

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ŘÍDICÍ TECHNIKY



Průmyslový robot RSP 01 – základní řízení

Václav Sedláček

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
2007

Vedoucí práce: Doc.Ing. Jiří Bayer, CSc.

Katedra řídicí techniky

Školní rok: 2006/2007

Zadání bakalářské práce

Student: Václav Sedláček
Obor: Kybernetika a měření
Název tématu: Průmyslový robot RSP 01 – základní řízení

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s mechanickou koncepcí průmyslového robota RSP 01 a stanovte požadavky na jeho základní řízení.
2. Identifikujte pohony jednotlivých pohybových os robota a stanovte požadavky na výkonové řídicí členy.
3. Realizujte základní řízení pohybových os robota (6 stupňů volnosti) s možností jejich řízení z nadřazeného PC.
4. Vypracujte podrobnou dokumentaci robota a jeho připojení k nadřazenému řídicího systému.

Seznam odborné literatury: Dodá vedoucí práce

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Jiří Bayer, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: zimní semestr 2006/07

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. 8. 2007

Prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry



Prof. Ing. Zbyněk Škvor, CSc.
děkan

V Praze, dne 6. 3. 2007

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne 15.7.2007

.....
podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat především vedoucímu mé bakalářské práce Doc.Ing.Jiřímu Bayerovi,Csc. Dále chci poděkovat pánům Ing. Pavlu Píšovi a Ing. Petru Porazilovi za věcné rady, které se týkali především jednotky MARS 8b. V neposlední řadě nesmím zapomenout na fy. Rapčan, která nám poskytla některé potřebné podklady a informace.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je navrhnout základní řízení pro svářečského robota OJ-10RS. Práce se ve větší míře zabývá hardwarovou stránkou řízení, která by měla být připravena pro implementaci software z vyšší úrovně řízení. Pro potřeby software je podrobně rozebrána kinematika robota, včetně potřebné teorie této problematiky. Pro další experimenty a vývoj na robotu jsou nutné podrobná elektrická schémata, které jsou uvedeny v příloze.

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to suggest low control for the welding robot OJ-10RS. The work is mostly concerned with the hardware side of control, which would be ready for the implementation of the software from the higher level of control. Kinematics of the robot are in detail described for needs of the software, including the necessary theory to those problems. Other useful electric schematics to the next experimentations and development on the robot are mentioned at the insertion of the document.

Obsah

PROHLÁŠENÍ.....	I
PODĚKOVÁNÍ.....	II
ABSTRAKT	III
ABSTRACT.....	IV
OBSAH.....	1
KAPITOLA 1	2
1 ÚVOD	2
KAPITOLA 2	3
2 MECHANICKÁ KONCEPCE ROBOTA OJ-10RS	3
2.1. Stanovení stupňů volnosti robota OJ-10RS	3
2.2. Přímá a nepřímá kinematická úloha robota OJ-10RS	5
2.3. Popis prostorových a dosahových parametrů robota OJ-10RS	13
2.4. Mechanická vazba na pohony	15
2.5. Historie a možnosti využití robota OJ-10RS	16
KAPITOLA 3	18
3 POPIS SERVOPOHONŮ A STANOVENÍ POŽADAVKŮ NA ŘÍZENÍ OJ-10RS	18
3.1. Teorie a terminologie ss motorů.....	18
3.2. Popis parametrů motorů a senzorů na robotu OJ-10RS	21
3.3. Přejít od řešení s RSP01 a PMAC k MARS 8b.....	24
3.4. Požadavky na výkonové členy a na řízení pro MARS 8b.....	25
KAPITOLA 4	27
4 REALIZACE ŘÍDÍCÍHO SYSTÉMU	27
5.1. Blokové schéma	27
5.1. Popis jednotky MARS 8b	28
5.1. Možné řešení SW	29
5.1. Nastavení regulátorů.....	29
KAPITOLA 5	30
5 SCHÉMATA ELEKTRICKÉHO PROPOJENÍ.....	30
5.1. Propojení OJ-10RS a MARS 8b	30
5.1. Propojení MARS 8b a PC.....	30
ZÁVĚR.....	31
LITERATURA A POUŽITÉ ZDROJE	32
OBSAH PŘÍLOŽENÉHO CD	33
PŘÍLOHA A	34
DOKUMENTACE PŮVODNÍCH DOSAHOVÝCH PARAMETRŮ OJ10-RS	34
PŘÍLOHA B	36
DOKUMENTACE PROPOJENÍ MEZI ROBOT OJ-10RS A MARS 8B.....	36
PŘÍLOHA C	42
DOKUMENTACE PROPOJENÍ MEZI MARS 8B A PC.....	42

Kapitola 1

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá řízením na nižší úrovni a identifikací průmyslového robota OJ-10RS(obr.1.1). Robot OJ-10RS sloužil jako svářecí robot a k dispozici měl dva polohovací stoly. Tato práce především pojednává o řízení a identifikaci servopohonů, popis kinematiky robota OJ-10RS, stanovení požadavků na řízení. Nedílnou součástí kinematiky robota je také stanovení pracovního prostoru a to i s ohledem na umístění robota. Protože jsme při řešení přešli od varianty řízení pomocí motion controleru PMAC a původní řídicí skříň RSP01 k řešení s jednotkou MARS8b, budou tu vyjmenovány výhody tohoto řešení. Pro potřeby navazující BP jsou zde rozebrány možnosti připojení k nadřazenému řídicímu systému a popsána realizace propojení mezi jednotkou MARS8b a PC, konkrétní řešení je doplněno o podrobné schéma propojení V krátkosti uvedu použitou sensoriku na robotu.



Obrázek 1.1 Pohled na robota OJ-10RS v K09

Kapitola 2

2 Mechanická koncepce robota OJ-10RS

V této kapitole popíšu mechaniku a kinematiku robota OJ-10RS, předtím uvedu potřebnou teorii a terminologii. Pokusím se popsat pracovní prostor a na závěr této kapitoly jaké jsou možnosti využití tohoto robota.

2.1. Stanovení stupňů volnosti robota OJ-10RS

2.1.1. Teorie stupňů volnosti

Pro počet stupňů volnosti(dále budu značit DOF) přijmu intuitivní definici, že je to minimální počet nezávislých parametrů, které jednoznačně systém popisují. Příkladem může být tuhé těleso v rovině s 3 DOF, tuhé těleso v prostoru se 6 DOF a nebo bod v prostoru s 3 DOF. Z definice je vidět, že DOF je důležitý pojem nejen v robotice.

V terminologii kinematiky robotů má důležitý význam termín prostor všech poloh, což je šestirozměrný prostor popisující všechny možné polohy tělesa.

V kinematice se můžeme setkat s několika druhy kinematických dvojic obr 2.1. Tyto dvojice popisují možné realizace kinematických spojení(kloubů). Praxe upřednostňuje rotační klouby, protože jeho realizace je levná, má malé tření a je relativně robustní. Obvyklé jsou také klouby posuvné.

Symbol	Název	má/odnímá DOF
	sférická	3 / 3
	rotační	1 / 5
	posuvná	1 / 5
	válcová	2 / 4
	plochá	3 / 3

Obrázek 2.1 Kinematické dvojice

DOF v oboru mechaniky stanoví například Grüblerovo (Kutzbachovo) kritérium,

$$F = \lambda(n - j - 1) + \sum_{i=1}^j f_i \quad (1)$$

nebo

$$F = \lambda(n - 1) - \sum_{i=1}^j c_i \quad (2),$$

kde

c_i počet omezení odebraných kloubem i ,

f_i počet stupňů volnosti kloubu i ,

n počet ramen mechanismu (mechanismus má rám fixní),

j počet kloubů mechanismu (všechny jsou uvažovány binární),

λ počet stupňů volnosti okolního prostoru,

F počet stupňů volnosti mechanismu.

2.1.2. Další termíny z kinematiky

Pro popsání kinematiky robota je potřeba zavést některé termíny, aby popis byl jednoznačný a srozumitelný.

Množinu ramen spojených klouby (viz.obr.2.1) nazýváme *kinematickým řetězcem*. Ten je možný popsat grafem, ve kterém uzly představují ramena a hrany představují klouby. Tento popis v této práci používat nebudu, ale hodí se pro vysvětlení následujících termínů. *Otevřený kinematický řetězec* můžeme popsat acyklickým grafem. *Smíšený kinematický řetězec* graf obsahuje smyčku. *Paralelní manipulátor* obsahuje ekvivalentní smyčky.

Pokud připevníme pevně jedno rameno kinematického řetězce k zemi nazveme ho *mechanizmem*.

2.1.3. Počet stupňů volnosti robota OJ-10RS

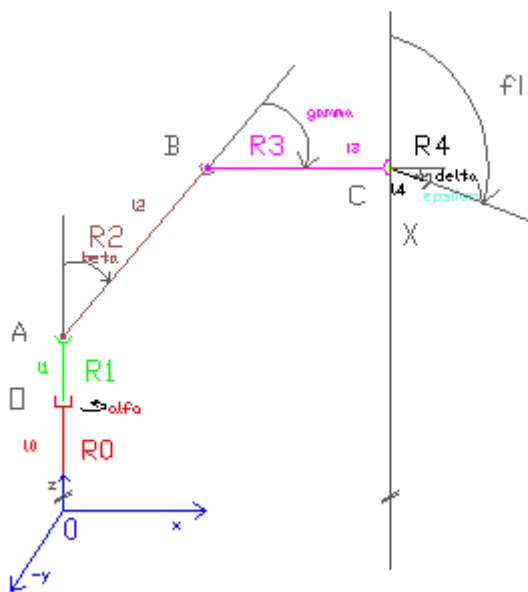
Pohledem na obr.1.1 je vidět, že robota můžeme považovat za mechanismus s otevřeným kinematickým řetězcem(též sériový manipulátor). Protože kinematický řetězec je dobře čitelný dovoluji si bez použití např. Grüblerova (Kutzbachova) kritéria stanovit DOF na 5. 5 DOF umožňuje najíždět na polohu v podprostoru pětidimenzionálního prostoru. V šestidimenzionálním prostoru jen ve speciálních případech.

2.2. Přímá a nepřímá kinematická úloha robota OJ-10RS

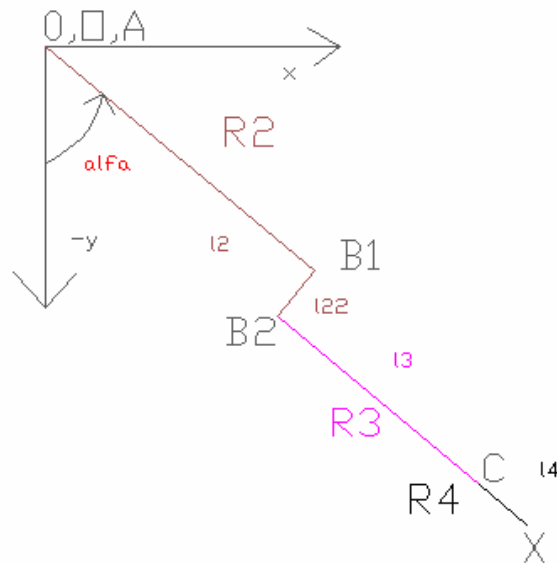
2.3.1. Popis systému souřadných os, kinematických parametrů OJ-10RS

Robot OJ-10RS má pouze rotační klouby. Na obr.2.2 je vidět schéma kinematicko-mechanického uspořádání robota OJ-10RS. Označení R_x , kde x je přirozené číslo 0-4, označuje jednotlivá ramena. Písmena O,A,B,C označují jednotlivé klouby. Úhly jsou popsány slovy, které odpovídají písmenům řecké abecedy (ty budu dále používat). Jejich orientace je vyznačena šipkou směřující od nulové hodnoty tak, že ve směr šipky hodnota úhlu roste. Otočení na kloubu O odpovídá úhel α . Rotace na kloubu A odpovídá úhlu β . Rotace kloubu B odpovídá γ . Kloub C je na robotu složen ze dvou rotačních kloubů, proto mu odpovídají 2 úhly δ a ϵ . Úhly $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ a ϵ budu také nazývat jako kloubové souřadnice. Souřadný systém je vyznačen modrou barvou. X je bod, s kterým je manipulováno. Na obr.2.3 je jiný pohled na kinematickou strukturu robota OJ-10RS. Důležité je si všimnout posunu mezi rameny R2 a R3 o vzdálenost l_{22} . Důsledkem je v tomto pohledu rozdělení bodu B označující kloub v body B1 a B2.

Na obr.2.4 jsem zobrazil jak jednotlivé značení kloubů, ramen, úhlů a souřadných os odpovídá skutečnosti. Délky ramen jsou v tabulce tab.2.1 a interval doporučených úhlů pro rotaci jednotlivých kloubů v tab.2.2. Intervaly byly stanoveny vzhledem k bezpečnosti, tak aby byla zajištěna dostatečná rezerva vzdálenosti od mechanického dorazu a robot se nepoškodil. A zároveň tyto hodnoty jsou doporučením pro implementaci v SW.



