

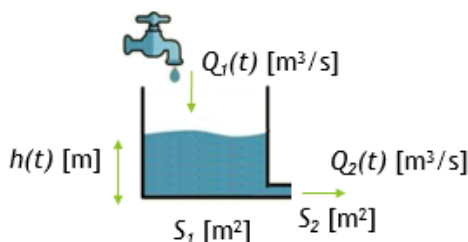
BPC-UKB – Zadání samostatného projektu

Regulace výšky hladiny v nádrži.

Cílem samostatného projektu je ověření znalostí základů kybernetiky (tj. zejména práce se signály, systémy a řízením) pomocí modelové úlohy zabývající se regulací výšky hladiny v nádrži. V rámci samostatného projektu se tak předpokládá aplikace teoretických znalostí na praktický příklad a následné provedení simulací v prostředí MATLAB/Simulink.

1 Rozbor úlohy

Regulovanou soustavou je v tomto případě systém reprezentující přibližně 10l nádrž (uvažujme ideální válcovou nádrž s **poloměrem dna** $r_1 = 10$ cm, a tudíž odpovídající plochou S_1 , a **výškou** $h_{\text{MAX}} = 34$ cm), která má ve dně kruhový otvor o poloměru $r_2 = 1$ cm (a odpovídající plochu S_2). Do nádrže může přitékat kapalina, definovaná průtokem Q_1 [m³/s]. Model systému (regulované soustavy) je znázorněn na následujícím obrázku.

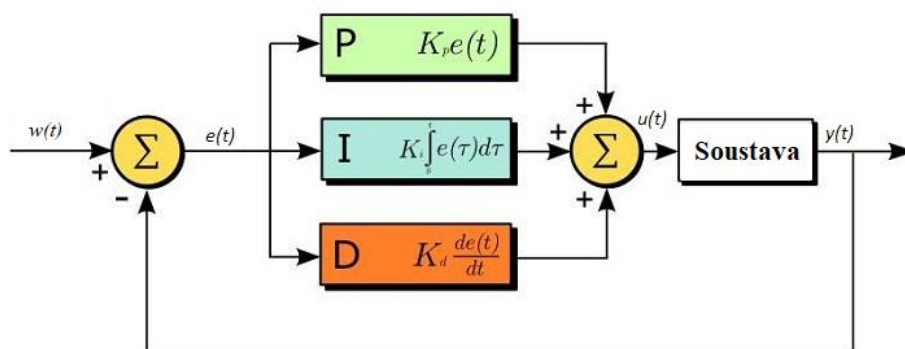


Obrázek 1: Popis modelu regulované soustavy

Model regulované soustavy lze zjednodušeně popsat pomocí rovnice (1).

$$h(t) = \frac{1}{S_1} \int_0^t \left[Q_1(\tau) - S_2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h(\tau)} \right] d\tau \quad (1)$$

Naším úkolem pak bude sestavit regulační obvod s PID regulátorem a uvedenou soustavou. **Regulovanou veličinou** bude **výška kapaliny v nádrži** h [m]. Regulovat bude možné pouze **přítok – průtok kapaliny** Q_1 [m³/s] = **akční zásah**. Žádanou veličinou bude požadovaná konstantní **výška hladiny v nádrži** h_{zadana} [m].



Obrázek 2: Principiální schéma regulační smyčky

2 Zadání úlohy

Úloha bude sestávat z několika kroků (úkolů), které bude třeba provést pro získání požadovaných výsledků. Potřebnou teorii společně s radami a tipy naleznete v přednáškových prezentacích či materiálech k počítačovým cvičením.

Z e-learningu si stáhněte model (soubor) s názvem „UKB_projekt.slx“.

Úkol č.1: „Jedná se o LTI systém?“

Otevřete si model „UKB_projekt.slx“ v MATLAB/Simulink. Tento model obsahuje předpřipravený zjednodušený model regulované soustavy s parametry uvedenými v rozboru úlohy (viz sekce UKOL c.1: OVERENÍ ZAKLADNÍCH VLASTNOSTÍ SOUSTAVY).

- Ověřením vlastností homogenity a aditivity rozhodněte, zda je model lineární či nelineární. Výsledné grafy si uložte.
- Ověřte, zda je model časově invariantní. Opět si uložte výsledné grafy.

Úkol č.2: „Identifikace parametrů soustavy a aproximace pomocí LTI modelu.“

Ve stejném modelu v sekci UKOL c.2: IDENTIFIKACE SOUSTAVY Z PŘECHODOVÉ CHARAKTERISTIKY je opět předpřipravený zjednodušený nelineární model regulované soustavy dle rovnice (1) s uvedenými parametry. Společně s tímto modelem je k dispozici i lineární model. Vstupem do obou systémů je přítok Q_1 [m^3/s].

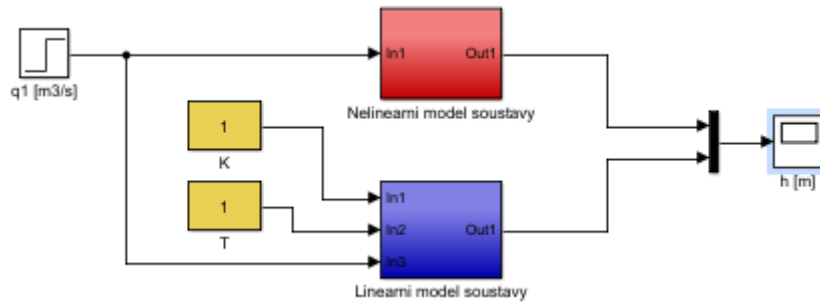
- Nastavte blok generující vstupní signál tak, aby došlo v čase $t = 0$ ke skokové změně průtoku Q_1 na hodnotu $0,5 \text{ l/s}$ [tj. $0,0005 \text{ m}^3/\text{s}$] a změřte odezvu (přechodovou charakteristiku) obou systémů.

Žlutý průběh znázorňuje změřenou přechodovou charakteristiku nelineární soustavy. Vzhledem k tomu, že v následujícím studiu se budete zabývat zejména LTI systémy (z důvodu jednoduššího matematického aparátu), zkuste nyní pro danou situaci na chvíli „předstírat“, že jste změřili přechodovou charakteristiku lineárního (linearizovaného) systému.

- Kolikátého řádu je tento systém (dle průběhu přechodové charakteristiky)?
- Odečtěte z přechodové charakteristiky (žluté) hodnotu zesílení (zisk) K a časovou konstantu T a tyto hodnoty zadejte do odpovídajících bloků s názvem K a T (jedná se o parametry skutečně lineárního modelu soustavy), viz následující obrázek.
Nyní spusťte znovu simulaci a vykreslete přechodové charakteristiky obou systémů. Doladte a upravujte hodnoty K a T tak dlouho, dokud nebude přechodová charakteristika lineárního systému s parametry K a T co nejlépe aproximovat přechodovou charakteristiku původního (nelineárního) systému (žlutý průběh).

Výsledné grafy společně se zjištěnými hodnotami parametrů K a T si uložte.

Pozn.: Při odečítání hodnoty zesílení K nezapomeňte uvažovat i velikost vstupního signálu!



Obrázek 3: Model pro jednoduchou estimaci parametrů regulované LTI soustavy

Úkol č.3: „Regulace LTI systému pomocí ideálního PID regulátoru“

V sekci UKOL c.3: REGULACE LTI SOUSTAVY IDEALNIM PID REGULATOREM model obsahuje lineární model regulované soustavy a ideální PID regulátor (bez veškerých omezení a filtrace D složky). Úkolem je nyní experimentálně ověřit vlastnosti jednotlivých složek PID regulátoru a jejich vliv na výsledek regulace jednoduchého LTI systému.

- a) Do předpřipraveného modelu doplňte hodnoty parametrů K a T zjištěné v předchozím úkolu.

Nyní máme vytvořenou celou (principiální) regulační smyčku. V tomto okamžiku je důležité uvědomit si souvislost jednotlivých veličin.

- b) Doplňte k následujícím „regulačním“ veličinám odpovídající fyzikální veličiny včetně jednotek.

požadovaná hodnota $w(t)$	-
odchylka $e(t)$	-
akční zásah $u(t)$	-
regulovaná veličina $y(t)$	-

Uvědomění si souvislosti s fyzikálními veličinami a jejich jednotkami je **naprosto klíčové** z hlediska verifikace správnosti použitého přístupu a velikostí jednotlivých signálů. Nyní se můžeme pustit do samotné regulace.

- c) Cílem regulace je v tomto případě regulace výšky hladiny v nádrži na skokovou změnu požadované hodnoty $w(t)$ z 0 na 10 cm (tj. 0,1 m), která je přednastavena v generátoru vstupního signálu. Nyní je vaším úkolem nastavit regulátor tak, aby se regulovaná veličina $y(t)$ co nejvíce blížila (co nejrychleji a zároveň co nejpresněji) požadované hodnotě $w(t)$, tj. tzv. **minimalizovat regulační odchylku $e(t)$** . **Tento proces je však vždy nutné provádět s ohledem na velikost akčního zásahu $u(t)$! Výsledné parametry volte tak, aby velikost akčního zásahu byla alespoň přibližně reálná.**

Vzhledem k charakteru tohoto úkolu postupujte podle následujících kroků:

- využijte pouze P regulátor** (to provedete tak, že hodnoty konstant u ostatních složek, tj. K_i a K_d , nastavíte na hodnotu 0) a pokusíte se experimentálně nalézt z vašeho pohledu optimální hodnotu parametru K_p . Výsledné grafy ($y(t)$ a $u(t)$) si uložte včetně zaznamenání odpovídající hodnoty K_p .

