

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Vehicle brake system development
Jméno autora:	Vojtěch Ullmann
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Vedoucí práce:	doc. Ing. Tomáš Haniš, Ph.D.
Pracoviště vedoucího práce:	Katedra řídicí techniky, ČVUT FEL

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	mimořádně náročné
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Cílem předložené práce je vyvinout modulární jednotku nezávisle ovládající brzdny tlak v jednotlivých brzdách bez přímé mechanické vazby, z anglického „Brake-by-wire“. Celý systém je založen na komerčním elektro-mechanicko-hydraulickém posilovači brzd s komerčním názvem iBooster od společnosti Bosch.	

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>	
Student zadání splnil ve všech bodech v plné míře.	

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 byl velmi aktivní a na dohodnuté termíny chodil připraven. Sám iniciativně řešil problémy a na konzultacích jsme většinou řešili předložené alternativy řešení daného problému.	

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>	
Předložená práce je na vysoké úrovni. Kde student byl schopen využít znalosti získané během studia, které dále úspěšně rozšířil o informace z literatury a dalších zdrojů.	

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce	A - výborně
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Předložená práce je v anglickém jazyce a plně odpovídá rozsahem a formou.	

Výběr zdrojů, korektnost citací	A - výborně
<i>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.</i>	
Student prokázal schopnost pracovat s literaturou a získat informace z dalších zdrojů nezbytných pro realizaci této práce.	

Další komentáře a hodnocení
<i>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.</i>

Student velmi spěšně navázal na předchozí práce svých kolegů, řešící tento problém především na systémové úrovni vozu. Pan Ullmann se velmi rychle zorientoval v problematice vývoje a implementace jednotlivých komponent nezbytných pro tento projekt. Dokázal implementovat a ověřit vyvíjenou jednotku na komponentní i systémové úrovni vozu.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

Student se velmi aktivně zapojil do projektu vývoje jednotky „brake-by-wire“. Od samého začátku se účastnil komunikace s průmyslovými partnery na straně Bosch a Škoda Auto. I přes značné zdržení způsobené prodlením v dodání elektronického posilovače brzd si dokázal práci rozvrhnout a předem si připravit potřebné náležitosti pro finální implementaci jednotky. Pro ovládání iBoostru navrhl a prozkoumal hned tři možnosti aktuace jednotky. Bohužel vzhledem k limitujícím informacím ohledně CAN sběrnice a architektury nebylo možno v daném časovém úseku realizovat a otestovat všechna navrhovaná řešení. Proto přistoupil k řešení přímého ovládání BLDC motoru s pomocí SOLO měniče. Pan Ullmann úspěšně otestoval funkcionalitu na komponentní úrovni s drobnými problémy v podobě netěsnosti hydraulického systému. Následně provedl verifikaci celého konceptu s využitím nelineárního modelu jízdní dynamiky vozu a koordinaci brzdného zásahu na úrovni vozu.

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

Datum: 2.5.2022

Podpis:

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Vehicle brake system development
Jméno autora:	Vojtěch Ullmann
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Oponent práce:	Ing. Tomáš Veselý
Pracoviště oponenta práce:	Incubation Team, Garrett Motion

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Bakalářskou práci hodnotím jako náročnější především kvůli její praktické části, která klade důraz na použitelnost a integraci navrhovaného řešení na reálné platformě testovacího vozidla. Při samotné realizaci práce musel student prokázat nemalou dávku zručnosti, nápaditosti a vlastní invence především při zprovoznění iBooster jednotky bez jakékoli dokumentace.	

Splnění zadání	splněno s menšími výhradami
<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>	
Všechny body zadání práce byly splněny. Menší výhrady mám k rešerši části zabývající se elektrickými posilovači brzd a možnostmi aktuace brzd vozidla používanými v automotive. Tuto část považuji za stručnou a hodnou rozšíření, především mi zde chybí podrobnější popis elektrických posilovačů brzd a diskuze jejich kladů a záporů. Dále mi zde chybí hlubší diskuze a porovnání zvoleného iBoosteru a zvažované ESP jednotky. V kapitole 5, sekci 5.4 mi chybí validace integrace navrženého low-level řídicího zákonu s již existujícím high-level řídicím zákonem pro řízení brzdění na úrovni vozu na reálném iBoosteru, nikoli pouze na jeho matematickém modelu, jak je prezentováno v práci. Validace na reálném hardwaru by lépe dokázala demonstrovat vliv oscilací způsobených low-level controllerem na chování vozu a umožnit tak lepší zhodnocení použitelnosti navrhovaného řešení v reálném vozidle. Dále nerozumím časovým odezvám na grafech 5.9 a 5.11. Z grafu 5.9 lze vyčíst, že odezva zjednodušeného modelu iBoosteru má dobu ustálení cca 5 sekund, kdežto na grafech 5.11 je doba ustálení cca 1 sekunda. Očekával bych, že v obou případech bude doba ustálení stejná. Dále mi mezi grafy 5.11 chybí graf znázorňující referenční a skutečně generovaný brzdny moment, respektive hydraulický tlak. Poslední výhradu mám k vhodnosti výběru testovacího scénáře zachyceném na grafech 5.11. Domnívám se, že by bylo vhodnější zvolit referenční signál složený z několika různých jednotkových skoků namísto pouhého jednoho jednotkového skoku – v tomto testovacím scénáři by byl lépe vidět vliv dopravního zpoždění systému na celkovou odezvu vozidla, což by opět umožnilo lepší zhodnocení použitelnosti implementovaného řešení v reálném vozidle. Na závěr mi chybí detailnější porovnání s první generací Brake-by-wire jednotky, jeden odstavec nepovažuji za dostatečný.	

Zvolený postup řešení	správný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Zvolený postup považuji za správný. Jednotlivé kroky na sebe logicky navazují, nejprve je provedena rešerše, poté následuje krátký popis přejetého matematického dvoustopého modelu vozidla použitého pro validaci implementovaného řešení. Nakonec následuje samotný popis praktické realizace se zhodnocením dosažených výsledků. V této části bych chtěl vyzdvihnout autorovu snahu o použití již existujících částí a možností řízení nabízených iBoosterem se snahou minimalizovat nutnost zásahu a modifikací samotného iBoosteru. Přestože se nakonec nepodařilo zprovoznit iBooster s integrovanou řídicí elektronikou, hodnotím tuto snahu kladně.	

Odborná úroveň	C - dobře
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	

Technická úroveň práce je dobrá a odpovídá nárokům na bakalářskou práci. Autor správně využívá poznatků získaných nejen studiem, ale také z praxe a odborné literatury. Největší výtky mám k samotné validaci navrženého low-level controlleru v integraci s high-level řídicím zákonem na matematickém modelu vozidla. Zvolený experiment nepovažuji za vhodně navržený, především mi chybí validace za použití reálného iBoosteru, nikoli pouze jeho matematického modelu. Navíc prezentované simulační výsledky z modelu vozidla nekorespondují s výsledky v předchozí části, což je podivné. Na závěr mi chybí detailnější porovnání výsledků implementovaného řešení oproti již existující Brake-by-wire jednotce. V práci je tomuto porovnání věnován pouze jeden odstavec, který je ještě částečně zavádějící, viz „*The low-level hydraulic pressure control system achieved a three-second settling time for a full-scale change and about a second for minor nuances in reference. This performance is similar to the previously developed BBW unit in [15]*“ (s. 45). Toto tvrzení je dosti zavádějící, neboť „settling time“ zmiňované Brake-by-wire jednotky je cca 1 s pro referenci 60 bar, což je výrazně méně než autorem uváděné 3 sekundy. V neposlední řadě kvalitu práce sráží příloha, ve které je navržené low-level řízení implementováno v souboru s názvem „untitled1.slx“, což působí značně odbytě a neprofesionálně.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

C - dobře

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

Po formální stránce je práce na velmi pěkné úrovni, kladně hodnotím použití LaTeXu. Práce je logicky členěna do na sebe navazujících kapitol, všechny obrázky, grafy a tabulky jsou řádně číslovány, opatřeny vysvětlujícím popisem a správně odkazovány v textu. Popisky jednotlivých obrázků nejsou zakončeny tečkou, což především u popisků o více větách působí mírně rušivě.

Práce je psána anglicky, což hodnotím jako rozumnou volbu, neboť odpadá nutnost překladu odborných pojmů a zpřístupňuje práci i zahraničním čtenářům. Bohužel z práce je patrné, že se autor v anglickém jazyce necítí zcela komfortně, a práce místy obsahuje kostrbaté a těžko pochopitelné formulace, což ovlivňuje srozumitelnost celé práce.

Například místo formulace „*in enclosed hydraulic fluid*“ (s. 5) by mělo být „*in closed hydraulic circuit*“, spojení „*comfortable brake booster*“ (s. 6) nedává smysl. Ve větě „*The control unit reads the demanded pressure from the particular sensor or position sensor*“ (s. 7) nedává slovní spojení „*particular sensor*“ smysl. Dále je věta „*For example, the pedal feels according to the driving mode*“ (s. 9) špatně formulovaná a věta „*Although the gain of the real system varies with different inputs, the error is within only half of a second*“ (s. 36) je nesrozumitelná; není mi jasné, jaká chyba se v rozmezí sekundy nachází. Jako poslední příklad uvedu větu „*Because of all delays, the final hardware is not integrated into a higher-level system, and thus it lacks reporting about its state on CAN bus*“ (s. 37), kde není zřejmé, co je myšleno oním „*delay*“, zda je to dopravní zpoždění systému, nebo projektu.

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 přes 30 zdrojů, zdroje pokládám za relevantní vzhledem k podstatě práce. Autor správně pracuje s citacemi, z textu je zřejmé, jaké části jsou převzaty.

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.

Vložte komentář (nepovinné hodnocení).

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Předložená práce popisuje návrh druhé generace brzdné jednotky pro realizaci Brake-by-wire systému pro výzkumnou platformu vozidla. Praktická část práce je pěkně koncipovaná a vcelku zdařilá. Autor musel prokázat velkou dávku invence, zručnosti, ale i improvizace při oživování zvolené iBooster jednotky a musel překonat řadu úskalí, která postupně vyvstala. Praktickou část práce tedy hodnotím kladně. Bohužel jazyková úroveň práce a zvolená metoda validace integrace low-level a high-level řízení bez využití reálného iBoosteru spolu s nekorespondujícími odezvami v grafech 5.9 a 5.11 a zavádějícím srovnáním s první generací brake-by-wire jednotky snižuje celkovou – jinak vcelku zdařilou – kvalitu práce.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **C - dobře**.

K práci mám následující otázky:

- 1) Vysvětlíte prosím rozdílnou dobu ustálení na grafech 5.9 a 5.11; proč je v ní tak velký rozdíl? Můžete ukázat graf pro referenční a generovaný brzdný moment na kole a graf pro referenční a generovaný hydraulický tlak?
- 2) Proč byl k testu na dvoustopém modelu vozidla (grafy 5.11) zvolen zjednodušený matematický model iBoosteru namísto reálného iBoosteru? Jak by se změnil výsledky za použití reálného iBoosteru namísto modelu? Jak by se projevil oscilace low-level controlleru na celkovém chování vozu?
- 3) V práci uvádíte, že nízké hodnoty generovaných tlaků jsou pravděpodobně způsobeny zavzdušněním systému v důsledku netěsnících „*custom-made*“ hadiček. Proč jste nepoužil konvenční automotive hadičky a komponenty? Tlakový senzor, iBooster, i brzdný třmen jsou standardizované a jistě k nim existují originální hadičky, těčka, redukce a jiné spojovací komponenty, čímž by měly odpadnout problémy s netěsností.
- 4) Předpokládám, že iBooster umožňuje generaci hydraulického tlaku i při odpojení napájení a CAN sběrnice působením externí síly na „input rod“. Zkoušel jste tuto variantu? Pokud ano, podařilo se Vám vygenerovat tlaky vyšší než 25 bar? Jaká by byla časová odezva takto aktuovaného systému?
- 5) Zkoušel jste místo konstantní rychlosti motoru použít rychlost motoru závislou na měřeném tlaku? Zrychlilo by toto řešení odezvu systému?

Datum: 6.6.2023

Podpis: