

Doc. Ing. Ivan Švarc, CSc.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky
Technická 2, 616 69 Brno, E-mail: svarc@fme.vutbr.cz

Oponentský posudek disertační práce

Název práce: **Návrh řízení rotačního pneumatického motoru**

Doktorand: **Ing. Miroslav Vavroušek**

Obor: **Výrobní systémy a procesy**

Pracoviště: **Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní**

Vedoucí práce: **Prof. Ing. Miroslav Olehla, CSc.**

Oponentský posudek byl zpracován na základě dopisu děkana fakulty prof. Dr. Ing. Petra Lenfelda ze dne 13. listopadu 2017, kterým mne v souladu se Zákonem o VŠ č. 111/1998 Sb., § 72, odst. 7, určil oponentem této disertační práce.

Předložená disertační práce obsahuje 118 stran textu a asi 20 příloh. Práci jsem nedostal v elektronické verzi, ačkoliv v textu (např. str. 83) se autor odvolává na příložené CD.

Publikační činnost autora je v příložené příloze. Z 13 publikací je 8 příspěvků na domácích konferencích a 5 na workshopech pro doktorandy.

Téma a cíle disertační práce a zvolené metody zpracování

Podle autora (citace z anotace) práce stručně charakterizuje návrh řízení rotačního pneumatického pohonu se zaměřením na možnosti řízení nelineárních soustav s využitím neuronových sítí a genetických algoritmů. Nevím přesně, co autor míní jako stručnou charakteristiku návrhu řízení. Podle názvu práce bych spíše soudil, že by doktorand měl provést návrh řízení (místo stručné charakteristiky návrhu). Tím pádem jsou pouze řízení pneumatického motoru věnovány prakticky dvě stránky práce ze 118 stran celkem (str. 109 a 110). Ostatní práce je spíše rozbor vlastností pneumatického motoru.

Návrh řízení něčeho si představuji tak, že nejdříve udělám identifikaci regulované soustavy a určím její přenos nebo u nelineárních soustav určím nějaké charakteristiky. Zde musím vyzdvihnout doktorandovu snahu, tuto část provedl velmi pečlivě a podrobně. Pak navrhnu regulátor ať už standardní anebo sestavený a navrhnu jeho parametry tak, aby řízení bylo pokud možno optimální. Výsledný regulační obvod namodeluji třeba v SIMULINKU a potvrdím správnost návrhu a konečně přejdu na skutečné zařízení. Tato druhá část návrhu byla dosti ošizená a doktorand zůstal zadání dosti dlužen. Mám-li tedy hodnotit zvolené metody zpracování pak to vypadá tak, že návrh řízení byl více méně redukován na proměřování a identifikaci soustavy tedy pneumatického motoru než na vlastní navrhování řízení. Ale jako rozbor vlastností pneumatického motoru je možno tuto práci považovat za přínosnou.

Význam práce pro praxi a rozvoj vědního oboru

V disertační práci jsem sice nenalezl slovo přínos, možná pro přílišnou skromnost doktoranda. Téma práce je aktuální a pneumatické systémy se dnes využívají v různých odvětvích průmyslové činnosti i v dopravních prostředcích. Výsledky disertační práce mohou být využity při dalším vývoji komponent pneumatických zařízení. Zkonstruovaný a důkladně popsany měřicí přípravek jistě bude vzorovou ukázkou, jak zjišťovat charakteristiky malých rotačních pohonů. Zde přínos pro praxi v navrhování pneumatických zařízení určitě je. Také je evidentní přínos pedagogický. Je uvedeno, že vytvořená soustava je používána jako učební pomůcka pro výuku studentů. A lze ji použít i pro identifikaci jiných motorů.

Formální úprava a jazyková úroveň disertační práce

Po formální stránce je předložená práce na velmi dobré úrovni, vlastní grafické zpracování jak textu, tak obrázků je přehledné. Mohu konstatovat, že práce je členěna do kapitol přehledně, návaznost jednotlivých kapitol je jasná, text má logickou strukturu.

