

Výpočet koeficientov PID regulátora

A. Metódy výpočtu koeficientov spojitých PID regulátorov na základe znalosti matematického modelu

1. Naslinova metóda
2. Metóda optimálneho modulu
3. Metóda štandardných tvarov (Butterworth, Graham-Lathrop)
4. Metóda časových konštánt
5. Zieglerova-Nicholsova metóda



B. Nastavovanie koeficientov spojitých regulátorov na základe prechodovej charakteristiky procesu

1. Zieglerova-Nicholsova metóda (open-loop)
2. Metóda inverzie dynamiky

C. Experimentálne metódy nastavovania koeficientov spojitých regulátorov

3. Metódy založené na štandardných tvaroch (charakteristického polynómu)

Postup návrhu pri týchto metódach spočíva v porovnaní charakteristického polynómu URO s referenčnými štandardnými tvarmi napr. podľa [Butterwortha](#), [Graham – Lathropa](#), a pod.).

Porovnaním koeficientov polynómu URO a príslušného štandardného polynómu pri rovnakých mocninách „s“ sa získajú lineárne rovnice na výpočet neznámych koeficientov regulátora.

A. Štandardné tvary Grahama – Lathropa (1953)

Rád referenčného polynómu

Koeficienty referenčného polynómu

$$q = \frac{s}{\omega_0}$$

- | | |
|----|------------------------------------|
| 1. | $1 + q$ |
| 2. | $1 + 1.4q + q^2$ |
| 3. | $1 + 2.15q + 1.75q^2 + q^3$ |
| 4. | $1 + 2.7q + 3.4q^2 + 2.1q^3 + q^4$ |

B. Štandardné tvary podľa Butterwortha

Rád referenčného polynómu

Koeficienty referenčného polynómu

$$q = \frac{s}{\omega_0}$$

1.

$$1 + q$$

2.

$$1 + 1.41q + q^2$$

3.

$$1 + 2q + 2q^2 + q^3$$

4.

$$1 + 2.61q + 3.41q^2 + 2.61q^3 + q^4$$

Dá sa dokázať, že korene Butterworthových polynómov ležia na kružnici s polomerom ω_0 a sú symetricky rozložené voči reálnej osi (v ľavej polrovine).

Príklad 3A (Graham-Lathropove polynómy):

$$G_p(s) = \frac{K}{s(Ts + 1)} = \frac{100}{s(0.15s + 1)}$$

$$G_R(s) = r_0$$

Charakteristický polynóm

$$C(s) = 0.15s^2 + s + 100r_0 = s^2 + 6.667s + 666.667r_0$$

Referenčný polynóm

$$C_{ref} = 1 + 1.41q + q^2 = 0 \quad q = \frac{s}{\omega_0}$$

$$C_{ref} = 1 + 1.41\frac{s}{\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 \Rightarrow s^2 + 1.41\omega_0 s + \omega_0^2$$

$$C = C_{ref}$$

$$s^2 + 6.667s + 666.667r_0 = s^2 + 1.41\omega_0 s + \omega_0^2$$

$$1 = 1 \quad 1.41\omega_0 = 6.667 \quad \omega_0^2 = 666.667r_0$$

$$\omega_0 = 4.7 \quad r_0 = 0.0335$$

Výpočet pólov URO

```
>> roots([1 1.41*4.7 4.7^2])
```

$$t_{reg} \approx \frac{4 \div 5}{3.3} \approx < 1.2 \div 1.5 > s$$

```
ans =
```

```
-3.3135 + 3.3333i
```

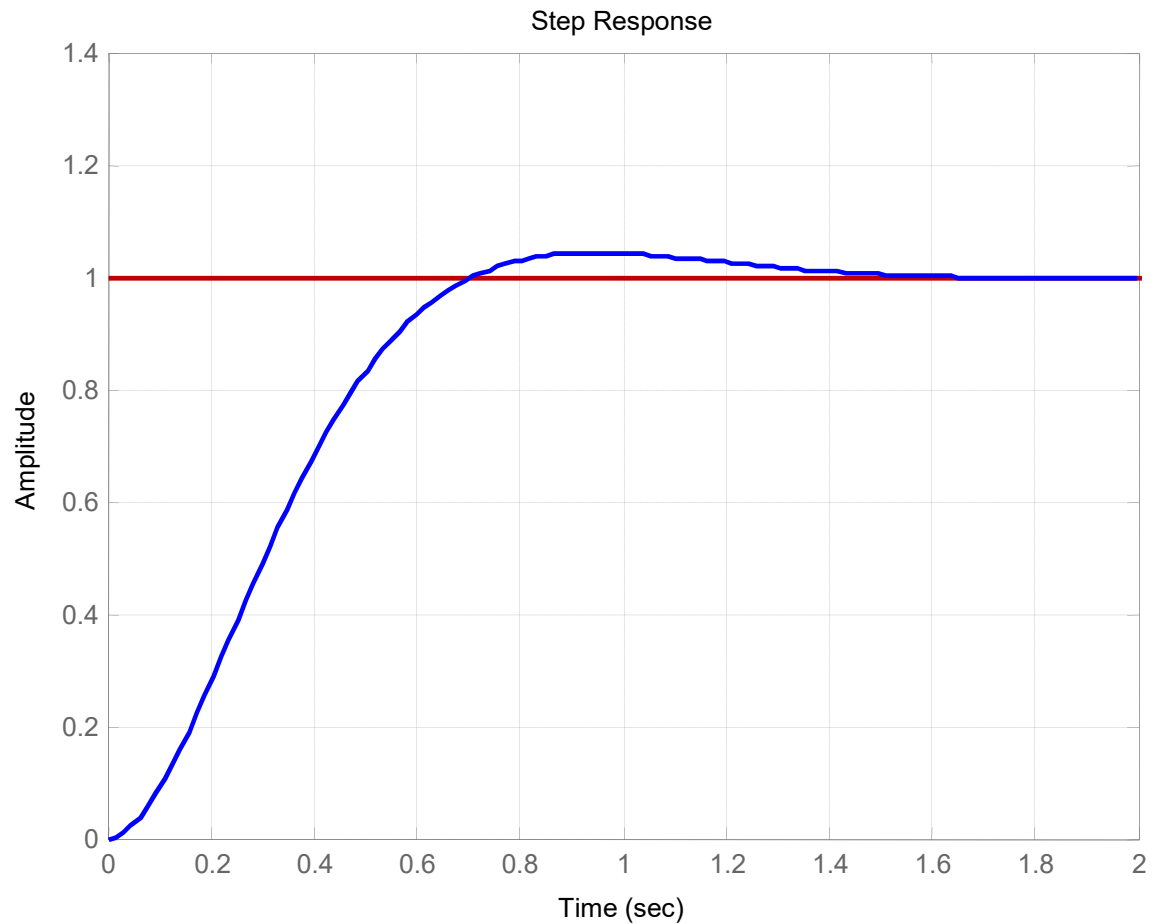
```
-3.3135 - 3.3333i
```

```
>> abs(ans)
```

```
ans =
```

```
4.7000
```

```
4.7000
```

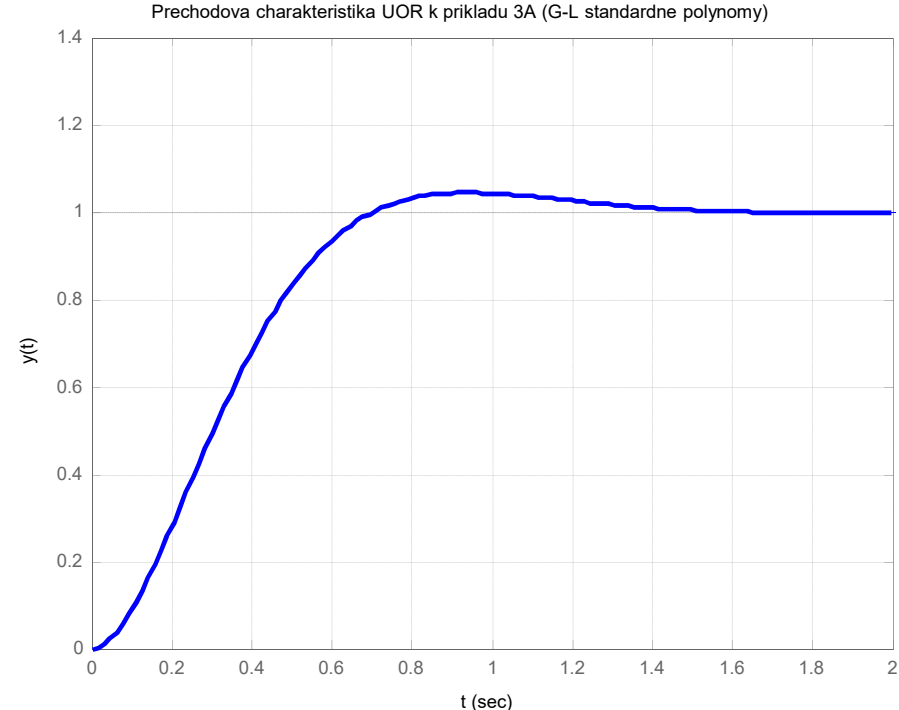


Vyhodnotenie kvality riadenia v Matlabe (pre Príklad 3A)

```
clc;clear
Gp=tf(100,[0.15 1 0]) %prenos riadeneho procesu
Gr=tf(0.0335,1)        %prenos P-regulatora, metoda Standardnych polynomov G-L
G_oro=Gp*Gr;           %prenosova funkcia otvoreneho regulacneho obvodu
G_uro=feedback(G_oro,1) %prenosova funkcia uzavreteho regulacneho obvodu
step(G_uro)            %vykreslenie prechodovej charakteristiky URO
grid
title('Prechodova charakteristika URO k príkladu 3A (G-L standardne polynomy)')
xlabel('t');ylabel('y(t)')
stepinfo(G_uro)         %vyhodnotenie kvality prechodovej charakteristiky URO
```

ans =

RiseTime: 0.4536
SettlingTime: 1.2627
SettlingMin: 0.9061
SettlingMax: 1.0439
Overshoot: 4.3873
Undershoot: 0
Peak: 1.0439
PeakTime: 0.9443



