



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra aplikované fyziky a techniky

Bakalářská práce

Modernizace soustruhu měničem frekvence

Vedoucí práce: doc. PaedDr. Petr Adámek, PhD.

Autor: Radek Míček

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci *Modernizace soustruhu měničem frekvence*, jsem zpracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury, z nichž jsem čerpal způsobem ve vědecké práci obvyklým a podle pokynů vedoucího práce.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce.

Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb., zveřejněny posudky vedoucího a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 20.4.2015

Radek Míček

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval mému vedoucímu práce doc. PaedDr. Petru Adámkovi, PhD., za jeho ochotu, čas, odborné rady a cenné připomínky při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval mé rodině za trpělivost a podporu během mého studia.

Anotace

Bakalářská práce *Modernizace soustruhu měničem frekvence* se zabývá způsobem, jakým lze dosáhnout lepších vlastností soustruhu výměnou motoru stejnosměrného s regulací za motor asynchronní s měničem frekvence. Práce seznamuje s různými druhy regulací a s praktickým provedením modernizace daného soustruhu. Práce dále obsahuje měření, která ověřují úspěšnost modernizace.

Abstract

Bachelor thesis *Modernization of the lathe by frequency converter* to focus on how we can achieve better properties lathe replacement of the engine with direct control for asynchronous motor with frequency converter. This thesis introduces the different types of regulation as a practical implementation of the modernization of the lathe. The work also includes measurements that verify the success of modernization.

Obsah

Úvod.....	7
Teoretická část	8
1 Soustruh SV 18 RB a možné úpravy regulace	8
1.1 Frekvenční měnič	16
1.1.1 Vstupní – síťové svorky – vyšší harmonické	18
1.1.2 Svorky na výstupu – propojení motoru s frekvenčním měničem	19
1.1.3 Výstupní - síťové svorky – rušení vysokofrekvenční	21
Praktická část	22
2 Cíle praktické části	22
3 Návrh a projekt modernizace soustruhu SV 18 RB	22
3.1 Stav soustruhu před zahájením modernizace	23
3.2 Navrhované úpravy	23
3.3 Realizace modernizace soustruhu SV 18 RB.....	24
3.3.1 Ustavení stroje.....	24
3.3.2 Výběr a osazení motoru	25
3.3.3 Ovládání soustruhu	28
3.3.4 Frekvenční měnič	29
3.3.5 Ovládací prvky frekvenčního měniče	34

4 Ověření výsledků modernizace	35
4.1 Měření a porovnání parametrů	37
Závěr	38
Použité zdroje:.....	40
Seznam obrázků a tabulek.....	41

Úvod

V současnosti dochází ke stále většímu rozvoji techniky v oblasti strojního obrábění. Stále však existuje mnoho dílen, ať již drobných soukromých podnikatelů, či „domácích kutilů“, ve kterých najdeme starší typy soustruhů, které nedosahují parametrů současných nejmodernějších strojů.

Díky modernizaci strojů bylo sice možné zrychlovat výrobu či přesnost výroby, bohužel však docházelo také k časté poruchovosti. Bakalářská práce *Modernizace soustruhu měničem frekvence* je zaměřena na možnosti, jakými lze starší typy soustruhů určených pro menší či domácí výrobu modernizovat tak, aby finančně dostupnými prostředky došlo ke zlepšení parametrů starších strojů. Bakalářská práce je rozdělena na dvě části.

Teoretická část, jež slouží jako východisko pro část praktickou, seznamuje s klíčovými součástmi, díky kterým je možné dospět k modernizaci. Praktická část pak popisuje modernizaci konkrétního stroje a obsahuje také vyhodnocení úspěšnosti modernizace z technického i ekonomického hlediska.

Cíle bakalářské práce:

1. seznámit se soustruhem SV 18 RB
2. seznámit s druhy regulací otáček motorů a regulací asynchronního motoru frekvenčním měničem;
3. praktická vlastní náhrada a montáž asynchronního motoru, měniče frekvence a ventilátoru chlazení;
4. zhodnocení parametrů zmodernizovaného stroje.

Teoretická část

1 Soustruh SV 18 RB a možné úpravy regulace

Soustruh SV RB 18 je univerzální soustruh s plynulou regulací otáček vřetena s konstantní řeznou rychlostí. Tento typ soustruhu vychází z řad SV 18 R, SV 18 RA, jejichž parametry jsou následující:

Oběžný průměr nad vodíci plochami lože ... 380 mm

Oběžný průměr nad suportem ... 215 mm

Vzdálenost hrotů ... (500 ÷ 1250) mm

Vrtání vřetena ... 41 mm

Kužel vřetena ... 50 metr.

Kužel pinoly ... 4 Morse

Největší obráběný průměr v opěrci pevné i pohyblivé ... 100 mm

Šířka lože ... 340 mm

Průměr sklíčidla ... 200 mm

Rozsah otáček Předloha 1:1 ... (56 ÷ 2800) ot/min

1:4 ... (14 ÷ 700) ot/min

Posuv podélný (0,02 ÷ 2,8) mm/ ot.

příčný (0,01 ÷ 1,4) mm/ ot.

Výkon hlavního motoru při 2800 ot / min. 10 kW (tento parametr platí již jen pro typ RB).

Oba dva předchůdci soustruhu SV 18 RB, tedy SV 18 R i SV 18 RA jsou v České republice poměrně značně rozšířené. Jejich jednoznačnými přednostmi jsou zejména tuhost konstrukce, přesnost a jednoduchost obsluhy. Mezi další přednosti

uvedených soustruhů patří značné množství převodů a s tím související stoupání závitů, jednoduchá obsluha pomocí jednozubé půlměsíkové spojky při řezání závitů a rychlopusuv obráběcí otočné hlavy, který se ovládá pomocí páky a excentru. Právě pro výše uvedené vlastnosti jsou sice tyto typy soustruhů značně oblíbené a rozšířené, ale s tím souvisí i jejich vyšší pořizovací cena.

Soustruh SV 18 RB má stejné parametry jako jeho předchůdci, odlišuje se však od nich regulací otáček a hlavním motorem, který je oproti ostatním typům stejnosměrný.

Stejnosemřné motory s cizím buzením se používají ve spojení s polovodičovými měniči výkonu především v regulačních pohonech pro nejrůznější aplikace. Jejich velmi časté použití plyne z celé řady vhodných vlastností a zejména relativně nízkých pořizovacích nákladů. Dobré vlastnosti pohonu jsou dány polohou budícího magnetického toku, který je kolmý na směr proudu kotvy a motor tak vyvíjí vždy maximální moment. Proti střídavým regulačním pohonům je nespornou výhodou stejnosměrného především jednoduché výkonové schéma a řízení měniče. Snadné říditelnosti pohonu v obou smyslech otáčení ve všech pracovních režimech při širokém regulačním rozsahu lze dosáhnout nezávislostí řídicích vstupů budícího vinutí a vinutí kotvy motoru, což zjednodušuje návrh regulačních struktur. Nejslabší místo tohoto typu pohonu představuje mechanický komutátor a sběrné ústrojí, což vede spolu s výkonovým omezením ke snaze nahradit jej v celém rozsahu používaných výkonů pohonem střídavým [1].

Hora a Navrátil [7] uvádí jako hlavní výhody stejnosměrného motoru hospodárné řízení rychlosti ve velkém rozmezí, dále pak snadnou rezervaci a možnost dosáhnout vhodných otáčkových charakteristik. Fyzikální působení stroje se u motoru i dynama zakládá na elektrodynamickém účinku mezi proudy ve vodičích kotvy a magnetickým polem hlavních pólů, u dynama na elektromagnetické indukci. Tentýž stejnosměrný stroj tak může pracovat jako motor nebo jako dynamo. Pro nejrůznější odvětví lze nalézt speciální konstrukční uspořádání stejnosměrných strojů, jako např.:

- a) trakční motory;
- b) stejnosměrné servomotory;
- c) tachodynamy;
- d) stroje pro automobily (dynama, spouštěče)
- e) stroje pro těžké provozy (válcovny, výtahy, atd.).

Konkrétní soustruh SV 18 RB, jehož úpravě se tato bakalářská práce věnuje, byl pak pořízen za cenu nižší oproti standardní nabídce, neboť předchozí majitel nedokončil úpravy, a soustruh byl tak v době koupě neúplný. Jeho neúplnost však byla zároveň jeho předností, neboť stejnosměrný motor, který chyběl, je nahrazen asynchronním motorem z jiného soustruhu. Od počátku tedy bylo počítáno s tím, že otáčky soustruhu budou řízeny frekvenčním měničem u asynchronního motoru, což bylo levnějším řešením než koupě nového stejnosměrného motoru daného výkonu. Další nevýhodou montáže stejnosměrného motoru do soustruhu by byla obtížná manipulace způsobená značnou hmotností motoru. Také rozměry rozvaděče regulace u stejnosměrného motoru jsou oproti frekvenčnímu měniči značné a jejich umístění náročné na prostor.

K soustruhu byla připojena regulace otáček s názvem ROKE [4]. *Regulace otáček u stejnosměrného cize buzeného motoru se u regulátoru ROKE provádí změnou napětí kotvy, při prakticky konstantním proudu buzení. Tím je dáno, že výkon motoru je jmenovitý při jmenovitých otáčkách a klesá úměrně s otáčkami. Naproti tomu je možno zatěžovat motor jmenovitým momentem v celém regulačním rozsahu. Rozběhový moment je dán velikostí omezení proudu: u standardních regulátorů bývá ve výrobním závodě nastaven na 1,5 násobek jmenovitého momentu. Zadávání požadovaných otáček je možno provádět buď ručně – potenciometrem, nebo stejnosměrným napětím 0-10 V. Závislost vstupní veličiny (otáček) na vstupním signálu je přímková.*

Hlavní částí tyristorového regulátoru otáček je koncový stupeň, což je v podstatě řízený usměrňovač. Vstupní napětí regulátoru, které udává velikost otáček motoru, je dáno dobou otevření tyristorů od okamžiku sepnutí řídicím (zapalovacím) impulzem, do okamžiku, kdy se na anodě objeví záporný potenciál daný průběhem síťového napětí. Okamžik sepnutí tyristoru, tj. okamžik vzniku zapalovacího impulsu, je určován řídicí částí, která porovnává požadovanou hodnotu otáček zadanou řídicím napětím se

skutečnou hodnou. Informaci o skutečné hodnotě dává řídicí části tachodynamo. Oba tyto signály se sčítají (s opačnou polaritou) přes odpory umístěné ve vazební jednotce (XD 0158) a jejich rozdíl se přivádí na vstup zesilovače otáčkové odchytky. Potenciometr, kterým se nastavuje signál úměrný žádané hodnotě otáček, se napájí napětím stabilizovaným Zenerovými diodami z jednotky XD 0150 [4].

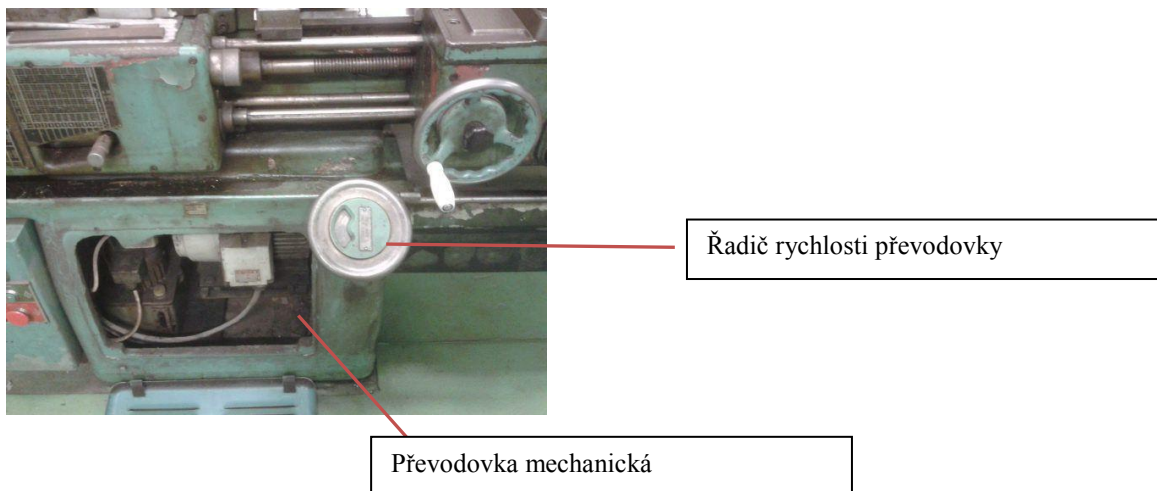
Výstupní napětí zesilovače otáčkové odchytky, které je vlastně žádanou hodnotou proudu kotvy, se přes vazební odpory (v jednotce XD 0158) přivádí na vstup dalšího zesilovače, na který je zároveň přiveden signál úměrný skutečné hodnotě proudu. Po zesílení je odchytka těchto dvou signálů převedena na vstup generátoru impulzů, který podle velikosti vstupního napětí určuje úhel posunutí zapalovacího impulzu tyristoru a tím i velikost proudu kotvy [4].

Řídicí část regulátoru ROKE 3200.5-P je napájena z transformátorů, které vlastně nahrazují třífázový transformátor v zapojení YD. K usměrnění a stabilizaci napájecího napětí slouží jednotka XD 0157 [4].

Pro získání informací o skutečném proudu kotvy je v jejím obvodu zapojen transduktorový přechodník ss proudu na ss napětí, k jehož napájení je využito dalšího vinutí napájecích transformátorů. Při poklesu otáček, vzniklém zatížením motoru, zvětšuje se regulační odchytky na vstupu otáčkového zesilovače. Tato odchytky vybudí zesilovač na takovou hodnotu vstupního napětí, která odpovídá proudu kotvy potřebnému pro vyrovnání poklesu otáček. Jestliže odchytky (vlivem zatížení motoru) dostoupí takové hodnoty, která postačí pro vybudení zesilovače na maximální hodnotu výstupního napětí, zvětšuje se dalším zatěžováním již jen signál z proudového čidla, který zmenšuje vstupní napětí proudového zesilovače a tím i úhel hoření tyristorů. Proud kotvy zůstává do tohoto okamžiku na konstantní hodnotě úměrné výstupnímu napětí otáčkového zesilovače. Tato hodnota se označuje jako „omezení proudu“ [4].

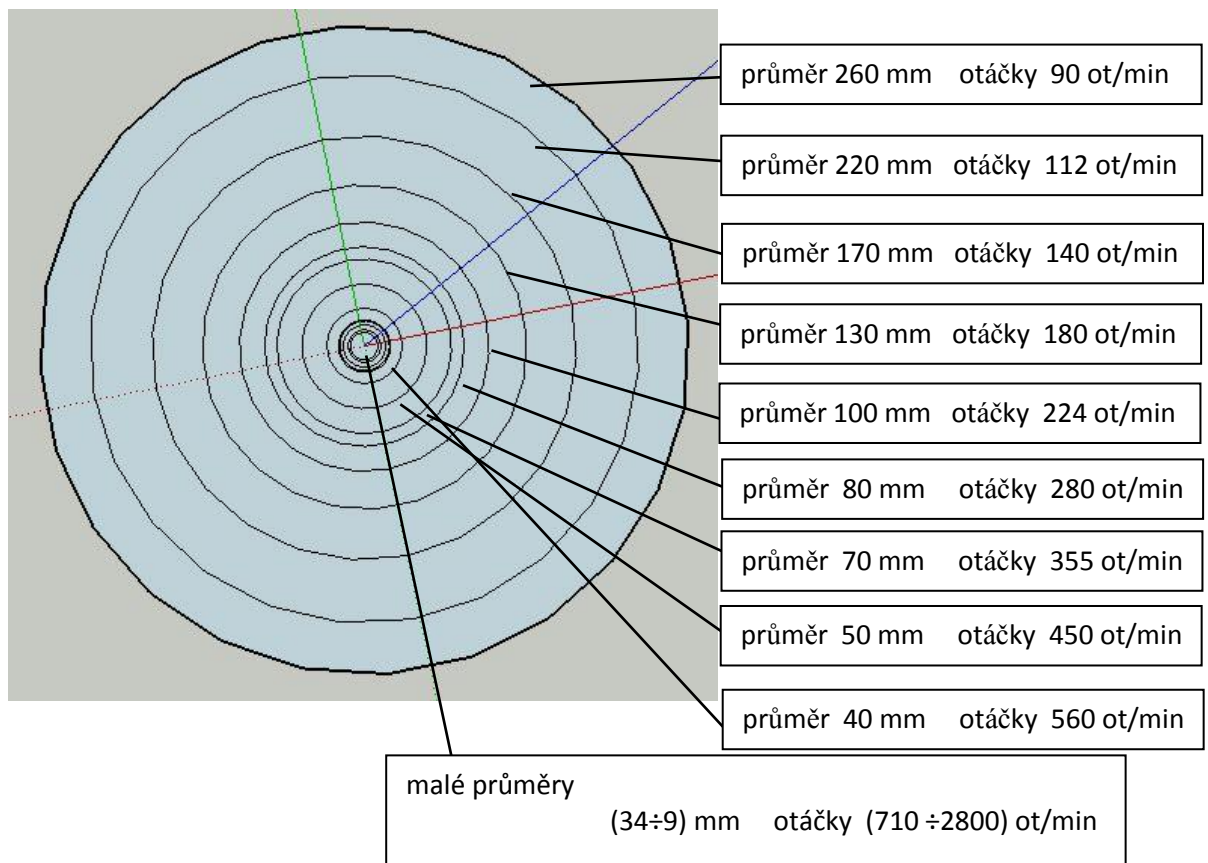
Frekvenční měnič pak lze umístit u soustruhu s minimálními prostorovými nároky.

Další možností regulace otáček vřetene by bylo namontování převodovky ze staršího typu soustruhu SV 18 R a RA (Obr. 1).



Obr. 1. Soustruh SV 18 R, archiv autora

Tato úprava by byla sice také cenově dostupná, zhoršovala by však komfort ovládání soustruhu. Namontováním převodovky do soustruhu SV 18 RB by dále docházelo k nepatrným ztrátám výkonu. V oblasti údržby by pak bylo nutné kontrolovat, dolévat a měnit olej v převodovce. Nejpodstatnějším důvodem hovořícím proti použití převodovky v daném typu soustruhu je pak to, že u řízení otáček frekvenčním měničem nedochází k prodlevám při řazení otáček podle potřebné řezné rychlosti, především při obrábění čelních ploch velkých průměrů, kde se musí často měnit rychlost otáček pro zachování řezné rychlosti, která ovlivňuje kvalitu povrchu obráběného materiálu a dále míru opotřebování nástrojů. Při regulaci otáček převodovkou je třeba při každé změně otáček nejdříve soustruh zastavit, dále přeradit a znovu vše postupně spouštět od vřetene až po posuv nože. Tento postup je pak nutné opakovat vždy při každé větší změně průměru (viz obr. 2).



Ob. 2. Nastavení otáček ve vztahu k průměru obrobku, autor

Tabulka 1 znázorňuje výpočet vztahu průměru obrobku vzhledem k otáčkám při řezné rychlosti 75 m/min. Zvýrazněné řádky označují skokové otáčky při řazení převodovkou tak, jak jsou zobrazeny v obr. 2. Ostatní hodnoty jsou pak teoretické výpočty otáček ve vztahu k průměru zmenšeném vždy o 10 mm.

Tabulka 1. Vztah průměru obrobku vzhledem k otáčkám, autor

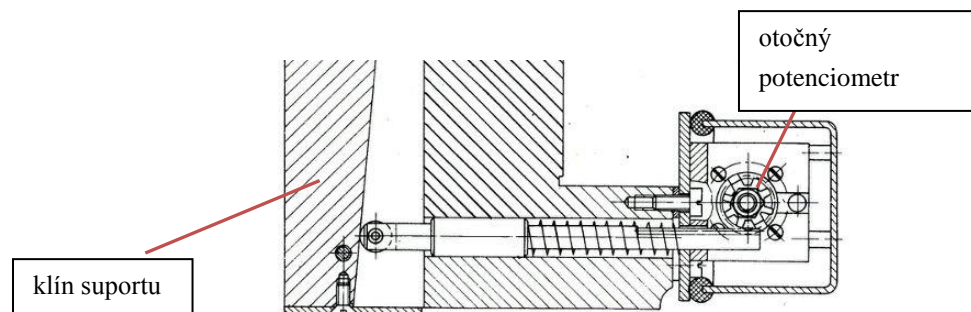
průměr (mm)	řezná rychlost (m/min)	otáčky (za 1 min)
260	75	90
250	75	96
240	75	100
230	75	104
220	75	109
213	75	112
210	75	114
200	75	119
190	75	126
180	75	133
171	75	140
170	75	141
160	75	149
150	75	159
140	75	171
133	75	180
130	75	184
120	75	199
110	75	217
107	75	224
100	75	239
90	75	265
85	75	280
80	75	299
70	75	341
67	75	355
60	75	398
53	75	450
50	75	478
43	75	560
40	75	597
34	75	710
30	75	796
27	75	900
20	75	1194
21	75	1120
17	75	1400
13	75	1800
11	75	2240

10	75	2389
9	75	2800

Přiřazení otáček elektronicky, právě například frekvenčním měničem není třeba soustruh vyřazovat či zastavovat, ale pouze pomocí potenciometru měnit otáčky. Další výhodou použití frekvenčního měniče je snadný rozběh elektromotoru, kdy nedochází k rázům. Díky tomu je šetřeno nejen elektrickým proudem, ale také není tolik zatěžován elektromotor při rozběhu.

Řízení otáček by se dalo dále zdokonalit automatickým řízením pomocí digitálního odměřování a programovatelnými obvody, což však není v současnosti cílem modernizace daného soustruhu.

Původní automatické řízení otáček pracovalo na jednoduchém principu (viz obr. 2). Na příčný posuv suportu byl přidělán přesný klín, který posuvem ovládal otočný potenciometr. Ten byl zařazen při přepnutí automatického chodu namísto otočného potenciometru pro řízení otáček ručně.



Obr. 3. Automatické řízení otáček soustruhu SV 18 RB, převzato a upraveno z [2]

Tento jednoduchý princip však měl za následek skokové změny, které byly způsobovány opotřebením součástek a zanesením nečistot vzniklých řezáním do pohyblivých částí regulátoru.

Další předností použití frekvenčního měniče regulace otáček je to, že se jím dá jednoduše měnit jejich smysl. To je výhodné zejména při řezání závitů. Nůž se z řezu povysune pomocí kličky přes excentr a změnou smyslu otáček se přesune suport na začátek závitu. Pokud je závit delší, může se přesun jednoduše urychlit pouhou změnou otáček pootočením regulátoru. Podle typu frekvenčního měniče lze dosáhnout i dalšího zjednodušení či zrychlení práce na soustruhu. Novější typy frekvenčních měničů umožňují např. naprogramování stopky s určitým natočením vřetena, tzv. na kličku. Pro potřeby bakalářské práce však bude používán jednodušší starší typ měniče.

1.1 Frekvenční měnič

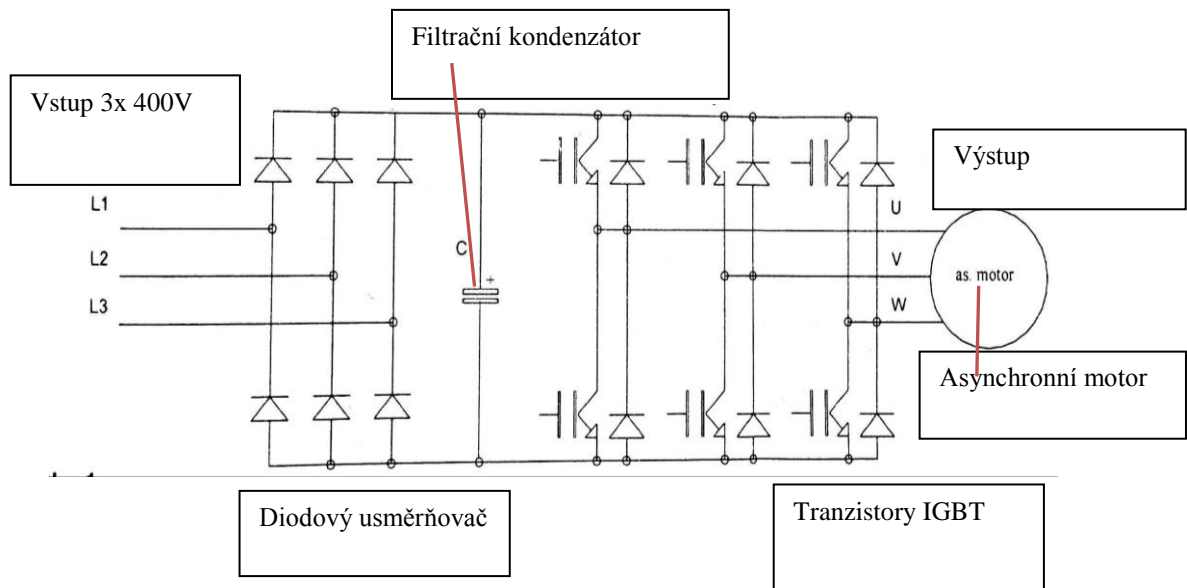
Princip vychází z generace střídavého signálu proměnné frekvence z nejprve usměrněného síťového napětí.

Javůrek [6] uvádí rozdělení podle následujících hledisek:

- podle typu použitých součástek – diodové, tyristorové, smíšené (tato označení jsou ekvivalentní pojmům neřízené, řízené, polořízené)
- podle připojení na konfigurace napájecí sítě – jednofázové, tojfázové, vícefázové (šest, dvanácti...)
- podle způsobu zapojení – uzlové, můstkové
- zařazením do předchozích kategorií je většinou určen počet pulzů výstupního napětí v jedné periodě napájecího napětí, čímž je dáno označení jedno-, dvou-, troj-, šest-, dvanácti- i vícepulzní.

V současné době jsou frekvenční měniče používány v zařízeních, jejichž pohon zajišťují asynchronní motory a kde je nutné regulovat otáčku motory, zajistit jeho plynulý rozběh, brzdění nebo zálohování jeho chodu i při výpadku napájení. Frekvenčním měničem lze nahradit mechanické převodovky. Pomocí frekvenčních měničů s vektorovým řízením (s tachogenerátorem i bez něj) lze dosáhnout přesnosti otáček i dynamiky pohonů. Obr. 3 znázorňuje zapojení typického frekvenčního měniče

pro vstupní napětí 3x400 V, standardní motor je zapojen do hvězdy, opět 3x 400 V. Nevýhodou tohoto měniče jsou vyšší proudy ze sítě a zatížení N, které se u pracovních strojů nedoporučuje. To však může být výhodou v případě, je-li k dispozici pouze jednofázové napájení 1x230 V a je třeba použít asynchronní motor. Zapojení měniče je podobné, na vstupu jsou svorky L1 a N1 [5].

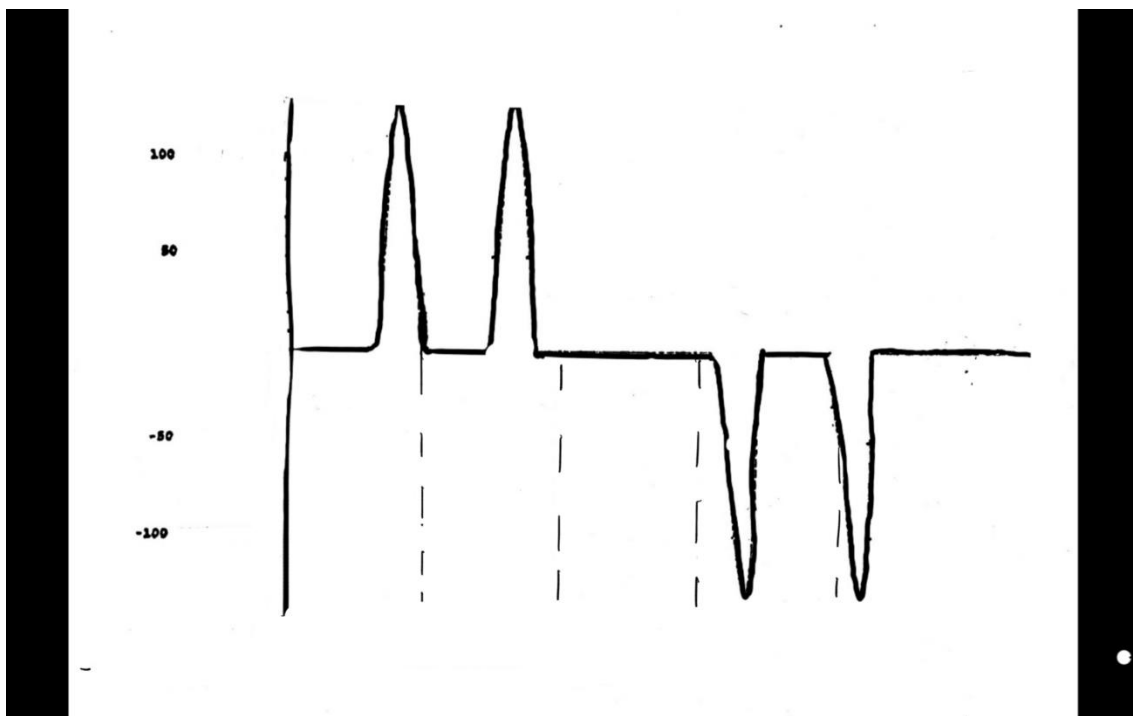


Obr. 4. Zapojení frekvenčního měniče pro vstupní napětí 3x400 V, převzato a upraveno z [5]

Při konstrukci pohonu s použitím frekvenčního měniče se lze setkat ze silového hlediska s řadou úskalí, mezi něž patří např. vyšší harmonické napájecího proudu, vedení výstupního kabelu k motoru nebo použití síťového odrušovacího filtru. Tyto součásti pak musí být zohledněny již při návrhu zařízení, protože dodatečná instalace bývá značně problematická z hlediska ceny, prostorových nároků, teploty v rozváděči či použití stíněných kabelů.

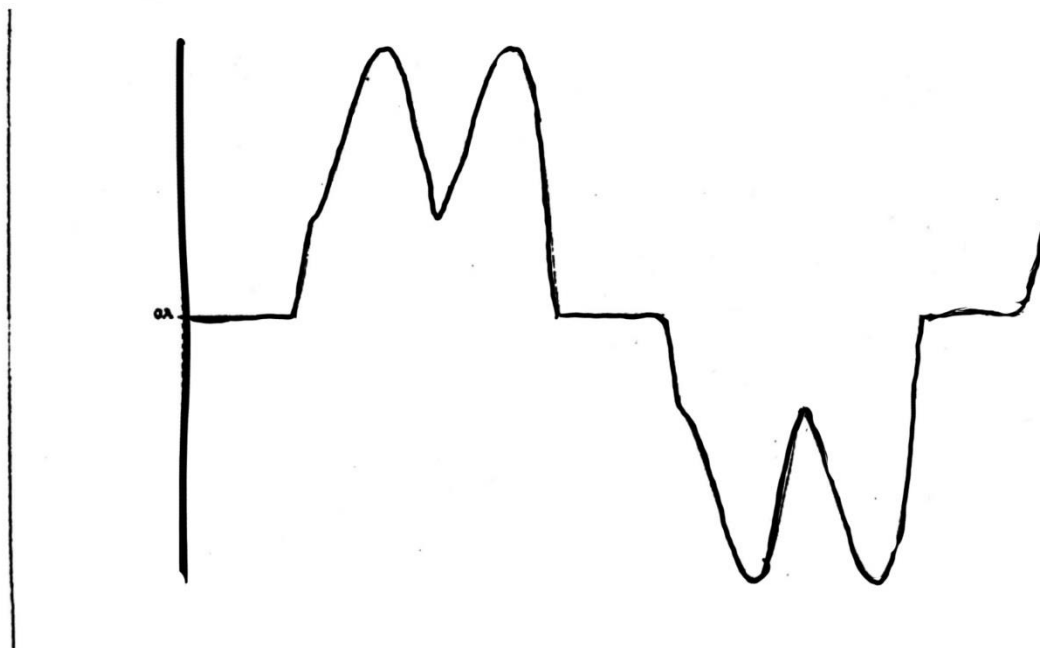
1.1.1 Vstupní – síťové svorky – vyšší harmonické

Vstup frekvenčního měniče je zapojen jako diodový usměrňovač, který má na výstupu filtrační kondenzátor. Obr. 5 znázorňuje odebrání nesinusového proudu usměrňovačem.



Obr. 5. Odebírání nesinusového proudu usměrňovačem, převzato a upraveno z [5]

Proud teče pouze tehdy, je-li napětí v síti vyšší než napětí na filtračním kondenzátoru. Tento proud má vysoký obsah vyšších harmonických, které frekvenční měnič odebírá ze sítě. Zkreslení proudu vyšším harmonickým (THD) dosahuje 140% (zejména 5., 7., 11., 13. harmonická). Z obr. 6 je pak patrné, jak použitím síťové tlumivky dojde k filtraci proudu [5].



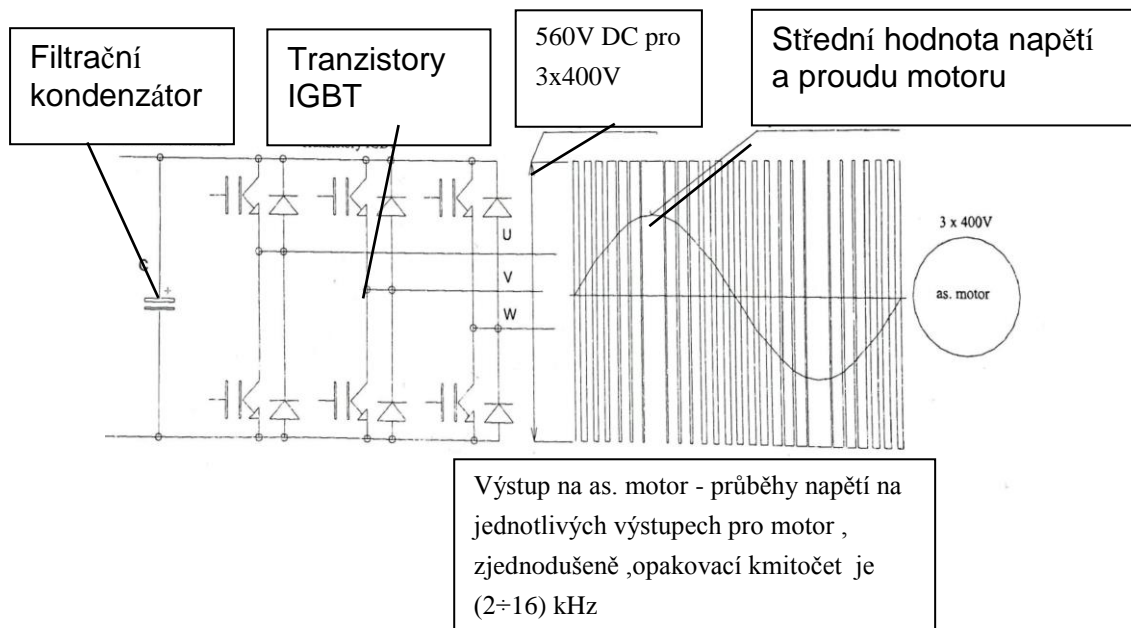
Obr. 6. Filtrace proudu za použití síťové tlumivky, převzato a upraveno z [5]

Výsledky použití síťové tlumivky [5]:

- snížení přechodového zkreslení proudu na cca 40 %;
- efektivní hodnota odebíraného proudu se sníží až o 35 %;
- omezení vzniku rušivých napěťových špiček na měnič.

1.1.2 Svorky na výstupu – propojení motoru s frekvenčním měničem

Průběh napětí na výstupu frekvenčního měniče znázorňuje obr. 7. Jak je patrné, frekvence výstupního napětí je $(2 \div 16)$ kHz, rozkmit napětí pak 600 V. Ve frekvenčním měniči je to tedy největší zdroj rušení. Na svorky synchronního motoru se napětí dostává přímo z výstupu. Proud do motoru je prakticky sinusový vlivem indukčnosti motoru [5].



Obr. 7. Průběh napětí na výstupu frekvenčního měniče, převzato a upraveno z [5]

Pro použití s krátkým kabelem k motoru se propojí svorky motoru s výstupem frekvenčního měniče. Pokud však je kabel k motoru v rozváděči veden v blízkosti či souběhu analogových signálů nebo datových, měřících linek, může vlivem vzájemné vazby dojít k tomu, že se rušení do datových linek přenáší. Je tedy nutné kabel co nevíce oddálit. Tento vliv se dá také minimalizovat křížením kolmo vedoucích vodičů či použitím stíněného kabelu mezi měnič a motor. Pro kabely mezi měničem a motorem, které jsou delší než (20 ÷ 50) m je kapacita mezi žilami kabelu i kapacita vodičů proti stínění již poměrně velká a při spínání jednotlivých tranzistorů (2 ÷ 16 kHz) způsobuje značné nárazové proudy zatěžující tranzistory frekvenčního měniče [5].

1.1.3 Výstupní - síťové svorky – rušení vysokofrekvenční

Při použití frekvenčních měničů je nutné splňovat normy pro vyzařování v pásmu 150 kHz – 30 MHz – vyzařování svorkami napájení. Toto rušení se měří selektivním voltmetrem podle norem ČSN EN. Podle prostředí použití se stanovují i povolené meze. *Filtry používají kompenzovanou indukčnost a okamžitý součet proudů musí být vždy roven nule.* Z toho vyplývá, že je nutné použití odrušovacích filtrů, které mají indukčnost i v přívodu středního vodiče (N) u třífázových zapojení kde se používá středního vodiče N jako pracovního (N). [5]

Praktická část

2 Cíle praktické části

Praktická část bakalářské práce *Modernizace soustruhu měničem frekvence* se zabývá konkrétními kroky vedoucími k modernizaci soustruhu SV 18 RB za pomoci měniče frekvence. Cílem praktické části bakalářské práce je seznámení s postupem modernizace a dále pak ověření, zda navrhovaná možnost modernizace je optimální z hlediska nákladů na samotnou modernizaci a zda provedené změny neovlivní kvalitu výroby na soustruhu SV 18 RB.

V této praktické části budou nejprve popsány jednotlivé kroky vedoucí k modernizaci daného typu soustruhu a to včetně nákupu jednotlivých potřebných součástek, dále pak spočítání skutečně vynaložených nákladů a porovnání s náklady na již zmodernizovaný soustruh. Dále pak bude provedeno měření kvality udržení parametrů potřebných k strojnímu obrábění na daném typu soustruhu.

3 Návrh a projekt modernizace soustruhu SV 18 RB

Typ soustruhu SV 18 byl často používán ve výrobních provozech z důvodu jeho širokých možností, kdy se přístroje vyznačovaly velmi všestranným použitím, jednoduchým intuitivním ovládáním a snadnou údržbou. V provozech pak bylo často zastoupeno více typů soustruhu jedné řady, díky tomu, že i starší typy soustruhů pracovaly stále kvalitně a bezporuchově. Použité soustruhy této řady pak byly velmi žádané zejména u soukromých podnikatelů zabývajících se strojním obráběním, protože i přes dlouhou dobu, za kterou soustruhy působily v provozu, nedocházelo ke snižování jejich použitelnosti.

Konkrétní soustruh SV 18 RB, kterému se věnuje praktická část této bakalářské práce, byl původně používán v tovární výrobě, poté zakoupen soukromým majitelem, který provedl repasování mechanických částí soustruhu. Byla provedena výměna kluzných ložisek u vřetena, přebroušení vřetena, zaškrabání lože a suportů soustruhu.

3.1 Stav soustruhu před zahájením modernizace

Jak již bylo, řečeno u daného soustruhu SV 18 RB byla provedena celá řada úprav vedoucích k odstranění opotřebených částí stroje. Soustruh byl po mechanické stránce repasován a nejevil známky velkého opotřebením. Ze soustruhu byla odstraněna část elektroinstalace, regulace a hlavní stejnosměrný elektromotor pro pohon vřetena a posuvu. Tyto součásti u soustruhu zcela chyběly a nebyly ani součástí koupě, což však bylo spíše výhodou, neboť absence těchto součástí snížila cenu soustruhu a v projektu budoucí modernizace bylo počítáno s jejich případnou výměnou či náhradou.

Pohon soustruhu zajišťoval stejnosměrný motor regulovaný rotorem. Jak již bylo řečeno v teoretické části práce, tyto motory měly řadu pozitiv, zejména pak nízké pořizovací náklady a jednoduchost regulace. Mezi slabé stránky pak lze zařadit zejména komutátor a sběrné ústrojí.

3.2 Navrhované úpravy

U soustruhu bylo v první řadě nutné doplnit chybějící motor. Při porovnání výhod a nevýhod obou typů motoru – asynchronního a stejnosměrného – byla dána přednost použití motoru asynchronního z těchto důvodů:

1. bezúdržbovost
2. jednoduchá regulace
3. menší prostorové požadavky
4. snadná dostupnost

Další úpravou navrhovanou pro modernizaci soustruhu je přidání ventilátoru k motoru, která je nutná kvůli změně otáček. Zejména při snížení otáček by bez přidaného ventilátoru docházelo k nedostatečnému chlazení motoru a tím k jeho přehřívání a možnému snížení životnosti, či úplně destrukci motoru.

Podstatnou funkcí modernizovaného soustruhu by měla být možnost měření otáček vřetena. Toho by mělo být dosaženo přidáním otáčkoměru.

Podstatným krokem při modernizaci soustruhu SV 18 RB pak je jeho připojení přes rozvaděč, kde jsou spínány jednotlivé součásti soustruhu – měnič frekvence, chlazení, mazání soustruhu.

3.3 Realizace modernizace soustruhu SV 18 RB

3.3.1 Ustavení stroje

Důležitou součástí úpravy soustruhu bylo zdánlivě nesouvisející ustavení stroje. Stroj je možné postavit přímo na betonovou podlahu jen tehdy, pokud je dostatečně pevná. V jiném případě je potřebné, v zájmu klidného chodu a zachování vysoké přesnosti, upravit betonový nebo zděný základ podle základového plánu. Základ má sahat až k nosné půdě. Pokud tento požadavek není možné realizovat, připraví se základ do hloubky 500 mm a půda pod ním se upevní a vyztuží. Na základ lze stroj postavit až po dokonalém ztvrdnutí betonu. Před upevněním je nutné stroj nutné podélně i příčně vyvážit vodováhou, a to s přesností 0,02 mm na 1000 mm délky. Vodováha je pak přikládána napříč lože i podél nich a stroj lze pak vyvážit nastavovacími šrouby, pod které je následně podkládán plech. Po přesném vyvážení stroje jsou základové šrouby zality a obě dvě nohy podlity betonem. Po dokonalém ztvrdnutí betonu lze za současné kontroly vodováhou matice přitáhnout. Plech o rozměrech (5x100x100) mm je potřebné podložit i pod šroub v levé noze pod motorem. Dotáhnutím tohoto šroubu se zabrání chvění vnitřního vyztužení žebra a tím i chvění celého stroje [2].

3.3.2 Výběr a osazení motoru

Abychom dosáhli dobré funkce pracovního mechanismu a ekonomického provozu pohonu, je nutná vhodná volba poháněcího motoru. Sledujeme jeho [1]:

- druh zatížení;
- konstrukční uspořádání;
- správné výkonové dimenzování.

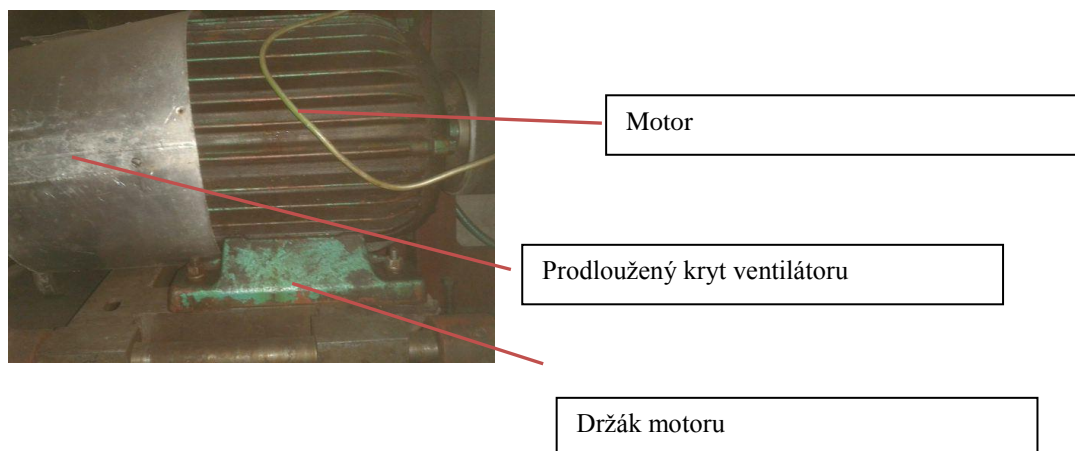
Tabulka 2. Druhy zatížení a výkonosti, převzato a upraveno z [1]

Druh	Označení	Provozní podmínky	Jmenovité hodnoty	Výkonnost
trvalé	S1	-	-	trvalá
krátkodobý chod	S2	doba chodu	10; 15; 30; 45; 60; 90; 120 min	krátkodobá
přerušovaný chod	S3	doba cyklu	10 min	při zatěžovateli nebo ekvivalentní trvalá
		zatěžovatel	15; 25; 40; 60 %	
přerušovaný chod s rozběhem	S4	cyklů/h	-	při zatěžovateli nebo ekvivalentní trvalá
		zatěžovatel	15; 25; 40; 60 %	
		činitel setrvačnosti	-	
přerušovaný chod s rozběhem a el. brzděním	S5	cyklů/h	-	při zatěžovateli nebo ekvivalentní trvalá
		zatěžovatel	15; 25; 40; 60 %	
		činitel setrvačnosti	-	
přerušované zatížení	S6	doba cyklu	10 min	při zatěžovateli nebo ekvivalentní trvalá
		zatěžovatel	15; 25; 40; 60 %	
přerušované zatížení s rozběhem a el. brzděním	S7	cyklů/h	-	při zatěžovateli nebo ekvivalentní trvalá
		činitel setrvačnosti	-	
přerušované zatížení se změnou smyslu otáčení	S8	cyklů/	-	při zatěžovateli nebo ekvivalentní trvalá
		činitel setrvačnosti	-	

Caha a Černý [1] uvádí že: *Motor, který je pro danou aplikaci výkonově předdimenzován, má proti optimálně dimenzovanému motoru větší rozměry a hmotnost, což se pochopitelně projeví v jeho ceně. Protože bude v provozu jen částečně zatěžován, projeví se to i ve zhoršené účinnosti, tj. ve větších energetických ztrátách za provozu. U asynchronních motorů to vede navíc ke zhoršenému účinníku. V některých aplikacích může výkonově předdimenzovaný motor dynamicky nadměrně namáhat pracovní mechanismus a způsobit jeho předčasné opotřebení nebo zničení. Naopak motor výkonově poddimenzovaný má za následek snížení výrobní kapacity pracovního mechanismu a nedodržení parametrů výrobků. V důsledku částečného nebo trvalého přetěžování motoru se zkracuje jeho životnost. Při dimenzování motoru je tedy důležité přizpůsobit jej výkonově druhu a způsobu zatěžování, aby motor pracoval s jmenovitým výkonem při nejlepší účinnosti, popřípadě s optimálním účinníkem.*

Motor, který původně patří do soustruhu typu SV 18 RB, tedy motor stejnoměrný vykazuje hned několik nevýhod, které již byly nastíněny dříve a kvůli kterým bylo rozhodnuto o montáži motoru asynchronního. Montáží asynchronního motoru, sice došlo ke snížení některých dobrých vlastností původního pohonu jako např. velké výkonnosti v malých otáčkách a menšího skluzu otáček při zátěži, tyto nevýhody však byly vyváženy bezproblémovým a téměř bezúdržbovým provozem asynchronního motoru, kdy již není nutná údržba např. kroužků a kartáčů napájení rotor, jako je tomu u motoru stejnosměrného.

Při výběru vhodného motoru stále hrál velkou roli poměr výkonu stroje k jeho ceně. Cena a výkon tedy ovlivňovaly výběr jednotlivých součástí tak, aby za rozumnou cenu bylo dosaženo co nejvyššího výkonu stroje. Motor byl použit z rozebraného soustruhu SS32, což je produkční soustruh, motor je tedy konstruován pro časté brzdění stejnosměrným napětím a časté rozběhy, což u klasických motorů není obvyklé.



Obr. 8. Asynchronní motor o výkonu 7,5 kW a 1455 ot./min, archiv autora

Motor byl původně zapojen přes stykače přepínající hvězda nebo trojúhelník, u zapojení s měničem se používá jen zapojení do trojúhelníka. Bohužel se podle štítku nepodařilo zjistit konkrétní typ motoru, ale dle Tabulky 2 porovnáním požadovaných vlastností by daný motor mohl být ve skupině S7 či S8.

Již bylo řečeno, že problémem asynchronních motorů je značné zahřívání, pokud dochází k častým rozběhům nebo změnám otáček. Tento problém se násobí i malými otáčkami a nedostatečným chlazením pomocí vestavěného ventilátoru, který je součástí hřídele motoru. Tento problém lze vyřešit přidáním nezávislého ventilátoru. V tomto případě byl použit ventilátor běžně používaný v klimatizacích. Činnost ventilátoru je ovládána pouhým zapnutím soustruhu. Přestože by bylo úspornějším řešením jeho zapojení přes termostat a ventilátor by byl spouštěn až při ohřátí motoru, byla tato možnost vyloučena z důvodu nebezpečí špatné funkčnosti měření a skokovému zahřívání vynutí. Mohlo by tak docházet k časové prodlevě, než teplo vysálá a prostoupí až k čidlu termostatu, což by mohlo mít za následek poškození motoru. U nových motorů toto nebezpečí odpadá díky umístění čidla termostatu přímo k vinutí motoru. Pořízení takového motoru by však již bylo finančně velmi náročné.

Motor soustruhu je umístěn v hlavní noze soustruhu. Rozměřením držáku motoru v daném prostoru bylo zjištěno, že vybraný motor lze do prostoru umístit. Nutné byly pouze malé úpravy držáku motoru, kdy stačilo převrtat otvory na uchycení motoru. Větší změnou pak bylo umístění hřídele motoru, která je oproti původnímu stejnosměrnému motoru posazena níže. Pro zachování funkčnosti bylo tedy nutné prodloužit seřizovací šroub na napnutí plochého řemenu.

Součástí koupě soustruhu byla také údajně původní řemenice na pohon vřetena. Byla nutná její úprava – přesoustružení na průměr osy nového motoru. Bylo uvažováno také o možnosti výměny plochého řemenu za řemen klínový, který má delší životnost a menší prokluz, což je z hlediska práce na soustruhu vlastnost pozitivní při potřebě velkého výkonu, ale zároveň negativní při přenášení rázu, který se částečným prokluzem vyrovnává. Místa, které zbylo díky tomu, že původní motor byl oproti nově osazovanému nepoměrně delší, bylo využito k uchycení přídatného ventilátoru. Pro zvýšení účinnosti byl sejmout původní kryt vrtule chlazení a na původní uchycení byl připojen nový kryt tak, že propojuje jak motor, tak ventilátor.

3.3.3 Ovládání soustruhu

U soustruhu jsou použity další dva motory, které jsou připojeny bez použití měniče. Jedná se o mazání tlakovým olejem, které zůstalo zcela původní. Spínání tohoto motoru bylo vyřešeno tak, že k jeho zapínání dochází současně se zapnutím ventilátoru a napájení měniče. Další motor je pak použit při chlazení a mazání nožů řeznou kapalinou. Tento motor je zapínán samostatným vypínačem, neboť tato funkce je při některém soustružení nepotřebná či nepoužitelná.

Napájení soustruhu je tzv. silové 230 V, resp. 400 V.

3.3.4 Frekvenční měnič



Obr. 9. Frekvenční měnič COMANDER SE TYP 43401500, archiv autora

K modernizaci soustruhu SV 18 RB byl vybrán frekvenční měnič COMANDER SE TYP 43401500 od výrobce CONTROL TECHNIQUES. Tento měnič je sice předimenzován na 15 KW, přičemž v uvedeném případě by stačilo jen na 7,5 kW, jeho použití je však možné a důvodem použití byla především jeho nízká pořizovací cena. Potřebný maximální proud se pak dá nastavit v parametrech tak, aby nedocházelo k přetížení motoru. Naproti tomu má větší rezervu pro velikost brzdného proudu, pro deceleraci (postupné brždění motoru po lineární funkci) bez použití brzdného odporu. Měnič je opět staršího provedení, nedosahuje proto parametrů nových měničů, ale pro uvedené použití je plně dostačující.

Frekvenční měnič použitý při modernizaci soustruhu SV 18 RB může pracovat v níže uvedených základních režimech s většinou třífázových střídavých motorů (asynchronních i synchronních) [3]:

1. **Skalární režim** (s definovaným $U/f = \text{konst.}$) – lze připojit více motorů paralelně. S těmito hlavními znaky:

- *žádanou hodnotou je výstupní kmitočet;*

- *výstupní napětí (aplikované na motor) je závislé na výstupním kmitočtu a dáno charakteristikou U/f . Tím je umožněno připojení více motorů k jednomu měniči.*
- *pro kompenzaci úbytku napětí na odporu statoru při nízkých otáčkách je aplikováno zvýšení hodnoty výstupního napětí nad hodnotu danou konstantním poměrem U/f (kompenzace zvýšením napětí s f);*
- *možnost kompenzace skluzu.*

Tento režim lze u měničů nastavit pomocí parametru 48 (nastavením tohoto parametru na hodnotu 2) nebo pomocí univerzálního ovládacího panelu *UOPI* či pomocí počítače s programem *SESoft* a to nastavením hodnoty parametru 5.14 na hodnotu 2 [3].

2. Pseudovektorový režim – *lze připojit pouze jeden motor. V tomto režimu není výstupní napětí dáno poměrem U/f , ale je závislé na zátěži a je určeno matematicky pomocí náhradního schématu motoru s ohledem na optimální tok motoru. Tento režim je přednastaven výrobcem. Pro správnou činnost je pak nezbytně třeba, aby měnič dostal správné informace o parametrech připojeného motoru, jako jsou hodnota odporu statoru a hodnota jmenovitého účinníku. Obě hodnoty si měnič sám změří buď při prvním povelu *Start* po provedení základního nastavení nebo při prvním povelu *Start* při provedení „Autotune“ [3].*

Z hlediska výkonu byl v případě modernizace soustruhu měničem frekvence zadán pseudovektorový režim. Menu u měniče frekvence umožňuje nastavení parametrů, a to v různých úrovních [3]:

- *Úroveň 1: parametry 01 – 10. Jsou to parametry, jejichž nastavení většinou postačí pro jednoduché aplikace.*
- *Úroveň 2: parametry 11 – 47. Jsou to parametry, které lze využít pro složitější aplikace, ale pro přístup do této úrovně je třeba nastavit parametr 10 na hodnotu L2.*

- Úroveň 3: tato úroveň nebude nastavována, neboť je k tomu zapotřebí univerzální ovládací panel, jehož koupě však pro modernizaci daného soustruhu není nezbytná.

Na měniči byly nastaveny následující parametry:

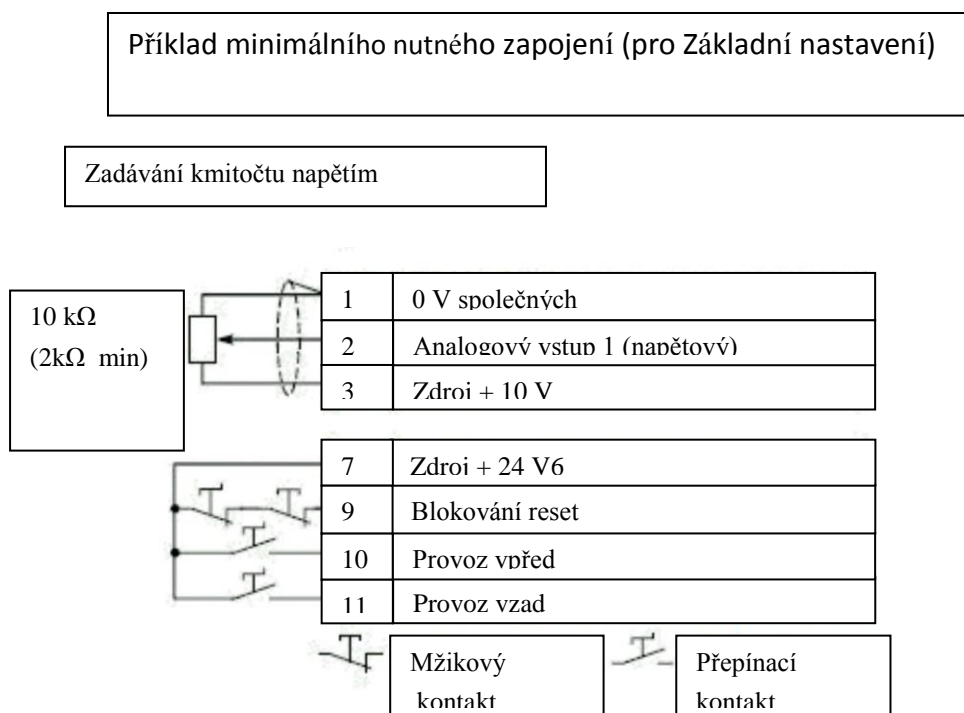
- Parametr 01: Minimální kmitočet – nastaven na hodnotu 5 Hz. Tento parametru určuje *dolní mez výstupního kmitočtu měniče určující minimální otáčky motoru.*
- Parametr 02: Maximální kmitočet – zůstal v základním nastavení 50 Hz. Parametrem se nastavuje *horní mez výstupního kmitočtu měniče určující maximální otáčky motoru v obou směrech otáčení. Tato mez může být překročena o kompenzaci skluzu (je-li použit).*
- Parametr 03: Doba akcelerace – nastavena na hodnotu 10 s /100 Hz. Jedná se o dobu nutnou ke zvýšení výstupního kmitočtu o 100 Hz.
- Parametr 04: Doba decelerace – nastavena také na hodnotu 10 s /100 Hz. *Je to doba nutná ke snížení výstupního kmitočtu o 100 Hz. Doba decelerace může být automaticky prodloužena, vrací-li motor energii (generátorický chod) a je-li zvolena standartní klesající lineární funkce.*
- Parametr 05: Volba reference – v základním nastavení.
- Parametr 06: Jmenovitý proud motoru – dle štítku 15,9 A. Určuje maximální *trvalý proud měniče pro danou aplikaci.*
- Parametr 07: Jmenovité otáčky motoru – 1485 ot./min. Nastavuje se podle štítku motoru. Tento parametr je využíván pro výpočet kompenzace skluzu motoru.
- Parametr 08: Jmenovité napětí motoru – parametr nastaven podle štítku motoru na 380V.
- Parametr 09: Účinník motoru – ponechán v základním nastavení. Měnič si tento parametr nastavuje sám po proměření motoru.
- Parametr 10: Přístup k dalším parametrům
- Parametr 15: Kmitočet funkce „Jog“ – nastaven na 9 Hz. Nastavení otočení včetně krokovaním motoru.

- Parametr 22: Režim zatížení zobrazený na displeji – zadán parametr Ld. Výstupní proud měniče jako % jmenovitého proudu motoru.
- Parametr 30: Režim klesající lineární funkce – byl zadán parametr 1, standardní klesající lineární funkce. *Vzroste-li v tomto režimu při deceleraci ss napětí meziobvodu nad hodnotu danou parametrem 2.08 (motor vrací energii), decelerace se okamžitě zastaví do doby, než napětí ss meziobvodu poklesne (prevence poruch OU).*
- Parametr 31: Režim stop – zadán parametr 1 – klesající lineární funkce. *V první fázi měnič deceleruje po klesající lineární funkci na nulové otáčky. Potom čeká 1s (druhá fáze), než je znovu připraven ke spuštění.*
- Parametr 33: Start do rotujícího motoru – nastavena hodnota 0 – nefunkční.
- Parametr 38: „Autotune“ – nastaven parametr 1, aktivní bez otočení motoru. *Měnič měří odpor statoru a napěťový ofset systému. Výsledky měření jsou uloženy do příslušných parametrů. Po provedení „Autotune“ se motor rozběhne podle zadávacího signálu.*
- Parametr 39: Jmenovitý kmitočet motoru – nastavena hodnota 50 Hz. Nastavení podle štítku motoru. *Slouží k definování strmosti charakteristiky U/f.*
- Parametr 40: Počet pólů motoru – nastaven na Auto. *Auto, měnič automaticky vypočítá počet pólů z hodnot parametrů 07 a 39. Jestliže jsou tyto parametry nastaveny pro speciální motor nebo jejich nastavení z jiných důvodů neodpovídá štítkovým údajům motoru, potom automatický výpočet pólů může být nesprávný. To může způsobit nesprávnou kompenzaci skluzu a nesprávnou indikaci otáček na displeji. Proto je v těchto případech nutno nastavit počet pólů ručně.*
- Parametr 48: Volba režimu výstupního napětí – parametr 0. *Je možno volit ze dvou základních režimů – jeden z vektorových režimů nebo skalárního režimu. Vektorový režim – odpor statoru se měří při každém startu měniče. Odpor statoru a ofset napětí se měří pokaždé, když je měniči dán povel Start. Tento režim lze použít pouze tehdy, je-li zaručeno, že se motor rozbíhá vždy z klidu. Proto potom co měnič*

po povelu Stop přejde do stavu zastavení, je měření odporu statoru a offsetu napětí po dobu 2s blokováno. Pokud v této době je měniči znovu zadán signál start, jsou použity předchozí naměřené hodnoty. Tento režim je v praxi upřednostňován, protože odpor statoru se mění s teplotou.

K použitému měniči frekvence lze připojit brzdné odpory. Tyto odpory se používají k rychlejšímu zastavení motoru. Motor se používá jako generátor a dodává proud do brzdného odporu. Pro účely zde popisované modernizace soustruhu, který neslouží pro průmyslovou, ale pro domácí výrobu je montáž těchto odporů nadbytečná, protože časové ztráty při brždění motoru nehrají v tomto případě roli, jako je tomu u sériové výroby. Zde je dostačující klesající lineární funkce frekvenčním měničem.

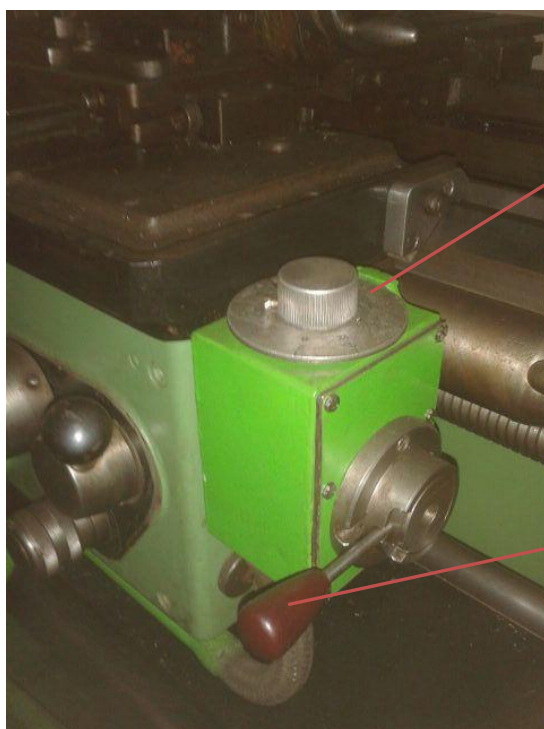
K frekvenčnímu měniči se dále připojuje originální odrušovací filtr. Funkce tohoto filtru již byla vysvětlena v kapitole *Frekvenční měnič*. Pro řízení frekvenčního měniče bylo použito zapojení, jehož schéma je zobrazeno v obr. 10.



Obr. 10. Schéma zapojení frekvenčního měniče, převzato a upraveno z [3]

3.3.5 Ovládací prvky frekvenčního měniče

K řízení smyslu a velikosti otáček bylo použito také původního ovládání, jehož konstrukce je dostatečně robustní a zároveň disponuje dostatečnou přesností a jemností regulace. U původního soustruhu byl použit lineární rezistor 10 k Ω , který lze také použít k řízení otáček pomocí měniče. Řízení se provádí stejnosměrným napětím 10 V. Smysl otáček je zadán pomocí kovového ovladače přestavěného na třípolohový přepínač se stavy 1-0-1. Zapnutí otáček se provádí nejprve nastavením počtu otáček potenciometrem, poté se přepínačem zvolí smysl otáčení. Toto řešení se ukázalo jako levné a trvanlivé. Osvětlení je možné použít původní na 24 V, v současnosti je však spíše preferováno LED osvětlení.



Potenciometr změna otáček

Přepínač smyslu otáček + vypnutí otáček

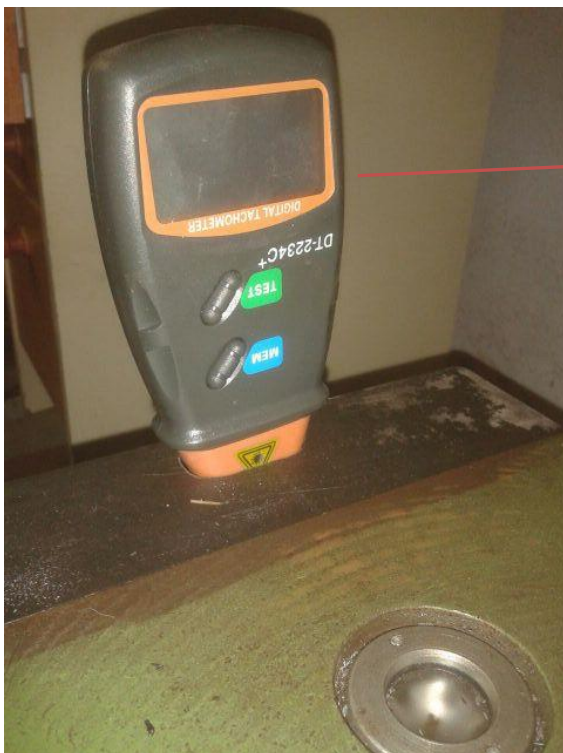
Obr. 11. Ovládací prvky řízení otáček, archiv autora

4 Ověřování výsledků modernizace

Po dokončení modernizace bylo přistoupeno ke zkoušce funkčnosti a parametrů soustružení. Soustruh by měl dosahovat otáček v rozsahu 35 ot./min až 1500 ot./min, dle nastavené frekvence na výstupu měniče. Měnič pak je nastaven na maximálně 50 Hz, na které je motor konstruován. Při této frekvenci má motor 1485 ot./min. Motor by pravděpodobně vydržel i otáčky větší, vzhledem k jeho konstrukci podobné motoru pro 2800 ot./min, kdy rozdíl je pouze v počtu pólových dvojic. Toto tvrzení však není možné bezpečně odzkoušet.

Při změnách otáček může docházet k vibracím, které jsou způsobeny vyvážením. Tento nežádoucí jev lze odstranit v měniči vyřazením určité frekvence, při které k těmto nežádoucím vibracím, resp. rezonanci vibrací dochází.

Asynchronní motor má nejlepší výkon v otáčkách, na které byl původně konstruován. Největší otáčky se používají pro malé průměry, u kterých je zároveň velký přenos síly pomocí poměru páky. Z těchto důvodů není třeba soustruh na uvedené průměry zkoušet. Naproti tomu u velkých průměrů dochází k opačnému pákovému poměru, který snižuje sílu motoru, k čemuž se přidává malý záběrový moment asynchronního motoru v nízkých otáčkách. Pokud ještě vezmeme v potaz velké zahřívání motoru způsobené proudem a nedostatečné chlazení, pak dostaneme nejkritičtější parametry soustruhu.



Otáčkoměr

Obr. 12. Otáčkoměr, archiv autora

Pro ověření výše uvedených parametrů bylo použito otáčkoměru, který je založen na principu osvětlení LED diodou a počítání odrazu světla do reflexního pásku za daný čas. Pro zvýšení přesnosti byly nalepeny další tři reflexní proužky a naměřená hodnota pak byla dělena čtyřmi. Měření teploty probíhalo pomocí přídavného venkovního teploměru pro automobily, jehož nárazníková sonda byla připevněna na plášť elektromotoru. Pro docílení potřebné zátěže bylo vybráno soustružení kulatiny tvářené oceli druhu 11 500, pevnosti (500 ÷ 600) MPa o průměru 260 mm a nože s břitovou destičkou ze slinutých karbidů (S2) s řeznou rychlostí 75 m/min. K tomu bylo zapotřebí 90 ot./min na frekvenčním měniči byly nastaveny parametry „Autotune“ bez natočení motoru. Při tomto nastavení je měničem naměřen odpor motoru pro co nejpřesnější parametry regulace. Přesnějších hodnot může být dosaženo při „Autotune“ s natočením motoru, tento postup však nelze použít z důvodu nutnosti nezatížení motoru, čehož nejde dosáhnout, neboť motor je stále spojen s vřetenem plochým řemenem.

Dalším z důležitých nastavených parametrů bylo nastavení pseudovektorového režimu, jímž je dosaženo nejlepších výsledků pro daný motor. Konkrétní nastavení parametrů bylo uvedeno výše.

4.1 Měření a porovnání parametrů

Otáčky soustruhu byly nastaveny na 90 ot./min bez zátěže. Při těchto otáčkách frekvenční měnič vykazoval hodnotu 13 % z maximální hodnoty proudu nastaveného parametrem podle štítku motoru. Další měření bylo provedeno již při samotném obrábění a to při nastavení 0,5 mm hloubky řezu a posuvu 0,2 mm/ot. V tomto případě bylo naměřeno 89,9 ot./min a hodnota 30 % z maximální hodnoty proudu nastaveného parametrem podle štítku motoru. V následujícím měření byla zachována hodnota posuvu a hloubka řezu byla změněna nejprve na 1 mm. Při této zátěži měnič vykazoval hodnotu 50 % z maximální hodnoty proudu nastaveného parametrem podle štítku motoru, otáčky pak byly 87,8 ot./min. Při posledním měření, opět při zachované hodnotě posuvu a hloubce řezu 2 mm vykazoval měnič hodnotu 80 % z maximální hodnoty proudu nastaveného parametrem podle štítku motoru a včetně dosahovalo 86,6 ot./min. Pro přehlednost byly naměřené hodnoty zaznamenány a jsou uváděny v Tabulce 3.

Tabulka 3. Výsledky měření

Průměr kulatiny (mm)	Hloubka řezu (mm)	Otáčky při soustružení (ot./min)	Procentuální pokles otáček (%)	Zátěž štítkového proudu motoru (%)
260	0	90,1	0	13
260	0,5	89,9	1	30
259	1	87,8	2,6	50
258	2	86,6	4	80

I při maximální zátěži bylo možno navýšit otáčky na původní hodnotu 90 ot./min. Při tomto zvýšení a po ukončení zátěže bylo naměřeno 97 ot./min.

Závěr

Bakalářská práce *Modernizace soustruhu měničem frekvence* se zabývala problematikou staršího, ale plně funkčního a výkonného soustruhu typu SV 18 RB. V teoretické části nalezneme seznámení se soustruhem výše uvedeného typu, ale také typů předešlých. Srovnáním soustruhu SV 18 RB a jeho předchůdců SV 18 R a SV 18 RA, které jsou v tuzemských dílnách poměrně rozšířené, byl čtenář seznámen s vlastnostmi starších typů a především s faktem, že soustruh SV 18 RB se liší regulací otáček a hlavním motorem, který je stejnosměrný.

Teoretická část bakalářské práce dále seznamuje s druhy regulace otáček motorů a s regulací asynchronního motoru frekvenčním měničem, což tvoří základ pro praktickou část bakalářské práce, která se zabývá samotnou praktickou výměnou motoru stejnosměrného, který je původně součástí soustruhu SV 18 RB, za motor asynchronní a dalšími úpravami soustruhu vedoucí k jeho modernizaci.

Bakalářská práce dále popisuje postup, kterým bylo docíleno výměny stejnosměrného motoru a regulace za asynchronní motor a frekvenční měnič. Tato výměna si vyžadovala drobné úpravy soustruhu a přidání nezávislého chlazení asynchronního motoru ventilátorem.

Hlavním cílem bakalářské práce bylo dosažení plynulé regulace otáček od 70 ot./min do 1600 ot./min. Po modernizaci soustruhu bylo provedeno ověření při zátěži. Bylo prokázáno, že i při soustružení dvoumilimetrové třísky při posuvu 0,2 mm/ot. vřeteno snížilo otáčky na téměř 80 % původní hodnoty otáček a přesto nebylo problematické v řezu dosáhnout opět otáček vyšších, tedy takových, jaká byla jejich hodnota původní. Tento fakt dokazuje, že točivý moment motoru je i v malých otáčkách dostačující a i přes malé otáčky nedochází díky nezávislému ventilátoru k přehřívání motoru.

Bylo prokázáno, že modernizací soustruhu SV 18 RB měničem frekvence lze dosáhnout parametrů shodných s předchozími typy soustruhů, které jsou však v našich podmínkách tak oblíbené, že jejich koupě je značně problematická. Práce dále

prokázala, že modernizací lze dosáhnout nižších nákladů na údržbu a vyššího komfortu práce se soustruhem SV 18 RB.

Použité zdroje:

[1] CAHA, Z., ČERNÝ, M. *Elektrické pohony*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990, 359 s. ISBN 80-030-0418-7.

[2] *Technický pasport soustruhu SV 18 RB*. Trenčín: TOS, 1982.

[3] *Comander SE, typová velikost 1 až 5*. Měníče kmitočtu určené k regulaci otáček asynchronních motorů o výkonu 0,25 kW až 37 kW. Brno: Control Techniques, 2002. 54 s. ISBN neuvedeno.

[4] *Regulátor otáček ROKE 3100.5-P: Projektová dokumentace*. Děčín: Závody průmyslové automatizace Košíře, 1982.

[5] JELÍNEK, R. Frekvenční měniče - EMC a použití příslušenství. *Elektroinstalátér*. Praha: ČNTL, 2005, roč. XI, č. 5. ISSN 1211-2291

[6] JAVŮREK, J. *Regulace moderních elektrických pohonů*. 1.vyd. Praha: Grada Publishing, 2003. ISBN 80-247-0507-9.

[7] HORA, O., NAVRÁTIL, S. *Regulace elektrických strojů*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1976, 284 s. ISBN neuvedeno.

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1. Soustruh SV 18 R	12
Ob. 2. Nastavení otáček ve vztahu k průměru obrobku	13
Obr. 3. Automatické řízení otáček soustruhu SV 18 RB	15
Obr. 4. Zapojení frekvenčního měniče pro vstupní napětí 3x400 V	17
Obr. 5. Odebírání nesinusového proudu usměrňovačem	18
Obr. 6. Filtrace proudu za použití síťové tlumivky.....	19
Obr. 7. Průběh napětí na výstupu frekvenčního měniče	20
Obr. 8. Asynchronní motor o výkonu 7,5 kW a 1455 ot./min	27
Obr. 9. Frekvenční měnič COMANDER SE TYP 43401500.....	29
Obr. 10. Schéma zapojení frekvenčního měniče.....	33
Obr. 11. Ovládací prvky řízení otáček	34
Obr. 12. Otáčkoměr.....	36
Tabulka 1. Vztah průměru obrobku vzhledem k otáčkám	14
Tabulka 2. Druhy zatížení a výkonosti	25
Tabulka 3. Výsledky měření	37