

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Realizace řízení CNC soustruhu

vedoucí práce: Ing. Kamil Kosturik, Ph.D

2012

autor: Bc. Robert Nedvěď

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Robert NEDVĚD**
Osobní číslo: **E10N0163P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Dopravní elektroinženýrství a autoelektronika**
Název tématu: **Realizace řízení CNC soustruhu**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Navrhněte a realizujte CNC soustruh. K řízení použijte počítač typu PC.
2. Řízení realizujte tak, aby odpovídalo průmyslovým standardům.
3. Navrhněte a realizujte vhodný způsob odměřování polohy nástroje.
4. Pro možnost řezání závitů synchronizujte otáčky vřetene a rychlost posuvu.


Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací
Konzultant diplomové práce: **Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací
Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná diplomová práce popisuje postup návrhu a realizace CNC soustruhu. V první části je nastíněn postup návrhu mechanické konstrukce a ve druhé části jsou vyzdviženy hlavní body elektronické části stroje.

Klíčová slova

CNC soustruh, pneumatika, krokový motor, stejnosměrný motor, ovladač motoru, USB komunikace, EMC2

Abstract

This thesis describes the design development and implementation of CNC lathe. The first part outlines the mechanical design development and the second section highlights the main electronic parts of the machine.

Key words

CNC lathe, pneumatics, stepper motor, direct current motor, motor driver, USB communication, EMC2

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 11.5.2012

Robert Nedvěd

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Kamilu Kosturikovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Seznam zkratk

CAD – Modelování pomocí počítače (Computer Aided Design)

CAM – Výroba pomocí počítače (Computer Aided Manufacturing)

CNC – Systém řízený počítačem (Computer Numeric Control)

DC – Stejnoseměrný (Direct Current)

DMA – Přímý vstup do paměti (Direct Memory Acces)

IO – Integrovaný obvod

IRC – Inkrementální rotační snímač (Incremental Rotary Coder)

PA– Polyamid

PID – Identifikační číslo výrobku (Product ID)

PU – Polyuretan

PWM – Pulzně šířková modulace (Pulse Width Modulation)

SPI – Sériová komunikační sběrnice (Serial Peripheral Interface)

USB – Univerzální sériová sběrnice (Universal Serial Bus)

VID – Identifikační číslo výrobce (Vendor ID)

Obsah

1	ÚVOD	13
1.1	CÍLE PRÁCE	13
2	MECHANICKÁ ČÁST	14
2.1	ZÁKLADNA	14
2.2	VŘETENO	14
2.3	LINEÁRNÍ OSY	17
2.4	MAZÁNÍ	19
2.5	CHLAZENÍ	20
3	PNEUMATIKA.....	21
3.1	PŘENOSOVÉ HADICE	22
3.2	ŠROUBENÍ A SPOJKY	22
3.3	ELEKTROMAGNETICKÉ VENTILY	23
3.4	NÁVRH PNEUMATICKÉHO PODAVAČE MATERIÁLU	24
4	ELEKTROTECHNIKA.....	26
4.1	MOTORY, VÝBĚR POHONŮ.....	26
4.1.1	<i>Asynchronní motory.....</i>	26
4.1.2	<i>Stejnoseměrné servomotory.....</i>	27
4.1.3	<i>Synchronní motory s permanentními magnety.....</i>	28
4.1.4	<i>Krokové motory.....</i>	28
4.1.5	<i>Lineární motory.....</i>	29
5	ELEKTRONIKA.....	30
5.1	BLOKOVÉ SCHÉMA SYSTÉMU	30
5.2	SENZORIKA	31
5.2.1	<i>Snímání lineárního pohybu</i>	31
5.2.2	<i>Snímání rotačního pohybu</i>	32
5.2.3	<i>Snímače polohy pístu</i>	33
5.2.4	<i>Zpracování dat o poloze.....</i>	34
5.3	OVLADAČE MOTORŮ	34
5.3.1	<i>Ovladač dvoufázových krokových motorů s TB6560</i>	34
5.3.2	<i>Ovladač krokových motorů s TMC262</i>	35
5.3.3	<i>Ovladač DC servomotoru</i>	38
5.4	OVLÁDACÍ PANEL.....	40
5.5	KOMUNIKAČNÍ JEDNOTKA	41
6	ZÁVĚR	43
7	POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE.....	44
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	45
9	PŘÍLOHY.....	46

1 Úvod

Pokud se nějaké zařízení pyšní zkratkou CNC, jedná se o stroj řízený počítačem, neboli „Computer Numeric Control“. Zkratka se používá pouze u obráběcích strojů, přesto, že je i spousta jiných zařízení, která jsou také plně automatizovaná a řízená počítačem. Hlavní výhodou CNC strojů, ve srovnání s klasickými obráběcími stroji, je rychlost produkce, která je mnohonásobně vyšší, než u klasických strojů. Přesnost výrobků již také nezávisí na zručnosti obsluhy, ale je pořád stejná. Další výhodou je samostatnost. CNC stroje jsou schopny pracovat až několik dní bez jediného zásahu obsluhy. Díky těmto vlastnostem již ve velkosériové výrobě plně nahradily klasické obráběcí stroje.

Tato práce se zabývá kompletním návrhem a realizací CNC soustruhu na tyčový materiál, který se bude svými vlastnosti blížit komerčně prodávaným strojům a bude ho možné nasadit do průmyslové výroby.

1.1 Cíle práce

Cílem práce je navrhnout mechaniku stroje s ohledem na maximální tuhost konstrukce, zvolit vhodné komponenty pro maximální mechanickou přesnost polohování a co nejdelší životnost celého stroje. Dále spočítat potřebný výkon, respektive moment všech aktuátorů a k nim navrhnout řídicí a výkonovou elektroniku. Všechny řídicí jednotky propojit společnou sběrnici a zajistit komunikaci s řídicím systémem EMC2 (Enhanced Machine Controller) v počítači. Po zprovoznění celého mechatronického systému najít a odstranit případná slabá místa a následně nasadit stroj do výroby.

2 Mechanická část

Volba vhodných materiálů mechanické části je základním krokem pro dobré vlastnosti celého zařízení. Je nutné si uvědomit, že elektronické systémy dokážou pracovat s přesností o několik řádů vyšší než jsou možnosti mechanických částí. Proto je výsledná přesnost systému závislá hlavně na mechanice zařízení. Je sice možné nepřesnosti do určité míry kompenzovat softwarově, ovšem jedná se spíše o nelinearitu pohybových šroubů a podobné chyby, které jsou matematicky popsitelné. Nepřesnosti jako jsou mrtvý chod šroubu či volné uložení, kde se chyba projevuje náhodně, nelze plně kompenzovat.

2.1 Základna

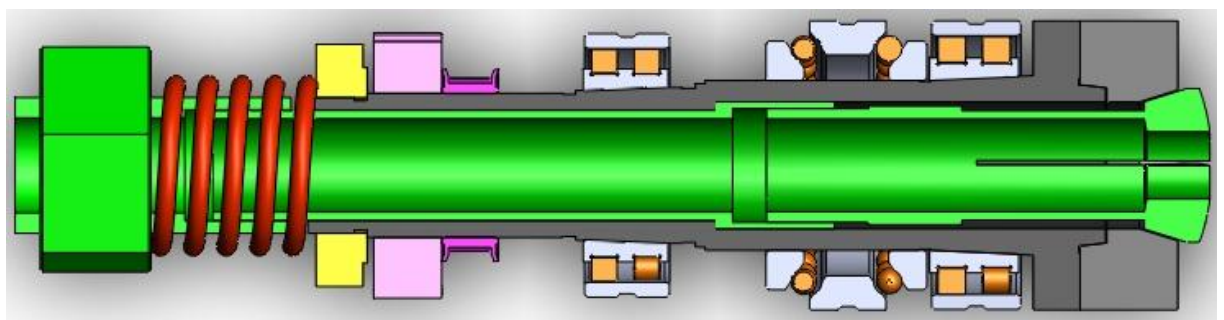
Mechanika obráběcích strojů se skládá z pevné základny zařízení, na které jsou umístěny pohyblivé lineární a rotační osy. Mezi hlavní požadavky základny patří maximální tuhost, která zamezuje následnému pružení a vychylování z polohy při působení síly, dále zabraňuje přenosu vibrací, který může být také příčinou nepřesností. Mezi materiály, splňující tyto parametry patří například litina, která se dříve, kvůli svým vlastnostem, pro stavbu strojů používala. Ovšem po odlití části bylo nutné tento díl nechat takzvaně dozrát, protože materiál ještě po nějakou dobu nepatrně mění svůj tvar. Po dozrání je zaručena jeho tvarová stabilita, může být obroben na přesné rozměry a použit. Doba dozrávání může být v řádech jednotek i desítek měsíců. Z tohoto důvodu je v dnešní době „just in time“ výroby tento způsob nemyslitelný. V dnešní době se používají ocelové desky a profily, které jsou svařovány do požadovaného tvaru základny. Po svaření se celá konstrukce vyžihá, aby se odstranilo vnitřní pnutí materiálu v místech svárů. Pro dosažení ještě vyšší tuhosti se často tyto profily následně vyplní například polymer-betonem.

Jelikož nemám možnost nechat vyžihat svařenou základnu, byla použita základna ze staršího stroje. Výhodou této volby byla i možnost zachování současného rybinového vedení. Dále i vodního hospodářství, které po drobných úpravách umožňuje chladit obrobek a nástroje emulzí.

2.2 Vřeteno

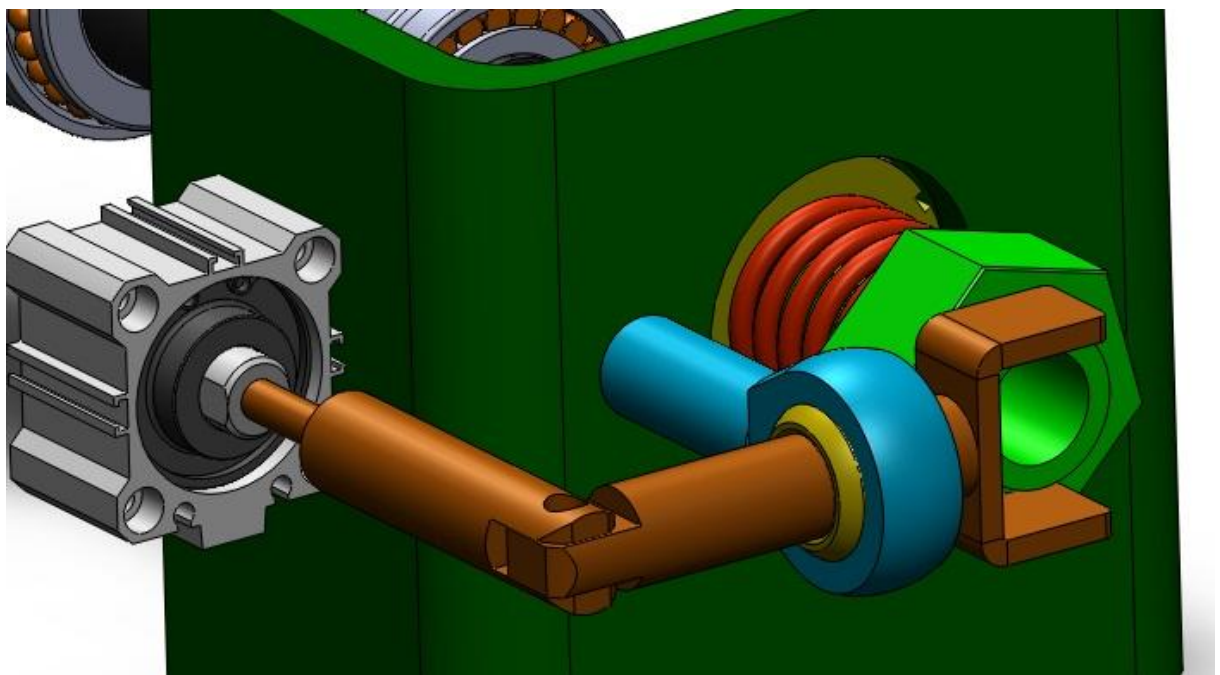
Hlavním úkolem vřetena je držet obrobek a spolu s ním se otáčet určitou rychlostí. Upínání obrobku může být několika způsoby. Převážně se používá upínání pomocí kleštiny a nebo pomocí sklíčidla. Sklíčidlo se skládá z těla a tří nebo čtyř čelistí, kterými se obrobek uchytí. Hlavní výhodou je velký rozsah upínacích průměrů, díky čemu se jedná o velmi univerzální

upínací prostředek a používá se například i v ručních vrtačkách a podobných zařízeních. Druhým způsobem je upínání kleštinové. Je založeno na kleštině, která je kuželovitého tvaru a v místě kuželu naříznutá. Kleština je vtahována do domečku, díky čemuž má snahu se sevřít. Naříznutí kleštiny umožňuje omezené svírání. Výhodou tohoto typu upínání je menší hmotnost celého mechanismu, držení za téměř celý obvod těla obrobku, díky čemuž na něm nezůstávají stopy po upínání a dosahuje se nižší „háživosti“ výrobku. Navíc při obrábění nedochází k deformaci slabostěnných obrobků, jak tomu je u upnutí sklíčidlem. Nevýhody kleštinového upínání spočívají v omezeném upínacím rozsahu kleštiny, která je určena pouze na jeden průměr v rozmezí například půl milimetru. Z tohoto důvodu je nutné mít sadu kleštiny na všechny potřebné průměry. Kleštinové upínání se dělá především na menší průměry, typicky do upínacího průměru 50 mm. Jelikož je stroj navrhován pro obrábění tyčového materiálu do maximálního průměru 25 mm, bylo zvoleno kleštinové upínání. Princip navrženého vřetena a upínání viz Obr. 2-1 (jedná se pouze o principiální obrázek, mnoho dílů je zde vynecháno a celé vřeteno je úmyslně zkráceno z důvodu přehlednosti obrázku). V pravé části uprostřed je kleština zelené barvy, zašroubovaná do táhla, které vede skrz celé vřeteno. Na konci táhla je matice, stlačující červenou pružinu, která se opírá o žlutou stahovací matku řemenic, umístěnou na těle vřetena. Tato stlačená pružina zajišťuje neustálou sílu, která působí na táhlo a následně na kleštinu. Kleština je neustále vtahována do kuželu vřetena a tím svírána. Výhoda použití pružiny místo utahování maticí je v rychlosti upínání. Pro otevření stačí zatlačit proti pružině, kleština se vysune z kuželu a otevře se. Za povšimnutí stojí i míra naříznutí kleštiny a její kuželovitý povrch, kterým se svírá. Vřeteno je uloženo ve třech ložiskách. Dvě radiální dvouřadá válečková, zajišťující udržení vřetena v ose. Pro zajištění maximální přesnosti byla zvolena ložiska s kosoúhlým stykem, která dosednou na kužel vřetena a zajistí dokonalý styk mezi ložiskem a vřetenem. Pro udržení axiální polohy bylo zvoleno dvojité axiální kuličkové ložisko. Na obrázku je dále vidět, že kužel na svírání kleštiny není součástí těla vřetene, ale je ze samostatného dílu. Je to z důvodu možnosti výměny dosedacího kuželu, který se může časem opotřebovat nebo poškodit.



Obr.2-1: Řeznavrženým kleštinovým upínáním

Na Obr. 2-2 je vidět princip navrženého automatického otevírání kleštiny. Potřebná síla je vytvářena pneumatickým pístem o průměru 40mm a chodu 5mm. Tak malý chod byl zvolen záměrně, protože pro otevření kleštiny ji stačí posunout o velmi malou vzdálenost, prakticky je to vzdálenost kolem půl milimetru. Díky krátkému pístu je pro otevření potřeba málo stlačeného plynu a celý proces je velmi efektivní a rychlý. Jelikož je vřeteno průchozí a nebylo možné umístit píst v ose za vřeteno, je otevírání vyřešeno přes páku (hnědá). Jako čep páky bylo zvolenou kloubové oko POS20 (modré tělo, bronzový kloub), které je přišroubováno do masivního těla zadní části vřeteníku. Druhý konec páky má tvar vidlice, aby vřeteno zůstalo průchozí a aby se na osu vřetena tlačilo symetricky a nevznikaly zde síly, působící mimo osu, které by zbytečně namáhaly ložiska i tělo vřetena. Pokud je nutno kleštinu otevřít, pneumatický píst se vysune, vidlice zatlačí na matici, svírající pružinu. Díky tomu se posune celá vnitřní část spolu s kleštinou, která se vysune z kuželu a otevře se. Pro zavření vřetena se píst zasune, vidlice se vrátí do původní polohy od matice. Kleština se sevře díky pružině, která tlačí matici zpět dozadu a vřeteno se může roztočit spolu s upnutým materiálem. Tento systém se velmi osvědčil, je velmi rychlý, otevření a zavření trvá dohromady zhruba 200ms. Ovšem je nutné čekat na podavač materiálu, než dodá potřebný materiál (viz kapitola 3.4 Návrh podavače materiálu). Na pneumatickém pístu vřetena je snímač polohy pístu, který slouží jako zpětná vazba pro řídicí systém. Zabraňuje roztočení vřetena před uzavřením kleštiny.



Obr. 2-2: Navržené automatické otevírání kleštiny

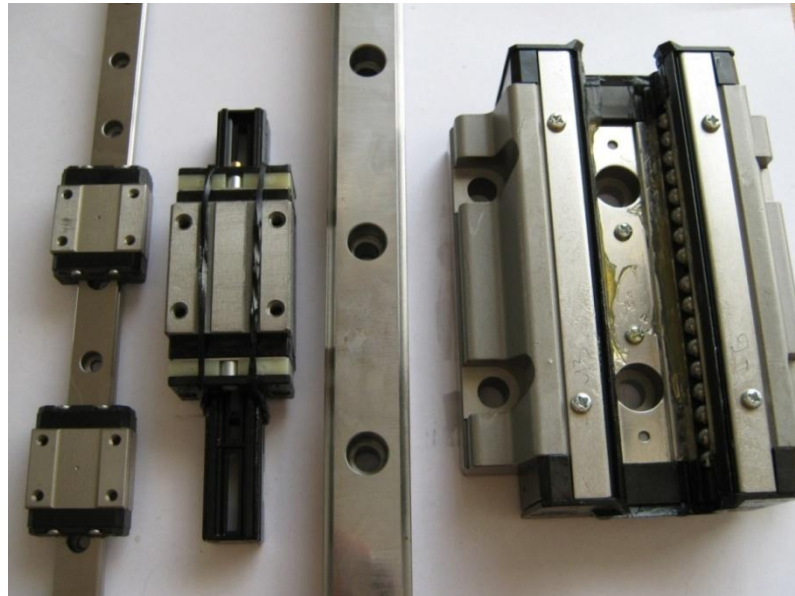
2.3 Lineární osy

Lineární osy mají za úkol měnit polohu nástroje a tím obrábět obrobek, umístěný ve vřetenu. U soustruhů jsou použity dvě na sebe kolmé lineární osy, díky kterým je možné pohybovat nástrojem v celé ploše jejich maximálních rozjezdů. Hlavní částí osy jsou lineární vedení, které udržuje osu ve své dráze a přenáší radiální síly na základnu stroje. Druhou částí je pohybový šroub, který zajišťuje přenášení rotačního pohybu motoru na lineární a posouvá osu v axiálním směru.

Vyrábí se mnoho typů lineárních vedení. Dříve bylo nejčastěji používané takzvané rybinové vedení, které vynikalo svojí snadnou vyrobiteľností a vynikající tuhostí, která je zajištěna velkou styčnou plochou. Bohužel, kvůli velké ploše vznikalo i značné tření a pro pohyb osy bylo nutné vynaložit větší sílu. Dnes se používá převážně lineární kuličková nebo válečková vedení, která se skládají z přesných, broušených kolejnic a vozíků. Mezi vozíkem a kolejnicí jsou kuličky, po kterých se vozík pohybuje. Ve vozíkách jsou recirkulační kanály, kterými se dostanou kuličky z konce dráhy opět na začátek. Při pohybu nedochází k téměř žádnému tření, díky čemu je tento typ vedení velmi efektivní a má dlouhou životnost. Princip je podobný jako u klasických kuličkových ložisek, zde jsou však použity většinou čtyři řady kuliček, které zajišťují vyšší tuhost. Navíc lze díky více řadám dosáhnout i takzvaného předepnutí, které spočívá v umístění jednotlivých drah nepatrně mimo jejich osu. Díky čemu se vymezí vůle. Velikost kolejnic se volí v závislosti na plánovaném zatížení. Například 15mm široké vedení udává maximální zatížení 16kN, 25mm vedení má dovoleno přenášet 36kN a vedení o šířce 35mm zvládne přenášet síly o velikosti až 69kN. Toto jsou katalogové hodnoty pro vedení od firmy HIWIN, které udávají maximální zatížení na jeden vozík, ovšem pro lineární osu se používají vždy alespoň 4 vozíky, teoreticky by tedy celá osa zvládla přenášet čtyřnásobek udávané síly. Pro vyšší zatížení se používají válečková vedení. Válečky jsou schopné přenášet větší síly než kuličky, u kterých by mohlo docházet k rychlému opotřebení, nebo k deformacím.

Pro polohování těchto os se používají kuličkové šrouby, které fungují na stejném principu. Základem je broušený šroub a matka, mezi kterými jsou kuličky. Přesvědčit se o tom, že je pohyb téměř bez tření lze nakloněním šroubu s matkou z vodorovné polohy do svislé, kdy se matka pomocí gravitace okamžitě samovolně roztočí. Při manipulaci s kuličkovými šrouby je nutné dbát na to, aby se matka ze šroubu nevytočila. Kuličky nejsou v matce nijak zajištěné a došlo by k jejich okamžité ztrátě. Po vysypání kuliček z matky je téměř nemožné jejich opětovné nasazení do matky. To samé platí i u lineárního vedení menších rozměrů. Na Obr. 2-3 je vidět několik velikostí lineárního vedení. Druhý vozík zleva je osazen na plastové

kolejnici, která zabraňuje vysypání kuliček. Při nasazování na kolejnici je nutné opatrně přesunout vozík z jedné kolejnice na druhou se zajištěním jejich minimální mezery. Kuličkové šrouby se podobně jako lineární vozíky, prodávají nasazené na plastové trubce. Dále je na obrázku možné vidět vozík o velikosti kolejnice 35mm, který má již kuličky zajištěné proti úniku, díky čemuž riziko ztráty kuliček odpadá. Je zde vidět jedna ze čtyř řad kuliček.



Obr. 2-3: Lineární vedení o velikostech: zleva 12, 15, 25 a 35mm

Pro praktickou aplikaci na CNC soustruh bylo použito rybinové vedení, které zůstalo na použité základně. Bylo zde doděláno automatické mazání, pro delší životnost a hladší chod. Pro polohování os byly použity kuličkové šrouby o průměru dvacet milimetrů a stoupání pět milimetrů na otáčku, ke kterým bylo doděláno vhodné uložení. Tyto šrouby jsou osazeny dvojími předepnutými maticemi, které zajišťují vyšší přesnost oproti jednoduchým kuličkovým maticím. Předepnutí za použití dvou kuličkových matic znamená, že se matky, nasazené na šroubu lehce zatáhnou do sebe, díky čemuž se vymeze případná vůle. Pokud časem dojde k opotřebení šroubu, je možné tyto matky dotáhnout a opotřebení vymežit. Je však nutné, aby byl šroub opotřeбен rovnoměrně. Pro zajištění co nejmenšího opotřebení bylo zavedeno automatické mazání, spouštěné v pravidelných časových intervalech z řídicího systému, díky kterému jsou šrouby i vedení neustále promazané.

2.4 Mazání

Mazání je nezbytnou součástí mechaniky. Snižuje tření, zajišťuje vyšší efektivitu a životnost pohyblivých součástí. Jako mazivo se používá buď olej nebo vazelína (mazací tuk). Výhody vazelíny jsou hlavně v trvanlivosti na mazaném místě. Vazelína je hustá a lépe přilne a drží na svém místě. Zápornou vlastností je mnohdy právě její viskozita, kvůli které se zvyšuje valivý odpor ložisek a při vyšších rychlostech vzniká teplo. Kvůli její tuhosti se nedostane všude tam, kde olej, není schopná samovolně zatéct do menších otvorů a podobně. Její použití je tedy hlavně pro mazání částí s nižšími otáčkami nebo tam, kde není možné zavedení olejového rozvodu. Mazání olejem má nespočet výhod, hlavní z nich je možnost mazat i vysokootáčkové pohyblivé části. Bohužel nevýhodou je nutnost neustálého přimazávání, protože olej odtéká pryč. Z toho plyne nutnost použití olejového čerpadla, které bude čerpat olej ze sběrné vany přes filtr zpět na mazaná místa (princip je stejný jako u automobilových motorů). Je možné použít i takzvané ztrátové mazání, které nesbírá použitý olej zpět. Tento typ mazání se používá pro mazání kuličkových šroubů a lineárního vedení, protože není možné nebo efektivní použitý olej dostat zpět do olejové nádrže. Další výhodou ztrátového mazání je, že se maže neustále novým a čistým olejem.

