



**Možnosti uplatnění elektrodynamického pohonu rozvádění na
dopřádacích strojích**

Ing. Josef Černohorský

Studijní program: P 2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612V045 Technická kybernetika

Pracoviště: Katedra elektrotechniky
Fakulta mechatroniky a mezioborových
inženýrských studií
Technická univerzita v Liberci
Hálkova 6, 4761 17 Liberec 1

Školitelé: Prof. Ing. Aleš Richter, CSc.
Ing. Jiří Sloupenský, CSc.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran:	113
Počet příloh:	2
Počet obrázků:	52
Počet tabulek:	9
Počet grafů:	16
Počet schémat:	4
Počet vzorců:	88

říjen 2006

Obsah

1.	ÚVOD DO PROBLÉMU	3
1.1	VÝHODY A NEVÝHODY STÁVAJÍCÍHO ŘEŠENÍ	4
1.2	MATEMATICKÝ MODEL ROZVÁDĚCÍ TYČE.....	6
2	NOVÉ MOŽNOSTI ŘEŠENÍ POHONU ROZVÁDĚNÍ	11
2.1	MOŽNOSTI SKUPINOVÉHO ROZVÁDĚNÍ.....	11
2.2	MATEMATICKÝ MODEL ELEKTRODYNAMICKÉHO MOTORU	13
3	VÝSLEDKY FUNKČNÍCH ZKOUŠEK.....	17
4	ZÁVĚR.....	19
	VÝBĚR Z INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	20
	VLASTNÍ DÍLA	21
	PUBLIKACE	21
	ANNOTATION	22

1. Úvod do problému

Pravidelný lineární vratný pohyb spolu s rotačním pohybem je využíván jako základ mnoha technologických procesů a výrobních operací. V závislosti na rychlosti, síle, přesnosti polohování jsou realizovány různými prostředky. Od konvenčních pneumatických válců s jednoduchým ovládním, přes složité mechanické převodovky či vačky poháněné konvenčními rotačními pohony až po lineární synchronní servomotory s vysokou přesností využívané v *CNC* obrábění.

Speciálním odvětvím, kde jsou kladené vysoké nároky na dynamiku a rychlost, je oblast textilních strojů. Lineární pohyb je nutný například k rozvádění příze na dopřádacích strojích, soukacích strojích či skacích strojích, ale i k pohybu listů na tkacích stavech.

Dopřádací stroj je textilní stroj, který z polotovaru ve formě pramene vláken přírodního či syntetického materiálu vyrábí přízi. Pramen je skladován v konvích válcového či kvádrového průřezu, vyrobená příze ve formě návínů na dutinkách. Na dopřádací stroje jsou kladeny vysoké nároky na produkci, variabilitu a minimální zástavbové rozměry. Stroje musí být schopné vyrobit náviny v různých šířkách a s různým úhlem křížení.^[14] Pro vysokou produktivitu dosahují navíjecí rychlosti až 200m/min , což znamená rychlost polohování příze rychlostí vyšší než 1m/s a prakticky skokovou změnu rychlosti v úvratí 2m/s , doba trvání periody pohybu dosahuje přibližně $0,3\text{s}$.^[13]

Z důvodu nízkých zástavbových rozměrů, snadné přepravy a výrobní ceny na jedno dopřádací místo je celý stroj složený ze sekcí. V sekci je vždy několik dopřádacích míst. Vlastní dopřádací stroj se potom skládá z hlavní pohonné jednotky a sudého počtu sekcí (díky symetrii) a dalšího příslušenství. Počet sekcí určuje také celkovou délku stroje, ta činí až několik desítek metrů.

Po vlastním zpracování je příze rozváděna na dutinku pomocí rozváděcí tyče. Vzhledem k velké délce stroje musí mít tyč vysokou tuhost. Relativně nehmotná příze je polohována pomocí relativně těžké tyče. Rozváděcí tyč je rotačním pohonem se speciální převodovkou. Dalším přírůstkem pohybující hmotnosti je moment setrvačnosti převodovky a motoru. Toto mechanické uspořádání není výhodné z hlediska modifikace parametrů návínu. Dalším problémem je nestejněměrnost parametrů návínu na různých místech rozváděcí tyče. Stávající mechanické upořádání pohonu prakticky nedovoluje zvýšit rychlost, tedy produktivitu stroje při zachování kvality návínů.

Problematikou rozvádění se zabývá celá řada zlepšovacích návrhů a patentů. Jsou aplikovány postupy vedoucí k zvýšení tuhosti a snížení hmotnosti rozváděcí tyče. Dále jsou navrženy postupy umístění a řízení pohonů tak,^[1] aby eliminovaly parazitní vlastnosti rozváděcí tyče. Také jsou navrženy speciální pohony poměrně složité konstrukce pro rozvádění v rámci jednoho rozváděcího místa. Vzhledem k poptávce po nových dopřádacích strojích, či po repasích starších typů, je toto odvětví aplikačně zajímavé.

Řešení pohonu rozvádění je díky jeho přímé vazbě na textilní technologie a mechaniku stroje složitým mechatronickým uzlem, kde se navíc protíná jak silnoproudá elektronika, tak i algoritmy založené na distribuovaném řízení.

Speciální lineární pohon s vysokou dynamikou a jednoduchou konstrukcí by měl využití nejen v textilním průmyslu, ale i ostatních odvětvích, kde je nutné provádět lineární pohyb s definovaným časovým průběhem polohy.

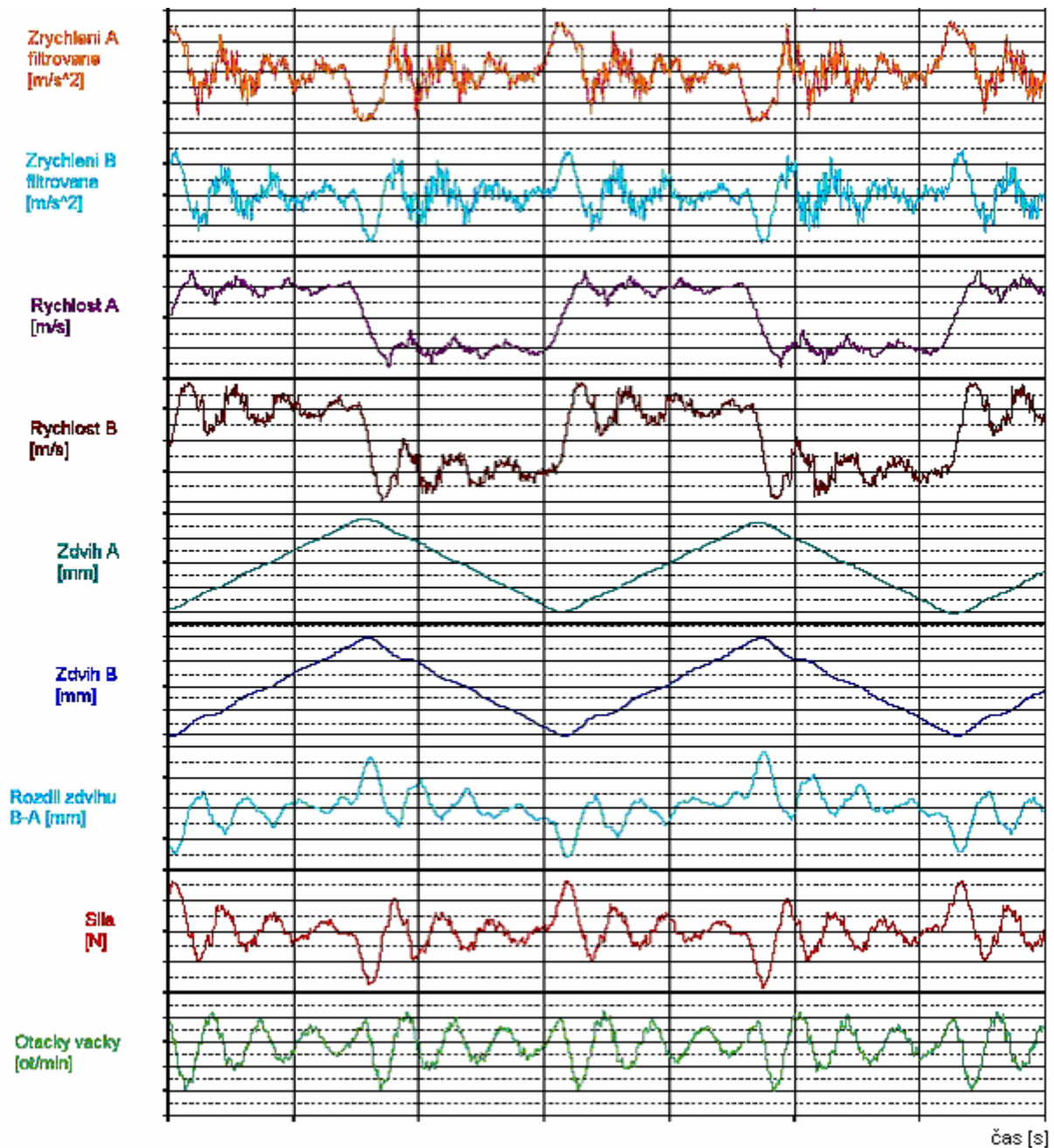
1.1 Výhody a nevýhody stávajícího řešení

Stávající řešení tedy využívá levného pohonu, mechanického soustrojí a rozváděcí tyče a zajišťuje tak rozvádění na všech místech levé respektive pravé straně stroje.

Nevýhodou stávajícího upořádání je obtížná měnitelnost parametrů rozvádění, zejména velikost zdvihu tyče a také velikost rychlosti v jednotlivých fázích pohybu. Pro změnu velikosti zdvihu tyče je nutné upravit mechanickou vazbu mezi tyčí a elektromotorem výměnou válcové vačky. Dalším problémem jsou nevýhodné parametry náviny v místech úvratě rozváděcí tyče.

Dalším problémem je využití vlastní rozváděcí tyče. Prvním problémem tyče je její teplotní dilatace. Tato dilatace je kompenzována pomocí kombinací materiálů tyče v jednotlivých sekcích, některé sekce mají tyč z hliníkové slitiny, jiné z kompozitu s uhlíkovým vláknem. Rozmístění sekcí s duralem či kompozitem se řídí počtem sekcí stroje. Dalším problémem je tuhost tyče. Tyč se chová jako pružný element, a její tuhost ovlivňuje chování na volném konci. Tím jsou způsobeny rozdíly v návinech na různých místech rozváděcí tyče, zejména pak na začátku a volném konci tyče. Tuhost souvisí také s přesností montáže, respektive s rovinností tyče. Při změně směru pohybu totiž může dojít k „vylamování“. Při tlačném směru pohybu může také dojít k přičení tyče. Chování tyče je dobře vidět na Graf. 1 a celý problém je zjednodušeně modelován v kapitole 3.1 disertační práce.

Celý systém pohonu, mechanismu a rozváděcí tyče tvoří mechatronický uzel, jehož vlastnosti ve velké míře určují variabilitu stroje a kvalitu přízových návínů.



Graf 1 - Měření na stroji BT (měřítka záměrně nejsou uvedena)

Z grafu 1 je dobře patrné kmitání volného konce „B“ vůči hnanému konci „A“. Toto kmitání je dobře pozorovatelné v „rychlosti B“ a vyúsťuje v „rozdíl zdvihů B-A“. Výše uvedené problémy vyústili v požadavek na modernizaci pohonu rozvádění.

1.2 Matematický model rozváděcí tyče

Při řešení modelu rozváděcí tyče jsme vyšli z naměřených dat na stroji BT. Z oscilací rychlosti změřené v místě „A“ tedy na bližším konci tyče jsme odečetli amplitudu a periodu kmitů.

Pro výpočet tuhosti tyče a tlumení jsme vyšli z mechanické rovnice:

$$[1.1.] \quad m\ddot{x} + k\dot{x} + cx = u(t)$$

zkrácením celé rovnice m a zavedením konstant

$$[1.2.] \quad 2N = \frac{k}{m}$$

$$[1.3.] \quad \Omega^2 = \frac{c}{m}$$

dostáváme rovnici ve tvaru,

$$[1.4.] \quad \ddot{x} + 2N\dot{x} + \Omega^2 x = u(t)$$

řešením charakteristické rovnice

$$[1.5.] \quad \lambda^2 + 2N\lambda + \Omega^2 = 0$$

dostáváme vlastní čísla ve tvaru

$$[1.6.] \quad \lambda_{1,2} = -N \pm \sqrt{N^2 - \Omega^2}$$

mohou nastat pouze následující tři případy:

$$[1.7.] \quad N > \Omega \text{ neboli } \delta = \frac{N}{\Omega} > 1,$$

$$[1.8.] \quad N = \Omega, \text{ tedy } \delta = \frac{N}{\Omega} = 1$$

konečně pro podkritické tlumení $\delta < 1$, kdy jsou vlastní čísla

$$[1.9.] \quad \lambda_{1,2} = -N \pm i\Omega_1$$

kde Ω_1 je frekvence tlumených kmitů,

$$[1.10.] \quad \Omega_1^2 = \Omega^2 - N^2$$

Řešení hledáme ve tvaru

$$[1.11.] \quad x = e^{-Nt} c \sin(\Omega_1 t + \varphi_0)$$

Z poměru dvou amplitud

$$[1.12.] \quad \frac{x(t+nT)}{x(t)} = \frac{c \cdot e^{-N(t+nT)} \sin(\Omega_1(t+nT) + \varphi_0)}{c \cdot e^{-Nt} \sin(\Omega_1 t + \varphi_0)} = e^{-NnT}$$

Pokud uvažujeme dvě po sobě jdoucí amplitudy dosazujeme $n=1$ a zjednodušení, že $\Omega_1 = \Omega$, dostáváme

$$[1.13.] \quad \ln \frac{x(t)}{x(t+T)} = NT = konst.$$

V našem případě jsme odečetli z naměřených hodnot jak hodnoty $x(0)$, $x(1)$, tak i časy $t(0)$ a $t(1)$, jejichž odečtením jsme získali T po dosazení a numerickém vypočtu dostáváme, že $f_1=29,24$ [Hz], koeficient $N=3,03$ [$N \cdot m^{-1} kg^{-1}$], tuhost pružiny

$$[1.14.] \quad c = m \cdot \Omega^2 = 228336,49 \text{ [Nm}^{-1}\text{]}$$

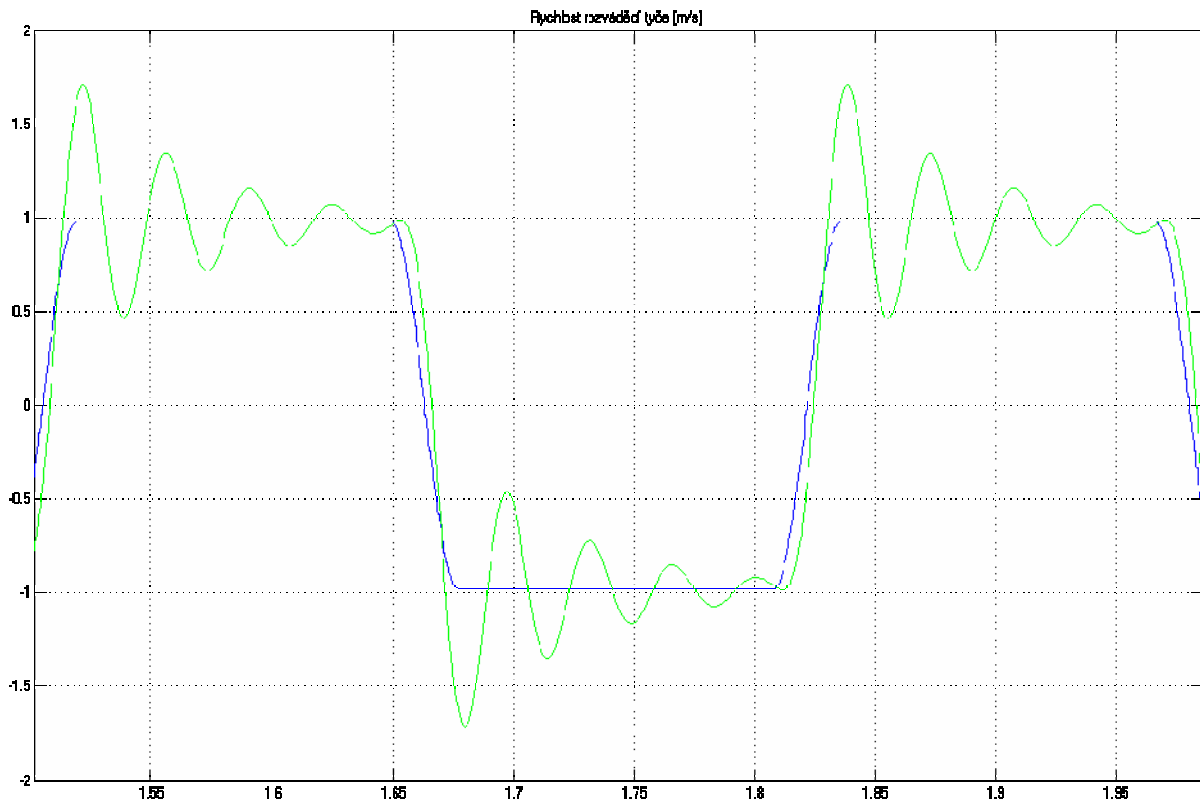
kde za m jsme dosadili 6,77 kg, což odpovídá hmotnosti tyče bez hnacího ústrojí nejdelší verze stroje složeného z dvaceti sekcí, a koeficient tlumení

$$[1.15.] \quad k = \frac{\ln 2}{\pi} \sqrt{c \cdot m} = 274,22 \text{ [Nsm}^{-1}\text{]}$$

koeficient poměrného tlumení

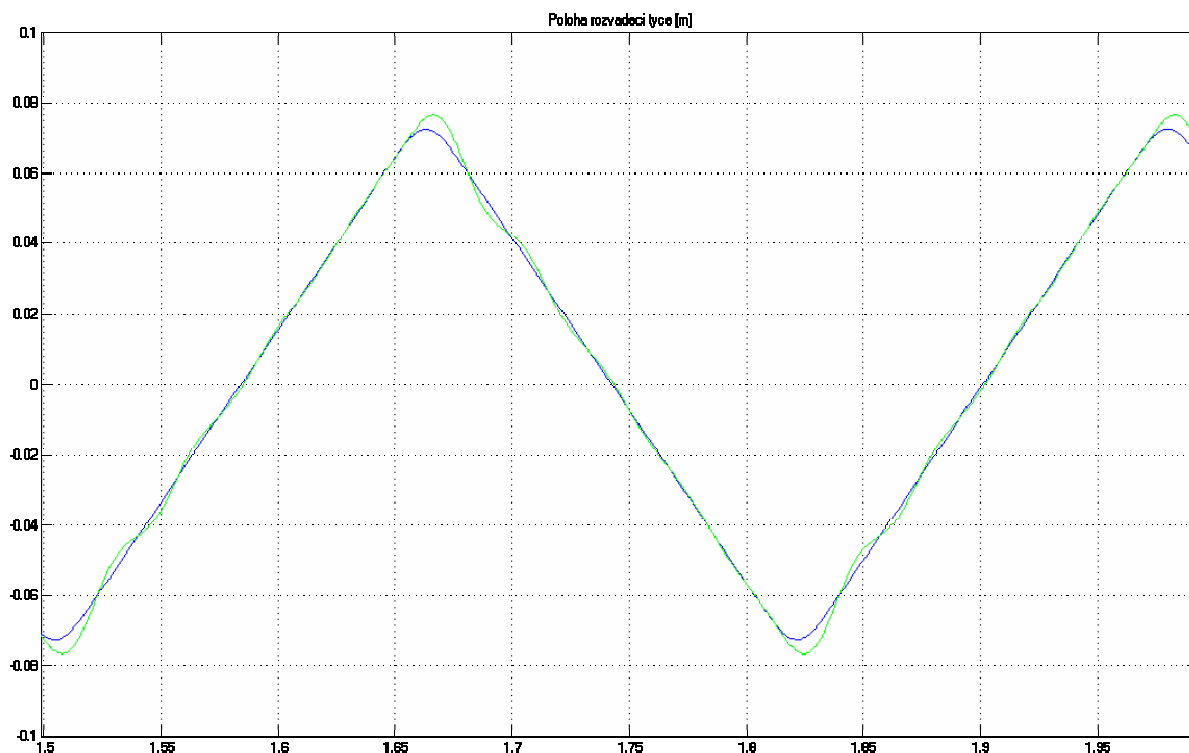
$$[1.16.] \quad \delta = \frac{N}{\Omega} = 0,0165.$$

Na základě vypočtených parametrů tuhosti a tlumení byl sestaven matematický model, kde celá tyč byla nahrazena jedním hmotným bodem na pružině a tlumiči. Jako buzení modelu jsme využili předepsané funkce trajektorie vačky.



Graf 2 – Rychlost rozváděcí tyče v závislosti na čase

Modrý průběh znázorňuje předepsanou rychlost rozváděcí tyče. V zeleném jsou dobře patrné oscilace způsobené konečnou tuhostí rozváděcí tyče.

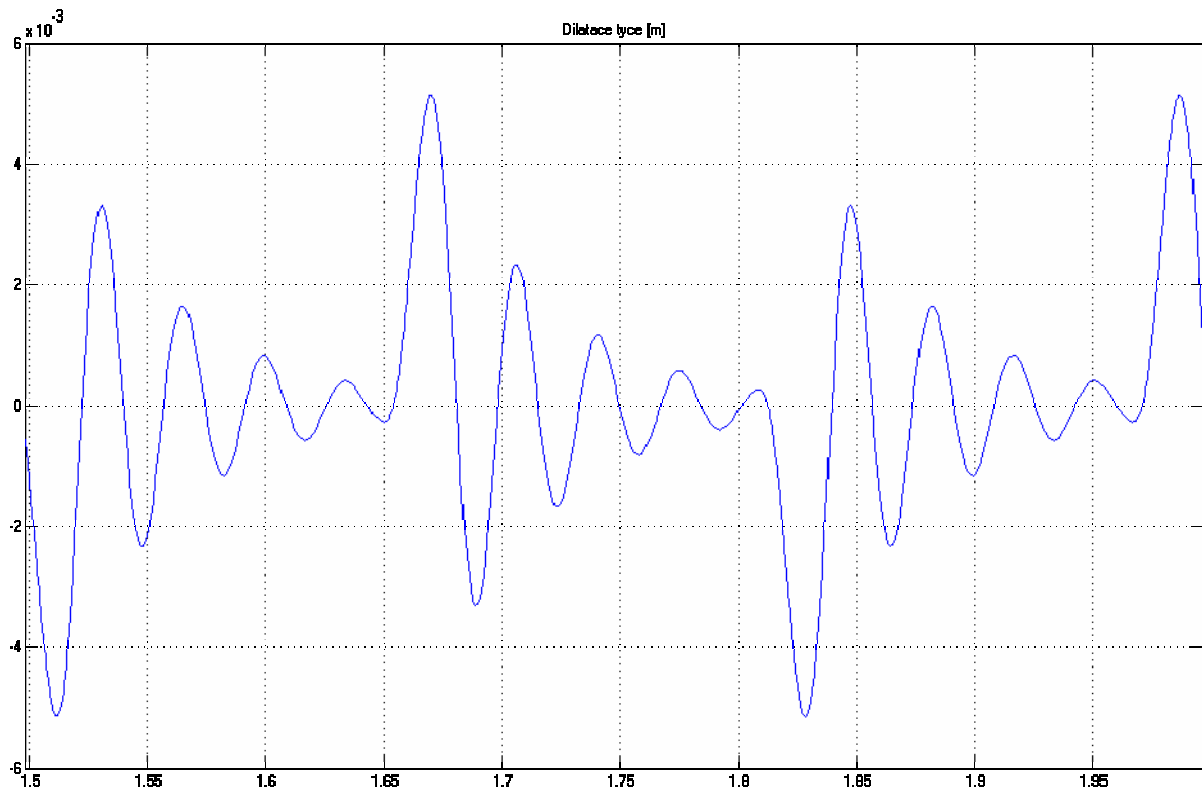


Graf 3 – Průběh polohy tyče v čase

Modrý průběh je předepsaná poloha vačky, zelený je modelovaný průběh rozváděcí tyče konečnou tuhostí.

Identifikaci pomocí logaritmického dekrementu jsme provedli i pro vzdálenější konec rozváděcí tyče. Zde jsme dostali hodnoty $f_1=27,78$ [Hz], koeficient $N=3,16$ [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}\text{kg}^{-1}$], tuhost pružiny $c=206077$ [Nm^{-1}] a koeficient tlumení $k=260.508$ [Nsm^{-1}] koeficient poměrného tlumení $\delta = \frac{N}{\Omega} = 0,0181$.

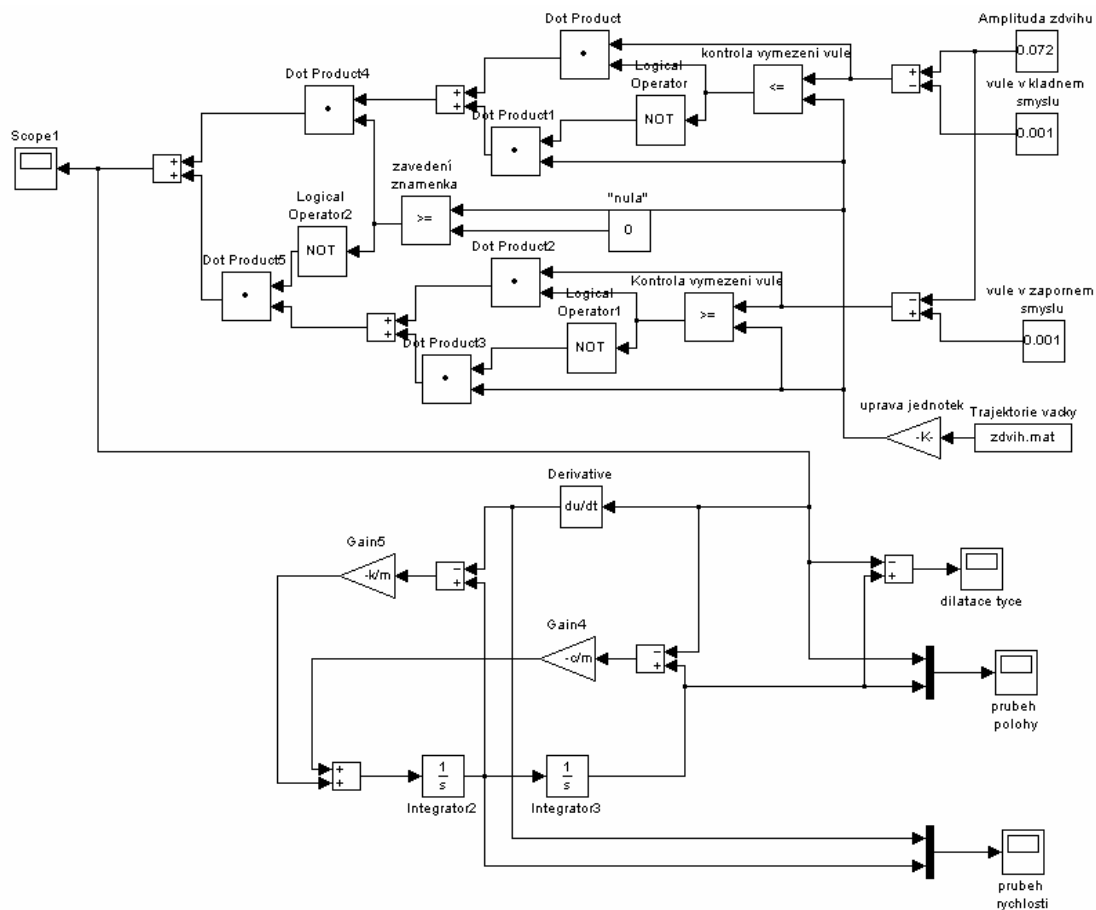
V místě B je tuhost tyče nižší, což odpovídá teoretickým předpokladům. Simulované hodnoty odpovídají naměřeným průběhům.



Graf 4 – Dilatace tyče (rozdíl polohy vzdálenějšího konce tyče a požadované hodnoty)

Při kmitavém pohybu rozváděcí tyče dochází vlivem vlastní tuhosti ke zpoždění vzdálenějšího aktuální polohy vzdálenějšího konce vůči aktuální poloze vačky. Tento rozdíl je vynesena v grafu 4.

Rovněž byl prověřen vliv vůlí na hnacím mechanismu a to v několika krocích. Simulační schéma dovoluje zadat odlišnou vůli při přechodu z kladného směru do záporného a naopak.



Graf 5 – Simulační schéma zahrnující vliv vůlí

Vliv vůlí se při modelování chování tyče projeví pouze nepatrně. To je způsobeno poměrně vysokým ztlumením systému. Parazitní zákmity dobře patrné zejména v průběhu rychlosti při vůli v řádu milimetrů, což je pouze experimentální případ.

Vlastní frekvence se blíží naměřené frekvenci kmitů na tyči. V modelu se neprojevují další vlastní frekvence rozváděcí tyče, neboť ta je nahrazena jen jednohmotovým systémem. Pokud tuhost tyče vynásobíme posunutím, dostáváme hodnotu zatěžující síly. Tato síla také odpovídá naměřeným hodnotám.

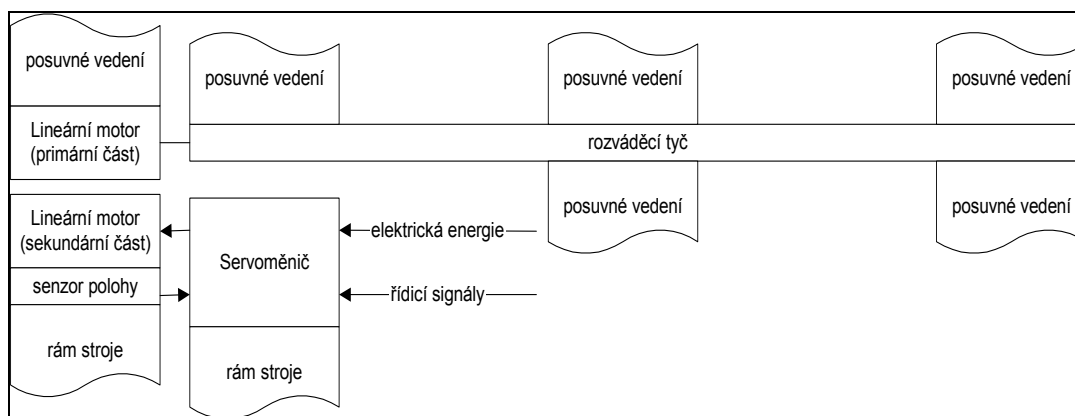
2 Nové možnosti řešení pohonu rozvádění

Koncepce modernizace rozvádění lze rozdělit do dvou základních směrů. První z nich se snaží využít společného pohonu pro více dopřádacích míst, sekci nebo až jednu stranu stroje. Je to koncepce skupinového rozvádění.

Individuální rozvádění řeší polohování příze v rámci jediného místa. Výhodou skupinového rozvádění je malá cena pohonu na jedno rozváděcí místo, oproti tomu individuální rozvádění umožňuje docílit vyšší kvality náviny. Cena pohonu na jedno rozváděcí místo je ale vyšší než v případě skupinového rozvádění.

2.1 Možnosti skupinového rozvádění

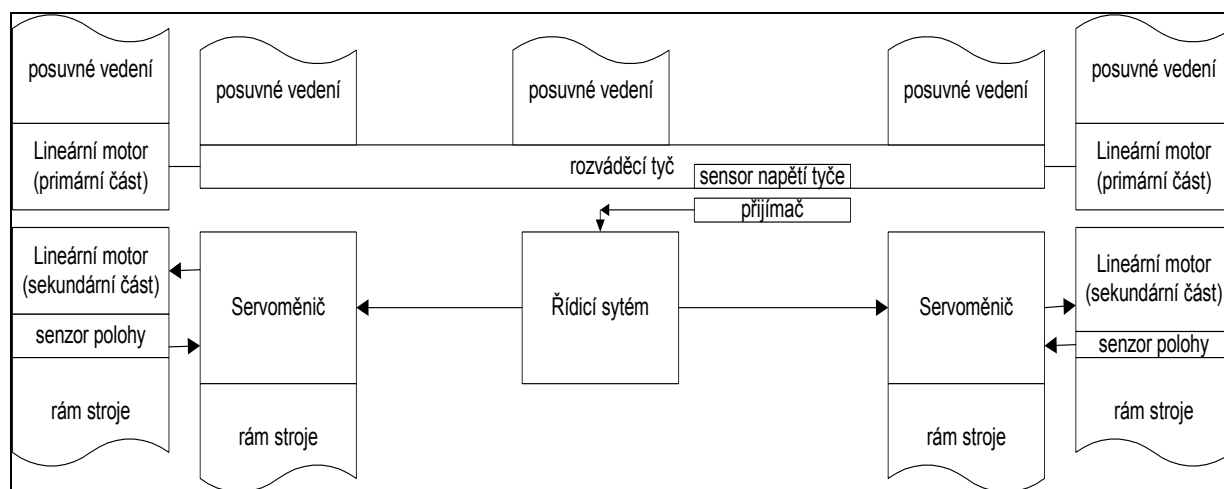
Jednou z možností jak modernizovat pohon skupinového rozvádění je využití lineárního pohonu ^{Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.}. Předpokládá se nasazení lineárního pohonu jako náhrady rotačního pohonu a mechanismu s drážkovým válcem. Lineární pohon by opět poháněl rozváděcí tyč s vodiči příze.



Obr. 2.1 – Modernizace stávající koncepce stroje pomocí lineárního pohonu

Tento způsob modernizace by umožnil snadnou změnu parametrů náviny pomocí řídicích signálů, ale neodstranil by vliv rozváděcí tyče. Náviny na hnaném a volném konci by měly různé vlastnosti.

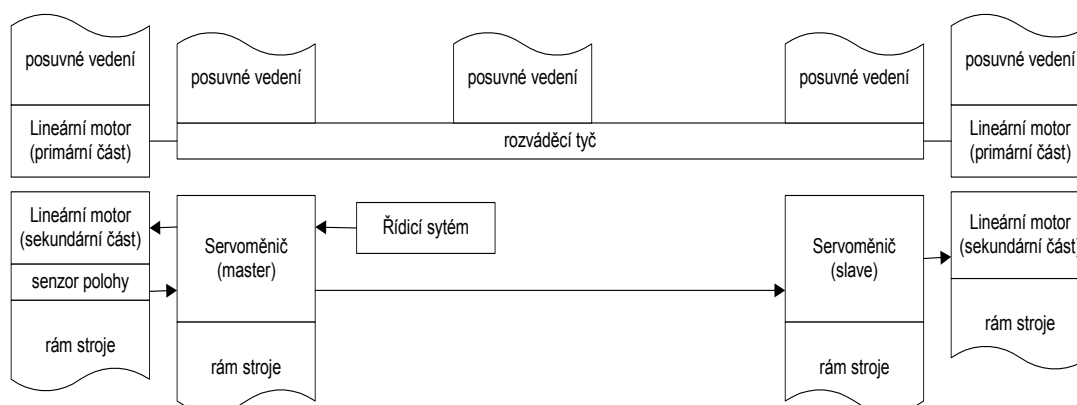
Další dva způsoby modernizace předpokládají nasazení lineárních motorů na obou stranách tyče^[1].



Obr. 2.2 - Modernizace stávající koncepce stroje pomocí lineárního pohonu

První způsob využívá dvou samostatných lineárních pohonů s tím, že oba jsou řízené z nadřazeného systému, do kterého vstupuje signál ze senzoru napětí tyče. Na základě požadované polohy a hodnoty napětí tyče jsou oba pohony řízeny autonomně tak, aby převládající zatížení bylo vždy tahové. Tím se odstraní problémy s přičením rozváděcí tyče.

Druhý způsob je jednodušší a využívá master-slave režimu u lineárních pohonů.



Obr. 2.3 - Využití master/slave režimu lineárního pohonu

V inicializační části by pohony fungovali autonomně. „Master pohon“ by byl zaparkován a na „Slave“ pohonu bychom omezili maximální proud. Po tomto omezení bychom emulovali na vstupu polohového senzoru na levou krajní polohu, zatímco žádaná poloha by byla zadána na pravou krajní polohu. Motor by se tedy rozjel vpravo, ale s omezeným momentem.

Výsledkem by bylo předepnutí rozváděcí tyče a vymezení vůlí. Po krátkém čase, řádově desítek milisekund, by byla aktuální poloha zapamatována a pohon zaparkován v této poloze. Poté by byly pohony nakonfigurovány řídicím systémem do režimu master/slave a upraven maximální proud na slave pohonu. Dále by pohony pracovaly synchronizovaně v master/slave pohonu. Využívali bychom prvotního předepnutí. Výhodou tohoto uspořádání je využití pouze jednoho čidla polohy a odstranění senzoru napětí tyče. Pokud by se ale změnila celková délka tyče, například vlivem teplotní dilatace, změnilo by se i předpětí tyče. Bylo by tedy nutné inicializační část po určité době opakovat.

Díky sofistikovanému řízení na základě informace o aktuálním proudu v levém a pravém pohonu bychom mohli regulovat napětí v tyči na požadovanou hodnotu, bez nutnosti provádět opakovaně inicializační sekvenci. Podobného principu se dnes využívá při silově-momentovém řízení průmyslových robotů.

Při stávajícím mechanickém řešení je potřebné pohybovat značnou setrvačnou hmotou. Další přírůstek setrvačné hmoty je vlastní primární část lineárního pohonu. Válcová vačka v současné době slouží jako setrvačnick a také jako převodovka snižující vliv zátěže na rotační pohon. Jejím odstraněním bude zátěžná síla působit přímo na primární část lineárního pohonu.

Modernizovat pohon rozvádění konvenčními rotačními pohony je možné při náhradě válcové vačky kuličkovým šroubem. Tato sestava by dovolovala elektronickou parametrizaci, ale kuličkový šroub by měl vyšší moment setrvačnosti než speciální válcová vačka a navíc by pohyb rotačního pohybu bylo nutno reverzovat. To by přineslo malou dynamiku v úvratích pohybu a analogické problémy se stávajícím stavem. Proto je řešení s konvenčními rotačními pohony nevhodné.

Oproti tomu pokrok v konstrukci i řízení lineárních pohonů umožňuje dosáhnout vysoké dynamiky i vysoké trvalé síly pomocí relativně malého proudu a tím se zvýšila účinnost lineárních pohonů a snížil se ztrátový výkon a tedy i požadavky na chlazení motorů.

2.2 Matematický model elektrodynamického motoru

Pro popis elektrodynamického systému byl vypracován matematický model, na kterém lze simulovat požadavky na napájení v závislosti na zatížení aktuátoru. Rovněž byl vypracován matematický model tyče, který má za cíl emulovat zátěž pohonu.

Při popisu elektrodynamického systému lze do jisté míry využít analogie se stejnosměrným motorem s cizím buzením.

Pro vlastní popis využijeme dvě základní diferenciální rovnice, mechanickou rovnici (2.1) a elektrickou rovnici (2.2).

$$(2.1) \quad m\ddot{x} + D\dot{x} + Fz(t) = Fm(t)$$

kde m je hmotnost pohybující se části pohonu, D reprezentuje koeficient tlumení, Fz představuje časově proměnnou zátěžnou sílu, Fm představuje sílu vyvolanou elektrodynamickým převodníkem.

$$(2.2) \quad u(t) = L \frac{di}{dt} - Bl\dot{x} + Ri(t)$$

První člen elektrické rovnice reprezentuje hodnotu indukovaného napětí vlivem změny napájecího proudu, druhý generátorické účinky závitů pohybujících se v magnetickém poli a třetí úbytek na napětí na odporu vodiče cívky.

Sílu elektrodynamického převodníku můžeme vyjádřit vztahem (2.3) za předpokladu že neuvažujeme demagnetizační účinky proudu (2.4).

$$(2.3) \quad Fm(t) = Bi(t)l$$

$$(2.4) \quad \frac{dB}{di} = \text{const.}$$

Rovnice (2.5) a (2.6) vyplývají z konstrukčního upořádání převodníku. Počet činných závitů ve vzduchové mezeře je konstantní, a indukčnost cívky v závislosti na poloze jsou konstantní.

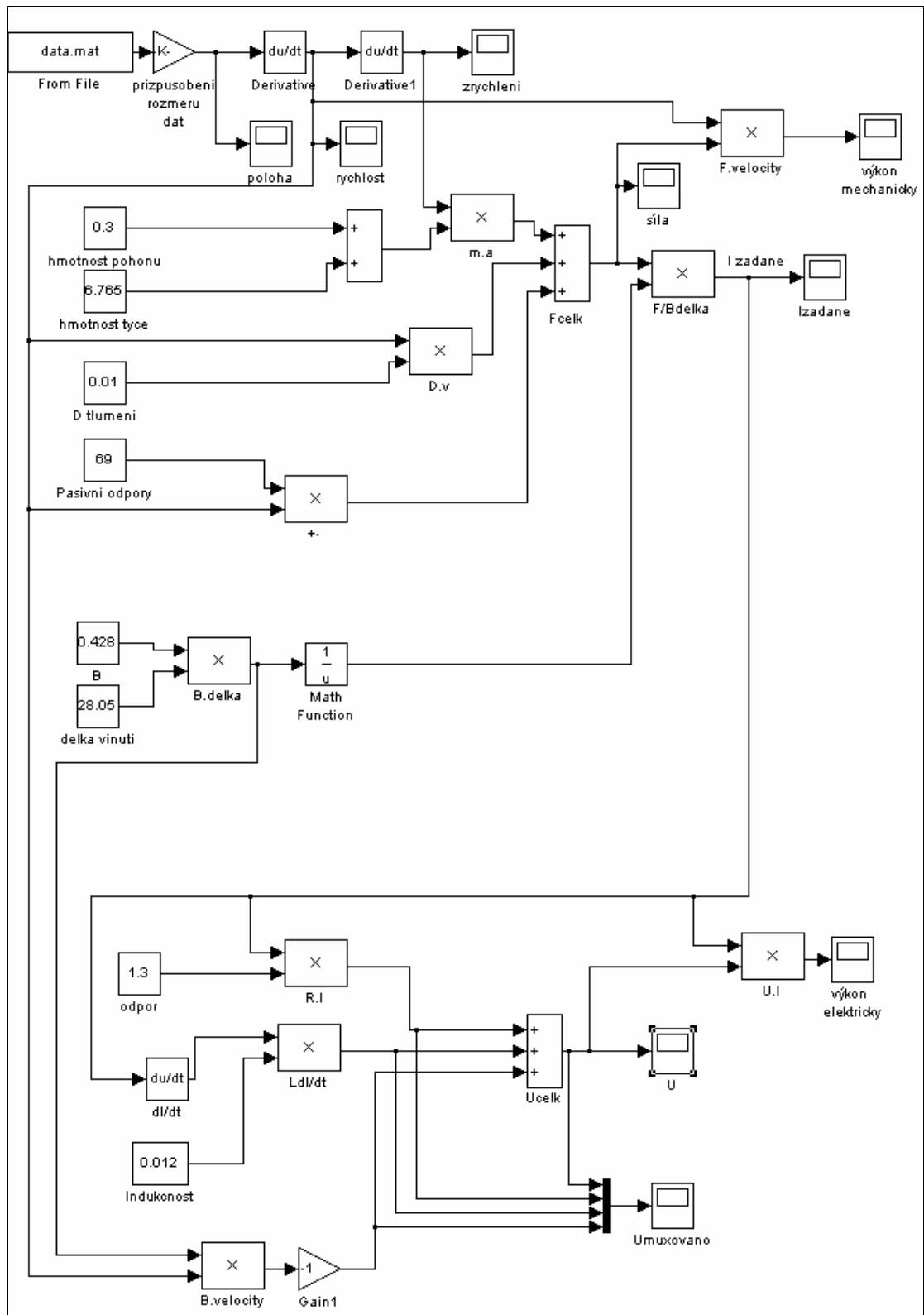
$$(2.5) \quad \frac{dl}{dx} = \text{const.}$$

$$(2.6) \quad \frac{dL}{dx} = \text{const.}$$

Vzhledem k tomu, že požadovaná trajektorie je známá a zadaná, chtěli jsme určit časový průběh napájecího napětí cívky. Protože analytické řešení také úlohy by bylo náročné, využili jsme program MatLab-Simulink k modelování chování pohonu ve stavu naprázdno a při zatížení.

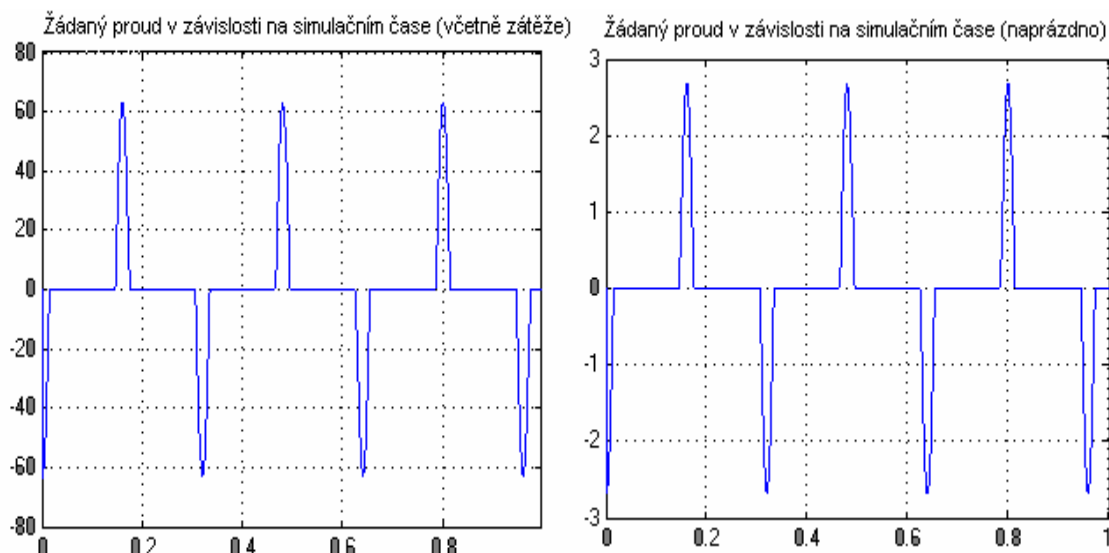
Ze zadané trajektorie x snadno určíme \dot{x} a \ddot{x} , dále s využitím rovnic (2.1) a (2.2) vyjádříme požadovanou hodnotu napájecího proudu a poté hodnotu napájecího napětí pro pohon.

Možnosti uplatnění elektrodynamického pohonu rozvádění na doprďadacích strojích

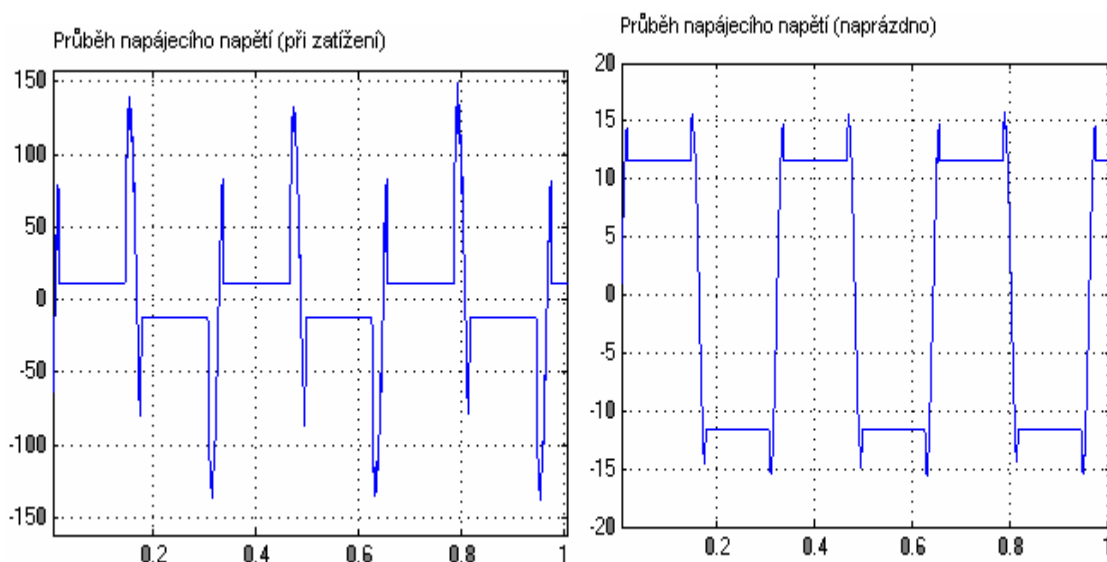


Obr. 2.4 - Simulační schéma elektrodynamického motoru

Pro buzení pohonu jsme využily předepsanou zdvihovou závislost válcové vačky. Dále jsme do modelu zahrnuly vliv pasivních odporů vedení tyče určené měřením. Vlastní rozvďadecí tyč jsme nahradili hmotným bodem, který spolu s pasivními odpory představuje zátěžnou sílu.



Graf č. 1 – Porovnání požadovaného proudu (A) naprázdno a při zatížení



Graf č. 2 – Porovnání požadovaných napětí (V) při chodu naprázdno a při zatížení

Hodnoty rychlosti a zrychlení se blíží hodnotám naměřených na rozváděcí tyči. Ve výsledcích jsou patrné „oscilace“ jak v rychlosti, tak zejména ve zrychlení, což je numerickou derivací stupňovitě zadané funkce zdvihu.

Pro napájení motoru naprázdno je špičkový proud $2,7A$ a délka tohoto pulsu cca $0,02s$. Při předpokládaném zatížení rozváděcí tyčí je to již $63A$, délka pulsu je stejná. Špičkové hodnoty napětí jsou potom $140V$ a trvalé napětí je $15V$. Při modelování při zatížení byly zanedbány pasivní odpory tyče. Ty jsou ve srovnání s dynamickou zátěžnou silou vyvolanou rozváděcí tyčí zanedbatelné.

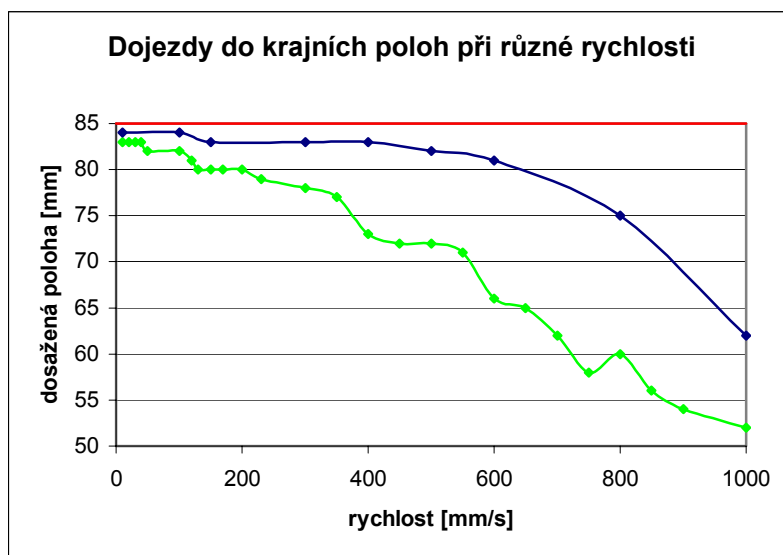
Hodnoty získané z modelu při zatížení jsou spíše demonstrativní. Stávající cívka není dimenzovaná na špičkové proudy. Při změně parametrů cívky, tj. odporu, indukčnosti, aktivní délce závitu, bude nutné model přepočítat. Struktura modelu se nemusí modifikovat, stačí pouze zadat nové parametry.

3 Výsledky funkčních zkoušek

Motor má poměrně dobrou dynamiku, ta je zajištěna dobrou regulací proudového regulátoru. Z hlediska vstupu žádané polohy je ale chování horší. Kvůli nevhodnému systému odměřování polohy není možné nastavit přiměřené zesílení rychlostního regulátoru, kvůli tomu motor při vysokých požadovaných rychlostech nedojíždí do krajních poloh. Situaci demonstrujeme pro dvojí nastavení regulátorů. Jedna z úvratí byla nastavena na 85mm. Testovali jsme absolutní odchylku dojezdů do krajní polohy při různých žádaných rychlostech pro dvojí nastavení regulátorů Tab. 3.1.

kpol	kv	ki	průběh
5	0,06	0,4	zelený
7	0,11	0,5	modrý
14	0,2	0,8	nestabilní

Tab. 3.1 – Nastavení regulátorů pro testování



Graf 3.1 - Dojezdy do krajní polohy pro různé nastavení podle Tab. 3.1

V grafu, Graf 3.1, jsou zobrazeny tři průběhy. Rudý je ideální průběh kterého nelze v praxi dosáhnout. Zelený průběh odpovídá neagresivnímu nastavení regulátorů a je zde dobře patrná nepřesnost v dojezdu polohy na rychlosti 600mm/s. Oproti tomu modrý průběh zobrazuje korektní dojezdy až do rychlosti 600mm/s a pak následuje útlum. Z grafu je patrná závislost kvality regulace na nastavení regulátorů.

Pro další zkvalitnění regulace bylo zejména nutné zlepšit odměřování polohy, neboť rychlost počítáme numericky derivací. Vzhledem k vysokým hodnotám spínaného proudu byla informace z magnetostrikčního čidla s analogovým výstupem zarušena, což způsobovalo problémy při numerické derivaci. Po náhradě IRC čidlem s 200 pulzy/mm byl tento problém odstraněn.

Dalším zlepšením byla změna odměřování proudu pomocí LEM LTS 25. Jedná se v podstatě o měřicí transformátor s analogovým výstupem. Modul řízení proudu se nám tím rozložil do dvou zcela nezávislých částí, proudového omezení v obvodu budiče FETů a odměřování

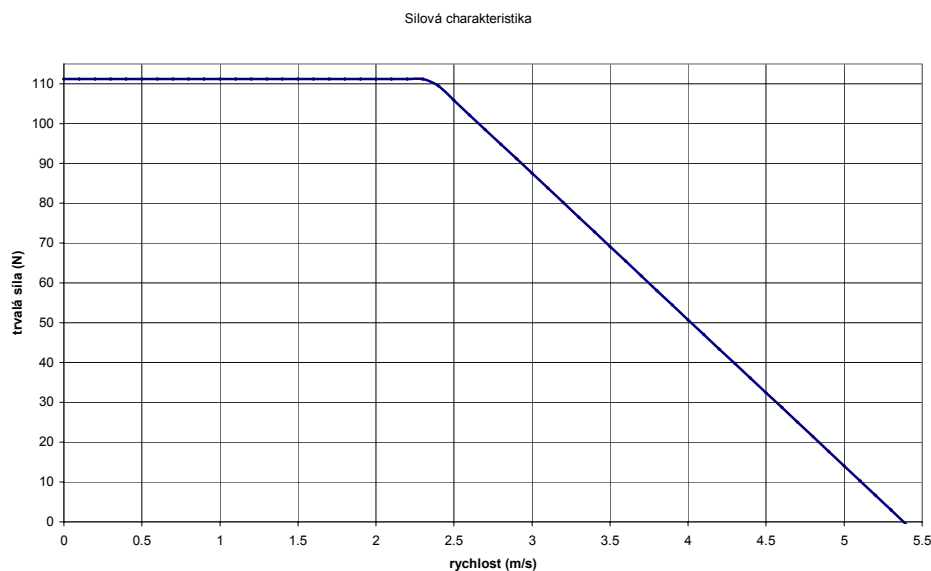
proudu LEM. Tato náhrada nám umožňuje získat směr průchodu proudu přímo z měření, odpadá tedy nutnost estimace v signálovém procesoru.

Pohon v současném uspořádání má tyto parametry:

Špičková síla @ 0.02s	111.25	[N]
Trvalá síla	53.4	[N]
Špičkový proud @ 0.02s	25	[A]
Trvalý proud	12	[A]
Max. napájecí napětí	36	[V]
Typ. napájecí napětí	24	[V]
Silová konstanta	4.45	[N/A]
Elektrická konstanta	4.46	[V/m/s]
Odpor vinutí @ 21°C	0.4	[Ohm]
Odpor vinutí @ 100°C	0.54	[Ohm]
Indukčnost vinutí @ 1kHz	27	[mH]
Max. teplota vinutí	115	[°C]
Max. teplota rotoru	125	[°C]
Max. zrychlení	371	□
Max. teoretická rychlost	5.38	□
Maximální zdvih	120	[mm]
Hmotnost pohyblivých částí	300	[g]

Tab. 3.2 – Parametry elektrodynamického pohonu s cívkou 2

Vzhledem k nemožnosti změřit silovou charakteristiku na reálném zařízení, provedli jsme výpočet na matematickém modelu při respektování proudových a napěťových omezení reálného pohonu.



Graf 3.2 – Silová charakteristika elektrodynamického pohonu

Část průběhu s konstantní silou je definována zejména silovou konstantou motoru a dovolenou hodnotou trvalého proudu. Ta je omezena maximálním ztrátovým výkonem cívky, jejím dovoleným oteplením, volbou spínacích součástek, proudovým odměřováním a proudovým omezením. Umístění kolena charakteristiky a sklon jejího útlumu závisí na elektrické konstantě pohonu a velikosti napájecího napětí. S rostoucím napětím se koleno posouvá k vyšším rychlostem, ale zároveň klesá přesnost řízení PWM.

4 Závěr

Hlavním přínosem disertační práce je návrh a ověření možností elektrodynamického pohonu. Dalším přínosem jsou zejména matematické modely, které se dají využít při dimenzování reálného pohonu. Práce však obsahuje i praktický výstup v podobě prototypu elektrodynamického pohonu řízeného v uzavřené regulační smyčce pomocí signálového procesoru.

Podstatným přínosem je rovněž matematický model rozváděcí tyče, který lze použít pro dimenzování, simulaci provozního stavu a nastavení regulačních algoritmů libovolného pohonu rozváděcí tyče v prostředí MatLab Simulink.

Disertační práce rovněž obsahuje praktické ověření funkčního principu i matematický model elektrodynamického pohonu. Dále byly prozkoumány možnosti řízení v otevřené i uzavřené regulační smyčce. Při konstrukci funkčních modelů byly využity různé principy měřících systémů polohy. Rovněž bylo využito jednoduchého mikrokontroléru pro řízení elektrodynamického pohonu v otevřené regulační smyčce.

Elektrodynamický systém má zásadní výhodu v jednoduchosti jeho konstrukce a konstantním momentu po celé dráze. Díky jediné napájené cívce je i jednoduchá regulační struktura obsahující pouze jediný proudový regulátor. Konstrukční uspořádání elektrodynamického motoru s jedinou cívkou má ovšem zásadní nevýhodu. Činná část cívky, tvořící sílu motoru, je pouze ta mezi pólovými nástavci, zbývající část tvoří pouze parazitní indukčnost a odpor. Proto se elektrodynamický systém nedá využít pro zajištění dlouhého zdvihu či vysokých dynamických nároků.

Tyto nedostatky odstraňují lineární synchronní elektromotory v pístitnicovém provedení. Mají jednoduchou konstrukci, oproti klasicky uspořádaným lineárním pohonům nulovou přitažlivou sílu mezi primární a sekundární částí. Proto bych pro řešení dynamicky náročných aplikací v textilním průmyslu volil je.

Výběr z informačních zdrojů

- [1] SLOUPENSKÝ, Jiří, KUBEŠ, Vítězslav. Způsob rozvádění příze při navíjení příze na cívku a zařízení k rozvádění příze: PV2002-3430,PS3352CZ. Ústí nad Orlicí: Rieter CZ a.s., 2002.
- [2] SOUČEK, Pavel. *Servomechanismy ve výrobních strojích*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02902-6
- [3] JAVŮREK, Jiří. *Regulace moderních elektrických pohonů*. Praha: Grada publishing a.s., 2003. ISBN 80-247-0507-9
- [4] KVASNICA, Jozef. *Mechanika*. Praha: Academia – nakladatelství České akademie věd, 2004. ISBN 80-200-1268-0
- [5] LONGORIA, Raul.G.. *Experimental Determination of Parameters for a Linear Second Order System*. Austin: The university of Texas, Department of Mechanical Engineering, 2000
- [6] VOREL, Pavel. *Výkonové elektromechanické systémy v silničních vozidlech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005.
- [7] FOUNĚ, František. *Rozvádění příze vačkou při navíjení na bezvřetenovém doprácím stroji: Výpočtová zpráva*. Liberec: VUTS Liberec a. s., 2003
- [8] KLÁN, Petr. Metody zlepšení PI regulace. *Automa*, 2001, číslo 12, ISSN 1210-9592
- [9] BENDA, Vítězslav. *Výkonové polovodičové součástky a integrované struktury*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. ISBN 80-01-01140-2
- [10] POMPE, František. *Teorie soukání*. Praha: Nakladatelství České akademie věd, 1958.
- [11] Synchronous Linear Motor LSF: Project Planning Manual, Selection Data and Commissioning. Lohr a. Main: Rexroth Indramath GmbH, 2000.
- [12] DRAXLAR, Karel. *Magnetické prvky*. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1984.
- [13] *Měření na stroji BT 903 FXL*. Liberec: Výzkumný ústav textilních strojů, 2003.
- [14] BT 905: Reliable, economical alternative in rotor spinning. Ústí nad Orlicí: Rieter Elitex a.s.,2003
- [15] FRANZOLINI, Luciano: Device and apparatus with magnetic thread: Guide for winding a thread onto cylindrical supports. United States: Patent application publication, 2004
- [16] BARON, Alée Charles: Reciprocating mechanism for winding thread: WO 03/002443 A1. Valence Cedex: Rieter ICBT, 2003

Vlastní díla

Ve spolupráci s firmou Rieter CZ a.s. Ústí nad Orlicí pracuje na výzkumném záměru Ministerstva průmyslu a obchodu

Na Technische universität Chemnitz realizoval projekt Řízení průmyslových robotů za pomoci externí sensoriky

Podílel se na realizaci mobilního robota, Vozík pro manipulaci s oválnou konví“ (nasazení elektronicky komutovaných stejnosměrných motorů s ovládacími jednotkami „e-motion“ a vyhodnocení provozu z baterií)

Vývoj a realizace přípravku na bázi CPLD (complex programmable logic device) obvodů Xilinx řady XC95

Parametrizace měničů Telemecanique Altivar na stroji „Leštění šatonů“

Automatizace měření „Distribuce tlaku ve vlákenných systémech“

Publikace

ČERNOHORSKÝ, J. *Možnosti visual servoingu robota Stäubli pomocí Matlabu*. EPVE 2006

Elektrické pohony a výkonová elektronika Brno 2006, VUT Brno

ČERNOHORSKÝ, J. *Dílčí zpráva o vývoji elektrodynamického pohonu*. Liberec 2006: VUTS Liberec

ČERNOHORSKÝ, J. *Possibilities of visual servoing Stäubli robot using MathLab development environment*. Chemnitz 2005: Technische Universität Chemnitz

ČERNOHORSKÝ, J. *Dílčí zpráva o projektu Vozík pro manipulaci s oválnou konví: měření elektrických charakteristik akumulátorového vozíku*. Liberec 2005: VUTS Liberec

ČERNOHORSKÝ, J. *Zpráva o vývoji elektrodynamického pohonu*. Liberec 2004: VUTS Liberec

ČERNOHORSKÝ, J. *Identifikace parametrů rozváděcího mechanismu a simulace chování na jednohmotovém modelu*. Liberec 2004: VUTS Liberec

ČERNOHORSKÝ, J. *Polohování pomocí elektrodynamického systému*. Liberec 2004: VUTS Liberec

ČERNOHORSKÝ, J., STŘEŠTÍK, P. *Možnosti zlepšení rozvádění na stroji řady BT*. Liberec 2003: VUTS Liberec

Annotation

Possibilities of usage electrodynamic drive on unwinding machines

Ing. Josef Černohorský

The doctoral thesis deals with the possibilities of modernization unwinding drive in textile machines. Present system unwinding drive is consisting of rotary drive and special mechanism. This solution is not able achieve the higher quality of the yarn during high winding speed.

In the first part of the thesis there is analysis contain several types of drives, include non conventional drive types for individual winding. The thesis consists of identification unwinding shaft and mathematical model of unwinding shaft too. In second part there is mathematical model of electrodynamic drive. On laboratory function model was experimented open or closed loop control algorithm.

The result of the thesis is functional model of electrodynamic drive, controlled via Digital Signal Processor in closed feed back loop. The drive is able utilization through CAN by drive parameters.

The electrodynamic drive is useful both in textile industry and defined position linear motion in general.

Keywords: electrical drive, electrodynamic system, unwinding, digital signal processing