Připomínky

str. 109 Regulátory nejsou žádnou vyšší formou řízení. Jsou základní formou řízení – nejdříve je ovládání (řízení bez zpětné vazby) a pak je regulace (řízení se zpětnou vazbou). V odstavci 5.3.1 není přechodová charakteristika pneumatického motoru. Tam se snad jedná o regulační obvod, tvořený pneumatickým motorem s nějakou (?) zátěží a nějakým (?) regulátorem. A kmitavost nebo nekmitavost průběhu otáček není vlastností tohoto motoru, ale hlavně použitého regulátoru a jeho nastavení (?).

A to pak je na další straně - cituji: „Po sérii experimentů s různými hodnotami a metodami nastavení PID regulátorů byl zvolen PI regulátor s nastavením proporcionální složky 0,739 a integrační složky 2,8. Nastavení je vhodným kompromisem ...“ Domnívám se, že podobná věta by se v disertační práci s názvem Návrh řízení rotačního pneumatického motoru neměla objevit.

str. 108 Princip ovládání či regulace s optimální účinností není zcela vysvětlen. Kapitola 5.2.4 s grafy na obrázcích 109 a 110 je dosti tajemná a podobně se jeví i kapitola 5.3.3 na str. 110. Dá se tomuto rozumět tak, že regulátor otáček, na jehož vstup je pouze zpětnovazebně přivedena hodnota otáček n a žádaná hodnota n_w dokáže provádět regulační pochod stále s optimální účinností? Anebo výsledný ustálený stav má optimální účinnost?

str. 112 „Protože měření odhalila silnou nelinearitu řízeného motoru, byly otestovány a srovnány dvě aproximační metody umožňující linearizaci řízení daného motoru pomocí inverzní nelinearity.“ Jak se pozná, že řízený motor má silnou nelinearitu?

str. 103 Na obr. 97 je přechodová charakteristika zachycující reakci systému na skokovou změnu průtoku vzduchu. Jak se realizuje tato skoková změna? A co je v tomto případě reakce systému? A poslední věta říká, že přenos je zatížen malým dopravním zpožděním? Dal by se přenos z přechodové charakteristiky určit?

Str. 104 Reakce motoru na změnu brzdného momentu. Z obrázku 99 a předchozích měření je patrné, že mezi veličinami platí nepřímá úměra. Když se odbrzdí, otáčky stoupají. Ale nepřímá úměra?

str. 40 Co jsou časově nezávislé systémy? Nejedná se o prvky, jejichž parametry se s časem nemění? Podle vaší definice to jsou prvky bez dopravního zpoždění.

str. 40 Vztahy (8) a (10) jsou zavádějící. Co znamenají např. hodnoty $\lim_{t \rightarrow \infty} u(t)$, $\lim_{t \rightarrow \infty} y(t)$?

str. 42 U nelineárních systémů není zesílení systému k konstantní ... Lépe používat pojem nelineární prvky. Systém v používaném kontextu je systém se zpětnou vazbou.

str. 67 – 72 Pevnostní výpočty šroubů a podobné výpočty nezapadají do zadání disertační práce.

Závěrečné hodnocení

Pan Ing. Miroslav Vavroušek osvědčil, že ovládá vědecké metody práce při řešení náročných problémů v oblasti rotačních pneumatických motorů a má v tomto oboru hluboké teoretické znalosti. Domnívám se, že předkládaná práce je po úspěšném obhájení dostatečná pro udělení titulu PhD.

Pan Ing. Miroslav Vavroušek splňuje podmínky Zákona o vysokých školách č. 111/98 Sb., §72, odst. 7 pro získání titulu PhD.

Na základě komplexního zhodnocení

---doporučuji---

předloženou disertační práci pana Ing. Miroslava Vavrouška k obhajobě.

V Brně, 20. prosince 2017.


Ivan Švarc

Prof. Ing. Antonín Víteček, CSc., Dr.h.c.
katedra automatizační techniky a řízení
Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava
ul. 17. listopadu 15
708 33 Ostrava - Poruba
tel.: 597 323 485
e-mail: antonin.vitecek@vsb.cz

Oponentský posudek

disertační práce

Autor: **Ing. Miroslav Vavroušek**

Téma: **Návrh řízení rotačního pneumatického motoru**

Oponentský posudek je vypracován na základě dopisu děkana Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci pana prof. Dr. Ing. Petra Lenfelda ze dne 13. listopadu 2017.

Disertační práce Ing. Miroslava Vavrouška „Návrh řízení rotačního pneumatického motoru“ má rozsah 118 stran. Použitá literatura obsahuje 43 položek. V seznamu vlastních publikací je uvedeno 13 položek (4 spoluautor).

1. Aktuálnost zvoleného tématu disertační práce

Disertační práce Ing. Miroslava Vavrouška je věnována analýze vlastností rotačního pneumatického motoru a návrhu jeho řízení pomocí neuronových sítí a genetických algoritmů. Pneumatické motory jsou velmi populární v prostředí s nebezpečím výbuchu a také tam, kde může docházet k jejich častému přetížení. I když vyžadují zdroj stlačeného vzduchu a mají poměrně nízkou účinnost, výše uvedené dvě vlastnosti spolu s vysokou spolehlivostí způsobují, že jsou často používány jak v průmyslových podmínkách, tak i v laboratořích technických škol. Kvalitní řízení pneumatických motorů je významnou podmínkou pro jejich efektivní využívání. Znalost vlastností, návrh a ověření řízení pneumatického rotačního motoru je důležité a také žádoucí.

Z těchto důvodů zvolené téma je aktuální a výsledky disertační práce mohou přispět ke spolehlivému a bezpečnému využití pneumatických rotačních motorů.

2. Metody zpracování disertační práce

Při zpracování disertační práce doktorand použil poznatky a metody z oblasti teorie a prostředků automatického řízení, nelineárních dynamických systémů, konstrukce strojních součástí, teorie neuronových sítí a genetických algoritmů. Nezanedbatelné jsou rovněž potřebné znalosti a zkušenosti z experimentální práce s měřicí stanicí se softwarem LabVIEW a pneumatickými prvky.

Výsledky disertační práce ukazují na zodpovědný přístup doktoranda k řešení daného tématu a jsou dokladem toho, že použité metody a přístupy byly vhodně zvoleny a správně použity.

3. Dosažené výsledky disertační práce a nové poznatky

Za důležité původní výsledky a nové poznatky považuji:

- návrh, realizaci a ověření původního měřicího přípravku včetně upevnění pneumatického motoru;
- změření a vyhodnocení statických charakteristik redukčního tlakového ventilu, proporcionálního průtokového ventilu a rotačního pneumatického motoru;
- linearizaci statické charakteristiky rotačního pneumatického motoru na základě sériové kompenzace a pomocí neuronové sítě;
- ověření linearizace a dynamických vlastností rotačního pneumatického motoru.

4. Přínos pro další rozvoj vědy a techniky

Výsledky dosažené v disertační práci najdou své uplatnění při efektivnějším využívání rotačních pneumatických motorů a přispějí k rozvoji oboru.

5. Připomínky a poznámky k disertační práci

Obecné připomínky:

- Disertační práce neobsahuje přehled současného stavu v oblasti řízení rotačních pneumatických motorů. Větší část 2. kapitoly působí dojem stručného učebního textu.
- Při experimentálních měřeních je třeba alespoň odhadnout chyby měření.
- Chybí podrobnější blokové schéma řízení rotačního pneumatického motoru včetně jeho matematického popisu.
- Text obsahuje nepřesnosti, typ písma v textu a ve vztazích by měl být stejný.

Konkrétní připomínky:

str. 10 – je třeba striktně rozlišovat pojmy „frekvence“ a „úhlová frekvence“ (viz str. 49); co je „magnituda“?; označení impulsní odezvy $h(t)$ nesouhlasí s označením $g(t)$ na str. 48;

str. 36¹¹ – pojem „cílevědomý“ není vhodný, protože obecně regulátor (řídící prvek) nemá vědomí;

str. 41 – označení impulsní odezvy $h(t)$ nesouhlasí s označením $g(t)$ na str. 48;

str. 44, obr. 17 – není vhodné používat pojem „lineární pásmo necitlivosti“;

str. 45 – v technice není vhodné používat nespojitost druhého druhu;

str. 47¹ – v textu se nevyskytují diferenční rovnice.

Disertační práce je zpracována na dobré odborné úrovni, i když ji snižují výše uvedené připomínky. Text jednotlivých kapitol je ucelený a na sebe logicky navazuje.

6. Otázky k řešené problematice

1. Jaký vliv na kvalitu řízení rotačního pneumatického motoru měl způsob linearizace?
2. Je vhodné použití neuronových sítí v průmyslových podmínkách?

7. Splnění sledovaných cílů disertační práce

Cíle stanovené v disertační práci byly splněny v plném rozsahu a získané výsledky jednoznačně ukazují, že použité postupy a metody byly správné.

8. Celkové zhodnocení disertační práce a závěr

Disertační práce Ing. Miroslava Vavruška je zpracována na dobré odborné i formální úrovni. Přináší nové poznatky, ukazuje na jeho odbornou zdatnost a způsobilost k samostatné tvůrčí vědecké práci, a proto ji doporučuji k obhajobě.

V Ostravě 18. 12. 2017

doc. Ing. Josef Janěček, CSc.
Technická univerzita v Liberci, FM, MTI
Studentská 2
461 17 Liberec 1

Oponentský posudek disertační práce

Ing. Miroslava VAVROUŠKA

Návrh řízení rotačního pneumatického motoru

Oponentský posudek byl vypracován na základě dopisu děkana Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci prof. Dr. Ing. Petra Lenfelda ze dne 13.11.2017, který mne určil oponentem této práce.

Práce obsahuje 118 stran textu a 19 příloh. Seznam použité literatury obsahuje 43 položek, v seznamu vlastních publikací je uvedeno 13 titulů (ve 4 z nich jako spoluautor).

Práce se věnuje problematice řízení rotačních pneumatických motorů. Navazuje na dosavadní zaměření katedry KKY, na výzkumné aktivity její pracovníků, využívá zařízení laboratoří katedry a vhodně rozšiřuje jejich vybavení o navržený a realizovaný plně funkční měřicí přípravek. **Pokládám proto téma práce za vhodně vybrané.** Realizovaný přípravek slouží studentům ve výuce. Pneumatické pohony tvoří stále významný segment v celé řadě průmyslových aplikací.

Disertant prokázal, že velmi dobře zvládl **moderní metody vědecké práce** včetně konstrukčního návrhu a analýzy napjatosti strojních částí přípravku, ale i netriviální metody umělé inteligence v aplikaci na návrh regulačního obvodu.

Po formální stránce je předložená práce pečlivě zpracovaná, přehledně strukturovaná s jasným logickým členěním. Kvalitu poněkud snižuje relativně hodně překlepů, formálních chyb a nepřesností v textu. Rušivě působí i nejednotný styl a řez písma v označení veličin v textu, vztazích, obrázcích i grafech.

Poznámky, připomínky, náměty k diskusi (pořadí neodpovídá závažnosti, vznikaly chronologicky v průběhu čtení práce):

- Cíle disertační práce jsou podle mého soudu poněkud nejasně stanoveny.
- Práce je značně nevyvážená. Podle jejího názvu by těžištěm zřejmě měl být návrh zpětnovazebního řízení. Této problematice bylo bohužel věnováno jen několik málo posledních stran.
- Identické značení titulů dvou rozdílných seznamů použité literatury a publikací autora znesnadňuje orientaci v odkazech.
- Závěry, cenná doporučení a zkušenosti disertanta jsem bohužel v práci nenašel.
- Přehled současného stavu řízení pneumatických motorů práce neobsahuje, přestože je kapitola 2 takto nadepsaná. Tato obsáhlá kapitola (43 stran) je spíše jednoduchým encyklopedickým textem, navíc zatíženým mnoha nepřesnostmi. Za všechny alespoň:

str.40, 41, kap. 2.3.2 Lineární systémy

ř.6] Místo $x(t) \rightarrow u(t)$, pravděpodobně překlep.

