

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA MECHATRONIKY
A MEZIOBOROVÝCH INŽENÝRSKÝCH STUDIÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA MECHATRONIKY A MEZIOBOROVÝCH INŽENÝRSKÝCH STUDIÍ

Studijní program: 2612T – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: Mechatronika

Řízený pohon navíječky transformátorů a tlumivek Control drive of winding machine of transformers and chokes

Vedoucí práce: Doc.Ing. Aleš Richter, CSc.
Technická Univerzita

Konzultant: Ing. Josef Bareš
Rony ELECTRONIC s.r.o.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran textu	41
Počet stran obrázků	10
Počet tabulek	2
Počet grafů	6
Počet vzorců	19
Počet příloh	4

Datum: 15.5.2002

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Katedra elektrotechniky a elektromechanických systémů

Školní rok: 2001/2002

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro: **Leoše Berana**
studijní program: 2612T - Elektrotechnika a informatika
obor: Mechatronika

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Řízený pohon navíječky transformátorů a tlumivek**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s technologií výroby cívek pro elektrotechnický průmysl.
2. Proveďte rozbor možností řízení stroje podle požadavků firmy Bohemia Trafo s.r.o.
3. Navrhněte optimální vektorově řízený pohon s asynchronním motorem a specifikujte jednotlivé komponenty, včetně prvků silnoproudé elektrotechniky.
4. Navržený způsob řízení ověřte na funkčním modelu stroje a realizujte.
5. Proveďte provozní zkoušky stroje.
6. Zpracujte průvodní technickou dokumentaci, včetně elektrorozvaděče.

KEL/ME
440, 17s. příl.

V 18/02 M

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace

Rozsah průvodní zprávy: cca 40 až 50 stran

Seznam odborné literatury:

[1] Pavelka, J., Čerovský, Z., Javůrek, J.: Elektrické pohony, skript. ČVUT FEL, Praha, 1997

[2] Technická dokumentace firmy Lenze.

[3] Šmejkal, Martinásková: PLC a automatizace, BEN, Praha, 1999

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Aleš Richter, CSc.

Konzultant: Ing. Josef Bareš, RONY ELECTRONIC s.r.o.

Zadání diplomové práce: 25.10. 2001

Termín odevzdání diplomové práce: 24. 5. 2002



A handwritten signature in blue ink, likely belonging to the Dean, is positioned above a dotted line.

Vedoucí katedry

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to the Dean, is positioned above a dotted line.

Děkan

V Liberci dne 25.10. 2001

Anotace

Předmětem této diplomové práce je modernizace pohonu navíjecího stroje. Stroj je určen pro malosériovou výrobu transformátorů a tlumivek. Před modernizací byl navíjecí stroj poháněn střídavým komutátorovým motorem. Požadované otáčky se měnily pomocí reostatu, který byl připevněn k ovládacímu pedálu. Modernizace stroje spočívá v tom že je navíjecí stroj poháněn asynchronním motorem, který je řízen frekvenčním měničem. Frekvenční měnič pracuje ve vektorovém režimu. Požadovaná hodnota otáček je snímána pomocí indukčnostního čidla, které snímá polohu ovládacího pedálu. Počet závitů je nastaven a snímán pomocí mechanického počítadla a jeho výstup je připojen do frekvenčního měniče. Chování frekvenčního měniče je odvozeno od jednotlivých logických signálů (vpřed, vzad, brzda, konec navíjení). Modernizace zajišťuje jeho větší spolehlivost ve výrobním procesu.

Annotation

Modernisation of winding machine drive was an aim of this diploma work. The machine is designed for low-volume production of transformers and chokes. Before modernisation the machine was driven by remittent commutator motor. Required revolutions were changed by the means of dimmer fixed to operating pedal. Modernisation consists in change of motor – the machine is powered by asynchronous motor, which is controlled by frequency converter. Frequency converter works in vector mode. Required number of revolutions is read by the means of inductance sensor, which reads position of operating pedal. Number of windings is set and read by the means of mechanical counter and its output is connected to frequency converter. Behaviour of frequency converter is derived from separate logical signals (forwards, backwards, brake, end of winding). Advantage of this solution is higher reliability of the machine in production process.

Prohlášení

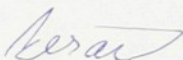
Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/200 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití DP a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užití své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše)

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 16. 5. 2002

Podpis: 

Poděkování

za odborné vedení a pomoc při řešení problémů, které se vyskytly v průběhu diplomové práce, děkuji panu Doc. Ing. Aleši Richtrovi, CSc.; Ing. Josefu Barešovi z firmy Rony Electronic s.r.o. a dalším. Zvláště děkuji rodičům za všestrannou podporu a trpělivost po celou dobu mého studia.

Přehled použitých označení a zkratek

Mechanické veličiny

k	mechanický převod	[..]
M_Z	moment na vřetenu	[Nm]
M_M	moment na hřídeli motoru	[Nm]
M_d	dynamický moment na hřídeli motoru	[Nm]
r_t	poloměr navíjeného transformátoru	[m]
F_N	utahovací síla drátu při navíjení	[N]
J_Z	moment setrvačnosti zátěže	[kgm ²]
J_{red}	redukovaný moment setrvačnosti zátěže na hřídel motoru	[kgm ²]
J_C	celkový moment setrvačnosti na hřídeli motoru	[kgm ²]
J_M	celkový moment setrvačnosti rotoru motoru	[kgm ²]
ω_M	otáčky na hřídeli motoru	[ot/min]
ω_Z	otáčky na vřetenu	[ot/min]

Elektrické veličiny

P	celkový výkon potřebný pro navíjení	[W]
P_M	výkon motoru	[W]
P_S	statický výkon	[W]
P_{DV}	dynamický výkon na vřetenu	[W]
P_{DM}	dynamický výkon na motoru	[W]
P_{tl}	potřebný výkon k urychlení vřetene za 1 s	[W]
R	odpor vinutí kotvy motoru	[Ω]
L	indukčnost vinutí kotvy motoru	[mH]

Ostatní

T_{750}	čas dosažení maximálních otáček při výkonu 750 W	[s]
T_M	časová konstanta vinutí motoru	[s]
FM	frekvenční měnič	
AM	asynchronní motor	

1	ÚVOD	9
2	POPIS STÁVAJÍCÍHO ŘEŠENÍ	10
2.1	POHONNÁ JEDNOTKA	10
2.2	ŘÍZENÍ OTÁČEK	10
3	POPIS STROJE METEOR ME301	11
4	TECHNICKÉ ZADÁNÍ.....	12
5	ROZBOR MOŽNOSTÍ ŘEŠENÍ.....	13
5.1	ZÁKLADNÍ TŘÍDĚNÍ ELEKTROPOHONŮ.....	13
5.2	VÝBĚR MOTORU A ŘÍDÍCÍCH JEDNOTEK.....	14
6	NÁVRH ŘEŠENÍ S AM	16
6.1	ASYNCHRONNÍ MOTOR.....	16
6.2	FREKVENČNÍ MĚNIČ	16
6.2.1	<i>Blokové schéma FM</i>	<i>16</i>
6.2.2	<i>Princip FM</i>	<i>16</i>
6.3	VEKTOROVÉ ŘÍZENÍ.....	17
7	MATEMATICKÝ MODEL FM.....	18
7.1	PWM MODULACE	18
8	NÁVRH POHONU	22
8.1	ZÁKLADNÍ ZÁKONITOSTI A VZTAHY PRO NÁVRH ELEKTRICKÉHO POHONU.....	22
8.1.1	<i>Statický moment a síla působící na soustavu.....</i>	<i>22</i>
8.1.2	<i>Statický výkon hnací jednotky.....</i>	<i>23</i>
8.1.3	<i>Dynamický moment a moment setrvačnosti.....</i>	<i>24</i>
8.1.4	<i>Výpočet výkonu.....</i>	<i>27</i>
8.2	VOLBA FREKVENČNÍHO MĚNIČE.....	28
8.2.1	<i>Požadavky na FM pro navíjecí stroj METEOR 301</i>	<i>29</i>
8.3	VOLBA MOTORU.....	31
8.4	ROZBOR MOŽNOSTÍ ZADÁVÁNÍ ŽÁDANÉ HODNOTY A VÝBĚR ČIDLA	33
9	PRAKTICKÁ REALIZACE.....	35
9.1	MECHANICKÉ UCHYCENÍ MOTORU A REALIZACE PŘEVODU.....	35
9.2	REALIZACE A MECHANICKÉ UCHYCENÍ ELEKTRICKÉHO ROZVADĚČE	35
9.3	POPIS ROZVODU ELEKTROINSTALACE	36
9.4	REALIZACE SNÍMÁNÍ POLOHY PEDÁLU A MECHANICKÉ UPEVNĚNÍ SNÍMAČE	36
9.5	BLOKOVÉ SCHÉMA MODERNIZOVANÉ NAVÍJEČKY METEOR ME301.....	37
9.6	PARAMETRIZACE FREKVENČNÍHO MĚNIČE	38
9.6.1	<i>Popis programu Global Drive.....</i>	<i>38</i>

9.6.2	<i>Popis funkčních bloků FM</i>	38
10	ZÁVĚR	40
	POUŽITÁ LITERATURA	42
	PŘÍLOHA Č.1. – VÝPOČET MOMENTU SETRVAČNOSTI	43
	PŘÍLOHA Č.2. – ELEKTRICKÁ SCHÉMATA	45
	PŘÍLOHA Č.3. - FOTODOKUMENTACE	49
	PŘÍLOHA Č.4. – PARAMETRY FM 8200 VECTOR LENZE	59

1 Úvod

Firma Bohemia Trafo s.r.o. (dále jen zadavatel) se zabývá výrobou netočivých elektrických strojů. Pro navíjení cívek a tlumivek s průměrem do 100 mm využívá i navíjecí stroj METEOR ME 301. Tento stroj byl vyroben v roce 1968 Švýcarsku firmou METEOR. Výrobce vyvinul a vyrobil, na tehdejší dobu velmi spolehlivý navíjecí stroj, který splňoval všechny požadavky výroby pro navíjení cívek, tlumivek a transformátorů. S ohledem na určité opotřebení a morální zastaralost se zadavatel rozhodl mezi rekonstrukcí a modernizací stroje a mezi nákupem nového strojního zařízení. Proto mě zadavatel pověřil, abych našel konkrétní řešení i s cenovými podklady.

Pro zjištění cenových relací jsem si vyžádal kompletní nabídku strojního zařízení potřebných parametrů od firmy IWT, která má zastoupení v České republice. Poptával jsem navíjecí stroj shodných parametrů jako je METEOR ME 301. Jako odpovídající náhrada za ME 301, bylo nabídnuto strojní zařízení FW110. Jeho parametry splňují požadavky, které si klade firma Bohemia Trafo s.r.o. pro své potřeby. FW110 je malé lehké kompaktní strojní zařízení, dobře se obsluhuje a je plně automatické, řízené počítačem (viz. příloha č.3 obr.1). Cena tohoto zařízení se všemi potřebnými zařízeními a nejnужnějšími přípravky činí 15 350,- EUR, což je cca 490 000,- Kč.

Nabídku od firmy IWT-strojní zařízení FW110, spolu s mojí nabídkou modernizace pohonu ME 301 s předpokládanými náklady do 40 000,- Kč jsem předložil Bohemia Trafo s.r.o. Vedení firmy zvážilo situaci jednak po stránce finanční, ale i s ohledem na technické parametry strojního zařízení a předpokládaného využití. Nové zařízení FW110 je téměř bezobslužné. Šetří pracovní sílu, ale předpokládá hromadnou výrobu ve velkých sériích. Jeho cena je řádově vyšší než předpokládaná modernizace ME 301.

Zadavatel preferuje zakázky kusové až malosériové, kdy nejlépe zhodnocuje své zkušenosti a kvalifikovanou pracovní sílu. Proto se rozhodl pro modernizaci ME 301. Tato varianta je pro zadavatele finančně zajímavá a zároveň dosáhne srovnatelných užitných vlastností. Nové zařízení FW110, by v jeho výrobním programu, neumožňovalo využití úspory pracovní síly v takovém měřítku, aby se finančně vyplatilo.

Z tohoto myšlenkového postupu vzešlo rozhodnutí a zadání mé práce, které je formulováno v bodě 3.

2 Popis stávajícího řešení

2.1 Pohonná jednotka

Stávající řešení má několik nevýhod, které lze modernizací odstranit. Stroj je vybaven střídavým komutátorovým motorem. Ve své době to byl motor, u kterého šlo snadno řídit otáčky a jeho momentová charakteristika byla příznivá pro použití na navíjecím stroji. Moment na hřídeli je v celém rozsahu téměř konstantní. Jeho hmotnost a velikost je v poměru k výkonu značná. Komutátor způsobuje rušení při větším zatížení a zvyšuje hladinu hluku na pracovišti. Hlavní nevýhodou komutátorových motorů je malá životnost komutátoru a uhlíků (musí se často měnit). Při poruše lze předpokládat nemalé náklady na opravu a jen málo firem se těmito opravami zabývá. Z tohoto důvodu se tyto motory používají stále méně.

2.2 Řízení otáček

Otáčky jsou řízeny pomocí reostatu. Z toho vyplývá, že při malých otáčkách vřetene je dosti ztrátové. Jeho odporová dráha se vlivem jezdce značně opotřebovává. Při přerušení je potřeba reostat vyměnit. Reostaty jsou poměrně rozměrné a musí mít vlastní chlazení, které také zvyšuje hladinu hluku na pracovišti.

Firma Bohemia Trafo s.r.o se musí s těmito nevýhodami potýkat neustále. Například při opravě motoru je stroj odstaven a firma přichází o výrobní kapacity. Odstranění takovýchto výpadků ve výrobě stojí firmu nemalé finanční prostředky. Proto se rozhodli kritická místa na stroji změnit, aby mohla výroba probíhat bez častých výpadků stroje.

3 Popis stroje METEOR ME301

Navíječka je poháněna jednofázovým střídavým komutátorovým motorem o výkonu 0,37 kW. Jmenovité otáčky motoru jsou 5000 ot/min. Motoru pracuje s účinností 0,8 a maximálním proudem 3,6 A.

Regulace otáček motoru je zajištěna pomocí reostatu, který je ovládán pedálem. (viz. příloha č.3. obr.2.). Odpor reostatu je 160 Ω .

Počítání navinutých závitů (otáček) je realizováno pomocí mechanického počítadla. (obr.3. viz. příloha č.3.), které lze programovat na určitý konečný počet závitů dle potřeby. Do počítadla je zabudován spínač, který při dosažení požadovaného počtu závitů sepne. Spínač je sepnut do doby, kdy je počítadlo vynulováno. Rozsah počítadla je 0-99 999 závitů.

Změna posuvu rozváděcího kolečka drátu je odvozena změnou převodu variátoru. Variátor zajišťuje plynulou změnu posuvu, což umožňuje navíjení libovolného průřezu drátu v rozsahu 0,16-1,6 mm².

Vlastní posuv rozváděcího kolečka je realizován nekonečným plechovým páskem, který se točí jedním směrem. Směr rozváděcího kolečka je pak určen místem uchycení na plechovém pásku pomocí elektromagnetů. Funkce je nejlépe vidět na obrázku v příloze č.3. obr.4.

Změna směru posuvu a rozváděcího kolečka je odvozena od koncových mikrospínačů (viz příloha č.3. obr.5.).

Elektrické zapojení stroje je provedeno dle možností doby, ve kterém vzniklo. Je velmi nepřístupné a nepřehledné. Jakékoliv změny jsou velmi obtížně proveditelné, protože je smotáno do svazků. Schéma zapojení je uvedeno v příloze č.2. obr.1.

4 Technické zadání

Technické zadání bylo sestaveno na základě technických požadavků zadavatele. Modernizovaný stroj bude mít následující parametry:

- plynulá regulace otáček v rozsahu 0-2000 ot/min
- možnost navíjení drátu o průměru 0,16-1,6 mm²
- utahovací síla od 0 do 30 N
- maximální průměr transformátoru, respektive cívky 10 cm
- možnost připojení digitálního počítadla otáček

Řešení musí obsahovat:

- schéma zapojení rozvaděče
- vlastní realizaci
- odzkoušení v provozu

5 Rozbor možností řešení

V této kapitole bych se chtěl zaměřit na možnosti řešení zadané úlohy z hlediska použití pohonné jednotky (motoru). Popsat princip funkce a možnosti řízení jednotlivých typů.

