

3) Stabilita RO

Jaké musí být zesílení ro proporciálního regulátoru P, aby při regulaci soustavy o přenosu:

$$G_s = 3 / ((1+p \cdot T_1)(1+p \cdot T_2)) \quad \text{byl regulační obvod stabilní?}$$

5 BODŮ

$$G_R = K_0$$

$$G_o = G_s \cdot G_R = \frac{K_0}{j}$$

$$= \frac{3 K_0}{(1+p T_1)(1+p T_2)}$$

$$\text{Děle } K_0 \text{ } \frac{e^{-j\omega} + j}{e^{-j\omega} + j} = 0$$

$$(1+p T_1)(1+p T_2) + 3 K_0 = 0$$

$$1 + p T_2 + p T_1 + p^2 T_1 T_2 + 3 K_0 = 0$$

$$(T_1 T_2) p^2 + p(T_1 + T_2) + (3 K_0 + 1) = 0$$

Hurwitz

$$\begin{vmatrix} T_1 + T_2 & 0 \\ T_1 T_2 & 3 K_0 + 1 \end{vmatrix}$$

$$= \frac{T_1 + T_2}{(T_1 - T_2)(3 K_0 + 1)} > 0$$

$$K_0 > 1$$

$$r = K_0 e + K_0 T_D \frac{de}{dt} + \frac{K_0}{T_i} \int e dt$$

$$G = K_0 + K_0 T_D p + \frac{K_0}{T_i p}$$

$$G_u = \frac{K_R}{1 + s K_R}$$

$$G_u = \frac{G_o}{1 + G_o}$$

2. Využitím Hurwitzova kritéria rozhodněte, zda je regulační obvod stabilní. Přenos otevřeného regulačního obvodu je:

$$G_o = \frac{-6p - 6}{40p^2 + p}$$

MAX 7 bodů

$$\bar{c} + j = 0$$

$$40p^2 - 5p - 6 = 0$$

$$G_u = \frac{G_o}{1 + G_o} = \bar{c} + j$$



2. Řešte stabilitu uzavřeného regulačního obvodu se zápornou zpětnou vazbou. Jsou dány přenosy soustavy 4. řádu a PD-regulátoru:

$$G = \frac{2p-1}{a} \cdot \frac{1}{4p^4 + p^3 + 2p^2 + 2}$$

$$G_o = S \cdot R$$

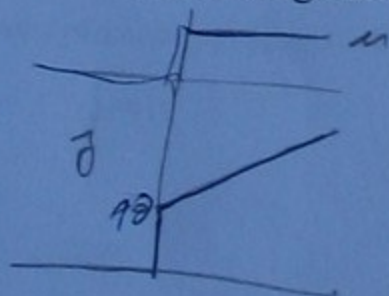
$$G_o = \frac{2p-1}{4p^4 + p^3 + 2p^2 + 2}$$

$$\text{Char. eq. } c + j = 0$$



3. Zakreslete přechodovou charakteristiku regulátoru zadaného rovnici:

$$e = 0.5 \int y \, dy + 10 \cdot y$$



Varianta A

1. Pomocí Hurwitzova kritéria vyšetřete stabilitu regulačního obvodu složeného z astatické soustavy 2. ř. a PID

regulátoru:

$$u = 2y' - y - \int y \, dt \quad R:$$

$$y'' + 6y' = u \quad S:$$

MAX 8 bodů

$$y'' - 6y' = 2y' - y - \int y \, dt \quad \bigg| \frac{d}{dt}$$

$$y''' - 6y'' = 2y'' - y' - y$$

$$y''' + 4y'' + y' + y = 0$$

Char. eq. $\lambda^3 + 4\lambda^2 + \lambda + 1 = 0$

$$\begin{vmatrix} 4 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 4 & 1 \end{vmatrix}$$

2. Napište obecný přenos soustavy s přechodovou charakteristikou uvedenou na obrázku.



Char. pro systém -

$$\bar{f}(p) = \frac{K}{p} + L$$

MAX 2 body

Varianta B

1. Pomocí Nyquistova kritéria vyšetřete stabilitu regulačního obvodu složeného z astatické soustavy 2. ř. a PD regulátoru:

$$u = 2y' - y$$

$$y'' + 6y' = u$$

MAX 8 bodů

$$2y' - y = y'' + 6y'$$

$$y'' - 4y' - y = 0$$

char. rce. $\lambda^2 - 4\lambda - 1 = 0$

Hurwitz

$$u = 2y' - y$$

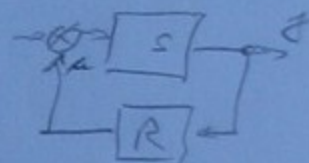
$$U = 2Yp - Y \Rightarrow U = Y(2p - 1)$$

$$G_2 = \frac{\text{výstup}}{\text{vstup}} = \frac{Y}{U} = \frac{1}{2p - 1}$$

$$S: y'' + 6y' = u$$

$$Yp^2 + 6Yp = U \Rightarrow Y(p^2 + 6p) = U$$

$$G_1 = \frac{Y}{U} = \frac{1}{p^2 + 6p}$$



nyquist \rightarrow otevřený

$$G_3 = S \cdot R$$

$$G_3 = \frac{p^2 + 6p}{2p - 1}$$

$$G_3 = \frac{p^2 + 6p}{2p - 1}$$

$$G_3 = R_c + I_n$$

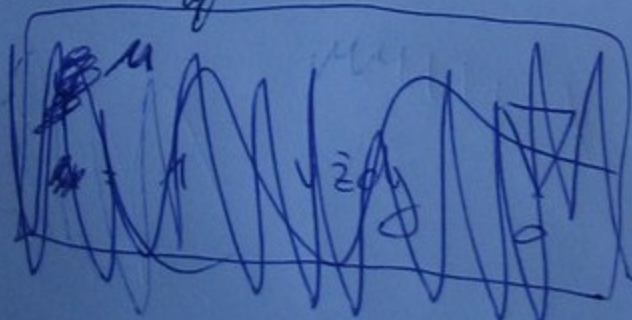
2. Napište operátorový přenos PD regulátoru.

MAX 2 body

$$G = p_0 + \frac{K_D}{T_D} p$$

1. přenosy G_R, G_S

$$G_R = \frac{1}{p^2 + 6p}$$



Varianta C

1. Rozhodněte zda je uzavřený regulační obvod složený ze soustavy S a regulátoru R stabilní. Přenosy jednotlivých členů jsou :

$$S = \frac{1}{2p^2 + p}$$

$$R = 4p^2 - 3 - \frac{1}{p}$$

MAX 8 bodů

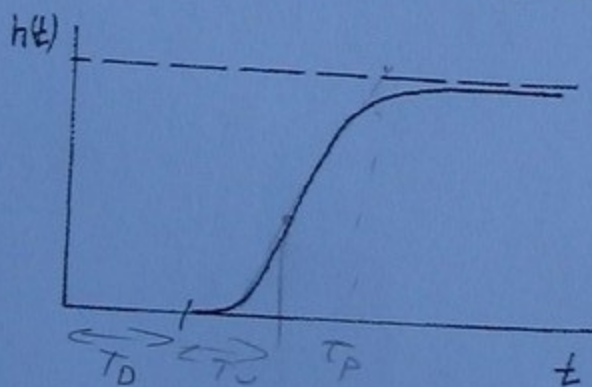
$$G_o = S \cdot R$$

$$G_o = \frac{4p^2 - 3 - \frac{1}{p}}{2p^2 + p} = \frac{4p^3 - 3p - 1}{2p^2 + p}$$

$$G_u = \frac{j}{(2+j)} \text{ char. roe : } 4p^3 + 2p^2 - 2p - 1 = 0$$

Stodola : - rozdílné znaménka
obvod je nestabilní
- není doržen sestup
řádku \Rightarrow nestabilní

2. Do grafu přechodové charakteristiky vyznačte tyto údaje: dopravní zpoždění, dobu náběhu, dobu průtahu.



MAX 2 body

1. Využitím Hurwitzova kritéria rozhodněte, zda je regulační obvod stabilní. Přenos otevřeného regulačního obvodu je:

$$G_o = \frac{-6p - 6}{40p^2 + p}$$

MAX 8 bodů

$$c + j = 0$$

$$G_o = \frac{c}{j}$$

$\lim_{j \rightarrow 0} G_o = \infty$
 $j = 0$

2. Nakreslete přechodovou charakteristiku soustavy s přenosem:

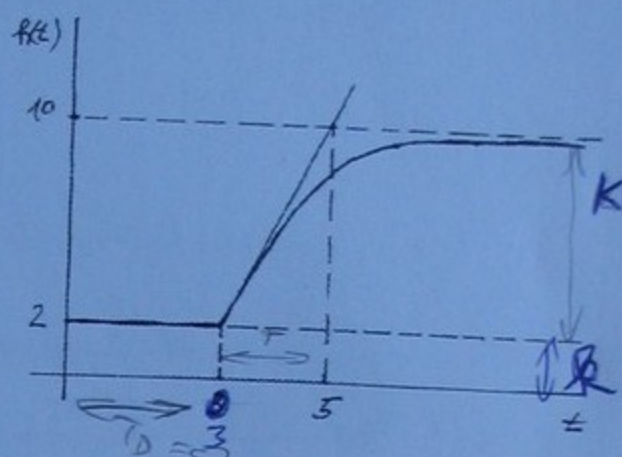
$$G = \frac{11}{1+2p} + 2$$

V grafu vyznačte průsečíky s osami, asymptoty a časové konstanty.

MAX 2 body

Varianta E

1. Proveďte identifikaci neznámé soustavy na základě naměřené přechodové charakteristiky. Z nalezeného přenosu vyjádřete charakteristickou rovnici a na základě „Stodolovy podmínky“ rozhodněte o stabilitě.



MAX 8 bodů

$$T_p = \frac{K}{T+1} = 8$$

$$T_p = \frac{8}{p^2 + 1} + 2$$

Stabilita!

$$\frac{8}{p^2 + 1} + 2$$

$$F_p = \frac{4p + 10}{2p + 1}$$

$$G_p = \frac{4p + 10}{2p + 1}$$

Stodola:
 $G_u = \frac{1}{p^2 + p + 1}$ *můžet jít stat*
 $\frac{1}{p^2 + 1} \vee \frac{1}{p^2 - p + 1}$ *vedl reolab*

2. Jak se bude měnit akční veličina I-regulátoru v čase, je-li konstanta regulátoru $r_i = 0,1$ a regulační odchylka je constantní $e = 2$. (napíšte rovnici změny akč. velič. „u“ nebo nakreslete graf)

MAX 2 body

2. Pomocí Hurwitzova kritéria vyšetřete stabilitu regulačního obvodu složeného z astatické soustavy 2. ř. a PID regulátoru :

$$u = 2y' - y - \int y \, dt$$

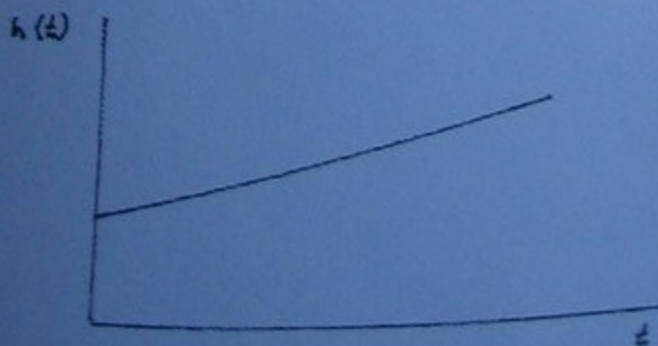
$$y'' + 6y' = u$$

MAX 7 bodů

$$G_o = S \cdot R$$

char. rce ...

5. Napište obecný přenos soustavy s přechodovou charakteristikou uvedenou na obrázku.



MAX 2 body

2. Pomocí Nyquistova kritéria vyšetřete stabilitu regulačního obvodu složeného z astatické soustavy 2. ř. a PD regulátoru :

$$\begin{aligned} u &= 2y' - y & - R \\ y''' + 6y'' &= u & - S \end{aligned}$$

MAX 7 bodů

chyba ∇

$$U_{p(r)} = \cancel{2p} \cdot \cancel{Y(p)} - 1 \cdot \cancel{Y(p)}$$

$$2p Y(p) - 1 Y(p)$$

$$U_{p(s)} = p^2 Y(p) + 6p Y(p)$$

$$\begin{aligned} G_S &= \frac{Y(p)}{u} = \frac{1}{2p-1} \\ G_R &= \frac{u}{Y(p)} = p^2 + 6p \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2p-1 &= \frac{u_p}{Y(p)} \\ p^2 + 6p &= \frac{u_p}{Y(p)} \end{aligned}$$

~~U_p~~

$$G_0 = R \cdot S = \frac{p^2 + 6p}{2p-1} = 0$$

char. rse. $\frac{p^2 + 6p}{2p-1} = 0$

$$\frac{j\omega^2 + 6(j\omega)}{2j\omega - 1}$$

Stabilizacijski področje

$$G_n = \frac{1}{s^2 + 1} \quad \text{ni je f. stabilizir}$$

$$G_n = \frac{1}{s^2 + 1} \cdot \frac{1}{s} \quad \text{ni je stabilizir}$$

Hazards - po nastopu obzora

del. γ_0 \rightarrow razlika

$$\begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-2} & \dots & a_1 & a_0 \\ 1 & a_{n-1} & \dots & a_2 & a_1 \\ 0 & a_{n-2} & \dots & a_3 & a_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & a_{n-1} & a_n \end{vmatrix}$$

Nyquist - obkrožitev

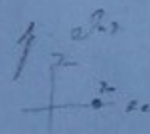
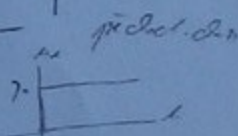
G_0 : $\gamma = j\omega$ = f. del. natančno izračunamo od 0 do ∞

REGULATOR

$$\overset{P}{\gamma_0 e} + \overset{D}{\gamma_0 T_D \frac{de}{dt}} + \overset{I}{\frac{\gamma_0}{T_i} \int e dt}$$

$$G = \gamma_0 + \gamma_0 T_D s + \frac{\gamma_0}{T_i s}$$

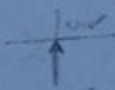
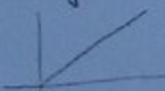
[P] $\mu = \gamma_0 e \quad G = \gamma_0$



ni hkrati regul. odločitev

$\gamma_0 \uparrow \rightarrow$ boljše reg. kakovost, večji odločitev, večji h. kakovost

[PI] $\mu = \frac{\gamma_0}{s} \int e dt \quad G = \frac{\gamma_0}{s}$



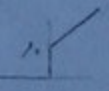
odločitev ni hkrati regul. odločitev.

$\frac{\gamma_0}{T_i} \uparrow$ - h. kakovost, boljše odločitev regul. odločitev

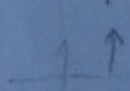
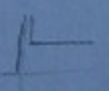
[D] $\mu = \gamma_0 e \quad G = \gamma_0 s$



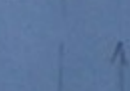
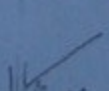
[PI]



[PD]



[PID]



Automa

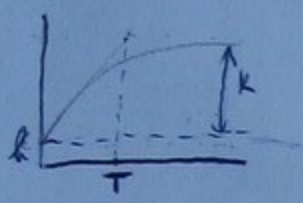
Reguliere

reguliert gesteuert - präventiv

$$\rightarrow [G] \rightarrow d \quad G = \frac{1}{s}$$

Gesamt
Kontroll = gesteuert - beobachtet - gesteuert + nicht - gesteuert
+ Simulation

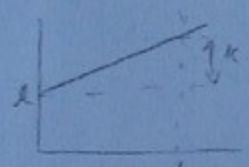
Stell. machen re. gesteuert - 1. gültig



$$F(p) = \frac{k}{1+pT} + k$$

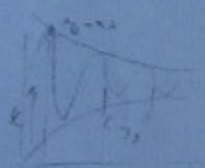
Sonstern

Stell. machen bei gesteuert -

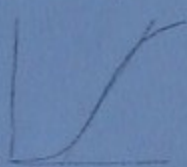


$$F(p) = \frac{k}{p} + k$$

Stell. 2. gültig (Stellen)



Stell. re. gesteuert - 2. gültig



Stell. 1. gültig

anfang - ... - 2. gültig - ... - range

Stell. 1. gültig
anfang - ... - 2. gültig - ... - range

Stell. 1. gültig

$$G_0 = S \cdot R$$

$$\text{fixed} \quad G_0 = \frac{\bar{c}}{f}$$

Stell. 1. gültig

$$G_0 = \frac{SR}{1+SR}$$

$$G_0 = \frac{G_0}{1+G_0} = \frac{\bar{c}}{\bar{c}+j} \Rightarrow \text{Stell. 1. gültig}$$

$$\frac{\bar{c}}{j-\bar{c}}$$

Stell. 1. gültig

$$G_{up} = \frac{S}{1-SR}$$

$$G_0 = \frac{G_m}{1-G_m}$$

$$G_0 = SR = \frac{\pi}{N}$$

Stell. 1. gültig

$$\pi + N = 0$$

VARIANTA D

OHŘÍVAC

	S	T	P	V	H
1	0	0	0	0	0
2	0	0	1	1	0
3	1	0	1	0	1
4	0	0	1	1	1
5	1	0	1	0	1
6	1	1	1	0	0
7	0	1	0	0	0

	S	T	P	V ¹	V
1	0	1	0	0	0
2	0	1	1	0	1
2-3	0	1	1	1	1
3	1	0	1	1	0
3-4	1	0	1	0	0
4	0	0	1	0	1
4-5	0	0	1	1	1
5	1	0	1	1	0
6	1	1	1	0	0
7	0	1	0	0	0

	S	T	P	V ¹	V
1	0	1	0	0	0
2	0	1	1	0	1
2-3	0	1	1	1	1
3	1	0	1	1	0
4	1	0	1	0	0
4-5	1	0	1	1	0
5	1	0	1	0	0
6	1	1	1	0	0

	S	T	P	V ¹	V
1	0	1	0	0	0
2	0	1	1	0	1
2-3	0	1	1	1	1
3	1	0	1	1	0
4	1	0	1	0	0
4-5	1	0	1	1	0
5	1	0	1	0	0
6	1	1	1	0	0
7	0	1	0	0	0

	S	T	P	V ¹	V
1	0	1	0	0	0
2	0	1	1	0	1
2-3	0	1	1	1	1
3	1	0	1	1	0
4	1	0	1	0	0
4-5	1	0	1	1	0
5	1	0	1	0	0
6	1	1	1	0	0
7	0	1	0	0	0

	S	T	P	H ¹	H
1	0	1	0	0	0
2	0	1	1	0	0
3	1	0	1	0	1
3-4	1	0	1	1	1
4	0	0	1	1	1
5	1	0	1	1	1
6	1	1	1	1	0
6-7	1	1	1	0	0
7	0	1	0	0	0

	S	T	P	H ¹	H
1	0	1	0	0	0
2	0	1	1	0	0
3	1	0	1	0	1
3-4	1	0	1	1	1
4	0	0	1	1	1
5	1	0	1	1	1
6	1	1	1	1	0
6-7	1	1	1	0	0
7	0	1	0	0	0

VARIANTA E

VÝTAH

	S_1	S_2	T_H	T_D	M_H	M_D
1	0	1	0	0	0	0
2	0	1	1	0	1	0
+ 3	0	0	0	0	1	0
4	1	0	0	0	0	0
5	1	0	0	1	0	1
+ 6	0	0	0	0	0	1
7	0	1	0	0	0	0

(MH)

S_1	S_2	T_H	T_D	M_H	S	R
0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	1	0
0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0

[S]

	S_1	S_2		
3	0	0	-	0
1	1	0	-	0
-	-	-	-	-
T_D	1	0	-	1
T_H				

Wg pozycji S_2
Wg pozycji S_1

$$S = S_1^1 \cdot S_2 + T_D^2 \cdot T_H + \bar{S}_1 \cdot \bar{S}_2 \cdot T_D + \bar{S}_1 \cdot \bar{S}_2 \cdot T_H$$

[R]

	S_1	S_2		
4	0	1	-	0
0	0	0	-	1
-	-	-	-	-
T_D	0	1	-	0
T_H				

Wg pozycji S_2
Wg pozycji S_1

$$R = S_1^1 \cdot S_2 + T_D^2 \cdot T_H + S_1^3 \cdot T_H + S_1^4 \cdot T_D \cdot \bar{T}_H + S_2 \cdot T_D$$

	k_1	k_2	T	B	R
0	1	0	0	0	0
1	1	0	1	1	0
2	0	0	1	1	0
3	0	1	1	1	1
4	0	0	1	1	1
5	1	0	1	1	0
6	0	0	1	1	0
7	0	0	0	1	1
8	1	0	0	0	0

→

	k_1	k_2	T	B^{-1}	B
0	1	0	0	1	0
0-1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	1
2					

	k_1	k_2	T	B^{-1}	B
0	1	0	0	1	0
0-1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	1
1-2	0	0	1	1	1
2	0	0	1	1	1
3	0	1	1	1	1
4	0	0	1	1	1
5	1	0	1	1	1
6	0	0	0	1	1
7	0	0	0	1	1
8	1	0	0		

	k_1	k_2	T	B^{-1}	B
0	1	0	0	1	0
0-1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	1
2					

	k_1	k_2	T	R^{-1}	R
0	1	0	0	1	0
0-1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0
2	0	0	1	0	0
2-3	0	0	1		
3	0	1	1	0	1
3-4	0	0	1	1	1
4	0	0	1	1	1
5	1	0	1	1	0
5-6	1	0	1	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1

$$B = M = k_1 \cdot k_2 + k_1 \cdot T + k_2 \cdot T$$

$$B = T + k_1 \cdot k_2 + k_1 \cdot k_2 \cdot B^{-1}$$

	k_1	k_2	T	R^{-1}	R
0	1	0	0	1	0
0-1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0
2	0	0	1	0	0
2-3	0	0	1		
3	0	1	1	0	1
3-4	0	0	1	1	1
4	0	0	1	1	1
5	1	0	1	1	0
5-6	1	0	1	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1

$$R = k_1 \cdot k_2 + k_2 \cdot k_1 + k_1 \cdot T + k_2 \cdot T$$

Ďalšie stability merného RO je súčinnou vaľbou
 istej dĺžky výnosu rovnaký 4. riadok a PD regulátor

$$R: 2s - 1$$

$$S: \frac{1}{4s^4 + s^3 + 2s^2 + 2}$$

$$G_0 = R \cdot S = 2s - 1 \cdot \frac{1}{4s^4 + s^3 + 2s^2 + 2} = \frac{2s - 1}{4s^4 + s^3 + 2s^2 + 2}$$

$$\text{Char. rovnice} = 2s - 1 + 4s^4 + s^3 + 2s^2 + 2 = 4s^4 + s^3 + 2s^2 + 2s + 1$$

$$\begin{array}{c} H_1 \quad H_2 \quad H_3 \quad H_4 \\ \left[\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 1 & 1 \end{array} \right] \end{array}$$

$$H_1 = 1$$

$$H_2 = 1 \cdot 2 - 4 \cdot 2 = -6 \rightarrow \text{nestabilita}$$

Krysa

$$\begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 4 & 2 & 1 & 0 & 4 & 2 \\ 0 & 1 & 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 2 & 1 & 0 & 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 2 & 1 & 0 & 4 & 2 \\ 0 & 1 & 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 2 & 1 & 0 & 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 0 & 1 & 2 \\ 4 & 2 & 1 & 4 & 2 \\ 0 & 1 & 2 & 0 & 1 \end{array}$$

$$H_3 = 0 + 1 + 16 - (4 + 0 + 0) = 17 - 4 = 13$$

B) Pomocí Nyquistova kritéria zjistěte stabilitu RO
 Sčítaného z aritmetické rovnice LR a PD

$$R: u = 2y' - y$$

$$S: y'' + 6y' = u$$

~~MANIPULACE~~

~~MANIPULACE~~

~~MANIPULACE~~

$$\cancel{U(s) = 2sY(s) - Y(s)}$$

1) Laplaceovany

$$S: U(s) = s^2 Y(s) + 6s Y(s) \quad R: U(s) = 2s Y(s) - Y(s)$$

$$G_S = \frac{1}{s^2 + 6s}$$

$$G_R = \frac{2s - 1}{1}$$

$$G_O = R \cdot S = \frac{1}{s^2 + 6s} \cdot \frac{2s - 1}{1} = \frac{2s - 1}{s^2 + 6s}$$

$$\frac{2(j\omega) - 1}{2(j\omega)^2 + 6j\omega} = \frac{2(j\omega) - 1}{2(j\omega)^2 + 6j\omega} \cdot \frac{-2(j\omega)^2 - 6j\omega}{-2(j\omega)^2 - 6j\omega}$$

$$= \frac{-4(j\omega)^3 - 12(j\omega)^2 + 2(j\omega) + 6j\omega}{-4(j\omega)^4 - 12(j\omega)^3 - 6(j\omega)^2 - 36(j\omega)}$$

$$= \frac{-4j^3\omega^3 - 12j^2\omega^2 + 6j\omega}{-4j^4\omega^4 - 12j^3\omega^3 - 36j^2\omega^2} = \frac{+4j^3\omega^3 + 10\omega^2 + 6j\omega}{-4\omega^4 + 12j\omega^3 - 36\omega^2 + 36j\omega}$$

D) Využitím Hurwitz. Zkontroluji zda je RO stabilní
přímou převrácenou RO:

$$G_0 = \frac{-6s-6}{40s^2+s}$$

$$G_H = \frac{G_0}{1+G_0} = \text{~~uvnitř~~}$$

$$= \frac{\frac{-6s-6}{40s^2+s}}{1 + \frac{-6s-6}{40s^2+s}} = \frac{\frac{-6s-6}{40s^2+s}}{\frac{40s^2+s-6s-6}{40s^2+s}} = \frac{-6s-6}{40s^2-5s-6}$$

$$\frac{(-6s-6) \cdot 40s^2+s}{(40s^2+s) \cdot (40s^2-5s-6)} = \frac{-240s^3-6s^2-240s^2-6s}{1600s^4-200s^3-240s^2+40s^2-5s^2-6s}$$

$$= \frac{-240s^3-246s^2-6s}{1600s^4-240s^3-245s^2-6s} \Rightarrow \text{nestabilní?}$$

B) ~~Prove~~ Následkem přetváry výsledky

PR:

$$S \cdot 0,5 \cdot y' = u$$

$$PI \text{ regulatorki } \Delta PP = 50\% \text{ a } T_i = 4s$$

Stabilizacja (Nyquist)

$$\tau = \frac{1}{PP} \cdot 100 = \frac{1}{50} \cdot 100 = \underline{\underline{2}}$$

$$R: u = r_0 \cdot y + \frac{r_0}{T_i} \int y dt = 2y + \frac{2}{4} \int y dt$$

$$\text{Ciepota: } 0,5 \cdot y' = u - u_P$$

$$G_S = \frac{1}{0,5 \cdot s}$$

$$R: \text{Zakładamy } 2y' + 0,5 \cdot \frac{y}{s}$$

$$G_R = \frac{2 + \frac{0,5}{s}}{1} = \frac{2s + 0,5}{s}$$

$$G_O = G_S \cdot G_R = \frac{1}{0,5s} \cdot \frac{2s + 0,5}{s} = \frac{2s + 0,5}{0,5s^2}$$

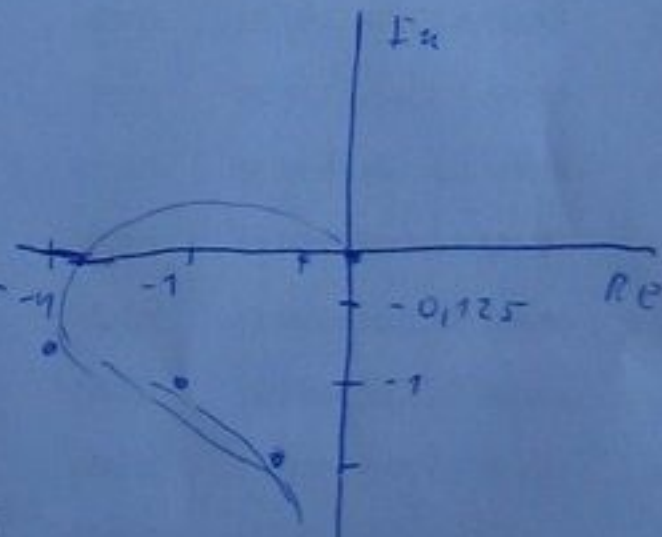
$$N_k \quad \frac{2j\omega + 0,5}{0,5j^2\omega^2} \cdot \frac{-0,5j^2\omega^2}{-0,5j^2\omega^2} = \frac{-j\omega^3 - 0,125j^2\omega^2}{-0,25j^2\omega^4}$$

$$= \frac{-j\omega^3 + 0,125\omega^2}{-0,25\omega^4}$$

$$Re = \frac{0,125\omega^2}{-0,25\omega^4}$$

$$Im = \frac{-j\omega^3}{-0,25\omega^4}$$

ω	Re	Im
0	0	0
0,5	-4	-0,125
1	-1	-1
1,5	-0,44	-3,375



$$= \frac{10j - 4w^3 + 10w^2 + 10w}{-4w^4 + 18j - 18w^2 + 36w^2}$$

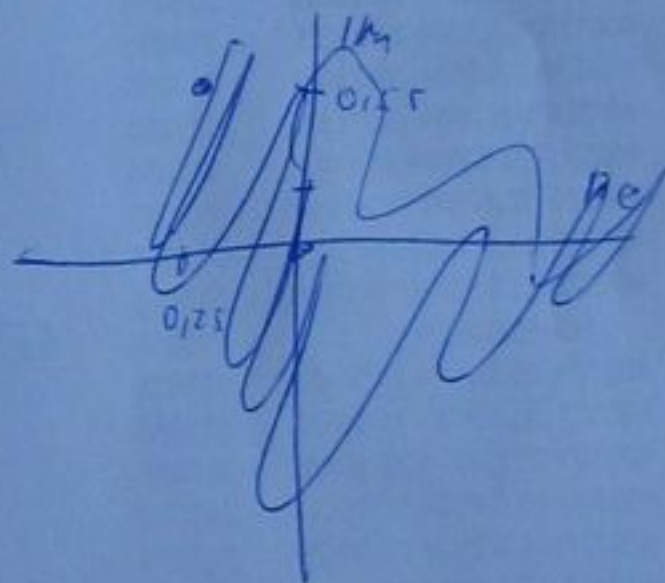
$$s \text{ Re} = \frac{-4w^3 + 10w^2}{-4w^4 - 18w^2 + 36w^2}$$

$$\text{Im} = \frac{10j}{-4w^4 - 18w^2 + 36w^2}$$

$$= \frac{4jw^3 + 10w^2 + 6jw}{-4w^4 + 18jw^3 - 36w^2}$$

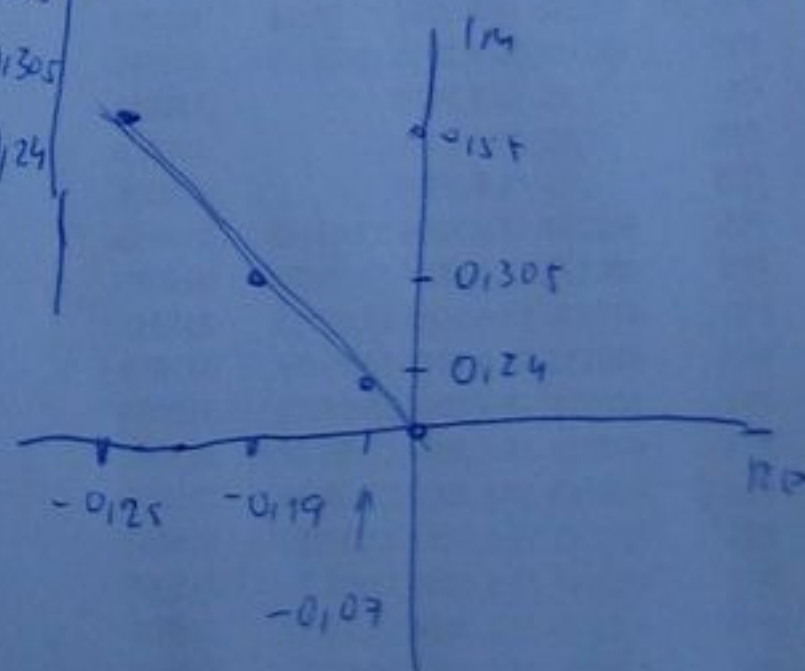
$$\text{Re} = \frac{10w^2}{-4w^4 - 36w^2}$$

$$\text{Im} = \frac{4jw^3 + 6jw}{18jw^3} =$$



w	Re	Im
0	0	0
1	-0.375	0.155
2	-0.18	0.305
5		

w	Re	Im
0	0	0
1	-0.125	0.155
2	-0.19	0.305
5	-0.074	0.24
50		



Stabilität RD

$$a) \quad G_S(s) = \frac{k}{Ts+1} \quad \text{PI} \quad G_R(s) = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} = \frac{r_0 s + r_{-1}}{s}$$

$$G_0 = G_R \cdot G_S = \frac{k \cdot r_0 s + k r_{-1}}{s(Ts+1)} = \frac{k r_0 s + k r_{-1}}{Ts^2 + s}$$

$$\text{GH-Rov.} \quad k r_0 s + k r_{-1} + Ts^2 + s = Ts^2 (1 + k r_0) s + k r_{-1} \rightarrow \text{stabil!}$$

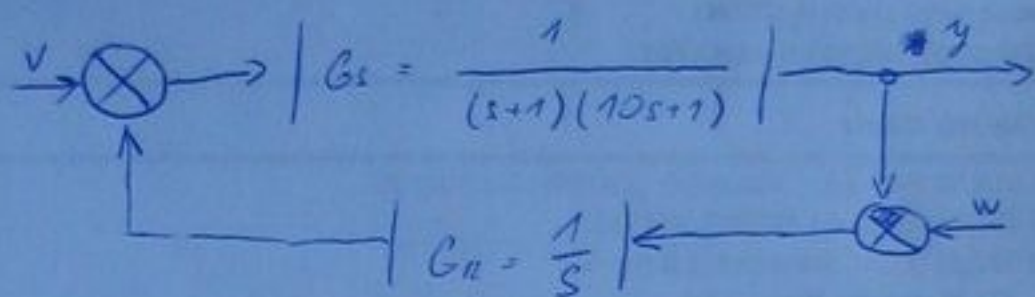
$$b) \quad G_S = \frac{1}{sT} \quad \text{PI} \quad G_R(s) = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} =$$

$$G_0 = \frac{r_0 s + r_{-1}}{Ts^2}$$

$$\text{GH-Rov} \quad r_0 s + r_{-1} + Ts^2 = 0 \rightarrow \text{stabil!}$$

$$c) \quad G_S = \frac{k}{s(Ts+1)} \quad \text{I} \quad G_R = \frac{r_{-1}}{s}$$

$$G_0 = \frac{k r_{-1}}{s^2(Ts+1)} = Ts^3 + s^2 + k r_{-1} = 0 \rightarrow \text{instabil!}$$



$$G_o = G_R \cdot G_S = \frac{1}{s \cdot (s+1)(10s+1)}$$

~~$$= \frac{1}{j\omega(j\omega+1)(10j\omega+1)} = \frac{1}{(j^2\omega^2+j\omega)(10j\omega+1)}$$

$$= \frac{1}{j^2\omega^2 + j\omega}$$~~

$$= \frac{1}{j\omega(j\omega+1)(10j\omega+1)} = \frac{1}{j\omega \cdot (10j^2\omega^2 + j\omega + 10j\omega + 1)}$$

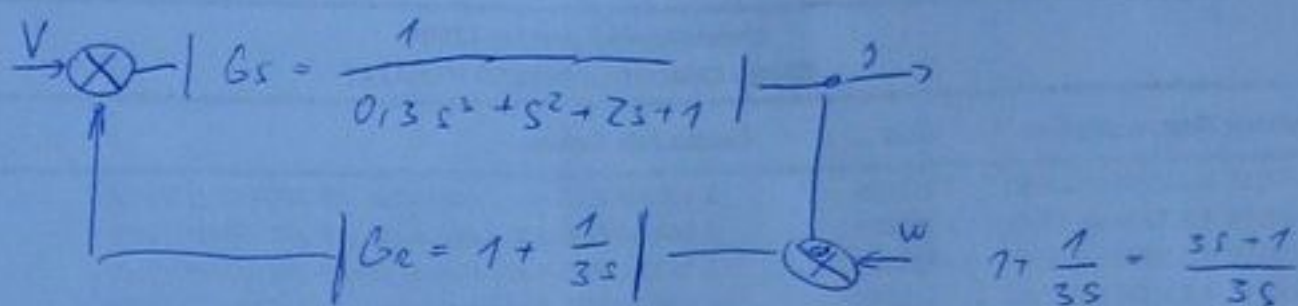
$$= \frac{1}{j \cdot 10j^3\omega^3 + j^2\omega^2 + 10j^2\omega^2 + j\omega} = \frac{1}{-10j\omega^3 - \omega^2 - 10\omega^2 + j\omega}$$

$$Re = \frac{1}{-\omega^2 - 10\omega^2}$$

$$Im = \frac{1}{-10j\omega^3 + j\omega}$$

ω	Re	Im
0.12		

3.29



$$G_0 = \frac{3s+1}{\cancel{0.3s^2 + s^2 + 2s + 1} \cdot 0.9s^4 + 3s^3 + 6s^2 + 3s}$$

char. eqn: $0.9s^4 + 3s^3 + 6s^2 + 3s + 1 = 0$

$$\begin{bmatrix} 3 & 6 & 0 & 0 \\ 0.9 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 3 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & 1 \end{bmatrix}$$

c) Rozhodnutí zda je navržený RO stabilní. Převod RS

$$R = 4\lambda^2 - 3 - \frac{1}{\lambda} \quad S = \frac{1}{2\lambda^2 + \lambda}$$

$$R = \frac{4\lambda^3 - 3\lambda - 1}{\lambda}$$

$$G_0 = R \cdot S = \frac{4\lambda^3 - 3\lambda - 1}{\lambda} \cdot \frac{1}{2\lambda^2 + \lambda} = \frac{4\lambda^3 - 3\lambda - 1}{2\lambda^3 + \lambda^2}$$

$$\text{Char. rovnice: } 4\lambda^3 - 3\lambda - 1 + 2\lambda^3 + \lambda^2 = 0 \Rightarrow \underline{\underline{6\lambda^3 + \lambda^2 - 3\lambda - 1}}$$

$$\left[\begin{array}{ccc|ccc} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & -3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{ccc|ccc} 1 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 6 & -3 & 0 & 0 & 0 & -3 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right]$$

$$H_3 = -3 + 0 + 0 - (0 + 0 - 6) = \underline{\underline{3}}$$

$$H_1 = \underline{\underline{1}}$$

$$H_2 = -3 + 6 = \underline{\underline{3}}$$

A) Pomocí Hurwitz. Kritéria vyšetřete stabilitu systému ^{RO} a navrhněte konstrukci ZR a PID

$$u = 2\lambda' - 3 - \int \lambda dt$$

$$\lambda'' + 6\lambda' = u$$

$$\lambda'' + 6\lambda = 2\lambda' - 3 - \int \lambda dt$$

$$\lambda''' + 6\lambda' = 2\lambda'' - \lambda' - \lambda$$

$$\lambda''' - 2\lambda'' + 5\lambda' + \lambda = 0$$

$$\lambda^3 - 2\lambda^2 + 5\lambda + 1 = 0$$

$$\left[\begin{array}{cc|c} -2 & 1 & 0 \\ 1 & 5 & 0 \\ 0 & -2 & 1 \end{array} \right]$$

$$H_1 = \underline{\underline{-210}}$$

↳ Nestabilní