

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Řídicí systém pro dvoustupňové přesné polohování elektromechanického systému
Jméno autora:	Adam Polák
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Vedoucí práce:	Doc. Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D.
Pracoviště vedoucího práce:	Katedra řídicí techniky FEL ČVUT

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Náročnost zadání spočívala v nutnosti kombinovat jak kompetence z oblasti návrhu elektronických obvodů (budičů pro elektrické motory), tak i kompetence v oblasti matematického modelování, simulace a výpočetního návrhu pokročilých řídicích systémů. Úkol navrhnout a do úrovně osazené desky plošných spojů realizovat funkční regulátory proudu, rychlosti a pozice s nestandardně vysokou spínací frekvencí PWM a současně s porozuměním použít optimalizační algoritmy popsané ve výzkumných článcích z oblasti (matematické) teorie řízení, kladl na studenta opravdu velké nároky.	

Splnění zadání	splněno
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Hlavním zadáním práce bylo navrhnout, realizovat a v experimentech ověřit regulátor pro dvoustupňovou polohovací platformu. Prohlašuji, že toto zadání bylo studentem splněno. V oficiálním zadání je mnou na závěr doporučena i jedna konkrétní metodika – iterativní řízení založené na učení (iterative learning control, ILC) –, která měla být prozkoumána a případně použita. V průběhu práce jsme však společně se studentem vyhodnotili, že bude spíše vhodnější prozkoumat jinou metodiku, která se na základě teprve v průběhu řešení projektu získaných poznatků jevila jako relevantnější – hybridní modelování a MPC řízení (model predictive control) pro současné řízení polohy a koncové kontaktní síly.	

Aktivita a samostatnost při zpracování práce	A - výborně
<i>Posuďte, zda byl student během řešení aktivní, zda dodržoval dohodnuté termíny, jestli své řešení průběžně konzultoval a zda byl na konzultace dostatečně připraven. Posuďte schopnost studenta samostatně tvůrčí práce.</i>	
Student pracoval na svém projektu samostatně a iniciativně. Takto řešil nejen ryze technické problémy v laboratoři nýbrž i komunikaci s průmyslovým partnerem či vývojáři použitých komerčních řešení (dSpace platforma, motory, budiče). Svému projektu se věnoval velmi intenzivně, kdy v laboratoři trávil doslova každý den několik hodin. Bez nejmenších pochyb jej můžu ohodnotit jako samostatného, iniciativního a tvůrčího inženýra, který bude posilou každého týmu vývojářů.	

Odborná úroveň	A - výborně
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Problematika přesného řízení polohy, ať už z pohledu instrumentace či z pohledu algoritmů, je mimořádně rozvinutá a za těch mnoho desítek let je v celosvětové komunitě inženýrů akumulováno obrovské množství znalostí, které nejsou vždy předatelné ve formě univerzitních předmětů a akademických monografií. Skrze svůj diplomový projekt student do této oblasti teprve vstoupil, a tedy je vysoce pravděpodobné, že mnohá úskalí, se kterými se musel potýkat, jsou v některých již na trhu dostupných produktech vyřešena. Nicméně, i na základě studentem průběžně prováděného srovnání s konkrétními komerčními řešeními (regulátory polohy), které byly pro tento projekt zvoleny průmyslovým partnerem, si dovoluji odhadnout, že svou prací se student blíží ke (zdokumentovanému) současnému stavu poznání.	

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

B - velmi dobře

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

Práce je napsána solidní angličtinou. Text práce by sice jistě zasluhoval ještě jednu iteraci, protože některé překlepy či nejasná vyjádření (ne nutně související s použitím cizího jazyka) se do finální práce bohužel dostaly, nicméně už i takto jde o velmi slušný text. Ten solidní dojem z textu je posílen i díky dodržení běžných konvencí při sazbě textu i vkládání grafiky. Rozsah práce (cca 50 stran bez referencí a příloh) je naprosto adekvátní.

Výběr zdrojů, korektnost citací

A - výborně

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Práce obsahuje 20 referencí. Jde především o klasické monografie z oblasti modelování a řízení elektrických motorů a odborné články z oblasti pokročilé teorie řízení (hybridní MPC a řízení založené na iterativním učení). Vlastní studentova práce primárně nesměřovala na posunutí hranice poznání v těchto oblastech nýbrž spíše na použití těch zavedenějších a ověřených výsledků v praktickém projektu, a tak lze tuto míru odkazování se na literaturu jistě přijmout.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

-

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení.

Diplomovou práci Adama Poláka hodnotím jako velmi solidní inženýrské dílo, a to i přes drobné výhrady k předloženému textu, který by vyžadoval ještě jednu iteraci odladění. Upozorním, že z pouhého textu práce samozřejmě čtenář nemůže vidět, kolika návrhovými iteracemi musel student projít, a to častokrát i kvůli chybám či špatné dokumentaci ze strany výrobců komerčních komponent (regulátorů motorů). S ohledem na tyto okolnosti i na vysokou náročnost zadání, které vyžadovalo jak praktické kompetence z oblasti návrhu a realizace elektroniky pro řízení elektrických motorů, tak i praktické zvládnutí matematicky náročnějších konceptů a postupů z oblasti optimálního řízení, hodnotím výkon studenta jako výborný.

Dokonce předpokládám, že v rámci pokračující spolupráce s Adamem Polákem se podaří předvedené řešení problému „soft landing“ připravit pro prezentaci ve formě odborného článku zaslaného do kvalitního odborného časopisu.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborně**.