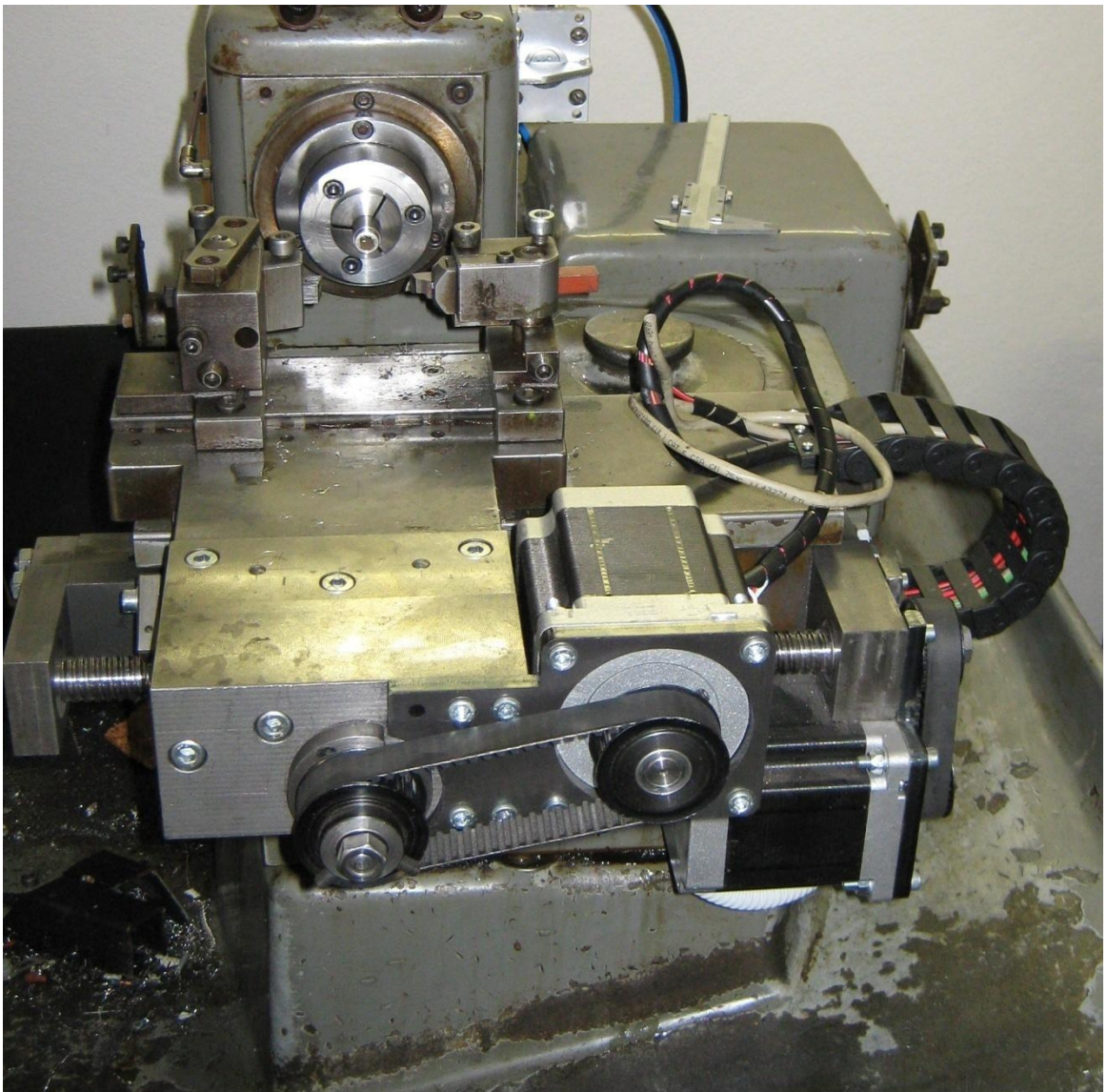
Zajímavý problém nastane, pokud je za čerpadlem rozvedenímazání do více míst s použitím klasických rozvodjek. V některých místech bude mazat víc než v jiných, v závislosti na délce olejového vedení a průměru mazacích otvorů. Jednotlivé větve mají totiž různý odpor. Řešením je použití rozdělovačeviz Obr. 2-4, který v sobě integruje regulátor průtoku. Jedná se v podstatě o předřadný odpor, který je alespoň řádově větší, než odpor použitého vedení. Používaná olejová čerpadla jsou často čerpadla zubová, která fungují jako zdroj proudu. Při použití předřadných odporů se vyrovnají velikosti odporů jednotlivých rozvodů a proud oleje se rozdělí rovnoměrně. Toto použití s sebou ovšem přinese zvýšení tlaku oleje na primární straně rozvodu a je potřeba použít vhodné hadice i šroubení, které jsou schopny tyto tlaky vydržet. Je možné použít různé poměry předřadných odporů s cílem rozdělit proud mazání dle potřeby.



Obr. 2-4: Rozdělovač s integrovaným regulátorem průtoku

2.5 Chlazení

Při obrábění je ve většině případů nutné chladit obrobek i nástroje. Díky chlazení se snižuje teplota nástrojů a tím se zvyšuje jejich životnost. Chlazení dále přispívá k lepším řezným vlastnostem, třísky se nelepí na nástroje. Díky téměř konstantní teplotě obrobku nedochází k obrobení do špatných rozměrů z důvodu tepelné roztažnosti materiálu, která při přesných rozměrech není zanedbatelná. Pro chlazení se používá převážně emulze oleje s vodou. Olej zajišťuje lepší řezné podmínky a zabraňuje korozi materiálu. Voda slouží k akumulaci tepla a případnému odpařování. Emulzi lze pořídit jako koncentrát, který se naředí vodou. Poměr vody je závislý na použitých nástrojích a vlastnostech emulze. Často se používá 10% emulze a 90% vody. Pro čerpání emulze bylo použito klasické samonasávací odstředivé čerpadlo, poháněné asynchronním motorem o výkonu 500W.



Obr. 2-5: Mechanika stroje bez krytování

3 Pneumatika

Pneumatika je obor, zabývající se přeměnou stlačeného plynu na mechanickou práci. V průmyslu se pneumatické systémy objevují velmi často. Výhoda jejich použití spočívá v jednoduchosti montáže, jednoduchosti ovládání, dostupnosti dílů a spolehlivosti. Vysoké spolehlivosti dosahují hlavně proto, že obsahují velmi málo pohyblivých dílů, z pravidla se jedná o tělo pístu a pístnici, které jsou po několika desítkách let vyvinuty k téměř dokonalým parametrům, zaručujícím maximální efektivitu a spolehlivost. Dále je to stlačené médium, které s sebou přináší malé množství oleje, kterým promazává pohyblivé části a tím přispívá k delší životnosti. Dalším faktem je samotný stlačený plyn, který funguje jako tlumič pohlcující silné rázy a vibrace, které by v jiných případech mechaniku poškodili. Není možné přehřátí jednotlivých prvků například z důvodu mechanického přetížení, jak tomu může být u elektromechaniky. Nebezpečí požáru, způsobeného pneumatikou a elektromagnetického rušení se také obávat nemusíme. Pneumatické prvky díky své rostoucí oblibě stále rozšiřují své řady a již nyní obsahují nepřehlednou škálu dílů a možností, díky čemu je možné pro jakoukoliv aplikaci nalézt vhodný pneumatický prvek. Pokud bychom chtěli například vyrobit malý lineární dopravník, který se bude pohybovat z bodu A do bodu B. Při použití mechatroniky by bylo nutné navrhnout lineární vedení, zvolit vhodný elektromotor, navrhnout převod z rotačního pohybu na lineární, vyřešit koncové spínače a navrhnout vhodnou řídicí elektroniku, nějaké věci nakoupit, zbylé zadat do výroby a doufat, že se při návrhu neudělala chyba a nebude nutné toto zařízení předělat. Při použití pneumatiky stačí zvolit vhodnou kompletní osu, která v sobě integruje pohon i mechanické vedení a může se ihned namontovat a začít používat. Nevýhoda pneumatických systémů je neschopnost přesného polohování, pneumatika je v drtivé většině případů určena pouze na pohyb mezi dvěma dorazy, není možné zastavit na přesné pozici někde uprostřed. Jedna z dalších nevýhod je použití vzduchu jako pohonné médium. Ten s sebou do systému přináší vlhkost, která po stlačení kompresorem a tím i zahřátí vzduchu začne kondenzovat. Většinou je to pouze problém nádoby kompresoru, na výstupu z kompresoru by měl být odlučovač vody a nečistot, aby se zabránilo prostupu dále do rozvodu vzduchu. Zkondenzovaná voda se drží na dně tlakové nádoby, proto zde má většina kompresorů odpouštěcí ventil, který je určen právě na odpouštění kondenzované vody, aby nedocházelo ke korozi.

3.1 Přenosové hadice

Pro přenos stlačeného plynu se používají nejčastěji plastové hadice. Konkrétně hadice z Polyuretanu nebo Polyamidu. Polyamidové hadice vynikají svojí schopností přenášet vysoký tlak, řádově lze přenášet tlak několika desítek barů. Navíc disponují vysokou odolností proti chemikáliím. Jelikož se jedná o neohebné, tvrdé hadice, je jejich využití především pro delší, rovná vedení, jako jsou hlavní rozvody ve výrobních halách. Naopak PU hadice vynikají svojí flexibilitou, která ani časem nezmizí. Nejsou tolik odolné proti chemikáliím a maximální přenášený tlak je 10 bar. V pneumatice se pracuje v drtivé většině s tlakem 8 barů, takže jsou i přes toto omezení použitelné. Používají se hlavně pro koncovou automatizační techniku a pro pohyblivé systémy. Všechny hadice jsou kalibrované na vnější průměr kvůli šroubení, které se připevňuje právě na vnější průměr hadice.

3.2 Šroubení a spojky

Pneumatické hadice jsou normalizované na vnější průměry 4, 6, 8mm a další. Jelikož jsou vnitřní průměry hadic dost malé, není možné provádět spojování nastrčením spojky dovnitř hadice, protože by se již tak malý vnitřní průměr ještě zmenšil a spojka by fungovala zároveň jako nechtěný škrtkovací ventil. Spojováním za vnější průměr se tomuto problému předejde. Navíc má vnější povrch hadice větší styčnou plochu se spojkou, než by měl vnitřek, takže spojka lépe drží. Vyrábí se dva typy uchycení hadic. Starším typem je uchycení pomocí nástrčného kuželu, který se na povrch hadice rozlisuje převlečnou maticí. Modernější konektory jsou nástrčného typu. V konektoru je ocelový lamelový kroužek, který se zasunutím hadice otevře a brání zpětnému vysunutí hadice, čím větší silou se snaží hadice vysunout ven, tím větší silou ji kroužek svírá. Pro rozpojení hadice a konektoru stačí zamáčknout čelo konektoru (modrý konec Obr. 3-1), které otevře svírací prstýnek a hadice jde volně vysunout. Díky tomuto způsobu je montáž extrémně rychlá a jednoduchá. Tento způsob, na rozdíl od lisovacího způsobu, nezpůsobuje poškození hadic a je možné provádět změny v zapojení bez nutnosti potřeby použití nových hadic. Dále je možné si všimnout vnitřního šestihranu, který je určený pro utahování koncovky pomocí imbusového klíče, díky čemu se při návrhu nemusí počítat s prostorem pro utahování za vnější část těla konektoru a konektory mohou být velmi blízko u sebe. Velmi praktické je i označení velikosti hadice na modrém čele šroubení, díky kterému lze velmi rychle najít potřebnou velikost, bez nutnosti měření nebo zkoušení. Konektor je vybaven i podložkou, která v sobě zahrnuje gumové

těsnění. Není tedy třeba zajišťovat těsnost spoje pomocí teflonové pásky, jak je tomu u klasického šroubení.



Obr. 3-1: Šroubení FESTO, 6mm hadice, závit 1/8

3.3 Elektromagnetické ventily

Pro pneumatické aplikace se setkáváme v převážně se solenoidovými ventily. Nejčastěji označované 3/2 a 5/2. Toto označení popisuje jejich základní vlastnosti, první číslo určuje, kolika pneumatickými konektory ventil disponuje. Druhé číslo určuje počet možných stavů solenoidu. Ventil s označením 3/2 disponuje 3 konektory a dvěma možnými stavy. Tento ventil by bylo možné použít pro ovládání jednočinného pístu, ventilem se buď plní a nebo vyprazdňuje pouze jedna strana pístu. Při použití 5/2 ventilu je možné plnit jednu stranu pístu a zároveň vyprazdňovat druhou. Rozpoznat, zda se jedná o 3/2 ventil nebo 5/2 je možné podle počtu tlumičů hluku. 5/2 cestný ventil je vždy vybaven dvěma kusy tlumičů. Tlumiče hluku má za úkol tlumit hluk, vznikající při vyprazdňování pístů, při kterém vzniká prudký proudový impulz. Tento impulz je doprovázen nepříjemným rázovým hlukem. Tlumič má tvar válce, který má tělo z lehce prostupného materiálu. Jeho úkolem je rozptýlit proud média do všech stran a tím snížit hlukový impulz.

Ventily mohou být monostabilní i bistabilní. Bistabilní ventily mají dvě cívky, nacházející se na opačných koncích pístu, každá cívka tahá solenoid na svojí stranu ventilu. Po odpojení napájení zůstane ventil v aktuální pozici, díky čemu lze pro přepnutí ventilu použít pouze krátký proudový impulz. Lze pořídit cívky na různá napětí, nejčastěji však 24 nebo 230V. V drtivé většině se v konektoru nachází usměrňovač, díky kterému lze cívku napájet střídavým či stejnosměrným napětím, nezávisle na přiložené polaritě. Pro rozsáhlejší systémy

je vhodné použít ventilové bloky, které mají společný vstupní terminál a tlumič a stačí pouze vyvést hadice pro jednotlivé prvky. Ovládání je možné pomocí sběrnice a nebo klasicky pomocí kontaktů na jednotlivých ventilech. Velmi praktická je i LED signalizace přímo na ventilu, která pomáhá jednoduše rozpoznat aktuální stav zařízení. Na Obr. 3-2 je vidět i dvojitá hadice, která je vhodná pro napájení dvou-činných prvků. Díky barevně odlišeným polovinám zpřehledňuje zapojení a přispívá k jednodušší montáži.

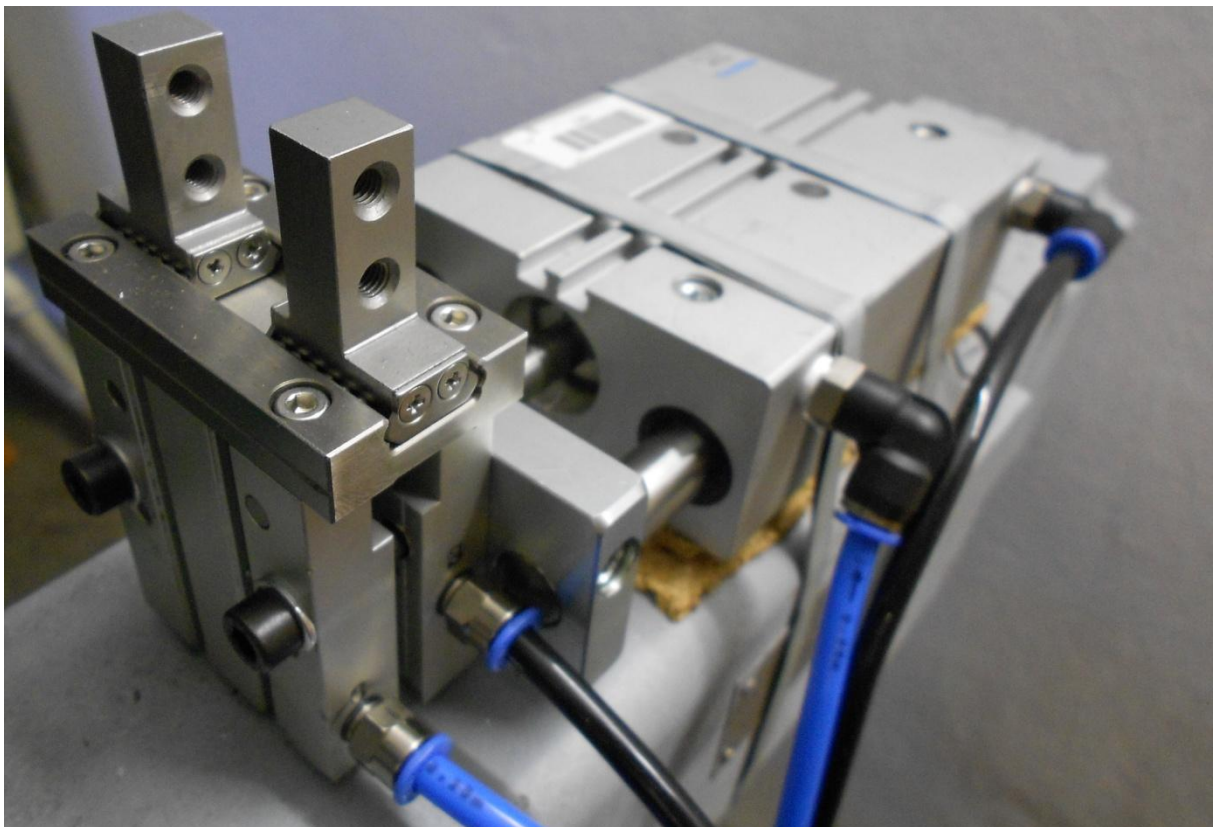


Obr. 3-2: Elektro-pneumatický ventil 5/2

3.4 Návrh pneumatického podavače materiálu

Na stroji byl navržen pneumatický podavač materiálu a otevírání vřetena, které bylo již popsáno v kapitole 2.2 Vřeteno. Funkce podavače materiálu je uchopit tyčový materiál, počkat na otevření kleštiny, posunout, počkat na zavření kleštiny a pustit tyč materiálu. Původní myšlenka byla umístit posunovač před vřeteno, přímo mezi nástroje. Posunování by probíhalo pomocí os soustruhu, které by materiál vytáhli z otevřené kleštiny. Bohužel zde dochází k neustálému chlazení pomocí emulze, hrozilo by vniknutí třísek a zbytků po obrábění do části mechanismu a následnému špatnému uchopení. Nebyla by zde možnost zajistit rychlou zpětnou vazbu posunuté vzdálenosti. Finální řešení bylo z těchto důvodů umístěné na zadní straně vřetena. Pro uchopení materiálu bylo zvoleno pneumatické dvouprstové chapadlo („gripper“) MHZ2-25DN od firmy SMC, které zajistí uchopení tyčí od průměru 7mm, pro menší průměry je nutno našroubovat na prsty podložky. Pro delší, těžké

tyče je vhodné přidat na prsty gumové návleky, aby se docílilo lepší adheze a nedocházelo k prokluzování. Pro posouvání uchycené tyče je použita lineární pneumatická osa, která v sobě integruje pneumatický píst a lineární vedení. Posouvá chapadlo i s uchycenou tyčí. Bohužel u pneumatických pístů není možné zajistit přesné polohování, jedná se tedy o dvoustavové polohování od konce na druhý konec nebo od konce k dorazu. Pokud je potřeba posunout materiál jen do určité vzdálenosti, musíme do cesty umístit doraz, o který se posouvání zastaví. Pro jednoduchost a efektivnost byl tento doraz namontovaný mezi obráběcí nástroje, pro jeho nastavení stačí dojet nástrojovou hlavou do požadované polohy. Pneumatická osa začne posouvat tyč a dosune jí až na tento doraz. Doraz je odizolovaný silnější gumovou vrstvou, která funguje jako tlumič nárazu, ale hlavně jako kontaktní snímač, který vyhodnotí, zda byl materiál posunut až k dorazu. Po tomto vyhodnocení se sevře kleština, chapadlo pustí tyč a vrátí se do základní polohy, zatímco nástrojová hlava připraví vhodný nástroj. Vřeteno se roztočí a může začít obrábění.



Obr. 3-3: Navržený pneumatický podavač materiálu

4 Elektrotechnika

4.1 Motory, výběr pohonů

4.1.1 Asynchronní motory

Asynchronní motory jsou jedny z nejrozšířenějších motorů vůbec. Je to hlavně díky jejich jednoduchosti konstrukce, spolehlivosti a jednoduchosti ovládání. Princip činnosti je založen na vytvoření točivého magnetického pole, které vznikne díky fázově posunutým střídavým proudům, procházejících vinutím statoru. Toto pole začne indukovat napětí v rotoru, rotorem začne procházet proud, který vytváří druhé magnetické pole. Obě magnetické pole na sebe navzájem působí a roztáčí rotor. Rychlost otáčení tohoto motoru je závislá na počtu pólových dvojic, které jsou dané od výroby a na frekvenci napájecího napětí. V drtivé většině případů se provozuje s konstantními otáčkami, napájen síťovým napětím 3x400V. Rychlost otáčení je zde tedy dána pouze počtem pólů, nejčastěji používané hodnoty jsou 3000 pro jednu, 1500 pro dvě a 750 otáček za minutu pro tři pólové dvojice. Jelikož se jedná o asynchronní motor, rychlost magnetického pole a rotoru je synchronní pouze v ideálním případě, kdy neuvažujeme žádné tření ani jiné mechanické ztráty. Ovšem žádné mechanické zařízení není bezztrátové a je nutné mu pro jeho konstantní chod energii dodávat. Rotor je tedy neustále ve skluzu za rotujícím magnetickým polem statoru. Velikost skluzu je závislá na zátěži motoru, kde s rostoucím skluzem roste i moment motoru. Asynchronní motory jsou určeny pro napájení třemi fázemi. Jejich provoz je možný i pouze s jednou fází za pomoci rozběhových kondenzátorů, je však nutné počítat s poklesem maximálního výkonu. Při dvoustavovém řízení motoru, ať už pomocí relé, stykače nebo mechanického spínače, vykazují asynchronní motory velké rozběhové proudy, které mohou být až 7x větší, než maximální pracovní proud. Pokud tedy chceme připojit motor o výkonu 3 kW, odebíraný rozběhový výkon ze sítě bude přesahovat 20kW. Pro pokročilejší řízení se používají frekvenční měniče. Je zde možné nastavit akcelerační rampy, maximální proudy a spoustu jiných vlastností, díky kterým se předejde proudovým špičkám při rozběhu nebo případnému přetížení motoru. Motor je možné řídit libovolnými otáčkami, které jsou pro motor mechanicky přijatelné. Při provozování v nízkých otáčkách vykazuje motor špatnou schopnost chlazení. Typický asynchronní motor je chlazen pomocí vrtule pevně spojené s rotorem. Při nízkých otáčkách nevytváří vrtule dostatečný průtok vzduchu a motor se přehřívá, je tedy nutné použít externí chlazení. Uplatnění v průmyslu naleznou jako pohon čerpadel, různých dopravníků, ventilátorů a podobně. Jedná se o aplikace, kde není vyžadována maximální přesnost a statické držení polohy, ale hlavně spolehlivost a nízká cena.

Vhodná aplikace na tento stroj by byla pouze jako pohon vřetena, kdyby nebylo vyžadováno i pevné držení polohy, bohužel tato vlastnost požadována je a proto použití asynchronního motoru není vhodné. Lze jej však použít pro podřadnější aplikace, například pohon čerpadla chladicí kapaliny, případně olejového čerpadla pro mazání, kde se uplatní jeho vysoká spolehlivost a konstantní otáčky.

4.1.2 Stejnosměrné servomotory

Princip činnosti stejnosměrného motoru je založen na statickém magnetickém poli, vytvářeném statorem. Stator může být ve formě elektromagnetu a nebo permanentních magnetů. V tomto magnetickém poli se nachází rotor, kterým protéká proud a vytváří druhé magnetické pole. Obě magnetické pole se navzájem přitahují a tím otáčejí rotorem. Pole rotoru je potřeba neustále udržovat natočené o určitý úhel před polem statoru, aby působení elektromagnetů způsobovalo roztáčení rotoru. Tuto funkci plní komutátor, který přepíná proud do jednotlivých cívek rotoru. Komutátor se skládá z několika od sebe navzájem odizolovaných lamel, které jsou uspořádány do kruhu na hřídeli rotoru. Na tyto lamely přiléhají kartáče, které přivádějí proud. Bohužel, kvůli nedokonalému kontaktu mezi lamelami a kartáčem vzniká jiskření, které způsobuje významné elektromagnetické rušení. Další nevýhodou je poměrně krátká životnost kartáčů, které se obušují a zanechávají po sobě grafitový prášek, který je vodivý a může způsobit nechtěné problémy. Naopak největší výhodou stejnosměrných motorů je jednoduchost řízení. Otáčky motoru jsou závislé na přiloženém napětí a kroutící moment je úměrný protékajícímu proudu. Díky těmto vlastnostem lze celkem jednoduše postavit řídicí elektroniku pro ovládání motoru. Motor je schopný dosahovat vysokých otáček a zároveň umožňuje přesné polohování a vysoký přídržný moment. Jeho moment však klesá s rostoucími otáčkami. Obecně tedy platí, že maximální otáčky stejnosměrného motoru závisí na napájecím napětí a zátěži. Ideální nezátížený stejnosměrný motor by se roztáčel do nekonečna. Ovšem i v praxi je nutné dávat pozor, abychom neroztočili motor nad jeho fyzikální možnosti. Pokud připojíme k nezátíženému motoru vyšší napětí, snadno se překročí jeho maximální otáčky a může dojít k zadření ložisek, roztržení lamelového prstýnku komutátoru nebo utržení části rotoru. Využití stejnosměrných motorů se nachází především tam, kde je potřeba vysoký přídržný nebo rozběhový moment, přesné polohování nebo vysoké otáčky. Prakticky to může být například v robotice a automatizaci, kde slouží pro přesné polohování jednotlivých os nebo v ručním nářadí, jako jsou vysokootáčkové vrtačky, frézky a brusky, případně jako pohonná

jednotka vozidel. V této aplikaci lze uvažovat o použití pro pohon vřetena i jednotlivých os. Uplatní se zde jeho vysoký rozběhový moment a přesné polohování. Je však nutné počítat s pravidelnou údržbou a to ve formě výměny kartáčů, hlavně u pohonu vřetena.

4.1.3 Synchronní motory s permanentními magnety

Synchronní motory s permanentními magnety mají stejný stator, jako asynchronní motory, ale rotor mají z permanentního magnetu. Jak už název napovídá, rychlost otáčení rotoru je stejná jako rychlost statorového rotujícího pole, což má své klady i zápory. Nejvýznamnější zápor je, že není schopný samovolného rozběhu připojením na síťové napětí. Pokud se požaduje provoz v konstantních otáčkách, je možné ho roztočit jiným motorem a po synchronizaci na frekvenci síťového napětí už si drží sám konstantní otáčky. V automatizaci se používají měniče specializované na tyto motory, díky téměř nulovému skluzu rotoru a statorového pole reaguje velmi rychle na změnu proudu ve statorovém vinutí. Kombinuje schopnosti přesného polohování a vysokých otáček, navíc je jeho momentová charakteristika konstantní až do jmenovitých otáček. Díky těmto vlastnostem nabízí možnosti, jaké žádný z předchozích motorů a proto se v dnešní době stal jedním z nejrychleji se rozšiřujících typů motorů v průmyslu. Drtivá většina nových obráběcích strojů je osazena právě těmito motory, ať už pro pohon vřetene nebo pro polohování jednotlivých os. Nevýhodou pro běžné použití je poměrně složitá a drahá ovládací elektronika.

4.1.4 Krokové motory

Krokový motor je speciální případ synchronního motoru, který obsahuje několikanásobně více pólů. Díky čemu má mnohem vyšší rozlišení polohování a lze provozovat bez zpětné vazby rotoru. Na druhou stranu má horší momentovou charakteristiku, která s otáčkami klesá. Nejčastěji používané krokové motory jsou dvoufázové, které vyžadují pro řízení dva H-můstky. Lze je řídit unipolárně, kde se řídí vždy pouze jedna fáze a nebo bipolárně. Při bipolárním řízení se řídí obě fáze najednou a z motoru je díky tomu možné dostat větší výkon. Dalším důležitým parametrem je mikrokrokování. Dvoufázový motor má standardně 200 kroků na otáčku. Pro některé aplikace může být toto rozlišení dost hrubé, případně při nízkých otáčkách se motor netočí hladce, ale jsou na něm pozorovatelné přechody mezi jednotlivými kroky. Aby se tomu zamezilo, řídí se motor pomocí mikrokroků, jednotlivé celé kroky se rozdělí na části, díky čemu má motor vyšší rozlišení. Ideální řízení dvoufázového krokového

motoru by bylo v případě řízení harmonickým proudem, kde by byly fáze fázově posunuté o čtvrt periody.

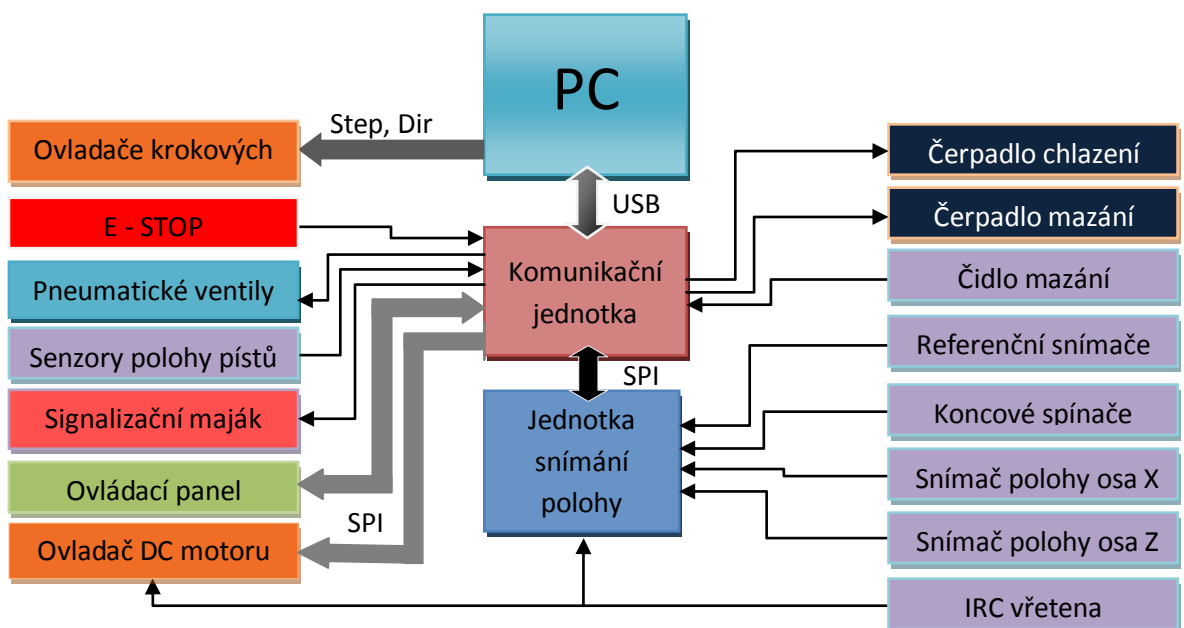
4.1.5 Lineární motory

Existuje několik typů těchto motorů, pro průmysl se používají opět synchronní motory s permanentními magnety. Mezi výhody lineárních motorů obecně patří přesnost, rychlost a akcelerace v lineárním směru. V této oblasti je žádné jiné motory nedokážou porazit. Mezi jejich záporné vlastnosti patří cena, která je zatím poněkud vysoká a také převodování, které už z principu není možné realizovat. Jelikož se jedná o synchronní motory, je možné pro jejich ovládání použít klasické ovladače rotačních synchronních motorů. Myslím, že se průmysl bude v budoucnosti ubírat hlavně tímto směrem, pokud není potřeba převádět rotační pohyb na lineární, odpadá nutnost použití kuličkových šroubů, či jiných převodovek. Motor je v přímém kontaktu s lineární osou, díky čemu nejsou v mechanické části žádné vůle, nevzniká takzvaný „backslash“, který se u kuličkových šroubů objevuje. Další výhodou je životnost těchto systémů, protože nedochází k mechanickému kontaktu a tření a následnému mechanickému opotřebení jako u kuličkových šroubů.

5 Elektronika

5.1 Blokové schéma systému

Řídicí systém celého systému se nachází v PC, kde běží na operačním systému Linux, který zaručuje real-time běh systému. S PC komunikuje komunikační jednotka, která má za úkol shromažďovat aktuální data z ostatních jednotek, posílat jednotkám data nová a časovat výměnu dat s PC. Dále ovládá SSR pro motory mazání a chlazení, řídí celou pneumatickou část, posílá příkazy pro ovladač vřetena, vyčítá data z jednotky snímání polohy a v neposlední řadě komunikuje s jednotkou ovládacího panelu, který snímá stisky tlačítek a ovládá několik signalizačních LED. Ovladače krokových motorů jsou zatím řízeny přímo z PC přes paralelní port, pomocí příkazů Step, Dir. Toto řešení je z důvodu rychlé odezvy, které se přes USB zatím nepodařilo dosáhnout. Z hlediska zpětných vazeb je zde zavedena zpětná vazba polohy natočení vřetena, která je vedena přímo do ovladače, aby měl potřebná data pro PID a také do jednotky snímání polohy, která jí následně přeposílá do PC. Díky tomu je softwarově synchronizované vřeteno a osy a je možné řezat závity, případně použít vřeteno jako třetí osu a frézovat do obrobku potřebné tvary. Ovládání pneumatických ventilů je zcela v rukou komunikační jednotky, která přijímá příkazy pro činnost pneumatické části, ale do řídicího systému jejich zpětnou vazbu nevrací. Pokud není komunikační jednotka schopná příkaz splnit, přepne řídicí systém do manuálního režimu a pomocí signalizačního majáku upozorní obsluhu na potřebu asistence.



Obr. 5-1: Blokové schéma elektronické části systému

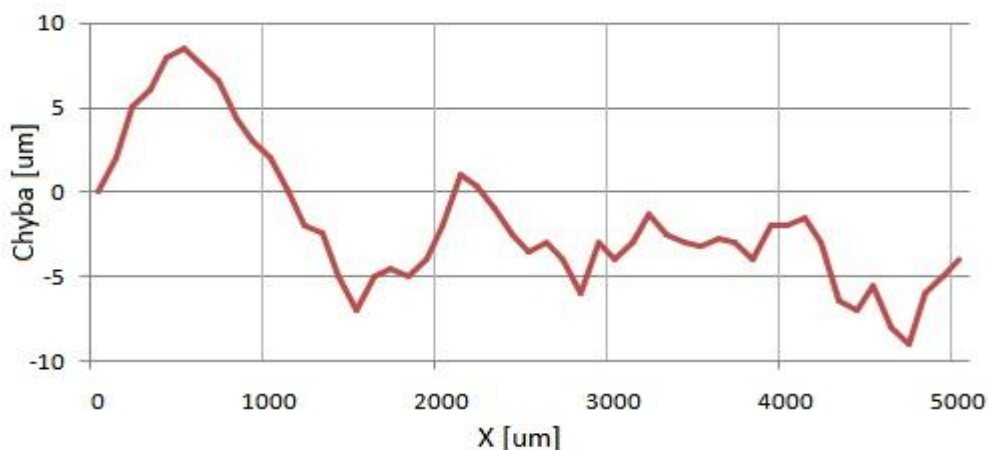
5.2 Senzorika

5.2.1 Snímání lineárního pohybu

Největší zastoupení senzorů v obráběcích strojích je v podobě inkrementálních snímačů. Nejčastěji se používají pro zpětnou vazbu polohy motorů a nebo pro přímé odečítání polohy jednotlivých os. Toto přímé odečítání polohy částečně eliminuje nedokonalosti mechanických částí, hlavně kuličkových šroubů, protože řídicí systém má reálné hodnoty polohy stroje, nikoliv pouze polohu motoru. Díky tomu je možné do určité míry mechanické nedostatky softwarově kompenzovat. Ovšem navrhnout vhodný regulátor, který bude schopný uřídit systém s náhodně se vyskytující a mnohdy progresivní odchylkou není jednoduché. Používané lineární snímače jsou v drtivé většině optická skleněná pravítka, která dokážou odečítat polohu v s přesností až 500 nanometrů. Sklo je zvolené hlavně kvůli jeho výborné chemické odolnosti, mechanické stálosti a malé teplotní roztažnosti. Bohužel se za jejich vynikající vlastnosti platí poměrně vysoká cena, kvůli čemu není jejich použití pro běžné stroje reálné. Dokonce i profesionální CNC stroje nejsou vždy těmito pravítky osazeny a často se využívá jen zpětné vazby z rotačního snímače hřídele motoru. Budoucnost skleněných pravítek zřejmě nečeká další rozvoj ve směru vyššího rozlišení, jelikož se již s tímto rozlišením 500nm dostávají na hranici fyzických možností. Tyto vzdálenosti jsou srovnatelné s vlnovou délkou světla a proto zde dochází k těžko řešitelným problémům, jako jsou například ohyby světla na hranách značek pravítka a podobně. Vývoj by mohl nastat v magnetických snímačích, které se doposud neúspěšně snaží tyto optická pravítka svými vlastnostmi pokořit.

Pro zpětnou vazbu jednotlivých os jsem zvolil právě tyto lineární magnetické inkrementální snímače, hlavně kvůli jejich cenové dostupnosti, ale také kvůli udávanému rozlišení 500nm. Testování proběhlo přímo na mechanice soustruhu, kde byly použity magnetické pásky od firmy Bogen, se vzdáleností magnetických pólů 1mm. Upevnění pásky proběhlo přilepením na podkladovou pásku, magnetická páska byla dále zakryta ochrannou nerezovou páskou. Naměřená souosost snímací hlavy a pásku byla v rozmezí 20um. Pro snímání polohy byl použit inkrementální magnetický snímač AS5311 od firmy Austriamicrosystems, který uvádí v katalogovém listu rozlišení až 500nm. Snímač disponuje kvadrurním výstupem s rozlišením 2um, pro vyšší rozlišení je nutno data vyčítat pomocí SPI rozhraní. Měření probíhalo za pomoci mechanického úchylkoměru s rozlišením 1um, který sloužil jako referenční snímač polohy. Výsledky měření bohužel ukázaly, že vysoké rozlišení neznamena automaticky i vysokou přesnost, snímač sice reaguje s velkým

rozlišením, ale chyba udávané polohy vůči poloze aktuální se pohybuje v jednotkách mikrometrů, viz Obr. 5-2. Je dost pravděpodobné, že je to způsobeno magnetickým páskem, který nemá póly dokonale umístěné a jsou mezi nimi nelinearity, které snímač nedokáže rozpoznat, případně kompenzovat. Další vnesená chyba do měření může být pomocí referenčního mechanického úchylkoměru, který nebyl před měřením kalibrován. Přestože nedosáhla aplikace přesnosti udávané v katalogovém listu, je dosažená přesnost pro toto použití dostatečná. Polohu lze spolehlivě určit s přesností 10 μm . V současné době nejsou tyto snímače použity pro přímou zpětnou vazbu, ale pouze o doplňující. Osy jsou poháněny krokovými motory, které jsou provozovány v otevřené smyčce. Zpětná vazba tu slouží pouze pro kontrolu polohy při případném ztracení kroku a pro referenční najíždění stroje po zapnutí. Pro referenční najetí souřadnic se zde využívá mikrosplínač, který spíná v rozsahu půl milimetru, jeho funkce je hrubé zjištění místa reference. Dále tento magnetický snímač, který má výstup Index, který je aktivní vždy na konci pólového páru, tedy každé 2mm pásku. Tyto dva signály jsou vedeny přes logický součin, jehož výstup slouží jako referenční značka nulových souřadnic. Při každém projetí tímto místem si systém ověří, zda je signál aktivní, jestli se od sebe skutečná a softwarová poloha neliší. V případě neshody se celý stroj zastaví a počká na akci obsluhy.



Obr. 5-2-1: Graf naměřených hodnot, závislost absolutní chyby na poloze

5.2.2 Snímání rotačního pohybu

Rotační snímače fungují na stejném principu jako lineární. Jsou většinou vyráběny v kompaktním provedení, hermeticky uzavřené, aby odolaly vniknutí nečistot k optickým snímačům. Jejich upevnění se provádí převážně přímo na hřídel motoru. Při návrhu motorů se s těmito snímači počítá a jsou proto vyráběny s prodlouženým tělem, na konci kterého je místo právě na tyto snímače. Zabudování snímače dovnitř těla motoru je chrání proti mechanickému poškození, ale i jako přídatný stupeň ochrany proti nečistotám.

Pro aplikaci CNC soustruhu byl použit optický rotační inkrementální snímač DR735 – 2500. Orientační cena 550\$. Tento snímač má na svém optickém disku 2500 značek, díky kterým je možné získat deset tisíc poloh na jednu otáčku, za předpokladu snímání všech hran kvadraturního výstupu. Toto rozlišení plně dostačuje i pro polohování. Výhoda vysokého rozlišení je v lepší funkci PID regulátoru, který začíná regulovat už při velmi malých výchylkách. Nevýhoda je větší výpočetní výkon pro zpracování polohy, pokud jednotka nedisponuje hardwarovým kvadraturním dekodérem.

5.2.3 Snímače polohy pístu

Aby bylo možné propojit pneumatický a elektronický systém, musí se tyto systémy provázat vazbami. Lze snímat tlak, ale z něj není jasné, jestli se píst nachází v požadované poloze. Proto se častěji využívají magnetické nebo indukční snímače polohy pístu. Pro tuto aplikaci byly zvoleny magnetické snímače SICK RZT6, orientační cena 40\$. Tyto snímače jsou určeny pro snímání polohy pístu přes hliníkové tělo pneumatického válce. Upevňují se do T drážek, kde se zafixují do požadované polohy pomocí šroubu umístěného na konci těla snímače. Pro zafixování je nutno šroubovat šroub ven z těla snímače, dokud se neopře o horní část T drážky, čímž přimáčkne snímač na tělo válce. Aby byl zachován zvyk utahovat směrem vpravo, je zde použit levý závit. Výstup snímače je dvoustavový push-pull, který se nachází v logické jedničce pouze při přiblížení magnetu na vzdálenost bližší než je detekční hodnota. Napájení je možné stejnosměrným nebo střídavým napětím v rozmezí deseti až třiceti voltů. Snímač je odolný proti přepólování stejnosměrného napětí, proti zkratu a proti odpojení některého z vodičů. Na těle snímače se nachází LED signalizace aktivního výstupu, která je velmi užitečná hlavně při montáži snímačů, kdy lze snadno nalézt limitní pozici sepnutí.



Obr.5-2-3: Čidlo polohy pístu v T-drážce a čidlo z bočního pohledu

5.2.4 Zpracování dat o poloze

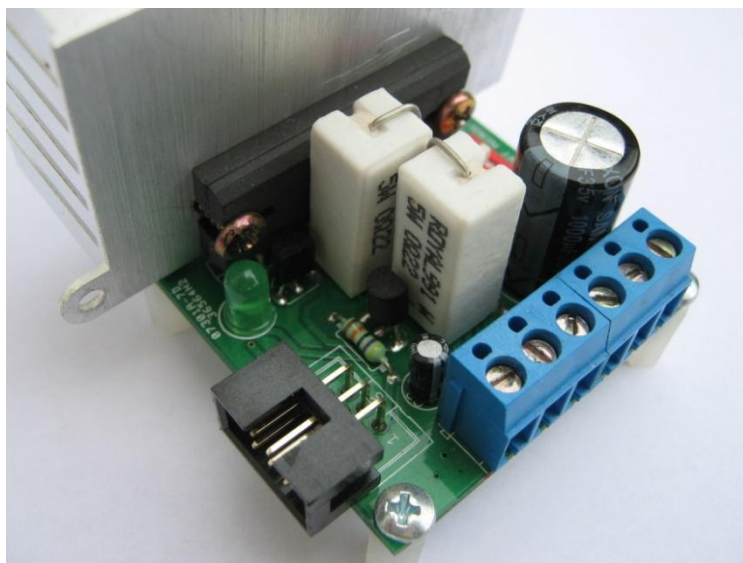
Pro zpracovávání dat ze snímačů polohy os i natočení vřetene byla navržena jednotka, osazená 32-bitovým procesorem STM32F100 od firmy STmicroelectronic. Jedná se o mikroprocesor s jádrem Cortex M3, který byl zvolen hlavně kvůli možnosti provozovat současně tři kvadrurní dekodéry, ke kterým lze následně přistupovat pomocí DMA. Výhodou zpracování dat všech snímačů jedním procesorem je hlavně časová synchronizace, protože se do řídicího systému odesílají data stejně stará. Úkolem této jednotky je pouze aktualizace dat o poloze a následná komunikace s komunikační jednotkou, který si data v případě potřeby vyčte pomocí SPI rozhraní.

5.3 Ovladače motorů

5.3.1 Ovladač dvoufázových krokových motorů s TB6560

Hlavní částí tohoto ovladače je integrovaný obvod od firmy Toshiba, který v sobě integruje logickou i výkonovou část. Ovládání se provádí pomocí signálů STEP, DIR, které určují krok a směr a pomocí signálu ENABLE, který odpojí výkonovou část, například v případě nouzového zastavení. Na plošném spoji je zakomponován monostabilní klopný obvod, který sleduje signál STEP a pokud zjistí, že žádné impulzy nepřicházejí a tím pádem má motor stát, svým výstupem změní napěťovou referenci a docílí snížení proudu motorem na polovinu. Stojící krokový motor ve většině případů nepotřebuje tak vysoký přídržný moment a je tedy zbytečné jím nechat protékat plný proud. Pokud je kladen důraz na maximální výkon motoru, je potřeba provozovat ovladač motoru těsně pod hranicí maximálního možného napájecího napětí. Toto sebou přináší nebezpečí možnosti překročení maximálního napájecího napětí při prudkém brzdění motoru, který se v tomto okamžiku chová jako generátor a vrací proud zpět do zdroje. Ovladač je před těmito prudkými špičkami chráněn pomocí přepěťové ochrany ve formě zenerovy diody, posílené výkonovým NPN tranzistorem. Pokud napájecí napětí vzroste nad hodnotu $0.7V + U_{zD}$, které je v tomto případě 33V, otevře se tranzistor a svede přepětí do země. Na ovladači se dále nachází úprava vstupních signálů ve formě filtru dolní propusti, který by měl odfiltrovat případné rušení s frekvencí vyšší než 70kHz. Po průchodu filtrem následuje Schmittův klopný obvod, který signály opět vytvaruje. Podle katalogového listu by měl mít integrovaný obvod maximální napájecí napětí 35V, praxe potvrdila, že je při tomto napětí schopný spolehlivě pracovat. Maximální proud jedním můstkem je udáváný 3.5A, testy prokázaly, že je možné obvod spolehlivě zatěžovat proudem i 4A. Ovšem raději používám jen doporučených 3.5A. Poslední limitní parametr je maximální

vstupní frekvence STEP, která je udávána jako 15kHz, tato frekvence je dost nízká. Změnil jsem proto časovací kondenzátor RC oscilátoru jádra čipu za menší, aby jádro běželo na vyšší frekvenci. Nyní lze spolehlivě zpracovávat STEP o frekvenci 60kHz. Ovladač umožňuje ovládat krokový motor v režimu Fullstep nebo pomocí mikrokrokování, které lze nastavit pomocí DIP přepínače na hodnotu 2x, 8x a 16x. Navržený ovladač je velmi spolehlivý, použil jsem ho již i do jiného stroje, kde funguje více než rok bez jediného problému, provozovaný na maximálních limitních hodnotách proudu i napětí.



Obr. 5-3-1: Ovladač krokových motorů s čipem TB6560

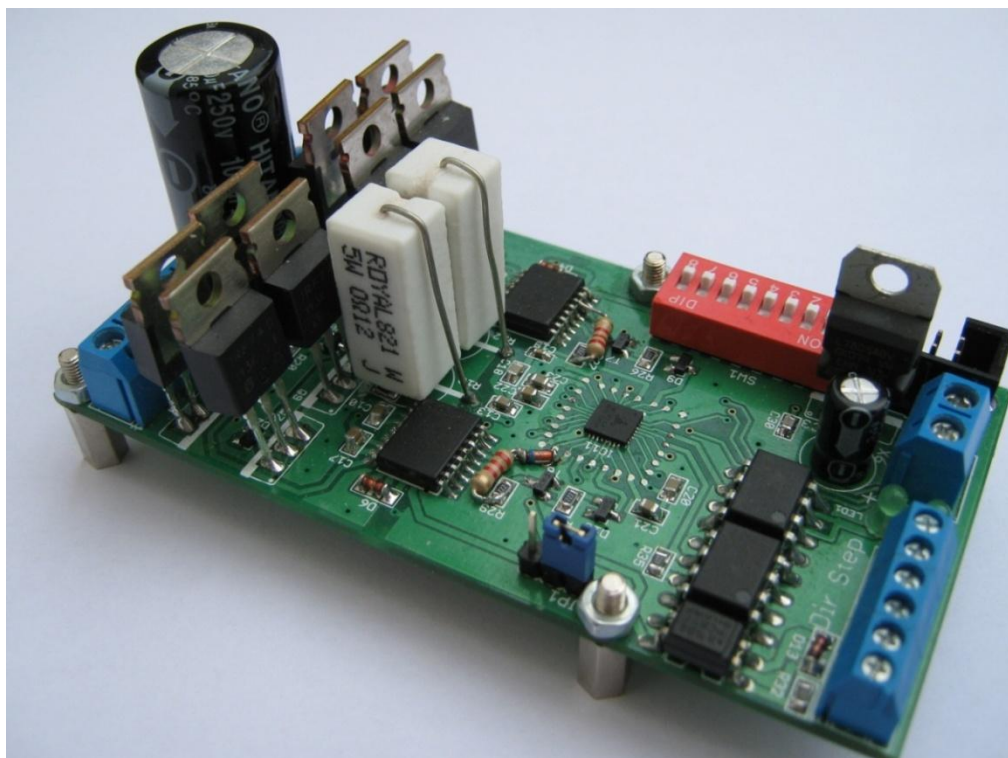
5.3.2 Ovladač krokových motorů s TMC262

Při stavbě mechanické části se ukázalo, že bude potřeba použít silnější motory, než bylo původně v plánu. Jelikož již předtím byl ovladač TB6560 vytěžován na maximum, bylo potřeba navrhnout výkonnější ovladač krokových motorů. Požadované vlastnosti byly stanoveny s velkou rezervou, aby již nenarazilo na limitní hranici ovladače. Proud každým můstkem minimálně 10A a napájecí napětí alespoň 100V. Z těchto vlastností bylo jasné, že nepůjde použít žádný integrovaný obvod, který by integroval i výkonovou část. Pro řízení byl zvolen integrovaný obvod TMC262, ke kterému byl navržen výkonový stupeň. Tento integrovaný obvod nabízí celou řadou vynikajících vlastností. Umožňuje mikrokrokování až do hodnoty 256x, které znamená, že dokáže rozlišit až 51200 pozic na jednu otáčku motoru. Lze ovládat buď pomocí SPI rozhraní a nebo pomocí standardních STEP a DIR vstupů, pro které je navíc vytvořen násobič 16x, díky kterému se jeden přijatý STEP rozdělí na 16 sub-stepů a pohyb motoru je tedy 16x plynulejší, bez nutnosti použít vysoké mikrokrokování a řídit ovladač vysokými frekvencemi STEP. TMC262 má tolik funkcí a nastavení, že je nutné ho nakonfigurovat pomocí rozhraní SPI. Bohužel, jedna z jeho nevýhod je právě nutnost

konfigurace, bez které je neaktivní. Tato konfigurace se musí provádět po každém restartu, to znamená, že je nutné přidat na plošný spoj konfigurační procesor, který ho vždy nakonfiguruje. Pro tento nenáročný úkol byl zvolen procesor ATmega8. Ke kterému je připojen blok osmi DIP přepínačů, kterými se zvolí požadované parametry a následně do TMC262 nahrají pomocí několika 20 bitových slov. Toto byl však největší problém. TMC262 disponuje filtrem SPI komunikace, který filtruje každou zprávu, kterou vyhodnotí jako šum. ATmega8 je 8 bitový procesor, z toho vyplývá, že při použití hardwarového SPI řadiče bylo nutné posílat data po osmi bitech, následně načíst další data a znovu odeslat. Tyto prodlevy však byly vyhodnoceny jako rušení a zprávy nebyly přijímány. Po naprogramování softwarové komunikace časované pomocí čítače se problém vyřešil.

Z hlediska výkonové části v sobě tento integrovaný obvod integruje budiče unipolárních tranzistorů typu P a N. Jeho maximální napájecí napětí pro výkonovou část je však pouze 60V, což by bylo také maximální možné napětí, připojitelné k externím tranzistorům. Při vyšším napětím by nebylo možné řídit horní páry tranzistorů v H můstcích. Tato hodnota nevyhovuje požadovaným parametrům na ovladač motoru. Bylo nutné navrhnout výkonovou část i s budiči. Byly zvoleny půl-můstkové budiče IR2110 pro unipolární tranzistory typu N, které disponují budícím proudem 2A, díky kterému dokážou nabíjet tranzistory velmi rychle a celá výkonová část má malé spínací ztráty. Dalším důležitým parametrem je maximální napěťový offset mezi tranzistory, který může být až 500V. Pro buzení horních tranzistorů je využito takzvaného plovoucího kondenzátoru, který se při vypnutém tranzistoru nabije z napájecího napětí, typicky 12V. Pro otevření horního tranzistoru se nabitý kondenzátor připojí mezi gate a source, díky čemu se napětí kondenzátoru objeví i na tranzistoru, který se otevře. Připojení budiče na výstup budičů z integrovaného obvodu nebylo možné přímo. Vnitřní budiče horní větve H můstku jsou určeny pro tranzistory typu P a navíc jsou pouze 5V, to znamená, že jejich výstup je 12V pro zavření a 7V pro otevření tranzistoru. Rozhodovací úroveň budičů IR2110 je 10V, potřebná úprava signálu byla provedena pomocí NPN tranzistoru, který obracel fázi, před který byla sériově zařazena 10V zenerova dioda. Pokud je tedy napětí 7V, pro otevření tranzistoru, zenerova dioda toto napětí nepropustí a NPN tranzistor zůstane zavřený, vstupní pin budiče je tažen pomocí pull-up rezistoru k napájecímu napětí 12V. Signály pro spodní tranzistory bylo nutné upravit také, jelikož dosahovaly hodnoty pouze 0 a 5V. Pro dosažení potřebné 12V hladiny pro budič byla signálová linka vytažena pomocí pull-up rezistoru a za výstup integrovaného budiče sériově vložena 7V zenerova dioda, která chrání výstup budiče proti přepětí. Pokud je na výstupu budiče nula, signálová linka se nachází v úrovni 7V, díky pull-up rezistoru. Jako výkonové

tranzistory jsou použity IRF740, které jsou schopny řídit kontinuální proud až 10A a spínat napětí až 400V. Jelikož je ovladač plánován na provoz na vyšší napětí, bylo nutné galvanicky oddělit všechny komunikační linky, aby se zamezilo nechtěnému dotyku nebo v případě poruchy rozšíření tohoto napětí na jiné systémové součásti. Galvanické oddělení má dále za výhodu eliminaci možných zemních smyček a možnost provozovat jednotlivé ovladače na různých napěťových hladinách. Toto oddělení bylo provedeno pomocí optočlenů 6N137 od firmy Fairchild semiconductor, které jsou schopné přenášet datový tok až do hodnoty 10MBit/s, navíc v sobě integrují hradlo, díky kterému je výstupní signál i natvarovaný s velmi krátkými náběžnými hranami. Před vstup optočlenů je vhodné zapojit antiparalelně diodu, která chrání vnitřní LED optočlenu proti chybnému zapojení vstupního signálu a proti záporným napěťovým špičkám. Velikost proudu je omezena sériově zapojeným rezistorem. Finální verze ovladače tedy umožňuje řídit dvoufázové krokové motory s mikrokrokováním až 256x, které dokáže proudově zatížit až deseti ampéry na fázi. Lze připojit napájecí napětí až 400V. Řízení se provádí pomocí signálů STEP a DIR, je možné řídit i pomocí SPI komunikace, ale tuto možnost nevyužívám hlavně kvůli časové synchronizaci jednotlivých ovladačů. Zatím nelze posoudit, zda se jedná o spolehlivé zařízení, v provozu bylo zatím pouze na pár hodin. Ale zcela jistě se jedná o ovladač, který svými vlastnostmi předčí běžně dostupné, které jsou v drtivé většině omezeny napájecím napětím na 50 nebo 80V, kvůli čemu nelze hlavně z větších krokových motorů dostat jejich maximální výkon.



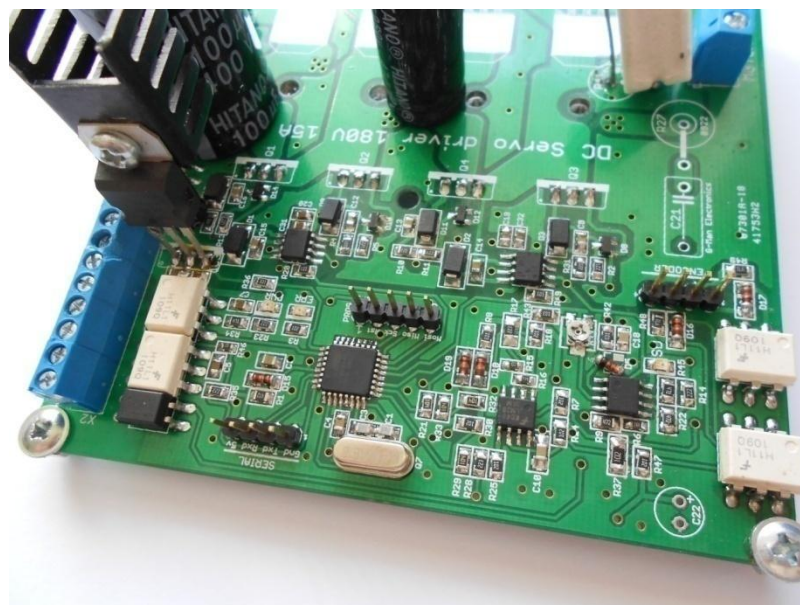
Obr. 5-3-2: Navržený ovladač krokových motorů s čipem TMC262

5.3.3 Ovladač DC servomotoru

Pro pohon vřetena byl použit stejnosměrný komutátorový motor s permanentními magnety o jmenovitém výkonu 1500W, který lze krátkodobě přetížít až na udávaných 15A při napájení 169V. Pro řízení motoru byl navržen ovladač s vhodnými parametry. Požadavky ovladače byly hlavně v univerzálnosti, aby byl použitelný i pro řízení motorů o větším či menším výkonu. Tento požadavek byl splnitelný pouze za předpokladu použití diskretních tranzistorů, které bude možno vyměnit v závislosti na aktuálních požadavcích. Srdcem celého ovladače je osmi bitový procesor ATmega88, který přijímá příkazy přes rozhraní SPI nebo přes signály STEP a DIR. V současné době je provozován pouze přes SPI rozhraní, které mi přišlo vhodnější než druhá varianta, navíc nebylo možné posílat dostatečný počet impulzů pro uvedení motoru do maximálních otáček. Procesor dále zpracovává zpětnovazební signál z optického rotačního inkrementálního snímače, který je ve formě kvadrurního signálu. Je zde použit snímač DR735 2500, se kterým je elektronika schopná rozlišit až deset tisíc poloh na otáčku, při sledování všech čtyř hran kvadrurního signálu. Bohužel ATmega88 není vybavena hardwarovým kvadrurním dekodérem a je nutné signál zpracovávat softwarově. Pro ulehčení výpočtů procesoru je do procesoru, kromě kvadrurních signálů A a B, zaveden i jejich exkluzivní součet, který změní svoji hodnotu po každé změně signálu. Změna tohoto signálu vyvolá přerušování, během kterého se vyhodnotí změna polohy. Pro ovládání výkonové části je v procesoru použit klasický PID regulátor, který sleduje rozdíl mezi požadovanou a aktuální polohou motoru. Výkonová část se skládá z půl-můstkových budičů IR2184 a tranzistorů HGTP7N60. Původně byla deska navržena pro MOSFET tranzistory IRF640, které jsou určeny pro provoz do 200V a 18A, bohužel první testy ukázaly, že zde nebyla dostatečná napěťová rezerva a už při napájení měniče 150V došlo k proražení jednoho z tranzistorů a následnému zničení celé výkonové části měniče přesto, že je napájecí zdroj opatřen přepěťovou ochranou, které při zvýšeném napětí působí jako umělá zátěž a přes výkonový odpor odvádí proud 10A. Toto řešení nebylo dostatečné a při prudkém brzdění motoru nezareagovala dostatečně. Proto byly následně použity IGBT tranzistory, které mají velkou napěťovou i proudovou rezervu. Tyto tranzistory jsou buzeny již dříve použitými budiči IR2184, které je dokážou budit proudem 1.4A. Napěťový offset 600V je také více než dostatečný. V budiči je integrován takzvaný deadtime o délce 500ns, jedná se o prodlevu mezi vypnutím jednoho a zapnutím druhého tranzistoru v půl-můstku. Zavření tranzistoru totiž není okamžité a bez prodlevy by mohlo docházet ke krátkým zkratům ve větvi můstku. Budič je ovládán jedním vstupem IN, který určuje zda má být otevřen horní nebo spodní tranzistor. V klidovém stavu jsou otevřeny oba spodní tranzistory H můstku a motoru je umožněn

takzvaný Free-wheel mód, kde se proud motoru uzavírá právě přes otevřené spodní tranzistory, případně přes diodu a tranzistor. Dalším vstupem budiče je /SD, kterým se vypne celý H můstek. Tento vstup je použit pro nouzové zastavení motoru v případě nebezpečí, ale také v součinnosti s omezovačem proudu. Který v případě nadproudu vypne tranzistory a dokud proud neklesne pod danou úroveň, zůstanou vypnuté. Omezovač proudu je složený ze snímacího rezistoru, ze kterého je snímáno napětí a komparátorem porovnáváno s referenční úrovní, nastavitelnou potenciometrem. Tento princip je nezávislý na procesoru a byl zvolen záměrně, aby se předešlo případné chybě nebo „zamrznutí“ procesoru a následnému spálení motoru. Vstup pro nouzové zastavení je přiveden také přímo do budiče. Tento vstup, společně se zpětnovazebními vstupy z čidla polohy a řídicími vstupy STEP, DIR jsou opticky oddělené. Tentokrát byly použity optočleny H11L1, hlavně kvůli menšímu pouzdru DIP6, které šetří místo na plošném spoji. Dále je zde vyveden konektor pro UART, který byl použit pro ladění PID regulátoru. Jelikož tento výstup není opticky oddělen, bylo nutné ho oddělit dodatečně. Pro tuto funkci byl použit Bluetooth modul BTM-112, díky kterému se naváže spojení s přenosným počítačem a je možné regulátor vzdáleně ladit přímo za chodu. Toto řešení se velmi osvědčilo a nyní ho používám pro veškeré mechatronické aplikace, které vyžadují ladění za provozu.

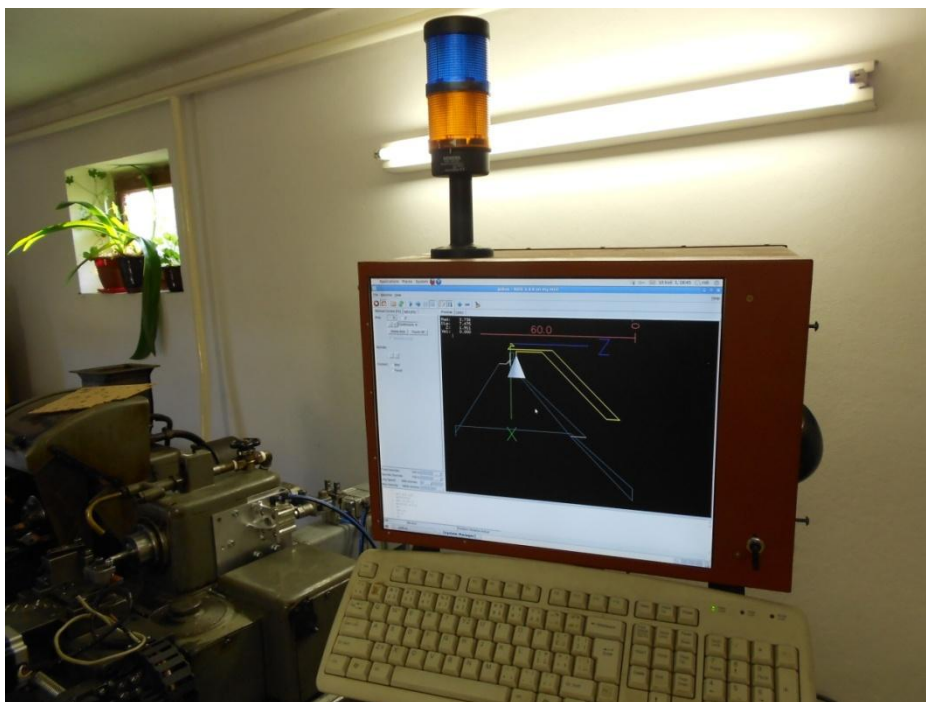
Celkově shledávám ovladač za spolehlivý a velmi univerzální. Nejdražší částí je část výkonová, která lze v případě potřeby nahradit levnějšími, méně výkonnými prvky. Takt jádra a zároveň i čítače je 20MHz, je použita 9-bit PWM, díky čemu je spínací frekvence 19,5kHz. Bylo by možné zvýšit rozlišení PWM na deset bitů, ale spínací frekvence by se snížila na polovinu a nacházela by se ve slyšitelném pásmu.



Obr. 5-3-3: Ovladač stejnosměrného servomotoru

5.4 Ovládací panel

Ovládací panel slouží pro ovládání a diagnostiku celého stroje. Tělo ovládacího panelu je vyrobeno z 3mm silného plechu, který byl vytvarován do potřebných rozměrů a zafixován pomocí nýtů. Integruje v sobě PC, LCD displej o úhlopříčce 17“, klávesnici, myš, zdroj 24V, signalizační maják, USB komunikační jednotku a v nejbližší době se zde objeví i fóliová tlačítka s LED signalizací stavů, která budou umístěna vpravo od displeje. Pro signalizaci stavu je zde zatím použit pouze maják, který signalizuje stavy výroby pro obsluhu. Signalizace pomocí majáku je výhodná v tom, že je vidět i z větší vzdálenosti a obsluha nemusí stát přímo u stroje. Klávesnice má svůj vlastní držák a myš je připevněna z boku pomocí magnetů. Klávesnice a myš jsou zde hlavně pro ovládání PC, programování a ladění programu. Po odladění programu na několika prvních kusech tyto ovládací prvky nejsou dále potřeba. Celý panel je uchycen na rameni, které disponuje dvěma klouby, díky kterým lze panel natáčet a posouvat do potřebné polohy. Rameno je připevněno na tělo stroje a mimo nosné funkce slouží i k vedení kabelových svazků.

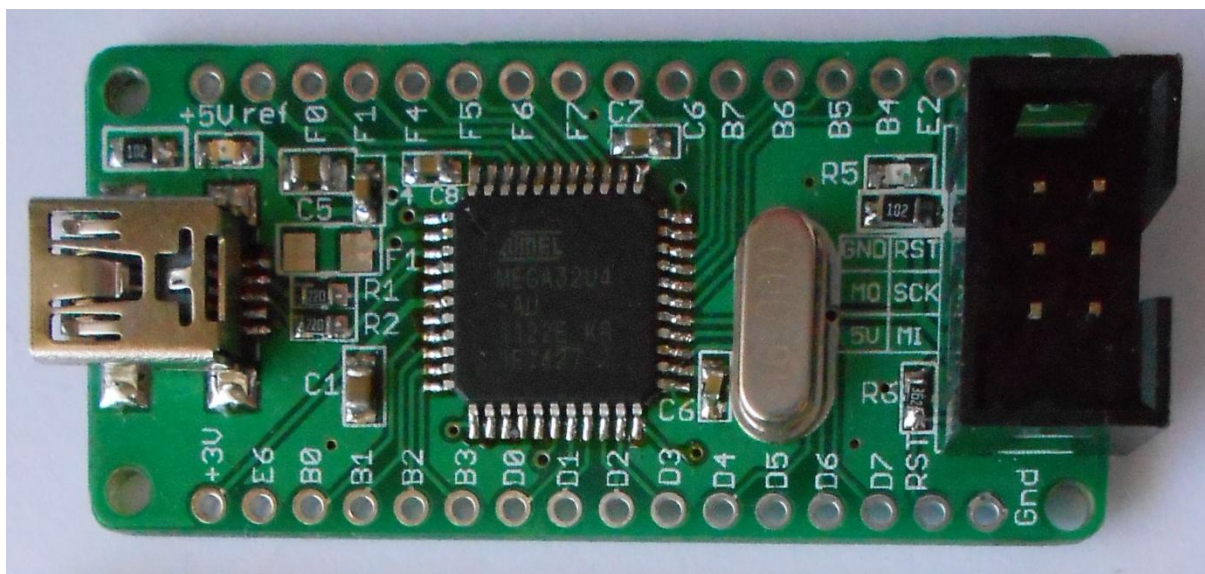


Obr. 5-4: Ovládací panel soustruhu

5.5 Komunikační jednotka

Komunikační jednotka je založena na procesoru ATmega32U4, který v sobě integruje hardware pro USB 2.0 Full-speed komunikaci. Integruje v sobě i stabilizátor napětí na 3.3V, potřebných pro komunikaci po USB sběrnici. Velmi zajímavý je i hardwarový USB bootloader, kterým lze procesor programovat přímo přes USB sběrnici, není potřeba žádný jiný programátor. Mikroprocesor disponuje fázovým závěsem, pro generování potřebné frekvence 48MHz. Je schopný komunikovat rychlostí Low-speed bez potřeby externího krystalu.

Plošný spoj je navržen velmi univerzálně, aby bylo možné jeho použití i v jiných aplikacích. Pro připojení k USB sběrnici je použit konektor USB mini, pomocí kterého je možné zařízení napájet. Všechny piny procesoru jsou vyvedeny na strany plošného spoje, kde jsou seřazeny v řadě s roztečí 2.5mm. Je možné je osadit kolíkovými lištami pro použití do nepájivého pole nebo 5mm svorkovnicemi, které vycházejí na každý druhý pin. Pro použití všech pinů je možné osadit svorkovnice shora i ze spodu. Pro komunikaci s ostatními jednotkami je zde vyveden konektor pro SPI komunikaci, kterým je možné procesor také programovat.



Obr. 5-5: Navržená komunikační jednotka

Komunikace po USB sběrnici umožňuje připojení mnoha zařízení současně. Aby nedocházelo ke kolizím, jsou zde jasně daná pravidla, která je nutné při návrhu respektovat. Jedno z nejdůležitějších je, aby mělo zařízení připojované ke sběrnici svojí unikátní a nezaměnitelnou identifikaci. Jako identifikace se používají Vendor ID (VID) a Product ID (PID), kde VID slouží pro identifikaci výrobce a PID pro identifikaci typu zařízení. VID

uděluje organizace USB-IF (Implementers Forum), za cenu 1500\$. Po zakoupení identifikačního čísla volí výrobce PID pro své produkty dle libosti, jelikož se jedná o 16-bit identifikátory, nemusí se výrobce bát brzkého vyčerpání všech možných PID na jeho VID licenci. Některé firmy jsou si vědomy, že nikdy všechny PID nejsou schopny vyčerpat a proto nabízejí svá PID případným zájemcům. Výhoda tohoto řešení je ve velmi nízké ceně, například firma Asix nabízí jedno PID za cenu 200kč. Nevýhoda může být, že se zařízení hlásí pod firmu, která je pod VID zaregistrovaná.

Pokud je ovšem zařízení navrhováno pouze pro osobní potřebu, není nutné tyto identifikátory řešit. Pokud se zařízení plánuje uvést na trh, je to nezbytně nutné. Se zakoupením mikroprocesoru, který disponuje USB rozhraním zákazník nedostává žádné identifikátory, ty je nutné koupit dodatečně. To platí i pro často používané převodníky FT232, zákazník nemá právo používat PID uložené v paměti od výroby. Ovšem je možné firmu FTDI přesvědčit, aby přidělila PID zdarma, s podmínkou, že v zařízení budou použity jejich integrované obvody.

Realizovaná komunikace probíhá v režimu Full-speed. Zařízení se do PC přihlásí jako HID zařízení, díky čemu nepotřebuje žádné dodatečné ovladače. Nevýhodou USB protokolu je jeho neschopnost real-time komunikace. Přenos je řízen z PC, který provádí takzvaný polling, neboli vyzívání jednotlivých zařízení k přenosu. Maximální frekvence, které lze dosáhnout je 1kHz, ovšem tato frekvence kolísá v závislosti na zatížení PC. Z toho důvodu se zatím nepodařilo naprogramovat vhodné řízení krokových motorů, využívající data z USB komunikace. Krokové motory jsou zatím řízeny paralelním portem, který dosahuje stabilně frekvence 30kHz a na dokončení USB komunikace pracují.

USB 3.0 má velmi zajímavé specifikace, hlavní výhodou, oproti USB 2.0 je skutečný interrupt transfer, který vyvolá okamžitý přenos na rozdíl od USB 2.0. Díky tomu bude jeho použití vhodné i pro real-time aplikace. Zatím bohužel není tolik rozšířené a jeho podpora je minimální, proto nebylo toto rozhraní do systému integrováno.

6 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a realizovat mechaniku i elektroniku CNC soustruhu na tyčový materiál. Před započítím návrhu bylo nutné tuto problematiku velmi pečlivě nastudovat, bylo nutné dobře naplánovat postup vývoje a stanovit přibližný plán výroby mechanických částí i elektronických systémů.

Díky zkušenostem, nabytým z předchozích realizací mechatronických zařízení se předešlo chybám v návrhu mechanické části a podařilo se docílit vysoké tuhosti a přesnosti celé mechanické konstrukce. Bylo dosaženo opakovatelné přesnosti výroby 10um. Tato hodnota splňuje požadavky pro plánované využití stroje. Díky použitým materiálům a zajištění automatického mazání do navzájem se pohybujících částí má celá konstrukce předpoklady pro dlouhou životnost a spolehlivost.

V elektronické části se podařilo navrhnout ovladač stejnosměrného motoru, kterým se ovládá motor o špičkovém výkonu až 2500W, ovladač disponuje vstupem pro inkrementální čidlo polohy a je řízen pomocí příkazů přijímaných ze sběrnice SPI. Dále byl navržen ovladač krokových motorů, který řídí motory, pohybující osami stroje. Ovladače disponují vysokým mikrokrokováním, díky čemu je dosaženo velmi plynulého a přesného pohybu. Pro odměřování polohy jednotlivých os byla navržena jednotka, která využívá snímání polohy z inkrementálních magnetických pravítek a rotačního inkrementálního snímače včetně. Komunikace s řídicím systémem EMC2, provozovaného na PC, probíhá pomocí USB rozhraní. Komunikační jednotka se připojí jako HID zařízení, díky čemu není nutná instalace ovladačů. V současné době neprobíhá veškerý přenos po sběrnici USB, ale krokové motory jsou řízeny pomocí paralelního portu. Pracuji na implementaci jejich řízení pomocí USB, ovšem je nutné zakomponovat do řízení i takzvaný „feedforward“, díky kterému bude řídicí systém posílat data jednotkám v předstihu, ty si tyto data budou ukládat do posuvného bufferu a v určitých intervalech tyto data použijí pro řízení.

7 Použitá literatura a zdroje

- [1] *Axelson, J.*, USB Complete fourth edition: The Developer's Guide, Madison, Lakeview Research LLC, 2009
- [2] *Linux CNC* [online]. User manual Dostupné z WWW:
http://www.linuxcnc.org/docs/EMC2_User_Manual.pdf
- [3] *Atmel* [online]. USB Generic HID Implementation on megaAVR devices, Dostupné z WWW:
<http://www.atmel.com/devices/ATMEGA32U4.aspx?tab=documents>

8 Seznam obrázků

Obr. 2-1: Řez navrženým kleštinovým upínáním	7
Obr. 2-2: Navržené automatické otevírání kleštiny	8
Obr. 2-3: Lineární vedení o velikostech: zleva 12, 15, 25 a 35mm	10
Obr. 2-4: Rozdělovač s integrovaným regulátorem průtoku	11
Obr. 2-5: Mechanika stroje bez krytování	12
Obr. 3-1: Šroubení FESTO, 6mm hadice, závit 1/8	15
Obr. 3-2: Elektro-pneumatický ventil 5/2	16
Obr. 3-3: Navržený pneumatický podavač materiálu	17
Obr. 5-1: Blokové schéma elektronické části systému	22
Obr. 5-2-1: Graf naměřených hodnot, závislost absolutní chyby na poloze	24
Obr.5-2-3: Čidlo polohy pístu v T-drážce a čidlo z bočního pohledu	25
Obr. 5-3-1: Ovladač krokových motorů s čipem TB6560	27
Obr. 5-3-2: Navržený ovladač krokových motorů s čipem TMC262	29
Obr. 5-3-3: Ovladač stejnosměrného servomotoru	31
Obr. 5-4: Ovládací panel soustruhu	32
Obr. 5-5: Navržená komunikační jednotka	33

9 Přílohy



Příloha 1: Finální podoba soustruhu před zakrytváním