

## Automatické řízení – semestrální úloha

# VODÁRNY (SPOJENÉ NÁDOBY)

### Modelování

Cílem modelovací části je získat rozumně přesný model pro jeho pozdější řízení.

Úlohy (hodnocení je pouze doporučené):

1. Ověřte komunikaci laboratorního modelu s Matlabem (pouze laboratorní varianta – MASTER).
2. Seznamte se s matematickým modelem vašeho typu vodárny. Napište si jeho stavové rovnice.
3. Proveďte linearizaci modelu ve vhodně zvoleném pracovním bodě. Nezapomeňte, že ventily jsou také vstupy do systému. [10 %]
4. Identifikujte všechny statické nelinearity modelu typu saturace vstupů a stavů a pásma necitlivosti. [5 %]
5. Navrhněte a uskutečňte experimenty pro zjištění skutečných parametrů nelineárního modelu. Tyto experimenty proveďte pro stejnou konfiguraci ventilů. [20 %]
6. Vytvořte v Simulinku nelineární a linearizovaný model včetně všech omezení a necitlivostí. [5 %]
7. Porovnejte odezvy nelineárního, linearizovaného a zadaného reálného/virtuálního systému na vhodně zvolené vstupní signály a počáteční podmínky. Nezapomeňte do grafů uvést vstupní signál, je-li to možné. Zhodnoťte modelační část. [10 %]

Při identifikaci často není nutné (a ani možné) identifikovat každý jednotlivý parametr matematického modelu, stačí identifikovat vhodně substituované a sdružené parametry. Odevzdávejte zprávu o modelační části a simulinkové modely (všechny modely v jednom mdl/slx souboru).

### Regulace

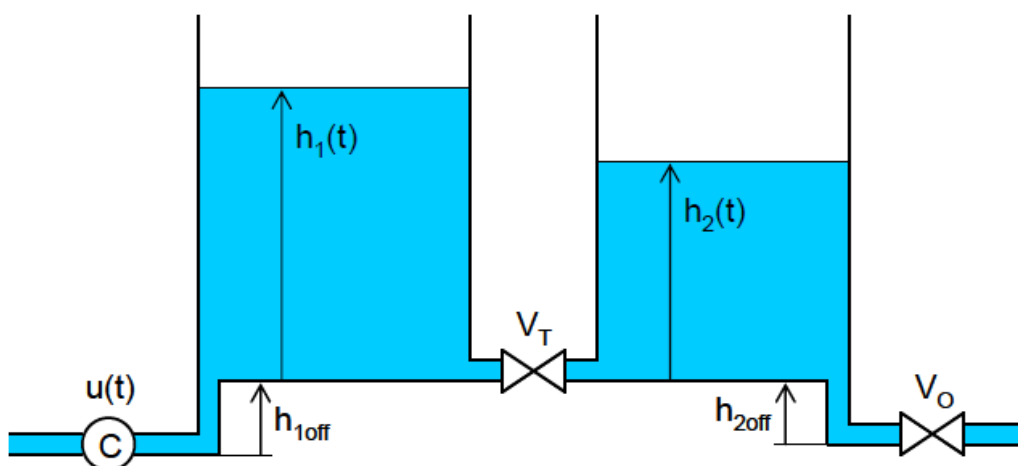
Jako regulovanou veličinu uvažujte výšku hladiny  $h_2$ . Návrh regulátorů provádějte pro linearizovaný systém. Navržené regulátory ověřujte nejprve na linearizovaném modelu, poté na nelineárním modelu v okolí pracovního bodu a nakonec na zadaném reálném/virtuálním systému v okolí pracovního bodu. Při návrhu respektujte omezení rozsahu vstupního signálu systému.

Pro každý navržený regulátor zhodnoťte odezvu na alespoň tyto vstupní signály: skok reference a skok poruchy působící na vstupu soustavy. Při porovnání jednotlivých regulátorů do grafů nezapomeňte uvést vstupní signál a akční zásah.

Úlohy (hodnocení je jen doporučené):

1. Navrhněte a odzkoušejte alespoň tři vhodné typy dynamického zpětnovazebního regulátoru od výstupu pro regulaci výšky hladiny  $h_2$  [m] (lead, lag, lead-lag, P, PI, PD, PID, PD s filtrovanou D složkou, PID s filtrovanou D složkou). Každý z regulátorů navrhněte jinou metodou. Alespoň jeden regulátor musí mít nulovou odchylku v ustáleném stavu (zbývající maximálně 8%) na skok žadané hodnoty. Alespoň jeden regulátor musí mít nulovou ustálenou odchylku na skok poruchy působící na vstup soustavy. Požadavkem je dosažení co nejkratší doby regulace pro daný typ regulátoru s dovoleným maximální překmitem 20%. [30 %]
2. Navrhněte a odzkoušejte regulaci se stavovou zpětnou vazbou s nulovou regulační odchylkou v ustáleném stavu s překmitem max. 20%. [20 %]

# DVOUVÁLCOVÁ VODÁRNA S ODSTŘEDIVÝM ČERPADLEM



Obr. 1- Dvouválcová vodárna s odstředivým čerpadlem

Jedná se o nelineární stabilní systém se třemi vstupy

- napětí na odstředivém čerpadle  $u$  [V] (akční veličina),
- míra otevření  $v_T$  [–] přepouštěcího ventilu  $V_T$  (poruchová veličina), 0 – uzavřen, 1 – plně otevřen
- míra otevření  $v_O$  [–] vypouštěcího ventilu  $V_O$  z pravé nádrže (poruchová veličina), 0 – uzavřen, 1 – plně otevřen

a dvěma výstupy

- výška hladiny v první (levé) nádrži  $h_1$  [m],
- výška hladiny v druhé (pravé) nádrži  $h_2$  [m].

Čerpadlo čerpá vodu do první (levé) nádrže, odkud přetéká do druhé (pravé nádrže) přes přepouštěcí ventil  $V_T$ . Z druhé (pravé nádrže) voda odtéká zpět do zásobníku přes vypouštěcí ventil  $V_O$ .

## Modelování

Za předpokladu zanedbatelné dynamiky odstředivého čerpadla vůči dynamice celého systému a za předpokladu, že se hladina v nádrži pohybuje mnohem pomaleji, než je výtoková rychlost, lze tento systém popsat následujícími rovnicemi:

$$\begin{aligned} S\dot{h}_1(t) = & S_u \operatorname{sgn}[k_c(u(t) - u_N)^2 \\ & - \rho g(h_1(t) + h_{1off})] \sqrt{\frac{2}{\rho} |k_c(u(t) - u_N)^2 - \rho g(h_1(t) + h_{1off})|} \\ & - v_T S_T \operatorname{sgn}(h_1(t) - h_2(t)) \sqrt{2g|h_1(t) - h_2(t)|} \\ S\dot{h}_2(t) = & v_T S_T \operatorname{sgn}(h_1(t) - h_2(t)) \sqrt{2g|h_1(t) - h_2(t)|} - v_o S_o \sqrt{2g(h_2(t) + h_{2off})} \end{aligned}$$

kde  $S, S_o, S_u$  a  $S_T$  [ $\text{m}^2$ ] je po řadě průřez obou válců, ventilu  $V_o$ , potrubí za čerpadlem a ventilu  $V_T$ ,  $k_c$  [ $\text{Pa V}^{-2}$ ] je konstanta čerpadla,  $g$  [ $\text{ms}^{-2}$ ] je gravitační zrychlení,  $\rho$  [ $\text{kg m}^{-3}$ ] je hustota vody,  $u_N$  [V] je necitlivost čerpadla.

Čerpadlo obsahuje pásmo necitlivosti, rozsah vstupního signálu je omezen.