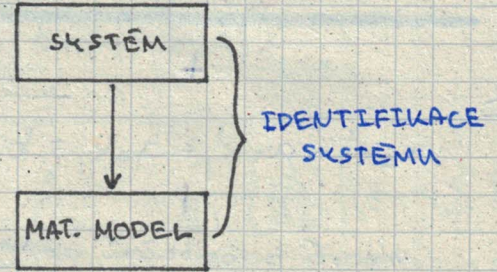
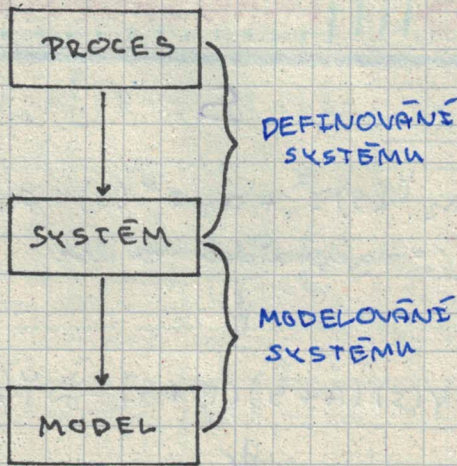
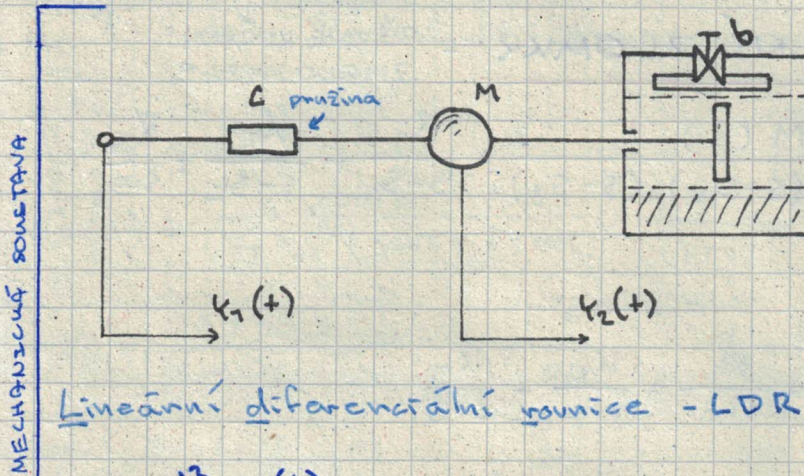


AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ



→ LDR: lineární diferenciální rovnice

PŘÍKLADY:



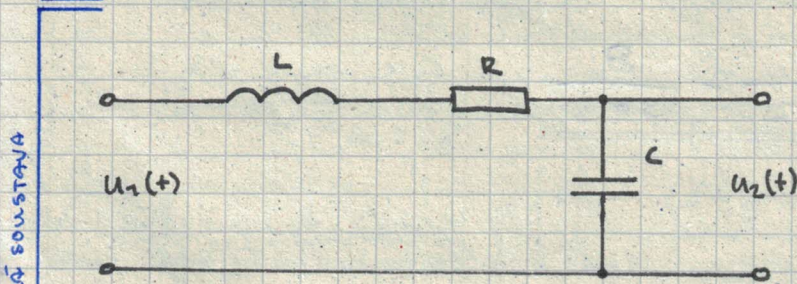
- $x_1(t)$ [m] ... vstupní výchylka
- $x_2(t)$ [m] ... výstupní výchylka
- c [kg/s²] ... konstanta pružiny
- m [kg] ... hmotnost koule
- b [kg/s] ... koeficient viskozního tření

Lineární diferenciální rovnice - LDR:

$$m \cdot \frac{d^2 x_2(t)}{dt^2} + b \cdot \frac{dx_2(t)}{dt} + c \cdot x_2(t) = c \cdot x_1(t)$$

software:

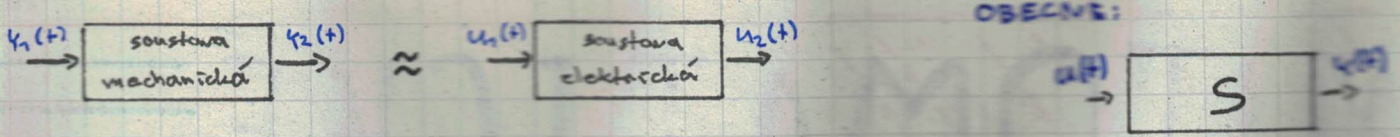
DYNAST (client-server)



- $u_1(t)$ [V] ... vstupní napětí
- $u_2(t)$ [V] ... výstupní napětí
- L [H] ... indukčnost
- R [Ω] ... odpor
- C [F] ... kapacita

LDR:

$$L \cdot u_2'' + R \cdot u_2' + \frac{1}{C} u_2 = \frac{1}{C} \cdot u_1(t)$$



OBEČNĚ ZÁPIS: $a_2 y'' + a_1 y' + a_0 y(t) = b_0 y(t)$

Laplaceho TRANSFORMACE

LDR

$$a_2 y'' + a_1 y' + a_0 y = b_0 y$$

nulové počáteční podmínky

řešení

S

$$a_2 \dot{y}(s)s^2 + a_1 s \dot{y}(s) + a_0 \dot{y}(s) = b_0 \dot{y}(s)$$

= algebraická rovnice

$$y(s)(A+s)(B+s) = b \dot{y}(s)$$

LAPLACEŮV SLOVNÍK

ROZKLAD V PARCIÁLNÍ ZLOMKY - RŮZNÉ ČÍSLA ZMĚNOVÉ

$$F(s) = \frac{M(s)}{N(s)} \rightarrow = \frac{M(s)}{K_0(s-s_1) \cdot (s-s_2) \cdot (s-s_3) \dots} = \frac{K_1}{s-s_1} + \frac{K_2}{s-s_2} + \frac{K_3}{s-s_3} \dots$$

$$\Rightarrow K_i = \left[(s-s_i) F(s) \right]_{s=s_i}$$

Průklad: $F(s) = \frac{6s+2}{(s+1)(s+2)(s+3)} = \frac{K_1}{s+1} + \frac{K_2}{s+2} + \frac{K_3}{s+3}$

$$K_1 = \left[\frac{6s+2}{(s+2)(s+3)} \right]_{s=-1} = -2$$

$$K_2 = \left[\frac{6s+2}{(s+1)(s+3)} \right]_{s=-2} = 10$$

$$K_3 = \left[\frac{6s+2}{(s+1)(s+2)} \right]_{s=-3} = -8$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{F(s) = \frac{2}{s+1} + \frac{10}{s+2} - \frac{8}{s+3}}}$$

ROZKLAD V PARCIÁLNĚ ZLOMKY - NÁSOBNÉ KOŘENY JMENOVATELE

$$F(s) = \frac{M(s)}{N(s)} \rightarrow = \frac{M(s)}{K_0 (s-s_1)^n (s-s_2)(s-s_3) \dots}$$

$$= \frac{C_1}{s-s_1} + \frac{C_2}{(s-s_2)^2} + \dots + \frac{C_n}{(s-s_1)^n} + \frac{K_2}{s-s_2} + \frac{K_3}{s-s_3} \dots$$

$K_i = [(s-s_i) F(s)]_{s=s_i}$	$C_n = [(s-s_1)^n F(s)]_{s=s_1}$
$C_{n-1} = \frac{1}{1!} \left\{ \frac{d}{ds} [(s-s_1)^n F(s)] \right\}_{s=s_1}$	$C_{n-2} = \frac{1}{2!} \left\{ \frac{d^2}{ds^2} [(s-s_1)^n F(s)] \right\}_{s=s_1}$

Průklad: $F(s) = \frac{s^2 + s + 3}{(s+2)^2 (s+1)} = \frac{C_1}{s+2} + \frac{C_2}{(s+2)^2} + \frac{K_1}{s+1}$

$$K_1 = \left[\frac{s^2 + s + 3}{(s+2)^2} \right]_{s=-1} = 3$$

$$C_1 = \frac{1}{1!} \left[\left(\frac{s^2 + s + 3}{s+1} \right)' \right]_{s=-2} = \frac{(2s+1)(s+1) - (s^2 + s + 3)}{(s+1)^2} = \frac{s^2 + 2s - 2}{(s+1)^2} = -2$$

$$C_2 =$$

$$G(s) = \frac{s+3}{(s+1)^3 (s+2)(s+4)} = \frac{C_1}{s+1} + \frac{C_2}{(s+1)^2} + \frac{C_3}{(s+1)^3} + \frac{K_1}{s+2} + \frac{K_2}{s+4}$$

$$K_2 = \left[\frac{s+3}{(s+1)^3 (s+2)} \right]_{s=-4} = \frac{1}{18} \quad K_1 = \left[\frac{s+3}{(s+1)^3 (s+4)} \right]_{s=-2} = \frac{1}{2}$$

$$C_3 = \left[\frac{s+3}{(s+2)(s+4)} \right]_{s=-1} = \frac{2}{3}$$

$$C_2 = \frac{1}{1!} \left[\left(\frac{s+3}{(s+2)(s+4)} \right)' \right]_{s=-1} = \left(\frac{s+3}{s^2+6s+8} \right)' = \frac{1 \cdot (s^2+6s+8) - (s+3) \cdot (2s+6)}{(s^2+6s+8)^2} =$$

$$= \frac{s^2+6s+8 - 2s^2-12s-19}{(s^2+6s+8)^2} = \frac{-s^2-6s-10}{(s^2+6s+8)^2} = -\frac{5}{9}$$

$$C_3 = \frac{1}{2!} \left[\left(\frac{-s^2-6s-10}{(s^2+6s+8)^2} \right)' \right]_{s=-1} = \frac{(-2s-6) \cdot (s^2+6s+8)^2 - (-s^2-6s-10) \cdot 2 \cdot (2s+6)}{(s^2+6s+8)^4}$$

$$\cdot (2s+6) = \frac{-2s^3-6s^2-12s^2-36s-16s-48 - (-s^2-6s-10) \cdot 2 \cdot (2s+6)}{(s^2+6s+8)^4}$$

$$= \frac{-20s^3-18s^2-52s-48 - (-s^2-6s-10) \cdot 2 \cdot (2s+6)}{(s^2+6s+8)^4} = 108$$

$$G(s) = \frac{108}{(s+1)^4} + \frac{5}{9(s+1)^2} + \frac{2}{3(s+1)^3} + \frac{1}{2(s+2)} + \frac{1}{18(s+4)}$$

Laplaceova transformace

ROVNICE: $F(s) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt$

TRANSFORMACE: $L\{f(t)\} = F(s)$
→ z Laplacování

$$f(t) = L^{-1}\{F(s)\} = \frac{1}{2\pi j} \int_C F(s) e^{st} ds$$

→ de Laplacování

HLAVNÍ VĚTY LAPLACEOVY TRANSFORMACE:

1. VĚTA O OBRAZU DERIVACE

$$L\{f'(t)\} = sF(s) - f(0)$$

2. VĚTA O OBRAZU N-TÉ DERIVACE

$$L\{f^{(n)}(t)\} = s^n F(s) - s^{n-1} f(0) - s^{n-2} f'(0) - s^{n-3} f''(0) \dots$$

3. VĚTA O OBRAZU INTEGRÁLU

$$L\left\{\int_0^t f(\tau) d\tau\right\} = \frac{1}{s} F(s)$$

4. VĚTA O LINEARITĚ

$$L\{af(t) + bg(t)\} = aF(s) + bG(s)$$

5. VĚTA O POSUNUTĚ V ORIGINÁLE = DOPRAVNÍ ZPOZDĚNÍ

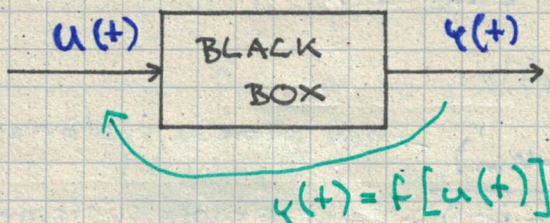
$$L\{f(t-a)\} = e^{-as} F(s)$$

PŘÍKLADY:

$$\begin{aligned} L\{f''(t) + 3f'(t) + 5f(t)\} &= s^2 F(s) - sf(0) - f'(0) + \\ & 3(sF(s) - f(0)) + 5F(s) = \\ f'(0) = 2 \quad \left. \begin{array}{l} f'(0) = 2 \\ f(0) = 1 \end{array} \right\} \text{počáteční podmínky} &= 3^2 F(s) - s - 2 + 3sF(s) - 3 + 5F(s) \\ f(0) = 1 &= F(s) \cdot (s^2 + 3s + 5) - (s + 5) \end{aligned}$$

Vnější popis vlastností regulačních systémů

OBECLNÝ POPIS:



POPISUJÍ:

- LDR - lineární diferenciální rovnice - s nulovými počátečními podmínkami
- přenos v Laplaceově transformaci
- impulzní charakteristika a impulzní funkce
- přechodová charakteristika a přechodová funkce
- frekvenční přenos
- frekvenční charakteristika v komplexní rovině
- frekvenční charakteristiky v logaritmických souřadnicích
↳ v decibelech a stupních
- poloha pólů a nul přenosu systému
- bloková schémata

OBECLNÁ LDR

$$a_n y^{(n)} + a_{n-1} y^{(n-1)} + \dots + a_1 y' + a_0 y = b_m u^{(m)} + \dots + b_1 u' + b_0 u$$

PŘENOS

$$G(s) = \frac{\text{Laplaceův obraz výstupu } \mathcal{L}\{y(t)\}}{\text{Laplaceův obraz vstupu } \mathcal{L}\{u(t)\}}$$

- při nulových počátečních podmínkách

$$\rightarrow a_n s^n Y(s) + a_{n-1} s^{n-1} Y(s) + \dots + a_1 s Y(s) + a_0 Y(s) =$$

$$= b_m s^m U(s) + b_{m-1} s^{m-1} U(s) + \dots + b_1 s U(s) + b_0 U(s)$$

$$\rightarrow Y(s) (a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0) = U(s) (b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0)$$

$$\rightarrow G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}$$

PŘENOS ve tvaru (pomocí) časových konstant:

$$G(s) = \frac{b_0}{a_0} \cdot \frac{(z_1 s + 1)(z_2 s + 1) \dots (z_m s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1) \dots (T_n s + 1)}$$

PŘENOS s vyjádřenými nulami a póly:

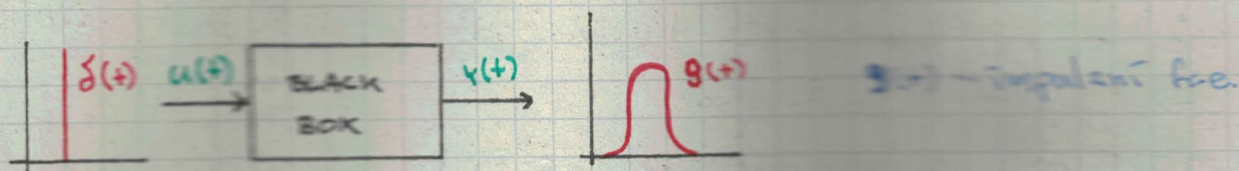
$$G(s) = \frac{b_m}{a_n} \cdot \frac{(s - n_1)(s - n_2) \dots (s - n_m)}{(s - p_1)(s - p_2) \dots (s - p_n)}$$

→ nuly přenosu systému
→ póly přenosu systému

PŘ: LDR: $0,5y'' + y' = 2u' + 1,5u$
 $Y(s)(0,5s^2 + s) = U(s)(2s + 1,5)$

$$G(s) = \frac{2s + 1,5}{s(0,5s + 1)} = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{7,5 \left(\frac{2}{7,5}s + 1 \right)}{s(0,5s + 1)} = \frac{1,5 \left(s + \frac{1,5}{2} \right)}{s \left(s + \frac{1}{0,5} \right)}$$

IMPULZNÍ FUNKCE A IMPULZNÍ CHARAKTERISTIKA



- Impulzní funkce je odezva systému na Diracův impuls na vstup.

DIRACŮV IMPULZ: - fyzikálně nerealizovatelný

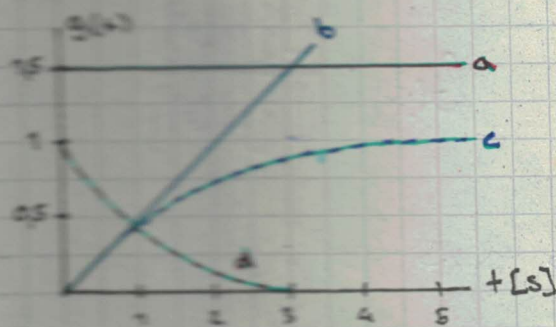
- nekonečně krátký s nekonečně velkou amplitudou
- značí se $\delta(t)$

$$L\{\delta(t)\} = 1$$

$$G(s) = \frac{L\{y(t)\}}{L\{u(t)\}} = \frac{Y(s)}{1} \Rightarrow Y(s) = G(s) \Rightarrow y(t) = g(t)$$

PŘ: a) $G(s) = \frac{1,5}{s} \quad g(t) = L^{-1}\left\{\frac{1,5}{s}\right\} = 1,5$

b) $G(s) = \frac{0,5}{s^2} \quad g(t) = L^{-1}\left\{\frac{0,5}{s^2}\right\} = 0,5t$



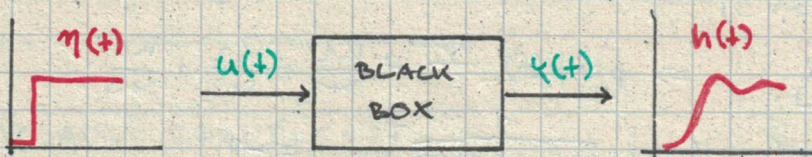
c) $G(s) = \frac{1}{s(2s+1)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{s(s+0,5)}$

$$g(t) = L^{-1}\left\{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{s(s+0,5)}\right\} = 1 - e^{-0,5t}$$

d) $G(s) = \frac{1}{s+2} \quad g(t) = L^{-1}\left\{\frac{1}{s+2}\right\} = e^{-2t}$

→ řešící impulzní funkce

PŘECHODOVÁ FUNKCE A PŘECHODOVÁ CHARAKTERISTIKA



η ... jednotkový skok
 $h(t)$... přechodová fce.

- Přechodová funkce je odezva na jednotkový skok na vstupu.

$$G(s) = \frac{L\{y(t)\}}{L\{u(t)\}} = \frac{H(s)}{\frac{1}{s}} = sH(s) \rightarrow H(s) = \frac{G(s)}{s} \rightarrow$$

$$h(t) = L^{-1}\left\{\frac{G(s)}{s}\right\} \quad * \quad g(t) = \frac{dh(t)}{dt} \quad h(t) = \int_0^+ g(t) dt$$

PR:

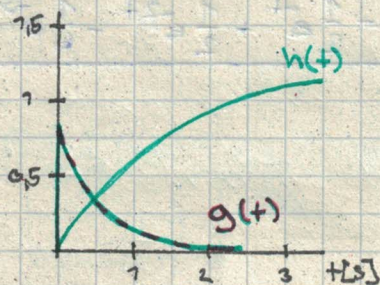
$$3y' + y = 2u \rightarrow 3sY(s) + Y(s) = 2U(s)$$

$$\rightarrow G(s) = \frac{2}{3s+1} = \frac{2}{3(s+\frac{1}{3})}$$

$$\rightarrow g(t) = L^{-1}\left\{\frac{2}{3(s+\frac{1}{3})}\right\} = \frac{2}{3} e^{-\frac{1}{3}t}$$

$$\rightarrow h(t) = L^{-1}\left\{\frac{2}{3(s+\frac{1}{3}) \cdot s}\right\} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{\frac{1}{3}} \cdot (1 - e^{-\frac{1}{3}t})$$

$$= \underline{2 - 2e^{-\frac{1}{3}t}}$$



Příklady: - najít řešící impulzi a přechodové funkce - $g(t)$ a $h(t)$

A. $G(s) = \frac{1,5}{s} \rightarrow g(t) = L^{-1}\left\{\frac{1,5}{s}\right\} = \underline{1,5}$

$\rightarrow h(t) = L^{-1}\left\{\frac{1,5}{s^2}\right\} = \underline{1,5t}$

B. $G(s) = \frac{0,5}{s^2} \rightarrow g(t) = L^{-1}\left\{\frac{0,5}{s^2}\right\} = \underline{0,5t}$

$\rightarrow h(t) = L^{-1}\left\{\frac{0,5}{s^3}\right\} = 0,25 L^{-1}\left\{\frac{2}{s^3}\right\} = \underline{0,25t^2}$

C. $G(s) = \frac{1}{s(2s+1)} \rightarrow g(t) = L^{-1}\left\{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{s(s+0,5)}\right\} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{0,5} \cdot (1 - e^{-0,5t}) = \underline{1 - e^{-0,5t}}$

$\rightarrow h(t) = L^{-1}\left\{\frac{1}{2s^2(s+0,5)}\right\} = L^{-1}\left\{\frac{1/2}{s^2} - \frac{2}{s} + \frac{4}{2s+1}\right\} = \underline{t - 2 + 2 \cdot e^{-0,5t}}$

D. $G(s) = \frac{1}{s+2} \rightarrow g(t) = L^{-1}\left\{\frac{1}{s+2}\right\} = \underline{e^{-2t}}$

$\rightarrow h(t) = L^{-1}\left\{\frac{1}{s(s+2)}\right\} = L^{-1}\left\{\frac{1}{2s} - \frac{1}{2(s+2)}\right\} = \underline{\frac{1}{2} - \frac{1}{2}e^{-2t}}$

$$E. \quad G(s) = \frac{1}{(s+1)(s+2)(s+3)} \Rightarrow \text{part } g(t) = \frac{K_1}{s+1} + \frac{K_2}{s+2} + \frac{K_3}{s+3}$$

$$g(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{(s+1)(s+2)(s+3)} \right\} \Rightarrow \text{part } h(t) = \frac{K_1}{s} + \frac{K_2}{s+1} + \frac{K_3}{s+2} + \frac{K_4}{s+3}$$

$$K_1 = \left[\frac{1}{(s+2)(s+3)} \right]_{s=-1} = \frac{1}{2} \quad K_2 = \left[\frac{1}{(s+1)(s+3)} \right]_{s=-2} = -1$$

$$K_3 = \left[\frac{1}{(s+1)(s+2)} \right]_{s=-3} = \frac{1}{2}$$

$$g(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{2(s+1)} - \frac{1}{s+2} + \frac{1}{2(s+3)} \right\} = \frac{1}{2} e^{-t} - e^{-2t} + \frac{1}{2} e^{-3t}$$

$$h(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{s(s+1)(s+2)(s+3)} \right\}$$

$$K_1 = \left[\frac{1}{(s+1)(s+2)(s+3)} \right]_{s=0} = \frac{1}{6} \quad K_2 = \left[\frac{1}{s(s+2)(s+3)} \right]_{s=-1} = -\frac{1}{2}$$

$$K_3 = \left[\frac{1}{s(s+1)(s+3)} \right]_{s=-2} = \frac{1}{2} \quad K_4 = \left[\frac{1}{s(s+1)(s+2)} \right]_{s=-3} = -\frac{1}{6}$$

$$h(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{s} - \frac{1}{2(s+1)} + \frac{1}{2(s+2)} - \frac{1}{6(s+3)} \right\} = \frac{1}{6} - \frac{1}{2} e^{-t} + \frac{1}{2} e^{-2t} - \frac{1}{6} e^{-3t}$$

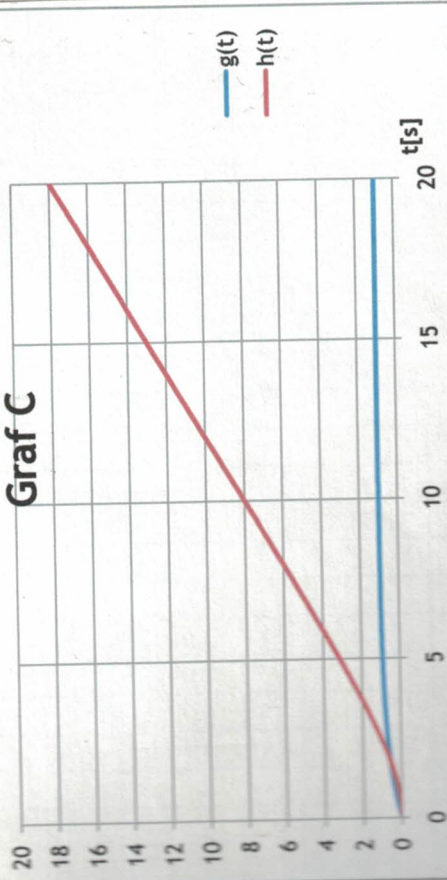


$$K_g = \left[\frac{1}{s(s+1)(s+3)} \right]_{s=-2} = \frac{1}{2}$$

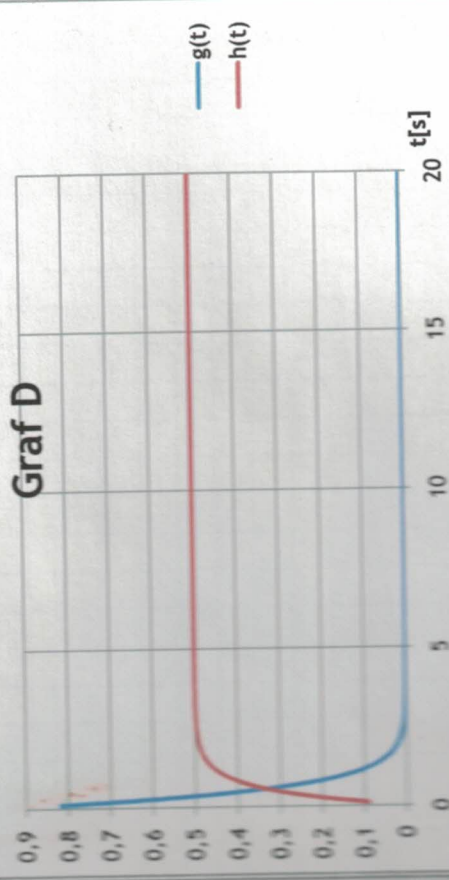
$$K_h = \left[\frac{1}{s(s+1)(s+3)} \right]_{s=0} = -\frac{1}{6}$$

$$h(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{s} - \frac{1}{2(s+1)} + \frac{1}{2(s+2)} - \frac{1}{6(s+3)} \right\} = \frac{1}{6} - \frac{1}{2}e^{-t} + \frac{1}{2}e^{-2t} - \frac{1}{6}e^{-3t}$$

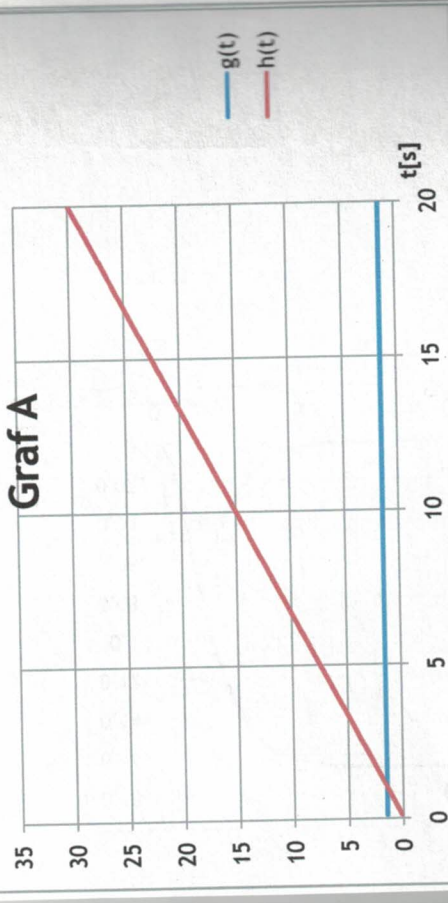
Graf C



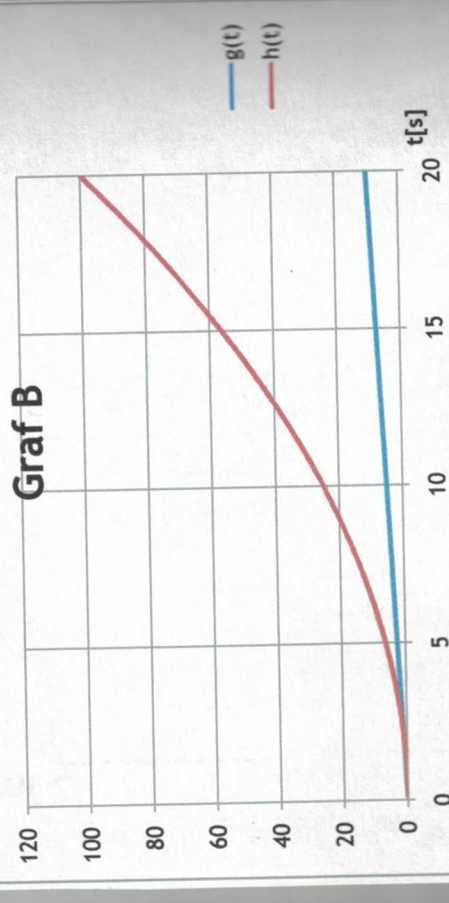
Graf D



Graf A



Graf B

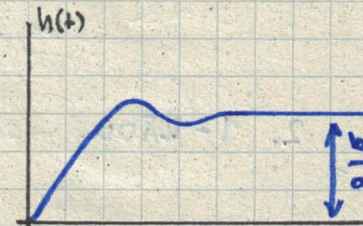


DĚLENÍ REGULÁČNÍCH ĚLENŮ PODLE PŘENOSU A PŘECHODOVÉ CHARAKTERISTIKY

ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ:

1. PROPORCIONÁLNÍ
= STATICKÁ

$$G(s) = \frac{b_m s^m + \dots + b_0}{a_n s^n + \dots + a_0}$$



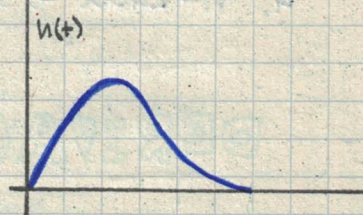
2. INTEGRAČNÍ
= ASTATICKÁ

$$G(s) = \frac{b_m s^m + \dots + b_0}{s(a_n s^{n-1} + \dots + a_1)}$$



3. DERIVAČNÍ

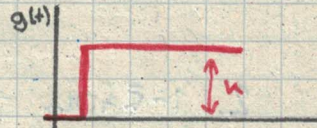
$$G(s) = \frac{s^n(b_m s^m + \dots + b_r)}{a_n s^n + \dots + a_0}$$



PROPORCIONÁLNÍ ĚLENY

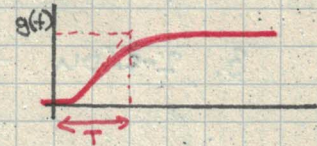
1. IDEÁLNÍ ĚLEN → bez setrvačnosti
→ 0. řádu

$$G(s) = k$$



2. SE SETRVAČNOSTÍ → 1. řádu
→ 1 kapacitní

$$G(s) = \frac{k}{1+sT}$$



3. SE SETRVAČNOSTÍ → 2. řádu

$$G(s) = \frac{k}{1+2\xi Ts + s^2 T^2}$$

A. $\xi > 1$

$$G(s) = \frac{k}{(1+sT_1)(1+sT_2)}$$

→ APERIODICKÝ

B. $\xi = 1$

$$G(s) = \frac{k}{(1+sT)^2}$$

→ MEZNĚ APERIODICKÝ

C. $0 < \xi < 1$

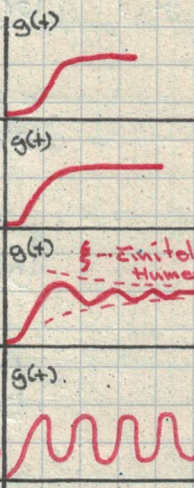
NEZDE ROZLOŽIT

→ KMITAVÝ

D. $\xi = 0$

$$G(s) = \frac{k}{1+s^2 T^2}$$

KONZERVATIVNÍ
→ (BEZ ZTRATOVÝ)
(PERPETUUM MOBILE)



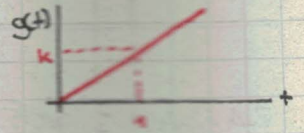
4. n-řádu → se setrvačností

$$G(s) = \frac{b_m s^m + \dots + b_0}{a_n s^n + \dots + a_0}$$

INTEGRAČNÍ ČLENY

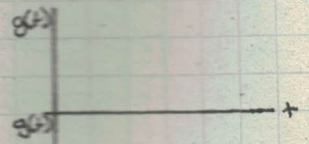
1. 0 - řádu → bez setrvačnosti
→ ideální člen

$$G(s) = \frac{k}{s}$$



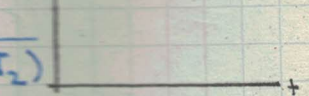
2. 1 - řádu → se setrvačností

$$G(s) = \frac{k}{s(1+sT)}$$



3. 2 - řádu → se setrvačností

$$G(s) = \frac{k}{s(1+sT_1)(1+sT_2)}$$



4. n - řádu → se setrvačností

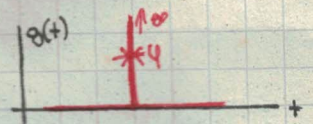
$$G(s) = \frac{b_n s^n + \dots + b_0}{s^m (a_n s^{n-m} + a_{n-1} s^{n-m-1} + \dots + a_0)}$$



DERIVAČNÍ ČLENY

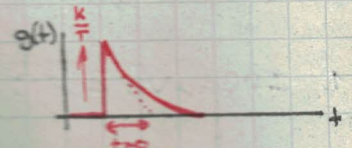
1. 0 - řádu → bez setrvačnosti
→ ideální člen

$$G(s) = ks$$



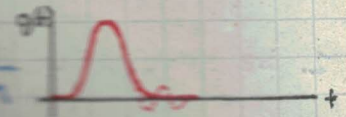
2. 1 - řádu → se setrvačností

$$G(s) = \frac{ks}{1+sT}$$



3. 2 - řádu → se setrvačností

$$G(s) = \frac{ks}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$



PR: $G(s) = \frac{2s}{s+3}$ → derivační člen 1. řádu se setrvačností 1. řádu

$G(s) = \frac{0,5}{s(s+2)}$ → integrační člen 1. řádu se setrvačností 1. řádu

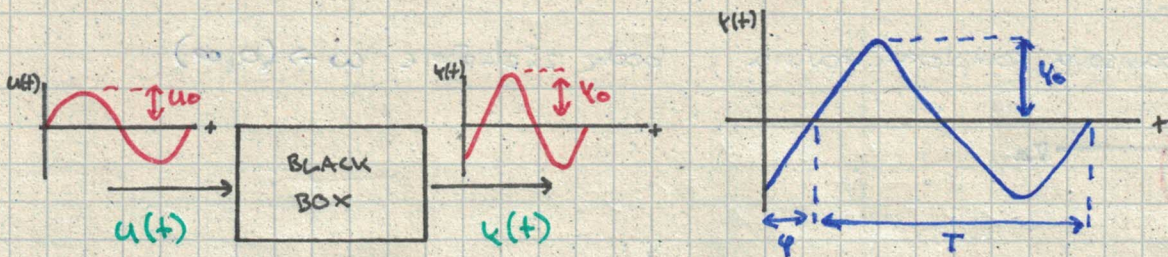
$G(s) = \frac{3s+1}{4s+1}$ → proporcionální člen se setrvačností 1. řádu

$G(s) = \frac{2s+1}{3s^2+5s+1}$ → proporcionální člen se setrvačností 2. řádu

$G(s) = \frac{3}{s^2(s+1)}$ → integrační člen 2. řádu se setrvačností 2. řádu

$G(s) = \frac{s^2(2s+1)}{6s^2+2s^3+s+1}$ → derivační člen 2. řádu se setrvačností 3. řádu

FREKVENČNÍ PŘENOS



- Frekvenční přenos je odezva na přivedení harmonického signálu (sinus)
 Je to poměr výstupních a vstupních harmonických kmitů.

$$u = U_0 \cdot \sin(\omega t)$$

$$v = V_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

↳ amplituda

↳ úhlová frekvence

↳ amplituda

↳ fázové posunutí

$$u = U_0 \cdot e^{j\omega t}$$

$$v = V_0 \cdot e^{j(\omega t + \varphi)}$$

$$G(j\omega) = \frac{V(j\omega)}{U(j\omega)} = \frac{V_0 \cdot e^{j(\omega t + \varphi)}}{U_0 \cdot e^{j\omega t}}$$

$$\boxed{s = j\omega}$$

PR: $G(s) = \frac{2}{s+1} \rightarrow s = j\omega \rightarrow G(j\omega) = \frac{2}{j\omega + 1}$

LDR: $4y''' + 1,5y'' + 2y' + 5y = 6u' + 2u$

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{6s + 2}{4s^3 + 1,5s^2 + 2s + 5} \rightarrow G(j\omega) = \frac{6(j\omega) + 2}{4(j\omega)^3 + 1,5(j\omega)^2 + 2(j\omega) + 5}$$

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

$$(A + jB)(A - jB) = A^2 + B^2$$

$$G(j\omega) = \frac{6j\omega + 2}{4j\omega^3 - 1,5\omega^2 + 2j\omega + 5} = \frac{6j\omega + 2}{(5 - 1,5\omega^2) + j(4\omega^3 + 2\omega)}$$

$$\rightarrow \frac{(5 - 1,5\omega^2) - j(4\omega^3 + 2\omega)}{(5 - 1,5\omega^2) - j(4\omega^3 + 2\omega)} = \frac{(6j\omega + 2)((5 - 1,5\omega^2) - j(4\omega^3 + 2\omega))}{(5 - 1,5\omega^2)^2 + (4\omega^3 + 2\omega)^2}$$

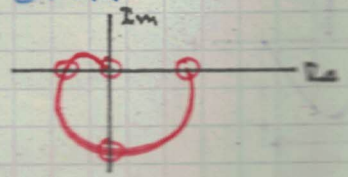
$$G(j\omega) = \frac{(6j\omega + 2)(5 - 1,5\omega^2) - j(6j\omega + 2)(4\omega^3 + 2\omega)}{25 - 15\omega + 2,25\omega^4 + 16\omega^6 + 16\omega^4 + 4\omega^2}$$

$$G(j\omega) = \frac{-9j\omega^3 - 3\omega^2 + 30j\omega + 10 - 24j^2\omega^4 - 8j\omega^3 - 12j^2\omega^2 - 4j\omega}{16\omega^6 + 18,25\omega^4 + 4\omega^2 - 15\omega + 25}$$

ste zkrátit a rozdělit na Re a Im

FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKY - grafické vyjádření $G(j\omega)$

1) GKR = Gansara komplexní rovina body získáme $\omega \rightarrow (0, \infty)$



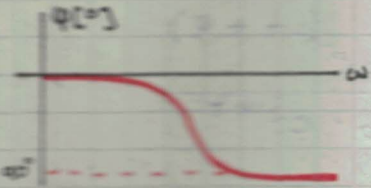
2) AMPLITUDOVÁ $A(\omega) = |G(j\omega)| \approx 20 \log |G(j\omega)| [dB] =$



$$= \frac{2}{\sqrt{(1-3\omega^2)^2 + (1,5\omega)^2}}$$

3) FÁZOVÁ

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)} = \arctg \frac{3\omega}{2-6\omega^2}$$



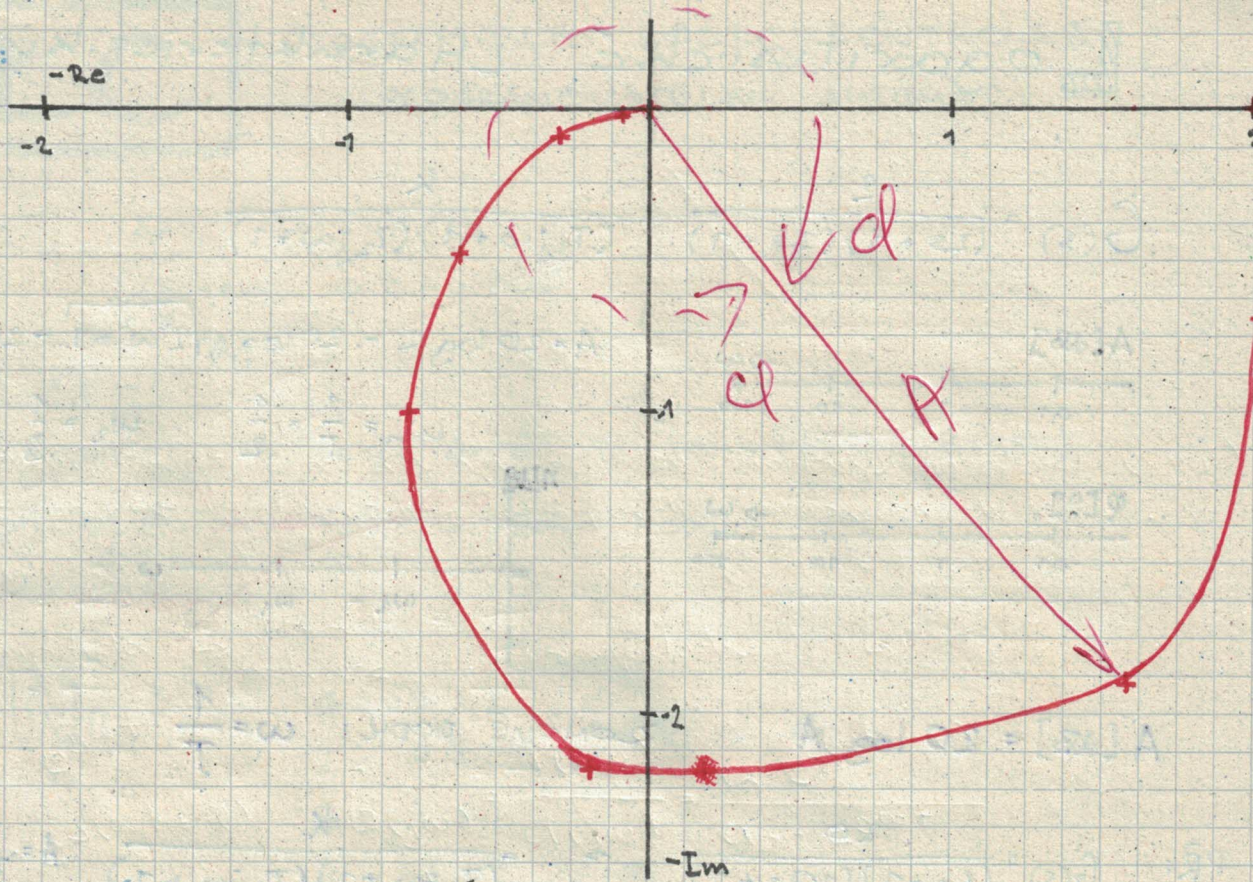
PŘ: $G(s) = \frac{2}{3s^2 + 1,5s + 1} \rightarrow G(j\omega) = \frac{2}{3(j\omega)^2 + 1,5j\omega + 1}$

$$\rightarrow G(j\omega) = \frac{2}{(1-3\omega^2) + j1,5\omega} \cdot \frac{(1-3\omega^2) - j1,5\omega}{(1-3\omega^2) - j1,5\omega} = \frac{2-6\omega^2 - j3\omega}{(1-3\omega^2)^2 + 2,25\omega^2}$$

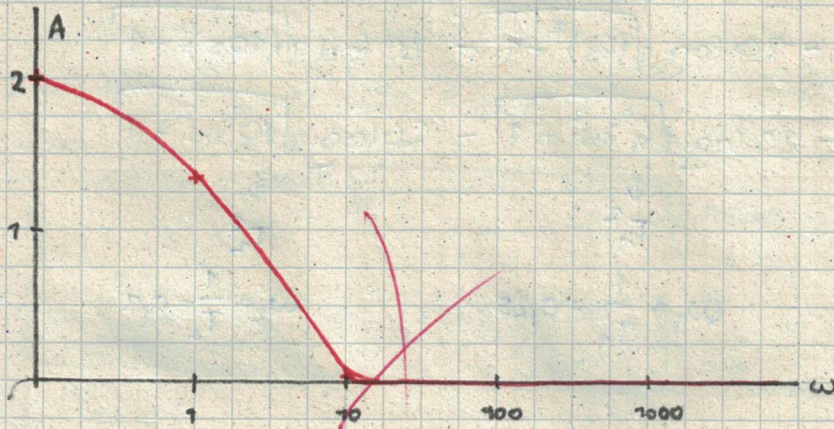
$$\underline{G(j\omega) = \frac{\text{Re } 2-6\omega^2}{9\omega^4 - 3,75\omega^2 + 1} - j \frac{\text{Im } 3\omega}{9\omega^4 - 3,75\omega^2 + 1}}$$

ω	$\text{Re}(j\omega) + \text{Im}(j\omega)$		$A(\omega) e^{j\varphi(\omega)}$	
	$\text{Re}(j\omega)$	$\text{Im}(j\omega)$	$A(\omega)$	$\varphi(\omega)$
0	2	0	2	0
0,2	2,0561	-0,6941	2,1512	-18° 50'
0,4	1,6497	-1,9035	2,5789	-49° 6'
0,6	-0,1459	-2,2048	2,2135	84° 56'
0,8	-0,8048	-1,6497	1,3227	52° 52'
1	-0,9	-0,48	0,9	36° 53'
1,5	-0,3016	-0,28118	0,3239	21° 23'
2	-0,1642	-0,0462	0,1754	16° 16'
10	-0,00667	-0,00033	0,00668	2° 53'
∞	0	0	0	0

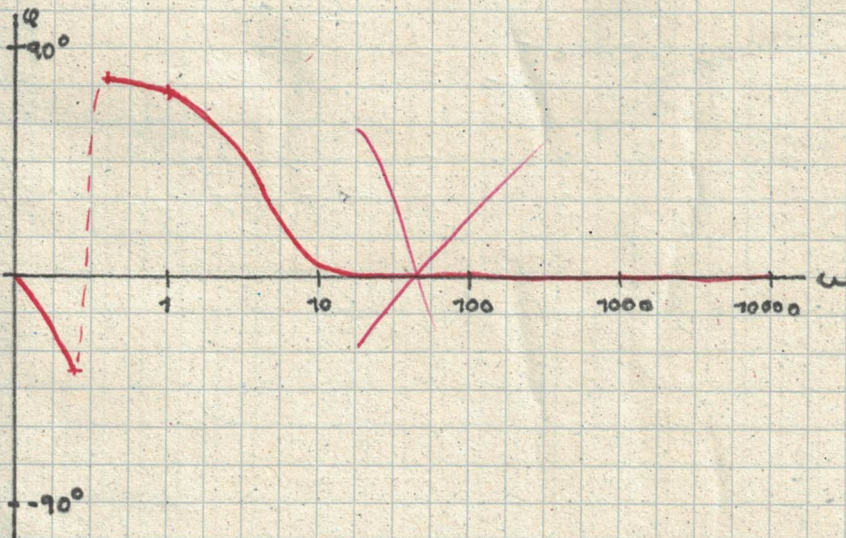
GKR:



AMPLITUDOVÁ: → viz. LOGARITMICKÁ

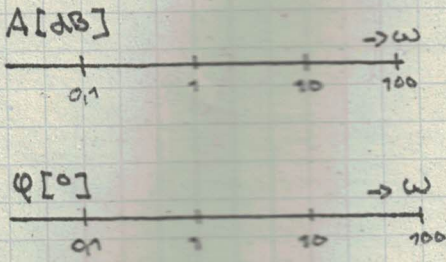


FÁZOVÁ: → viz. FÁZOVÁ



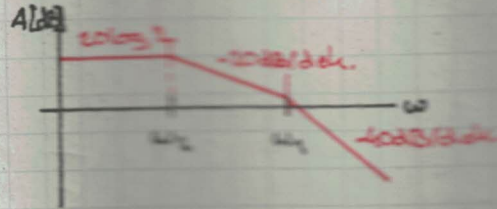
Logaritmické Charakteristiky

$$G(s) = \frac{2}{(2s+1)(3s+1)} = \frac{k}{(T_1j\omega+1)(T_2j\omega+1)}$$



$$A = 20 \log 2 - 20 \log \sqrt{2^2 \omega^2 + 1} - 20 \log \sqrt{3^2 \omega^2 + 1}$$

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{2} \quad \omega_2 = \frac{1}{3}$$



$$A [dB] = 20 \log A$$

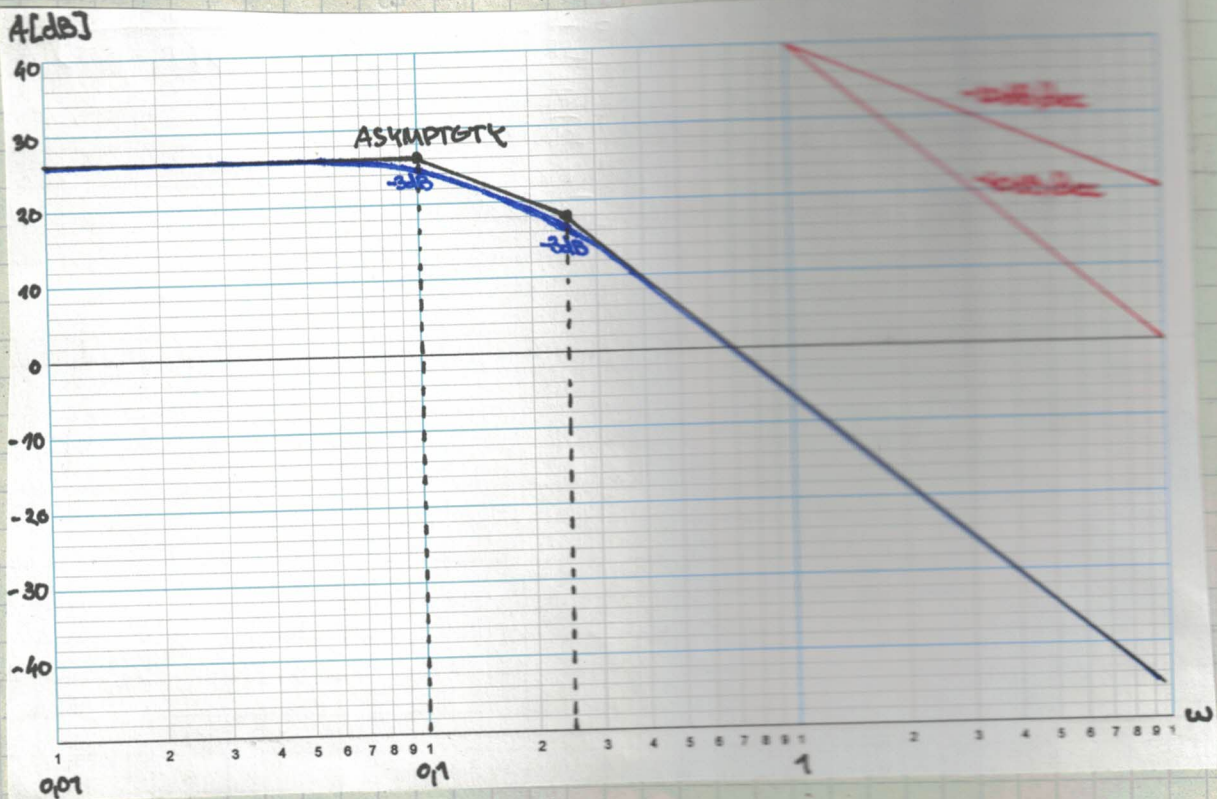
$$\text{ZLOMOVÉ BODY: } \omega = \frac{1}{T}$$

PR: $G(s) = \frac{20}{(4s+1)(10s+1)} \rightarrow \frac{k}{(T_1j\omega+1)(T_2j\omega+1)} \sqrt{2^2 \omega^2 + 1}^2$

$$A [dB] = 20 \log 20 - 20 \log \sqrt{(4s)^2 + 1} - 20 \log \sqrt{(10s)^2 + 1}$$

$$A [dB] = \underbrace{20 \log 20}_{26} - 20 \log \sqrt{4^2 \omega^2 + 1} - 20 \log \sqrt{10^2 \omega^2 + 1}$$

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = 0,25$$



PLC

PROGRAMOVATELNÝ AUTOMAT

NAPE: AM: T → AM: NI - E
Siemens → S7 - 300

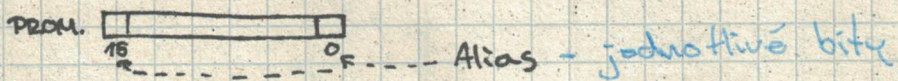
DRUH PLC:

- KOMPAKTNÍ → paměť dané I/O, lamé (RS 232, RS 485)
- MODULOVÉ → velké množství modulů

AM: NI:

- 1 - 8 DI } STR/SS; 0,1
- 2 - 8 DO }
- 3 - 4 AI
- 4 - RS 232, RS 485
- 5 - Ethernet / TCP / IP

PROMĚNNÉ → 16bit typ I → 32bit typ F



PROGRAMOVÁNÍ → jazyk PSE

přikazy:
(= funkční moduly)

IF ← THAN 16bit (alias)
ELSE
ENDIF

STKLY:



BIN IN, BIN OUT - 3bit
DIS IN, DIS OUT - 8bit

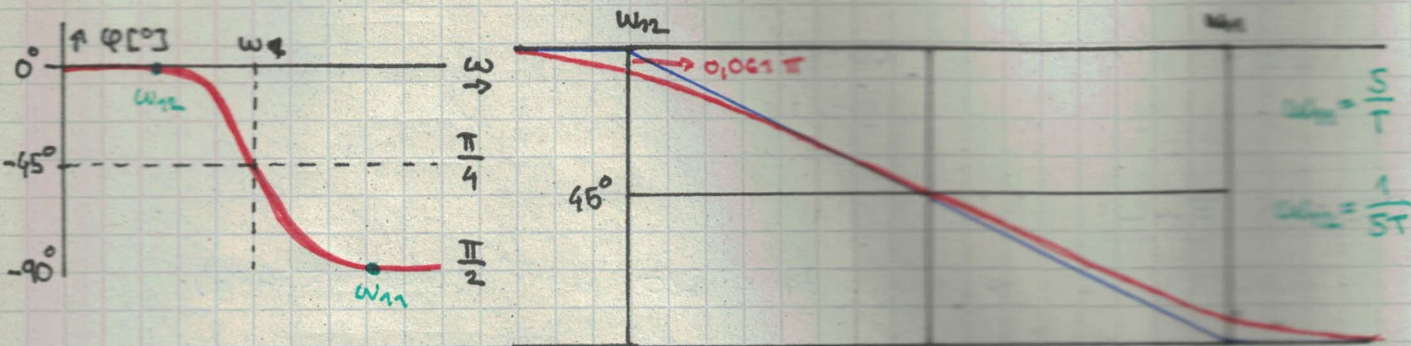


LET - aritmetické a logické operace



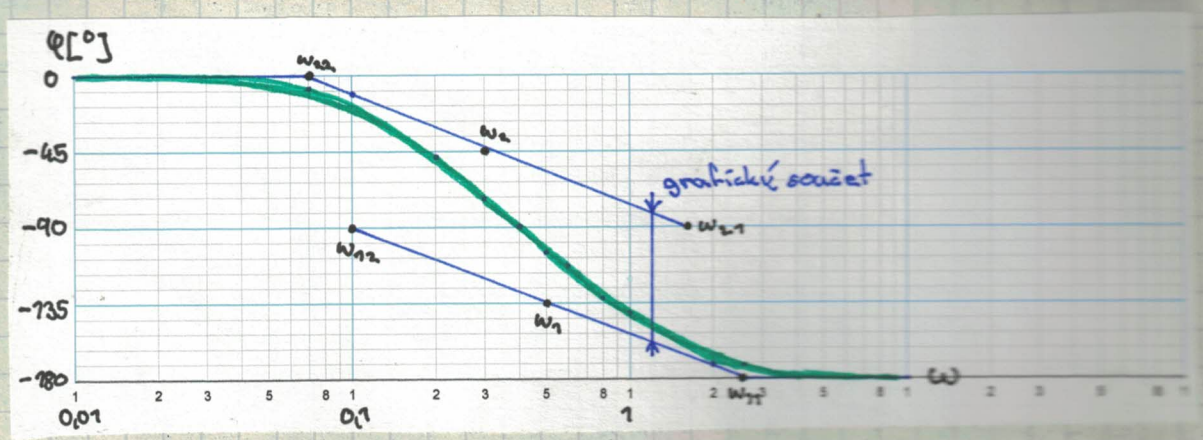
SWITCH ← proměnná (8bit)
CASE ← hodnota
ENDCASE
ENDSWITCH

FÁZOVÁ CHARAKTERISTIKA



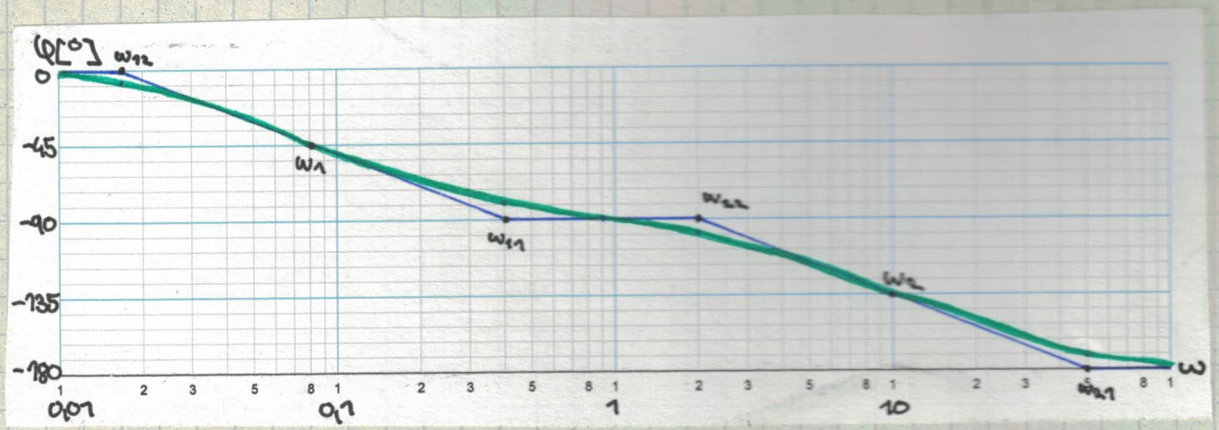
PR: $G(s) = \frac{3}{(2s+1)(3s+1)}$

$\omega_{11} = \frac{5}{2} = 2,5$
 $\omega_{12} = \frac{1}{5 \cdot 2} = 0,1$
 $\omega_{13} = \frac{1}{2} = 0,5$
 $\omega_{21} = \frac{5}{3} = 1,67$
 $\omega_{22} = \frac{1}{3 \cdot 3} = 0,11$
 $\omega_{23} = \frac{1}{3} = 0,33$



$G(s) = \frac{5}{(12s+1)(0,75s+1)}$

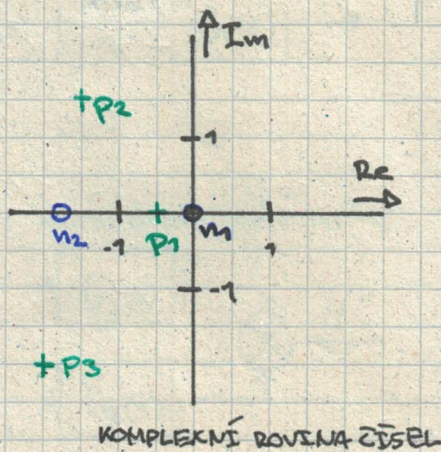
$\omega_{11} = \frac{1}{12} = 0,083$
 $\omega_{12} = \frac{5}{12} = 0,417$
 $\omega_{13} = \frac{1}{5 \cdot 12} = 0,017$
 $\omega_{21} = \frac{1}{0,75} = 1,33$
 $\omega_{22} = \frac{5}{5 \cdot 0,75} = 1,33$
 $\omega_{23} = \frac{1}{5 \cdot 0,75} = 0,267$



ROZLOŽENÍ PÓLŮ A NUL V PŘENOSU

$$G(s) = \frac{b_m}{a_m} \cdot \frac{(s-n_1)(s-n_2)\dots(s-n_m)}{(s-p_1)(s-p_2)\dots(s-p_n)}$$

\swarrow nuly $\rightarrow n_i$
 \nwarrow póly $\rightarrow p_j$

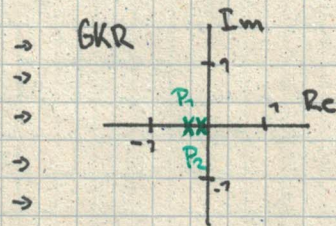


- Póly v pravé polovině znamenají nestabilní systém.
- Póly v počátku signalizují integrační chování - a stabilní systém.
- Čím jsou póly dále od Im osy tím je přechodový děj více tlumen a bude trvat kratší dobu.
- Jsou-li póly komplexní přechodový děj bude mít kmitavou složku.
- Budou-li nuly blíže k Im ose než póly bude převládat derivační složka

PR:

$$G(s) = \frac{2}{(4s+1)(10s+1)} \rightarrow \frac{1}{20(s+0,25)(s+0,1)}$$

\downarrow \downarrow
 $\underline{P_1 = -0,25}$ $\underline{P_2 = -0,1}$



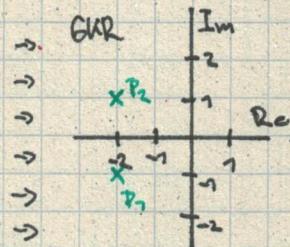
- VLASTNOSTI:
- | | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| 1. - stabilní systém | 4. - nekmitavý systém |
| 2. - není a stabilní [ne integr.] | 5. - xxxx |
| 3. - relativně pomalý systém | |

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 4s + 5} \rightarrow$$

$$D = b^2 - 4ac = 4^2 - 4 \cdot 5 = -4 \rightarrow \sqrt{4} = 2j$$

$$P_{1,2} = \frac{-b \pm 2j}{2a} = \frac{-4 \pm 2j}{2}$$

$$\begin{aligned} -2 - j &= P_1 \\ -2 + j &= P_2 \end{aligned}$$



- VLASTNOSTI:
- | | |
|-----------------------------------|-------------------------|
| 1. - stabilní systém | 4. - má kmitavou složku |
| 2. - není a stabilní [ne integr.] | 5. - xxxx |
| 3. - relativně rychlý systém | |

$$G(s) = \frac{s(s+2)}{(s+1)(s^2+2s+5)} \rightarrow \frac{s(s+2)}{s(s+0,2)(s^2+2s+5)}$$

$$n_1 = 0 \quad n_2 = -2 \quad p_1 = -0,2$$

$$p_2 = \frac{-2 + \sqrt{2^2 - 4 \cdot 5}}{2 \cdot 1} = -1 + 2j$$

$$p_3 = \frac{-2 - \sqrt{2^2 - 4 \cdot 5}}{2 \cdot 1} = -1 - 2j$$

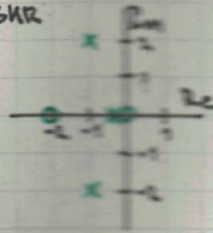
→ GNR

→

→

→

→



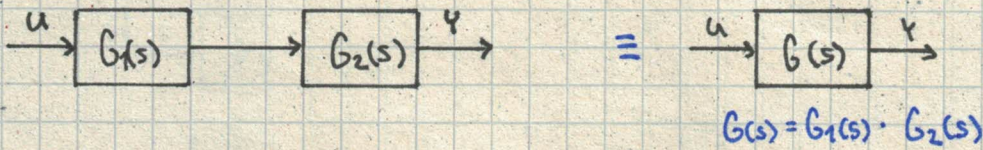
VLASTNOSTI:

1. - stabilní systém
2. - není asymptoticky [neintegr.]
3. - relativně přesný
4. - má konstantní dožitek
5. - převládá trvančinná složka

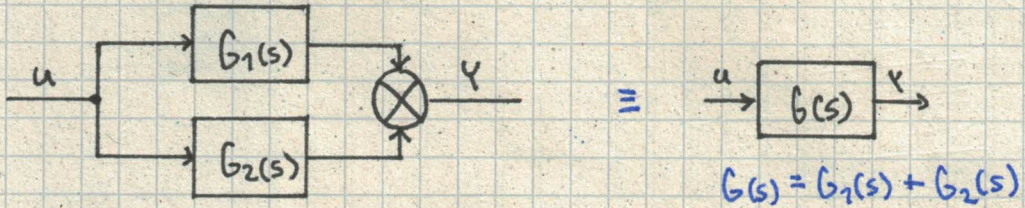
ÚPRAVA BLOKOVÝCH SCHÉMAT

= BLOKOVÁ ALGEBRA

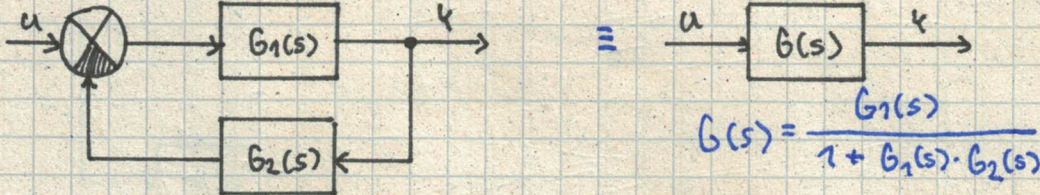
1. snižení počtu bloků



2. transformace dopředné smyčky



3. transformace zpětné smyčky



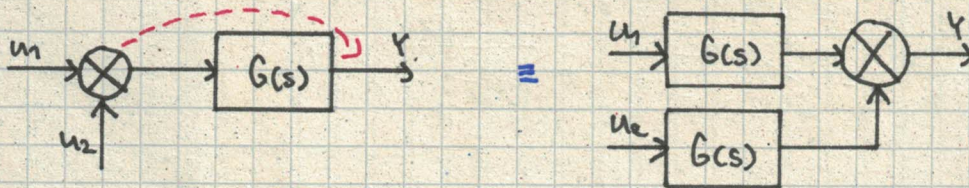
4. přesunutí rozdělovacího uzlu



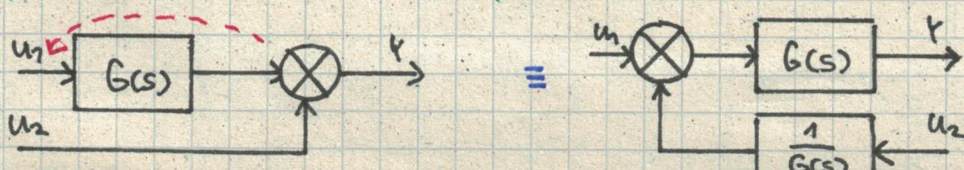
5. přesunutí rozdělovacího uzlu zpět



6. přesunutí součtového členu

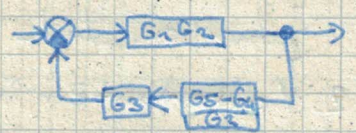
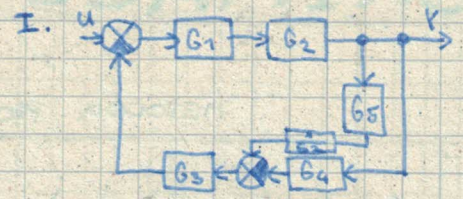
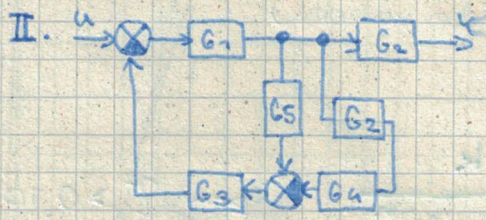
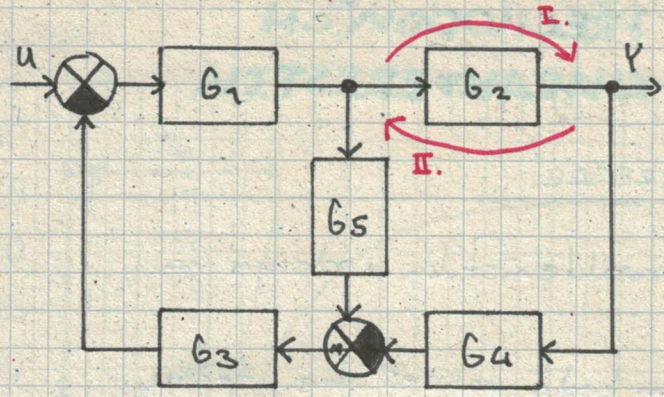


7. posunutí součtového členu zpět



Úprava	Blokové schéma		Přenosová funkce nebo výstupní signál
	původní	upravené	
1 Snižování počtu bloků			$\frac{Y}{U} = F_1 F_2$
2 Transformace dopředné smyčky			$\frac{Y}{U} = F_1 + F_2$
3 Transformace zpětné smyčky			$\frac{Y}{U} = \frac{F_1}{1 + F_1 F_2}$
4 Předsunutí rozdělovacího uzlu			$\frac{Y}{U} = F$
5 Posunutí rozdělovacího uzlu zpět			$\frac{Y}{U} = F$
6 Předsunutí součtového členu			$\frac{Y}{U} = F$
7 Posunutí součtového členu zpět			$\frac{Y}{U} = F$
8 Přemístění součtového a rozdělovacího členu			$\frac{Y}{U} = F$
9 Transformace schématu se součtovým a rozdělovacím členem			$\frac{Y}{U} = F$
10 Předsunutí rozdělovacího uzlu před rozdělovací člen			$\frac{Y}{U} = F$
11 Předsunutí rozdělovacího uzlu za rozdělovací člen			$\frac{Y}{U} = F$ $\frac{Y}{U} = F$

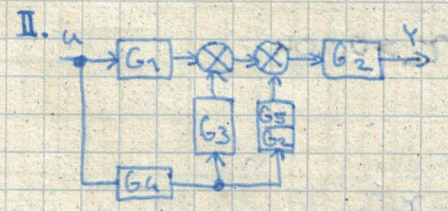
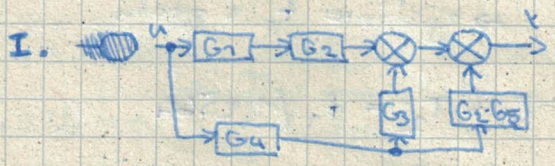
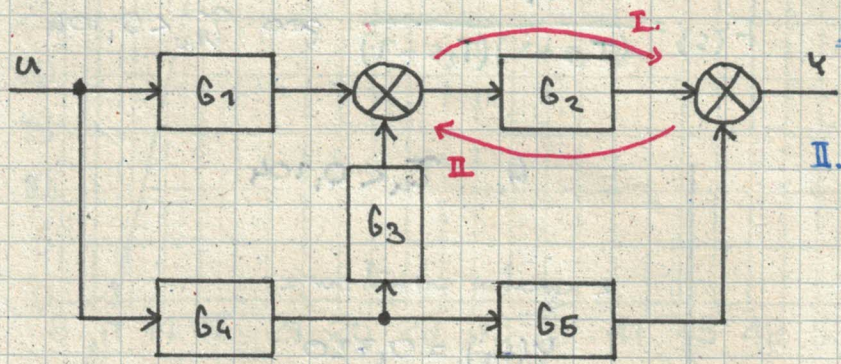
P.R.:



$$\rightarrow G = \frac{G_1 G_2}{1 + G_1 G_2 G_3 (G_5 - G_4)}$$

~~$$\rightarrow G = \frac{G_1 G_2}{1 + G_1 G_2 G_3 G_5 - G_1 G_2 G_3 G_4}$$~~

$$G = \frac{G_1 G_2}{1 + \frac{G_1 G_2 G_3 G_5}{G_2} - G_1 G_2 G_3 G_4}$$



$$G = G_1 G_2 + G_4 (G_3 + G_2 G_5)$$

$$G = G_1 G_2 + G_3 G_4 + G_2 G_4 G_5$$

APROXIMACE

PŘECHODOVÝCH CHARAKTERISTIK

METODOU PROF. STREJCE

1. Změříme předchozí charakteristiku - odezvu na jednotkový skok $y(t)$.
2. V odhadnutém inflexním bodě nakreslíme tečnu

$\Rightarrow T_u$ (doba přístupu) a T_n (doba nábohu)

$$\Rightarrow \zeta_u = \frac{T_u}{T_n}$$

3. Rozhodování:

$$F(s) = \frac{k}{(Ts + 1)^n}$$

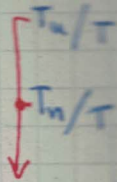
pro $\zeta_u > 0,704$

$$F(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$$

pro $\zeta_u < 0,704$

4. $\zeta_u > 0,704$

z tabulky:
[podle ζ_u]



\rightarrow vypočítat T

$$G(s) = \frac{k}{(Ts + 1)^n}$$

4. $\zeta_u < 0,704$

z grafu odezvy

$$y(t_1) = 0,710$$

\rightarrow zjistíme t_1 a t_2

$$T_1 + T_2 = t_2 / 0,704$$

$$t_2 = 0,285 t_1$$

\rightarrow zjistíme t_1 a t_2

z tabulky:
[podle ζ_u]

$$\zeta_2 = T_2 / T_1$$

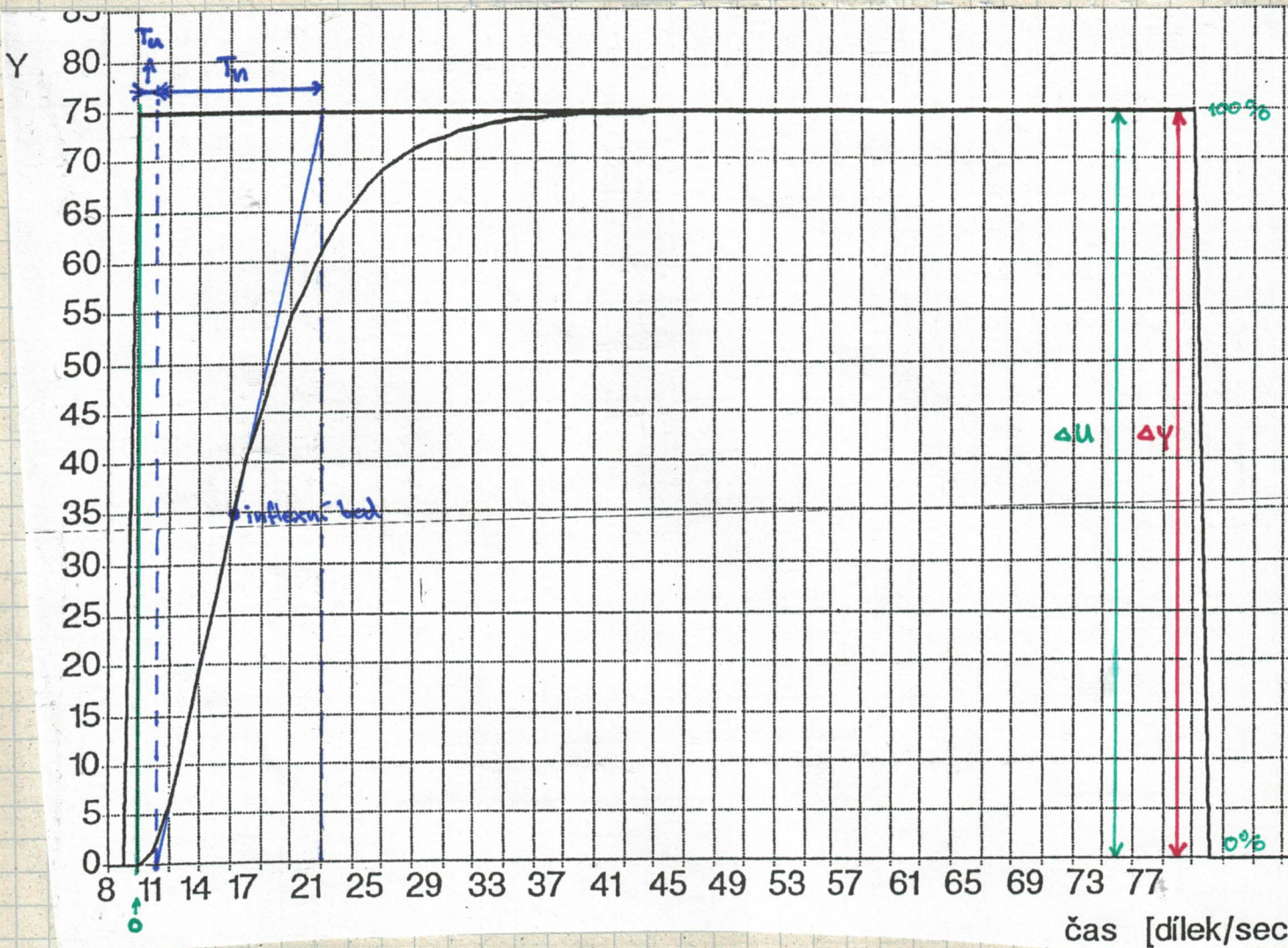
\rightarrow vypočítat $T_1 = T_2 / \zeta_2$

$$G(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$$

5. Vypočet k

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

PR:



$$T_u = 3 \text{ mm} \quad T_N = 25 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad z_u = \frac{T_u}{T_N} = 0,12 \quad \Rightarrow \quad z \text{ tabulky}$$

$$n = 2 \quad z_u = 0,104 \quad T_u/T = 0,282 \quad T_N/T = 2,718$$

$$3 \text{ mm} = T \cdot 0,282$$

$$25 \text{ mm} = T \cdot 2,718$$

$$28 \text{ mm} = T \cdot 3$$

$$T = 9,3 \text{ mm}$$

$$\rightarrow 1 \text{ dilek} = 4,5 \text{ mm} \quad \rightarrow 9,3 \cdot 4,5 = 2,07 \text{ s} = T$$

$$\rightarrow 2 \text{ dilek} = 1 \text{ s}$$

$$\underline{\underline{K}} = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{112}{112} = \underline{\underline{1}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{G(s) = \frac{1}{(2,07s + 1)^2}}}$$

$$\underline{K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = 1}$$

$$t_K = 17 \text{ mm} \quad t_M = 29 \text{ mm} \quad \rightarrow \dots$$

$$100\% = 95 \text{ mm} \quad b_1 = 50 \text{ mm} \quad \rightarrow \dots$$

$$\Rightarrow \underline{b_1 \text{ v } \%} = 50 : 0,95 = \underline{52,6\%}$$

$$\rightarrow 2 \text{ tabulky} \quad \underline{\delta_1 [\%] = 52,6}$$

$$\xi = 0,2$$

$$t_K/T = 1,81$$

$$t_M/T = 3,20$$

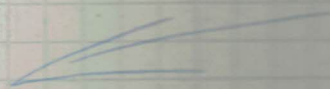
$$9 \text{ mm} = T \cdot 1,81$$

$$\rightarrow \underline{29 \text{ mm} = T \cdot 3,2}$$

$$46 \text{ mm} = T \cdot 5,01$$

$$\underline{T = 9,18 \text{ mm}}$$

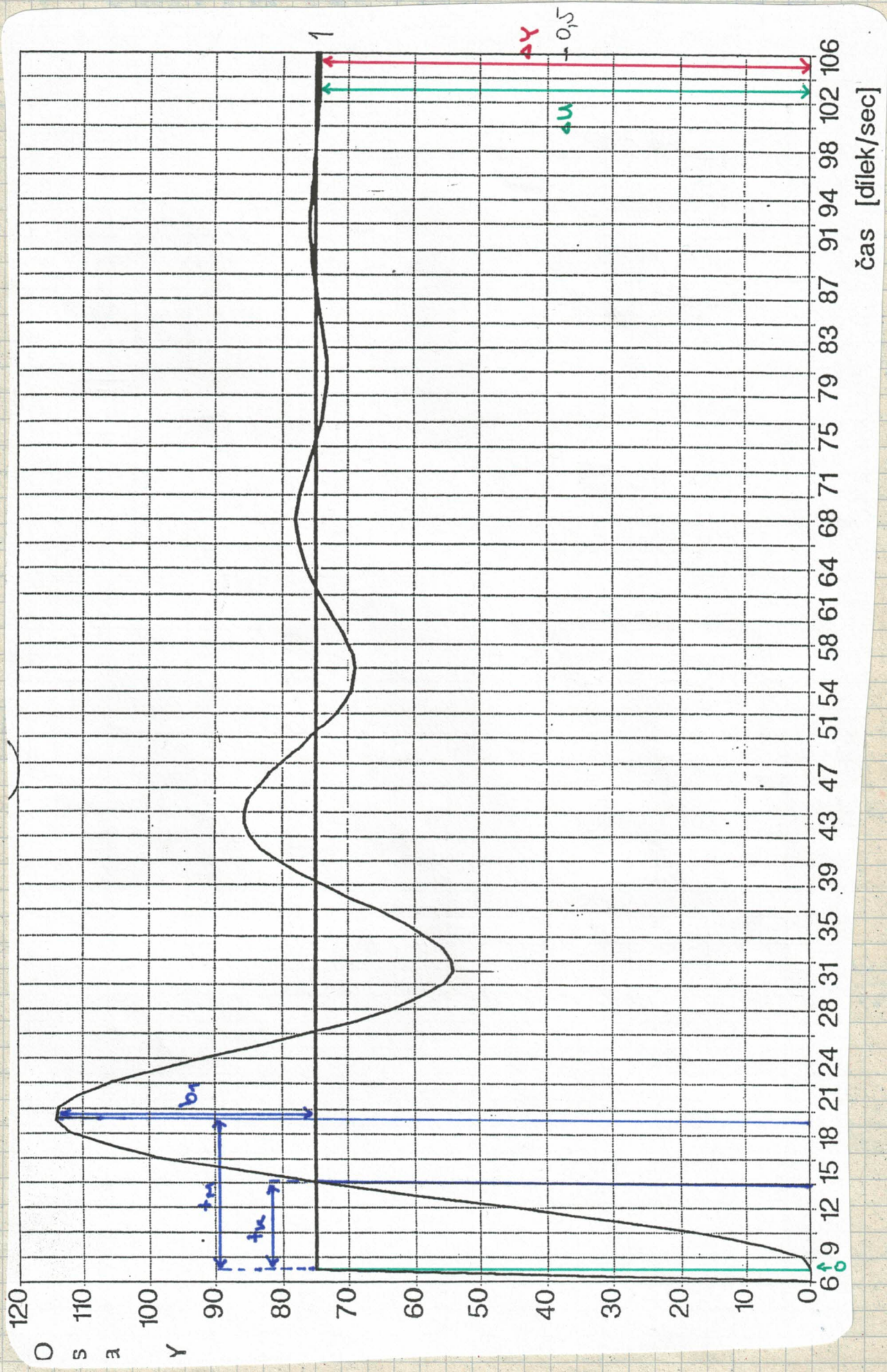
$$\underline{T = 9,18 \cdot \frac{1}{5} = 1,83 \text{ s}}$$



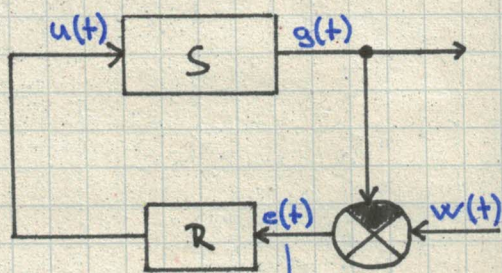
$$\rightarrow \text{K} = 5 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \text{K} = 6 \text{ s}$$

$$\Rightarrow \underline{G(s) = \frac{K}{1 + 2\xi sT + T^2 s^2} = \frac{1}{1 + 0,365s + 3,38s^2}}$$



SPOJITÉ REGULÁTORY



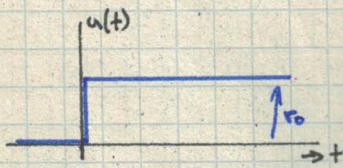
TYPK: P
I
D
PI
PD
PID

→ regulační odchylka

P = proporcionalní

→ zesilovač regulační odchylky

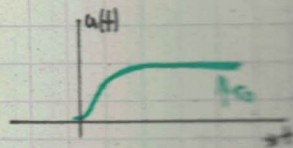
- má obdobné dynamické vlastnosti jako statická soustava
- ideální regulátor



0 - řád

$$u(t) = r_0 \cdot e(t)$$

~~1 - řád~~



1 - řád

$$T_i \dot{u} + u(t) = r_0 \cdot e(t)$$



2 - řád

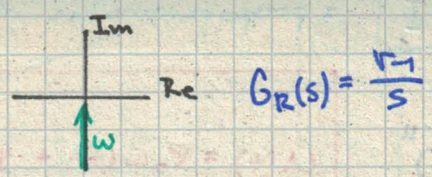
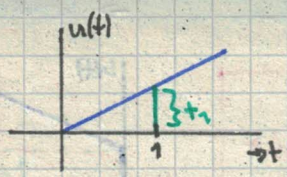
$$T_i^2 \ddot{u} + T_i \dot{u} + u(t) = r_0 \cdot e(t)$$

- regulátor dělá regulovanou veličinu v určitém množství, které se nazývá PÁSMO PROPORCIONALITY = $\frac{1}{r_0} \cdot 100$ [%]

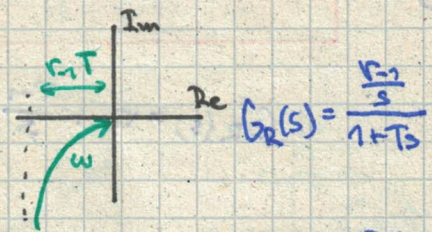
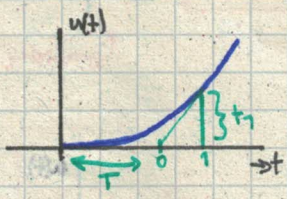
I = integrační

→ integruje regulační odchylku

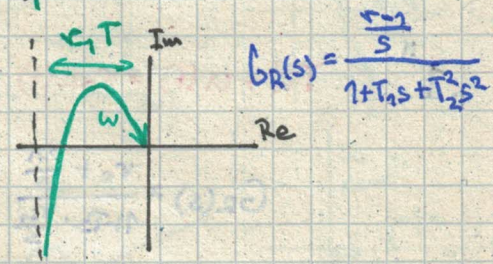
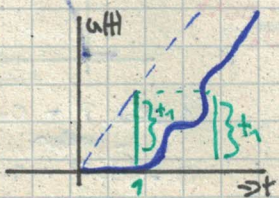
"0" $u(t) = r_1 \int_0^t e(t) dt$



"1" $T_1 u' + u(t) = r_1 \int_0^t e(t) dt$



"2" $T_2 u'' + T_1 u' + u(t) = r_1 \int_0^t e(t) dt$

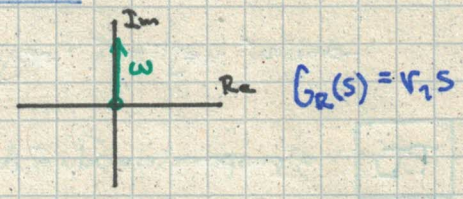
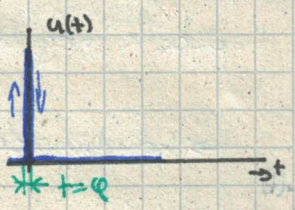


- nastane-li na vstupu taková odchylka, která vyvolá regulační pohyb pak se výstupní veličina začne měnit určitou rychlostí tak dlouho dokud odchylka vstupu veličiny nezmizí.

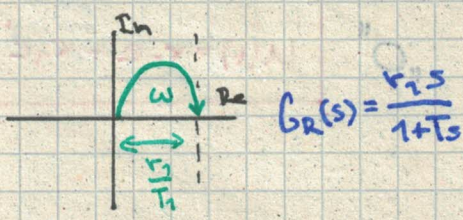
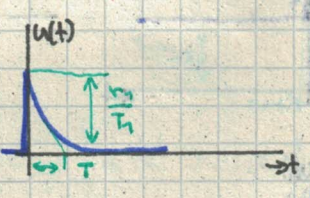
D = derivační

→ derivuje regulační odchylku

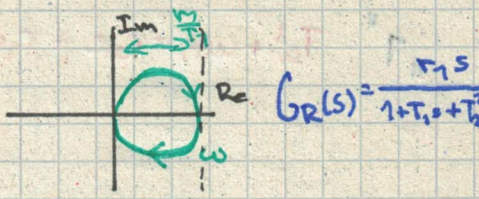
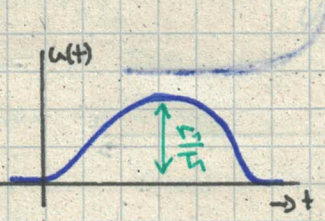
"0" $u(t) = r_1 e^i$



"1" $T_1 u' + u(t) = r_1 e^i$



"2" $T_2 u'' + T_1 u' + u(t) = r_1 e^i$



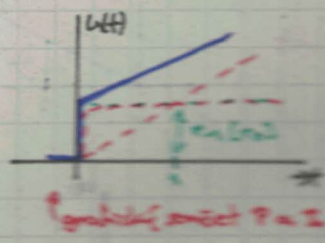
- činnost tohoto regulátoru je opacní než činnost regulátoru I, velikost výstupního signálu je úměrná rychlosti změny vstupního signálu

PI = proporcionálně integrovní

→ kombinace P a I

"0"

$$u(t) = r_0 e(t) + r_{-1} \int_0^t e dt$$



$$G_R(s) = r_0 + \frac{r_{-1}}{s}$$

"1"

$$T_u^1 u(t) + u(t) = r_0 e(t) + r_{-1} \int_0^t e dt$$

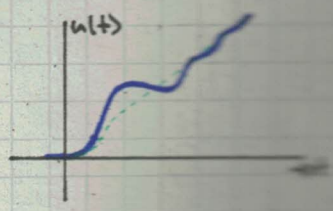


$$G_R(s) = \frac{r_0 + \frac{r_{-1}}{s}}{1 + T_s \frac{r_{-1}}{s}}$$

1. řád P + 0. řád I
nebo
0. řád P + 1. řád I

"2"

$$T_u^2 u'' + T_u^1 u' + u(t) = r_0 e(t) + r_{-1} \int_0^t e dt$$



$$G_R(s) = \frac{r_0 + \frac{r_{-1}}{s}}{1 + T_1 s + T_2 s^2}$$

1. řád P + 2. řád I
nebo
2. řád P + 0. řád I
nebo
0. řád P + 2. řád I

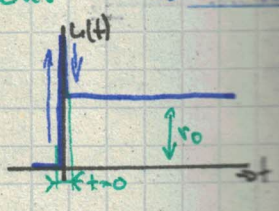
- druhý nejlepší regulátor, je třeba k regulaci...

PD = proporcionálně derivační

→ kombinace P a D

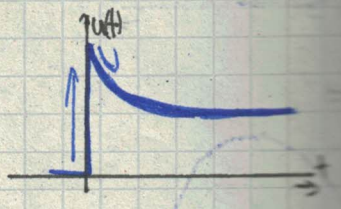
"0"

$$u(t) = r_0 e + r_1 e'$$



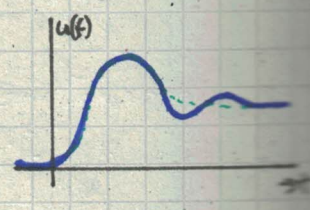
"1"

$$T_u^1 u' + u(t) = r_0 e + r_1 e'$$



"2"

$$T_u^2 u'' + T_u^1 u' + u(t) = r_0 e + r_1 e'$$



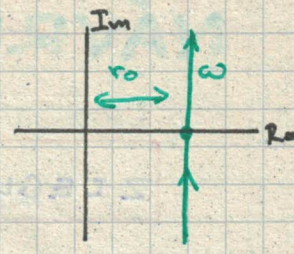
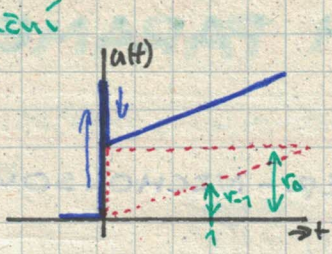
- rychlý regulátor, má tvrdou regulaci...

PID = proporcionálně integračně deriviční

"0"

$$u(t) = r_0 c(t) + r_{i1} \int_0^t e dt + r_{d1} \dot{c}$$

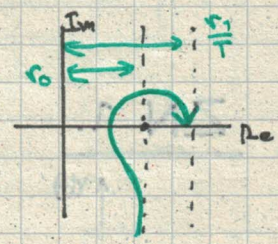
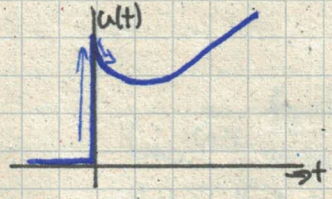
$$G_R(s) = r_0 + \frac{r_{i1}}{s} + r_{d1} s$$



"1"

$$T_i \dot{u} + u(t) = r_0 c(t) + r_{i1} \int_0^t e dt + r_{d1} \dot{c}$$

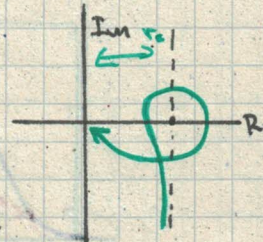
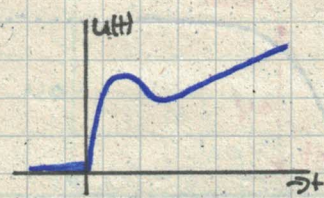
$$G_R(s) = \frac{r_0 + \frac{r_{i1}}{s} + r_{d1} s}{T_i s + 1}$$



"2"

$$T_2^2 \ddot{u} + T_1 \dot{u} + u(t) = r_0 c(t) + r_{i1} \int_0^t e dt + r_{d1} \dot{c}$$

$$G_R(s) = \frac{r_0 + \frac{r_{i1}}{s} + r_{d1} s}{1 + T_1 s + T_2^2 s^2}$$



- 1.P + 1.I + 0.D
- 1.P + 0.I + 1.D
- 0.P + 1.I + 1.D
- 2.P + 0.I + 0.D
- 0.P + 2.I + 0.D
- 0.P + 0.I + 2.D

ROVNICE PID REGULÁTORU

$$u(t) = r_0 c(t) + r_{i1} \int_0^t e dt + r_{d1} \dot{c}$$

$$u(t) = r_0 \left[c(t) + \frac{r_{i1}}{r_0} \int_0^t e dt + \frac{r_{d1}}{r_0} \dot{c} \right] \quad T_i = \frac{r_0}{r_{i1}} \quad T_d = \frac{r_{d1}}{r_0}$$

$$\rightarrow u(t) = r_0 \left[c(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt + T_d \dot{c} \right]$$

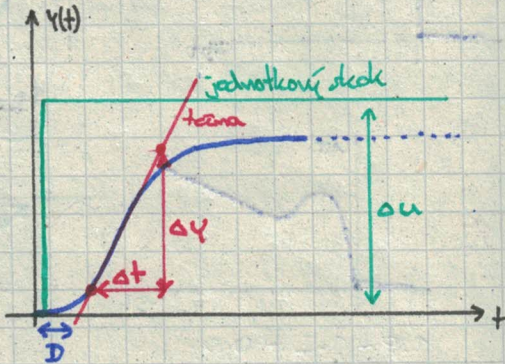
- r_0 ... konstanta zesílení [-]
- T_i ... integrační konstanta [s]
- T_d ... derivační konstanta [s]

NÁVRH PARAMETRŮ REGULÁTORU

ZIEGLER - NICHOLSOVA METODA

1952 → Ziegler J.G.
Nichols N.B.

ZN 1.



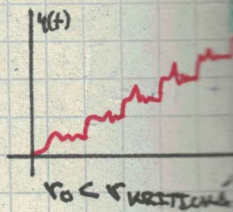
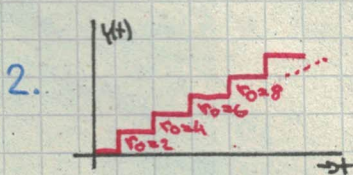
$$R = \frac{\Delta y}{\Delta t} \cdot \frac{1}{\Delta u}$$

- časová konstanta
- zesílení
- derivace
- integrace
- diferenciál

	G	Ti	Td
P	1		
PI	1	1	
PID	1	1	1

ZN 2.

1. regulátor typu P → $u(t) = r_0 [e(t)]$

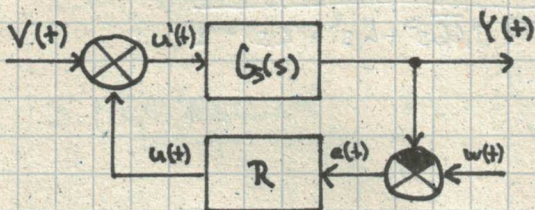


	r_0	T_i	T_d
P	$0,5 r_k$		
PI	$0,45 r_k$	$\frac{T_{180}}{1,2}$	
PD	$0,5 r_k$		$\frac{T_{180}}{8}$
PID	$0,6 r_k$	$\frac{T_{180}}{2}$	$\frac{T_{180}}{8}$

STABILITA REGULAČNÍCH OBVODŮ

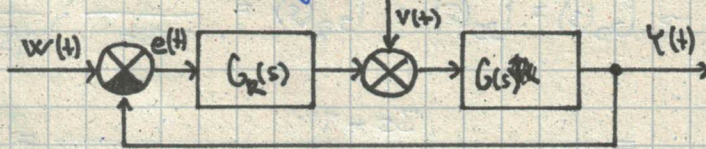
Regulační obvod je stabilní, jestliže po svém vyrušení z rovnovážného stavu je schopen se ustábit do rovnovážného stavu.

Regulační obvod I.



$$G_{RO}(s) = \frac{G_S(s)}{1 + G_S(s) \cdot G_R}$$

Regulační obvod II.



$$G_{RO}(s) = \frac{G_R \cdot G_S}{1 + G_R \cdot G_S}$$

přenos rozpojeného obvodu

$$G_0 = G_S \cdot G_R$$

$$G_V(s) = \frac{G_S(s)}{1 + G_0}$$

$$G_W(s) = \frac{G_0(s)}{1 + G_0(s)}$$

$$1 + G_0(s) = 0$$

$$M_0(s) + N_0(s) = 0$$

$$G_0(s) = G_R(s) G_S(s) = \frac{M_0(s)}{N_0(s)} \rightarrow 1 + G_0(s) = 1 + \frac{M_0(s)}{N_0(s)} = \frac{M_0(s) + N_0(s)}{N_0(s)} = 0$$

KRITÉRIA STABILITY

ALGEBRAICKÁ

Hurwitzovo

→ kladnost determinantů

Routh-Schuravo

→ svízování stupně charakteristické rovnice

FREKVENČNÍ (GRAFICKÉ)

Michajlov-Leonhardovo → křivka $H(j\omega)$

Nyquistovo → frekvenční char. rozpojeného obvodu $G_0(s)$

1. HURWITZOVO KRITÉRIUM

$$a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0 = 0$$

→ všechny členy musí být kladné nenulové

subdeterminanty

$$H_{n \times n} = \begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} & \dots & 0 \\ a_n & a_{n-2} & a_{n-4} & \dots & 0 \\ 0 & a_{n-1} & a_{n-3} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_1 \end{vmatrix}$$

Obvod je stabilní, když determinant H_n a všechny subdeterminanty H_{n-1} až H_2 jsou kladné a nenulové. NULOVÝ = NA HRANICI STABILITY

PŘ: URČETE STABILITU REGULÁČNÍHO OBVODU

$$G_S(s) = \frac{1}{0,33s^5 + s^4 + 1,66s^3 + 4s^2 + 2s + 2}$$

$$G_R(s) = 1 + \frac{1}{3s} \quad [PI - 0^0]$$

$$\rightarrow G_0(s) = G_S(s) \cdot G_R(s) = \frac{3s+1}{3s} \cdot \frac{1}{0,33s^5 + s^4 + 1,66s^3 + 4s^2 + 2s + 2}$$

$$= \frac{3s+1}{s^6 + 3s^5 + 5s^4 + 12s^3 + 6s^2 + 6s} = \frac{M(s)}{N(s)}$$

$$M(s) + N(s) = 0 \Rightarrow \frac{s^6}{a_6} + \frac{3s^5}{a_5} + \frac{5s^4}{a_4} + \frac{12s^3}{a_3} + \frac{6s^2}{a_2} + \frac{6s}{a_1} + \frac{1}{a_0} = 0$$

$$H_5 = \begin{vmatrix} 3 & 12 & 9 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 5 & 6 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 4 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 5 & 6 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 12 & 6 & 1 \end{vmatrix}$$

nižšie
rad

$$H_5 = 27$$

- determinant i stabilitu

$$H_4 = 9$$

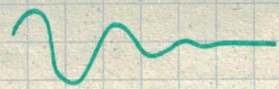
jsou kladné

$$H_3 = 9$$

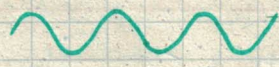
REGULÁTOR JE STABILNÍ

$$H_2 = 3$$

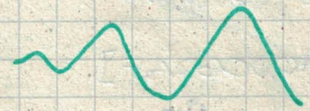
1. STABILNÍ



2. NA HRANICI STABILITY



3. NESTABILNÍ

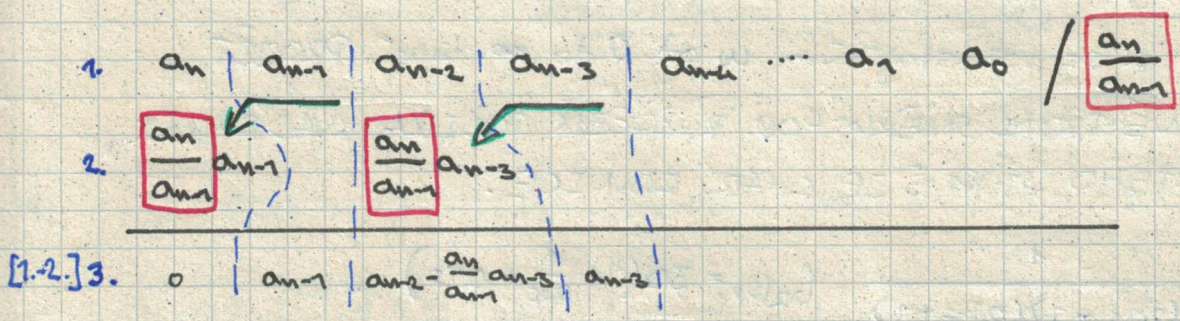


2 ROUTH-SCHUROVO KRITÉRIUM

$a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0 = 0$

→ všechny členy musí být kladně nenulové

1 ⇒ VYPIŠOU SE KOEFICIENTY:



2 ⇒ snižujeme řád až do "2" řádu (3 KOEFICIENTY) $a_2 a_1 a_0$

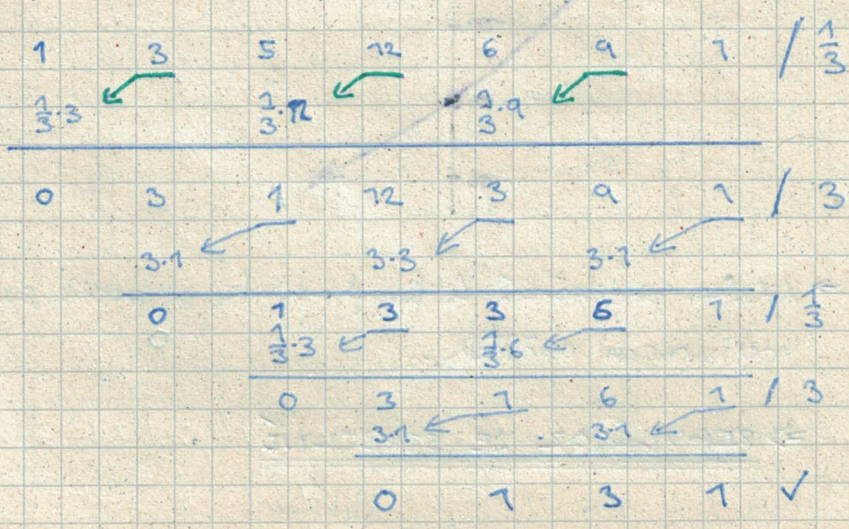
3 ⇒ Regulační obvod je stabilní pokud všechny koeficienty kladně nenulové (můžeme na začátku řádku neuvážíme). NULOVÉ = NA HRANICI STABILITY

PR: VYŘEŠTE STABILITU REGULÁČNÍHO OBVODU

$G_1(s) = \frac{1}{0,33s^5 + s^4 + 1,66s^3 + 4s^2 + 2s + 2}$

$G_2(s) = 1 + \frac{1}{3s}$ [PI - "0"]

$G_0(s) = \frac{1}{s^6 + 3s^5 + 5s^4 + 12s^3 + 6s^2 + 6s + 1} \rightarrow \frac{1}{s^6} + \frac{3}{s^5} + \frac{5}{s^4} + \frac{12}{s^3} + \frac{6}{s^2} + \frac{6}{s} + 1 = 0$



- koeficienty jsou kladně nenulové

⇒ REGULÁTOR JE STABILNÍ

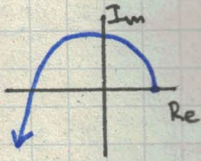
3 MICHAJLOV-LEONHARDOVO KRITÉRIUM

$$a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0 = 0$$

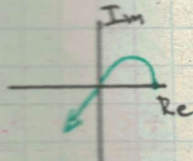
$$\rightarrow \underline{H(j\omega) = a_n (j\omega)^n + \dots + a_1 (j\omega) + a_0}$$

→ všechny členy musí být kladné nenulové

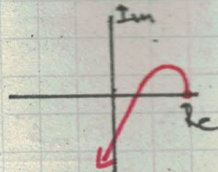
MICHAJLOV-LEONHARDOVA KŘIVKA: [HODOGRAF]



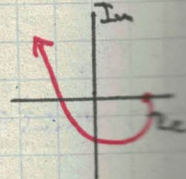
STABILNÍ



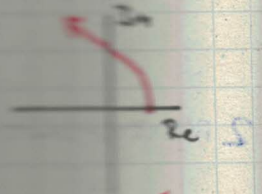
NE PRAVÍ
STABILNÍ



NESTABILNÍ



NESTABILNÍ



NESTABILNÍ

→ Regulační je stabilní pokud křivka začíná v kladné reálné poloze a se vzrůstajícím ω od 0 do ∞ musí postupně proti směru hod. ručiček tolikrát obkrožit

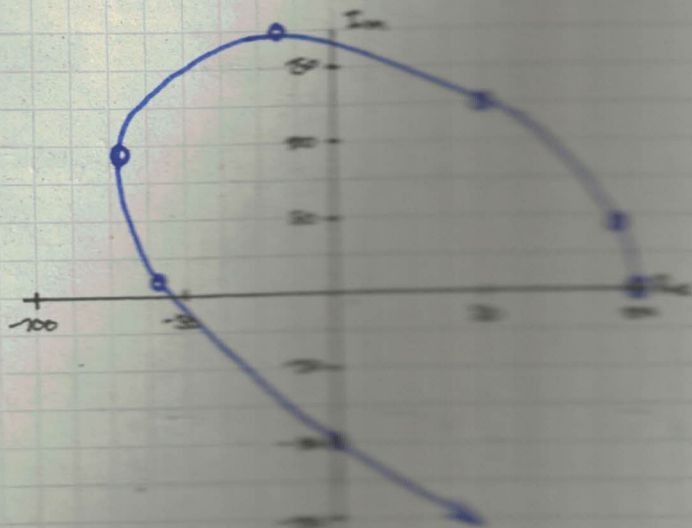
kolikrátého stupně je char. rovnice.

TPR: $G_1(s) = \frac{1}{s(0,1s+1)(0,5s+1)}$ $G_2(s) = 50(1 + \frac{1}{0,5s} + 0,1s)$

$\rightarrow G_0(s) = \frac{5s^2 + 50s + 100}{0,05s^4 + 0,6s^3 + s^2} \rightarrow 0,05s^4 + 0,6s^3 + s^2 + 50s + 100 = 0$

$\Rightarrow H(j\omega) = 0,05(j\omega)^4 + 0,6(j\omega)^3 + (j\omega)^2 + 50j\omega + 100 = \frac{0,05\omega^4 - 6\omega^2 + 100}{\omega^2} + \frac{50\omega - 0,6\omega^3}{\omega^2}$
→ rovnice 4. stupně

ω	Re	Im
0	100	0
1	94	49,4
3	50	133,8
5	-18,8	175
8	-79,2	92,8
9	-58	72,6
10	0	-100
∞	∞	$-\infty$



→ křivka prochází v kladném a záporném směru

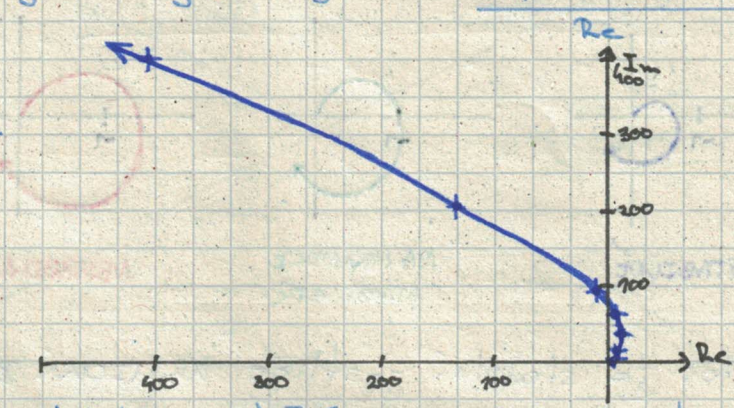
→ NESTABILNÍ

PR: $G_S(s) = \frac{1}{0,3s^3 + s^2 + 2s + 1}$ $G_R(s) = 1 + \frac{1}{3s}$

$\rightarrow G_0(s) = \frac{3s + 1}{0,9s^4 + 3s^3 + 6s^2 + 3s + 1} \rightarrow 0,9s^4 + 3s^3 + 6s^2 + 3s + 1 = 0$

$\Rightarrow H(j\omega) = 0,9(j\omega)^4 + 3(j\omega)^3 + 6(j\omega)^2 + 3j\omega + 1 = \frac{0,9\omega^4 - 6\omega^2 + 1}{j\omega(3\omega^2 + 3)}$
 $\rightarrow n=4$

ω	Re	Im
0	1	0
1	6,1	9
2	10,6	36
5	-41,5	61,9
7	-186,9	99
2,5	3,34	216
3	-17,9	405
4	-133,4	
∞	$-\infty$	∞



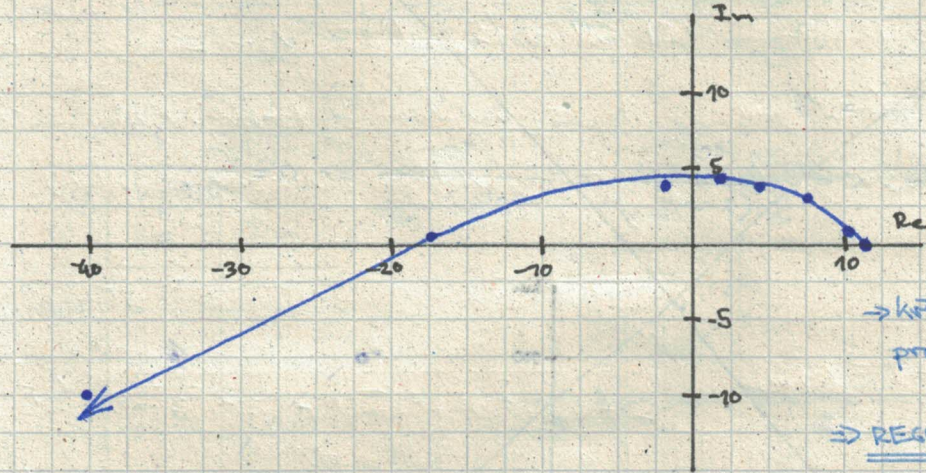
\rightarrow křivka prochází pouze 2 kvadranty
 \Rightarrow REGULÁTOR JE NESTABILNÍ

101

PR: $G_0(s) \Rightarrow 3s^3 + 73s^2 + 7s + 11 = 0$ $n=3$

$H(j\omega) = \frac{-73\omega^2 + 11}{j\omega(-3\omega^2 + 7)}$

ω	Re	Im
0	11	0
1	-2	4
2	-41	-10
7,5	-18,25	0,375
0,1	10,97	0,697
0,5	7,75	3,125
0,7	4,63	3,971
0,8	2,68	4,064
∞	$-\infty$	$-\infty$



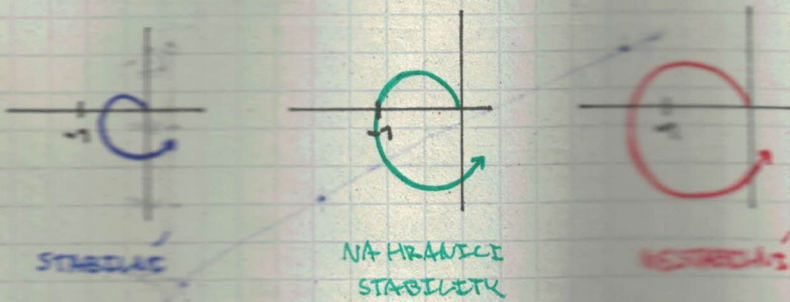
\rightarrow křivka prochází 3 kvadranty a proti směru hod. množek
 \Rightarrow REGULÁTOR JE STABILNÍ

✓

4. NYQUISTOVO KRITÉRIUM

↳ ZJEDNODUŠENÉ

$$G_R(s) \cdot G_S(s) = G_0(s) \rightarrow G_0(j\omega) \rightarrow \text{GAUSOVA ROVIŤA KOMPLX. ZÍSEK}$$



→ Regulačor je stabilní jestliže $\arg G_0(j\omega) \in [-1, 0]$ leží vlevo od frekvenční charakteristiky $[\omega \in 0 \text{ do } \infty]$

PR. $G_S(s) = \frac{5}{0,05s^3 + 0,6s^2 + s + 1} \quad G_{Z(0)} = 2$

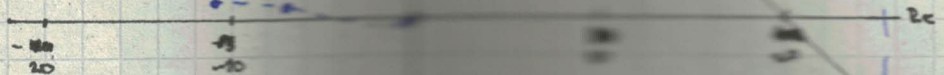
$$\rightarrow G_0(s) = \frac{10}{0,05s^3 + 0,6s^2 + s + 1} \quad \rightarrow G_0(j\omega) = \frac{10}{0,05(j\omega)^3 + 0,6(j\omega)^2 + j\omega + 1}$$

$$\rightarrow G_0(j\omega) = \frac{10}{1 - 0,6\omega^2} + \frac{10}{j\omega(1 - 0,05\omega^2)}$$

ω	Re	Im
0	10	∞
∞	0	0
0,1	10	100
1	25	10
1,5	-28	7,5
2	-7	6,7
2,75	-11,94	6,2
10	-0,16	-0,25

$$I_m = 0$$

$$\rightarrow 0 = \frac{10}{j\omega(1 - 0,05\omega^2)} \Rightarrow 0 = \frac{1}{-0,05j\omega^2 + j\omega}$$



PR: $G_S(s) = \frac{1}{(s+1)(10s+1)}$ $G_R(s) = \frac{1}{s}$

$\rightarrow G_0(s) = \frac{1}{s(10s^2+11s+1)}$ $\rightarrow G_0(j\omega) = \frac{1}{10(j\omega)^3 + 11(j\omega)^2 + j\omega}$

$\rightarrow G_0(j\omega) = \frac{1}{-11\omega^2} + \frac{1}{j\omega(1-10\omega^2)} \cdot \frac{11\omega^2 + j(\omega-10\omega^3)}{11\omega^2 + j(\omega-10\omega^3)} = \frac{11\omega^2}{121\omega^4 - \omega^2 + 20\omega^4 - 100\omega^6} + \frac{j(\omega-10\omega^3)}{-100\omega^6 + 11\omega^2}$

ω	Re	Im
0,01	-0,11	
0,1	-1,28	

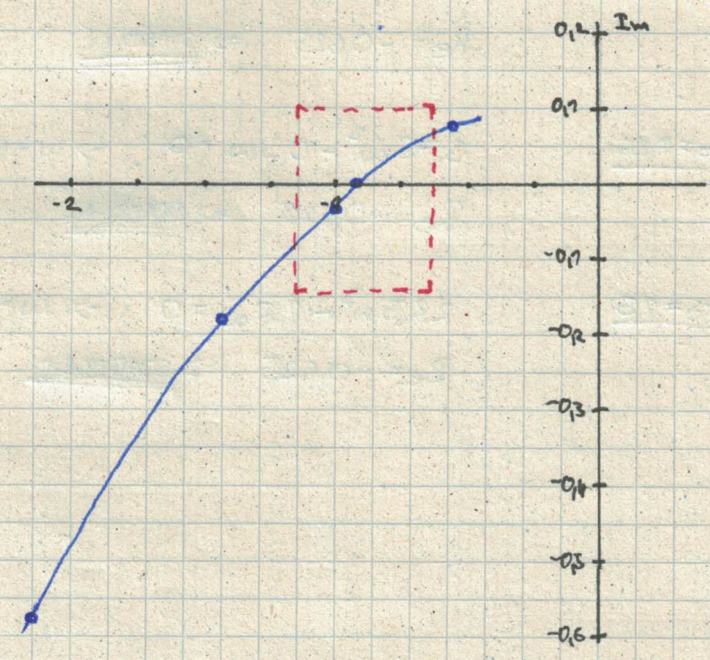
PR: $G_S(s) = \frac{1}{(s+1)(10s+1)}$ $G_R(s) = \frac{1}{s}$

$\rightarrow G_0(s) = \frac{1}{s \cdot (10s^2+11s+1)}$ $\rightarrow G_0(j\omega) = \frac{1}{10(j\omega)^3 + 11(j\omega)^2 + j\omega}$

$\rightarrow G_0(s) = \frac{1}{-10j\omega^3 - 11\omega^2 + j\omega} = \frac{1}{-11\omega^2 + j(\omega-10\omega^3)} \cdot \frac{-11\omega^2 - j(\omega-10\omega^3)}{-11\omega^2 - j(\omega-10\omega^3)}$

$\rightarrow G_0(s) = \frac{-11\omega^2 - j(\omega-10\omega^3)}{121\omega^4 + (\omega-10\omega^3)^2} \rightarrow G_0(s) = \frac{-11\omega^2}{-100\omega^6 + 121\omega^4 + 20\omega^2 - \omega^2} + \frac{-j(\omega-10\omega^3)}{-100\omega^6 + 121\omega^4 + 20\omega^2 + 111}$

ω	Re	Im
0,01		
0,1	5,45	
0,2	-2,12	-0,58
0,25	-1,42	-0,19
0,3	-1	-0,03
0,32	-0,89	≈ 0
0,4	-0,56	0,08
0	x	x
∞	$\rightarrow 0$	$\rightarrow 0$



\rightarrow Křivka prochází vpravo od $[-1; 0]$ \Rightarrow REGULÁTOR JE STABILNÍ

PR: $G_S(s) = \frac{3}{s(1+s)(1+5s)}$ $G_R(s) = r_0 \left(1 + \frac{1}{5s}\right)$

$$\rightarrow G_0(s) = \frac{r_0 \left(1 + \frac{1}{5s}\right) 3}{s(1+s)(1+5s)} = \frac{3r_0 \left(1 + \frac{1}{5s}\right)}{5s^3 + 6s^2 + s}$$

$$\rightarrow G_0(j\omega) = \frac{3r_0 \left(1 + \frac{1}{10j\omega}\right)}{-6\omega^2 + j(\omega - 5\omega^3)} \cdot \frac{-6\omega^2 - j(\omega - 5\omega^3)}{-6\omega^2 - j(\omega - 5\omega^3)} = \frac{3r_0 \left(1 + \frac{1}{10j\omega}\right) (-6\omega^2 - j(\omega - 5\omega^3))}{36\omega^4 + \omega^2 - 10\omega^4 + 25\omega^2}$$

$$\rightarrow G_0(j\omega) = \frac{-18r_0\omega^2 - 3r_0j\omega + 15r_0j\omega^3 - \frac{18r_0}{10j\omega}\omega}{36\omega^4 + \omega^2 - 10\omega^4 + 25\omega^2}$$

$$= \frac{15r_0j\omega^3 - 16,5r_0\omega^2 - 1,2r_0j\omega - \frac{3}{10}r_0}{25\omega^6 + 26\omega^4 + \omega^2}$$

$$\Rightarrow G_0(j\omega) = \frac{-r_0 \left(16,5\omega^2 + \frac{3}{10}\right)}{25\omega^6 + 26\omega^4 + \omega^2} + \frac{r_0j(15\omega^3 - 1,2\omega)}{25\omega^6 + 26\omega^4 + \omega^2}$$

pro $\text{Im} = 0 \rightarrow r_0(15\omega^3 - 1,2\omega) = 0$

a) $r_0 = 0,1$

$$1,5\omega^3 - 0,12\omega = 0$$

$$Re = -0,625$$

b) $r_0 = 0,16$

$$2,4\omega^3 - 0,192\omega = 0$$

$$Re = -0,625 \Rightarrow \underline{\underline{\text{STABIL}}}$$

c) $r_0 = 0,25$

$$3,75\omega^3 - 0,3\omega = 0$$

$$Re = -0,625 \Rightarrow \underline{\underline{\text{STABIL}}}$$

d) $r_0 = 1,5$

$$22,5\omega^3 - 1,8\omega = 0$$

$$Re = -0,625 \Rightarrow \underline{\underline{\text{STABIL}}}$$

NÁVRH REGULAČNÍHO OBVODU

1. IDENTIFIKACE SOUSTAVY

2. NÁVRH PARAMETRŮ REGULÁTORU - ZN 1

- ZN 2

- VÍTEČKOVÁ

3. OPTIMALIZACE REGULAČNÍHO OBVODU - JAKOST

- VLASTNĚ OPTIMALIZACE

4. VYŠETŘENÍ STABILITY REGULAČNÍHO OBVODU

TYPKY REGULÁTORŮ

- SPOJITÉ

- NESPOJITÉ (LOGICKÉ)

- DISKRÉTNÍ

- FUZZY

- ADAPTABILNÍ

Kvalita a přesnost regulace

KVALITA SE MŮŽE POSUŽOVAT V:

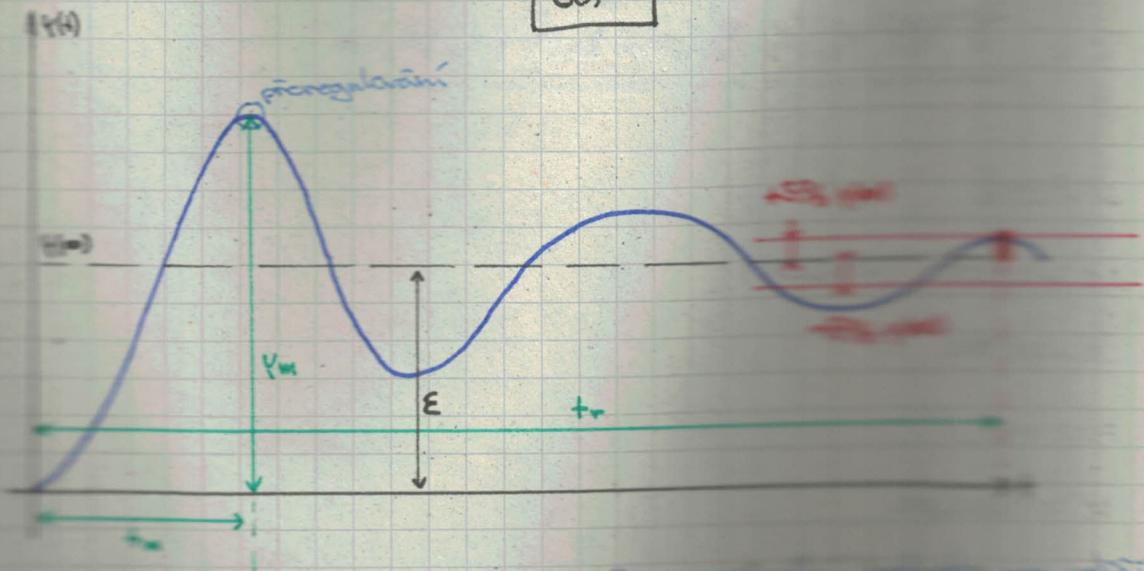
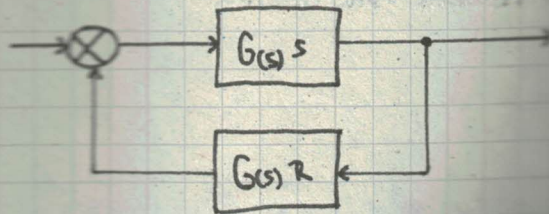
10 V ČASOVÉ OBLASTI

20 V KMITOČTOVÉ OBLASTI

30 V KOMPLEXNÍ ROVINĚ (rozložení kořenů)

40 V STAVOVÉM PROSTORU (rovině)

V ČASOVÉ OBLASTI:



REZIDUÁLNÍ ČÍSLO $\rightarrow K = \frac{y_m - y(\infty)}{y(\infty)}$

- t_r - doba vzrůstu
- t_s - doba ustávení
- t_d - doba zpoždění
- E - reziduální hodnota

P - zesilovač kmitů při konstantní změně vstupní veličiny

I - zesilovač rychlosti odchylky od vstupní veličiny

D - zesilovač rychlosti změny

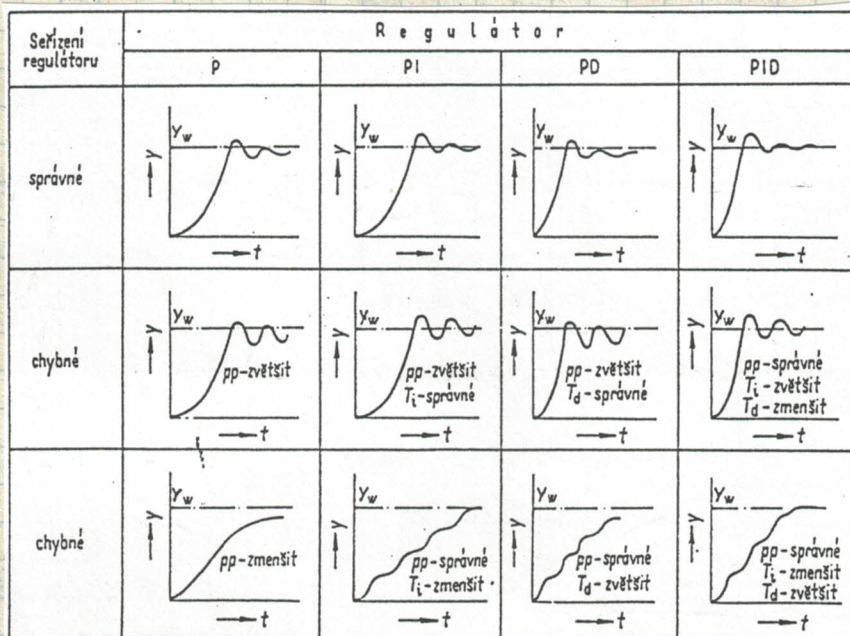
Tabulka 8. Výpočet konstant pro nastavení regulátoru podle charakteristických veličin soustavy

Typ regulátoru	Regulační pochod			
	aperiodický s nejkratší dobou regulace		periodický s přeregulováním 20 %	
	změna zatížení	změna nastavené hodnoty	změna zatížení	změna nastavené hodnoty
P	$pp = 330 \frac{T_u}{T_n}$	$pp = 330 \frac{T_u}{T_n}$	$pp = 140 \frac{T_u}{T_n}$	$pp = 140 \frac{T_u}{T_n}$
PI	$pp = 170 \frac{T_u}{T_n}$ $T_i = 4.0 T_u$	$pp = 290 \frac{T_u}{T_n}$ $T_i = 1.2 T_n$	$pp = 140 \frac{T_u}{T_n}$ $T_i = 2.3 T_u$	$pp = 170 \frac{T_u}{T_n}$ $T_i = 1.0 T_n$
PD	$pp = 105 \frac{T_u}{T_n}$ $T_d = 0.25 T_u$	$pp = 170 \frac{T_u}{T_n}$ $T_d = 0.29 T_u$	$pp = 83 \frac{T_u}{T_n}$ $T_d = 0.25 T_u$	$pp = 105 \frac{T_u}{T_n}$ $T_d = 0.27 T_u$
PID	$pp = 105 \frac{T_u}{T_n}$ $T_i = 2.2 T_u$ $T_d = 0.42 T_u$	$pp = 170 \frac{T_u}{T_n}$ $T_i = 1.0 T_n$ $T_d = 0.5 T_u$	$pp = 83 \frac{T_u}{T_n}$ $T_i = 2.0 T_u$ $T_d = 0.42 T_u$	$pp = 105 \frac{T_u}{T_n}$ $T_i = 1.35 T_n$ $T_d = 0.47 T_u$

Poznámka: Tabulka platí při $T_u/T_n < 1$; je-li soustava astatická, platí $T_n = 1$.

pp ... pásmo proporcionality

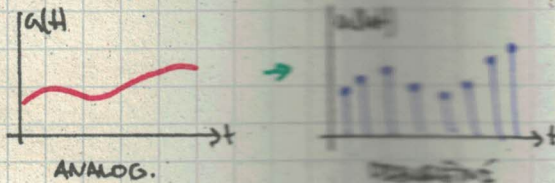
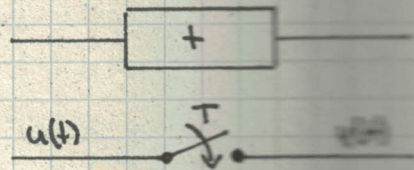
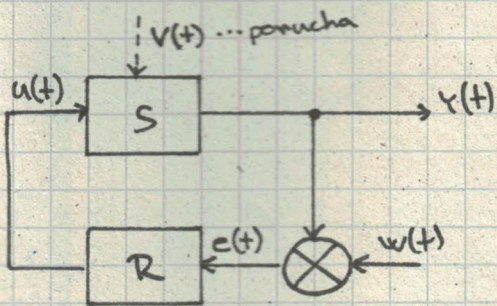
$$pp = \frac{1}{r_0} \cdot 100$$



Obr. 49. Přehled regulačních pochodů při správném seřízení regulátoru a při chybném seřízení regulátoru

INFORMACE

DISKRÉTNÍ SYSTÉMY ŘÍZENÍ



D/A ... TVAROVACĚ

A/D ... VZORKOVACĚ

diskrétní systémy jsou takové, u nichž alespoň 1 člen pracuje diskrétně, tj. informaci přijímá nebo vydává acyklicky v určitých časových okamžicích.

KLASICKÝ VÝPOČET VZORKOVACÍHO KMITOČTU:

$$T \cong 0,5 T_{max}$$

$$T \cong \left(\frac{1}{4} a \pm \frac{1}{2} \right) \sum z_i$$

$$T \cong \left(\frac{1}{4} a \pm \frac{1}{2} \right) T_d$$

časová dynamika regulované soustavy

frekv. charakteristika systému poměrně velkým



→ Fourierova transformace

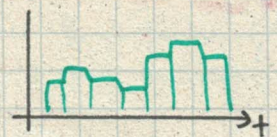
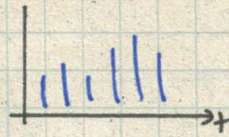
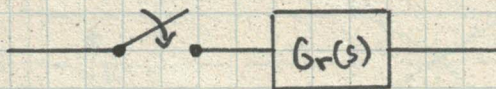
$$T \cong \frac{\pi}{\omega_c}$$

časová dynamika systému poměrně velkým

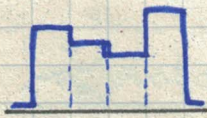
→ změna časové konstanty poměrně velkým

časová dynamika systému poměrně velkým

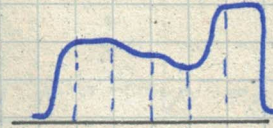
TVAROVAC = D/A



TVAROVAC "0" RÁDU



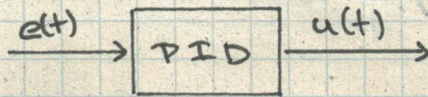
TVAROVAC "1" RÁDU



PID → PSD DISKRÉTNÍ REGULÁTOR

$$u(t) = r_0 \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d e'(t) \right]$$

$$\int_0^{kT} e(t) dt \approx T \cdot \sum_{i=1}^k e(i)$$



$$\frac{de}{dt} \approx \frac{e(k) - e(k-1)}{T}$$

⇒ POLOHOVÉ ALGORITHMUS PID REGULÁTOR

↳ nelze v praxi počítat kvůli množství e

$$u(k) = r_0 \left[e(k) + \frac{T}{T_i} \cdot \sum_{i=1}^k e(i) + \frac{T_d}{T} (e(k) - e(k-1)) \right]$$

→ předchozí $u(k-1) = r_0 \left[e(k-1) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=1}^{k-1} e(i) + \frac{T_d}{T} (e(k-1) - e(k-2)) \right]$

$$\frac{T}{T_i} \sum_{i=1}^k e(i) - \frac{T}{T_i} \sum_{i=1}^{k-1} e(i)$$

→ výpočet přírůstků $u(k) - u(k-1) = r_0 \left[e(k) - e(k-1) + \frac{T}{T_i} e(k) + \frac{T_d}{T} (e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)) \right]$

$$\frac{T_d}{T} (e(k) - e(k-1)) - \frac{T_d}{T} (e(k-1) - e(k-2))$$

$$u(k) - u(k-1) = r_0 e(k) \cdot \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right) - r_0 e(k-1) \cdot \left(1 + 2 \frac{T_d}{T} \right) + r_0 e(k-2) \frac{T_d}{T}$$

⇒ $u(k) - u(k-1) = q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2)$

$$q_0 = r_0 \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right) \quad q_1 = -r_0 \left(2 \frac{T_d}{T} + 1 \right) \quad q_2 = r_0 \frac{T_d}{T}$$

NESPOJITÉ REGULÁTORY

Statistická charakteristika je grafické vyjádření závislosti výstupu na vstupu po odeznění přechodových stavů.

Dynamická char. je grafické vyjádření přechodového jevu závislé na vstupním signálu.

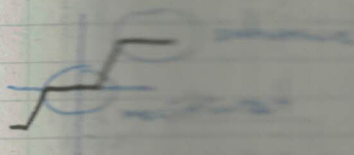
VYHODNOCENÍ STATICKÉ SOUSTAVY:

- lineární $y = kx + a$

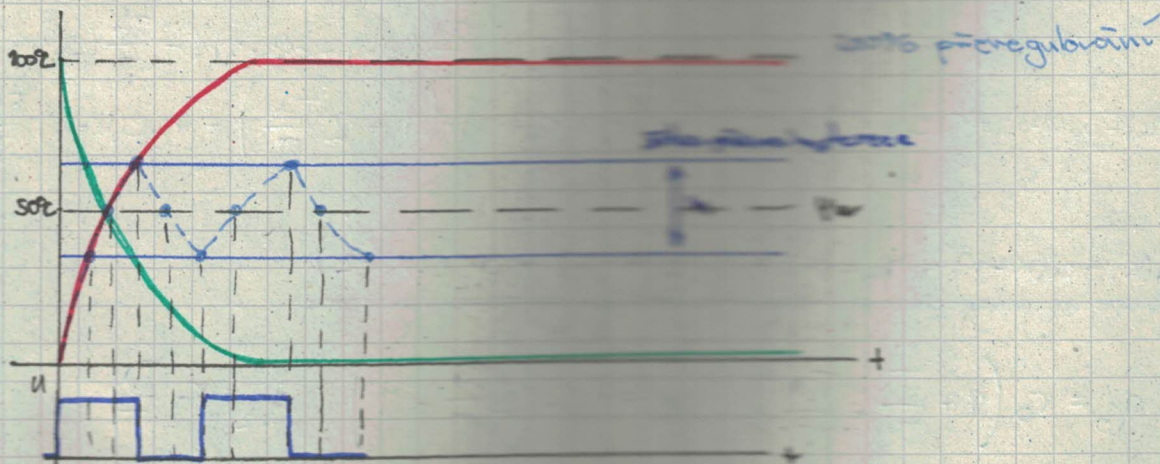
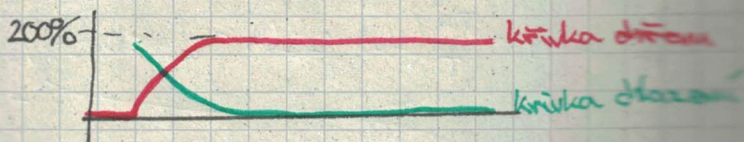
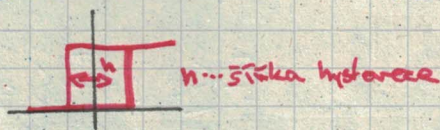
- nelineární

- necitlivost

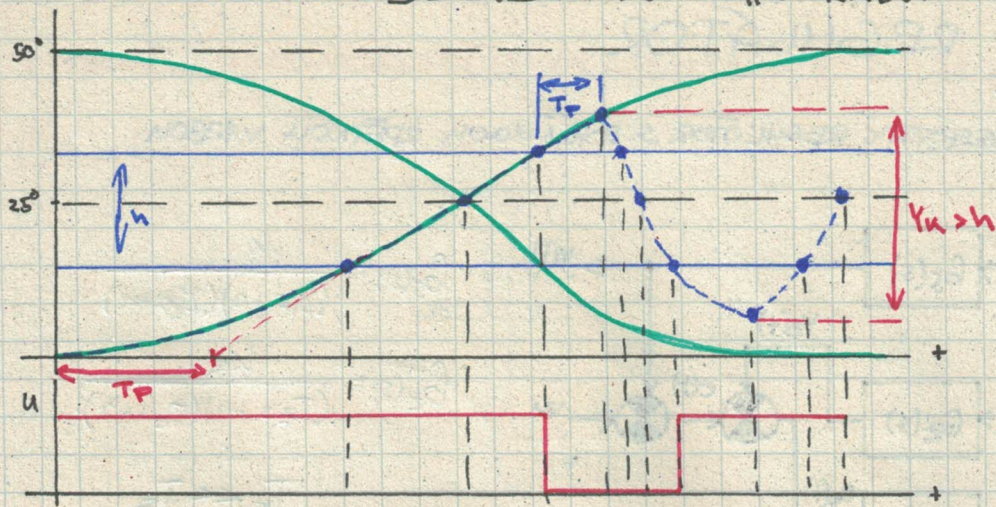
- hystereze



DVOUPOLOHOVÝ REGULÁTOR S HYSTEREZÍ



SOUSTAVA "2" RÁDU



T_p ... doba průvahu
 y_{ss} ... síťka pásmo kmitání

DŮVODY POUŽITÍ KONKRÉTNÍCH TYPŮ

TYPY \rightarrow VHODNOST POUŽITÍ PRO RŮZNÉ SOUSTAVY

- nespojitě neg. jsou obecně vhodné jen pro pomalejší soustavy (časová konst. cca min 10s)

2 POLOHOVÉ NESP. REG. S HYSTEREZÍ

$$G(s) = \frac{k}{T_s + 1}$$

$$G(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$$

\rightarrow S DOPLNKOVOU ZPĚTNOU VÁSBOU

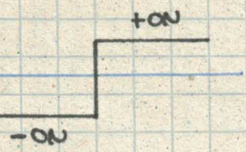
- vhodné pro statické soustavy 1. a 2. a vyššího řádu, bez kmitání [§]

- vhodné pro statické soustavy 2. a vyššího řádu, bez kmitání [§]

2 POLOHOVÉ NESP. REG. S +/- ON (bez hystereze)

$$G(s) = \frac{k e^{-T_d s}}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$$

$$G(s) = \frac{k e^{-T_d s}}{s(T_s + 1)}$$

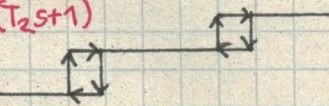


- pro statické (astatické 1. řádu i s dopravním zpožděním

3 POLOHOVÉ NESP. REG.

$$G(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$$

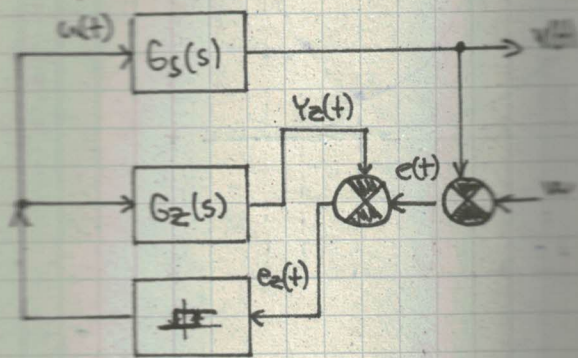
$$G(s) = \frac{k}{s(T_s + 1)}$$



- pro statické/astatické soustavy

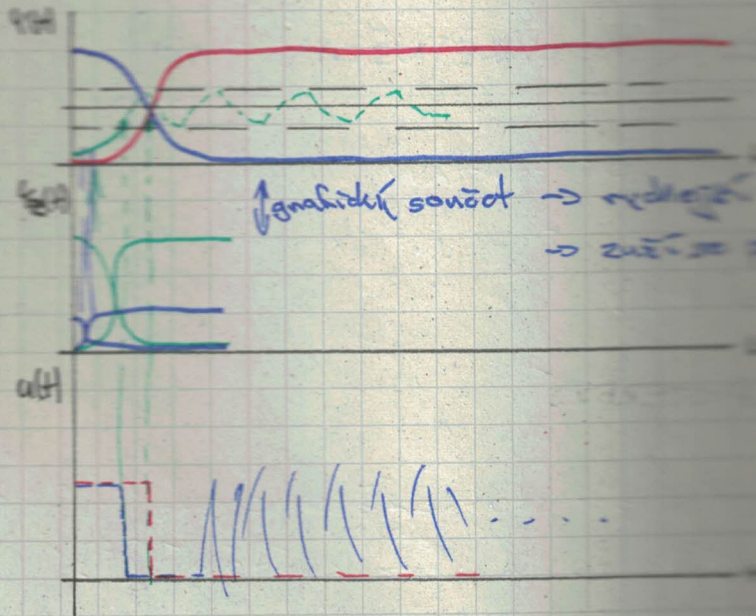
IMPULZNÍ REGULÁTOR

= DVOUOKROVÝ NEPROSTÝ REGULÁTOR S DOPLNĚNÍM ZPĚTNOU VĚTVOU



$$G_S(s) = \frac{k}{(s+a)(s+b)}$$

$$G_Z(s) = \frac{k_z}{(s+a)(s+b)}$$

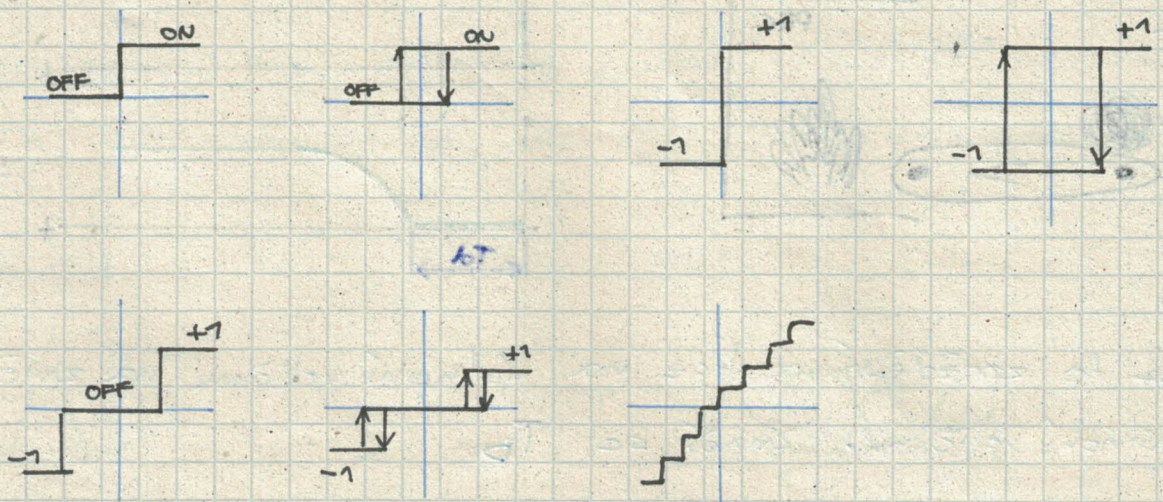


MĚKÉ DOPLNĚKOVÉ ZV:

- ZÁPORNÁ ZV
- POMOČNÁ ZV
- TEPELNÁ ZV
- ZPOŠUJÍCÍ ZV
- PRVKNÁ ZV

STATICKÉ CHARAKTERISTIKY NESPOJITĚCH REGULÁTORŮ

PŘEHLED



3 FÁZOVÝ REGULÁTOR [TROJFÁZĚ]]



→ HVĚZDA → menší účinnost výkonu

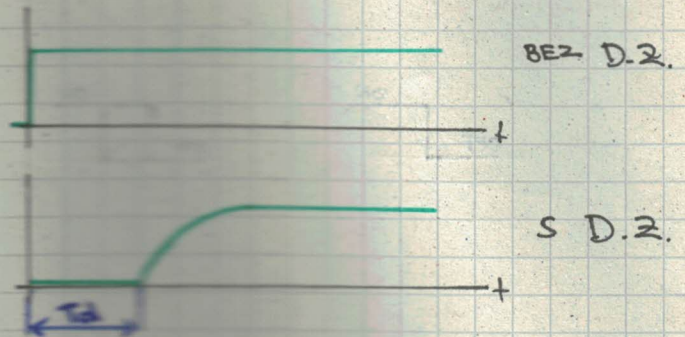
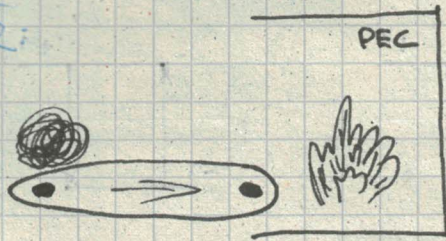
→ používá se pro běžný provoz (zapnutí/vypnutí)

→ TROJÚHELNÍK → vyšší výkon

→ pro start

DOPRAVNÍ ZPOZDĚNÍ

TR:



- Je to zpožděná reakce na vstupní veličinu. značí se T_0

$$G(s) = \frac{b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0} \cdot e^{-T_0 s}$$

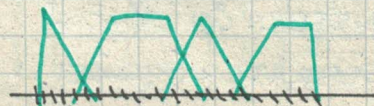
FUZZY

K popisu (práci) fuzzy logikou se používají lingvistické (jazykové) hodnoty, proměnné jsou větve nebo slova. Určuje se i pravděpodobnost

SINGLTON

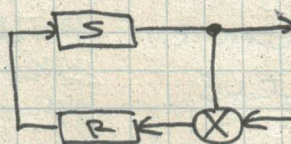


TERNI

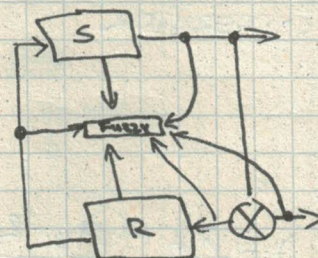


PR: [velmi starý, starý, ne tak starý, více méně mladý, mladý, velmi mladý]

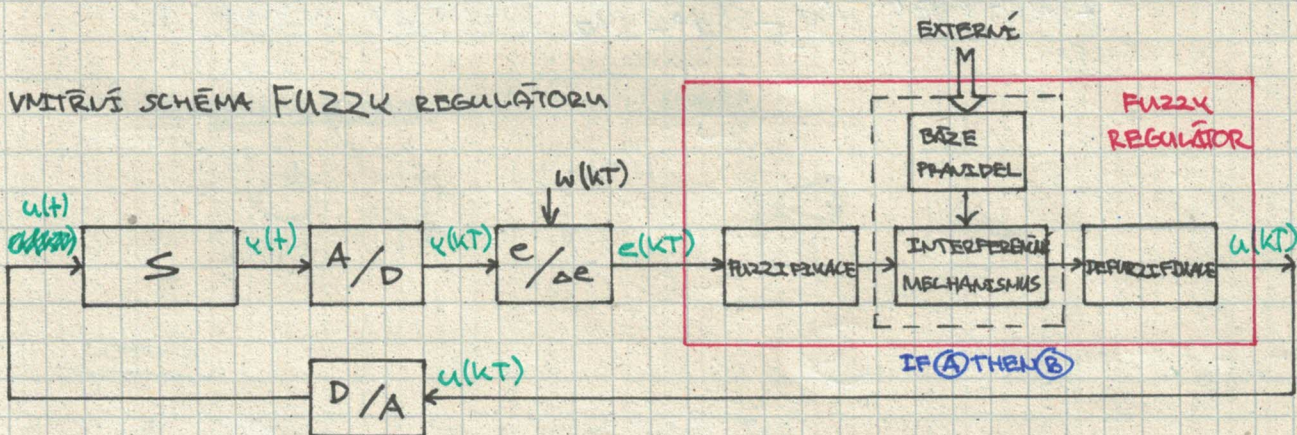
FUZZY REGULÁTOR:



FUZZY JERIZOVACÍ:



VMÍRIVÍ SCHEMA FUZZY REGULÁTORU



FUZZY OPERÁTORŮ:

DRASTICKÝ SOUČIN

OMEZENÝ ROZDĚL

EINSTEINŮV SOUČIN

ALGEBRAICKÝ SOUČIN

HAMACHERŮV SOUČIN

MINIMUM OPERÁTOR

DRASTICKÝ SOUČET

OMEZENÝ SOUČET

EINSTEINŮV SOUČET

ALGEBRAICKÝ SOUČET

HAMACHERŮV SOUČET

MAXIMUM OPERÁTOR

HAMACHERŮV PŘÍMEK

YAGERŮV PŘÍMEK

FUZZY AND

HAMACHEROVO SJEKOCENÍ

YAGEROVO SJEKOCENÍ

FUZZY OR

ZIMRMANŮV α -OPERÁTOR

PR:

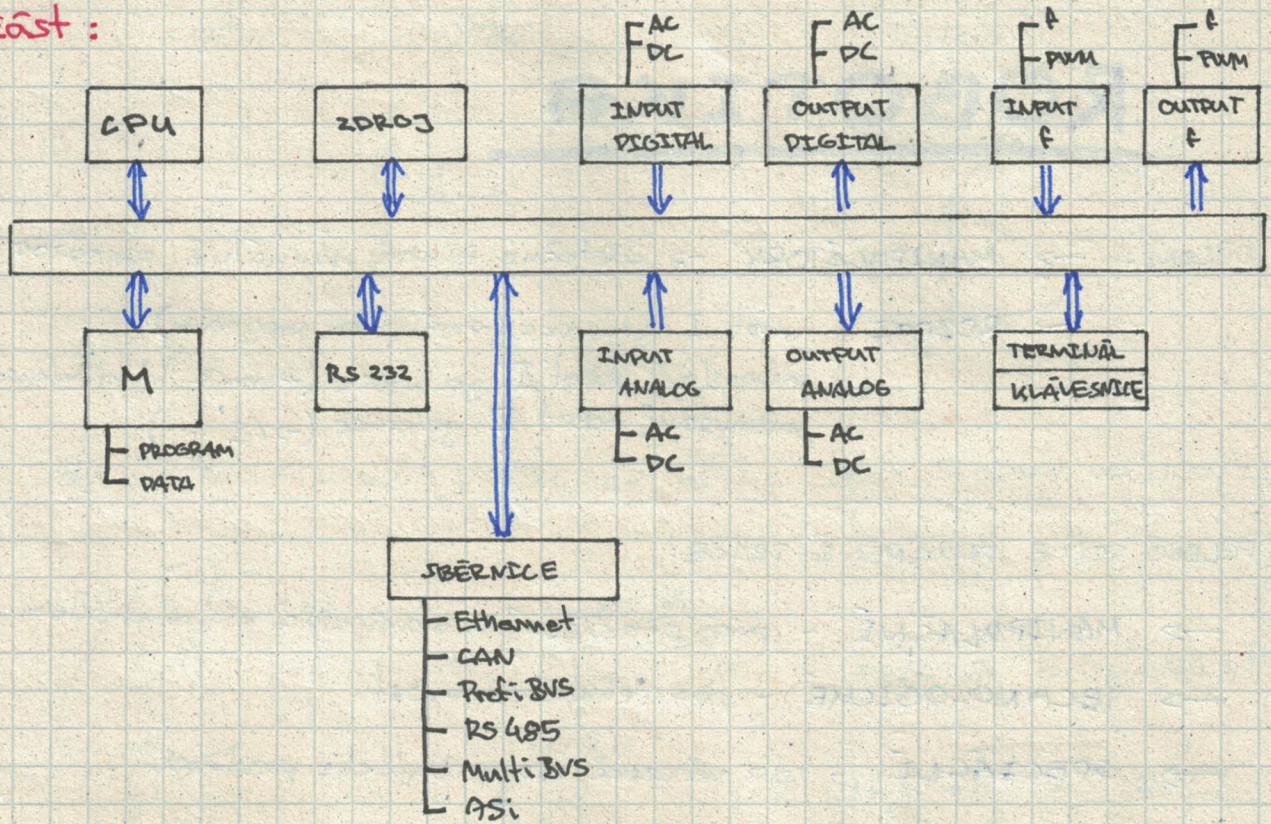
$$S_2(M_A M_B) = \frac{M_A + M_B - 2M_A M_B}{1 - M_A M_B}$$

PLC

- PLC
- soft PLC
- PCA

- KOMPAKTNÍ
- MODULOVÉ
- REDUNDANTNÍ

HW část:

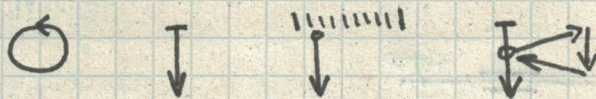


SW část:

Programování

1. VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ [JetStudio - Win; PSP3 - DOS]

2. ALGORITHMY



Norma

1. schéma → z relé nebo IO
2. STL [statement list] → řádky programu
3. funkční bloky ... -o- [] -o- ...

GRAFSET → nové, speciální vývojový diagram (orientované grafy)
→ vývojový diagram

Soft PLC

→ stejný jako PLC + realizace

ROBOTIKA

DĚLENÍ:

- MANIPULÁTOR → částečně řízen člověkem, operátor
- ROBOTI
 - robot I. generace (→ nízká rychlost)
 - průmyslový robot II. generace (→ vysoká rychlost, senzor)
 - průmyslový robot III. generace (→ ...)

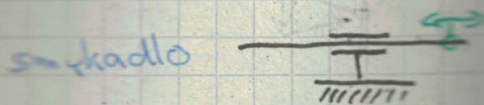
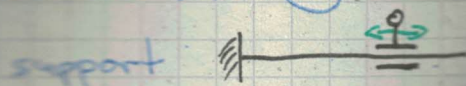
DĚLENÍ PODLE RODU PRÁCE:

- MANIPULAČNÍ - pro přemísťování a manipulaci s materiálem
- TECHNOLOGICKÉ - pro různé činnosti
- SPECIÁLNÍ - do nebezpečného prostředí
- HYBRIDNÍ - kombinace

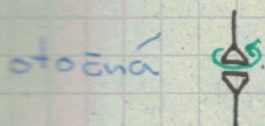
KLASIFIKACE ROBOTŮ

podle 2-3 typ. KINEMATICKÝCH DŮMĚKŮ

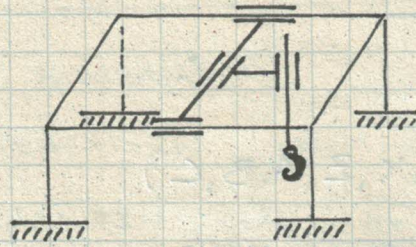
- TRANSLAČNÍ K.D. (T)



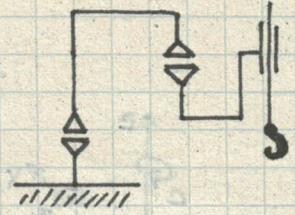
- TOČNÝ K.D. (R)



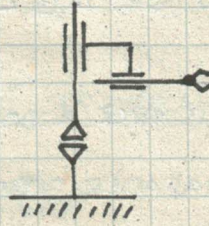
1, TTTT



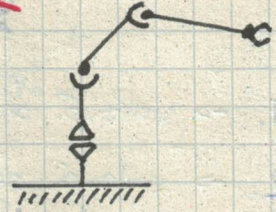
3, RRT



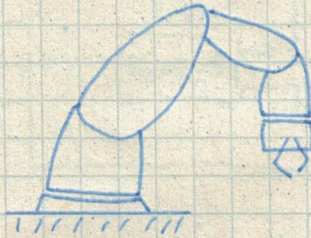
2, RTT



4, RRR



-Podle počtu KINEMATICKÝCH DOJEDŮ se určuje počet stupňů volnosti.



→



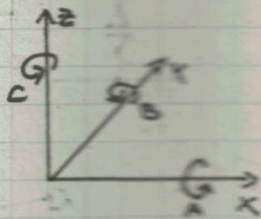
→ RRRRR → 5 stupňů volnosti

* lidská ruka má 27 ...

POHON ROBOTŮ

- MECHANICKÉ
- HYDRAULICKÉ
- PNEUMATICKÉ
- ELEKTRICKÉ
- KOMBINOVANÉ

SGUŘADNICOVÉ SYSTÉMY ROBOTŮ



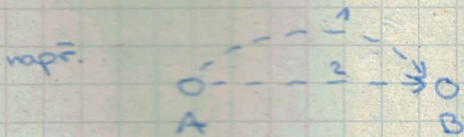
$P(X, Y, Z, A, B, C)$

- souřadnice X, Y, Z
- rotace v ose A, B, C

1. \rightarrow rotační souřadnice je v konstantní poloze
2. \rightarrow rotační souřadnice je v konstantní poloze
3. \rightarrow definován souřadnicemi $P(X, Y, Z, A, B, C)$ jednotlivých stupňů volnosti

PROGRAMOVÁNÍ ROBOTŮ

\rightarrow pomocí souřadnic a způsobu pohybu

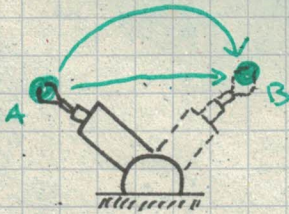


DRUHY POHYBŮ ROBOTŮ

PTP \rightarrow POINT TO POINT

a) synchronní PTP \rightarrow všechny osy pohybují stejnou rychlostí

b) asynchronní PTP \rightarrow všechny osy pohybují různou rychlostí
přímý pohyb \rightarrow všechny osy pohybují stejnou rychlostí



přímý pohyb \rightarrow všechny osy pohybují stejnou rychlostí
krivkový pohyb \rightarrow všechny osy pohybují různou rychlostí

- volba příslušného pohybu se udá v závislosti na požadavku

ZPŮSOBY PROGRAMOVÁNÍ ROBOTŮ

1 - MANUÁLNÍ PROGRAMOVÁNÍ

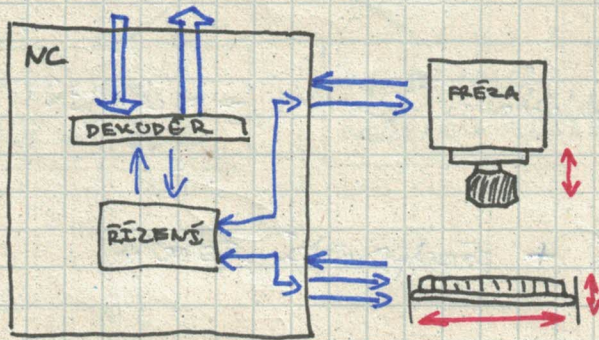
2 - METODA TEACH-IN (režim učení ...)

nebo TEACH-IN sonda - ručně se kůže s ramenem

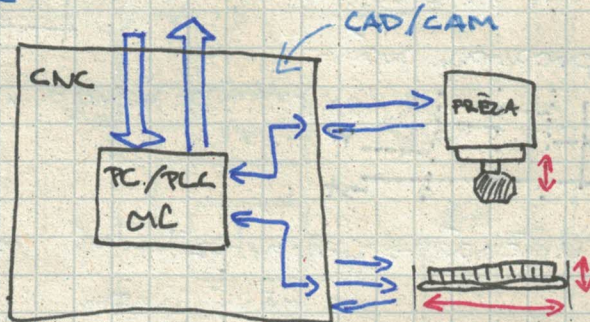
3 - TEXTOVÉ PROGRAMOVÁNÍ

ČÍSLICOVÉ ŘÍZENÍ PROGRAMOVATELNÝCH STROJŮ

NC - numeric control



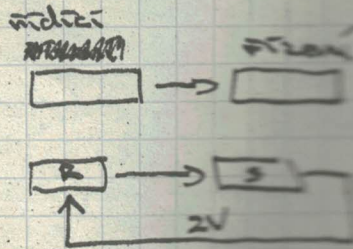
CNC



LÁTKOVÉ PŘEHLED AUTOMATIZOVANÉHO ŘÍZENÍ

ŘÍZENÍ

- OVLÁDÁNÍ
- REGULACE
- EXTREMÁLNÍ



↳ regulace s optimálním řízením pomocí optimalizace

- ADAPTIVNÍ

↳ upravuje své parametry při změně charakteristik

- UČÍCÍ SE SYSTÉM

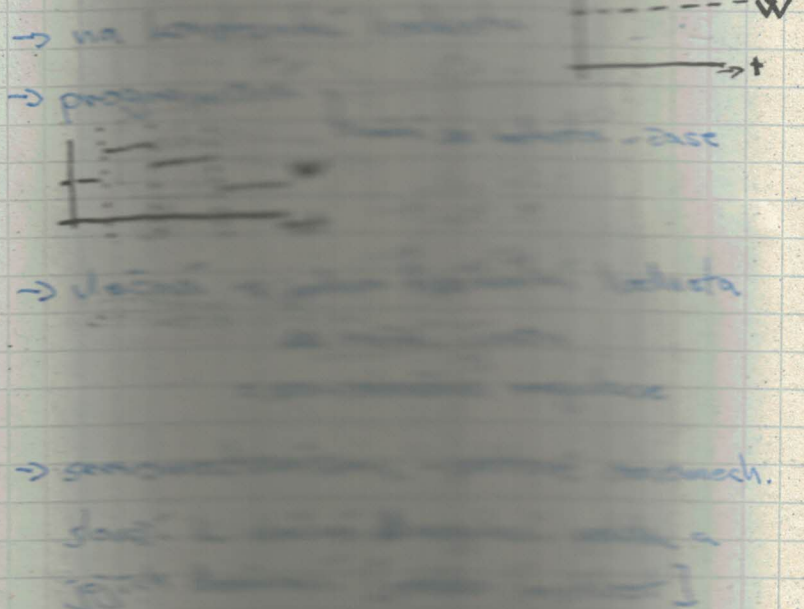
↳ přizpůsobuje se, ukládá si zkušenosti

- MI [AI]

↳ vše předcházející + neuronové sítě

REGULACE

- RUCNĚ
- AUTOMATICKY



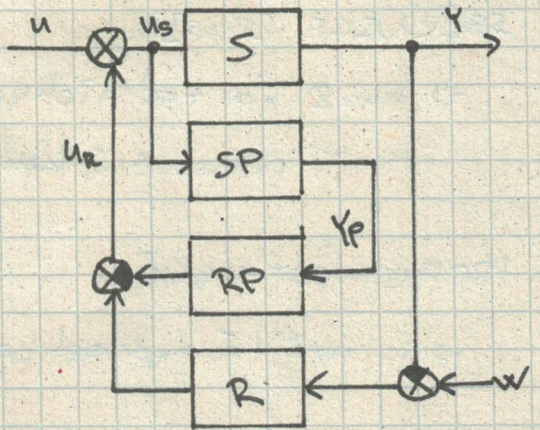
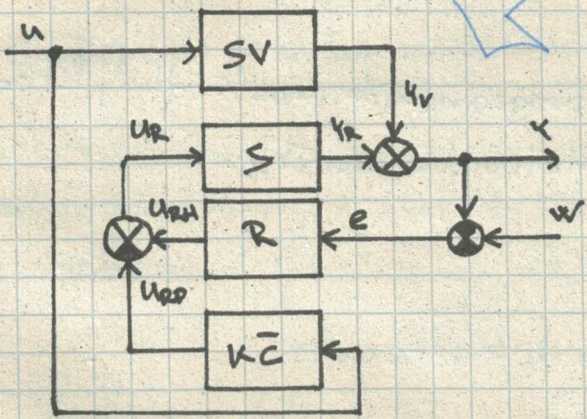
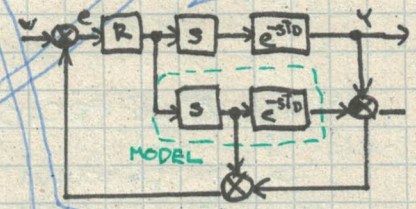
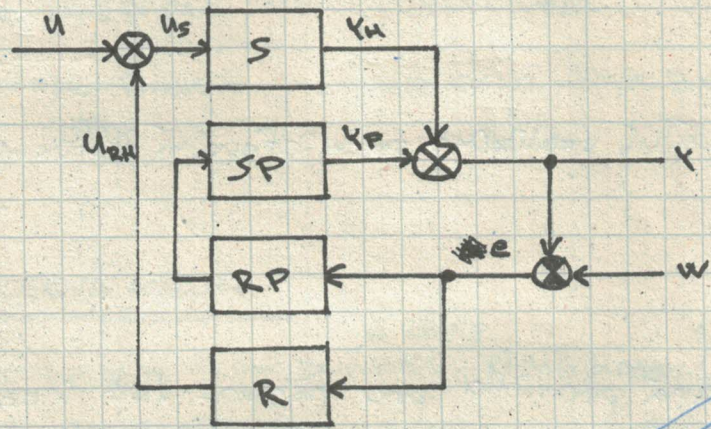
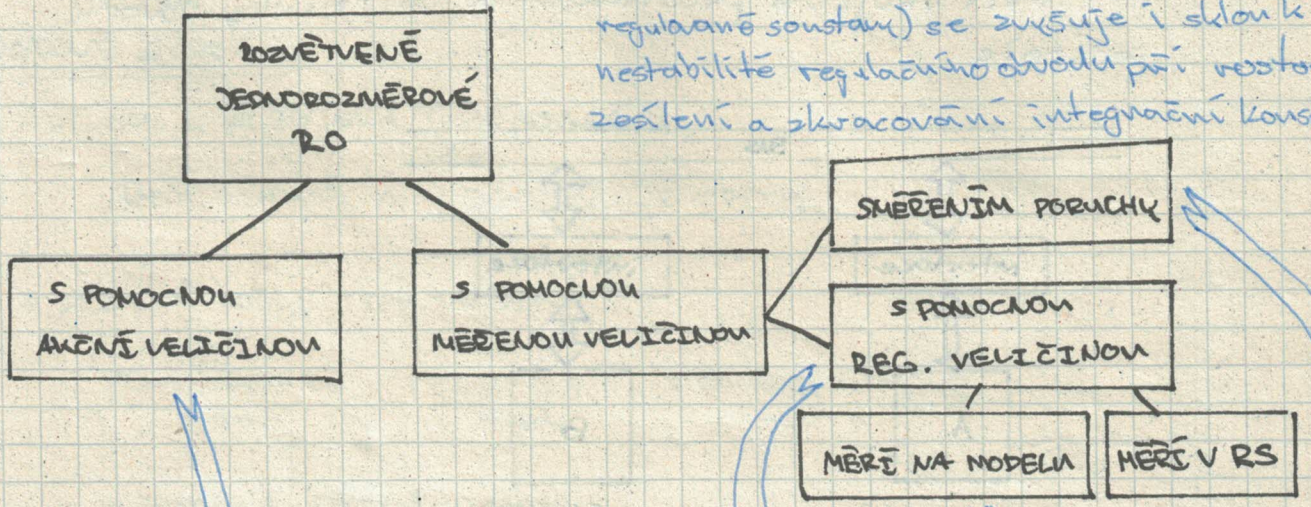
DYN → dyn. vlastnosti
STAT. → po ustálení

- pozitivním rozvětvením obvodu se získají výhodnější dynamické a statické vlastnosti systému (zavedení dalších směrtek regulačního pochodu)

33 pokračování

ROZVĚTVENĚ JEDNOROZMĚROVÉ RO

- s rostoucí obsádností (vyšším řádem setrvačnosti regulační soustavy) se zvyšuje i sklon k nestabilitě regulačního obvodu při rostoucí zesílení a zkracování integrační konstanty

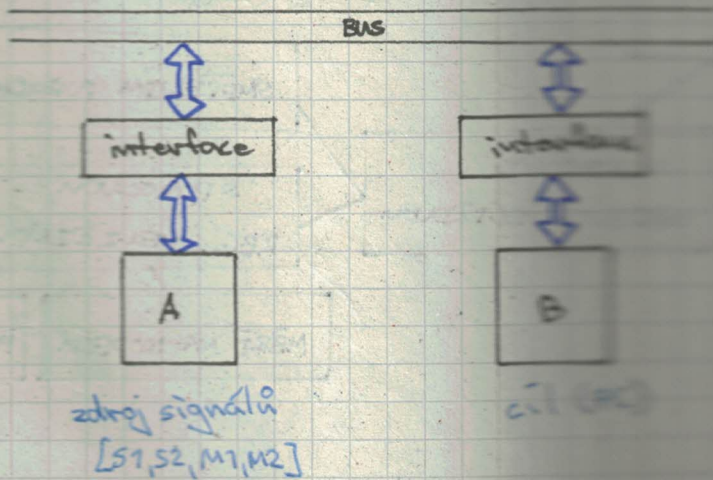


KOMUNIKACE V AUTOMATIZACI

POJMY:

INTERFACE = rozhraní

→ rozhraní je soubor technických prostředků umožňující přenos dat mezi vnějším prostředím a vnitřním systémem počítače



PŘENOS DAT

→ lze chápat jako fyzikální realizaci komunikačního prostoru

KOMUNIKAČNÍ PROTOKOL

→ jsou předem dohodovaná pravidla mezi zdrojem a příjemcem

SBĚRNIČE [BUS]

→ množina technických a programových prostředků tvořících přenosový kanál (stolová sběrnice)

PROPUSTNOST KANÁLŮ

→ je určité množství přenesených dat

PŘENOSOVÝ VÝKON

→ je veličina udávající kolik bitů informace je přeneseno za jednotku času (1b/s; 1B/s; 1MB/s ... bps, Bps)

~~PACKET - FRAME - RÁMEC~~

PACKET - FRAME - RÁMEC

DATOVÉ SPOJE

- DĚLENÍ Z HLEDISKA TYPU SIGNÁLU

ANALOGOVÉ A DIGITÁLNÍ SPOJE

- DĚLENÍ PODLE TYPU URČENÍ

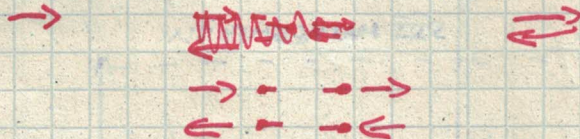
TELEGRAFNÍ (formalé), TELEFONNÍ (střední), ŠIROKOPÁSMOVÉ (rychlé)

- Z HLEDISKA PŘIDĚLOVÁNÍ

PEVNĚ, KOMUTOVANĚ

- Z HLEDISKA SMĚRU PŘENOSU DAT

(HALFDUPLEX) IMPLEXNÍ, POLODUPLEXNÍ, DUPLEXNÍ (FULLDUPLEX)



PŘENOSOVÁ MÉDIA

0 až 266b/s
DVOULINKA, KROUCENÁ DVOULINKA, KOAXIÁLNÍ KABEL, STĚNĚNÁ KROUCENÁ
200Mb/s
DVOULINKA, OPTICKÁ VLÁKNA, INFRAČERNÁ, RADIOVÝ PŘENOS, SATELITNÍ
30Mb/s 20Mb/s

ZPŮSOB PŘENOSU SIGNÁLU KANÁLEM

SERIOVÝ (synchronní, asynchronní, asynchronní)

PARALELNÍ (datový, řídicí vodíče)

SERIOPARALELNÍ (start/stop bit)

INTERFACE

RS 232

CENTRONICS → full duplex, LTP

IEEE 480

= průmyslová paralelní spojnice

SITĚ

LAN, MAN, WAN (local, metropolitan, world wide network)

→ HUB

→ SWITCH

→ ROUTER

→ GATEWAY

