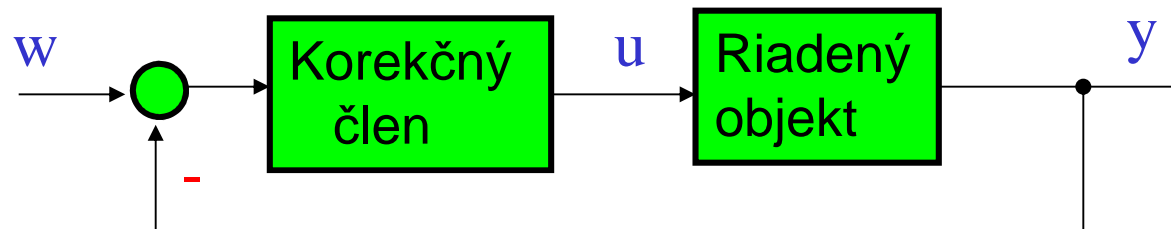


NÁVRH KOREKČNÝCH ČLENOV

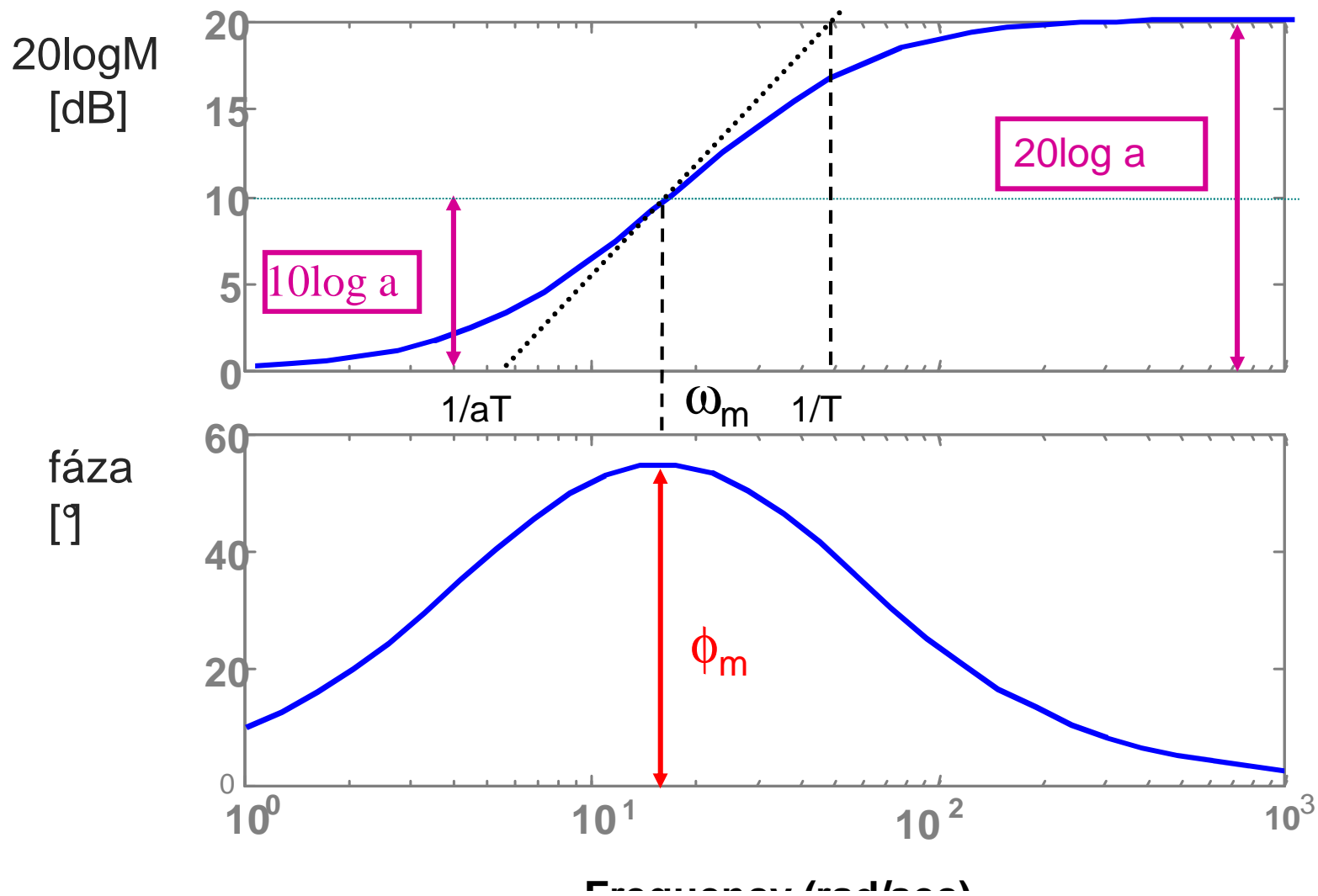
Návrh sériového korekčného člena s fázovým predstihom Phase Lead Controller

Prenosová funkcia: $G_R(s) = \frac{aTs + 1}{Ts + 1} \quad a > 1$



Frekvenčné charakteristiky: $G_R(s) = \frac{aTs+1}{Ts+1}$ $a=10$

Bode Diagrams



Odvodenie vzťahov pre výpočet parametrov korekčného člena

$$\log \omega_m = \frac{1}{2} \left[\log \frac{1}{aT} + \log \frac{1}{T} \right] = \frac{1}{2} \log \frac{1}{aT^2} = \log \frac{1}{T\sqrt{a}}$$

$$\omega_m = \frac{1}{T\sqrt{a}}$$

Z frekvenčnej prenosovej funkcie korekčného člena:

$$G_R(s) = \frac{aTs + 1}{Ts + 1} \quad s = j\omega \quad \rightarrow \quad G_R(s) = \frac{j\omega aT + 1}{j\omega T + 1} = \frac{(1 + j\omega aT)(1 - j\omega T)}{(1 - j\omega T)(1 + j\omega T)}$$