5.1 Základní třídění elektropohonů

Tučně vytištěný text se vztahuje k řešené úloze.

- podle druhu vykonávaného pohybu (**rotační**, translační)
- podle druhu řiditelnosti úhlové rychlosti (jednorychlostní, dvourychlostní, vícerychlostní, **s plynule řiditelnou rychlostí**)
- podle druhu řízení (**ruční**, automatické, se samočinnou regulací)
- podle druhu hnacího elektromotoru (stejnsměrný motor /s cizím buzením, se sériovým buzením, s kompaundním buzením, s permanentními magnety/, střídavý motor /**asynchronní**, synchronní s permanentními magnety na rotoru, reluktanční, krokový, krokový motor nebo jiný speciální typ/)
- podle způsobu zapojení polovodičového měniče (s přímým měničem frekvence, **s nepřímým měničem frekvence**, tyristorový měnič s číslicovým regulátorem bez podřízené rychlostní smyčky, a další způsoby)
- podle způsobu přenosu mechanické energie z motoru na pracovní stroj (**s převodovkou**, bez převodovky)
- podle funkce v zařízení (**hlavní**, vedlejší, nouzový, záskokový pohon)
- podle počtu motorů v celku pohonu (**jednomotorový**, vícemotorový)

5.2 Výběr motoru a řídicích jednotek

Z předchozího odstavce je vidět, že je velké množství typů motorů, které lze použít při konstrukci pohonů. Je třeba vybrat motor, který bude nejvhodnější pro moje zadání. Motor jsem vybíral podle následujících kritérií:

- sériově vyráběný
- konstrukčně jednoduchý (menší poruchovost)
- plynule regulovatelný v rozsahu 0 – 3000 ot/min
- nízká cena
- vysoká spolehlivost
- velká životnost

Stejnoseměrný motor – jeho konstrukce je složitá díky komutátoru, který zajišťuje napájení rotoru. Rotor tvoří budící vinutí. Regulace otáček je velmi jednoduchá. Lze ji provádět dvěma způsoby: regulací napájecího napětí nebo budícího napětí. Někdy se používají oba způsoby najednou. Nevýhodou je použití stejnosměrného napájení. Tyto motory však můžeme napájet i střídavým napětím. Pak ale vznikají problémy s komutací el. energie. Dochází k jiskření a tím se značně opotřebovává komutátor i kartáče.

Synchronní motor – mají 3f statorové vinutí, kotva je vyrobena z permanentních magnetů, které jsou vyrobeny ze vzácných kovů např. samarium – kobalt. Z toho plyne vysoká cena synchronního motoru. Jsou zpravidla vyráběny pro nižší výkony. Jejich konstrukce dovozuje přesnost polohování, proto jsou používány jako servomotory ve spojení s enkodery. U synchronních motorů neklademe tak vysoké nároky na jejich účinnost, ale na přesnost polohování. Řízení rychlosti synchronního motoru lze provádět změnou frekvence napájecího napětí. Používají se FM nebo pro servopohony servo měniče.

Krokový motor – je speciální impulsně řízený motor. Stator se skládá z několika vinutí (2 a více fázové). Rotor je složen z paketu plechů, které jsou nalisovány na hřídel. Podle vybuzení jednotlivých cívek se rotor natočí tak, aby zaujal stav, kdy je minimální magnetický odpor magnetického obvodu. Tyto motory se využívají tam, kde je potřeba přesné polohování bez zpětné vazby. Řízení je velmi obtížné. O komutaci el. energie do jednotlivých fází se stará ovladač krokového motoru, který je složitý a drahý. Pomocí těchto se realizují pohony malých výkonů (20 – 200 W).

Asynchronní motor – jeho konstrukce je velmi jednoduchá díky kotvě nakrátko. Ta je vyrobena z paketu plechů, které jsou opatřeny nástřikem hliníku. Rotor se skládá z navinutých cívek, které jsou navzájem pootočený v rovině rotace rotoru o 120° . Nejvhodnější řízení asynchronního motoru (dále jen AM) se realizuje pomocí frekvenčního měniče (dále jen FM). Provozní spolehlivost je vysoká a je vyráběn sériově v unifikovaných řadách. V případě poruchy jde o finančně i časově velmi příznivou akci.

Použití *ss.motoru* je nevhodné, protože bychom se dopracovali ke stejnému řešení jako firma METEOR. Řešení pomocí *synchronního motoru* by bylo velmi elegantní, ale s ohledem na finanční náročnost je tento pohon pro řešené zadání nevhodný. Realizace s *krokovým motorem* by byla asi velmi nákladná a možná by ani nevedla k úspěšnému řešení. *Asynchronní motor* splňuje nejlépe všechna výběrová kritéria, a proto jsem se rozhodl pro řešení zadání s pomocí asynchronního motoru. Asynchronní motor pouze neumožňuje sám o sobě regulaci otáček. Pro splnění zadání však stačí použít spolu s asynchronním motorem FM a tím dosáhneme všech požadovaných vlastností pohonu.

6 Návrh řešení s AM

6.1 Asynchronní motor

V dnešní době se začínají velmi výrazně uplatňovat s rozvojem spínacích polovodičových prvků AM. Otáčky lze řídit pomocí FM. Rozsah otáček je závislý na konstrukci AM. Otáčky motoru lze jednoduše spočítat dle vztahu (6.1).

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \quad [\text{ot} / \text{min}] \quad (6.1)$$

kde n teoretické otáčky motoru za minutu

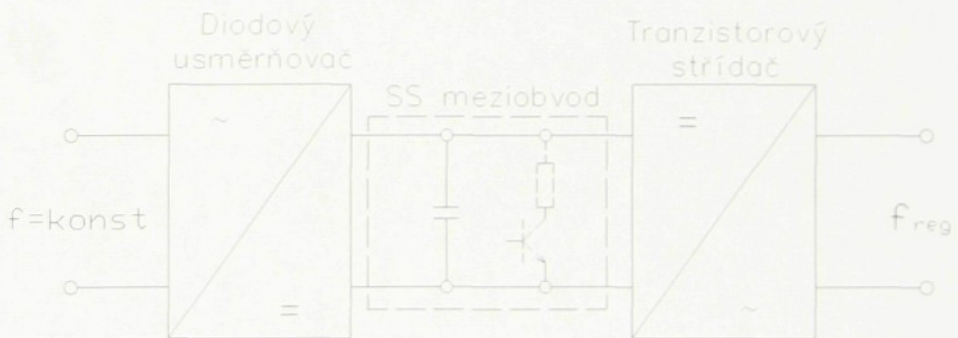
f frekvence napájecího napětí

p počet pólových dvojic

6.2 Frekvenční měnič

FM mění frekvenci vstupního napětí. Rozsah frekvencí bývá 0 – 480 Hz. Ze vztahu (6.1) vyplývá, že otáčky AM jsou přímo úměrné frekvenci napájecího napětí.

6.2.1 Blokové schéma FM



Obr. 6.1. Zjednodušené schéma FM

6.2.2 Princip FM

Na vstup FM přivádíme střídavé napětí, které se v diodovém usměrňovači usměrní. Toto usměrněné napětí se přivádí přes stejnosměrný meziobvod na tranzistorový střídač. Ten pomocí PWM (Pulzně šířková modulace) naspíná potřebný průběh napětí na výstupu FM. SS meziobvod slouží k uložení energie, když jsou tranzistory rozepnuty a do zátěže neteče žádný proud. SS meziobvod může být napěťový nebo proudový. Pak je realizován kondenzátorem nebo tlumivkou. U FM nižších výkonů se používá napěťový.

6.3 Vektorové řízení

Vektorovým řízením se teorie zabývá již několik desítek let. Tato teorie řízení se do praxe dostala teprve nedávno, a to díky signálovým procesorům, které dokáží v reálném čase zpracovávat data. Při řízení je vytvořen model řízeného motoru. Podle tohoto modelu je pak motor řízen. Řídí se tokotvorná a momentotvorná složka proudu. Dále je potřeba mít informace o poloze souřadného systému d, q [1]. Podle způsobu získání této informace se rozvinulo několik myšlenek jak je možné vektorové řízení realizovat.

- Nepřímá metoda s čidlem rychlosti rotoru – tato metoda vyžaduje speciálně upravený motor, je zapotřebí měřit magnetický tok ve vzduchové mezeře, a to pomocí Hallových sond. Tato metoda se dnes nepoužívá.
- Nepřímá metoda s čidlem napětí
- Přímé řízení – tuto metodu dnes využívá většina komerčně prodávaných FM, protože není nutné dělat další zásahy do motoru a přidávat další čidla, která by celý systém prodražovala.

Podrobně jsou jednotlivé metody vektorového řízení popsány v [1] str.169 včetně blokových schémat jednotlivých řešení.

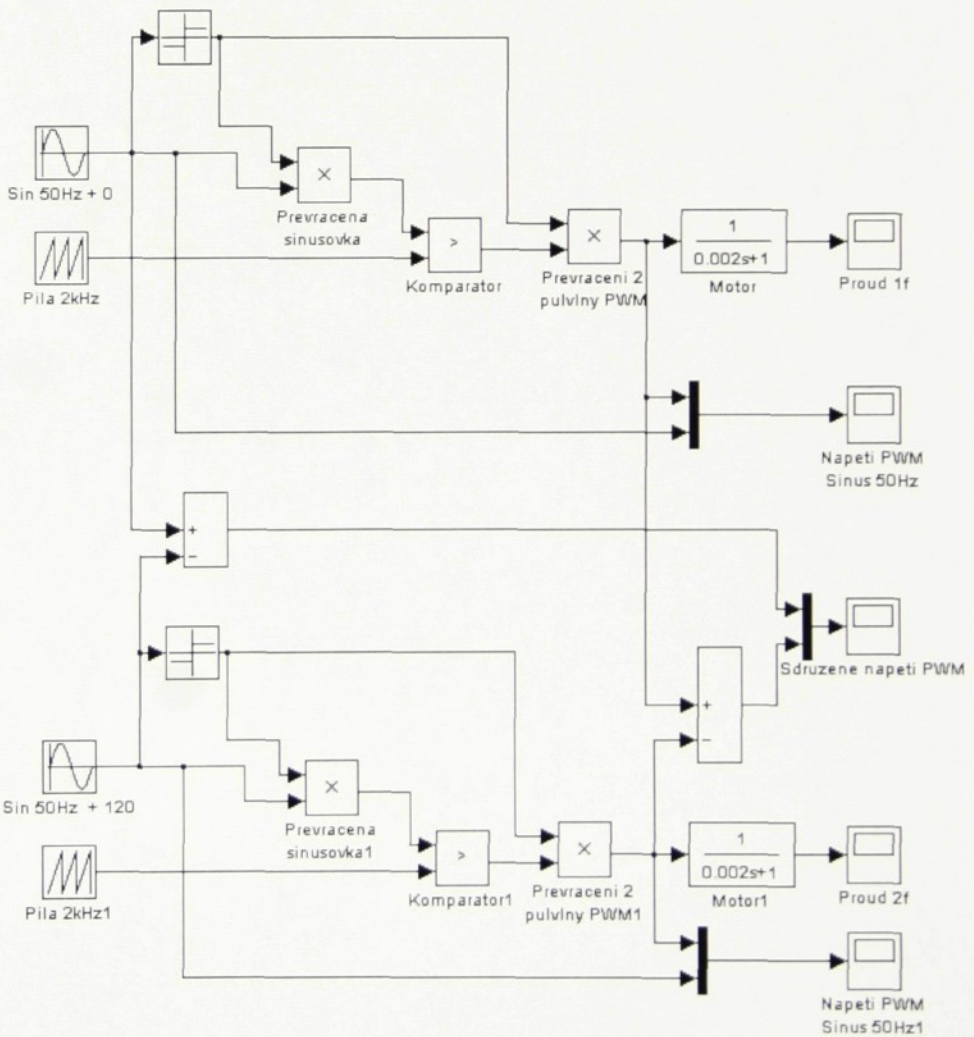
Využití vektorového řízení je výhodné zejména u pohonů s velkými změnami zatížení nebo rychlosti. Rozdíly mezi vektorovým a skalárním řízením jsem vyzkoušel v laboratorních podmínkách. Výsledky jsou uvedeny v odstavci 8.3.

7 Matematický model FM

Abych správně pochopil možnosti řízení pomocí FM, sestavil jsem v MATLABu matematický model tranzistorového střídače. Na něm budu pozorovat průběhy napětí a proudů na výstupu. Tento model zahrnuje unipolární PWM. Výstupem modelu je fázové napětí, proud a sdružené napětí.

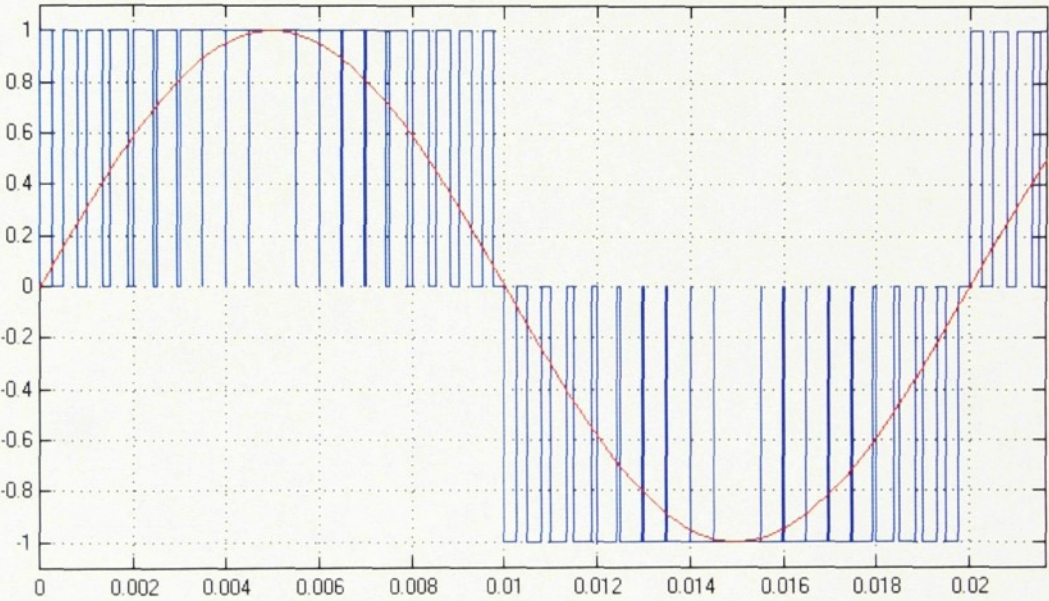
7.1 PWM Modulace

Princip této modulace je jednoduchý. Samotná realizace v praxi je poněkud složitější. Je kladen veliký nárok na řídicí hardware, který řídí spínací tranzistory na výstupu měniče.



