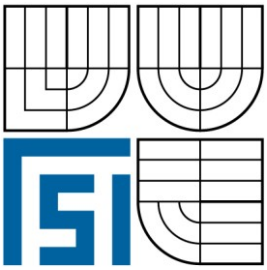


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

ŘÍZENÍ INVERZNÍHO KYVADLA PROGRAMOVATELNÝM AUTOMATEM

CONTROL OF REAL CART POLE BALANCER BY PLC

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — BC. DANIEL MITISKA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — ING. TOMÁŠ MARADA, PH.D.
SUPERVISOR

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Daniel Mitiska

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902T001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Řízení inverzního kyvadla programovatelným automatem

v anglickém jazyce:

Control of real cart pole balancer by PLC

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je vytvoření mechanické a elektrické části úlohy inverzního kyvadla. Jedná se o balancování tyčky která je umístěna na vozíčku. Pohyb vozíčku bude realizován v jedné ose a řízen motorem. Náklon tyčky bude snímán rotačním snímačem IRC. Dalším cílem bude vyzkoušet možnosti řízení programovatelným automatem.

Cíle diplomové práce:

1. Seznamte se s dostupnými podklady ohledně úlohy inverzního kyvadla na internetu.
2. Proveďte návrh mechanické části úlohy.
3. Realizujte mechanickou část úlohy.
4. Proveďte návrh elektrické části úlohy.
5. Realizujte elektrickou část úlohy.
6. Proveďte ověření funkčnosti mechanické a elektrické části úlohy.
7. Vyzkoušejte možnosti řízení programovatelným automatem.

Seznam odborné literatury:

[1] http://dce.felk.cvut.cz/roubal/science/diplom/intro/intro.php
[2] http://www.cs.hmc.edu/~dodds/projects/RobS03/Mapping/oldindex.html
[3] http://www.aptronix.com/fuzzynet/applnote/twostage.htm
[4] http://lims.mech.northwestern.edu/~design/mechatronics/2004/Team11/

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 11.11.2008

L.S.

doc. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.	doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Ředitel ústavu	Děkan fakulty

zadání diplomové práce

zadání diplomové práce

licenční smlouva

licenční smlouva – vložit!!

ABSTRAKT:

Tato práce se zabývá návrhem inverzního kyvadla, tyčky balancující na pojízdném vozíčku. V první části je popsán návrh a realizace mechanické části úlohy, úskalí při navrhování a její konečné řešení.

Druhou částí je navrhnutí a realizace elektrické části úlohy. Následuje ověření funkčnosti mechanické a elektrické části a vyzkoušení možností řízení programovatelným automatem.

ABSTRACT:

This thesis deals with design of inversion pendulum, pole rod balancing on mobile vehicle.In the first part is described projection and realisation of mechanical part of the task, the problems encountered during the projection and eventuallly its final solution. Follows verification of the mechanical and electrical part and testing of possibilities of operating by programated machine.

KLÍČOVÁ SLOVA

Inverzní kyvadlo, stejnosměrný motor, inkrementální snímač, programovatelný automat, Pulzní modulace

KEYWORDS

Inverted pendulum, DC motor, optical encoders, Programmable automation, PWM Motor Driver

PODĚKOVÁNÍ:

Rád bych poděkoval mému vedoucímu práce Ing. Tomáši Maradovi, Ph.D. za cenné rady, ochotu a pomoc při vypracování této diplomové práce.
Také za to, že se mi snažil vždy pomoci a vyjít vstříc při realizaci práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině a přítelkyni za oporu při jejím vypracování.

OBSAH

1.ÚVOD 11

2. ROZBOR PROBLÉMU 13

3. MODEL INVERZNÍHO KYVADLA 15

3.1 RÁM KONSTRUKCE 16
3.2 ULOŽENÍ MOTORU, ŘEMENOVÝ POHON 19
3.3 POJEZDOVÝ VOZÍK 22
3.4 ELEKTRONIKA 25
3.5 ULOŽENÍ KYVNÉ ČÁSTI – KYVADLA 26
3.6 KONSTRUKČNÍ NEDOSTATKY 28

4. IDENTIFIKACE SYSTÉMU 31

5. POPIS SOUČÁSTÍ SYSTÉMU 35

5.1 ROTAČNÍ INKREMENTÁLNÍ SNÍMAČE POLOHY 35
5.2 DC MOTOR FAULHABER 37
5.3 PROGRAMOVATELNÝ AUTOMAT 40
5.4 PLC SIEMENS S7-200 42

6. VÝROBA PLOSNÉHO SPOJE 43

6.1 PROJEKTOVÁNÍ ELEKTRICKÉHO OBVODU 43
6.2 EDITOR SPOJŮ 43
6.3 EDITOR SCHÉMAT 44
6.4 AUTOROUTER 44
6.5 VÝROBA DESKY PLOŠNÉHO SPOJE 45
6.6 TISK PŘEDLOHY 46
6.7 EXPOZICE SNÍMKU 46
6.8 VYVOLÁNÍ OSVÍCENÉ PŘEDLOHY 46
6.9 LEPTÁNÍ DESKY 47
6.10 PROBLÉMY PŘI LEPTÁNÍ: 47
6.11 DOKONČOVACÍ OPERACE DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ 48

7. DESKA DRV8402 49

7.1 INTEGROVANÝ OBVOD DRV 8402 50
7.2 NAPÁJENÍ LOGIKY 53
7.3 VÝSLEDNÝ NÁVRH PLOŠNÉHO SPOJE 54

8. PROPOJOVACÍ DESKA 55

9. MOŽNOSTI ŘÍZENÍ S POUŽITÍM PLC 57

10. ZÁVĚR 61

11. SEZNAM LITERATŮRY 63

12. SEZNAM PŘÍLOH 65

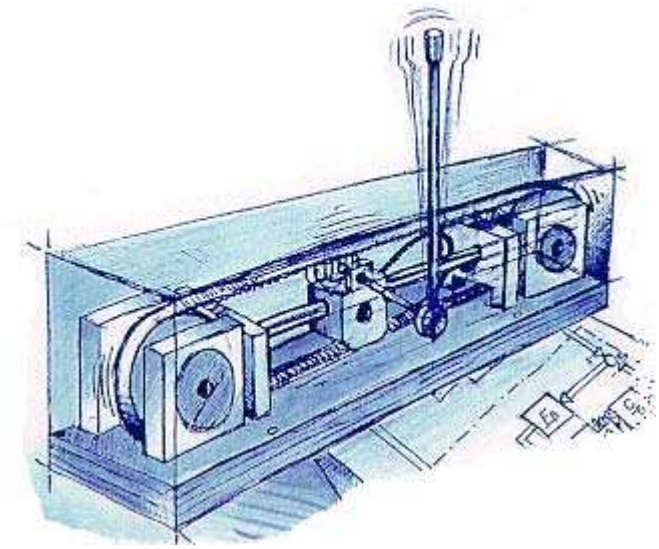
1.ÚVOD

Úkolem diplomové práce je návrh mechanické konstrukce, elektronické části a následné odzkoušení jednotlivých dílů inverzního kyvadla za pomoci programovatelného automatu. Inverzní kyvadlo bude využito pro účely výuky v laboratoři Ústavu automatizace a informatiky pro demonstraci nestabilních systémů. Studenti dostanou praktickou ukázku možností návrhu a řízení podobných problémů. Fotografie navrhnutého a sestaveného inverzního kyvadla je na obr. 1.

V budoucnu je tu možnost návrh rozšířit o další variantu, kde tyč bude doplněna o více kloubů a následně bude provedeno další řízení celého systému. Podobné konstrukce řešení balancování jsou již běžně aplikovány v praxi, příkladem mohou být balancovací vozíky a jiné dnes již běžně používané prostředky.

Cílem diplomové práce byl návrh a realizace mechanické části, k jejíž identifikaci bylo zapotřebí provézt nezbytné výpočty, především odhad a výpočetní ověření kroutícího momentu motoru, jehož úkolem je řídit pohyb celé soustavy. K tomuto výpočtu jsem využil Lagrangeovy rovnice druhého řádu. Vzhledem k potřebě rychlé reversace motoru bylo zapotřebí tento výpočet provézt co nejpřesněji. Dále bylo úkolem navrhnout celou konstrukci sestavy pojezdového vozíku, uložení balancující tyče a její propojení s motorem. Ve výpočtech jsem se zaměřil pouze na výkon motorové části v horizontálním směru.

Druhá část diplomové práce řeší návrh a konstrukci elektrické části úlohy. Pohyb vozíčku je realizován v jedné ose a je řízen motorem. Navrhl jsem desku plošného spoje, která zvládá generovat signály PWM a poskytuje špičkový proud 24A, standardně pak 10A. Náklon tyče je snímán rotačním snímačem IRC. Jeden snímač je umístěn na vozíku a zpracovává impulzy o náklonu tyče, druhý je již z výroby dodáván s motorem a zajišťuje snímání otáček a následné vyhodnocování polohy vozíku.



Obr. 1.: skica návrh inverzního kyvadla

2. ROZBOR PROBLÉMU

Před počátkem návrhu konstrukce musíme analyzovat zadanou úlohu, seznámit se s podobnými problémy v praxi a na základě získaných informací se pokusit provést ideální návrh.

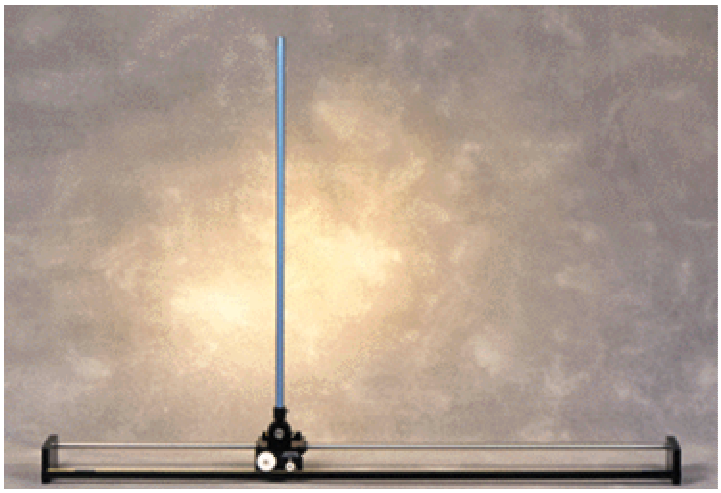
Model inverzního kyvadla je mechanický systém ovládaný pomocí programovatelného automatu. Schéma je zobrazeno na obr. 2.

Systém má následující vstupní veličinu:

- napájecí napětí servomotoru.

Systém má následující výstupní veličiny:

- snímač polohy vozíku,
- snímač vychýlení ramene kyvadla,
- optické závory – koncový stav.



Obr.2.: Inverzní kyvadlo

Průběh stabilizace inverzního kyvadla je založen na silovém působení na vozík, pomocí něhož se snažíme udržet kyvadlo ve vzpřímené poloze.

3. MODEL INVERZNÍHO KYVADLA

Inverzní kyvadlo se dá realizovat mnoha způsoby, pro prvotní návrh konstrukce si upřesníme základní požadavky . Základními počátečními parametry na kterých jsme se dohodli s vedoucím práce byla délka pojezdové části vozíčku cca 1m, celková velikost konstrukce by měla být optimalizována vzhledem k omezeným prostorům laboratoře měření 731A, kde bude úloha sloužit k demonstraci automatizačních prostředků. Při samotném návrhu konstrukce jsme se snažili vytvořit relativně jednoduchou, lehce rozebíratelnou konstrukci která by umožnila i případné modifikace (double-pendulum tj. dvě tyče spojené kloubem). V neposlední řadě se také hledělo na samotnou realizovatelnost za použití omezených finančních prostředků, která byla součástí diplomové práce. Celkové provedení konstrukce jsem rozdělil strukturovaně do základních částí, které si nyní ve zkratce přiblížíme. Podrobněji budou popsány v následujících podkapitolách. Konstrukci dělíme na:

- rám konstrukce,
- uložení motoru, řemenice, pohon pojezdového vozíku,
- pojezdový vozík,
- elektronika spojená s konstrukcí a její umístění,
- uložení kyvné části,
- kyvná část – kyvadlo.

Pohon vozíku je realizován stejnosměrným motorem kompaktních rozměrů značky Faulhaber, který dosahuje, vzhledem ke svým rozměrům, špičkových hodnot co se výkonů týče. Vývod rotoru na obě strany umožňuje montáž inkrementálního snímače, kterým jsme se rozhodli snímat a přepočítávat polohu a v budoucnu je možné i regulovat vzdálenost a pohyb po celé délce pojezdu. Pro přenesení kroutícího momentu je použit ozubený řemen, který není tolik náchylný na předepnutí vůči klínovému, je imunní vůči prokluzování, což by v našem případě mohlo znamenat zásadní problém v regulaci. Řemen je předepnut na straně motoru, uložení řemenic je na rotoru motoru, protilehlá strana je osazena soustavou radiálních ložisek. Uchycení k samotnému jádru celé konstrukce, pojezdovému vozíku je provedeno pomocí svěrné části.

U vozíku byla hlavním požadavkem nízká váha, která je zásadní veličinou rychlého akčního zásahu, optimální navržení jeho konstrukce pro další nadstavbu či případné změny, pojezd na pojezdových tyčích je realizován díky kuličkovém lineárním vedení, které se vyznačuje nízkým valivým odporem. Celková konstrukce vozíku je i optimálně rozmístěna co se těžiště týče. Kyvadlová část je upevněna pomocí šroubového spoje k vozíku, uložení natáčející se tyče je provedeno s osazením na dvou radiálních ložiscích, v zadní části snímáme natočení pomocí inkrementálního snímače, druhý konec je osazen kyvadlem připevněným pomocí upínky. V následujících kapitolách se podrobně seznámíme s jednotlivými částmi konstrukce.

3.1 Rám konstrukce

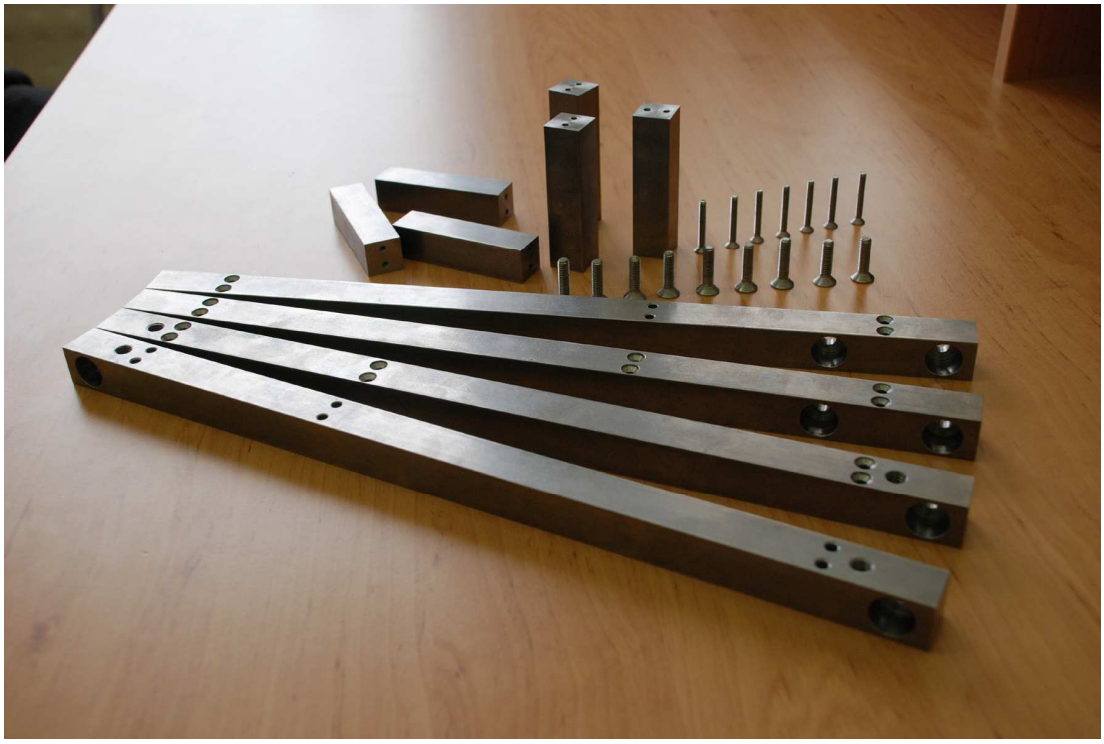
Rám konstrukce je základní částí celého návrhu, jeho chybné navržení by nám později mohlo způsobit nemalé komplikace při uložení dalších součástí. Požadavky byly směřovány především ke kompaktním rozměrům, rozumné hmotnosti, kvalitě použitých materiálů, jeho celkové rozebíratelnosti, která nakonec zvítězila nad svařovanou konstrukcí.

Pro určení návrhu konstrukce je nutné se zaměřit také na vhodné materiály pro její jednotlivé části. U materiálu jsou základní parametry hmotnost, mechanické vlastnosti a cena. Vzhledem k požadovaným rozměrům pojezdové části jsme se zaměřili i na tuhost celkové konstrukce, jako nejoptimálnější mi přišlo využití plných profilů tvaru hranolku čtvercového průřezu o rozměru 20x20mm, které jsou ve značné míře použity na různých přípravcích v celé učebně, tudíž i naše konstrukce bude pokračovat v nastolené linii a lépe zapadne do místního prostředí. Materiálem pro bočnice rámu byly použity čtvercové tyče tažené za studena, EN 10278, úchylka h11, čtvercového průřez o rozměru 20x20mm, zkrácené na příslušné rozměry. Strukturu tvoří legovaná ocel 11SMn30+C dle normy EN 10277-3, jejíž základní parametry máme udány v tabulce č.1

tabulka č.1. – specifikace materiálu bočnice

Strana čtverce	a	20mm
Plocha průřezu		400mm^2
Hmotnost		3,14kg/m
Mezní úchylka	h11	-0,130
Povrch		tažený, hlazený

Od použitého materiálu se odvíjí mechanické vlastnosti stěn, jako je pevnost, tuhost, ale také hmotnost a výsledná cena. Různé druhy materiálů byly vybrány v sortimentu firmy Ferona, která je předním tuzemským dodavatelem kovových materiálů. Ocel je dobře leštitelná a obzvlášť dobře tvárná tažením, zakružováním či ohraňováním. Pro obrábění je dobré pracovat s nástroji z vysoce legované rychlořezné oceli či ze slinutých karbidů.



Obr. 3.: Díly mechanické konstrukce rámu

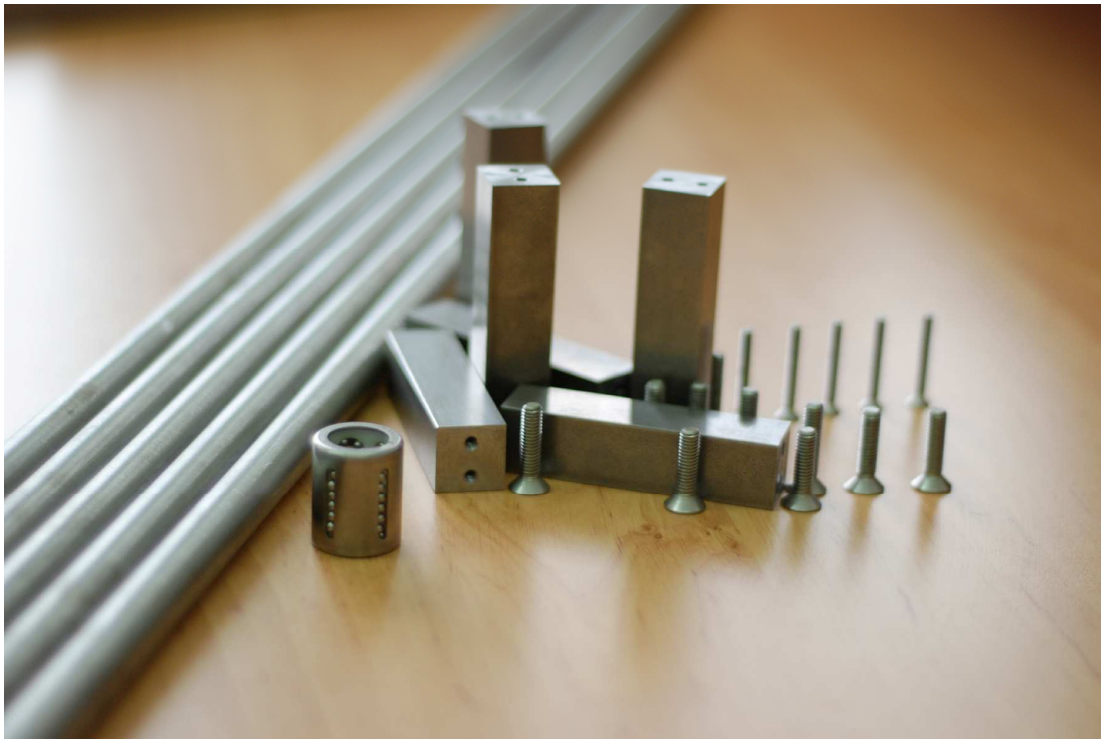
Vzhledem k riziku oxidace povrchu by měla být následně celá konstrukce ošetřena komaxitovým lakem, který by měl potlačit oxidační procesy a ochránit celou konstrukci.

Rozměr konstrukce jsem navrhl vzhledem k požadovaným rozměrům, dále pak stabilitě celé konstrukce v předo-zadním směru. Dalším požadavkem bylo uložení dalších částí konstrukce. Jak jsem již zmínil, pro převážnou část konstrukce byly použity hranolky, k jejichž spojování jsme použili šrouby se zapuštěnou hlavou. Původní návrh počítal se závity M3, nicméně pro usnadnění výroby byl tento rozměr změněn na M4. Pro zajištění polohy jsou v každém hranolku dva šrouby. Průběh výroby bočnic spočíval v zakrácení materiálů na hrubý rozměr pomocí rámové pily, následném zakrácení na soustruhu na požadované přesné rozměry. Následovalo vyvrtání průchozích otvorů na zapuštěné šrouby nebo vyříznutí závitu dle určení výrobku.

Pro pojezd vozíku slouží hlazené tyče kruhového průřezu. Hlazené tyče (hladký lesklý povrch), EN10278, úchylka h9, průměr 16mm. Materiálem je ocel 1.4301 +2H (X5CrNi18-10) dle EN10088-3, obdobné oceli 17240 či 17241.

Základní vlastnosti materiálu jsou:

- vysoká vrubová houževnatost,
- velmi dobré kluzné vlastnosti,
- nenasákavost,
- vynikající odolnost oproti opotřebení,
- velmi dobrá odolnost vůči agresivním látkám,
- rozměrová stálost.



Obr. 4.: Díly mechanické konstrukce rámu

Mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce č.2

Tabulka č.2.: Mechanické vlastnosti hlazených tyčí

Jmenovitý průměr	d	16mm
Plocha průřezu		201,06mm^2
Hmotnost		1,578kg/m
Mezní úchylka	h9	-0,043
Povrch		hladký, lesklý

Původní předpoklad, nákup tyčí o větším průměru a jejich následné stočení na soustruhu se ukázalo být zbytečné, protože povrch tyčí ze sortimentu Ferony plně vyhovuje danému účelu. Tyče byly opět zakráceny na hrubý rozměr, poté zakráceny na požadovaný rozměr a byl do nich vyříznut závit spojovacího šroubu M6. Vzhledem k použití 5-ti kusů tyčí je konstrukce dostatečně tuhá a odolává jakýmkoliv mechanickým zatížením, které by mohly nastat.

Po spojení celé konstrukce a sestavení samotného rámu se jen dodaly stavitelné silentblokové nožičky které umožňují doladění případných nerovností podkladu a utlumení vibrací, které vznikají v konstrukci. Veškerá výkresová dokumentace je zpracována v elektronické podobě pomocí programu SolidWorks. Při konstrukci je ve většině případů použito kótování parametry, které umožňuje zpětnou vazbou pozměnění parametrů a vazební změnu celé součásti. Rovněž náhledy pohledů výkresové dokumentace jsou vytvářeny v tomto systému. Co se týče výkresové dokumentace, veškeré podklady potřebné pro výrobu jsou uloženy v přílohách na konci této práce.

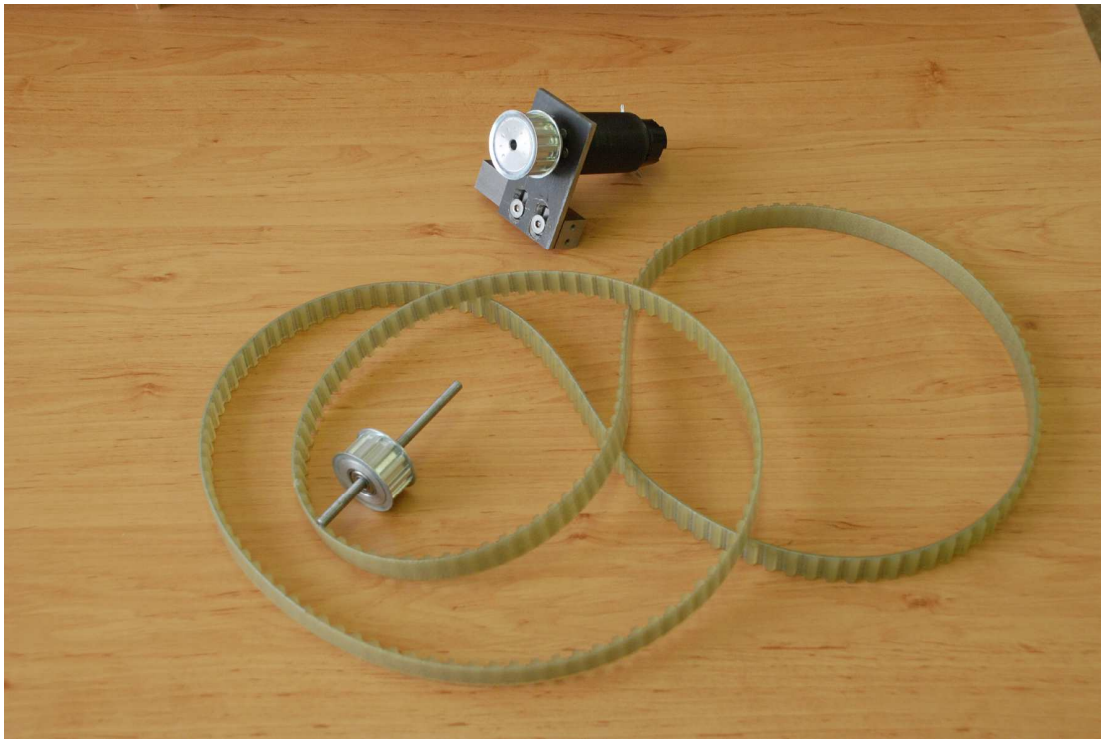
3.2 Uložení motoru, řemenový pohon

Při samotném návrhu rámu konstrukce jsme brali v potaz především následné osazení dalších součásti, které měli zajišťovat pohyb vozíčku. V prvé řade šlo o uložení motoru, volbu napínací kladky pro předepnutí řemenu a uložení vodící řemenice na opačné straně od motoru. Základním prvkem bylo vhodné zvolení pohonu pro posuv vozíku. Na základě tří základních parametrů jsem si provedl srovnání a vyhodnocení nejoptimálnějšího pohonu viz tabulka č.3

tabulka č. 3.: Výběr pohonu

Parametry	přesnost	cena	implementace	Vyhodnocení
Typ				
Ozubený řemen	Střední	dobrá	dobrá	vhodný
Klínový řemen	Malá	dobrá	dobrá	nevhodný
Ozubené soukolí	Dobrá	vysoká	Střední	vhodný, drahý
Lineární posuv	Dobrá	vysoká	střední	vhodný, drahý

Ze srovnání vyplývá, že nejoptimálnější se jeví použití ozubeného řemenu. Vzhledem k jeho konstrukci nemůže docházet k prokluzování při záběru motoru, což by v našem případě mohlo mít neblahý vliv na regulaci polohy. S výběrem vhodného typu ozubeného řemenu jsem se obrátil s žádostí o radu na firmu Mateza, jenž patří k předním dodavatelům v České republice co se týče obchodu s ložisky, těsněními, řemeny a řemenovými kladkami. Díky vstřícnosti personálu jsme po dlouhém hledání nalezli řemen, který odpovídal mému požadavku, především se jednalo o délku více jak 2m a poloměr řemenic jemu určených v rozmezí 30-40mm, podotýkám, že s těmito hodnotami byl prováděn výpočet kroutícího momentu motoru. Dále byl požadavek na vysokou mechanickou odolnost, tím pádem padla volba na řemeny s vnitřním vinutím s výztuhou. Výsledkem hledání je řemen o ozubení T10, délce 2250mm, řemen má vnitřní výztužná vlákna, je určen pro přenos vysokých rychlostí při častých změnách směru, tedy přesně vyhovuje našemu použití. Šířka řemenu je 16mm pro řemenice o průměru 36mm. Naštěstí se dodávají řemenice s osazením a nepředvrtané tak, že si je zákazník může upravit na příslušný rozměr. Vzhledem ke speciálním parametrům jsme museli řemen objednat z Německa, dodací lhůta však byla dodržena v rozmezí 14 dnů. Poté následovalo seříznutí šířky řemene na vybrané kladky.



Obr. 5.: Prvky pohonu vozíku

V dalším kroku bylo nutné vymyslet samotné uložení do konstrukce rámu a vyřešení předepnutí řemene pomocí jednoho z možných druhů napínací kladky. Od původní myšlenky, že by napínací kladka byla na straně samotné řemenice a motor by byl uložen na druhém konci konstrukce bylo upuštěno vzhledem ke složitosti konstrukce. Výsledkem tedy je jednoduché uložení vodící řemenice na dvou valivých ložiscích značky SKF, které jsou ukryty uvnitř řemenice. Z konstrukčních důvodů byla použita univerzální jednořadá ložiska. Mají jednoduchou konstrukci, jsou nerozebíratelná a dokáží pracovat i s velmi vysokými otáčkami, jsou neuvěřitelně odolná a nevyžadují prakticky žádnou údržbu. Tato ložiska se vyznačují hlubokou oběžnou drahou a vysokým stupněm přimknutí mezi drahami a ložisky, což umožňuje pomocí nich přenášení radiálního i axiálního zatížení v obou směrech, a to i při vysokých otáčkách. V technické praxi jsou jednořadá ložiska nejpoužívanějším typem, proto jsou dodávána v nejrůznějších velikostech. Našemu výběru nejlépe posloužilo ložisko SKF EXPLORER - *626-2Z, specifikace je uvedena v tabulka č.4

*Tabulka č.4.: Specifikace ložiska SKF EXPLORER - *626-2Z*

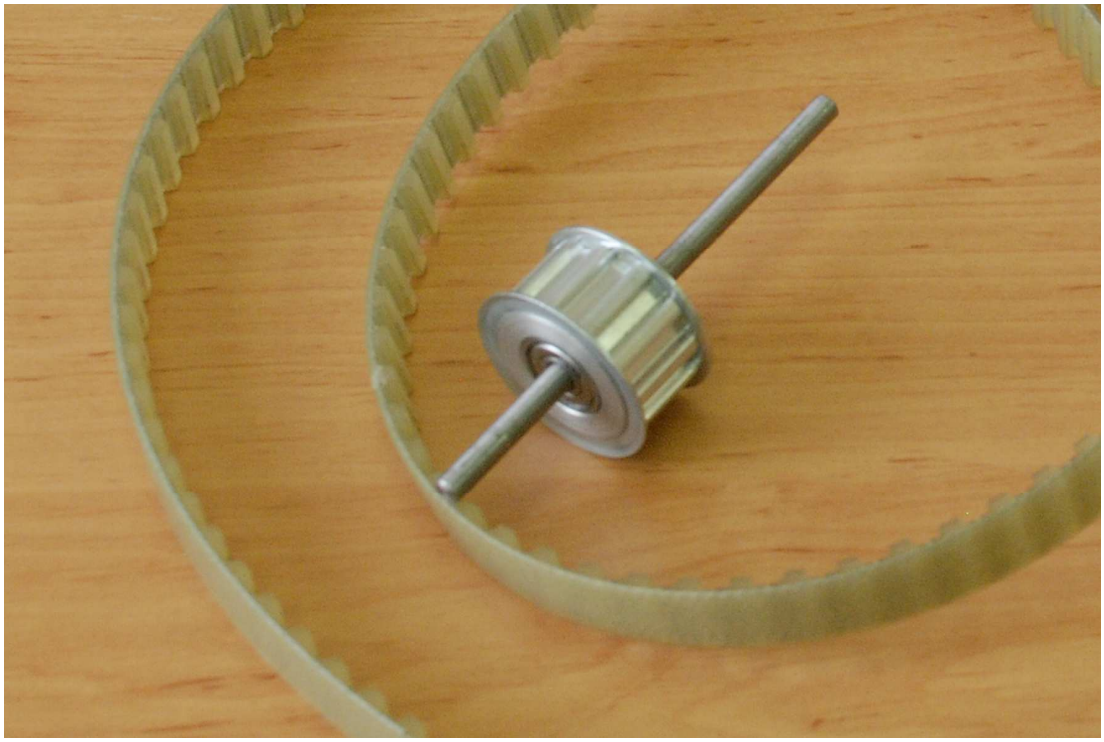
Vnitřní průměr	d	6	mm
Vnější průměr	D	19	mm
Šířka	B	6	mm
Dynamická únosnost	C	2,340	kN
Statická únosnost	Co	0,95	kN
Mezní únavové zatížení	Pu	0,04	kN
Přípustné otáčky		80000	ot/min
Hmotnost		0,0084	kg

Vybraná ložiska jsou nalisována do těla řemenice, jejich zajištění je provedeno upevňovačem spojů značky Loctite 638, který je určen pro spojování lícovaných válcových součástí, zejména tam, kde spára může dosáhnout až 0,25mm a kde je požadována maximální pevnost při pokojové teplotě. Loctite 638 vytvrzuje bez přístupu vzduchu ve spáře mezi lepenými kovovými povrchy a zabraňuje uvolnění či prosakování spoje, které je způsobené vibracemi a rázy. Výborně odolává dynamickému namáhání, axiálním a radiálním zatížením. Doporučuje se pro upevňování ozubených kol, řemenic a podobných součástí na hřídele. Mezi základní vlastnosti patří:

- Použitý materiál: Akrylát.
- Chemický typ: Urethan methakrylát.
- Vzhled (nevytvrzený): Zelená kapalina.
- Fluorescence: Pozitivní pod UV zářením.
- Složky: Jednosložkový.
- Viskozita: Vysoká.
- Vytvrzení: Anaerobní.
- Sekundární vytvrzení: Aktivátor.
- Aplikace: Upevňování.
- Pevnost: Vysoká.

Celá řemenice s nalisovanými ložisky je uložena na ocelové osičce materiálu EN10278, úchylka h9, průměr 16mm. Materiálem je ocel 1.4301 +2H (X5CrNi18-10) dle EN10088-3, který je shodný s materiálem pojezdových tyčí. Jmenovitý průměr 6mm byl na krajích zeslaben o 0,2mm z důvodu lehčí montáže řemenice s ložisky.

Na straně motoru jsme se rozhodli integrovat jednoduchou napínací kladku, která je tvořena dírou oválného průřezu a předepínání probíhá v konstantním směru pomocí pohybu v drážce a následným dotažením spoje k rozpěrnému rámu. Tohle řešení mě připadlo nejjednodušší z hlediska návrhu konstrukce, množství materiálu a v neposlední řadě i složitosti výroby a její ceny. Motor je upevněn pomocí šesti zapuštěných šroubů 6xM3, přičemž je osazen na hřídel Ø16mm. Toto spojení zaručuje rozebíratelnost při zaručené tuhosti celého systému. Důležité bylo především provedení souososti ozubených řemenic, u kterých docházelo ze začátku vzhledem ke špatné souososti k velkému namáhání u ložisek celé soustavy. Konečné řešení zobrazuje obrázek č. 6.



Obr. 6.: Uložení řemenice

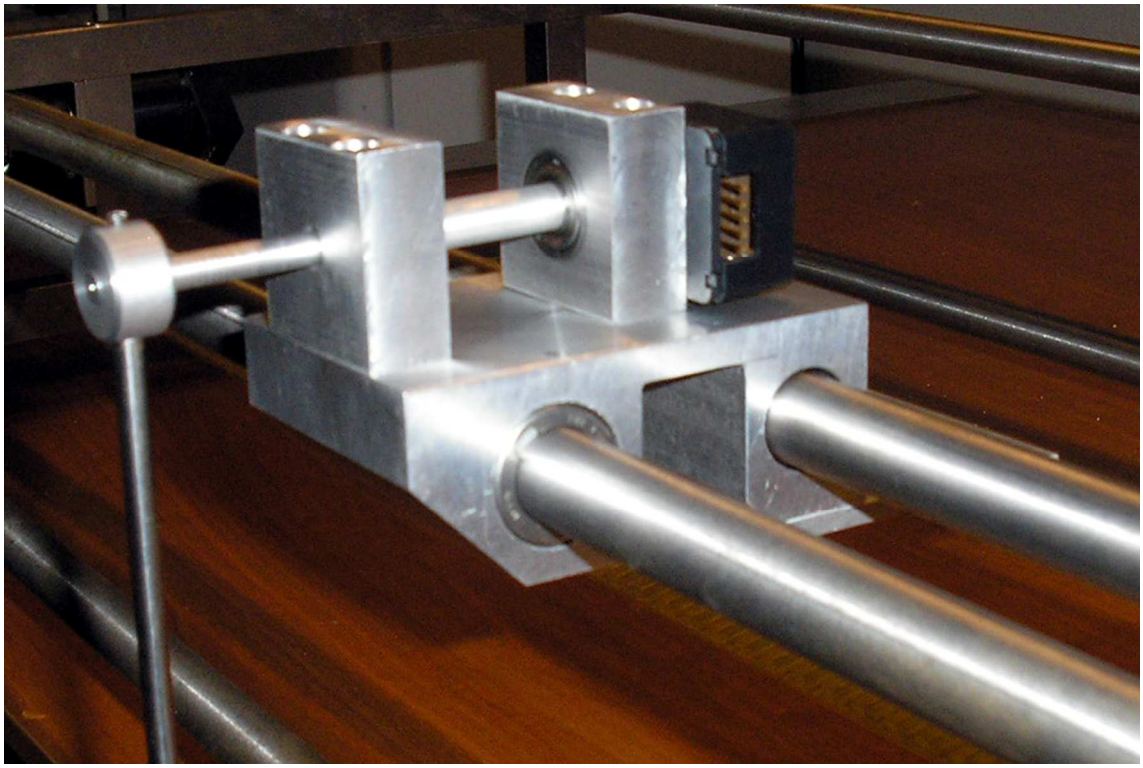
3.3 Pojezdový vozík

Pojezdový vozík je nejsložitější součást celé konstrukce. Vzhledem ke specifickým požadavkům jakými byly především nízká hmotnost, nízké valivé tření při pojezdu, snadná obrobitelnost a rozumná cena. Jako materiál byl uvažován hliník, případně slitiny hliníku. Vzhledem ke složitosti konstrukce, množství závitů a jejich následnému mechanickému využití jsme se zaměřili na slitiny hliníku (duraly). Ve výsledku padla volba na slitinu EN AW-5083 (AlMg4,5Mn), která vyhovuje jak co se týče namáhání, tak snadné obrobitelnosti. Mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce č.5

Tabulka č.5 – Materiál pojezdového vozíku

Typ materiálu	slitina EN AW-5083 (AlMg4,5Mn)
chemické složení	EN 573-3
mechanické vlastnosti	EN 485-1
tolerance	EN 485-4
stav	H11

Na základě počítačového modelu v inventoru by měl model vážit s použitím této slitiny 238g, což byla poměrně přesná hodnota, výsledek se lišil pouze o 6g.



Obr..7.: Pohled z boku na pojezdový vozík

Zajímavou možností bylo řešení pojezdu vozíku na broušených tyčích, celkem se nabízely tři možnosti uložení vozíku. Uložení pomocí kuličkových pouzder, mosazná či bronzová pouzdra nebo kuličkové šrouby. Kuličkový šroub je závitový šroub podobný červíku, jenom místo špičatého konce je osazen kuličkovým ložiskem přitlačovaným pružinkou, jež zajišťuje konstantní přítlačnou sílu. Při návrhu jsem bral v potaz složitost montáže, kluzné vlastnosti a cenu. Srovnání je uvedeno v tabulce č.6

Tabulka č.6 – srovnání uložení vozíku

Vlastnosti	Montáž	Kluzné vlastnosti	Cena	Vyhodnocení
Typ				
Kluzné ložisko	dobrá	výborné	drahé	dobré
Mosazné pouzdro	velmi dobrá	dobré	střední	velmi dobré
Bronzové pouzdro	velmi dobrá	velmi dobré	střední	velmi dobré
Kuličkový šroub	výborná	velmi dobré	levné	výborné

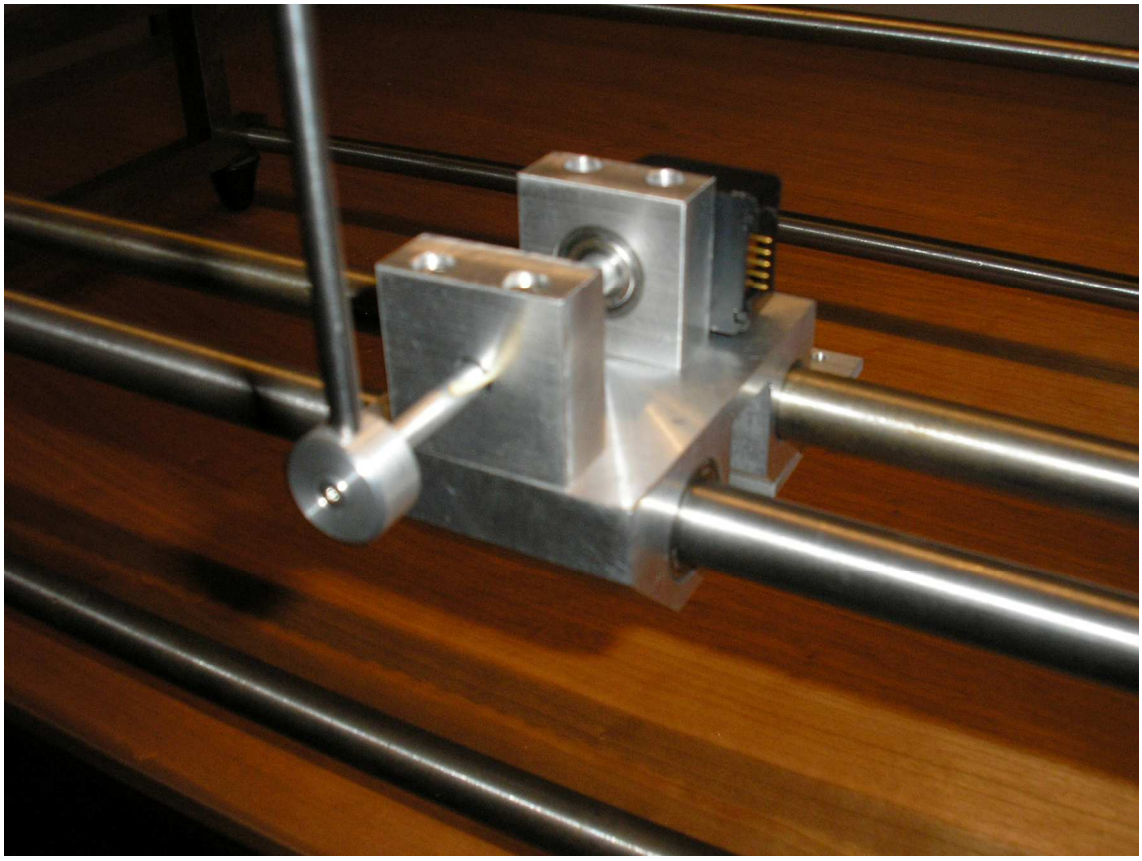
Pro instalaci kuličkového šroubu postačuje vyvrtání a vyříznutí závitové díry dle specifikace šroubu, v našem případě velikost M3. Tím je vyřešeno uložení vozíčku na vodících tyčích nicméně v praktické části se ukázalo jako nepostačující, v důsledku velkého tření jsme museli od této konstrukce ustoupit a podívat se po alternativní náhradě. Z hlediska časové tísně a požadavku jistoty jsme se rozhodli zainvestovat do kluzných pouzder označení KH1630, jejíž popis je uveden níže:

- netěsněná – KH,
- materiál kuličkové klece : POM,
- materiál kuliček: kuličková ocel,
- pracovní teplota pouzder od -20°C – 120°C,
- tolerance uložení: hřídel/díra h6/H7,
- přídavné těsnění.

Technické parametry jsou uvedeny v tabulce č.7

Tabulka č.7 – parametry lineárního kuličkového pouzdra

Typ		KH 1630
Vnitřní průměr	mm	16
Vnější průměr	mm	24
délka	mm	30
Dynamická únosnost	N	775
Statická únosnost	N	600
Hmotnost	kg	0,027

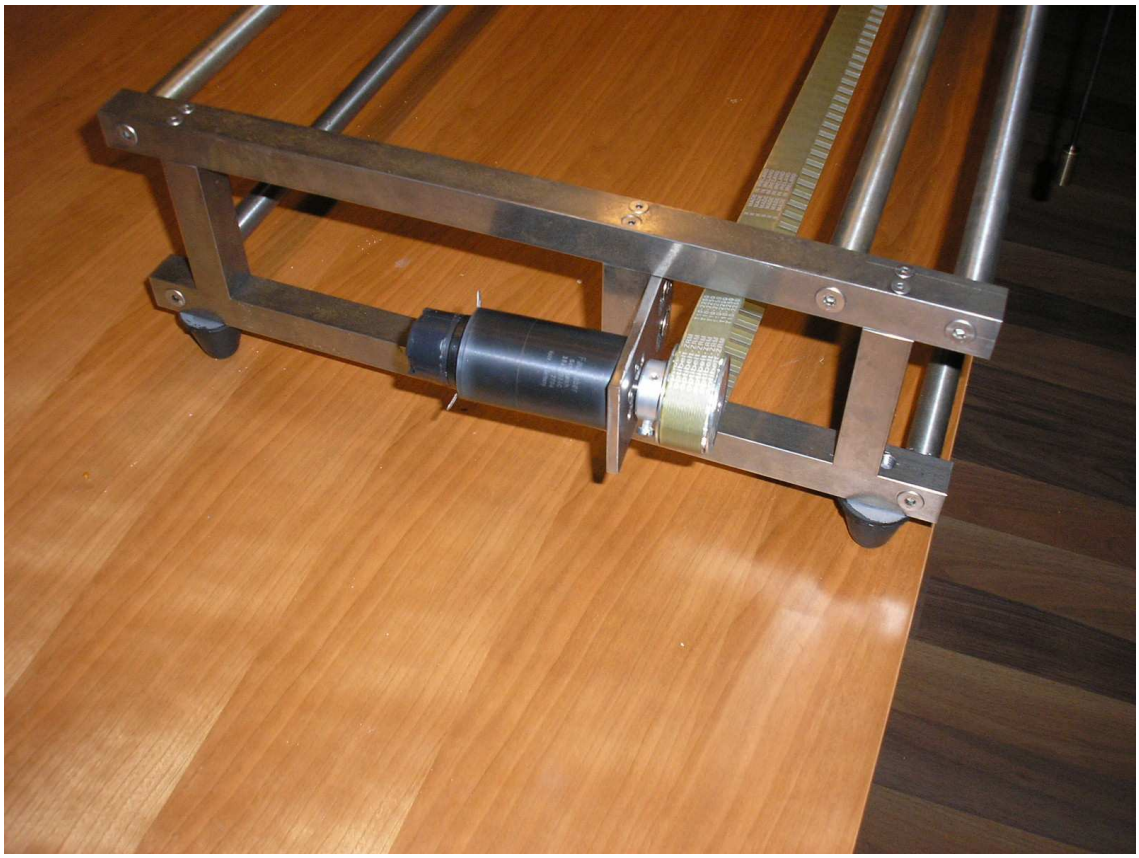


Obr.8 – Pohled zepředu vozíku

Pojištění pouzdra je provedeno lepidlem Loctite 638, které je určeno primárně pro tyto účely. V zadní části vozíku jsme ponechali pouze opěrnou plochu pomocí kuličkových červů. Pro spojení vozíku s ozubeným řemenem je zhotoven přípravek L profilu, který je přišroubován v zadní části vozíku, tohoto řešení umožňuje pružně reagovat na případné změny v konstrukci. Uchycení řemenu je realizováno dvojicí protilehlých šroubů pomocí přítlačné součásti.

3.4 Elektronika

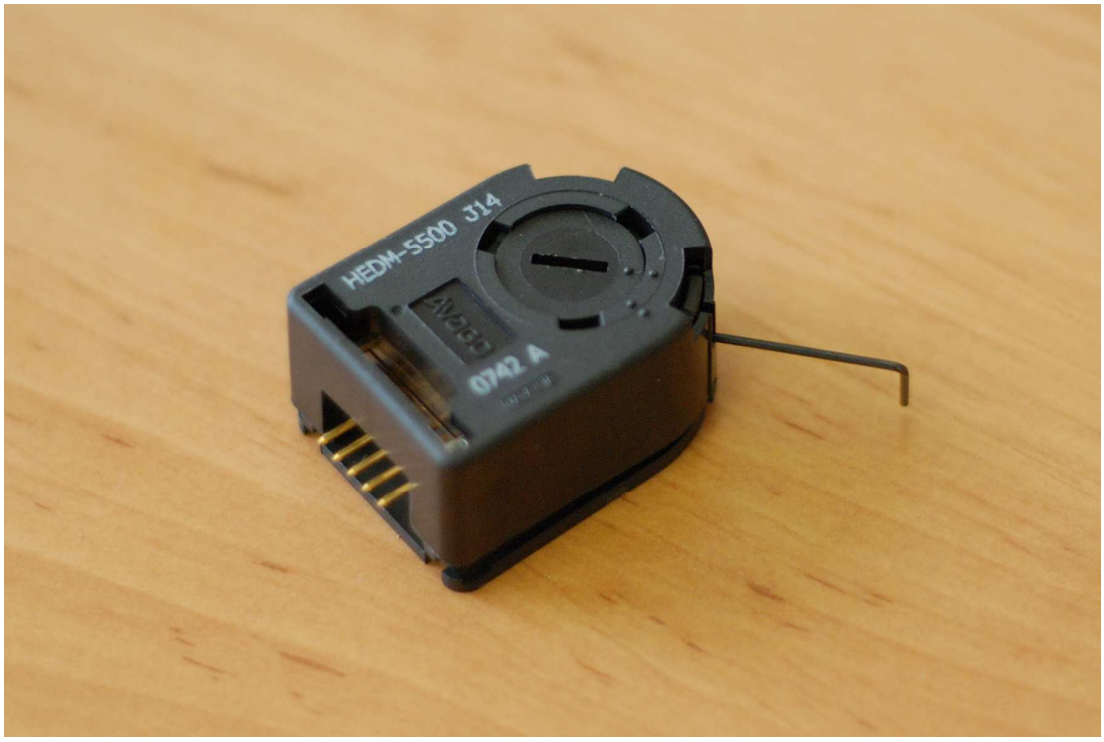
Již od počátku bylo jasné, jakou elektroniku a kde ji bude naše kyvadlo používat. Hlavní částí celého systému je pohonná jednotka – motor. Motor má na starosti pohyb vozíku po kluzných tyčích, navíc je v zadní části osazen inkrementálním snímačem polohy, který umožňuje snímání množství otáček na motoru a z toho lze dopočítat pohyb vozíku po ose x. Námi zvolený motor značky Faulhaber odpovídá našim požadavkům, má kompaktní rozměry, vysoký výkon a výrobcem udávanou dlouhou životnost. O inkrementálním snímači byla již zmínka, ten je standardně dodávaný s motorem, zvládá 512 dílků na otáčku, což dostatečně postačuje pro naši úlohu. Motor i se snímačem je uložen na napínací kladce na levé straně konstrukce.



Obr. 9.: Uchycení motoru

Druhý inkrementální snímač je uložen na pojezdové části vozíku, kde má za funkci snímat natočení kyvadlové části. Na základě vyhodnocení této skutečnosti dojde k vyslání signálu k programovatelnému automatu, který bude provádět akční zásah. V našem případě uvede motor do provozu v protipohybu, aby zamezil pádu kyvadlové

tyče. Druhý inkrementální snímač je umístěn na pojezdovém vozíku. Vzhledem k pozici kyvadla je na druhém konci osičky přišroubován pomocí tří šroubů M2 k pevné konstrukci.



Obr.10.: Inkrementální snímač HEDM-5500

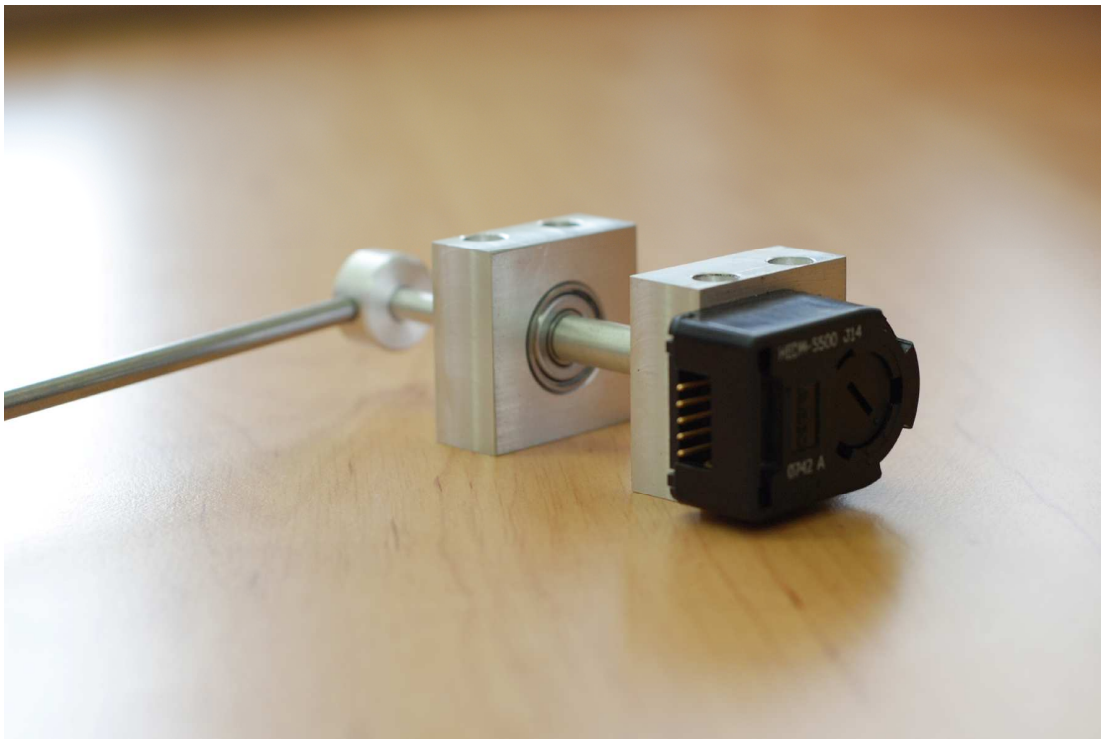
Další neméně důležitou součástkou jsou optické závory, které jsou umístěné v boční části naší konstrukce tak, aby při dojezdu vozíku ke kraji mohly vypnout přívod proudu do motoru. Jejich paprsek protíná malý plíšek přišroubovaný k motoru . Tyto závory vysílají signál o přerušení paprsku a okamžitě uvádí motor do klidového stavu, navíc nás dokáží upozornit na tu skutečnost, že jsme již na konci pojezdové části a pohyb dál v tomto směru již není možný. Používáme jednoduché optické závory TCST1103, opto interrupter tran 20/1mA 30V ekv. H22A1, které pro náš účel bohatě postačují. Zbytek vysokonapěťové elektroniky je uložen na plošném spoji s doplněním destičky pro propojení s automatem, jenž je uložen vedle konstrukce na samostatném podstavci. Bližšímu popisu výše uvedených součástí se budeme věnovat ve speciální kapitole věnované tomuto tématu.

3.5 Uložení kyvné části – kyvadla

Kyvadlo je nejdůležitější částí celé práce, nicméně jeho konstrukce již nebyla až tak náročná. Zvážil jsem jednotlivé metody, prostudoval jsem různé realizace kyvadla na internetu a na jejich základě jsem se rozhodl realizovat kyvadlo pomocí jednoduché osičky, která je uložena ve valivých ložiscích výrobce SKF, typ - *626-2Z Explorer viz tabulka č.8. Jejich výhodou je nízké valivé tření, kompaktní rozměry a vysoká mechanická odolnost.

Tabulka č.8 – Specifikace ložiska použitého pro uložení kyvadla

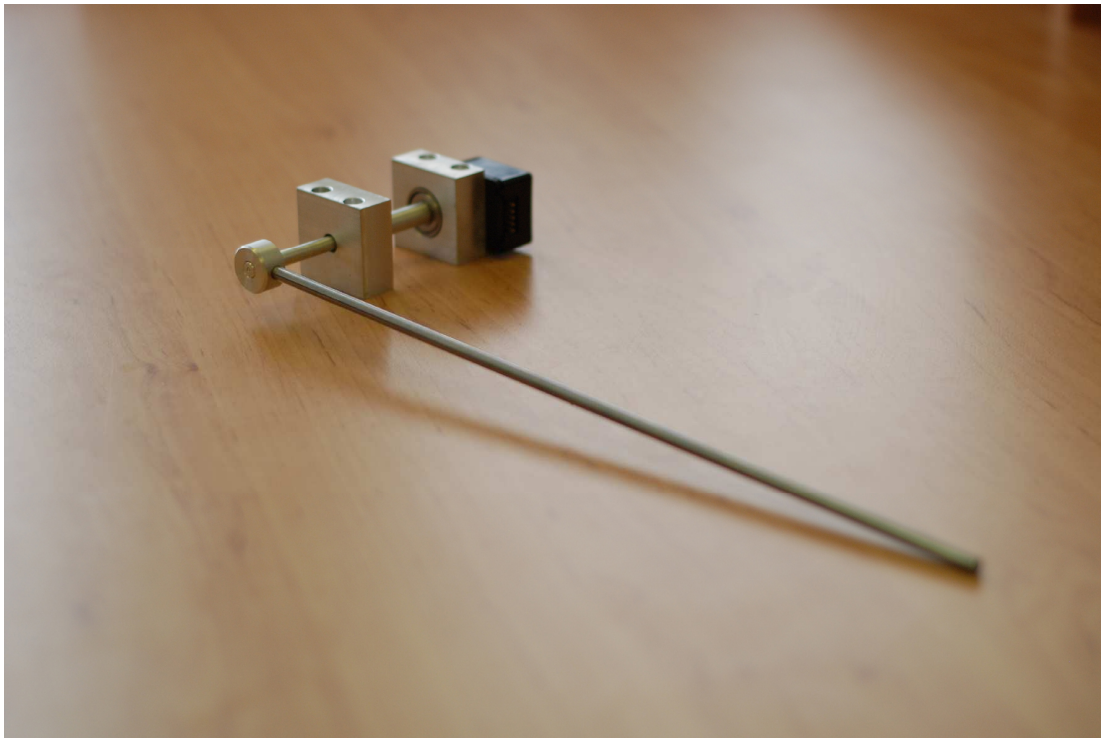
Vnitřní průměr	d	6	mm
Vnější průměr	D	19	mm
Šířka	B	6	mm
Dynamická únosnost	C	2,340	kN
Statická únosnost	Co	0,95	kN
Mezní únavové zatížení	Pu	0,04	kN
Přípustné otáčky		80000	ot/min
Hmotnost		0,0084	kg



Obr.11.: Osazení pro ložiska, namontovaný snímač

Osička má ve své prostřední části osazení pro lepší opření ložiska, tímto osazením je docílena také minimální vůle, kterou povoluje inkrementální snímač, který je umístěn na zadní části cele konstrukce. Tento snímač je velmi náchylný na horizontální posuv, umožňuje jen 0,3mm, při nedodržení této zásady může dojít ke zničení vnitřního disku viz obr. č.11. Ložiska jsou vlisována do duralových kostek, které jsou přišroubovány k tělu vozíku pomocí šroubů M4 se zapuštěnou hlavou. Tyto kostky umožňují mírný posuv pro lepší seřízení ložiskové vůle. Pro pojištění spojů byla ložiska ještě dodatečně nalepena pomocí lepidla Loctite 638. Po sesazení byla celá konstrukce našroubována k vozíku. V zadní části je již zmiňovaný inkrementální snímač, pro jehož uchycení bylo zapotřebí vyříznout tři závity pro šrouby M2,5. Na opačném konci je uložena upínka s kyvadlem. Původní plán byl vyříznout do hliníkové osy jemný závit, na frézce snížit osazení a posléze by se šroubovala vyvažovaná tyč přímo do tohoto těla. Nicméně z důvodu hmotnostních byl průřez tyče snížen pouze na

průměr 6mm a další zeslabování jejího průměru by mohlo přinést potíže s pevností, rozhodl jsem se vyrobit jednoduchou upínku ve tvaru válce s průchozí dírou, která bude v osičce přišroubována pomocí červíku



Obr..12 – konstrukce kyvadla

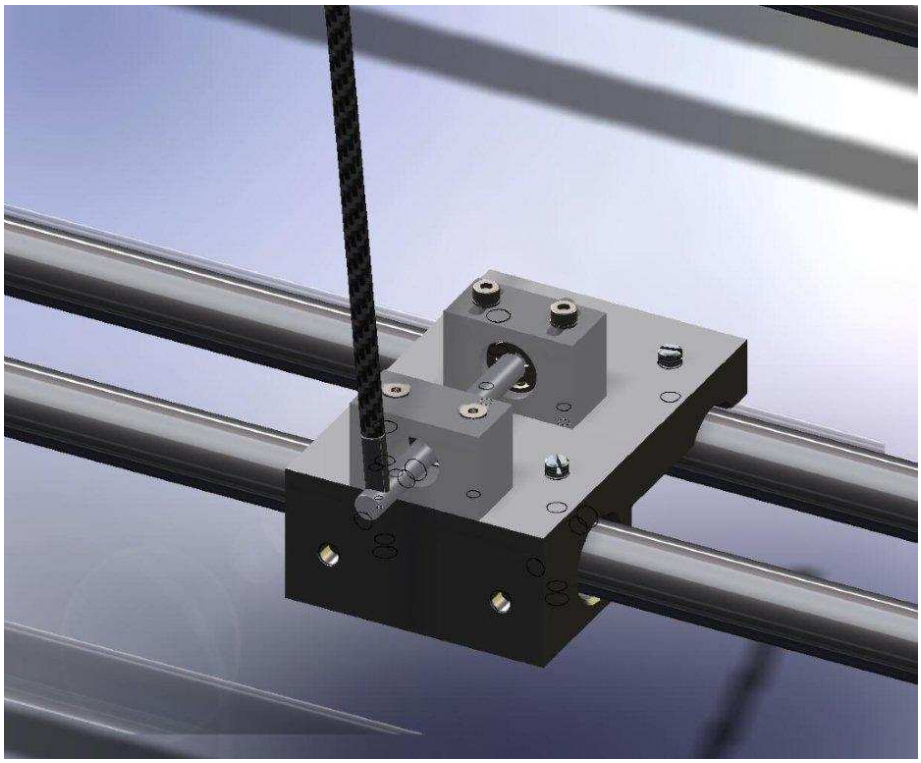
Do ní bude posléze namontována samotná tyč kterou budeme vyvažovat. Toto řešení se nám zdálo lepší i do budoucna vzhledem k možné rychle změně v případě požadavku na jiný systém, ať již dvou kyvadel (double pendulum) či jen požadavku na různé délky této tyče. Na váze se ručička ustálila na hodnotě 378g, což je slušná hodnota, pro náš výpočet jsme původně počítali pro přibližnou hodnotu 300g, tudíž bylo třeba upravit hodnoty ve výpočtu ale i tak mi vyšel moment motoru naddimenzovaný vůči navrženému kyvadlu.

3.6 Konstrukční nedostatky

Návrh není vždy možné realizovat.V průběhu výroby docházelo ke konstrukčním změnám výše uvedeným, ať již z důvodu snazších výrobních postupů a tím přímo spojenou cenou a nebo také z důvodu pevnostních. Veškerá výrobní dokumentace včetně modelů vyrobených v projekčních programech inventor /solidworks je součástí příloh této práce. Dále je součástí této práce v přílohách uložen kód pro CNC stroj, který zajišťoval výrobu pojezdového vozíku. Celou konstrukci si můžeme prohlédnout na následujících obrázcích č.13 a 14, kde je srovnán počítačový model se skutečným provedením.



Obr. 13.: Výsledné provedení inverzního kyvadla

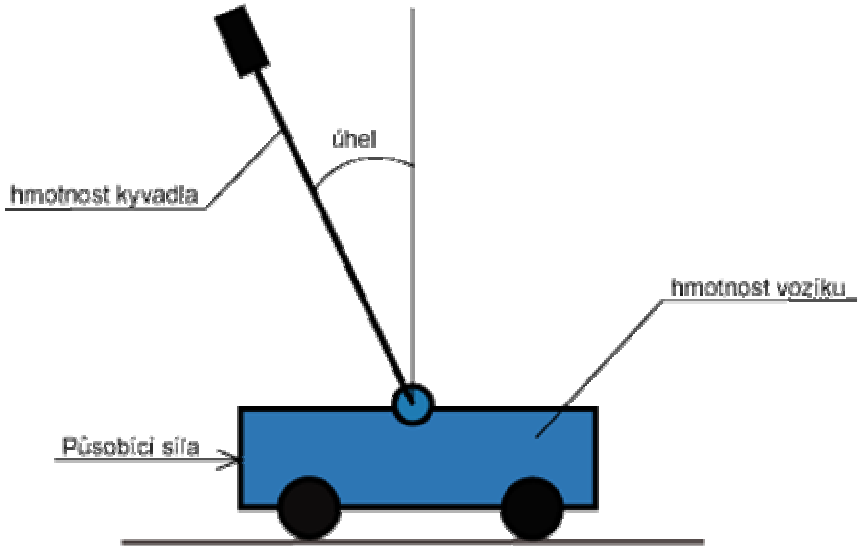


Obr. 14.: počítačový model kyvadla

4. IDENTIFIKACE SYSTÉMU

Z mechanického hlediska je nezbytná identifikace celého systému z pohledu mechanického výpočtu. Při identifikaci systému si jej rozdělíme na několik částí zvlášť, jelikož provézt identifikaci dohromady by bylo obtížné. Nakonec jednotlivé části spojíme pro výsledný model.

Vozíček inverzního kyvadla, zobrazený na obrázku č.15 je uváděn do pohybu impulsem síly F. Pro stanovení dynamické rovnice pohybu systému a linearizování kyvadla musíme stanovit úhel alfa, po který předpokládáme ještě schopnost řízení a zamezení pádu do spodní polohy. Vzhledem k poznatkům z literatury předpokládáme, že se kyvadlo nesmí vychýlit více jak 20° od svislé polohy



Obr. .15 – schéma kyvadla

Máme zadány tyto počáteční podmínky, které jsou uvedeny v následující tabulce:

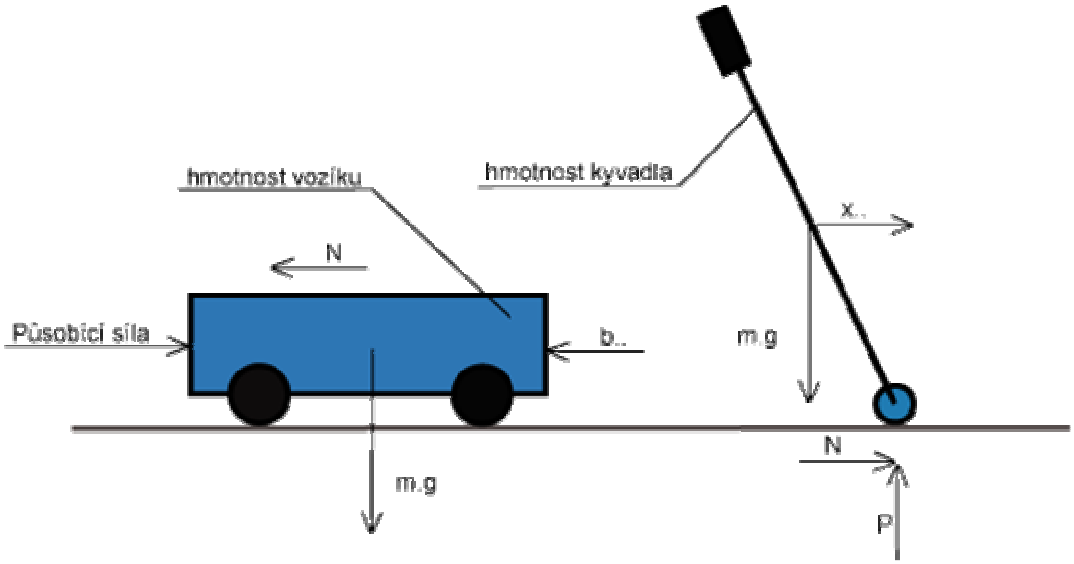
Tabulka č.9.: Počáteční podmínky výpočtu

Mk - kroutící moment motoru	1,25Nm
mk - hmotnost kyvadla	0,15kg
mv - hmotnost vozíčku	0,3kg
mkl - hmotnost kladek	0,3kg
mp - hmotnost pásu	0,4kg
F - působící síla	
a - zrychlení	
theta - úhel náklonu	20°
Mkm - moment kyvadla	
Ekp - potencionální energie	
Ekk - kinetická energie	
J - kvadratický průřez	
g – gravitační síla	9,81jednotka
Setrvačnost vozíku	

Pro výpočet předpokládáme, že systém začíná v rovnováze (poloha kyvadla je svisle vzhůru) a provádíme impulz o velikosti síly 1N. Kyvadlo se musí vrátit do svislé polohy do 5 sekund, náklon činí maximálně 20° od svislice.

Požadavky na systém tedy jsou:

- čas pro ustálení ve svislé poloze do 5s,
- maximální úhel náklonu 20° od svislé polohy.



Obr..16 – zakreslené veličiny výpočtu

Součtem sil v horizontálním směru získáme pohybovou rovnici:

$m_r.\ddot{u} + b.u = F$ 1.0

$m_r.\ddot{u}$ – složka pohybu, b.u – složka tření, F – požadovaná síla

Mohli bychom také vypočítat součet sil ve vertikálním směru, ale to je pro naši úlohu zbytečné.

Při výpočtu zanedbáváme tření, které zobecníme přibližnou experimentální konstantou. Z náklonu tyče odvodíme mezní zrychlení.

$\sin\theta = a / g \quad \ldots \quad a = g.\sin\theta$ 1.1

θ – úhel náklonu, a – mezní zrychlení

po dosazení počátečních hodnot g a sin20°

$a = 9{,}81 . \sin 20° = 3{,}35 m.s^{-2}$
$a = \ddot{u}$ 1.2

kontrola hmotnosti pomocí energii

$Ekp = Ekk$ 1.3
$2.(½ . I . \omega 2) = ½ . m_{kl} . v^2$
$I . \omega^2 = ½ m_{kl} . \omega^2 . r^2$
$m_{kl} = 2.I / r^2 = m$ 1.4

po dosazení do pohybové rovnice

$F = M_k / r$ 1.5
$m_r.\ddot{u} = Mk / r$
$r.\ddot{u}.(m_v+m_k+m_p+2.m_{kl}) = M_K$
$r. g.\sin\theta.(m_v+m_k+m_p+2.m_{kl}) = M_K$ 1.6
$(0{,}018.\sin 20°.9{,}81).(0{,}3+0{,}15+0{,}4+2.0{,}15) = Mk$
$0{,}06945 = Mk$

Korekce tření

$Mk = 1{,}2. Mk$ 1.7
$Mk = 0{,}08334 Nm$

Výsledek porovnáme s hodnotami katalogového listu motoru

$0{,}08334 = Mk \leq Mkm \Rightarrow$ VYHOVUJE

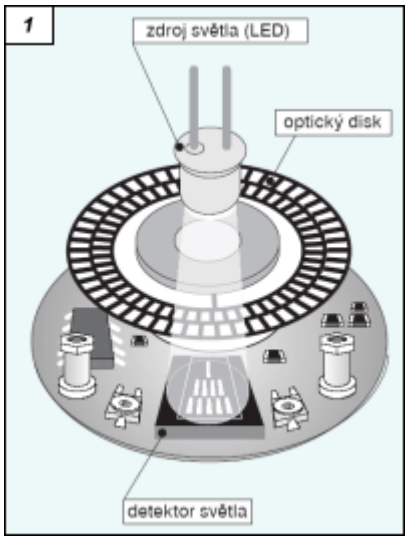
5. POPIS SOUČÁSTÍ SYSTÉMU

V této kapitole si přiblížíme elektrotechnické součástky, které jsou použity při realizaci.modelu.

5.1 Rotační inkrementální snímače polohy

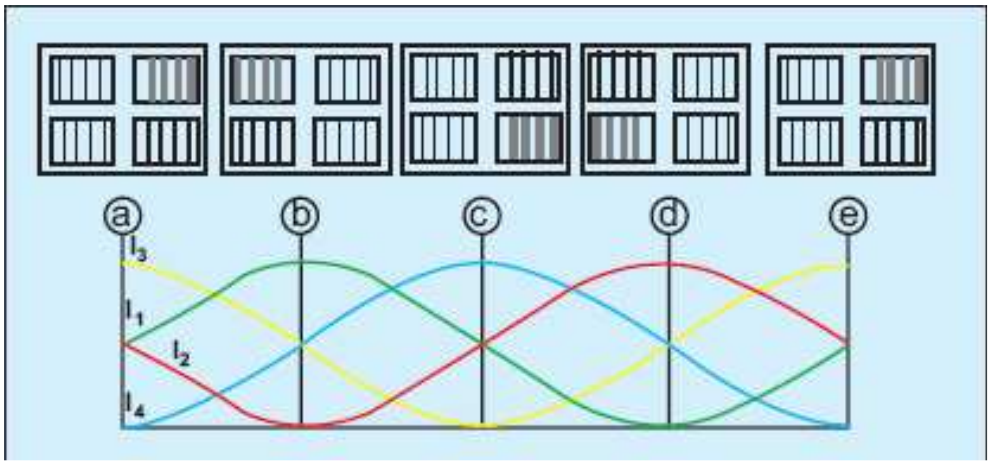
Inkrementální snímače polohy se běžně používají ve zpětnovazebních systémech řízení polohy a rychlosti rotačního pohybu, počínaje periferiemi počítačů, robotiků až po zdravotnickou techniku. Jejich typickými vlastnostmi je nízká hmotnost, vysoká rozlišovací schopnost a malá velikost, běžně jsou montovány na motory o minimálním průměru 37mm.

Princip činnosti je založen cloněním toku světla mezi zdrojem – LED dioda a fotodetektorem – fototranzistor či jiný fotocitlivý prvek. Clonění je prováděno pomocí otočného optického disku, který je mechanicky připevněn s připojovací hřídelí snímače. Funkci můžeme demonstrovat na jedné ze čtyř pevných mřížek viz. obrázek 17, vůči nimž se otáčí mřížka umístěná na rotujícím kotouči. Jakmile dojde k mírnému natočení, dojde k nepatrnému zaclonění které sejme fotodetektor a v jeho důsledku sníží úroveň výstupního signálu. Dalším pootočením dochází až k úplnému zaclonění a s ním spojenému nulovému světelnému toku dosáhneme i nulové amplitudy. Dalším otáčením zase probíhá postupné odcloňování až k úplnému odhalení a plnému světelnému toku. Otáčením se tedy spojitě periodicky mění výstupní signál fotodetektoru od maxima do nuly a od nuly od maxima. Tím vzniká kvazisinusový průběh.



