



§ 6.4 负反馈放大器的 分析方法

郭圆月
2022年11月21日





§ 6.4 负反馈放大器的分析方法

§6.1 概述

§6.2 单环方框图分析方法

§6.3 深度负反馈放大器

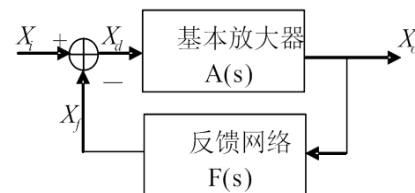




1. 概述

1. 模型法（等效电路法）

- 建立 **交流等效电路**，求解节点或回路方程，分析电路交流性能；
- 要求 **电路单向化**，单级负反馈放大器简单；多级负反馈放大器较为复杂，且负反馈的物理含义较难反映；



2. 方框图法：

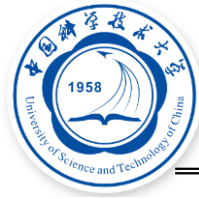
- 把负反馈放大器 A_f 分解为基本放大器 A 和反馈网络 F 两个方框；先 **开环分析处理、求出** 基本放大电路 A 及其动态参数、反馈网络系数 F 和反馈深度 D ，然后 **闭环求解** 负反馈放大电路 A_f 及其动态参数。

$$\dot{A} \quad R_i \quad R_o \quad f_L \quad f_H \quad f_{bw} \rightarrow 1 + \dot{A}\dot{F} \rightarrow \dot{A}_f \quad R_{if} \quad R_{of} \quad f_{Lf} \quad f_{Hf} \quad f_{bwf}$$

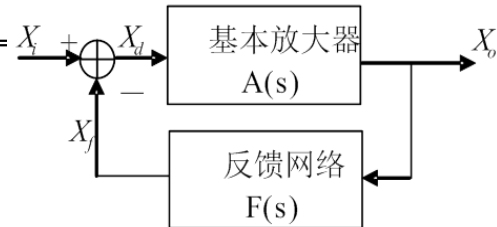
\uparrow
 \dot{F}

→ 各物理量反馈前后的性质变化可以得到明显表示。





2. 理想单环方框图分析方法



■ 前提条件

- 电路能够明显划分成基本放大器 A 和反馈网络 F ，并要求它们分别具有独立的电路性能；
- 信号只能单向传输，即在基本放大器和反馈网络中，信号只能按箭头单向传输；

■ 基本假定

- 基本放大器 A 的正向传输远大于反馈网络 F 的正向传输；
- 基本放大器 A 的反向传输远小于反馈网络 F 的反向传输；

➡ 不同的反馈类型，对负反馈放大器套用相应的等效电路模型。





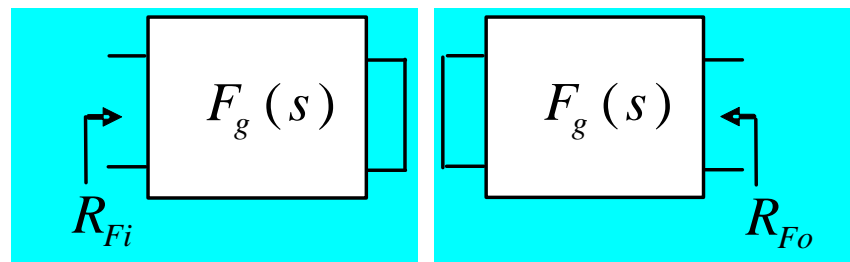
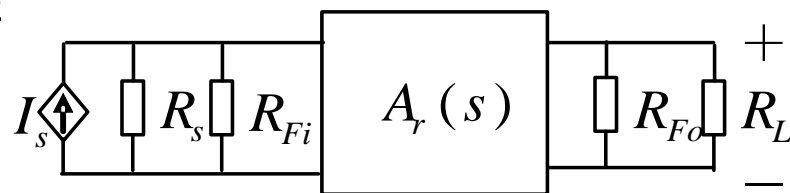
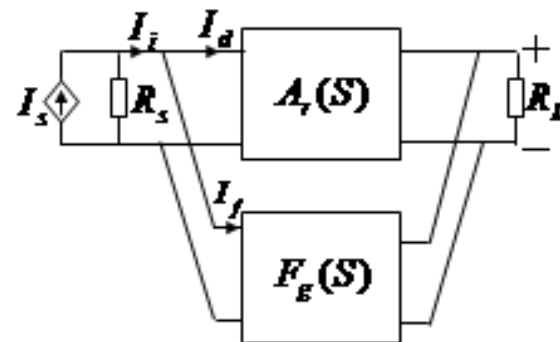
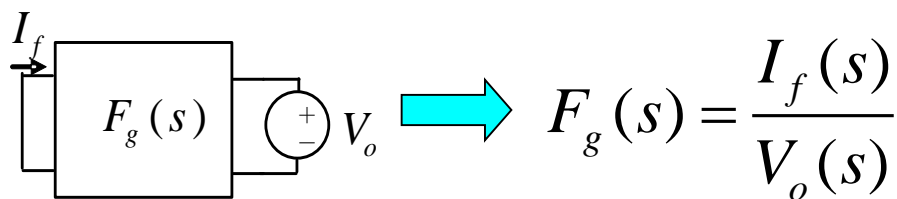
(1) 电压并联负反馈

➤ 先开环分解、处理基本放大器 A 和反馈网络 F ，再用基本反馈方程式闭环计算性质；

➤ 反馈网络 F “负载效应”：求输入端负载时，令输出量为0；求输出端负载时，输入量为0

➤ 输出端为并联方式应短路；输入端同样为并联方式，也为短路。

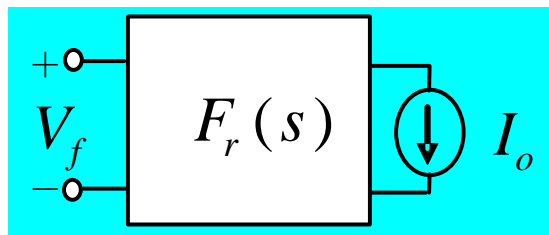
➤ 反馈网络系数 F ：



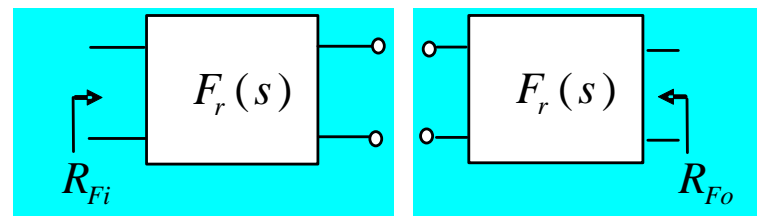
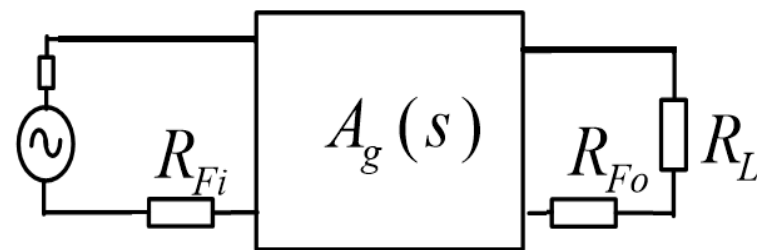
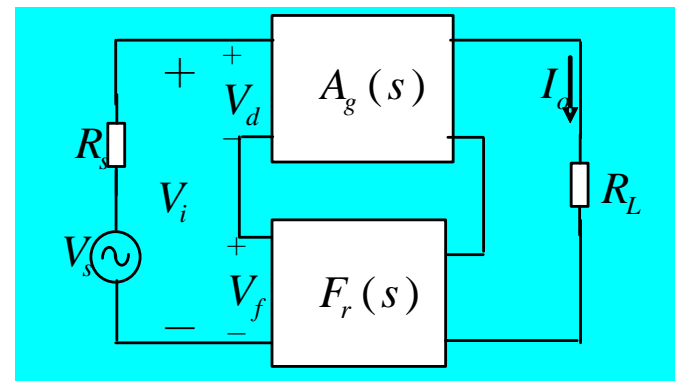


(2) 电流串联负反馈

- 开环 F 负载等效：输入、输出是串联方式，所以 F 的等效负载串接于基本放大器中；
- 同时另外一端的处理串联作开路。
- 反馈网络系数 F ：在网络的输入端加入电流、得到输出端的开路电压。



$$F_r(s) = \frac{V_f(s)}{I_o(s)}$$



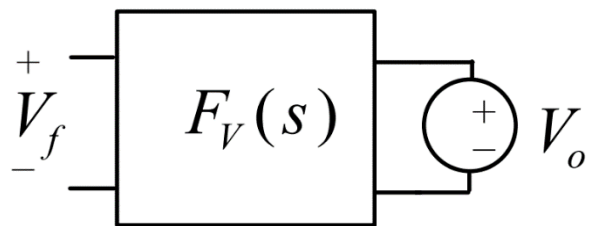


(3) 电压串联负反馈

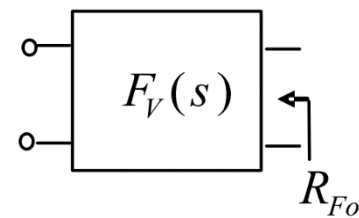
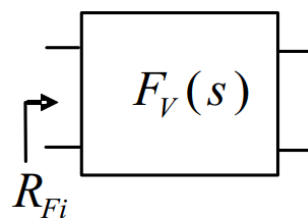
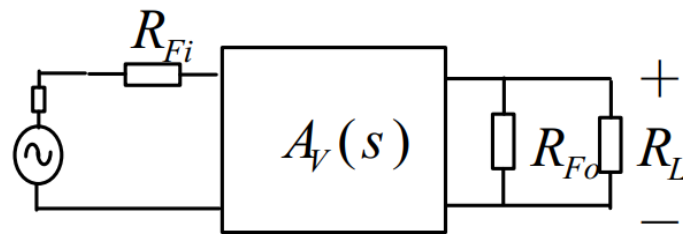
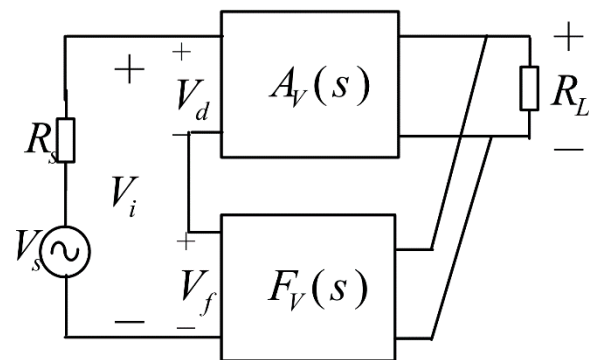
➤ 开环 F 负载等效：输入是串联方式、输出

并联方式于基本放大器中；

➤ 反馈网络系数 F ：在网络的输入端加入电压、得到输出端的开路电压。



$$F_V(S) = \frac{V_f(S)}{V_o(S)}$$



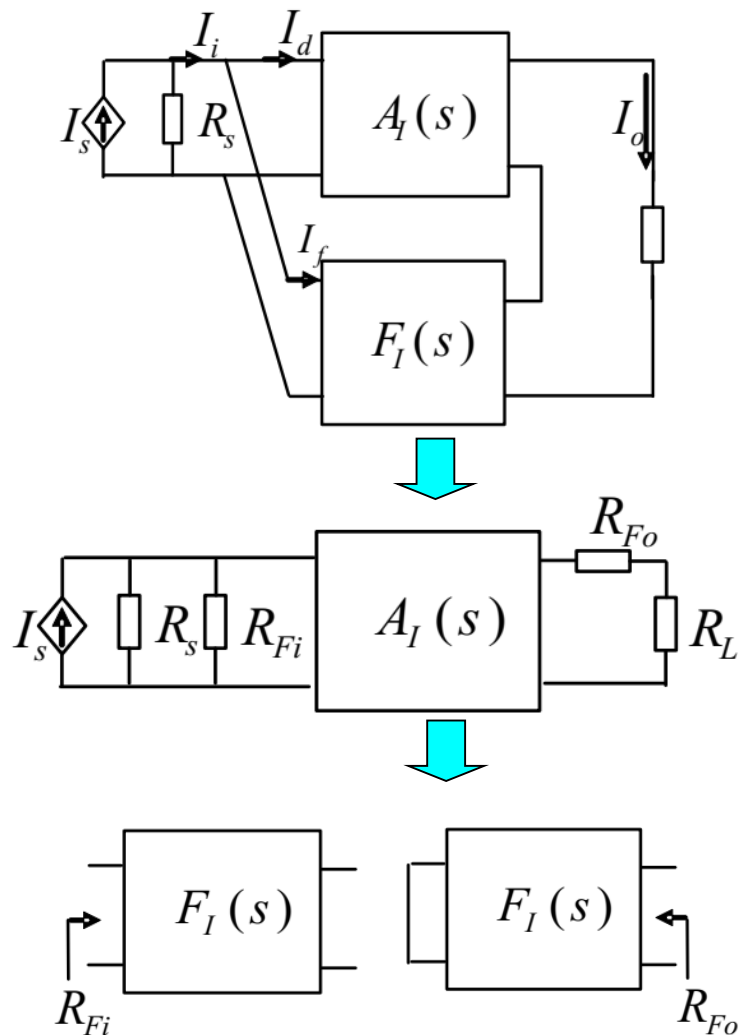
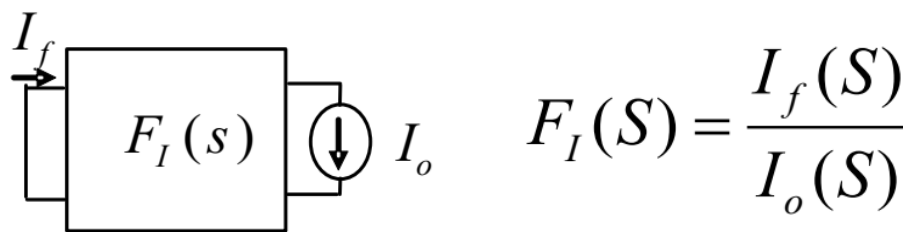


(4) 电流并联负反馈

➤ 开环 F 负载等效：输入是并联方式、输出

串联方式于基本放大器中；

➤ 反馈网络系数 F ：在网络的输入端加入电流、得到输出端的短路电流。





(5) 方框图法分析具体步骤

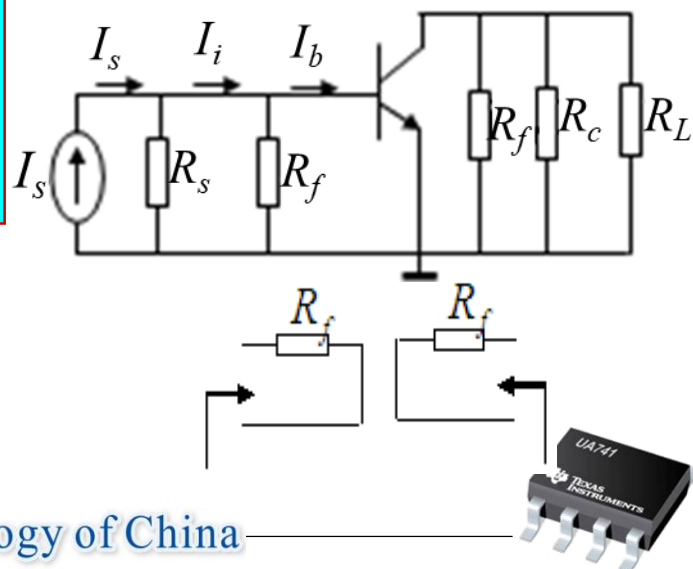
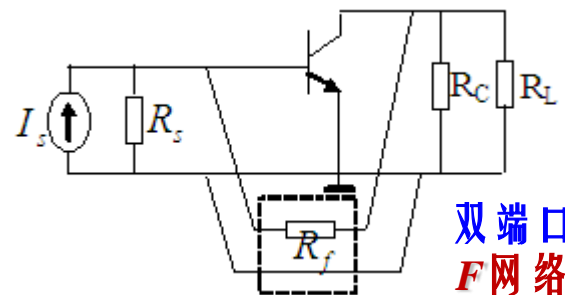
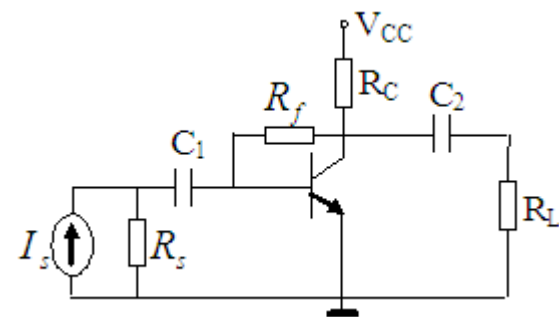
① 划分A/F，判断反馈类型，处理环外电阻：

电压并联负反馈，传输函数为 A_r 、 F_g ， R_c 不是环外电阻。

② 求A网络开环性质；F网络负载作用，求 R_{fi} 和 R_{fo} ，开环交流通路图；

$$A_r = \frac{V_o}{I_i} = -\frac{\beta i_B (R_C \parallel R_L \parallel R_f)}{i_B \cdot \frac{R_f + h_{ie}}{R_f}} = -\frac{\beta (R_C \parallel R_L \parallel R_f) \cdot R_f}{R_f + h_{ie}}$$

$$A_{rs} = \frac{V_o}{I_s} = -\frac{\beta (R_C \parallel R_L \parallel R_f) \cdot (R_f \parallel R_s)}{(R_f \parallel R_s) + h_{ie}}$$

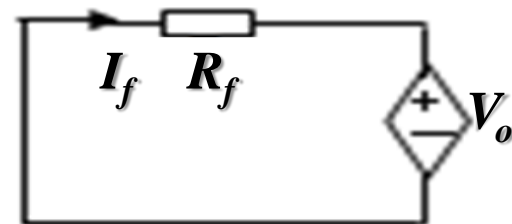




(5) 方框图法分析步骤

③求 F 网络函数: $F_{g(S)}$ 为电流除以电压, 即电压作用下的短路电流。

$$F_g(S) = \frac{I_f(S)}{V_o(S)} = -\frac{1}{R_f}$$



④求反馈深度 D :

$$D = 1 + A_r F_g$$

$$D_s = 1 + A_{rs} F_g$$

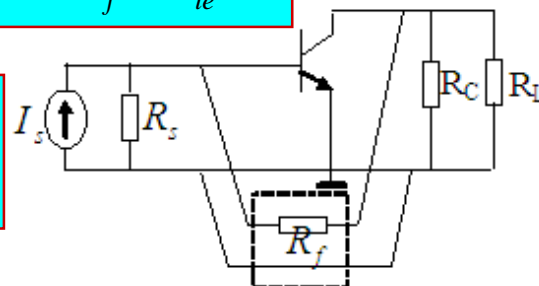
$$D = 1 + \frac{\beta(R_C \parallel R_L \parallel R_f)}{R_f + h_{ie}}$$

⑤求闭环性质:

$$A_{rf} = \frac{A_r}{D}$$

$$R_{if} = \frac{R_i}{D}$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{(D_s)_\infty}$$



⑥求负反馈放大器电压、电流增益性质:

$$A_{vsf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{(\frac{R_s + R_{if}}{R_{if}}) V_i} = \frac{R_{if}}{R_s + R_{if}} \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_{if}}{R_s + R_{if}} \frac{V_o}{I_i R_{if}} = \frac{1}{R_s + R_{if}} \frac{V_o}{I_i} = \frac{1}{R_s + R_{if}} A_{rf}$$

$$A_{if} = \frac{I_o}{I_i} = \frac{V_o}{R_L \cdot I_i} = \frac{A_{rf}}{R_L}$$





3. 深度负反馈放大器

■ 深度负反馈条件及其推论

$$A(s)F(s) \gg 1$$

$$\Rightarrow D \gg 1 \Rightarrow X_i \gg X_d \Rightarrow X_f \approx X_i$$

■ 闭环增益：

$$A_f(s) = \frac{A(s)}{1 + A(s)F(s)} \approx \frac{A(s)}{A(s)F(s)} = \frac{1}{F(s)}$$

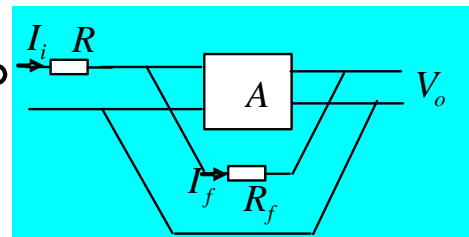
■ 深度负反馈放大器，只需求反馈网络即可得到闭环放大器的增益，但由于没有主网络性质，放大器的很多其它性质无法求，只能求一部分性质。





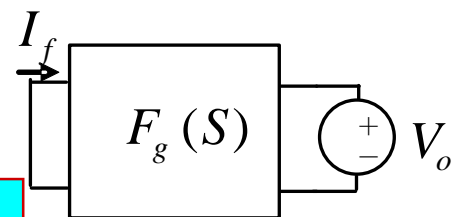
举例

例：已知网络满足深度负反馈条件，求 A_{vf} 和 R_{if} 。



解：电压并联负反馈，为 A_r 、 F_g ， R 为环外电阻；

$$F_g = \frac{I_f}{V_o} = -\frac{1}{R_f} \Rightarrow A_{rf} = \frac{1}{F_g} = -R_f$$



$$V_i = I_i R + I_f R_f + V_o = I_i (R + R_f) + V_o$$

$$= \frac{V_o}{A_{rf}} \cdot (R + R_f) + V_o = V_o \left(-\frac{R + R_f}{R_f} + 1 \right) = -\frac{R}{R_f} V_o$$

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R}$$

$$R_{if} = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{V_o} \cdot \frac{V_o}{I_i} = \frac{A_{rf}}{A_{vf}} = R$$



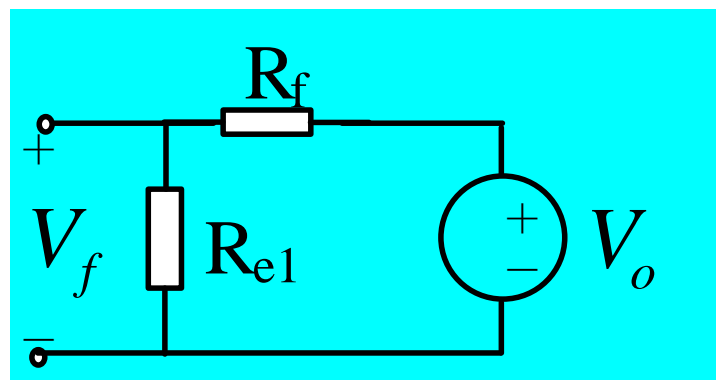
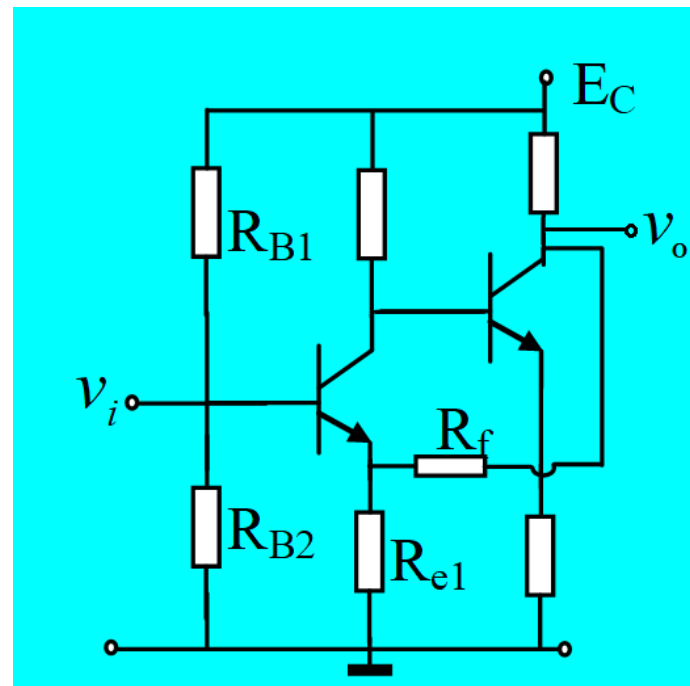
举例

例：求深度负反馈放大器的闭环电压增益

解：判断反馈类型为电压串联负反馈，

$$F_V = \frac{V_f}{V_o} = \frac{R_{e1}}{R_f + R_{e1}}$$

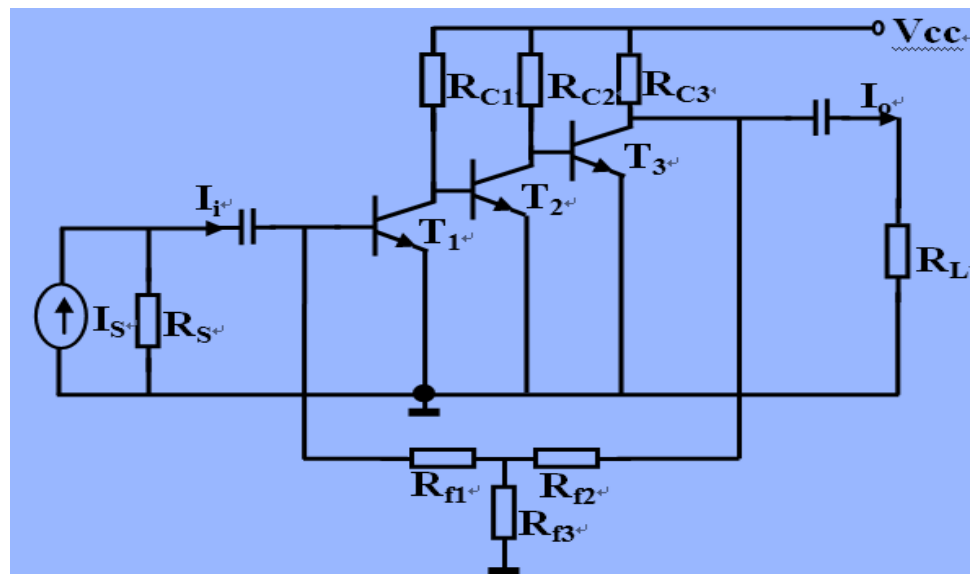
$$\Rightarrow A_{Vf} = \frac{1}{F_V} = 1 + \frac{R_f}{R_{e1}}$$





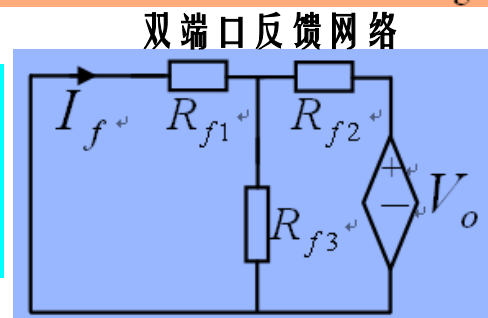
典型题解——深度负反馈的估算

例：右图所示放大器满足深度负反馈条件，判断反馈类型并写出电路的电流放大倍数 $A_{If} = \frac{I_o}{I_i}$ 的表达式？



解：反馈类型为电压并联负反馈，满足基本反馈方程式的函数为 A_r 、 F_g 。

$$A_{rf} = \frac{V_o}{I_i} \quad F_g = \frac{I_f}{V_o} = -\frac{R_{f3}}{R_{f1}R_{f2} + R_{f2}R_{f3} + R_{f1}R_{f3}}$$



$$A_{If} = \frac{I_o}{I_i} = \frac{V_o}{R_L} \cdot \frac{1}{I_i} = \frac{A_{rf}}{R_L} \approx -\frac{1}{R_L} \cdot (R_{f1} + R_{f2} + \frac{R_{f1}R_{f2}}{R_{f3}})$$

$A_{I_s f}$?





典型例题

例题：由三极管和理想运放组成的反馈放大器如图所示，

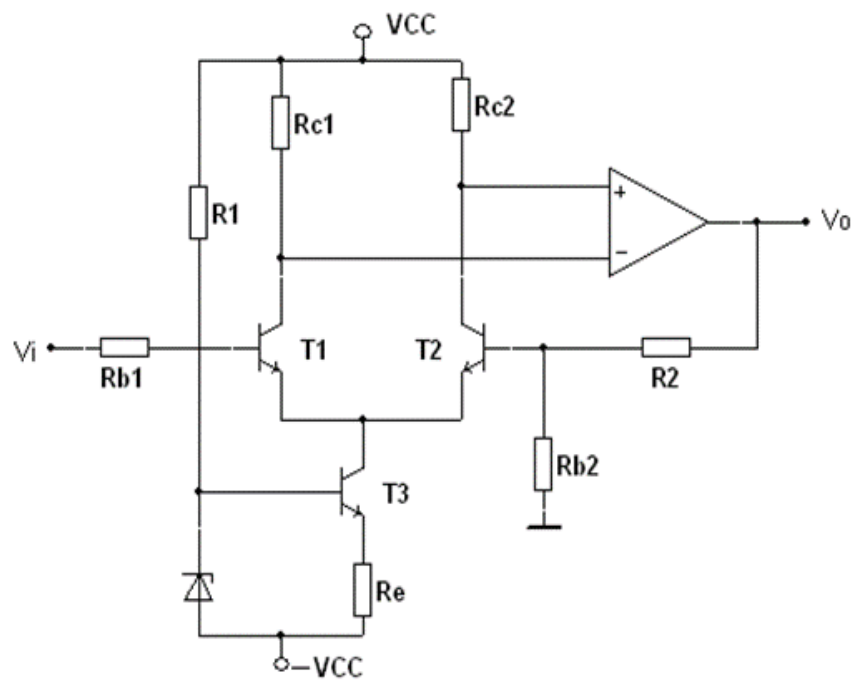
(1) 指出其中的反馈支路，并判断反馈类型；

(2) 在深度负反馈的假定下，求放大器的电压增益。

解：(1) 反馈支路是 R_2 和 R_{b2} ，输出端电压采样，输入端为串联反馈。

$$(2) F_V = \frac{R_{b2}}{R_{b2} + R_2}$$

$$A_{Vf} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{F_V} = \frac{R_{b2} + R_2}{R_{b2}}$$





典型例题

[例] 已知 $R_1 = 10\text{K}\Omega$, $R_2 = 100\text{K}\Omega$, $R_3 = 2\text{K}\Omega$, $R_L = 5\text{K}\Omega$ 。求解在深度负反馈条件下的 A_{uf} 。

解：反馈支路： R_3 、 R_2 与 R_1

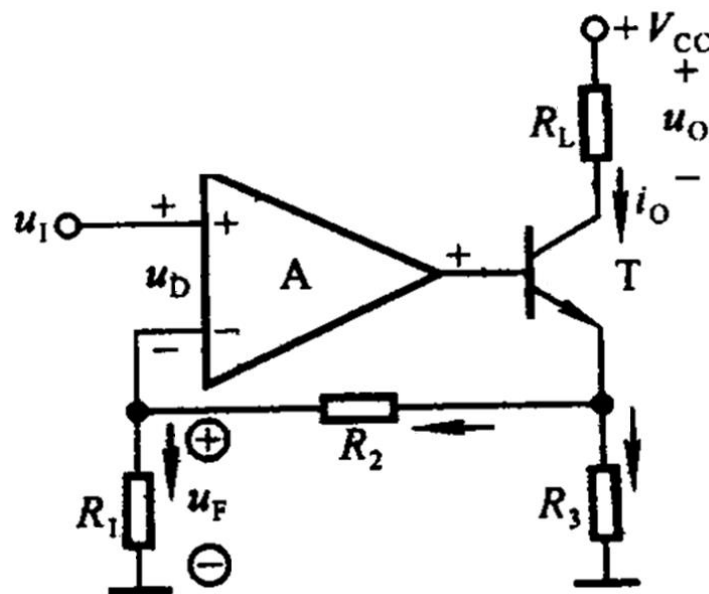
电路引入电流串联负反馈

$$\dot{I}_{R1} = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot \dot{I}_0$$

$$\dot{U}_f = \dot{I}_{R1} R_1 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot \dot{I}_0 R_1$$

$$\dot{F}_{ui} = \frac{\dot{U}_f}{\dot{I}_0} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$\dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_0}{\dot{U}_i} = \frac{\dot{I}_0 R_L}{\dot{U}_f} \approx \frac{R_L}{F_{ui}} = \frac{(R_1 + R_2 + R_3) R_L}{R_1 R_3} = 30$$





§ 6.5 负反馈放大电路的稳定性

- 一、自激振荡产生的原因及条件
- 二、负反馈放大电路稳定性的分析
- 三、负反馈放大电路稳定性的判断
- 四、消除自激振荡的方法

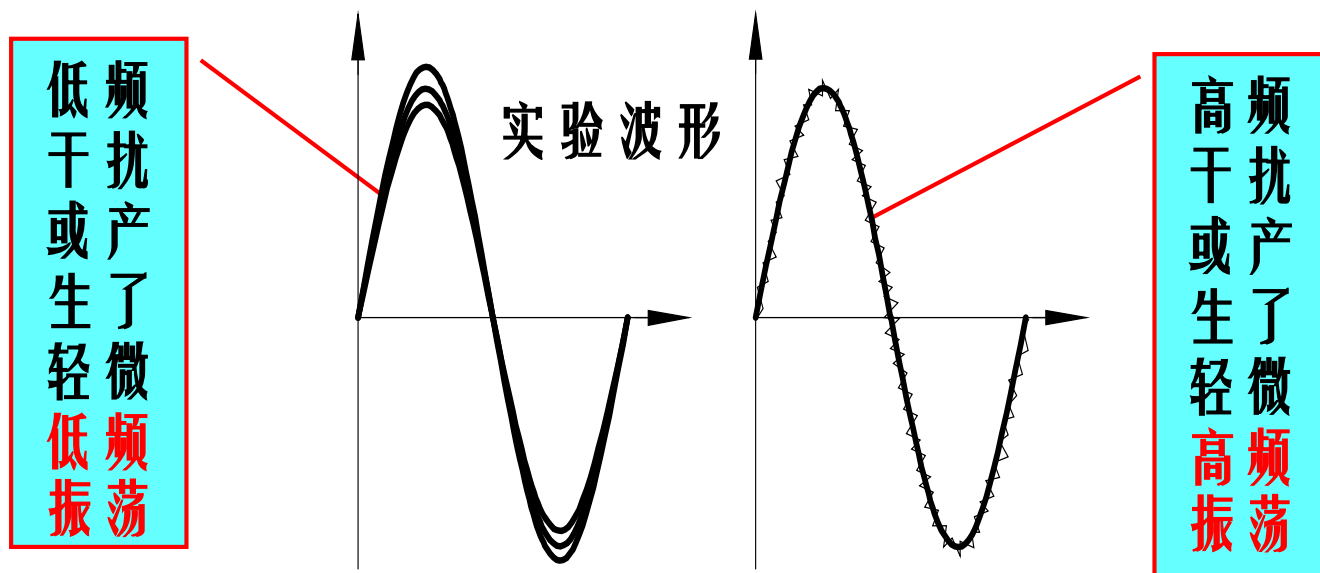


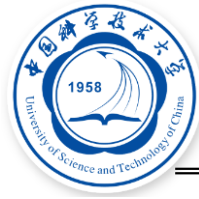


一、自激振荡产生的原因及条件

1. **现象**：输入信号为0时，输出有一定幅值、一定频率的信号，称电路产生了自激振荡。

----负反馈放大电路自激振荡的频率在**低频段或高频段**。

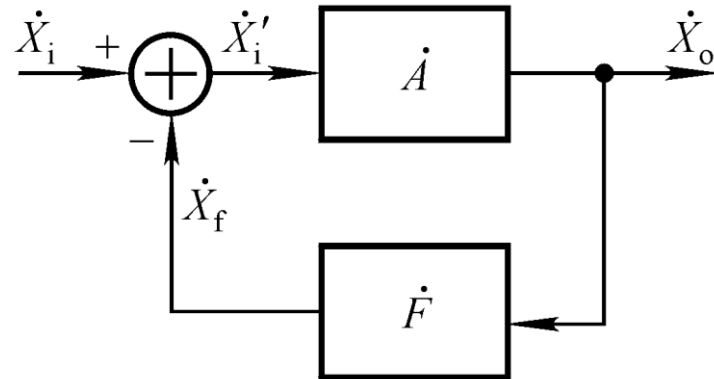




2. 原因

- 在低或高频段，若存在一个频率 f_0 ，且当 $f=f_0$ 时，附加相移为 $\pm\pi$ ，使原本设计在中频的负反馈变为正反馈，从而导致放大器自激。

$$|\dot{X}_i'| = |\dot{X}_i| + |\dot{X}_f|$$



- 在电扰动下，如合闸通电，必含有频率为 f_0 的信号，对于 $f=f_0$ 的信号，产生正反馈过程

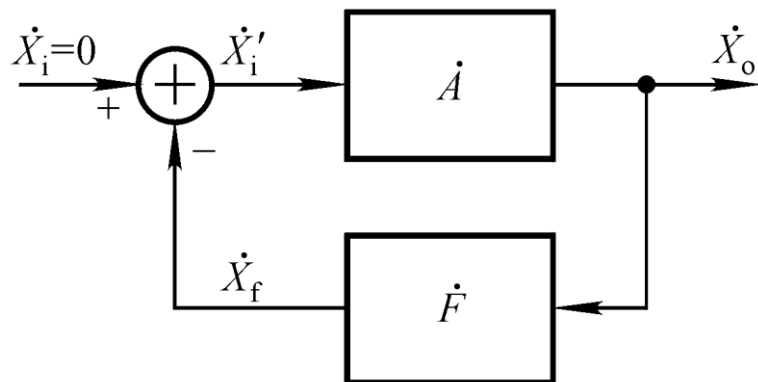
$$|\dot{X}_o| \uparrow \rightarrow |\dot{X}_f| \uparrow \rightarrow |\dot{X}_i'| \uparrow \rightarrow |\dot{X}_o| \uparrow \uparrow$$

- 输出量逐渐增大，直至达到动态平衡，电路产生了自激振荡。





3. 自激振荡的临界条件



$\dot{X}_i = 0$ 时, \dot{X}_o 维持 \dot{X}_o 。

$$\dot{X}_o = -\dot{A}\dot{F}\dot{X}_o$$

自激振荡临界条件

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



$$\begin{cases} |\dot{A}\dot{F}| = 1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \varphi_A + \varphi_F = (2n+1)\pi \end{cases} \quad (n \text{ 为整数})$$

幅值平衡条件

相位平衡条件

■ 由于电路通电后输出量有一个从小到大直至稳幅的过程, **起振条件**为

$$|\dot{A}\dot{F}| > 1$$





二、负反馈放大电路的稳定性分析

■ 设反馈网络 F 为电阻网络，基本放大电路 A 为直接耦合。

① 附加相移由基本放大电路 A 决定；

② 振荡只可能产生在高频段。

➤ 对于单管单极点放大电路：

$$f \rightarrow \infty \text{ 时, } \varphi_A' \rightarrow -90^\circ, |\dot{A}| \rightarrow 0$$

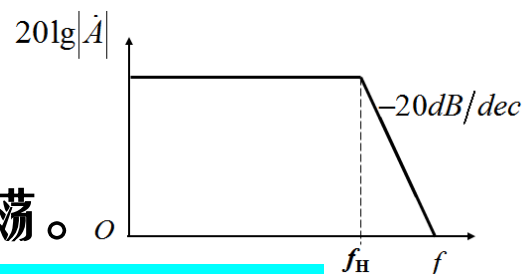
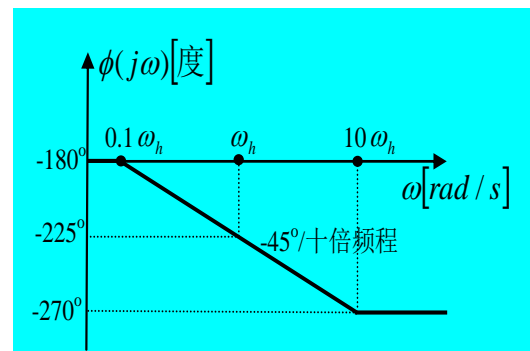
因没有满足相位条件的频率，故负反馈后不可能振荡。

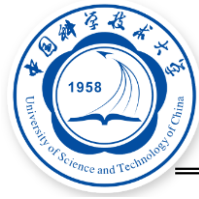
➤ 对于两级放大电路： $f \rightarrow \infty \text{ 时, } \varphi_A' \rightarrow -180^\circ, |\dot{A}| \rightarrow 0$

因没有满足幅值条件的频率，故引入负反馈后不可能振荡。

➤ 对于三级放大电路： $f \rightarrow \infty \text{ 时, } \varphi_A' \rightarrow -270^\circ, |\dot{A}| \rightarrow 0$

对于产生 -180° 附加相移的信号频率，有可能满足起振条件，故引入负反馈后可能振荡。



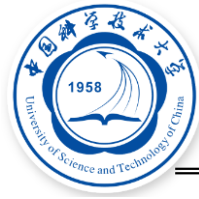


二、负反馈放大电路的稳定性分析

■ 什么样的放大电路引入负反馈后容易产生自激振荡？

- 三级或三级以上放大电路引入负反馈后有可能产生**高频振荡**；同理，耦合电容、旁路电容等为三个或三个以上的放大电路，引入负反馈后有可能产生**低频振荡**。
- 环路放大倍数 **AF 越大**，越容易满足起振条件，闭环后越容易产生自激振荡。
- 放大电路的级数越多，耦合电容、旁路电容越多，引入的**负反馈越深**，产生自激振荡的可能性越大。
- 中频反馈深度的**矛盾**：放大器性能的改善需要一定的反馈深度；放大器的稳定性要求**必须控制反馈深度**；



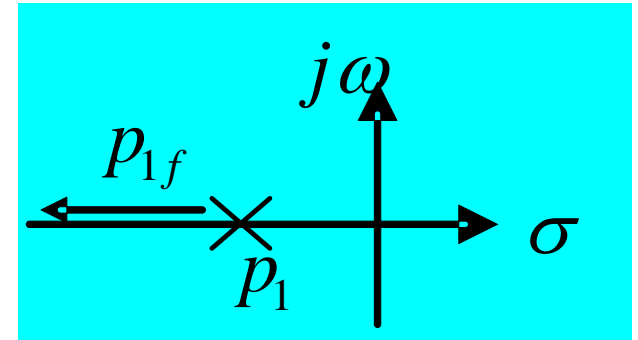


二、系统极点分布决定系统稳定性

■ 单极点系统

$$\begin{cases} A(s) = \frac{A_0}{1 - \frac{s}{p_1}} \Rightarrow \\ p_1 < 0 \end{cases}$$

$$A_f(s) = \frac{A(s)}{D(s)}$$



$$\Rightarrow D(s) = 1 + A(s)F_0 = 1 + \frac{A_0}{1 - \frac{s}{p_1}} F_0 = 0$$

$$\Rightarrow 1 + \frac{A_0 F_0 p_1}{p_1 - s} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{(1 + A_0 F_0) p_1 - s}{p_1 - s} = 0$$

$$\Rightarrow p_{1f} = (1 + A_0 F_0) p_1 = D_0 p_1$$

结论:单极点系统无论反馈深度多大,系统仍将稳定.





二、系统极点分布决定系统稳定性

■ 双极点系统

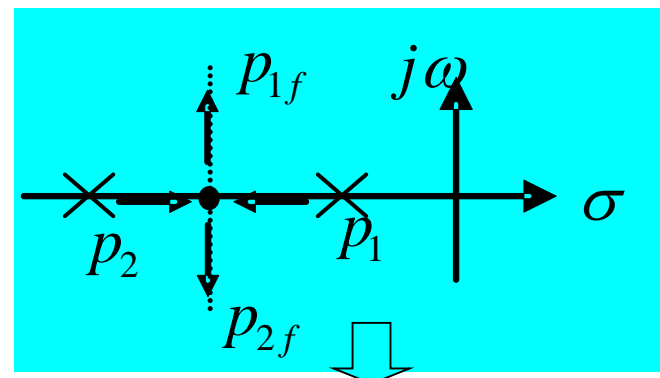
$$\begin{cases} A(s) = \frac{A_0}{(1 - \frac{s}{p_1})(1 - \frac{s}{p_2})} \\ p_1, p_2 < 0 \end{cases}$$

$$A_f(s) = \frac{A(s)}{D(s)}$$

$$\Rightarrow D(s) = 1 + \frac{A_0}{(1 - \frac{s}{p_1})(1 - \frac{s}{p_2})} F_0 = 0$$

$$\Rightarrow p_{1f}, p_{2f} = \frac{p_1 + p_2}{2} (1 \pm \sqrt{1 - \frac{4D_0 p_1 p_2}{(p_1 + p_2)^2}})$$

$$D_0 = 1 \text{ 时 } p_{1f} = p_1, p_{2f} = p_2$$



$$\frac{4D_0 p_1 p_2}{(p_1 + p_2)^2} = 1 \text{ 时两极点相等, } p_{1f}, p_{2f} \text{ 重合为 } \frac{p_1 + p_2}{2}$$

结论：双极点系统无论反馈深度D多大，系统仍将稳定。

$$\frac{4D_0 p_1 p_2}{(p_1 + p_2)^2} > 1 \text{ 时 } p_{1f}, p_{2f} \text{ 为共轭复极点, 实部不变仍为 } \frac{p_1 + p_2}{2}, \text{ 虚部分开}$$





二、系统极点分布决定系统稳定性

■ 三极点系统:

$$A(s) = \frac{A_0}{(1 - \frac{s}{p_1})(1 - \frac{s}{p_2})(1 - \frac{s}{p_3})}$$

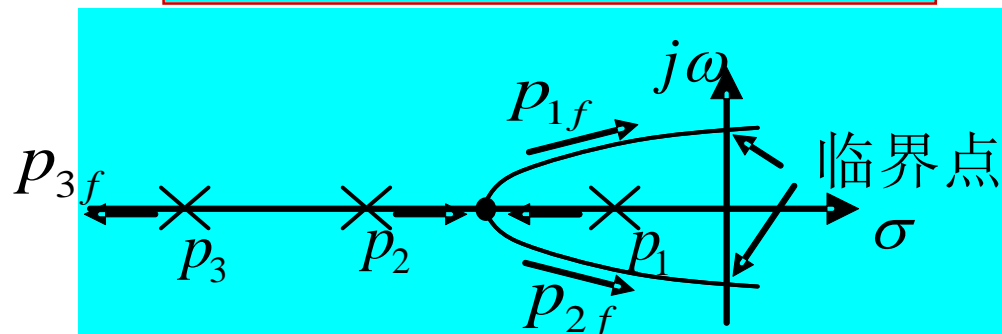
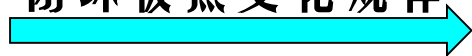
同理令

$$D(s) = 0$$

$$p_{1f} + p_{2f} + p_{3f} = p_1 + p_2 + p_3$$

$$p_{1f} p_{2f} p_{3f} = D_0 p_1 p_2 p_3$$

闭环极点变化规律



- 结论:对三极点及以上系统,当反馈深度大到某一值时,闭环极点就会进入右半平面,造成系统不稳定;
- D_0 取值必须受限。

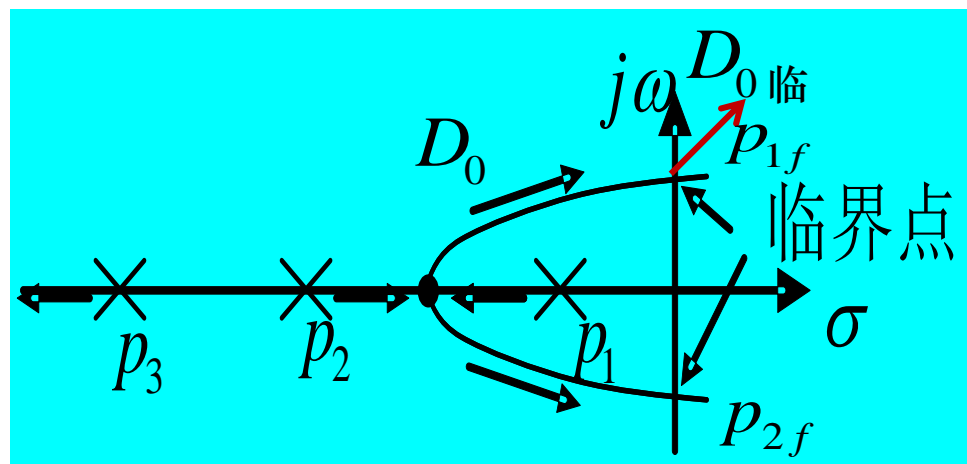




三、负反馈放大电路稳定性的判断

(1) 临界点法：

- 闭环极点 p_{if} 随 D_0 增大而向右半平面运动；
- 闭环极点刚好位于虚轴上的点为 **临界极点**，此时 $D_0 = D_{0\text{临}}$ 。



方法与步骤：

- ① 令 $D(s)|_{s=j\omega} = 0$ ，即 $D(S) = 0$ 和 $S = j\omega$ 的交点；
- ② 求出 **临界点** 处的 ω_0 和 $D_{0\text{临界}}$ ；
- ➡ ③ $D_0 < D_{0\text{临界}}$ 时，系统稳定； $D_0 > D_{0\text{临界}}$ 时，系统不稳定；





典型例题

例已知 $A(s) = \frac{A_0}{(s+1)(s+2)(s+3)}$, $F=F_0$, 试求使系统稳定时 D_0 应满足的条件。

$$\text{解: } D(s) \Big|_{s=j\omega} = 1 + A(s)F_0 \Big|_{s=j\omega} = 0$$

$$\Rightarrow (1+j\omega)(2+j\omega)(3+j\omega) + A_0F_0 = 0$$

$$\Rightarrow 6 + j11\omega - 6\omega^2 - j\omega^3 + A_0F_0 = 0$$

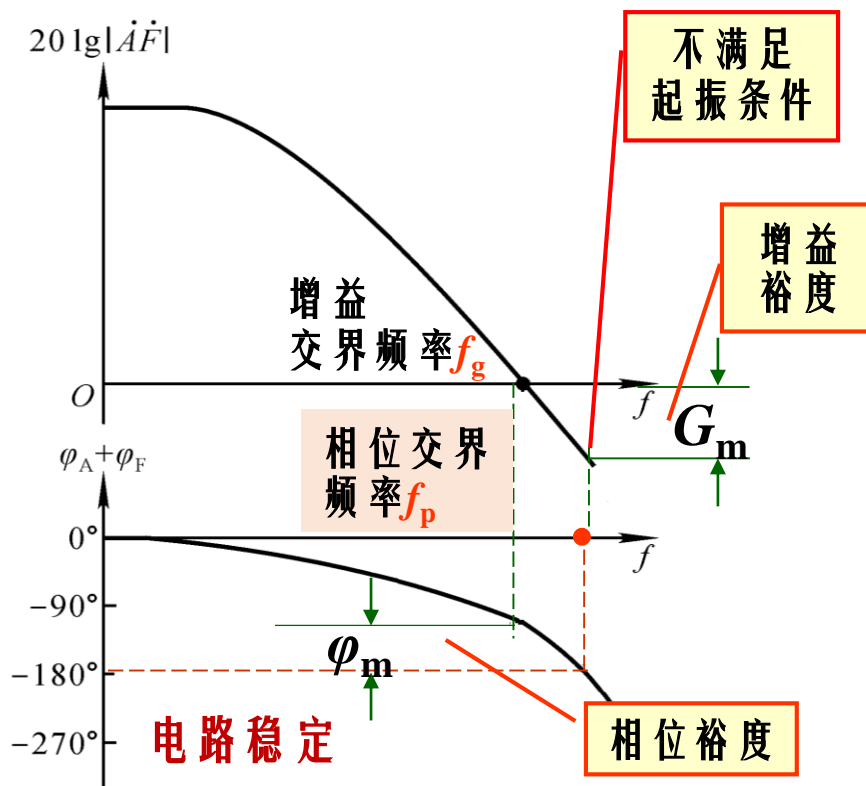
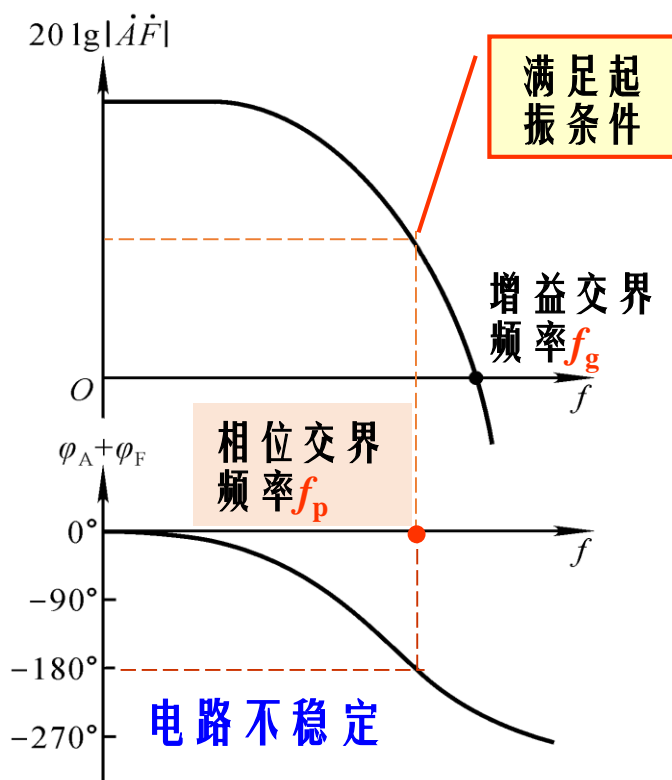
$$\Rightarrow \begin{cases} \omega_0 = \pm\sqrt{11}\text{rad} / s \\ A_0F_0 = 60 \Rightarrow D_{0\text{临}} = 61 \end{cases} \Rightarrow D_0 < 61$$





三、负反馈放大电路稳定性的判断

(2) 交界频率法：已知 $A\dot{F}$ 环路增益频率特性来判断闭环后电路稳定性。



➤ $f_p < f_g$ ，电路不稳定，自激振荡； $f_p > f_g$ ，电路稳定，无自激振荡。

➤ 当 $G_m \leq -10\text{dB}$ 且 $\varphi_m > 45^\circ$ ，才具有可靠的稳定性。





举例

已知 $A(s)F(s) = \frac{4}{(1+s)^3}$ ，试分析该系统的稳定性

解：方法一：令 $|AF| = \frac{4}{|(1+j\omega_g)^3|} = 1 \Rightarrow \omega_g = 1.23 \text{ rad/s}$

令 $\varphi_{AF}(j\omega_p) = -180^\circ \Rightarrow \omega_p = 1.73 \text{ rad/s}$ 由于 $\omega_g < \omega_p \Rightarrow$ 系统稳定

方法二：令 $|AF| = \frac{4}{|(1+j\omega_g)^3|} = 1 \Rightarrow \omega_g = 1.23 \text{ rad/s}$ \Rightarrow 相位裕度 $\gamma = 27.33^\circ$
 \Rightarrow 系统稳定。

$\varphi_{AF}(j\omega_g) = -3 \arctan \omega_g = -152.67^\circ$

方法三： $\varphi_{AF}(j\omega_p) = -180^\circ \Rightarrow \omega_p = 1.73 \text{ rad/s}$

$G_p = 0 - (-6 \text{ dB}) = 6 \text{ dB} > 0 \Rightarrow$ 系统稳定





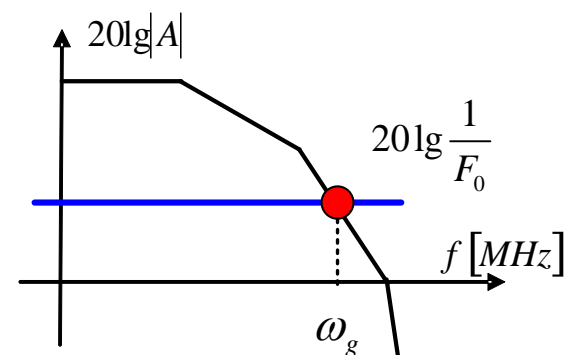
三、负反馈放大电路稳定性的判断

(3) 伯德图法：反馈网络为纯阻网络的负反馈放大器

■ 方法：第一种：已知 $A(S)$ ， $F=F_0$ ，

令 $|A(j\omega_g)| = \frac{1}{|F_0|}$ ，直接得出 **环路增益** ω_g ，其他

方法同上，也可用 *Bode* 图。



第二种：已知 $A(S)$ ，求 $F_{0\max}$

先用 $A(S)$ **相位伯德图** 求环路增益 ω_p ，并令 $\omega_g = \omega_p$ ，再由 **幅度伯德图** 得到：

$$|A(j\omega_g)| \longrightarrow F_{0\max} = \frac{1}{|A(j\omega_g)|}$$





举例

例：已知多级放大器的中频增益 $A_0=10^3$ ，三个极点的转角频率分别是 $f_1=1\text{MHz}$ $f_2=10\text{MHz}$ $f_3=100\text{MHz}$ 。

- (1) 写出该放大器的增益传递函数 $A(jf)$ 的表达式。
- (2) 若加纯阻反馈网络 $F_0=0.01$ ，判断电路能否稳定工作。
- (3) 若要求电路有的 60° 相位裕量，问 F_0 为多少。

解： (1)
$$A(jf) = \frac{10^3}{(1 + \frac{jf}{10^6})(1 + \frac{jf}{10^7})(1 + \frac{jf}{10^8})}$$





举例

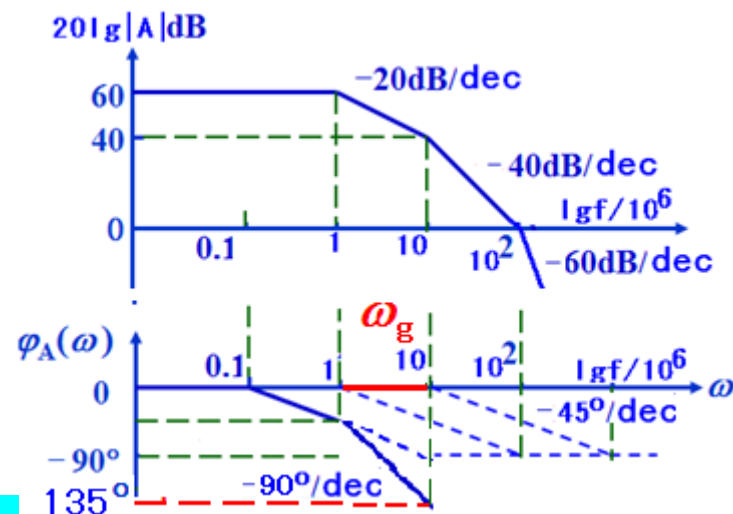
(2) 由 $F_0 = 0.01$, $20\lg \frac{1}{F_0} = 40dB$

$\Rightarrow |A(jf_g)| = \frac{1}{|F_0|}$

则由其右伯德图可以读出: $\Rightarrow f_g = 10MHz$

画出其附加相位图 φ_A , 可以读出:

$\Rightarrow \varphi_A(f_g) = -135^\circ \Rightarrow \gamma = 45^\circ$, 系统稳定



(3) 若 $\gamma = 60^\circ$, 则 $\varphi_A(f_g) = 120^\circ$ 故由附加相位图, $\varphi_A(f_g)$ 是前两个虚线值的叠加:

由 $\varphi_A(jf_g) = -45\lg \frac{f_g}{0.1} - 45\lg \frac{f_g}{1} = -120^\circ$, 得到 $f_g = 6.84MHz$

而此时 A 的幅度 $20\lg |A(jf_g)| = 60 - 20\lg \frac{6.84}{1} = 43.3dB$,

改写数值为 $A(jf_g) = 146.2 \Rightarrow F_0 = 0.0068$



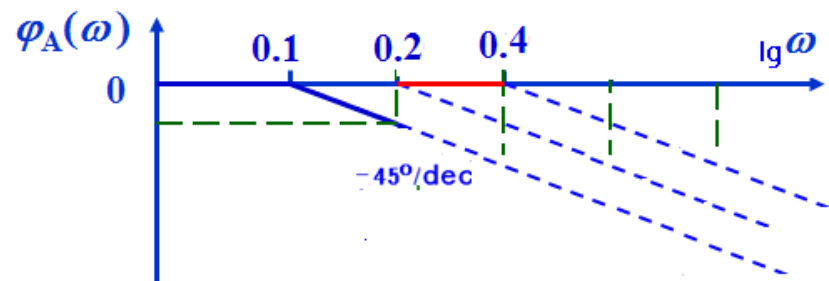


举例

已知 $A(s) = \frac{8 \times 10^2}{(s+1)(s+2)(s+4)}$, $F = F_0$, 试求使该系统稳定的 $F_{0\max}$

解(1)归一化整理得:

$$A(s) = \frac{10^2}{(1+\frac{s}{1})(1+\frac{s}{2})(1+\frac{s}{4})}$$



三个极点: $p_1 = -1$, $p_2 = -2$, $p_3 = -4$, 它们各自附加相位伯德图如上图:

$$\Rightarrow \varphi_A(j\omega_p) = -45\lg \frac{\omega_p}{0.1} - 45\lg \frac{\omega_p}{0.2} - 45\lg \frac{\omega_p}{0.4} = -180^\circ \Rightarrow \omega_p = 4.3 \text{ rad/s} < 10, \text{有效};$$

(3) 求 $F_{0\max}$

$$\text{令 } \omega_g = \omega_p, \text{ 则根据 } 20\lg |A(j\omega_g)| = 20\lg \left| \frac{1}{F_{0\max}} \right|$$

$$20\lg 10^2 - 20\lg \frac{4.3}{1} - 20\lg \frac{4.3}{2} - 20\lg \frac{4.3}{4} \approx 20\text{dB} \Rightarrow F_{0\max} = 0.1 = -20\text{dB}$$





本章小结

■ 负反馈的概念

- 熟悉负反馈的基本定义、反馈极性和四种反馈类型；
- 熟悉单环负反馈放大器的理想模型；
- 熟悉负反馈放大器的交流性能指标的定义；
- 牢记基本反馈方程式，熟练掌握各种反馈类型中满足该式的增益函数类型；
- 熟悉负反馈对放大电路各种性能的影响；





本章小结

■ 负反馈放大器的交流分析

- 牢记各种反馈类型所对应的求解 F 网络反馈函数的等效电路模型；

■ 深度负反馈放大器的交流分析

- 理解深度负反馈的作用；
- 牢记深度负反馈条件及其推论；
- 熟悉深度负反馈放大器的分析方法和分析步骤；





本章小结

■ 负反馈放大器的稳定性分析

- 掌握产生自激振荡的临界条件；
- 熟悉相位交界频率与增益交界频率的定义；
- 熟悉相位裕量和增益裕量的定义；
- 掌握临界值法、交界频率、稳定裕量及波特图方法分析负反馈放大器的稳定性。

