



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií



TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ŘÍZENÍ

Oddělení řízení procesů

Lukáš Hubka, Petr Školník, Jaroslav Hlava





4. CVIČENÍ

Empirické nastavení PID regulátoru – řízení reálných procesů

Metoda SIMC

❑ Pro ZV obvod lze psát $G_{wy} = \frac{CG}{1+CG}$, z toho regulátor je $C = \frac{1}{G} \frac{G_{wy}}{1-G_{wy}}$.

❑ Pokud je soustava FOPDT $G(s) = \frac{Ke^{-sL}}{\tau s + 1}$, pak PI regulátor musí být

$$C = \frac{\tau s + 1}{k(\tau_w + L)s} = \frac{\tau}{k(\tau_w + L)} \left(1 + \frac{1}{\tau s} \right) = r_0 \left(1 + \frac{1}{sT_i} \right)$$

❑ Při sledování žádané hodnoty i utlumení poruchy je třeba volit rozumné T_i

❑ Souhrnem:

$$r_0 = \frac{\tau}{k(\tau_w + L)}, T_i = \min(\tau, 4(\tau_w + L))$$

Výchozí hodnotou parametru τ_w může být $\tau_w = L$, přičemž tento parametr lze zvětšit pokud je regulace příliš agresivní či málo robustní.

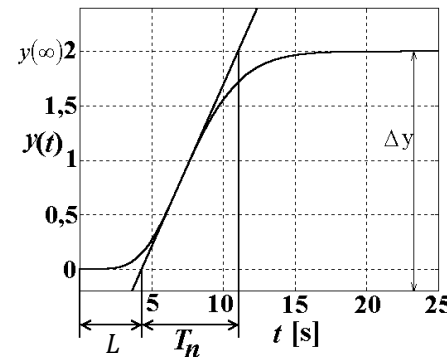
Metoda Ziegler-Nichols

1. **varianta:** metoda ustálených kmitů – při vypnutí I a D složce je postupně zvětšováno proporcionální zesílení až do okamžiku, kdy se celý obvod dostane na mez stability a objeví se netlumené kmity s konstantní amplitudou. Frekvence těchto kmitů je rovna kritické frekvenci $f_k = 1/T_k$ a zesílení P regulátoru (tzv. kritické zesílení) r_k je převrácenou hodnotou zesílení regulované soustavy na této frekvenci.

Regulátor	r_0	T_i	T_d
P	$0,5r_k$		
PI	$0,45r_k$	$0,85T_k$	
PID	$0,6r_k$	$0,5T_k$	$0,125T_k$

2. **varianta:** vyhodnocení přechodové charakteristiky. Na základě doby průtahu T_u , doby náběhu T_n a statického zesílení K pak lze nastavit regulátor podle pravidel v tabulce.

$$u(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) e(s)$$



Regulátor	r_0	T_i	T_d
P	$T_n/(KL)$		
PI	$0,9T_n/(KL)$	$1,2L$	
PID	$1,2T_n/(KL)$	$2L$	$0,5L$