Príklad 3B (G-L)

$$G_p(s) = \frac{2741.4478}{s(0.1s^2 + 15.116s + 416.1202)}$$

$$G_R(s) = r_0 + r_1s$$

$$G_0(s) = \frac{2741.4478(r_0 + r_1s)}{s(0.1s^2 + 15.116s + 416.1202)}$$

Charakteristický polynóm URO:

$$C(s) = s^3 + 151.16s^2 + s(4161.202 + 27414.478r_1) + 27414.478r_0$$

Referenčný polynóm Graham - Lathropa:

$$C_{ref} = 1 + 2.15q + 1.75q^2 + q^3 = 0 \quad \leftrightarrow \quad q = s / \omega_0$$

$$C_{ref} = \omega_0^3 + 2.15s\omega_0^2 + 1.75s^2\omega_0 + s^3 =$$

$$= s^3 + 151.16s^2 + s(4161.202 + 27414.478r_1) + 27414.478r_0$$

Riešenie: $1.75\omega_0 = 151.16$

$$2.15\omega_0^2 = 4161.202 + 27414.478r_1$$

$$\omega_0^3 = 27414.478r_0$$

$$\omega_0 = 86.377$$

$$r_0 = 23.5080$$

$$r_1 = 0.433$$

4. Metóda časových konštánt

Riadený proces

$$G_p(s) = K \frac{\prod_{j=1}^m (1 + \tau_j s)}{\prod_{i=1}^n (1 + T_i s)} e^{-Ds}$$



Sumárna časová konštanta

$$T_s = \underbrace{\sum_{i=1}^n T_i}_{\text{Súčet čas. konštánt menovateľa}} - \underbrace{\sum_{j=1}^m \tau_j}_{\text{Súčet čas. konštánt čitateľa}} + \underbrace{D}_{\text{dopravné oneskorenie}}$$

Súčet čas.
konštánt
menovateľa

Súčet čas.
konštánt
čitateľa

dopravné
oneskorenie

Regulátor	Typ	P	T _i	T _d
Normálny PID	P	1/K	-	-
	PD	1/K	-	0.33 T _s
	PI	0.5/K	0.5T _s	-
	PID	1/K	0.66T _s	0.1667T _s
Rýchly PID	PI	1/K	0.7T _s	-
	PID	2/K	0.8T _s	0.194T _s

5. Ziegler – Nicholsova metóda (1942)

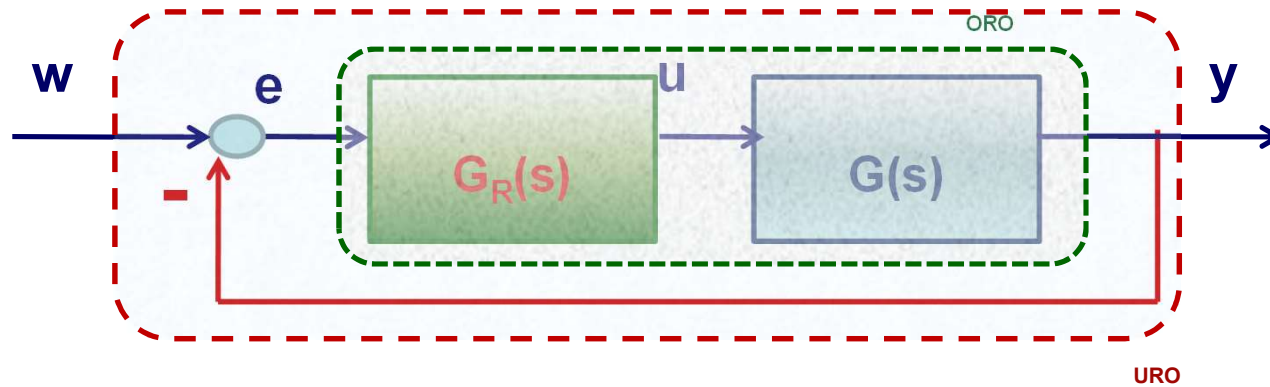
(frekvenčná metóda, oscillation test based)

Frekvenčná metóda Z-N je založená na **analytickom** alebo **experimentálnom** určovaní kritického zosilnenia a periódy kritických kmitov.

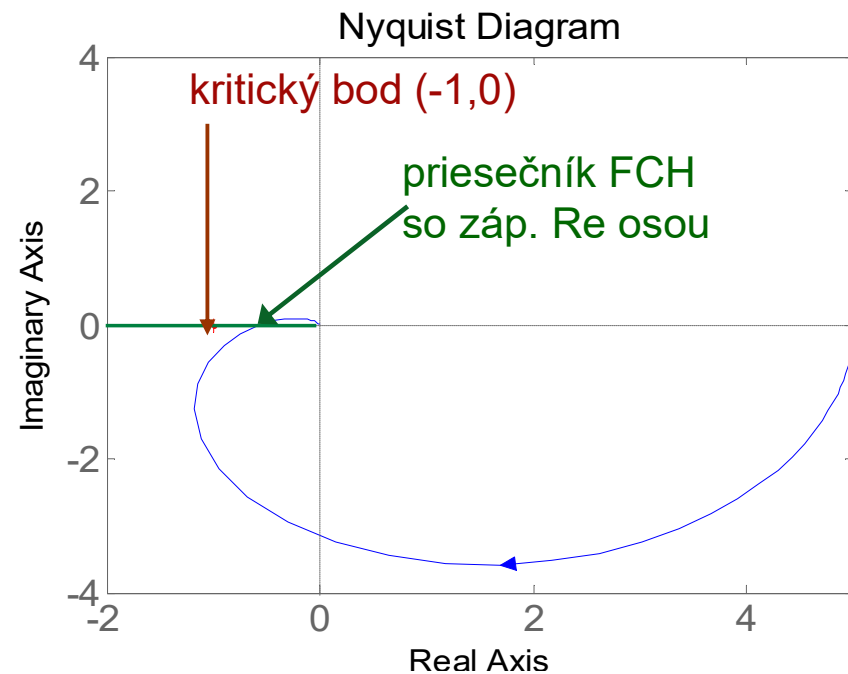
Princíp experimentálneho nastavovania:

1. Zapojením P-regulátora do regulačného obvodu dôjde k jeho rozkmitaniu, z priebehu kmitov sa určí kritické zosilnenie K_{KR} a kritická perióda kmitov T_{KR} .
2. Podľa Z-N tabuľky sa nastaví koeficienty vhodne vybranej štruktúry PID regulátora.

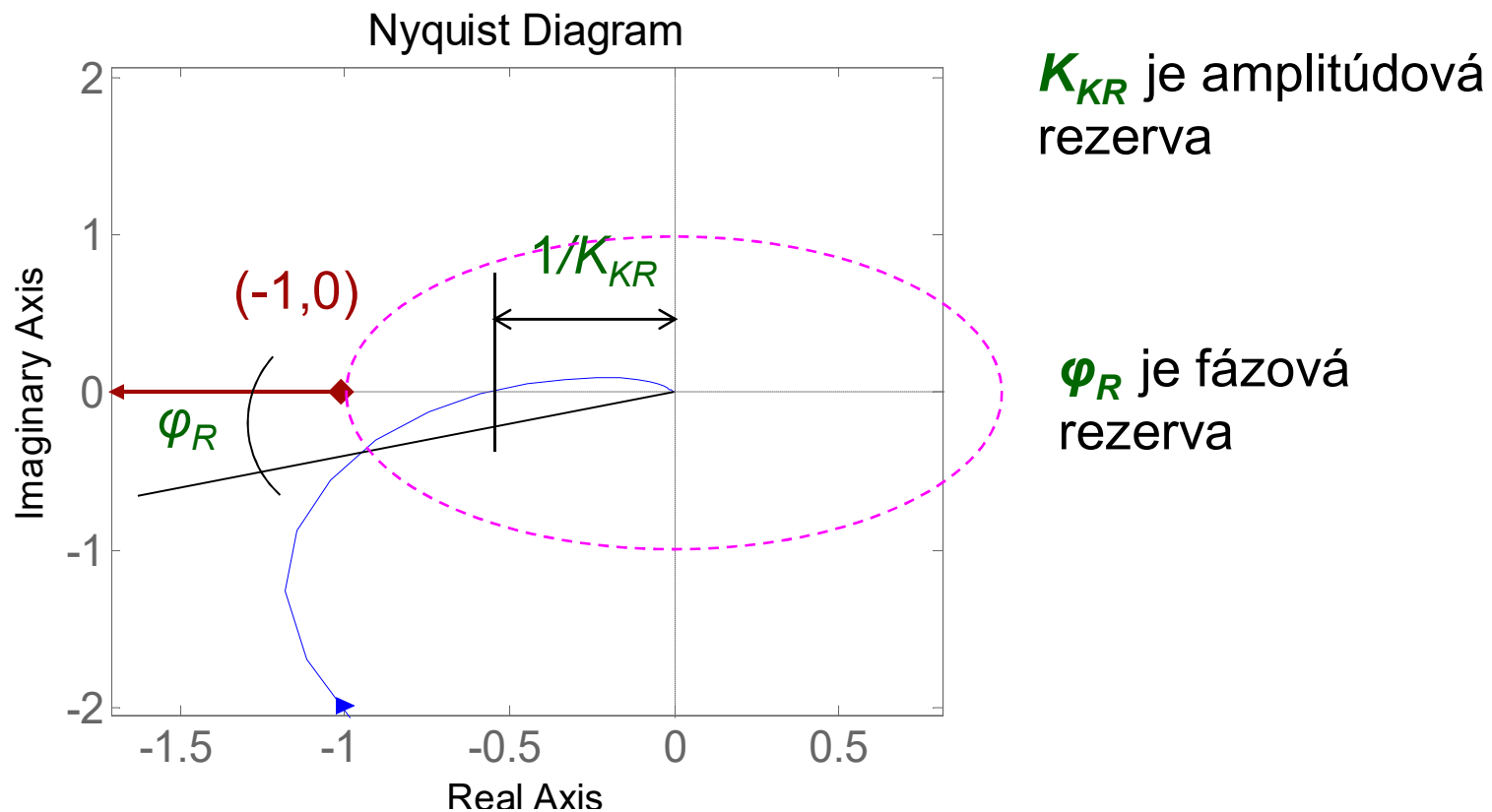
Vyšetrovanie stability URO vo frekvenčnej oblasti - stručné opakovanie:

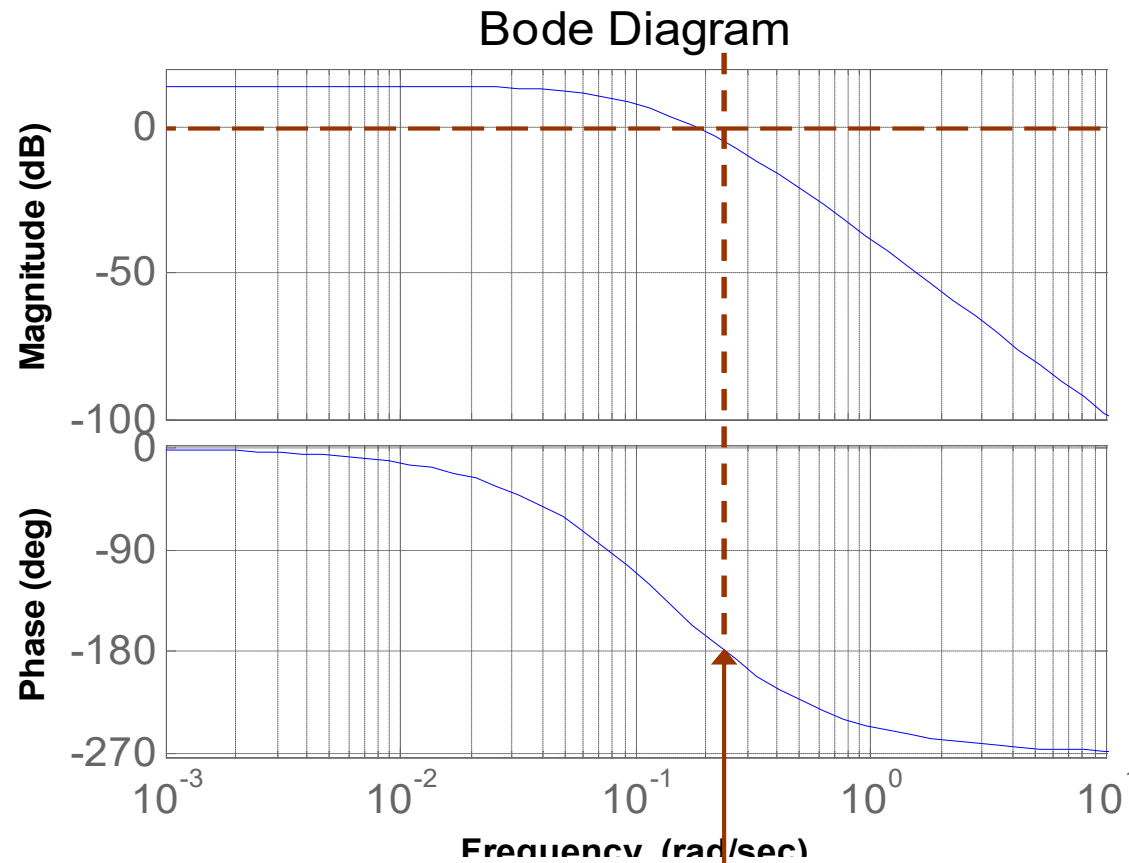


Stabilitu URO môžeme určiť z frekvenčných charakteristík ORO – podľa priesečníkov FCH ORO so „zápornou časťou reálnej osi“



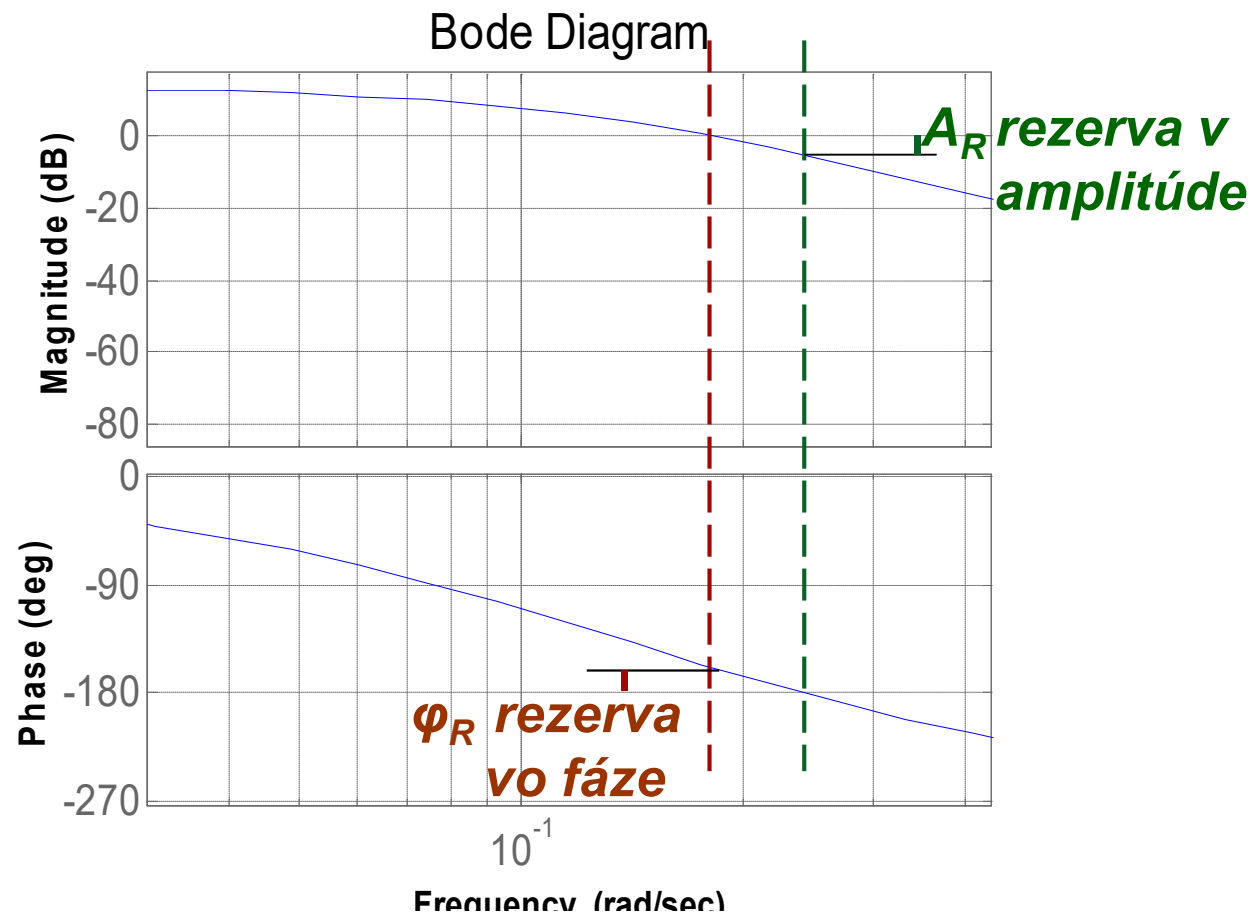
Ak je **otvorený regulačný obvod (ORO)** stabilný, prípadne má pól v nule, **bude uzavretý obvod (URO) stabilný vtedy**, ak frekvenčná charakteristika ORO nepretína polpriamku $(-\infty, -1)$.





Aby bol URO stabilný,
musí byť pri frekvencii
zodpovedajúcej -180°
amplitúdová FCH **pod**
osou 0dB
(zosilnenie $ORO < 1$)

frekvencia priesečníka FCH so
zápornou Re osou



Koniec stručného opakovania ...

Výpočet kritických parametrov riadeného systému je možné realizovať priamo v Matlabe pomocou príkazu ***margin*** (vykreslí logaritmické frekvenčné charakteristiky a nájde kritické zosilnenie K_{KR} a kritickú hodnotu frekvencie), z týchto hodnôt potom určíme koeficienty regulátora podľa tabuľky:

Tab.: Nastavovanie koeficientov PID regulátora metódou Zieglera-Nicholsa

Typ regulátora	Proporcionálna zosilnenie	Integračná konštanta T_i	Derivačná konštanta T_d
P	$0.5 K_{KR}$	-	-
PI	$0.45 K_{KR}$	$0.85 T_{KR}$	-
PID	$0.6 K_{KR}$	$0.5 T_{KR}$	$0.12 T_{KR}$
PD	$0.4 K_{KR}$	-	$0.05 T_{KR}$

$$T_{KR} \frac{2\pi}{\omega_{KR}}$$

Príklad 6 (ZN): Vypočítajte koeficienty spojitého PID regulátora podľa Ziegler-Nicholsovej metódy na základe kritických hodnôt zosilnenia a frekvencie, ktoré získame použitím príkazu *margin* (*Matlab*), ak prenosová funkcia regulovaného procesu je v tvare

$$G_p(s) = \frac{K}{s(as^2 + bs + 9)} = \frac{9}{s(s^2 + 6s + 9)}$$

Riešenie môžeme realizovať priamo v Matlabe.

```
» num = 9                % citatel prenosovej funkcie
» den = [1 6 9 0]        % menovatel prenosovej funkcie
» g = tf(num,den)        % prenosova funkcia
```

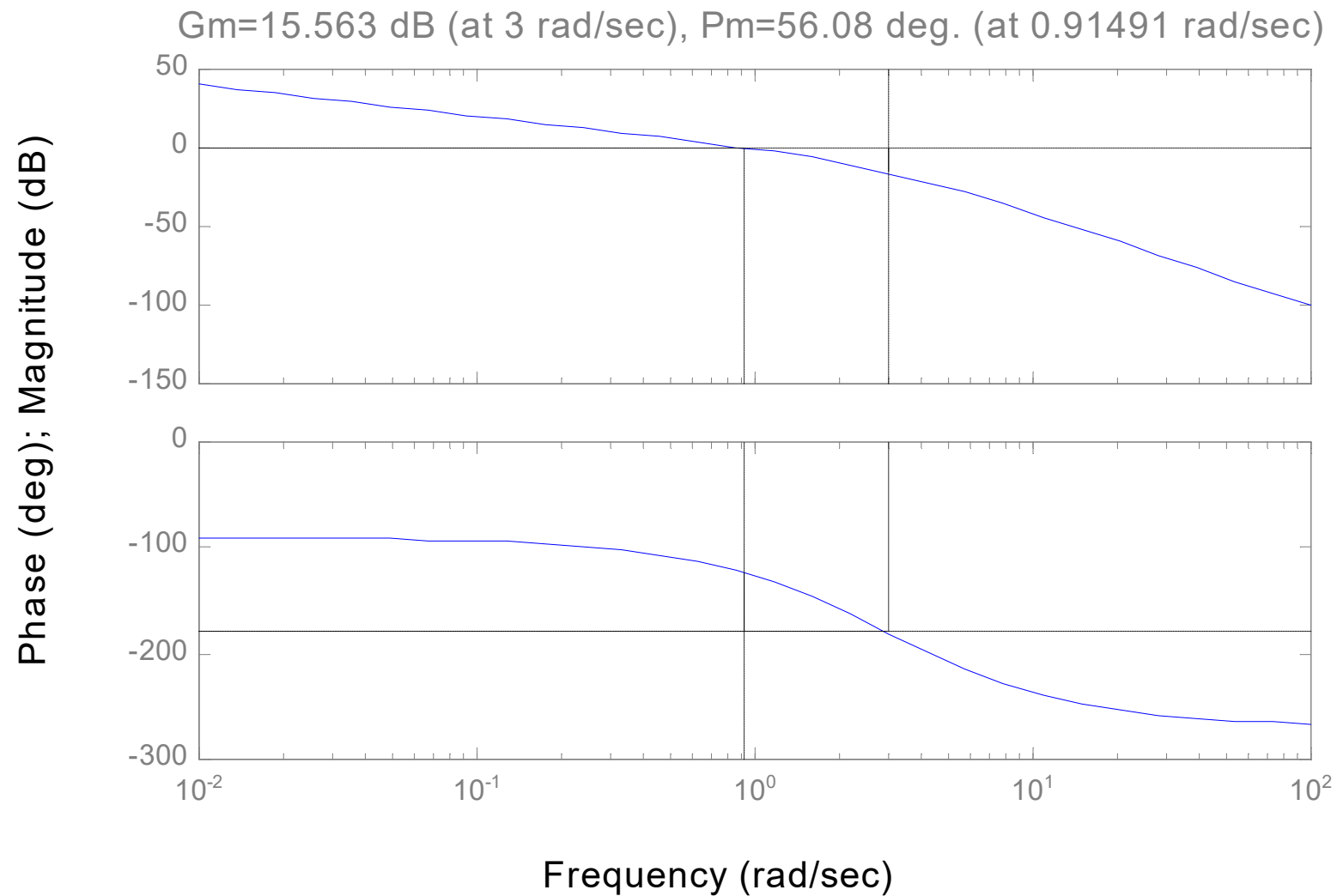
Transfer function:

$$\frac{9}{s^3 + 6s^2 + 9s}$$

Použitím príkazu ***margin*** (*g*) zobrazíme logaritmické frekvenčné charakteristiky. Ak sa navyše v príkaze použijú ľavostranné argumenty, vypíše sa priamo hodnota kritického zosilnenia a kritickej frekvencie.

>> margin (g)

Bode Diagrams



[Kkr,Fk,wkr,wf] = margin(g) % výpočet rezervy v zosilnení (Kkr), vo
% fáze a odpovedajúcich hodnôt frekvencií

Výsledky riešenia:

Kr = 6 % rezerva v zosilnení (krit.hodnota zosilnenia)

Fk = 56.08 % rezerva vo fáze

wk = 3 % kritická frekvencia pre Kr

wf = 0.915 % kritická frekvencia pre Fk

Tk = 2*pi/wk = 2.0944 % výpočet kritickej periódy z kritickej frekvencie

K = 0.6*Kr = 3.6000 % výpočet zosilnenia PID regulátora

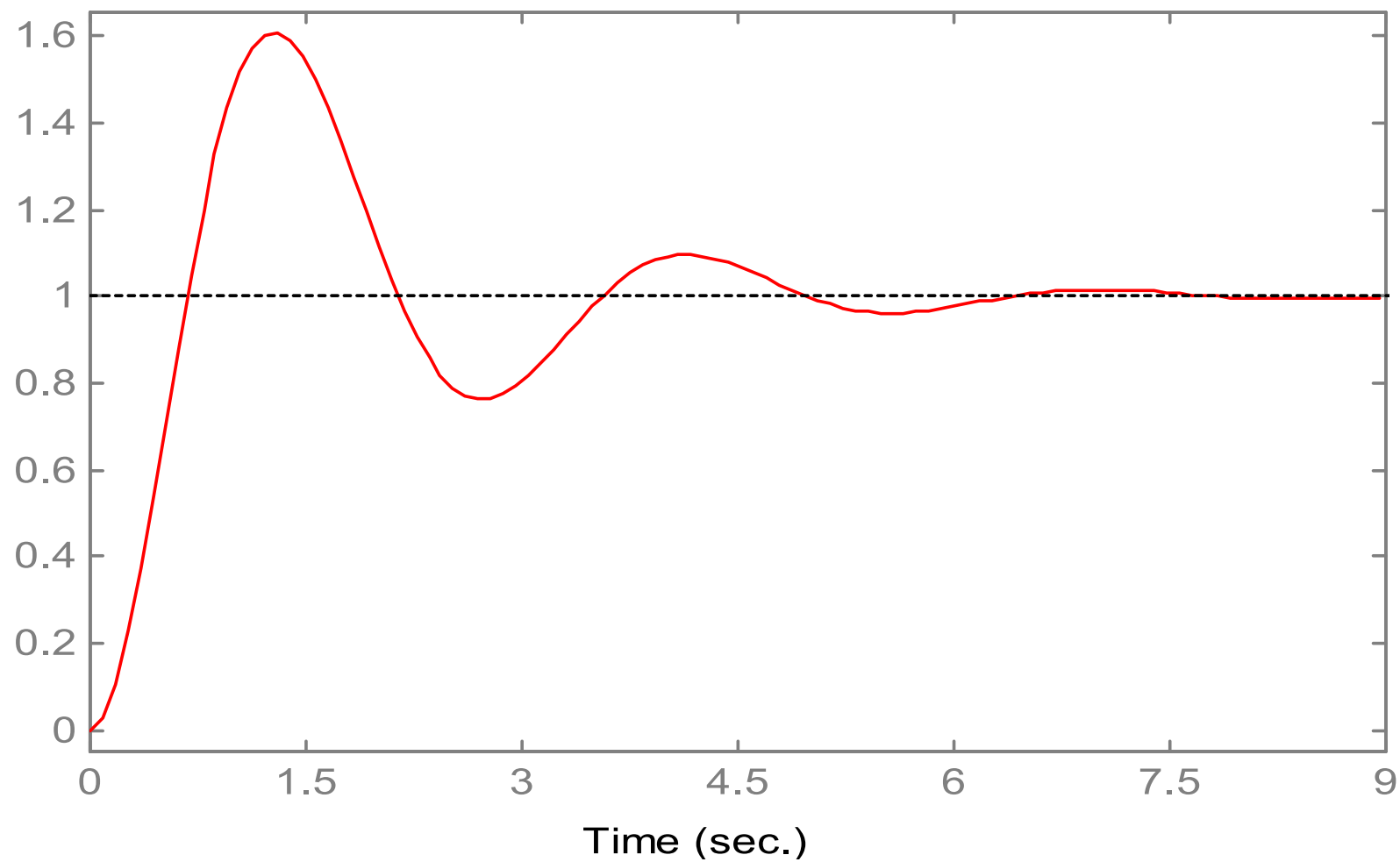
Ti=0.5*Tk =1.0472 % výpočet integračnej konštanty

