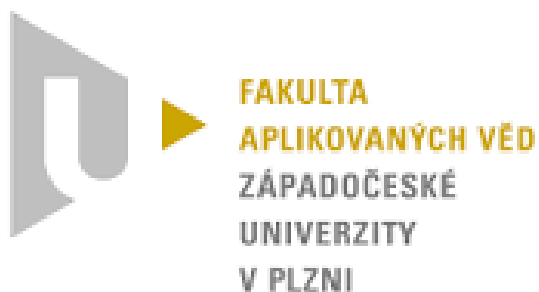


# Automatické řízení

## Semestrální práce

Miroslav Bulka, Jan Cibulka

81.121.1025



# AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ- ZADÁNÍ REFERÁTU



## I. Model neurčitosti

- Při konstantním přítoku  $Q_{10} = 1.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  vypočtete potřebné nastavení přepouštěcího ventilu  $S_p$  a výtokového ventilu  $S_2$  tak, aby výšky hladin v nádobách při ustáleném stavu byly  $H_{10} = 0,8 \text{ m}$  a  $H_{20} = 0,2 \text{ m}$  (tzv. pracovní bod). Hodnoty známých parametrů:  $S = 25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$  (plocha dna nádob),  $c_p = c_2 = 0.6$ . *malá podle LS1*
- Určete linearizovaný stavový model v daném pracovním bodě a v pracovním bodě, který by odpovídal 20% zvýšení přítoku  $Q_{10}$ .
  - Nastavení přepouštěcích ventilů  $S_p$  a  $S_2$  zůstane stejné, se zvyšujícím se přítokem  $Q_1$  se mění výšky hladin  $H_1$  a  $H_2$ .
  - Spolu se zvyšujícím se přítokem  $Q_1$  se mění nastavení ventilů  $S_p$  a  $S_2$  tak, aby výška hladin zůstala konstantní, tedy  $H_1(t) = H_{10}$ ,  $H_2(t) = H_{20}$ .
- Určete přenos systému  $Q_1(t) \rightarrow H_2(t)$  v závislosti na výšce hladiny  $H_1$  a  $H_2$  (případ 2A) či nastavení ventilu  $S_p, S_2$  (případ 2B). Znázorněte pro oba případy v komplexní rovině neurčitost přenosu za předpokladu, že skutečný pracovní bod je libovolně mezi původním pracovním bodem a pracovním bodem při 20 % zvýšeném přítoku.
  - Určete numericky skutečnou neurčitost danou intervalem pro výšky hladin  $H_1$ ,  $H_2$  (resp.  $S_p$ ,  $S_2$ ) a přítok  $Q_1$ .
  - Definujte model neurčitosti pomocí vhodně zvoleného modelu perturbací, nominálního modelu  $P_0$  a váhové funkce  $W(s)$  tak, aby velikost neurčitosti byla minimální a přesto pokrývala skutečnou neurčitost získanou v bodě (b).

Pro zobrazení neurčitosti použijte 10 frekvencí  $\omega_1, \dots, \omega_{10}$ , které pokryjí fázové zpoždění  $(0, \pi)$  fázové frekvenční charakteristiky procesu.

- Porovnejte velikosti obou neurčitostí (2A a 2B).

## II. Návrh regulátoru

Dále předpokládejte, že přítok  $Q_1(t)$  je realizován vodním čerpadlem, které je poháněno stejnosměrným motorem. Chování čerpadla budeme pro jednoduchost aproximovat systémem prvního řádu s časovou konstantou  $T = 0.5\text{s}$  a statickým zesílením  $K_s = Q_{10}$ . Dále uvažujme PI regulátor, který řídí napětí na kotvě motoru čerpadla s cílem řídit výšku hladiny  $H_2$ . Rovněž předpokládejme, že všechny externí signály regulační smyčky jsou rozumně malé, takže systém není příliš vychýlen ze svého pracovního bodu a může být považován za lineární.

1. Navrhnete parametry PI regulátoru s přenosem  $C(s) = K(1 + \frac{1}{T_i s})$  tak, aby byly splněny následující návrhové požadavky pro všechny systémy z modelu neurčitosti získaného v bodě 3(b) pro 2A (mění se výška hladin), tedy pro libovolný pracovní bod, který se nachází mezi původním pracovním bodem a pracovním bodem při zvýšeném přítoku.
  - (a) Vnitřní stabilita uzavřené smyčky – ověřte analyticky i graficky (Nyquistovo kritérium).
  - (b) Robustnost ve stabilitě – maximální hodnota amplitudy citlivostní funkce  $S(j\omega)$  je  $M_S < 2$ .
  - (c) Předpokládejte, že díky dalším nepřesnostem, šumům a nelinearitám je dostupná šířka pásma omezená na  $\Omega_a = 10$  [rad/s]. Útlum komplementární citlivostní funkce  $T(j\omega)$  na frekvenci  $\Omega_a$  musí být alespoň -10 dB.
  - (d) Zajistěte, aby energie libovolného šumu měření  $n(t)$  nebyla zesílena více než 1.5 krát.
2. Předpokládejte, že měření, tedy senzor hladiny  $H_2$ , je zatíženo harmonickým šumem  $n(t)$  s frekvencí 50Hz a výstup soustavy omezenou harmonickou poruchou  $d(t)$  s frekvencí 0.1Hz. Ověřte, zda žádný z těchto signálů není na výstupu systému (tedy  $H_2(t)$ ) smyčkou s navrženým PI regulátorem zesílen.
3. Předpokládejte, že je systém v rovnovážném stavu a  $e(t) = 0$ . Na vstup řízené soustavy začne působit porucha  $d_i$  s omezenou energií  $\|d_i\|_2 < 1$ . Určete k jakému maximálnímu kolísání hladiny  $H_2$  od požadovaného stavu může dojít.
4. Určete signály  $n(t)$  a  $d(t)$ , kde  $\|n(t)\|_\infty < 1$ ,  $\|d(t)\|_\infty < 1$ , které jsou zpětnovazební smyčkou nejvíce zesíleny ve smyslu
  - (a) maximální hodnoty signálu,
  - (b) energie signálu.

Určete hodnoty těchto zesílení.

*Poznámka:* K řešení využijte libovolné prostředky Matlabu/Simulinku, Robust Control Toolbox, Symbolic Toolbox, webový applet "PID Control Laboratory".

# 1 Určení linearizovaného stavového modelu

## 1.1 Proměnné výšky hladin

Daný systém popisují diferenciální rovnice:

$$\begin{bmatrix} \frac{dH_1}{dt} \\ \frac{dH_2}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{S} \cdot Q_1 - \frac{S_p C_p}{S} \cdot \sqrt{2g \cdot H_2} \\ \frac{S_p C_p}{S} \cdot \sqrt{2g \cdot (H_1 - H_2)} - \frac{S_2 C_2}{S} \cdot \sqrt{2g \cdot H_2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Zavedením  $x_1(t) = H_1(t)$ ;  $x_2(t) = H_2(t)$ ;  $u(t) = Q_1(t)$  získáme

$$\begin{bmatrix} \frac{dx_1}{dt} \\ \frac{dx_2}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{S} \cdot u - \frac{S_p C_p}{S} \cdot \sqrt{2g \cdot x_2} \\ \frac{S_p C_p}{S} \cdot \sqrt{2g \cdot (x_1 - x_2)} - \frac{S_2 C_2}{S} \cdot \sqrt{2g \cdot x_2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

**Linearizace**

## 2 Řešení - Model neurčitosti

### 2.1 První úkol

Výpočet ustáleného stavu.

### 2.2 Druhý úkol

Linearizace ve dvou pracovních bodech.

#### 2.2.1 Konstantní průtoky - mění se hladina

#### 2.2.2 Konstantní hladina - mění se průtoky

### 2.3 Třetí úkol

Přenos systému, nquist asi, oba pracovní body, neurčitost.

#### 2.3.1 Určení numerické neurčitosti

#### 2.3.2 Definování modelu s pertrubacemi, nominální model, váhová funkce

### 2.4 Čtvrtý úkol

Porovnání neurčitostí z 2.2.1 a 2.2.2.

## **3 Řešení - Návrh regulátoru**

### **3.1 První úkol**

Parametry PI regulátoru. Nejsm si jistý jestli tady jde o subukoly nebo jenom podmínky pro jeden ukol.

#### **3.1.1 Vnitřní stabilita uzavřené smyčky (Nquistovo kritérium)**

#### **3.1.2 Robustnost ve stabilitě**

#### **3.1.3 Podmínka útlumu komplementární citlivostní funkce**

#### **3.1.4 Energie šumu omezená.**

### **3.2 Druhý úkol**

Harmonické poruchy.

### **3.3 Třetí úkol**

Maximální kolísání hladiny.

### **3.4 Čtvrtý úkol**

Určení hodnoty nějakých signálů.