

# VODNÍ ELETRÁRNA E1

Řízení laboratorního modelu

## 1 Zadání

Laboratorní model Vodní elektrárna E1 (obr. 1) představuje systém s výrazným a proměnným dopravním zpožděním. Více se o tomto modelu dozvíte na stránkách Laboratoře K23 [1].

Cíl této úlohy je řídit otáčky soustrojí turbínka - tachodynamo u nějž měříme výstupní napětí. Pomocnou regulací je pak řízení výšky hladiny v horní nádrži při proměnném odběru vody. K řízení lze použít kratší přivaděč (bílá hadice), který dává menší dopravní zpoždění, nebo delší (modrá hadice) s větším zpožděním.

Nejprve navrhněte vhodný regulátor pro řízení výšky v horní nádrži. Pak regulátory otáček pro alespoň dvě podstatně rozdílné výšky hladin v horní nádrži pro oba přivaděče.

**POZOR** Při řízení je nutné kvůli výraznému dopravnímu zpoždění použít Smithův prediktor. Informace k němu najdete v materiálech k přednáškám na [2] nebo v doporučené literatuře k předmětu.



Obrázek 1: Vodní elektrárna E1

**Požadavky na řízení:**

1. Navrhněte a odzkoušejte vhodné typy realizovatelných regulátorů pro obě následující podmínky:
  - je povolena odchylka do 5% v ustáleném stavu na skok řídicí veličiny,
  - je požadována nulová regulační odchylka v ustáleném stavu na skok řídicí veličiny.
2. Navrhněte regulátor vždy tak, aby doba regulace pro pásmo  $\pm 5\%$  byla co nejkratší při maximálním povoleném překmitu 30%.

**Metody návrhu řízení:**

Návrh regulátorů proveděte (vyberte a vyzkoušejte různé typy regulátorů):

1. Empirickými metodami:
  - „ručně“ metodou cyklické optimalizace konstant regulátoru
  - podle Zieglera-Nicholse
2. Frekvenčními metodami:
  - pomocí kompenzací lead, lag a lead-lag
  - regulátory typu P, PI, PD a PID
3. Metodou umístění pólů uzavřené regulační smyčky:
  - pomocí geometrického místa kořenů
  - výpočtem polohy dominantních pólů

Návrh proveděte jak pro ideální varianty PID regulátoru, tak i pro jeho realizovatelnou podobu, která má omezen zisk derivační složky na vyšších frekvencích na hodnotu  $k_P N$ :

$$k_D s \rightarrow \frac{k_D s}{\frac{k_D}{k_P N} s + 1}$$

Filtr při návrhu aplikujte na celý přenos regulátoru, i když při realizaci jím bude ovlivněna pouze derivační složka.

**Doporučený postup:**

1. Ověřte jednoduchým experimentem přenos systému ve zvoleném pracovním bodě.
2. Nejprve navrhněte všechny požadované regulátory jako ideální a pak teprve přidejte filtrace v případě, kdy je nutná. Nezapomeňte na dodržení vzorkovacího teorému pro filtr.
3. Odzkoušejte regulátory na nelineárním modelu v Simulinku na skok řídicí veličiny z nuly do pracovního bodu a v pracovním bodě při změně žádané hodnoty o 10%. Ověřte též na lineárním modelu v Simulinku. Uvažujte přitom omezení akčních veličin a případně použijte antiwindup, pokud je potřeba.

4. Pro jeden zvolený regulátor vyzkoušejte na laboratorním modelu regulaci z prázdné nádrže do pracovního bodu. Dále vyzkoušejte dva nejvhodnější regulátory pro velikost odchylky podle Požadavků na řízení (tj. celkem 4 regulátory) v okolí pracovního bodu (vyzkoušejte skok žádané hodnoty v obou směrech).

**Zpracování výsledků:**

1. Prezentujte ověření platnosti přenosu systému. **1 bod**
2. Pro každý navržený regulátor do tabulky přehledně zaznamenejte: typ regulátoru, konstanty regulátoru, fázovou a amplitudovou bezpečnost, velikost překmitu přechodové charakteristiky, ustálenou regulační odchylku odezvy na skokovou změnu požadované hodnoty, dobu regulace pro pásmo regulace  $\pm 5\%$  od ustálené hodnoty při uvažování omezení akčních veličin. **5 bodů**
3. Zvolte si dva typy regulátorů s nulovou regulační odchylkou na skok řídicí veličiny, které jste nastavili třemi různými metodami (tj. celkem 6 regulátorů). Přechodové charakteristiky těchto regulačních obvodů zobrazte do jednoho grafu a popište je, do jednoho grafu také vykreslete frekvenční charakteristiky uzavřené smyčky a polohy pólů uzavřené smyčky. Diskutujte rozdíly v kvalitě regulace v souvislosti s použitým typem regulátoru a metodou návrhu. **2 body**
4. Pro velikost odchylky podle Požadavků na řízení vyberte vždy jeden regulátor, který se nejlépe choval na fyzikálním modelu, a porovnejte v jednom obrázku jeho naměřenou přechodovou charakteristiku se simulovanou na lineárním i nelineárním modelu. **5 bodů**
5. Porovnejte kvalitu a čas regulace z prázdné nádrže do pracovního bodu oproti regulaci v lineárním rozsahu. **2 body**

Jestliže se nepodařilo některý typ regulátoru navrhnut nebo splnit některý z požadavků, zdůvodněte to.

**Formální zpracování a prezentace:**

Pokyny a požadavky na formální zpracování výsledků (**5 bodů**) a tvorbu prezentace (**2 body**) jsou uvedeny na webových stránkách předmětu na [2]. Za odevzdání laboratorní zprávy v angličtině můžete získat až **4 body** navíc. Pokud je to možné, vynášejte do grafů veličiny ve skutečných jednotkách (např. volty, centimetry apod.).

## Reference

- [1] CHARVÁT, David; PILNÝ, Michal. *Webové stránky Laboratoře Allen - Bradley (K23)* [online]. 2010 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <[http://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/index.php/Laboratoř\\_Allen-Bradley](http://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/index.php/Laboratoř_Allen-Bradley)>
- [2] Katedra řídicí techniky. *Stránky předmětů Katedry řídicí techniky FEL ČVUT : Moodle* [online]. 2010 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://support.dce.felk.cvut.cz/e-kurzy/>>.