

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Model robotického svařovacího systému

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Zdeněk KEHL
Osobní číslo: E11B3217P
Studijní program: B2613 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Elektronika a telekomunikace
Název tématu: Model robotického svařovacího systému
Zadávací katedra: Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Zásady pro vypracování:

Navrhněte konstrukční řešení robotického svařovacího systému.

1. Navrhněte řídicí rozhraní systému.
2. Navrhněte řídicí algoritmy systému.
3. Implementujte algoritmy do řídicí jednotky a oživte systém.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Beneš
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2013

Termín odevzdání bakalářské práce: 9. června 2014


Doc. Ing. Jiří Hamrmetbauer, Ph.D.

děkan




Doc. Dr. Ing. Václav Georgiev

vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na řešení a konstrukci modelu robotického svařovacího systému. V jednotlivých kapitolách jsou uvedeny teoretické základy robotiky a robotického svařování. Jsou zde popsány parametry řídicího rozhraní a mechanické konstrukce robotů. Dále se tato práce krajně zaobírá řešením přímé a inverzní kinematické úlohy, které slouží pro návrh matematického modelu robotu. Podrobněji je zde popsán návrh řídicího algoritmu a jeho činnost. Součástí této práce je také zhotovení robotického svařovacího systému. Jedná se o návrh a realizaci pracovního prostředí a jednotlivých modulů se kterými roboty pracují. Mechanická konstrukce, modifikace a kalibrace robotů.

Klíčová slova

Manipulační systémy, robotická paže, robotické svařování, kinematická dvojice, efektor, servomotor, mikroprocesor, vývojové rozhraní, přímá kinematická úloha, inverzní kinematická úloha, řídicí algoritmus.

Abstract

The bachelor thesis is focused on designing and constructing a model of the robotic welding system. The individual chapters are set theoretic foundations of robotics and robotic welding. They also described the management interface parameters and mechanical design of robots. Furthermore, this work is easily concerned with the solution of direct and inverse kinematics, which are used to design a mathematical model of the robot. More details are here describes the design of control algorithm and its activities. Part of this work is the fabrication of robotic welding system. It is the design and implementation of the working environment and the individual modules with which the robots operate. Mechanical design, modification and calibration of robots.

Key words

Handling systems, robotic arm, robotic welding, kinematic pair, effector, servomotor, microprocessor, developmental interface, direct kinematics, inverse kinematics, control algorithm.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 9.6.2014

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Benešovi za zapůjčení robotů, pomoc při řešení problémů, které vznikly při návrhu a konstrukci robotického svařovacího systému, za připomínky a za kvalitní vedení práce.

Obsah

OBSAH.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
ÚVOD.....	10
1 ÚVOD DO ROBOTIKY.....	11
1.1 ZÁKONY ROBOTIKY	11
1.2 ZÁKLADNÍ POJMY ROBOTIKY.....	12
1.3 ROZDĚLENÍ MANIPULAČNÍCH SYSTÉMŮ	13
1.4 DĚLENÍ ROBOTICKÝCH SYSTÉMŮ.....	13
1.5 POUŽITÍ ROBOTŮ V PRAXI.....	14
1.6 VÝHODY A NEVÝHODY UŽITÍ ROBOTŮ	15
2 ROBOTICKÉ SVAŘOVÁNÍ.....	15
3 MODEL SVAŘOVACÍHO ROBOTICKÉHO SYSTÉMU.....	16
3.1 LYNXMOTION.....	17
3.1.1 <i>Robotic Arm AL5B</i>	17
3.2 NÁVRH ŘÍDICÍHO ROZHRAŇÍ SYSTÉMU.....	18
3.2.1 <i>Vývojový kit EvB 4.3</i>	18
3.2.2 <i>Mikropočítače</i>	19
3.2.3 <i>ATmega32</i>	20
3.2.4 <i>Vstupně/výstupní porty</i>	21
3.2.5 <i>Externí přerušení</i>	22
3.2.6 <i>Čítače, časovače a režim PWM</i>	22
3.2.7 <i>Princip řízení servomotoru</i>	24
4 KINEMATICKÉ ÚLOHY	25
4.1 PŘÍMÁ KINEMATICKÁ ÚLOHA	25
4.2 INVERZNÍ KINEMATICKÁ ÚLOHA.....	27
4.3 NÁVRH INVERZNÍ KINEMATIKY ROBOTU AL5B.....	29
5 NÁVRH ŘÍDICÍHO ALGORITMU SYSTÉMU.....	32
ZÁVĚR.....	37
POUŽITÁ LITERATURA	39
ZDROJE OBRÁZKŮ	41
PŘÍLOHY	1

Seznam symbolů a zkratek

<i>ALU</i>	Aritmeticko-logická jednotka
<i>RAM</i>	Paměť s náhodným přístupem
<i>PWM</i>	Pulsně-šířková modulace
<i>SES</i>	Stavebnice poháněná servomotory
<i>I/O porty</i>	Vstupně-výstupní porty mikroprocesoru
$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varphi$ [°]	Hlavní úhly natočení ramen robotu
$\alpha_x, \beta_x, \gamma_x, \varphi_x$ [°]	Pomocné úhly
m, n, o [mm]	Velikosti jednotlivých ramen robotu AL5B
K_0, K_1, K_2	Klouby robotu AL5B
<i>E</i>	Efektor

Úvod

Dnešní robotika je již ve velmi rozvinutém stádiu. Existuje mnoho druhů robotů, kteří jsou určeni k vykonávání různých činností. Primitivní typy robotů se rozšířily už i do oblasti běžných elektronických produktů. Jsou to například robotické vysavače, kuchyňské roboty nebo robotické hračky. Profesionální robotické systémy jsou nasazovány tam, kde fyzické či psychické vlastnosti člověka nestačí. Jedná se především o použití v lékařství, v kosmonautice a průmyslu.

Jednou z častých aplikací jsou robotické svařovací systémy. Jejich výhodou je vysoká přesnost a opakovatelnost provedení spoje. Jejich uplatnění najdeme například v automobilovém, leteckém či kosmickém průmyslu, kde se klade velký požadavek na vlastnosti a kvalitu vytvářeného spoje. S tímto úzce souvisí i výběr svařovací metody.

Úkolem této bakalářské práce bylo vytvořit funkční model robotického svařovacího systému. Jednalo se o zkonstruování dvou robotických paží, z nichž jedna slouží jako manipulační a druhá jako svařovací. Efektor svařovacího robotu musel být upraven, jelikož standardní model paže nabízí pouze efektor ve formě chapadla. Dále bylo navrženo řídicí rozhraní, které umožňuje komunikaci s roboty. Činnost celého systému zprostředkovává řídicí algoritmus, který byl navržen tak, aby měl jednoduché ovládání a uměl čelit základním kolizním stavům. Ovládání obsahuje dvě tlačítka. Jedno složí ke spuštění činnosti a druhé k libovolnému přerušení činnosti. Matematické modely robotů byly navrženy na základě inverzní kinematické úlohy. Celý robotický svařovací systém, včetně řídicího rozhraní a napájecího zdroje, je umístěn do uměle navrženého pracovního prostředí, ve kterém se mimojiné nachází i profily určené ke svaření.

1 Úvod do robotiky

Robotické systémy jsou v dnešní době velice rozšířené. Můžeme je najít v mnoha odvětvích. Například v průmyslu, kosmonautice, lékařství, ale i v zařízeních pro běžný život, jako jsou třeba robotické vysavače nebo kuchyňské roboty. Speciální skupinou jsou humanoidní roboty, kteří se svými rysy velice podobají člověku.

Historie robotů sahá až do 4. st. př. n. l., kdy řecký matematik Archytas z Tarentu sestavil mechanického ptáka poháněného parou a nazval ho „holub“. Další návrhy robota pochází od známého vynálezce Leonarda da Vinciho. První průmyslový robot byl instalován na výrobní lince General Motors v New Jersey v roce 1961 a byl vyroben firmou Unimate.

Robot je autonomně fungující stroj, který je určen k reprodukci některých pohybových a duševních schopností člověka při vykonávání výrobních či jiných činností a operací bez bezprostřední účasti člověka. [18, str. 3].

Každý robotický systém má svojí umělou inteligenci. Díky umělé inteligenci je robot schopen vykonat požadovanou operaci, která je stanovena člověkem. Humanoidní roboty mají umělou inteligenci na vysoké úrovni a mohou se chovat do určité míry stejně jako člověk.

1.1 Zákony robotiky

Zákony robotiky jsou pravidla, podle kterých se musí roboty chovat. Jako první definoval tyto zákony Isaac Asimov ve svých povídkách a později i v románech.

Tři zákony robotiky:

- ***Robot nesmí ublížit člověku nebo svou nečinností dopustit, aby bylo člověku ublíženo.***
- ***Robot musí poslechnout člověka, kromě případů, kdy je to v rozporu s prvním zákonem.***
- ***Robot se musí chránit před poškozením, kromě případů, kdy je to v rozporu s prvním nebo druhým zákonem. [10, str. 3]***

1.2 Základní pojmy robotiky

- ***Efektor***

Efektorem se nejčastěji rozumí nějaký nástroj, pomocí kterého může robot ovlivňovat svůj pracovní prostor. Během činnosti se mohou tyto nástroje měnit. Jedná se o úchopné, montážní, technologické a kontrolní hlavice.

- ***Kinematická dvojice***

Kinematická dvojice je tvořena dvěma členy, které jsou navzájem pohyblivě spojeny tak, že pohyblivost jednoho vůči druhému je omezena. Celkem existuje pět druhů kinematických dvojic: sférická, rotační, posuvná, válcová a plochá. V kinematických řetězcích průmyslových robotů se využívá pouze posuvná a rotační kinematická dvojice.

- ***Kinematické řetězce***

Je spojení několika členů pomocí kinematických dvojic. Kinematický řetězec může být otevřený, uzavřený nebo smíšený.

- ***Pracovní prostor***

Jedná se o ohraničený prostor, do kterého lze nastavit efektor robotu. Základní tvary, kterých může nabývat, jsou kvádr, válec, koule a rotační anuloid. Pracovní prostor úzce souvisí s kinematickou strukturou robotu.

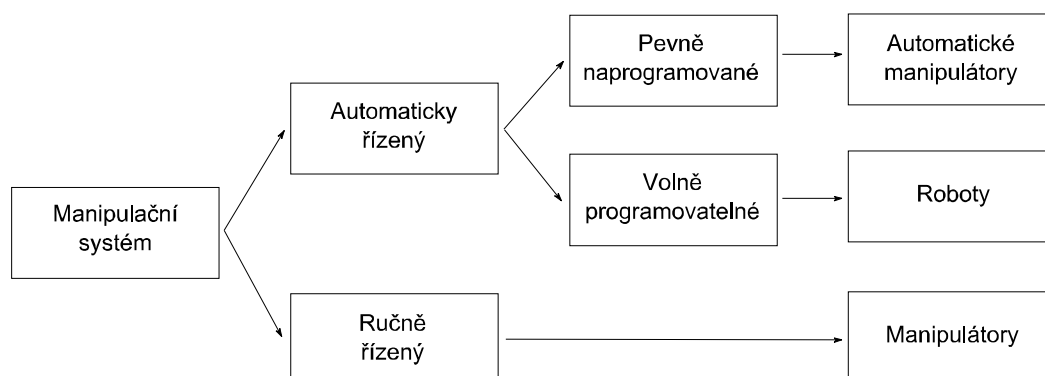
- ***Operační prostor***

Jedná se o prostor vymezený pohybem konstrukce robotu při činnosti.

- ***Stupně volnosti***

Označují vzájemně nezávislé veličiny, které definují možnosti pohybu. K dosažení libovolného bodu v pracovním prostoru robotu stačí pouze tři stupně volnosti, neboli tři tzv. hlavní osy. K nastavení efektoru do libovolné polohy je nutné mít k dispozici minimálně další tři stupně volnosti tzv. manipulační osy. K nastavení efektoru do libovolné polohy v kterémkoliv místě pracovního prostoru robota potřebujeme minimálně šest os.

1.3 Rozdělení manipulačních systémů



Obr. 1 Rozdělení manipulačních systémů (1)

- **Manipulátory**

Manipulátory jsou ručně ovládaná zařízení, která mají omezenou funkci na několik jednoduchých pohybů. Slouží k automatizaci jednoúčelových strojů nebo výrobních linek.

- **Teleoperátory**

Teleoperátory jsou manipulátory bez řídicího systému. Jsou ovládané ručně a pracují synchronně s člověkem. Jejich úkolem je znásobit sílu, zvýšit přesnost a eliminovat nedokonalosti člověka.

- **Roboty**

Roboty jsou univerzální programovatelné automaty, které zastávají funkci člověka, především u výrobních procesů. Mohou se pohybovat v několika osách a pomocí chapadel, nástrojů a různých senzorů mohou vykonávat mnoho operací.

1.4 Dělení robotických systémů

Robotické systémy je možné dělit podle mnoha kritérií, například podle způsobu programování, podle pohybových možností, taktéž i podle vzhledu nebo účelu. Mezi základní kritéria patří:

- **Dělení podle kinematické struktury**

Podle kinematické struktury se robotické systémy dělí na roboty se sériovou kinematikou, paralelní kinematikou a hybridní kinematikou.

Roboty se sériovou kinematikou jsou tvořeny otevřeným kinematickým řetězcem. Tento řetězec je tvořen základnou, efektozem a členy, které jsou spojené jednou kinematickou dvojicí. Řetězec je možné vyjádřit acyklickým grafem. Sériová kinematika je používána u

většiny robotů. Vykazuje se nízkou tuhostí, kmitáním a přesností na desetiny milimetru. Má relativně velký pracovní prostor a jednoduchou mechanickou architekturu, což vede k jednoduššímu řešení přímé či inverzní kinematické úlohy.

Roboty s paralelní kinematikou jsou tvořeny uzavřeným kinematickým řetězcem. Uzavřený řetězec je tvořen základnou, efektozem a členy, které jsou spojeny minimálně dvěma kinematickými dvojicemi. Tento řetězec je možné popsat cyklickým grafem. Paralelní kinematické systémy mají vyšší tuhost a přesnost než sériové. Mají složitější mechanickou architekturu, tudíž je složitý i návrh kinematických úloh a omezený pracovní prostor.

Roboty s hybridní kinematikou jsou tvořeny jak uzavřeným, tak i otevřeným kinematickým řetězcem.

- ***Dělení podle schopnosti přemísťovat se***

Podle schopnosti přemísťovat se, se roboty dělí na stacionární a mobilní.

- ***Dělení podle generace***

Generace robotů udává složitost řídicího systému. Roboty se dělí do tří skupin generace.

Roboty první generace pracují na základě programu a nemají žádné zpětné vazby, tudíž jsou bez sensoriky. V programu jsou pevně naprogramované operace, které robot postupně vykonává.

Roboty druhé generace jsou vybaveny senzory a čidly, jejichž prostřednictvím mohou reagovat na okolní podmínky. Jsou snadno a rychle programovatelné.

Roboty třetí generace jsou vysoce pohyblivé a obsahují složitou sensoriku, díky které se dokážou dobře adaptovat na prostředí. Mají složitý řídicí systém, učí se samostatně řešit zadané úkoly. Mezi jejich schopnosti patří vizualizace, hlasová komunikace, rozpoznávání a orientace v prostředí.

1.5 Použití robotů v praxi

Roboty se používají hlavně v následujících oborech:

- ***Průmysl***

V průmyslu se používají obráběcí centra, svařovací roboty, řezačí roboty, lakovací roboty, paletizační roboty, manipulační roboty a mnoho dalších.

- **Kosmonautika**

V kosmonautice se používají především roboty ovládané na dálku tzv. manipulátory nebo robotická vozítka, která slouží především pro průzkum jiných planet sluneční soustavy.

- **Lékařství**

V lékařství se používají rehabilitační roboty. A dále teleoperátory, jejichž pohyb bývá kontrolován kamerou.

1.6 Výhody a nevýhody užití robotů

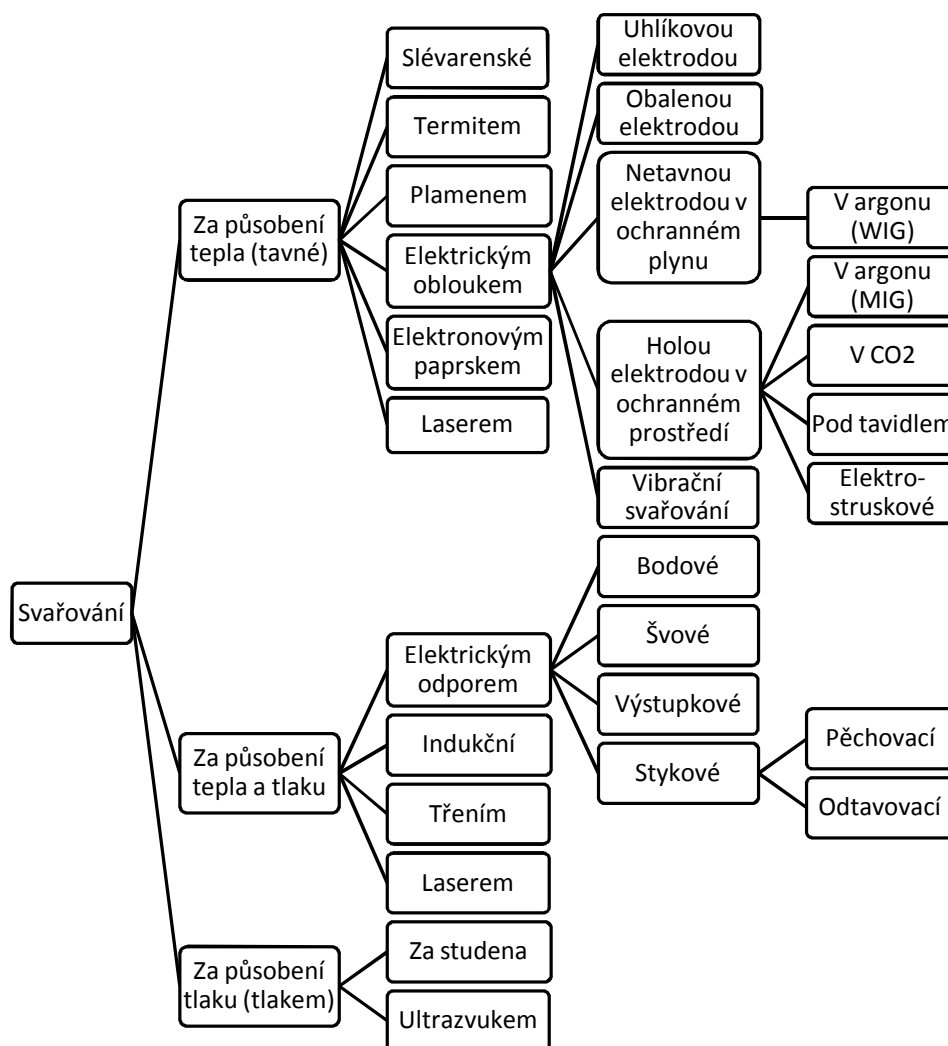
Roboty mají podstatnou výhodu v tom, že mohou pracovat v nebezpečných nebo dokonce extrémních podmínkách, ve kterých by člověk pracovat nemohl. Také mohou manipulovat s miniaturními předměty a to velice přesně, toho se například využívá právě v lékařství nebo mikroelektronice. Mohou pracovat nepřetržitě, což vede ke zvýšení rychlosti a efektivnosti výroby. Další velkou výhodou je rychlost a spolehlivost.

Nevýhodou robotických systémů je jejich vysoká pořizovací cena.

2 Robotické svařování

Svařování je proces, při kterém dochází k trvalému a nerozebíratelnému spojení dvou a více součástí. Obecný požadavek na svařovací proces je vytvoření takových termodynamických podmínek, při kterých dojde ke vzniku nových meziatomárních vazeb. Aby jsme těchto podmínek dosáhli, musíme při svařování působit tlakem, tepem nebo oběma faktory najednou. Svařovat lze kovové i nekovové materiály stejných nebo rozdílných vlastností. Pro každý typ spoje a různý druh materiálu je vhodná jiná metoda svařování. U svařovaného materiálu vždy dojde ke změně mechanických nebo fyzikálních vlastností v okolí spoje.

Existuje velké množství svařovacích metod. Mezi nejznámější patří bodové svařování, svařování laserem a obloukové svařování, které se pak ještě dále dělí. Kompletní dělení svařovacích metod je znázorněno v *Obr. 2*.



Obr. 2 Metody svařování (2)

Robotické svařovací systémy využívají různé metody v různých aplikacích. Například v automobilovém průmyslu se používá nejčastěji metoda bodového svařování nebo svařování laserem. V leteckém průmyslu se kvůli kvalitě spojů používá svařování elektronovým paprskem. V běžných strojírenských aplikacích jsou dostačující metody WIG a MIG, které nemají příliš vysoké pořizovací a provozní náklady.

3 Model svařovacího robotického systému

Model svařovacího robotického systému se skládá ze dvou robotických paží AL5B od firmy Lynxmotion a pracovního prostředí, na kterém kromě robotů je také umístěn napájecí zdroj, řídicí rozhraní systému a speciální profily určené pro sváření. Aby profily u sebe držely i po simulaci, byly do jejich konců zapuštěny magnety.

První robot je sestaven přesně podle manuálu výrobce a slouží pro manipulaci s předměty. Druhý - svařovací robot musel být modifikován, jelikož není na trhu dostupný.

Jednalo se především o modifikaci efektoru. Místo chapadla byla nainstalována vysoce svítivá bílá LED, která simuluje paprsek svařovacího laseru. Robotu byl také odstraněn jeden stupeň volnosti, který byl v daném případě neefektivní.

Úkolem robotického systému je tedy simulovat laserové svaření dvou profilů. Nejprve manipulační robot umístí před svařovacího robota dva z připravených profilů. Poté odjede do čekací polohy, aby nezasahoval do pracovního prostoru svařovacího robota. Ten následně provede svaření. V posledním kroku manipulační robot odebere svařenou dvojici a uloží ji na určené odkládací místo.

