

PROJEKTOVANJE I REALIZACIJA KONTROLERA ZA ROBOT PUMA 560 PROJEKTOVANJE I REALIZACIJA KONTROLERA ZA ROBOT PUMA 560

Dejan Jokić, Slobodan Lubura, *Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo*
Goran S. Đorđević, *Elektronski fakultet Niš*

Sadržaj – U ovom radu opisana je fizička realizacija novog kontrolera za upravljanje robotom PUMA 560. Isti je projektovan i realizovan na Elektrotehničkom fakultetu u Istočnom Sarajevu za potrebe izučavanja algoritama upravljanja industrijskim robotima. U radu su date osnovne karakteristike realizovanog kontrolera robota za pogon tri osnovne ose robota PUMA 560 te načinu povezivanja i priključenja na računar.

Sadržaj – Material realisation of new controller used for robot PUMA 560 is described in this paper. It is projected and realised at Faculty for Electrical Engineering in East Sarajevo for the purpose of industrial robots control algorithm study. Basic characteristics for the basic three axis drive of the PUMA 560 robot controller are provided, as well as the means for connecting it to the computer.

1. PUMA ROBOTI [1]

Jedan od najpoznatijih proizvoda prve kompanije za proizvodnju robota „Unimation“ bio je manipulacioni robot PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly). Konstruisao ga je poznati konstruktor manipulacionih robota Vic Scheinman. Razvoj navedenog robota finansirao je „General Motors“ za svoje potrebe. PUMA robot je prvi industrijski robot koji se pojavio krajem šezdesetih godina prošlog vijeka. Postoje tri osnovne generacije PUMA robota: PUMA 260, PUMA 560 i PUMA 760. Različitih su dimenzija a shodno tome različita im je i oblast primjene. Kasnije su se zadržale osnovne performanse manipulatora ali se znatno napredovalo sa upravljanjem manipulatora. Kontroleri koji se koriste za upravljanje PUMA robota su: MARK1, MARK 2 i MARK 3 a programski jezici koje koriste su VAL 1 i VAL2.



Slika 1. PUMA 560 u industriji

U industriji korišteni su za obavljanje od najjednostavnijih zadataka kao što je sakupljanje alata, sortiranje proizvoda pa do veoma važnih zadataka kao što je rad u nuklearnim postrojenjima gdje se koristila PUMA 760 koja je

mijenjala čovjeka u prostorijama i zadacima opasnim po život. Za poslove koji zahtijevaju savlađivanje većeg tereta, zavarivanje, brušenje, itd. koristila se generacija robota PUMA 560. Na slici 1. možemo da vidimo primjenu PUMA robota u industriji.

PUMA roboti su projektovani prvenstveno za potrebe industrije ali su našli primjenu i u medicini, gdje se koriste i u medicinske svrhe pri rehabilitaciji pacijenata. Danas se PUMA roboti koriste u laboratorijama i univerzitetima kao osnova za izučavanje industrijskih robota. u edukativne svrhe.

1.1. KARAKTERISTIKE ROBOTA PUMA 560

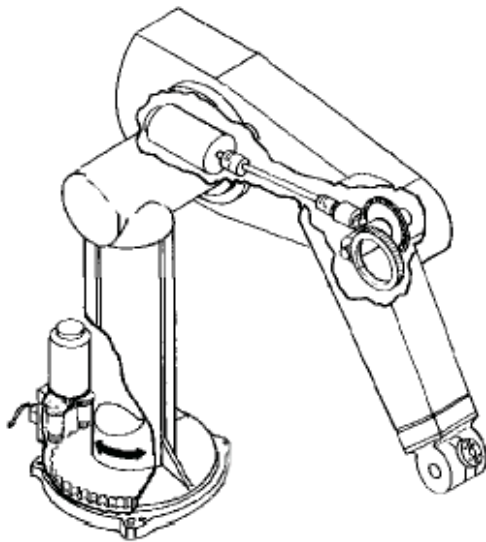
Familija PUMA robota imaju šest stepeni slobode tj. šest obrtnih zglobova koji se pogone DC motorima. Tri veća motora pogone prva tri zgloba (160 W) a tri manja (80 W) preostala tri zgloba. Napajanje motora je 40V. Odlikuje ga fabrička tačnost i dugoročna ponovljivost od 0.1 mm krajnje pozicije. Podaci za robot PUMA 560 dati su u tabeli 1.

Opšti podaci	Zglobovi	6
	Pokretanje	DC motori
	Kontrola pozicije	Inkrementalni enkodери Potenciometri
Radni prostor	Radni prostor	360° na lijevu i desnu stranu
	Maksimalni domašaj	864 mm između zgloba 1 i zgloba 5
	Granica zgloba 1	320°
	Granica zgloba 2	270°
	Granica zgloba 3	270°
	Granica zgloba 4	280°
	Granica zgloba 5	200°

	Granica zgloba 6	532°
Nosivost	Nominalna nosivost	4 kg, 2,5 kg za 127 mm od zgloba 5 i 37.6 mm od zgloba 6
Tehničke osobine	Ponovljivost	+/- 0.1 mm
	Maksimalna brzina	1.00 m/s
Radna temperatura	Temperatura	5-40°C
Težina	Težina manipulatora	63 kg

Tabela 1. Opšti i tehnički podaci

Kinematička struktura manipulatora je serijska i trrotacijska, što znači da su članci nadlaktice i podlaktice direktno povezani i čine otvoreni kinematički lanac sa zglobovima ramena, lakta i šake.



Slika 3. PUMA 560

Svaki od prvih tri zgloba (JT1: pojasni, JT2: rame i JT3: lakat), opremljeni su elektro-magnetnim kočnicama, koji zahtijevaju da budu otkočeni prije nego što zglob počne da izvršava kretanje. Ove kočnice zaustavljaju kretanje manipulatora prekidom napajanja, te na taj način doprinose brzom zaustavljanju manipulatora u vanrednim uslovima. Svi zglobovi posjeduju motore sa enkoderom i potencijetrom. Oni daju povratnu informaciju kontroleru o poziciji motora i zgloba. Svi zupčanci koji se koriste u manipulatoru posjeduju trostruku oprugu.

Na slici 2. prikazane su hvataljke koje PUMA roboti koriste. Hvataljke robota pokreću se pneumatski.



Slika 2. Hvataljke PUMA robota

2. PUMA KONTROLERI

2.1. OPIS STAROG KONTROLERA MARK1

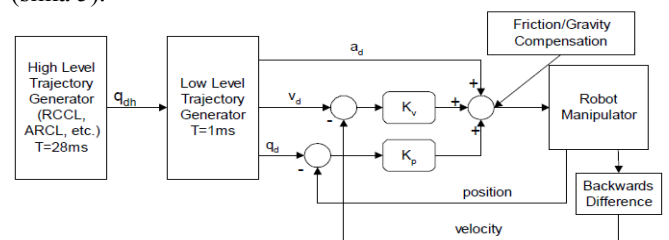
Robot PUMA 560 koji posjedujemo u Laboratoriji za robotiku i mehatroniku upravljan je sa MARK 1 kontrolerom. PUMA 560 koristi sve navedene vrste kontrolera ali najčešće srećemo MARK 2 i Unival kontrolere i VAL2 jezik. MARK 1 kontroleri imaju odvojene digitalne i analogne servo ploče dok su u novijim generacijama MARK kontrolera obje ploče integrisane u jednu. U kontroleru se još nalazi interfejs za manipulator, upravljački računar, napajanje motora i kočnica. Digitalne ploče izvršavaju komande kao što je krajnja pozicija, očitavanje vrijednosti napona sa potencijetra i enkodera i razne druge parametre kao što su određivanje pozicione kontrolne petlje uzimajući informacije svakih 28 ms. One su povezane preko obostranih veza sa analognim servo pločama koje izvršavaju upravljanje po brzini i struji. Svaka analogna ploča izvršava kontrolu unutrašnje strujne petlje zgloba i obezbjeđuje automatsku reakciju između sin/cos enkodera i digitalne ploče. Na slici 4. prikazan je MARK 1 kontroler.



Slika 4. Unimate kontroler Mark1

2.2. REDIZAJNIRANI MARK II KONTROLER (Qrobot) [8]

Prije desetak godina na Univerzitetu Clemson vršena su istraživanja upravljanja robotom Puma 560 uz pomoć PC računara. Tom prilikom izvršena je modifikacija kontrolera MARK II, baziranog na programskom jeziku VAL II. Novi, moderniji kontroler nazvan je Qrobot. Za te potrebe razvijen je namjenski softver i interfejs RCCL/RCI (Robot Control C Library/Real time Control Interface). Glavni nedostatak ovog interfejsa je što nije dozvoljavao modifikacije na „niskom nivou“ (low level controle) upravljanja i ubacivanje dodatnih podataka sa vanjskih senzora u low level upravljački sistem (slika 5).

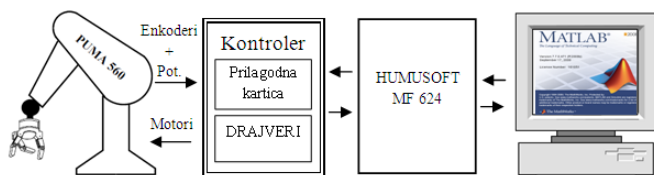


Slika 5. Upravljanje radom manipulatora.

Da bi prebrodili navedena ognjičenja, projektanti ovog QRobot kontrolera predložili su razvoj fleksibilnog PC okruženja manipulatora. Cilj ovakvog pristupa je dozvoliti korisniku da mijenja low level kontrolu upravljanja, prema svojim potrebama i da pri tome koristi različite senzore (osim onih koji se nalaze na motorima) čija očitavanja je moguće uvrstiti u upravljačku petlju prilikom generisanja trajektorije manipulatora.

3. ZAHTJEVI ZA PROJEKTOVANJE KONTROLERA

U posljednje vrijeme teži se upravljanju PUMA robota pomoću PC-a. Time se dobija mogućnost jednostavne implementacije različitih algoritama upravljanja, što je u našem slučaju, pored neispravnosti postojećeg kontrolera, bio glavni motiv za razvoj sopstvenog kontrolera. Upravljanje manipulatorom pomoću računara iz softverskog paketa Matlab na low level nivou (slika 6.) osnovni je zahtjev prilikom projektovanja našeg kontrolera.



Slika 6. Blok šema sistema upravljanja

Kod rješavanja problema upravljanja robotom, potrebno je:

- izvršiti izbor odgovarajuće akvizicione kartice,
- isprojektovati odgovarajuće drajvere,
- isprojektovati odgovarajuću prilagodnu karticu,
- ožičiti kompletan sistem i
- isprogramirati upravljačku petlju.

Kontroler čine drajveri, prilagodna kartica i upravljački računar. U našem slučaju upravljački računar predstavlja PC sa prilagodnom karticom i Real Time Windows Target okruženjem.

Uloga drajvera je pojačavanje upravljačkih signala za potrebe napajanja motora. Prihvatanje povratnih signala sa manipulatora (potencijometara i enkodera) i njihovo prilagođenje po obliku i naponu ulaznim signalima akvizicione kartice zadatak je prilagodne kartice.