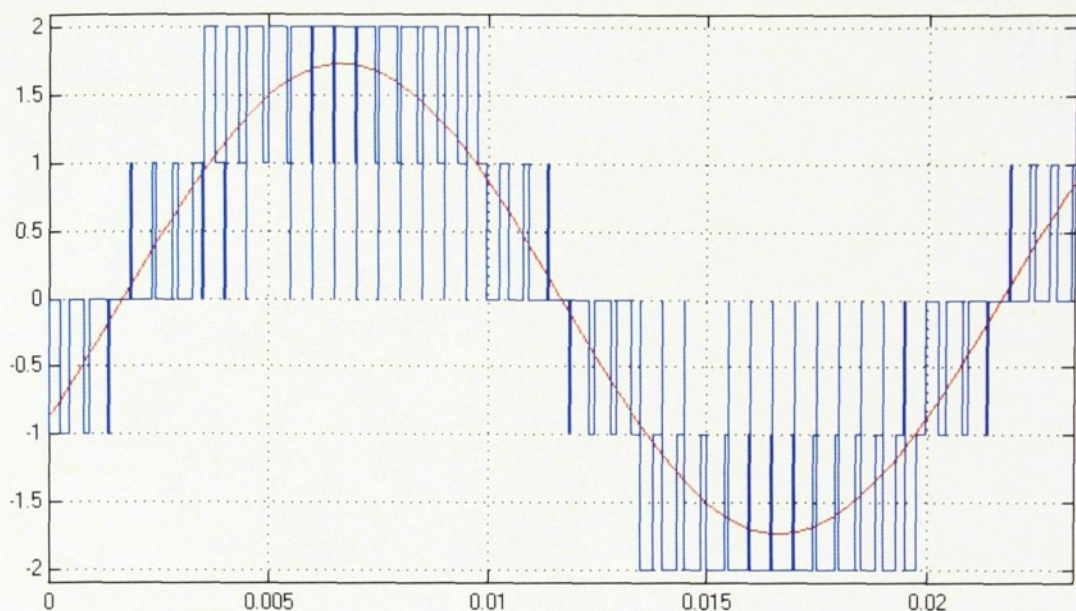
Obr.6.2. Schéma matematického modelu PWM modulace

Nosným signálem je pilové napětí, které je ve FM modulováno zpravidla napětím o frekvenci 50 - 480 Hz. Nosný signál by měl mít alespoň 100 x větší frekvenci než modulační signál. Nosný signál se snažíme volit co nejvyšší, aby nedocházelo k akustickému rušení. U FM lze volit spínací frekvenci od 2kHz do 16 kHz. Tyto signály se pak porovnávají v komparátoru. Je-li amplituda nosného signálu menší než amplituda modulačního, dojde k sepnutí tranzistorů na výstupu FM. Je-li tomu naopak, tranzistory jsou vypnuty. PWM lze použít i pro ss napětí.



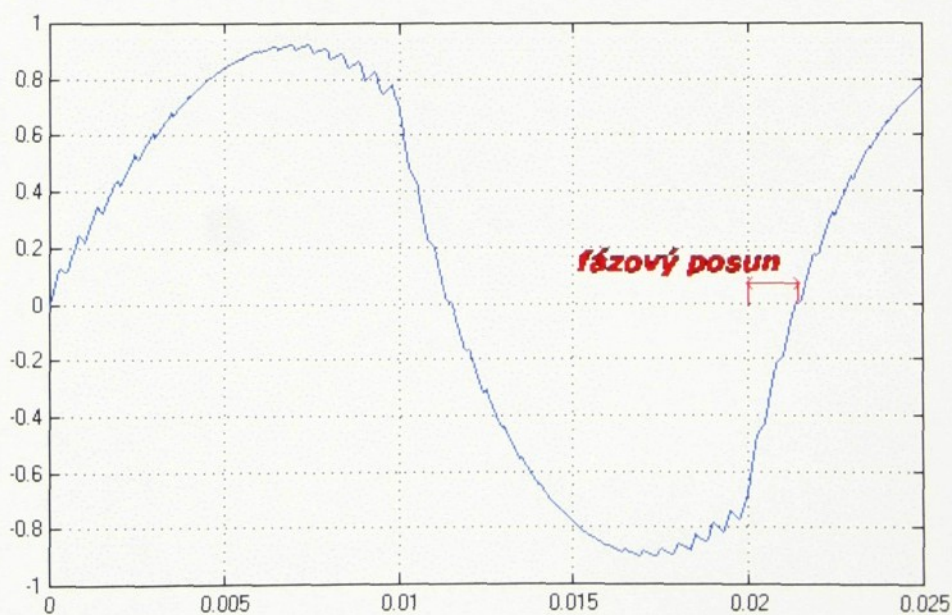
Obr.6.3. Průběh napětí 50 Hz (červená) a pulsy na spínacích tranzistorech (modrá)

Na obrázku č.6.3. je vidět jaký je výsledek PWM modulace (modrá) při modulaci sinusového průběhu (červená). Kdybychom sečetli plochy pod jednotlivými obdélníky dostali bychom stejnou plochu jako při integraci sinusového signálu. Jinak řečeno, oba signály mají stejnou střední hodnotu.



Obr.6.4. Průběh sdruženého napětí 50 Hz (červená) a pulsy na spínacích tranzistorech (modrá)

Průběh na obrázku č.6.4. ukazuje, jak vypadá sdružené napětí po PWM modulaci. Dochází ke zdvojení pulsů vlivem posunutí fází o 120° elektrických.



Obr.6.5. Průběh proudu zátěží induktivního charakteru.

Na obr.6.5. je graf proudu, který teče do zátěže. V mém modelu jsem udělal zátěž indukčního charakteru, tato nejlépe odpovídá spotřebičům, které se často připojují k FM. Kdyby byla zátěž ideální (reálná), byl by proud s napětím ve fázi. Vlivem indukční zátěže se však proud posouvá vůči napětí. Velikost tohoto posunutí je dána časovou konstantou zátěže T .

$$T_M = \frac{L}{R} \quad (7.1)$$

Z těchto grafů je vidět jednoduchost PWM. Bohužel na mém modelu není vidět, jak je složité v praxi realizovat tuto modulaci v 3 fázové soustavě. Díky nové spínací elektrotechnice (IGBT Tranzistory) lze realizovat i výkony řádově kilowatů. Řízení se nejčastěji provádí signálovými procesory, které dokáží zpracovat velké množství instrukcí v reálném čase.

8 Návrh pohonu

Při návrhu motoru jsem vycházel z požadavků firmy Bohemia Trafo s.r.o. Vždy je nutné navrhovat pohon s dostatečnou rezervou, aby nedošlo k poddimenzování pohonu. Po dohodě se zadavatelem jsme se dohodli na těchto parametrech:

- | | |
|--|----------------------------------|
| • maximální otáčky vřetene | $\omega_z = 2000 \text{ ot/min}$ |
| • maximální utahovací síla drátu | $F_N = 29,43 \text{ N}$ |
| • maximální průměr transformátoru, resp. cívky | $r_t = 10 \text{ cm}$ |
| • převod | $k = 1,741$ |
| • rozběh na maximální otáčky | $t = 0,5 \text{ s}$ |

Parametry, které udávají stav maximálního zatížení, prakticky nikdy nenastanou současně. Díky tomu vzniká při návrhu určitá výkonová rezerva, která zajistí předimenzování pohonu.

8.1 Základní zákonitosti a vztahy pro návrh elektrického pohonu

8.1.1 Statický moment a síla působící na soustavu

Mechanická soustava se může nacházet z hlediska chování v některém z těchto možných stavů, a nebo přecházet z jednoho stavu do druhého, což je charakteristické pro většinu případů regulačních pohonů:

- klid /soustava je v klidu ($\omega_k = 0$)/
- rozběh /soustava zvyšuje svoji úhlovou rychlost ($\omega_i = x_r$; $\omega_{i+1} = x_r + \Delta x_r$)/
- chod /soustava je ve stavu, kdy je úhlová rychlost konstantní ($\omega_{ch} = \text{konst.}$)/
- doběh /soustava snižuje svoji úhlovou rychlost ($\omega_i = x_z$; $\omega_{i+1} = x_z - \Delta x_z$)/

Základní rovnice, ze které vycházíme při prvotním koncepčním návrhu pohonu, je dána dynamickou rovnováhou všech momentů sil soustavy /d'Alembertův princip/.

Rotační soustava:

$$\sum_{i=1}^n M_i + M_d = 0 \quad (8.1)$$

zobecněně: $M_z - M + M_d = 0 \quad (8.2)$

$$M_d = J \cdot \frac{d\varpi}{dt} \quad (8.3)$$

$$M = M_z + J \cdot \frac{d\varpi}{dt} \quad (8.4)$$

Pro návrh pohonu jsou vždy určující parametry poháněného zařízení, tzn. že pohon navrhujeme podle pracovního stroje, nikoliv opačně. Pro znázornění průběhů v rovině $M-\omega$ používáme mechanickou charakteristiku $\omega=f(M)$.

Z výše uvedených hodnot vypočítáme potřebný moment na vřetenu navíjecího stroje. Rameno na kterém působí utahovací síla $F_N = 30 \text{ N}$ je $r_t = 5 \text{ cm}$. Moment spočítáme podle vztahu (8.5).

$$M_z = F_N \cdot r_t = 29,43 \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 1,4715 \text{ Nm} \quad (8.5)$$

Toto je maximální statický moment na vřetenu navíjecího stroje. Tento moment musíme přepočítat na hřídel motoru, protože mezi motorem a vřetenem je řemenový převod. $k=1,741$.

Moment na motoru vypočítáme podle vztahu (8.6).

$$M_M = \frac{M_z}{k} = \frac{1,4715}{1,741} = 0,8452 \text{ Nm} \quad (8.6)$$

8.1.2 Statický výkon hnací jednotky

Celkový výkon, který je potřebný na urychlení soustavy a udržení v chodu se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$P_M = M_M \cdot \omega + M_d \cdot \omega \text{ [W]} \quad (8.7)$$

Dynamický moment bude nulový, jestliže bude soustava ve stavu, kdy je úhlová rychlost konstantní. Pak se výkon vypočítá podle vztahu (8.8).

$$P_S = M_M \cdot \omega \quad [W] \quad (8.8)$$

Zde se můžeme dopustit při návrhu chyby. Nelze počítat pouze maximální otáčky soustavy a zatěžovací moment, ale musíme pohon navrhnout tak, aby byl schopen pokrýt výkonové špičky v době akcelerace. Kdybychom nezapočítali dynamické účinky, navržená soustava by se chovala naprosto odlišně od původního záměru a nesplňovala by zadané požadavky.

$$P_S = M_M \cdot \omega = M_M \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = 0,8452 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 3500}{60} = 309,782 \quad W \quad (8.9)$$

Dále musíme dopočítat dynamické účinky rotujících částí stroje, abychom zjistili celkové výkonové zatížení navijecího stroje. Firma Bohemia Trafo s.r.o. si při zadávání úlohy přála, aby se celá soustava urychlila z nulových otáček na maximální otáčky na vřetenu (5000 ot/min) za 3 s. Pro určení tohoto výkonu si nejprve musíme stanovit celkový moment setrvačnosti soustavy.

8.1.3 Dynamický moment a moment setrvačnosti

Nyní se vrátím k dynamickému momentu, který dominantně ovlivňuje přechodový děj při změně úhlové rychlosti pohonu. Tento moment je možné fyzikálně popsat jako odpor rotujícího tělesa, v našem případě hřídeli, proti změně své úhlové rychlosti. Definice zjednodušeného vztahu dynamického momentu uvedeného jako vztah (8.10). Přírůstek dynamického momentu je definován jako urychlení elementu dm tangenciální silou df .

$$dM_d = k^2 \cdot r \cdot df = r \cdot dm \cdot \frac{dr}{dt} = r^2 \cdot dm \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (8.10)$$

Protože všechny elementy hřídele dm se otáčejí stejnou úhlovou rychlostí ω , můžeme derivaci $d\omega/dt$ vytknout před integrál. Další úpravou dojdeme ke vztahu 8.11.

$$M_d = k^2 \cdot \frac{d\omega}{dt} \cdot \int_0^m r^2 \cdot dm \quad [Nm] \quad (8.11)$$

Úpravou tohoto vztahu (8.11) nám vychází rovnice (8.12). Pro moment setrvačnosti J_Z platí definiční vztah:

$$J_Z = \int_0^m r^2 \cdot dm = \rho \cdot 2\pi \cdot l \cdot \int_{r_1}^{r_2} r^3 \cdot dr = \frac{\pi}{2} \cdot \rho \cdot l \cdot (r_2^4 - r_1^4) \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \quad (8.12)$$

Z této definice momentu setrvačnosti plynou pro objasnění dynamiky pohonu velmi důležité poznatky, které zde rozvedu. Z rovnice (8.7) vyplývá, že dynamický moment je nutno co nejvíce minimalizovat, což je možné v zásadě pouze snížením hodnoty momentu setrvačnosti J na nejnižší možnou hodnotu, která je přípustná. Z toho vyplývá zcela logická úvaha, která však byla teprve v nedávných dobách, dovolím si dodat slůvko revolučně, vyřešena.

S nástupem moderních měničů, pracujících s diskretním řízením, všeobecně moderních prostředků pro regulaci pohonů jsme tzv. donutili elektromotory, aby parametry mechanického pohybu ($M-\omega$) byly takové, jaké vyžaduje pracovní stroj. Poté bylo možno vyloučit, v některých případech zbytečně složité převodové mechanismy, které nám zvyšovaly moment setrvačnosti a tím samozřejmě i celý dynamický moment. Takovéto převodové mechanismy zvyšovaly především délku hřídelí a poloměry ramen, na kterých jsou elementy hmotností dm (ozubená kola apod.).

Dynamický moment je závislý na rotujících částech stroje. V případě navíjecího stroje rotuje hřídel vřetene, rotor motoru a navíjený transformátor nebo cívka. Pro následující výpočet jsem potřeboval momenty setrvačnosti jednotlivých dílů. Moment setrvačnosti rotoru udává v katalogu výrobce. U hřídele a transformátoru se musí vypočítat z jejich geometrických tvarů. Při výpočtu budeme vycházet ze vztahu (8.12). V příloze č.1. str.1 jsou uvedeny výpočty jednotlivých částí hřídele. Touto metodou bude výsledek zkreslen, ale pro návrh motoru je to zanedbatelné. Pro přesné určení lze použít nějaký strojně zaměřený program.

Použité materiálové konstanty při výpočtu:

$$\rho_{Fe} = 7843,15 \quad \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\rho_{Al} = 2699,26 \quad \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Pro výpočet jsem použil rozměry z výkresu, který je v příloze č.1. obr. č.1.

$$\begin{aligned}
 J_z &= J_H + J_{OZ1} + J_{OZ2} + J_S + J_V + J_R + J_T = \\
 &= (3,9177 + 2,7173 + 2,9422 + 202,93 + 236,3634 + 151,648 + 43,9159) \cdot 10^{-5} = \\
 &= \underline{\underline{0,00644829}} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (8.13)
 \end{aligned}$$

J_z je moment setrvačnosti na výstupní hřídeli. Abychom mohli vypočítat celkový moment setrvačnosti na hřídeli motoru, musíme tento přepočítat, protože mezi motorem a výstupní hřídelí je řemenový převod. Výpočet provedeme podle následujícího vztahu:

$$J_{red} = \frac{J_z}{k^2} = J_z \cdot \left(\frac{\omega_z}{\omega_M} \right)^2 = 0,00644829 \cdot 1,741^{-2} = 0,002129835 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (8.14)$$

Celkový moment setrvačnosti na hřídeli motoru:

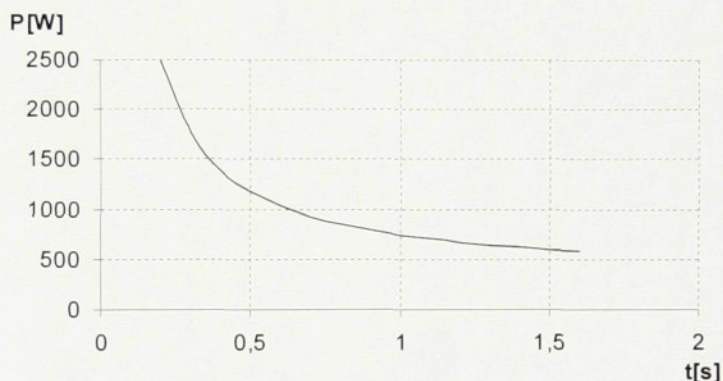
$$J_C = J_M + J_{red} = 0,0011 + 0,002129835 = 0,003229835 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (8.15)$$

Z tohoto výpočtu je vidět, že moment setrvačnosti přepočítaný na hřídel motoru se díky převodu zredukoval. Z toho plyne, že celkový výkon potřebný na urychlení soustavy bude menší než v případě přímého spojení hnací hřídele motoru s hnáným vřetenem navíječky.

8.1.4 Výpočet výkonu

Nyní určíme celkový výkon, který bude soustava odebrat při podmínkách maximálního zatížení. Tento stav nastává při navíjení největšího transformátoru, resp. tlumivky a při maximálním zrychlení vřetene. Podle následujícího vztahu nám vyjde závislost výkonu na času rozběhu vřetene.

$$P_{t1} = \frac{\omega_M^2 \cdot J_C + \omega_M \cdot t \cdot M_Z}{t} = \frac{366,5^2 \cdot 32,298355 \cdot 10^{-4} + 366,5 \cdot 1 \cdot 0,8452}{1} = 743,6 \text{ W} \quad (8.16)$$

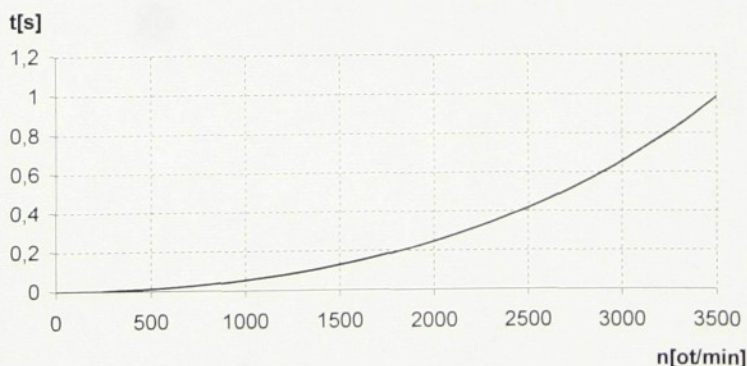


Obr.8.1. Graf výkonu v závislosti na čase rozběhu vřetene

Z grafu na obr.č.8.1. velmi rychle určíme potřebný výkon podle času rozběhu, který zadavatel požadoval v zadání.

Podle tohoto výpočtu jsme určili potřebný výkon, podle kterého můžeme vybrat motor a frekvenční měnič, který k navíjecímu stroji připojíme. Urychlení soustavy se dá spočítat podle následujícího vztahu:

$$t_{750} = \frac{\omega^2 \cdot J_C}{P - \omega \cdot M_Z} \quad (8.17)$$



Obr.8.2. Rozběh navíjecího stroje při výkonu $P=750W$

Z grafu na obr.č.8.2. je vidět, že se vřeteno při výkonu $P_{11} = 750 \text{ W}$ roztočí na otáčky 2000 ot/min za 1s při maximálním zatížení. Toto zatížení je opravdu extrémní. Ve výrobě toto zatížení nenastává, protože při dovíjení transformátoru, kdy je průměr transformátoru největší, nedochází k rozběhu vřetene, resp. nedochází k dovíjení za vysokých rychlostí.

Aby byl návrh proveden správně, musíme k výkonu P_{11} připočítat výkon, který se spotřebuje na překonání disipativních sil. Tento ztrátový výkon lze změřit nebo ho můžeme odhadnout. Odhad se raději dělá vyšší, aby nedošlo k poddimenzování pohonu. Myslím si, že 20 % je dostatečná rezerva na pokrytí výše zmíněných ztrát. Výpočet celkového výkonu lze určit podle vztahu (8.18).

$$P = P_{11} \cdot 1,2 = 743,6 \cdot 1,2 = 892,32 \text{ W} \quad (8.18)$$

Podle velikosti celkového výkonu $P=892 \text{ W}$, který je potřebný k navíjení transformátorů na stroji METEOR ME301, a podle požadavků výrobce můžeme vybrat motor a FM o odpovídajícím výkonu. Podrobný rozbor návrhů pohonů je uveden v [1].

8.2 Volba frekvenčního měniče

V současné době je na našem trhu velké množství výrobců, kteří se zabývají výrobou a prodejem FM. Českým výrobcem FM je firma FRECON. Zahraniční výrobci jsou např. SIEMENS, HITACHI, LENZE, OMRON, YASKAWA a jiné. Výběr je opravdu široký. Výrobci se stále snaží ulehčit uživatelům jejich produktu práci při instalaci, parametrizaci a ovládání. Díky tomu jsou FM tak oblíbeny mezi elektrotechniky. Když se porovnájí možnosti a ceny jednotlivých produktů, zjistíme, že u špičkových výrobců (SIEMENS, LENZE, OMRON) jsou ceny i výbava FM velmi podobné. Pro většinu aplikací je možno použít téměř vždy některý FM z nabízené řady špičkových výrobců. Potřebujeme-li speciální funkce, je zapotřebí větší trpělivosti při výběru. Mohlo by se stát, že si koupíme FM, který nemá potřebný počet vstupů, výstupů nebo jiných komponentů, které budou pro danou realizaci nutné. Při výběru je nutné hledět na cenové nabídky jednotlivých obchodníků a porovnávat a zvažovat, neboť někdy na první pohled levnější FM, srovnatelných parametrů, je dražší, protože cenová nabídka neobsahuje např. filtr.

8.2.1 Požadavky na FM pro navíjecí stroj METEOR 301

FM jsem vybíral podle následujících parametrů, které musí bezpodmínečně splnit:

- alespoň 4 digitální vstupy
- 1 analogový vstup/výstup
- 2 digitální výstupy
- 1 frekvenční vstup
- výkon $P=750W$
- vnitřní relé (není nezbytně nutné)
- filtr
- dobré programové vybavení pro nastavení
- rozhraní RS232
- dlouhá životnost
- vysoká spolehlivost

Podle těchto předem určených parametrů jsem vybral FM od Firmy LNEZE. Má volba se řídila výše popsanou filozofií v odstavci 8.2 . Tento frekvenční měnič vyniká revolučním parametrizováním (uvedeno v odstavci 9.6) a prodejce mi provedl jeho dokonalou prezentaci. Svoji roli sehrála i blízkost zastoupení firmy LENZE od zadavatele.

Po všech těchto úvahách jsem zvolil FM od firmy LENZE, Vector **E82EV751 K2B**. Ke každému FM od firmy LENZE si můžeme vybrat dva moduly vstupů a výstupů.

První možností je standardní modul vstupů/výstupů

Vstupy:	počet
• digitální vstupy	6
• analogový vstup	1
Výstupy:	
• analogový výstup (výstupní frekvence)	1
• digitální výstup	1

Druhou možností je aplikační modul vstupů/výstupů. Tento modul nabízí daleko více možností, proto je možné FM připojovat i do složitějších řídicích obvodů.

Vstupy:	počet
• analogové vstupy napěťové	4
• analogové vstupy proudové	2
• digitální vstupy	6
• digitální výstupy	2
• frekvenční vstupy	2

Výstupy:	počet
• digitální výstupy	2
• analogové výstupy (výstupní frekvence)	1

Zvolil jsem aplikační modul s ohledem na budoucí rozšíření. Mělo by se jednat o digitální programovatelné počítání navinutých závitů s rozlišením 1/4 závitu. Počítání otáček by mělo být obousměrné. Cena tohoto řešení představuje částku cca 15 000,- Kč. Zadavatel se z finančních důvodů rozhodl pouze pro přípravu pro počítání otáček. Pro toto řešení je nutné použít aplikační vstupní modul, a tím dojde k cenovému navýšení cca 800,- Kč, což je rozdíl mezi cenami standardního a aplikačního vstupního modulu.

Základní technické parametry FM Vector **E82EV751 K2B**

jmenovitý výkon	$P_J = 750 \text{ W}$
napájecí napětí	$U_N = 230 \text{ V}$
jmenovitý proud ze sítě	$I_{sít} = 9 \text{ A}$
jmenovitý výstupní proud při 8 kHz	$I_{N8} = 4 \text{ A}$
max. výstupní proud po dobu 60s	$I_{max8} = 6 \text{ A}$
ztrátový výkon při provozu 8 kHz	$P_z = 60 \text{ W}$

Tento FM lze provozovat s přetížením 150% po dobu 60s. To znamená, že FM Vector E82EV751 K2B může přechodně dodávat do zátěže (motoru) 1125 W. Tento výkon s rezervou pokryje režimy rozběhu vřetene při daných podmínkách zadavatelem, které jsou uvedeny v odstavci 8.

Podrobnější technické údaje jsou uvedeny v technické dokumentaci firmy LENZE [2].

8.3 Volba motoru

Před vlastní volbou motoru jsem provedl měření proudu v jedné fázi. Výsledky měření jsou uvedeny v Tab.1. Měření bylo prováděno na dvou motorech firmy SIEMENS s jmenovitým výkonem 0,75 kW a 1,1 kW. Toto měření rozhodlo o výběru motoru a o použitém řízení.

P = 0,75 kW				P = 1,1 kW		
Režim řízení	U/f	U/f + PID	Vector	Režim řízení	U/f	Vector
f [Hz]	I[A]	I[A]	I[A]	f [Hz]	I[A]	I[A]
1	0,55	0,7	1,4	1	0,9	1,5
2	0,8	0,9	1,2	2	1,2	1,4
3	1	1,1	1,2	3	1,35	1,5
4	1,1	1,1	1,2	4	1,5	1,5
5	1,2	1,2	1,2	5	1,6	1,5
10	1,5	1,5	1,2	10	1,9	1,5
20	1,8	1,5	1,2	20	2,1	1,5
30	1,9	1,5	1,3	30	2,2	1,5
40	1,9	1,5	1,3	40	2,2	1,5
45	2	1,5	1,3	50	2,1	1,6
50	1,7	1,5	1,3			

Tab.1. Tabulka naměřených hodnot pro dva motory různých výkonů a v různých režimech řízení.

Z naměřených hodnot je vidět, jak se mění proud v režimu U/f. Největší změna proudu je v oblasti 1 – 5 Hz. Je to způsobeno nelinearitou zátěže pro malé frekvence a

dnoduchý způsob řízení U/f neumožňuje zohlednění této chyby, která při tomto řízení astává.

Při řízení AM s otáčkovou zpětnou vazbou, která byla realizována pomocí IRC idla, je v oblasti 1-5 Hz také patrná změna statorového proudu. Při zatížení (zpomalení akou) toto řízení vykazovalo větší dynamiku než řízení U/f.

Nejlepších výsledků bylo dosaženo u vektorového řízení, kdy proud statorového inutí kolísá v pásmu 0,1 A. Dynamika tohoto systému byla výborná. Motor byl chopen překonat zatížení (zabrzdnění rukou) už při otáčkách 2 ot/s.

Měření bylo provedeno při chodu na prázdno bez zatížení, protože jsem neměl dispozici zdroj přesně definovaného zatížení. K měření proudu a otáček motoru jsem oužil programové vybavení firmy LENZE. Z toho plyne, že měření bylo především nformativní a je možné si z něho udělat určitý náhled.

Měření jsem prováděl, abych zjistil, o kolik větší statorový proud poteče motorem o výkonu 1,1 kW oproti motoru s výkonem 0,75 kW. Z výsledku jsem usoudil, že rozdíl e nepatrný a vybraný FM nijak výrazně nezatíží, když použijeme motor o větším výkonu. Použití motoru s vyšším výkonem je hlavně důležitý z hlediska chlazení motoru při malých otáčkách (při počátečním navíjení transformátoru). Při použití motoru s větším výkonem se motor nebude tolik hřát a není zapotřebí investice do lahého externího chlazení, které stojí cca 5 000,- Kč. Cenový rozdíl motorů je jen cca 100,- Kč.

Z výše uvedených důvodů jsem vybral motor o výkonu 1,1 kW. Jako nejvhodnější i cenově dostupný byl motor od firmy SIEMENS. Tyto motory konstrukčně vychází z motorů firmy MEZ Mohelnice. Firma SIEMENS převzala celou technologii výroby od firmy MEZ Mohelnice a pokračuje ve výrobě velmi kvalitních a spolehlivých motorů.

Motor: třífázový asynchronní motor s kotvou nakrátko, zavřený 1LA7, patkový.

Typ motoru: 1LA7083 - 2AA10

Otáčky	2845 ot/min
Účinník	0,87
Jmenovitý výkon	1,1 kW
Jmenovitý proud (400V)	2,4 A
Jmenovitý moment	3,7 Nm
Poměrný záběrný proud [I_z/I_n]	6,1
Poměrný záběrný moment [M_z/M_n]	2,6
Moment setrvačnosti	0,0011 kgm ²



Obr. 8.3. Asynchronní motor SIEMENS

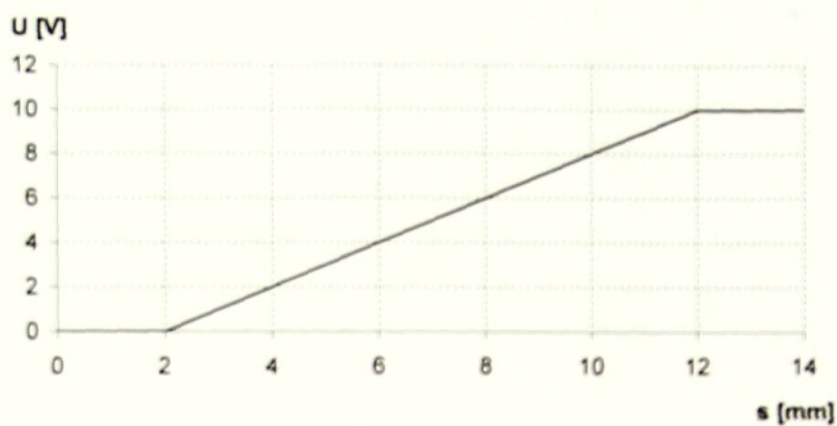
Pro zamezení možnosti zničení motoru přehřátím jsem chtěl nechat motor dodatečně dovybavit termokontakty. U výrobce by objednávka dovybavení byla vyřízena ve lhůtě cca 6 měsíců, ale navrhl mi možnost dovybavení u Rony Elektronik s.r.o., která je schopna tento zásah do motoru udělat v podstatně kratší době cca 14 dní.

7.4 Rozbor možností zadávání žádané hodnoty a výběr čidla

V odstavci 2.2. byly popsány nevýhody mechanického zadávání žádané hodnoty. Proto se zaměřím pouze na bezkontaktní zadávání žádané veličiny, abych se vyvaroval chybnému řešení. V tomto případě to jsou otáčky vřetene.

Při výběru možností zadávání žádané veličiny jsem byl omezen mechanickým řešením stávajícího pedálu (viz příloha č.3 obr.2). Je třeba zajistit mechanické uchycení čidla, tak aby se vešlo do vymezeného prostoru a zároveň bylo možné vyhodnotit polohu pedálu ve snímaném směru.

Na trhu je nepřeberné množství snímačů polohy, které pracují na různých fyzikálních principech. odporové, kapacitní, indukční, indukčnostní, ultrazvukové, optické. Myslím si, že pro stanovení polohy pedálu lze využít jakýkoliv z výše zmíněných principů. Optické řešení by bylo asi komplikované a s odporovým snímačem polohy bychom se dostali do situace, která by neřešila problém poruch při zadávání žádané veličiny. Zvolíme tedy jeden z bezkontaktních snímačů. Pro toto konkrétní řešení byl zvolen indukčnostní snímač od firmy TURCK s typovým označením Ni15-M30-LIU. Napájení snímače je z FM 24V. Výstup je možný proudový 0-20 mA i napěťový 0-10 V.



Obr. 8.4. Snímací charakteristika snímače TURCK NI15-M30-LIU

Z obrázku 8.4. je vidět, že snímací charakteristika je lineární, což je důležité pro plynulou regulaci otáček vřetene. Podrobné technické údaje jsou uvedeny v [4] str.S1.4-3/0199.

9 Praktická realizace

9.1 *Mechanické uchycení motoru a realizace převodu*

Mechanické uchycení nového motoru bylo provedeno podobným způsobem jako předchozího střídavého komutátorového motoru. Vzhledem k rozdílným rozměrům patek jsem musel upravit otvory v základní desce navíječky. Pro možné napínání řemene je motor uložen pohyblivě v kolejničkách, které jsou připevněny k základní desce. Důležité bylo zachování rovnoběžného směru os motoru a vřetene. Při nedodržení rovnoběžnosti by docházelo k nadměrnému opotřebení řemene a při velké nesouososti i k jeho vypadnutí a přerušení pohonu. Převod byl realizován pomocí stávající řemenice na vřetenu. Na motor jsem nechal upravit starší řemenici tak, aby bylo možné její uchycení na hřídel AM. Obě řemenice jsou vyrobeny z hliníku a jsou odlehčené. Celé řešení je patrné z přílohy č.3. obrázku č.10.

9.2 *Realizace a mechanické uchycení elektrického rozvaděče*

Rozvaděč jsem vybíral s ohledem na jeho rozměry a materiál, ze kterého je vyroben. Vzhledem k tomu, že nemám dostatek zkušeností, provedl jsem konzultaci se zkušeným elektrikářem, který se zabývá elektroinstalací a rozvaděči již dlouhá léta. Po konzultaci jsem vybral rozvaděč plechový. Rozměry rozvaděče byly odvozeny od počtu vestavěných komponentů. Dále byl zohledněn ztrátový výkon FM, který činí 60W, a ten je potřeba z rozvaděče odvádět. Rozměr rozvaděče je 40 x 50 x 20 cm. Zapojení rozvaděče bylo provedeno dle schématu viz. příloha č.2. obr.č.2. a obr.č.3. Celkové zapojení rozvaděče je vidět na obrázku č.7. v příloze č.3.

Zapojení i schéma jsem navrhl tak, aby při opravě bylo možné identifikovat jednotlivé ovládací signály. Proto jsem tyto vodiče opatřil popisky. Rozvaděč je vybaven hlavním vypínačem, který vypíná nebo zapíná celou navíječku. Pro větší bezpečnost jsem ještě opatřil rozvaděč START a STOP tlačítky. Ta zajišťují blokování FM měniče. Je-li zapnut hlavní vypínač a nebylo-li stisknuto tlačítko START, nebude FM pouštět elektrickou energii do motoru, a tím se zamezí náhodnému roztočení vřetene. Při odchodu je obsluha vždy povinna stisknout tlačítko STOP. Tento obvod také chrání FM od častého zapínání a vypínání od elektrické sítě, které škodí kondenzátorům ve stejnosměrném meziobvodu. Upevnění rozvaděče na navíjecí stroj jsem situoval tak, aby jeho ovládací prvky byly dobře dosažitelné z místa obsluhy.

9.3 *Popis rozvodu elektroinstalace*

Elektroinstalaci jsem navrhl s ohledem na dobrý přístup při možných opravách. Velká část elektroinstalace zůstala původní, neboť vyhovovala celkové koncepci. V původní elektroinstalaci jsem provedl několik drobných změn. Byl odpojen starý motor, hlavní vypínač navíječky (je nahrazen hlavním vypínačem na rozvaděči) a regulační reostat byl nahrazen snímačem na pedálu. Původní elektroinstalace je velmi špatně přístupná, protože je z druhé strany základní desky navíjecího stroje. Při měření a ověřování el. zapojení jsem musel neustále pod strojem ležet.

Motor je připojen k FM pomocí 4 žilového stíněného kabelu, aby nedocházelo k rušení okolních zařízení a naopak k indukovaní parazitních napětí do vedení. Z motoru vede 2 žilový kabel, který je připojen k FM. Frekvenční měnič je přímo vybaven vstupy T1 a T2, do kterých jsou připojeny termokontakty motoru. Při rozepnutí termokontaktů FM odpojí motor od napájecího napětí. Chyba je signalizována červenou LED diodou přímo na FM. Motor bude odpojen až do té doby, než se sníží teplota vinutí.

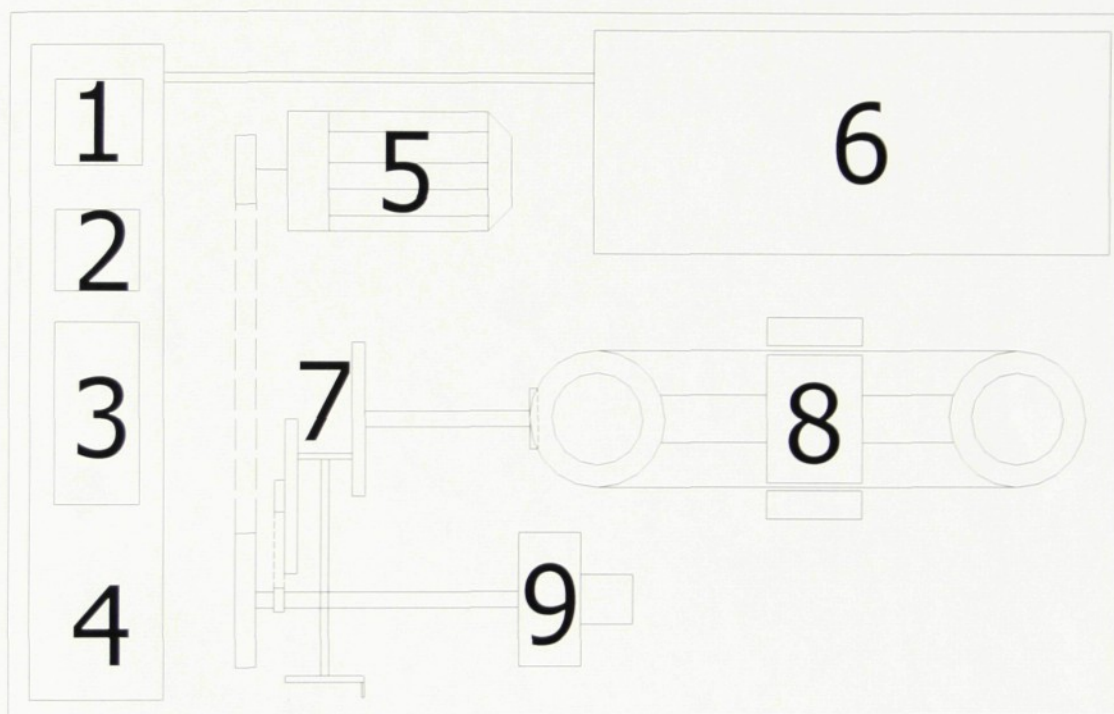
Logické signály jsou vyvedeny z rozvaděče na svorkovnici, která je umístěna pod základní deskou navíjecího stroje. Z této svorkovnice jsou logické signály rozvedeny k příslušným zařízením (počítadlo, ovládání směru,..). Všechny kabely, které vedou od stroje do rozvaděče, jsou vedeny plastovou lištou, aby byla zjištěna mechanická zástavba. Vše je dobře vidět v příloze č.3. obr.č.9.

9.4 *Realizace snímání polohy pedálu a mechanické upevnění snímače*

Při návrhu bylo zapotřebí zrealizovat mechanismus, který zajistí transformaci rotačního pohybu (pohyb pedálu) na pohyb translační (pohyb plechové clonky). Tuto transformaci lze zrealizovat pomocí klikového mechanismu. Mechanická realizace je v příloze č.3. obr.č.6.

9.5 Blokové schéma modernizované navíječky METEOR ME301

Navíjecí stroj jsem zapojil podle blokového schématu na obr.č.9.1. V rozvaděči (4) je instalován FM (1), tlumivka (2) a ovládací a ochranné prvky (3). Motor (5) pohání vřeteno (9) přes řemenový převod. Od otáček vřetene se odvozuje rychlost posuvu rozváděcího kolečka drátu. Variátor (7) zajišťuje plynulou změnu převodu (posuvu). Variátor pohání kolo s hřebenovým ozubením, na kterém je připevněn nekonečný plechový pásek. Elektromagnet (8) se přichytí buď na jednu, nebo druhou stranu plechového pásku. Tím se dosáhne změny směru posuvu. Blok číslo (6) představuje původní elektroinstalaci.



- | | | |
|------------------------------|---|------------|
| 1. frekvenční měnič | 5. motor | 9. vřeteno |
| 2. tlumivka | 6. původní elektroinstalace | |
| 3. ovládací a ochranné prvky | 7. variátor | |
| 4. rozvaděč | 8. rozváděcí mechanismus navíjeného drátu | |

Obr.9.1. Blokové schéma modernizované navíječky METEOR ME301

9.6 Parametrizace frekvenčního měniče

Ve většině případů lze FM parametrizovat dvěma způsoby. Parametrizaci provádíme pomocí ovládacího panelu přímo na FM. Tento způsob se používá hlavně tam, kde je potřeba několikrát během směny měnit parametry pohonu v závislosti na vyráběném výrobku. K tomu je potřeba manuál od FM, abychom věděli, jaký význam má parametr, který budeme měnit. Tento způsob je poměrně zdlouhavý a nevhodný pro počáteční nastavení FM, ale vhodný pro rychlé změny několika parametrů při výrobě. Druhý způsob parametrizace je mnohem elegantnější a přehlednější. Parametrizace se provádí pomocí PC, které je k FM připojeno pomocí průmyslové směrnice (RS232, RS485, RS422, CANBUS, PROFIBUS). Většinou se používá rozhraní RS232. V průmyslu při automatizovaném řízení pomocí PLC automatů se používají průmyslové sběrnyce. V tomto případě jsem použil k parametrizaci FM rozhraní RS232 a přenosné PC s programovým vybavením firmy LENZE (Global Drive).

9.6.1 Popis programu Global Drive

Program Global Drive nabízí dvě varianty parametrizace. První je standardní jako u ostatních výrobců. Editují se postupně jednotlivé parametry v tabulce. Při programování se musí dávat pozor na závislost jednotlivých parametrů, které se vzájemně ovlivňují. Tento způsob vyžaduje dobrou znalost vnitřní struktury FM při programování složitějších aplikací. V současné době je to nejrozšířenější způsob parametrizace, který výrobci nabízejí.

Druhou variantou je bloková parametrizace FM. Firma LENZE vyvinula tento systém, který je uživatelsky velmi příjemný. Pro nastavení FM jsem použil blokovou parametrizaci.

9.6.2 Popis funkčních bloků FM

Programování FM je logicky rozděleno do několika bloků. Blok vždy obsahuje ucelený soubor parametrů, který spolu funkčně souvisí.

Seznam funkčních bloků FM LENZE Vector **E82EV751 K2B** je uveden v Tab.2.

označení	Název bloku	svorky
AIN1, AIN2	analogové vstupy	1U,1I,2U,2I
DFIN1	Frekvenční vstup	E1,E2 0..100 kHz
DIGIN1	Digitální vstupy	E1,E2,E3,E4,E5,E6
MPOT1	motorpotenciometr	
NSET1	úprava žádané hodnoty otáček	
PCTRL1	procesní regulátor a zpracování otáček	
MCTRL1	ovládání a diagnostika motoru	
DCTRL1	logické ovládání a zprac. ext. signálů	
AOUT1, AOUT2	analogový výstup	62, 63
DFOUT1	digitální frekvenční výstup	A4
DIGOUT1,DIGOUT2	digitální výstupy	A1,A2
RELAY	spínací/rozpínací relé	K11, K12, K14

Tab.2. Seznam funkčních bloků

Žádaná hodnota prochází jednotlivými bloky, které ji zpracovávají, a dále ji předávají dalším blokům. Spojení některých bloků je nastaveno od výrobce a není možné je přerušit nebo změnit. Důvodem je zachování základních funkcí FM. Propojení se týká bloků NSET1, PCTRL1 a MCTRL. Toto spojení zajišťuje průchodnost žádané veličiny frekvenčním měničem. Nemůže se tedy stát, že by uživatel přerušil jedno z těchto spojení, a tím by vyřadil FM z provozu. Výrobce tím předchází zbytečným chybám, které by se špatně odhalovaly.

Global Drive dále umožňuje diagnostikování dostupných veličin. To se hlavně využívá při programování, kdy je potřeba kontrolovat některé veličiny, které nemáme možnost jednoduše měřit. Můžeme kontrolovat např. proud do motoru, napětí stejnosměrného meziobvodu, frekvence vstupních pulsů z inkrementálního čidla a jiné. Nelze diagnostikovat všechny signály, které jsou v systému nabízeny. Mnohem širší možnosti nabízí servo FM od firmy LENZE, se kterým jsem se měl možnost také částečně seznámit.

10 Závěr

V této diplomové práci jsem se zabýval modernizací navíjecího stroje švýcarské firmy METEOR ME 301, který byl vyroben v roce 1968. Z podmínek zadání vyplynula nutnost výměny pohonové jednotky a náhrada regulace rychlosti navíjení.

Celý návrh vychází ze statického a dynamického zatížení soustavy spolu s limitním momentem setrvačnosti navíjených cívek a vlastních rotujících součástí stroje a při současném uvažování mechanických ztrát. Výpočet momentu setrvačnosti rotujících částí jsem provedl ručně, neboť jsem neměl k dispozici žádný strojně orientovaný (CAD) program. Za pomoci výpočetního programu bych mohl dosáhnout větší přesnosti, která by však neovlivnila významně vlastní řešení. Pohon je poměrně předimenzován, takže nedojde k jeho přetížení. S ohledem na mechanickou robustnost zařízení a elektrické parametry motoru, rozvaděče a frekvenčního měniče je zajištěna velká spolehlivost zařízení při téměř zanedbatelném zvýšení pořizovací ceny.

Podle výsledků návrhu jsem vybral potřebné komponenty pro realizaci. FM od firmy LENZE s typovým označením E82EV751 K2B, motor SIEMENS 1LA7083 - 2AA10. Dále jsem se zabýval možnostmi zadávání žádané hodnoty. Rozhodl jsem se pro lineární čidlo polohy TURCK Ni15-M30-LIU.

Vlastní praktická realizace modernizace stroje se skládala z několika kroků:

- Laboratorní odzkoušení pohonu, které sloužilo hlavně k porovnání jednotlivých způsobů řízení AM. Ze zkoušek vyplynulo, že vektorové řízení je pro mé zadání nejvýhodnější.
- Pro pochopení celého FM jsem nastudoval jeho vnitřní zapojení, a tím jsem si i ověřil fungování jednotlivých bloků. Po důkladném seznámení a vyzkoušení jsem provedl předběžné nastavení jednotlivých parametrů před montáží na stroj.
- Stávající elektroinstalaci ME 301 jsem upravil a začlenil nové prvky dle schéma v příloze č.2 obr.2. a obr.3. Motor i rozvaděč jsem mechanicky upevnil tak, aby ovládání stroje bylo pro obsluhu co nejvíce pohodlné.
- Po kompletním mechanickém i elektrickém uspořádání přišla na řadu parametrizace FM přímo na strojním zařízení.
- Po několikadenním zkušebním provozu se ukázalo, že citlivost snímače polohy (ovládacího pedálu) je při začátku navíjení velká a činí obsluhu potíže. Nedostatek jsem odstranil za pomoci změny parametrů u FM. Vhodnou parametrizací jsem

lineární závislost ovládacího pedálu, změnil na parabolickou, což snížilo citlivost ovládacího pedálu při rozjezdu.

Moje práce vyřešila zadání s nákladem cca 23 000,- Kč. Parametry i užitné vlastnosti se téměř přiblížily novému strojnímu zařízení FW110, jehož pořizovací hodnota činí cca 490 000,- Kč. Myslím si, že navržený pohon splňuje všechny požadavky zadavatele.

V současné době je zařízení již cca 6 měsíců v bezporuchovém denním provozu k plné spokojenosti zadavatele.

Použitá literatura

- [1] Pavelka, J., Čeřovský, Z., Javůrek, J.: Elektrické pohony, skript. ČVUT FEL, Praha, 2001
- [2] Technická dokumentace firmy LENZE.
- [3] Technická dokumentace firmy SIEMENS.
- [4] Technická dokumentace firmy TURCK
- [5] Technická dokumentace firmy METEOR

Příloha č.1. – Výpočet momentu setrvačnosti hnané hřídele s vřetenem

- výpočet momentu setrvačnosti hřídele

$$J_H = \int_0^m r^2 \cdot dm = \rho \cdot 2\pi \cdot l \cdot \int_{r_1}^{r_2} r^3 \cdot dr = \frac{\pi}{2} \cdot \rho_O \cdot l \cdot (r_2^4 - r_1^4) =$$

$$= \frac{\pi}{2} \cdot 7843,15 \cdot 0,318 \cdot 0,01^4 = 3,9177 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- výpočet momentu setrvačnosti ozubeného kola 1

$$J_{OZ1} = \frac{\pi}{2} \cdot \rho_{Fe} \cdot l \cdot (r_2^4 - r_1^4) = \frac{\pi}{2} \cdot 7843,15 \cdot 0,03 \cdot (0,017^4 - 0,01^4) = 2,7173 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- výpočet momentu setrvačnosti ozubeného kola 2

$$J_{OZ1} = \frac{\pi}{2} \cdot \rho_{Fe} \cdot l \cdot (r_2^4 - r_1^4) = \frac{\pi}{2} \cdot 7843,15 \cdot 0,08 \cdot (0,017^4 - 0,01^4) = 0,7246 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{OZ2} = \frac{\pi}{2} \cdot \rho_{Fe} \cdot l \cdot (r_2^4 - r_1^4) = \frac{\pi}{2} \cdot 7843,15 \cdot 0,012 \cdot (0,02^4 - 0,01^4) = 2,2176 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{OZ2} = J_{OZM} + J_{OZV} = (0,7246 + 2,2176) \cdot 10^{-5} = 2,9422 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- výpočet momentu setrvačnosti setrvačnicku

$$J_S = \frac{\pi}{2} \cdot \rho_{Fe} \cdot l \cdot r^4 = \frac{\pi}{2} \cdot 7843,15 \cdot 0,018 \cdot 0,055^4 = 2,0293 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- výpočet momentu setrvačnosti vřetene

$$J_{V1} = \frac{\pi}{2} \cdot \rho_{Fe} \cdot l \cdot r^4 = \frac{\pi}{2} \cdot 7843,15 \cdot 0,02 \cdot 0,0205^4 = 4,3517 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{V2} = \frac{\pi}{2} \cdot \rho_{Fe} \cdot l \cdot r^4 = \frac{\pi}{2} \cdot 7843,15 \cdot 0,01 \cdot 0,0255^4 = 5,2092 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{V3} = \frac{\pi}{2} \cdot \rho_{Fe} \cdot l \cdot r^4 = \frac{\pi}{2} \cdot 7843,15 \cdot 0,04 \cdot 0,04^4 = 12,6157 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{V4} = \frac{\pi}{2} \cdot \rho_{Fe} \cdot l \cdot r^4 = \frac{\pi}{2} \cdot 7843,15 \cdot 0,02 \cdot 0,045^4 = 10,1040 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_V = J_{V1} + J_{V2} + J_{V3} + J_{V4} = (4,3517 + 5,2092 + 126,157 + 101,040) \cdot 10^{-5} =$$

$$236,3634 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- výpočet momentu setrvačnosti řemenice

$$J_{\dot{R}1} = \frac{\pi}{2} \cdot \rho_{Al} \cdot l \cdot r^4 = \frac{\pi}{2} \cdot 2699,26 \cdot 0,02 \cdot 0,038^4 = 1,7279 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{K2} = \frac{\pi}{2} \cdot \rho_{Al} \cdot l \cdot (r_2^4 - r_1^4) = \frac{\pi}{2} \cdot 2699,26 \cdot 0,02 \cdot (0,0505^4 - 0,031^4) = 4,732 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{R3} = \frac{\pi}{2} \cdot \rho_{HO} \cdot l \cdot (r_2^4 - r_1^4) = \frac{\pi}{2} \cdot 2699,26 \cdot 0,02 \cdot (0,061^4 - 0,0435^4) = 8,7049 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{\hat{R}} = J_{\hat{R}1} + J_{\hat{R}2} + J_{\hat{R}3} = (1,7279 + 4,732 + 8,7049) \cdot 10^{-4} = 151,648 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- výpočet momentu setrvačnosti navíjeného transformátoru

$$J_T = \frac{1}{12} \rho_{Cu} \cdot a \cdot b \cdot l \cdot (a^2 + b^2) =$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 8940 \cdot 0,095 \cdot 0,01 \cdot 0,068 \cdot (0,095^2 + 0,01^2) = 0,000439159 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- celkový moment setrvačnosti

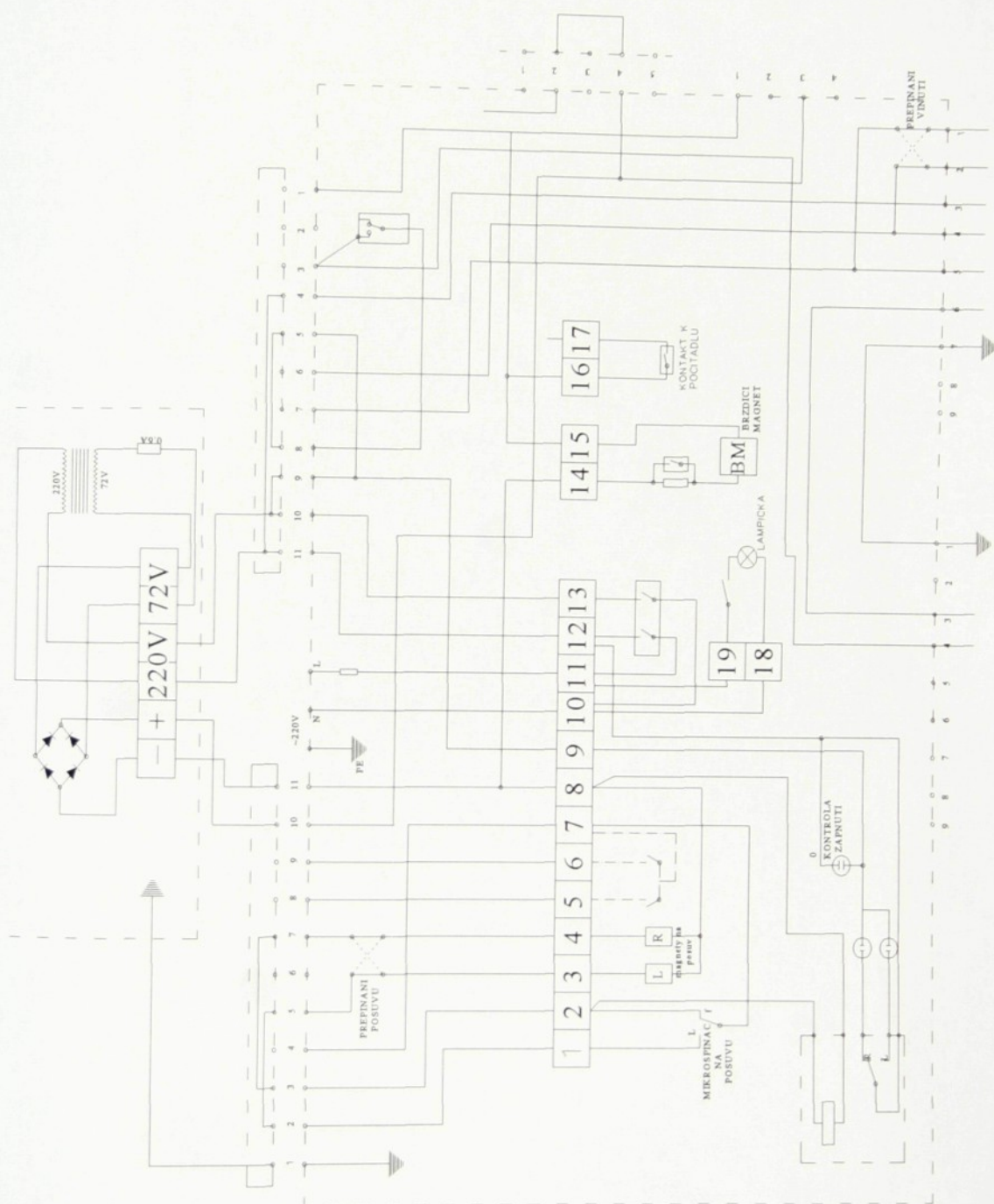
$$J_z = J_H + J_{OZ1} + J_{OZ2} + J_S + J_V + J_R + J_T =$$

$$(3,91 + 2,71 + 2,94 + 202,93 + 236,36 + 151,64 + 43,9159) \cdot 10^{-5} = 0,00644829 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

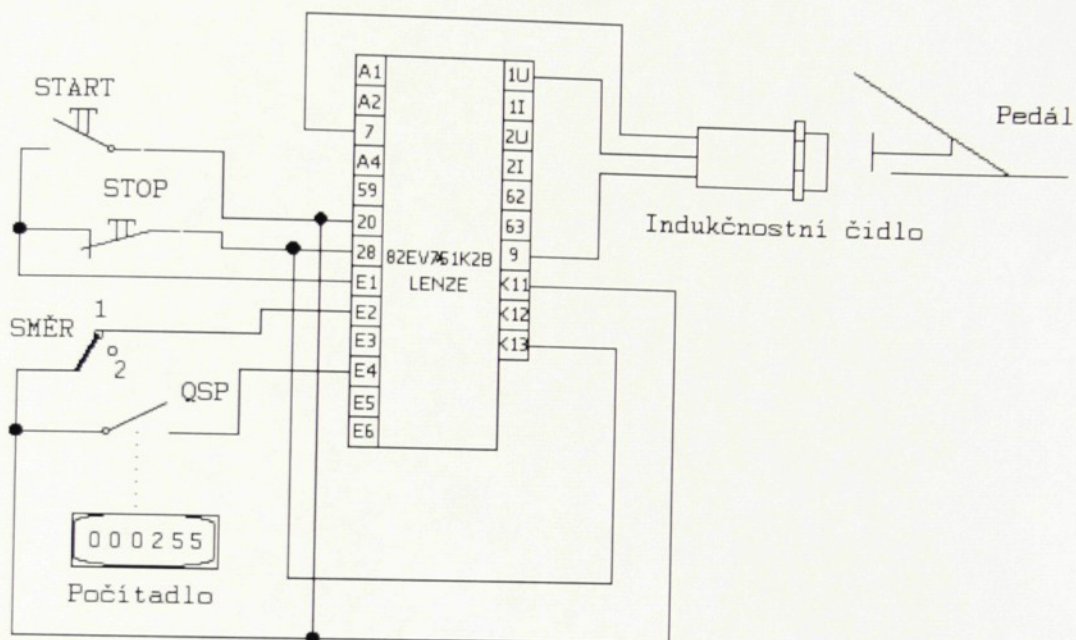
Poznámka: Indexy jsou shodné s výkresem na obr.č.1

Obr. 1. Zjednodušené schéma řemenice, hřídele a vřetene, který byl použit při výpočtu momentu setrvačnosti

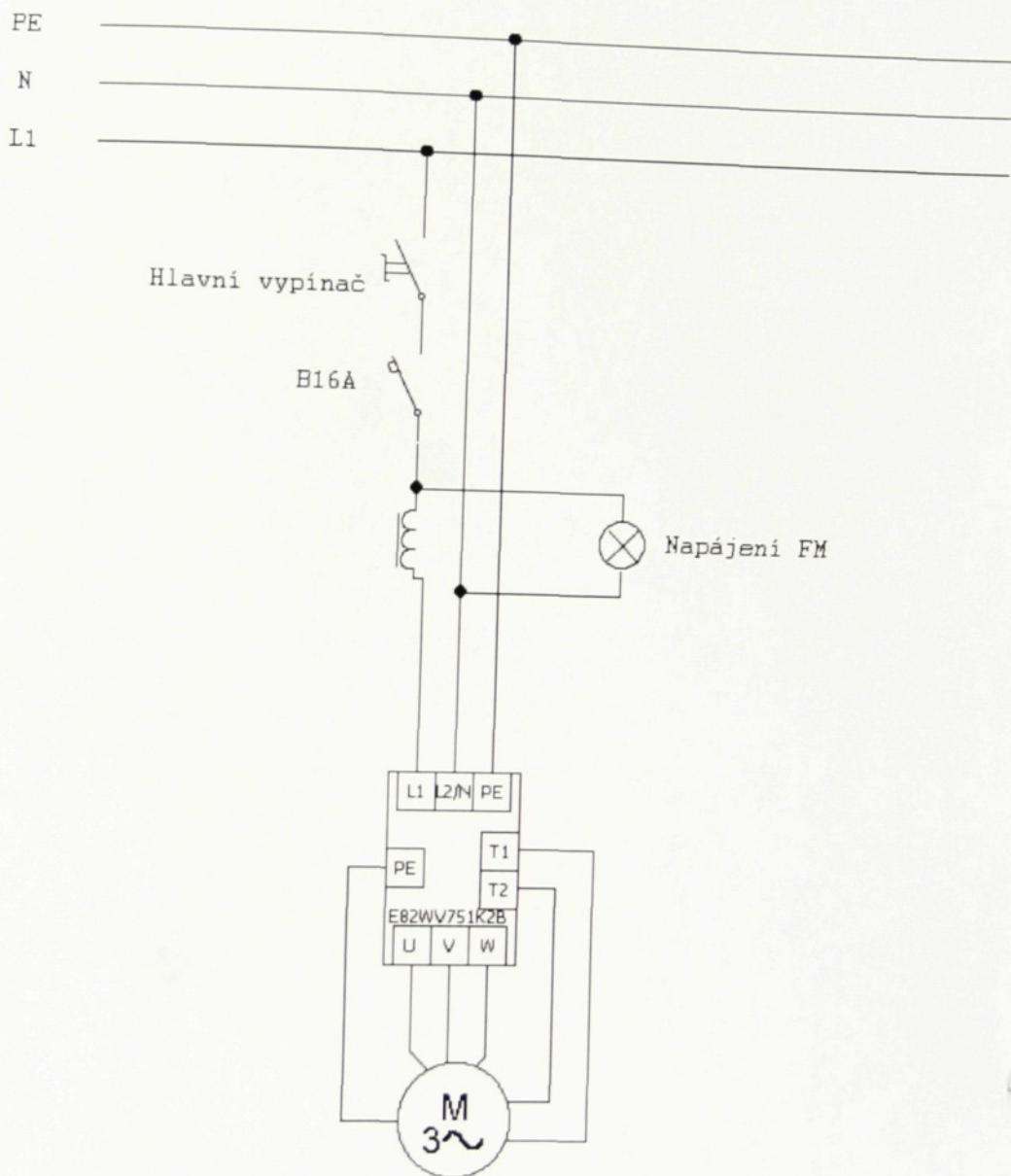
Příloha č.2. – Elektrická schémata



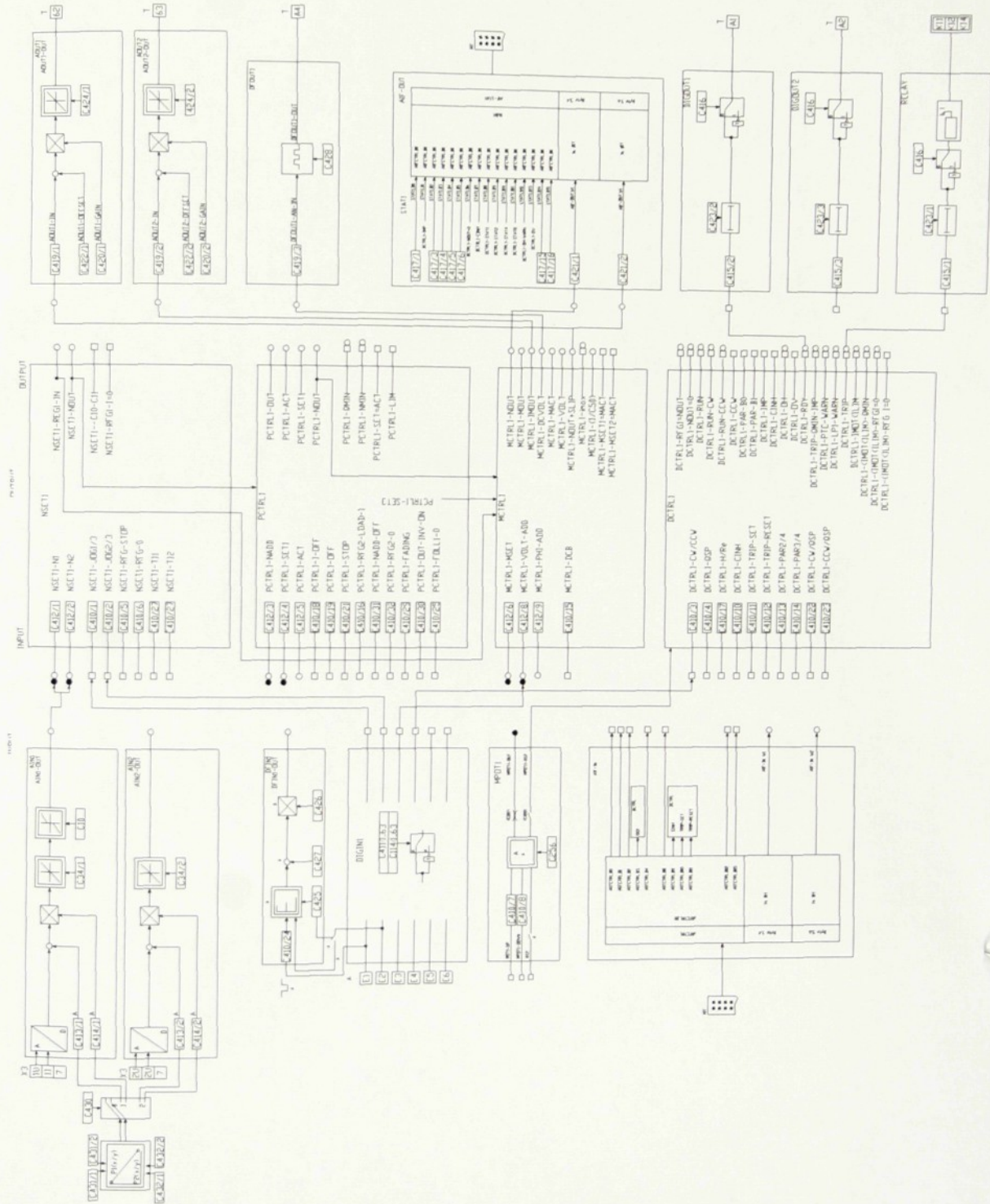
Obr.1 Původní schéma zapojení elektroinstalace navijecího stroje ME301



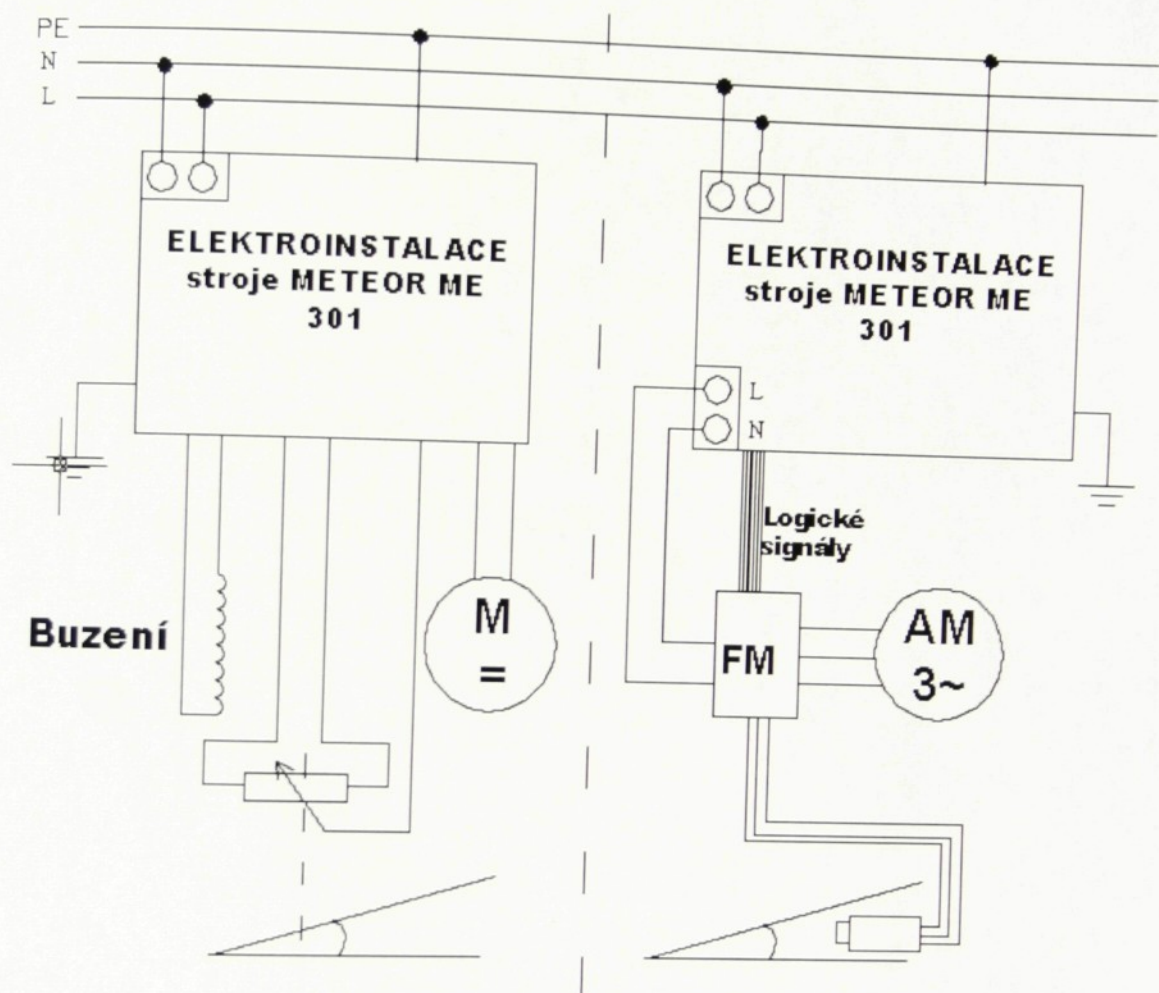
Obr.2 Schéma zapojení řídicích obvodů v rozvaděči po modernizaci



Obr.3 Silové schéma zapojení rozvaděče a motoru po modernizaci



Obr. 4. Blokové schéma FM 8200 vector Lenze

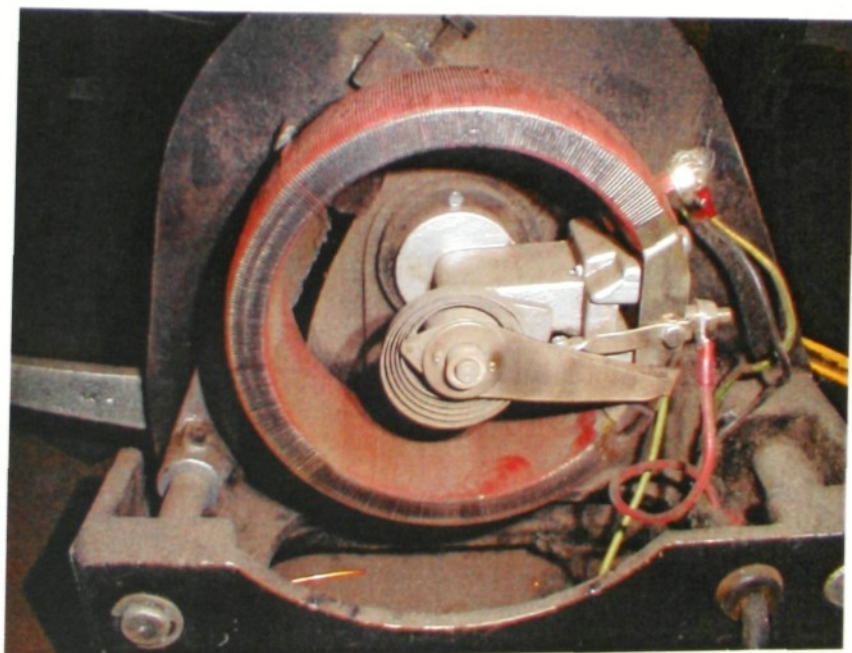


Obr.5. Blokové schéma zapojení elektroinstalace před modernizací (vlevo), po provedení modernizace (vpravo)

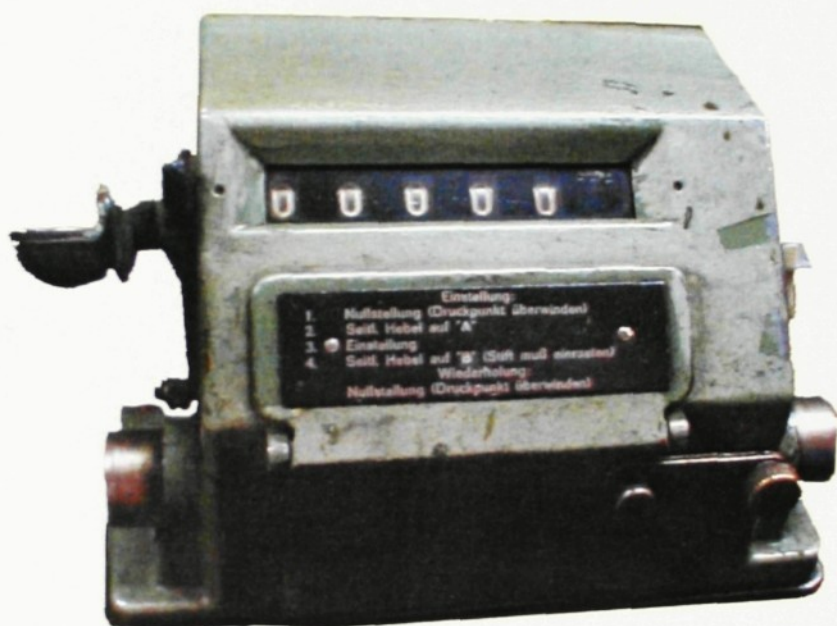
Příloha č.3. - Fotodokumentace



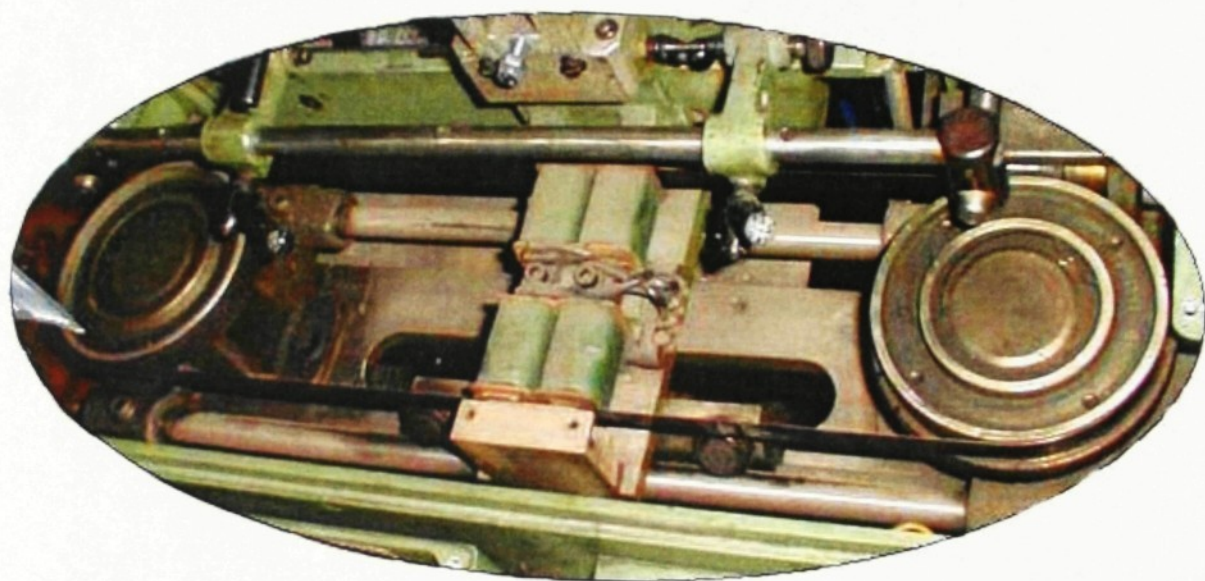
Obr.1. Navíjecí stroj IWT FW 110



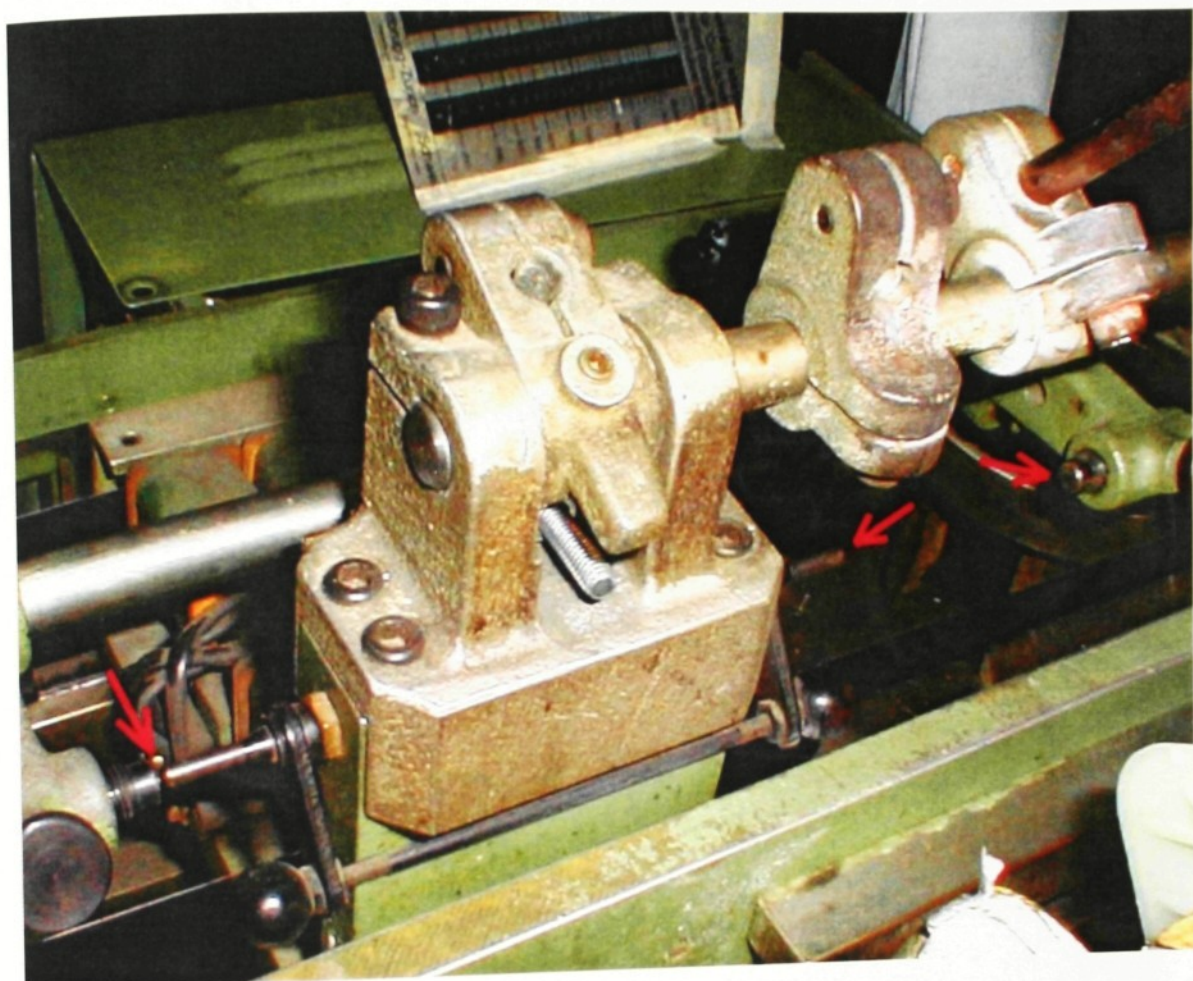
Obr.2. Mechanické provedení pedálu a reostatu na regulaci otáček



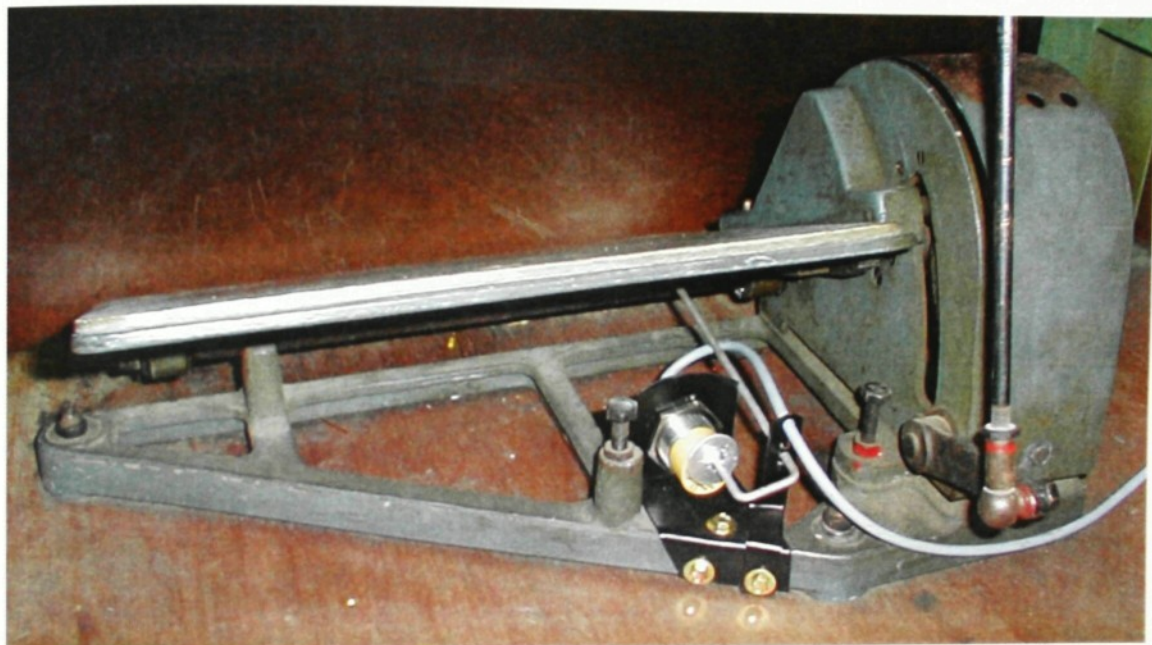
Obr.3. Mechanické programovatelné počítadlo s kontaktem pro brzdu



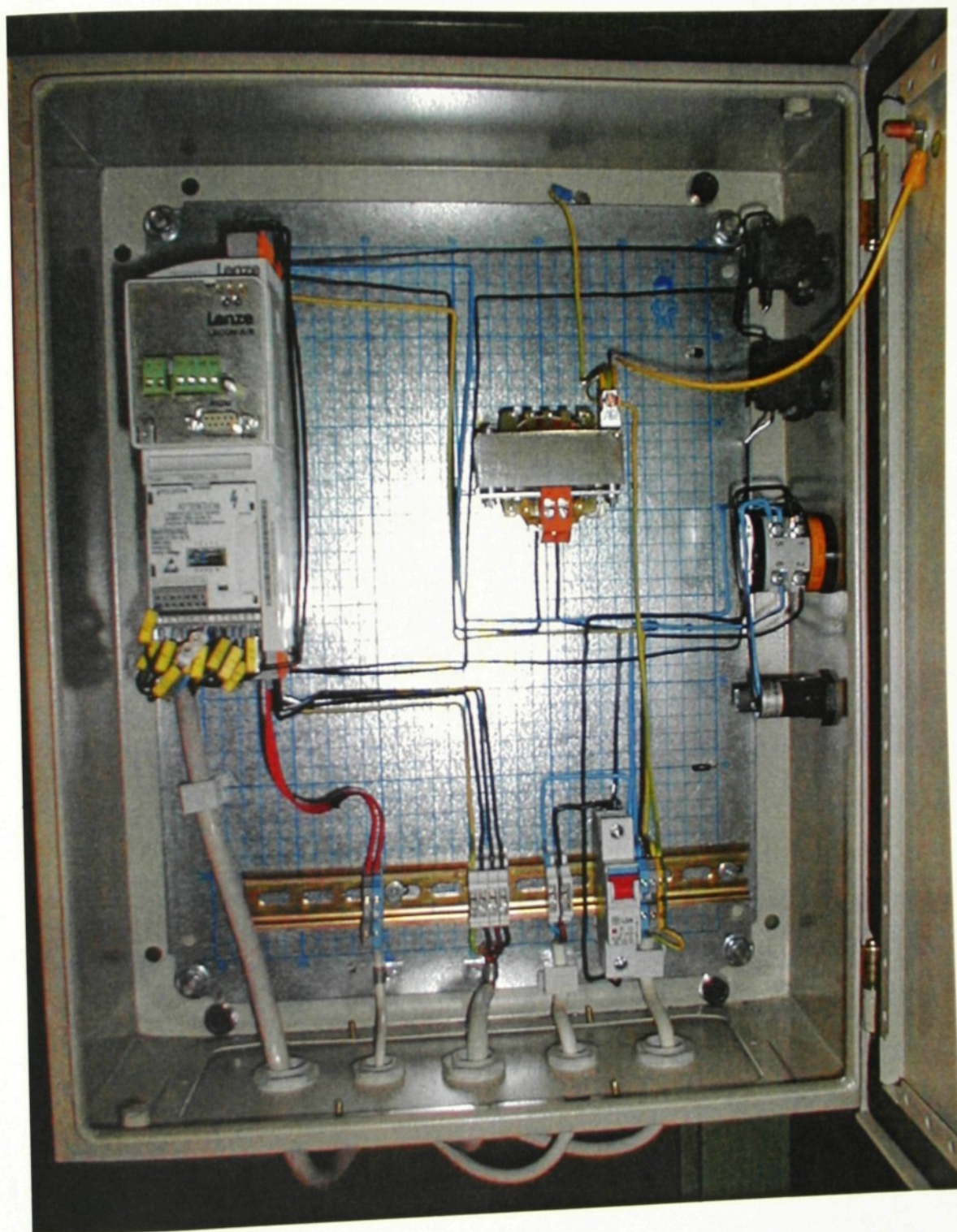
Obr.4. Konstrukce posuvného mechanismu, realizovaná nekonečným plechovým páskem a elektromagnety.



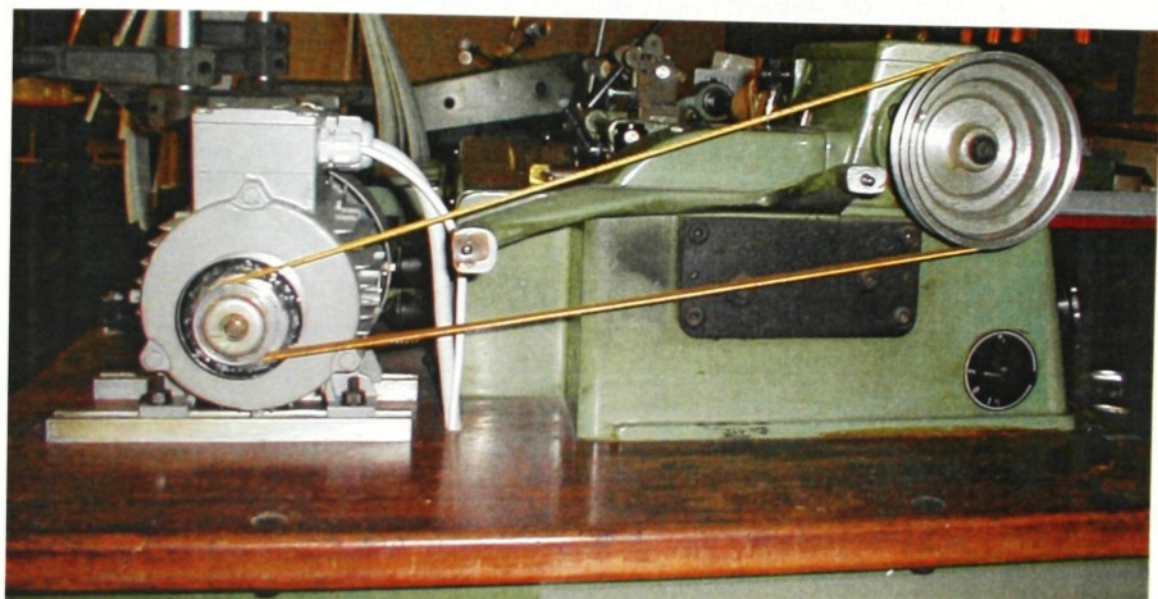
Obr. 5. Koncové spínače pro změnu směru posuvu.



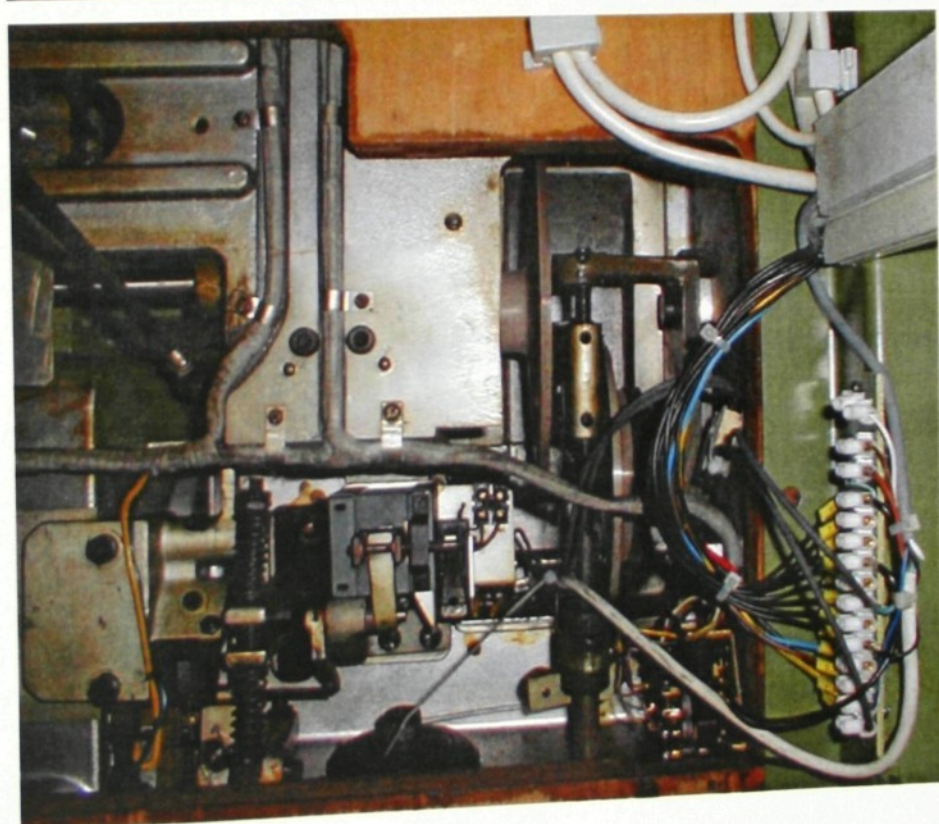
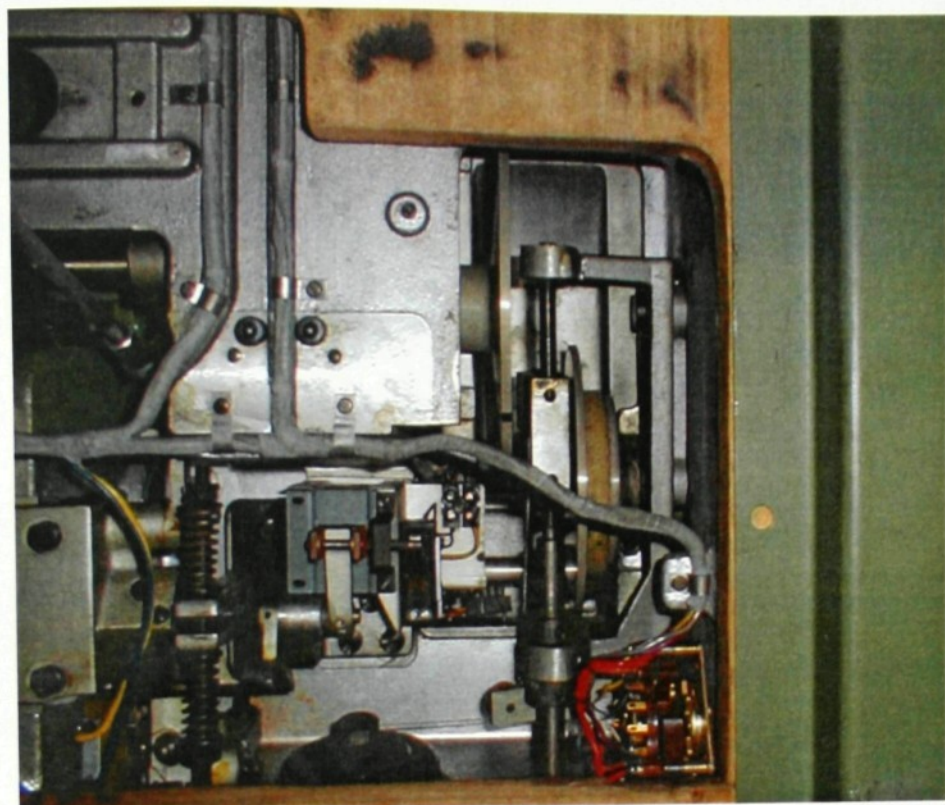
Obr.6. Pedál na ovládání rychlosti vřetene s indukčným čidlem polohy



Obr. 7. Elektrický rozvaděč frekvenčního měniče a ovládacích prvků



Obr.8. Mechanické uchycení AM k základní desce navíječky



Obr.9. Původní Elektroinstalace (nahore), nová elektroinstalace začleněná do původní (dole)



Obr.10. Celkový pohled na navíjecí stroj METEOR ME301

Příloha č.4 – Parametry FM 8200 vector LENZE

Code	SubCode	Jméno	Tovární nastavení LENZE	Nastavení navýjecího stroje ME301
C008	000	Relay – output	Trip fault mes	C0415/1 free config
C011	000	Minimum frequenci	0 Hz	0 Hz
C012	000	Maximum frequenci	50 Hz	65 Hz
C013	000	Acceleration time Tir	5s	1s
C014	000	Deceleration time Tif	5s	4s
C015	000	Operating mode	V/f	Vector control
C016	000	V/f rated fr.	50 Hz	50 Hz
C017	000	Vmin setting	0%	3%
C018	000	Chopper frequenci fchop	4 kHz	8 kHz
C022	000	Imax motor mode	100%	150%
C026	000	AIN1- OFFSET	0%	0%
C027	000	AIN2- GAIN	100%	100%
C034	001	1U/2I	Unipolar 0..5V/0..10V	Unipolar 0..5V/0..10V
C034	002	1U/2I	Unipolar 0..5V/0..10V	Unipolar 0..5V/0..10V
C084	000	Motor resistance	0 Ω	2,193 Ω
C087	000	Motor speed	1390 rpm	1390 rpm
C088	000	Rated motor current	0 A	4 A
C089	000	Rated motor frequenci	50 Hz	50 Hz
C090	000	Rated motor voltage	5 V	230 V
C091	000	Motor cos phi	0,4	0,8
C092	000	Motor inductance Ls	0 mH	171,1 mH
C105	000	QSP deceleration time	5 s	5s
C114	000	Signal level DIG – IN	T1/T2=0, E6=0, E5=0, E4=0, E3=0, E2=0, E1=0	T1/T2=0, E6=0, E5=0, E4=0, E3=0, E2=1, E1=0
C409	000	RELAY – K2	FIXED - FREE	FIXED – FREE
C410	001	NSET – JOG 1/3	DIG – IN – E1	FIXED – FREE

C410	002	NSET – JOG 2/3	DIG – IN – E2	FIXED – FREE
C410	003	DCTRL1 – CW/CCW	DIG – IN – E4	DIG – IN – E4
C410	004	DCTRL1 – QSP	FIXED – FREE	DIG – IN – E2
C410	005	NSET1 – RFG1 - STOP t	FIXED – FREE	FIXED – FREE
C410	006	NSET1 – RFG1 – 0	FIXED – FREE	FIXED – FREE
C410	007	MPOT1 - UP	FIXED – FREE	FIXED – FREE
C410	008	MPOT1 – DOWN	FIXED – FREE	FIXED – FREE
C415	001	RELAY	DCTRL1 – TRIP	DIG-IN - E1
C625	000	Skip frequenci 1	480 Hz	70 Hz