$$G_R(j\omega) = \frac{aT^2\omega^2 + 1}{T^2\omega^2 + 1} + j \frac{T(a-1)\omega}{T^2\omega^2 + 1}$$

$$G_R(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega)$$

$$(a + b)(a - b) = a^2 - b^2$$

$$j = \sqrt{-1} \rightarrow j^2 = -1$$

Fáza

$$\operatorname{tg} \varphi_m = \frac{Q(\omega_m)}{P(\omega_m)} = \frac{\frac{T(a-1)\omega_m}{T^2\omega_m^2 + 1}}{\frac{aT^2\omega_m^2 + 1}{T^2\omega_m^2 + 1}} = \frac{T(a-1)\omega_m}{aT^2\omega_m^2 + 1} = \frac{(a-1)\frac{1}{\sqrt{a}}}{1+1}$$

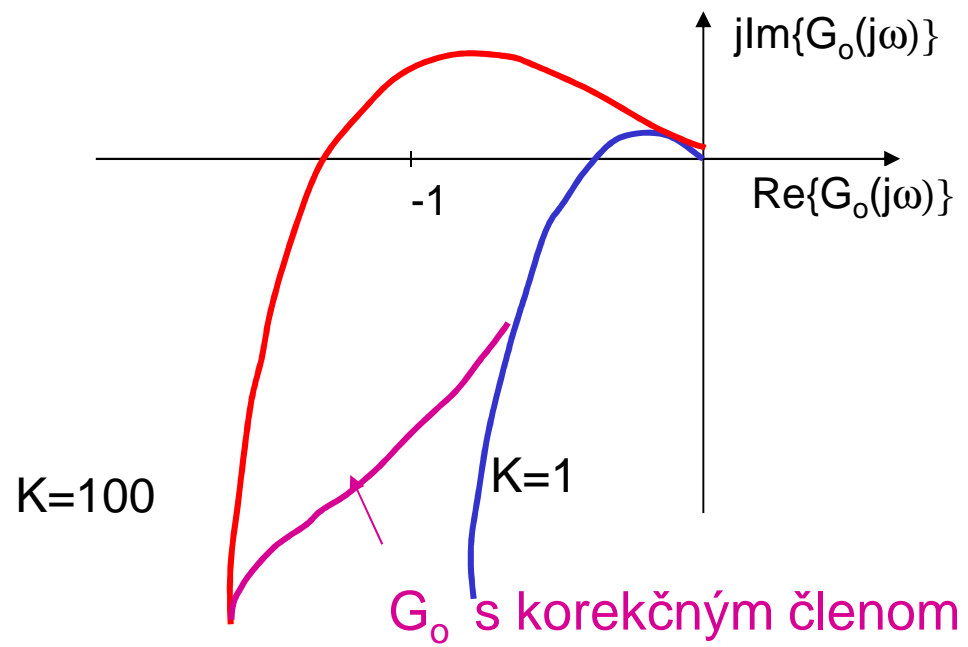
$$\operatorname{tg} \varphi_m = \frac{a-1}{2\sqrt{a}}$$

$$\sin \varphi_m = \frac{\operatorname{tg} \varphi_m}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \varphi_m + 1}} = \frac{a-1}{a+1}$$

$$a = \frac{1 + \sin \varphi_m}{1 - \sin \varphi_m}$$

$$\omega_m = \frac{1}{T\sqrt{a}}$$

$$T = \frac{1}{\omega_m \sqrt{a}}$$



Postup návrhu korekčného člena s fázovým predstihom

1. Určíme zosilnenie K otvoreného regulačného obvodu z podmienky pre statickú presnosť

2. Odhadneme požadovanú hodnotu fázovej bezpečnosti

Z fázovej charakteristiky a pre vypočítané K odčítame fázovú bezpečnosť.

Odhadneme potrebnú hodnotu fázovej bezpečnosti a vypočítame

$$\varphi_m = \Delta\varphi_z - \Delta\varphi_0$$

3. Pre známe ϕ_m určíme parameter a

4. Vypočítame $10 \log a$ a určíme ω_m

Z hodnoty $-10 \log a$ v amplitúdovej Bodeho charakteristike určíme ω_m

5. Určíme časovú konštantu T

6. Analyzujeme vlastnosti regulačného obvodu

Príklad: Uvažujme riadený systém s prenosovou funkciou

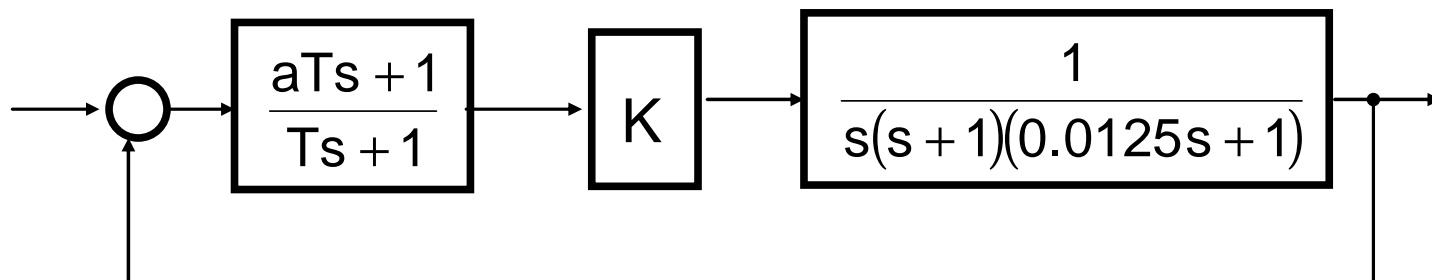
$$G_S(s) = \frac{1}{s(s+1)(0.0125s+1)}$$

Požiadavky:

$e(\infty) \leq \varepsilon = 0,01$ pre skok rýchlosti w

$\eta_{\max} \leq 30\%$ max. preregulovanie

Riadiaci obvod:



Riešenie:

$$w(t) = t \quad \rightarrow \quad W(s) = \frac{1}{s^2}$$

$$e(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{W(s)}{1 + G_O(s)} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s(1 + G_O(s))}$$

$$= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s \left[1 + \frac{K(sT_a + 1)}{s(sT_1 + 1)(sT_2 + 1)(sT + 1)} \right]} = \frac{1}{K}$$

$$e(\infty) = \frac{1}{K} \leq \varepsilon \quad K \geq 100$$

pre maximálne preregulovanie 30% treba zabezpečiť fázovú bezpečnosť min. $\eta_{\max} \rightarrow \Delta\varphi_z = 46^\circ$

$$\Delta\varphi_0 = -1.74^\circ$$

Potrebné fázové
prevýšenie

$$\varphi_m = 46 - (-1.74) = 48.74^\circ$$

Zaokrúhlime

$$\varphi_m = 55^\circ$$

$$a = \frac{1 + \sin \varphi_m}{1 - \sin \varphi_m}$$

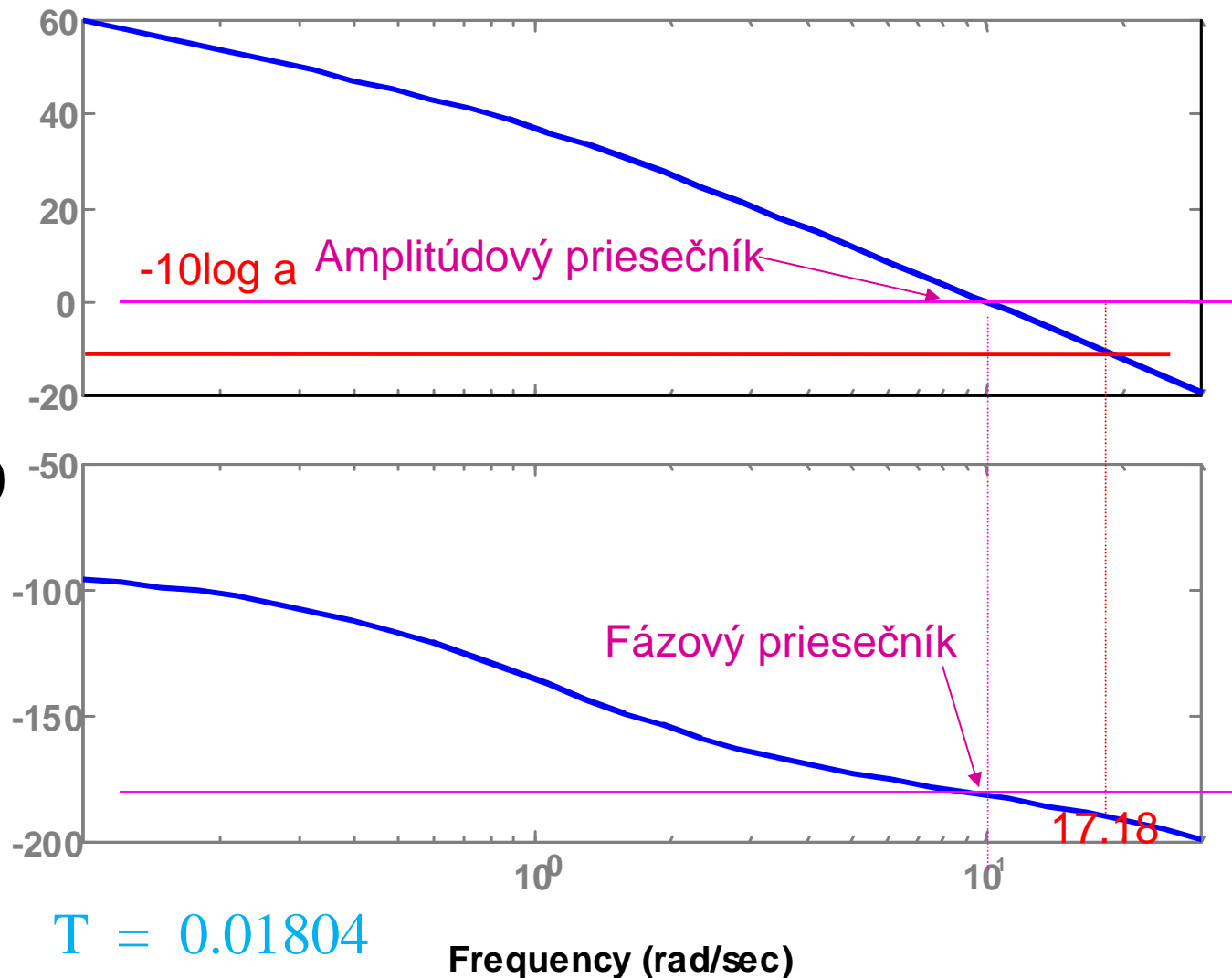
$$= \frac{1 + \sin(55^\circ)}{1 - \sin(55^\circ)} = 10$$

$$a = 10$$

$$T = \frac{1}{\omega_m \sqrt{a}}$$

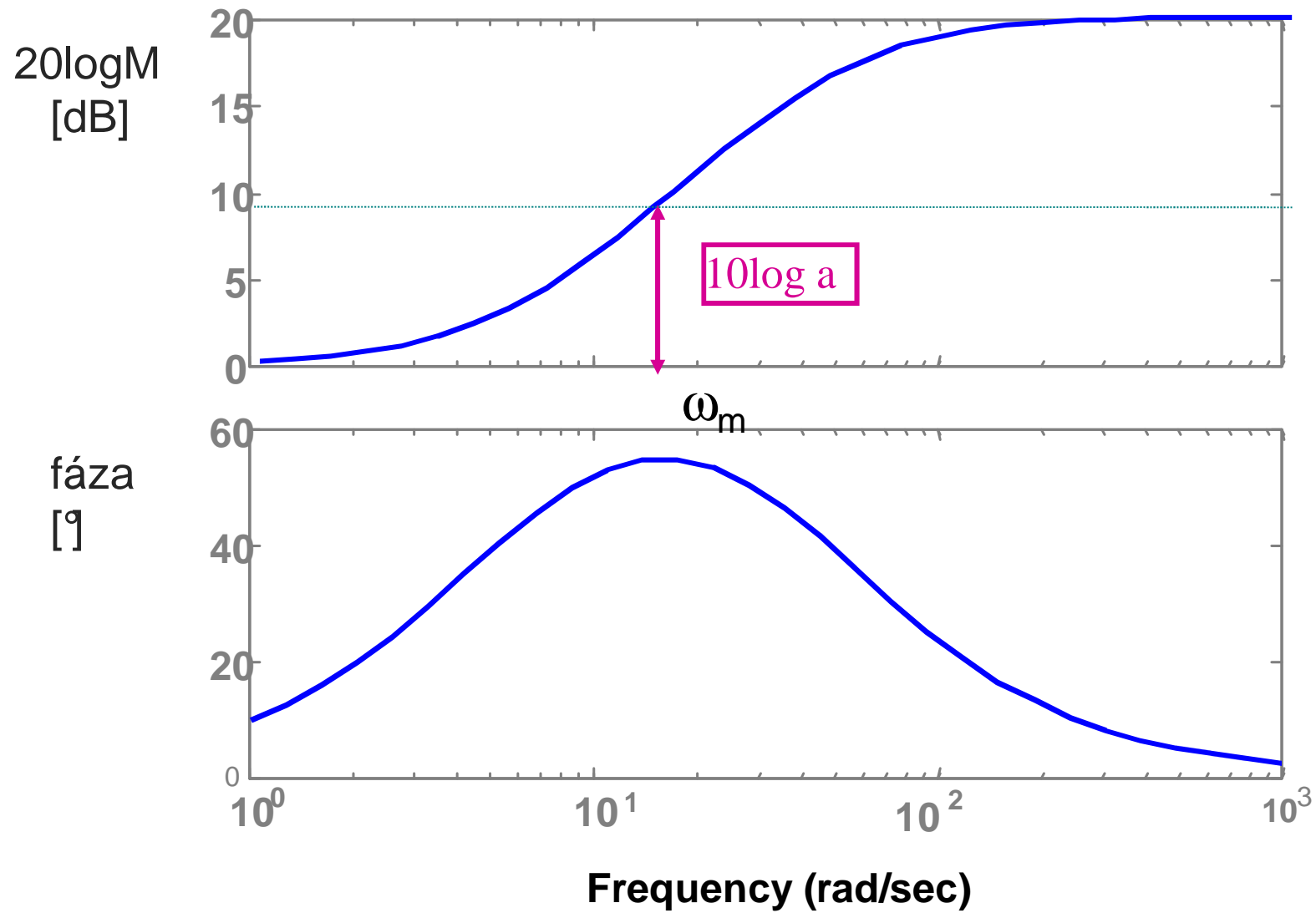
$$T = 0.01804$$

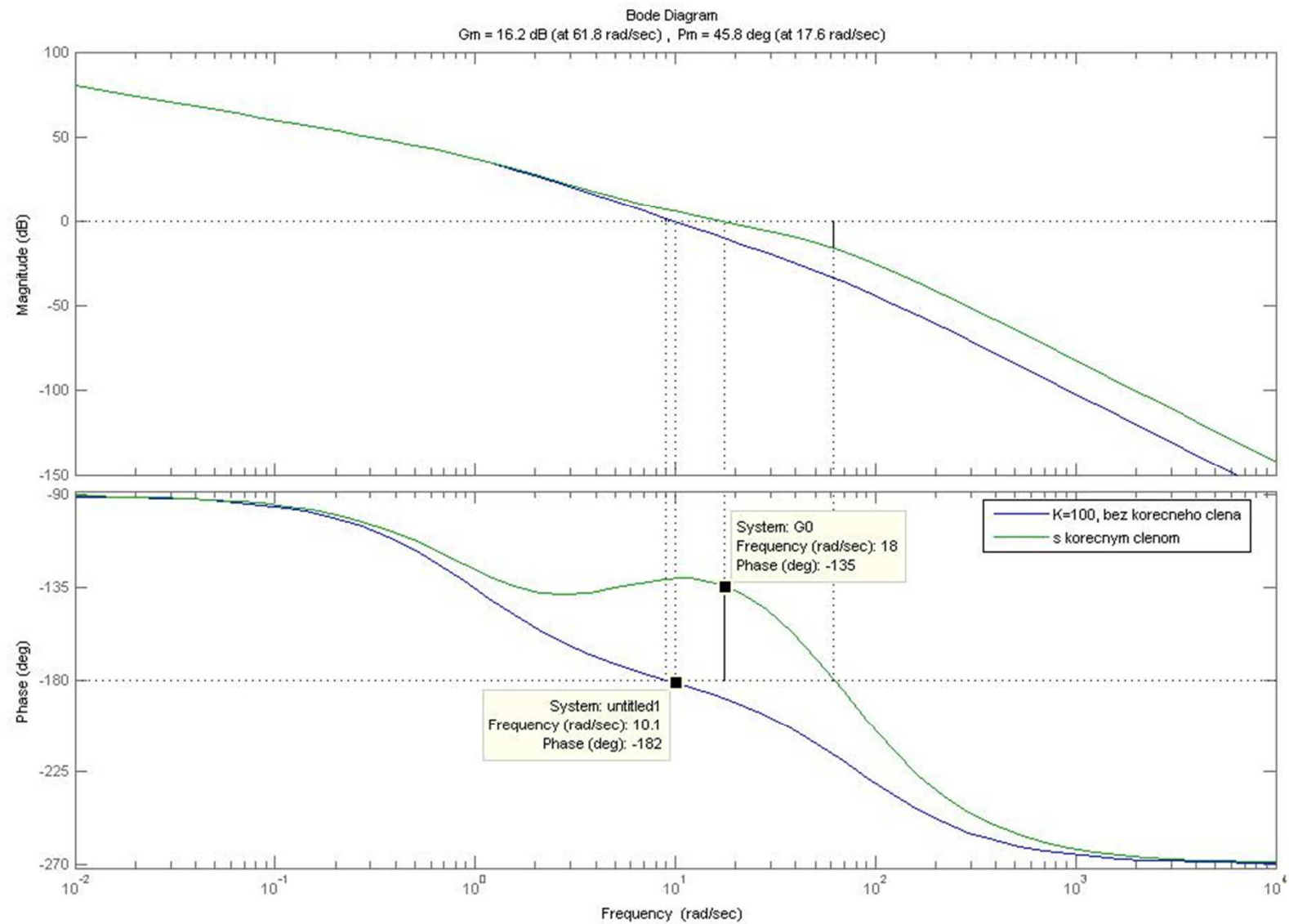
Bode Diagrams



Frequency (rad/sec)

Bode Diagrams





Čo prinesie zvýšenie fázovej bezpečnosti?!

Zvýšme požadovanú fázovú bezpečnosť na 65 stupňov

$$a = \frac{1 + \sin \varphi_m}{1 - \sin \varphi_m} = \frac{1 + \sin(65^\circ)}{1 - \sin(65^\circ)} = 20$$

Posunie sa aj amplitúdový priesečník nakoľko:

$$-10 \log 20 = -13 \text{ (dB)}$$

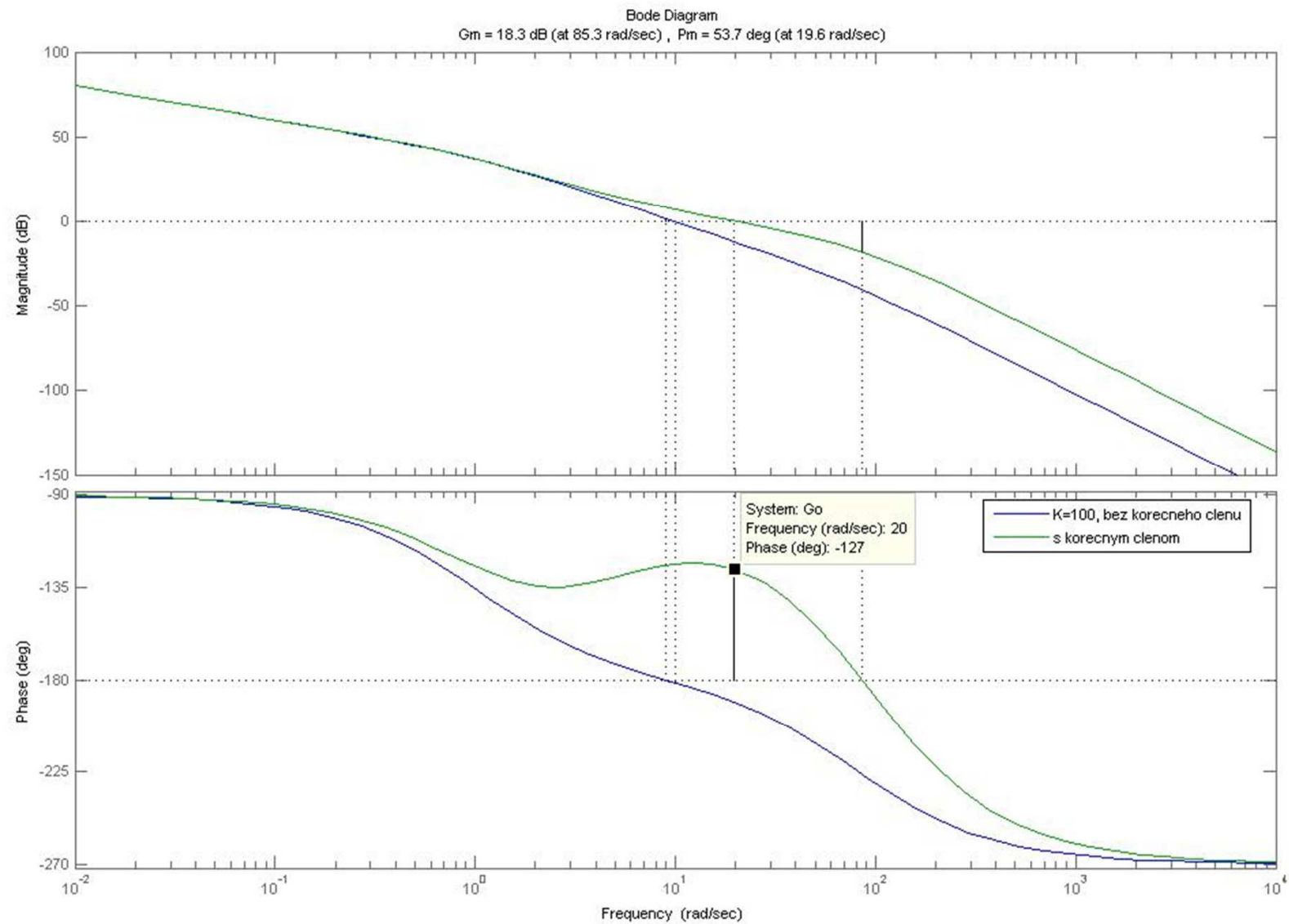
a teda

$$\omega_m = 23 \text{ rad/s}$$

$$T = \frac{1}{\omega_m \sqrt{a}}$$

$$T = 0.01 \text{ s}$$

$$G_R(s) = \frac{aTs + 1}{Ts + 1} = \frac{0.2s + 1}{0.01s + 1}$$



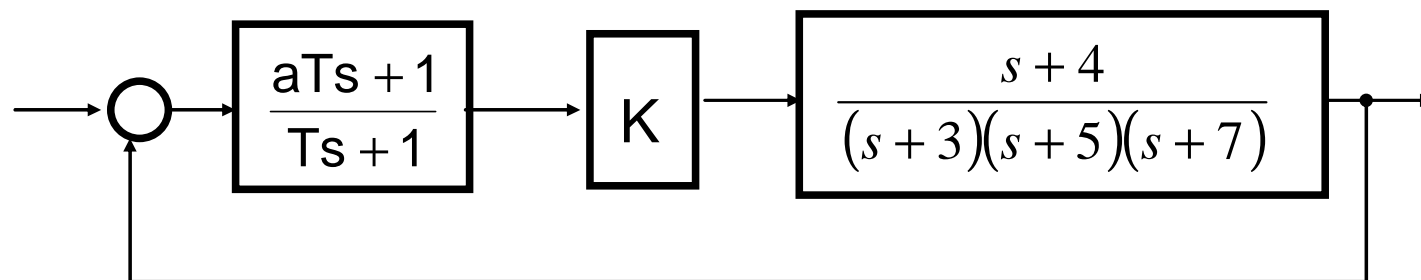
Príklad: Uvažujme riadený systém s prenosovou funkciou

$$G_s(s) = \frac{s + 4}{(s + 3)(s + 5)(s + 7)}$$

Požiadavky:

$e(\infty) \leq \varepsilon = 0,01$ pre jednotkový skok w

$\eta_{\max} \leq 30\%$ max. preregulovanie



Riešenie:

$$w(t) = 1 \quad \rightarrow \quad W(s) = \frac{1}{s}$$

$$e(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{W(s)}{1 + G_o(s)} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{(1 + G_o)}$$

$$= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{\left(1 + \frac{(s+4)K}{(s+3)(s+5)(s+7)} \frac{aTs+1}{Ts+1} \right)} = \frac{105}{105+4K}$$

$$e(\infty) = \frac{105}{105+4K} \leq \varepsilon = 0,01$$

$$\frac{105}{105+4K} = 0,01 \quad 0,01(105+4K) = 105 \quad K = 2600$$

Z Hallových nomogramov určíme požadovanú fázovú bezpečnosť pre maximálne preregulovanie 30%

$$\eta_{\max} \rightarrow \Delta\varphi_Z = 46^\circ$$

$$\Delta\phi_0 = 12^\circ$$

Potrebné fázové
prevýšenie

$$\Delta\phi_m = 46 - 12 = 34$$

Zaokrúhlime

$$\varphi_m = 40^\circ$$

$$a = \frac{1 + \sin \varphi_m}{1 - \sin \varphi_m}$$

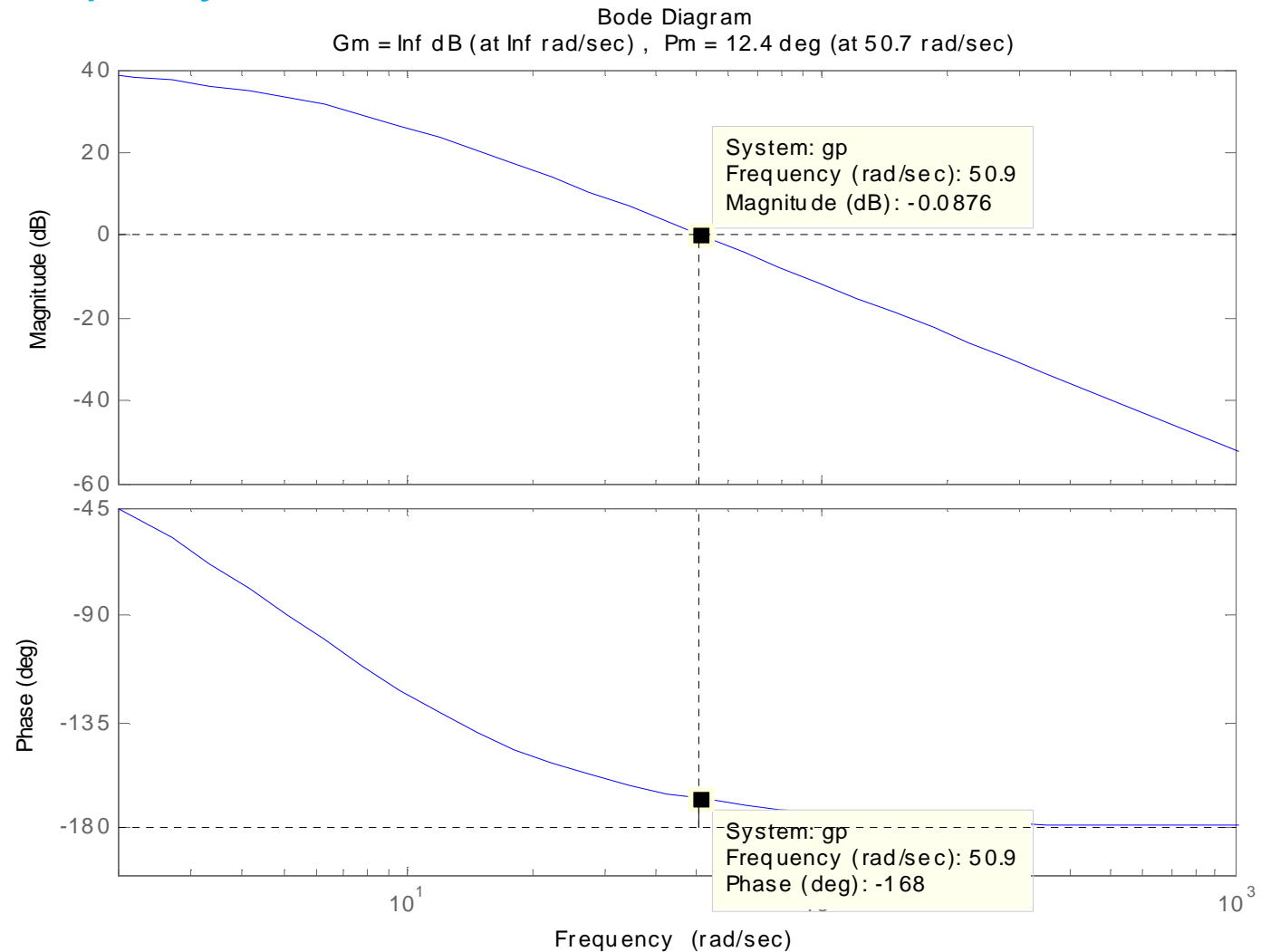
$$= \frac{1 + \sin(40^\circ)}{1 - \sin(40^\circ)} = 4,6$$

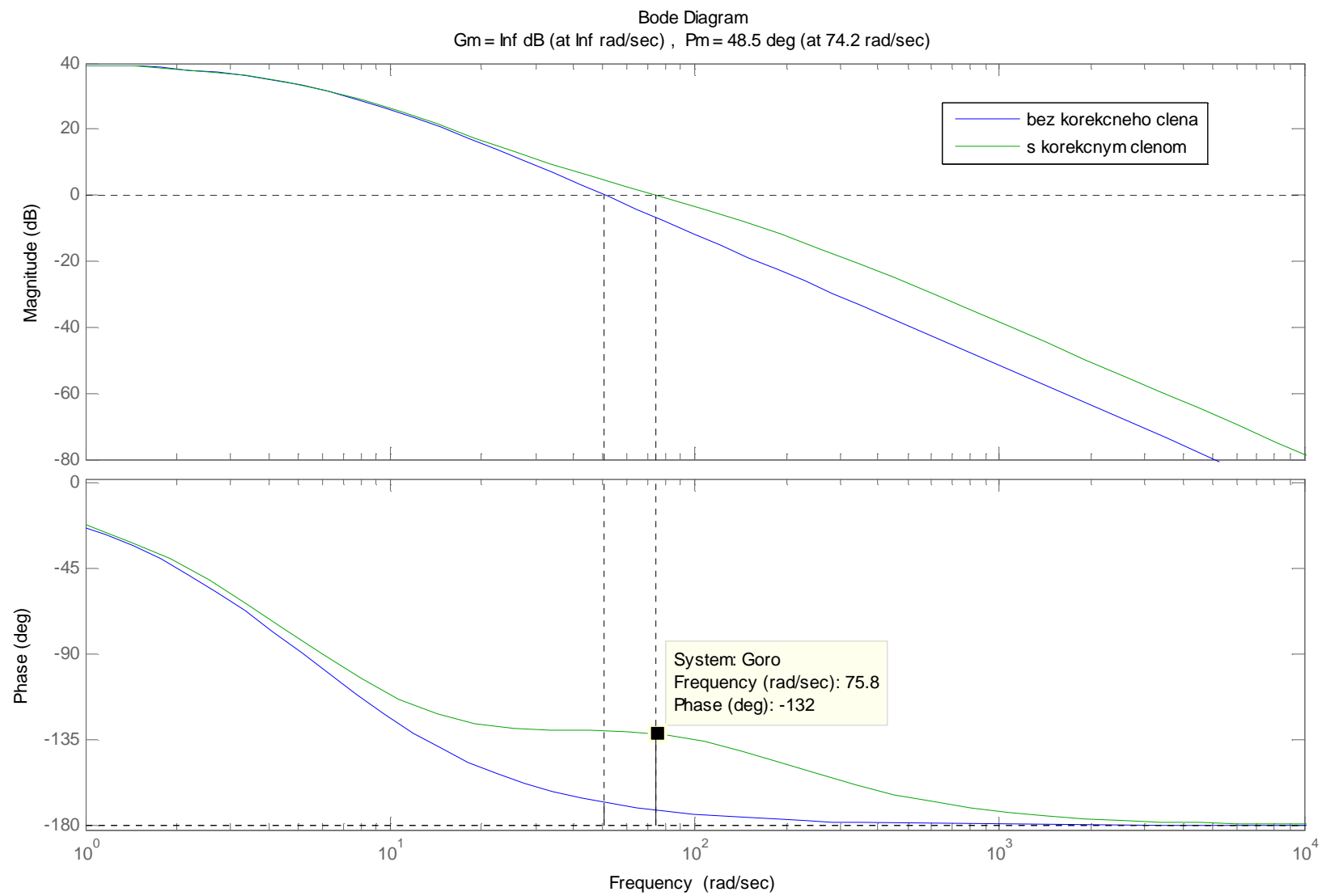
$$a = 4,6$$

$$\omega_m = 75$$

$$T = \frac{1}{\omega_m \sqrt{a}}$$

$$T = 0,006217$$





Příklad

Uvažujme riadený systém s prenosovou funkciou

$$G_s(s) = \frac{1}{s(0.1s + 1)(0.2s + 1)}$$

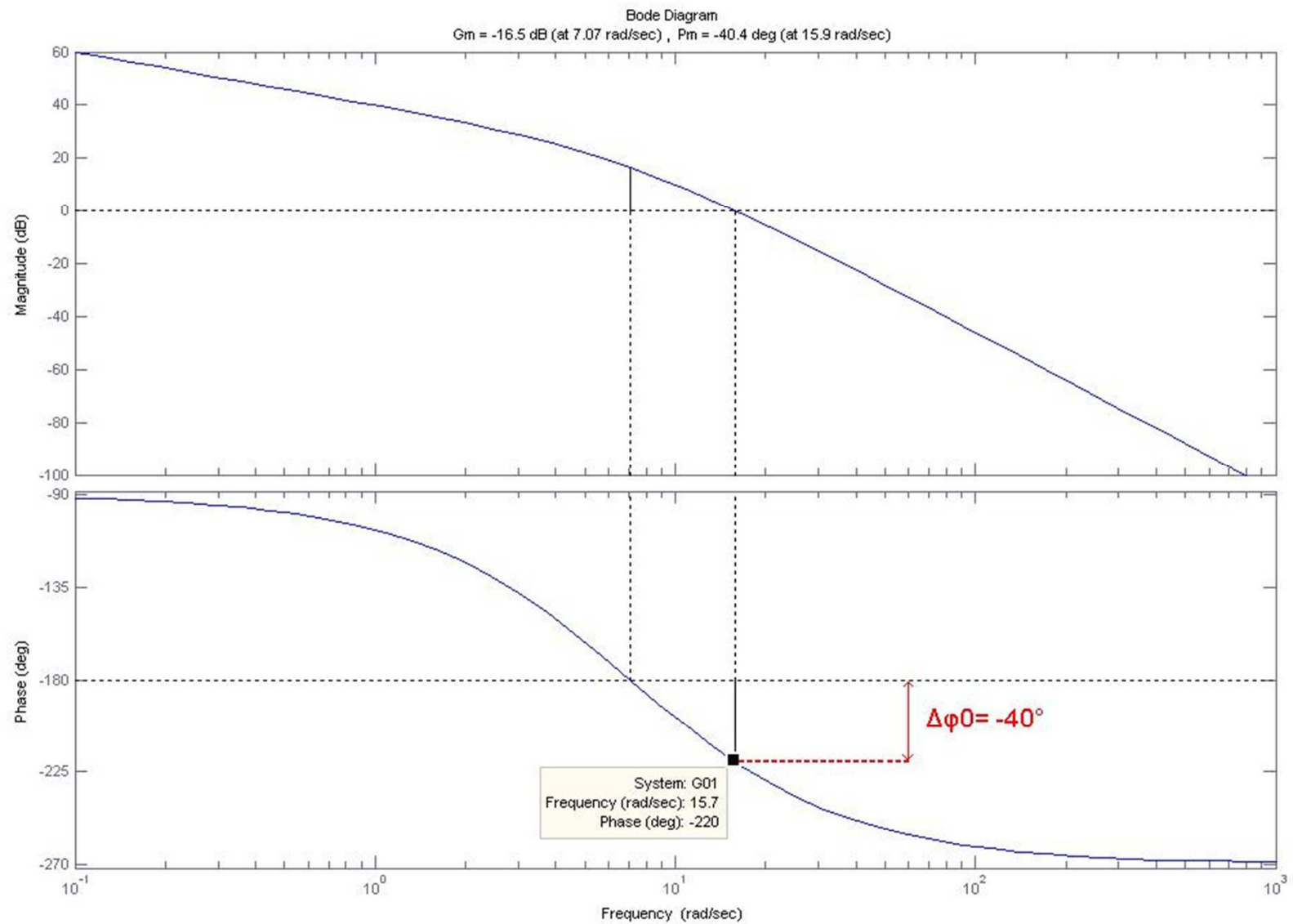
Požiadavky: pre skok rýchlosti w $e(\infty) \leq \varepsilon = 0,01$

$$\eta_{\max} \leq 30\%$$

Riešenie:

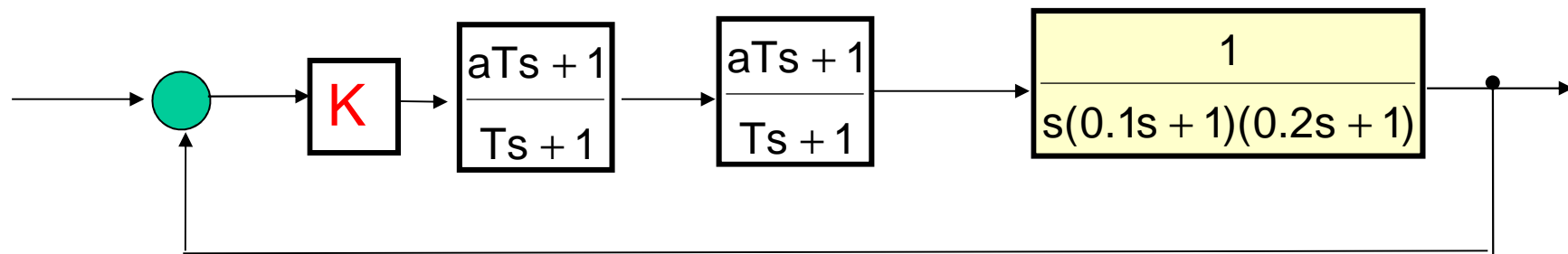
$$e(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{W(s)}{1 + G_o(s)} = \frac{1}{K} \leq \varepsilon \quad K \geq 100$$

$$\eta_{\max} \rightarrow \Delta\varphi_z = 45^\circ$$



$$\varphi_m = \Delta\varphi_z + \Delta\varphi_o = 85 \quad a = \frac{1 + \sin\varphi_m}{1 - \sin\varphi_m} = 500$$

Zvolíme koncepciu s dvomi korekčnými členmi



1) Pre jeden KČ: $\Delta\varphi_z = 42.5^\circ$ zaokrúhlime na $\Delta\varphi_m = 45^\circ$

$$a = \frac{1 + \sin\varphi_m}{1 - \sin\varphi_m}$$

$$a = 12.41$$

$$-10\log a = -11\text{dB}$$

$$\omega_m = 22 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_m = 22 \quad \text{rad/s} \quad T = \frac{1}{\omega_m \sqrt{a}} \quad T = 0.0129 \text{ s}$$

$$G_{KC}(s) = \frac{0.1613s + 1}{0.0129s + 1}$$

2) Dva rovnaké korekčné členy v kaskáde

$$G_{KC}(s) = \left(\frac{0.1613s + 1}{0.0129s + 1} \right)^2$$