4. KOMPONENTE PREDLOŽENOG KONTROLERA

4.1. AKVIZICIONA HUMUSOFT KARTICA MF 624 [4]

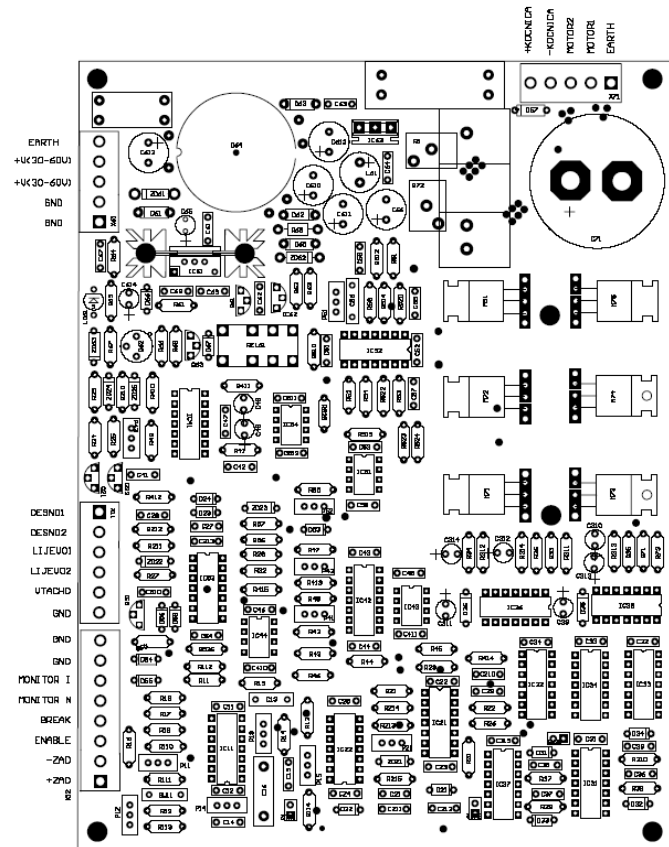
S obzirom na cijenu opreme za specijalne namjene, korišćićemo jeftiniju karticu koja donekle zadovoljava naše zahtjeve. To je multifunkcionalna kartica MF 624 dizajnirana za potrebe povezivanja računara sa procesima, odnosno prihvatanje i obradu signala u realnom vremenu. Za te potrebe ona sadrži 8 brzih kanala sa 14 bitnim A/D konvertorima, po 8 digitalnih ulaza i izlaza, 4 enkoderska ulaza i 5 tajmera/brojača. Dizajnirana je za standardnu akviziciju podataka i upravljanje aplikacijama sa Real Time

Windows Target okruženjem. Multifunkcionalnoj kartici MF 624 posjeduje dva konektora DB -37 sa oznakama X1 i X2 za analogne i digitalne signale.

4.2. UPRAVLJANJE MOTORIMA [3]

Za upravljanje radom motora koristimo drajvere koji su takođe projektovani i realizovani u saradnji Elektrotehničkog fakultetu Istočno Sarajevo i firme K – Inel.

Na sljedećoj slici 7. dat je raspored komponenti, odnosno izgled četverokvadrantnog pojačavača dobijen iz softverskog paketa Protel 99. Za naše potrebe korištena su tri drajvera za upravljanje osnovnom konfiguracijom manipulatora.



Slika 7. Izgled drajvera pruzet iz Protel 99

Sa računara dovodimo zadatu analognu vrijednost na priključak +ZAD, koju drajver „pojačava“, generišući impulse koji upravljaju radom H mosta na čije krajeve je direktno priključen motor. Od ulaznih veličina imamo još ENABLE i BREAK. Izlazna veličina koja nam je bitna za upravljanje je informacija o struji motora a ona se dobija na izlazu MONITOR I.

Napajanje za ove drajvere je lako obezbjediti jer se zahtjevani napon nalazi u širokom opsegu od 30 V do 60 V.

4.3. INKREMENTALNI ENKODERI I POTENCIOMETRI [1] [2]

Polozija motora, odnosno zgloba, određuje se pomoću inkrementalnog enkodera, čije su karakteristike date u tabeli 2, i potencijometara. Oni su spojeni na osovinu motora. Informaciju o poloziji motora daje enkoder a polozije

zglobova manipulatora daju potencimetri. Napajanje enkodera i potencimetara iznosi 5V.

Zglob	Rezolucija enkodera po obrtaju motora	Izbrojani impulsi po obrtaju motora	Prenosni odnos zupčanika	Preciznost pozicije zgloba
1	250	1000	62.61	0.0058°
2	250	1000	107.36	0.0042°
3	250	1000	53.69	0.0067°
4	250	1000	76.01	0.0047°
5	250	1000	71.91	0.0050°

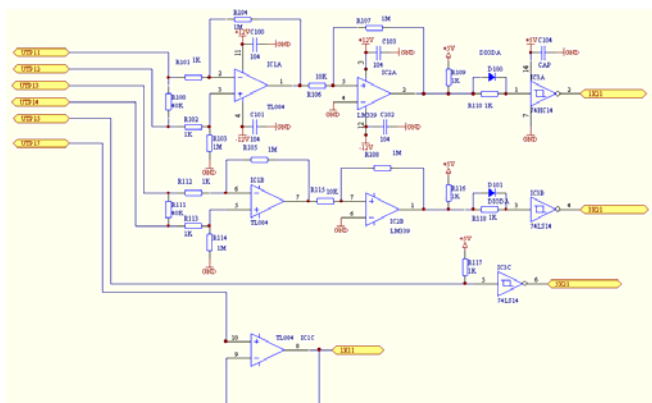
Tabela 2. rezolucija enkodera

Kontroler od svake ose kretanja prima impulse o poziciji motora pomoću enkodera. Enkoder generiše dva sin/cos signala, za kanal A i kanal B i oni su međusobno fazno pomjereni za $\pi/2$. Smjer kretanja se određuje zavisno od toga koji kanal prednjači.

Naime, enkoderski signal je 1 Vpp a akviziciona kartica na računaru prihvata TTL signal (napon 5V), pa je potrebno izvršiti prilagođenje signala. Pomoću prilagodne elektronike za enkodere sinusne signale pretvaramo u četvrtke a pomoću XOR kola povećavamo rezoluciju enkodera četiri puta, tako da dobijemo 1000 impulsa po obrtaju motora. Tako, na primjer, za zglob 1 gdje je odnos preko zupčanika 62:1 dobijamo preciznost od 0.0058° za zglob.

4.3.1. PRILAGODNA KARTICA [5]

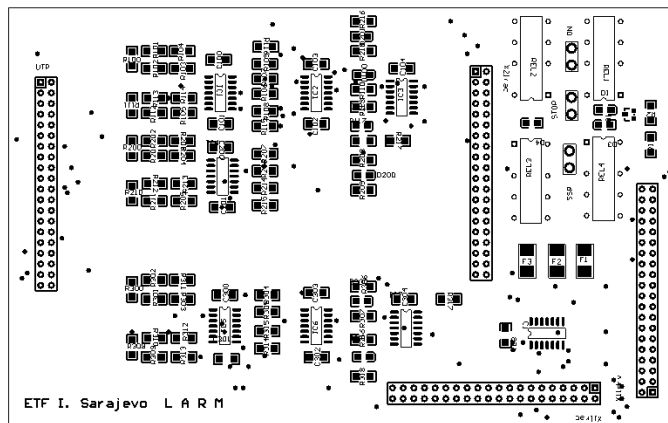
Naša prilagodna elektronika urađena je na Evropa dvostranoj štampanoj ploči u SMD tehnologiji i sadrži prilagodnu elektroniku za enkodere (za kanale: A+,A-, B+, B-, Indeks) i potenciometre (slika 8.). Povezivanje motora sa upravljačkim kontrolerom vršili smo preko UTP kablova, gdje su pinovi 1 – 4 enkoderski ulazi, 5 je indeksni pin a 7 je potencimetarski pin.



Slika 8. Šema elektronike za prihvatanje sa enkodera i potencimetra

Na enkoderskim ulazima nalazi se pojačavač (TL 084) sa definisanim velikim pojačanjem kako bi dobili četvrtku sa ostrim ivicama. Dodatnu oštrinu dobijamo uz pomoć naponskog komparatora LM 339. Prilagođenje ovog signala (+12V, -12V) na TTL naponski nivo vršimo upotrebom kola 40106. Za razliku od enkoderskog signala koji zahtjeva prilagođenje, kod potencimetarskog signala (0 – 5 V)

vršimo samo impedantno odvajanje sa TL 084 kolom. Na sljedećoj slici 9. prikazan je raspored komponenti, odnosno izgled prilagodne elektronike čije su dimenzije 160 X 100 mm.

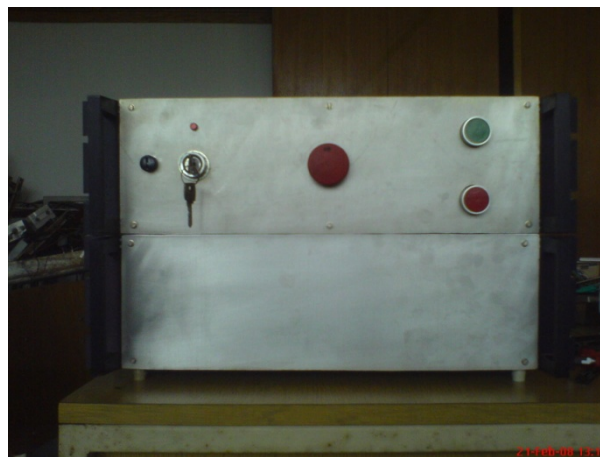


Slika 9. Izgled prilagodne kartice preuzet iz softverskog paketa Protel 99.

Možemo uočiti četiri 40 pinska konektora koja su ostala od prve varijante ove elektronike koja je opsluživala sve motore. Međutim, zbog jednostavnosti realizacije prilagodne kartice i fizičkih ograničenja multi I/O kartice, koja podržava najviše 4 stepena slobode, odlučili smo da realizujemo prilagodnu karticu za osnovnu konfiguraciju svakog industrijskog robota tj. 3 stepena slobode.

5. NOVI KONTROLER [3] [5]

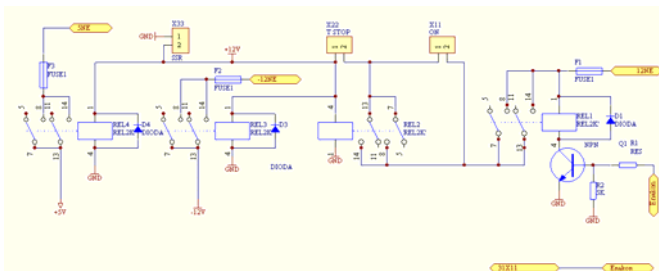
Naš kontroler (slika 10) sadrži napajanje preuzeto iz MARK 1 kontrolera, što je ustvari, i jedini zajednički sklop koji sadrže oba kontrolera. Ovo napajanje koristi se za napajanje drajvera koji upravljaju radom motora.



Slika 10. Kontroler razvijen na ETF-u Istočno Sarajevo

Kod realizacije glavnog napajanje kontrolera, vodilo se dosta računa o bezbjednosti korisnika, odnosno o samom isključenju, zaustavljanju, robota u nepredviđenim situacijama. Da bi uključili kontroler, odnosno, napajanje drajvera, potrebno je ispuniti više uslova. Prvo, kontroler mora biti priključen na karticu koja se nalazi u računaru, te na taj način prilagodnu karticu priključujemo na napajanje sa računara +12 V, -12 V, +5 V. Zatim, iz softverskog paketa Matlab, preko softverski implementiranog prekidača,

dovodimo logičku jedinicu na digitalni izlaz 31X11 što za posljedicu ima uključenje NPN tranzistora i uključenje prvog releja REL 1, naznačenog na narednoj slici 11.



Slika 11. Električna šema napajanja prilagodne elektronike i kontrolera

Uključenjem ovog releja, za nastavak procedure uključivanja kontrolera čeka se uključivanje zelenog tastera na prednjoj strani kontrolera. Njegovim uključivanjem uključujemo releje, koji omogućavaju napajanje elektronike sa +12 V, - 12 V i 5V na prilagodnoj pločici, samo ako je mirni taster STOP isključen. Pored ovih releja imamo priključak za SSR (Solid State Relej) koji se nalazi u ulaznom krugu glavnog napajanja te uključuje glavno napajanje, tj. napajanje drajvera. U slučaju odvajanja kontrolera sa računara ili pritiskom na STOP taster isključujemo napajanje drajvera i trenutno zaustavljamo robot.

U kontroleru imamo tri drajvera za upravljanje radom tri motora i prilagodnu karticu za obradu signala što je prikazano na narednoj slici 12.



Slika 12. Izgled kontrolera odozgo

Na zadnjoj strani kontrolera nalazi se štampana ploča sa konektorima za priključenje motora i signala sa motora. Brojevima su označeni zglobovi i za svaki zglob upotrebljena su dva konektora. Jedan konektor predviđen je za napajanje motora, a kod prvog zgloba sadrži i kočnicu koja je zajednička za sva tri motora.

Iznad ovih konektora nalaze se drugi UTP konektori sa standardnih osam žica koje su upotrebljene za enkodere (4), indeks (1), potencijometar (1) i napajanje (2).

Kontroler priključujemo na računar sa dva 37 pinska flet kabla jer se na kartici na računaru nalazi dva DB - 37 konektora. Flet kablovi na drugoj strani imaju 40 pinski konektore koji odgovaraju konektorima koji se nalazi na prilagodnoj elektronici. Prvi flet kabal nosi oznaku X11 (na kartici na računaru je označen X1) za analogne signale a drugi X21 (na kartici na računaru je označen X2) za digitalne enkoderske signale.

Na prilagodnu elektroniku priključujemo još dva flet kabla, prvi sa oznakom UTP za povratne signale sa tri zgloba i drugi za povezivanje drajvera na prilagodnu elektroniku (Enable, brake, mjerenje struje i zadate analogne vrijednosti brzine).

6. ZAKLJUČAK

Tema ovog rada bila je fizička realizacija kontrolera za robot PUMA 560, povezivanje kontrolera (ožičenje) sa manipulatorom i računaru te stavljanjem u funkciju prve tri ose. Ovaj zadatak je realizovan, sa manjim nedostacima, koji će biti otklonjeni u narednom periodu. Pri tome misli se na završetak mehaničke (estetske) obrade kontrolera i na softversku implementaciju predviđenog tastera za zauzimanje početne pozicije manipulatora poznate kao HOME pozicija. Ovim radom dobili smo solidan laboratorijski resurs koji ćemo koristiti za edukaciju studenata na našem fakultetu.

7. LITERATURA

- [1] Ljubiša Govedarica "Indetifikacija parametara PUMA robota", diplomski rad
- [2] Radomir Tomović "Primjena optičkih enkodera u robotici" diplomski rad
- [3] Slobodan Lubura "Projektovanje, konstrukcija i primjena distribuiranog pogona robota" magistarski rad
- [4] Humusoft MF 624 user's manual
- [5] Dejan Jokić "Projektovanje i realizacija kontrolera za robot puma 560" seminarski rad
- [6] *A Search for Concensues Among Model Parameters Reported for the PUMA 560 Robot*, Peter I. Corke, Brian Armstrong-Helenovrey, ICRA 94, Preston, Australia
- [7] *The Unimation PUMA Servo System*, Peter I. Corke, CSIRO Division of Manufacturing tehnology, Preston , Australia, 1994
- [8] *QRobot – A Multitasking PC Based Robot Control System* N. Costescu, M. Loffler, E. Zergeroglu and D. Dawson Department of Electrical and Computer Engineering Clemson University 1998
- [9] *Robotic toolbox*, Peter I. Corke, CSIRO Division of Manufacturing tehnology, Preston , Australia, 1994

dejan.jokic@etf.unssa.rs.ba, slubura@gmail.com,
milomirsoja@yahoo.com, goran.s.djordjevic@elfak.ni.ac.rs