



Posudok habilitačnej práce Ing. Pavla Makyša, PhD.

PERSPEKTÍVNE METÓDY RIADENIA ELEKTRICKÝCH SERVOPOHONOV

Študijný odbor: 5.2.11 Silnoprúdová elektrotechnika
Žilinská univerzita v Žiline, Elektrotechnická fakulta
Katedra výkonových elektrotechnických systémov

Na základe menovania dekana EF ŽU v Žiline oponentom práce v zmysle Vyhlášky MŠ SR č. 6/2005 predkladám posudok habilitačnej Ing. Pavla Makyša, PhD. v nasledovnom členení:

1. Obsah práce, jej aktuálnosť, vedecká úroveň, kritický rozbor
2. Pôvodnosť a forma práce z didaktického hľadiska
3. Komplexné posúdenie habilitanta: pedagogická a výskumná činnosť, publikácie habilitanta
4. Niektoré pripomienky k práci a otázky na habilitanta
5. Záverečné hodnotenie:

Habilitant Ing. Pavol Makyš, PhD. je mladým a pritom fundovaným pracovníkom katedry s odborným zameraním na riadenie elektrických striedavých pohonov a implementáciu riadiacich algoritmov do mikropočítačov a DSP procesorov. **Jeho habilitačná práca sa zaoberá perspektívnymi metódami riadenia elektrických servopohonov.** Predkladaná habilitačná práca predstavuje súbor vedeckých príspevkov (v počte 14), publikovaných na medzinárodných prevažne zahraničných konferenciách a v odborných vedeckých časopisoch a je napísaná formou komentára k tomuto súboru.

Problematika riadenia elektrických striedavých pohonov, ktorej je venovaná podstatná časť príspevkov, je stále **veľmi aktuálna**. Ponúka široké spektrum aplikácií, pričom každý typ aplikácie vyžaduje určité špecifické nároky, kladené na elektrický pohon. Jednou z typických aplikácií je polohový servopohon, ktorého hlavnou úlohou je dosiahnuť požadovanú polohu s minimálnymi odchýlkami v presnosti, predpísanej dobe ustálenia, resp. v dynamike pohybu pri pôsobení poruchových veličín, a obyčajne pri minimálnych nákladoch. Z tejto šírky aplikácií a špecifických požiadaviek v habilitačnej práci sú vybrané zamerania v troch kapitolách, každá s osobitným zameraním:

- 1) Vplyv zmeny parametrov pohonu na kvalitu regulačného pohonu, najmä použitím predkorekčných slučiek
- 2) Riadiace algoritmy pre pružné spojenie motora so záťažou
- 3) Možnosti využitia bezsnímačových algoritmov v servopohonoch

Je to oblasť výskumu domácich, európskych ale i projektov svetového dosahu.

V prvom prípade ide o aplikáciu polohového servopohonu s hlavným cieľom dosiahnuť požadovanú polohu s minimálnymi odchýlkami v presnosti, predpísanej dobe ustálenia, resp. v dynamike pohybu pri pôsobení poruchových veličín z hľadiska regulácie. Medzi najbežnejšie prístupy a techniky riadenia lineárnych systémov, založené na deterministickom prístupe s čo najpresnejšie identifikovaným modelom motora s PI a PID regulátormi, ako aj riadenie v stavovom priestore a metódy založené na inverznej dynamike. Keďže klasický spätnoväzobný model nedokáže však generovať žiadané odozvy, riadenie sa musí rozšíriť o predkorekcie, ktoré je možné zaviesť viacerými spôsobmi, pričom niektoré z nich sú opísané v príspevku habilitanta [P1]. Špecifickou skupinou riadenia je v práci uvádzané riadenie v kľzavom režime. Aplikovanie tejto riadiacej techniky pre SMPM motor so zachovaním princípu vektorového riadenia je uvedené v práci v príspevku [P3]. Filtračný pozorovateľ, ktorý zabezpečí v pozorovanej polohe aj informáciu o záťažnom momente opisujú príspevky [P4] a [P5]. Praktická realizácia kľzavého riadenia na presné polohovanie pre lineárny motor je opísaná v príspevku [P6].

Riadiace algoritmy pre pružné spojenie motora so záťažou sú predmetom ďalšej časti práce, Kap. 2. V príspevkoch [P7]-[P10] vidíme vysporiadanie sa s problémami spojenými s pružnou väzbou buď znížením dynamiky alebo použitím riadenia s vnútenou dynamikou, resp. použitím kľzavého riadenia. Riadenie v kľzavom režime vykazuje potrebnú robustnosť aj v súvislosti s výskytom nelinearit systému a je pri tom parametricky nezávislé. V príspevku [P10] ide o riadenie servopohonu v stavovom priestore použitím pozorovateľa na strane záťaže je pozorovaná poloha rotora, využitá pre pozorovateľ na strane motora. Týmto spôsobom je eliminovaná potreba snímača polohy na rotore motora. Na zmenu parametrov systému (moment zotrvačnosti, tlmenie) sa odporúčajú podľa literatúry metódy založené na analýze chybového signálu vo frekvenčnej oblasti s využitím rýchlej Fourierovej transformácie.

V Kap. 3 sú opísané možnosti využitia bezsnímačových algoritmov v servopohonoch. Prvá z uvedených metód využíva matematický model príslušného motora s kompenzáciou zmien parametrov [P11]. Je odporúčaná pre stredné a vyššie otáčkové rozsahy. Ďalšie metódy využívajú na identifikáciu polohy rotora injektovanie buď spojitého, alebo diskrétného signálu do statorového vinutia motora [P12]. Ide o modifikovanú metódu INFORM. Aj keď je generovanie signálov relatívne zložité, ich následné spracovanie je jednoduché pri minimálnom vplyve parametrov stroja [P14]. V príspevku [P13] je navrhnutá metóda využívajúca k identifikácii polohy rotora synchronne filtre, kde autor použil originálny spôsob spracovania signálov – ukladania ich amplitúd do relatívne malého pamäťového priestoru.

Téma dizertačnej práce **patrí** jednoznačne do odboru habilitácie, ktorým je silnoprúdová elektrotechnika so svojimi elektrickými regulovanými pohonmi. Aktuálnosť práce je z hľadiska súčasného stavu vedného odboru veľmi vysoká, nakoľko práca rieši **aktuálne špičkové problémy v danej oblasti**. Pritom forma predloženej habilitačnej práce svedčí o dobrých didaktických schopnosti uchádzača, treba poznamenať, že je písaná na **najvyššej profesionálnej kvalite**. To na

druhej strane kladie vysoké nároky aj na čitateľa práce. V úvodnej kapitole by bolo možno treba širšie uviesť čitateľa do problematiky elektrických regulovaných pohonov, najmä z hľadiska regulačných štruktúr s vektorovým riadením (*field oriented control*) - pozri tiež pripomienky. Inak je **vyváženosť textu práce z pedagogického hľadiska veľmi dobrá**.

K obsahovej časti habilitačnej práci mám niektoré nasledovné vecné pripomienky, resp. otázky:

- 1) V úvodnej kapitole by bolo možno treba širšie uviesť čitateľa do problematiky elektrických regulovaných pohonov, najmä z hľadiska regulačných štruktúr s vektorovým riadením (*field oriented control*).
- 2) Názvy, resp. popisy Obr. 3.1 a Obr.3.2 sú nepresné, napr. názov Obr. 3.1 je neukončený, v názve Obr. 3.2 sa uvádza raz diferencia, raz derivácia. Prosím vysvetliť! Spôsob merania by mohol byť vhodnou témou prihlášky úžitkového vzoru (pozri aj bod 6), či nie ?
- 3) Metódy opísané v [33] založené na FFT sa využívajú zrejme v on-line v regulačnej slučke? – Čo to vyžaduje? Alebo je to off-line?
- 4) V príspevku [P6] sa používa na zníženie dynamických odchýlok a prekmitov adaptívna zmena hodnoty K_p v závislosti na veľkosti regulačnej odchýlky (je to známy spôsob, my sme ho použili v spolupráci s KAR FEI STU na reguláciu elektroprenosu damperov Belaz už v 70-rokoch). Otázku mám, či nevedí zníženie dynamiky pri tomto spôsobe?
- 5) Práca sa málo zaoberá kvalitou elektrickej energie odoberanej zo siete. Nebol to ani jej cieľ, ale vedeli by ste k tomu niečo povedať? – deformačné výkony, činiteľ výkonu, príp. jalový výkon vznikajúci aj v diódovom usmerňovači pri nenulovej komutácii.
- 6) V bode Uznanie vedecko-pedagogickou komunitou som nenašiel žiadne úžitkové vzory. Nebol na to čas, alebo to ešte len príde? Napr. meranie derivácií prúdov v [P12] spomínanom v bode 2).
- 7) V zozname referencií: v Ref [1] sú, zrejme omylom, uvedené až 2 pramene, Ref. [45] a [57] – práce Teskeho *et al.* sa opakujú.
- 8) Drobné formálne chyby neuvádzam, sú vyznačené priamo v práci.

Všetky tieto uvedené pripomienky sú viac-menej námetom do diskusie, v žiadnom prípade neznižujú výborný prístup k riešeniu problematiky a dosiahnuté výsledky.

Význam práce vidím hlavne v dosiahnutých výborných výsledkoch a ich publikovaní v popredných časopisoch a svetových konferenciách (WoS, CC), ako aj v ich aplikácii spolupracujúcimi organizáciami a výrobnými podnikmi (EVPÚ N. Dubnica, FreeScale,..).

V rámci pedagogickej činnosti habilitanta a vo výchovno-vzdelávacej oblasti je možné za najdôležitejšie výsledky považovať:

- 1) vytvorenie podkladov a vedenie cvičení a prednášok z predmetov Elektrické pohony I a II, Elektrické pohony v elektroenergetike, Vybrané kapitoly z bezsnímačového riadenia elektrických pohonov, Úvod do EP pre študentov 2. ročníka bakalárskeho stupňa štúdia (2006 - doteraz)
- 2) vedenie diplomových seminárov pre študentov špecializácie Elektrické pohony
- 3) spoluautorstvo na tvorbe 2 vysokoškolských učebníc, resp. vedeckých monografií
- 4) spoluautorstvo na 2 monografiách ako aj kapitoly v zahraničnej monografii

- 5) spoluautorstvo na projektoch Kultúrnej a edukačnej agentúry KEGA z oblasti bilingválneho e-learningového vzdelávania v oblasti elektrických pohonov riadených s vnútenou dynamikou
- 6) vedenie 21 bakalárskych a 16 inžinierskych záverečných prác v študijnom programe Elektrické pohony
- 7) školiteľ špecialista pre 6 doktorandských dizertačných prác
- 8) prednáškové a pracovné pobyty na zahraničných univerzitách University of East London a University of Nottingham
- 9) menovanie členom komisie pre záverečné a štátne skúšky bakalárskeho a inžinierskeho štúdia v programe Elektrické pohony

Okrem toho, veľmi kladne hodnotím aj jeho účasť na výstavbe výučbových a odborných laboratórií katedry: laboratória elektrických strojov a prístrojov, laboratória mikroprocesorov a laboratória elektrických pohonov.

Vo výskumnej oblasti sa habilitant veľmi aktívne zapájal do riešenia vedecko-výskumných projektov. Boli to najmä projekty vedeckej agentúry VEGA orientované na optimálne riadiace techniky na redukcii strát striedavých elektrických pohonov, ako aj na výskum čiastkových vinutí synchronných strojov s permanentnými magnetmi (5 projektov). Taktiež projekty Agentúry pre výskum a vývoj APVV z oblasti progresívnych elektrických pohonov pre automobilové aplikácie, spínaných reluktančných strojov pre pokročilé automobilové aplikácie a striedavých trakčných pohonov medzného výkonu (6 projektov). Ďalej sú to projekty štrukturálnych fondov Operačného programu vzdelávanie Centrum excelentnosti výkonových elektronických systémov a materiálov pre ich komponenty (2 projekty). Veľmi významnou je jeho účasť na **medzinárodnom projekte** Európskej obrannej agentúry EDA - Hector z oblasti monitorovania a prognóz porúch vrtuľníka prostredníctvom snímačov na palube.

Vedecko-výskumná činnosť habilitanta je spojená a dokumentovaná perfektnou **publikačnou činnosťou** s množstvom publikácií (celkovo 50):

- 1) 2 vysokoškolské učebnice (spoluautor)
- 2) z oblasti publikácií CC a autorských osvedčení a patentov sú 4 príspevky v karentovaných časopisoch
- 3) 19 vedeckých príspevkov v časopisoch registrovaných v zahraničných databázach Web of Science, resp. Scopus
- 4) z oblasti recenzovaných publikácií je to 31 záznamov v zborníkoch z medzinárodných domácich a zahraničných konferencií (z toho 15 zahraničných evidovaných v databázach WoS a Scopus).

Úroveň publikácií s obsahom dizertabilného jadra práce je výborná - sú to 4 príspevky v karentovaných časopisoch. Takisto sú súčasťou jeho výskumu aj ohlasy na publikačnú činnosť: celkovo **57 ohlasov v citačných databázach** Web of Science a/alebo Scopus čo je takisto výborný výsledok. Z ďalších vedecko-výskumných aktivít je jeho aktívna účasť na medzinárodných konferenciách: 7 zahraničných a 6 domácich. Ďalej bol členom komisií- recenzentom na medzinárodných konferenciách (napr. SLED, Elektro 2012 až 2016). Je členom československej sekcie IEEE, takisto členom jej bunky IEEE-IAS – spoločnosti priemyselných aplikácií.

Z uvedeného jednoznačne vyplýva, že ide o pracovníka s **významnou vedeckou erudíciou**.

Uchádzač spĺňa kritéria pre habilitačné konania na EF ŽU v Žiline, vo viacerých bodoch ich viacnásobne prekračuje.

Záverom, na základe vyššie uvedeného hodnotenia, konštatujem, že habilitačná práca, dosiahnuté výsledky uchádzača a ich ohlas zodpovedajú požiadavkám habilitačného konania a preto

o d p o r ú č a m

komisii prácu habilitanta Ing. Pavla Makyša, PhD. k obhajobe prijať a po úspešnom obhájení podať návrh na udelenie akademického titulu

docent

v študijnom odbore 5.2.11 Silnoprúdová elektrotechnika.

V Žiline 8.8.2017