Datum: 7.6.2019

Podpis:

Oponentní posudek diplomové práce

Řídicí systém pro vysoce přesnou dvoustupňovou polohovací elektromechanickou platformu

Autor: Bc. Adam Polák
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická
Katedra řídicí techniky

Kolega Bc. Adam Polák se ve své diplomové práci věnoval problematice vývoje řídicího systému pro dvoustupňovou platformu přesného polohování, která je součástí průmyslového osazovacího robota pro optické součástky. Klíčovou částí práce je návrh elektromechanického systému a řídicí strategie pro úlohu dosažení měkkého dopadu za účelem zrychlení oproti konzervativnímu průmyslovému konceptu realizace. K tomu je navržena dvoustupňová platforma modelovaná jako hybridní dynamicko-logický systém a řízená pomocí prediktivního řízení.

Práce má 71 stran a je členěna do pěti kapitol. V první kapitole je popsána celá struktura včetně použitých pohonů a řídicích jednotek, Druhá kapitola popisuje motor a vlastnosti jeho řídicího systému a komunikačního rozhraní mezi ovladačem a platformou MicroLabBox. Lineární pohon (voice-coil) druhého stupně z hlediska jeho řídicí elektroniky, řídicího algoritmu a diskusí o konkrétních problémech je řešen v třetí kapitole. Čtvrtá kapitola je věnována modelování a řízení hybridního systému aplikovanému na matematický model dynamiky dvoustupňového systému. Model je pak transformován do formy diskretních hybridních automatů a používán pro generování hybridního prediktivního řízení. Nakonec je navržen sub-optimální MPC regulátor a chování porovnáno se stávajícím průmyslovým řízením.

V krátkém závěru student deklaruje hlavní přínosy své práce. Za důležitou považuje v první řadě přípravu elektroniky ovládače voice-coil aktuátoru, jeho řízení a výrobu dvou verzí ovládače pro dvě různé platformy. Dále pak si cení vývoje modelu hybridního systému a použití hybridního MPC pro syntézu řízení měkkého přistání. Jako třetí hlavní přínos student uvádí návrh praktického suboptimálního řídicího algoritmu pro měkký dopad fyzického modelu. S tímto sebehodnocením hlavních přínosů práce souhlasím. Kolega Polák během práce úspěšně navrhnul ovladač pro aktuátor s kmitající cívkou (voice-coil) a vyrobil jej ve dvou variantách, jeden pro experimentální demonstrátor a připojení k platformě dSpace a druhý jako BoosterPack pro platformu TI Launchpad. Dále modeloval a simuloval dvoustupňový systém jako hybridní využívající Hybrid Toolbox od A. Bemporada. Na základě výsledků simulace navrhnul suboptimální strategii řízení pomocí lineární prediktivního řízení s metodou přepočtu hmotnosti, která umožňuje měkký dopad pracovního členu při relativně krátkém čase operace ve srovnání s konzervativním průmyslovým řízením montážního robota ve firmě EZconn.

Předložená diplomová práce je celkově na výborné úrovni, působí uceleným a zralým dojmem. Výklad je veden detailně a věcně se zjevným didaktickým nadhledem. Postup autora lze dobře sledovat. Z analýzy stavu problematiky je zjevné, že autor je v oboru práce dobře zorientovaný. Práce je neobvykle komplexní zahrnující na jedné straně návrh a realizaci experimentálního demonstrátoru, implementaci do průmyslového kontextu a na druhé straně pak i rozbor a návrh pokročilého způsobu řízení. Práce je kvalitní i z pohledu formálního a malým počtem chyb a překlepů.

Práci kolegy Poláka považuji za velmi zdařilou a nemám k ní žádné podstatné kritické připomínky. Diplomanta chci požádat, aby se během obhajoby vyjádřil k následujícím otázkám.

- 1) Pro řešení úlohy prediktivního řízení systému jste použil toolbox pro řešení MILP optimalizace. Okomentujte prosím současnou použitelnost této optimalizace přímo v reálné časové aplikaci v regulátoru.
- 2) Senzor síly zobrazený na obrázku 1.5 byl pravděpodobně použit jen na kontrolu správnosti funkce zařízení. Pro řízení dosahující požadované měkkosti dopadu tedy nebyl nutný ?
- 3) Jaké jste měl problémy s poruchovými veličinami na senzorech obou pohonů a jak jste se s nimi vypořádal ?
- 4) Uvažoval jste při návrhu regulátorů vedle polohových senzorů také přídatné měření akcelerometry ?

Závěr

Domnívám se, že předložená diplomová práce pana Bc. Adama Poláka je zdařilým vkladem k pokročilému řízení vícestupňových mechanických soustav v robotice. Je tak přínosem jak z pohledu základního tak i aplikovaného výzkumu a nepochybně více než splňuje obecné nároky kladené na odbornou a vědeckou úroveň diplomových prací. Vytčené cíle byly beze zbytku splněny a získané zkušenosti budou využitelné pro další výzkum a průmyslové zakázky na školícím pracovišti i jinde. Práce je zpracovaná pečlivě a má dobrou úroveň také po stránce výkladové a stylistické.

Předloženou diplomovou práci jednoznačně doporučuji k obhajobě a za předpokladu její úspěšné obhajoby plně souhlasím s tím, aby panu Bc. Adamu Polákovi byl udělen akademický titul „inženýr“ a navrhuji mu hodnocení A „výborně“. Hodnotím 98 body.

V Praze dne 1. června 2019

prof. Ing. Zbyněk Šika, Ph.D.