Td=0.12*Tk= 0.2513 % výpočet derivačnej konštanty

$$G_R(s) = P\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) = P + I \frac{1}{s} + D s$$

$$G_R(s) = 3.6\left(1 + \frac{1}{1.0472s} + 0.2513s\right) = P + I \frac{1}{s} + D s$$

Prechodová charakteristika URO s PID regulátorom podľa Z-N metódy



$$\delta_{DR} < 1:4$$

Výpočet koeficientov PID regulátora

A. Metódy výpočtu koeficientov spojitých PID regulátorov na základe znalosti matematického modelu

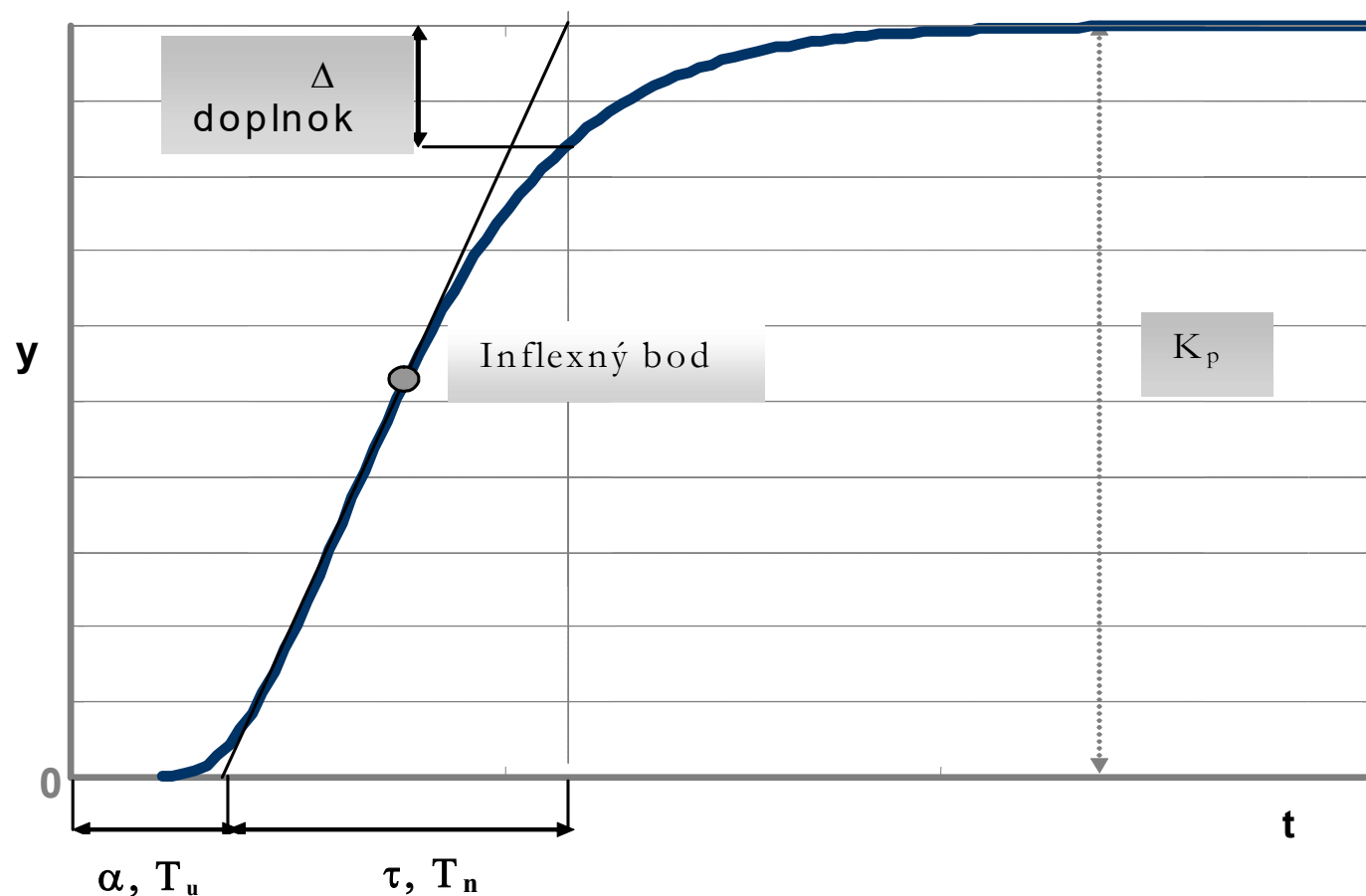
1. Naslinova metóda
2. Metóda optimálneho modulu
3. Metóda štandardných tvarov (Butterworth, Graham-Lathrop)
4. Metóda časových konštánt
5. Zieglerova-Nicholsova metóda

B. Nastavovanie koeficientov spojitých regulátorov na základe prechodovej charakteristiky procesu

1. Zieglerova-Nicholsova metóda (*open-loop* !)
2. Metóda inverzie dynamiky

C. Experimentálne metódy nastavovania koeficientov spojitých regulátorov

B. Nastavovanie koeficientov spojitých regulátorov na základe prechodovej charakteristiky procesu



1. Ziegler – Nicholsova metóda (Z-N open-loop)

Modifikácia tak, aby pomer dvoch po sebe idúcich amplitúd regulovanej veličiny bol $\frac{a_2}{a_1} \leq 0.25$

Regulátor $G_p(s) = P(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s)$	Zosilnenie regulátora P	Integračná konštanta T_i	Derivačná konštanta T_d
Typ P	$\frac{1}{K_p} \frac{\tau}{\alpha}$	-	-
Typ PI	$\frac{0.8}{K_p} \frac{\tau}{\alpha}$	3 α	-
Typ PD	$\frac{1.2}{K_p} \frac{\tau}{\alpha}$	-	0.25α
Typ PID	$\frac{1.2}{K_p} \frac{\tau}{\alpha}$	2 α	2 α

Metóda Cohena-Coona (Co-Cn)

Pravidlá na výpočet parametrov regulátora sú určitou modifikáciou metód Z-N metódy. Podmienka použitia $0.1 < \alpha/\tau < 1.0$

Regulátor $G_p(s) = K(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s)$	Zosilnenie regulátora K	Integračná konštanta T_i	Derivačná konštanta T_d
Typ P	$\frac{1}{K_p} \frac{\tau}{\alpha} \left[1 + \frac{1}{3} \frac{\alpha}{\tau} \right]$	-	-
Typ PI	$\frac{1}{K_p} \frac{\tau}{\alpha} \left[0.9 + \frac{1}{12} \frac{\alpha}{\tau} \right]$	$\alpha \left[\frac{30 + 3 \frac{\alpha}{\tau}}{9 + 20 \frac{\alpha}{\tau}} \right]$	-
Typ PD	$\frac{1}{K_p} \frac{\tau}{\alpha} \left[\frac{5}{4} + \frac{1}{6} \frac{\alpha}{\tau} \right]$	-	$\alpha \left[\frac{6 - 2 \frac{\alpha}{\tau}}{22 + 3 \frac{\alpha}{\tau}} \right]$
Typ PID	$\frac{1}{K_p} \frac{\tau}{\alpha} \left[\frac{4}{3} + \frac{1}{4} \frac{\alpha}{\tau} \right]$	$\alpha \left[\frac{32 + 6 \frac{\alpha}{\tau}}{13 + 8 \frac{\alpha}{\tau}} \right]$	$\alpha \left[\frac{4}{11 + 2 \frac{\alpha}{\tau}} \right]$

Nastavovanie koeficientov PID regulátora na základe minimalizácie ITAE, podm. použitia: $0.1 < \alpha/\tau < 1.0$

Regulátor $G_p(s) = P(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s)$	Zosilnenie regulátora P	Integračná konštanta T_i	Derivačná konštanta T_d
Typ P Komp. poruchy	$\frac{0.49}{K_p} \left(\frac{\tau}{\alpha} \right)^{1.084}$	-	-
Typ PI Set-point sledovanie	$\frac{0.586}{K_p} \left(\frac{\tau}{\alpha} \right)^{0.916}$	$\left[\frac{\alpha}{1.03 - 0.165 \left(\frac{\tau}{\alpha} \right)} \right]$	-
Typ PI Komp. poruchy	$\frac{0.859}{K_p} \left(\frac{\tau}{\alpha} \right)^{0.977}$	$\left[\frac{\alpha}{0.674 \left(\frac{\tau}{\alpha} \right)^{0.680}} \right]$	-
Typ PID Set-point sled.	$\frac{0.965}{K_p} \left(\frac{\tau}{\alpha} \right)^{0.855}$	$\left[\frac{\alpha}{0.796 - 0.147 \left(\frac{\tau}{\alpha} \right)} \right]$	$0.308 \tau \left(\frac{\tau}{\alpha} \right)^{0.929}$
Typ PID Komp. poruchy	$\frac{1.357}{K_p} \left(\frac{\tau}{\alpha} \right)^{0.947}$	$\frac{1.357}{K_p} \left(\frac{\tau}{\alpha} \right)^{0.734}$	$0.381 \tau \left(\frac{\tau}{\alpha} \right)^{0.995}$

2. Metóda inverzie dynamiky (metóda požadovaného modelu)

Na základe vyhodnotenia jeho prechodovej charakteristiky dokážeme ľubovoľný systém opísať (**identifikovať**) jedným z týchto typov matematických modelov:

$$G_P(s) = \frac{K_p}{T_p s + 1} e^{-Ds}$$

FOPDT =
first-order +
dead time

$$G_P(s) = \frac{K_p}{(T_p s + 1)^2} e^{-Ds}$$

SOPDT =
second order +
dead time

$$G_P(s) = \frac{K_p}{s} e^{-Ds}$$

IPTD =
integral +
dead time

$$G_P(s) = \frac{K_p}{s(1 + T_p s)} e^{-Ds}$$

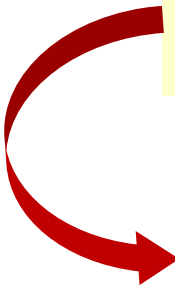
FOLIPDT =
first order lag
and integrator +
dead time

$$G_P(s) = \frac{K_p}{(T_p^2 s^2 + 2bT_p s + 1)} e^{-Ds}$$

SOPDT = second order +
dead time (**kmitavý systém**)

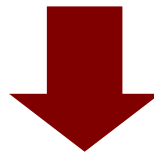
Princíp:

$$G_{y/w}(s) = \frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{G_P(s)G_R(s)}{1 + G_P(s)G_R(s)} \Rightarrow G_R(s) = \frac{1}{G_P(s)} \frac{G_{Y/W}(s)}{1 - G_{Y/W}(s)}$$


$$G_{Y/W}(s) = \frac{1}{T_W s + 1} e^{-Ds} \quad G_R(s) = P \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} + r_1 s$$

Pre základné modely dynamických systémov sú pravidlá nastavovania konštánt regulátora uvedené v tabuľke.

Pozn.: T_v je perióda vzorkovania diskrétného PID regulátora, T_w je (želaná) časová konštanta prechodovej charakteristiky URO (želaná dynamika).



Model procesu	Typ regulá-tora	Koeficienty spojitých a diskrétných regulátorov			
		$D = 0$	$D > 0$	T_i^*	T_d
$\frac{K}{s} e^{-Ds}$	P	$\frac{2}{K(2T_w + T_v)}$	$\frac{a}{K}$	-	-
$\frac{K}{T_1 s + 1} e^{-Ds}$	PI	$\frac{2T_i^*}{K(2T_w + T_v)}$	$\frac{a}{K} T_i^*$	$T_1 - \frac{T_v}{2}$	
$\frac{K}{s(T_1 s + 1)} e^{-Ds}$	PD	$\frac{2}{K(2T_w + T_v)}$	$\frac{a}{K}$	-	$T_1 - \frac{T_v}{2}$
$\frac{K}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} e^{-Ds}$	PID	$\frac{2T_i^*}{K(2T_w + T_v)}$	$\frac{aT_i^*}{K}$	$T_1 + T_2 - T_v$	$\frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2} - \frac{T_v}{4}$
$\frac{K}{(T^2 s^2 + 2bTs + 1)} e^{-Ds}$	PID	$\frac{2T_i^*}{K(2T_w + T_v)}$	$\frac{aT_i^*}{K}$	$2bT - T_v$	$\frac{T}{2b} - \frac{T_v}{4}$

Postup:

1. Vyberie sa požadovaná hodnota preregulovania η a určia sa odpovedajúce hodnoty koeficientov a , b (podľa tab.1)
2. Vypočíta sa hodnota koeficientu a (zosilnenie otvoreného regulačného obvodu), a z neho sa vypočítajú hodnoty koeficientov regulátora podľa tab. na predošlom slajde (D je dopr. oneskorenie a T_v je perióda vzorkovania v prípade, že počítame diskretný regulátor)

Tab. 1 Závislosť preregulovania η URO od parametrov a , b

η	0	0.05	0.1	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
α	1.282	0.984	0.884	0.832	0.763	0.697	0.669	0.640	0.618	0.599	0.577
β	2.718	1.944	1.720	1.561	1.437	1.337	1.248	1.172	1.104	1.045	0.992

$$a = \frac{1}{\alpha T_v + \beta D}$$

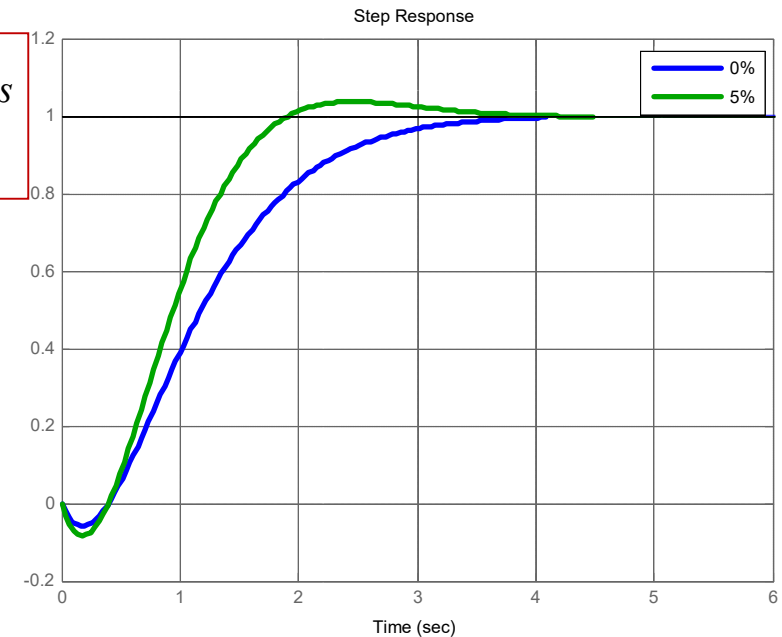
Príklad 1B (Metóda inverzie dynamiky)

$$G_p(s) = \frac{K}{s(Ts + 1)} e^{-Ds} = \frac{100}{s(0.15s + 1)} e^{-0.5s}$$

$$K = 100, T = 0.15, T_v = 0$$

V tabuľke vyhľadáme príslušný tvar prenosovej funkcie, pre ktorý je odporúčaný PD regulátor.

$$G_R(s) = P(1 + T_d s)$$



Parametre PD regulátora z tabuľky:

$$P = \frac{a}{K}, T_d = T$$

$$a = \frac{1}{\beta D} \rightarrow \begin{matrix} \eta_{\max} = 0\% \Rightarrow \beta = 2.718 \\ \eta_{\max} = 5\% \Rightarrow \beta = 1.944 \end{matrix}$$

$$P = 0.0074$$

$$T_d = 0.15$$

$$G_R(s) = 0.0074(1 + 0.15s)$$

$$P = 0.0103$$

$$T_d = 0.15$$

$$G_R(s) = 0.0103(1 + 0.15s)$$

Ako získame základné prenosové funkcie pre návrh PID metódou požadovaného modelu?