Obrázek 2.2 Schéma kinematiky robota OJ-10RS



Obrázek 2.3 Jiný pohled na schéma kinematiky robota OJ-10RS

Rameno	Značení délky ramena	Délka ramena[m]
R0	l_0	0,26
R1	l_1	0,46
R2	$l_2; l_{22}$	0,7;0,187
R3	l_3	0,8
R4	l_4	0,15

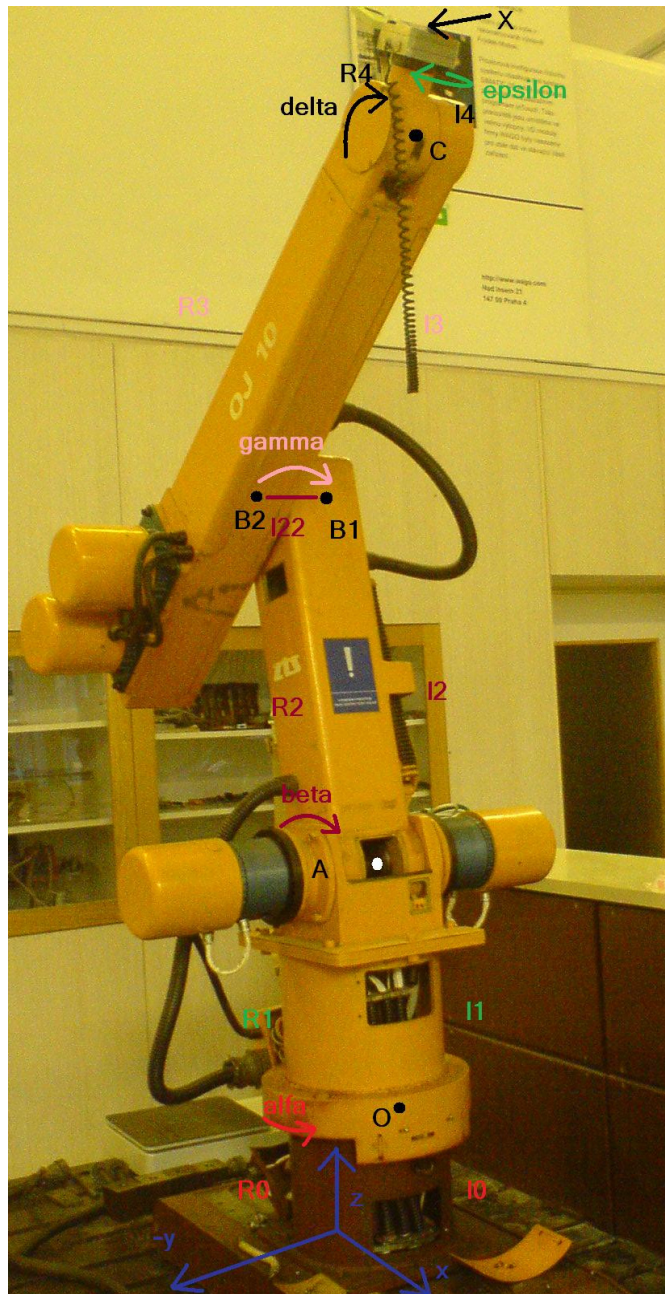
Tabulka 2.1 Délky ramen

Kloub	Úhel	Doporučený interval[°]
O	α	<-100;110>
A	β	<-40;40>
B	γ	<-138;145>
C	δ	<-110;100>
C	δ	<-100;100>

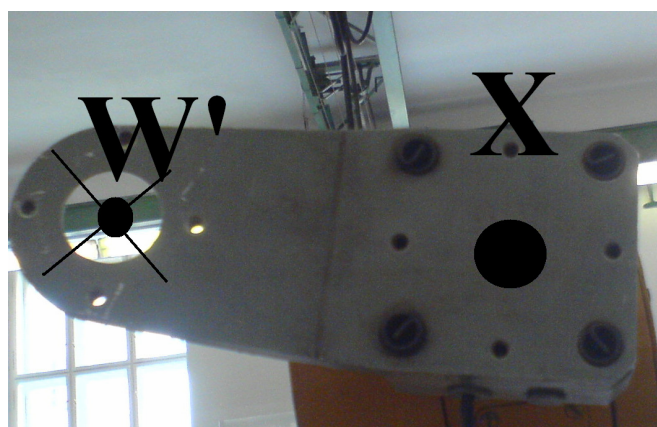
Tabulka 2.2 Doporučené rozsahy úhlů

Pro jednoznačnost popisu kinematiky je důležité přesně definovat umístění počátku 0 systému souřadných os. Bod 0 se nachází ve středu dolní podstavy válce, který představuje rameno R0.

Umístění bodu X jsem zvolil na ose hřídele ramena R4, která točí o úhel ε . Toto umístění trochu zjednoduší popis kinematiky a navíc umístění bodu X do W' by bez definovaného nástroje (například svařovací hlavy) nepřineslo mnoho užitku a případné rozšíření by nemělo dělat problém. Umístění Bodu X a W' je vidět na obr.2.5.



Obrázek 2.4 Vyznačení kinematických parametrů na reálném robotu



Obrázek 2.5 Umístění bodu X a W' na držáku svařovací hlavice.

2.3.2. Přímá kinematická úloha robota OJ-10RS

Přímá kinematická úloha řeší případ, kdy známe jednotlivé kloubové souřadnice a chceme znát polohu chapadla v našem případě bodu X. Tato úloha pro otevřený kinematický řetězec je snadno řešitelná pomocí geometrických vztahů mezi jednotlivými klouby. Její význam souvisí především ve zpětné referenci polohy koncového bodu pro nadřazené řídicí systémy.

Je nutné si uvědomit, že bod X není trojrozměrný vektor, ale pětirozměrný. Vektor pro potřeby popisu kinematiky odpovídá poloze ramene R4. Formálně zapsané X

$$X = (x; y; z; \varphi; \varepsilon)^T \quad (3)$$

kde

x, y, z jsou souřadnice bodu X,

φ úhel naklonění od osy z viz obr.2.2,

ε odpovídá otočení na kloubu C.

Pro řešení přímé kinematické úlohy použijí metodu transformací mezi lokálními souřadnými systémy jednotlivých kloubů. Počítat budu na úrovni homogenních souřadnic. Vždy uvedu popis dané transformace a pak transformační matici. Všechny klouby jsou rotační. Nakonec jednotlivé matice vynásobím a tak dostanu celkovou transformační matici.

Matice A_1 otáčí celý manipulátor o úhel α rotace je kolem osy z

$$A_1(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Matice A_{12} provede posun ve směru osy z o vzdálenost l_0+l_1 do kloubu A

$$A_{12} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_0 + l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Matice A_2 rotuje o úhel β kolem osy y tím dojde k otočení ramenem R2

$$A_2(\beta) = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Matice A_{22} provádí posun z bodu A do bodu B1 ve směru osy z o vzdálenost l_2 .

$$A_{22} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Matice A_{23} provede přesun z bodu B1 do B2 ve směru osy y o vzdálenost l_{22} .

$$A_{23} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -l_{22} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Matice A_3 rotuje ramenem R3 o úhel γ kolem osy y .

$$A_3(\gamma) = \begin{pmatrix} \cos \gamma & 0 & \sin \gamma & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \gamma & 0 & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

Matice A_{32} provádí posun o vzdálenost l_3 z bodu B2 do C.

$$A_{32} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Matice A_4 rotuje ramenem R4 o úhel δ kolem osy y .

$$A_4(\delta) = \begin{pmatrix} \cos \delta & 0 & \sin \delta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \delta & 0 & \cos \delta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

Matice A_5 provádí posun o vzdálenost l_4 z bodu C do X.

$$A_{42} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

Celková transformační matice A

$$A(\alpha, \beta, \gamma, \delta) = A_1(\alpha) \cdot A_{12} \cdot A_2(\beta) \cdot A_{22} \cdot A_{23} \cdot A_3(\gamma) \cdot A_{32} \cdot A_4(\delta) \cdot A_{42} \quad (13)$$

Souřadnice bodu X x, y a z můžeme přímo vyčíst z matice A , úhel φ je součtem úhlů β, γ a δ . Úhel ε odpovídá požadovanému natočení.

Celkové řešení je

$$\boxed{\overset{P}{X} = (a_{1,4}, a_{2,4}, a_{3,4}, \beta + \gamma + \delta, \varepsilon)^T} \quad (14)$$

kde $a_{1,4}, a_{2,4}, a_{3,4}$ jsou příslušné prvky matice A .

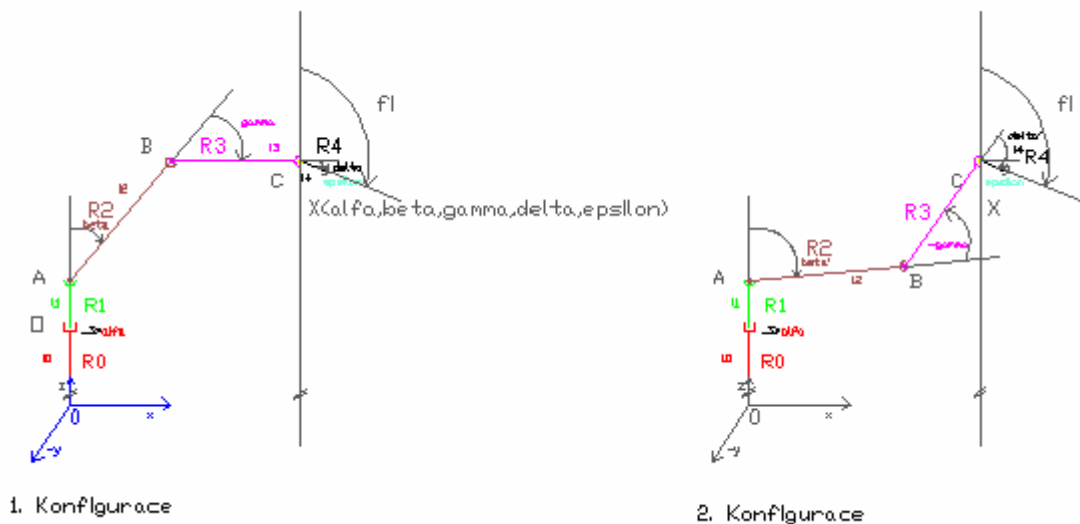
2.3.3. Nepřímá kinematická úloha robota OJ-10RS

Je opačná úloha k přímé kinematické úloze. Známe polohu a orientaci koncového bodu a hledáme kloubové souřadnice. V našem případě k zadanému X hledáme $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ a ε . Ve většině případů je řešení nepřímé kinematické úlohy pro otevřený kinematický řetězec složitější nežli přímé. Existuje několik metod pro řešení. Problém bude řešen geometricko-algebraickou metodou. Řešení budu uvažovat ve tvaru X_{inv}

$$\overset{P}{X}_{inv} = (\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon)^T \quad (15)$$

Vstupem bude X ve tvaru (3)

Nepřímá kinematická úloha bude mít 2 konfigurace řešení, které jsou schématicky naznačeny na obr.2.6. Konfigurace řešení by pro zadané (3) mohly být 4 a matematicky by to tak vyšlo, ale díky posunu by se jednalo o jinou polohu chapadla(jiný úhel mezi chapadlem a osou y na obr.2.3 úhel α). Při pohledu do tab.2.2 je jasné, že robot bude pracovat častěji v 1. konfiguraci. Proto při psaní SW doporučuji přepínání konfigurací s přednastavenou 1.konfigurací.



Obrázek 2.6 Konfigurace řešení

Nejprve provedu výpočet α . Provedu kolmý průmět manipulátoru do roviny určenou osami souřadného systému x a y viz obr. 2.3. V této rovině najdu vzdálenost $|OX|$, kterou potřebuji pro výpočet úhlu α_a . Protože tento úhel je vždy ostrý můžu použít funkci \arcsin . Úhel α_b získám přímo z polohy bodu X užitím zobecněné funkce $\operatorname{argtg}2$. Hledaný úhel α je součet úhlů α_a a α_b . Matematicky zapsáno

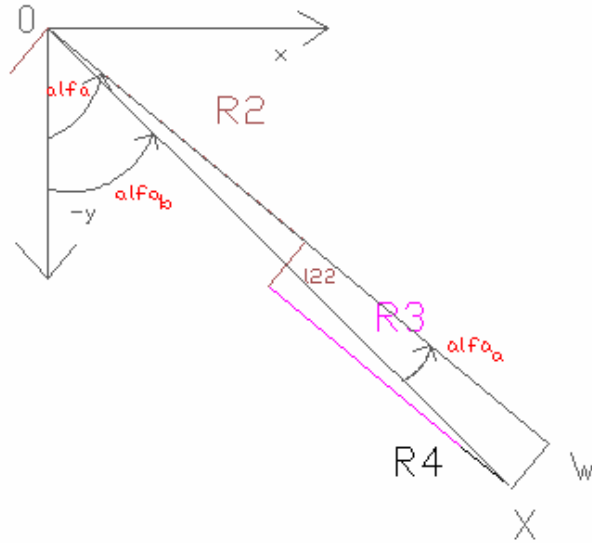
$$|OX| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2} \quad (16)$$

$$\alpha_a = \arcsin\left(\frac{l_{22}}{|OX|}\right) \quad (17)$$

$$\alpha_b = \operatorname{argtg}2(y; x) \quad (18)$$

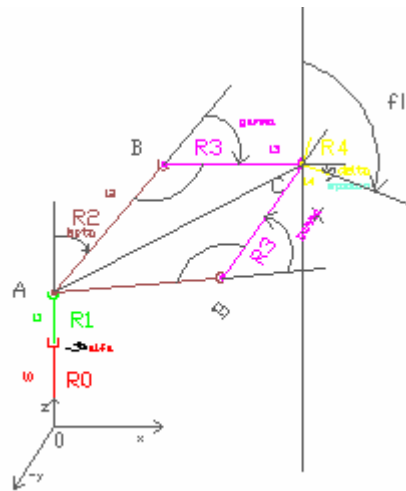
$$\alpha = \alpha_a + \alpha_b \quad (19)$$

kde x_1, x_2 jsou souřadnice bodu X viz obr. 2.7.



Obrázek 2.7 Výpočet α

Další výpočty jsou prováděny v rovině určenou body OAW. V této rovině je manipulátor zobrazen na obr.2.8.



Obrázek 2.8 Zobrazení pro výpočty některých úhlů

Nejdříve určím souřadnice X v této rovině a označím je X_n . Dále pak můžu určit body C a A. Vypočtu vzdálenost $|AC|$. Pro tuto vzdálenost platí, že musí být menší jak l_2+l_3 . Pomocí kosinové věty mohu vypočítat úhel ABC. Úhel ABC využiji pro výpočet γ . Pro výpočet β potřebuji úhly BAC a ACX. Úhel δ vypočtu jednoduše pomocí úhlů γ a β . Úhel ε je přímo zadaná hodnota. Formální matematický zápis

$$X_n = \left(\sqrt{|OX|^2 + l_{22}^2}; z \right)^T \quad (20)$$

$$C = X_n + l_4 (\sin(-\pi + \varphi); \cos(-\pi + \varphi))^T \quad (21)$$

$$A = (0; l_0 + l_1) \quad (22)$$

$$|AC| = \sqrt{(c_1 - a_1)^2 + (c_2 - a_2)^2} \quad (23)$$

$$\angle ABC = \arccos\left(\frac{|AC|^2 - l_3^2 - l_2^2}{-2l_2l_3}\right) \quad (24)$$

$$\angle BAC = \arccos\left(\frac{l_3^2 - l_2^2 - |AC|^2}{-2l_2|AC|}\right) \quad (25)$$

$$\angle ACX = \arg \operatorname{tg} 2(c_2 - l_1 - l_0; c_1) \quad (26)$$

kde c_1, c_2, a_1, a_2 jsou souřadnice bodu C a A.

Využitím vztahů (20) až (26) dostanu obě řešení $X_{inv1,2}$

$$X_{inv1} = (\alpha_a + \alpha_b; \pi/2 - (\angle BAC + \angle ACX); \pi - \angle ABC; \varphi - (\beta_1 + \gamma_1); \varepsilon) \quad (27)$$

$$X_{inv2} = (\alpha_a + \alpha_b; \pi/2 + \angle BAC - \angle ACX; -\pi + \angle ABC; \varphi - (\beta_2 + \gamma_2); \varepsilon) \quad (28)$$

kde β_1, γ_1 jsou příslušné hodnoty řešení X_{inv1} a β_2, γ_2 příslušné hodnoty řešení X_{inv2} .

2.3. Popis prostorový a dosahových parametrů robota OJ-10RS

2.3.4. Použitá terminologie prostorových parametrů

Protože obvykle nás zajímá do jakých poloh se s chapadlem či nějakým objektem může dostat ať už z důvodu bezpečnosti či použitelnosti na určitou technologii je nutné tyto oblasti správně definovat.

Pracovní prostor je podprostor prostoru všech poloh obsahující všechny polohy, které může chapadlo zaujmout. Řešitelnost konkrétní úlohy musíme posuzovat v šestirozměrném pracovním prostoru. V případě našeho robota v pětirozměrném prostoru s tím, že šestá dimenze je závislá. Pracovní prostor se popisuje poměrně špatně, právě díky šesti (pěti) dimenzím. Také proto se zavádí další termín *pracovní obálka*, někdy také *pracovní prostor ve 3D*. Pracovní obálka je podprostor okolního prostoru, kam robot může sáhnout referenčním bodem chapadla. Často je součástí technické dokumentace robota, ale pouze naznačuje jaký je skutečný pracovní prostor robota, protože v krajních polohách většinou uvažuje jen jednu polohu chapadla. *Operační prostor* je podprostor okolního prostoru, do kterého může při pohybu robot zasáhnout některou ze svých částí. Z bezpečnostních důvodů by měl být přesně vymezen a hlídán například optickou závorou, koncovými spínači atd..

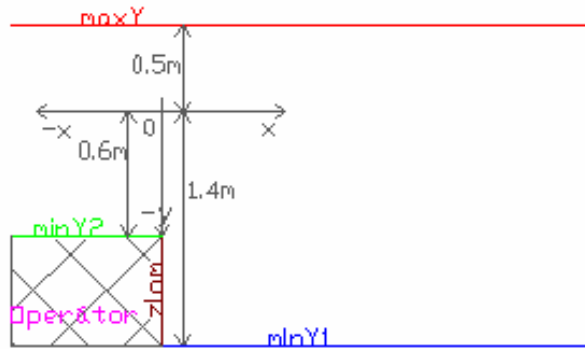
2.3.5. Pracovní obálka robota OJ-10RS

Pracovní obálka robota OJ-10RS je v příloze A. Tuto jsme získaly od fy. Rapčan, přesto jsem jí poněkud zmenšil dle tab.2.2, protože robot byl experimentálně oživován a při experimentech se ukázalo, že drobné zpřísnění bezpečnosti robota není na škodu. Dalším omezením jsou limitní spínače, které jsou nastaveny na provoz svářečského robota a pracovní obálku dle přílohy A také omezují. Proto doporučuji na SW úrovni implementovat možnost vypínání a zapínání akceptování limitních spínačů, pokud bude plně funkční SW ochrana mezních úhlů dle tab.2.2.

2.3.6. Operační prostor robota OJ-10RS a stanovení požadavků na bezpečnost

Operační prostor je v našem případě dán umístěním robota OJ-10RS v laboratoři K09 a případně sepnutím limitních spínačů. Vymezení povoleného prostoru je na obr.2.9. Protože nelze jednoduše hlídat tento prostor pomocí hardwarových prostředků je nutné toto omezení implementovat na softwarové úrovni, kde by realizace neměla dělat problém. Operační prostor na obr.2.9 je spíše doporučením, kde by se měl robot pohybovat se svým koncovým bodem. Na obrázku je vyznačen prostor pro operátora. Jednotlivé hranice jsou označeny. Hranice maxY chrání lavici laboratorního stolu, minY1 omezuje prostor před hranou druhého stolu, zlom a minY2 vymezují prostor pro operátora. Robot se ve skutečnosti nebude pohybovat v celém prostoru jak je vymezen v příloze A. Operační prostor je průnikem prostoru daného úhly v tab.2.2 a povoleného prostoru na obr.2.9.

Robot je umístěn volně bez ochranné klece i bez různých závor. Je tedy nutné, aby při práci s robotem byl dáván pozor na osoby v jeho blízkosti. Pokud bude správně naimplementován operační prostor na SW úrovni a dodržován obsluhou neměl by robot ohrozit sám sebe, ale ani předměty v okolí, s kterými operační prostor počítá. Tedy je také nutné, aby nebyly položeny předměty především na polici laboratorního stolu a v okolí se nepohybovaly osoby. Dále bych pro obsluhu doporučil 2 lidi. Jeden pro ovládání z PC a druhý pro hlídání bezpečnostního tlačítka. Pokud má robot aktivovány výkony je rozsvícena žárovka (výstražné světlo), která je umístěna na R2 a svítí červeně.



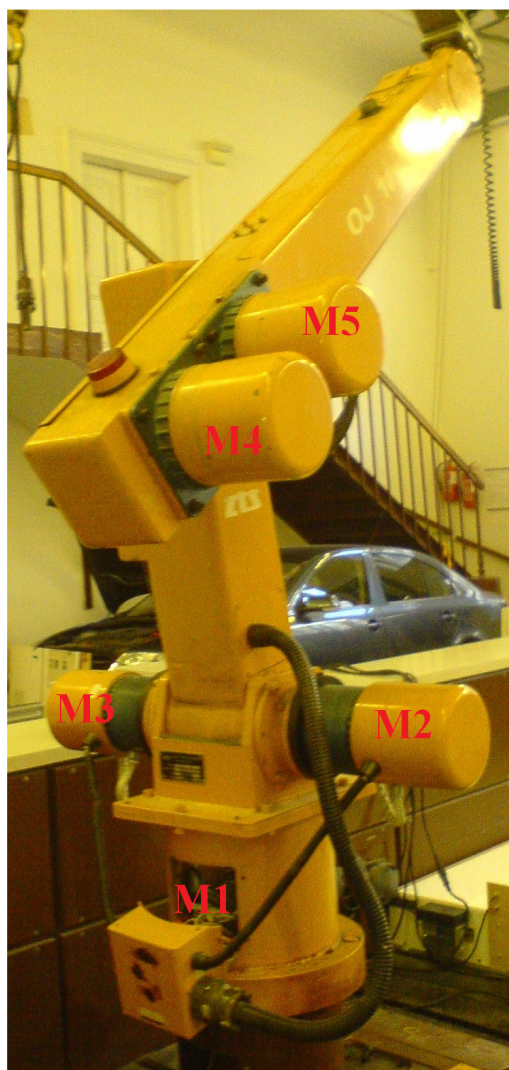
Obrázek 2.9 Omezení operační prostoru při umístění OJ-10RS v laboratoři K09

2.4. Mechanická vazba na pohony

Robot má 5 motorů jejich rozmístění je vidět na obr.2.10. Značení motorů je M_x , kde x je přirozené číslo z rozsahu 1 až 5. Úhel ϑ_{M_x} označuje otočení motoru M_x (motorové souřadnice) a je v jednotkách senzoru irc. Vztah mezi ϑ_{M_x} a příslušnými úhly je v tab.2.3. Přesnost jednotlivých převodů dle dostupné dokumentace $\pm 0.1\%$. Tyto vztahy (případně jejich inverzní podoby) jsou důležité pro realizaci nepřímé kinematické úlohy a tvorbu kinematických drah.

Úhel[°]	Vztahy pro převod
α	$\alpha = -\frac{V_{M1}}{1152,5};$
β	$\beta = -\frac{V_{M2}}{1152,5}$
γ	$\gamma = \frac{V_{M3}}{1152.5} + \beta$
δ	$\delta = -\frac{V_{M5}}{688,9}$
ε	$\varepsilon = \frac{V_{M4}}{688,9} - \delta$

Tabulka 2.3 Vztahy mezi kloubovými a motorovými souřadnicemi



Obrázek 2.10 Rozmístění motorů

2.5. Historie a možnosti využití robota OJ-10RS

Robot OJ-10RS je průmyslový svářecí robot vyrobený na Slovensku fy.ZTS Detva. Tato firma se po revoluci přetransformovala, také z toho důvodu původní úplná dokumentace již neexistuje, kromě několik částí servisní dokumentace, které vlastní fy.Rapčan zabývající se jejich servisem a modernizací. Celé pracoviště se skládalo z OJ-10RS, dvou polohovacích stolů OJ-10P a řídicí skříň RSP01. Každý polohovací stůl měl 2 DOF, čímž se robot dostal na 7DOF. Robot pracoval střídavě na obou stolech, což zajistilo určitou efektivitu práce, neboť na vedlejší stole mohl být připravován další materiál na svařování.

Z pohledu mojí práce je důležité se podívat na řídicí skříň RSP01. Tato řídicí jednotka obsahovala v podstatě tehdejší kompletní řídicí počítač realizován pomocí zásuvných karet propojených sběrnicí, výkonové členy, odrušovací členy, aktivní chlazení a zdroj. Jako vstupní zařízení sloužila magnetofonová páska nebo primitivní způsob programování pomocí

několika málo tlačítek. Pro získání hodnot polohy robota a jeho rychlosti pohybu se využívaly selsyny a tachodynamy. Servopohony byly ovládány signálem PWM.

Kromě použití robota OJ-10RS jako svářeče, by mohl být použit jako jednodušší manipulátor pokud by byl doplněn o uchopovací zařízení. V tomto případě je jedno z omezení 5 DOF robota, takže by bylo vhodné ho doplnit o chapadlo, které by vhodným způsobem přidalo 1DOF. Další omezení je maximální nosnost, která je dle firmy Rapčan 10kg..

KAPITOLA 3

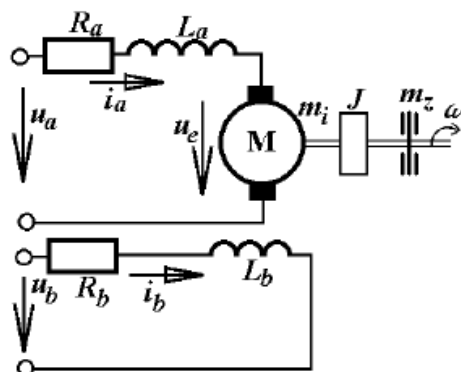
3 Popis servopohonů a stanovení požadavků na řízení OJ-10RS

V této kapitole se budu zabývat popisem jednotlivých motorů a jejich senzorů, které jsou nainstalovány na robotu OJ-10RS. Protože se jedná o motory stejnosměrné, tak zde také uvedu potřebou teorii a terminologii těchto motorů. Dále tato kapitola vysvětluje proč jsem při řešení upustil od varianty řízení s původní výkonovou částí skříně RSP01 a motion controleru PMAC a provedl náhradu jednotkou MARS8b. Závěrem uvedu požadavky na řízení a výkonové členy.

3.1. Teorie a terminologie ss motorů

Stejnosměrné motory se vyznačují velmi dobrými regulačními vlastnostmi. Umožňují jednoduchou změnu rychlosti změnou napětí kotvy. Změnu směru lze měnit pomocí změny napětí kotvy. Užitečná je také možnost regulace pomocí PWM signálu. Výhodný je i velký točivý moment zvláště při nízkých otáčkách a skutečnost, že motory s cizím buzením jsou dostupné i pro výkony až do řádu desítek MW. Jejich problémy jsou např.: Napájení rotoru přes komutátor, v jehož důsledku je motor relativně méně spolehlivý. Rušení vznikající v důsledku jiskření na komutátoru, to je vylučuje z používání těchto motorů v prostředí s nebezpečím výbuchu. Dále je to horší poměr výkonu ke hmotnosti. A jsou zpravidla dražší než střídavé motory obdobného výkonu.

Výhodou ss motorů je také jejich poměrně jednoduchý popis matematickým modelem. Ten je samozřejmě jen přibližný, ale při návrhu regulace postačuje. Pro odvození potřebných rovnic se hodí schéma náhradního obvodu na obr.3.1. Tomuto schématu odpovídá jí rovnice (29).



Obrázek 3.1 Náhradní schéma ss motoru s cizím buzením

$$u_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + u_e; u_e = kf(i_b)\omega; u_b = R_b i_b + L_b \frac{di_b}{dt} \quad (29)$$

Protože motory na robotu OJ-10RS nejsou cizebuzeny, ale obsahují permanentní magnet lze rovnice pak zjednodušit do tvaru (30). Tím se zjednoduší u_e protože funkce $f(i_b)$ je nelineární.

$$u_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + u_e; u_e = \xi\omega \quad (30)$$

kde konstanta $\xi = kf(i_{b0})$ je dána především konstrukcí a permanentními magnety na motoru. Díky tomuto zjednodušení pak závislost momentu vytvářeného kotvou motoru na proudu kotvy pak bude rovněž přibližně lineární se stejnou konstantou úměrnosti a pro momentovou rovnováhu platí rovnice (31).

$$m_i = \xi i_a = J \frac{d\omega}{dt} + m_z \quad (31)$$

kde m_z je zatěžovací moment vyvolaný zátěží a pasivními odpory motoru. J zahrnuje moment setrvačnosti samotného motoru i všechny momenty setrvačnosti pohybujících se částí přepočtené na výstupní hřídel motoru. Celý model lze přenést do přenosového vyjádření (32)

$$\Omega(s) = \frac{1}{\xi} \frac{1}{\tau_a \tau_m s^2 + \tau_m s + 1} U_a(s) - \frac{R_a}{\xi^2} \frac{\tau_a s + 1}{\tau_a \tau_m s^2 + \tau_m s + 1} M_z(s) \quad (32)$$

$\tau_m = R_a J / \xi^2$ je elektromechanická a $\tau_a = L_a / R_a$ je elektromagnetická časová konstanta. V další případné zjednodušení modelu může být dosaženo zanedbáním τ_a , neboť hodnota $L_a \ll R_a$ u většiny ss motorů.

Uvedené vztahy se použijí pokud nás zajímá regulace rychlosti otáčení hřídele motoru, ale pro robota je spíše důležitá regulace na polohu či úhel natočení hřídele. Můžeme vyjít z již uvedených přenosů a doplnit je o přenos na polohu, která je integrálem z rychlosti (33).

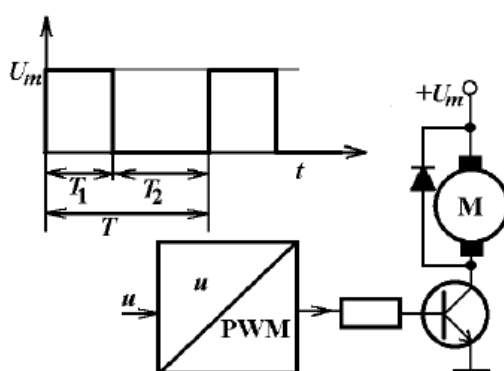
$$\phi(s) = \left(\frac{K_\phi}{s} \right) \Omega(s) \quad (33)$$

konstanta K_ϕ zohledňuje vliv převodovky.

Spojité řízení napětí na kotvě má několik omezení, protože je použitelné pro poměrně malé proudy a napětí. Někdy je problémem cena obvodů pro tuto regulaci. Právě z těchto důvodů se používá regulace s PWM signálem. Pokud se podíváme na přenos (32), tak zjistíme, že z hlediska frekvenčních vlastností se chová jako dolní propust. Přivedením PWM signálu s frekvencí dostatečně velkou tak, aby první harmonická ležela v nepropustné části přenosu (32), bude mít význam na chování motoru především stejnosměrná složka, kterou lze vyjádřit vztahem

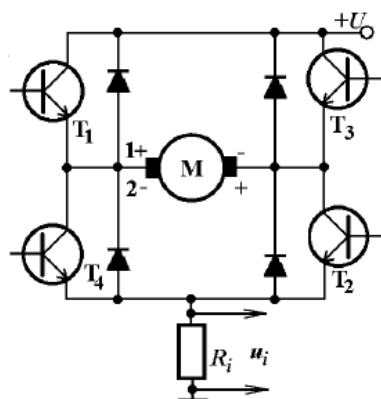
$$U_{as} = \left(\frac{T_1}{T} \right) U_m \quad (34)$$

kde T_1 je doba sepnutí a T je perioda PWM signálu. Frekvence PWM signálu bývá v jednotkách až desítkách kHz. Pokud je to možné, tak je vhodné nastavit hodnotu nad 20 kHz, tak aby signál byl mimo slyšitelné pásmo. Výhoda použití PWM signálu lze vidět na obr.3.2. Výkonný tranzistor pracuje ve spínaném režimu, takže není tak výkonově zatěžován jako výkonové členy při řízení spojitým napětím. Největší výkonová ztráta na tranzistorech pracujících ve spínaném režimu je při jejich přepínání. Přesto pokud je doba sepnutí a vypnutí malá ve srovnání s periodou PWM signálu T , je výkonová ztráta na tranzistoru daleko menší proti spojitě regulaci výstupního napětí.



Obrázek 3.2 Princip PWM

Protože u robota potřebujeme ovládat nejen rychlost motoru, ale hlavně polohu je nutné, aby bylo možné zajistit reversaci směru a brždění. To nám bohužel zapojení z obr.3.2 nemůže poskytnout, protože je pouze ekvivalentem změny napětí. Tyto možnosti nám poskytne zapojení z obr. 3.3. V můstku mohou být zapojeny bipolární tranzistory, MOSFETy i IGBT. Malý odpor R_i slouží pro snímání proudu.



Obrázek 3.3 H-můstek

Regulátory pro řízení ss motorů lze nastavit například metodou symetrického optima. Některé nastavení regulátorů touto metodou uvádím v tab.3.1. Metoda symetrického optima je vhodná zejména pokud platí $T_1 > 4\tau$.

Přenos soustavy	Regulátor
$\frac{k}{(T_1s+1)(\tau s+1)}$	PI $\frac{T_1}{2k\tau} \frac{4\tau s+1}{4\tau s}$
$\frac{k}{T_1s(\tau s+1)}$	
$\frac{k}{(T_1s+1)(T_2s+1)(\tau s+1)}$	PID $\frac{T_1}{2k\tau} \frac{(4\tau s+1)(T_1s+1)}{4\tau s}$
$\frac{k}{T_1s(T_2s+1)(\tau s+1)}$	
$\frac{k}{T_1T_2s^2(\tau s+1)}$	PD $\frac{T_1T_2}{8k\tau^2} (4\tau s+1)$
$\frac{k}{T_1s(T_2s+1)(\tau s+1)}$	

Tabulka 3.1 Nastavení regulátorů metodou symetrického optima některý přenosů

Při regulaci potřebujeme nejen akční člen a regulátor, ale rovněž i senzor, který se stará o měřený výstupu soustavy. Pro měření polohy a rychlosti otáčení hřídele máme několik senzorů. Na robotu byly původně nainstalovány selsyny, které vyžadují o něco složitější elektroniku, ale jejich výhodou je poměrně velká spolehlivost. V současnosti jsou přimontovány IRC čidla, které se dnes používají pro většinu rotačních mechanismů.

3.2. Popis parametrů motorů a senzorů na robotu OJ-10RS

3.3.1. IRC senzory na OJ-10RS

IRC čidla fungují na principu optoelektrického snímání. Převádí informace o vzájemné poloze dvou snímaných prvků na elektrické impulsy. Podle pořadí příchodu impulsu lze určit, kterým směrem se motor otáčí., protože dva signály jsou pootočené o $\pi/2$. IRC čidla bývají doplněny o signál zvaný index, který určuje otočení IRC o jednu otáčku. A Index může (a v našem případě je) použit pro přesné určení prvotní polohy (při synchronizaci polohy).

Na robotu je nainstalováno 5 IRC senzorů typu BDE 05.05A500-5-1 výrobce Baumer electric. Každé čidlo budu značit podle čísla motoru, takže pro motor Mx je příslušné čidlo IRCx.. Od každého IRC je vyveden stíněný kabel, který obsahuje 9 vodičů označených

barvou. Význam jednotlivých barev uvádí tab.3.2. Některé dostupné technické parametry tab.3.3. Přesné schéma připojení IRC k řídicímu systému popíšu později.

Barva	Značení na čidle	význam
Hnědá	BN	+Vs(+5V)
Zelená	GN	CHA(kanál A)
Červená	RD	CHA*(negovaný kanál A)
Žlutá	YE	CHB(kanál B)
Modrá	BU	CHB*(negovaný kanál B)
Růžová	PK	CHN(Index)
Šedá	GY	CHN*(negovaný index)
Bílá	WH	0V
Černá	BK	CASE(kostra)

Tabulka 3.2 Značení vodičů na BDE 05.05A500-5-1

Parametr	Hodnota
Napájení	5V
Výstup	TTL
Počet pulsu na otáčku	500

Tabulka 3.3 Technické parametry

3.3.2. Termistory na OJ-10RS

Na každém motoru jsou připevněny termistory, které hlídaly stavy teploty na každém motoru. Pokud byl motor zahřát nad určitou teplotu, tak speciální jednotka vyslala signál do řídicího systému o tomto stavu. Tyto termistory jsem nezapojil z několika důvodů. Původní vyhodnocovací jednotka již nefungovala. Nový řídicí systém nemá analogové vstupy a ani analogové komparátory(v případě nutnosti je možné je doplnit). Ve školních podmínkách se předpokládá časově a výkonově nenáročný provoz, který nevyžaduje zapojení tepelné ochrany. Neznalost přesných parametrů použitých termistorů. Samozřejmě v plném nasazení v průmyslovém prostředí jsou tyto ochrany nutné pro bezpečnost robota.

3.3.3. Motory na OJ-10RS

Na robotu jsou nainstalované stejnosměrné motory. Nám dostupné parametry lze najít v tab. 3.4. pro potřeby nastavení regulace by se hodili další parametry, především mechanická a elektromechanická konstanta. Přibližně(s ohledem na nelineárnost soustavy) by jsme je mohli určit z reakce na jednotkový skok, další možností je využití diplomové práce [8].

Typ	I[A]	U[V]	P[W]	Motor
SRD 350	7,4	62	350	M1,M2,M3
SRD 80	13,6	15,5	100	M4,M5

Tabulka 3.4 Typy motorů a některé parametry

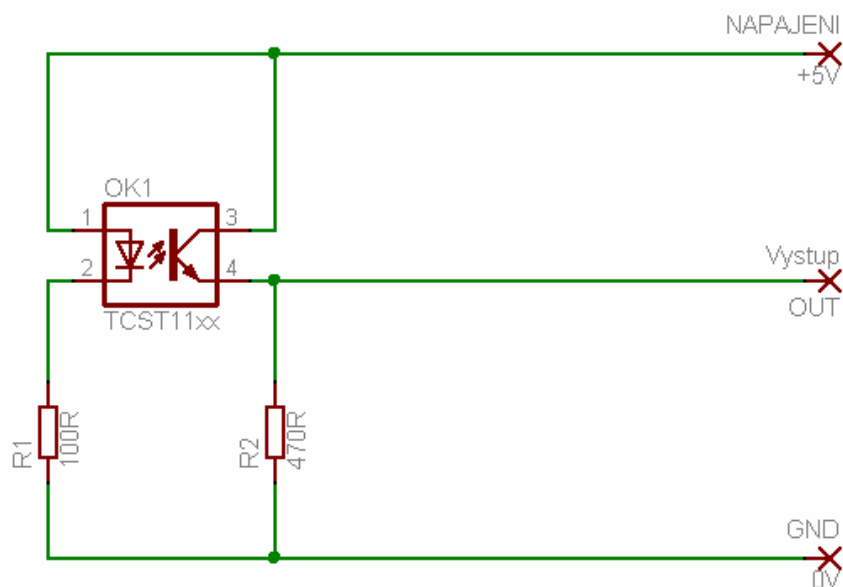
3.3.4. Limitní spínače

Na robotu jsou dva typy limitních spínačů. Bohužel oba typy jsou spínací v kritické poloze. Z bezpečnostních důvodů by bylo vhodnější, kdyby limitní spínače měli rozpínací kontakty. Jeden typ pracuje na magnetickém principu a druhý typ je mikrospínač. Jednotlivé limitní spínače jsou označeny KSx, kde x je přirozené číslo. Jejich umístění mi nepřijde moc vhodné, protože značně omezuje pracovní prostor.

3.3.5. Značky synchronizace polohy

Při zapnutí robota se může stát, že robot se nenachází na přesně definované poloze, proto je nutné, aby robot měl možnosti jak tuto polohu zajistit. Na robotu je nainstalováno několik synchronizačních značek polohy(SC1,SC2,SC3). Bohužel se nám je nepovedlo umístit na všechny osy, protože by to vyžadovalo hlubší mechanický zásah. Jednotlivá synchronizační čidla budu značit SCx, které synchronizují motor Mx.

Pro značky polohy lze například použít indukční čidla, která se nám z montážních důvodů nehodili. Proto jsme zvolili čidla na optickém principu, nejvhodnější se ukázali optické závory řady TCST11xx. Důvodem byla jejich minimální velikost, jednoduchost zapojení, relativní přesnost a bezpečnost proti reflexním sensorům. Schéma zapojení tohoto čidla je na obr. 3.4. Nevýhodou pak možnost vzniku chyby pokud by v okolí existoval zdroj světla, na které je závora citlivá.



Obrázek 3.4 Zapojení čidla TCST11xx na robotu OJ-10RS

3.3.6. Některé parametry robota

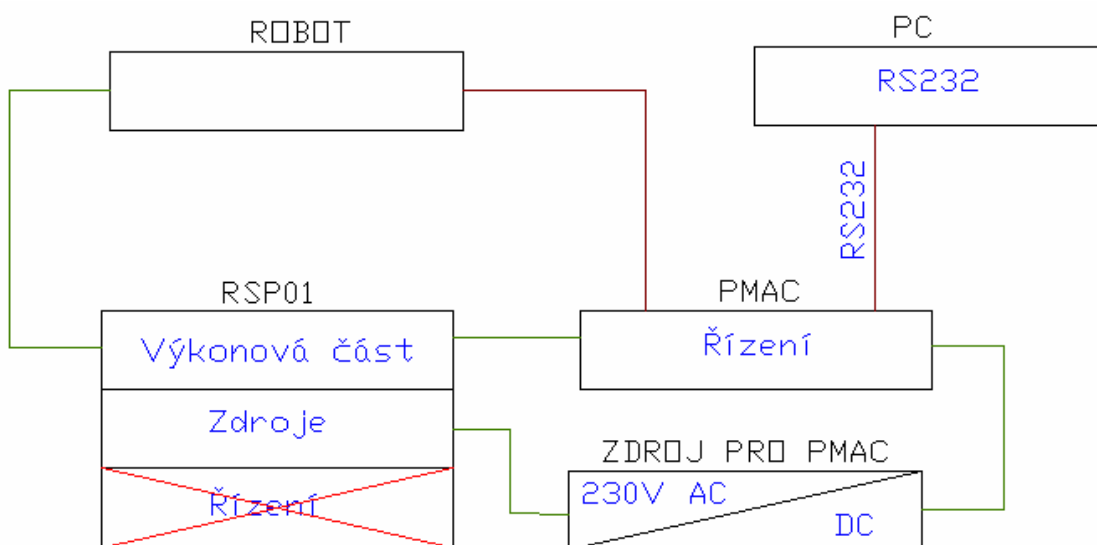
Všechny parametry uvedené v tab.3.5 jsou získány z materiálu od fy. Rapčan. Částečně byly inspirací pro návrh regulace. Tyto parametry zhruba odpovídají i upravenému robotu v K09. Možné způsoby umístění jsou robot OJ-10RS postavený na rovině a nebo zavěšený na speciálním nosníku.

Parametr	Hodnota
Max.nosnost	10 kg
Max. moment setrvačnosti	0,78 kg.m ²
Max. statický moment	19,62 Nm
Počet stupňů volnosti	5
Hmotnost robota	295 kg
Nepřesnost polohování	±0,1 mm
Krytí	IP 43
Instalovaný výkon motorů	1250W
Pracovní teplota	+5 °C až 40°C
Druh prostředí	Obyčejné
Střední technická životnost	40 000 hod

Tabulka 3.5 Některé parametry robota OJ-10RS.

3.3. Přejít od řešení s RSP01 a PMAC k MARS 8b

Zadání počítá s řízením pomocí kombinace RSP01 a motion controleru PMAC, ale během řešení jsem přešel k řešení s MARS 8b. Blokové schéma kombinace RSP01 a PMAC je na obr.3.5. Z původní skříně měla být využita výkonová část a zdroje. Řídicí systém a původní počítač by byl případně demontován a nahrazen řízením pomocí PMAC. Případně by tato varianta mohla být doplněna o monitorovací systém.



Obrázek 3.5 Varianta s RSP01 a PMAC

3.3.1. Odůvodnění jednotky MARS 8b

Je jasné, že předchozí řešení není úplně správné. Největším praktickým problémem je neexistence podrobné dokumentace RSP01. Navíc jednotka RSP01 byla vystavena několik let přírodním vlivům. Vnitřní elektroinstalace je v dezolátním stavu. Zdroj by nejspíš potřeboval vyměnit elektrolytické kondenzátory. Dalším problémem je potřeba dalších obvodů pro převod analogového výstupu PMAC na PWM. Původní kabeláž byla vyhozena. Protože by se v takovém řešení objevilo mnoho historických součástek, bylo by obtížné při jejich poruše je sehnat a vyměnit. Velké rozměry racku pro původní výkonovou část. Myslím si, že takové řešení by bylo poměrně nestabilní, nemoderní a často by bylo porouchané.

Použití jednotky MARS 8b přináší řadu výhod. Jednak se zbavíme většiny problémů z předchozího odstavce a další výhody najdeme srovnáním obr.3.5 a 3.6. Obr.3.6 představuje princip varianty s MARS 8b. Při použití MARS 8b nepotřebujeme žádné vnější obvody pro výkony, ani řízení, pouze jí stačí správně připojit k robotu a k PC. Sdružuje potřebné funkce pro řízení robota, výkony, zdroj, ochranné prvky. Výhodou je také snadná modifikace a technická podpora ze strany ing.Příši.



Obrázek 3.6 Varianta s MARS 8b

3.4. Požadavky na výkonové členy a na řízení pro MARS 8b

Požadavky na výkonové členy jsou v podstatě dány tab.3.4. To znamená pro příslušný motor splnění parametrů napětí a proudu. Protože výkonové členy jsou řízeny pomocí PWM, tak by měly pracovat alespoň na frekvenci 20kHz. Dalším požadavkem je vypnutí řídicího systému MARS 8b a přepnutí ovládání výkonových členů z externího řídicího systému. Výstupní napětí pro 24V žárovku, které bude sepnuto zároveň s aktivací H-Můstků.

Požadavkem na řízení je odezva regulace s přesností na 1ms, to je dáno vlastnostmi ss motorů. Dále zvládnutí PID regulace, najíždění na synchronizační značky polohy, vypínání na limitní spínače, tlačítko total stop, čtení senzorů IRC, koordinované pohyby, najíždění na polohu, přímé ovládání PWM, pohyb po splinech(v této práci toto nebude využito),

komunikace po RS 232 a možnost přechodu na jinou sběrnici především CAN. Počet os pro regulaci min.5, ale raději více pro možnost pozdějšího rozšíření o chapadlo.

Výše uvedené požadavky jsou jen nástin a jsou nutné. Jednotka MARS 8b toho umí ve skutečnosti daleko více a vše splňuje.

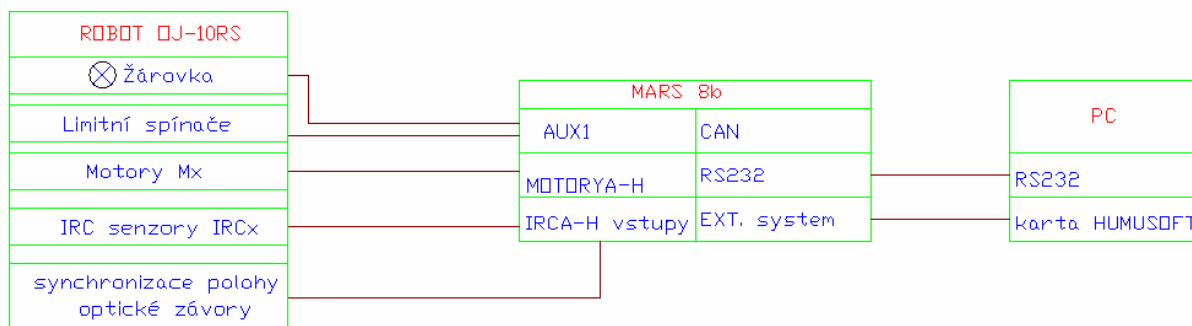
KAPITOLA 4

4 Realizace řídicího systému

V této kapitole popíšu jak je realizováno řízení robota OJ-10RS. Nejdříve popíšu blokové schéma a nastavení regulátorů. Dále se budu zabývat stručným popisem jednotky MARS 8b z pohledu HW. Pokusím se nastínit jak je možné řešit SW část řízení.

5.1. Blokové schéma

Blokové schéma je vidět na obr. 4.1. Jednotka mars 8b se stará o řízení na nižší úrovni a přijímá příkazy od PC přes RS232. Případně odpovídá na dotazy přes RS232. V PC v našem případě použijeme SW MATLAB pro ovládání RS232, ale může být použit(i vhodnější) jakýkoliv SW, který má možnost pracovat s RS232. Jednotku je možné také(po úpravě) propojit přes CAN. Na vstupy IRC A-H jsou připojeny signály z příslušných IRC snímačů. Na tyto konektory jsou také připojeny optické závory, které se starají o synchronizaci polohy. Výstupy motorů A-H vedou od H-můstků k motorům Mx na robotu. Pro zajištění bezpečnosti jednotka snímá limitní spínače. Žárovka se spíná při zapnutí napájení můstků. V PC je připojena karta humusoft MF614, která sice není vhodná k řízení, ale hodí se pro monitorování pohybu robota a jeho vizualizaci. Kartou MF 614 máme pouze jednu a to nám dovoluje monitorovat pouze 4 motory. Monitorované motory jsou M1,M2,M3 a M4. Jednotka je navržena tak, aby k ní mohla být připojeny 2 karty MF614 a tím by jsme měli možnost monitorovat všech 8 os, které jsou osazeny v MARS 8b. Kartou MF614 lze využít i pro ladění a návrhů regulátorů. Přístup k ovládání můstků z karty je potřeba zapnout tlačítko na předním panelu MARS 8b EXTERNAL CONTROL.



Obrázek 4.1 Blokové schéma propojení

5.1. Popis jednotky MARS 8b

Většina zde uvedených informací pochází z webu Pikronu a bakalářské práce Jakuba Štoly. Protože jednotka MARS 8b je klíčový článkem v řízení robota OJ-10, je nutné zde uvést aspoň její základní popis a parametry.

MARS 8b je určena k regulaci až 8 motorů s připojenými IRC čidly. Umožňuje připojit několik bitových I/O, mezi než patří i limitní spínače a značky synchronizace polohy. Pro zpřesnění synchronizace je možné využít indexového kanálu na IRC čidle. Příkazy pro jednotku lze zadávat z nadřazeného počítače přes rozhraní RS-232 nebo volitelně přes rozhraní RS-485. Jednotka může být propojena s dalšími zařízeními komunikací CAN. Další periferie lze připojovat přes rozhraní SPI nebo I²C. Jako digitální vstupy lze též číst indexové a koncové značky motorů. Mezi uživatelsky výhodné parametry MARS 8b patří snadná konfigurace přes RS232, snadná výměna firmwaru, změna I/O a volitelnost mnoha parametrů i po dodání. V tab.4.1 jsou některé důležité technické parametry.

MARS 8b se skládá ze tří hlavních částí. První je zdroj, který se stará o napájení výkonových členů, řídicí jednotky a karty pro sběr dat z IRC čidel. Jeho základem je 3fázový transformátor. Jádrem řídicí desky je Motorola MC68376.

veličina	hodnota	jednotky
Vnější napájecí napětí skříně	400 3 fáze	VAC
Trvalý výkon vstupního transformátoru	150	W
Napájecí napětí elektroniky	24 (12 až 34)	VDC
Nadproudová ochrana	lokální elektronická pro každou osu+ měření a vyhodnocení proudu mikroprocesorem	
Max. frekvence IRC signálů	2	MHz
Generátor požadované polohy	lichoběžníkový průběh s nastavitelným zrychlením a maximální rychlostí	
Regulace polohy motorů	vlečný PID regulátor s nelineárním tlumením	
Nastavování P, I a D konstant	softwarově	
Rozsah v periodách IRC signálu (4 fáze)	4000000	
Kalibrace absolutní polohy	automatické vyhledání volitelné	

Tabulka 4.1 Některé technické parametry MARS 8b

5.1. Možné řešení SW

Protože robot bude experimentálně ožíván, tak v první fázi si myslím, že použití programu MATLAB je vhodná varianta, pro naší určitou zručnost v tomto SW a existence zdrojových kódů pro jednotku MARS 8b na jiných robotech. Dalším důvodem je použití karty HUMUSOFT MF614 pro monitorování a vizualizaci v programu SIMULINK. Nevýhodou tohoto řešení je nesplnění základních požadavků na RT řízení, které je dáno jednak samotným MATLABem a zároveň použitým operačním systémem Windows 2000. Výhodnější by bylo použít např. programovací jazyk C(C++/C#), případně ještě pro lepší efekt použití RT OS např. Linux s full preemtime jádrem, případně některý specializovaný RT OS.

5.1. Nastavení regulátorů

Nastavení regulátorů může zohledňovat několik požadavků. Jedním je přesnost regulace, kdy požadujeme co nejpřesnější najetí na požadovanou polohu. V některých případech je to co nejrychlejší přemístění z bodu do bodu. Někdy hladké sledování trajektorie, což se může hodit v případě svařování. Velmi často se setkáme s požadavkem na co nejoptimálnější splnění všech těchto požadavků.

Systém a případný model robota OJ-10RS je značně nelineární. Nelinearita je dána především závislostí momentu na natočení jednotlivých ramen, suchým a viskózním třením. Model této soustavy tedy není úplně jednoduchý. Určitým řešením by bylo provedení linearizací v určitých částech operačního prostoru, např. ve čtvercích. V těchto částech najít popis systému matematicky z modelu nebo z experimentálního měření, vyladit regulátory a během chodu robota je přepínat. Toto řešení by bylo velice efektivní, ale představuje velkou časovou náročnost. Kritickým stavem by bylo určení velikosti podprostoru a jeho tvaru.