Metoda Chiens, Hrones, Reswick

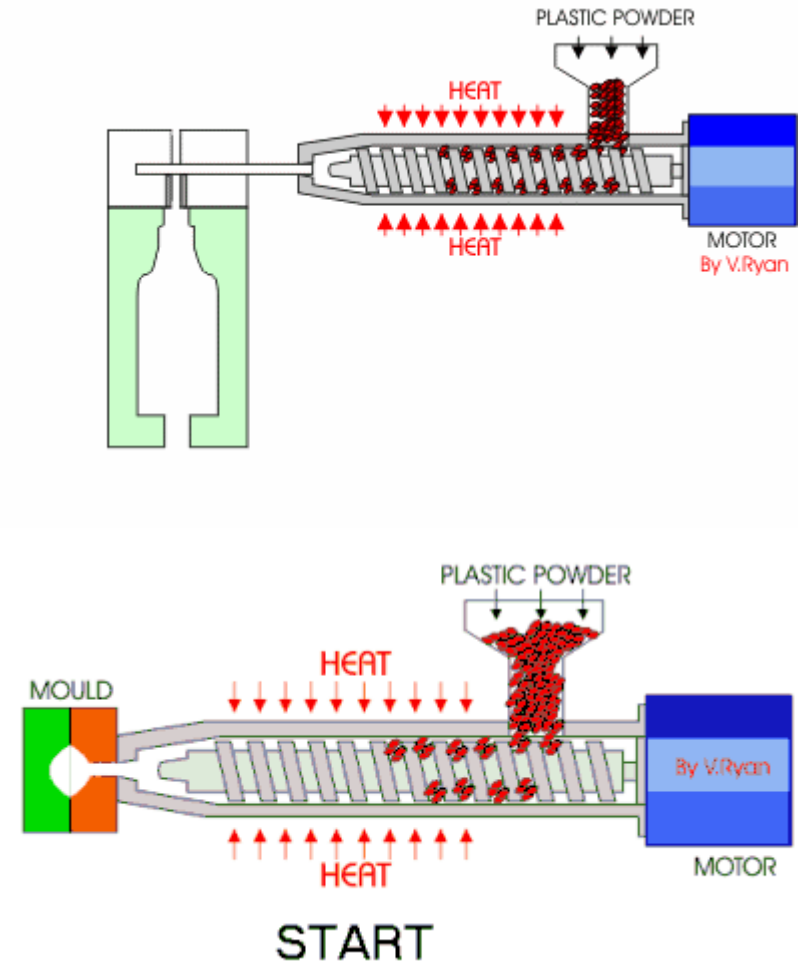
$G(s) = K \frac{e^{-Ls}}{Ts + 1}$ Regulátor	Aperiodický regulační pochod		Překmit max. 20%	
	Sledování skokových změn žádané hodnoty	Potlačení poruchových veličin	Sledování skokových změn žádané hodnoty	Potlačení poruchových veličin
P	$r_0 = 0,3 \frac{T}{K \cdot L}$	$r_0 = 0,3 \frac{T}{K \cdot L}$	$r_0 = 0,7 \frac{T}{K \cdot L}$	$r_0 = 0,7 \frac{T}{K \cdot L}$
PI	$r_0 = 0,35 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 1,2T$	$r_0 = 0,6 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 4L$	$r_0 = 0,6 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = T$	$r_0 = 0,7 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 2,3L$
PID	$r_0 = 0,6 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = T$ $T_d = 0,5L$	$r_0 = 0,95 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 2,4L$ $T_d = 0,42L$	$r_0 = 0,95 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 1,35T$ $T_d = 0,47L$	$r_0 = 1,2 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 2L$ $T_d = 0,42L$

- ❑ Při výrobě plastů se používá jako základní surovina granulát. Tento granulát prochází šnekem, kde je ohříván a vtlačuje se do formy. Správná teplota suroviny je klíčová pro dosažení kvalitního výrobku.
- ❑ Teplota granulátu na vstupu je cca 25 °C. Výrobní cyklus má
 - část ohřevu – teplota komory 230 °C, plast je tlačěn do formy,
 - část relaxace – teplota komory 190 °C, plast je pouze ohříván do tekutého stavu, šetření energií.
- ❑ Ohřev je realizován odporovým drátem uvnitř šnekového podavače o výkonu 5 kW. Přenos energie je 1 kW/80 °C a lze ho dynamicky popsat přenosem

$$G = \frac{K}{(1,4s + 1)^4}.$$

1. **Sestavte blokové schéma problému.**
2. **Identifikujte systém jako FOPDT.**
3. **Navrhněte vhodný regulátor pro řízení teploty plastu vstřikovaného do formy – dosažení teploty 230 °C po relaxaci (např. metodou SIMC).**
4. **Testujte chování regulátoru pro proměnnou teplotu granulátu (10 °C – granulát skladován vně haly) – simulujte jako poruchu na výstupu $G_d = \frac{0,5}{(1,4s+1)^4}$.**

Problém #2 – Ohřev tvářecí formy



- ❑ Vítr nad hladinou oceánu je silnější než nad pevninou, což umožňuje nasadit větrné turbíny o výkonu až 5 MW (na pevnině typicky 1,5 MW). Nepravidelný charakter směru a síly větru však vede k potřebě stabilizace výroby elektrické energie pomocí řídicích systémů. Cílem takové regulace je snížit účinky změn síly a směru větru. Regulace rychlosti rotoru a generátoru se dosahuje nastavováním úhlu sklonu lopatek.
 - ❑ Linearizovaný model popisující otáčky generátoru v závislosti na větru (úhlu lopatek) je dán přenosem
$$G(s) = \frac{4,2158(s + 827,1)(s^2 - 5,489s + 194,4)}{(s + 0,195)(s^2 + 0,101s + 482,6)} e^{-0.52s}$$
 - ❑ Tento model odpovídá 600 kW turbíně o výšce stožáru 36,6 m, průměru rotoru 40 m, normální rychlosti rotoru 41,7 ot/min, normálním otáčkám generátoru 1800 ot/min.
1. **Nalezněte aproximovaný přenos systému typu FOPDT.**
 2. **Nalezněte vhodný regulátor pro udržení konstantní rychlosti otáček generátoru při proměnném větru (použijte metodu Chien, Hrones, Reswick)! Testujte pro $w(t) = 1000 \cdot 1(t)$ v čase 0 s a $d(t) = 1 \cdot 1(t)$ v čase 20 s.**

Problém #3 – větrná turbína

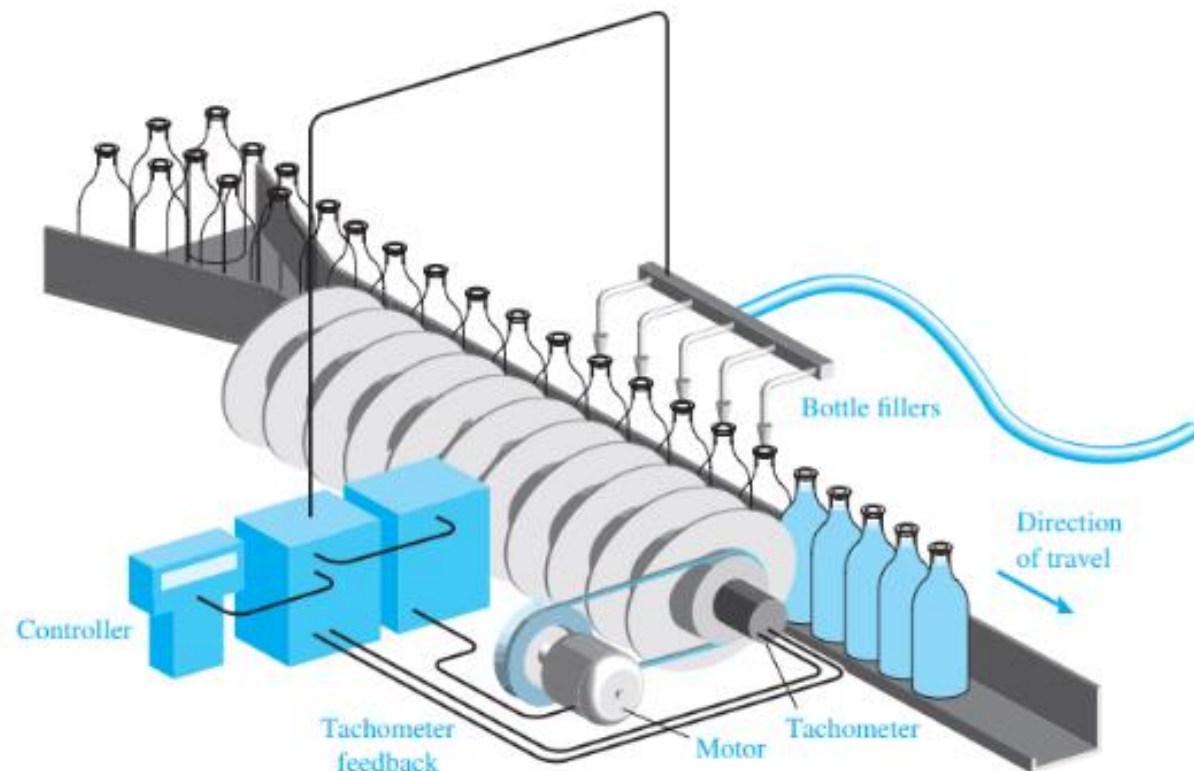


Problém #4 – Rychlost pásu plniče lahví

- ❑ Plnicí linka na lahve používá šnekový mechanismus podavače, jak je znázorněno na obrázku. K udržení přesné požadované rychlosti pásu se používá zpětná vazba od otáčkoměru.
- ❑ Dynamika motoru je popsána přenosovou funkcí G_m , G_s pak odpovídá dynamice šneku. Otáčkoměr konstrukčně odpovídá motoru a jeho dynamika je popsána funkcí G_o . Plnění lahví má vliv na rychlost pohybu pásu, což popisuje funkce G_d .

$$G_m = \frac{1}{(0,2s + 1)(2s + 1)},$$
$$G_s = \frac{1}{20s + 1}, G_o = \frac{1}{1,8s + 1}, G_d = \frac{-0,05}{20s + 1}$$

1. **Sestavte blokové schéma problému.**
2. **Nalezněte vhodný regulátor pro udržení konstantní rychlosti pohybu pásu, když buzení funkce G_d odpovídá pilovému signálu s periodou $T = 2$ s!**

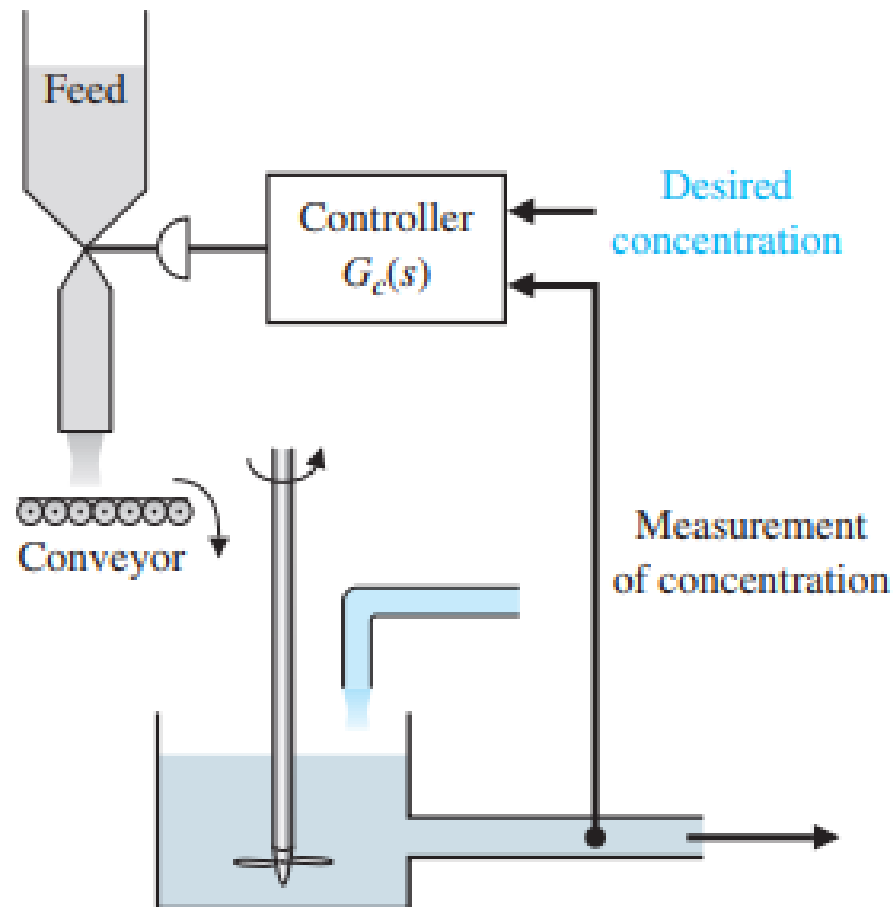


Problém #5 – Regulace koncentrace krmné směsi

- ❑ Systém přijímá granulované krmivo s různým složením a je ředěno tekutinou. Úpravou polohy ventilu přísunu granulí chceme udržovat konstantní složení výstupní směsi. Přeprava krmiva po dopravníku potřebuje čas 1,5 s.
- ❑ Reakci změny rychlosti průtoku granulí na polohu ventilu lze popsat přenosovou funkcí G_v . Samotná dynamika procesu „výroby“ (směšování) krmiva v nádrži je pospaná přenosovou funkcí G_n . Senzor na měření koncentrace má vlastní dynamiku G_s .

$$G_v = \frac{1}{6s + 1}, G_n = \frac{5}{(5s + 1)^3}, G_s = \frac{1}{0,3s + 1}$$

1. **Sestavte blokové schéma problému. Systém může být ovlivněn poruchou na vstupu d_1 - změna kvality krmiva a poruchou v podobě změny „kvality“ či kvantity“ dodávané tekutiny do nádrže d_2 .**
2. **Navrhněte řízení koncentrace výstupní krmné směsi! Zaměřte se zejména na minimalizaci vlivu poruch.**



Problém #6 – Tempomat

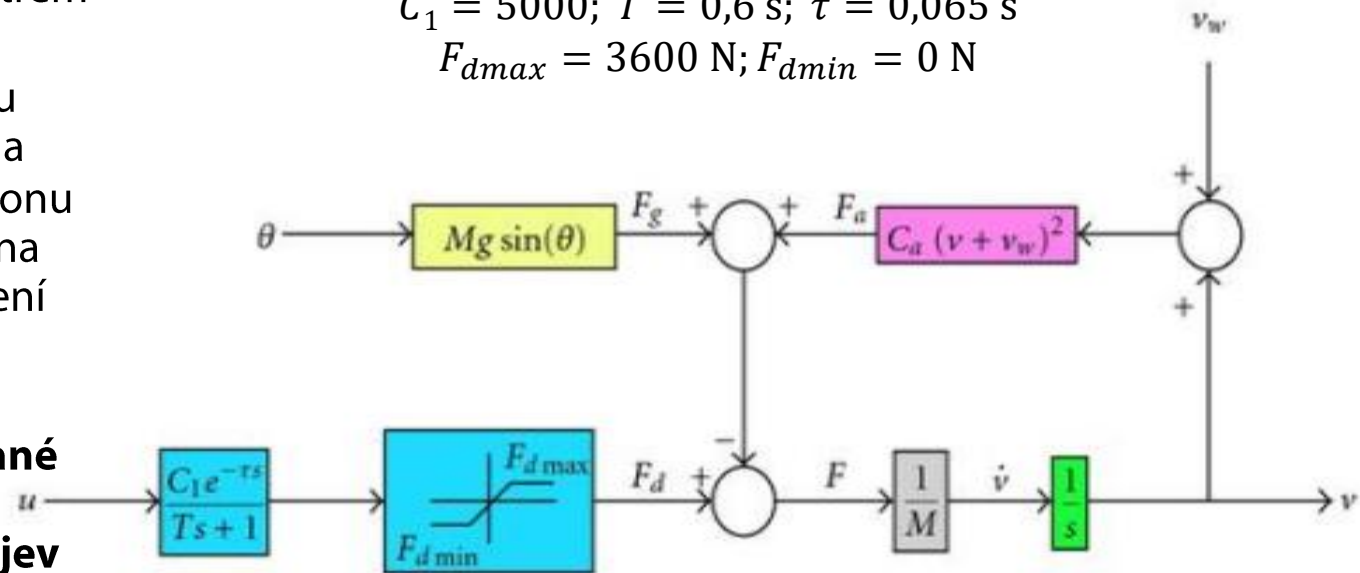
- ❑ **Tempomat** je zařízení sloužící k udržování nastavené rychlosti vozidla. Systém tempomatu by měl zajistit udržení nastavené rychlosti vozidla i v případě působení poruchy, která může být způsobena například protivětre v_w nebo změnou sklonu vozovky θ .
 - ❑ Model automobilu je vidět na obrázku, parametry jsou uvedeny. Síla F_g odpovídá působení sklonu vozovky na vozidlo, F_a prezentuje odpor prostředí a F_d je síla pohonu automobilu, kde dynamika pedálu a motoru je popsána systémem typu FOPDT. M je hmotnost vozidla a stlačení plynového pedálu je $u \in \langle 0; 1 \rangle$.
1. **Navrhněte řízení tempomatu pomocí PI(D) regulátoru tak, aby dokázal dosáhnout požadované rychlosti s minimálním překmitem a zároveň při změně stoupaní vozovky z 0 % na 10 % nebyl projev poruchy při rychlosti 50 km/h větší než 20 %!**
 2. **Pokuste se nasimulovat reálnější tvar vozovky (hladké změny úhlu vozovky v podobě harmonické funkce) a pozorujte funkci tempomatu.**

- ❑ Hodnoty parametrů:

$$M = 2150 \text{ kg}; g = 9,81 \text{ ms}^{-2}; C_a = 1,2 \text{ N} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-2};$$

$$C_1 = 5000; T = 0,6 \text{ s}; \tau = 0,065 \text{ s}$$

$$F_{dmax} = 3600 \text{ N}; F_{dmin} = 0 \text{ N}$$



Problém #7 – tažení plechu

- ❑ Systémy pro udržování konstantního napětí na pásové oceli v dokončovací fríze na pásy se nazývají „smyčkovače“. Smyčkovač je rameno dlouhé 0,6 až 1 m s válečkem na konci. Rameno je přitlačováno k pásu motorem. Typická rychlost pásu je 10 m/s.
 - ❑ Smyčkovač můžeme popsat pomocí schématu – viz obrázek, $K_a = 1$.
 - ❑ Měřená je poloha válce smyčkovače, přičemž se předpokládá, že napětí oceli je úměrné právě poloze válce.
1. **Navrhněte PID regulátor, který zajistí požadované napětí (kvalitu) výstupního plechu.**

