

Návrh řízení turbogenerátoru s Francisovou vodní turbínou

Milan Kolář <milan.kolar1@tul.cz>

V této stati je shrnuta aplikace řídicího algoritmu aktivní kompenzace poruchy na dynamický model Francisovy vodní turbíny. Cílem je ověřit robustnost algoritmu na systému s významným vlivem vnitřních nelinearit. V první části je popsána struktura a teoretický základ řídicího algoritmu. Druhá část stati obsahuje popis simulovaných podmínek a diskusi nad výsledky simulací.

Klíčová slova: nelineární systém, vodní turbína, simulace, ADRC

Úvod

Cílem této práce je popsat aplikaci metody aktivní kompenzace poruchy na nelineární model vodní turbíny. Řešení se zaměřuje na řízení otáček turbíny a kompenzaci poruchy výkonu turbogenerátoru.

Metodika

Vodní turbínu lze charakterizovat jako pohon s vysokou účinností využívající energie vodního spádu. Z pohledu řízení se jedná o nelineární systém s neminimální fází [1], [2]. Turbogenerátor se skládá z vodní turbíny spojené se synchronním hydroalternátorem

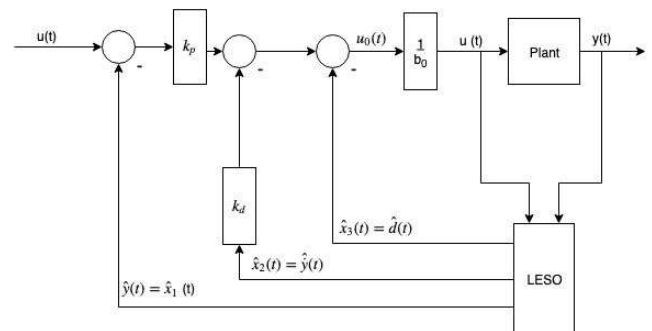
Řízení provozu turbogenerátoru lze rozdělit do dvou základních fází [3]. Během první fáze najíždění se uplatní řízení otáček turbíny, kdy je nutné dosáhnout stejné výstupní frekvence hydroalternátoru a elektrické sítě. V druhé fázi řízení se uplatní řízení výstupního výkonu vodní turbíny. Úkolem je zachování synchronní frekvence při zvyšování výstupního výkonu hydroalternátoru. [1].

Řídicí algoritmy běžně používané v praxi v současné době jsou stále založené na PID regulátorech s případnými rozšířeními pro snížení vlivu nelinearit například gain schedulingu [4].

Pro návrh řídicího algoritmu turbogenerátoru je nutné zvolit metodu, která je schopna zajistit stabilitu nelineárního systému s neminimální fází a zároveň ovládat rychlou dynamiku systému při zohlednění omezujících podmínek a možných omezení na straně výpočetní kapacity aktuálních řídicích jednotek.

Řízení turbogenerátoru je realizováno metodou aktivní kompenzace poruchy (active disturbance rejection control / ADRC) s lineárním rozšířeným stavovým estimátorem (linear extended state observer / LESO) [5].

ADRC je metoda založená na zavedení stavové zpětné vazby z LESO připojenému k systému. Pomocí LESO lze získat informaci o neměřené poruše a neurčitostech systému. Při návrhu je nutné zvolit, zda má systém dominantní dynamické chování prvního nebo druhého řádu a s ohledem na to volit strukturu LESO.



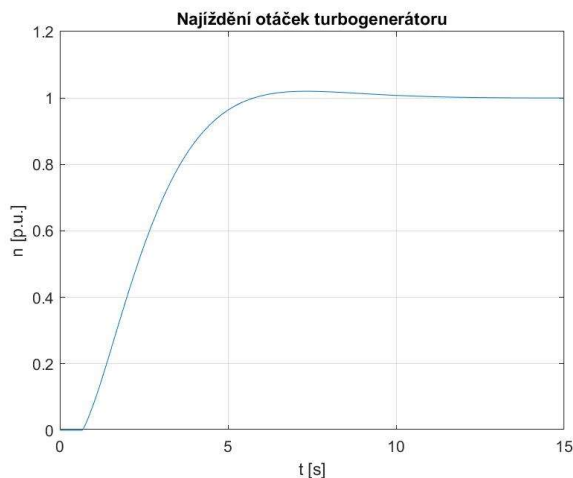
Obrázek 1: Schéma ADRC dominantně 2. řád

Výsledky a diskuze

Pro parametrizaci řídicího algoritmu je možné použít různé metody, v případě této práce jsou použity algebraické vztahy. Omezující podmínky jsou zahrnuty v modelu dynamiky servomechanismu ovládacím průtok turbínou. Pro návrh je předpokládáno dominantní chování 2. řádu.

Pro řešení problému řízení otáček byla vybrána kaskádní struktura regulace, neboť v případě jednoduché zpětnovazební struktury docházelo

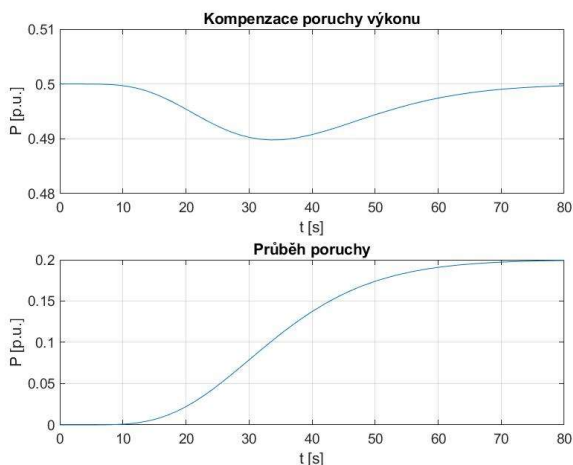
k nežádoucímu překmitu vyššímu než 20 % žádané hodnoty.



Obrázek 2: Řízení otáček turbogenerátoru

Z podstaty procesu je nutné snížit toleranční pásmo výstupu z obvykle uváděných 2 % na 0,5 %. Ustálení hodnoty je dosaženo za ≈ 11 s. Překmit na během přechodového procesu dosahuje $\approx 1,5$ %.

V druhé části procesu je řízení zaměřeno na regulaci výstupního výkonu turbíny. Cílem regulace je kompenzace poruchy, v tomto případě změny výkonu hydroalternátoru.



Obrázek 3: Kompenzace poruchy výkonu

V grafu je zobrazen výsledek simulace. Žádaná hodnota výkonu je 0,5. Porucha vstupuje na výstup systému, stejně jako je tomu v případě změny výkonu hydroalternátoru. Porucha je dána přenosovou funkcí s ustálenou hodnotou 0.2. Doba ustálení poruchy je

≈ 80 s. Z grafu je patrné, že řídicí systém dokáže vykompenzovat poruchu a zároveň udržet žádanou hodnotu výkonu v 2 % tolerančním pásmu.

Závěr

V článku je popsána aplikace metody ADRC na nelineární model vodní turbíny. Při aplikaci řízení otáček turbogenerátoru je dosaženo ustálení v zúženém tolerančním pásmu za 11 s. Během simulace řízení výkonu dochází ke kompenzaci poruchy. Výstup je udržen v 2 % tolerančním pásmu a porucha je zcela kompenzována.

Následující práce by měla směřovat k dalšímu zlepšení odezvy soustavy na poruchu. Přestože je soustava nelineární a neumožňuje výrazné změny v parametrech řídicího algoritmu kvůli vznikajícím oscilacím, možné řešení by mohlo být zavedení dopředné vazby.

Poděkování

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2019.

Reference

- [1] *The electric power engineering handbook*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. ISBN 0-8493-8578-4/01.
- [2] IEEE WORKING GROUP. Hydraulic turbine and turbine control models for system dynamic studies. *Transactions on Power Systems*. 1992, (7), 167 – 179.
- [3] KOLEKTIV AUTORŮ. *Řízení a stabilita elektrizační soustavy*. Praha: AEM, 2013. ISBN 978-80-260-44671-1.
- [4] RUZHEKOV, G., Ts. SLAVOV a T PULEVA. *Modeling and implementation of hydro turbine power adaptive control based on gain scheduling technique*. Hersonissos, 2011.
- [5] A Simulative Study on Active Disturbance Rejection Control (ADRC) as a Control Tool for Practitioners. *Electronics* [online]. 15. 8. 2013, , 247-279 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: www.mdpi.com/journal/electronics