Obr. 17 – schéma inkrementálního snímače

Inkrementální snímač obvykle používá čtyři mřížky pro vytvoření dvou výsledných π/2 fázově posunutých obdélníkových signálů plus jednu mřížku označující nulový index pro počáteční natočení. Čtyři pevné mřížky jsou posunuty vůči sobě o čtvrtinu dělící periody, přičemž odpovídají rádiusu snímacího kotouče s mřížkami. Při otáčení s mřížkami jsou na výstupech fotodetektoru generovány průběhy I1, I2, I3, I4 vždy vůči sobě posunuty o π/2, viz obr. 18

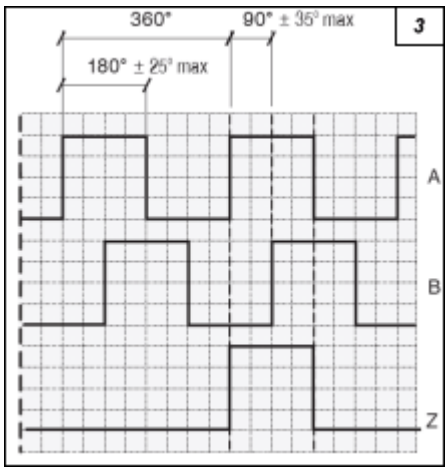


Obr. 18 – Výstupní kvazisinusové průběhy fotocitlivých prvků

Vítanou vlastnosti snímače s kvadraturním výstupem je možnost změny rozlišení snímače tím, které hrany detekujeme viz obr. 19

Druhy detekce a možnosti rozlišení jsou následující

- detekce náběžných nebo spádových hran pulsů pouze jednoho kvadraturního signálu (označení X1) umožňuje „normální“ rozlišení,
- detekce náběžných a spádových hran pulsů pouze jednoho kvadraturního signálu (označení X2) umožňuje dvojnásobné rozlišení ve srovnání s případem X1,
- detekce náběžných a spádových hran pulsů obou kvadraturních signálů (označení X4) umožňuje čtyřnásobné rozlišení ve srovnání s případem X1.



Obr. 19 - Průběhy výstupních signálů snímače s vyznačením fázových posunů.

Signály jsou v praxi obvykle zpracovány obvodem pro vyhodnocení směru a reverzibilním čítačem, který načítá nebo odečítá impulsy a udává polohu v číslicové formě. Pro návrh systému jsme vzhledem k požadovaným vlastnostem použili snímače HEDS 5500 J14. Pomocí snímače budeme snímat otáčky na motoru (pro určení polohy

vozíku) a dále náklon kyvadlové tyče. Náhled snímače je na obr. 20. Mezi základní vlastnosti tohoto snímače patří:

- dva kvadraturní výstupy s volitelnými pulzy,
- rychlá a snadná montáž,
- implementovaná úprava signálu,
- 1024 impulsů na jednu otáčku,
- malá velikost,
- provozní teplota -40°C – 110°C,
- napájení 5V.



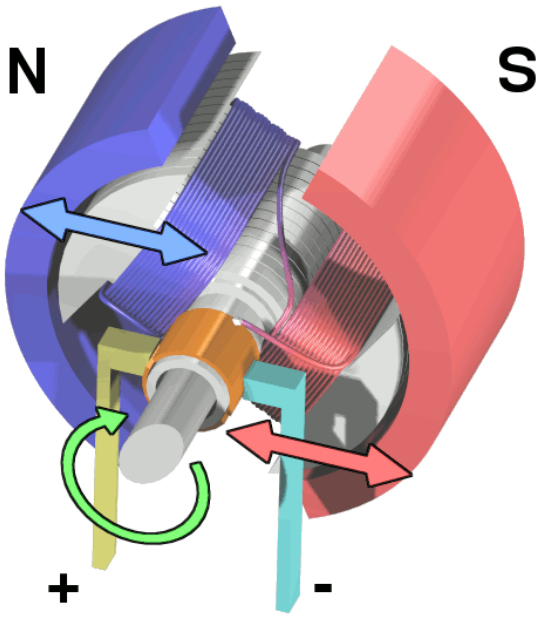
Obr. 20 - Snímač typu HEDS 5500

5.2 DC Motor Faulhaber

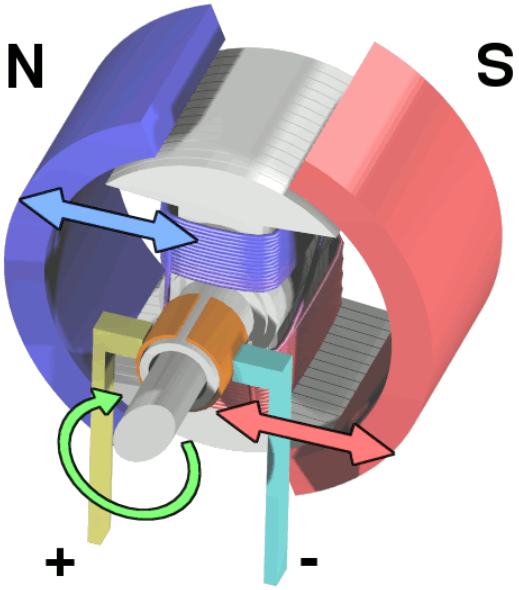
Většina elektromotorů pracuje elektromagnetickým principem, přičemž nás motor není výjimkou. Základním principem na němž je funkčnost založena je vzájemné působení elektromagnetických polí vytvářených elektrickými obvody, jimž protéká elektrický proud. Síly zde zmiňované popisuje Lorenzův zákon.

Námi vybraný elektromotor je konstruován na rotačním principu, přičemž slovo rotor je odvozeno od slova rotovat, myslíme tím elektrickou točivou část. Stejně tak jako stator je statická neotáčející se část, kolem niž se otáčí rotor. Stejnosměrný motor obvykle obsahu pevně spojenou sadu elektromagnetu umístěných na rotoru. Rámu elektromotoru se dříve říkalo kotva, nicméně se jedná o zastaralý název, protože kotvou má být správně označována ta část elektromotoru, která koná práci, nebo ta část elektrického generátoru, přes kterou se generuje výstupní napětí. Podle typu motoru může kotva sloužit jako rotor či stator. V podstatě se i tento termín dá považovat za zastaralý, protože práci vždy vykonává celý motor jako celek.

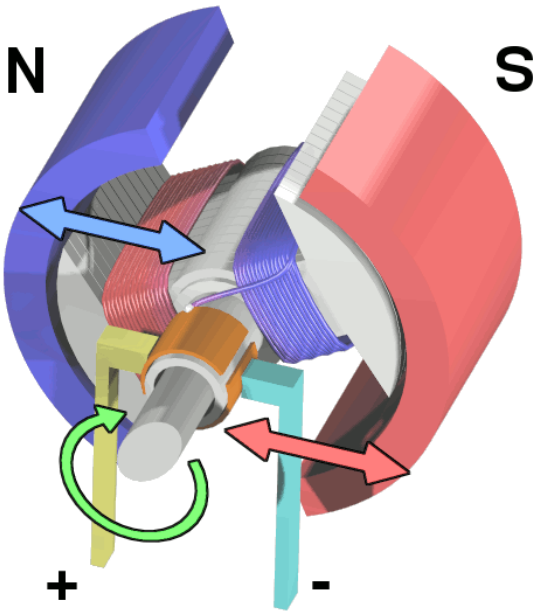
Motor s permanentním magnetem je nejjednodušší motor na stejnosměrný proud, má stator tvořený permanentním magnetem a kotvu rotující ve formě elektromagnetu s dvěma póly. Komutátor nebo chcete-li rotační přepínač měnit směr elektrického proudu a polaritu magnetického pole procházející kotvou dvakrát za otáčku.Tím je zajištěn stejný směr síly působící na póly rotoru. Když se přepne polarita, udržuje běh tohoto motoru ve správném směru setrvačnost. V principu si tento motor dost podobný střídavému synchronnímu motoru. Samotný princip si ukážeme na obrázcích 21, 22 a 23.



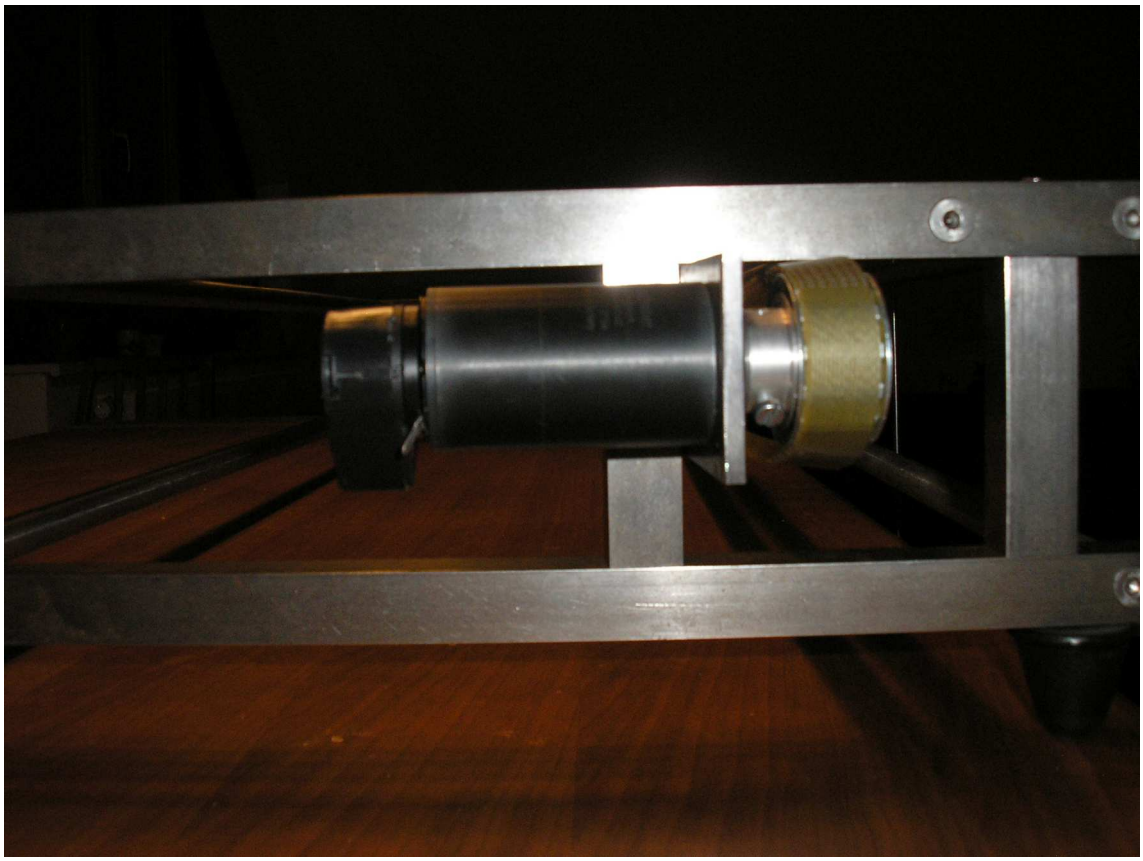
Obr. 21 - Rotor je přes oranžový komutátor připojen ke zdroji. Stator je tvořen dvojicí velkých permanentních magnetů.



Obr. 22 - Vzhledem k polaritě statoru a rotoru se souhlasné póly odpuzují a rotor se točí.



Obr. 23 - Opačné póly se přitahují, rotor se stále otáčí. V okamžiku, kdy se rotor dostane do vodorovné polohy, dojde na komutátoru k přepnutí polarity magnetického pole rotoru.



Obr. 24 – Stejnosměrný motor Faulhaber

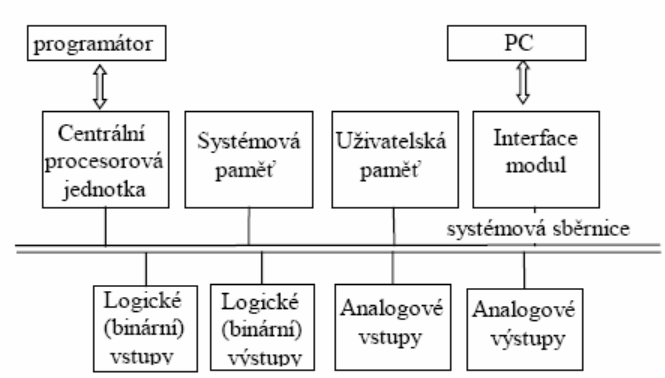
Motor využívá minimální energie. Ve vnějším magnetickém poli se nachází smyčka, kterou protéká proud. Ten indukuje magnetické pole, které je vždy orientováno stejně jako vnější magnetické pole. Toho je dosaženo díky komutátoru, který změní směr proudu smyčkou pokaždé kdy dojde k překlopení. Energie této soustavy bude nižší, pokud budou magnetická pole orientována proti sobě. Proto působí na smyčku moment, který se ji snaží překlopit. Protože po překlopení se změní směr proudu protékajícího smyčkou, pokračuje toto dále. Námi využívaný stejnosměrný motor značky Faulhaber dosahuje maximálního proudu 24V. Jeho podrobná technická specifikace je uvedena v tabulce 11.

Tabulka 11 – Specifikace DC motoru

Jmenovité napětí	UN	24	Volt
Odpor	RP	0,62	Ω
Výstupní výkon	2 max.	220	W
Účinnost	η max	85	%
Maximální otáčky	No	6700	rpm
Maximální proud	Io	0,24	A
Točivý moment	MH	1170	mNm
Třecí moment	MR	7,9	mNm
Tepelný odpor	Rth 1 / Rth 2	1,5/6	K/W
tepelná časová konstanta	τ w1 / τ w2	33/843	s
Použitý materiál	Ocel		
Hmotnost		400	g
Směr otáčení	směr hodinových ručiček		

5.3 Programovatelný automat

Programovatelné automaty jsou programovatelné řídící systémy umožňující řízení průmyslových a technologických systémů a procesů, u starších typů a u menších systémů specializované na úlohy převážně logického typu. Jsou známé pod označením PLC (Programmable Logic Controller). Menší typy bývají řešeny jako kompaktní celky, větší se zásadně konstruují jako modulární.



Obr. 25 - Hardware kompaktních a stavebnicových automatů

Vnitřní struktura PLC je znázorněna na obrázku 25. Pokud se jedná o modulární provedení, má pochopitelně variabilní počet vstupních i výstupních jednotek i dalších zařízení. Funkční bloky jsou propojeny prostřednictvím jedné nebo dvou sběrnici. Modulové jednotky běžně osazované v PLC jsou centrální procesorová jednotka, systémová paměť, uživatelská paměť, interface umožňující spojení s PC a množství modulů pro analogové, digitální a binární (logické) vstupy. Skutečnou sestavu volí uživatel tak, aby programovatelný automat co nejlépe vyhovoval řešeným úlohám.

V automatizační technice se programovatelné automaty používají zhruba od r.1970. Původně byly určeny pro řízení strojů, jako náhrada za pevnou reléovou logiku. Postupně se jejich možnosti rozšiřovaly a dnes se s nimi můžeme setkat
v nejrůznějších oborech, kde mnohdy vytlačují dříve používané přístroje.

Velkou předností programovatelných automatů je jejich univerzálnost. Již patří minulosti, že PLC řešily jen logické úlohy, zatímco k řízení spojitých veličin se používají spojité PID regulátory. Programem PLC lze řešit i jinak velmi obtížné úlohy, kde jsou vazby mezi regulací různých. Některé PLC mají zabudovanou i fuzzy logiku, a tím se rozšíří možnosti jejich použití i do dalších odvětví.

Protože programovatelné automaty byly původně určeny k realizaci logických úloh a k náhradě pevné logiky, nechybějí v žádném PLC instrukce pro základní logické operace (operace logického součtu a součinu, negace, instrukce pro realizaci paměťových funkcí a klopných obvodů, pro zápis výsledku nebo mezivýsledku na adresované místo). V souboru instrukcí PLC nechybí ani instrukce pro aritmetiku a operace s čísly.

Některé PLC poskytují i velmi výkonné instrukce pro komplexní operace, např. pro realizaci regulátorů a jejich automatického seřizování, pro fuzzy logiku a fuzzy regulaci, pro operace s daty a datovými strukturami, pro realizaci ucelených funkčních bloků apod. Tyto specializované instrukce usnadňují programování (nabízejí již hotové ucelené funkce) a současně zvyšují výkon PLC.

Výkonnost programovatelného automatu se nejčastěji posuzuje podle doby vykonání instrukcí. Obvykle jsou v řádu µs/instrukcí, u malých systému 10 µs/instrukcí. K programování PLC existují specializované jazyky, původně navržené pro realizaci logických funkcí. Jazyky u různých výrobců jsou sice podobné, ale ne stejné. Není možná přenositelnost programů mezi PLC různých výrobců. Tato existuje jen u systémů stejného výrobce.

Jazyk memokódů je obdobou assembleru u počítačů a je také strojově orientován. To znamená, že každé instrukci PLC systému odpovídá stejně pojmenovaný příkaz jazyka. Tyto jazyky jsou často používané, zejména profesionálními programátory.

Jazyk kontaktních (reléových) schémat je grafický. Program se zobrazuje ve formě schémat používaných při práci s reléovými a kontaktními prvky. Jazyk je výhodný při programování nejjednodušších logických operací a v případech, kdy s ním pracují lidé, kteří neznají tradiční počítačové programování.

Jazyk logických schémat je opět grafický. Základní logické operace popisuje obdélníkovými značkami. Své značky mají i ucelené funkční bloky. Vychází vstříc uživatelům, zvyklým na kreslení logických schémat.

Jazyk strukturovaného textu je obdobou vyšších programovacích jazyků pro PC (např. Pascalu nebo C). Umožňuje úsporný a názorný zápis algoritmů.

Programovací a vývojové prostředky. K zadání a ladění uživatelského programu slouží programovací přístroje. Tradičně byly řešeny jako specializované přístroje v

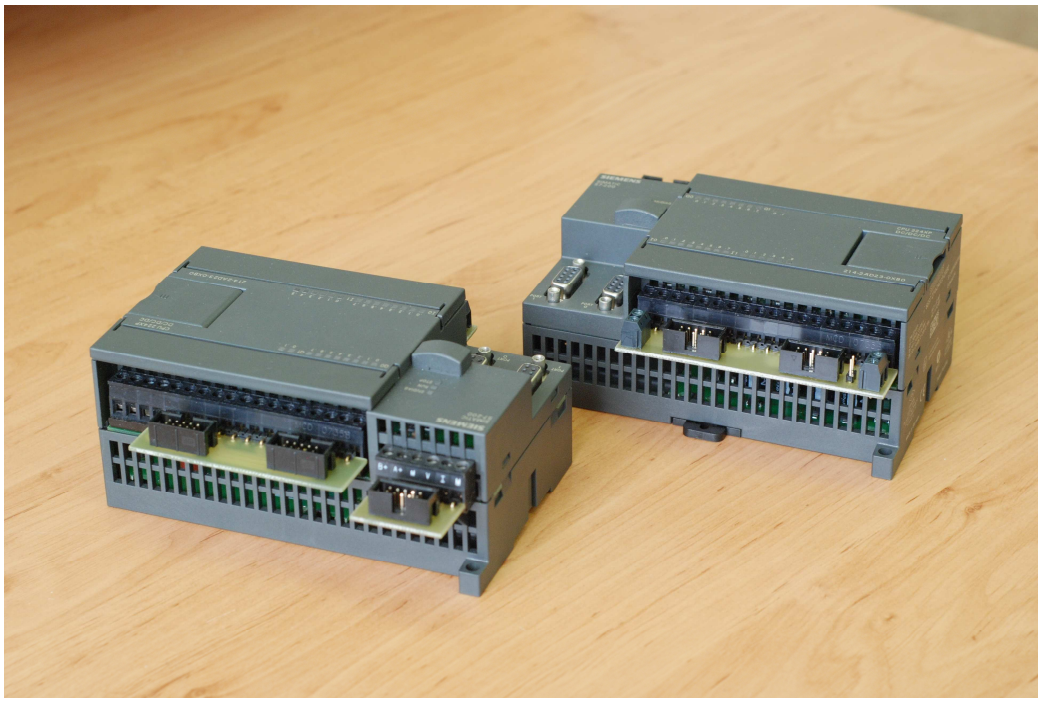
kufříkovém nebo příručním provedení. V současné době se pro komfortní programování používají výhradně počítače standardu PC.

Programovací přístroje (vývojové systémy, vývojová prostředí) umožňují zápis programu, jeho opravy, překlad ze zdrojové formy do kódu PLC a ladění programu s reálným PLC. Některé vývojové systémy dovolují i přenos programu z PLC do programovacího přístroje a jeho zpětné přeložení.

Pro úplnost uveďme, že na našem trhu je možno se nejčastěji setkat s programovatelnými automaty těchto nejvýznamnějších světových výrobců (řazeno abecedně): ABB, Allen-Bradley, B+R, Eberle, Festo, GE, H+B, Idec, Klockner Moeller, Matsushita, Mitshubishi, Omron, Saia, Siemens, Schneider Group a českého výrobce Teco. V detailech se jednotlivé třídy systémů a jejich představitelé liší, způsoby použití a aplikační možnosti jsou však srovnatelné.

5.4 PLC Siemens S7-200

S7-200 je řada malých programovatelných logických automatů, které jsou určeny pro řízení jednoduchých aplikací. Kompaktní design, nízká cena a výkonné instrukce se v řadě S7-200 spojují tak, aby byl celý systém nejen jednoduchý, ale i výkonný. Automat S7-200 disponuje nejen rozsáhlým instrukčním souborem, je vybaven i silnými komunikačními funkcemi. Pro zjednodušení programování jsou připraveni tzv. „Průvodci“, kteří dokáží vygenerovat celé části programu dle požadavků programátora (např. pro nastavení PID regulátoru, komunikace nebo polohování). Pro lepší splnění požadavků vaší aplikace má řada S7-200 širokou škálu rozšiřovacích modulů. Těmito rozšiřovacími moduly můžete do S7-200 přidat další funkce nebo rozšířit počet vstupů a výstupů.



Obr. 26 – Automaty firmy Siemens

6. VÝROBA PLOSNÉHO SPOJE

Elektronika je důležitou součástí celé práce, jednotlivé elektronické součásti konstrukce jsme si již podrobně představili v předcházející kapitole, nyní je načase tyto součástky propojit dohromady tak, abychom mohli vše jako celek řídit pomocí programovatelného automatu. Toho docílíme díky navržené výkonové elektronice a desce která slouží jako propojka s automatem.

6.1 Projektování elektrického obvodu

Pro návrh plošných spojů existuje nespočet produkčních programů. Na akademické půdě je asi nejrozšířenější produkt pro návrh desek plošných spojů DPS německé firmy CADsoft, program Eagle 5.50. Tento program obsahuje rozsáhlé knihovny elektronických součástek díky nimž je návrh desky snazší. Celý program obsahuje soubor vlastností od návrhu až po samotnou výrobní fázi, zmíním zde jen několik základních vlastností které si později popíšeme podrobněji:

- základní vlastnosti,
- editor spojů,
- editor schémat,
- Autorouter,
- CAM procesor.

Nejen díky těmto vlastnostem je program Eagle široce rozšířen po celé Evropě. Na domovských stránkách firmy CADsoft je možné si software stáhnout zdarma ve freeware verzi a k této licenci čerpat i knihovny aktualizace aj.

Základní vlastnosti:

- dopředná a zpětná anotace v reálném čase,
- nápověda orientovaná podle obsahu,
- žádná hardwarová ochrana programu,
- vícenásobná okna pro desku, schéma a knihovnu,
- výkonný uživatelský jazyk,
- integrovaný textový editor
- dostupný pro Windows 95/98/NT4/2000 a Linux.

6.2 Editor spojů

Hned v začátku návrhu při práci s editorem je třeba se vyvarovat začátečnických chyb či dát si pozor na několik náležitostí. Užitečnou funkcí je funkce ERC, která slouží pro kontrolu zda-li nenastala nějaká chyba při manuálním vytváření. Tato chyba by mohla posléze způsobit problémy s funkčností případě nepřipojené cesty či cesty připojené špatně. Další nepříjemný problém může nastat při samotném propojování schémat. Funkce NET je nástroj, který tuto realizaci provádí. Může se stát, že se připojí součástka na špatnou NET, a tím není zajištěna funkčnost desky. Poslední záludnou záležitostí která dokáže znepříjemnit život je zvolený rastr. Rastr se dá popsat jako

milimetrový papír, jen velikost malých čtverečků se dá různě měnit. V ideálním případě je dobré ponechat rastr v defaultním nastavení, kdy je nastaven na 2,54mm. Toto nastavení zaručuje konstantní velikost propojovaných spojů a optimální rozlití „země“. Kdybychom rastr neúměrně zmenšili, mohlo by dojít až k znehodnocení celé desky, která by byla pak nepoužitelná. V základě si můžeme přiblížit základní vlastnosti editoru:

- největší rozměr výkresu 1.6 x 1.6m (64 x 64 inch),
- rozlišení 1/10.000 mm (0,1 mikronu),
- až 16 signálových vrstev,
- klasické i SMD součástky,
- dodává se s plnou sadou knihoven součástek,
- snadné vytváření vlastních součástek v plně integrovaném editoru knihoven,
- funkce vpřed/vzad pro libovolný editační příkaz, do libovolné hloubky,
- skriptové soubory pro dávkové zpracování příkazů,
- pomědění ploch,
- funkce kopírovat a vložit pro kopírování kompletních částí výkresu,
- kontrola pravidel návrhu.

6.3 Editor schémat

Tento editor slouží k návrhu desky plošného spoje. Po otevření je implicitně nastaven rámeček velikosti archu A4, který definuje funkce wire.Tento rámeček je ve freeware verzi omezen do formátu A3. Dále je na řadě propojování samotných součástek, které může byt realizováno pouze na jedné straně (vrstvě- jednovrstvá deska) nebo na stranách obou (oboustranně – dvouvrstvá deska). Mezi jednotlivými deskami se dá lehce přepínat v záložce vrstev. Při přechodu z horní do spodní vrstvy či naopak Eagle sám navrhne prokov, což je v podstatě propojení spodní a horní části desky. K vytvoření samotné cesty se využívá funkce Route. Další užitečnou funkcí je funkce DRC, která dohlíží na vzdálenost cest od sebe, aby upozornila při případném konfliktu. Další užitečné vlastnosti uvádím jen ve zkratce:

- až 99 listů jednoho schématu,
- kontrola elektrických pravidel zapojení,
- prohazování hradel a pinů,
- vytvoření desky ze schématu jediným příkazem.

6.4 Autorouter

Autorouter je počítačem řízený projektant, jehož funkce slouží k propojení všech potřebných části automaticky bez požadavků na uživatele, když pomineme zadání vstupních požadavků, při spouštění autoroutru, jaké jsou potřebné pro vedení jednou či dvěma stranami, např. zesílené čáry aj. Tato funkce je dostupná pouze v placené verzi software Eagle. Nicméně z vlastní zkušenosti mohu říci, že obvykle není úplně využitelná. Ruční propojování většinou vede k lepšímu rozložení a snazšímu cíli s menším využitím prokovů.

- ripup&retry router,
- až 16 signálových vrstev,
- strategie propojování nastavitelná uživatelem pomocí váhových faktorů.

CAM procesor
CAM procesor slouží k vytváření výstupních souborů, ať již pro další publikaci či programový kód pro CNC frézku. Obsahuje správu:

- postskript,
- perových plotrů,
- plotrů Gerber,
- souborů pro vrtačky Excellon a Sieb&Meyer,
- a je pro vlastní výstupní zařízení snadno konfigurovatelný pomocí ASCII souborů.

Poslední součásti, které je možné zmínit u software Eagle, jsou požadavky na systém:

- PC Pentium (nebo lepší),
- Windows 95/98/NT4/2000 nebo Linux (kernel 2.x nebo vyšší),
- myš,
- alespoň 32MB RAM,
- pevný disk s alespoň 20MB volného místa.

6.5 Výroba desky plošného spoje

Výroba desek plošného spoje se dá realizovat mnoha způsoby. V naší laboratoři se nejčastěji výroba provádí foto cestou. Jedná se o osvědčený způsob, díky kterému lze dosáhnout i solidní kvality. Pro realizaci touto metodou budeme potřebovat následující základní materiál:

- izolepu,
- smirkový papír,
- pauzovací papír s předlohou,
- UV lampu,
- plochou mističku,
- vývojku 1,5% NaOH,
- leptací roztok FeCl3,
- ředidlo (aceton aj.),
- fix,
- vrtačku + vrtáky,
- fotosenzitivní plošný spoj oboustranný.

6.6 Tisk předlohy

Samotné výrobě desky plošného spoje předchází tisk předlohy. Pro tuto operaci je nutné v Eaglu zadat příkaz Export a vyexportovat daný obvod. Předlohu je dobré nachystat do formátu pdf, se kterým je schopná pracovat většina reklamních studií. Tato předloha je tištěna na pauzovací papír, ideálně větší gramáže než je standardní, nejlépe offsetovým strojem či laserovou tiskárnou o vysokém rozlišení (alespoň 600DPI). Před tiskem je potřeba předlohu zrcadlově obrátit a před osvícením je otočen obrazcem na desku. Při tvorbě oboustranné desky horní vrstva není zrcadlena. Předloha musí být vytištěna černou barvou, skvěle se osvědčila reklamní agentura FRZ (www.frz.cz), kde je zpracování a tisk na výborné úrovni. Při pohledu proti světlu nesmí předloha v černých místech prosvítat.

6.7 Expozice snímku

Jakmile obdržíme přichystaný film, můžeme přejít na expozici. Nejprve musíme předehřát UV lampu, doba alespoň 2min lépe i delší dobu. V případě výroby jednostranné desky plošného spoje jen vystřihneme část obvodu, kterou chceme svítit, a potom ji přiložíme na desku. Je dobré ji nějak přichytit tak, aby nemohlo dojít k posuvu, nejsnazší je přiložení skleněné desky s vršku i se spodku plošného spoje. Desku umístíme na dobu 5-7min pod UV lampu, optimální je vzdálenost od světla 30-40cm působící svisle dolů. Dobře osvícenou desku poznáme podle ztmavnutí částí nekrytých černou filmovou předlohou, zbytek zůstane světlý.

U oboustranné desky postupujeme mírně odlišným způsobem, musíme si nejprve nachystat kapsičku z fólie, kde na sebe obě strany desky musí přesně lícovat, poté je vložena deska, a postupuje se stejným způsobem, jen s rozdílem, že nejprve osvítíme jednu stranu a posléze stejnou dobou osvěcujeme druhou stranu. Je nutné, aby na sebe spoje přesně lícovaly, při nedodržení souososti může dojít k velkým problémům při pájení desky a zhotovování prokovů.

6.8 Vyvolání osvícené předlohy

Pro vyvolání používáme roztok 1,5% NaOH při pokojové teplotě. Z desky plošného spoje odstraníme předlohu, je dobré před vyvoláním omýt desku vodou, a poté ji položíme do roztoku tak, aby byla celá deska ponořena. Vyvolání provádíme tak dlouho, dokud nejsou na osvětlených místech patrny stopy fotolaku. Jakmile je deska úspěšně vyvolána, musí byt opět omyta teplou vodou a následně osušena.

Poté můžeme celou desku zkontrolovat, zda-li máme cesty všechny propojeny, v případě nějakého nedostatku můžeme cestu bud proškrábnout (skalpelem, nožíkem) či dokreslit obyčejným lihovým fixem.

6.9 Leptání desky

Po vyvolání ve vývojce přichází na řadu leptání. Samotné leptání můžeme provádět dvojím způsobem, buď využijeme chlorid železitý ±650g v 1l při pokojové teplotě (tato varianta je nejčastěji používaná ve školních podmínkách z důvodu bezpečnosti žáků), druhou možností je směs kyseliny chlorovodíkové a peroxidu vodíku v poměru:
(750ml vody) + (150ml HCL 35%) + (100ml H_2O_2 30%), přičemž kyselina je přilévána za stálého míchání!

Po přípravě roztoku je na řadě samotné leptání. Nejprve je nutné si roztok rozlít do připravené nádoby (misky). Poté je dobré si plošný spoj opatřit nějakými úchyty pro snazší manipulaci v roztoku a zabránění styku kapaliny s pokožkou. Dokonale k tomuto účelu poslouží obyčejná izolepa, se kterou můžeme vytvořit jednoduché úchyty. Před položením desky na hladinu ji musíme dokonale očistit a osušit, jen za těchto podmínek bude leptání probíhat v ideálních podmínkách a deska bude plavat jak má, a také roztok má lepší účinnost. V případě zahřátí leptacího roztoku můžeme tuto činnost urychlit. V průběhu leptání desku mírně omýváme, čímž napomáháme celému procesu. Oboustranné desky jsou leptány stejným způsobem, jen s tím rozdílem, že leptané plochy děláme postupně. Je důležité si desku při leptání hlídat, nadměrně dlouhá doba při leptání může způsobit podleptání desky, což má za následek zničení celé práce.

6.10 Problémy při leptání:

Desku se nedaří vyleptat z těchto důvodů:

- studená vývojka,
- krátká doba expozice,
- nízká koncentrace vývojky,
- příliš stará vývojka.

Fotolak se rozpouští po celé ploše z těchto důvodů:

- špatná koncentrace vývojky,
- vysoká teplota
- špatná filmová předloha (průsvitná),
- dlouhá doba ve vývojce.

Dalšími důvody proč deska nejde vyleptat jsou:

- zbytky fotolaku z důvodu krátké expozice,
- špatné vyvolání,
- špatná filmová předloha.

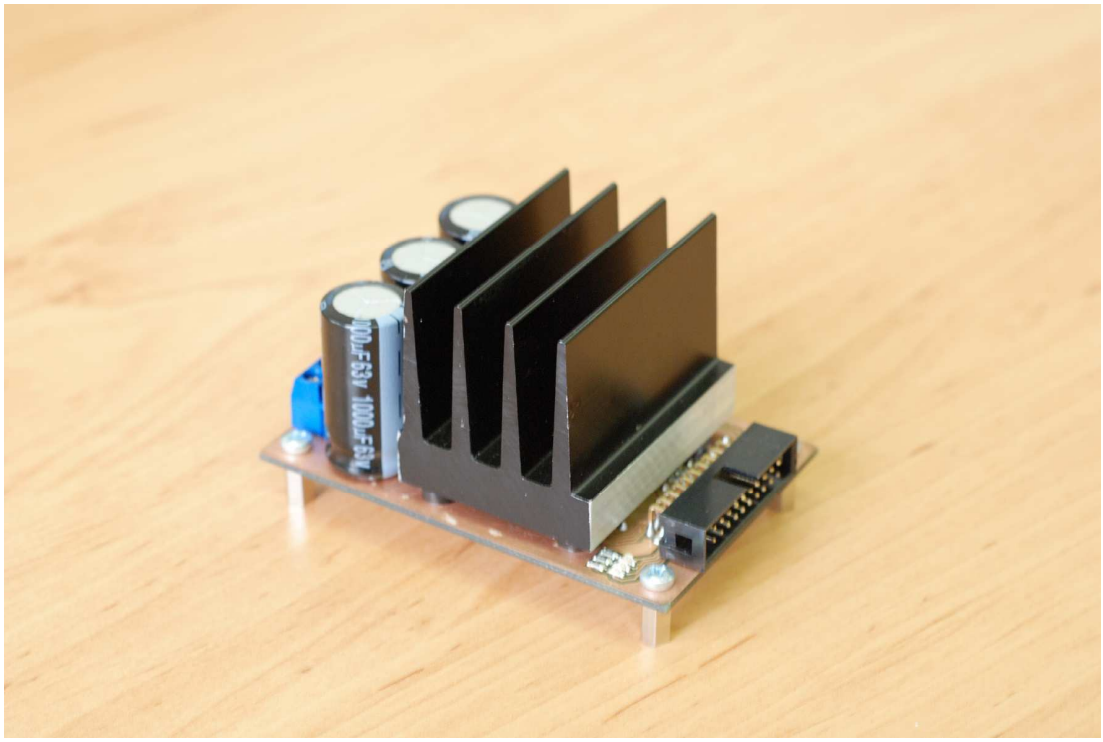
6.11 Dokončovací operace desky plošných spojů

Po skončení leptání je nutné desku řádně omýt pod proudem tekoucí vody tak, aby bylo zaručeno smytí všech zbytků leptacího roztoku. Je dobré si desku ještě jednou zkontrolovat, zkontrolovat propojení všech částí, zda-li odpovídá předloze v PC, případné opravy lze provézt proškrábnutím nebo naopak opravit cínem, v případě větších vzdáleností je nutné použít drátek. Před případnou opravou je nutné desku přebrousit jemným smirkovým papírem tak, aby měděné cesty získaly sytě zlatou barvu. V tuto chvíli měď dobře reaguje s cínem a je po desce krásně rozlita.

Po zkontrolování, osmirkování a doladění detailů očistíme desku acetonem či jiným čistidlem a můžeme ji nalakovat ochranným lakem, který zabrání dece v oxidování. Následuje vyvrtání otvorů pro součástky a prokovy, jestliže se na desce vyskytují, jejich osazení a zapájení.

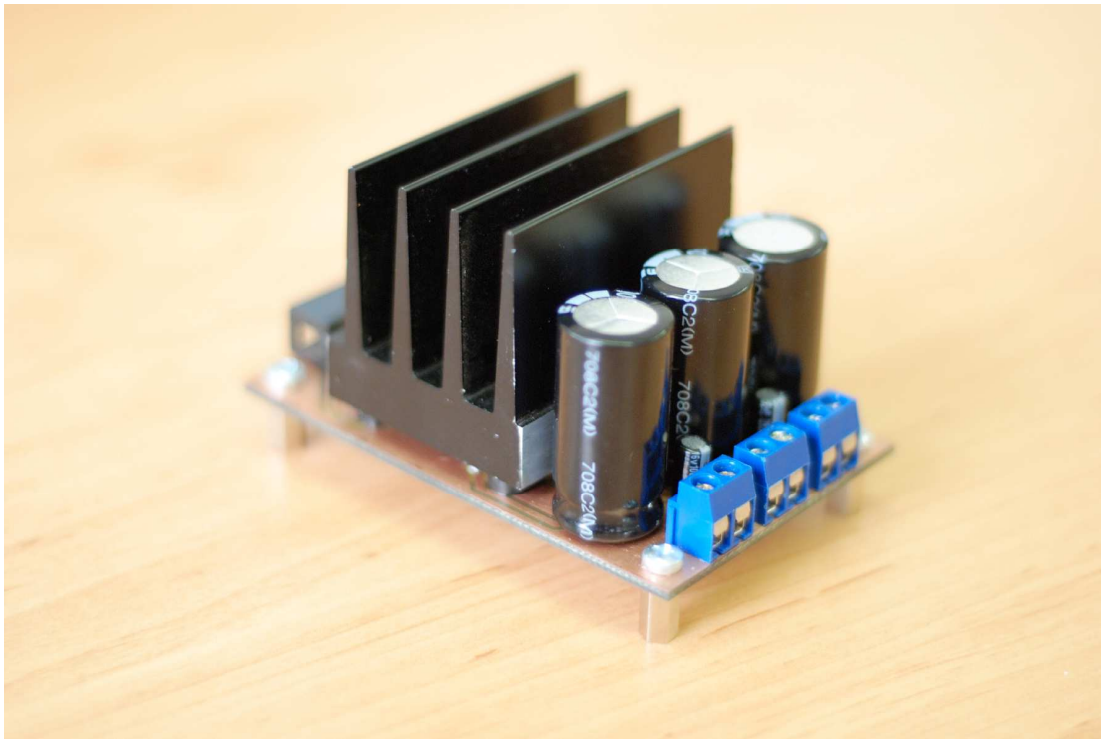
7. DESKA DRV 8402

Pro návrh schématu desky jsme použili software Eagle společnosti CADsoft. Před prvotním návrhem schématu zapojení je třeba si ujasnit co všechno budeme požadovat přenášet či napájet z naší desky. Deska DRV8402 se dá charakterizovat jako integrovaný modul konstruovaný pro vysoký výkon s integrovaným řízením motoru pomocí pulsní regulace. PWM – pulse width modulation regulátor je využíván pro regulaci otáček stejnosměrných motorů. Tato regulace je založena na změně šířky proudového impulsu do motoru, čímž se zásadně liší od klasické spojité regulace proudu, kde se mimo proudu snižuje i napětí. Při PWM regulaci zůstávají hodnoty proudu a napětí stejné, mění se jen aktivní doba kdy prochází proud motorem. Motor při této regulaci má velkou sílu i při nízkých otáčkách, ale hlavní výhodou této regulace je prakticky bezztrátový provoz, protože tranzistor přechází do plně otevřeného stavu velice rychle. Obrázek 27, pohled zepředu.



Obr. 27 - Dokončená deska DRV8402, pohled zepředu

Při pohledu zepředu vidíme 20pinový konektor který bude spojen s propojovací deskou. Chladič má za úkol odvádět přebytečné teplo od integrovaného obvodu, ten sám má integrovánu tepelnou ochranu. Obrázek 28 zobrazuje desku při pohledu zezadu, kde vidíme konektory pro připojení napájení motoru a zdroje. Dále vidíme tři velké kondenzátory o kapacitě 1000uF/63V.



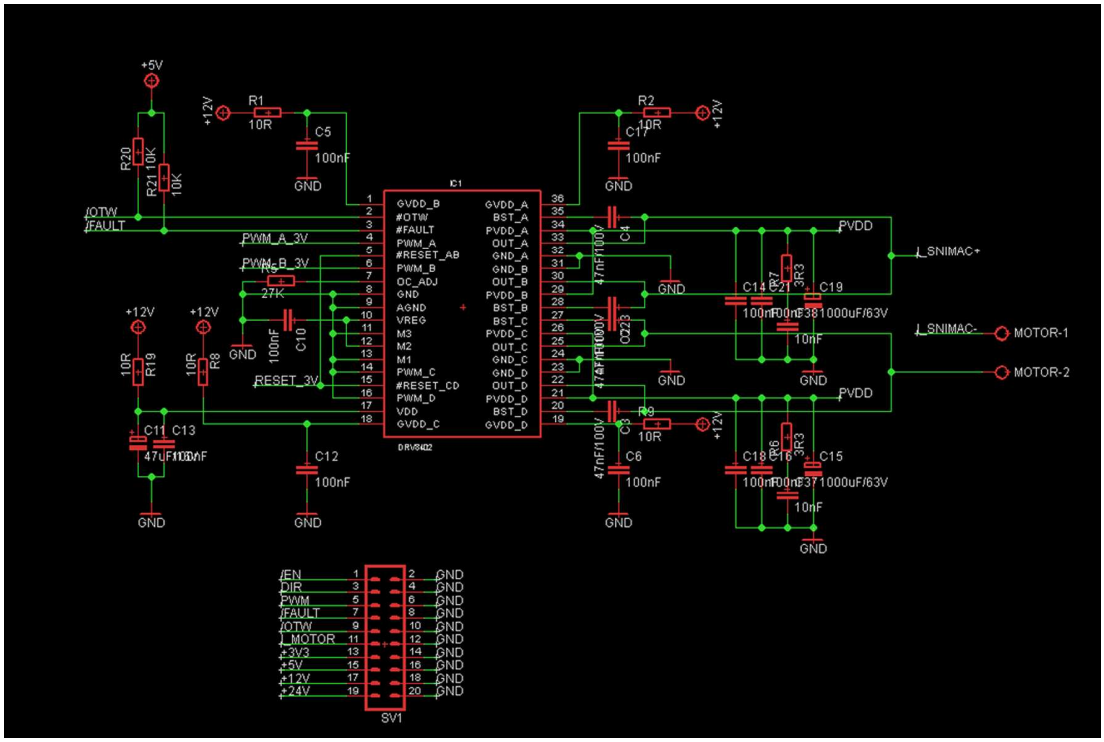
Obr. 28 – Dokončená deska DRV8402, pohled zezadu

7.1 Integrovaný obvod DRV 8402

Použitý integrovaný obvod je výkonový integrovaný obvod pro řízení motorových aplikací pomocí PWM regulace s pokročilým ochranným systémem. Z důvodu nízkého vstupního odporu a díky inteligentnímu zapojení je efektivita tohoto obvodu až 96%. Což umožňuje použití nižších napájecích napětí a z toho plynoucí dobré vlastnosti. Obvod vyžaduje napájení 12V a napájení pro motor 24V. Je schopen napájet až 10A ve stálém režimu a až 24A špičkově pro jeden motor.
Integrovaný obvod používáme převážně pro:

- řízení stejnosměrných motorů,
- třífázové motory s permanentním magnetem,
- robotické aplikace.

Při otevření má velmi malý odpor mezi C-E, a tak nemají ztráty kde vznikat. Vzhledem k nízkým RDS a inteligentní bráně řízení by měla tato deska dosahovat účinnosti 90%, což umožňuje použití nižších napájecích zdrojů a chladiče. Tato deska dosahuje špičkového stejnosměrného proudu 24A při paralelním zapojení, standardně pak dodává 12A. DRV 8402 může pracovat až do přepínací frekvence 500kHz při udržení vysoké účinnosti. Čip je chráněn tepelnou pojistkou proti přehřátí.



Obr. 29 – schéma zapojení integrovaného obvodu s použitím DRV8402

Přednosti obvodu jsou následující:

- napájecí napětí až 50V,
- vysoká účinnost,
- řízení 10A stále, 24A špičkově,
- pracovní frekvence 50kHz,
- ochranné zapojení,
- programovatelný proudový ochranný limit,
- nezávislé napájení pro každý Half bridge,
- pomocí 4 half bridge máme 2 full bridge,
- není třeba žádných externích ochranných obvodů,
- použité pouzdro je vhodné pro tepelné aplikace.

Zapojení jednotlivých pinů a jejich popis je uveden v tabulce 12

Tabulka 12 – Popis zapojení

pozice	typ	popis
1	GVDD_B	Napájení half-bridge B-GWD
2	#OTW	informační signál o teplotě
3	#Fault	chybový signál
4	PWM_A	vstupní signál pro half bridge A
5	#RESET_A B	reset signal half bridge A, B
6	PWM_B	vstupní signál pro half bridge B
7	OC_ADJ	pin pro programování proudové ochrany
8	GND	zem
9	AGND	analogická zem
10	VREG	digitální regulátor
11	M3	programové vyhodnocení modu
12	M2	programové vyhodnocení modu
13	M1	programové vyhodnocení modu
14	PWM_C	vstupní signál pro half bridge C
15	#RESET_CD	reset signal half bridge C, D
16	PWM_D	vstupní signál pro half bridge D
17	VDD	digitální napájení
18	GVDD_C	napájení
19	GVDD_D	napájení
20	BST_D	napájení half bridge D
21	PVDD_D	napájení pro half bridge D
22	OUT_D	výstup pro half bridge D
23	GND_D	zem D
24	GND_C	zem C
25	OUT_C	výstup pro half bridge C
26	PVDD_C	napájení pro halfbridge C
27	BST_C	napájení half bridge C
28	BST-B	napájení half bridge B
29	PVDD_B	napájení pro halfbridge B
30	OUT_B	výstup pro half bridge B
31	GND_B	zem B
32	GND_A	zem A
33	OUT_A	výstup pro half bridge A
34	PVDD_A	napájení pro halfbridge A
35	BST_A	napájení half bridge A
36	GVDD_A	napájení half bridge A-GWD

BST funguje v režimu buck-boost, jedná se o měnič s variantou o horním snímači. Měnič pracuje ve třetím kvadrantu. Směr napětí U je vyznačen s ohledem na skutečnou polaritu tohoto výstupního napětí.Princip činnosti je shodný jako v režimu

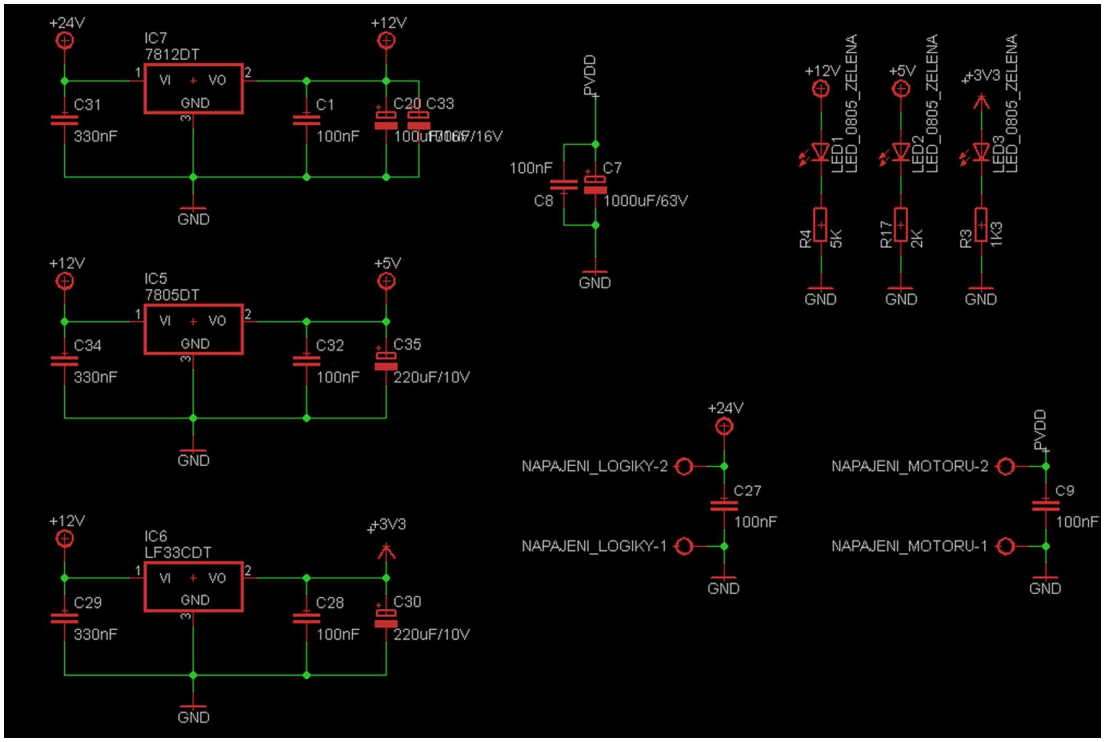
spojitých proudů. Střední hodnota I vstupního proudu je ovšem tak malá, že někdy během doby t klesající proud i(t) udržovaný jen tlumivkou L klesne až na nulu dříve než t2 skončí. V ten okamžik se uzavře dioda a zdroj je zcela odpojen.
Způsob výběru pinu záleží na konfiguraci, já jsem si zvolil M1 = 0, M2 = 0, M3 = 0 a z toho plyne výstupní konfigurace na 2x full bridge.

7.2 Napájení logiky

Důležitou úlohou této desky je také napájení logiky, deska umožňuje dvojí změnu napětí, která je potřebná pro napájení ostatních součástí nejen integrovaného obvodu. Změny napětí jsou tyto:

- +24V na +12V
- +12V na +5V
- +12V na +3V3

Schémata zapojení jsou zobrazena v následujícím obrázku:

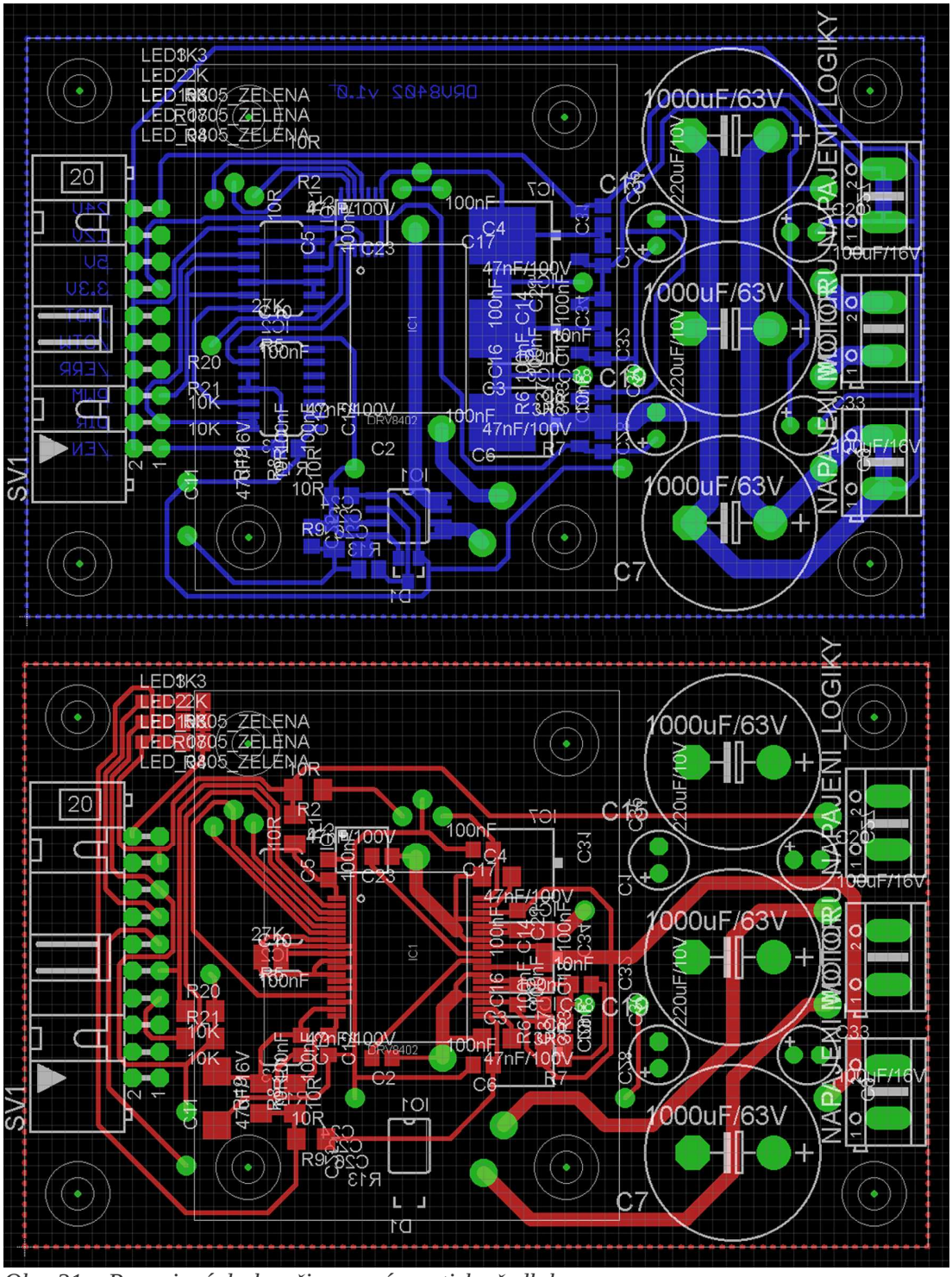


Obr. 30 – Schéma zapojení napájení logiky

Změnou napětí dosahujeme možnosti napájet integrovaný obvod DRV8402, který má od výrobce zadánu hodnotu v rozmezí -0,3V do +4,2V. Napájíme ho 3V3, dále pak jednotlivé součásti celé sestavy, koncové optické závory a inkrementální snímače. Indikaci, že je napětí v pořádku, nám zajišťují tři led diody umístěné v levém horním rohu desky.

7.3 Výsledný návrh plošného spoje

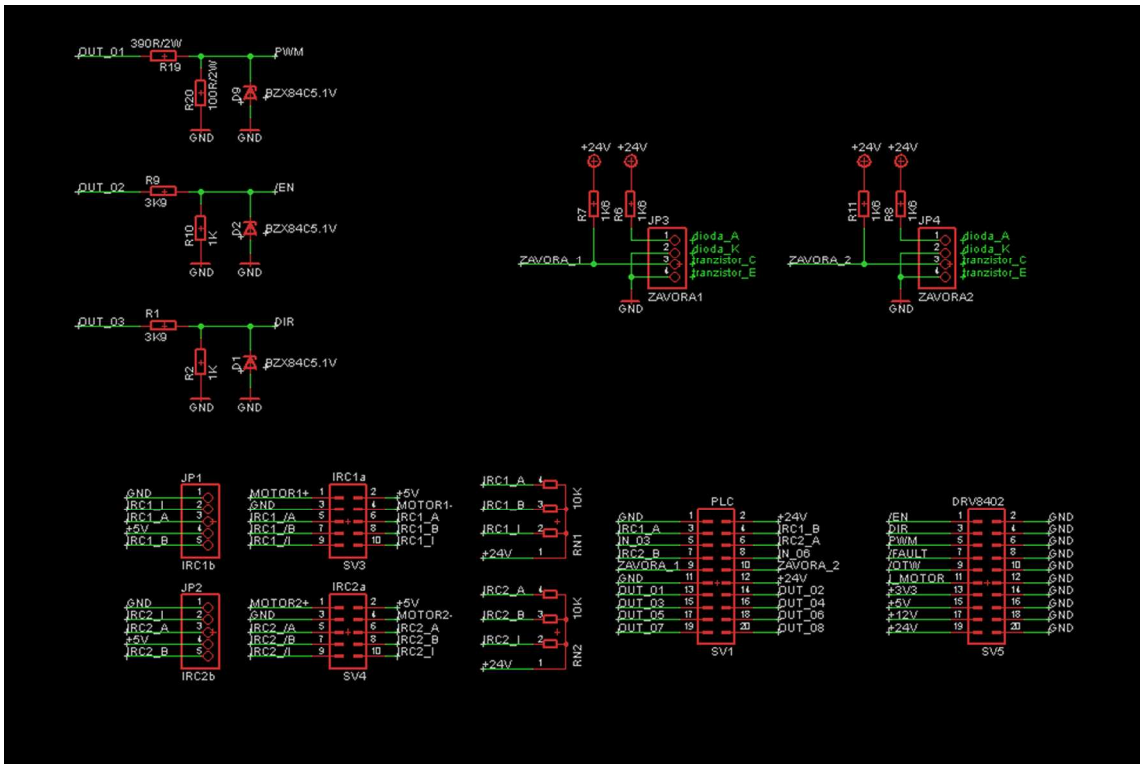
V předchozích kapitolách jsem objasnil princip činnosti jednotlivých důležitých součástek a schémata jednotlivých zapojení.Po doplnění návrhu v software Eagle je nutné vytvořit (propojit) jednotlivé cesty, dalo by se říct pospojovat jednotlivé součástky. Výsledek po propojení lze shlédnout na následujících obrázcích.



Obr. 31 – Propojené desky připravené pro tisk předlohy

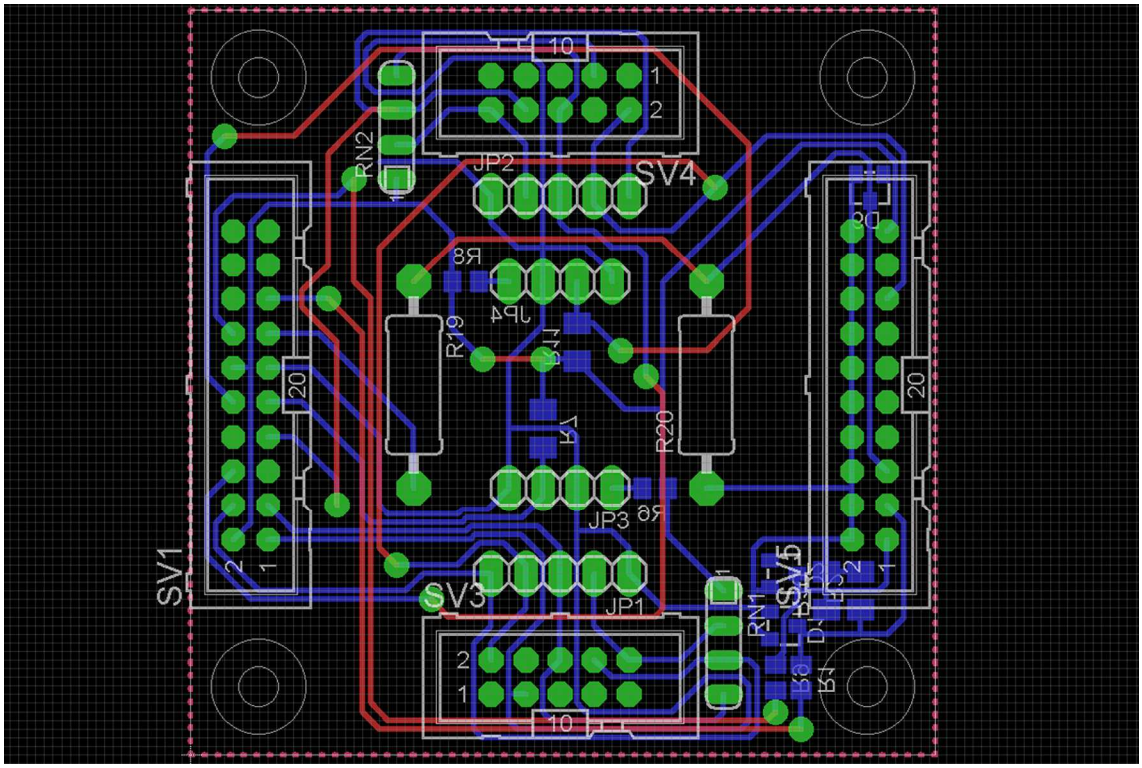
8. PROPOJOVACÍ DESKA

Vzhledem ke konstrukci navržené desky DRV8402 bylo nutné vytvořit ještě jednu desku, které nám tvoří pomyslný most mezi deskou DRV8402 a programovatelným automatem. Tato propojovací deska má za úkol přenášet jednotlivé signály, zajišťovat komunikaci mezi automatem a výkonovou elektronikou ale také je osazena konektory které přijímají signály z inkrementálních snímačů a optických závor. Konektory od inkrementálního snímače a optických závor pak směřují na vstupy programovatelného automatu. Schéma zapojení desky je zobrazeno na obrázku DDDD.



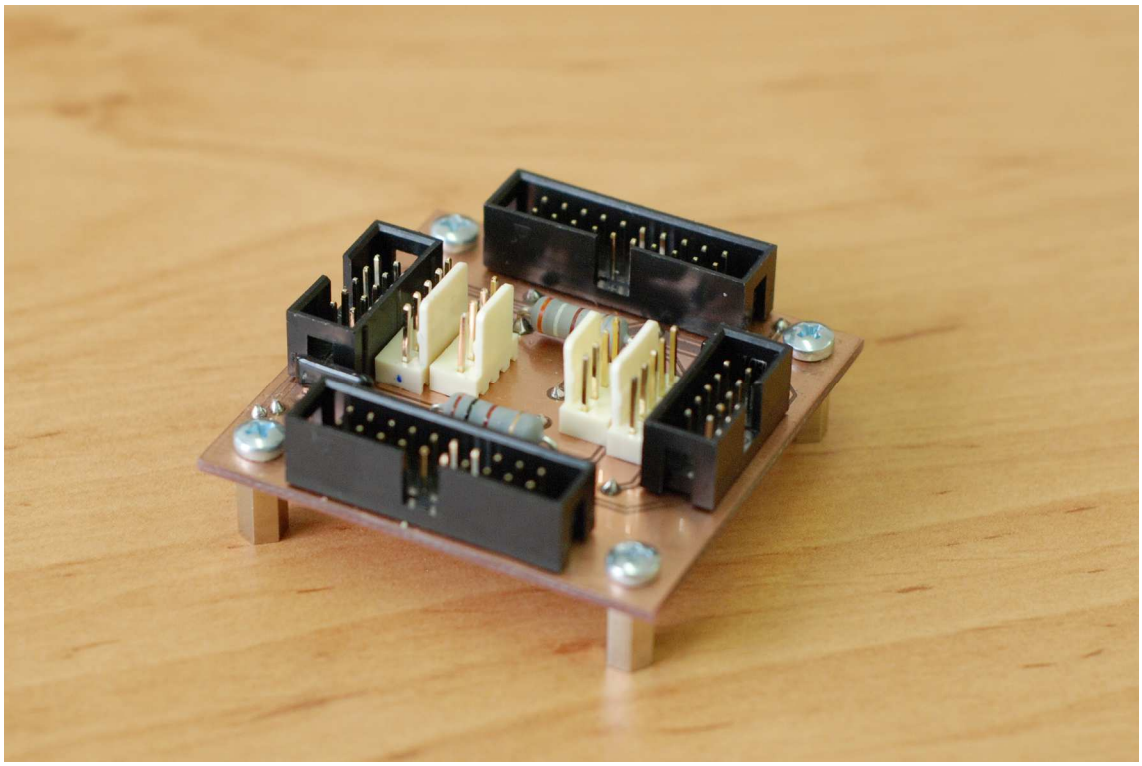
Obr. 32 – Propojovací desky, schéma zapojení

Propojení desky DRV8402 s mou propojovací deskou probíhá pomocí 20žilového kabelu. Mimo tento konektor jsou na desce umístěn dva konektory pro inkrementální snímače (10 pinový konektor a 5pinový pozlacený konektor), dále pak 4pinový pozlacený konektor pro vyhodnocování informací z optické závory.
Po zapojení a propojení všech cest nám vznikne propojené schéma zobrazené na obr. 33.



Obr. 33 – Propojená deska připravená pro vyvolání

Výsledný plošný spoj si můžeme prohlédnout po vyleptání, odvrtání a osazení součástkami na obr. 34.



Obr. 34 – Výsledný plošný obvod

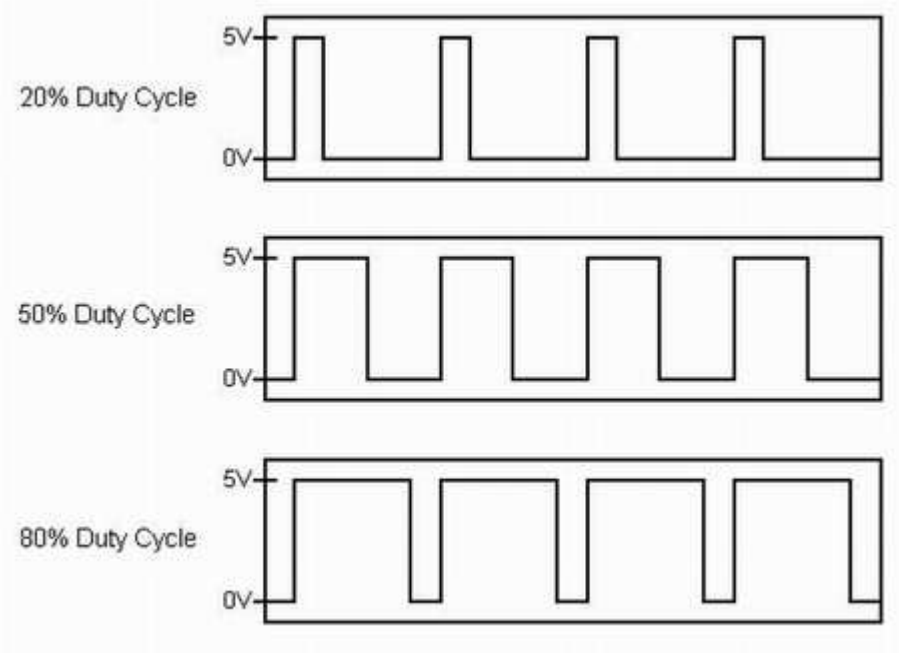
9. MOŽNOSTI ŘÍZENÍ S POUŽITÍM PLC

Pro odzkoušení možností naší konstrukce a navržené elektroniky jsme se rozhodli vytvořit jednoduchý program v prostředí Step7 – Micro/WIN. Step7 – Micro/WIN je software firmy Siemens a umožňuje programování jejich programovatelných automatů mimo jiné i v učebně využívaných S7-200 CPU24. Zařízení S7-200 dokáže monitorovat námi připojené vstupy a řídit výstupy pomocí uživatelského programu. Jejich připojení je zobrazeno na obr. 35.



Obr. 35 – zapojení elektroniky

Před počátkem je nutné provézt řádné zapojení všech vstupních a výstupních veličin. Předem propojíme počítač s programovatelným automatem. Dále je nutné propojit automat s propojovací deskou.Tuto desku spojíme s deskou DRV 8402, která zvládá generování PWM signálu. Musíme přivézt napájení na desku DRV 8402, dále propojit motor s touto deskou, připojit zdroj. Můžeme si přibrat k práci i osciloskop, abychom mohli kontrolovat signál na výstupu k motoru. viz obr. 36, náhled signálu PWM.



Obr. 36 – Signály PWM

Přejděme k jednoduchému programu na kterém, si ověříme nejdůležitější část elektroniky, generování PWM. Náš program bude mít za úkol roztočit motor, přičemž bude v časovém intervalu postupně zvyšovat otáčky až do námi zadaného maxima.

Generování signálu je kontrolováno osciloskopem pro jeho jednoduchou kontrolu. Před začátkem programování je nutné nastavit si počáteční proměnné obr. 37.

	Symbol	Address	Comment
1	PWM	Q0.0	
2	ENABLE	Q0.1	
3	DIRECTION	Q0.2	
4	IRC1A	I0.0	
5	IRC1B	I0.1	
6	IRC2A	I0.3	
7	IRC2B	I0.4	
8	KONCAK1	I0.6	
9	KONCAK2	I0.7	
10	RYCHLOST	VW0	rychlost otaceni motoru 0-200

Obr. 37 – nastavení počáteční proměné

- PWM na výstupu Q0.0
- ENABLE – logický vstup
- DIRECTION – směr
- IRC A, B – vystupy inkrementálních snímaču
- KONCAK – vstupy optických závor
- RYCHLOST – rychlost otáčení motoru

PROGRAM COMMENTS

Network 1 Network Title

Network Comment

```
LD      SM0.1                   // pouze pri prvnim spusteni
R       ENABLE:Q0.1, 1          // vypnu motor
R       DIRECTION:Q0.2, 1       // smer otaceni = VLEVO
MOVW    0, RYCHLOST:VW0


MOVB    2#11010011, SMB67       // konfigurace režimu PWM
MOVW    200, SMW68              // nastavení periody v us na hodnotu 20ms
MOVW    0, SMW70                // nastavení délky impulzu v us, 1500 = 1

PLS     0                       // start PWM

R       T40, 1                  // reset časovače    100ms
R       T32, 1                  // reset časovače    1ms

R       DIRECTION:Q0.2, 1       // smer otaceni = VLEVO
```

Symbol	Address	Comment
DIRECTION	Q0.2	
ENABLE	Q0.1	
RYCHLOST	VW0	rychlost otaceni motoru 0-200

Network 2

```
LD      SM0.0
TON     T40, 10
TON     T32, 5
```

Network 3

```
LD      T32
AW<     RYCHLOST:VW0, 190

R       T32, 1

+I      5, RYCHLOST:VW0

MOVB    2#11010011, SMB67       // konfigurace režimu PWM
MOVW    200, SMW68              // nastavení periody v us na hodnotu 200us
MOVW    RYCHLOST:VW0, SMW70     // nastavení délky impulzu v us

PLS     0                       // start PWM
```

Symbol	Address	Comment
RYCHLOST	VW0	rychlost otaceni motoru 0-200

MAIN SBR_0 INT_0

Obr. 38 – kód programu v step7

Postup při psaní kódu programu:

Network 1:

- SM 0.1 je v logické 1, tento cyklus se provádí pouze při prvním zpuštění programu při přechodu z režimu STOP do režimu RUN automatu
- Nastaví se proměnné DIRECTION a ENABLE na hodnotu 1 (vystup z automatu, tj. vstup do desky, tj. vypnout motor a nastavení směru otáčení)
- Nastavuje proměnou na hodnotu 0, tj. rychlost je nulová
- pomocí SM67 se konfiguruje režim PWM,
- nastavuje se perioda a délka impulzu
- povolení PWM instrukcí PLS
- druhý reset časovače, DIRECTION = 1

Network 2:

- nastavuje časovač T32 na hodnotu 5ms – implicitně
- nastavuje časovač T40 na hodnotu 1s

Network 3:

- u časovače T32 každých 5ms přidávám o 5 jednotek až po hodnotu 190, díky tomu roste rychlost postupně každý cyklus až po námi zadanou hodnotu
- konfigurace PWM, nastavení periody
- vrací hodnotu aktuální rychlosti jako délku pulzu tj. zvýší rychlost
- delší pulz – větší energie
- rychlost se mění podle proměnné v hodnotě rychlost
- PLS0 – povolení PWM

Rychlost narůstá postupně až na hodnotu 190, poté je již konstantní.

10. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl návrh a realizace mechanické konstrukce a elektronické části pro pohon inverzního kyvadla. Jak jsem již naznačil v úvodu, práci jsem rozdělil na dva základní celky. Oba tyto celky se podařilo úspěšně navrhnout, realizovat a ověřit jejich funkčnost. V současné době je výsledné řešení k vidění v laboratoři automatizačních prostředků v budově A1/7p.

V úvodu práce jsou porovnány jednotlivé konstrukce dostupné na internetu, jejich provedení a výhody na jejichž základě jsem čerpal inspiraci pro vlastní řešení za použití všech výhod jednotlivých konstrukcí. Pro úvod bylo nutné si stanovit počáteční požadavky, podle kterých jsem se později řídil.

Návrh a realizace konstrukce mechanické části zabírá podstatnou část diplomové práce. Při návrhu mechanické konstrukce jsem se zaměřil především na tuhost a rozebíratelnost celé konstrukce. Díky výslednému návrhu a použitým materiálům se podařilo dodržet obě počáteční podmínky. Pro pohon pojezdového vozíku byl vybrán stejnosměrný motor značky Faulhaber, který odpovídá požadavkům výpočtem.
V průběhu realizační části této konstrukce začaly vyplývat na povrch konstrukční nedostatky způsobené ať již nedostatečnou přesností výroby, mou nezkušeností s podobnými návrhy či jen lidským faktorem. Z nedostatků které jsme v průběhu realizace museli odstranit jmenujme přepracovanou konstrukci pojezdového vozíku, počáteční návrh nesplňoval požadavky na nízké valivé tření při pohybu po pojezdových tyčích. Tento nedostatek byl odstraněn díky použití lineárního kuličkového vedení namísto původních kuličkových červíku. Menší konstrukční nedostatek bylo malé utlumení zavěšení motoru a tím způsobené vibrace které se přenášeli nejen celou konstrukci, ale i podkladovou deskou a způsobovali nepříjemné zvuky. Tento nedostatek byl odstraněn použitím silentblokových nožiček které podstatnou část vibrací odtlumili. Podobné uložení se využívá i u uchycení motoru osobních automobilů. Po odstranění těchto nedostatků splňuje navržená konstrukce všechny požadavky které jsme si zadali před jejím návrhem.

Realizace elektronické části se díky výborným radám a pomoci vedoucího práce při vývoji a výrobě elektroniky obešla bez konstrukčních nedostatků. Pro její výrobu byly použity standardní součástky dostupné v maloobchodní síti. V průběhu výroby bylo třeba jen promyslet a vyřešit uchycení chladiče integrovaného obvodu, což bylo vyřešeno pomocí jednoduchých gumových nožiček. Po osazení, připájení všech součástek a následném zapojení následovalo ověření funkčnosti navržené elektroniky při němž nebyli zjištěny žádné nedostatky.

Posledním bodem zadání bylo odzkoušení možností řízení programovatelným automatem. Tuto část jsme vyzkoušeny na programovatelném automatu firmy Siemens. Automaty této firmy jsou v učebně zastoupeny v rozsáhlém množství a pravděpodobně bude automat této firmy v budoucnu použit pro následné řízení, jež bude náplní zadání další diplomové práce. Prakticky jsme si odzkoušeli podstatné části obvodu jako je generování PWM signálu, napájení logiky a jiné. Z výsledků těchto testu lze usuzovat, že navržený model splňuje naše požadavky a může být použit pro následné řízení.

11. SEZNAM LITERATURY

[1] JANČÍK S. *Simulační modely edumod pro PLC v Ni Labview*. Brno, 2007. 81 s., Diplomová práce na Vysoké učení technické v Brně, Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

[2] ROUBAL J. *Nelineární regulace kyvadla*. Praha, 2002. 75 s., Diplomová práce na České vysoké učení technické v Praze, Vedoucí diplomové práce Ing. František Vaněk

[3] VOREL P. *Napájení elektronických zařízení.* 2000. 126 s., Skriptum FEKT VUT Brno

[4] WIKIPEDIA. *Stejnosměrné motory* [online]. 27.4.2009 . Dostupné z: < http://cs.wikipedia.org/wiki/Stejnosm%C4%9Brn%C3%BD_motor>.

[5] AUTOMA. *Inkrementální snímače* [online]. 23.1.2009 . Dostupné z: < http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34035>.

[6] WIKIPEDIA. *(logika)* [online]. 14.4.2009. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/TTL_%28logika%29 >.

[7] SIEMENS s.r.o. *S7-200 Manuál* [online]. 3. vydání. 26.7.2005 Dostupné z:< http://www1.siemens.cz/ad/current/file.php?fh=fa7c019ab4&aid=998851&PHPSESSID=c448a780cba3c1c08e1a37db37192c48 >.

[8] ENGIN. *(pendulum)* [online]. 14.5.2009. Dostupné z: <http://www.engin.umich.edu/class/ctms/examples/pend/invpen.htm>.

11. Seznam literatury

12. SEZNAM PŘÍLOH

1. Výkresová dokumentace pro výrobu rámu
2. Kód CNC centra pro výrobu vozíku
3. Zapojení desky plošného spoje DRV 8402
4. Zapojení desky plošného spoje – propojovací deska
5. Fotografie navržené konstrukce

12. Seznam příloh