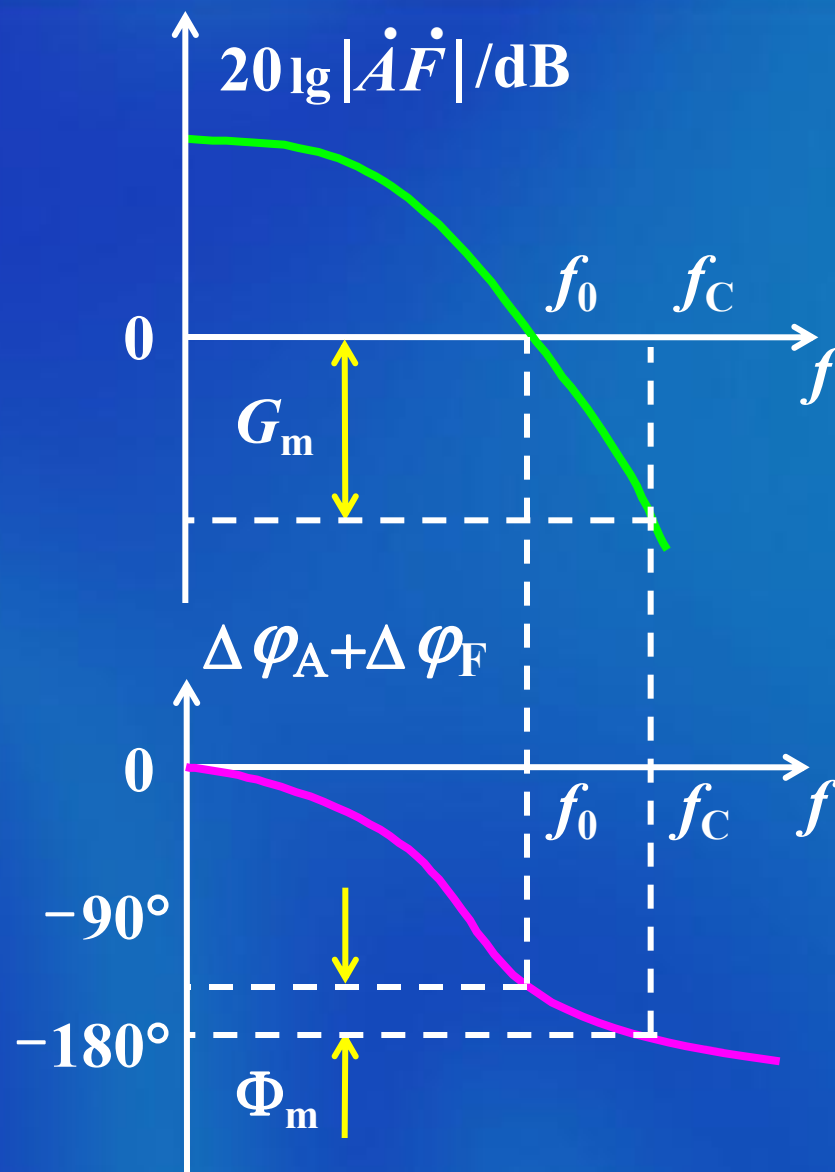
要求

$$G_m = 20 \lg |AF|_{f=f_c} (\text{dB})$$
$$\leq -10(\text{dB})$$

(2) 相位裕度 Φ_m

要求

$$\Phi_m = 180^\circ - |\Delta\varphi_A + \Delta\varphi_F|_{f=f_0}$$
$$> 45^\circ$$



6.4.3 消除自激振荡的方法——相位补偿

相位补偿的思想：

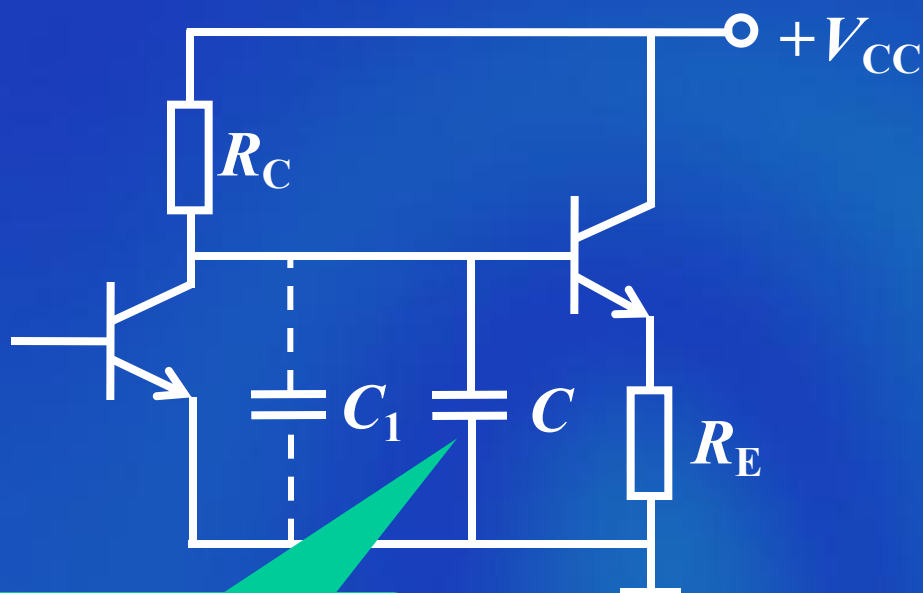
在放大电路中加入 RC 相位补偿网络，使其具有足够的幅度裕度 G_m 和相位裕度 φ_m 。

