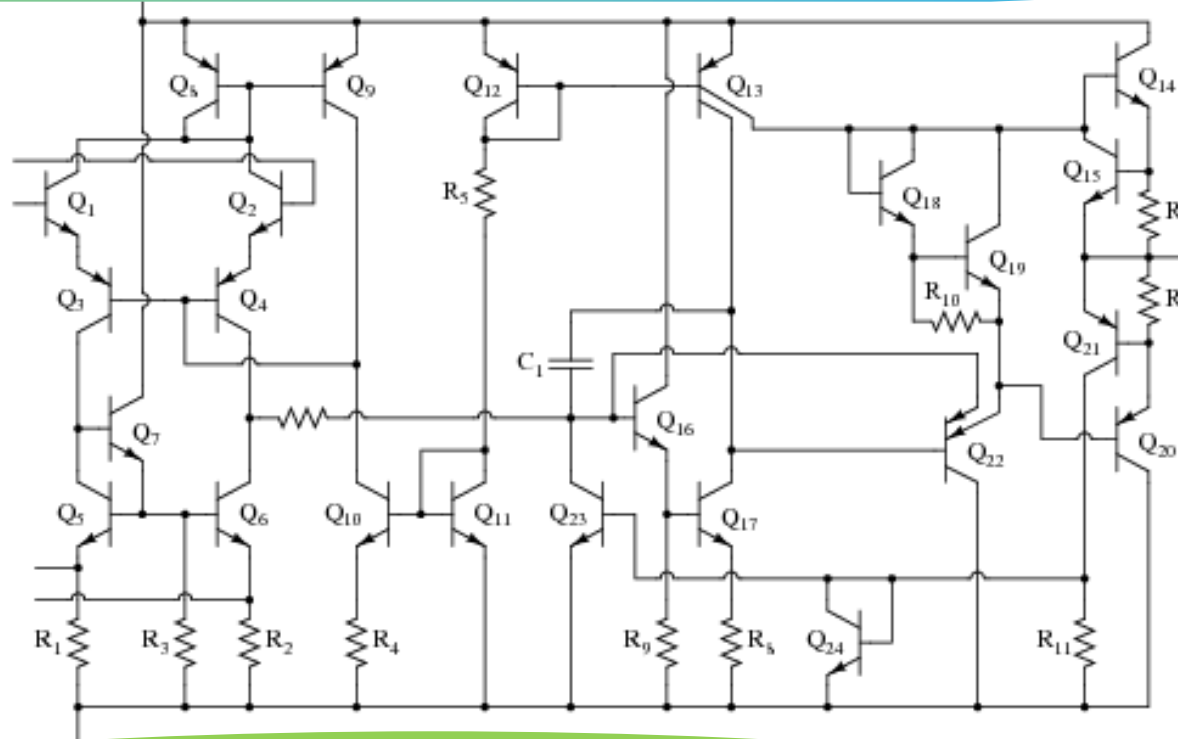


Analog Electronics (Electronics III)

By: M. Shahraki



University of
Sistan and Baluchestan

University of Sistan & Baluchestan
Faculty of Electrical and Computer Engineering
Department of Electrical & Electronics Engineering

Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$a(s) = \frac{100}{\left(1 + \frac{S}{P_1}\right)\left(1 + \frac{S}{P_2}\right)\left(1 + \frac{S}{P_3}\right)}$$

$$P_1 = 1(\mu s)^{-1}$$

$$P_2 = 2(\mu s)^{-1}$$

$$P_3 = 4(\mu s)^{-1}$$

$$f = f_0$$

$$T(s) = a(s)f = \frac{100f_0}{\left(1 + \frac{S}{P_1}\right)\left(1 + \frac{S}{P_2}\right)\left(1 + \frac{S}{P_3}\right)}$$

$$A(s) = \frac{a(s)}{1 + a(s)f} = \frac{a(s)}{1 + T(s)}$$



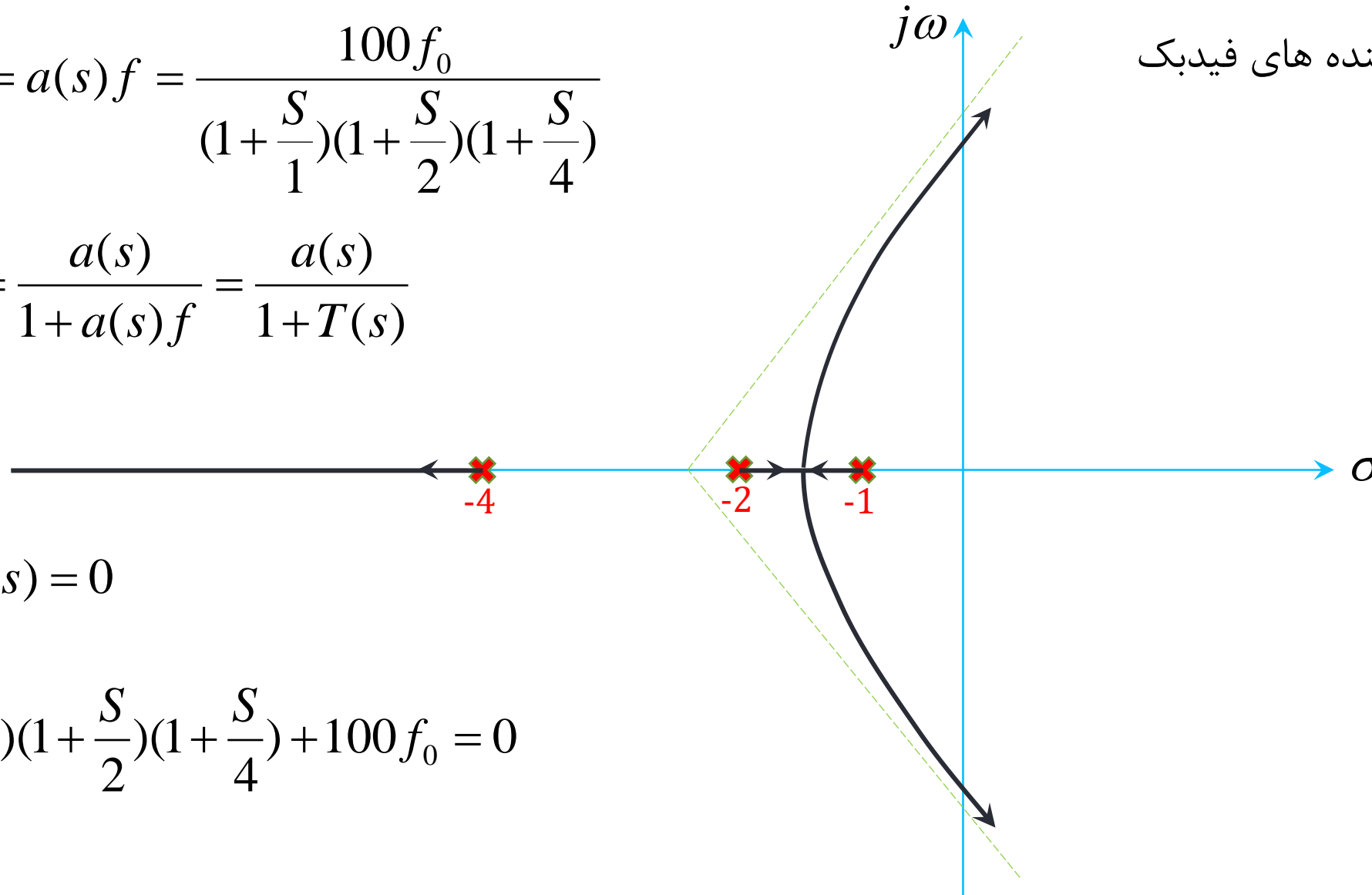
Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$T(s) = a(s)f = \frac{100f_0}{\left(1 + \frac{s}{1}\right)\left(1 + \frac{s}{2}\right)\left(1 + \frac{s}{4}\right)}$$

$$A(s) = \frac{a(s)}{1 + a(s)f} = \frac{a(s)}{1 + T(s)}$$

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



$$1 + T(s) = 0$$

$$\left(1 + \frac{s}{1}\right)\left(1 + \frac{s}{2}\right)\left(1 + \frac{s}{4}\right) + 100f_0 = 0$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$\left(1 + \frac{S}{1}\right)\left(1 + \frac{S}{2}\right)\left(1 + \frac{S}{4}\right) + 100f_0 = 0$$

$$(S + 1)(2 + S)(4 + S) + 800f_0 = 0$$

$$S^3 + 7S^2 + 14S + 8 + 800f_0 = 0$$

مرز ناپایداری
 $S = j\omega$

$$-j\omega^3 - 7\omega^2 + 14j\omega + 8 + 800f_0 = 0$$

$$-j\omega^3 + 14j\omega = 0$$

$$\omega = \sqrt{14} = 3.74(\mu s)^{-1}$$

$$\omega = 3.74 \text{ Mrad / s}$$

$$-7\omega^2 + 8 + 800f_0 = 0$$

$$f_0 = 0.1125$$

$$f_0 < 0.1125$$

تقویت کننده پایدار است

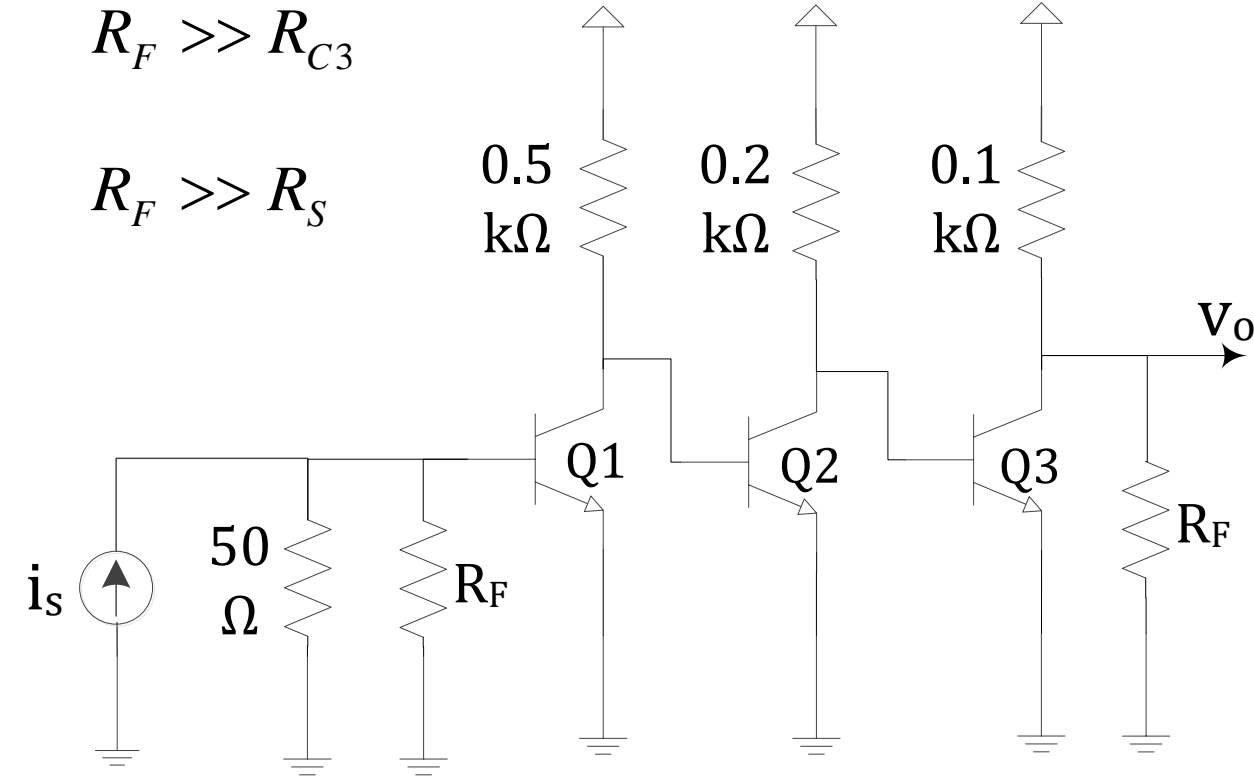
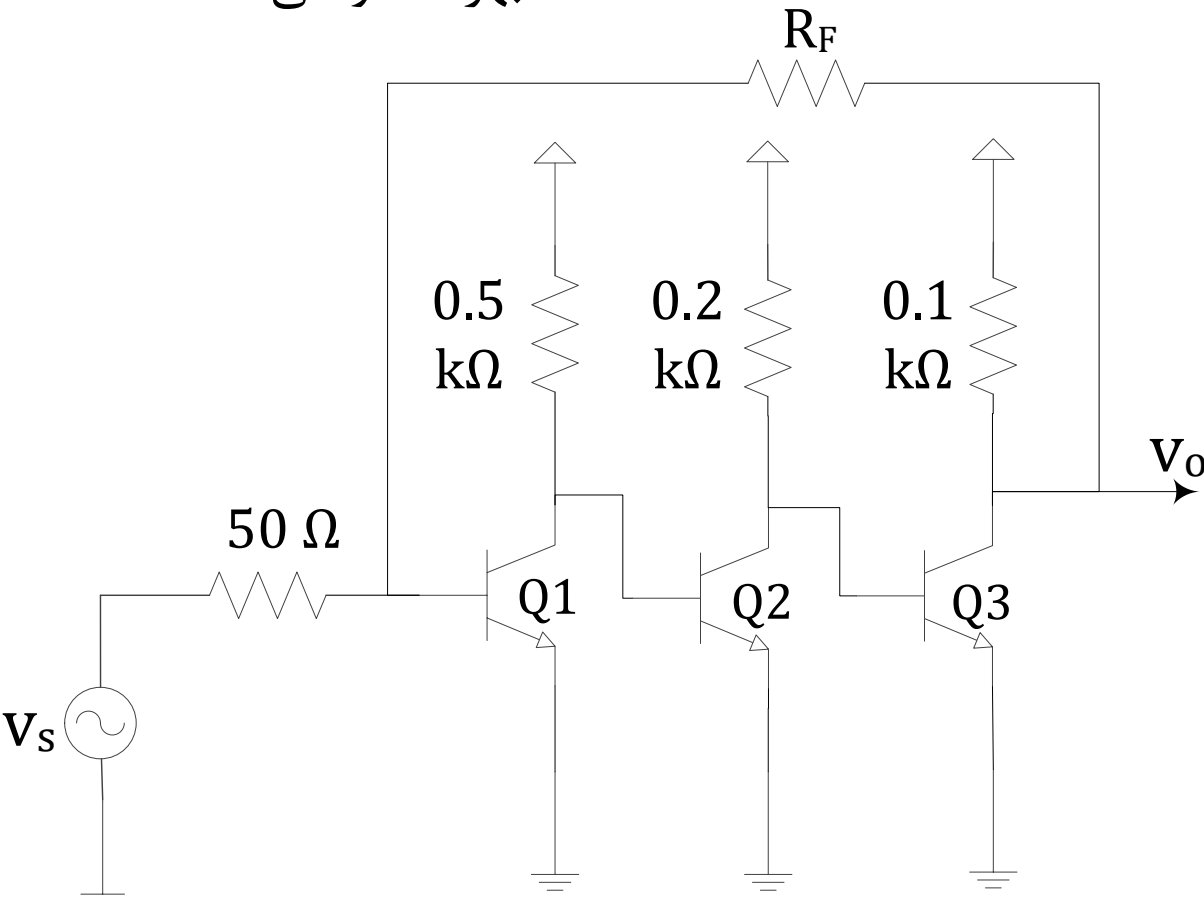


Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

فیدبک ولتاژ - موازی
بهره مقاومتی

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



$$R_F \gg R_{C3}$$

$$R_F \gg R_S$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$a_0 = -354 K\Omega$$

$$P_1 = 0.0251(ns)^{-1}$$

$$P_2 = 0.0946(ns)^{-1}$$

$$P_3 = 0.409(ns)^{-1}$$

$$P_4 = 9.58(ns)^{-1}$$

$$P_5 = 18.22(ns)^{-1}$$

$$P_6 = 28.56(ns)^{-1}$$

$$P_4 \gg P_3$$

فقط ۳ قطب اول موثر هستند

تابع تبدیل دارای ۳ صفر خیلی دور نیز می باشد، که از آنها صرف نظر می شود

$$a(s) = \frac{a_0}{\left(1 + \frac{S}{0.0251}\right)\left(1 + \frac{S}{0.0946}\right)\left(1 + \frac{S}{0.409}\right)}$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$a(s) = \frac{a_0}{\left(1 + \frac{S}{0.0251}\right)\left(1 + \frac{S}{0.0946}\right)\left(1 + \frac{S}{0.409}\right)}$$

$$A(s) = \frac{a(s)}{1 + a(s)f_0}$$

$$T(s) = a(s)f_0$$

$$1 + T(s) = 1 + \frac{a_0}{\left(1 + \frac{S}{0.0251}\right)\left(1 + \frac{S}{0.0946}\right)\left(1 + \frac{S}{0.409}\right)} f_0$$

$$\left(1 + \frac{S}{0.0251}\right)\left(1 + \frac{S}{0.0946}\right)\left(1 + \frac{S}{0.409}\right) + a_0 f_0 = 0$$

$$S^3 + 0.528S^2 + 0.0516S + 9.7 \times 10^{-4}(1 + a_0 f_0)$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$S^3 + 0.528S^2 + 0.0516S + 9.7 \times 10^{-4}(1 + a_0 f_0) = 0$$

مرز ناپایداری

$$S = j\omega$$

$$-j\omega^3 - 0.528\omega^2 + j\omega 0.0516 + 9.7 \times 10^{-4}(1 + a_0 f_0) = 0$$

$$-j\omega^3 + j\omega 0.0516 = 0$$

$$\omega^2 = 0.0516$$

$$\omega = 0.227 (ns)^{-1} = 0.227 \text{ Grad} / s$$

ضریب عدم حساسیت

$$-0.528\omega^2 + 9.7 \times 10^{-4} D_0 = 0$$

$$D_0 = (1 + a_0 f_0)$$

$$D_0 = \frac{0.528 \times 0.0516}{9.7 \times 10^{-4}} = 28.1$$

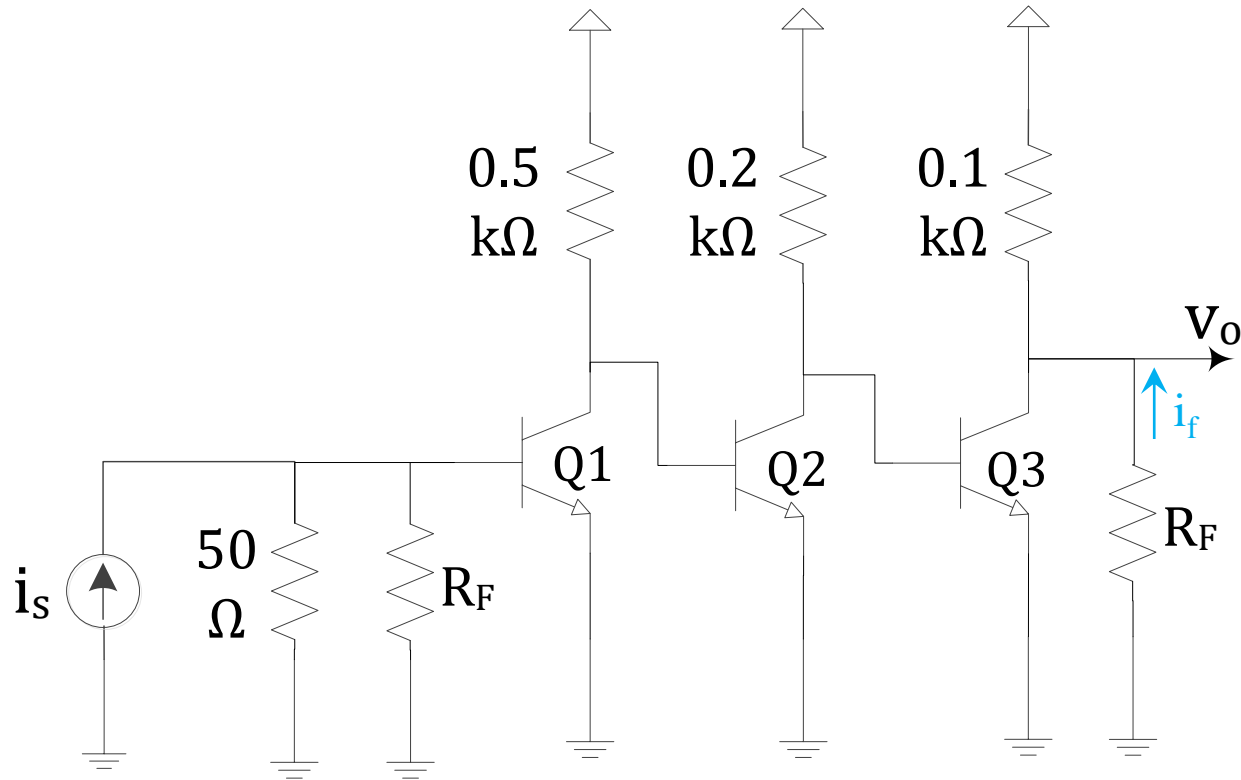
$$f_0 = \frac{D_0 - 1}{a_0} = \frac{27.1}{-354 k\Omega}$$

$$f_0(\text{max}) = -0.0767 m\Omega^{-1}$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



شرط پایداری

$$R_F > 13 k\Omega$$

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$f_0(\text{max}) = -0.0767 m\Omega^{-1}$$

$$f_0 = \frac{i_f}{v_o} = -\frac{1}{R_F}$$

$$R_F(\text{min}) = -\frac{1}{f_0(\text{max})} = -\frac{1}{-0.0767 m\Omega^{-1}}$$

$$R_F(\text{min}) = 13 k\Omega$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک در حوزه فرکانس

$$a(s) = \frac{1000}{\left(1 + \frac{s}{10^4}\right)^3}$$

$$T(s) = a(s)f_0 = \frac{1000f_0}{\left(1 + \frac{s}{10^4}\right)^3}$$

$$\angle T(s) = \angle 1000f_0 - \angle \left(1 + \frac{s}{10^4}\right)^3 \quad \angle T(s) = -3 \tan^{-1}(\omega/10^4)$$

$$-180 = -3 \tan^{-1}(\omega_c/10^4)$$

$$\tan^{-1}(\omega_c/10^4) = 60$$

$$\omega_c = \sqrt{3} \times 10^4$$

$$|T(j\omega_c)| = \left| \frac{1000f_0}{\left(1 + \frac{j\omega_c}{10^4}\right)^3} \right| < 1$$

$$f_0 < 0.008$$

شرط پایداری



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک در حوزه فرکانس

$$T(s) = \frac{a_0 f_0}{\left(1 + \frac{s}{10^4}\right)^3} \quad \omega_c = \sqrt{3} \times 10^4 \quad f_0 < 0.008$$

$$f_0 = 0.004 \quad |T(j\omega_c)| = \left| \frac{1000 f_0}{\left(1 + \frac{j\omega_c}{10^4}\right)^3} \right| = \frac{1}{2} \quad GM = 20 \log\left(\frac{1}{|T(j\omega_c)|}\right) \quad GM = 6 \text{ dB}$$

$$\left|T(j\omega_g)\right| = \left| \frac{1000 f_0}{\left(1 + \frac{j\omega_g}{10^4}\right)^3} \right| = 1 \quad \omega_g = 1.23 \times 10^4 \quad \angle T(j\omega_g) = -\angle\left(1 + \frac{j\omega_g}{10^4}\right)^3 \quad \angle T(j\omega_g) = -152.66^\circ$$

$$PM = 180 + \angle T(j\omega_g)$$

$$PM = 27.33^\circ$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$a(s) = \frac{10^5}{\left(1 + \frac{s}{2\pi(0.1 \times 10^6)}\right) \left(1 + \frac{s}{2\pi(1 \times 10^6)}\right) \left(1 + \frac{s}{2\pi(10 \times 10^6)}\right)}$$

$$f = f_0$$

$$P_1 = 0.1 \text{ MHz}$$

$$P_2 = 1 \text{ MHz}$$

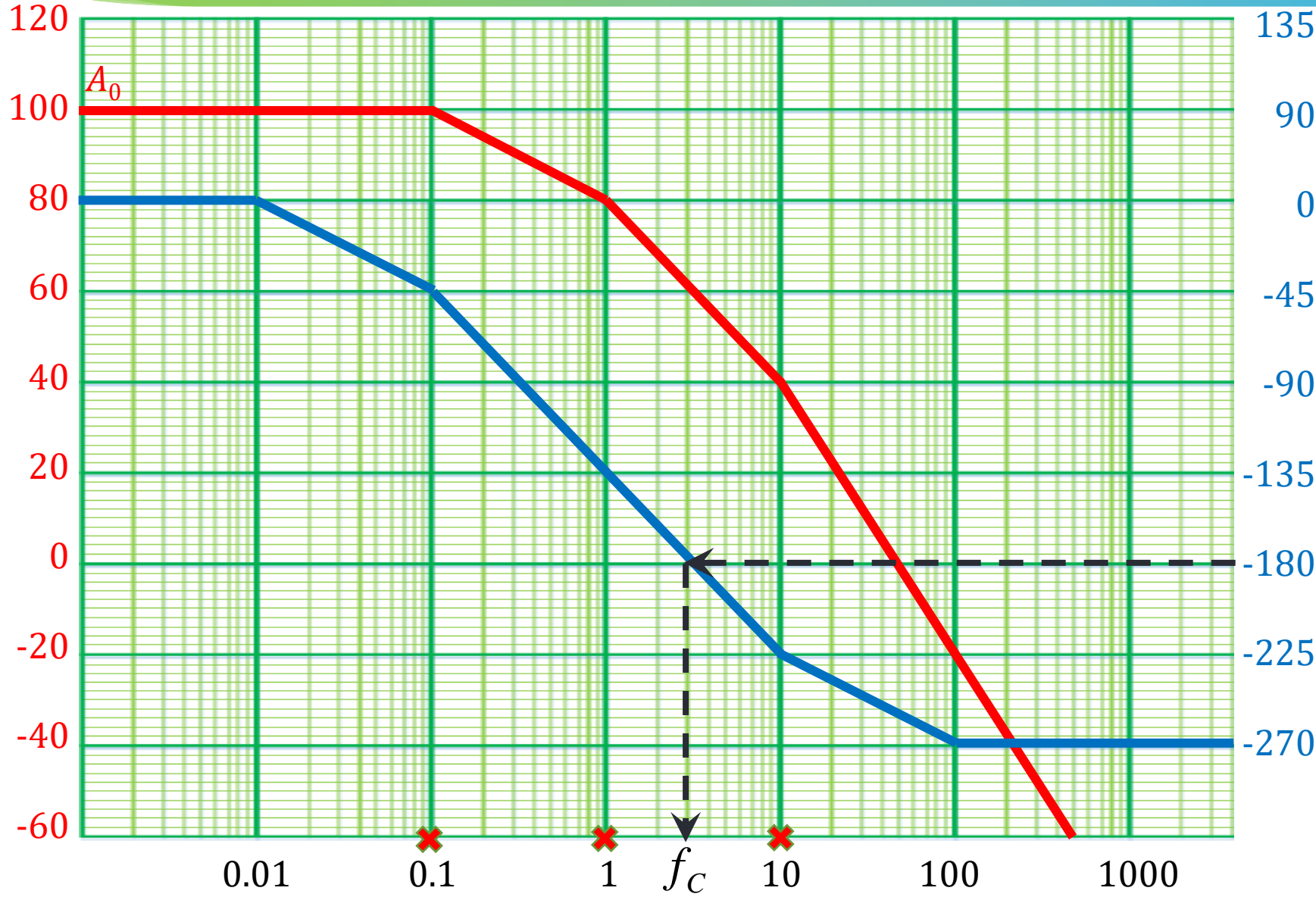
$$P_3 = 10 \text{ MHz}$$

$$a_0 = 100 \text{ dB}$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$P_1 = 0.1 \text{ MHz}$$

$$P_2 = 1 \text{ MHz}$$

$$P_3 = 10 \text{ MHz}$$

$$a_0 = 100 \text{ dB}$$

$$T(s) = a(s) f_0$$

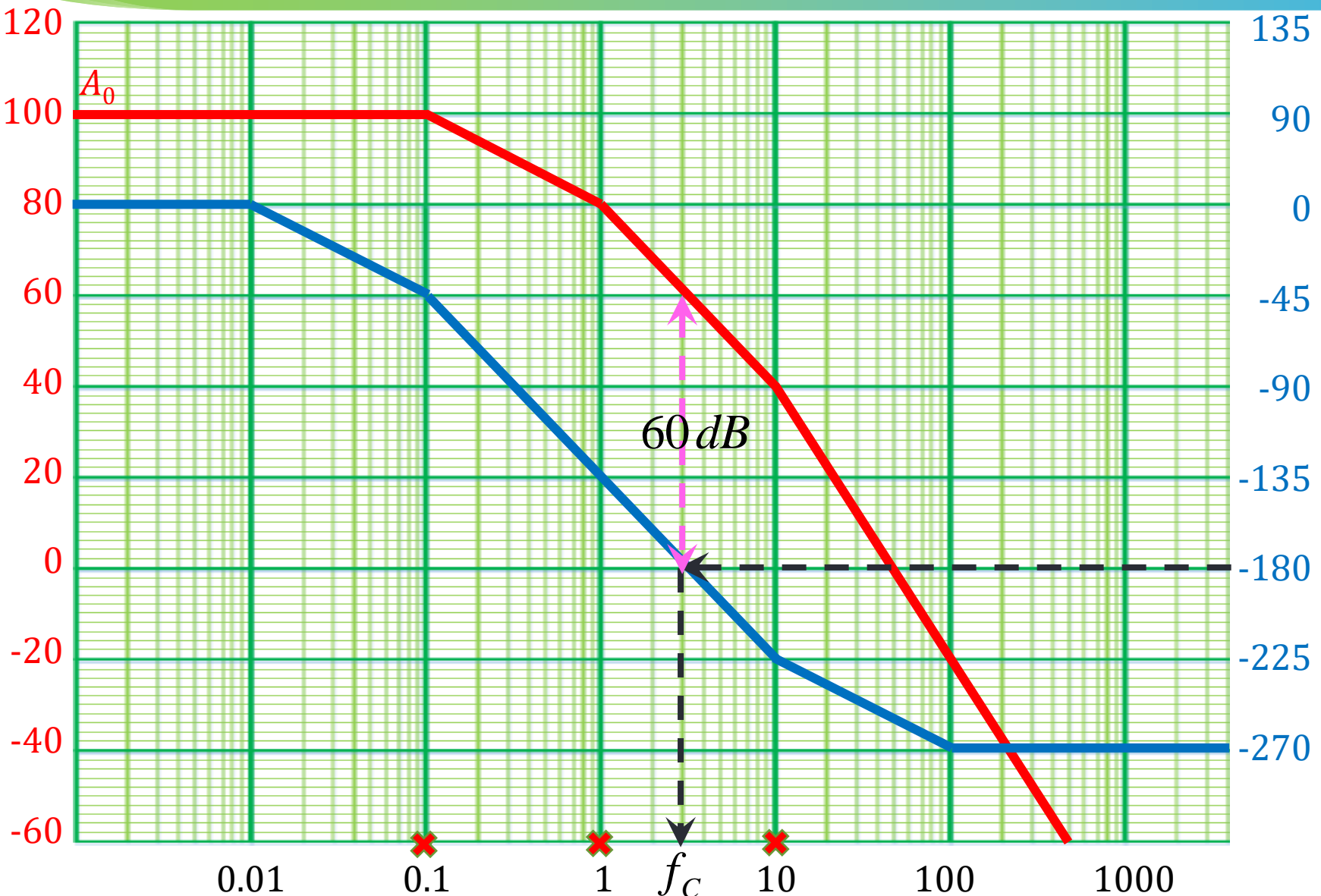
$$|T(s)| = |a(s)| + 20 \log(f_0)$$

$$\angle T(s) = \angle a(s)$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$\angle T(s) = -180^\circ$$

مرز ناپایداری

$$|T(s)|_{dB} = 0 dB$$

$$|T(s)|_{dB} = |a(s)|_{dB} + 20\log(f_0)$$

$$20\log(f_0) = -60$$

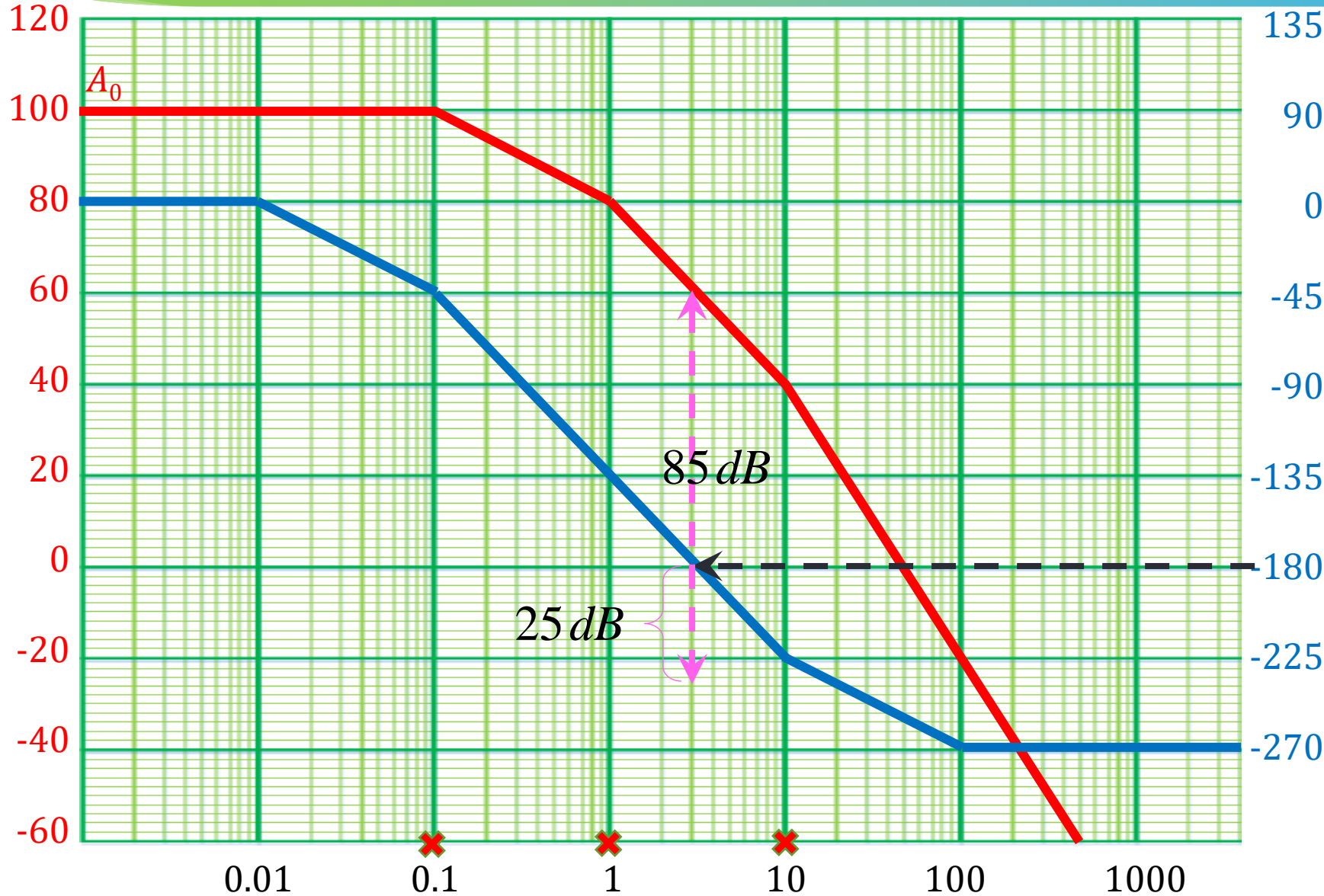
$$\log(f_0) = -3$$

$$f_0(\max) = 1 \times 10^{-3}$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک
محاسبه حاشیه پایداری به ازای

$$f_0 = 5.62 \times 10^{-5}$$

$$20 \log(f_0) = -85$$

$$GM = 20 \log\left(\frac{1}{|T(j\omega)|}\right)$$

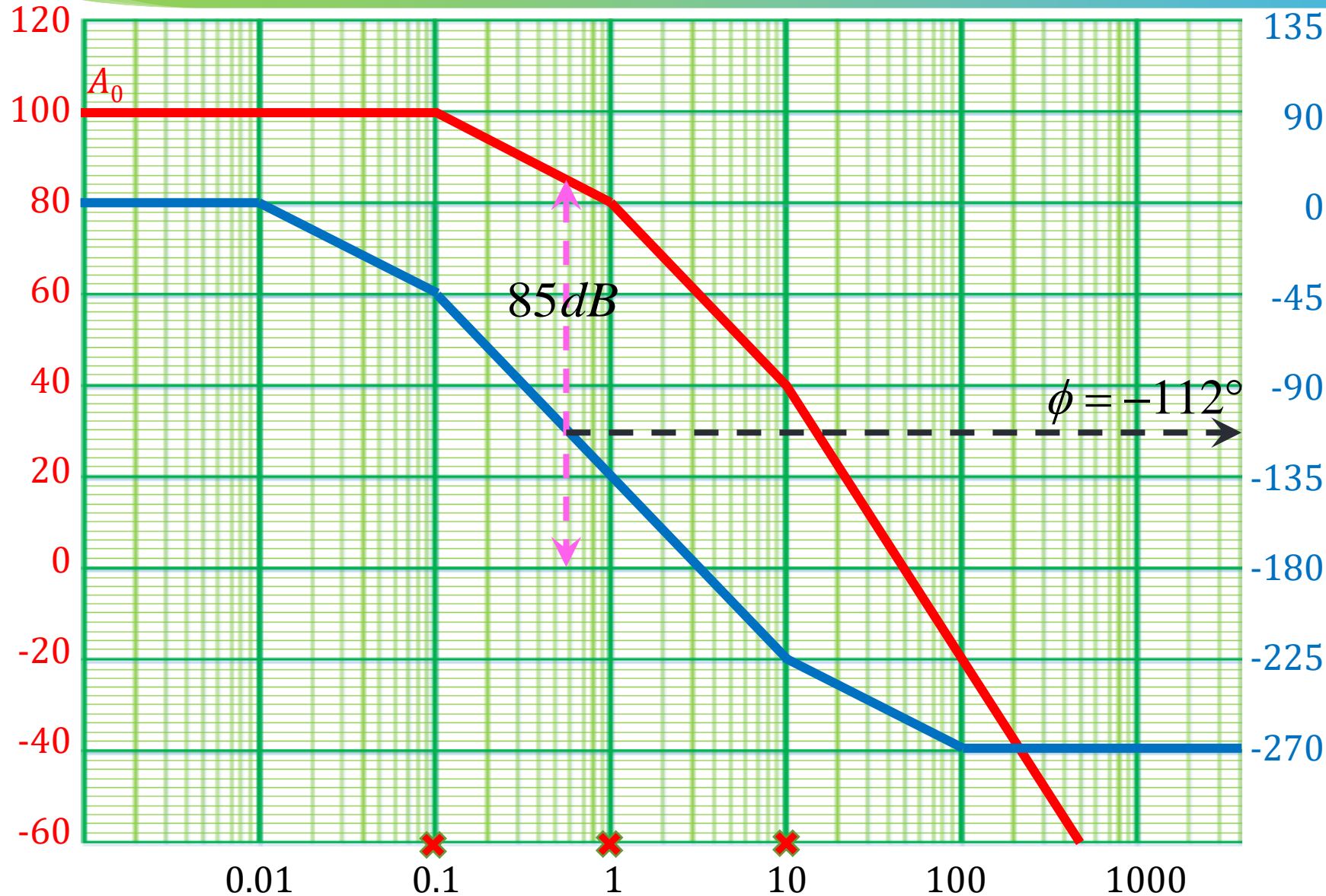
$$GM = -20 \log |a(j\omega)| - 20 \log(f_0)$$

$$GM = -60 + 85 = 25 \text{ dB}$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

محاسبه حاشیه پایداری به ازای

$$f_0 = 5.62 \times 10^{-5}$$

$$20 \log(f_0) = -85$$

$$PM = 180 + \phi$$

$$PM = 180 - 112 = 68^\circ$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$a(s) = \frac{10^4}{\left(1 + \frac{s}{2\pi(1 \times 10^6)}\right) \left(1 + \frac{s}{2\pi(5 \times 10^6)}\right) \left(1 + \frac{s}{2\pi(10 \times 10^6)}\right)}$$

$$f = f_0$$

$$P_1 = 1 \text{ MHz}$$

$$P_2 = 5 \text{ MHz}$$

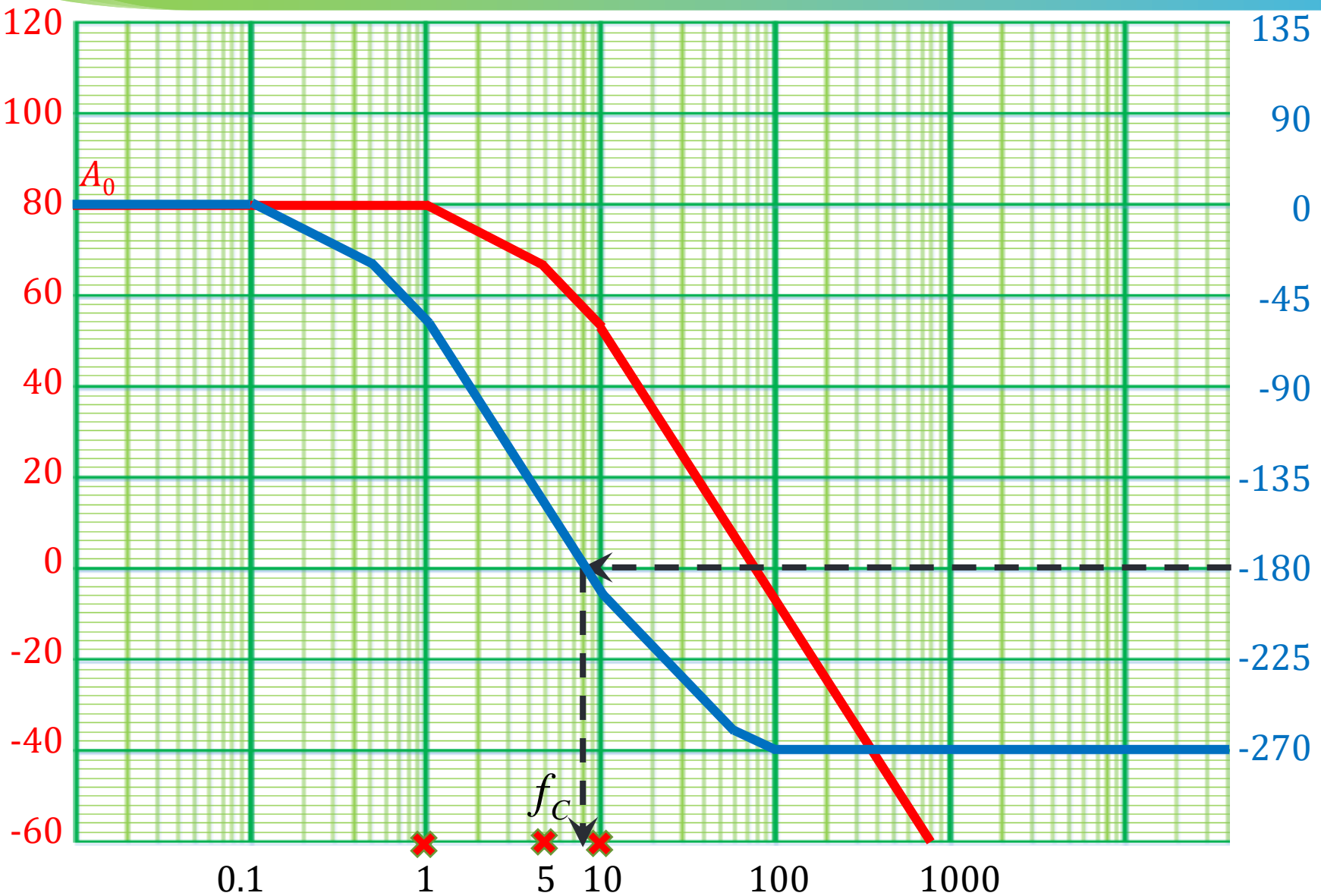
$$P_3 = 10 \text{ MHz}$$

$$a_0 = 80 \text{ dB}$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$P_1 = 1 \text{ MHz}$$

$$P_2 = 5 \text{ MHz}$$

$$P_3 = 10 \text{ MHz}$$

$$a_0 = 80 \text{ dB}$$

$$T(s) = a(s) f_0$$

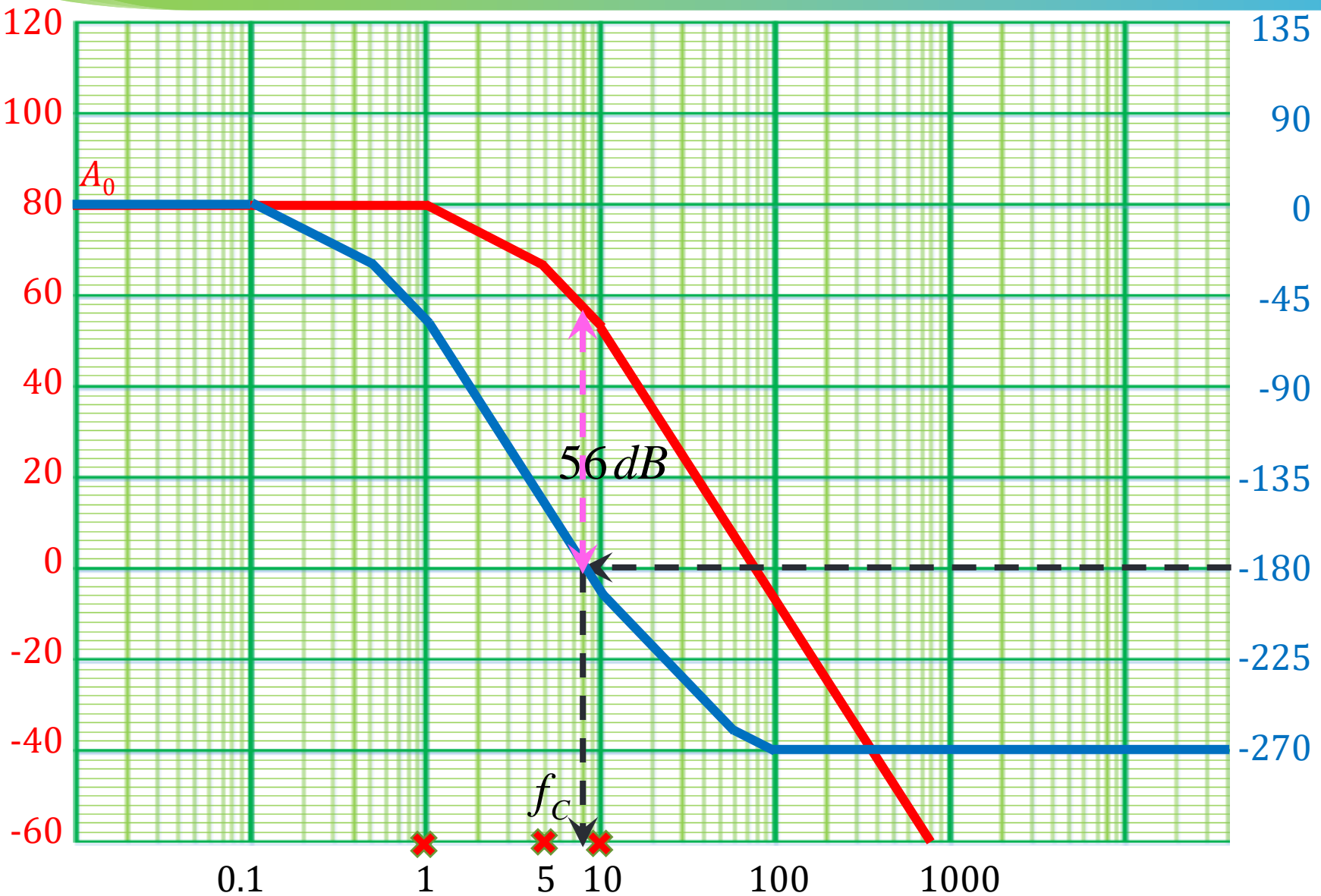
$$|T(s)| = |a(s)| + 20 \log(f_0)$$

$$\angle T(s) = \angle a(s)$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$\angle T(s) = -180^\circ$$

مرز ناپایداری

$$|T(s)|_{dB} = 0 dB$$

$$|T(s)|_{dB} = |a(s)|_{dB} + 20\log(f_0)$$

$$20\log(f_0) = -56$$

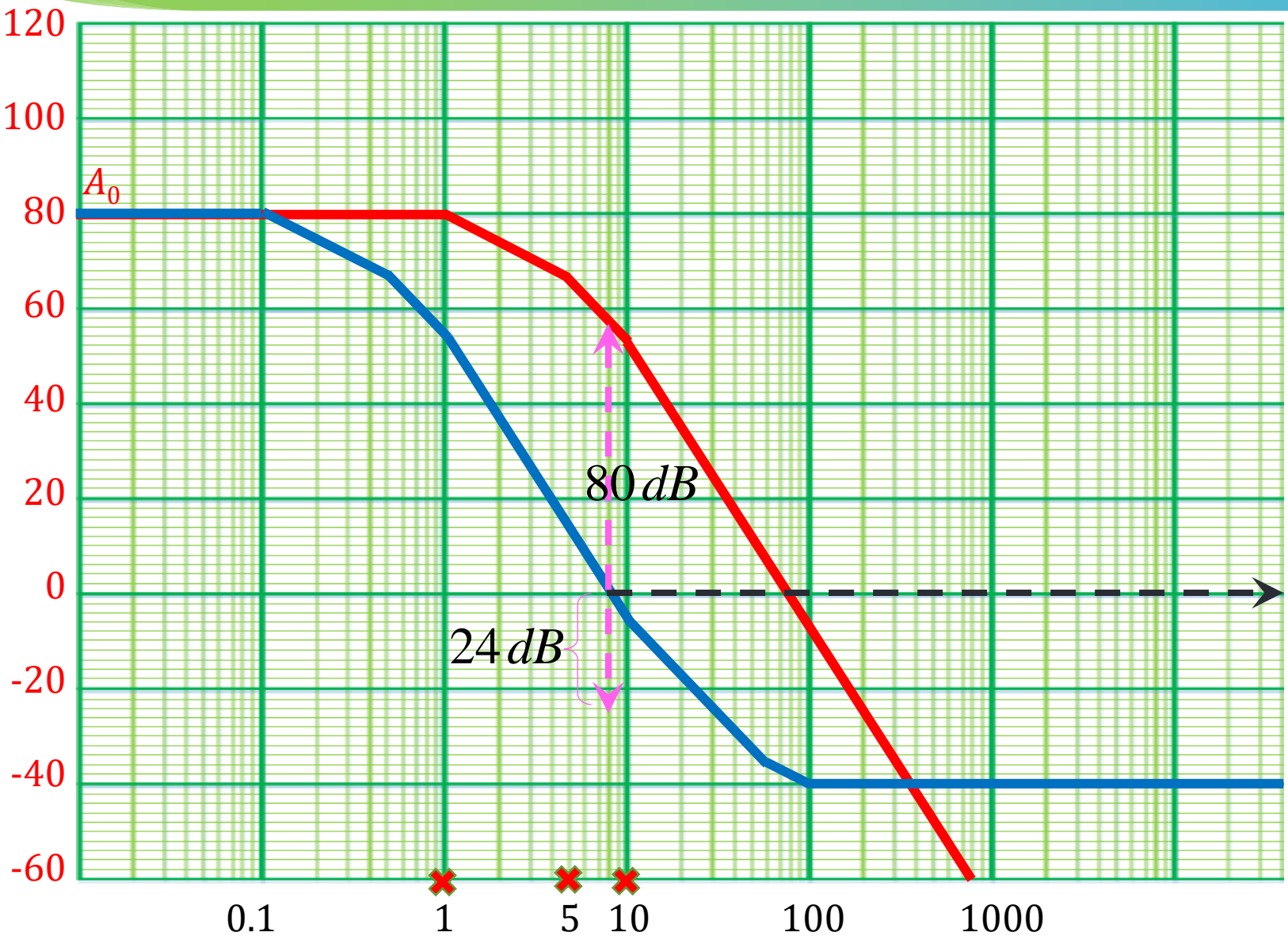
$$\log(f_0) = -2.8$$

$$f_0(\text{max}) = 1.58 \times 10^{-3}$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک
محاسبه حاشیه پایداری به ازای

$$f_0 = 1 \times 10^{-4}$$

$$20 \log(f_0) = -80$$

$$GM = 20 \log\left(\frac{1}{|T(j\omega)|}\right)$$

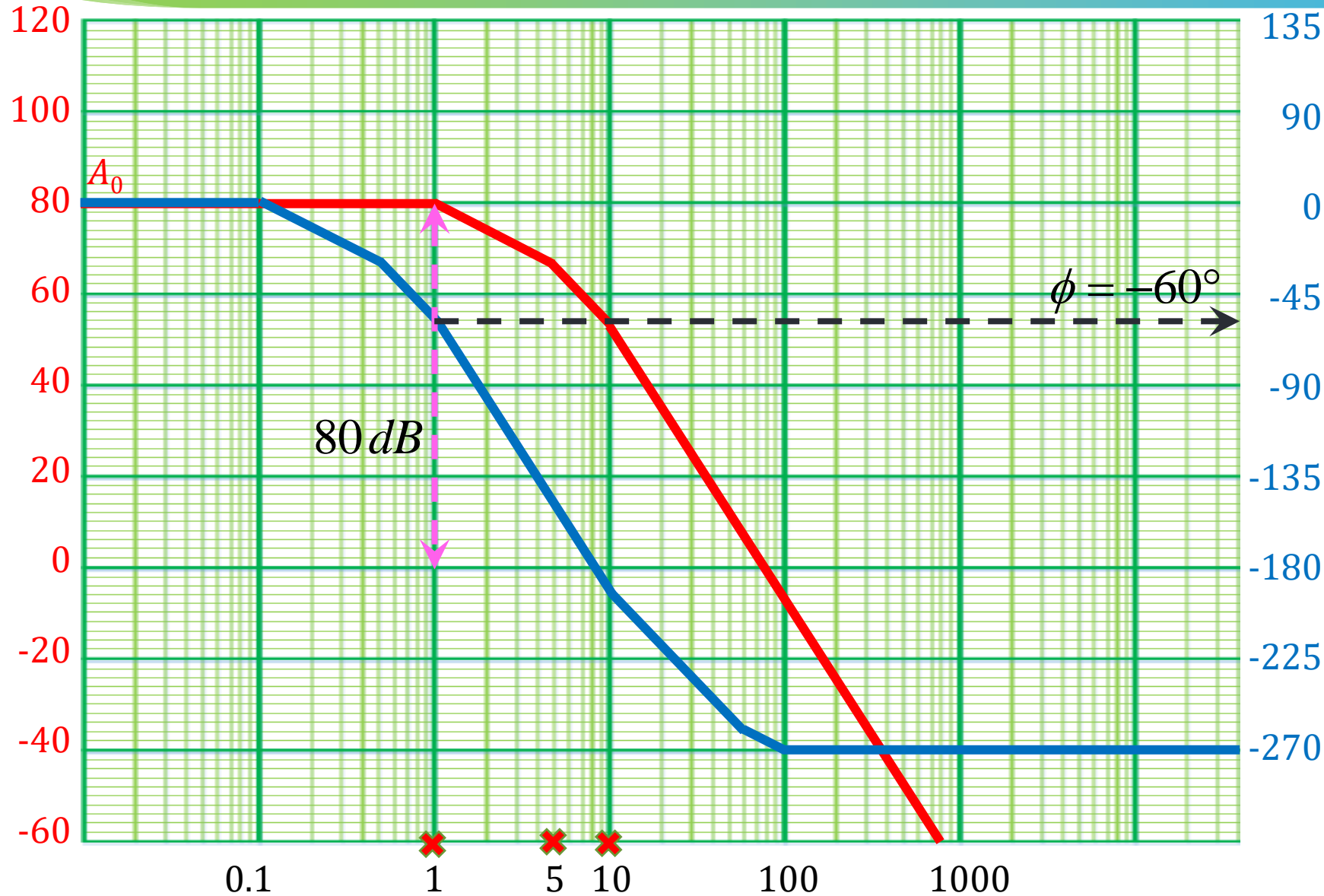
$$GM = -20 \log |a(j\omega)| - 20 \log(f_0)$$

$$GM = -56 + 80 = 24 \text{ dB}$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

محاسبه حاشیه پایداری به ازای

$$f_0 = 1 \times 10^{-4}$$

$$20 \log(f_0) = -80$$

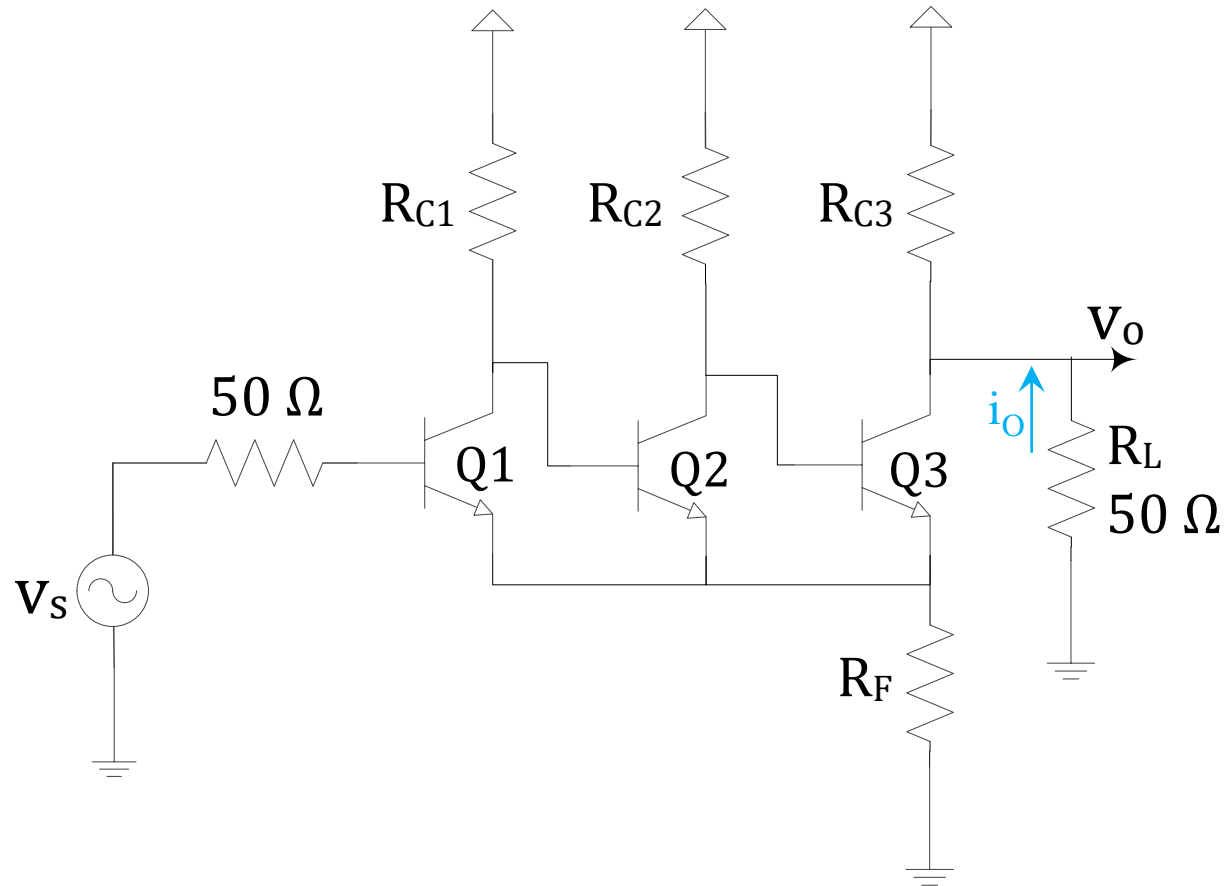
$$PM = 180 + \phi$$

$$PM = 180 - 60 = 120^\circ$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$P_1 = 1 \text{ MHz}$$

$$P_2 = 10 \text{ MHz}$$

$$P_3 = 100 \text{ MHz}$$

$$a_0 = 1000 \text{ A/V}$$

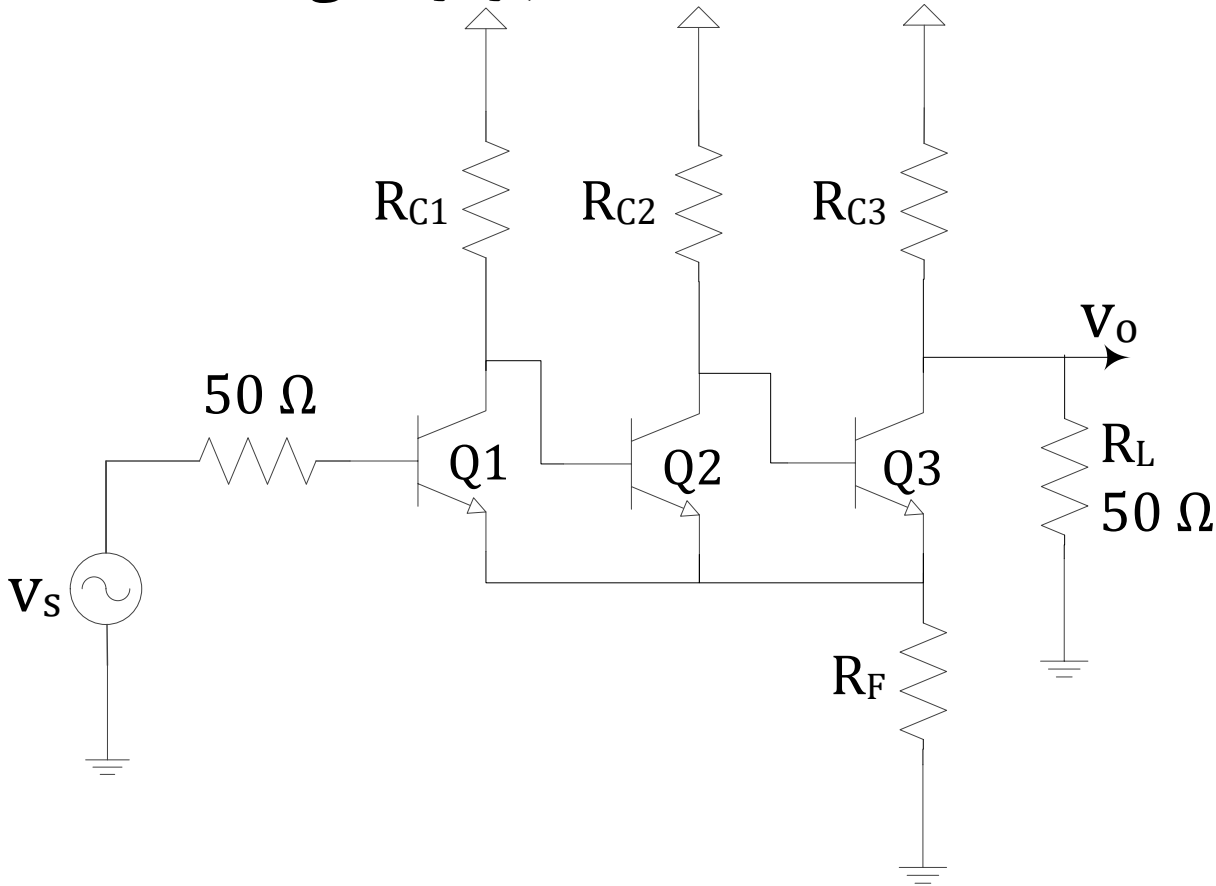
$$|a_0| = 60 \text{ dB}$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

فیدبک جریان - سری
بهره رسانایی (Ω^{-1})

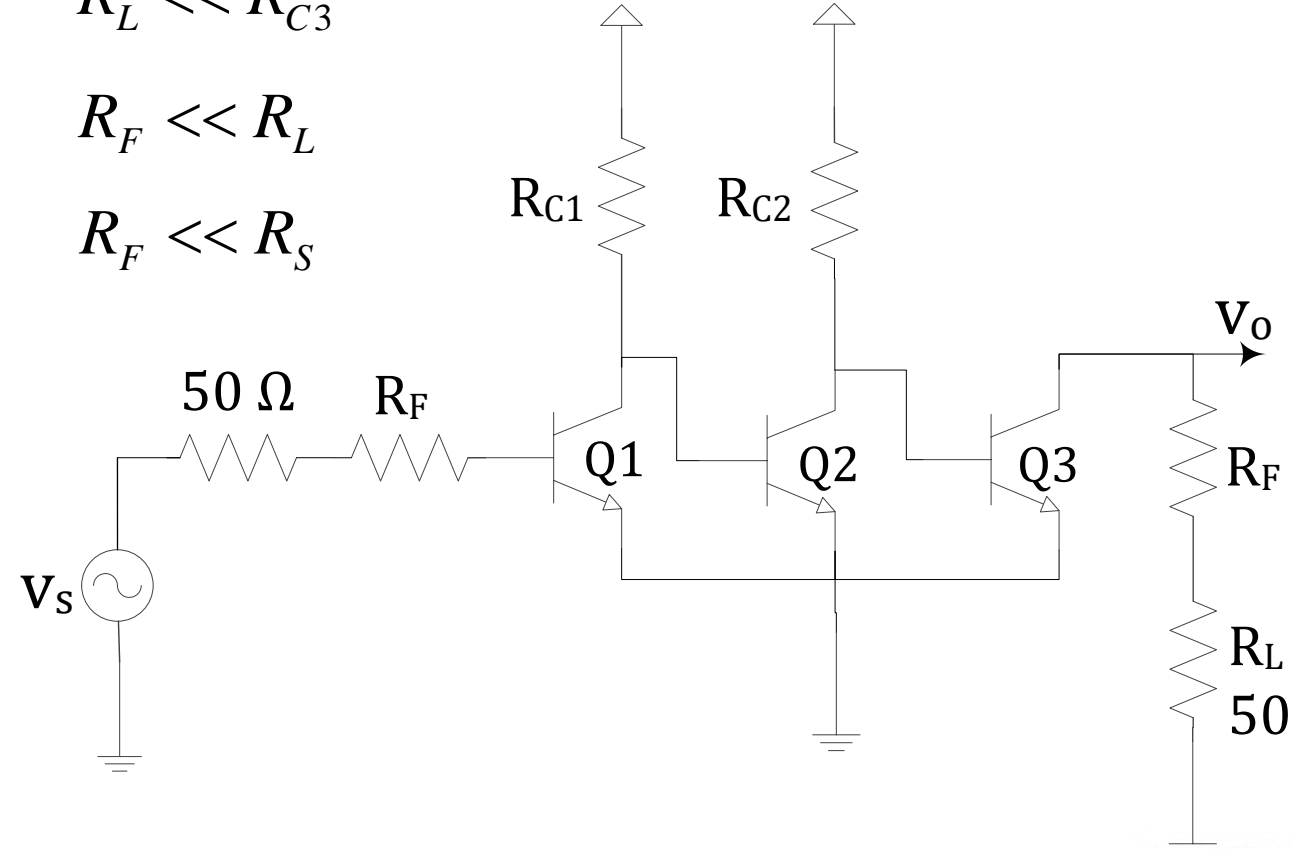


ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$R_L \ll R_{C3}$$

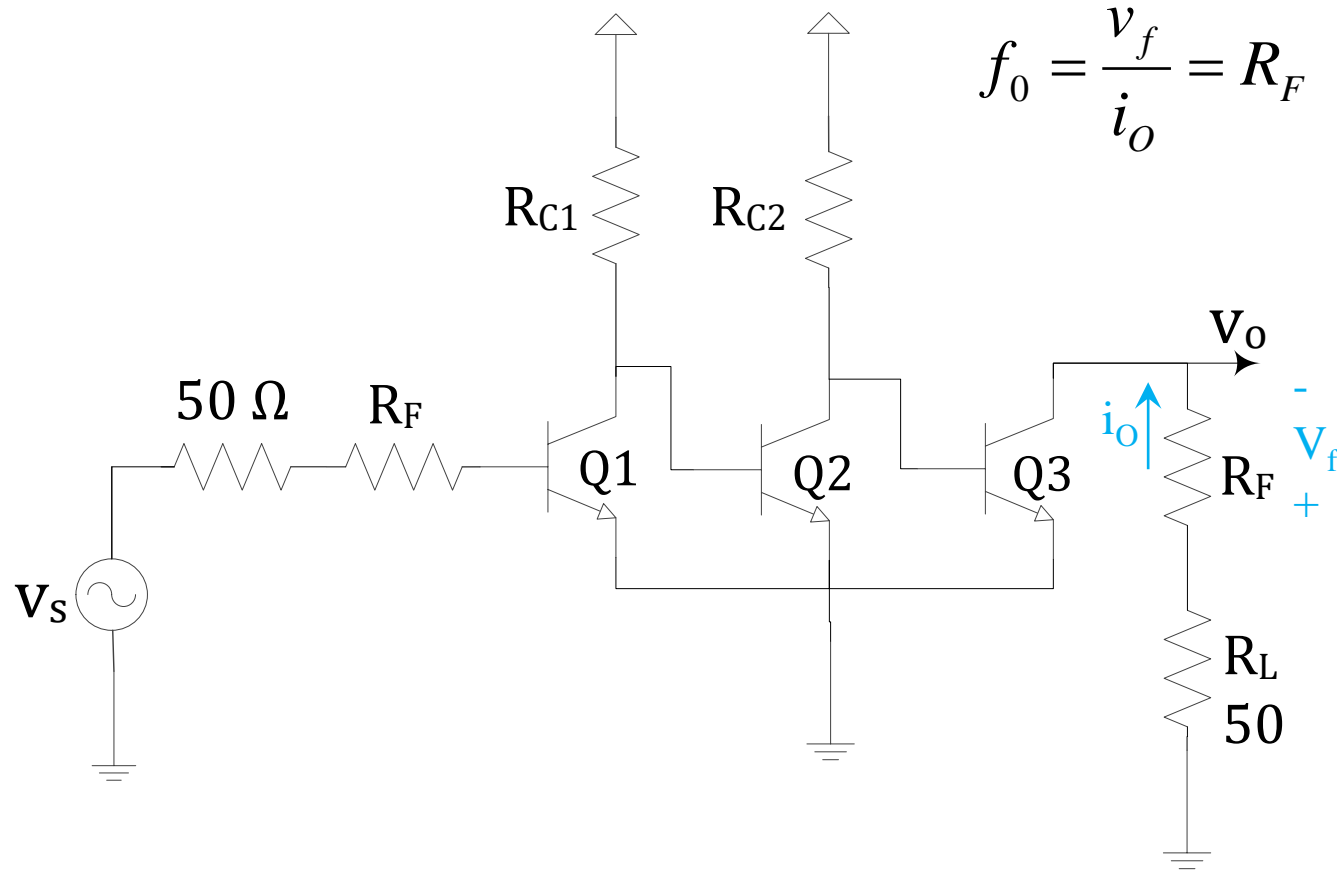
$$R_F \ll R_L$$

$$R_F \ll R_S$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$P_1 = 0.1 \text{ MHz}$$

$$P_2 = 1 \text{ MHz}$$

$$P_3 = 10 \text{ MHz}$$

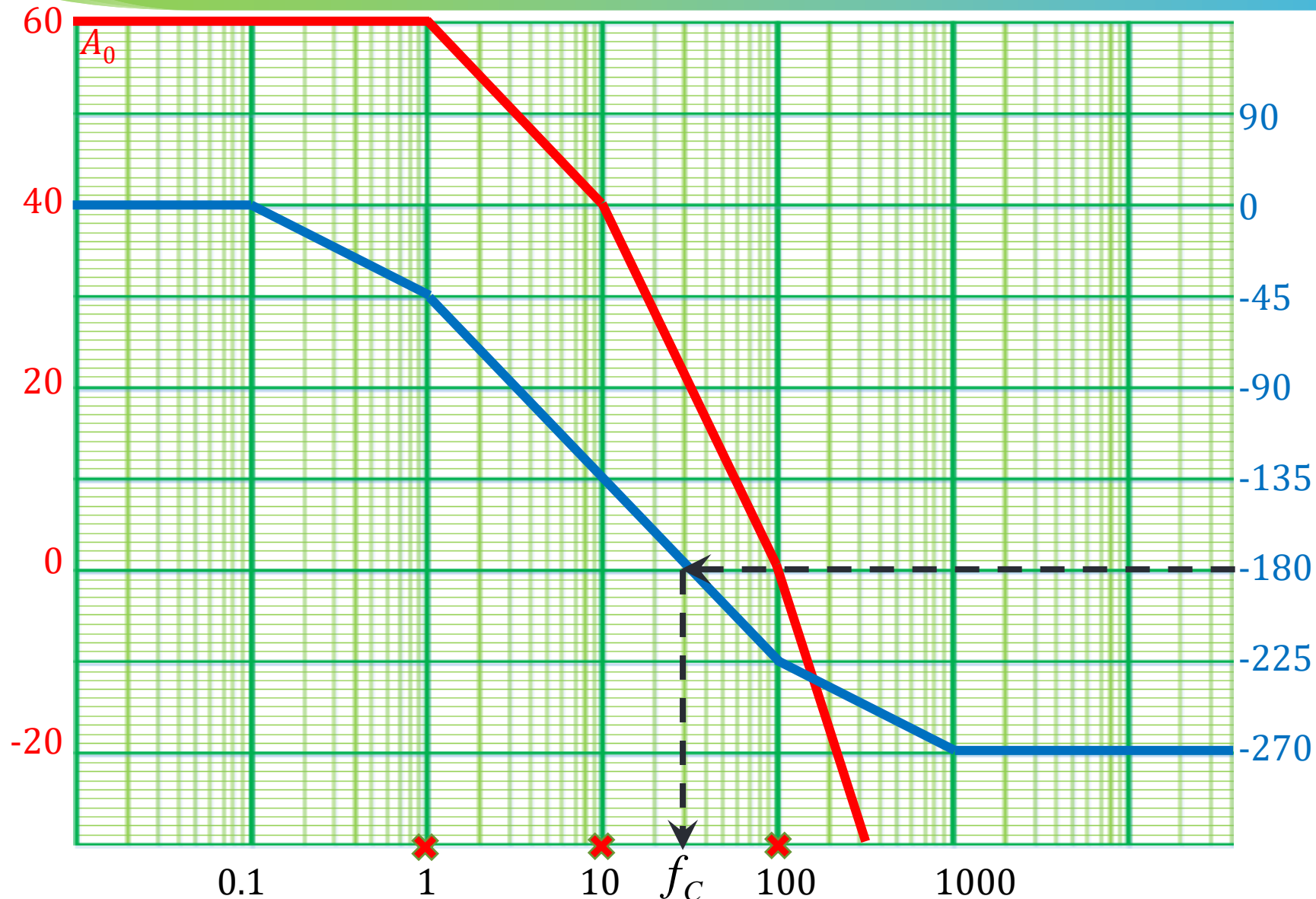
$$a_0 = 1000 \text{ A/V}$$

$$|a_0| = 60 \text{ dB}$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$P_1 = 1 MHz$$

$$P_2 = 10 MHz$$

$$P_3 = 100 MHz$$

$$a_0 = 60 dB$$

$$T(s) = a(s) f_0$$

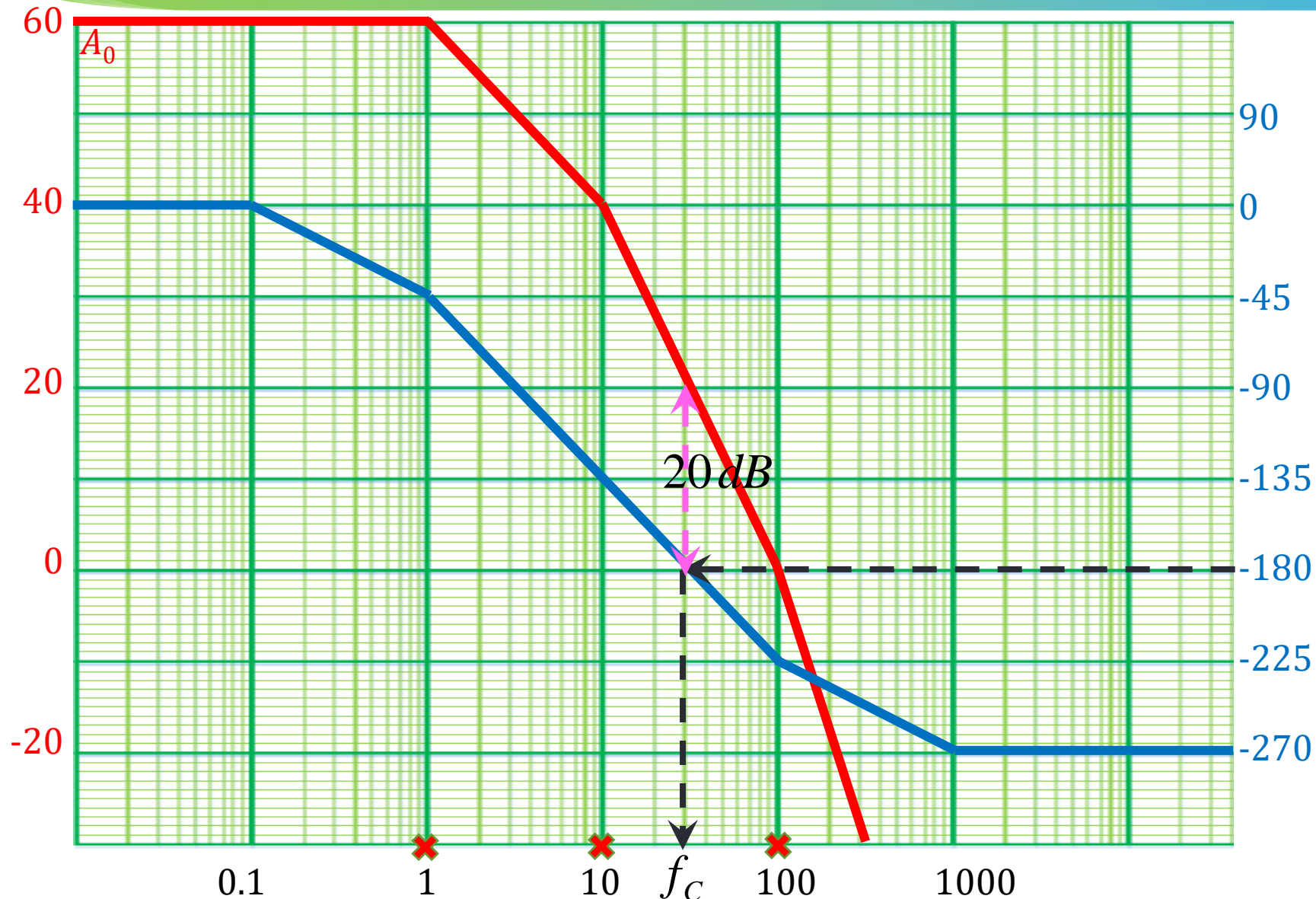
$$|T(s)| = |a(s)| + 20 \log(f_0)$$

$$\angle T(s) = \angle a(s)$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$\angle T(s) = -180^\circ$$

مرز ناپایداری

$$|T(s)|_{dB} = 0 dB$$

$$|T(s)|_{dB} = |a(s)|_{dB} + 20\log(f_0)$$

$$20\log(f_0) = -20$$

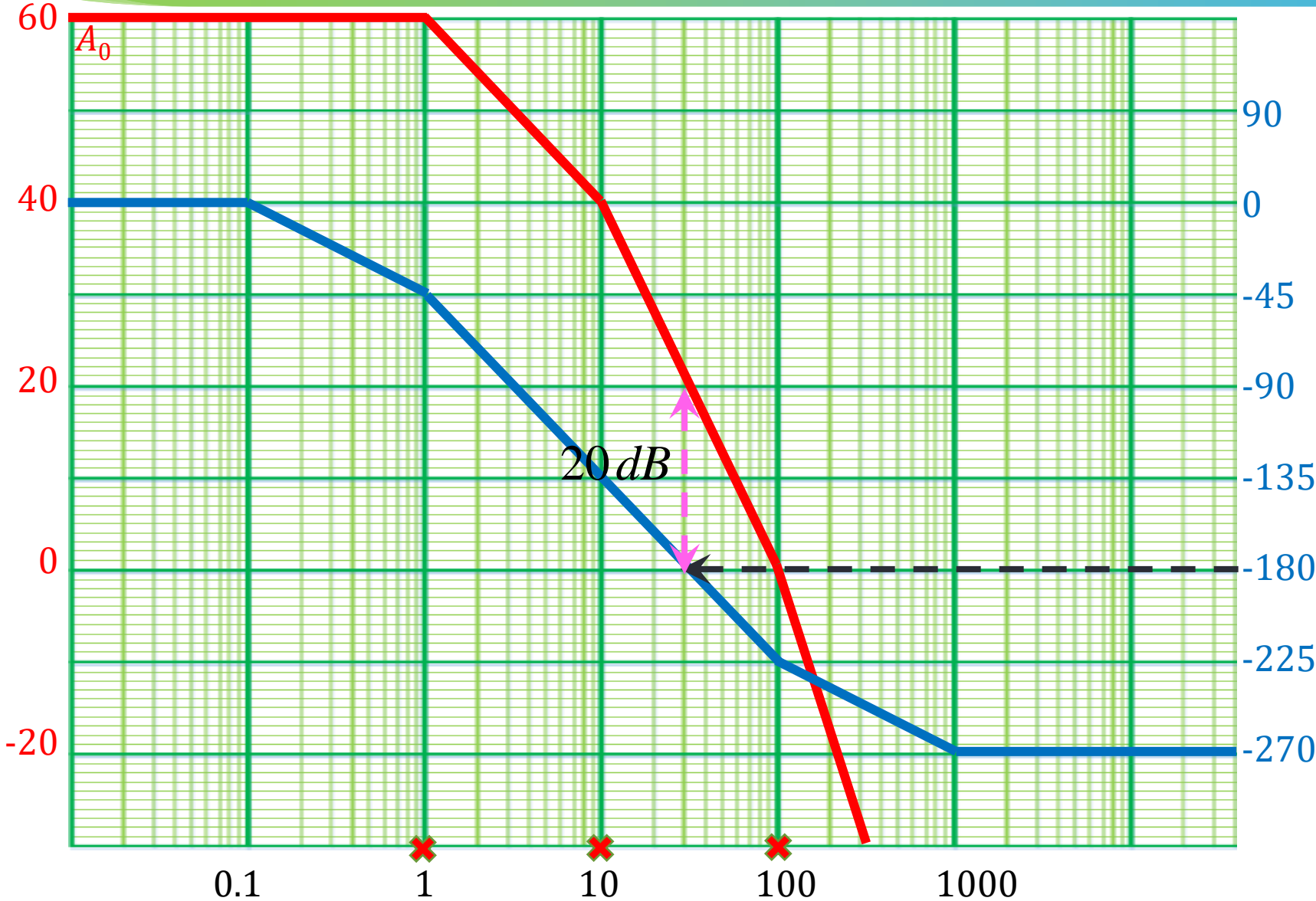
$$\log(f_0) = -1$$

$$R_F(\max) = f_0 = 0.1 \Omega$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک
تعیین فیدبک برای حاشیه پایداری:

$$GM = 15 \text{ dB}$$

$$GM = 20 \log\left(\frac{1}{|T(j\omega)|}\right)$$

$$GM = -20 \log |a(j\omega)| - 20 \log(f_0)$$

$$-20 - 20 \log(f_0) = 15 \text{ dB}$$

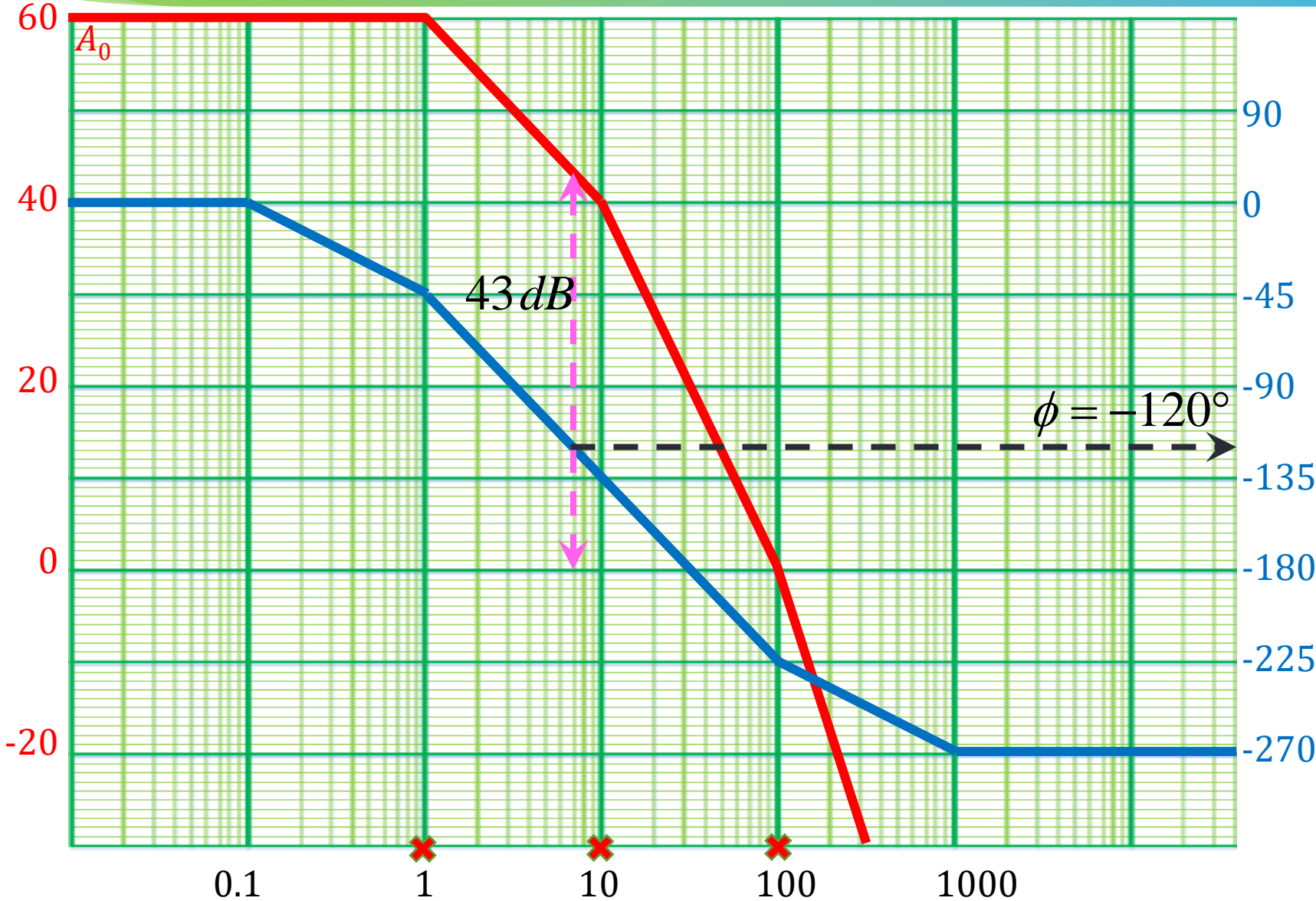
$$20 \log(f_0) = -35$$

$$R_F = f_0 = 0.0178$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک
تعیین فیدبک برای حاشیه پایداری:

$$PM = 60^\circ$$

$$PM = 180 + \phi$$

$$180 + \phi = 60^\circ \quad \phi = -120^\circ$$

$$|T(s)|_{dB} = |a(s)|_{dB} + 20\log(f_0)$$

$$20\log(f_0) = -43$$

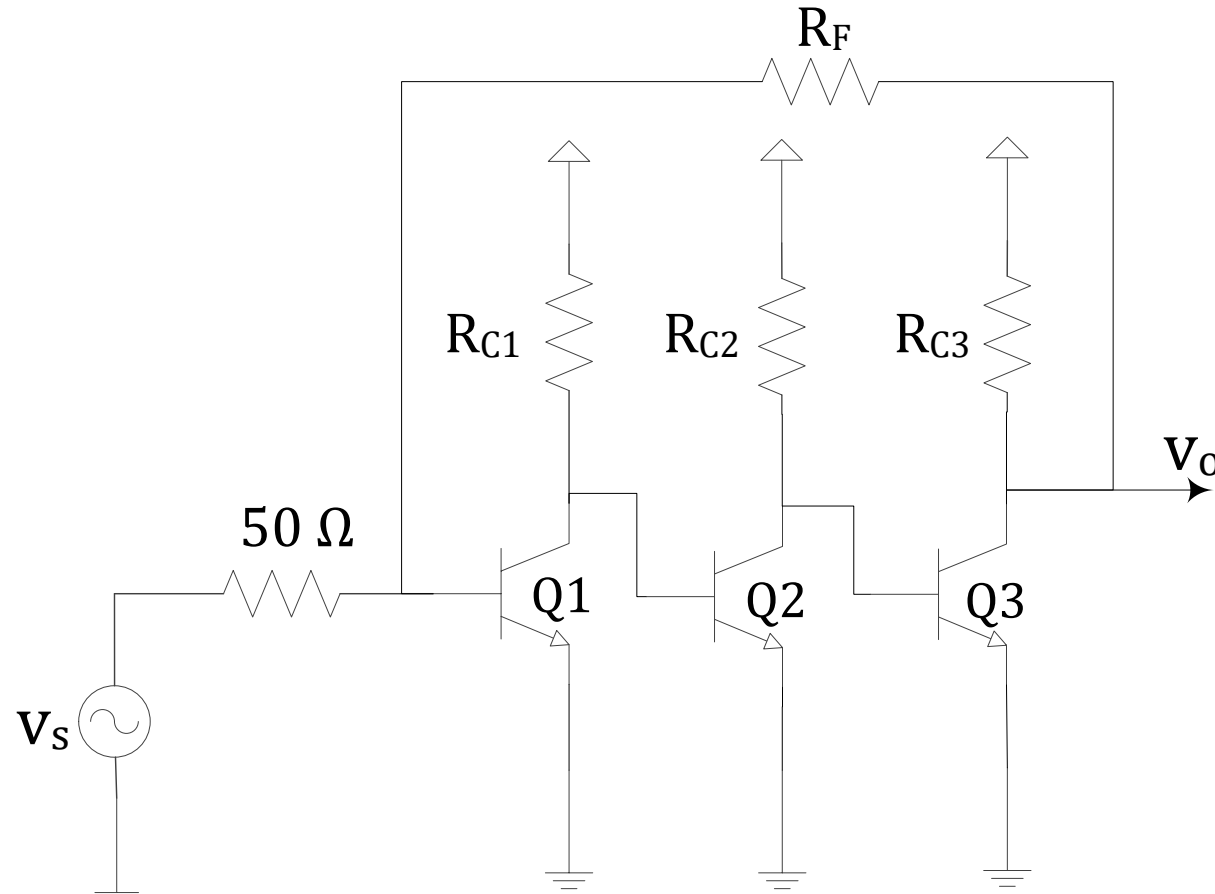
$$R_F = f_0 = 0.00708\Omega$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



$$P_1 = 25 \text{ MHz}$$

$$P_2 = 100 \text{ MHz}$$

$$P_3 = 500 \text{ MHz}$$

$$a_0 = -10^6 \text{ V / A}$$

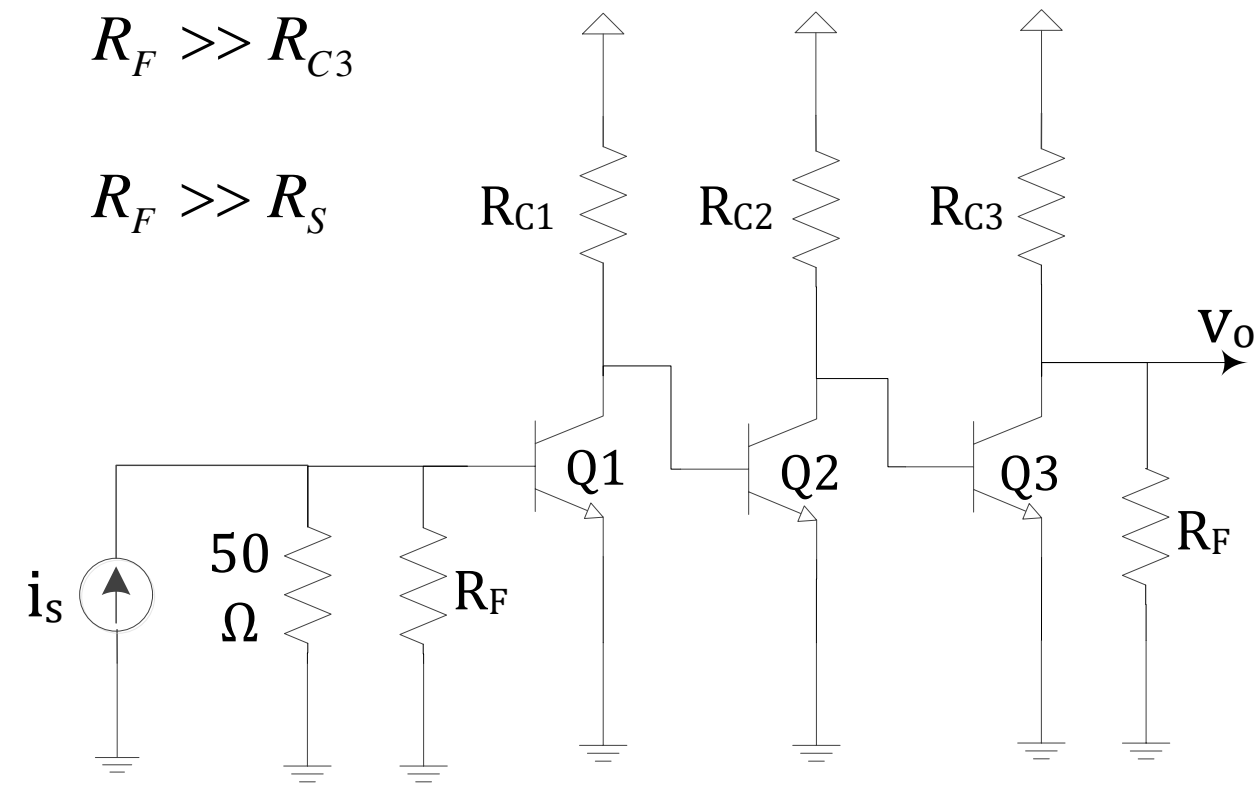
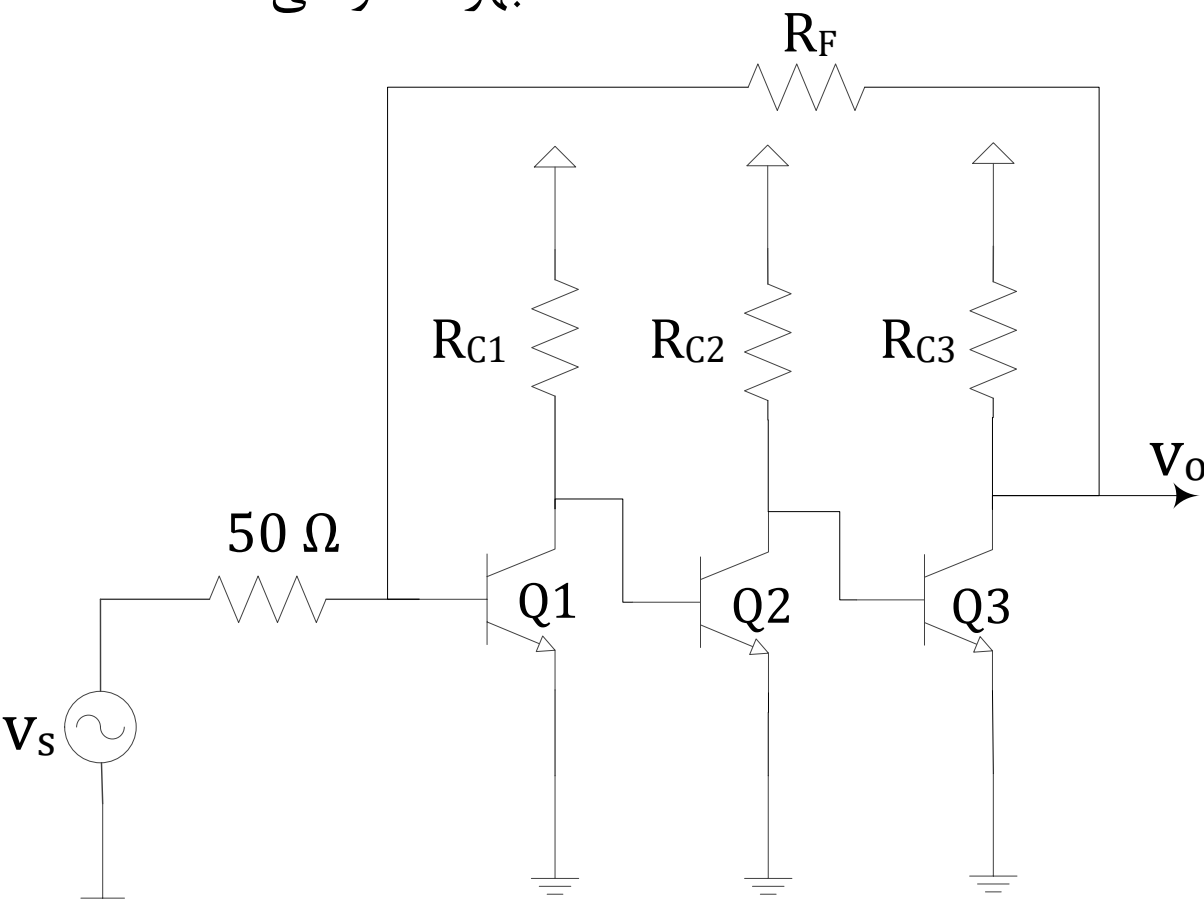


Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

فیدبک ولتاژ - موازی
بهره مقاومتی

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



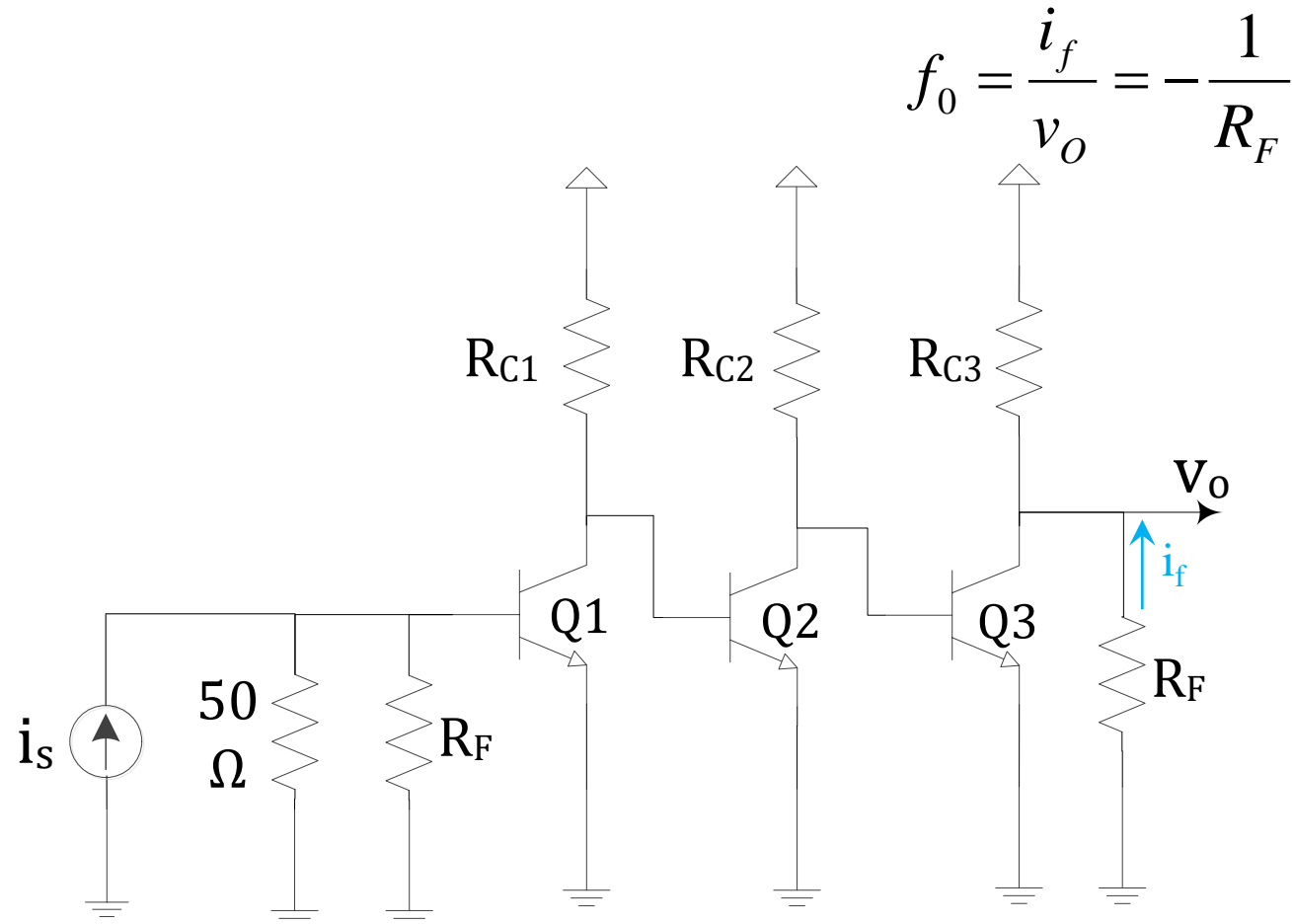
$$R_F \gg R_{C3}$$

$$R_F \gg R_S$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$P_1 = 30 \text{ MHz}$$

$$P_2 = 100 \text{ MHz}$$

$$P_3 = 500 \text{ MHz}$$

$$a_0 = -10^6 \text{ V / A}$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$P_1 = 30 \text{ MHz}$$

$$a_0 = -10^6 \text{ V / A}$$

$$a_0 = 10^6 \text{ V / A}$$

$$P_2 = 100 \text{ MHz}$$

$$f_0 = \frac{i_f}{v_o} = -\frac{1}{R_F}$$



$$f_0 = \frac{i_f}{v_o} = \frac{1}{R_F}$$

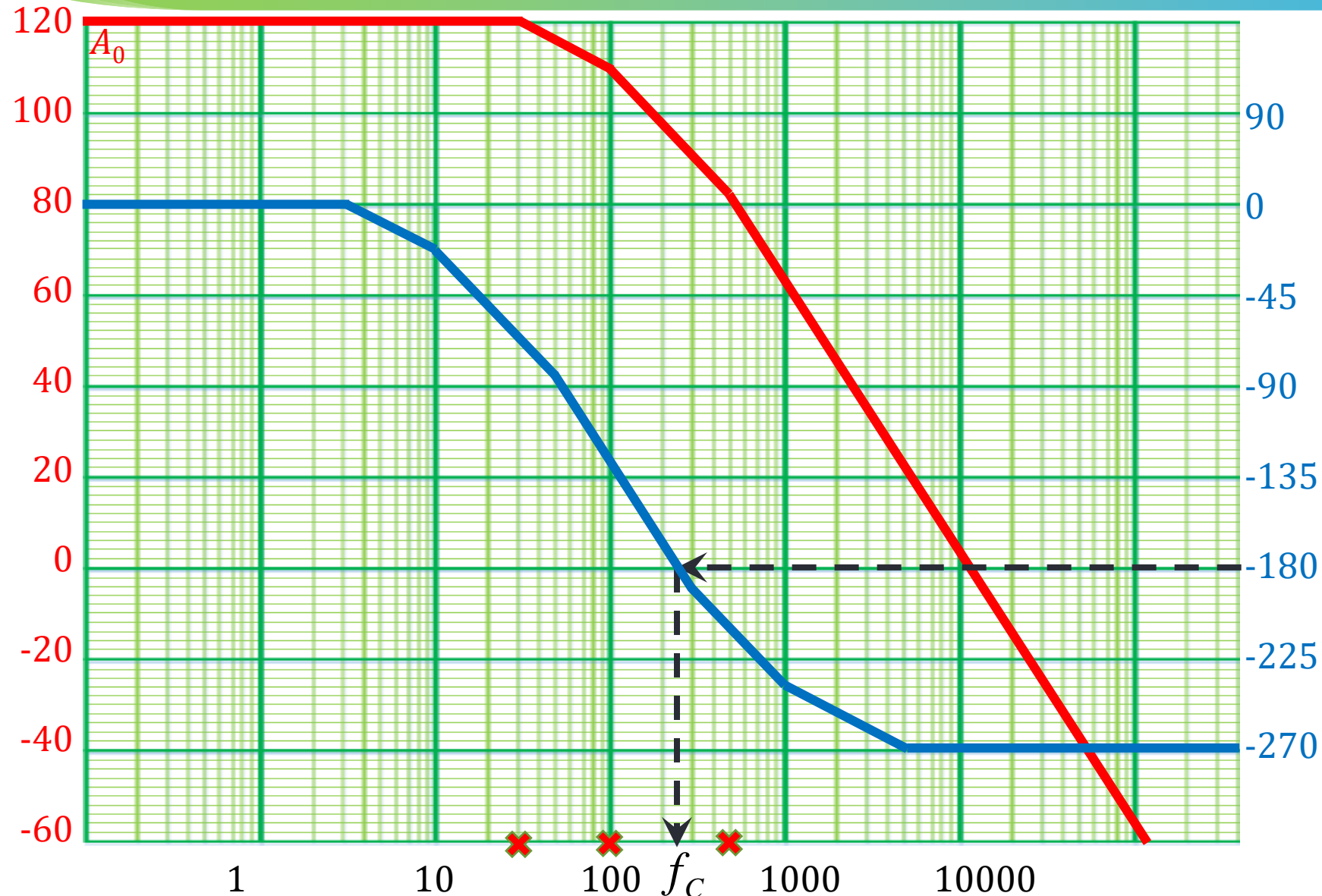
$$P_3 = 500 \text{ MHz}$$

$$|a_0| = 120 \text{ dB}$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$P_1 = 30 \text{ MHz}$$

$$P_2 = 100 \text{ MHz}$$

$$P_3 = 500 \text{ MHz}$$

$$a_0 = 120 \text{ dB}$$

$$T(s) = a(s) f_0$$

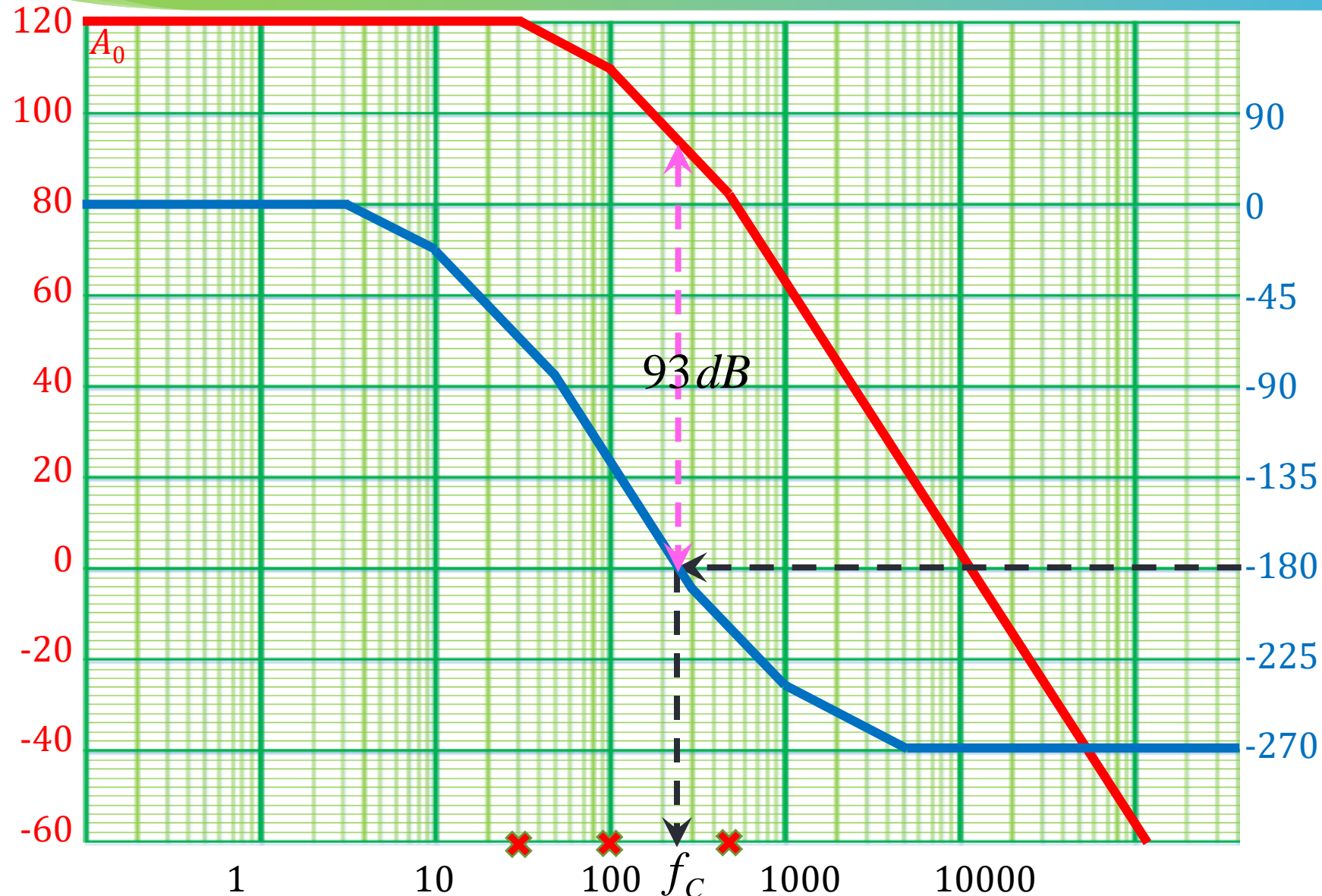
$$|T(s)| = |a(s)| + 20 \log(f_0)$$

$$\angle T(s) = \angle a(s)$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

$$\angle T(s) = -180^\circ$$

مرز ناپایداری

$$|T(s)|_{dB} = 0 dB$$

$$|T(s)|_{dB} = |a(s)|_{dB} + 20\log(f_0)$$

$$20\log(f_0) = -93$$

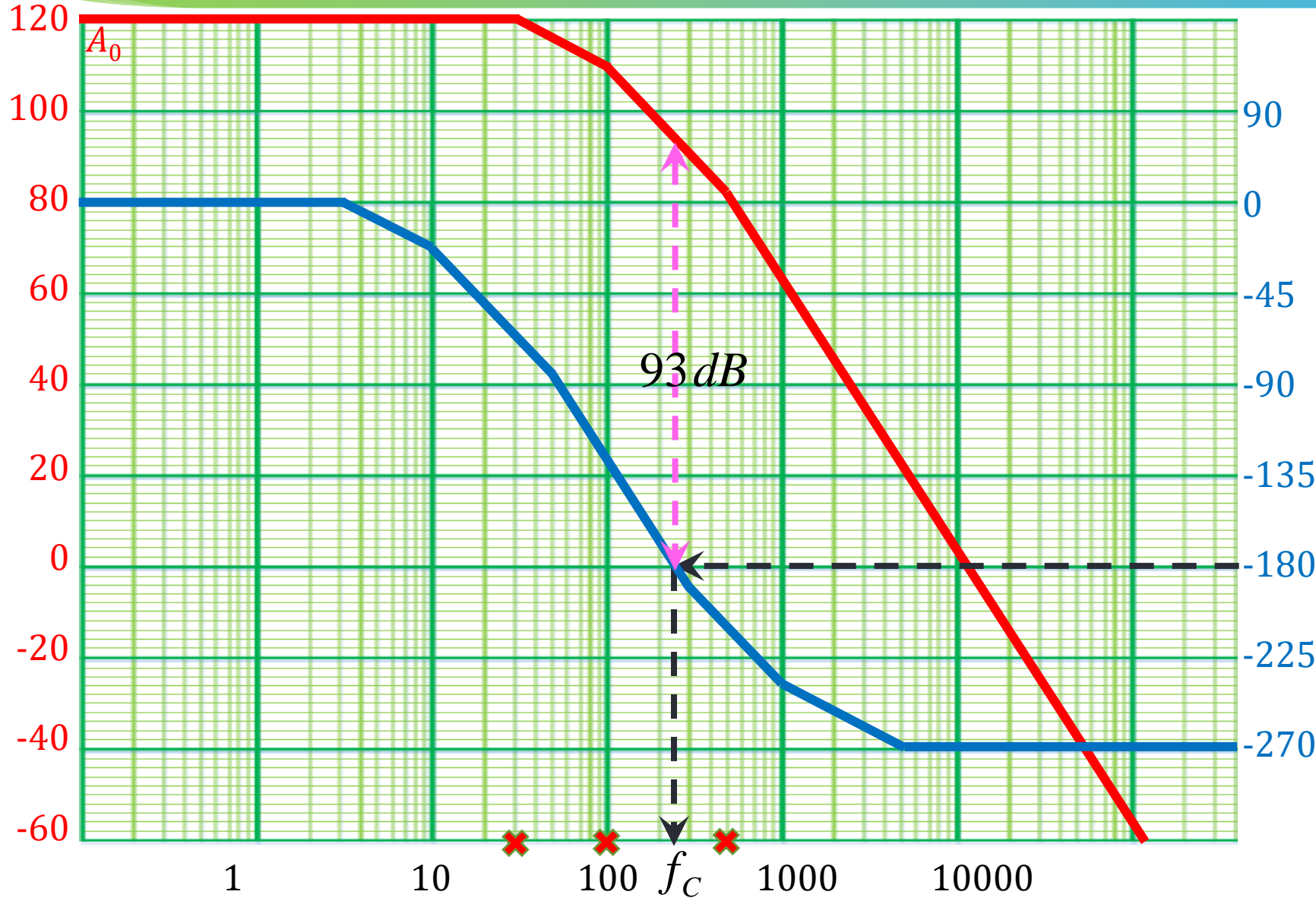
$$f_0 = 2.23 \times 10^{-5}$$

$$R_F (\text{min}) = \frac{1}{f_0} = 44 K \Omega$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

تعیین فیدبک برای حاشیه پایداری:

$$GM = 15 \text{ dB}$$

$$GM = 20 \log \left(\frac{1}{|T(j\omega)|} \right)$$

$$GM = -20 \log |a(j\omega)| - 20 \log(f_0)$$

$$-93 - 20 \log(f_0) = 15 \text{ dB}$$

$$20 \log(f_0) = -108$$

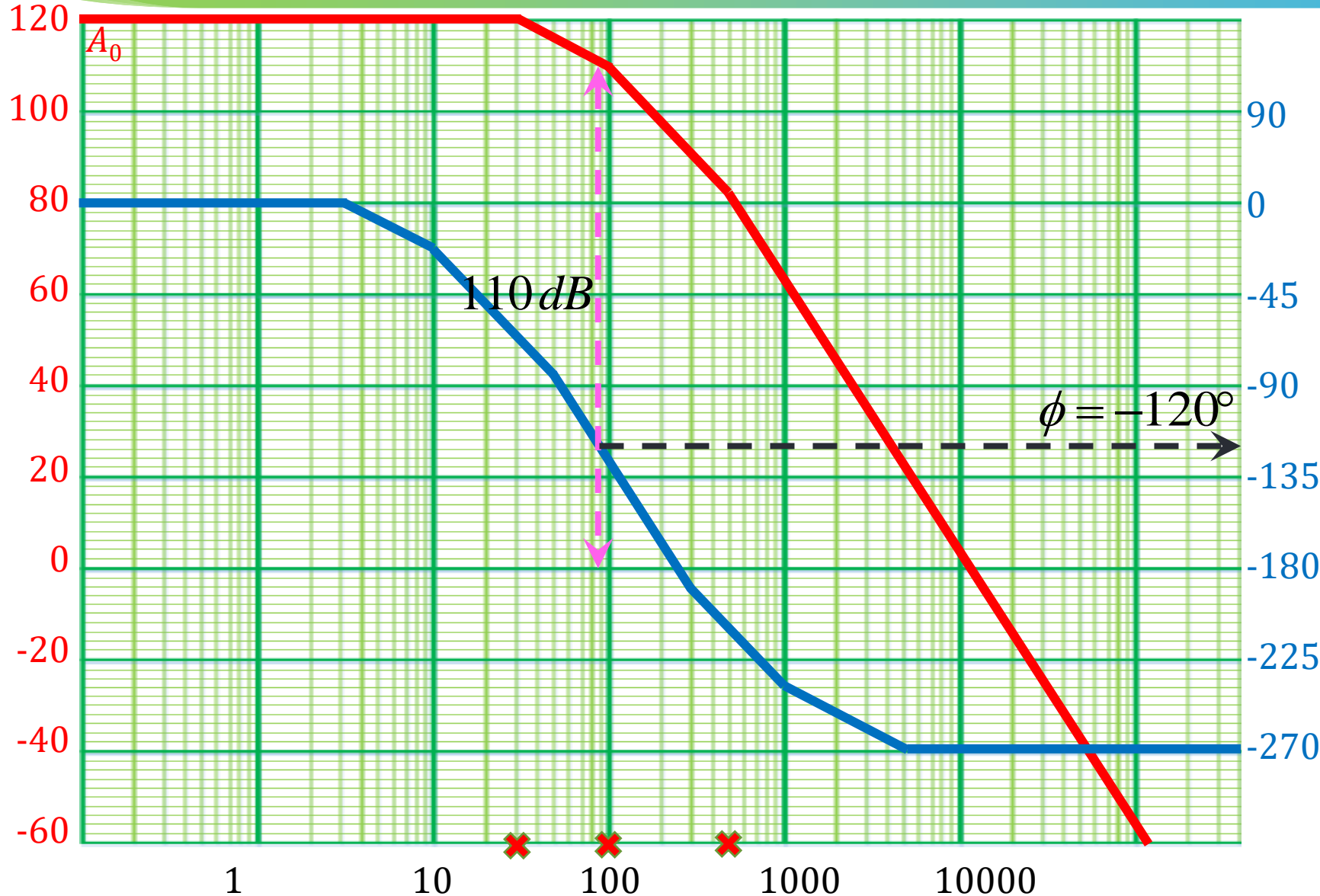
$$f_0 = 3.98 \times 10^{-6}$$

$$R_F = \frac{1}{f_0} = 251 \text{ K}\Omega$$



Instability In Feedback Amplifiers

ناپایداری تقویت کننده های فیدبک



ناپایداری تقویت کننده های فیدبک
تعیین فیدبک برای حاشیه پایداری:

$$PM = 60^\circ$$

$$PM = 180 + \phi$$

$$180 + \phi = 60^\circ \quad \phi = -120^\circ$$

$$|T(s)|_{dB} = |a(s)|_{dB} + 20\log(f_0)$$

$$20\log(f_0) = -110$$

$$f_0 = 3.16 \times 10^{-6}$$

$$R_F = \frac{1}{f_0} = 316 K\Omega$$