- Linearita systému nevyplývá z linearity statické charakteristiky (nestabilní systémy ji dokonce nemají), ale správně ze zmíněné homogenity (vztah 12). Ovšem tvrzení ř.7] „... homogenita, která přímo vyplývá z konstantního statického zesílení ...“ je minimálně nepřesné a zavádějící. Chybí navíc zmínka o počátečním stavu.
- Vztah (13): není zřejmé co je myšleno symbolem $h(t)$. Pokud se jedná o váhovou funkci (impulzní přechodovou charakteristiku), tak je to v rozporu s dalším textem. Znaménko * konvoluce by si také možná zasloužilo vysvětlení.

str.42, kap. 2.3.3 Nelineární systémy

- Tvrzení, že nelineární systém je určen nelineární statickou charakteristikou je nepřesné a zavádějící (i nelineární systém může mít statickou charakteristiku lineární).

str.54, vztah (23): funkce $f(x)$ není $tgh(x)$, ale pouze funkce s podobným průběhem.

str.78, kap. 3.5.2 Proporcionální průtokový ventil

- Liší se naměřené charakteristiky od katalogových údajů fy FESTO? Viz např.:
https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_cs/pdf/cz/mpye_cz.pdf
- Byla zjišťována / měřena hystereze ventilu?

str.85 a dále: použitý fyzikální rozměr Hz pro otáčky motoru je neobvyklý, základní jednotkou v soustavě SI pro otáčky je s^{-1} .

str.88, nepřesnosti:

ř.4] „...příkon byl stanoven jako energie při adiabatické expanzi...“

ř.3] „...výkon mechanické energie ...“

str.91, vztah (38), str.92, obr.84: jak byl získán vztah (38)? Průběh na obr.84 neodpovídá této závislosti.

str.93, vztah (40), obr.85: průběh aproximační funkce podle (40) neodpovídá příslušnému úseku na obr.85 (ověř: $n_n(4) \approx +0,5198$).

str.96, ř.12] „Počáteční populace obsahuje náhodné jedince s padesáti procentní pravděpodobností existence vrstvy.“ – větě nerozumím.

Trénování neuronové sítě

ř.3] „...modifikovaná metoda Backpropagation.“

- Jak byl volen parametr rychlosti učení (obvykle 0,1) a jak dlouho proces učení trval?
- Co znamená „modifikovaná“ metoda backpropagation?
- Jaká byla struktura neuronové sítě? Kolik skrytých vrstev? Kolik neuronů v každé vrstvě?
- Jaká byla zvolena gradientní metoda optimalizace? Máte zkušenosti s aplikací simplexové metody optimalizace?
- Nehrozí nalezení pouze lokálního minima účelové funkce?

str.97, použití genetických algoritmů:

- Jak byly voleny parametry algoritmu (počet prvků populace, pravděpodobnost křížení genů, pravděpodobnost mutace, způsob reprodukce,...)? Jak ovlivní jejich volba kvalitu a rychlost optimalizace?
- Jaký vliv na kvalitu procesu učení má inicializace?
- Dochází v průběhu učení ke střídání premiantů?
- S jak rozsáhlými maticemi algoritmus pracuje? Jak dlouho trvala popisovaná optimalizace?

str.98, ř.3] „Při srovnání obou metod se jeví, že kvalitnějších výsledků dosahuje linearizační prvek tvořený neuronovou sítí.“

- Podle čeho usuzujete na toto tvrzení? Kvalitu aproximace určuje v obou případech celá řada volených parametrů. Máte k dispozici srovnání různě modifikovaných experimentů?
- Chybí mi praktická doporučení.

str.101: Nerozumím výkladu a obrázkům 93 a 94 (prosím vysvětlit). Znamená to, že při skokové změně řídicího napětí průtokového ventilu trvá přepočet korekčním členem déle než 0,5 vteřiny (obr.94)?

- ř.5] : Jaký vliv na tento proces má v textu zmíněná dynamika regulované soustavy?

str.104, kap.4.3.3 Charakteristika změny zatěžovacího momentu

- Reakci na obr.99 bych nenazýval charakteristikou. Charakteristikou obvykle chápeme speciální reakci systému vybuzeného z přesně definovaného stavu přesně definovaným budícím signálem.

str.106 a další, kap.5: přiznám se, že se v kap.5.1 a 5.2 poněkud ztrácím.

kap.5.1: „Pomocné systémy jsou využity k vyhodnocení, nebo převodu veličin v systému řízeného pneumatického motoru. Tyto funkční bloky jsou dále využity při návrhu ovladačů a regulátorů motoru. Pomocné bloky mohou být využity také k vyhodnocení neměřených veličin při ustáleném běhu motoru.“

kap.5.2: „Ovladače otáček umožňují nastavení řídicího napětí proporcionálního průtokového ventilu podle nastavených parametrů a určit další parametry chodu motoru jako například krouticí moment M nebo účinnost η .“

- V obou kapitolách je uvedeno několik variant bloků. Je jen naznačeno, že jsou realizované pomocí neuronových sítí. Jaké struktury a jak nastavených? K čemu v systému zpětnovazebního řízení slouží? Zcela nerozumím naznačené optimalizaci účinnosti motoru.

str.109, 110: kapitola 5.3 by měla být podle názvu disertační práce vrcholnou částí práce shrnující výsledky a zkušenosti disertanta. Jsou jí však věnovány pouze dvě závěrečné stránky textu, navíc podle mého soudu překvapivě vágního a nejasného.

kap.5.3.1 Regulátor a jeho nastavení

„Pro regulátor byla vytvořena a otestována řada různých nastavení. Na obrázku 111 je zachycen regulační pochod bez překmitu žádané hodnoty.“

- O jaký regulační pochod se jedná? S jakým regulátorem, s jakým napájecím tlakem a zátěží ...?

„Po sérii experimentů s různými hodnotami a metodami nastavení PID regulátorů byl zvolen PI regulátor s nastavením proporcionální složky 0,739 a integrační složky 2,8. Nastavení je vhodným kompromisem ...“

- To je opravdu vše? Bez dalšího vysvětlení?

kap.5.3.2 Regulátor otáček s identifikovanou zátěží

- Rozumím tomu správně, že se jedná o dvourozměrný stavový regulátor realizovaný neuronovou sítí aplikovaný na řízení otáček n motoru (n_w je jejich žádaná hodnota) s informací o tlaku p a průtoku Q a s akčními veličinami U_r a M?

kap.5.3.3 Regulátor otáček s optimalizovanou účinností

- Jedná se v tomto případě o regulátor otáček motoru s třemi akčními veličinami U_r (řídící napětí průtokového ventilu), p (napájecí tlak) a M (zatěžovací moment)? Ne-li, jak tedy?

Přednosti práce:

Disertační práce je převážně technického charakteru. Hlavní přínos spatřuji v tom, že se disertant pokusil o nestandardní a netriviální aplikaci nástrojů umělé inteligence pro agregaci a syntézu regulačního obvodu. Byla provedena pečlivá analýza vlastností pneumatického motoru i jednotlivých prvků obvodu. Řešení vyžadovalo velké množství laboratorní práce a měření. Byl navržen a realizován konkrétní reálný laboratorní přípravek sloužící ve výuce studentů. Disertant prokázal svou schopnost samostatné technické a vědecké práce.

I přes všechny mé kritické výhrady a připomínky pokládám předloženou práci pana Ing. Miroslava Vavrouška za dobrou, jsem přesvědčen o tom, že splňuje náročné požadavky kladené na disertační práci a proto ji

- doporučuji -

k obhajobě.

V Liberci dne 23.1.2009


doc. Ing. Josef Janěček, CSc.