

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	Řídicí systém pro aktivní podvozek vozidla
<b>Jméno autora:</b>	Jiří Minarik
<b>Typ práce:</b>	diplomová
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra řídicí techniky
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Jaroslav Bušek, Ph.D.
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Ústav přístrojové a řídicí techniky, ČVUT v Praze – Fakulta strojní

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>náročnější</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
<p>Návrh řídicího systému pro aktivní podvozek vozidla vyžaduje komplexní přístup k řešení. Je nutné definovat kvalitní a dostatečně přesný návrhový model relativně složitěho mechanického systému. Vzhledem k velkému množství nelinearit je návrh řídicího systému výzvou. Model je nutné linearizovat ve vhodném pracovním bodě nebo se vydat cestou nelineárního řízení. Z toho důvodu hodnotím zadání práce jako náročnější.</p>	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno</b>
<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>	
<p>V rámci předložené práce byl analyzován vliv úhlu odklonu kol na dynamiku vozidla s využitím vhodných modelů. Dále byl analyzován mechatronický systém řízení odklonu kol. V této části práce se autor snažil i návrh optimalizace mechanismu vhodnou úpravou trajektorie akčního členu, která však ve výsledném modelu nebyla použita. Hlavním přínosem práce je návrh dvouúrovňového řídicího systému pro řízení odklonu kol přední a zadní nápravy zvlášť. Pro řídicí algoritmy je vypracována rozvaha robustnosti zohledňující variaci v hlavních parametrech modelu. V závěru práce je pak provedena simulační validace řídicích algoritmů s kvalitativním zhodnocením. Všechny čtyři body zadání tak byly splněny.</p>	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>správný</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
<p>Při řešení zadaných úkolů bylo v práci postupováno systematicky od definice modelů a přijetí zjednodušujících předpokladů, přes stanovení řešeného problému s polemikou nad jeho významem pro praxi, až po návrh řešení (s možnými variantami) a jeho simulační validaci. Zvolený postup byl tedy vhodný. Podstatnou výtku ke zvolené metodě řešení mám pro část návrhu aktuátoru (tj. kapitola 3.1), kde autor nepracuje správně se silovou rozvahou, což vede na milné závěry, které naštěstí nemají větší vliv na část návrhu řídicího algoritmu. Jedním z důvodů nesprávného uchopení dynamické rozvahy spatřuji ve slabé opoře v literatuře v této části textu, kde problematiku silového rozložení v nápravě MacPherson hojně řeší.</p>	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>C - dobře</b>
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
<p>Odborná úroveň předložené práce je v celkovém pohledu na dobré úrovni. Návrh algoritmu řízení a jeho validace je velmi povedená, i když s ohledem na simulační validaci je potřeba počítat s možnou omezenou funkčností v praktickém nasazení bez ohledu na navrženou a ověřenou robustnost. V kontrastu s tím část návrhu aktuátoru obsahuje nepřesnosti. Nejvíce na ně trpí rozvaha nad mechatronickým systémem aktorky změny odklonu kola. Zvolená náprava je v tomto případě nepřesně uvažována jako pevné těleso, což není správně a bylo by to silné zjednodušení. Dále je uvažován přenos sil (<math>F_y</math> a <math>F_z</math>) nikoliv po nositelce, ale libovolně po tuhém tělese, což je zcela milný předpoklad (fig. 3.6). Zcela chybí uvolnění těles systému. Dále autor tvrdí, že silové účinky na dimenzovaný aktuátor pro nulový úhel odklonu budou nulové (<math>F_a=0</math>), což se snaží podpořit uvedenou silovou rozvahou. To ale vyvrací hojně zastoupená literatura, která pojednává o tom, že horní uložení tlumiče v tomto typu nápravy trpí na radiální síly a je snahou tyto síly eliminovat různými přístupy (např. speciální geometrie pružin). Je nutné uznat, že toto bude mít vliv pouze na dimenzování aktuátoru a pro navržený řídicí algoritmus to nebude mít kritický</p>	

význam, ale jedná se o faktickou chybu silové rozvahy, která je základním nástrojem inženýrského přístupu u mechanických systémů.

**Formální a jazyková úroveň, rozsah práce**

**B - velmi dobře**

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

Práce je po typografické stránce na velmi dobré úrovni. Text je kvalitně formátován. Připomínku mám v tomto kontextu k některým obrázkům, které namísto vektorové grafiky jsou vloženy jako rastrové obrázky, přičemž v jednom případě autor dokonce vložil i editační panel grafu z MATLABu (fig. 3.17). Některé grafy nejsou dostatečně velké a v tištěné formě jsou obtížně čitelné (např.: fig. 1.7 nebo fig. 5.5 s 5.6). Text je psán dobrou angličtinou. Obsahuje malé množství překlepů. Rozsah práce je nadprůměrný, což ale ne vždy znamená pozitivum. V tomto případě nedokážu jistě říct, která část práce by konkrétně mohla být kratší, ale myslím, že by text mohl být jako celek o něco kratší (pouze jako doporučení). K formálním zápisům mám připomínku. Zvláště v úvodních kapitolách, kde autor přebírá různé modely částí vozidla, jsou značné formální chyby. V rovnici 1.12 a 1.13 je položena rovnost mezi skalárem a vektorem. V rovnici 1.6 a 1.7 je k momentu připočítána externí síla a k rychlosti externí moment. Lze předpokládat, že se jedná pouze o chybu v zápisu a v modelu je to již správně, ale v závěrečné práci by se toto nemělo vyskytovat. Faktickou připomínku mám také k validaci LQR algoritmu řízení na obrázku 4.8, kde úhel odklonu dosahuje amplitudy 400 a více stupňů. Rozumím, že autor chtěl obecně ilustrovat regulační pochod skokovou odezvou, ale bylo by vhodné amplitudu skokové změny definovat v rozumném intervalu blízkém fyzikální realizaci. S vyvráceným kolem bude systém změny odklonu k ničemu.

**Výběr zdrojů, korektnost citací**

**B - velmi dobře**

*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.*

Po nahlédnutí do seznamu literatury lze konstatovat, že autor práce využil při svém bádání relevantní odbornou literaturu. Převzaté prvky práce jsou v textu řádně a důsledně odlišeny. Citace jsou provedeny dle citačních zvyklostí. Hlavní připomínku mám k absenci literatury týkající silové rozvahy na nápravě MacPherson (resp. jejího citování v textu). Nelze upřít autorovu snahu vyřešit dynamické namáhání svými silami (přístupem), ale mohl v tomto případě mohl své výsledky podpořit, resp. zkorigovat závěry z odborné literatury, což bohužel chybí.

**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, 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 je komplexním výstupem návrhu algoritmu aktivního řízení části geometrie podvozku vozidla. Autor práce zadané téma zpracoval systematicky od rešerše literatury, přes stanovení problému a motivaci k jeho řešení, až po návrh a simulační validaci algoritmu řízení. Každé části se věnoval stejně podrobně, což eskalovalo do nadprůměrného rozsahu práce. Během řešení se však dopustil několika formálních a faktických chyb, které sice nebyly kritické pro hlavní výsledek – algoritmus řízení, ale do dílčích částí textu práce vnesly zbytečně nepřesnosti.

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

**Otázky k obhajobě:**

- 1) Bylo při dimenzování nového aktuátoru uvažováno s rotací kola? I při relativně nízkých rychlostech rotace kola bude v důsledku momentu setrvačnosti kladen nezanedbatelný „odpor“ proti případné změně odklonu kola, se kterým se akční člen bude muset vypořádat. Nehledě na to, že toto se bude s proměnnou podélnou rychlostí měnit.
- 2) Jaký výkon celkově by měly dimenzované akční členy s ohledem na úsporu s použitím navrženého systému?
- 3) Byl ve ztrátách uvažován vliv změny valivého odporu v důsledku většího úhlu odklonu?

Datum: 26.1.2022

Podpis: