

Oponentský posudek disertační práce č. 2

Studijní program: P2612 - Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612V045 - Technická kybernetika
Student: Ing. Zdeněk Herda
Název práce: Aktivní řízení nelineárního vibroizolačního systému sedačky

Oponent: Ing. Pavel Nedoma, Ph.D.
Pracoviště: Škoda Auto a.s.

1. Úvod

Jedná se o druhý posudek z důvodu neúspěšné obhajoby v prvním kole. V průběhu roku byla práce dopracována a přihlášena k druhé obhajobě. První posudek byl vypracován 11. 1. 2016.

2. Aktuálnost zvoleného tématu, rešerše, cíle a nahrnovaná řešení

Téma práce je stále aktuální a týká se ergonomie pracoviště řidičů nákladních vozidel a ostatních těžkých strojů. Budící frekvence, zvláště v terénu, mohou dosahovat velkých amplitud a odlišného frekvenčního spektra proti jízdě po pozemních komunikacích. Pro bezpečné ovládání vozidel během jízdy v terénu nebo po nebezpečných komunikacích hraje důležitou roli správná ergonomie sezení. Upevnění sedačky ve vozidle by mělo vhodně tlumit/transformovat budící frekvence.

Cíle a přínosy práce popisuje první kapitola. Hlavním cílem je prověření možnosti realizace aktivního tlumení vibrací sedačky řidiče. Chybí analýza daného tématu (především frekvenční spektrum z_1 a požadované z_2), rešerše provedena velmi stručně a zvolený způsob řešení (regulace na „konstantní z_2 “) vibroizolačního systému není zdůvodněn.

3. Vyjádření k postupu řešení a výsledky práce

Řešení zůstalo rozděleno do pěti kapitol (2 - 6). V druhé kapitole jsou popsány úpravy sériově vyráběné sedačky, zástavba akčních členů a sensoriky. Hlavní úprava se týká výměny pneumatické pružiny a snížení mechanických pasivních odporů.

Řídicí systém sedačky podrobně popisuje třetí kapitola. Pneumatický ventil řídí průtok vzduchu do/z válce. Doplněním senzoru pro měření polohy šoupátka se dosáhlo definovaného nastavování jeho polohy.

Čtvrtá kapitola popisuje matematický model systému. Pro popis náplně vzduchu v akčním členu „vzduchové pružiny“ chybí opět zdůvodnění/analýza volby stavové rovnice adiabatického děje. Stejný nedostatek se vyskytuje u předpokladu $V=V(z, p)$ $\rightarrow V=V(z)$. V kapitole 4.6 se vysvětluje identifikace modelu při $z=0$ a $u=0$ a uvádí se komplikace s netěsností pneumatického systému a její „eliminace“. I přes výměnu pneumatické pružiny chybí popis příčin netěsností a jejich možných řešení. Přínosem jsou průběžná porovnávací měření teoretických výsledků s měřeními na reálném modelu sedačky. Identifikace modelu se provedla jen pro $z=0$ a zjištěná vlastní frekvence se pohybuje okolo 1 Hz.

Pátá kapitola se podrobně věnuje popisu akčního členu pro řízení průtoku

vzduchu a linearizaci průtokové charakteristiky. Kapitola je velmi obsažná (28 stránek) a zabývá se mimo jiné podružnou regulací polohy šoupátka ventilu.

Poslední šestá kapitola byla rozšířena o další regulátory. Kapitola obsahuje návrh několika regulátorů (Stavový regulátor + LQR, Dopředný regulátor, Heuristický regulátor). Všechny regulátory se testovaly poruchami „hrbol“ a „rampa“ zavedenými do základny sedačky formou pohybu základny z_1 podle definovaného časového průběhu. Doktorand zde prokázal hluboké znalosti regulační techniky a schopnost aplikovat teoretické znalosti na řešení zadané úlohy z oblasti regulační techniky. Výsledky porovnání všech regulátorů jsou dokumentovány množstvím grafů. Bohužel zde chybí porovnání teoretických výsledků s reálným měřením.

V závěru práce jsou shrnuty hlavní body této disertační práce: přestavba sériové sedačky umožňující aktivní řízení odpružení, úpravy ventilu a jeho řízení, tvorba matematického modelu soustavy a návrhy regulátorů s porovnáním jejich vlastností a vhodnosti pro regulaci dané soustavy.

4. Posouzení formální úrovně

Předložená práce je psána srozumitelně a přehledně. K formálnímu zpracování mám následující připomínky:

- Seznam použitých značek není uspořádán (str. 13 – 16)
- Chybí ucelený obrázek/schéma regulované soustavy s popisem.
- Efektivní plocha pružiny je označena jako k_F místo běžného S_F , písmenem k jsou značeny koeficienty.
- Odvozování vztahů je nepřehledné (např. 4.10a na str. 36, 4.32 na str. 43).

5. Otázky pro doktoranda

- Jaký přínos pro regulaci soustavy by mohla mít informace o vlastních frekvencích pro různé hodnoty tlaku v pneumatische pružině?
- Jak bude navržená regulační soustava reagovat na budící frekvence sinusového průběhu (z_1) v okolí rezonančních frekvencí regulované soustavy?

6. Celkové hodnocení

Disertační práce přináší nové poznatky v oblasti analýzy ergonomie sezení řidiče nákladních vozidel a ostatní těžké techniky. Doktorand prokázal schopnost samostatně pracovat tvůrčím způsobem a aplikovat teoretické znalosti při řešení zadané úlohy. Základním nedostatkem je absence obecnější analýzy řešeného tématu, stanovení dílčích úloh/cílů a formulace celkového cíle/cílů. Kladně hodnotím provedení validačních měření teoretických návrhů modelů regulační soustavy. I přes uvedené připomínky doporučuji disertační práci Ing. Zdeňka Herdy k obhajobě.



Ing. Pavel Nedoma, Ph.D.

V Mladé Boleslavi 5. 6. 2017

Posudek disertační práce p. Ing. Zdeňka Herdy „Aktivní řízení nelineárního vibroizolačního systému sedačky“

Všeobecný úvod

Práce se zabývá zpracováním některých témat souvisejících s vývojem aktivně řízené sedačky pro dopravní prostředky. Tento úkol byl na Fakultě mechatroniky TUL oficiálně ukončen již před ca 6-ti lety a přežívá pouze díky entuziasmu některých pracovníků fakulty. V práci proto mohlo být provedeno pouze prohloubení některých již dříve sledovaných problémů, avšak neposouvá úkol blíže předpokládanému praktickému cíli, tj. k průmyslovému využití. Toto ovšem není vinou ani p. disertanta ani p. vedoucího jeho práce. Bez finanční podpory z průmyslu a dostatečného počtu vývojářů na úkole pracujících prostě nic nového vyvinout nejde.

Tím nechci říci, že práce je neúčinná. Řízení mechanické soustavy s aktivním vzduchovým systémem je ve svém principu daleko složitější, než se na první pohled zdá. V práci uvedené postupy a poznatky, spojené s řízením dané dynamické soustavy s pneumatickou pružinou, mohou být inspirativní pro všechny pracovníky, kteří se zabývají vývojem řízení soustav s pneumatickými členy. V tom vidím její hlavní přínos.

Poznámky, připomínky a dotazy

Kapitola 1 – Úvod

Disertační práce je veřejně dostupným materiálem. Při čtení jejího **Úvodu** by mělo být i nezavěšenému čtenáři zřejmé, o co v ní jde, jaké reálné dílo je předmětem jejího zájmu, jaká je jeho fyzikální struktura a jaké jsou předpokládané cíle práce vzhledem k činnosti díla (zde např. docílení určité frekvenční přenosové charakteristiky, atp.).

Toto v **Úvodu** schází. P. disertant zřejmě mlčky předpokládá, že čtenář jeho práce je s problematikou vývoje aktivně řízené sedačky na TUL obeznámen. Obávám se však, že čtenář z prostředí mimo Fakultu mechatroniky TUL, kterému se tato zpráva dostane do ruky, se v ní bude jen těžko orientovat.

Kapitola 2 – Přepřacování mechanismu pasivní sedačky

Bez připomínek.

Kapitola 3 – Řídicí systém sedačky

Přechodem na řízení průtoku vzduchu regulací polohy šoupátka ventilu je bezpochyby možno docílit přesnější regulaci tohoto průtoku než řízením proudu ovládacího magnetu.

Dotaz č.1: Byla přesnost nastavování polohy šoupátka měřena a porovnána, nebo jde pouze o dohad? Zpětnovazební smyčka polohového řízení šoupátka není nikde popsána, předpokládám, že se jedná o klasické PID řízení.

Pro rozbor a vývoj regulace daného systému by byla důležitá znalost průtočnosti vzduchu ventilem v dynamických podmínkách, tj. při rychlých časových změnách postavení šoupátka. Toto z provedených kvazistatických měření nelze vyvodit. Rozdíly je nutno předpokládat, ovšem je těžko předpovědět, jak budou výrazné. Byl by to zajímavý (a velmi nesnadný) experimentální úkol.

P. disertant - dle vyjádření v práci, str.28 - výrazně přepracoval software, který byl dříve používán - a to celkem úspěšně - při zkouškách sedačky v letech 2008 až 2011. Jak jsem byl informován, nový software je v současnosti využíván při zkouškách sedačky na stavu. Bohužel v práci není dokumentováno, jaké jsou výsledky s ním dosažené. Pokud p. disertant v Závěru své práce hovoří jako o jednom z jejich přínosů (str.110), cituji

„ověření aktivní vibroizolace realizované pomocí zpětnovazebního regulátoru“, pak jsem toto ověření nikde v ní nenašel.

V práci není také uvedeno, z jakého důvodu k přepracování regulačního softwareu došlo. Jednou úpravou byl určitě přechod z proudového řízení řídicího ventilu na řízení polohové, ale dalšími důvody byly „nové požadavky“ (str.28).

Dotaz č.2 : Jaké nové požadavky během poslední doby vznikly?

Dotaz č.3: Řídicí systém dle obr.3, 5 je uzpůsoben pro použití při zkouškách na zkušebním stavu. Jak by si p. disertant představoval jeho rozšíření pro reálné využití ve vozidle?

Kapitola 4 – Matematický model systému

Kapitola se zabývá základním matematickým popisem dynamiky sedačky při jejím kinematickém buzení vertikálním pohybem podlahy. Hlavním cílem je získání linearizovaného modelu, vhodného pro další využití při teoretickém návrhu stavového regulátoru.

Jedna ze základních potíží linearizace tohoto systému, termodynamická otázka plnění /vypouštění vzduch z pružiny, je řešena poměrně podrobně, což považuji za přínos.

Nenašel jsem však žádnou zmínku o linearizaci vcelku významných nelinearit – charakteristiky pneumatické pružiny a tření v mechanismu (které má zřejmě výrazný vliv na pohyb sedačky – obr.18,19). Metody jejich linearizace je možno běžně najít ve všech starších učebnicích vibrační dynamiky.

V Kapitole 4.6 – Identifikace nelineárního modelu (ale i ve všech dalších) postrádám konkrétní numerické hodnoty, které byly dosazovány (např. při výpočtech vedoucích k obr.11, 12, 13, 15, 18). To zcela znemožňuje i orientační kontrolu výsledků.

Překvapuje mne, že v celé kapitole není pojednáno o podmínkách zajištění stability řízeného systému - což je jedna z klíčových otázek teorie řízení. Určitá zmínka se objevuje až v Kap.6.

Všechny linearizace nelineárních prvků/soustav, tj. nalezení jejich přibližně odpovídajících lineárních protějšků, je nutno provádět pro určité zadané velikosti vstupních procesů (např. amplitud harmonických vstupů) resp. i jejich spektrálního složení (např. PSD u stacionárně náhodně buzených procesů). S velikostí vstupů, a tedy stavů na nelineárních elementech, se linearizované parametry soustavy mění. „Optimální“ (vzhledem ke zvolenému kritériu) stavový regulátor nějaké zlinearizované soustavy, odvozený pro určitou velikost budícího procesu, není optimální pro buzení procesem se zcela stejným charakterem ale jiné velikosti. Linearizace v této práci jsou „globální“, včetně linearizace průtokové charakteristiky vzduchového ventilu (viz dále), tj. neberou ohled na velikost vstupů.

Dotaz č. 4 : Posun střední hodnoty polohy sedačky při měření dle obr.14 je možno částečně přisoudit i progresivní charakteristice vzduchové pružiny. Jedinou možnost netěsnosti vzduchové soustavy vidím ve ventilu, který i ve střední „nulové“ poloze nemůže principiálně být zcela těsný (vývody nebyly asi zaslepeny). Není to prakticky příliš důležité, protože řízení musí výraznějším změnám střední polohy zamezit. Důležitější je změna střední polohy sedačky při jejím řízení v dynamických stavech – jak je tomu u současného řízení, mění se při provozu během času?

Dotaz č. 5 : Zkoumaný systém aktivní sedačky patří pro vlastnosti vzduchové soustavy a přívodu/vývodu vzduchu z ní očividně k špatně linearizovatelným – viz diskuze v Kap. 4.2, 4.3, Příloha IV. Jaký je názor p. disertanta na linearizovatelnost jím řešeného systému, tj. jak se podle jeho názoru liší realita provedené řízení sedačky od jejího linearizovaného modelu.

Kapitola 5 – Měření průtokové charakteristiky a linearizace průtoku vzduchu pneumatickým ventilem

Kapitola je rozdělena na sledování průtoku při zadaném řídicím proudu a průtoku při zadaném zdvihu šoupátka ventilu. V podstatě se jedná o stejné závislosti, protože poloha šoupátka je teoreticky přímo odvislá od proudu a naopak (že tomu ve skutečnosti přesně není je věc jiná; při stacionárních měřeních na stavu by tomu však s dostatečnou přesností být mělo). Základní závislost proud-zdvih šoupátka je známa (str.27 – pokud je vztah lineární !?), takže se vlastně nemusela provádět dvě samostatná měření.. Bylo by ale zajímavé, porovnat výsledky prvního měření, pořízené proudoměrem, s výsledky druhého měření plněním nádoby. Oba způsoby měření mají své přednosti a nedostatky.

Mám určité problémy s kapitolami týkajícími se „linearizací“ průtokové charakteristiky ventilu, a to hlavně z hlediska využití výsledku těchto linearizací.

Umím si představit, že pro daný systém, lineárně modelovaný např. soustavou rovnic (4.15), se zátěžnou hmotou M , buzený známým procesem $v_I(t)$, se stanoví výpočtem parametry optimálního (vzhledem ke stanovenému kritériu) lqr stavového regulátoru. Pro takto odvozený regulátor je pak možno stanovit řídicí funkci $u(t) = \dots\dots\dots$ (6.13), a tím i $m'(t) = Q(t) = u(t)$. Má-li být takovýto regulátor aplikován v reálu, je úkolem stanovit řízení ventilu (proudu nebo zdvihu šoupátka) takové, aby reálný průtok $Q_{real}(t)$ přibližně odpovídal takto teoreticky zjištěnému průtoku $Q(t)$. Jedná se tedy o inverzní proces vzhledem k linearizaci, „odlinearizování“ modelu:

„Je znám potřebný hmotnostní průtok v čase v modelové lineární soustavě a hledá se řídicí funkce $u_{řid}(t)$ ventilu (kde $u_{řid}$ je řídicí proud nebo posuv šoupátka), která by mu odpovídala.“

K tomu je zapotřebí k funkci $Q = f(i)$ znát její inverzní protějšek $i = f(Q)$ resp $x = f(Q)$ (obr.39).

Obecně by mělo platit (silně zjednodušuji) pro každou periodu připouštění vzduchu do pružiny resp. vypouštění z ní o délce T_i

$$\int_0^{T_i} Q_{real}(t).dt = \int_0^{T_i} u(t).dt.$$

Postup výpočtu $u_{řid}(t)$ (vzhledem k tomu, že $Q_{real} = f(p, u_{řid})$), vedoucí k přibližnému plnění výše uvedeného požadavku (samozřejmě správně matematicky interpretovanému), by zřejmě nebyl jednoduchý a nebudu nad ním fantazírovat.

Tento postup v práci zmíněn není. Uvádím jej jen proto, že jsem se zamýšlel nad smyslem provádění linearizací charakteristiky ventilu, jak jsou v práci uvedeny – a nedospěl k žádnému závěru.

Dotaz č. 6 : Obr.30 - co je $Q_{vln}[q/s]$, $Q[g/s]$ a kde je i ?

Problémy, spojené se snahou o linearizaci průtokové charakteristiky ventilu je možno nejlépe ilustrovat na obr.30 :

- 1) obrázek neukazuje „linearizovanou“ průtokovou charakteristiku, protože se skládá ze dvou lomených větví připouštění - odpouštění; zakreslená charakteristika je obecně nelineární;
- 2) i kdyby byl posuzován jen ten omezený rozsah Q a i , v němž je na obr.30 zakreslena lineární závislost, je absurdní, aby linearizovaný průtokový součinitel byl v obou větvích stejný a nezávislý na p_{2abs} ; pokud by byl ale na něm závislý, nemohl by být použit v lineárním dynamickém modelu; vliv změny p_{2abs} by bylo možno snad zanedbat v určitém omezeném okolí tlaku $p_{2abs,ust}$, ale to by muselo být definováno,
- 3) z pouhého pohledu na průtokové charakteristiky ventilu pro konstantní tlak v pružině $p_{2rel} = konst. = 0.54$ MPa na obr.25 až 27 (kdy je průtoková charakteristika přibližně symetrická) je patrné, že linearizovaný průtokový součinitel musí být jiný, bude-li rozsah řídicího proudu např. $i(0.6 \pm 0.2 \text{ A})$, $i(0.6 \pm 0.4 \text{ A})$ nebo $i(0.6 \pm 0.6 \text{ A})$; pro jiné p_{2rel} budou tyto součinitele dále jiné pro každou větev.

Dotaz č. 7 : Jak vidí p. disertant možnost použití výsledků linearizace průtokové charakteristiky ventilu, naor. uvedených v práci na obr.30, pro další vývoj řízení sedačky ?

Kapitola 6 – Návrhy regulátorů

Návrh realizovatelného řídicího algoritmu je klíčovým bodem jakéhokoliv aktivního řízení. Kapitola je pro mne zajímavá tím, že na základě jednoduchého lineárního modelu s jednoduchými vstupy porovnává výsledky dosažené s lqr stavovým regulátorem a heuristicky optimalizovaným regulátorem s rozšířeným počtem vstupních regulačních veličin.

Připojuji několik poznámek a dotazů.

Kap.6.2, 6.3, 6.4

Modelové výpočty s dopředným regulátorem s invariancí z_1 a s invariancí z_2 považuji spíše za kuriozitu, protože už ze samotného principu nemohou být v reálu samostatně použity (jak je i uvedeno).

Kap.6.4

Kapitola se velmi povšechně zabývá heuristickým regulátorem použitým v řízení reálné sedačky. Úkolem vývoje řízení je nalezení takové závislosti řídicí veličiny ventilu $u_{řid}(t)$ na zvolených i-akčních veličinách, aby bylo při daném buzení docíleno minimum zvoleného kritéria. Tato závislost je zde nutně silně nelineární hlavně vlivem průtokové charakteristiky ventilu, ale i vlivem termodynamiky plnění/vypouštění pružiny. Lineární řídicí funkce v provedeném řízení sedačky, jak je provedena dle (6.23), tedy nemůže nikdy vést k optimálnímu řešení.

Dotaz č. 8 : Jak to vidí p. disertant?

Kapitola obsahuje několik podrobností, které vyžadují podrobnější vysvětlení.

Dotaz č. 9 : Integrovaný člen dle rovnice (6.22)) s uvedenými konstantami $\tau_f = 10$ s, $G_f = 10$ nevyniká zrovna velkou přesností integrace. Byl vliv této nepřesnosti alespoň v úvaze sledován?

Dotaz č. 10 : Podle definice je $\tilde{p} = (p - p_0)$!

Článek dle (6.24)

$$\frac{\tilde{p}}{p} = \frac{1}{\tau_{dp} s + 1}$$

je integrační, nikoliv derivační!!

Derivační člen by byl popsán vztahem

$$p'/p = \tau_{dp} s / (\tau_{dp} s + 1) \quad !!!$$

Pokud se jedná o přepsání, a skutečně se má stanovit $p' = (dp/dt)$, není důvod odhadu p' a jeho zavedení „někam“ do algoritmu řízení nikde vysvětlen. Derivační člen by působil jako hornopropustní filtr pro p , proč? Mezi řídicími veličinami regulátoru v (6.23) není p' uvedeno.

Dotaz č.11 : Proč je použit Butterworthův filtr druhého řádu (6.25) s mezní frekvencí $f_n = 10$ Hz, (6.25) mají-li akční signály předpokládanou horní frekvenci až stejnou? Již při frekvenci 6 Hz takovýto filtr významně zkresluje jak amplitudově tak i fázově. Jako dolní propust není dobrý.

Dotaz č.12 : Měřené signály se filtrují analogově před ADC, pak se zpracovávají digitálně, nebo se, jak by vyplývalo z popisu (obr.3), zpracovávají plně analogově a pak teprve prochází ADC ?

Kap.6.5

Dotaz č. 13 : Jak dospěl pan disertant k hodnotám váhových koeficientů $k_{a2}=0.4$, $k_z=0.4$, $k_u=1$ v kritériu (6.10)? Jedná se sice o ukázkou, nikoliv o praktický výpočet, i tak mně tato volba připadá nevhodná. Porovnáváme-li předpokládané maximální hodnoty stavových veličin modelu (dle obrázků), které jsou např. $a_{2max} = 10$ m/s², $z_{max} = 0.1$ m, $u_{max} = 0.5$ (?), pak by byl význam těchto stavových veličin při ukázaných výpočtech v kritériu (6.10) hodnocen v poměru 40 : 0.004 : 0.25,

neboli prakticky by při této volbě byla soustava optimalizována pouze vzhledem k a_2 . Váhy musí být znormovány!

Kap.6.6, 6.7, 6.8

Vzhledem k tomu, že se v těchto kapitolách porovnávají výsledky modelových výpočtů, podivují se nad zavedením filtrace „měřených“ veličin. Tyto veličiny jsou vypočítávány a žádné šumy stejného typu jako u reálných soustav v nich neexistují. Filtrace jakýmkoliv filtrem – a zvláště podle mne problematickým filtrem druhého řádu – je pouze zkresluje a v žádném případě nemůže řízení modelu prospět (jak je i ukázáno).

Dotaz č. 14 : S heuristickým regulátorem je možno dosáhnout u daného modelu lepší výsledky než s lqr teoretickým stavovým regulátorem. Čím to p.disertant vysvětluje?

Dotaz č. 15 : Jak hodnotí p. disertant význam matematického modelování s linearizací řízené soustavy při vývoji algoritmu jejího regulátoru, specificky vzhledem k jím řešenému problému. Není cesta přímé integrace odvozených nelineárních diferenciálních rovnic, zavedení „mapy“ průtokové charakteristiky ventilu, heuristické stanovování volitelných konstant řízení ventilu, a algoritmizace tohoto postupu, vedoucí k optimalizaci funkce systému dle zvoleného kritéria, v současnosti výhodnější?

Formální zpracování

Práce je zpracována na dobré úrovni jak grafické tak i textové.

Občasné omyly formálního charakteru, jako jsou někde nesprávná čísla rovnic nebo popisy v obrázcích je možno tolerovat.

Poněkud mně vadí určitá volnost vyjadřování, která je možná v hovoru, ale neměla by se objevit v doktorské disertaci, jako:

- směšování pojmů „hmota“ – „hmotnost“,
- „útlum frekvencí“, „budicí frekvence“ atp. , frekvence netlumí, nebudí,
- „tuhost“ tlumiče, tuhost má v mechanice svůj jasně vymezený význam, atp.

Celkové hodnocení

V práci jsem nenašel chyby věcného charakteru nebo nelogická tvrzení.

Celkově působí neuceleně. Dotýká se několika témat rozličného charakteru, která ale nejsou sama o sobě dovedena k reálnému závěru o svém dalším využití. Jejich výsledky proto ani nemohou být syntetizovány do uceleného tvaru, který by byl vodítkem pro případné další práce na vývoji komerčně využitelné sedačky. Nikde není ukázáno, jaký pokrok ve vývoji vlastností řízené sedačky provedené práce vlastně přinesly, nebo by ještě mohly přinést, pokud by úkol pokračoval.

Přes mnohé výhrady, které k práci mám, ji však hodnotím kladně. Je jednak podkladem k zamyšlení nad případným dalším vývojem řízené sedačky a její regulace, ale může sloužit jako předloha možných postupů při řešení jiných úloh s obdobnou mechatronickou strukturou.

Závěr

Konstatuji, že

práce splňuje požadavky a nároky, kladené na práci disertační

a

souhlasím s jejím připuštěním k obhajobě.



V Praze, 10.04.2017

Prof. Ing. Milan Apetaur, DrSc.

Posudek disertační práce

Doktorand: Ing. Zdeněk Herda
Název práce: Aktivní řízení nelineárního vibroizolačního systému sedačky
Školitel: doc. Ing. Bedřich Janeček, CSc.
Studijní program: P 2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612 V045 Technická kybernetika
Pracoviště: Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
Technická univerzita v Liberci
Rozsah práce: 111 stran základního textu, 63 obrázků, 5 tabulek, 10 odkazů na použitou literaturu 22 stránek příloh s obrázky, výkresy a odvození. Seznam 4 vlastních publikací a 4 projektů.

Aktuálnost zvoleného tématu

Na vývoji aktivně řízených sedaček pro automobily, těžké a stavební stroje se pracuje na Technické univerzitě v Liberci již řadu let. Do tohoto oboru výroby patří i lehátka pro sanitky. Vývojové práce však postupují pomalu v souladu s tím, jak se na trhu objevují nové dokonalejší a levné komponenty. Na Technické univerzitě jsou také k dispozici laboratorní zkušební stavy pro výzkum účinnosti sedaček snižovat vertikální a horizontální vibrace.

Disertační práce doktoranda vznikla pokračováním dřívějších výzkumných a vývojových prací jednak na domácích univerzitách, ale také v cizině. Současný stav bohužel popisuje jen jedna stránka textu a dva odkazy na publikace na další stránce. Doporučuji, aby v úvodu prezentace u obhajoby byl uveden aspoň jeden známý výrobek, nejlépe zahraniční. Pro osobní vozidla vyrábí sedačky německá firma Brose (v textu je snad chybně Bose).

Splnění stanoveného cíle

Cíl disertační práce je stanoven velmi stručně, a to prověřit možnosti realizace aktivního tlumení vibrací pro sedačku s pneumatickou pružinou běžnou v nákladních automobilech a těžkých strojích za použití zpětnovazebního regulátoru.

Doktorand se rozhodl naplnit tento cíl zavedením snímače zdvihu šoupátka ventilu. Vývoj matematického modelu a experimenty prokazují, že cíl disertační práce byl splněn.

Postup řešení problému a dosažené výsledky

Odpružená sedačka představuje jednoduchý systém hmoty na pružině. Pro ocelovou pružinu je to systém lineární, zatímco pro vzduchovou (pneumatickou) pružinu je systém nelineární. Tuhost této pružiny je dána tlakem ve vzduchovém vaku, který se teoreticky mění. Doktorand tuto skutečnost respektoval, ovšem pro syntézu řídicího algoritmu musel rovnice linearizovat.

Oproti svým předchůdcům do modelu zavedl zdvih šoupátka pneumatického ventilu. Snímač zdvihu musel do ventilu zabudovat sám. Originální se jeví také metoda měření charakteristik ventilu (závislost průtoku na poloze šoupátka a dalších parametrech jako jsou tlaky) pomocí měření tlaků před a za šoupátkem vzhledem směru proudění vzduchu. Malé průtoky se totiž měří obtížně a s velkou chybou. Toto zdokonalení dává disertační práci velký praktický význam pro komerční využití a hromadné aplikace. Při obhajobě by měl doktorand uvést, zda někdo použil tento princip v jiných systémech než je sedačka.

Pochvalu od oponenta si zaslouží aplikace stavového řízení a návrh heuristického řízení. Na str. 93 přenos 6.24 je pro setrvačný členek, i když je uváděn jako derivační členek. Jde zřejmě o neúmyslnou chybu přepsáním jak vyplývá z kontextu.

Tu

Řízená soustava je druhého řádu, a proto je teoreticky stabilní pokud neobsahuje parazitní dopravní zpoždění. Hmotu šoupátka lze vzhledem ke hmotě sedáku se sedící osobou zanedbat. Řídicí systém je seřízen podle kvadratického kritéria, ve kterém je respektován vliv rychlosti sedáku a zdvihu a také akční veličiny, kterou je průtok vzduchu pneumatickým ventilem.

Souhrnnou charakteristikou funkce aktivního řízení je poměrný útlum svislého kmitání osoby, která sedí na sedáku, a porovnání tohoto kmitání se stavem, kdy je aktivní řízení vypnuto. Může doktorand účinek svého systému takto demonstrovat? Mohu uvést, že jsou případy, kdy je žádána měkká sedačka a případy, kdy chce řidič pohyb vozidla při závodech cítit.

Význam pro rozvoj oboru

Jak uvádím v předcházejících odstavcích, má doktorandská práce značný praktický význam pro rozvoj oboru. Nejde o akademickou hru na vědu.

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

Nemohu uvést, že doktorandská práce nemá formálních závad. Doktorand se vyjadřuje sice srozumitelně, ale nešikovně. Buď psaní (složení jednotlivých vět) odbyl nebo úpornou snahou o co největší vědeckost text „přepiloval“. Nemá za sebou mnoho samostatných publikací a tedy i zkušeností, jak psát stručně a výstižně.

Pro poučení doktoranda uvádím tyto příklady neobratností:

Nadužívání slova „regresní“. Mohl použít slovo „náhradní“, „aproximace“, atd.

Lze u něho číst „Veličina z ...“. Čtenáři by pomohlo, kdyby napsal „Zdvih z ...“

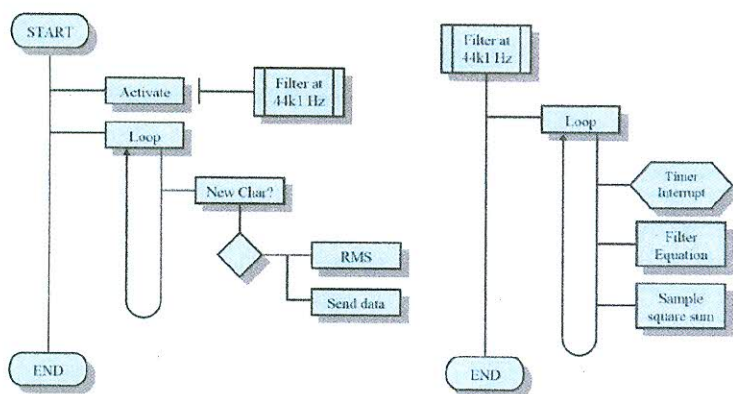
Popisuje diferenciální rovnice a napíše, že parametr čas vynechá. Čas je v takových rovnicích nezávisle proměnná.

Na str. 20 napíše, že „... byl zaručen konstantní objem vzduchu v pružině“. Nemělo by se napsat hmota? Konstantní objem znamená, že pružina má neměnný zdvih.

Na str. 45 je napsáno: „Funkce (4.35) je harmonickou funkcí s nelineárně se zmenšující amplitudou a s nelineárně rostoucí frekvencí v čase“. Proboha, jak to poznal? Pokles amplitudy vypadá na lineární a o frekvenci se na první pohled toho mnoho říci nedá. Tvzení by bylo plnohodnotné, kdyby slovo „nelineární“ vynechal.

Ještě dodávám, že tyto poznámky nesnižují vědeckou hodnotu práce a nejsou zdrojem fatálních chyb, které by text zpochybňovaly.

Drobnou výhradu mám k vývojovému diagramu na str. 29. Styl patří k hromadnému zpracování dat. Bylo by vhodnější použít vhodnou normu, například British Standard 6224 z roku 1987



Vyjádření k publikacím doktoranda

Na str. 112 je uveden soupis 4 publikací. Na jedné z nich je uveden jako hlavní autor. Podle názvu jsou dvě publikace v angličtině. Publikační aktivita plně odpovídá věku doktoranda. Doporučuji po úspěšné obhajobě publikovat v časopisech nebo na konferencích, které se objevují v mezinárodních databázích.

Závěr

Doktorand prokázal schopnost vědecky pracovat a obohatil obor aktivního řízení vibrací o nové poznatky. Disertační práce přispívá k rozvoji oboru, a proto ji doporučuji k obhajobě.

V Ostravě 21. 7. 2017

Prof. Ing. Jiří Tůma, CSc.
VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní

