



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

§ 6.3 负反馈对放大器 性能的影响

lugh@ustc.edu.cn

2016年11月29日

提纲

1. 改善增益稳定性
2. 扩展带宽
3. 改善非线性失真
4. 影响输入阻抗
5. 影响输出阻抗



■ 负反馈的作用

- 引入负反馈后能使放大器的许多性能得到改善，主要有稳定增益、扩展频带等，以增益换取性能改善，提高或改善的程度与反馈深度有关，实际应用中，通过引入不同程度的负反馈来获取所要求的性能，而放大器所牺牲的增益可通过增加放大器级数来弥补

1. 改善增益稳定性

■ 中频增益稳定性

- 用中频增益的绝对变化量与中频增益的比值，也就是用中频增益的相对变化量来衡量中频增益的稳定性

求 $\frac{dA_f}{A_f}$ 与 $\frac{dA}{A}$ 的大小关系

$$\begin{aligned}\frac{dA_f}{dA} &= \frac{1}{1+AF} - \frac{AF}{(1+AF)^2} \\ &= \frac{1+AF-AF}{(1+AF)^2} = \frac{1}{(1+AF)^2} \\ \Rightarrow \frac{dA_f}{A_f} \cdot \frac{A}{dA} &= \frac{1}{1+AF} \Rightarrow \frac{dA_f}{A_f} = \frac{dA}{A} \cdot \frac{1}{D}\end{aligned}$$

1. 改善增益稳定性

■ 结论

- 负反馈可以改善中频增益的稳定性，且反馈深度越大，中频增益越稳定

■ 说明

- 能够获得改善的中频增益类型必须是满足基本反馈方程式的对应类型

2. 扩展带宽

■ 情况一：反馈前后均为单极点系统

$$\begin{cases} A(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{\omega_h}} \Rightarrow A_f(s) = \frac{A(s)}{1 + A(s)F(s)} \\ F(s) = F_0 \end{cases}$$

$$= \frac{\frac{A_0}{1 + A_0 F_0}}{1 + \frac{s}{(1 + A_0 F_0)\omega_h}} = \frac{A_{f0}}{1 + \frac{s}{\omega_{hf}}} \Rightarrow \omega_{hf} = (1 + A_0 F_0)\omega_h = D_0 \omega_h$$

2. 扩展带宽

$$\begin{cases} A(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{\omega_l}{s}} \Rightarrow \omega_{lf} = \frac{\omega_l}{D_0} \\ F(s) = F_0 \end{cases}$$

■ 结论

- 对应反馈前后是单极点系统情况，负反馈放大器的**3dB**带宽增大，且闭环系统与开环系统相比，**3dB**截止频率有严格的 **D_0** 倍关系

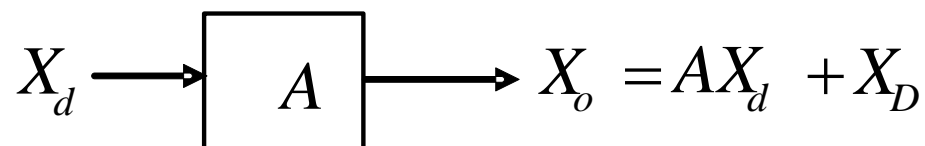
2. 扩展3dB带宽

- 情况二：反馈前后是多极点系统
- 结论
 - 加入反馈后，定性的关系仍然成立，即 D 越大，带宽展宽越宽，但 D 倍关系不一定成立

3. 改善非线性失真

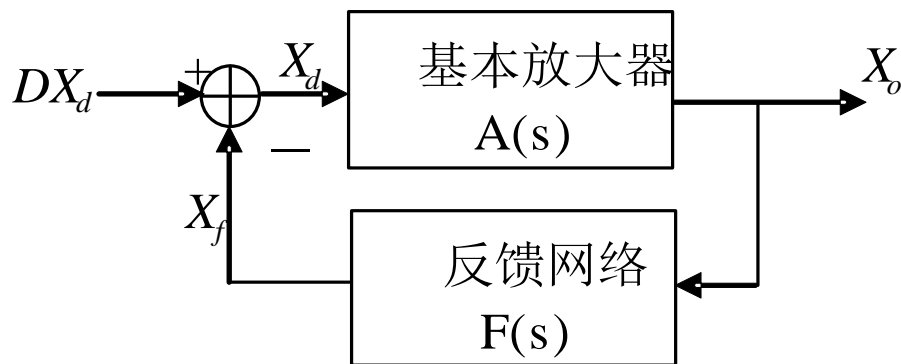
■ 非线性失真

- 非线性失真在时域上表现为波形失真，频域上表现为有谐波出现，会产生输入信号所没有的新的各次谐波成分(频率成分)
- 指**A**放大器有相同输入，且有相同失真的情况下，在加入反馈后总输出失真减小



X_D : 非线性失真信号

3. 改善非线性失真



$$X_o = A(DX_d - X_f) + X_D = ADX_d - AFX_o + X_D$$

$$\Rightarrow X_o = AX_d + \frac{X_D}{D}$$

3. 改善非线性失真

■ 定性解释

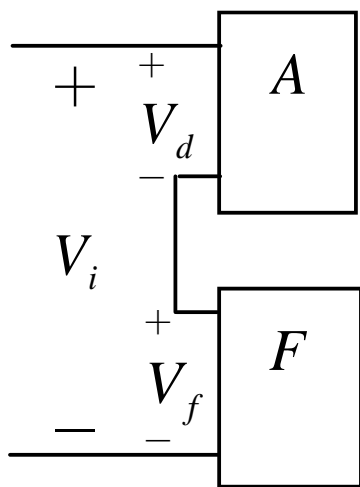
- 反馈网络的谐波和原来的谐波在放大器中相抵消，而使总输出谐波减小了

■ 说明

- 负反馈只能改善放大器本身产生的失真，对输入信号的失真无改善
- 放大器对谐波和基波有相同的放大倍数时才满足上述关系，若放大器对谐波的放大倍数减小甚至无放大时，上述定量关系不成立

4. 影响输入阻抗

■ 输入电压相加型

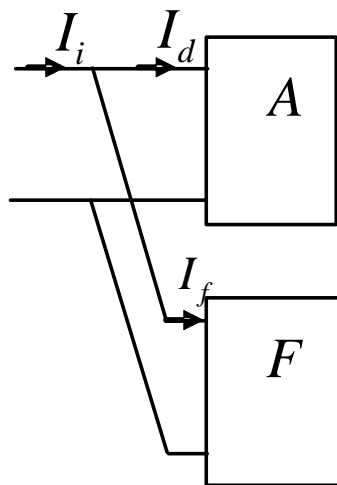


$$R_i = \frac{V_i}{I_i} \Big|_{V_f=0} = \frac{V_d}{I_i}$$

$$R_{if} = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_d + V_f}{I_i} = \frac{V_d + V_d \cdot AF}{I_i} = DR_i$$

4. 影响输入阻抗

■ 输入电流相加型



$$R_i = \left. \frac{V_i}{I_i} \right|_{I_f=0} = \frac{V_i}{I_d}$$

$$R_{if} = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{I_d + I_f} = \frac{V_i}{I_d + AFI_d} = \frac{R_i}{D}$$

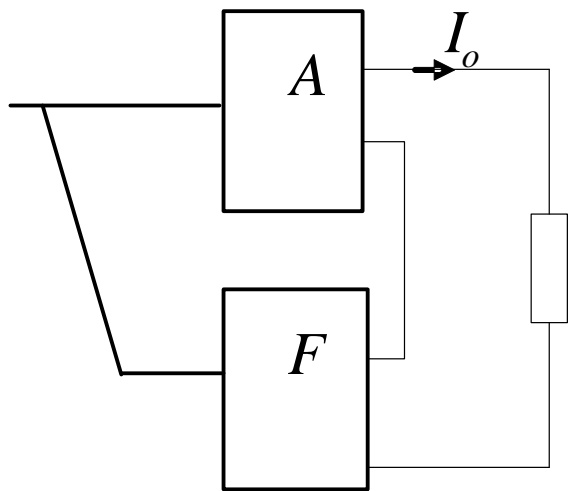
4. 影响输入阻抗

■ 说明

- 若期望增大放大器的输入阻抗，则应该选择输入端串联形式的反馈类型，即电压相加型
- 若期望减小放大器的输入阻抗，则应该选择输入端并联形式的反馈类型，即电流相加型
- 上述结论仅在无环外电阻时成立

5. 影响输出阻抗

■ 输出电流取样型



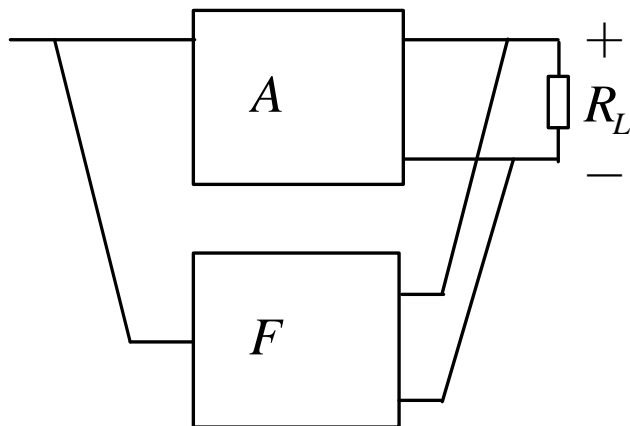
$$\left\{ \begin{array}{l} R_o = \frac{V_{o\infty}}{I_{o0}} \\ R_{of} = \frac{V_{of\infty}}{I_{of0}} \end{array} \right.$$

5. 影响输出阻抗

$$\left. \begin{aligned} A_{sf0} &= \frac{A_{s0}}{1 + A_{s0}F} \\ V_{of\infty} = V_{o\infty} &\Rightarrow I_{o0} = A_{s0}X_s \\ I_{of0} &= A_{sf0}X_s \end{aligned} \right\}$$
$$\Rightarrow \frac{I_{of0}}{I_{o0}} = \frac{A_{sf0}}{A_{s0}} = \frac{1}{1 + A_{s0}F} = \frac{1}{(D_s)_0}$$
$$\Rightarrow R_{of} = R_o \cdot (D_s)_0$$

5. 影响输出阻抗

■ 输出电压相加型



$$I_{of0} = I_{o0}$$
$$\Rightarrow \frac{V_{of\infty}}{V_{o\infty}} = \frac{1}{1 + A_{s\infty}F} = \frac{1}{(D_s)_\infty}$$
$$\Rightarrow R_{of} = \frac{R_o}{(D_s)_\infty}$$

5. 影响输出阻抗

■ 说明

- 若期望增大放大器的输出阻抗，则应该选择输出端串联形式的反馈类型，即电流取样型
- 若期望减小放大器的输出阻抗，则应该选择输出端并联形式的反馈类型，即电压取样型
- 上述结论仍为去掉环外电阻时的情况