相位补偿方法 { 滞后补偿
超前补偿

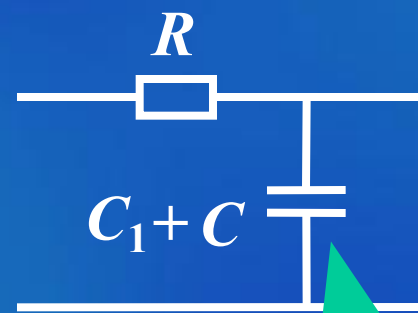
1. 滞后补偿

(1) 补偿方法

在多级放大电路中的上限截止频率最低的一级放大电路中加入 RC 网络。



补偿电容 C



补偿网络等效电路

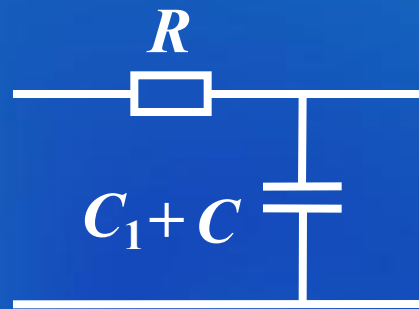
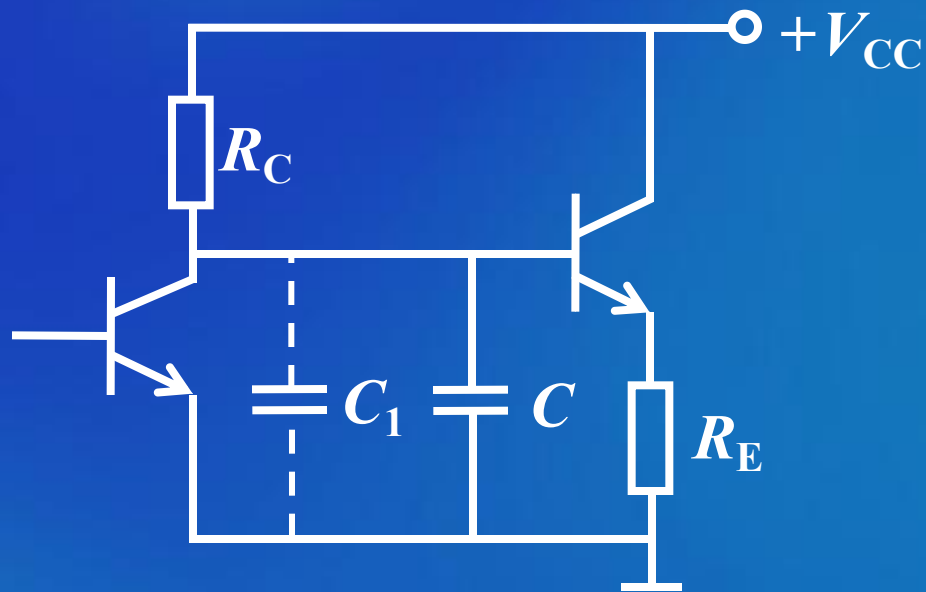
(2) 补偿前后, 该级电路的上限截止频率

