Oponentní posudek disertační práce

Ing. Jana Škody

Vibroizolační systém s gyroskopickým stabilizátorem

Práce má rozsah 100 stran a je doplněna deseti přílohami. Je členěna do pěti kapitol. Svým zaměřením vychází z problematiky velmi úspěšně dlouhodobě rozvíjené na Strojní fakultě Technické univerzity v Liberci.

Ač její cíl není explicitně formulován, autor se snaží analyzovat vibroizolační systém s třemi stupni volnosti s dvojosým gyroskopickým stabilizátorem, jenž má být použit pro zlepšení komfortu ležícího pacienta při převozu sanitním vozem. Jako cíl je tedy možno považovat vytvoření matematického i softwareového nástroje pro návrh uvedeného systému.

Téma navazuje na výstupy výzkumné záměru MŠMT Optimalizace vlastností strojů v interakci s pracovními procesy a člověkem.

První kapitola má název Obecné vlastnosti gyroskopických systémů a velmi stručně zavádí síly a momenty vyskytující se v pohybových rovnicích gyroskopů.

Kapitola 2. je věnována různému použití gyroskopu v praktických aplikacích.

Kapitola 3. pak uvádí v přehledu různé způsoby odvození pohybových rovnic. Obecně lze konstatovat, že výklad je zde obtížně srozumitelný (alespoň pro mne) a domnívám se, že by bylo možné jej výrazně zjednodušit (např. použitím hamiltonovského přístupu (cyklické souřadnice) atd).

V kapitole 4. jsou popsány způsoby realizace stabilizace.

Jak již bylo uvedeno, klíčová je kapitola 5. s názvem Vibroizolační systém s gyroskopickým stabilizátorem. Základem je dvojosý gyroskopický stabilizátor (obr. 14.). V odstavci 5.1 je provedeno odvození pohybových rovnic a jejich linearizace postupně na (5.91) a konečně na (5.94) pro systém autonomní-nebuzený. Další odstavec demonstruje závislost vlastních čísel tohoto systému na parametru μ (?) a na rychlosti rotace gyroskopů.

Velmi zajímavé jsou další odstavce 5.3 až 5.6. Při řešení stability systému vychází doktorand především z prací Merkina. Bohužel jsem tyto práce neměl k dispozici a proto posouzení této části (především str. 60) bylo obtížné. Stabilita opět je řešena pro systém (5.94) a jako parametry jsou zde vzaty prvky matice radiálních korekcí k_1 , k_2 a prvek matice tlumení b_p . Pro tyto parametry jsou pak zjišťovány oblasti stability.

Nastavení parametrů k_1 a k_2 postupně pro horní a dolní rám je pak věnován odstavec 5.4. K dispozici jsou korekční a kompenzační systémy. V práci je jako parametr, který má být kompenzován, zvolena odchylka zdánlivé vertikály. Při kompenzaci horního rámu je uvažována odchylka vyvolaná zrychleným pohybem v příčném směru a u dolního rámu je to pak vliv zrychleného pohybu v podélném směru. Metodika nalezení vhodných hodnot parametrů včetně tlumení je uvedena pro použité kompenzační motory. V odstavci 5.5 je pak uvažována náhrada tohoto motoru řízením pneumatických pružin. Toto řízení je prováděno pomocí řídícího ventilu, jehož matematický model je v práci vytvořen stejně tak, jako model pneumatické pružiny s proměnným množstvím vzduchu. Celý systém s řízenými

pneumatickými pružinami je pak analyzován a výsledkem je konstatování, že tato alternativa je dobře použitelná a má výhodu ve využití stávajících zařízení lehátka.

Odstavec 5.6 je věnován analýze přenosu vibrací způsobených kinematickým buzením z vozidla na ložnou plochu s lehátkem. Opět se zde logicky vychází z linearizované rovnice (5.90). Ta se při uvažovaném sinovém průběhu parametrů α, β a ζ popisuje neautonomní systém. Z obr. 50 a příslušného komentáře plyne, že gyroskopicky stabilizovaný systém má výrazně lepší vibroizolační účinek ovšem za cenu zvýšení impusmomentu gyroskopu oproti dosud uvažovaným hodnotám. I to se však jeví jako řešitelné.

