

Oponentský posudek disertační práce doktoranda Ing. Martina Veselého vypracované na téma: „Adaptivní metody pro řízení hydraulických systémů“

Disertační práce se zabývá adaptivním řízením hydraulických systémů s elektromagneticky řízenými proporcionálními ventily. Navržené regulátory jsou schopny měnit své parametry v závislosti na změnách vlastností proporcionálního ventilu jako je zesílení ventilu, hystereze a mrtvé pásmo šoupátka v reálném čase.

Cíle stanovené v disertaci byly dosaženy. Regulátor s algoritmem učení je schopen řídit hydraulický systém bez předřadné elektroniky a zároveň je schopen reagovat na změny řízeného hydraulického systému v reálném čase. Cílů bylo dosaženo primárně rozšířením kritériálních funkcí.

Rozbor současného stavu je poměrně rozsáhlý, jedná se o popis přibližně 50 odborných článků na dané téma se stručným komentářem. Témata článků v přehledu jsou hlavně zaměřena na téma disertace, články na téma klasických a/nebo adaptivních algoritmů řízení hydraulických systémů jsou v přehledu výrazně méně zastoupeny.

Teoretický přínos disertační práce je uveden ve čtvrté kapitole. Avšak z kapitoly není zřejmé, které z výsledků zde popsaných byly vytvořeny autorem práce a které výsledky jsou převzaté. Celá kapitola má formu stručného obecného popisu algoritmů. V některých podkapitolách se autor odkazuje na své předchozí publikace, ale ani tak není zcela zřejmé zda zde uváděné výsledky jsou autorem převzaté, modifikované anebo zcela nové.

Praktický přínos disertační práce byl ukázán v simulacích a na reálném experimentu v kapitole 6. V simulační části bylo simulováno několika vybranými regulátory polohování pístnice na modelu hydraulického ventilu se skokovou změnou hystereze šoupátka ventilu, změnou statické charakteristiky ventilu, změnou mrtvého pásma šoupátka a změnou zesílení ventilu. Všechny tyto skokové změny odpovídají reálným změnám v chování ventilu v průběhu jeho opotřebování a stárnutí. Ze simulací je zřejmé, že všechny navržené regulátory s algoritmy učení jsou schopny se na tyto poruchy adaptovat a pístnici přesně polohovat. V kapitole 6.5 bylo ukázáno řízení reálného hydraulického systému s LNU jako regulátorem a LNU jako modelem řízeného systému s permanentním doučováním vah. Během experimentu bylo dosaženo stejné přesnosti řízení jako při řízení hydraulického systému průmyslovým regulátorem.

V práci jsou uvažovány pouze dva regulátory MRAC a MPC. Žádné jiné regulátory v práci uvažovány nejsou. Ani v simulacích v kapitole 6 se tyto dva regulátory neporovnávají s žádnými dalšími regulátory pro polohování pístnice. Regulátory jsou doplněny modely soustav reprezentované modely HONU a T-S HONU. Ani v tomto případě autor práce neuvažuje jiný způsob reprezentace modelů soustav. Jednoznačná volba regulátorů ani modelů soustav není autorem práce nijak podrobně zdůvodněna.

Z hlediska formální úrovně práce mám několik připomínek. První úvodní kapitola je primárně motivační, zatímco druhá kapitola *Současný stav poznání* v sobě obsahuje jak úvod do problematiky, tak i současný stav poznání. Z pohledu čtenáře by bylo vhodnější obsah kapitoly

rozdělit na úvodní část a přehled současného stavu poznání. Ve třetí kapitole *Cíle disertační práce* autor vyzdvihuje tři požadavky na algoritmus řízení hydraulických systémů s elektromagneticky řízenými proporcionálními ventily, ze kterých si stanovuje tři cíle své disertační práce. Nevidím však souvislost mezi třetím bodem požadavků na algoritmus řízení a třetím bodem cílů disertace. Název čtvrté kapitoly *Teorie* je trochu zavádějící. Kapitola se zabývá regulátory, modely soustav a optimalizací parametrů modelu. Celá kapitola je dělena do velkého množství podkapitol a je poměrně náročné se pro čtenáře v jednotlivých podkapitolách a jejich návaznosti orientovat. V páté kapitole se autor disertace zabývá sestavením simulačního modelu lineárního hydromotoru a jeho řídicího ventilu. Tato kapitola působí jako nedokončená. V první části kapitoly je uvedeno několik pohybových rovnic a v druhé části kapitoly jsou ukázány dva simulační modely v Matlab/Simulink a Matlab/Simscape. Souvislosti mezi uvedenými rovnicemi a modely v kapitole uvedené nejsou. Název šesté kapitoly *Experimentální část* je také poměrně zavádějící neboť je z větší části tvořena simulacemi a na závěr popisuje jednoduchý experiment na reálném hydraulickém standu. Dále, osobně si myslím, že jednostranný tisk měl své opodstatnění v době, kdy se závěrečné práce psaly na psacím stroji.

I přes výše zmíněné připomínky **doporučuji práci k obhajobě.**

Otázky na doktoranda:

- Vyjasněte souvislost mezi třetím bodem požadavku na algoritmus řízení a třetím bodem cílů disertace.
- Které z teoretických výsledků uvedených ve čtvrté kapitole jsou vámi nově vytvořené a publikované výsledky.
- Ukažte souvislosti mezi rovnicemi a modely uvedenými v páté kapitole.
- Z jakého důvodu byl výpočet akčního zásahu během experimentu na reálném zařízení prováděn na PC v prostředí Matlab/Simulink a ne na jednoduchém průmyslovém regulátoru (např. Siemens Simatic) jak uvádíte ve svých požadavcích na algoritmus řízení v kapitole 3? Byl by schopen jednoduchý průmyslový regulátor (např. Siemens Simatic) spočítat akční zásah?
- V kapitole 4.7, která pojednává o stabilitě uzavřeného regulačního obvodu, je uvedena podmínka stability uzavřeného regulačního obvodu (4.105), ale není ukázáno, že tato podmínka je či není splněna. Autor pouze konstatuje, že dosazením (4.121), (4.125), (4.128), (4.129) do (4.105) lze dopočítat stabilitu uzavřeného regulačního obvodu. Ale v závěru práce autor tvrdí, že v kap. 4.7 byl proveden rozbor stability, který je klíčový ke splnění 2. cíle práce. Provedl jste rozbor stability?

V Praze dne: 28.5.2021

Ing. Milan Anderle, Ph.D.