补偿前

$$f_{H1} = \frac{1}{2\pi R C_1}$$

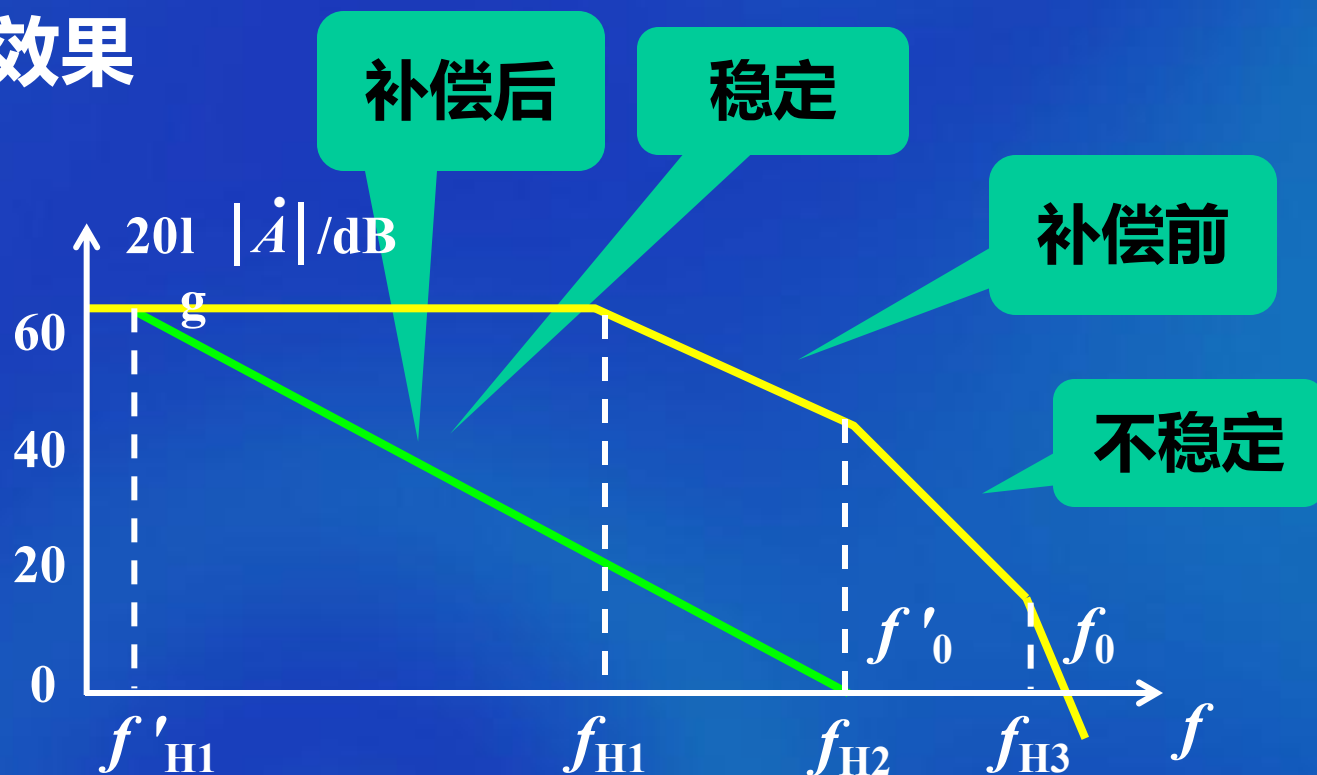
补偿后

$$f'_{H1} = \frac{1}{2\pi R (C_1 + C)}$$



(3) 补偿效果

幅
频
特
性



由于电容的并入使滞后的附加相移更加滞后，所以称为滞后补偿。

2. 超前补偿

(1) 补偿方法

在反馈网络中加入补偿电容 C ，使 $\Delta\varphi_F > 0$ ，以补偿滞后附加相移 $\Delta\varphi_A$ ($\Delta\varphi_A < 0$)。使

$$|\Delta\varphi_A + \Delta\varphi_F|_{f=f_0} < 180^\circ$$

(2) 补偿电路

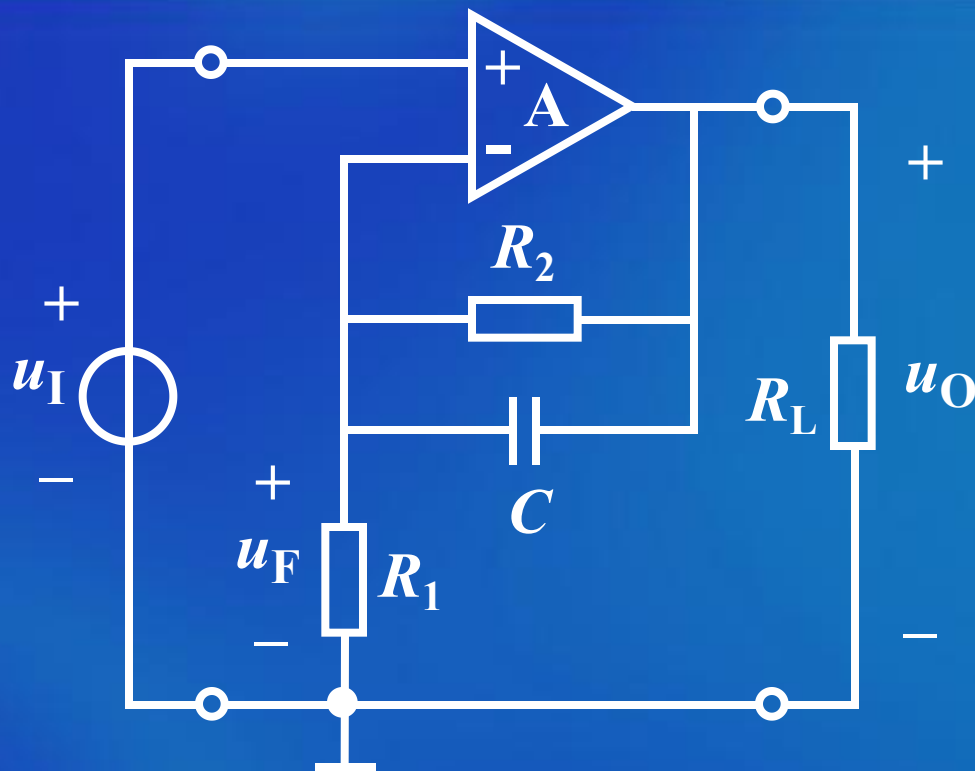
(3) 反馈系数

$$\dot{F} = \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_0}$$

$$= \frac{R_1}{R_1 + \frac{R_2}{1 + j\omega CR_2}}$$

$$= \frac{R_1}{R_1 + R_2} \frac{1 + j\omega CR_2}{1 + j\omega C(R_1 // R_2)} = F_0 \frac{1 + j\frac{f}{f_2}}{1 + j\frac{f}{f_1}}$$

补偿电路



式中

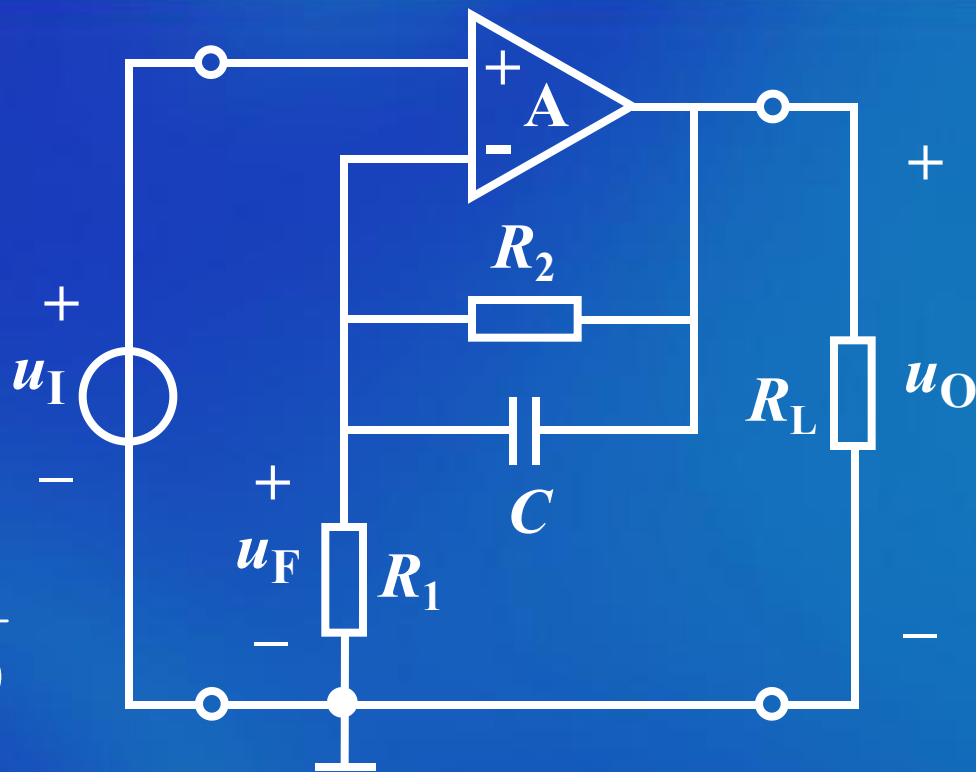
$$\dot{F} = F_0 \frac{1 + j \frac{f}{f_2}}{1 + j \frac{f}{f_1}}$$

$$F_0 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi C(R_1 // R_2)}$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi C R_2}$$

由于 $f_2 < f_1$



反馈放大电路具有超前附加相移

本章小结

反馈和负反馈放大电路

反馈类型
的判别

负反馈对
放大电路
的影响

深度负反
馈的近似
计算

自激振荡
与消除

上页

下页

后退