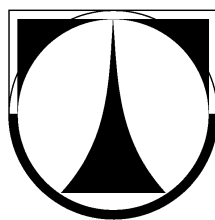


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií



Zkrácená verze disertační práce

**Řízení distribuovaných pohonů určených
pro vysokorychlostní aplikace**

*Control of Distributed Drives Aimed to High-Speed
Application*

2006

Petr Přívratský

Zkrácená verze disertační práce

**Řízení distribuovaných pohonů určených
pro vysokorychlostní aplikace**
*Control of Distributed Drives
Aimed to High-Speed Application*

*Disertační práce k získání akademického titulu Doktor (Ph.D.)
v oboru Technická kybernetika*

Ing. Petr Přívratský

Disertant: Ing. Petr Přívratský
petr.privratsky@tul.cz
petr.privratsky@seznam.cz

Studijní program: 2612V – Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612V045 – Technická kybernetika
Pracoviště: Katedra elektrotechniky
Fakulta mechatroniky a
mezioborových inženýrských studií
Technická Univerzita v Liberci

Školitel: Doc. Ing. Pavel Rydlo, Ph.D.
Školitel specialista: Ing. Jiří Winkler, CSc.
Siemens s. r. o.
Evropská 33a, 160 00 Praha 6

Datum státní doktorské
zkoušky: 9. 9. 2004
Datum odevzdání práce: 30. 11. 2006

Stran: 33

Sazba: Microsoft Word 2003
Vydání: první
Náklad: 22 výtisků

© Ing. Petr Přívratský, 2006.

Anotace

Vývoj strojního zařízení Rotis na výrobu tvarované netkané textilie vychází z tradičně úspěšných oborů Technické univerzity v Liberci. Projekt byl začleněn do dvou výzkumných center: Výzkumné centrum Textil a Výzkumné centrum Textil II.

Hlavním přínosem disertační práce je simulačně podporované řešení tohoto stroje. Na modelech jsou ověřeny různé přístupy k naladění všech tří kaskádních regulátorů polohových servopohonů. Na základě experimentálních výsledků s ohledem na reálnou mechaniku stroje byla stanovena optimální metoda pro jejich naladění a případného rozšíření řídicí struktury o dopředné regulátory.

Skupina spolupracujících servopohonů je řízena nadřazenou řídicí jednotkou. Tento distribuovaný řídicí systém může být založen na různých technologiích (např. digitální sériové komunikaci, analogových signálech). Tyto dvě nejčastější jsou v práci detailně analyzovány a mezi sebou porovnávány. Bylo popsáno jejich chování, které umožňuje predikovat shodu žádané a skutečné hodnoty otáčivé rychlosti rotoru v závislosti na konfiguraci distribuovaného systému.

Získané poznatky jsou aplikovány na skutečném stroji, který je vybaven renomovanými automatizačními a pohonářskými komponentami. Pro výrobu tvarované netkané textilie a správné řízení stroje byly odvozeny vzorce popisující vznik této textilie. Vzorce rozšiřují informace o chování textilie ve stroji a obohacují simulační schémata. Od tohoto okamžiku simulace umožňuje numerickou simulaci celého stroje s monitorováním elektrických, mechanických a dalších průběhů v závislosti na požadovaném tvaru vyráběné textilie. Bez problému bylo ověřitelné vhodné nadimenzování pohonů.

Realizace textilního stroje dospěla do stavu, kdy je nachystána metodika pro naladění pohonů, naprogramován řídicí program pro jednotku řízeného pohybu, vytvořeny vizualizační obrazovky na operátorském panelu stroje a sepsána dokumentace stroje.

Klíčová slova: distribuované řízení, regulované pohony, jednotka řízeného pohybu, spolupracující pohony, tvarované netkané textilie, Rotis

Annotation

Developing process of machinery Rotis for moulded highloft nonwoven textile products is continuation of traditional successful branch pursued at Technical university of Liberec. This project has been integrated into two research centres: Research centre Textile and Research centre Textile II.

The prime contribution of this thesis is machine solution supported by computer simulation. There are verified different tuning methods to tune all three controllers in common position servodrive control structure. The optimal method of controllers setting was prescribed on the basis of experimental results with respect of real machine mechanics. There is also possibility to expand the servodrive control structure by feed-forward signals.

Servodrives are cooperating together in group to achieve desired output product and they are controlled by higher-up controller. This solution forms a distributed control system, where data exchange can be based on various technologies (digital serial communication, analogue signals). These two very common were analysed in detail, mutually compared and their behaviour was exactly described. It allows to predict difference between setpoint and actual speed of rotor in dependence on distribution system configuration.

There were deduced mathematical formulas that describe formation process of moulded nonwoven textile and are essential for correct machine control. Mentioned equations bring new information about folding process inside the machine and are implemented into simulation scheme. The computer simulation offers complex modelling of machine and allows monitoring of electrical, mechanical and other waveforms that are in dependence on desired moulded nonwoven textile. It also allows verification of previous servodrive sizing.

Real machine is equipped by automation and drives components purchased from renowned producer and acquired knowledge are implemented into control system of machine. Present state of machine realization contains methodology for servodrives tuning, control program for motion controller, visualisation screens for machine operator panel and machine documentation.

Keywords: distributed control, controlled drives, motion controller, cooperating drives, moulded nonwoven textile, Rotis

Obsah

Anotace	3
Annotation	4
Obsah	5
0 Úvod	6
0.1 Cíle disertační práce	7
1 Popis stroje na výrobu netkané textilie	8
2 Distribuované řízení skupiny pohonů	9
2.1 Řízení rychlosti digitální komunikací s USS protokolem.....	9
2.2 Kvalita řízení s USS protokolem.....	9
2.3 Řízení rychlosti analogovým napětím	10
2.4 Kvalita řízení analogovým napětím.....	10
2.5 Srovnání řízení pohonů USS protokolem a analogovým napětím.....	11
3 Servomotory	11
3.1 Modelování a simulace elektrických pohonů	11
3.2 Synchronní motor a jeho matematický model	12
4 Simulace a verifikace modelu servopohonu	13
4.1 Identifikace proudové řízení servopohonu	13
4.2 Identifikace rychlostního řízení servopohonu	13
5 Odvození rovnic modelu vzniku netkané textilie	15
6 Návrh pohonů a výběr architektury řídicího systému stroje Rotis2	15
6.1 Pracovní oblasti pohonů stroje Rotis2	15
6.2 Návrh vhodné řídicí architektury.....	16
7 Řídicí jednotka řízeného pohybu	17
8 Naladění jednotlivých pohonů stroje	17
8.1 Naladění proudového regulátoru	18
8.2 Naladění rychlostního regulátoru	18
8.2.1 Součková metoda	19
8.2.2 Metoda optimálního modulu	19
8.3 Naladění polohového regulátoru	20
9 Simulace stroje na výrobu netkané textilie	20
9.1 Simulace celého stroje s nastavení servopohonů dle různých metod	20
9.2 Zhodnocení chování servopohonů stroje.....	23
10 Struktura a popis řídicího programu pro strojní zařízení Rotis2	23
10.1 Pracovní části stroje	23
10.2 Hardwarové komponenty řídicí architektury.....	24
10.3 Vazby mezi technologickými objekty projektu	24
10.4 Programová a datová (softwarová) struktura aplikace.....	25
10.5 Vizualizace a ovládání strojního zařízení Rotis2.....	25
10.6 Zhodnocení řídicího programu strojního zařízení Rotis 2	26
11 Shrnutí dosažených výsledků	26
12 Závěr	28
Prameny a literatura	30
Vlastní publikace	32
Prototyp evidovaný v „Rejstřík informací o výsledcích“ (RIV)	32
Curriculum Vitae	33

0 Úvod

Na konci 80. a začátku 90. let byla na Katedře netkaných textilií (KNT) vyvinuta výroba vlákněných vrstev kolmým kladením pavučiny. Tato metoda patří k nejnovějším průmyslově využívaným technologiím v oboru netkaných textilií. Vývoj byl od počátku zaměřen na mechanickou konstrukci stroje, vyvolanou materiálovými vlastnostmi produktů. Ke škodě ucelenosti řešení se nikdo v závěrečné fázi nezabýval koncepcí ani způsobem řízení jednotlivých částí stroje.

Na konci 90. let pracovníci tehdejší Katedry elektrotechniky a mechanických systémů a Katedry netkaných textilií znovu otevírají téma řízení kolmého kladeče pavučiny, tentokrát s moderními prostředky a s velkou variabilitou parametrů netkaných produktů.

Tento úkol byl pro mě velkou výzvou se snahou odhalit a popsat vnitřní zákonitosti tvorby textilie, vyvinout nové řídicí algoritmy, zpracovat metodiku naladění elektrických pohonů, dovést použité elektrotechnické vybavení, interakci s obsluhou a dokumentaci do stavu, který je možné nabídnout výrobcům finálních produktů NT nebo výrobcům textilních strojů k rozšíření jejich portfolia.

Během startovací etapy se podařilo realizovat zkušební nízkorozpočtovou rozváděčovou skříň, usnadňující obsluhu stroje a nabízející řízenou výrobu tvarované netkané textilie. Tvarování spočívá v nezávislé definici obvodových rychlostí všech akčních prvků matematickými funkcemi v závislosti na čase. Tato první verze řízení stroje Rotis1 byla úspěšná, neboť odhalila další prostor pro použití netkaných textilií v mnoha průmyslových odvětvích. Stroj disponuje PLC nejnižší úrovně – Siemens Simatic S7-226, pohony s frekvenčními měniči Siemens MicroMaster 420 (MM420), které jsou ovládány přes USS protokol. Interakci s obsluhou zajišťuje textový čtyřřádkový operátorský panel s klávesnicí Siemens OP7. Tyto dva roky vývoje (2001 – 2002) posunuly stroj do stavu, kdy je možné nepřetržitě vyrábět požadovaně vzorované vysoké NT, existují elektrotechnické a projektové dokumentace [56] včetně uživatelského návodu a je k předvedení zákazníkům. Tento stroj byl začleněn do projektu Výzkumného centra Textil a stal se důležitým základem pro zákazníkem modifikovanou verzi stroje na vysoké produkty, která byla v roce 2005 firmou Steels dodána německé firmě Schott & Meissner Maschinen und Anlagenbau GmbH.

Marketingový průzkum mezi výrobcí netkaných textilií a textilních produktů vyvolal zamyšlení nad tloušťkami finálních produktů. Tento parametr významnou měrou ovlivňuje mechanické díly stroje a dimenze pohonů, avšak řídicího algoritmu se dotýká pouze nastavením odpovídajících vnitřních konstant. Ing. Hanuš Ph. D., autor kolmého kladeče a technolog, se rozhodl orientovat se na nízké výrobky. Toto rozhodnutí, po třech letech oscilací mezi vysokými a nízkými výrobky, vyvolalo jistou stabilitu cílového řešení.

V průběhu práce na jednotlivých strojích, studiem odborných textů [11], [6] a konzultacemi s Ing. Hanušem Ph. D., jsem vyhledával společné znaky a analyzoval zákonitosti vzniku skládané vzorované netkané textilie. Ty se staly základem počítačových modelů a předběžných výpočtů neustále se měnící mechaniky stroje. Na konci roku 2004 byly pro verzi stroje schváleny Ing. Hanušem Ph. D. budovány řídicí algoritmy a dimenzovány elektrické pohony. Od této doby přestává elektrotechnické vybavení a řízení stroje, věrně se všemi jemnými odchylkami, sledovat neustále se měnící formy a proměny technologie, neboť byl stanoven dlouhodobý cíl v rámci Výzkumného centra Textil2 (VCT2).

Dlouhá nevyjasněná etapa měla pozitivní vliv na výstroj stroje. Místo klasického řízení PLC řady Simatic S7-300 byla na konci roku 2003 nakoupena novinka na trhu. Jednalo se o jednotku řízeného pohybu pro všeobecné použití Siemens Simotion C230-2 (GMC – general motion control). Její možnosti přinesly diametrálně odlišný pohled na programové vybavení řešeného stroje, které bylo možné postavit nad technologickými funkcemi jako elektronická hřídel, převodovka či vačka.

Průběžně se seznámením se s řídicí jednotkou byla řešena otázka použití vhodných frekvenčních měničů a motorů stroje. Každoročně omezené finanční zdroje opožďovaly nákupy všech nutných dílů a posouvaly termín, kdy bude vybavení pro minimální smysluplnou realizaci stroje kompletní. Místo předem plánovaných frekvenčních měničů řady Siemens Masterdrive nebo

Simodrive byly na konci roku 2004 objednány nastupující jednotky Sinamics S120 určené pro víceosé servoaplikace.

Běh událostí a vidina reálného způsobu řešení znamenala vážně se zabývat distribuovaným řízením elektrických pohonů. Toto téma bylo řešeno paralelně s úkoly na stroji na výrobu netkané textilie. Z pohledu skutečné technické realizace řízení skupiny pohonů se nabízí několik způsobů jejich řízení, které se liší svou elegancí a dokonalostí. V úvodu disertační práce jsou shrnuty důležité závěry z analýz řízení skupiny elektrických pohonů pomocí sériové komunikace založené na USS protokolu a pomocí analogového signálu.

Hlavním tématem práce je komplexní počítačové modelování celého stroje na výrobu netkané textilie. Také detailní zpracování modelů servopohonů a jejich zpřesnění pomocí měření na skutečném pohonu. Velký prostor je věnován vyhledávání optimálního naladění regulátoru standardní regulační struktury pohonu a jejího rozšíření o doplňkové přenosové bloky.

0.1 Cíle disertační práce

Řízení vysokorychlostní linky na výrobu netkané textilie bude obnášet zodpovědný přístup k řešení jak mechanických, tak také elektromechanických uzlů stroje, které stále častěji nahrazují funkce složitých pohybových mechanismů. Na stavbě textilního stroje obvykle dohromady spolupracují textilní technolog, strojní a elektrotechničtí konstruktéři. Proto bude vyčlenění elektrotechnické oblasti do disertační práce z výše jmenovaných i dalších důvodů obtížné.

Cílem disertační práce je zpracovat podklady pro realizaci zvoleného provedení vysokorychlostního stroje. Mezi ně budou patřit analýzy chování textilie uvnitř stroje a odvození rovnic popisujících vznik tvarované netkané textilie. Tyto informace jsou nezbytné pro korektní řízení technologického procesu a tvarově dokonalé skládání. Přesnost rovnic bude převážně kontrolována výrobou zkušebních vzorků textilie a jejich srovnáním se zadaným tvarem.

Další bádání bude směřováno k vytvoření matematických modelů reálných elektrických strojů a modely převádějící požadovaný tvar textilie do žádaných obvodových rychlostí či poloh jednotlivých motorů. Modelování je, v dnešní době, standardní přístup usnadňující a urychlující vyhledání precizního řešení. Přináší rychlou a levnou prezentaci chování celého vysokorychlostního stroje a testování různorodých regulačních struktur frekvenčních měničů elektrických pohonů. Regulační struktury budou vybudovány se zřetelem na konkrétní možnosti programového vybavení frekvenčních měničů s možností neustálého zpřesňování a rozšiřování o dodatečné funkce.

Velká pozornost bude věnována metodikám naladění regulátorů servopohonů. Výsledky použitých metod budou v závěru kapitoly okomentovány a bude stanovena metoda pro naladění regulátorů všech skutečných servopohonů provozovaných na stroji.

Pro osazení reálného stroje pohony bude nutné stanovit průběhy pracovních rychlostí, zrychlení a ryvů jednotlivých akčních částí podílejících se na výrobě textilie. Všem základním akčním částem stroje budou vyhledány optimální pohony z typů nabízených na českém trhu.

Významné úsilí bude věnováno výběru vhodných hardwarových komponent řídicího systému a frekvenčním měničům elektrických pohonů a řídicím algoritmům do nich implementovaných. Předpokládám použití systému určeného pro aplikace řízení pohybu s tím, že bude nutné tento moderní systém sdružující mnoho oborů nejdříve nastudovat, aby bylo možné rozhodnout o způsobu a formě implementace řídicích programů. Realizace řízení stroje bude složena ze zajištění vlastního technologického postupu, styku s místní i vzdálenou obsluhou dle platných norem a doporučení. Implementace se provede buď podle dostupných mezinárodních či oborových doporučení, nebo dojde k vytvoření vlastních standardů pro textilní stroje. Vlastní standardy se objeví přímo v textu nebo v samostatné příloze, v případě poznatků načerpaných z obecně uznávaných doporučení.

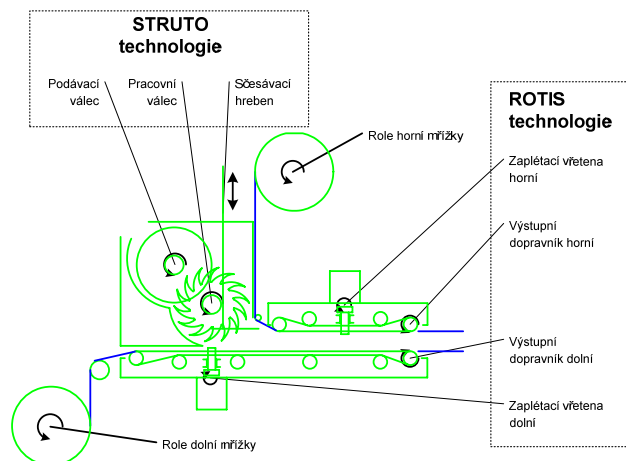
V současné době spatřuji cíl ve fungujícím vysokorychlostním stroji s řídicím systémem zaručujícím výrobu správně tvarované netkané textilie dle textilních parametrů zadaných na operátorském panelu.

1 Popis stroje na výrobu netkané textilie

Výroba vlákněných vrstev kolmým kladením pavučiny patří k nejnovějším průmyslově využívaným technologiím v oboru netkaných textilií. Byla vyvinuta na Katedře netkaných textilií v letech 1988 – 1992. Tato technologie přináší výrobu vlákněných vrstev s vyšší odolností vůči stlačení.

Technologie výroby netkané textilie vyobrazená na (Obr. 1.1) se skládá ze dvou samostatných jednotek Struto a Rotis [6]. Odebírání vstupní pavučiny a její kolmé kladení realizuje technologie Struto. Následnou dopravu produktu a jeho mechanické zpevnění zaplétacími vřeteny zajišťuje navazující technologie Rotis. Přestože je Rotis jméno pouze pro sekundární technologii, vývojová skupina ho, ač ne úplně správně, používá jako jediný obecný název pro celý stroj. S tímto významem se bude jméno Rotis vyskytovat v celém textu.

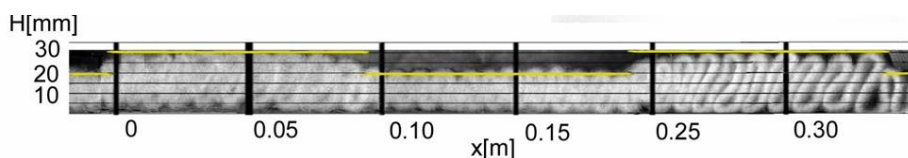
Popisovaný stroj může pracovat jak samostatně, tak jako součást rozsáhlých výrobních linek. Vstupní materiál bývá odvíjen z velkonábalu nebo odebírán z předřazených tradičních (mykací stroj, spunlace) nebo nekonvenčních (spunbond) výrobních technologií. Do dnešní doby byla úspěšně realizována první verze stroje Rotis1, který umožňuje zpracovávat textilie připravené z tradičních technologií do vstupních rychlostí 150 m/min. Tato verze je nabízena zákazníkům a vývojové aktivity jsou směřovány do zdokonalování nové verze Rotis2, určené hlavně pro netradiční technologie se vstupní rychlostí okolo 500 m/min.



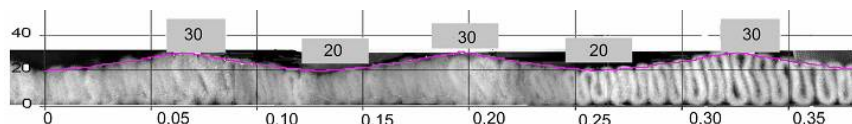
Obr. 1.1 – Technologie výroby netkané textilie Rotis



Obr. 1.2 – Strojní zařízení Rotis, druhá mechanická verze



Obr. 1.3 – Výrobek z tlustostěnné pavučiny vyskládané s obdélníkovým průběhem výšky skladů a konstantní hustotou skladů



Obr. 1.4 – Výrobek z tlustostěnné pavučiny vyskládané s trojúhelníkovým průběhem výšky skladů a konstantní hustotou skladů

2 Distribuované řízení skupiny pohonů

U elektrických pohonů a jejich řízení jsou stále více nahrazovány nepružné a výrobně náročné mechanické vazby vazbami elektronickými. Jako příklady lze uvést elektronickou hřídel, jež postupně vytlačuje řetězově či řemenově svázané hřídele, elektronickou převodovku, či elektronickou vačku, která váže dva pohony buď tabulkou (zdvihovou závislostí) uspořádaných dvojic, nebo navazujícími segmenty polynomických funkcí vyšších řádů.

Technická řešení zmíněných elektronických vazeb mohou vykazovat různou úroveň dokonalosti, která je ohraničena vlastnostmi zvolených pohonářských a automatizačních komponent. Během vývoje řídicího systému pro stroj na výrobu netkané textilie byly detailně prozkoumány dvě varianty řízení otáčivé rychlosti skupiny pohonů, každá se nachází na jednom konkrétním prototypu. Souhrnu obecně platných závěrů se věnuje tato kapitola.

Skupina několika elektrických pohonů s frekvenčními měniči je řízena nadřazeným řídicím systémem, který zodpovídá za generování žádané hodnoty polohy, rychlosti či momentu. Tato informace je dopravována na vstup regulační struktury frekvenčního měniče v zásadě dvěma způsoby: analogovými signály či digitální komunikací. Nabídka digitálních komunikačních technik je u automatizačních komponent velice rozsáhlá, proto se práce omezuje na komunikace používané pro řízení pohonů od firmy Siemens a přenos informace analogovým napětím.

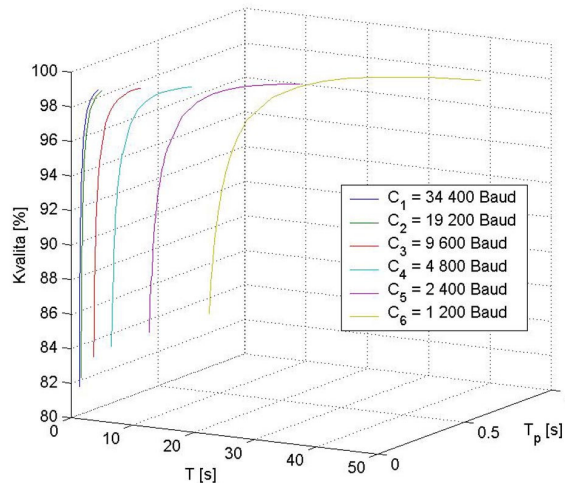
Nejdokonalejší třetí verze řídicího systému a pohonů stroje je věnována celá disertační práce, proto na tomto místě dostanou prostor jen obecné závěry z předchozích řešení.

2.1 Řízení rychlosti digitální komunikací s USS protokolem

Skupina řízených asynchronních pohonů s frekvenčními měniči MM 420 je připojena k PLC Siemens S7 200 CPU 226 sériovou linkou definovanou hardwarovým standardem RS-485.

2.2 Kvalita řízení s USS protokolem

Měření odhalilo závislost kvality generovaných otáček pohonu na periodě testovacího signálu T , na komunikační rychlosti sběrnice C a na dobách náběhu a sestupu. Závislost pro ideální doby náběhu a sestupu znázorňuje prostorový graf na obrázku Obr. 2.1.



Obr. 2.1 – Kvalita průběhu otáček v závislosti na konfiguraci systému

Síť charakteristik v prostoru na Obr. 2.1 je popsána pomocí empirického vztahu (2.1), který je užitečný pro odhad kvality průběhu rychlosti určité konfigurace skupiny pohonů, pojící se na konkrétní realizaci stroje a zvolenou hodnotu doby náběhu a sestupu.

$$Q(T, T_p, T_N) = 99.86 - 0.06 \cdot T_p - \frac{0.10 + 307.55 \cdot T_p}{T} + \frac{2 \cdot A \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot T_p}{T}\right)}{n_{\max}} \cdot T_N \cdot \left(\frac{0.35 \cdot T + 0.14 \cdot T \cdot T_p - 0.216 + 233.34 \cdot T_p}{T \cdot T_p} \right) [\%] \quad (2.1)$$

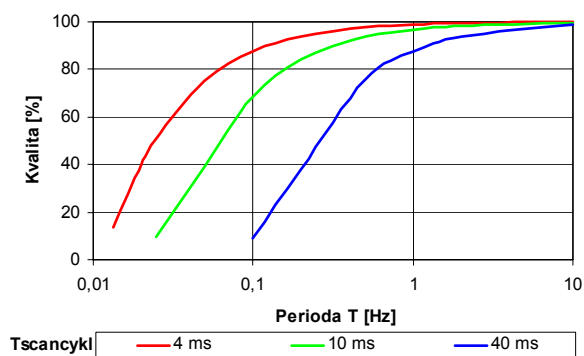
2.3 Řízení rychlosti analogovým napětím

Přenos žádané hodnoty rychlosti analogovým signálem patří mezi nejstarší způsoby komunikace [8]. Přestože použití analogového napětí má mnoho nevýhod, je řadou výrobců automatizačních komponent stále úspěšně používáno k řízení klasických pohonů, ale i levných servopohonů.

2.4 Kvalita řízení analogovým napětím

Analýza chování skupiny pohonů řízených analogovým napětím byla vzhledem k plovoucí hodnotě scan cyklu rozdělena do měření s konkrétními hodnotami.

První červená křivka popisuje chování kvality skutečné rychlosti pro nejkratší dosažitelnou dobu scan cyklu. Její hodnota je samozřejmě přímo závislá na složitosti aktuálně prováděného programu a může se nepředvídatelně měnit. Růst trvání PLC programu posune červenou křivku směrem k zelené, která reprezentuje chování tohoto systému při desetimilisekundovém scan cyklu. Modrou křivku lze považovat za hraniční, neboť je plně srovnatelná s nejvyšší analyzovanou přenosovou rychlostí USS protokolu.



Obr. 2.2 – Kvalita průběhu otáček v závislosti na scan cyklu PLC

2.5 Srovnání řízení pohonů USS protokolem a analogovým napětím

Tato kapitola představila chování a vlastnosti řízení skupiny pohonů PLC pomocí USS protokolu na sériové lince RS-485 a analogovým napětím. Struktura zapojení automatizačních komponent a přenosových kanálů společně s tvarem žádaného průběhu rychlosti jednoznačně určují dosažitelnou kvalitu průběhu žádané rychlosti pohonů.

Při konstrukci výrobního zařízení je známý počet v reálném čase řízených pohonů, ale není vždy jasné, jaký způsob řízení pohonů vyhoví technickým a ekonomickým požadavkům nejlépe. Odpověď na tuto otázku dají empiricky odvozené vztahy pro oba výše popsané způsoby řízení pohonů. Vztahy vydají přesnou informaci o dosažené kvalitě Q (věrnosti) skutečného průběhu rychlosti pohonu pro oba způsoby řízení.

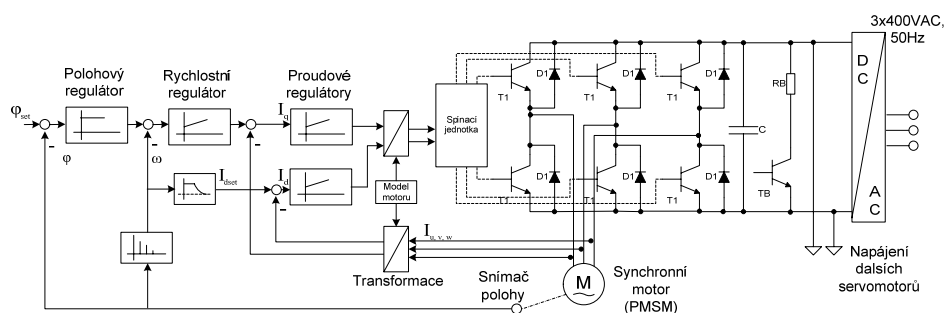
3 Servomotory

Významnou a velmi speciální třídou průmyslových pohonů jsou pohony určené pro řízení pohyby, které jsou obvykle pojmenovávány servopohony. Pojmenováním „motion control“ (řízení pohybu) se označují inteligentní řídicí jednotky těchto pohonů. Často jsou nasazovány jako serva obráběcích strojů, motorové aktuátory robotů a další. Uplatnění nacházejí jak v aplikacích velkých výkonů – jako pohony dopravních prostředků a průmyslových pohonů, tak malých výkonů v elektronice (pohon pevných disků) či domácí technice.

Servopohony musí splňovat několik požadavků na jakost:

- Vysoce dynamickou odezvu, které může být realizována pomocí speciálních řídicích schémat a motory s vysokým poměrem točivého momentu k momentu setrvačnosti.
- Hladký průběh momentu zajišťující hladký průběh otáček a eliminující oscilace úhlové pozice.
- Vysokou provozní spolehlivost včetně rychlé údržby a výměny.
- Robustnost řízení, zodpovídající za schopnost servopohonu snášet kolísání momentu setrvačnosti zátěže v širokém rozsahu nebo měnící se parametry motoru.

Vysokorychlostní stroj na výrobu netkané textilie se jednoznačně řadí mezi dynamicky náročné aplikace, proto je nutné vybrat i vhodný algoritmus řízení střídavých pohonů. Odpovídajícím algoritmem je vektorové či „servo“ řízení pro synchronní motory.



Obr. 3.1 – PMSM servopohon včetně regulační struktury

3.1 Modelování a simulace elektrických pohonů

Návrh řešení stroje na výrobu netkané textilie vyžaduje zodpovědný přístup k řešení. Během vývojové etapy vzniklo několik simulačních modelů, které jsou schopny přiblížit chování určitých částí reálného řešení stroje. Mezi nejdůležitější patří model reprezentující elektrický servopohon. V něm jsou identifikovatelné mechanické parametry poháněného mechanismu, bloky odpovídající motoru, střídači a kaskádové regulační struktuře.

Disertační práce představí model servopohonu pro takovou dynamicky náročnou aplikaci. S ohledem na velká zrychlení a vývojovou fázi byly jako motory vybrány synchronní servomotory s permanentními magnety na rotoru (SMPM – Synchronous Motor Permanent Magnet). Malý moment setrvačnosti rotoru předurčuje tento druh motorů pro dynamicky náročné aplikace.

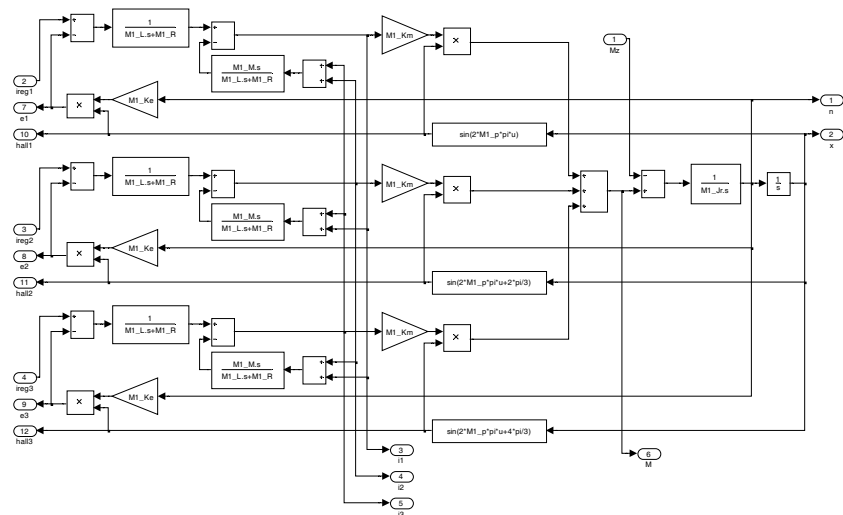
Doposud nebyl vyroben ani funkční model stroje, který by umožnil identifikaci mechanických veličin a přinesl tak přesnější informace o otáčkách, zatěžovacích momentech a fluktuaci momentů setrvačnosti. Disertace vzhledem k této situaci předkládá projekční výpočetní protokoly a model synchronního stroje založeném na analogii se strojem stejnosměrným. Tento způsob modelování elektrického stroje neaplikuje řídicí metody založené na transformaci statorových souřadnic do rotorových. Pro první ověření vlastností a činnosti servopohonu je dostatečný.

Mezi nesporné možnosti simulací patří rychlá a laciná modifikace s cílem vytvořit kvalitní a se skutečností shodný model elektrického pohonu stroje. Na modelu bude zkoumána kvalita a rychlost regulace se standardní kaskádovou regulační strukturou i se strukturou rozšířenou o dopředné korekční signály a následně o adaptivními členy.

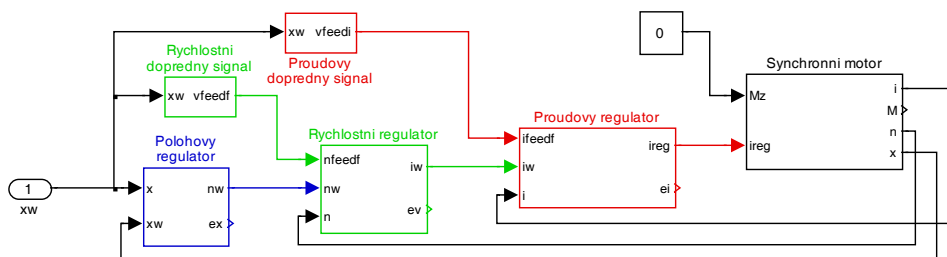
3.2 Synchronní motor a jeho matematický model

Z rovnic uvedených v disertační práci lze sestavit následující schéma synchronního elektromotoru. Tento model se skládá z třech shodných subsystémů, které se svým popisem podobají matematickému modelu stejnosměrného motoru.

Nad takovýmto modelem jsou postupně uváděny tři zpětnovazební smyčky s regulátory proudu, otáčivé rychlosti a polohy. Následující obrázek reprezentuje regulačně nejbohatší simulační schéma servomotoru používaného v disertační práci, jedná se o polohový servopohon s rychlostním a proudovým dopředným signálem.



Obr. 3.2 – Matematický model synchronního elektromotoru složený ze třech shodných subsystémů



Obr. 3.3 – Blokové schéma rychlostního pohonu s polohovým regulátorem a dopřednými rychlostními a proudovými signály

4 Simulace a verifikace modelu servopohonu

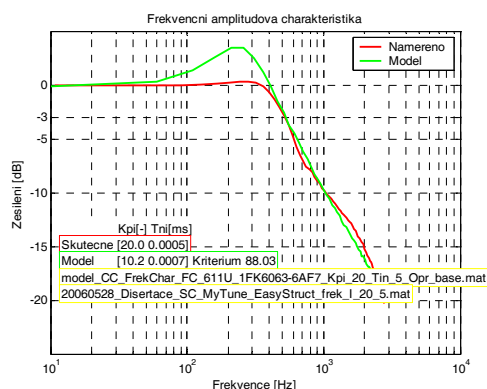
Model servomotoru se skládá z třech shodných subsystémů, které se svým popisem podobají matematickému modelu stejnosměrného motoru. Proto, aby bylo možné se spolehnout na shodné chování modelu a reálného servopohonu, bylo prováděno mnoho měření. Nad model motoru byla nejprve uzavřena proudová zpětnovazební smyčka s PI regulátorem. Teprve po kvalitní shodě chování přechodové a frekvenční charakteristiky proudového řízení byl model rozšířen o rychlostní zpětnou vazbu s PI regulátorem a korekčním přenosem. Pro dodržení shody byly srovnávány přechodové a frekvenční charakteristiky rychlostního řízení. Tímto postupným procesem bylo docíleno shodného chování numerického modulu s reálným servopohonom složeného ze synchronního motoru 1FK6 a frekvenčního měniče Simodrive 611U (SD 611U).

Odladěný model bude integrován do komplexního modelu stroje, který už nebude možné konfrontovat s reálným měřením na budoucích servopohonech stroje.

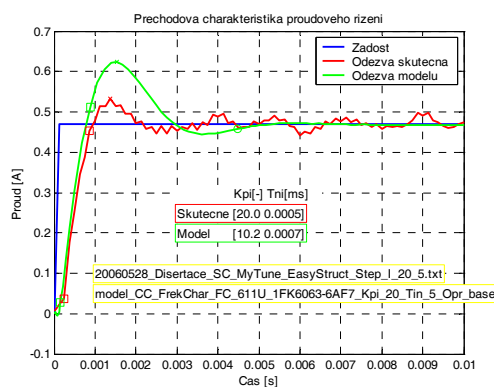
4.1 Identifikace proudové řízení servopohonu

Pro sedmáct zvolených hodnot zesílení a časových integrační konstant proudového regulátoru byla změřena frekvenční charakteristika. Identifikace silového servopohonu byla provedena s dopravním zpožděním odpovídajícím pulsně šířkové modulaci.

Hledání konstant modelového regulátoru se opakovalo pro různá skutečná nastavení v jednotce SD 611U. Tím bylo možné prozkoumat vývoj chování modelu a šířky pásma amplitudové frekvenční charakteristiky proudového řízení. Skutečné a identifikované parametry proudového regulátoru se liší. Střední hodnota relativní chyby zesílení je -39% a integračního času $+19\%$.



Obr. 4.1 – Vybraná amplitudová frekvenční charakteristika proudového řízení



Obr. 4.2 – Vybraná přechodová charakteristika proudového řízení

K měření přechodové charakteristiky proudového řízení posloužila shodná sada konstant proudového regulátoru SD 611U a sada vyhledaných konstant matematického modelu.

Střední hodnota relativních chyb sledovaných parametrů na přechodové charakteristice modelu vzhledem ke skutečnosti dosahuje hodnot vyšších než 20% pro dobu náběhu a velikost překmitu.

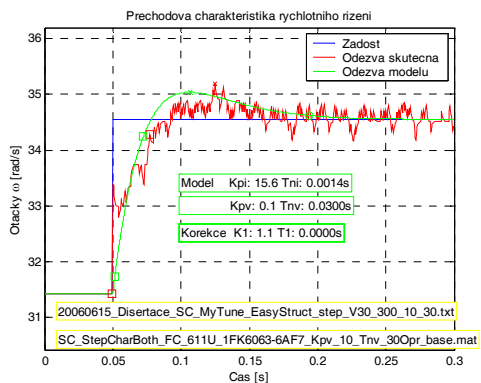
Pro další experimenty byly pevně zvoleny konstanty proudového regulátoru takové, aby se šířka pásma modelu blížila 1000 Hz . Jedná se o hodnoty $K_{pi} = 19,18$ a $T_{ni} = 1,3\text{ ms}$. Při této šířce pásma se dá v rychlostní regulační smyčce považovat přenos proudového řízení za jedničku, avšak toto zjednodušení modelu nebude učiněno.

4.2 Identifikace rychlostního řízení servopohonu

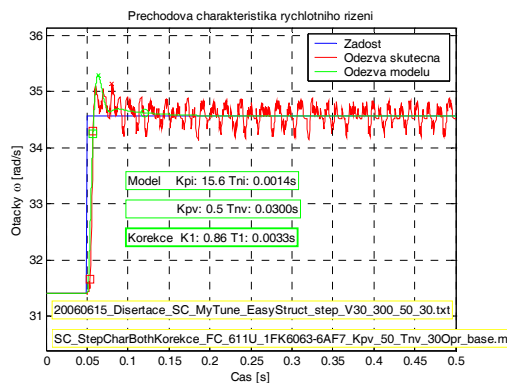
Model byl rozšířen o nadřazený regulátor otáčivé rychlosti se zpětnou vazbou. Za cíl bylo kládáno dosažení rovnosti velikostí konstant rychlostního regulátoru modelu s reálnými hodnotami v regulační jednotce SD 611U. Pro zajištění rovnosti byl za regulátor rychlosti zařazen korekční

přenosový blok prvního a poté druhého řádu. Přenos prvního řádu se pro první modelování ukazuje jako dostatečný.

Měření a identifikace proběhla na sadě sedmadvaceti zvolených hodnot konstant rychlostního regulátoru. Výsledky jsou uvedeny v tabulce práce a přechodové charakteristiky na obrázcích.



Obr. 4.3 – Vybraná přechodová charakteristika rychlostního řízení



Obr. 4.4 – Vybraná přechodová charakteristika rychlostního řízení s univerzálním přenosem

Pohled na přechodové charakteristiky rychlostního servopohonu jednoznačně podporuje tento závěr. Přechodová charakteristika modelu s unikátním korekčním blokem generuje přibližně shodný tvar křivky jako měření na servopohonu SD 611U.

To je velmi důležitý poznatek, ale pro obecnost řešení a univerzálnost použití jsou důležité přechodové a frekvenční charakteristiky s univerzálním korekčním přenosem prvního řádu platným pro všech dvacet sedm zvolených hodnot.

Jednoznačné srovnání přechodové charakteristiky modelů s unikátními korekčními přenosy a s univerzálním (obecným) korekčním přenosem o velikosti střední hodnoty zesílení a časové konstanty dokládá následující tabulka (Tab. 4.1). V té jsou uvedeny relativní chyby charakteristických parametrů přechodové odezvy obou modelů. Proudový regulátor modelu je u obou modelů nastaven: $K_{pi} = 19,18$ a $T_{ni} = 1,3$ ms. Střední hodnota konstant korekčního přenosu 1. řádu: $korK1 = 0,86$ a $korT1 = 3,26$ ms.

Tab. 4.1 – Srovnání charakteristických hodnot přechodové charakteristiky pro model s unikátními a univerzálním (obecným) korekčním přenosem [SpeedStep_Result_All.xls]

poř.č.	Simodrive 611U		Kriterium s unikát. přenosem J_k [RPM ²]	Kriterium s obec. přenosem J_k [RPM ²]	δJ_k [-]	Srovnání charakteristických parametrů získaných z přechodové funkce			
	K_{pv} [-]	T_{nv} [s]				δT_p [-]	δT_r [-]	δOP [-]	δT_s [-]
1	0,1	0,2	0,02	0,12	5,24	-0,58	-0,84	0,30	-0,62
2	0,1	0,1	0,04	0,04	0,21	0,29	0,45	0,28	0,32
3	0,1	0,05	0,01	0,01	0,09	0,07	0,05	-0,16	0,01
4	0,1	0,03	0,02	0,04	0,56	0,04	0,04	0,42	0,02
5	0,1	0,01	0,08	0,30	2,65	0,18	0,47	-0,55	-0,26
6	0,2	0,1	0,04	0,10	1,44	0,08	0,10	0,69	0,89
7	0,2	0,08	0,01	0,01	0,07	-0,05	-0,10	-0,08	-0,05
8	0,2	0,05	0,01	0,01	0,10	-0,03	-0,09	-0,16	-0,04
9	0,3	0,05	0,01	0,01	0,11	0,03	0,11	0,20	0,03
10	0,3	0,03	0,01	0,01	0,04	-0,03	-0,08	0,06	-0,04
11	0,3	0,01	0,01	0,02	0,08	0,02	0,09	-0,21	0,03
12	0,3	0,005	0,02	0,03	0,71	0,04	0,17	-0,16	-0,12
13	0,5	0,05	0,03	0,13	2,96	0,00	-0,13	1,21	1,22

14	0,5	0,03	0,02	0,02	0,09	-0,04	-0,17	0,38	-0,10
15	0,5	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,03	-0,14	0,03
16	0,5	0,005	0,04	0,04	0,14	0,02	0,14	-0,12	-0,13
17	0,6	0,08	0,03	0,10	1,84	-0,05	-0,29	1,31	0,86
18	0,6	0,06	0,02	0,02	0,09	-0,04	-0,20	0,35	-0,18
19	0,6	0,05	0,02	0,02	0,07	-0,04	-0,19	0,40	-0,14
20	0,6	0,03	0,02	0,02	0,07	-0,03	-0,17	0,27	-0,11
21	0,6	0,02	0,02	0,02	0,05	-0,02	-0,13	0,27	-0,09
22	0,6	0,01	0,03	0,03	0,01	-0,01	-0,07	0,03	-0,02
23	0,6	0,005	0,04	0,05	0,14	0,02	0,13	-0,09	-0,04
24	0,7	0,05	0,03	0,09	1,80	-0,05	-0,32	1,43	0,99
25	0,7	0,03	0,02	0,02	0,08	-0,03	-0,16	0,24	-0,11
26	0,7	0,01	0,03	0,03	0,02	-0,01	-0,05	-0,06	-0,02
27	0,7	0,005	0,08	0,08	0,06	0,02	0,15	-0,14	-0,11
<i>Střední hodnoty</i>						-0,01	-0,04	0,22	0,08

Právě čtyři sloupce tabulky (Tab. 4.1) dokazují možnost použití univerzálního korekčního přenosu bez ztráty věrohodnosti modelu. Zesílení a časová integrační konstanta rychlostního regulátoru vymezují dvojrozměrný prostor. Vypočítávané kritérium společně závisí na obou jmenovaných parametrech a dvojrozměrnému prostoru přidává ještě jednu dimenzi.

V disertační práci byl sledován vývoj hodnotícího kritéria v závislosti jak na proporcionálním zesílení s parametrem konstantního integračního času, tak na integračním čas s parametrem zesílení.

5 Odvození rovnic modelu vzniku netkané textilie

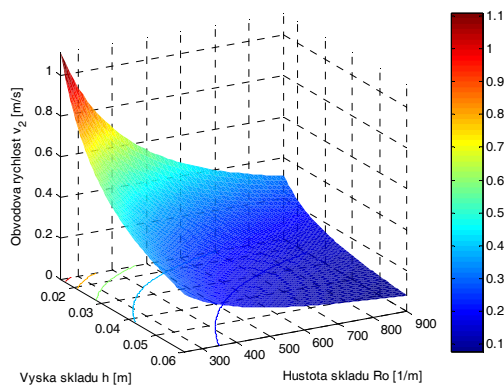
Požadavek vzorované textilie s definovanými vlastnostmi s sebou přináší otázku, jak řídit součinnost jednotlivých uzlů stroje. Na tuto otázku je možné odpovědět rovnicemi modelu vycházejících jak z nastudování výrobní technologie a analýzy jednotlivých pracovních částí a jejich vzájemných vazeb, tak z konstrukčního provedení stroje. Tyto rovnice mohou být spojeny se vznikem textilie v závislosti čase nebo na dráze. Obě varianty výpočtu jsou uvedeny v disertační práci.

6 Návrh pohonů a výběr architektury řídicího systému stroje Rotis2

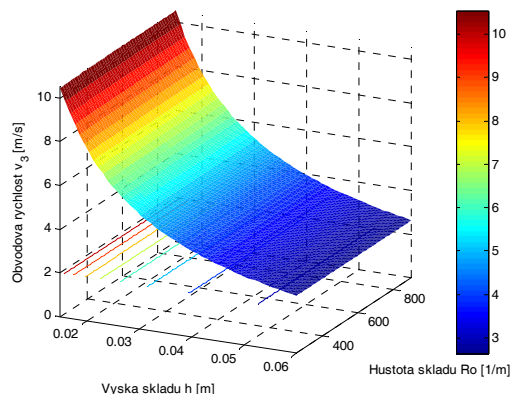
Tato rozsáhlá kapitola se pro přehlednost a tématickou příslušnost rozděluje do tří úzce směřovaných podkapitol. První představuje rozbor pracovních rychlostí, zrychlení a trhů (ryvů) jednotlivých částí stroje v závislosti na vstupních parametrech a na tvaru textilie. Navazující druhá část využívá informací z první kapitoly a seznamuje s návrhem vhodných elektrických pohonů pro jednotlivé akční části stroje a jejich pracovní diagramy. V poslední kapitole je diskutován vhodný řídicí systém pro vysokorychlostní aplikaci.

6.1 Pracovní oblasti pohonů stroje Rotis2

Z odvozených vztahů je patrné, že pohony stroje na výrobu netkané textilie pracují v širokém intervalu rychlostí, které jsou určeny proměnnou výškou a hustotou skladů.



Obr. 6.1 – Pracovní otáčky výstupního dopravníku v_2 , ($v_1 = 8,4 \text{ m/s}$)



Obr. 6.2 – Pracovní otáčky pracovního válce (kladeče) v_3 , ($v_1 = 8,4 \text{ m/s}$)

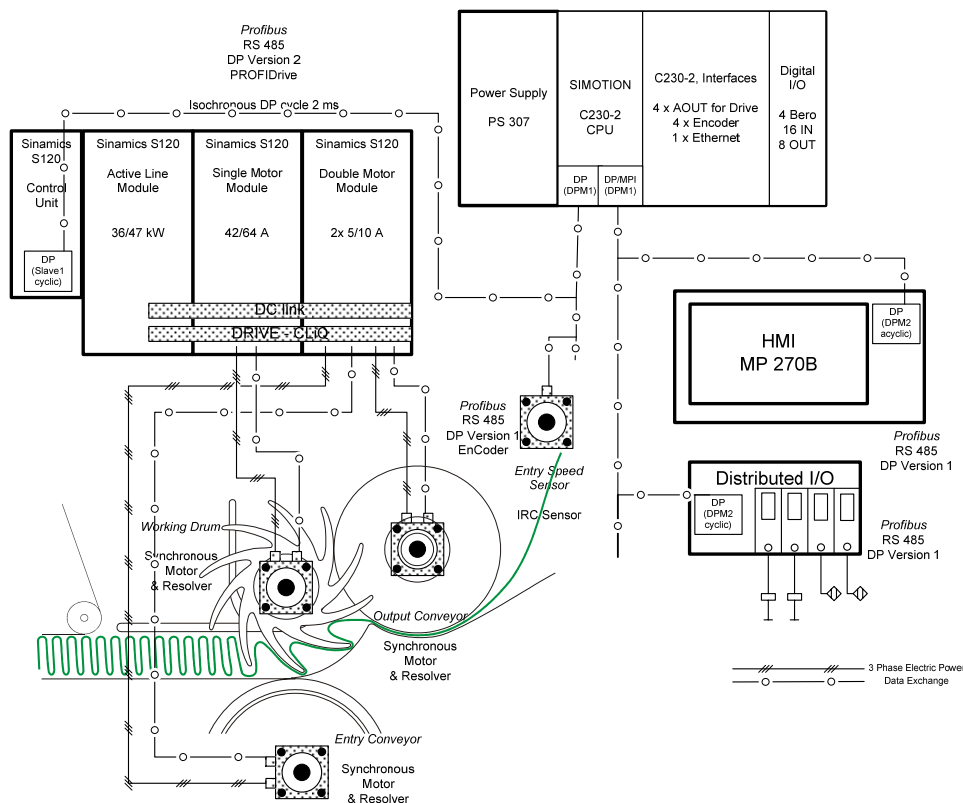
Předcházející grafy prezentují hodnotu obvodové rychlosti pro různé konstantní hodnoty výšky a hustoty skladů. Tyto informace jsou však pro kvalitní návrh pohonů neúplné, neboť předností zvoleného řízení je uživatelsky volně definovaný průběh zmíněných makroskopických veličin netkané textilie na její délce.

Analýzu realizuje univerzální výpočetní skript a model v Matlab/Simulink podporující nastavení všech dostupných parametrů, což usnadňuje sledování důležitých veličin.

6.2 Návrh vhodné řídicí architektury

Dnes je na trhu pestrá nabídka automatizačních a pohonařských komponent, které mají pro zdárné řešení tohoto projektu různou použitelnost. Výběr těchto zařízení s sebou přináší i určitou topologii systému, která je u těch pokročilých založena na digitální komunikaci. Komponenty řídicího systému včetně umístění motorů do technologie je očekáván tak, jak je vyobrazeno na blokovém schématu (Obr. 6.3).

Digitální komunikační sítě jsou v současné průmyslové řídicí technice všední realitou. Nejrůznější aplikace mají k dispozici širokou paletu otevřených standardů i neveřejných firemních řešení. Řízené elektrické pohony od jednoduchých frekvenčních měničů až po vysoce dynamická servořízení jsou připojovány k digitálnímu rozhraní nadřazeného řídicího systému, který pracuje v režimu s otevřenou nebo uzavřenou smyčkou. Pro tyto účely je nezbytně nutné, aby použité digitální rozhraní disponovalo určitými technikami. Mezi nejdůležitější patří hodinová synchronizace. V případě centrální řídicí jednotky provádějící interpolaci a řízení polohy se musí řídicí obvod uzavírat prostřednictvím použité komunikační sběrnice. Pro možnost dosažení vysokého zesílení zpětné vazby, potažmo dynamiky, musí být zpoždění vzniklá komunikací co nejmenší a naprosto konstantní.



Obr. 6.3 – Blokové schéma předpokládané architektury řídicího systému včetně osazení motorů na stroji Rotis2

7 Řídicí jednotka řízeného pohybu

Elektrické pohony, ale i ostatní druhy pohonů, jsou v současnosti chápány jako nezbytná součást systémů řízení pohybu (General Motion Control). Pohybové systémy nacházejí uplatnění tam, kde je pro správnou výrobní funkci vyžadována součinnost více pohybů současně a to od miniaturních mikromotorů až k pohonům velkých výrobních zařízení v těžkém zpracovatelském průmyslu. Systémy řízení pohybu jsou velmi univerzální a snadno konfigurovatelné. Vyskytují se ve všech oblastech výrobní i nevýrobní sféry.

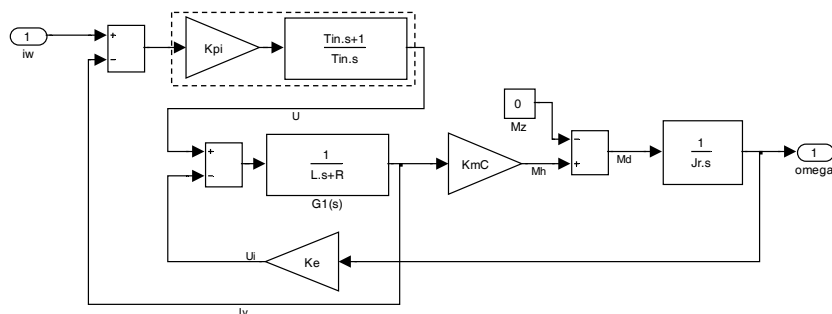
Vybraná jednotka Simotion plně podporuje mechatronický přístup řešení stroje a byla vyvinuta speciálně pro stroje, u kterých hraje hlavní roli řízení pohybu. Nabízí jednoduché a flexibilní řešení pro velmi rozmanité úlohy řízeného pohybu. Optimálního řešení těchto úloh bylo dosaženo spojením funkcí řízení pohybu se dvěma, na strojích často používanými, řídicími funkcemi. Mezi ně se počítají logické a technologické funkce (např. řízení teploty).

8 Naladění jednotlivých pohonů stroje

Pro přehlednost a snadnost demonstrace ladění pohonů linky, byla tomuto tématu vyčleněna vlastní kapitola. Stroj je osazen třemi synchronními servopohony, z nichž jsou na základě technologických požadavků v reálném čase regulovány pouze dva. Naladění těchto servopohonů je pro dosažení kvalitních výrobků kritické, proto bylo provedeno stavení regulátorů podle teoretických metod. Sledovanými parametry byly i rázová a frekvenční dynamická poddajnost polohy servopohonů.

8.1 Naladění proudového regulátoru

S nastavováním konstant regulátorů bylo zahájeno u proudového regulátoru. Postup naladění je demonstrován na zjednodušeném modelu synchronního motoru s permanentními magnety v rotoru. Před soustavu reprezentující motor předřadíme proudový PI regulátor, celkové blokové schéma prezentuje (Obr. 8.1).



Obr. 8.1 – Blokové schéma proudové regulace servopohonu

Tab. 8.1 – Nastavení konstant proudové regulátoru všech servopohonů

Servomotor	K _{pi} [-]	T _{ni} [ms]	T _p [ms]	T _r [ms]	OP [%]	T _s [ms]	B _i [Hz]
M1 – podávání	90	1	0,8	0,29	8,1	1,7	1197
M2 – výstupní dopravník	200	1	0,7	0,25	8	1,9	1270
M3 – pracovní	7	1	0,6	0,31	8	1,7	1319

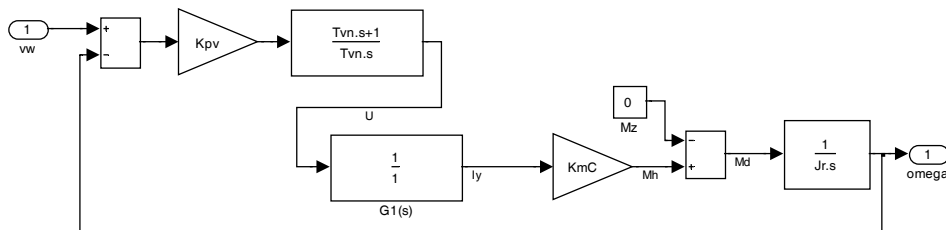
8.2 Naladění rychlostního regulátoru

Po naladění proudového regulátoru má významný vliv na dynamiku rychlostního servopohonu regulace otáčivé rychlosti. Odpovídající nastavení vychází z aplikace, ve které rychlostní servopohon pracuje. Určité aplikace vyžadují průběh přechodové charakteristiky rychlostní regulace bez překmitu, jiné zase dávají přednost krátké době náběhu s povolenou hodnotou překmitu.

K momentu setrvačnosti motoru přibývá moment setrvačnosti zátěže redukovaný např. převodovým poměrem vsazené převodovky. Rychlostní regulace musí zajistit kompenzaci ztráty rychlosti s rostoucím zatížením. Tuto negativní závislost lze vyrovnat proporcionálním zesílením rychlostního regulátoru, pro které musí platit následující vztah:

$$\frac{K_{pv}}{J_C} = \frac{K_{pv}}{J_M + i^2 \cdot J_L} = konst. \quad (8.1)$$

Při prvním významném zjednodušení lze motor nahradit soustavou prvního řádu, jenž modeluje pouze mechanickou odezvu jednohmotového pohonu (Obr. 8.2).



Obr. 8.2 – Jednoduchý model rychlostní regulace zohledňující pouze mechanické vlastnosti

8.2.1 Součková metoda

Existuje celá řada experimentálních metod pro naladění regulátorů dynamických systémů. Velmi často užívanou je metoda Zieglera-Nicholse. Na počátku bylo plánováno aplikovat tuto metodu, avšak reálný servopohon nelze přivést na kmitavou mez stability, neboť to jeho ochrany nedovolí. Z průběhů regulované veličiny soustav řízených tímto regulátorem lze vyzorovat, že jim je na přechodové charakteristice dovolen určitý překmit.

Tento jev je společný i pro experimentální metodu užívanou autorem doc. Součkem [49] k naladění rychlostního řízení u servopohonů obráběcích strojů. V následujícím textu bude tato metoda označována názvem Součková metoda. Tato metoda místo kritického zesílení povoluje 20% překmit na průběhu přechodové charakteristiky otáčivé rychlosti. Realizace seřízení je možné provést jak v modelu, tak také na skutečném pohonu. Obě metody lze považovat za podobné, proto byly regulátory seřizeny podle poslední jmenované metody.

Tab. 8.2 – Nastavení konstant rychlostního regulátoru všech servopohonů dle Součka

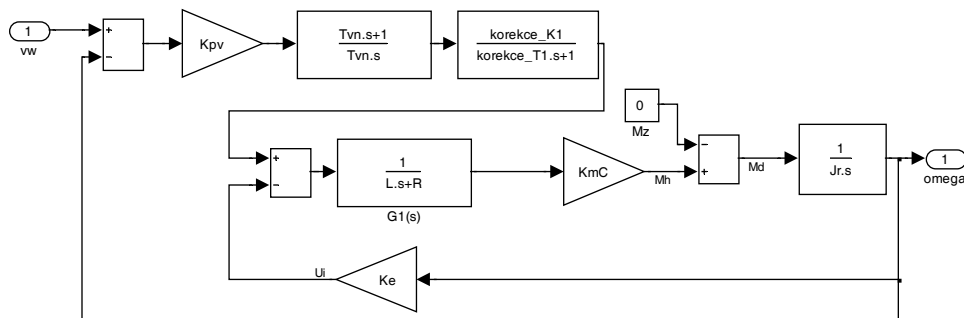
Servomotor	K _{pV} [-]	T _{nv} [ms]	T _p [ms]	T _r [ms]	OP [%]	T _s [ms]	B _v [Hz]
M1 – podávání	3	180	254,83	93,52	19,9	581	3
M2 – výstupní dopravník	1,7	600	11,15	5,49	19,9	18,1	60
M3 – pracovní	30	200	10,21	5,42	20,0	33,8	60

K porovnání chování uzavřených regulačních obvodů otáčivé rychlosti naladěné touto metodou bude v navazující kapitole aplikována metoda s odlišnými požadavky na průběh odezvy regulované veličiny, kterou bude metoda optimálního modulu.

8.2.2 Metoda optimálního modulu

Blokové schéma (Obr. 8.2) je pro výpočet konstant rychlostního regulátoru velmi jednoduché, proto bylo nutné toto schéma rozšířit o proudovou smyčku a zpětnou vazbu indukovaného napětí.

Pro shodnost konstant regulátoru bylo použito „univerzálního kompenzačního přenosu“, který byl vyčíslen v kapitole 4.2.



Obr. 8.3 – Složitější model rychlostní smyčky, přidána proudové smyčky a zpětné vazby

Metoda je odvozena z minima kvadratické regulační plochy. Cílem řízení je docílit ideálního přenosu regulované soustavy, ten je splněn jestliže $G_w(s) \rightarrow 1$, potom $|G_w(j\omega)| = A_w(\omega) = 1$. Z podmínky vyplývá, že velikost frekvenčního přenosu má být rovna jedné.

Regulovaná soustava má integrační charakter, proto bude integrační časová konstanta rovna nule. Tento požadavek není u skutečného regulátoru pohonu možné zajistit, objeví se na frekvenční charakteristice malý překmit, způsobený použitím dlouhého integračního času.

Servopohon podávacího bubnu byl dimenzován s malou dynamikou, proto byla metoda optimálního modulu nasazena pouze na rychlostní regulátor kladeče a výstupního dopravníku.

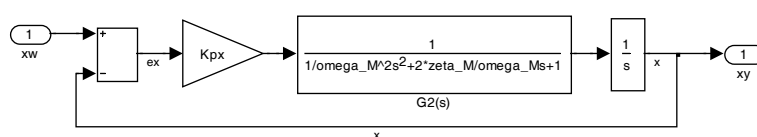
Tab. 8.3 – Nastavení konstant rychlostního regulátoru všech servopohonů dle optimálního modulu

Servomotor	Kpv [-]	Tnv [ms]	Tp [ms]	Tr [ms]	OP [%]	Ts [ms]	Bv [Hz]
M1 – podávání	viz Součková metoda, kapitola 8.2.1						
M2 – výstupní dopravník	0,779	0,9	20,32	9,97	7,0	266,0	30
M3 – pracovní	14,1	0,9	20,67	10,10	7,0	266,1	30

8.3 Naladění polohového regulátoru

Pro dostatečné přesné a s realitou shodné naladění polohového regulátoru musí být úloha řešena podle schématu, ve kterém je uzavřena zpětná vazba a v přímé větvi se vyskytuje proporcionální zesílení, soustava druhého řádu a jeden integrační člen. Ten převádí aktuální rychlost na aktuální polohu.

Zesílení regulátoru typu P v sobě obsahuje napětřovou konstantu motoru K_e a všechny další konstantní přenosy smyčky.



Obr. 8.4 – Polohová smyčka s přenosem 2. řádu

Na průběh přechodového děje polohy je kladen požadavek nulového překmitu a minimální obsah kmitavých složek.

Tab. 8.4 – Nastavení konstant polohového regulátoru všech servopohonů dle Součka

Servomotor	Kpx [1/s]	Tp [s]	Tr [s]	OP [%]	Ts [ms]	Bx [Hz]
M1 – podávání	4,0	2,000	0,321	0,0	1,06	1
M2 – výstupní dopravník	31,1	1,999	0,065	0,0	0,12	6
M3 – pracovní	23,2	3,00	0,09	0,0	0,16	5

9 Simulace stroje na výrobu netkané textilie

Jak již bylo napsáno, stroj ani funkční model se nepodařilo k dnešnímu dni vyrobit. Tato skutečnost znemožnila konfrontaci předpokládaného chování zatěžovacích momentů a redukováných momentů setrvačnosti servomotorů s měřeními na stroji. Proto jsem vycházel z vlastních předpokladů, které jsou kvantifikovány dílčími měřeními provedenými v bakalářské práci [7]. Pozornost je věnována i všem předpokládaným poruchovým veličinám, které se u stroje na výrobu netkané textilie budou objevovat (změna zatěžovacího momentu s hodnotou zhuštění textilie strojem a fluktuace setrvačných momentů).

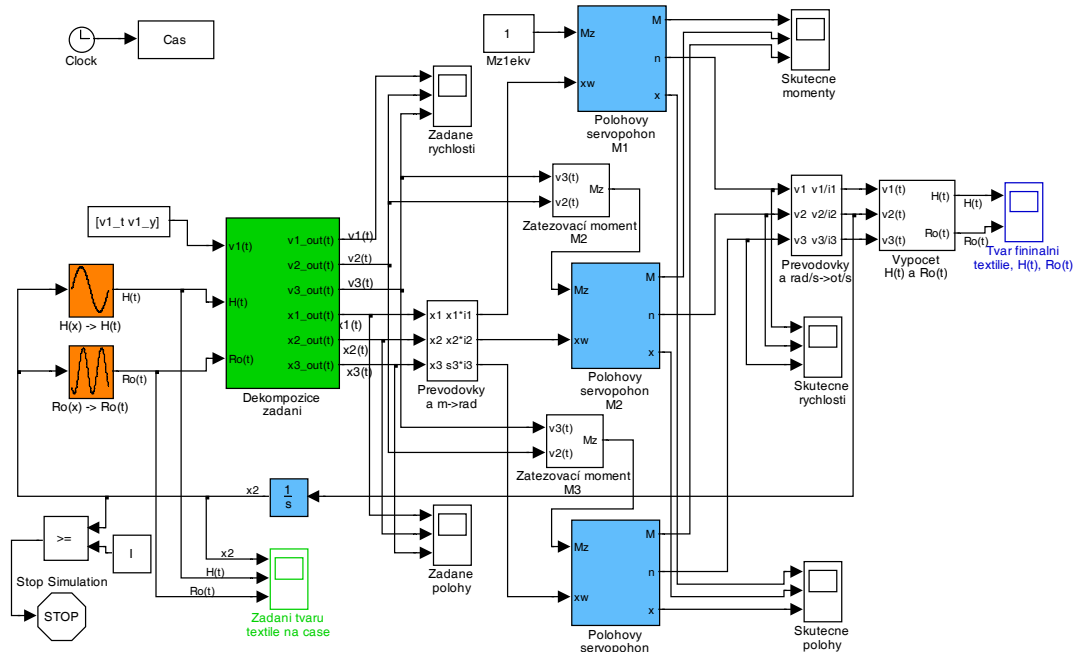
9.1 Simulace celého stroje s nastavení servopohonů dle různých metod

Osmá kapitola práce nabízí přehledně zpracované přístupy k naladění třech regulátorů všech použitých servopohonech na stroji. Konstanty proudového a polohového regulátoru jsou nastaveny jedinou metodou, zatímco rychlostnímu regulátoru byla věnována větší pozornost. Konstanty byly vyčísleny metodou optimálního modulu a Součkovou metodou.

Komplexní simulační model celého stroje (Obr. 9.1) obsahuje tři hlavní části. Na levé straně se nachází přesná definice požadovaného tvaru textilie (oranžové bloky), za kterým je napojen zelený

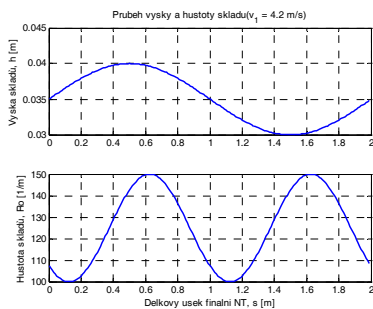
blok zajišťující dekompozici zadání. Na signály jsou ve středu modelu napojeny modré polohové servomechanismy. Jim je dána přednost před rychlostními, neboť vykazují lepší projev průběhů mechanických veličin a nabízí užití dopředných předkorekčních regulačních signálů. Žadané a skutečné hodnoty procházejí bloky, které respektují skutečné mechanické převodovky na hřídelích motoru a délku jedné otáčky zátěže. K servopohonům je také přiveden odpovídající zatěžovací moment, který je pro kladeč a výstupní dopravník vypočítávám z poměru jejich rychlostí.

Pravá část zaštiťuje výpočet aktuálních průběhů výšky a hustoty skladů vyráběné textilie, založených na vzorcích závisících na aktuální rychlosti. Tento blok usnadňuje porovnání žádaného a skutečného tvaru netkané textilie.

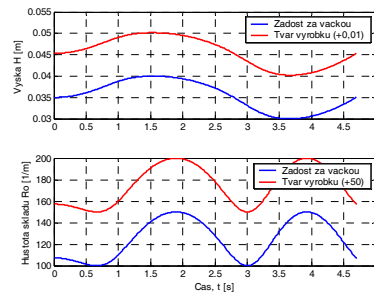


Obr. 9.1 – Simulační schéma celého stroje na výrobu netkané textilie

Pro snadné srovnání bude simulační model spuštěn pro jednu vybranou tvarovou textilie s různými hodnotami parametrů pohonů. Jejich hodnoty odpovídají velikostem získaných v kapitole 8.



Obr. 9.2 – Zadání tvaru netkané textilie na dráze



Obr. 9.3 – Zadání tvaru netkané textilie na čase

Nyní máme přesné informace o zadaném tvaru netkané textilie a průbězích mechanických veličinách na všech pohonech, proto může být přistoupeno k aplikaci konstant regulátorů odpovídající určité výše popsané metodě. Na odezvěch servopohonů bude zkoumána jejich dynamika a regulační odchylky z nichž lze vlečnou regulační odchylku považovat za nejvýznamější.

Předkorekční rychlostní a proudové signály rozšíří regulační struktury polohových servopohonů s konstantami regulátorů dle zmíněných metod. Jejich aplikace bude postupná, aby bylo možné sledovat jejich vliv na průběhy.

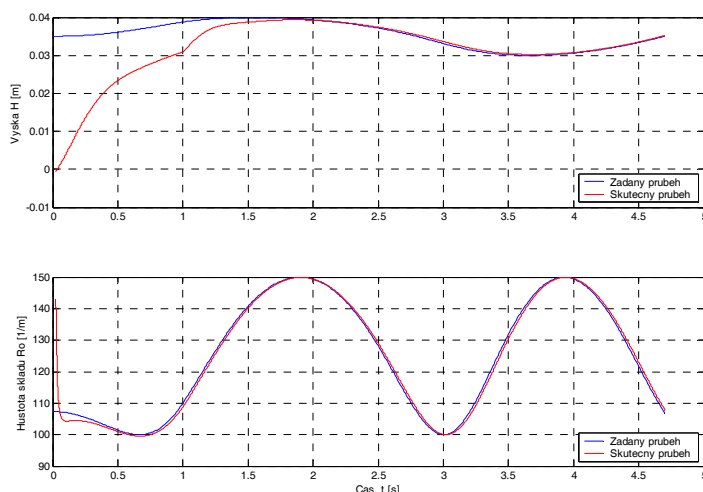
V modelu byly analyzovány následující a dříve detailně rozebrané metody:

- *Optimální modul*
- *Součková metoda*
- *Součková metoda s použitím rychlostního dopředného signálu*
- *Součková metoda s použitím rychlostního a proudového dopředného signálu*

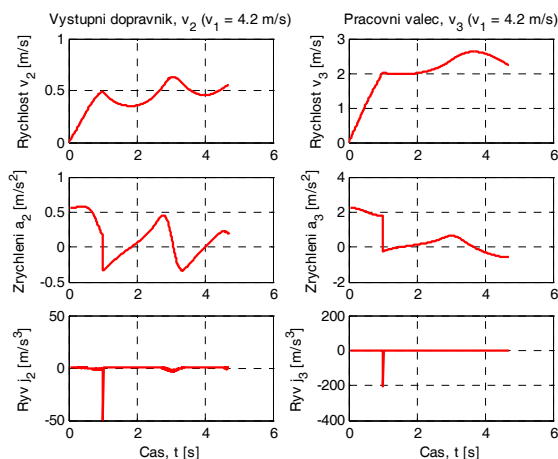
Následující odstavec prezentuje chování stroje naladěného Součkovou metodou s použitím rychlostního dopředného signálu, která se ukázala optimální.

Tab. 9.1 – Nastavení konstant regulátoru všech servopohonů stroje

Servomotor	Kw [-]	Kpx [1/s]	Kpv [-]	Tnv [ms]	Kpi [-]	Tni [ms]
M1 – podávání	0	viz Součková metoda				
M2 – výstupní dopravník	0,71	31,1	1,7	600	200	1
M3 – pracovní	0,71	23,2	30	200	7	1



Obr. 9.5 – Srovnání požadovaného a skutečného tvaru netkané textilie



Obr. 9.4 – Průběh rychlostí, zrychlení a ryvu kladeče a výstupního dopravníku na dráze (v_1 do 1. s lineárně roste na konečnou hodnotu)

Zapojením předkorekčního signálu rychlosti s váhovým koeficientem $K_w = 0,71$ byly eliminovány regulační odchylky polohy jak u výstupního dopravníku, tak u kladeče na třetinu. Základem pro srovnání bylo nastavení servopohonů popsané v kapitole práce 9.3.2.

9.2 Zhodnocení chování servopohonů stroje

Oddíly disertační práce se věnovaly aplikacím zvolených metod naladění servopohonů provozovaných na textilním stroji. Tyto sady byly postupně dosazeny do bloků standardních regulačních struktur servopohonů. Byla vyhodnocena sada s lepšími regulačními pochody, u které došlo k postupnému rozšíření regulačních struktur o dopředné regulátory. Na základě sledovaných parametrů byly dosažené výsledky v příslušných kapitolách již komentovány, proto zde bude následovat shrnutí.

Naladění servopohonů skutečného stroje na výrobu netkané textilie by mělo být provedeno podle Součkových metod a to pro proudový, rychlostní i polohový regulátor. U polohového regulátoru se není nutné držet požadavku bezpřekmitové přechodové charakteristiky polohy, která je z logického důvodu uplatňována u servopohonů obráběcích strojů. Proto může být volena hodnota proporcionálního zesílení polohového regulátoru větší, než odpovídá velikosti optimálního maxima. Textilní materiál zajistí díky své pružnosti, snese překmit v poloze, jenž s sebou přinese velmi pozitivní zkrácení doby náběhu.

Dopředný regulátor rychlosti přináší pokles regulační odchylky polohy na jednu třetinu proti základní (standardní) struktuře. K nasazení tohoto signálu nabádá nejen zmíněné odstranění regulační odchylky polohy, ale také snadnost jeho použití v regulační struktuře měničů elektrických pohonů, kde se mu věnuje patřičná pozornost.

Při užití proudového (momentového) dopředného signálu je velice důležité přemýšlet o kvalitním řešení celého kinematického řetězce mezi motorem a zátěží. Pohon vybavený tímto blokem se stává „nervózním“ a má malou toleranci k nedokonalostem mechanického provedení, např. větším vůlím, pružnostem a malé tuhosti rámu stroje.

Velice zajímavou alternativu k synchronním motorům s převodovkou spatřuji v momentových motorech, které se začínají na strojích nasazovat a výrobci stále rozšiřují jejich nabídku.

10 Struktura a popis řídicího programu pro strojní zařízení Rotis2

Následující stránky se věnují popisu rozsáhlého úkolu, kterým byla realizace řídicího programu funkčního modelu stroje Rotis2. Obrovská porce času byla spotřebována na přípravné práce, byly nachystány rozborů chování jednotlivých částí stroje izolovaně i v součinnosti ve všech provozních módech, nastudovány směrnice a doporučení sdružení OMAC, nachystány datové elementy pro parametrizaci a interface jednotlivých částí. Univerzálnosti řídicího programu nabízí použití jedněch zdrojových kódů pro různě zkušební a poloprovozní verze stroje. Z jednoho stále zdokonalovaného projektu budou vznikat strojově orientované verze např. s různou konfigurací frekvenčních měničů a pozměněným ovládním.

10.1 Pracovní části stroje

První krok vývoje řídicího programu obsahuje jen nejnütnější pracovní části stroje k ověření správné činnosti odebírání a kladení vstupní pavučiny.

- **Podávací válec** – zodpovídá za odebírání materiálu definovanou rychlostí z předřazeného zařízení. Automatický mód umožní zvolení zdroje žádané hodnoty obvodové rychlosti. V manuálním módu s ním bude možné popojíždět oběma směry pomocí Pojížděcí (Joggovací) funkce s nastavitelnou rychlostí. Dále bude možné iniciovat funkci Referencování (Homing) vyhledávající referenční polohu.
- **Pracovní válec (kladeč)** – nabírá podávacím válcem dopravený materiál do profilových zubů, tvaruje ho a transportuje v podobě skladů na výstupní dopravník. Tuto funkci plní mechanické

části stroje doplněné vhodnou poměrovou obvodovou rychlostí zabezpečenou řídicím systémem. Obvodová rychlost v automatickém módu je přes převodový poměr spřažena s podávacím válcem nebo ji je možné nastavovat autonomně na operátorském panelu. Manuální mód bude nabízet stejnou funkčnost jako manuální mód podávacího válce.

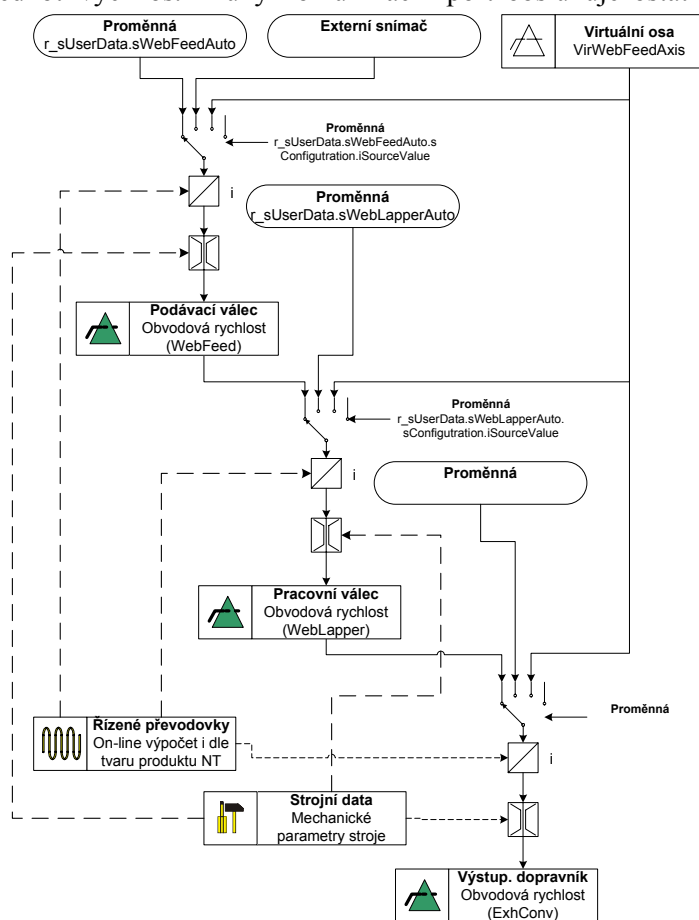
10.2 Hardwarové komponenty řídicí architektury

Řídicí jednotku splňující veškeré požadavky nárokové vysokorychlostní výrobní technologií a doporučení OMAC – rozebírá samostatná příloha. Z na trhu nabízených jednotek řízení pohybu byla vybrána Siemens Simotion C230-2, která společně s frekvenčními měniči Siemens Sinamics S120 tvoří jádro řídicí architektury (Obr. 6.3). Pro účely kvalitního řízení pohonů je vyhrazen jeden komunikační port Simotion s isochronním přenosem speciálně navrženého telegramu 105 (osa pouze se snímačem na motoru) definovaných v rámci profilu ProfiDrive protokolu Profibus-DP s přenosovou rychlostí 12 Mbit/s. Dvumilisekundový pevný, při konfiguraci nastavitelný, takt komunikace představuje základní a nejkratší krok řízení, ve kterém jsou vypočítávány synchronizační, rychlostní a polohové profily jednotlivých os. Druhý komunikační port obsluhuje ostatní zařízení, jako jsou operátorský panel, připojení s OPC serverem a modul distribuovaných vstupů a výstupů. Operátorský panel umístěný na stroji a PC pro OPC server komunikují protokolem Profibus s přenosovou rychlostí 1,5 Mb/s. Pro vzdálenou vizualizaci a řízení byla napsána uživatelská aplikace v prostředí Control/Web. Téměř veškerou lokální interakci s uživatelem vyřizuje řada barevných obrazovek navržených pro dotykový operátorský panel Siemens OP 170B (Obr. 10.3).

Již k funkčnímu modelu stroje byla nakreslena elektrotechnická dokumentace v CAE software Eplan 21. Zde je možné nalézt detailní zapojení jednotlivých komponent řídicí architektury, až na úroveň jednotlivých pólů konektorů a svorek svorkovnic.

10.3 Vazby mezi technologickými objekty projektu

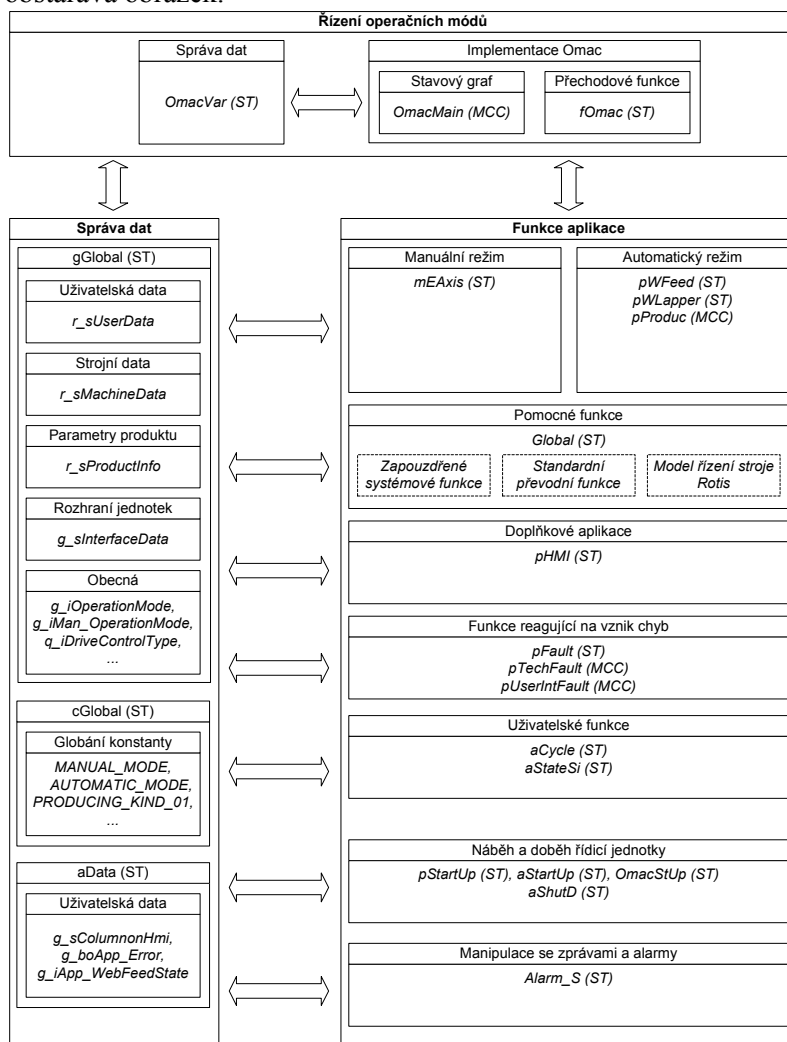
Tyto technologické objekty jsou definovány takovým způsobem, aby bylo usnadněno zadávání rychlostních a akceleračních hodnot odpovídajících technologií výroby. Technologie navýrobu vzorované netkané textilie vyžaduje vytvoření rychlostních vazeb mezi zúčastněnými pohony. Přehled o nabízených vazbách a jejich aktivaci prezentuje obrázek (Obr. 10.1). Obrázek je doplněn dvěma důležitými bloky. Jeden z nich zajišťuje řízení softwarových mezosových převodovek a druhý nastavuje korektní omezení rychlostí plynoucí ze strojních dat (konstrukční parametry stroje).



Obr. 10.1 – Blokové schéma vazeb mezi pohony

10.4 Programová a datová (softwarová) struktura aplikace

Doposud byly kapitoly zaměřeny na popis architektury a jednotlivých komponent. Snadnou orientaci v rozsáhlém zdrojovém kódu programu zjednodušuje nejen jeho členění do samostatných jednotek (unit), funkcí a funkčních bloků, ale také vhodná jmenná konvence těchto entit a jejich seskupování podle určité příslušnosti. Přehledné seznámení s řídicím programem stroje na výrobu netkané textilie obstarává obrázek.

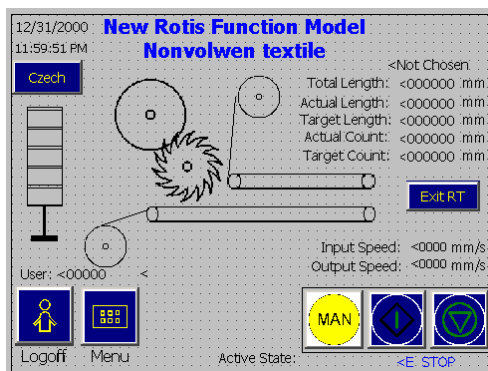


Obr. 10.2 – Softwarová struktura aplikace

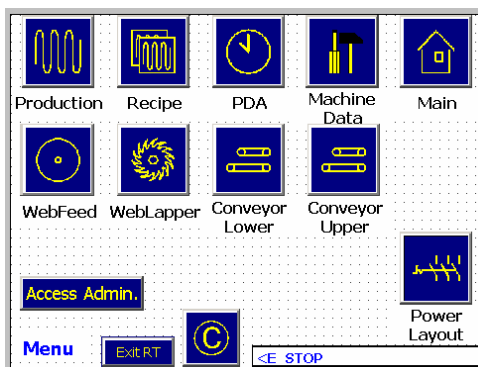
10.5 Vizualizace a ovládání strojního zařízení Rotis2

Operátorské rozhraní pro stroj na výrobu netkané textilie je vybudované v softwarovém prostředí Siemens ProTool V6.0 SP3, jenž je navrženo pro operátorské řízení a monitorování nejrůznějších automatizačních aplikací. Operátorské rozhraní bylo vyvinuto pro zakoupený barevný šestipalcový operátorský panel s dotykovou obrazovkou TP170B Color.

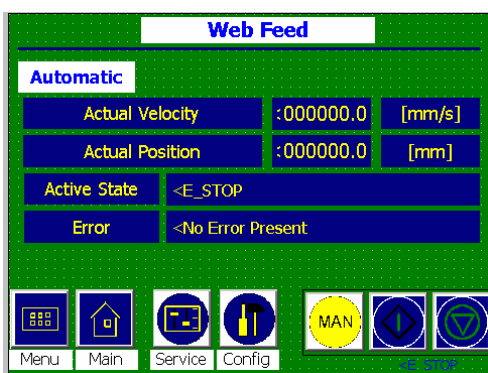
Všechny obrazovky projektu jsou hierarchizovány a obsahují dolní tlačítkovou lištu dělenou do třech logických oblastí. V pravé části jsou trvale k dispozici tři nejdůležitější ovládací tlačítka: Příprava, Start/Stop a Změna módu stroje. V levé části jsou tlačítka volající obrazovku Menu a Hlavní obrazovku.



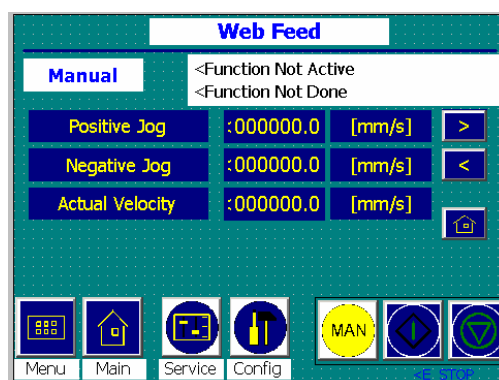
Obr. 10.3 – Hlavní obrazovka



Obr. 10.4 – Obrazovka Menu



Obr. 10.5 – Obrazovka podavače pavučiny v automatickém módu



Obr. 10.6 – Obrazovka podavače pavučiny v manuálním módu

10.6 Zhodnocení řídicího programu strojního zařízení Rotis 2

Řídicí program strojního zařízení tvoří samostatnou kapitolu disertační práce. Ve skutečnosti představuje velice rozsáhlou oblast, které musí být věnována velká pozornost. Preciznost řízení výrobní technologie Rotis 2 zodpovídá za kvalitní výrobu netkané textilie. Zvládnutí výrobního postupu je samozřejmostí, avšak nepostradatelnou a mnohdy podstatnou částí úspěšného projevu bývá ergonomie a pěkné grafické zpracování ovládání stroje.

11 Shrnutí dosažených výsledků

V začátcích byl realizován stroj na výrobu netkané textilie Rotis 1 postavený na PLC S7-226, jež řídil skupinu spolupracujících pohonů (MM420) linky pomocí sériové komunikace s USS protokolem. Praktické zvládnutí tohoto distribuovaného řízení pohonů a absence detailního popisu chování mechanických projevů pohonů systému odstartovaly hlubší bádání. Studium USS protokolu a sadou měření se podařilo přesně popsat chování a shodu skutečné a okamžité otáčivé rychlosti motorů, kterou kvantifikuje zavedená veličina kvalita. Kvalita je závislá na konfiguraci systému a počtech obsluhovaných jednotek. Empiricky odvozené vzorce přináší informaci o kvalitě řízení průběhu rychlosti již v době návrhu systému, což konstruktéři jistě ocení.

Mezi jednoduchá řešení distribuovaného řízení skupiny pohonů je zařaditelné taktéž analyzované řízení analogovým signálem. Tato zkoumání rozšířila detailní informace o chování aktuální rychlosti v systémech složených z PLC S7-300 s rozšiřovacím signálovým modulem SM334 a měniči frekvence MM420. Opět byly zjištěny experimentální vzorce, které hodnotou kvality definují shodu žádané a aktuální rychlosti motoru v závislosti na parametrech celého systému.

Pro vznik tvarové netkané textilie bylo nutné nastudovat chování a závislosti dějů uvnitř textilního stroje. Tvorbu textilie se podařilo odvodit a popsat rovnicemi kapitoly 5, které převádějí tvarovou definici textilie do požadovaných poloh či rychlostí spolupracujících pohonů. K odvození rovnic bylo přistoupeno tak, aby byly přesné a snadno implementovatelné do řídicího systému a nevyžadovaly speciální znalosti textilních technologů o stroji. Vstupem musely být pouze textilní veličiny a pro docílení tvarovosti textilie jejich průběhy. Tyto průběhy mohou záviset na čase nebo dráze. Časová závislost je realizačně snazší, ale představuje nepříjemnost spočívající v ovlivňování vyrobené délky za jednotku času různou vstupní rychlostí v_1 . Kvůli tomu je i předpis úseku požadovaného tvaru na čase pro obsluhu nepřijatelný. Z důvodu představitelnosti tvaru skutečného výrobku byla upřednostněna definice tvaru na dráze. To přineslo nové rovnice a komplikovanější výpočet, kdy výstupní veličiny ovlivňují sama sebe i vstupní veličiny. Sestavení rovnice se podařilo a jejich použitelnost byla ihned ověřena v simulačním schématu, který reprezentuje postup výpočtu v řídicí jednotce.

Simulační schéma s dekompozičním blokem zadání bylo schopné vygenerovat odpovídající polohy či rychlosti pro jakýkoliv tvarový produkt. Tento nástroj je velice důležitý pro zviditelnění průběhů aktuálních poloh, rychlostí, zrychlení a ryvů všech pohonů stroje, které byly nezbytné pro správný návrh pohonů. Ze simulací v Matlabu byly sestaveny 3D grafy aktuálních rychlostí všech pohonů pro celé pracovní rozsahy výšky a hustoty skladů.

Kapitola 3 nás seznámila se synchronními motory, jejich druhy, rovnicemi pro stavbu matematického modelu a regulační strukturou měniče. Vytyčený cíl, nalézt optimální naladění regulátorů a vhodnou regulační strukturu měniče s vazbou na reálný pohon, se podařilo. Tomu předcházela řada měření a simulací, které měly za úkol ztotožnit vnější projevy jednoduchého simulačního modelu synchronního motoru založeného na analogii se stejnosměrným motorem včetně kaskádových regulátorů s měřeními prováděnými na SMPM 1FK6 a měničem SD 611U. Shoda nastavení konstant proudového regulátoru není velká, ale pro další simulace dostatečná. Relativní chyba dosahuje u proporcionálního zesílení – 39 % a časové integrační konstanty 19 %.

Nad takto fungujícím proudovým řízením byla uzavřena zpětná rychlostní vazba. Od modelů byla očekávána predikce velikosti konstant rychlostního regulátoru. To znamená, že optimální hodnoty těchto parametrů budou beze změny přeneseny do regulátoru skutečného algoritmu řízení měniče. Prostý model servomotoru velice zjednodušuje reálné chování, proto byla za rychlostní regulátor vložena korekční přenosová funkce prvního řádu. Ta v sobě sdružuje veškeré děje opomenuté jednoduchým modelem. Pro stejné nastavení skutečného a modelového rychlostního regulátoru byly vyhledány konstanty korekčního přenosu tak, aby si odpovídaly přechodové charakteristiky. Rozptýl těchto hodnot zobrazuje speciální graf. Z konstant byla vypočtena střední hodnota, která napořád nahradila sadu korekčních konstant.

Simulační modely rychlostního servopohonu s vnořeným regulátorem byly úspěšně konfrontovány s realitou. Tento fakt usnadnil aplikaci dvou metod naladění polohových servopohonů všech motorů stroje. Nad standardně nastaveným proudovým řízením s šířkou pásma >1000 Hz byly pro naladění rychlostního regulátoru aplikovány dvě rozdílné metody. Metoda optimálního modulu nepovolující překmit na přechodové charakteristice rychlosti a diametrálně odlišná Součková metoda, jež naopak požaduje 20 % překmit. Díky těmto odlišným požadavkům bylo možné porovnat, která z těchto metod je pro naladění servopohonů textilního stroje lepší. Regulační odchylka polohy je u obou metod shodná. Rozdíl se projevil poklesem regulační odchylky rychlosti u Součkovy metody. Základem byly výsledky obdržené metodou optimálního modulu. U výstupního dopravníku se odchylka dostane na polovinu a u kladeče se jedná o třetinu.

Úspěšnějším přístupem k seřízení se ukázalo povolení překmitu. Nad takto seřízeným rychlostním regulátorem byla uzavřena zpětná polohová vazba. Od průběhu přechodového děje byl požadován nulový překmit a minimální obsah kmitavých složek. Kapitola 8.3 nabízí analytické řešení včetně sítě charakteristik vytvořených pro rostoucí proporcionální zesílení polohového regulátoru.

Takto naladěná standardní kaskádová regulační struktura všech pohonů stroje byla připojena na výstupy dekompozičního bloku zadání. Tím vznikl komplexní model chování stroje včetně pohonů (Obr. 9.1). Zadáním požadovaného tvaru netkané textilie vznikly složitější průběhy žádaných hodnot polohy pohonů. Tento fakt nabádá k rozšíření regulačních struktur o dopředné regulační signály, které minimalizují dráhovou regulační odchylku. Signály jsou odvozeny z první a druhé derivace žádané polohy a pro zviditelnění jejich účinků byly integrovány postupně.

Aplikaci rychlostního dopředného signálu jednoznačně doporučuji, neboť eliminuje regulační odchylku polohy jak u výstupního dopravníku, tak u kladeče na třetinu. Proudový dopředný signál nepřináší snížení regulační odchylky polohy, zato regulační pochod se značně zneklidní a pohony se stávají „nervóznějšími“. S tímto vylepšením bych navrhoval vyčkat a vyzkoušet ho na finální mechanické konstrukci stroje, kde budou minimální parazitní jevy, např. vůle.

V simulačním schématu celé linky je za bloky servopohonů napojen blok vypočítávající okamžitý tvar vyráběné textilie z okamžité rychlosti. Na vstup bylo vygenerováno mnoho různých průběhů textilií, které se svou náročností na pohony diametrálně liší. Simulace byly vždy provedeny i pro různou vstupní rychlost. Pokaždé byla po odeznění krátkého přechodového děje, kdy se motory dostávají do oblastí pracovních rychlostí, vyráběna tvarová textilie shodující se s žádaným tvarem. Tento kompletní model nabízí nejen sledování shody tvaru textilie, ale hlavně monitorování vlečných chyb, elektrických a mechanických veličin pohonů, které jsou pro jejich dimenzování a optimální provoz významné.

V rámci řešení projektu Rotis ve Výzkumném centru Textil se podařilo za poslední tři roky nakoupit špičkové automatizační a pohonářské komponenty, které byly nutné pro realizaci stroje. Výběr všech komponent a jejich vlastností objasňují pasáže této disertační práce.

Mezi dodatky našel své místo přeložený výtah z precizně zpracovaných pravidel a doporučení sdružení OMAC (balící průmysl). Osobně mě svým obsahem velmi zaujaly, proto jsem se jich při vývoji řídicího programu pro stroj na výrobu netkané textilie držel. Doufám, že můj překlad pomůže českým aplikátorům ve vývoji dokonalejších a hlavně v SW přehlednějších strojů s možností odkazovat se na dodržení pravidel stále vlivnější skupiny OMAC.

12 Závěr

Ústřední téma této disertační práce je komplexní modelování celého stroje na výrobu tvarové netkané textilie včetně detailně zpracovaných modelů servopohonů a vyhledání metody naladění regulačních struktur servopohonů skutečného stroje. Také vývoj první verze řídicího programu stroje pro vybraný řídicí systém a analýza různých technik distribuovaného řízení pohonů jsou významným dílem.

Úvodní kapitoly práce čtenáře seznamují s technologií výroby tvarové netkané textilie a v kondenzované formě prezentují výsledky analýz dvou technik distribuovaného řízení skupiny spolupracujících pohonů, neboť tento styl řízení byl aplikován na dvě různé verze stroje.

Svůj prostor našlo vysvětlení postupu výroby netkané textilie na stroji Rotis včetně rozboru vnitřních závislostí. Velkým přínosem bylo odvození zatím nezveřejněných rovnic popisujících vznik netkané textilie, závislých na vyrobeném úseku finálního produktu. To přineslo výhodné zadávání průběhu výšky a hustoty skladů vyráběné textilie na délce v textilních veličinách. Toto zadání je zmíněnými rovnicemi v reálném čase převáděno na požadované polohy či rychlosti závislé na čase pro všechny tři spolupracující servopohony stroje.

Zásadním přínosem práce je komplexní simulační model výroby netkané textilie na stroji Rotis2. Do něho lze zadat jakýkoliv požadovaný tvar netkané textilie a výsledkem může být sledování tvaru skutečně vyráběné netkané textilie reálnými a naladěnými servopohony. Do modelu jsou integrovány i rovnice pro generování zatěžovacího momentu závislého na poměrné rychlosti výstupu a kladeče. Samozřejmě nabízí monitorování jakýchkoli elektrických nebo mechanických průběhů.

Povedlo se vyvinout první verzi řídicího programu, který je vybudován s ohledem na finální řešení celého stroje. Byl implementován do špičkové jednotky řízeného pohybu Siemens Simotion, je předurčena pro použití na stroje s převahou řízení pohybu pohonů a vytváření spolupracujících vazeb (hřídelů, převodovek, vaček). Také komponenty řídicích a výkonových modulů motorů Siemens Sinamics S120 patří mezi prvotřídní zařízení. Automatizační a pohonářské komponenty jsou v současné době novinkami a i díky SW aktualizovatelnosti jistě vystačí požadavkům stroje na výrobu netkané textilie.

Můj optimistický pohled a zkušenosti z jednání se zákazníky mě nutí vyslovit následující hypotézu. Bezvadná mechanická konstrukce stroje je na těchto rychlostech primární. Řízení i motory jsou schopny vyrábět tvarovou netkanou textilií, avšak velký otazník visí nad případnými zájemci o stroj. Myslím si, že větší účinnosti při přesvědčování výrobců strojů nebo textilií bychom docílili, pokud bychom uměli nabídnout větší množství konkrétních produktů. Ty by mohly tyto organizace podrobit laboratornímu nebo aplikačnímu testování. I nabídnutí našich výrobků firmám aktivních v filtrační, hlukově a tepelně izolačních materiálech, může vytvořit poptávku po takovýchto textiliích. Teprve používání zhodnotí úsilí investované do vývoje a přinese užitek i ostatním lidem.

Prameny a literatura

- [1] Bimal B.K.: *Modern Power Electronics and AC Drives*. 10. vydání. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 2002. 738 s. ISBN 0-13-016743-6
- [2] Čadil F., Anderle V., Holan J., Kule L.: *Elektrické pohony*. 1. vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1976. 559 s.
- [3] Grimm T.: *3D netkané textilie s proměnlivou výškou*. [Diplomová práce]. Liberec: TUL, 2002. 70 s.
- [4] Hanuš B., Balda M.: *Základy technické kybernetiky I*. Praha a Liberec: VŠST, 1989. 288 s. ISBN 80-7083-001-8
- [5] Javůrek J.: *Regulace moderních elektrických pohonů*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, a. s., 2003. 264 s. ISBN 80-247-0507-9
- [6] Jirsák O.: *Netkané textilie*. 1. vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003. 129 s. ISBN 80-7083-746-2.
- [7] Kosinová M.: *Kompresní charakteristiky textilních matrace*. [Bakalářská práce]. Liberec: TUL, 2002.
- [8] Košelja P.: *Analýza řízení otáček elektrických pohonů firmy Siemens ovládaného pomocí USS protokolu*. [Diplomová práce]. Liberec: TUL, 2003. 78 s.
- [9] Kule L. a kol.: *Technika elektrických pohonů*. 1. vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1983. 580 s.
- [10] Měřička J., Hamata V., Voženílek P.: *Elektrické stroje*. Dotisk 2. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. 311 s. ISBN 80-01-02109-2
- [11] Militký J.: *Kompresní kolmo kladených netkaných textilií s variací struktury*. Liberec: TUL, 2001. 12 s.
- [12] Mohan N.: *First Course on Power Electronics and Drives*. Minneapolis: MNPERE, 2003. 251 s. ISBN 0-9715292-2-1
- [13] Noskievič P.: *Modelování a identifikace systémů*. Ostrava: MONTANEX, 1999. 276 s. ISBN 80-7225-030-2
- [14] Pavelka J., Čeřovský Z., Javůrek J.: *Elektrické pohony*. 2. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. 221 s. ISBN 80-01-02314-1
- [15] Petrov G. N.: *Elektrické stroje 2, asynchronní stroje – synchronní stroje*. 2. oprav. a dopl. vydání. Praha: Academica, 1982. 728 s.
- [16] Pírk P.: *Analýza řízení otáček elektrických pohonů firmy Siemens ovládaných pomocí analogové veličiny*. [Diplomová práce]. Liberec: TUL, 2004. 49 s.
- [17] Siemens AG: *SIMODRIVE 611 Planning Guide: Drive Converter*. Vydání 05/2001. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 5 2001. 380 s. Objednávací číslo 6SN1197-0AA0-0BP5
- [18] Siemens AG: *SIMODRIVE 611 U Control Components for Closed-Loop Speed Control and Positioning: Description of Functions*. Vydání 10/2004. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 10 2004. 926 s. Objednávací číslo 6SN1197-0AB20-1BP1
- [19] Siemens AG: *SIMODRIVE AC Motors for Feed and Main Spindle Drives: Planning Guide*. Vydání 11/2000. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 11 2000. 632 s. Objednávací číslo 6SN1197-0AA20-0BP4
- [20] Siemens AG: *SIMOTION C230-2 System Functions/Variables: List Manual*. Verze 3.2.HF2. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 12 2004. 146 s. Objednávací číslo 6AU1 900-1AG32-0BA0
- [21] Siemens AG: *SIMOTION C230-2: Operator's Guide*. Verze 3.2.HF2. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 12 2004. 158 s. Objednávací číslo 6AU1 900-1AG32-0BA0
- [22] Siemens AG: *SIMOTION C230-2: Produkt Manual*. Verze 2.1. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 9 2002. 158 s. Objednávací číslo 6AU1 900-0AB21-0BA0
- [23] Siemens AG: *SIMOTION Cam Technology Package System Functions: List Manual*. Verze 3.2.HF2. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 12 2004. 730 s. Objednávací číslo 6AU1 900-1AF32-0BA0
- [24] Siemens AG: *SIMOTION CamTool: Configuration Manual*. Verze 3.2.HF2. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 12 2004. 86 s. Objednávací číslo 6AU1 900-1AB32-0BA0
- [25] Siemens AG: *SIMOTION LAD/FBD: Programming Manual*. Verze 3.2.HF2. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 12 2004. 238 s. Objednávací číslo 6AU1 900-1AE32-0BA0
- [26] Siemens AG: *SIMOTION MCC Motion Control Chart: Programming Manual*. Verze 3.2.HF2. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 12 2004. 454 s. Objednávací číslo 6AU1 900-1AE32-0BA0
- [27] Siemens AG: *SIMOTION MMC Motion Control Chart: Programming Guide*. Verze 2.1. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 9 2002. 312 s. Objednávací číslo 6AU1 900-0AF21-0BA0

- [28] Siemens AG: *SIMOTION Motion Control Basic Functions: Description of Functions*. Verze 2.1. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 9 2002. 130 s. Objednáací číslo 6AU1 900-0CA21-0BA0
- [29] Siemens AG: *SIMOTION Motion Control Basic Functions: Description of Functions*. Verze 3.2.HF2. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 12 2004. 164 s. Objednáací číslo 6AU1 900-1AC31-0BA0
- [30] Siemens AG: *SIMOTION Motion Control Supplementary Technology Objects: Description of Functions*. Verze 3.2.HF2. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 12 2004. 158 s. Objednáací číslo 6AU1 900-1AC32-0BA0
- [31] Siemens AG: *SIMOTION Motion Control Technology Functions Synchronous Operations: Description of Functions*. Verze 2.1. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 9 2002. 94 s. Objednáací číslo 6AU1 900-0CD21-0BA0
- [32] Siemens AG: *SIMOTION Motion Control Technology Object Axis Electric/Hydraulic, External Encoder: Description of Functions*. Verze 3.2.HF2. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 12 2004. 236 s. Objednáací číslo 6AU1 900-1AC32-0BA0
- [33] Siemens AG: *SIMOTION Motion Control Technology Object Axis: Description of Functions*. Verze 2.1. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 9 2002. 128 s. Objednáací číslo 6AU1 900-0CB21-0BA0
- [34] Siemens AG: *SIMOTION Motion Control Technology Objects for Output Cams and Measuring Inputs: Description of Functions*. Verze 3.2.HF2. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 12 2004. 158 s. Objednáací číslo 6AU1 900-1AC32-0BA0
- [35] Siemens AG: *SIMOTION Motion Control Technology Objects Synchronous Operation, Cam: Description of Functions*. Verze 3.2.HF2. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 12 2004. 208 s. Objednáací číslo 6AU1 900-1AC32-0BA0
- [36] Siemens AG: *SIMOTION SCOUT: Configuration Manual*. Verze 3.2.HF2. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 12 2004. 284 s. Objednáací číslo 6AU1 900-1AB32-0BA0
- [37] Siemens AG: *SIMOTION Scout: Operator's Guide*. Verze 2.1. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 9 2002. 468 s. Objednáací číslo 6AU1 900-0AD21-0BA0
- [38] Siemens AG: *SIMOTION ST Structured Text: Programming Guide*. Verze 2.1. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 9 2002. 414 s. Objednáací číslo 6AU1 900-0AG21-0BA0
- [39] Siemens AG: *SIMOTION ST Structured Text: Programming Manual*. Verze 3.2.HF2. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 12 2004. 584 s. Objednáací číslo 6AU1 900-1AE32-0BA0
- [40] Siemens AG: *SIMOTION Technology Package Cam System Variables: List Manual*. Verze 3.2.HF2. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 12 2004. 506 s. Objednáací číslo 6AU1 900-1AF32-0BA0
- [41] Siemens AG: *SIMOTION Technology Package TControl: List Manual*. Verze 3.2.HF2. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 12 2004. 166 s. Objednáací číslo 6AU1 900-1AF32-0BA0
- [42] Siemens AG: *Simovert MasterDrive: Motion control compendium*. Vydání VA. [Elektronická dokumentace]. Siemens AG, 2002. 1550 s. Objednáací číslo 6SE7087-6QX70
- [43] Siemens AG: *SINAMICS S120 Commissioning Manual: Manufacturer/Service Documentation*. Vydání 06/2005. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 6 2005. 326 s. Objednáací číslo 6SL3097-2AF00-0BP31
- [44] Siemens AG: *SINAMICS S120 Drive Functions: Manufacturer/Service Documentation*. Vydání 06/2005. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 6 2005. 248 s. Objednáací číslo 6SL3 097-2AB00-0BP1
- [45] Siemens AG: *SINAMICS S120 Equipment Manual for Booksize Power Modules: Manual*. Vydání 06/2005. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 6 2005. 350 s. Objednáací číslo 6SL3097-2AC00-0BP2
- [46] Siemens AG: *SINAMICS S120 Equipment Manual for Control Units and Additional System Components: Manual*. Vydání 06/2005. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 6 2005. 148 s. Objednáací číslo 6SL3097-2AH00-0BP2
- [47] Siemens AG: *SINAMICS S120 List Manua: Manual*. Vydání 06/2005. [Elektronická dokumentace]. Erlangen: Siemens AG, 6 2005. 1206 s. Objednáací číslo 6SL3 097-2AP00-0BP3
- [48] Skvarenina T. L.: *The Power Electronics Handbook*. 2. vydání. New York: CRC Press LLC, 2002. 626 s. ISBN 0-8493-7336-0
- [49] Souček P.: *Servomechanismy ve výrobních strojích*. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. 210 s. ISBN 80-01-02902-6
- [50] Uhlíř J., Sovka P.: *Číslicové zpracování signálů*. 2. vydání přepracované. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. 327 s. ISBN 80-01-02613-2

Vlastní publikace

- [51] Přívratský P.: *Řízení technologické linky na výrobu netkaných textilií pro zdravotnictví*. [Diplomová práce]. Liberec: TUL, 2001. 71 s.
- [52] Rydlo P., Richter A., Přívratský P.: *Sborník technických zpráv sekce C (mechatronické systémy): Řídicí systém technologické linky na výrobu netkané textilie*. [Technická zpráva]. Liberec: TUL – Výzkumné centrum „Textil“, LN00B090, 2001. 11 s. ISRN TUL-VC3-TZ/MS- -01/002/CZ
- [53] Rydlo P., Richter A., Přívratský P.: *Sborník technických zpráv sekce C (mechatronické systémy): Řídicí systém technologické linky na výrobu netkané textilie*. [Technická zpráva]. Liberec: TUL – Výzkumné centrum „Textil“, LN00B090, 2002. 9 s. ISRN TUL-VCT/C-MRTP/TZ- -02/002/CZ. RIV/46747885:24220/02:00000076
- [54] Přívratský P.: *PLC controlled Electric drives connected into serial interface with USS protocol*. ECMS2003 Liberec, 2003. p. 246-250. ISBN 80-7083-708-X. RIV/46747885:24220/03:00000033
- [55] Přívratský P.: *PLC controlled Electric drives connected into serial interface with USS protocol*. Proceedings of the International Conference and Competition STUDENT EEICT, 2003. Brno.5 s. ISBN-80-214-2401-X
- [56] Přívratský P.: *Sborník technických zpráv sekce C (mechatronické systémy): Řídicí systém technologické linky na výrobu netkané textilie*. [Technická zpráva]. Liberec: TUL – Výzkumné centrum „Textil“, LN00B090, 2003. 66 s. ISRN TUL-VCT/C-MRTP/TZ- -03/002/CZ. RIV/46747885:24220/03:00000050
- [57] Přívratský P., Rydlo P.: *Diagnostics of distributed controlled drives*. Monografie grantu GAČR 102011291, Ivan Jaksch et al.: *Diagnostics for electrical machines*, 2003. RIV/46747885:24220/03:00000032
- [58] Přívratský P.: *Skupina pohonů řízených PLC automatem pomocí USS protokolu*. SYMEP 2004, Praha ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03018-0
- [59] Přívratský P.: *Řízení skupiny pohonů pomocí PLC a protokolu USS*. *Automatizace* 3/2005. s. 190 – 192. ISSN 0005-125X. 48. ročník, 3. číslo
- [60] Přívratský P., Diblík M.: *Návrhy pohonů textilních strojů na katedře elektrotechniky TU v Liberci*. *Automatizace* 11/2006. s. 694 – 695. ISSN 0005-125X. 49. ročník, 11. číslo

Prototyp evidovaný v „Rejstřík informací o výsledcích“ (RIV)

- [61] Richter A., Rydlo P., Přívratský P.: *Řídicí systém linky na výrobu netkané textilie*. [Prototyp] Liberec: TUL – Výzkumné centrum „Textil“, LN00B090, 2002. RIV/46747885:24220/02:00000075

Curriculum Vitae

Jméno ING. PŘÍVRATSKÝ, PETR
Datum narození 6. 4. 1978
E-mail petr.privratsky@seznam.cz

Vzdělání

9. 2001 do dnes **Technická univerzita v Liberci**, Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií, Katedra elektrotechniky a elektromechanických systémů. Doktorská studia.

13. 9. 2004 – 24. 9. 2004 **1st Siemens Summer School**, Fachhochschule Esslingen, Hochschule für Technik, University of Applied Sciences. Odborný kurs.

14. 6. – 16. 6. 2003 **El-pro spol. s r.o.**, Odborné školení CAE systému EPLAN 21.

10. 4. 2003 **Vyhl. ČÚBP č. 50/1978 Sb.** o odborné způsobilosti v elektrotechnice (§ 6 vyhl.).

6. 2002 – 9. 2002 **CCUSA - Work Experience USA**. Studentský výměnný program vlády USA.

9. 1996 – 6. 2001 **Technická univerzita v Liberci**, Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií. Obor Automatické řízení a inženýrská informatika. Diplomová práce: “Řízení technologické linky na výrobu netkaných textilií pro zdravotnictví“. Inženýrská studia.

Další aktivity

1. 2005 do dnes **Výzkumné centrum “Textil II”**, Projekt ID: 1M4674788501. Pracovník výzkumu.

1. 2005 do dnes **Technická univerzita v Liberci**, Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií, Katedra elektrotechniky a elektromechanických systémů. Odborný asistent.

12. 2005 – 01. 2006 **RESIM, s.r.o.**, Automatizace výrobních linek ve sklářském průmyslu. Oživil jsem jednotlivé komponenty systému řízeného pohybu (řídící jednotka Siemens Simotion, servopohony Siemens Sinamics) a vyvinul kostru řídicího programu pro stroj na převíjení skleněných rohoží s konstantním tahem.

03. 2005 – 08. 2005 **ISRA VISION SYSTEMS AG**, Automatizace montážních linek. Na dokončovací montážní lince ZP4 (hala M6) společnosti Škoda Auto a.s. jsem vytvořil optický inspekční program. Program rozpoznává zkoumané objekty v obraze a vyhodnocuje správnost a úplnost vyráběných motorů na lince

10. 2004 – 12. 2004 **Johann A. Krause Maschinenfabrik GmbH**, Firma zabývající se vývojem, stavbou a dodávkou rozsáhlých montážních linek. Oživoval jsem tři automatických stanic s PLC S7-316-2 a robotem Kuka VRK C1 na dokončovací montážní lince ZP4 (hala M6) pro 4 a 3 válcové motory u zákazníka Škoda Auto a.s.

Jazyky

Angličtina