Posudek oponenta diplomové práce

Diplomant: Bc. David Mucha

Název práce: Stavová regulace soustavy motor-generátor

Vedoucí práce: Ing. Libor Kupka, Ph.D.

Diplomant se zabýval řízením laboratorního modelu motor-generátor z prostředí SIMULINK. V souladu se zadáním DP bylo provedeno připojení soustavy k PC s možností měřit a ovládat potřebné signály z prostředí SIMULINK. Dále diplomant provedl identifikační experimenty, určil spojitý dynamický model systému a na jeho základě provedl návrh estimátoru a stavového regulátoru. Dále provedl simulaci řízení a regulační experimenty na reálném systému. Lze konstatovat, že cíle DP byly splněny.

V prvních sedmi kapitolách se na 50 stranách diplomant zabývá problematikou stavového popisu ve spojité i diskrétní oblasti, problematikou odhadu stavu včetně redukovaného a stochastického (Kalmánova) estimátoru, problematikou návrhu diskrétního stavového regulátoru včetně úlohy sledování žádané metodou umístění pólů i jako řešení optimalizační úlohy, problematikou experimentální identifikace a stabilitou dynamických systémů. Z tohoto výčtu je zřejmé, že rozumně popsat vyjmenované na padesáti stranách je nadlidský úkol. Je samozřejmě plně na diplomantovi, co a v jakém rozsahu do práce zahrne, ale to, co uvede by mělo být uvedeno správně, formulace by měly být srozumitelné a zavedené označení konzistentní.

Toto bohužel to splněno není. Např. na str. 19 je zavedeno označení *k* pro diskrétní čas a na str.21 je už v (2.9) *k* použito ve standardním významu pořadového čísla vzorku. Rovněž matoucí je používání vlastních pojmů. Např. na str. 22 je použito „*vzdálenost dvou okamžiků*“ místo standardně používaného pojmu interval vzorkování. Vysloveně nesprávné je používání pravého horního indexu ve významu jak derivace příslušného řádu – rovnice (2.15), (2.20), (2.25) tak i v běžném významu jako mocniny – rovnice (2.14), (2.19), (3.5) a další. Nevhodnou formou zápisu je zápis intervalu <od , do> se znakem mínus jako oddělovačem (str. 29, 30 a 31). Některé formulace jsou nejasné „*Další z vlastností dynamického systému je stabilizovatelnost*“ na str. 31, jiné jsou zavádějící „*Šumový signál je potřeba za účelem řízení minimalizovat*.“ na str. 32, „*Výskyt šumu ve výstupní veličině znamená, že šum se vyskytuje i ve stavovém vektoru*“ na str. 38., *„Princip regulátoru ve stavovém prostoru je založen na tom, že přesune póly regulované soustavy*“ na str. 40, „*Velké akční zásahy mohou vést k nestabilnímu chování soustavy*“ na str. 43 atd.

Kromě těchto připomínek k formulacím mám k teoretické části několik konkrétních poznámek:

- Zavedení diskrétních vzorků signálu rovnicí (2.10) str. 21 je špatně
- A(s) není Laplaceův obraz vstupní veličiny (2.16) str. 24
- Matice definovaná vztahem (3.8) je pro SISO systém vždy skalár. Jaký význam má porovnání její hodnosti s rozměrem stavového prostoru?
- Proč se liší podmínky autonomnosti (4.5) a (4.18)?

Praktická část – tj. kapitoly 8 a 9 – je v rozsahu 30 stran a obsahuje převážně výsledky ze simulací a tři experimenty na zařízení. K této části práce mám dvě principiální připomínky. První se týká měření pro získání představy o dynamických vlastnostech systému. Interval vzorkování je sice zvolen dobře, ale změna vstupního signálu je pouze jedním směrem a je malá, takže odezva se ztrácí v šumu. Pro zobrazení na obr. 9.4 je zvoleno naprosto nevhodné

časové měřítko. Z průběhu nelze určit, zda chování odpovídá spíše (pseudo) prvnímu či vyššímu řádu a zejména není možné určit, zda soustava motor-generátor vykazuje stejnou odezvu při zvýšení vstupního signálu jako při stejném snížení. Částečně je odlišné chování pozorovatelné ze záznamu regulace s PI regulátorem na obr. 9.25. Toto specifické chování systému motor-generátor bylo změřeno v rámci diplomové práce pana Kořínka (obr. 8.2 na str. 25). Je tedy zajímavé, že diplomant buď toto chování nezjistil či nepovažoval za nutné se o něm zmínit.

Druhá připomínka se týká určení spojitého aproximačního přenosu soustavy z naměřených dat. Zřejmě byla použita část měření pro určení statické charakteristiky. Průběh vstupního signálu (obr. 9.4) se změnami pouze jedním směrem, který v naprosté většině obsahuje ustálený stav, není pro určení dynamických vlastností vhodný zejména pokud systém vykazuje výše uvedené specifické chování. Bez bližších informací je i volba struktury modelu – v případě lineárního dynamického systému stupně derivací vstupního a výstupního signálu případně vyloučení komplexních kořenů. Jediná informace k tomuto problému je věta „*Při identifikaci bylo rozhodnuto, s přihlédnutím na hodnotu kritéria a poměru časových konstant, že data vhodně vystihuje přenos druhého řádu*“. Nejsou uvedeny ani hodnoty kritérií ani průběhy aproximace měřených dat příslušnými modely, aby bylo možné posoudit aspoň subjektivně změnu kvality aproximace při změně struktury modelu.

K praktické části se nabízí mnoho konkrétních dotazů, vybírám jen některé:

- V praktické části jste se zabýval estimátorem redukovaného řádu zřejmě z důvodu rozšíření stavu o integraci regulační odchylky. Pokud tomu tak je, proč jste nepoužil estimátor stavu původní soustavy a pro potřeby regulátoru hodnotu této složky stavu nepočítal samostatně?
- Používal jste stavový LQ na konečném horizontu. Jakou délku horizontu jste při simulacích použil? Má délka horizontu vliv na průběh regulace?
- Proč je při porovnání pochodů s PI regulátorem na obr.9.24 použil pro každý průběh jiné časové měřítko a jak si vysvětlujete zcela jiný regulační průběh v simulaci a v reálu?
- V práci jsou uvedeny výsledky regulace se stavovým regulátorem pouze na simulacích. Proč ne na reálné soustavě? Proč jste volil hodnoty penalizačních matic, které vedou při regulaci na nesmyslné hodnoty akční veličin (řádově ve stovkách Voltů)?

Při obhajobě DP by mohl diplomant odpovědět na tyto otázky:

1) Z jakých informací (modelu) a předpokladů vychází a jak je formulován cíl návrhu estimátoru podle Kalmána? Při návrhu Kalmánova filtru jste na str. 74 uvedl větu „*Při návrhu byly náhodně voleny koeficienty matic Q_N, R_N a N_N, protože šum vykazuje náhodné vlastnosti*.“ Vysvětlete význam uvedených matic
2) Vysvětlete, jak se určí zesílení R stavové zpětné vazby ve schématu na obr.5.1 str. 40.

Diplomovou práci pana Davida Muchy doporučuji k obhajobě a hodnotím známkou

☞ velmi dobře☜

v Hradci Králové 24.5.2017

……..…….

doc. Ing. František Dušek,CSc.