Proto z důvodu času jsme se rozhodli pro nastavení regulátorů pro celý prostor metodou experimentálně na základě chování robota s optimalizací k měkkému nastavení regulátoru a tím dosáhneme hladkého sledování trajektorie. Nastavení regulátorů je v tab.10. Je vidět, že se jedná o PID regulace. PIDx odpovídá motoru Mx.

Regulátor	P	I	D
PID1	50	10	10
PID2	56	10	20
PID3	50	10	30
PID4	55	10	35
PID5	50	10	30

Tabulka 10 Nastavení regulátoru PID

KAPITOLA 5

5 Schémata elektrického propojení

Tato kapitola popisuje dokumentaci elektrického propojení, která je obsažena v příloze. Nejdříve popíšu realizaci propojení MARS 8b-robot OJ-10RS a potom propojení MARS 8b-PC.

5.1. Propojení OJ-10RS a MARS 8b

Všechna schémata propojení jsou vidět v příloze B. Na schématech je vidět přesné propojení motorů a IRC čidel k jednotce MARS 8b. Každé schéma přísluší určitému motoru, IRC a synchronizačnímu čidlu. Vývody IRC čidla jsou označeny podle tab.3.2. Vývody na motorech Mx T1 a T2 značí termistor A +M a -M svorky pro připojení budícího PWM signálu. Na obr.B.4 a B.5 jsou vodiče od SC4 a SC5 vyznačeny přerušovanou čarou, protože tyto čidla nejsou na robotu zatím zapojeny. Dále jsem uvedl schéma připojení limitních spínačů a žárovky. Limitní spínače jsou aktivní na sepnutí.

5.1. Propojení MARS 8b a PC

Propojení MARS 8b a PC se skládá ze dvou částí. První je spojení MARS 8b a PC přes RS232. Propojovací kabel je 1:1. Elektrické schéma na obr.C.1 v příloze C. Druhé propojení MARS 8b a karty HUMUSOFT MF614 v PC. Propojení je realizováno plochých kabelem o 37 žilách propojeného stylem 1:1. Schéma na obr.C.2 v příloze C. Ve schématu je počítáno se dvěma kartami MF614, proto jsem nezapojenou kartu označil hvězdičkou. V tab.C.1. je popis jednotlivých pinů konektorů X1 a X2 na kartě MF614 a popis pinů na konektorech EXT 1-X1, EXT 2-X1, EXT 1-X2 a EXT -X2 na jednotce MARS 8b.

Závěr

Výsledkem této práce je robot OJ10 připojený k jednotce mars 8b a její připojení k PC. Tato práce také poskytla podklad pro paralelní bakalářskou práci Matěje Šisky a to především v popisu kinematiky robota, naladění regulátorů, identifikace a stanovení dasahových parametrů a přesného popisu připojení k MARS 8b. Pozitivem je také volba moderního řídicího systému, který touto prací nemá z daleka vyčerpány všechny své možnosti a výměna signálové části původní kabeláže.

Po hardwarové stránce by bylo vhodné robota doplnit o zbylá čidla synchronizační polohy CS4 a SC5. Dále pak by bylo dobré rozvážit kam umístit koncové spínače a provést jejich nové umístění, tak aby byla pracovní obálka využita efektivněji. Protože robot je umístěn na nevhodném místě, bylo by vhodné zvážit jeho přemístění a doplnění o nové bezpečnostní prvky jako např. optické závory, případně mechanické zábrany v podobě klece.

Protože nastavení regulátorů nelze exaktně technicky podložit, je nutné v budoucích pracích se zabývat modelem dynamiky celého robota a pokusit se o optimální nastavení regulace, které lze zdůvodnit nějakým rozumným způsobem. Pro identifikaci dynamiky by mohly být využity schopnosti jednotky MARS 8b, která poskytuje některé funkce pro ladění regulátorů.

Do budoucna by bylo vhodné využití jiného komunikačního rozhraní mezi PC a MARS 8b. Jako vhodná alternativa se jeví sběrnice CAN, případně profibus.

Literatura a použité zdroje

- [1] Pikron s.r.o. – stránky výrobce desky MO_CPU1 a jednotky MARS 8b
www.pikron.com
- [2] Servisní dokumentace a různé materiály od fy. Rapčan
- [3] X33ROB – Stránky předmětu Robotika z roku 2007
cmp.felk.cvut.cz/cmp/courses/ROB/ROB07S/rob07s.html
- [4] Jakub Štola – Bakalářská práce Systém pro řízení manipulátorů a robotů
- [5] Návod ke kartě HUMUSOFT MF614
- [6] VISHAY – Datasheet k optické závoře TCST11xx
- [7] Gene F.Franklin – Feedback Control of Dynamic Systems (fifth edition)
- [8] Lukáš Synovec – Diplomová práce Implementace adaptivního řízení pohonu řezacího stroje

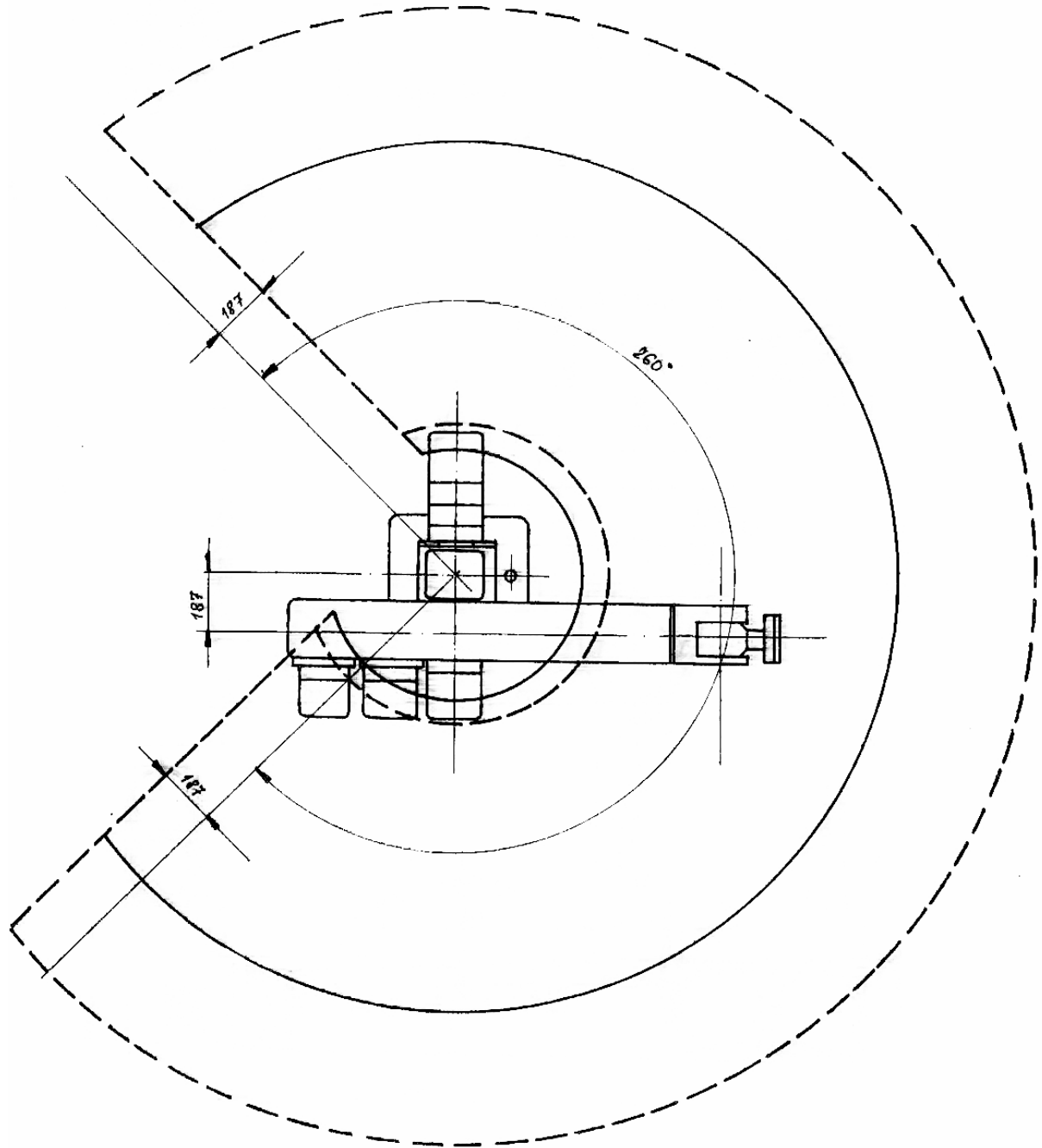
Obsah přiloženého CD

- Elektronická podoba této práce BP_2007_Sedlacek_Vaclav.pdf
- Složka Pikron
 - Návod k MARS 8 - mars8_man_cz.pdf
- Složka MATHEMATIKA
 - Řešení DKT v MATHEMATIKA 5 – dkt.nb
- Složka FOTO
 - Různé fotografie v digitální podobě
- Složka Rapcan
 - Technické parametry robotů OJ-10RS a OJ-10P – popis.pdf
 - Pracovní obálka OJ-10RS – obalka1.jpg, obalka2.jpg
- Složka Zavora
 - Schéma a plošný spoj v eagle – senzor.sch, senzor.brd
 - Datasheet k TCST 11xx – tcst11xx.pdf
- Složka Amphenol
 - Dokumentace k použitým konektorům – kon.pdf

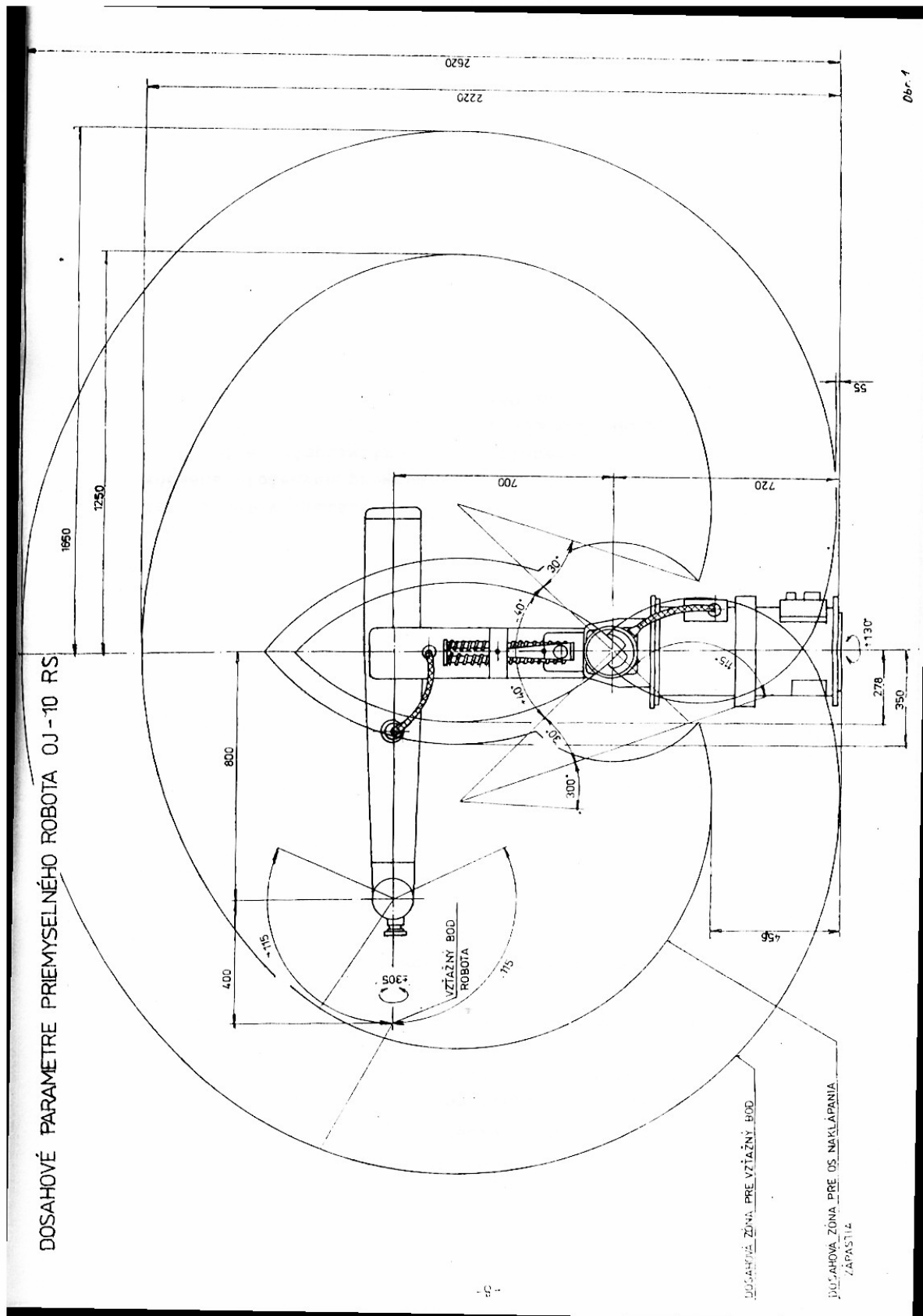
Příloha A

Dokumentace původních dosahových parametrů OJ10-RS

DOSAHOVÉ PARAMETRE PRIEMYSEL. ROBOTA OJ-10 RS



Obrázek A.1 Původní dosahové parametry pohled shora

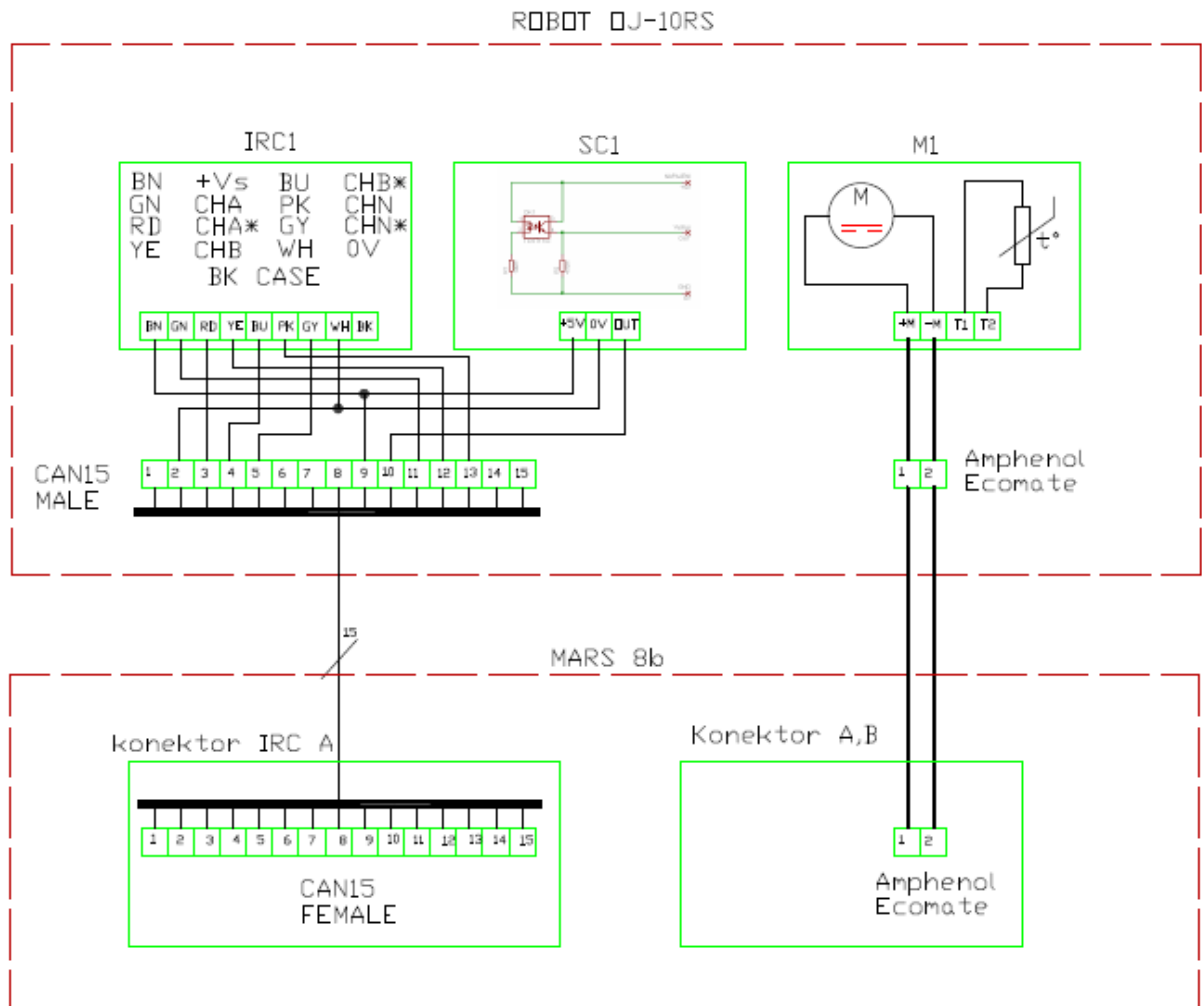


Obr. 1

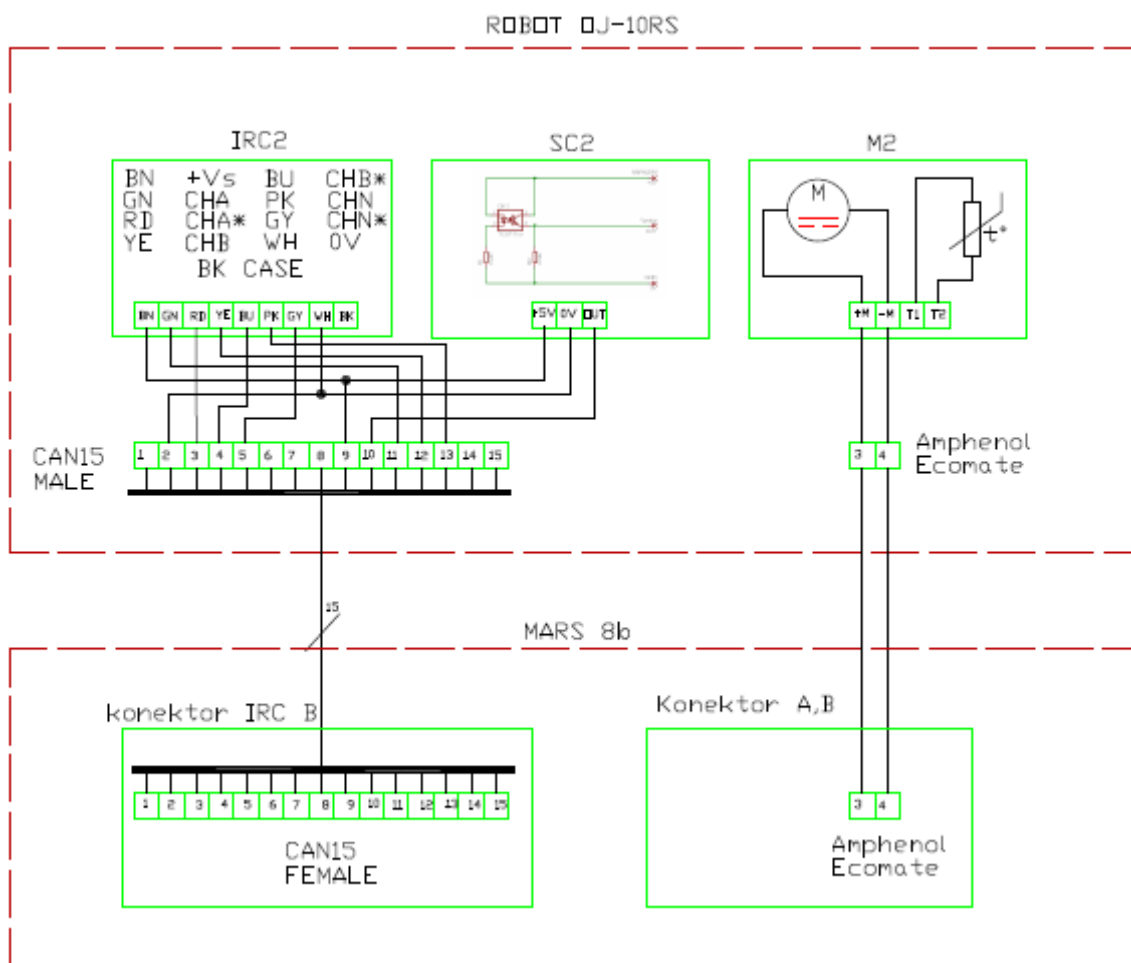
Obrázek A.2 Původní dosahové parametry pohled z boku

Příloha B

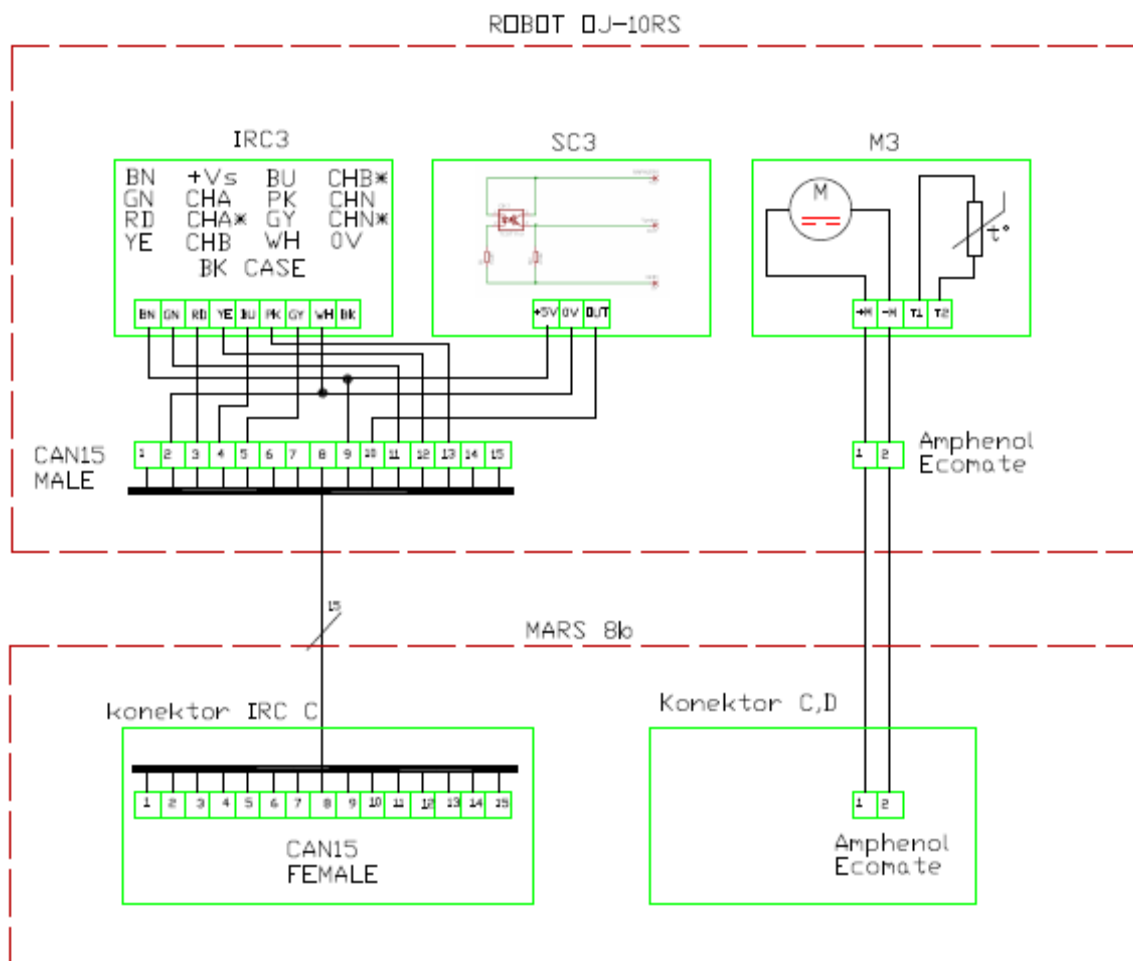
Dokumentace propojení mezi robot OJ-10RS a MARS 8b



Obrázek B.1 Připojení IRC1, M1 a SC1 k MARS 8b

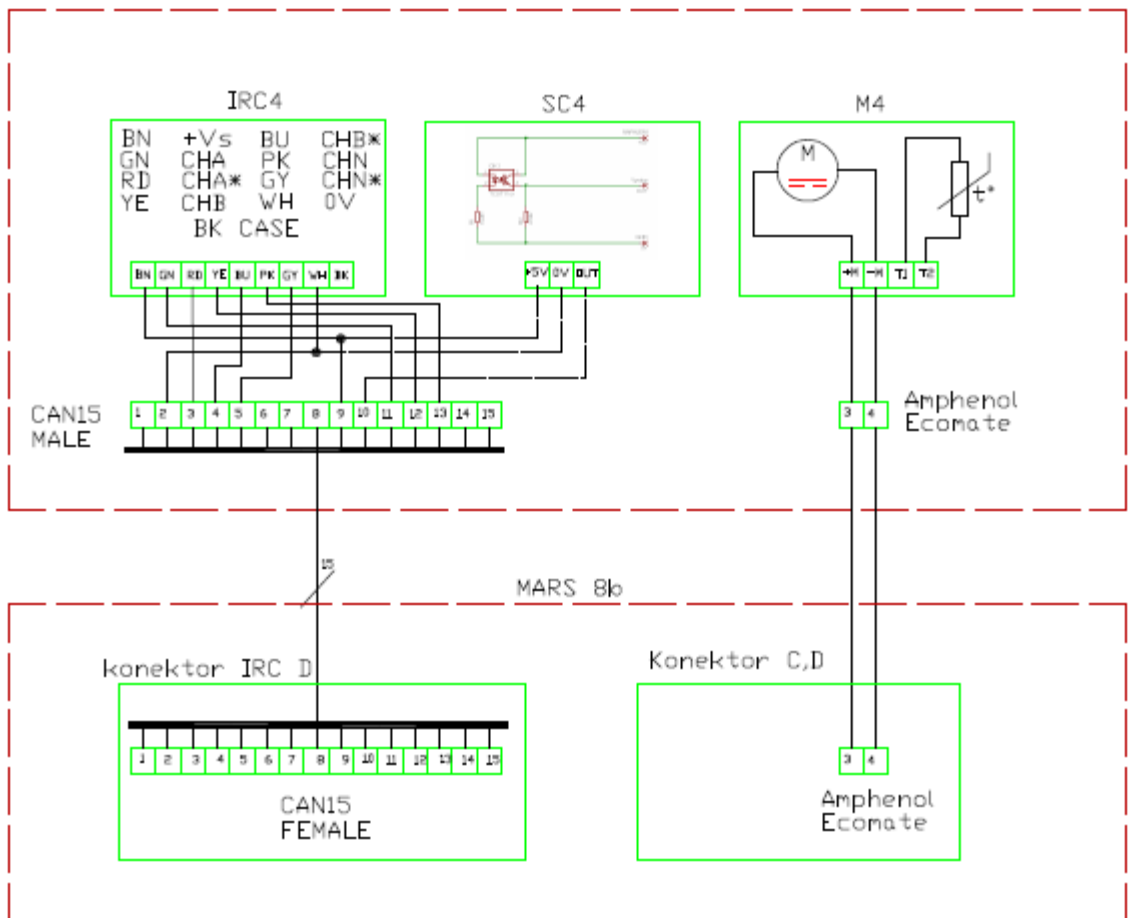


Obrázek B.2 Připojení IRC2,M2 a SC2 k MARS 8b



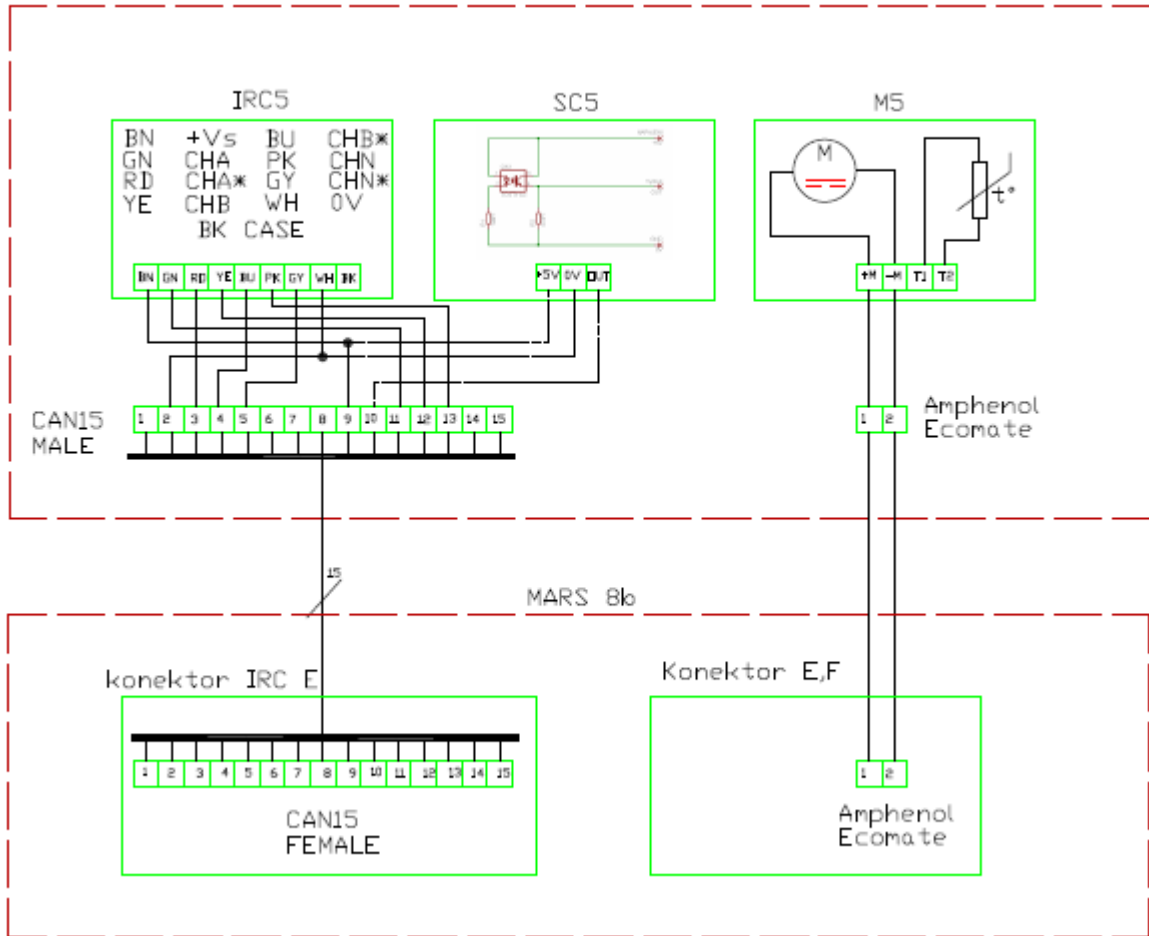
Obrázek B.3 Připojení IRC3,M3 a SC3 k MARS 8b

ROBOT DJ-10RS

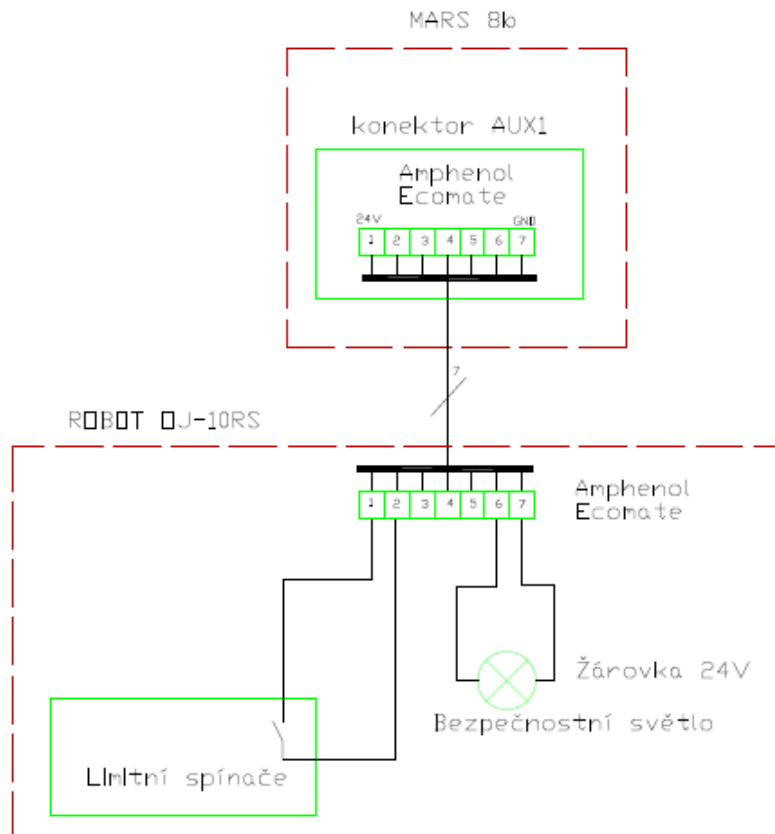


Obrázek B.4 Připojení IRC4,M4 a SC4 k MARS 8b

ROBOT OJ-10RS



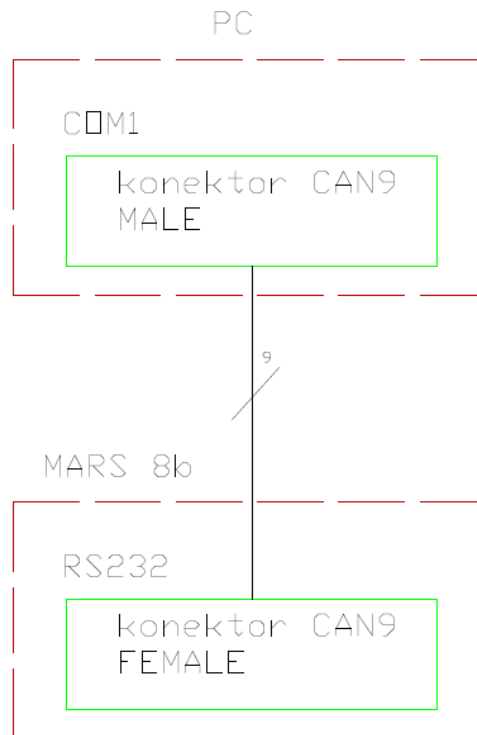
Obrázek B.5 Připojení IRC5,M5 a SC5 k MARS 8b



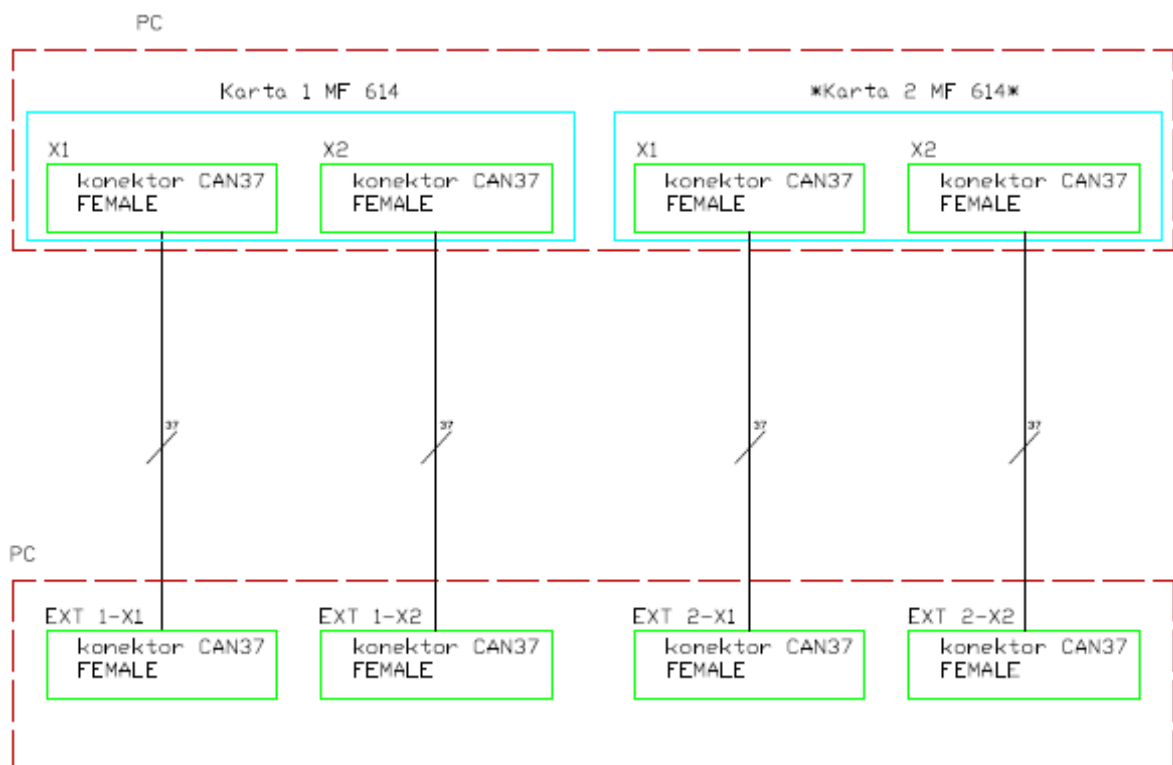
Obrázek B.5 Připojení bezpečnostního světla a limitních spínačů

Příloha C

Dokumentace propojení mezi MARS 8b a PC



Obrázek C.1 Propojení MARS 8b a PC přes RS232



Obrázek C.2 Připojení karet HUMUSOFT MF614 k MARS 8b

pin	X1	X2	EXT 1-X1	EXT 2-X1	EXT 1-X2	EXT 2-X2
1	AD0	IRC0A+	LEM A	LEM E	IRCA A+	IRCE A+
2	AD1	IRC0A-	LEM B	LEM F	IRCA A-	IRCE A-
3	AD2	IRC0B+	LEM C	LEM G	IRCA B+	IRCE B+
4	AD3	IRC0B-	LEM D	LEM H	IRCA B-	IRCE B-
5	AD4	IRC0I+			IRCA I+	IRCE I+
6	AD5	IRC0I-			IRCA I-	IRCE I-
7	AD6	IRC1A+			IRCB A+	IRCF A+
8	AD7	IRC1A-			IRCB A-	IRCF A-
9	AGND	IRC1B+	AG	AG	IRCB B+	IRCF B+
10	AGND	IRC1B-			IRCB B-	IRCF B-
11	GND	IRC1I+			IRCB I+	IRCF I+
12	DIN0	IRC1I-	MARK A	MARK E	IRCB I-	IRCF I-
13	DIN1	IRC2A+	MARK B	MARK F	IRCC A+	IRCG A+
14	DIN2	IRC2A-	MARK C	MARK G	IRCC A-	IRCG A-
15	DIN3	IRC2B+	MARK D	MARK H	IRCC B+	IRCG B+
16	DIN4	IRC2B-	KSW		IRCC B-	IRCG B-
17	DIN5	IRC2I+	PWR OK		IRCC I+	IRCG I+
18	DIN6	IRC2I-	IEXT CTR		IRCC I-	IRCG I-
19	DIN7	GND			GND	GND
20	DA0	IRC3A+			IRCD A+	IRCH A+
21	DA1	IRC3A-			IRCD A-	IRCH A-
22	AGND	IRC3B+			IRCD B+	IRCH B+
23	DA2	IRC3B-			IRCD B-	IRCH B-
24	DA3	IRC3I+			IRCD I+	IRCH I+
25	AGND	IRC3I-			IRCD I-	IRCH I-
26	-12V					
27	+12V					
28	+5V	+5V				
29	GND	GND	GND	GND	GND	GND
30	DOUT0	T0IN	DIR A	DIR E		
31	DOUT1	T0OUT	DIR B	DIR F	PWMA	PWME
32	DOUT2	T1IN	DIR C	DIR G		
33	DOUT3	T1OUT	DIR D	DIR H	PWMB	PWMF
34	DOUT4	T2IN	PWR EN			
35	DOUT5	T2OUT	PWR ON		PWMC	PWMG
36	DOUT6	T3IN				
37	DOUT7	T3OUT			PWMD	PWMH

Tabulka C.1 Popis signálů na konektorech pro externí řízení