3.1 Lynxmotion

Americká společnost Lynxmotion je jedna z nejstarších výrobců robotů. Byla založena v roce 1995 Jimem Fryem. Nabízí stavebnice robotických paží, dvounohých chodících robotů, čtyřnohých a šestinohých robotů, kolových vozítek a dalších mnoha druhů robotů. Stavebnice jsou navrženy na bázi SES (Servo Erector Set) a společně s mechanickými komponenty nám nabízí maximální univerzalitu při stavbě vlastního robota. Tyto produkty slouží k výuce a vývoji mnoha aspektů robotiky na celém světě.

3.1.1 Robotic Arm AL5B

Robotické rameno AL5B je jednou ze stavebnic společnosti Lynxmotion. Jedná se o pětiosého robota s nosností 140g a dosahem 190mm. Skládá se z otočné základny, loktu, otočného zápěstí a chapadla. Souprava je z černého eloxovaného hliníku a plastu. Jednotlivé mechanické dvojice jsou propojeny servomotory. Ty zajišťují hybnost celého systému.

Stavebnici je možné ovládat softwary, které obsahují pokročilou inverzní kinematiku a sériovou komunikaci se servokontrolérem SSC - 32. Tento kontrolér je založen na mikročipu ATmega8 a je schopen ovládat až 32 servomotorů. Pohyby serv mohou být okamžité, časované, s řízenou rychlostí nebo i synchronní.



Obr. 3 Robotická paže AL5B (3)

3.2 Návrh řídicího rozhraní systému

Řídicí rozhraní je nedílná součást každého robotického systému. Díky této jednotce jsme schopni robota ovládat. Já jsem si zvolil jako řídicí rozhraní vývojovou desku EvB 4.3 osazenou mikročipem ATmega32 od firmy Atmel. Tento kit obsahuje užitečné periferie, které mi posloužily jak s vývojem řídicího programu robota, tak i s rozšířením znalostí v oblasti mikropočítačů.

3.2.1 Vývojový kit EvB 4.3

Vývojové desky EvB společně s mikrokontroléry AVR Atmel slouží k vývoji mnoha aplikací a také jsou využívány jako pomůcka při výuce na středních a vysokých školách. Jsou určeny jak pro začátečníky, tak i pro zkušené vývojáře, kteří hledají univerzální platformu pro svoje projekty. Desky obsahují řadu periferních zařízení, které jsou připojené na hřebíkové konektory. Díky tomuto uspořádání je možné snadno a rychle změnit dané zapojení na desce. Toto je velká výhoda, oproti jiným vývojovým kitům u kterých při změně zapojení musíme hledat v datasheetu a nastavit dané zapojení například softwarově.

Napájení je možné buď přes vestavěný USB port, nebo z externího zdroje o minimálním napětí +9V DC. Port USB je chráněn polymerovou pojistkou 500mA. Na desce jsou vyvedené napájecí kolíky +5V a GND, které umožňují napájet například další obvody, které nejsou součástí.

Vývojový kit EvB slouží jako programátor daného mikročipu. Obsahuje programovací rozhraní ISP podporované přímo firmou Atmel, pomocí kterého je možné naprogramovat libovolný AVR mikrokontrolér.

Vestavěné USB rozhraní je realizované převodníkem USB / UART FT232R. Obvod FT232 tvoří virtuální port COM, který zajišťuje komunikaci s počítačem.

Dále je deska vybavena průmyslovou sběrnici RS485, polem s LED indikátory, tlačítky, trimry, výkonovým výstupem, hodinami reálného času, pamětí EEPROM, sedmissegmetovým LED displejem, LCD displejem s podsvícením, IR přijímačem a teplotním senzorem.

3.2.2 Mikropočítače

Díky své spolehlivosti a kompaktnosti se mikrokontroléry nachází v dnešní době téměř ve všech elektronických aplikacích. Mikročipy jsou programovatelné polovodičové součástky založené buď na Harwardské architektuře, nebo von Neumannovské architektuře. Podle architektury jádra rozlišujeme mikroprocesory RISC a CISC.

Von Neumannova architektura se vyznačuje tím, že paměť je společná pro data i program. Toto uspořádání má výhody v tom, že není nutné rozlišovat instrukce pro přístup k paměti programu a paměti dat, což vede ke zjednodušení čipu. Tato architektura používá pouze jednu datovou sběrnici, která vede oba typy dat, z čehož vyplývá pomalý přenos dat.

Harwardská architektura je typická oddělením paměti programu a paměti dat. Je nutné, zde použít dvě datové sběrnice. To má za následek větší technologickou náročnost čipu. U této architektury, je možné číst instrukci a potřebná data v jeden okamžik. Vede to na vyšší rychlost vykonávání programu.

Rozdíl mezi mikropočítači RISC a CISC spočívá v souboru instrukcí. Počítače se složitým souborem instrukcí jsou nazývány CISC. Instrukce moderních procesorů jsou velmi rozsáhlé, proto je u CISC nutný velmi složitý řadič procesoru, řešený jako mikroprogramový automat. Tato komplikace vede na nižší rychlost vykonávání programu.

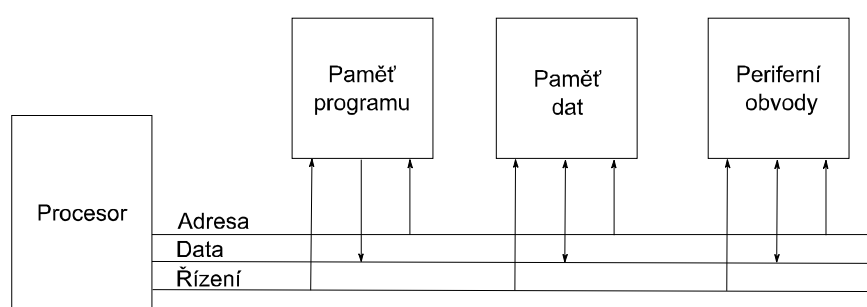
Procesor RISC má redukovaný soubor instrukcí. Obsahuje vybrané, často používané, jednoduché instrukce. Řadič je řešen jako sekvenční obvod pipeline. Tím je dáno, že instrukce mají jednotnou délku a jsou prováděny zpravidla v jednom strojním cyklu. Toto vede na zvýšení rychlosti mikročipu.

Mikropočítače se skládají ze čtyř základních částí, mezi které patří procesor, paměť programu, paměť dat a periferní obvody. Propojení jednotlivých bloků je zajištěno adresovými, řídicími a datovými sběrnici.

Datová sběrnice je určena k předávání dat. Jednotka připojená na této sběrnici může být zdrojem dat, příjemcem dat nebo střídavě obojím. Jednotky, které jsou zdrojem dat se připojují pomocí třístavových členů.

Adresová sběrnice slouží k adresování paměti či jiných adresovatelných obvodů. Je nutná pro rozlišování mezi jednotkami, které jsou připojené na datovou sběrnici.

Řídicí sběrnice nám umožňuje rozvod řídicích signálů, které ovlivňují činnost připojených jednotek. Tyto signály jsou většinou generovány procesorem, ale mohou být generovány i ostatními jednotkami. V tomto případě je nutné připojit řídicí signály přes členy s otevřeným kolektorem, aby nedošlo ke kolizi.



Obr. 4 Základní schéma mikrokontroléru (4)

Procesor řídí činnost celého mikropočítače. Zajišťuje správné provádění instrukcí uložených v paměti, zpracovává data a řídí tok dat přes periferní obvody. Obsahuje další obvody, kterými jsou ALU, řadič, registry, obvody zpracovávající přeřazení a obvody zajišťující časování.

V paměti programu jsou uloženy konstanty, neměnné tabulky a instrukce. Jejich postupným čtením a prováděním je realizována požadovaná činnost mikropočítače.

Paměť dat slouží k dočasnému uložení mezivýsledků a dat ze vstupních obvodů. Tato paměť je typu RAM.

Mezi periferní obvody patří hlavně vstupní a výstupní porty, které umožňují komunikaci s vnějším prostředím.

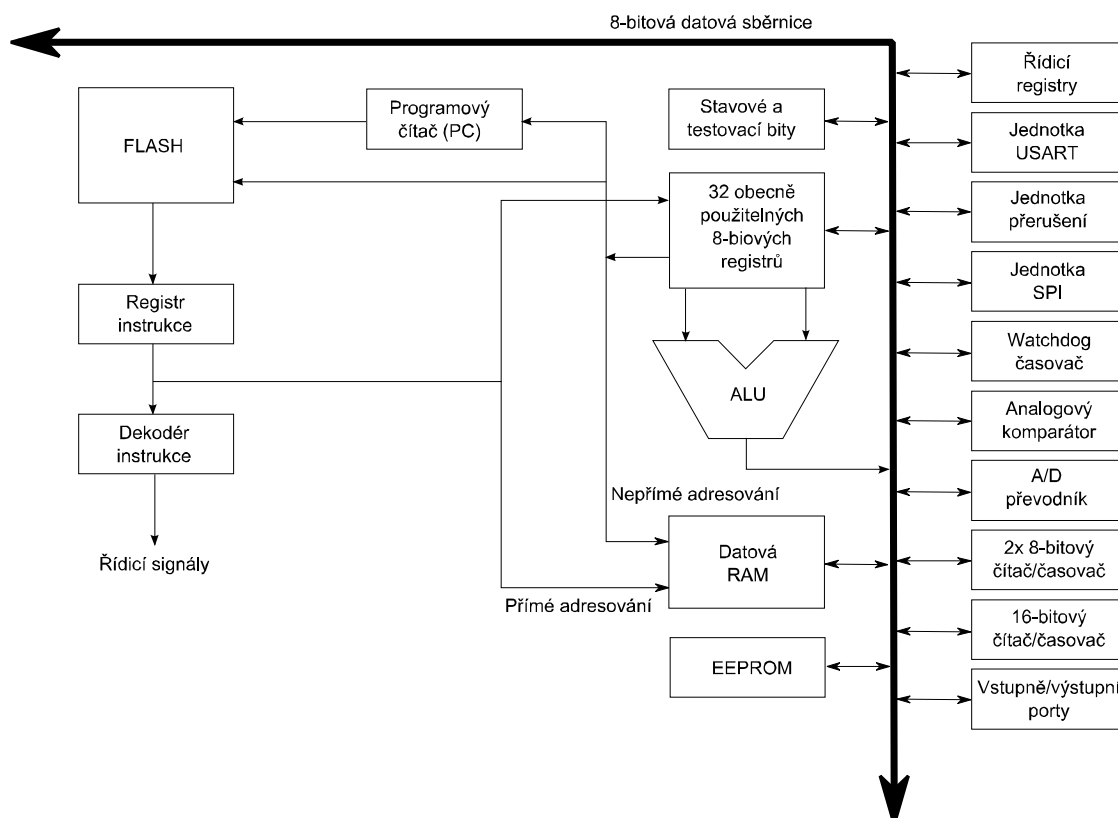
3.2.3 ATmega32

V této kapitole se zmíním o konkrétním mikročipu ATmega32 od firmy Atmel, který využívám pro řízení robotického systému.

Tento mikrokontrolér je typu RISC harwardské architektury. Obsahuje 32 indentických osmibitových registrů, které jsou všechny použitelné jako akumulátor. Programová paměť má

velikost 32kB, datová paměť 1024B. Dále má k dispozici 2kB statické paměti RAM pro registry, oblast vstupně/výstupních portů a data.

Dále tento mikrokontrolér obsahuje dva osmibitové čítače/časovače, jeden šestnáctibitový čítač/časovač, hodiny reálného času se samostatným oscilátorem, čtyři PWM výstupní kanály, osmikanálový desetibitový AD převodník, dvou vodičovou sériovou sběrnici TWI, SPI sběrnici, sériovou komunikaci typu USART, analogový komparátor, 32 programovatelných I/O linek a programovatelný watchdog časovač se samostatným oscilátorem na čipu.



Obr. 5 Blokové schéma ATmega32 (5)

3.2.4 Vstupně/výstupní porty

ATmega32 je vybavena čtyřmi osmibitovými I/O porty, které jsou označeny písmeny A, B, C, D. Pokud jsou porty využívány jako obecné číslicové vstupy a výstupy, můžeme měnit orientaci jednotlivých bitů portů. U výstupních bitů portu lze měnit jejich logická hodnota a u vstupně orientovaných bitů lze aktivovat pull-up rezistory. Bity pak při vnějším přivedení logické nuly generují proud a zatěžují připojený vnější obvod. Budiče výstupních bitů mohou generovat proud až 30mA, což nám umožňuje například připojení LED na daný výstup.

Každý port je ovládán třemi registry. Směrový registr DDRx slouží k nastavení orientace jednotlivých bitů. Datový registr PORTx nastavuje u výstupních bitů logické úrovně a u

vstupních bitů aktivuje pull-up rezistor. Pro čtení hodnoty z daného bitu slouží registr PINx. Možnosti nastavení bitů vstupně/výstupních portů je uvedeno v *Tab. 1*.

Tab. 1 Režimy I/O portů

<i>DDR_x</i>	<i>PORT_x</i>	<i>I/O</i>	<i>Stav vývodu</i>
0	0	Vstup	Velká impedance
0	1	Vstup	Aktivace pull-up, vstup může být zdrojem proudu
1	0	Výstup	Výstup v logické 0
1	1	Výstup	Výstup v logické 1

3.2.5 Externí přerušení

Externí přerušení reaguje na nějaký vnější podnět. Pokud k němu dojde, přeruší se běh programu, vykonají se instrukce odpovídající danému přerušení a následně se program vrátí na instrukci, na které skončil. Této vlastnosti využívám například pro tlačítkem ovládané zastavení činnosti robotického systému.

Mikročip ATmega32 disponuje třemi hardwarovými vstupy pro externí přerušení. Tyto bity nesou označení INT0, INT1, INT2 a jsou vyvedeny na piny portů B a D. Jednotlivá přerušení se od sebe liší především prioritou. Přerušení od INT0 má nejvyšší prioritu z externích interruptů a naopak INT2 má nejnižší prioritu.

Mikrokontrolér může reagovat na jednotlivých vstupech externího přerušení čtyřmi způsoby. Na logickou nulu, na libovolnou změnu úrovně - na sestupnou nebo náběžnou hranu. Pro nastavení reakce interruptových vstupů slouží bity ISC, které se nacházejí v registru MCUCR. Pro povolení jednotlivých přerušení slouží registr GICR.

3.2.6 Čítače, časovače a režim PWM

Čítače a časovače slouží k přesnému časování událostí, k počítání a generování impulsů, dělení a měření kmitočtu, tvorbě PWM signálu. Běží nezávisle na vykonávaném programu, umožňují generovat příznakové bity na určité události, které následně vyvolají přerušení.

Čítač je obvod, který počítá impulsy vnějšího signálu přivedeného na vstupní piny čipu. Po načítání daného počtu impulsů se provede uživatelem definovaná činnost.

Časovač naopak čítá pevný kmitočet, který je odvozený od hodinového kmitočtu mikrokontroléru. Napočítáním určitého počtu impulsů je definován přesný časový úsek.

Atmega32 má k dispozici tři čítače/časovače. K jejich funkci a nastavení slouží tři registry. Řídící registr TCCR_x, komparační registr OCR_x a registr TCNT_x, ve kterém je

uložena aktuální hodnota čítače či časovače. Písmeno x v tomto případě nabývá hodnot od 0 do 2 a značí k jakému čítači/časovači dané registry patří. Všechny tři čítače/časovače mohou generovat příznakové bity, které vyvolají přerušení buď na přetečení, nebo na shodu čítače/časovače s hodnotou, která je uložena v komparačním registru. Čítače/časovače mikroprocesoru ATmega32 mají funkci autoreload. Tato funkce zajišťuje automatické nulování čítače při přetečení nebo shodě s komparačním registrem. Společným registrem pro všechny tři čítače/časovače je TIMSK. Pomocí tohoto registru je možné povolit přerušení na danou událost.

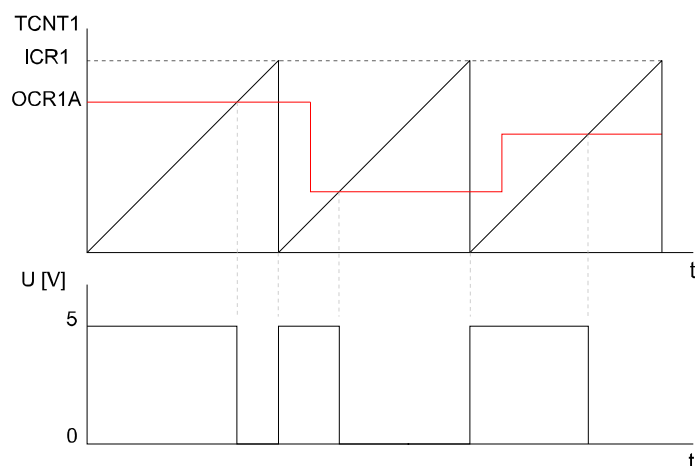
Čítač/časovač0 je obousměrný osmibitový čítač. Obsahuje desetibitovou předděličku pro signál odvozený z pracovního kmitočtu mikrokontroléru.

Čítač/časovač1 je obousměrný šestnáctibitový čítač s desetibitovou předděličkou. Má dvě nezávislé porovnávací jednotky OCR1A a OCR1B. Je schopný zachytit aktuální hodnotu čítání na událost input capture. Ovládací registr je rozdělen do dvou osmibitových registrů TCCR1A a TCCR1B.

Čítač/časovač2 má stejné parametry jako čítač/časovač0. Výhodou je možnost taktování z externího krystalu s rezonanční frekvencí 32 768 Hz. Toto se hodí například pokud používáme čítač/časovač2 jako zdroj reálných hodin.

Pulzně šířková modulace úzce souvisí s čítači a časovači. Jedná se o disktrétní modulaci, která reguluje dodávaný výkon do zátěže pomocí střídavy. Pracuje pouze s dvěma logickými úrovněmi, což má za následek vysokou odolnost proti rušení.

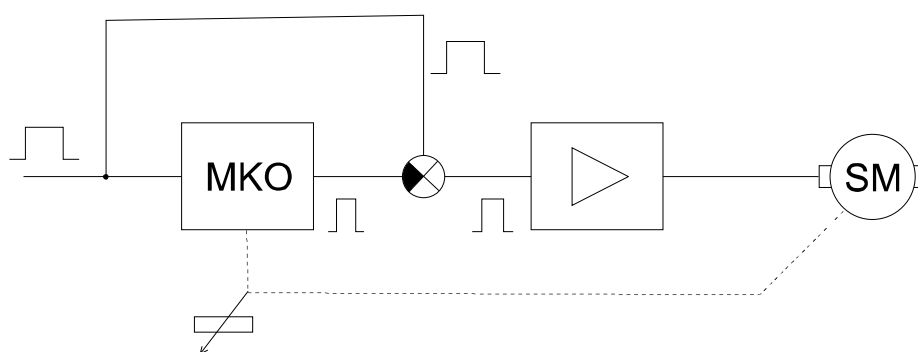
U mikroprocesoru ATmega32 je pro generování PWM nejvhodnější čítač/časovač1, díky svému rozsahu. Má k dispozici patnáct režimů této modulace. Pro řízení robotického systému využívám režim čtrnáct, který je znázorněn na *Obr.6*. Při přetečení časovače se výstupní pin nastaví do logické 1. Při shodě s komparačním registrem se vyvolá přerušení, ve kterém se změní úroveň výstupního pinu do logické 0. V této úrovni setrvá až do přetečení časovače, při kterém se opět nastaví do logické 1. V tomto režimu časovač nečítá do maximální možné hodnoty, ale jen do hodnoty, která je uložena v registru ICR1. Tímto způsobem můžeme nastavit potřebnou frekvenci generování impulsů. Změnou hodnoty v komparačním registru OCR1A se mění střída.



Obr. 6 Pulsně šířková modulace

3.2.7 Princip řízení servomotoru

Modelářské servomotry se skládají ze tří základních částí, kterými jsou stejnosměrný motor, převodovka a řídicí elektronika. Na vstup přichází PWM signál, který sepne monostabilní klopný obvod. Klopný obvod vygeneruje puls úměrný aktuální poloze serva. Tyto dva signály se v rozdílovém členu odečtou a vytvoří se impuls, který po zesílení způsobí roztočení elektromotoru. Elektromotor přes převodovku otáčí hřídeli a současně i s potenciometrem, který působí jako zpětná vazba do monostabilního klopného obvodu. Otáčením se puls vygenerovaný monostabilním klopným obvodem přibližuje svojí délkou délce vstupního řídicího pulsu a při shodě obou pulsů se motor zastaví. Směr otáčení tedy závisí na délce rozdílového impulsu.



Obr. 7 Blokové schéma servomotoru

Dnešní serva pracují s kladnými impulsy o délce 1ms až 2ms. Délka pulsu 1.5ms bývá označována jako středová poloha. Řídicí impulsy se na vstup serva posílají s frekvencí 50Hz. Zpravidla jsou serva mechanicky zkonstruována tak, že možný úhel natočení je 90° doprava i doleva od středové polohy.

4 Kinematické úlohy

Kinematika je věda, která se zabývá pohybem fyzikálních objektů. Mezi tyto úlohy patří přímá a inverzní kinematika. Tyto úlohy je možné řešit dvěma základními postupy, kterými jsou řešení pomocí základních matic nebo přímé užití goniometrických funkcí. Pro postup řešení základními maticemi existuje několik analytických a numerických metod. Počet řešení udává konstrukce robotu. V některých případech není možné řešit danou úlohu analyticky. Tyto úlohy jsou základem pro vytvoření matematického modelu robotického systému.

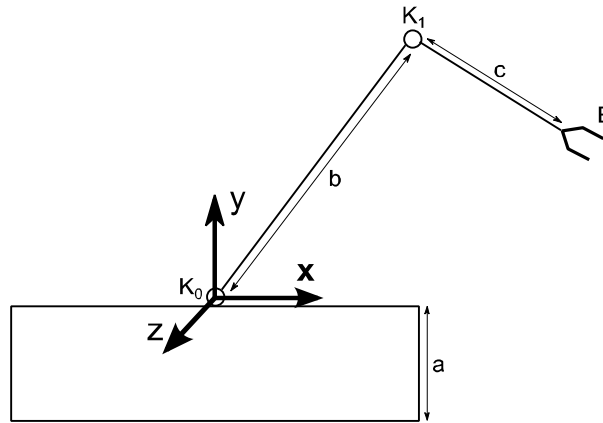
Při řešení kinematiky metodou základních matic se využívá transformace globálního souřadného systému na několik lokálních. Lokální souřadné systémy jsou umístěné v jednotlivých kloubech manipulačního systému. Pro každý lokální systém se vytvoří matice, které respektují natočení jednotlivých ramen. Následně se využije některá z analytických nebo numerických metod a dojde k vytvoření matice, která reprezentuje transformaci mezi sousedními rameny.

Ve svém matematickém návrhu využívám metodu přímého užití goniometrických funkcí. Tato metoda se v praxi téměř nepoužívá. Její uplatnění najdeme jen u přímých kinematických úloh mechanicky jednodušších manipulačních systémů. Při řešení mechanicky složitějších systémů nebo pro řešení inverzní kinematické úlohy, tato metoda vede na velký počet složitých rovnic, což má za následek zpomalení výpočtu a tím zpomaluje celý systém.

4.1 Přímá kinematická úloha

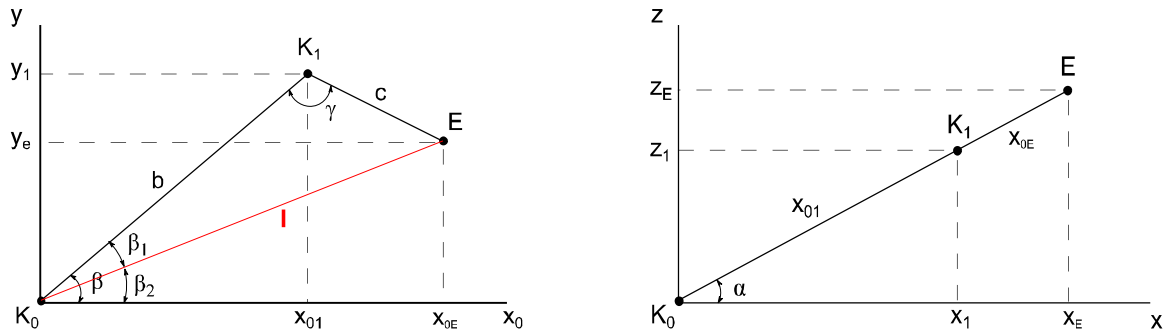
Přímá kinematická úloha určuje polohu efektoru v závislosti na poloze a úhlech natočení jednotlivých kloubů. Tato úloha se používá v systémech, které jsou opatřené souřadnicovými měřicími přístroji. Snímače na jednotlivých kloubech určují vzájemnou polohu, tudíž úhly mezi jednotlivými rameny. Díky těmto informacím můžeme dopočítat pozici kloubů a polohu efektoru.

Zde uvádím příklad výpočtu přímé kinematické úlohy jednoduchého robotického systému, který se skládá z otočné základny, jedné kinematické dvojice a efektoru, jak je naznačeno na *Obr. 8*. Základna má výšku a , jednotlivá ramena mají délku b , c . Klouby jsou značeny písmenem K a efektor písmenem E . Střed souřadného systému volím v pozici klouku K_0 . Danou úlohu vyřeším přímým použitím goniometrických funkcí.



Obr. 8 Jednoduchý robotický systém

Daný robotický systém je definován jen ve třech rozměrech. Je tedy možné, po transformaci globální souřadnice x na lokální souřadnici x_0 , provádět řešení nezávisle v horizontální a vertikální rovině.



Obr. 9 Geometrická konstrukce ramene ve vertikální a horizontální rovině

V této úloze jsou dány velikosti úhlů α , β , γ a délky ramen b , c . Úkolem je zjistit pozici jednotlivých kloubů a efektoru. V prvním kroku určíme lokální souřadnici x_{01} ze vztahu (1.1).

$$\cos \beta = \frac{x_{01}}{b} \tag{ 1.1 }$$

$$x_{01} = b \cdot \cos \beta$$

Pomocí rovnic (1.2) - (1.4) dopočítáme globální souřadnice kloubu $K_1 = [x_1, y_1, z_1]$.

$$\cos \alpha = \frac{x_1}{x_{01}} \tag{ 1.2 }$$

$$x_1 = x_{01} \cdot \cos \alpha$$

$$\sin \beta = \frac{y_1}{b} \tag{ 1.3 }$$

$$y_1 = b \cdot \sin \beta$$

$$\sin \alpha = \frac{z_1}{x_{01}} \quad (1.4)$$

$$z_1 = x_{01} \cdot \sin \alpha$$

Nyní máme vypočítané souřadnice kloubu K_1 . V dalším kroku vypočítáme pomocí kosinové věty (1.5) délku pomocné přímky l , která je přeponou trojúhelníka K_0K_1E .

$$l^2 = b^2 + c^2 - b \cdot c \cdot \cos \gamma$$

$$l = \sqrt{b^2 + c^2 - b \cdot c \cdot \cos \gamma} \quad (1.5)$$

Přímka l rozděluje úhel β na dva úhly, které jsou označeny β_1 a β_2 . Tyto úhly určíme ze vztahů (1.6) - (1.7).

$$c^2 = b^2 + l^2 - b \cdot l \cdot \cos \beta_1$$

$$\beta_1 = \cos^{-1} \left(\frac{b^2 + l^2 - c^2}{b \cdot l} \right) \quad (1.6)$$

$$\beta_2 = \beta - \beta_1 \quad (1.7)$$

Dále potřebujeme znát lokální souřadnici x_{0E} , kterou určíme ze vztahu (1.8).

$$\cos \beta_2 = \frac{x_{0E}}{l}$$

$$x_{0E} = l \cdot \cos \beta_2 \quad (1.8)$$

Nyní už můžeme vypočítat globální souřadnice efektoru $E = [x_E, y_E, z_E]$, které určíme pomocí rovnic (1.9) - (1.11).

$$\cos \alpha = \frac{x_E}{x_{0E}} \quad (1.9)$$

$$x_E = x_{0E} \cdot \cos \alpha$$

$$\sin \beta_2 = \frac{y_E}{l} \quad (1.10)$$

$$y_E = l \cdot \sin \beta_2$$

$$\sin \alpha = \frac{z_E}{x_{0E}} \quad (1.11)$$

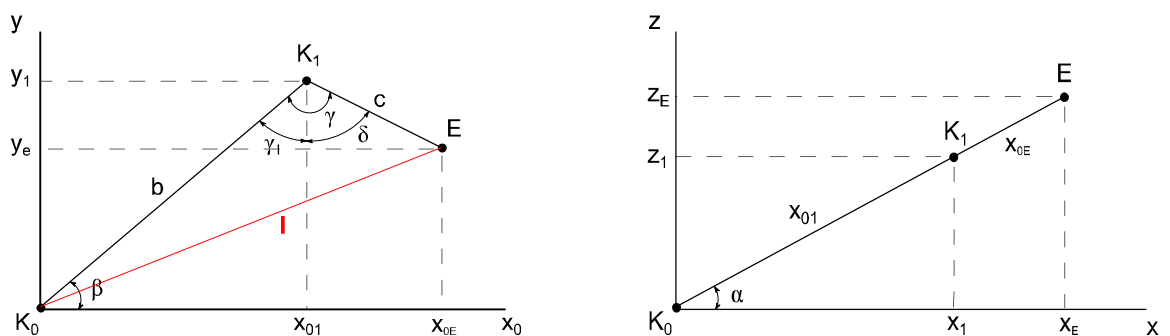
$$z_E = x_{0E} \cdot \sin \alpha$$

4.2 Inverzní kinematická úloha

Inverzní kinematická úloha je opakem přímé kinematické úlohy. Určuje z koncové polohy efektoru úhly natočení a pozici jednotlivých kloubů robotu. Tato úloha se využívá pro

popis většiny manipulačních systémů, kde uživatel nebo snímací elektronika zadává koncové souřadnice polohy efektoru.

Zde uvádím příklad výpočtu inverzní kinematické úlohy jednoduchého robotického systému znázorněného na Obr.8. Danou úlohu vyřeším přímým použitím goniometrických funkcí. Známe opět výšku základny a , délku ramen b , c . Klouby jsou označovány písmenem K a efektor písmenem E . Střed souřadného systému volím v pozici klouku K_0 . Jelikož se opět jedná o robotický systém, který je definován jen ve třech rozměrech, je možné provádět řešení nezávisle v horizontální a vertikální rovině. Narozdíl od přímé kinematiky jsou zde zadány globální souřadnice efektoru $E = [x_E, y_E, z_E]$ a úhel δ , který určuje sklon efektoru v daném bodě. Úkolem je zjistit úhly α , β , γ .



Obr. 10 Geometrická konstrukce ramene ve vertikální a horizontální rovině

V prvním kroku určím lokální souřadnici x_{0E} pomocí Pythagorovy věty (2.1).

$$x_{0E} = \sqrt{x_E^2 + z_E^2} \quad (2.1)$$

Dále určím úhel natočení α ze vztahu (2.2).

$$\cos \alpha = \frac{x_E}{x_{0E}} \quad (2.2)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{x_E}{x_{0E}} \right)$$

Spojením efektoru s počátkem souřadného systému vznikne pomocná přímka l , jejíž velikost určím opět z Pythagorovy věty (2.3).

$$l = \sqrt{x_{0E}^2 + y_E^2} \quad (2.3)$$

Nyní už můžeme dopočítat pomocí kosínové věty (2.4) úhel γ , který svírají ramena b , c .

$$l^2 = b^2 + c^2 - b \cdot c \cdot \cos \gamma \quad (2.4)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{b^2 + c^2 - l^2}{b \cdot c} \right)$$

Aby efektor měl požadovaný sklon δ , rozdělíme úhel γ kolmicí k ose x_0 . Nyní je úhel γ tvořen úhly δ a γ_1 . Úhel γ_1 určíme ze vztahu (2.5).

$$\gamma_1 = \gamma - \delta \quad (2.5)$$

V dalším kroku určíme úhel β .

$$\begin{aligned} \beta &= 180^\circ - (90^\circ + \gamma_1) \\ \beta &= 90^\circ - \gamma_1 \end{aligned} \quad (2.6)$$

Nyní už máme vypočtené všechny úhly, zbývá jen určit polohu kloubu $K_1 = [x_1, y_1, z_1]$, kterou určíme z rovnic (2.8) - (2.10).

$$\cos \beta = \frac{x_{01}}{b} \quad (2.7)$$

$$x_{01} = b \cdot \cos \beta$$

$$\cos \alpha = \frac{x_1}{x_{01}} \quad (2.8)$$

$$x_1 = x_{01} \cdot \cos \alpha$$

$$\sin \beta = \frac{y_1}{b} \quad (2.9)$$

$$y_1 = b \cdot \sin \beta$$

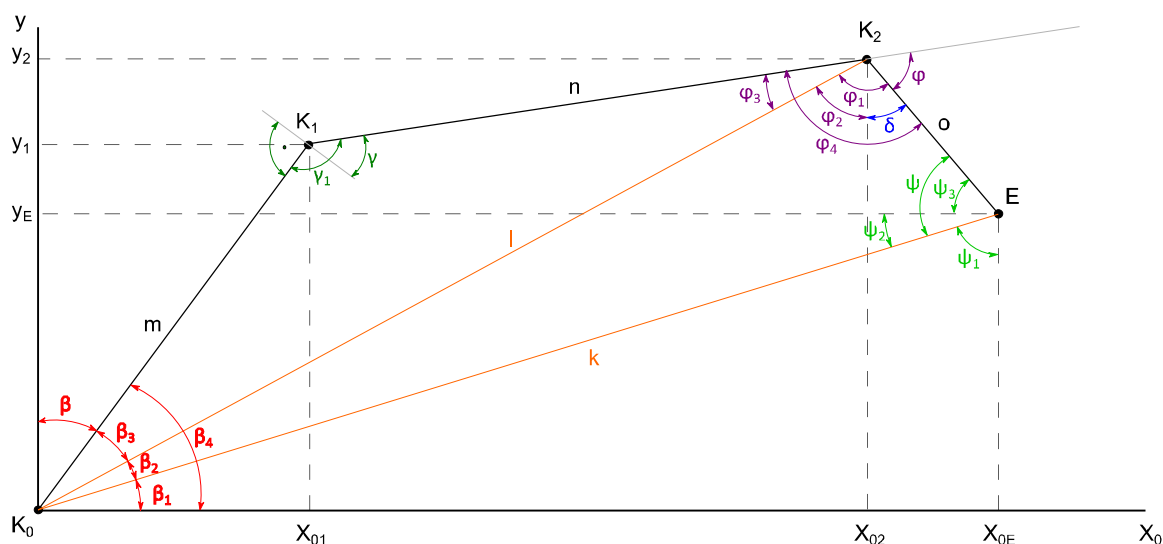
$$\sin \alpha = \frac{z_1}{x_{01}} \quad (2.10)$$

$$z_1 = x_{01} \cdot \sin \alpha$$

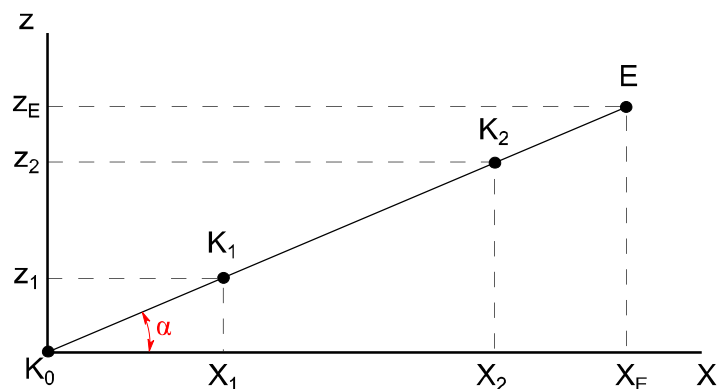
4.3 Návrh inverzní kinematiky robotu AL5B

Inverzní kinematickou úlohu robotu AL5B jsem řešil, stejně jako ve výše uvedeném příkladě, metodou přímého užití goniometrických funkcí. Pro vývoj výsledné funkční kinematiky bylo vytvořeno celkem pět verzí. Celé řešení poslední verze této úlohy přikládám jako přílohu. V této kapitole se spíše zaměřím na problémy, které při návrhu vznikly a také na jejich vyřešení.

Na *Obr.11 a Obr.12* uvádím kompletní geometrickou konstrukci ramene AL5B, včetně všech hlavních i pomocných úhlů a přímk. Souřadný systém je volen v pozici kloubu K_0 .



Obr. 11 Geometrická konstrukce AL5B ve vertikální rovině

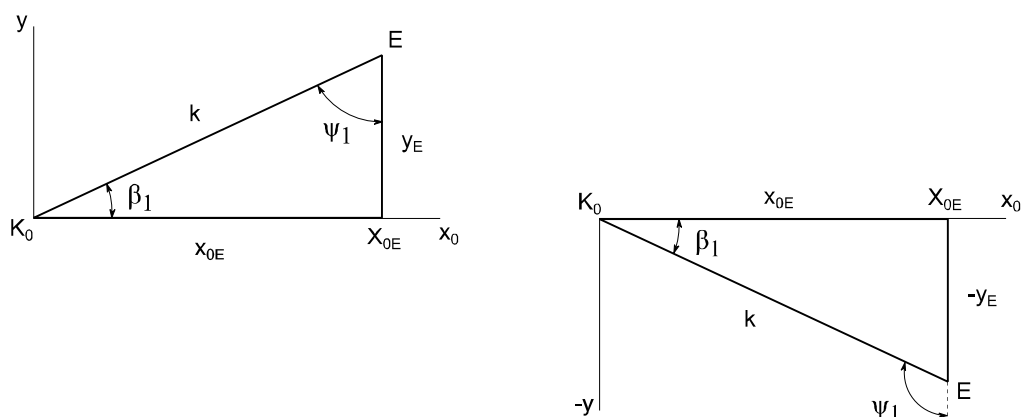


Obr. 12 Geometrická konstrukce AL5B v horizontální rovině

První problémy, které musely být vyřešeny, neboť narušovaly stabilitu výpočtu, byly případy dělení nulou v matematických výrazech a občasná neexistence uvažovaných trojúhelníků. Tyto problémy spolu často souvisely, když došlo k dělení nulou, tak neexistoval uvažovaný trojúhelník a naopak. Dělení nulou nastávalo zejména při použití funkce tangents, protože tangents z úhlu je definován jako poměr protilehlé a přilehlé strany. Pokud přilehlá strana byla nulová, došlo k dělení nulou, tudíž ke kolizi výpočtu. Tento problém například nastal při použití funkce tangents u výpočtu úhlu natočení α . Řešením bylo použití funkce sinus nebo kosinus z daného úhlu. Tyto vztahy jsou definovány jako poměr protilehlé či přilehlé strany ku přeponě, takže nemůže dojít k dělení nulou. Pokud pomyslný trojúhelník nebude existovat, přepona se bude rovnat nenulové straně trojúhelníku, tudíž nikdy nebude nulová.

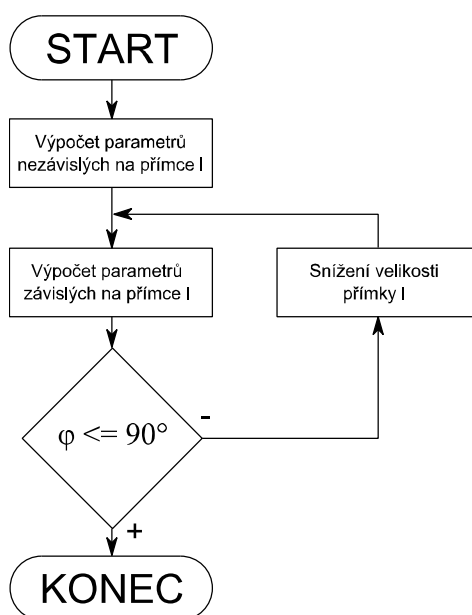
Dále bylo nutné, zajistit správný výpočet pomocných úhlů β_1 a ψ_1 . Tyto úhly se nachází v pomyslném trojúhelníku znázorněném na Obr.13. Tento trojúhelník se v závislosti na poloze efektoru pohybuje nad osou nebo pod osou x_0 . Aby tato skutečnost byla respektována při

výpočtu pomocných úhlů, je nutné použít pro výpočet β_1 funkci sinus a pro výpočet ψ_1 funkci cosinus. Ve výsledných vztazích se vždy bude pohybovat velikost strany y_E , která svým znaménkem zohlední i orientaci trojúhelníku.



Obr. 13 Pomyslné trojúhelníky pro polohu efektoru nad osou y i pod osou x_0

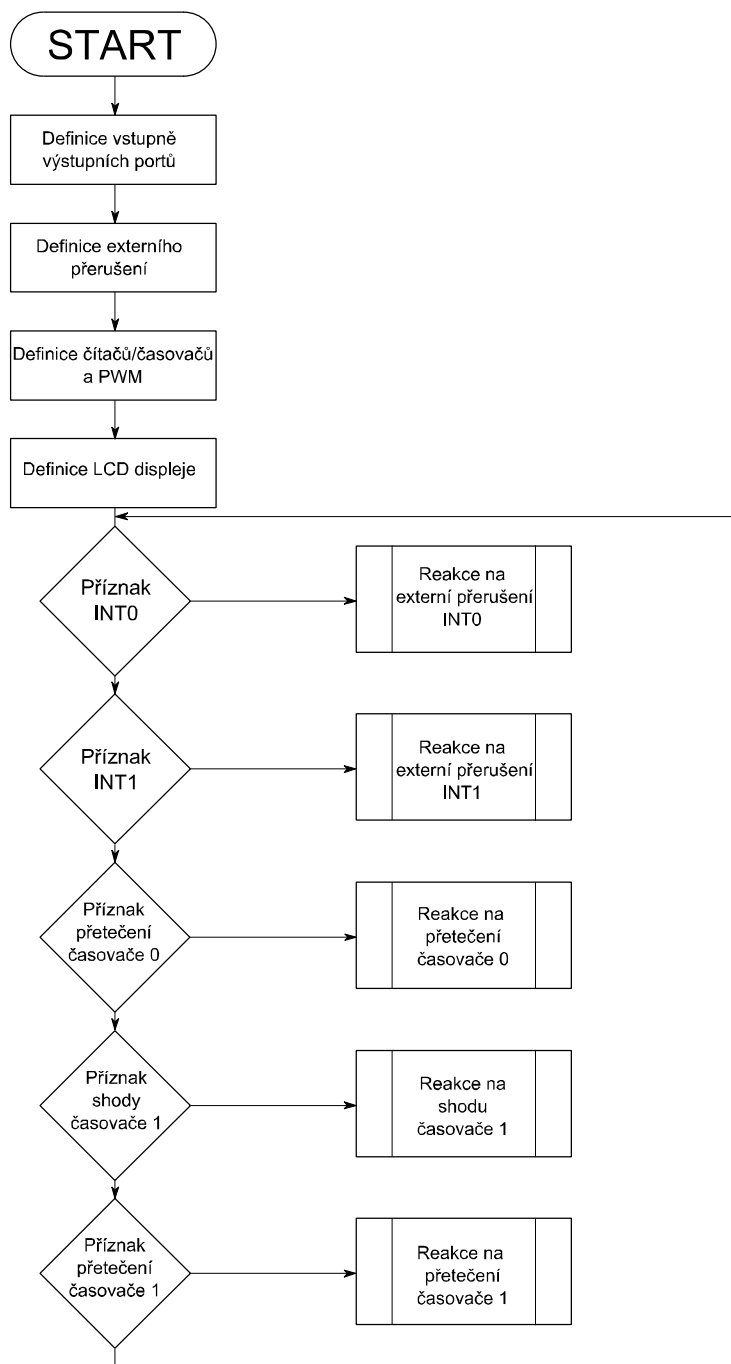
Po vyřešení těchto problémů už byl výpočet stabilní, ale nezohledňoval omezené natočení jednotlivých servomotorů. Jednalo se především o servo v kloubu K_2 . Řešením bylo rozdělit výpočet na dvě části. V první části se vypočítaly parametry nezávislé na pomocné přímce l a ve druhé části se vypočítaly parametry závislé na přímce l . Na konci výpočtu se zavedla podmínka, která kontrolovala zda-li je úhel sklonu efektoru φ menší než 90° . Pokud tato podmínka nebyla splněna, došlo ke zmenšování velikosti přímky l . To způsobilo posun kloubu K_1 , změnu polohy ramen a snížení velikosti úhlu φ . Daný algoritmus je znázorněn na Obr.14. Omezený rozsah ostatních serv není nutné programově ošetřovat. Jejich pracovní pozice se pohybuje $\pm 90^\circ$. Pokud by vyšel požadavek na jejich úhel natočení větší, znamená to, že byla zadána chybná poloha efektoru, která není v pracovním rozsahu robotu.



Obr. 14 Algoritmus ošetření rozsahu servomotoru

5 Návrh řídicího algoritmu systému

Celkové schéma řídicího algoritmu je velmi rozsáhlé a proto zde uvádím pouze zjednodušené blokové schéma hlavního programu.



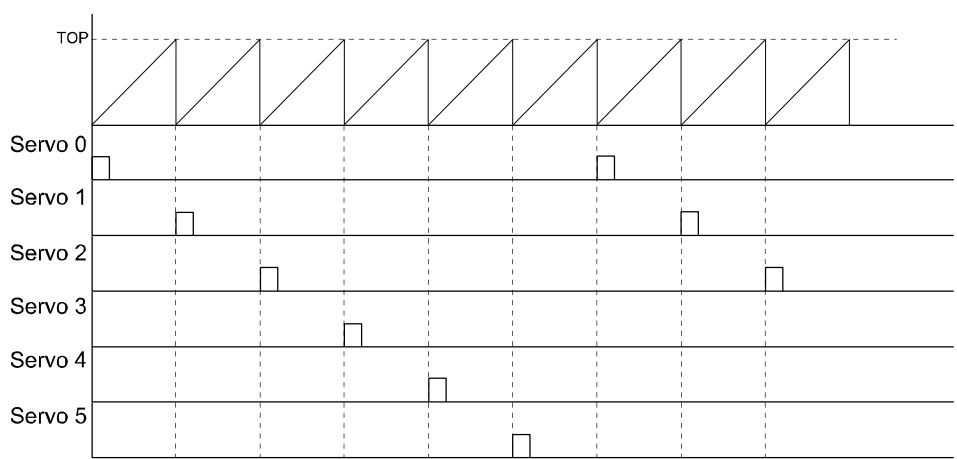
Obr. 15 Blokové schéma hlavního programu řídicího algoritmu

V okamžiku zapnutí programu dojde k nastavení periférií, které se během činnosti programu nebude měnit. V prvním kroku se nadefinují piny vstupně výstupních portů. K řízení manipulačního robotu využívám port A a pro řízení svařovacího robotu používám port

B, tudíž piny portu A a portu B se nastaví jako výstupní a jejich počáteční úroveň je logická nula. Dále se zvolí piny 2 a 3 na portu D jako vstupní s pull up rezistorem. Tyto piny slouží pro externí přerušení. Port C se nastaví jako komunikační port s LCD.

V dalším kroku dojde k definici parametrů a k povolení externího přerušení INT0 a INT1.

Dále se přednastaví čítače a časovače. V řídicím programu používám časovač0 a časovač1. Časovač0 měří čas a následně inkrementuje proměnné, které řídí rychlost servomotorů. Časovač1 používám pro generování PWM signálu, v režimu 14. Je nastavena osmibitová předdělička a do registru ICR je uložena hodnota 6600. Takto nakonfigurovaná PWM generuje pulsy s frekvencí 300 Hz. Jelikož robot má šest serv, je splněna podmínka optimální frekvence posílání pulsů do serva 50Hz. Myšlenka řízení celého robotu pomocí PWM je naznačena na *Obr. 16*.



Obr. 16 Řízení robotického systému pomocí PWM

Vztah (3.1) definuje výpočet TOP hodnoty čítače, do které bude čítač počítat.

$$f_{6serv} = \frac{f_{CPU}}{M \cdot (1 + TOP)}$$

$$TOP = \frac{f_{CPU}}{f_{6serv} \cdot M} - 1 \quad (3.1)$$

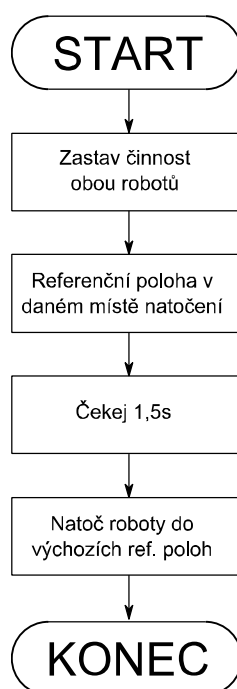
$$TOP = \frac{16000000}{300 \cdot 8} - 1$$

$$TOP \approx 6600$$

Z důvodu nedostatku standardních výstupů PWM u mikroprocesoru ATmega32 je signál PWM generovaný nastavováním a nulováním jednotlivých pinů portu A a portu B. Ovládání těchto pinů probíhá na základě přerušení od časovače 1.

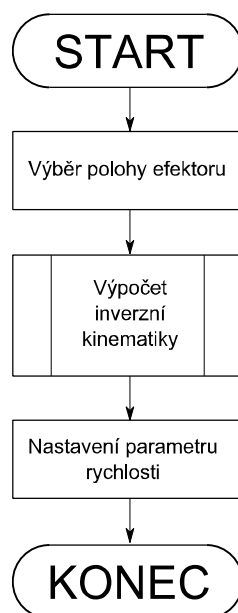
Poté se nastaví parametry LCD displeje. Nyní už jsou definovány všechny parametry periférií a program se dostává do nekonečné smyčky, ve které reaguje zejména na příznaky od externího přerušení a na přerušení od časovačů.

Externí přerušení INT0 má nejvyšší prioritu ze všech přerušení ATmegy32, a proto slouží k zastavení činnosti robotického systému. Podprogram, který reaguje na toto přerušení, má za úkol vrátit oba roboty do referenční polohy, bez ohledu na jejich aktuální polohu. Aby nedošlo ke kolizi, je nutné, aby se roboty nejdříve vrátily do referenční polohy v místě jejich aktuálního natočení a až poté se natočily do výchozí referenční polohy. Vývojový diagram je uveden na *Obr. 17*. Čas čekání 1,5 sekundy vychází z toho, že robot při plné rychlosti se z libovolné polohy vrátí do referenční polohy v čase do 1 sekundy, půl sekundy je rezerva.



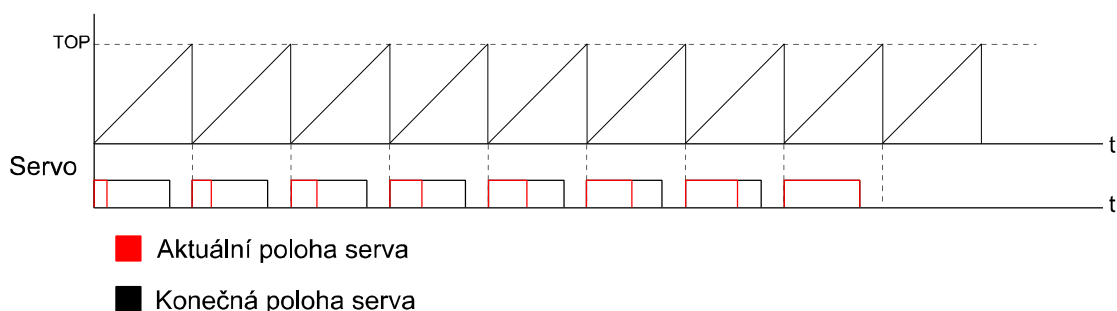
Obr. 17 Vývojový diagram podprogramu INT0

Externí přerušení INT1 spouští činnost robotického systému. Podprogram řeší správnou sekvenci požadovaných poloh efektoru, které jsou následně posílány do podprogramu s inverzní kinematikou. Podprogram s inverzní kinematikou zajišťuje výpočet úhlů natočení jednotlivých serv a převod na číslo jim úměrné. Toto číslo se ukládá do proměnných, které definují konečnou polohu jednotlivých servomotrů. Podprogram externího přerušení INT1 také nastavuje parametr rychlosti, který je pak využíván v podprogramu rychlost.



Obr. 18 Vývojový diagram podprogramu INT1

Podprogram časovače0 koná dva úkoly. Při externím přerušení INT0, tudíž zastavení činnosti robotického systému, počítá čas 1.5 sekundy, po kterém dojde k otočení robotů do referenčních poloh. Jeho druhým úkolem je při určitém přetečení časovače0 inkrementovat nebo dekrementovat proměnné, které udávají aktuální polohu jednotlivých serv. Tyto polohy se postupně cyklicky ukládají do komparačního registru časovače1 a podle jejich velikosti se mění šířka generovaného pulsu. Po kolikátém přetečení se mají měnit proměnné aktuálních poloh serv se udává parametrem rychlosti, který je definován při každé poloze efektoru. Tím, jak rychle se zvětšují proměnné aktuální polohy, se i mění rychlost otáčení serva. V okamžiku, kdy jsou aktuální polohy všech serv totožné s konečnými polohami, dojde k vygenerování příznaku, který hlásí, že efektor je v zadané poloze. Princip řízení rychlosti servomotoru rychlostí jedna je naznačen na Obr. 19.



Obr. 19 Princip řízení rychlosti servomotoru

Podprogramy reagující na příznaky přetečení a shody časovače1 zajišťují generování PWM na pinech portu A a portu B. Při každém přetečení nejprve dojde k inkrementaci pinu,

který bude v tomto kole cyklu nastavován. Poté se daný pin nastaví do logické úrovně 1. Při shodě čítače s komparačním registrem, ve kterém je uložené číslo úměrné aktuální poloze serva, je daný pin nastaven do logické 0. Takto dochází k generování PWM pro celý robotický systém, jak bylo výše znázorněno na *Obr. 16*.

Závěr

Cílem této práce bylo sestavit funkční robotický svařovací systém. Po mechanické stránce se jednalo o návrh a sestavení pracovního prostředí, zkonstruování a kalibraci robotů a modifikaci svařovacího robotu, který je na trhu nedostupný.

Po elektrické stránce se jednalo o návrh řídicího rozhraní a o návrh řídicího algoritmu. Jako řídicí rozhraní byl zvolen vývojový kit EvB 4.3 od firmy Atmel, který je osazený mikroprocesorem ATmega32. Vlastnosti tohoto rozhraní jsou uvedeny v kapitole 4. Řídicí program je psán v jazyce C a jeho algoritmus je popsán v kapitole 6. Algoritmus je také vybaven podprogramy pro řízení rychlosti nebo pro zastavení činnosti a bezkolizního navrácení robotického systému do referenční polohy. Pro ovládání a komunikaci s personálem je využíván LCD displej s tlačítky.

Jednotlivé klouby robotů jsou řízeny PWM, princip řízení je zobrazen na *Obr. 16*. Konfigurace PWM je popsána v kapitole 6. Aby byl pohyb robotů co nejpřesnější, musely být změřeny závislosti úhlu natočení na šířce řídicího impulsu jednotlivých serv.

Matematický model robotů udává inverzní kinematická úloha. Vzhledem k jednoduchosti robotického systému bylo možné pro řešení použít metodu přímého užití goniometrických funkcí a řešení provést nezávisle v horizontální a vertikální rovině. Princip řešení kinematických úloh metodou přímého užití goniometrických funkcí je popsán v kapitole 5.

Na zhotovení této bakalářské práce, jsem kladl velký důraz jak po mechanické, tak i po elektrické stránce. Na této práci jsem začal pracovat již na začátku druhého ročníku bakalářského studia. I přes to, že se nejednalo o snadnou úlohu a při řešení se vyskytlo nemálo problémů, splnil jsem všechny body zadání bakalářské práce a zhotovil funkční robotický systém.

Model robotického svařovacího systému má i své nedostatky. Jedná se zejména o mechanické nedokonalosti použitých robotů. Pohyblivé spojení některých ramen, v jednotlivých kloubech, je řešené grafitovými kluznými kontakty, které kladou značně větší odpor a jsou náchylnější na opotřebení než kuličková ložiska. Tato konstrukce kloubu má za následek zhoršení plynulosti a přesnosti pohybu robotu. Další nedokonalost se týká dynamiky a statiky robotu, které mají velký vliv na přesnost a stabilitu robotu, ale jejich řešení nebylo cílem této práce.

Podle mého názoru se jedná o kvalitně zhotovený model robotického svařovacího systému, který Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky fakulty elektrotechnické

Západočeské univerzity v Plzni může používat nejen pro výuku, ale i jako reprezentační práci na různých konferencích či výstavách.

Použitá literatura

- [1] Jiří Pinker. *Mikroprocesory a mikropočítače*. BEN technická literatura, Praha 2004 1. ISBN 80-7300-110-1.
- [2] *Automatizace v letectví a kosmonautice* [online], KUKA - Robotics [25.4.2014]. Dostupné z: <http://www.kuka-robotics.com/cs/solutions/branches/aerospace/start.htm>
- [3] *Robot* [online], Wikipedie otevřená encyklopedie [25.4.2014]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Robot>
- [5] *Lynxmotion* [online], Lynxmotion [25.4.2014]. Dostupné z: <http://www.lynxmotion.com/>
- [6] *Svařování* [online], Wikipedie otevřená encyklopedie [25.4.2014]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Svařování>
- [7] *Seriál na téma lasery - laserové svařování I (laser welding)* [online]. LAO [25.4.2014]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-svarovani-i-laser-welding-134>
- [8] *Jednočipový počítač* [online]. Wikipedie otevřená encyklopedie [28.4.2014]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Jednočipový_počítač
- [9] *Mikrokontrolér ATMEL ATmega32* [online]. Miroslav Valečka [28.4.2014]. Dostupné z: [http://www.edunet.souepi.cz/valecka/at_mega_32_popis%20\(Opraveno\).htm](http://www.edunet.souepi.cz/valecka/at_mega_32_popis%20(Opraveno).htm)
- [10] *Jak funguje modelářské servo* [online]. Vlastikd [2.5.2014]. Dostupné z: <http://vlastikd.webz.cz/bastl/serva.htm>
- [11] Ing. Petr Beneš. *Úvod do robotiky* [prezentace Power Point]. Dostupné z osobního emailu: <http://webmail.zcu.cz>
- [12] Ing. Petr Beneš. *Kinematické struktury robotických systémů* [prezentace Power Point]. Dostupné z osobního emailu: <http://webmail.zcu.cz>
- [13] Ing. Petr Beneš. *Průmyslové roboty a manipulátory* [prezentace Power Point]. Dostupné z osobního emailu: <http://webmail.zcu.cz>
- [14] Doc. Ing. Lačezar Ličev, CSc. *Architektury počítačů a paralelních systémů - ATmega32* [prezentace Power Point]. Dostupné z: http://www.cs.vsb.cz/licev/apps_kom_studium.html
- [15] *Datasheet ATmega32* [online]. Atmel [2.5.2014]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/images/doc2503.pdf>
- [16] *Uživatelská příručka kitu EvB 4.3* [online]. Ondřej Pavelka [2.5.2014]. Dostupné z: <http://shop.onpa.cz/?podpora,28>

-
- [17] *Kinematika* [online]. ČVUT [2.5.2014]. Dostupné z: <http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/courses/ROB/roblec/kinematika.pdf>
- [18] *Kinematika robotických systémů* [online]. Prof. Ing. Michael Valášek, DrSc [2.5.2014]. Dostupné z: http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_06_1102.pdf
- [19] Jan Horňák. *Teorie průmyslových robotů* [prezentace Power Point]. Dostupné z: <http://web.spssbrno.cz/res/WLX.Content.../robotika-prezentace-1-teorie.pptx>
- [20] *Průmyslové roboty v praxi* [online]. Ing. Petr Mráz, Ph.D [2.5.2014]. Dostupné z: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/.../VSZ_-_Aplikace_Robotu.pdf
- [21] Doc. Ing. František Šolc, CSc. , Ing. Luděk Žalud, Ph.D. *Robotika* [odborný text]. Dostupné z: http://matescb.skvorsmalt.cz/robotika_kybernetika/VUT_Brno_Robotika.pdf
- [22] *Svařování* [online]. Střední průmyslová škola v Ostravě - Vítkovicích [2.5.2014]. Dostupné z: sps-projekt.hostuju.cz/soubory/ZAV1-svarovani.pdf

ZDROJE OBRÁZKŮ

- (1) Obr. 1 převzat z: Ing. Petr Beneš. *Průmyslové roboty a manipulátory*, str. 3
- (2) Obr. 2 převzat z: sps-projekt.hostuju.cz/soubory/ZAV1-svarovani.pdf
- (3) Obr. 3 převzat z: <http://www.lynxmotion.com/images/product/large/al5b01.jpg>
- (4) Obr. 4 převzat z: Jiří Pinker. *Mikroprocesory a mikropočítače*. BEN technická literatura, Praha 2004 1. ISBN 80-7300-110-1. str. 11, Obr. 2.1.
- (5) Obr. 5 převzat z: http://www.cs.vsb.cz/licev/apps_kom_studium.html, str. 5

Přílohy

Příloha A - Návrh inverzní kinematiky robotu AL5B

Zadáno: x_E, y_E, z_E, δ .

$x_{0E} = ?$

$$x_{0E} = \sqrt{x_E^2 + z_E^2} \quad (4.1)$$

$\alpha = ?$

$$\sin \alpha = \frac{z_E}{x_{0E}} \quad (4.2)$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{z_E}{x_{0E}} \right)$$

$k = ?$

$$k = \sqrt{x_{0E}^2 + y_E^2} \quad (4.3)$$

$\beta_1 = ?$

$$\sin \beta_1 = \frac{y_3}{k} \quad (4.4)$$

$$\beta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{y_3}{k} \right)$$

$\psi_1 = ?$

$$\cos \psi_1 = \frac{y_E}{k} \quad (4.5)$$

$$\psi_1 = \cos^{-1} \left(\frac{y_E}{k} \right)$$

$\psi_2 = ?$

$$\psi_2 = 90 - \psi_1 \quad (4.6)$$

Výpočet pomocného úhlu ψ_3 pro kladné δ :

$\psi_3 = ?$

$$\psi_3 = 180 - (\delta + 90) = 90 - \delta \quad (4.7)$$

Výpočet pomocného úhlu ψ_3 pro záporné δ :

$\psi_3 = ?$

$$\psi_3' = 180 - (|\delta| + 90) = 90 - |\delta| \quad (4.8)$$

$$\psi_3 = 180 - \psi_3' \quad (4.9)$$

$\psi = ?$

$$\psi = \psi_2 + \psi_3 \quad (4.10)$$

$l = ?$

$$l = \sqrt{o^2 + k^2 - 2 \cdot o \cdot k \cdot \cos \psi} \quad (4.11)$$

$$\underline{\beta_2 = ?}$$

$$\begin{aligned} o^2 &= l^2 + k^2 - 2 \cdot l \cdot k \cdot \cos \beta_2 \\ \beta_2 &= \cos^{-1} \left(\frac{l^2 + k^2 - o^2}{2 \cdot l \cdot k} \right) \end{aligned} \quad (4.12)$$

$$\underline{\varphi_1 = ?}$$

$$\begin{aligned} k^2 &= o^2 + l^2 - 2 \cdot o \cdot l \cdot \cos \varphi_1 \\ \varphi_1 &= \cos^{-1} \left(\frac{o^2 + l^2 - k^2}{2 \cdot o \cdot l} \right) \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$\underline{\varphi_2 = ?}$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 - \delta \quad (4.14)$$

$$\underline{x_{02} = ?}$$

$$\begin{aligned} \sin \varphi_2 &= \frac{x_{02}}{k} \\ x_{02} &= k \cdot \sin \varphi_2 \end{aligned} \quad (4.15)$$

$$\underline{y_2 = ?}$$

$$\begin{aligned} \cos \varphi_2 &= \frac{y_2}{k} \\ y_2 &= k \cdot \cos \varphi_2 \end{aligned} \quad (4.16)$$

$$\underline{\varphi_3 = ?}$$

$$\begin{aligned} m^2 &= n^2 + l^2 - 2 \cdot n \cdot l \cdot \cos \varphi_3 \\ \varphi_3 &= \cos^{-1} \left(\frac{n^2 + l^2 - m^2}{2 \cdot n \cdot l} \right) \end{aligned} \quad (4.17)$$

$$\underline{\gamma_1 = ?}$$

$$\begin{aligned} l^2 &= m^2 + n^2 - 2 \cdot m \cdot n \cdot \cos \gamma_1 \\ \gamma_1 &= \cos^{-1} \left(\frac{m^2 + n^2 - l^2}{2 \cdot m \cdot n} \right) \end{aligned} \quad (4.18)$$

$$\underline{\beta_3 = ?}$$

$$\begin{aligned} n^2 &= m^2 + l^2 - 2 \cdot m \cdot l \cdot \cos \beta_3 \\ \beta_3 &= \cos^{-1} \left(\frac{m^2 + l^2 - n^2}{2 \cdot m \cdot l} \right) \end{aligned} \quad (4.19)$$

$$\underline{\beta_4 = ?}$$

$$\beta_4 = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 \quad (4.20)$$

$$\underline{\beta = ?}$$

$$\beta = 90 - \beta_4 \quad (4.21)$$

$$\underline{y_1} = ?$$

$$\begin{aligned}\sin \beta_4 &= \frac{y_1}{m} \\ y_1 &= m \cdot \sin \beta_4\end{aligned}\tag{4.22}$$

$$\underline{x_{01}} = ?$$

$$\begin{aligned}\cos \beta_4 &= \frac{x_{01}}{m} \\ x_{01} &= m \cdot \cos \beta_4\end{aligned}\tag{4.23}$$

$$\underline{\gamma} = ?$$

$$\gamma = \gamma_1 - 90\tag{4.24}$$

$$\underline{\varphi_4} = ?$$

$$\varphi_4 = \varphi_3 + \varphi_1\tag{4.25}$$

$$\underline{\varphi} = ?$$

$$\varphi = 180 - \varphi_4\tag{4.26}$$