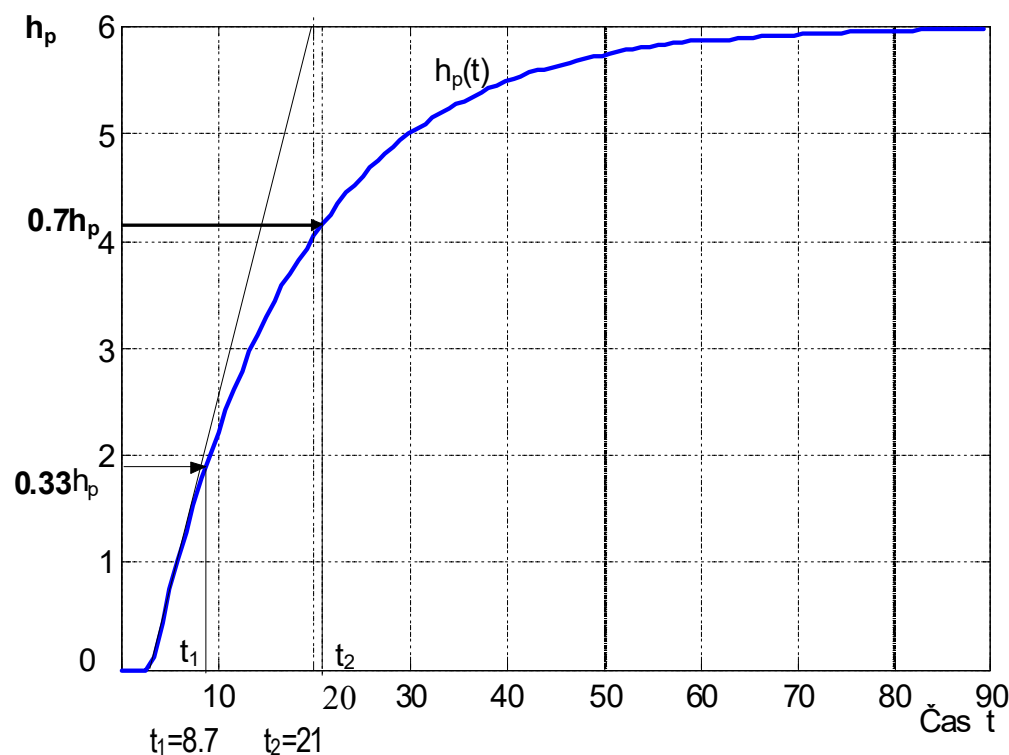
Napr. identifikáciou z nameraných prechodových charakteristík (opakovanie základných postupov je na nasledujúcich slajdoch)

Identifikácia parametrov modelu I. rádu s dopr. oneskorením

$$G_p(s) = \frac{K_p e^{-Ds}}{1 + T_p s}$$

Výpočet časovej konštanty T_p a dopravného oneskorenia D sa dá realizovať podľa nasledovných vzťahov

$$T_p = 1.245(t_{0.7} - t_{0.33}), \quad D = 1.498t_{0.33} - 0.498t_{0.7}$$



Príklad:

$$h_p = 6, \quad t_{0.7} = 21, \quad t_{0.33} = 8.7$$

$$T_p = 15.3135$$

$$D = 2.5746$$

Výsledný matematický model:

$$G_p(s) = \frac{K_p e^{-Ds}}{1 + T_p s} = \frac{6e^{-2.5725s}}{1 + 15.3135s}$$

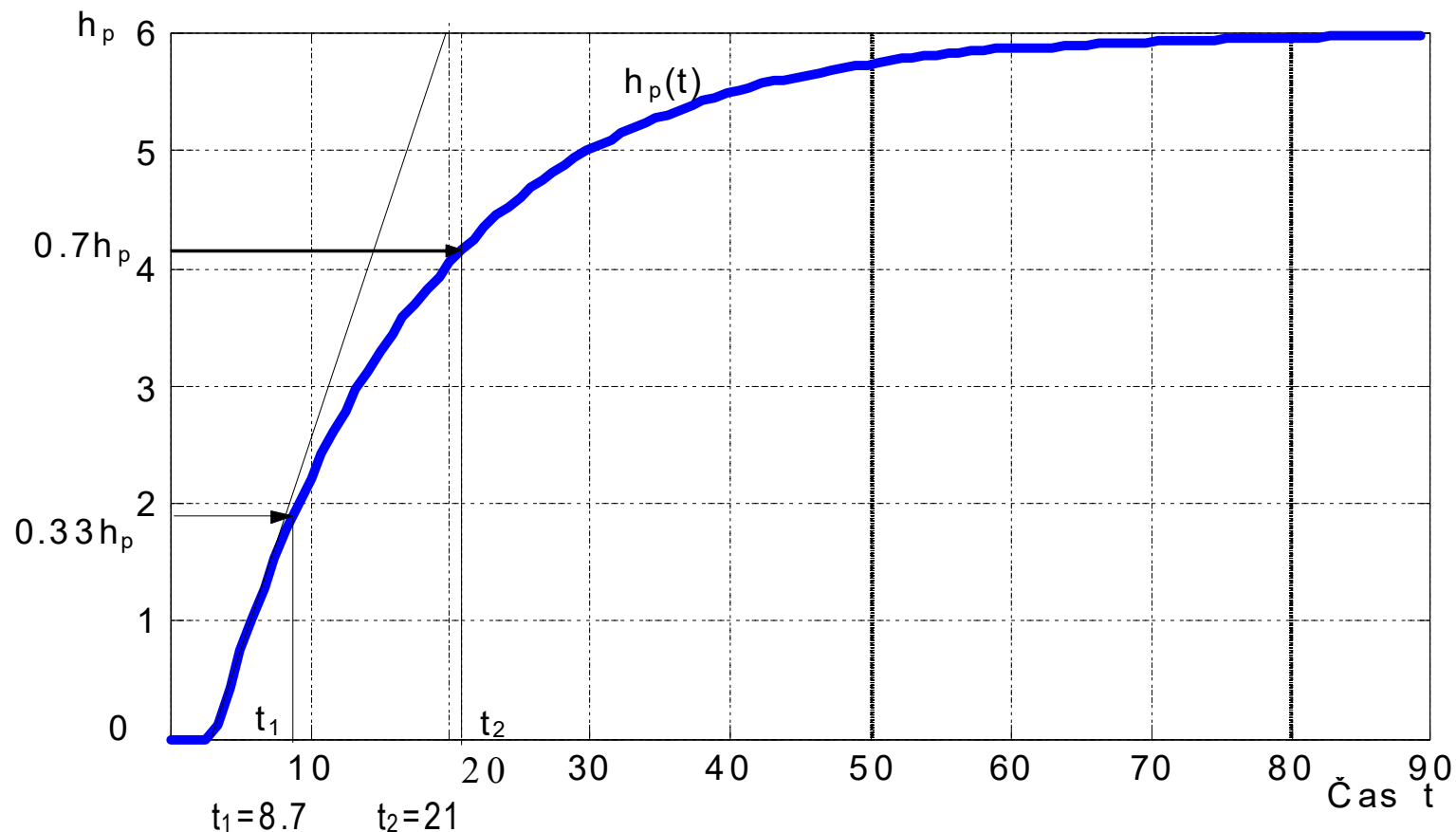
Identifikácia parametrov modelu II. rádu s dopr. oneskorením

$$G_p(s) = \frac{K_p}{(1 + T_p s)^2} e^{-Ds}$$

$K_p = h_p$ (ustálená hodnota)

$$T_p = 0.794(t_{0.7} - t_{0.33})$$

$$D = 1.937t_{0.33} - 0.937t_{0.7}$$



Identifikácia kmitavého procesu II. rádu s dopr. oneskorením

$$G_p(s) = \frac{K_p e^{-Ds}}{T_p^2 s^2 + 2bT_p s + 1}$$

Identifikované parametre:

$$K_p = h_{ust}, T_p, b, D.$$

1. z PCH odčítame hodnoty:

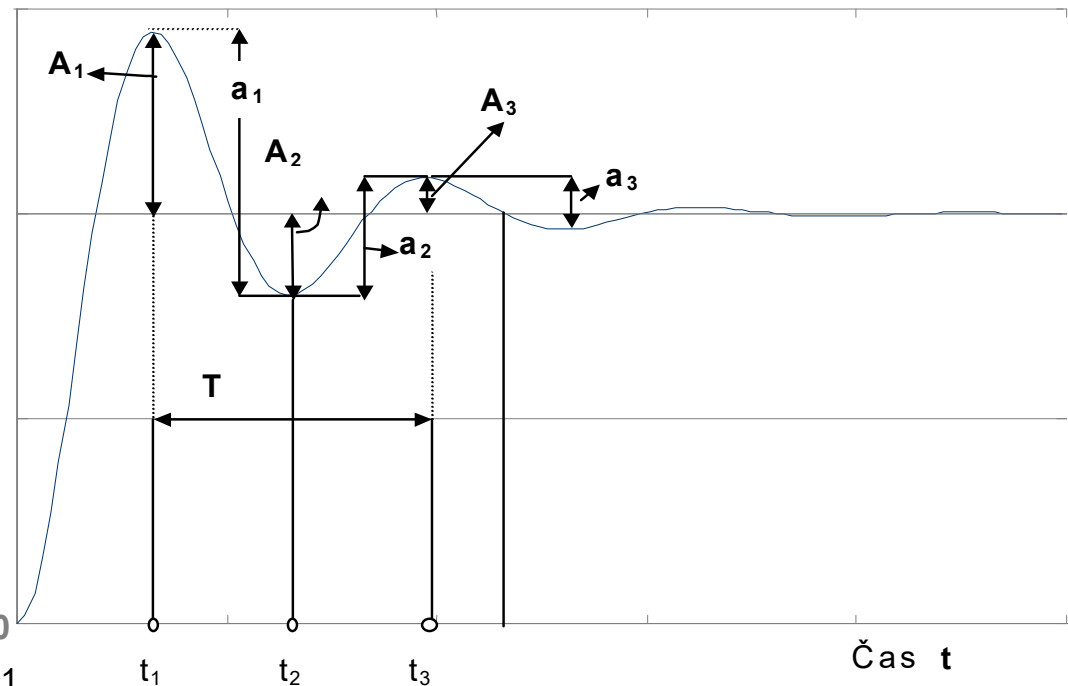
hodnotu prvého maxima A_1 a čas t_1
hodnotu prvého minima A_2 a čas t_2
hodnotu druhého maxima A_3 a čas t_3
hodnotu druhého minima A_4 a čas t_4

2. určíme hodnoty premenných a_i , $i = 1, 2, 3$, kde

$$a_1 = A_1 - A_2$$

$$a_2 = |A_2 - A_3|$$

$$a_3 = A_3 - A_4$$



3. Vypočítame relatívne tlmenie b :

$$b = -\frac{\ln \frac{a_{i+1}}{a_i}}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2 \frac{a_{i+1}}{a_i}}} \quad \text{alebo} \quad b = -\frac{\ln \frac{a_{i+2}}{a_i}}{\sqrt{4\pi^2 + \ln^2 \frac{a_{i+2}}{a_i}}}$$

4. Vypočítame časovú konštantu

T_p :

$$T_p = \frac{1}{\pi n} \sum_{i=1}^n (t_{i+1} - t_i) \sqrt{1 - b^2} = \frac{1}{\pi n} (t_{n+1} - t_1) \sqrt{1 - b^2}$$

n je počet úsekov vymedzených časovými poradnicami t_i (n je rovný počtu a_i)

5. Vypočítame dopravné oneskorenie D :

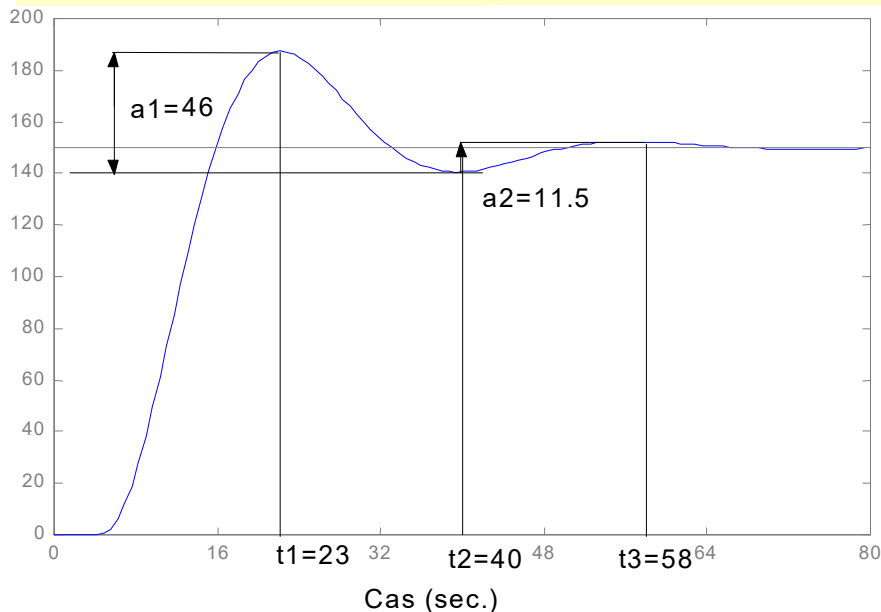
$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i - \frac{n+1}{2n} (t_{n+1} - t_1)$$

Príklad: Z nameranej kmitavej prechodovej charakteristiky určte parametre T_p , D a tlmenie b .

- $t_1=23$ (prvé maximum), $t_2=40$ (prvé minimum), $t_3=58$ (druhé maximum).
- počet úsekov pre vyhodnotenie prechodovej charakteristiky $n=2$ ($i=1,2$) a im odpovedajúce hodnoty $a_1=46$, $a_2=11.5$.

$$b = -\frac{\ln \frac{a_{i+1}}{a_i}}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2 \frac{a_{i+1}}{a_i}}} = -\frac{\ln \frac{11.5}{46}}{\sqrt{3.14^2 + \ln^2 \frac{11.5}{46}}} = 0.4039$$

$$T_p = \frac{1}{\pi n} (t_{n+1} - t_1) \sqrt{1 - b^2} = \frac{1}{3.14 \cdot 2} (t_3 - t_1) \sqrt{1 - 0.4039^2} = \frac{1}{6.28} (58 - 23) \sqrt{0.8372} = 5.09$$



$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i - \frac{n+1}{2n} (t_{n+1} - t_1) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 t_i - \frac{2+1}{2 \cdot 2} (t_3 - t_1) =$$

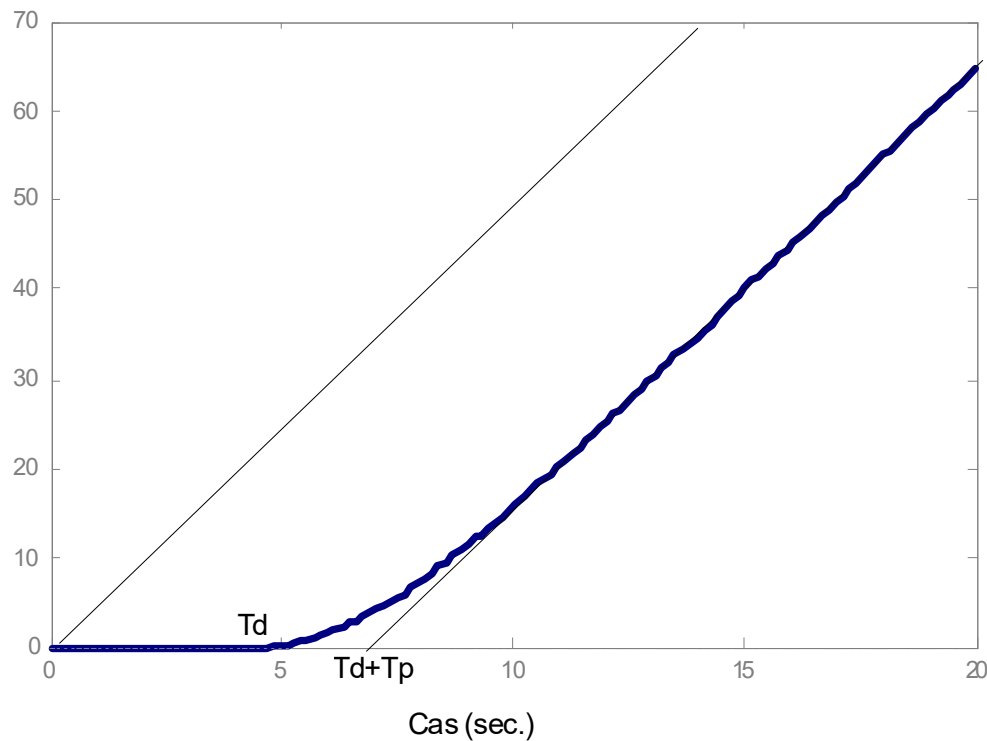
$$= \frac{1}{2} (t_1 + t_2) - \frac{3}{4} (t_3 - t_1) = \frac{1}{2} (23 + 40) - 0.75 (58 - 23) = 5.2$$

Zosilnenie: $K_p = h_{ust} = 150$

$$G_p(s) = \frac{150}{5.09^2 s^2 + 0.8078s + 1} e^{-5.2s}$$

Identifikácia lineárnych systémov typu FOLIPDT (first-order lag and integrator plus dead time)

$$G_p(s) = \frac{K_p}{s(1 + T_p s)} e^{-Ds}$$



Zosilnenie určíme zo
smernice lineárne rastúcej
časti:

$$K_p = \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Výpočet koeficientov PID regulátora

A. Metódy výpočtu koeficientov spojitých PID regulátorov na základe znalosti matematického modelu

1. Naslinova metóda
2. Metóda optimálneho modulu
3. Metóda štandardných tvarov (Butterworth, Graham-Lathrop)
4. Metóda časových konštánt
5. Zieglerova-Nicholsova metóda

B. Nastavovanie koeficientov spojitých regulátorov na základe prechodovej charakteristiky procesu

1. Zieglerova-Nicholsova metóda (open-loop)
2. Metóda inverzie dynamiky

C. Experimentálne metódy nastavovania koeficientov spojitých regulátorov

C. Experimentálne metódy nastavovania koeficientov spojitých regulátorov

Ak nedokážeme určiť matematický model procesu ani jeho charakteristické veličiny z grafického priebehu regulovanej veličiny (doba nábehu, doba prietahu, doba prechodu a pod.), koeficienty regulátora sa nastavujú ručne.

1. Hodnota derivačnej a integračnej konštanty by mala byť na počiatku nulová a zosilnenie nastavíme tak, aby regulačný pochod bol kmitavý.
2. Ak tak nie je, hodnotu proporčionalnej zložky zvyšujeme dovtedy, kým regulačný obvod nebude tlmené kmitavý.
3. V ďalšom kroku nastavujeme zložku integračnú, pomocou ktorej by sme mali dosiahnuť silno-kmitavý priebeh
4. V poslednom kroku pomocou postupného zvyšovania derivačnej zložky je potrebné kmitavý pochod čo najviac utlmiť.

Tabuľka nastavovania P, PI a PID regulátorov