2. **využijte PD regulátor** (to provedete tak, že hodnotu konstanty K_i nastavíte na hodnotu 0) a pokusíte se experimentálně nalézt z vašeho pohledu optimální hodnotu parametrů K_p a K_d . Výsledné grafy ($y(t)$ a $u(t)$) si uložte včetně zaznamenání odpovídající hodnoty K_p a K_d .
 3. **využijte PI regulátor** (to provedete tak, že hodnotu konstanty K_d nastavíte na hodnotu 0) a pokusíte se experimentálně nalézt z vašeho pohledu optimální hodnotu parametrů K_p a K_i . Výsledné grafy ($y(t)$ a $u(t)$) si uložte včetně zaznamenání odpovídající hodnoty K_p a K_i .
 4. **využijte PID regulátor** a pokuste se experimentálně nalézt z vašeho pohledu optimální hodnotu parametrů K_p , K_i a K_d . Výsledné grafy ($y(t)$ a $u(t)$) si uložte včetně zaznamenání odpovídající hodnoty K_p , K_i a K_d
- d) Po naladění výsledného **PID** regulátoru si otevřete Scope zobrazující akční zásah $u(t)$. Určete, jaká je maximální hodnota (špička - „peak“) akčního zásahu a odpovězte následující otázky.
- Je toto s ohledem na fyzikální podstatu reálné?
 - Která složka PID způsobuje tuto špičku?

Úkol č.4: „Regulace LTI systému pomocí „reálného“ PID regulátoru“

Přejděte do sekce UKOL c.4: REGULACE LTI SOUSTAVY REALNYM PID REGULATOREM (a opět nastavte zjištěné parametry soustavy). Model obsahuje lineární model regulované soustavy a tzv. „reálný“ PID regulátor (obsahuje filtraci derivační složky, anti wind-up mechanismus a další reálná omezení). Zásadní změnou je zde zejména omezení akčního zásahu $u(t)$, které je v reálných situacích vždy přítomné, tj. jedná se o omezení množství energie, kterou máme k řízení soustavy k dispozici.

- a) Parametry PID regulátoru nalezené v předchozím úkolu (č.3) nastavte i do příslušných zadávacích polí v bloku „Realny PID regulator“, viz následující obrázek.

Block Parameters: Realny PID regulator

This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: **PID** Form: **Parallel**

Time domain:

☒ Continuous-time

☐ Discrete-time

Discrete-time settings

Sample time (-1 for inherited): -1

▼ Compensator formula

$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}$$

Main Initialization Output Saturation Data Types State Attributes

Controller parameters

Source: internal

Proportional (P): **Kp**

Integral (I): **Ki**

Derivative (D): **Kd**

☒ Use filtered derivative

Filter coefficient (N): **20 (neměňte)**

Obrázek 4: Nastavení bloku reálného PID regulátoru

V tomtéž bloku v záložce „Output Saturation“ kliknutím zpřístupněte možnost „Limit output“ a nastavte horní („Upper saturation limit“) na max. hodnotu průtoku (přítoku) na hodnotu $0,0005 \text{ m}^3/\text{s}$ (tj. $0,5 \text{ l/s}$) a dolní („Lower saturation limit“) ponechte na hodnotě 0.

Tímto jste nastavili omezení akčního zásahu na maximální možný průtok omezený fyzikálními parametry.

- b) Spusťte simulaci a pozorujte rozdíl mezi regulací pomocí ideálního a reálného PID regulátoru. Porovnejte rovněž jednotlivé akční zásahy. Výsledné grafy si opět uložte.

Úkolem je nyní experimentálně naladit reálný PID regulátor, tj. nastavit regulátor tak, aby se regulovaná veličina $y(t)$ co nejvíce blížila požadované hodnotě $w(t)$, tj. tzv. minimalizovat regulační odchylku $e(t)$.

- c) Pokuste se experimentálně doladit parametry reálného PID tak, abyste získali optimální (z vašeho pohledu) průběh regulované veličiny. Výsledné grafy ($y(t)$ a $u(t)$) i nastavení PID regulátoru si opět uložte.

Pozn.: V případě zájmu si projděte funkci „Tune“ (nápořevu naleznete online) a porovnejte získané výsledky s vaším řešením.

Úkol č.5: Regulace „reálného“ systému pomocí „reálného“ PID regulátoru“

Dosud jste se zabývali regulací poměrně idealizovaného systému, tj. LTI systému. Nyní zkusíte aplikovat získané výsledky na trochu reálnější model, a sice původní nelineární model soustavy.

Přejděte do sekce UKOL c.5: REGULACE NELINEARNÍ SOUSTAVY REALNYM PID REGULATOREM. Model obsahuje regulační smyčku obsahující reálný PID regulátor. Rozdíl oproti předchozímu úkolu je v regulované soustavě. Zde se jedná o nelineární model.

- a) Blok PID regulátoru nastavte dle výsledků získaných v předchozím úkolu. Spusťte simulaci a vyhodnoťte výsledky regulace nelineárního systému. Porovnejte s výsledky získanými v předchozím úkolu (**včetně akčních zásahů**). Výsledné grafy ($y(t)$ a $u(t)$) včetně hodnot nastavených parametrů si uložte.
- b) Pokud je to nutné, doladte parametry PID pro nelineární model soustavy. Opět uložte výsledné grafy ($y(t)$ a $u(t)$) a nastavení.
- c) Popište, k jakým rozdílům došlo v případě regulace LTI a nelineární soustavy v tomto případě.

Úkol č.6: „On-off regulace“

Dosud jste se zabývali regulací využitím PID regulátoru. Nyní se zaměříte na použití jiné metody, a sice jednoduchého on-off regulátoru. Tento regulátor je tvořen nelineárním prvkem „relé s hysterezí“.

Cílem je nastavit vhodně hysterezi regulátoru tak, aby byla regulace dané soustavy z vašeho pohledu optimální, a to **s ohledem na frekvenci spínání a velikosti pásma kmitání pro danou aplikaci ovládání ventilu, tj. s ohledem na reálnou implementaci tohoto regulátoru a jeho možnosti.**

Přejděte do sekce UKOL c.6: REGULACE REALNE SOUSTAVY REALNYM ON-OFF REGULATOREM obsahující reg. smyčku s on-off regulátorem.

- a) Prostudujte funkci bloku Relay (viz nápověda MATLAB) a ujasněte si funkci jednotlivých parametrů.
- b) Nastavte parametry bloku Relay (v modelu blok „Rele s hystetézí“) tak, aby jeho funkce odpovídala reálné situaci, tj. zavřeno (off) odpovídá průtoku 0, otevřeno (on) odpovídá maximálnímu průtoku $0,0005 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0,5 \text{ l/s}$). Dále nastavte v bloku „Rele s hystetézí“ z vašeho pohledu optimální hodnotu hystereze. **Svoji výslednou volbu zdůvodněte.**
- c) Zapište si hodnoty všech nastavení a uložte si všechny grafy regulované veličiny i akčního zá-
sahu.
- d) Porovnejte výsledky získané využitím reálného PID regulátoru a on-off regulátoru při regulaci reálné soustavy. Výsledný graf uložte.

3 Shrnutí úlohy

Nyní jste prošli cestou, jak se reálně provádí simulace a ladění PID regulátoru v případě, že neznáte žádnou matematickou či experimentální metodu, jak navrhnout či „odhadnout“ parametry PID regulátoru (a zřejmě jste zjistili, že takový přístup je poměrně časově náročný i pro tento velmi jednoduchý typ soustavy).

Tyto metody většinou vycházejí z matematického popisu modelu soustavy (viz navazující kurz BPC-SAS) a dále aplikace návrhových postupů a metod pro výpočet parametrů PID (viz BPC-RR1 a BPC-RR2). V uvedených kurzech se dozvíte potřebnou teorii řízení vycházející z matematické analýzy a následné syntézy regulačních obvodů. Pokud vás regulace zaujme a budete chtít umět aplikovat tyto postupy i na opravdu reálné problémy, je vhodné se dále věnovat zápisem některých volitelných kurzů, viz např. BPC-CRT, apod.

4 Požadavky na odevzdání

Projekt se bude odevzdávat **prostřednictvím e-learningu do UVEDENÉHO TERMÍNU.**

Odevzdávat se bude **.zip soubor** obsahující model **.slx** (vámi upravený dle zadání s vypracováním všech úkolů) a dále **„dokumentaci“** v **.pdf** shrnující získané výsledky (dle zadání).

Dokumentace **bude obsahovat:**

- **hlavičku** (stačí vyplnit jméno, ID, rok, kurz)
- **zpracování** - vždy uvést označení úkolu (např. Úkol 1 a)) a k němu všechny popisy, výsledky, parametry, grafy a odpovědi na otázky, které jsou požadovány v daném bodu zadání
- **závěr** – shrnutí dosažených výsledků úlohy

Není zde tedy cílem vytvářet klasickou projektovou dokumentaci s teoretickým rozbořem apod., ale věcně shrnout a okomentovat získané výsledky. Ty pak budou diskutovány v rámci obhajoby projektu.

Pozn. Pro vypracování projektu stačí stáhnout a nainstalovat **MATLAB + Simulink, Control System Toolbox** a doporučuji ještě **Signal Processing Toolbox**.