Experimentu je v práci věnován velmi krátký odstavec 5.7. Pro nastavení korekčního a kompenzačního systému zde byl použit v práci uvedený postup. Bohužel zde postrádám jakékoliv srovnání výsledků počítačového modelování s naměřenými výsledky.

V odstavci 5.8 je pak řešena možností výskytu samobuzených kmitů. Jejím závěrem je, že samobuzené kmity buď nenastanou, nebo se rychle utlumí.

Hodnocení

Jedná se o práci převážně teoretickou zaměřenou na analýzu a optimalizaci gyroskopicky stabilizovaného systému lůžka sanitního vozu. Je třeba ocenit šíři a hloubku demonstrovaných znalostí doktoranda jak v oblasti gyroskopických systémů tak i pneumatických tlumičů. Rozvíjená gyroskopická stabilizace v uvedené aplikaci je aktuální a i společensky významná. Doktorand použil v návaznosti na svoji předchozí práci i práci týmu Prof. Šklíby adekvátní metody. Ač cíl nebyl explicitně definován, jak bylo již v úvodu posudku zmíněno, lze vyvozovat jeho splnění.

Výsledkem práce je původní metodika (a dozajista i příslušný software – viz přílohy dizertace) využitelná při dalším vývoji systému.

Doktorand se snažil o co nejúplnější popis svého přístupu od popisu vytváření pohybových rovnic gyroskopických systémů. Vzhledem k realizovanému rozsahu toto vedlo (a muselo vést) k jisté zkratkovitosti ztěžující srozumitelnost textu. Některé pasáže se domnívám, mohly být formulovány jednodušeji. Jen některé moje připomínky a související dotazy jsou uvedeny v závěru posudku (při obhajobě prosím reagovat jen na tučně vytištěné!).

Publikační aktivita doktoranda je naprosto dostačující (22, z toho 7krát první autor).

Z uvedeného vyplývá, že se jedná o velmi náročnou práci prokazující znalosti i schopnosti vědecké práce doktoranda.

Práci jednoznačně doporučuji k obhajobě.

V Plzni 8. 1. 2019

Prof. Ing. Josef Rosenberg, DrSc

Připomínky (formální i věcné- ty jsou vyznačeny tučně):

1. Nelogicky je zaveden pododstavec 1.2.1 – jiný není!
2. **Nerozumím v (1.4) rovnosti $b_k=b_{kk}$.**
3. Řádek nad (1.8) – q_1-q_m není rozdíl, ač to tak vypadá!

4. Ve vztahu (1.2) se nejedná o transformaci ale o zavedení symetrických matic.
5. **Věta „Gyroskopické síly mohou být……“ na začátku strany 16 by zasluhovala bližšího vysvětlení!**
6. Str. 25. Věta „….reakce vazeb vytvářejí soustavu sil, jež se *pomocí vazeb vyrovnává.*“ Co je „vyrovnat soustavu sil“? Je to velmi nestandardní formulace. Podobných nestandardních formulací je v práci řada.
7. Rovnice (3.28) plyne přímo dosazením z (3.20) do (1.8)!
8. Rovnice (4.1) by zasluhovaly obrázek!
9. Ač význam je jasný, lze uvést jako příklad nevhodné formulace poslední větu na str. 43: „…vektory relativních rychlostí pohybu těžiště vůči bodu rozkladu.“ – Rychlost vůči bodu??
10. Str. 44 první věta druhého odstavce: „…kinematického ??vysloveným…“.
11. **Je μ první převodová funkce (viz přehled značení) či jen parametr nabývající hodnot 0 až 1?**
12. Strany 54 a 55 jsou přehozeny!
13. **Byly výsledky matematického modelování experimentálně alespoň částečně verifikovány? Pokud ne, proč?**

Posudek disertační práce Ing. Jana Škody:

Vibroizolační systém s gyroskopickým stabilizátorem

Obecný popis:

Práce se zabývá studiem gyroskopů a možnostmi jejich použití pro stabilizaci vibroizolačního systému pružně uloženého sanitního lehátka. Volně vychází z předchozích prací na téma vibroizolace, zpracovávaných na KMP TU Liberec.

Práce je kombinací praktických měření a teoretického výzkumu v oblasti řízení i výzkumu vlastností gyroskopů v pracovní oblasti, kde lze předpokládat jejich aktivní účast na řízení vibroizolačního systému. Součástí práce jsou autorovy vlastní výstupy matematického modelu studovaných částí vibroizolačního systému, zpracované v SW Maple.

Disertační práce sestává z pěti základních kapitol, kde první a druhá kapitola shrnují poznatky v oblasti gyroskopů. Následující kapitola se zabývá možnostmi matematického popisu systému s využitím gyroskopů.

Čtvrtá kapitola se zaměřuje na možnosti a způsoby gyroskopické stabilizace.

Přínos práce je v páté, stěžejní kapitole práce, kde student DSP rozvíjí myšlenky vedoucí ke stanovení potřebných podmínek pro správnou funkci vibroizolačního systému.

Autor uvádí zaměření a obsahové cíle jednotlivých kapitol, vyjádření cíle práce je provedeno v úvodu.

Zhodnocení významu disertační práce pro obor:

Práce stanovuje určitý typ okrajových podmínek (otáčky, moment setrvačnosti, podmínky samobuzeného kmitání) při použití gyroskopů pro stabilizaci řízeného, pružně uloženého sanitního lehátka a naznačuje možné směry dalšího výzkumu.

Vyjádření k postupu řešení problému:

K řešení problému byly stanoveny teoretické rovnice, podmínky jejich platnosti a možnosti linearizace s následnou simulací a hledáním řešení pomocí výpočetní techniky. SW Maple umožňuje vyšší stupeň symbolického řešení rovnic, což zlepšuje možnost kontroly výstupů porovnáním s analytickým řešením u jednodušších systémů rovnic. Určité fáze řešení jsou konfrontovány s experimentem. Stanovený cíl práce byl splněn.

Stanovisko k výsledkům disertační práce a významu původního přínosu autora:

Výsledky disertační práce jsou na dobré teoretické úrovni, experimentální část byla zvládnuta s jasnými výstupy a matematické modelování rovnic, popisujících systém sanitního lehátka, vypovídá o zvládnutí symbolického jazyka SW Maple. Význam původního přínosu vnímám ve stanovení limitů systému v oblasti možných výchylek a oblastí použití gyroskopu v tomto konkrétním případě. Autor naznačuje

možný směr dalšího výzkumu. Tyto body mohou být předmětem diskuse v průběhu obhajoby disertační práce.

Další vyjádření – systematičnost, přehlednost, formální úprava:

Práce je psána systematicky, s rešeršní částí, teoretickým odvozením sledovaných rovnic a následným matematickým modelováním. Práce je přehledná, po stránce formální s občasnými překlepy. Autor se snažil o jazyk a sloh, který vystihne problematiku a myšlenky gyroskopické stabilizace v co největší šíři. Práce je psána ve složitých souvětích, což se někde projevilo formálními chybami jako např. vynecháním slova. Jednou z formálních chyb je prohození stran 84 a 85 práce.

Z dalších formálních chyb zmiňuji např.:

str. 27: „Ve speciálním případě je příkladem kvazirychlostí jsou průměty ω1 , ω2 , ω3 vektoru úhlové rychlosti tuhého tělesa na kartézský systém s ním spojený, jejichž vyjádření můžeme obdržet z kinematických Eulerových rovnic." – věta postrádá smysl

str. 29: „B matice korekce (mohou být určeny pro konkrétní gyroskopický stabilizátor přímo ze skalárních výchozích rovnic pohybu systému transformovaných do normálního tvaru." - chybí uzavření závorky.

str. 29: „Pokud se dále omezíme na skleronomní homonomní vazby..." – holonomní

str. 38: „Korekční systém dvojosého gyroskopického stabilizátoru je realizován úhlovým snímačem absolutní a akcelerometrem polohy na vnitřním rámu kardanova závěsu a momentovým motorem na ose precesního rámečku." – úhlovým snímačem absolutní výchylky?

str. 44: „Ve shodě s předpokladem o omezení kinematického vysloveným výše bude obecná poloha ložné plochy sanitního automobilu v souřadnicovém systému..." – o omezení kinematického buzení?

str. 55: „Jak je patrné z obr. 19, momenty korekčních zpětných vazeb mají funkcemi absolutní výchylky příslušného stabilizovaného rámu (φ' , ψ')." – jsou funkcemi ?

str. 64: jednotka u tíhového zrychlení „*g*" – nepochybuji o tom, že autor zná jednotky základních veličin

str. 71: „Obr. 39: Indikovaná odchylka kolmice k rovnice stabilizovaného rámu od směru výslednice zrychlení." – kolmice k rovině

str. 86: „1) korekční s kompenzační systémy jsou vypnuty," - korekční a kompenzační?

str. 88: překlep v rovnici (5.125) u členu a_{22} – že se jedná o překlep, vyplývá z navazujících rovnic (5.126) a (5.127)

Grafická úroveň práce je bez výhrad s výjimkou rozhozeného popisu k obrázkům 44 a 45 na straně 74.

Publikace studenta DSP:

Publikační činnost autora je dle mého názoru dostatečná, průběžně byly výsledky práce prezentovány na konferencích i v časopisech s tématikou vibroizolačních systémů.

Disertabilita práce:

Student zpracováním prokázal odpovídající zvládnutí vědeckých metod i úroveň teoretických znalostí. Předložená disertační práce shrnuje výsledky zkoumání v několika oblastech zájmu, naznačuje možnou další cestu vývoje a nastiňuje limity např. v oblasti kompenzace horizontálních zrychlení.

Vědecké metody a teoretické, odvozené a případně linearizované rovnice autor porovnal s reálným experimentem. Analyzoval příčiny některých jevů a zahrnul vliv pasivních odporů, kterým se u reálné mechanické soustavy nelze vyhnout.

Disertační práci doporučuji k obhajobě a v případě úspěšného obhájení p. Ing. Janu Škodovi udělení titulu Ph.D.

Otázky k obhajobě:

1) Ovlivnily publikace na konferencích a časopisech ve formě zpětné vazby další směr výzkumu?
2) Během vývoje se jistě vyskytly otázky, které autor ponechal bez povšimnutí. O jakou problematiku a témata se jednalo?
3) Vysvětlete prosím popis obr. 56, o jaké výchylky se jedná? Značení „gama" bylo v textu použito pro jinou veličinu – úhel vlastní rotace gyroskopu.
4) Vysvětlete komentář ze str. 65: „Optimalizaci jsme prováděli pro gyroskop s otáčkami 10^5 min^{-1} (místo v kap. 5.2 uvažované hodnoty $54 \cdot 10^3$ min^{-1}, která se později ukázala jako nedostatečná)"

v Jablonci nad Nisou 19.12.2018

Jan Prokop

Ing. Mgr. Jan Prokop, Ph.D.

Prof. Ing. Jan Ondrouch, CSc.
Katedra aplikované mechaniky
Fakulta strojní
VŠB- Technická univerzita Ostrava
Tř. 17. listopadu 2172/15
708 00 Ostrava-Poruba

Oponentský posudek

doktorské disertační práce

Název práce: **Vibroizolační systém s gyroskopickým stabilizátorem**

Autor: **Ing. Jan Škoda**

Školitel: prof. RNDr. Jan Šklíba, CSc.

Studijní program: P2301 – Strojní inženýrství

Studijní obor: 3901V003 – Aplikovaná mechanika

Oponentský posudek je vypracován na základě dopisu TUL-356723/2112 děkana Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci, prof. Dr.Ing. Petra Lenfelda ze dne 19. listopadu 2018.

Doktorská disertační práce obsahuje 101 stran textu včetně seznamu referencí, vlastních publikací autora, seznamu příloh a 10 příloh počítačových programů.

1. Aktuálnost zvoleného tématu

Předložená doktorská disertační práce byla motivována snahou o zlepšení vibriozolace ležícího pacienta při převozu sanitním vozem. Vzhledem k tomu, že dosud známé odpružené závěsy sanitního lehátka nezaručují požadované snížení přenosu vibrací při převozu ležícího pacienta sanitním vozem, je téma doktorské disertační práce aktuální a její závěry jsou důležité pro konstrukci odpruženého závěsu.

2. Postup řešení, použité metody a nejdůležitější výsledky

Doktorská disertační práce sestává z pěti hlavních kapitol. V úvodu jsou uvedeny problémy, které byly zjištěny u navrženého odpruženého závěsu sanitního lehátka se třemi stupni volnosti. Závěs měl umožňovat vibroizolaci ležícího pacienta při kombinaci svislé

translace a dvou rotací okolo podélné a příčné osy. Kvalita vibroizolace byla nedostatečná u kardanova závěsu zajišťujícího odpružení rotací.

Pro řešení tohoto nedostatku bylo navrženo rozšíření vibroizolačního systému o dvojosý gyroskopický stabilizátor se silovými gyroskopy.

První čtyři kapitoly obsahují shrnutí známých poznatků, které jsou však potřebné pro výběr vhodných metod a vlastní řešení. Zabývají se obecnými vlastnostmi gyroskopických systémů, gyroskopem v kardanově závěsu a gyroskopickou stabilizací.

Hlavní částí práce je původní analýza vibroizolačního systému se třemi stupni volnosti s dvojosým gyroskopickým stabilizátorem. Konkrétní přínos autora spočívá ve výběru vhodných metod pro sestavení pohybových rovnic a jejich linearizaci, řešení vlastních čísel, optimalizaci korekčního a kompenzačního systému a v numerické simulaci systému s dvojosým gyroskopickým stabilizátorem.

Výsledky této části práce jsou určení minimální hodnoty impulsmomentu gyroskopů pro dosažení dobré vibroizolace sanitního lehátka s pacientem, navržení postupu optimalizace parametrů zpětných vazeb korekčního a kompenzačního systému a návrh náhrady kompenzačního motoru aktivním řízením pneumatických pružin.

Kladně hodnotím i experimentální část práce, která potvrdila možnosti a funkčnost náhrady kompenzačního motoru aktivním řízením pneumatických pružin.

Závěr práce je zaměřen na možnost vzniku samobuzených kmitů dvojosého gyroskopického stabilizátoru, způsobených necoulombovským suchým třením v osách kardanova závěsu. Potvrzení této možnosti je velmi cenný poznatek pro praktický návrh vibroizolace.

3. Splnění cíle

Stanovený cíl, dosažení zlepšení vibroizolace tak, že se vlastní frekvence vibroizolačního systému budou nacházet mimo pásmo 1-11 Hz, byl splněn pro rotační výchylku prvního a druhého rámu kardanova závěsu. Vlastní frekvence svislého odpružení 2Hz neodpovídá tomuto požadavku a není ovlivněna gyroskopickou stabilizací. Tuto skutečnost potvrzuje nezávislost této vlastní frekvence na velikosti impulsmomentu rotoru gyroskopu.

4. Formální a jazyková úroveň

Po formální stránce je předložená práce na požadované úrovni. Je proveden důkladný rozbor řešené problematiky na základě literárních pramenů, které jsou citovány. Vlastní grafické provedení jak textu, tak obrázků je kvalitní. Lze konstatovat, že práce je členěna přehledně, návaznost jednotlivých kapitol má logickou strukturu.

Po jazykové stránce bych vytknul vyjadřování v množném čísle, „určili jsme“ apod., což ztěžuje hodnocení vlastního přínosu autora. V práci jsem nalezl několik drobných nedostatků, které ale nesnižují úroveň práce.

Např.

- přehozený tisk stránek 84 a 85
- nedodržení doporučení pro označení mechanických veličin dle ČSN
- str. 39, rovnice (4.1): nejsou definovány veličiny V a U
- str. 87, rovnice (5.118) není uvedeno co je J_e
- několik drobných překlepů

5. Publikace autora

Seznam publikací má 22 položek. Ve třech případech je autorem, jinak spoluautorem publikací. Většina publikací pochází z národních a mezinárodních konferencí, několik bylo publikováno v odborných časopisech. Všechny publikace bezprostředně souvisí s problematikou řešenou v doktorské disertační práci. Publikační činnost splňuje požadavky kladené na studenty doktorského studia.

6. Závěrečné hodnocení

Doktorská disertační práce Ing. Jana Škody je zpracována na velmi dobré odborné i formální úrovni. Přináší nové poznatky v oblasti vibroizolační techniky a pro konkrétní návrh odpruženého závěsu sanitního lehátka. Prokázala autorovy rozsáhlé teoretické i praktické znalosti v oboru aplikované mechaniky a programování a schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce.

Doktorská disertační práce splňuje podmínky pro řízení při udělování vědeckých hodností podle §47 Zákona o vysokých školách č. 111/98 Sb., a proto ji

d o p o r u č u j i k o b h a j o b ě

Ostrava, 12.12.2018

.....

prof. Ing. Jan Ondrouch, CSc.