

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Stand pro výuku servopohonů
Jméno autora:	Bc. Natan Ber
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní (FS)
Katedra/ústav:	Ústav výrobních strojů a zařízení
Oponent práce:	doc. Ing. Radomír Mendřický, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	Technická univerzita v Liberci, fakulta strojní, Katedra výrobních systémů a automatizace

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
<p>Zadání vychází z potřeb Ústavu výrobních strojů a zařízení, kdy hlavním cílem práce bylo navrhnout pracoviště (stand) pro výuku servopohonů. Tento úkol je velmi komplexní (nutná hlubší znalost problematiky elektroniky, regulace, řízení servopohonů a výpočetní techniky – programování, ale také části strojů, mechaniky a tvorby výkresové dokumentace). Z důvodu náročnosti a rozsahu problematiky se jedná dle mého názoru o technicky poměrně náročné zadání.</p>	

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>	
<p>Práce nejen že zcela splňuje požadavky zadání, ale v některých ohledech je i významně překračuje. Zadání požadovalo navrhnout pracoviště (stand) pro výuku servopohonů, které by demonstrovalo interakci pohonů s mechanickou strukturou. Součástí práce měla být rešerše vhodných operačních systémů reálného času a jejich vývojových prostředí, rešerše obdobných řešení (standů) dostupných na trhu, návrh konstrukce standu včetně výrobní dokumentace, tvorba řídicího projektu Beckhoff TwinCAT, implementace zpětnovazebního řízení a tvorba uživatelského rozhraní. Vše výše uvedené bylo bezesbýtku splněno. Studentem byl však nad rámec požadavků navržený stand taktéž fyzicky vyroben a sestaven, což je neméně časově a technicky náročné.</p>	

Zvolený postup řešení	správný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
<p>Postup řešení zvolený studentem je dle mého názoru zcela adekvátní. Za začátku práce byla provedena poměrně rozsáhlá rešerše související s tématem a potřebami práce, která byla vhodně doplněna průzkumem hotových řešení – standů se zaměřením na řízení pohonů. Na základě této analýzy byl proveden koncepční návrh vlastního řešení, které bylo následně v praktické části v jednotlivých krocích (návrh standu a návrh řídicího projektu) realizováno. Celý stand byl nakonec vyroben, sestaven a na základě praktických zkušeností byly zpětně odladěny rozměry modelu a výkresů některých dílců. Výsledkem je tedy nejen kompletní dokumentace pro výrobu HW pracoviště (modely pro 3D tisk, výkresová a výrobní dokumentace, soupis nakupovaných komponent), ale též kompletní balík příloh SW řešení (uživatelský manuál, řídicí projekt TwinCAT, skripty a modely z Matlabu a Simulinku, elektrické zapojení standu).</p>	

Odborná úroveň

B - velmi dobře

Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.

Jak je již uvedeno výše, DP je na vysoké odborné úrovni. Student pronikl do hloubky řešeného problému a pro takto komplexní řešení se musel dokázat zorientovat v mnoha i poměrně různorodých oborech (elektronika, výpočetní technika, programování, regulace, mechanika, části strojů - konstruování). K tomu jistě aplikoval mnoho znalostí získaných studiem, ale jak je z práce a seznamu použitých zdrojů patrné, pracoval i s dostatečným množstvím odborné literatury (manuály, technická dokumentace, skripta, odborné články). Díky sestavení a oživení pracoviště prokázal též schopnost teoretické znalosti a dovednosti aplikovat prakticky.

Zde mám pouze výtku k části práce, ve které se student věnuje návrhu standu, a to především ke kapitole „Kontrolní výpočty“. Tato část mohla být zpracována podrobněji, resp. z mého pohledu se v ní vzhledem k absenci popisu některých veličin a pouze obecném přehledu vzorců hůře orientuje (více níže v dalších připomínkách).

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

B - velmi dobře

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

Bez příloh práce obsahuje celkem 97 stran a 50 obrázků, což je vzhledem k velkému rozsahu práce přiměřené. Součástí práce je i velké množství příloh a další dokumentace.

Z formálního pohledu se v práci vyskytují občasné nesrovnalosti a chyby spíše drobnějšího charakteru, jako příklad mohu uvést nedokončené popisky u některých obrázků (např. obr. 6-9), občasné špatné číslování obrázků (chybí obrázek 6-8, obr. 7-7 je až za obr. 7-8, obr. 7-4 stejný s obr. 7-18). V částech s výpočty bych osobně uvítal u jednotlivých rovnic popis vyskytujících se proměnných a též číselné vyjádření daných výpočtů. Ve výčtu použitých veličin chybí některé použité proměnné, symboly či zkratky. V seznamu se též objevují občasné chyby v jednotkách a popisu veličin (např. J ... „setrvačnost“ (správně: moment setrvačnosti), g ... [m/s⁻²] (správně: g ... [m.s⁻²])). Některé popisy technického řešení příliš logicky nenavazují, resp. při návrhu jedné části je již předpokládáno něco, co vzejde jako výstup z další části (např. min. průměr setrvačnicku zvolený na str. 51 (bez bližšího vysvětlení) pravděpodobně vyplývá ze zvolené spojky na str. 56, resp. průměr 46 mm je v souvislosti se spojkou zmiňován poprvé až na str. 57). Jedná se ale spíše o drobnosti a v souhrnu je práce po formální stránce na dobré úrovni, je relativně dobře členěna a logicky uspořádaná.

Po jazykové stránce se v práci vyskytují drobné překlepy, ale také menší množství gramatických chyb (především interpunkce – chybějící čárky ve větě – nejčastěji před spojkou „a tím“).

Výběr zdrojů, korektnost citací

C - 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.

Seznam použité literatury obsahuje celkem 36 položek. Z pohledu diplomové práce je to relevantní množství. Jedná se o odborné publikace, převažují manuály, technická dokumentace či materiály k použitým SW produktům, ale i skripta, odborné články. Použitý formát je v souladu s citačními zvyklostmi a normami. Převzaté informace jsou řádně citovány, až na jednu výjimku, kdy se mi nepodařilo dohledat zdroj použitých rovnic, především v kapitole „6.3 Kontrolní výpočty“. Zde tedy z pohledu citací spatřuji jisté pochybení.

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.

Z celkového pohledu je i přes uvedené připomínky práce na velmi dobré teoretické a praktické úrovni. Pro návrh a realizaci HW i SW části standu musel student vynaložit značné úsilí a prokázal široké odborné znalosti. Dokončené pracoviště je připravené pro nasazení ve výuce servopohonů a předpokládám, že bude též předmětem aplikovaného výsledku např. formou funkčního vzorku, prototypu či SW. Výborného hodnocení práce nedosahuje především z důvodu některých uvedených připomínek, týkajících se především formálního a technického zpracování textové části diplomové práce.

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.

V celkovém kontextu je práce na velmi dobré úrovni, i přesto mám k práci kromě výše uvedených připomínek několik dalších poznámek, které nemusí být nutně vždy kritikou a mohou autorovi posloužit jako zpětná vazba:

- V rámci kapitoly 5 „Návrh koncepčních variant pracoviště“ byly pro volbu optimální konfigurace standu vytvořeny tři varianty. Jak autor uvádí, každá z variant je založena na jiném řídicím systému s pohony rozdílných výrobců. Zároveň bylo každé variantě přiřazeno odlišné rozmístění elektroniky, pohonů a mechanických komponent tak, aby bylo možné jednotlivé varianty efektivně porovnat a vybrat vhodné výsledné řešení. Zde mi není zcela jasné, zda toto rozmístění bylo dáno použitým HW a SW nebo volbou autora? Pokud jde o volbu autora, pak tomuto kombinování v rámci posuzování vhodné varianty nerozumím. V tomto případě by bylo vhodnější zvláště posuzovat řídicí systémy s pohony a nezávisle na tom jejich mechanické uspořádání.
- Porovnání variant – tab. 5-1. Nejsou použity žádné váhové koeficienty kritérií. Z toho vyplývá, že všechna kritéria mají stejnou důležitost?
- Často je v úvodu kapitoly použit minulý čas. Např. „V následující kapitole byl popsán“. Lépe by bylo použít čas přítomný nebo budoucí „je / bude popsán“ atp.
- Na str. 49 je uvedeno: „byla proto požadována co nejnižší vlastní frekvence pohonu“. Kolik to je „nejnižší“? Nejprve by bylo vhodné uvést, v jakých hodnotách se na běžných pohonech tyto frekvence pohybují a jaká frekvence je požadována pro navrhovaný stand. Dál je uvedeno: „Požadovaná vlastní frekvence byla stanovena na 70 Hz.“ Opět není zdůvodněno, proč zrovna 70 Hz. V práci mohlo být např. na úkor teorie o SW věnováno více prostoru problematice řízení servopohonů.
- Správnost výpočtů není mnohdy možné ověřit, neboť jsou uvedeny jen obecné vztahy bez číselných hodnot dosazovaných veličin a nezřídka i bez výsledků. Nejsem si např. jistý správností některých rovnic - např. 6-11, 6-16 a 6-17, vztah pro výpočet úhlu β (6-20) obsahuje v těle rovnice úhel β . Některé rovnice by bylo vhodné doplnit schématem (obrázkem) s veličinami (aby byl jejich význam jednoznačný).
- V práci není uvedeno, zda se reálný stand choval dle očekávání (návrhu) - vlastní frekvence (vycházející z navržené tuhosti poddajného hřídele), dosažitelné propustné pásmo regulace atd.

Dotazy pro zodpovězení při obhajobě:

- 1) Na str. 51 uvádíte, že „Koeficient bezpečnosti byl vypočten jako podíl únosnosti motoru a radiální síly od setrvačnicku při uvažovaném těžišti setrvačnicku vzdáleném 15 mm od příruby“. **Jak může být těžiště 15 mm od příruby, pokud je délka setrvačnicku např. 51.6 mm (pro motor AM8131)?** Resp. pokud setrvačnick bude uchycen mimo osu (těžiště), bude na hřídel kromě radiální síly působit ještě přidavný krouticí moment. **Byl při kontrolních výpočtech uvažován?**
- 2) V kapitole „6.3 Kontrolní výpočty“ byly provedeny kontroly na otláčení s vypočítanou svěrnou silou Q (resp. Q_{02}). Pro tyto hodnoty byl dále určen utahovací moment šroubu. V závěru kapitoly je však uvedeno, že tento vypočítaný utahovací moment šroubu je výrazně menší než předepsaný utahovací moment pro šrouby M10 pevnosti 8.8 ($M_{kk} = 48,4 \text{ Nm}$), a proto bude setrvačnick dotažen dle doporučené tabulkové hodnoty. **Co je v tomto případě myšleno tabulkovou hodnotou (předepsaným utahovacím momentem)? Nebude třeba provést kontrolu na otláčení pro tento moment znovu?**
- 3) V práci je uvedeno, že pro skok momentu musí být obě osy přepnuty do režimu CST (režim momentového řízení). **Znamená to tedy, že na standu nelze provádět např. test rázové dynamické tuhosti (skok zátěžného momentu 2. pohonem a 1. pohon v polohovém řízení)?**

Závěrem konstatuji, že předložená diplomová práce **splňuje v plném rozsahu požadavky zadání** a vytyčené cíle a student přesvědčivým způsobem prokázal, že má schopnosti pro tvůrčí práci. Konstatuji, že diplomová práce splňuje požadavky na udělení akademického titulu, a proto ji **doporučuji k obhajobě**.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře**.

Datum: 2.8.2023

Podpis: