

## Oponentní posudek disertační práce

**Uchazeč: Ing. Vojtěch Dvořák**

**Název disertační práce:** Nová metoda zpracování signálů ze snímače absolutní pozice

**Oponent:** Doc. Ing. Jan Maschke, CSc., Zázmolí 17, 614 00 Brno

**Pracoviště oponenta:** důchodce, dříve Univerzita obrany v Brně

*Oponent se v posudku vyjádří dle Studijního a zkušebního řádu VUT zejména:*

- a) k aktuálnosti tématu disertační práce,*
- b) zda disertační práce splnila stanovený cíl,*
- c) k postupu řešení problému a k výsledkům disertační práce s uvedením konkrétního přínosu doktoranda,*
- d) k významu pro praxi nebo rozvoj oboru,*
- e) k formální úpravě disertační práce a její jazykové úrovni,*
- f) zda disertační práce splňuje podmínky uvedené v § 47 odst. 4 zákona,*
- g) zda student prokázal nebo neprokázal tvůrčí schopnosti v dané oblasti výzkumu a zda práce splňuje nebo nesplňuje požadavky standardně kladené na disertační práce v daném oboru. Bez tohoto závěru je posudek neplatný.*

*Ke každému z níže uvedených bodů je nutno doplnit stručný komentář.*

Předložená disertační práce se zabývá důležitou tematikou algoritmů pro výpočet absolutní pozice pohyblivých částí mechatronických systémů. Práce je napsána v českém jazyce. Rozsah práce je odpovídající, obsahuje 117 stran textu (včetně seznamu literatury a příloh) a práce je vcelku logicky a přehledně členěna do pěti kapitol, závěru a jedné přílohy. Práce obsahuje 21 číslovaných odkazů na literaturu a v samostatné příloze 8 publikací o digitálním zpracování signálu, kde je disertant v kolektivu autorů. K práci jsem zaujal níže uvedené stanovisko.

### Ad a) Aktuálnost tématu disertační práce

Téma disertační práce je velmi aktuální.

Senzory polohy otáčejících se objektů (např. hřídele mechatronických systémů nebo elektrických strojů) a algoritmy zpracování jejich výstupních signálů jsou stále předmětem výzkumné i vývojové činnosti především pro speciální a okrajové aplikace, a jsou na ně kladeny velké naděje směrem k jejich přesnosti a odolnosti proti vnějším vlivům, a to v nejrůznějších aplikacích.

Hlavním tématem předložené doktorské práce je návrh nového algoritmu pro stanovení absolutní polohy otáčejícího se hřídele mechatronického systému v nepříznivém vnějším prostředí, kdy se vlastnosti primárních senzorů pozice mění vlivem okolního prostředí či stárnutím v průběhu života. Následuje mikroelektronická realizace výpočtu v obvodu FPGA. Motivací pro tento výzkum byla potřeba zvýšení spolehlivosti určení pozice.

Disertační práce obsahuje disertantovy nové a původní vědecké výsledky. Zvolené téma má disertabilní charakter, plně odpovídá současným trendům v oboru doktorského studia a přispívá k dalšímu rozvoji metod zpracování signálu moderními mikroelektronickými obvody.

#### **Ad b) Splnění stanoveného cíle disertační práce**

Cíl disertační práce byl splněn.

Předložená práce se zabývá výzkumem algoritmů výpočtu (realizovatelných mikroelektronickými obvody) pro stanovení absolutní polohy otáčejícího se hřídele mechatronického systému v nepříznivém vnějším prostředí. Hlavní cíle práce vychází z výše uvedeného celkového úkolu a byly definovány na straně 30 do následujících částí:

- Na základě výzkumu navrhnout nový algoritmus k výpočtu pozice, který je málo citlivý na změnu elektrických charakteristik vlastních senzorů a zajistí spolehlivost systému vzhledem ke vnějším vlivům.

- Návrh vhodné architektury pro implementaci nové metody do obvodů FPGA s omezením tzv. dlouhých matematických operací.

Oproti doposud běžně využívaným způsobům výpočtu (realizujících korekci chyb snímače předtím, než je ze signálů snímače dekodována informace o pozici) se nová metoda liší už v základním konceptu přístupu k řešení této problematiky. Namísto korekce signálů jsou vlastnosti snímače modelovány a v takovém modelu je hledána největší podobnost k hodnotám signálů skutečného snímače pozice na libovolném úhlu natočení. První cíl práce, kterým bylo vyvinout metodu robustní vůči chybám snímače, byl tedy splněn. Zde také je hlavní vědecký přínos práce (aplikovaný výzkum), a to nová numerická výpočtová metoda typu prediktor—korektor.

Jde tedy o numerické řešení problému (které ovšem vyžaduje velký výpočetní výkon), které bylo předmětem druhého cíle disertační práce. Potřebné krátké doby výpočtu nové pozice lze dosáhnout volbou vhodné architektury s velkou mírou paralelizace. Tuto výpočtovou architekturu lze potom snadno modifikovat pro různé systémy lišícími se požadavky na parametry výpočtu. Lze i zde konstatovat, že druhý cíl práce byl splněn

#### **Ad c) Postup řešení problému a výsledky disertační práce s uvedením konkrétního přínosu doktoranda**

Postup řešení problému a výsledky disertační práce jsou nadprůměrné.

Ing. Dvořák se zabýval tématem disertační práce dlouhodobě, systematicky a velmi podrobně. K řešení práce doktorand využil metod vědecké práce – analýza současného stavu, návrh řešení, technologická realizace a experimentální ověření funkčního vzorku. Vycházel z vědeckého zázemí Ústavu mikroelektroniky a spolupracujících firem. Podrobně doktorand

provedl rešerši článků v časopisech a výzkumných zpráv, kde prošel 21 relevantních příspěvků.

Přínosy práce z předložených výsledků lze vidět v těchto bodech:

- Disertant na základě výzkumu navrhl nový algoritmus k výpočtu pozice, který je málo citlivý na změnu elektrických charakteristik vlastních senzorů a zajistí spolehlivost systému vzhledem ke vnější vlivům. Disertant algoritmus detailně analyzoval z hlediska robustnosti a přesnosti výpočtu pozice.

- Návrh vhodné architektury pro implementaci nové metody do obvodu FPGA s omezením tzv. dlouhých matematických operací. Použité matematické operace je navíc možné zřetězit a případně i paralelizovat. Na základě toho byly odvozeny různé architektury vhodné pro obvody FPGA, jež se liší dobou výpočtu a množstvím potřebným hardwarových zdrojů.

Práce byla dotažena až do závěrečného stádia měřením vyrobeného funkčního vzorku. Disertant pro ověření algoritmu na základě podrobného rozboru vybral snímač absolutní pozice založený na Vernierově principu (používá magnetorezistivních senzorů na dvě noniová kola), jehož princip může zabezpečit velkou odolnost vůči vnějším (environmentálním) vlivům. Navrhl algoritmus zpracování signálu z použitých senzorů, který analyzoval z hlediska robustnosti vůči změnám jejich parametrů či nepřesnostem kompenzace takových chyb.

Doposud používané způsoby vyhodnocení signálů ze snímače absolutní pozice noniového typu se zaměřovaly na určení úhlu v každé periodě průběhu snímače a následnou aplikaci noniového principu, kdy skutečná pozice je rozdíl úhlů v periodě mezi jednotlivými průběhy.

Disertant rozbohem ukázal, že změna parametrů snímače však může mít na chybu vypočtené pozice dominantní vliv. V případě, že je nutné mechanismus osazený tímto snímačem pozice držet ve stabilní poloze, přičemž se mění parametry okolního prostředí (např. teplota), nelze provádět korekci signálů s aktuálními parametry, neboť jejich aktualizace není možné bez otáčení mechanismu. Důsledkem tak je, že se mění vypočtená pozice, i když poloha mechanismu (hřídele) zůstává stejná. Na takovou změnu pozice pak reaguje regulační soustava a nastaví mechanismus na chybnou pozici. Navržený algoritmus řeší tento nedostatek.

Práce přináší nové původní poznatky a je z hlediska informací v ní obsažených přiměřená. Uvedené výsledky a nové poznatky korespondují se stanovenými cíli a jsou experimentálně ověřeny.

#### **Ad d) Význam pro praxi nebo rozvoj oboru**

Význam pro praxi nebo rozvoj oboru je nadprůměrný.

Disertační práce představila novou metodu vyhodnocení signálů z noniového snímače absolutní pozice. Tato nová metoda zvyšuje robustnost výpočtu pozice i v případě měnících se parametrů snímače vlivem okolí (např. teplota) a je vhodná zejména pro vesmírné aplikace, kde je kladen důraz především na robustnost v nepříznivých environmentálních podmínkách. Doktorand nově představenou metodu implementoval a optimalizoval pro obvody FPGA a digitální obvody ASIC.

Práce má přímé praktické uplatnění jak pro pokračování výzkumu, tak v praxi, při návrhu mechatronických systémů. Z hlediska teorie přinesl disertant podněty pro další práce v oblasti digitálního zpracování signálu ze senzorů.

#### **Ad e) Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň**

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň je průměrné.

Autor vytvořil práci vcelku srozumitelnou a jasnou, když se snažil o popis široké problematiky snímačů absolutní pozice. V první části textu práce jsou představeny doposud využívané metody výpočtu pozice a identifikovány jejich limity, především vzhledem ke změně charakteristik snímače. Vlastní práce doktoranda je popsána v kapitole třetí a čtvrté. V kapitole páté jsou potom výsledky výpočtu pozice v reálné aplikaci a naměřené výsledky jednotlivých testů a také porovnání s jinými snímači (str. 99).

V závěru práce jsou uvedeny testy, které byly provedeny pro ověření funkčnosti a vlastností nové metody ve vzorové aplikaci, kde tato metoda našla své uplatnění. Závěr bych očekával podrobnější, když autor opravdu docílil řadu důležitých a použitelných výsledků.

Práce je standardně doplněna seznamem použité literatury i seznamem zkratk a symbolů. V práci je minimum překlepů a nedůsledností, takže mám jen drobné připomínky, především místy používaná desetinná tečka, u veličin není v některých případech číslo a veličina (fyzikální rozměr) odděleno mezerou, u obrázků chybějící označení veličiny na ose x (obr. 32, 33), podobně na ose y (obr. 15, 16 a 52), špatně čitelný obrázek 60.

#### **Ad f) Disertační práce splňuje podmínky uvedené v § 47 odst. 4 zákona**

Disertační práce podmínky uvedené v § 47 odst. 4\*) zákona č. 111/1998 sb. o vysokých školách splňuje.

*(\*4) Studium se řádně ukončuje státní doktorskou zkouškou a obhajobou disertační práce, kterými se prokazuje schopnost a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu nebo vývoje nebo k samostatné teoretické a tvůrčí umělecké činnosti. Disertační práce musí obsahovat původní a uveřejněné výsledky nebo výsledky přijaté k uveřejnění.*

V příloženém *Seznamu vlastních publikací* uvádí doktorand své publikace (8 položek), kde na třech je na prvním místě ve výčtu autorů. Tyto publikace se týkají metod digitálního zpracování signálu. Dvě z nich se vztahují k tématu disertace (a dva další články jsou připraveny k publikaci po ukončení řízení k ochraně metody patentem), takže konstatuji, že výsledky disertační práce byly dostatečně publikovány. Dále je v seznamu také 8 funkčních vzorků a 2 výzkumné zprávy, které se netýkají obsahu disertační práce.

#### **Ad g) Prokázání tvůrčí schopnosti studenta v dané oblasti výzkumu a zda práce splňuje nebo nesplňuje požadavky standardně kladené na disertační práce v daném oboru.**

Doktorand prokázal tvůrčí schopnosti v dané oblasti výzkumu a práce splňuje požadavky standardně kladené na disertační práce v daném oboru.

Disertační práce představila novou metodu vyhodnocení signálů z noniového snímače absolutní pozice. Tato nová metoda zvyšuje robustnost výpočtu pozice i v případě měnících se parametrů snímače vlivem okolí (např. teplota) a je vhodná zejména pro vesmírné

aplikace, kde je kladen důraz především na robustnost v nepříznivých environmentálních podmínkách. Doktorand nově navrženou metodu implementoval a optimalizoval pro obvody FPGA a digitální obvody ASIC.

Práce má přímé praktické uplatnění jak pro pokračování výzkumu, tak v praxi, při návrhu mechatronických systémů. Z hlediska teorie přinesl disertant podněty pro další práce v oblasti digitálního zpracování signálu ze senzorů.

**Celkové hodnocení:**

Předložená práce se zabývá výzkumem algoritmů výpočtu (realizovatelných mikroelektronickými obvody) pro stanovení absolutní polohy otáčejícího mechanismu v nepříznivém vnějším prostředí. Práce přináší nové a původní poznatky, které byly ověřeny v praxi a publikovány. Hlavní vědecký přínos je v novém robustním a přesném algoritmu k výpočtu pozice.

Z posuzovaných materiálů vyplývá, že se doktorand uvedenou problematikou zabýval velmi podrobně a seznámil se s potřebnými částmi mikroelektroniky, digitálního zpracování signálu a mechatroniky.

V oponované práci nejsou zásadní chyby teoretického charakteru a vážné nedostatky. Závěry uvedené v práci mají nesporný význam pro rychlé zpracování signálů z detektorů mikroelektronickými obvody FPGA.

Disertace splňuje podmínky samostatné tvůrčí vědecké práce a obsahuje původní výsledky, které byly publikovány. Práce splňuje podmínky dané §47, odst. 4 zákona č. 111/98 Sb., proto **doporučuji** disertační práci Ing. Dvořáka k obhajobě.

**Otázky oponenta:**

- 1) V práci na str. 99 je porovnání s jiným přesnými snímači. Jsou v literatuře nějaká podobná řešení, se kterými by bylo možné porovnat dosažené výsledky?
- 2) Má navržená metoda nějaké limity na rychlost otáčení?

Disertační práci k obhajobě

doporučuji

nedoporučuji.

Dne: 05.08.2022

Podpis: .....

