

TEHNIČKO VELEUČILIŠTE U ZAGREBU
STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE / STROJARSTVA

Sebastijan Vuković

**AUTOMATIZACIJA ROBOTSKE RUKE SA
ELEKTROPERMANENTNIM MAGNETOM**

ZAVRŠNI RAD br. 412

Zagreb, srpanj 2022.

TEHNIČKO VELEUČILIŠTE U ZAGREBU
STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE / STROJARSTVA

Sebastijan Vuković

JMBAG: 0016125181

**AUTOMATIZACIJA ROBOTSKE RUKE SA
ELEKTROPERMANENTNIM MAGNETOM**

ZAVRŠNI RAD br. 412

MENTOR:

Prof.dr.sc. Dario Matika

Zagreb, srpanj 2022.

Zagreb, 11. svibnja 2022.

Veleučilište - Tehničko veleučilište u Zagrebu
odjelno
organizirano:
Predmet: **Elektromotorni pogoni**
Grana: **2.03.06 automatizacija i robotika**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 412

Pristupnik: **Sebastijan Vuković (0016125181)**
Studij: Stručni studij mehatronike

Zadatak: **Automatizacija robotske ruke s elektropermanentnim magnetom**

Opis zadatka:

Zadatak završnog rada je automatizirati robotsku ruku u ručnom i automatskom modu. Kao hvataljku robotske ruke koristiti elektromagnet koji prenosi feromagnetne objekte. Za kretanje robotske ruke koristiti servomotore, za ručni rad koristiti joystick, napajanje ostvariti strujnim putem i upravljati pomoću MOSFET-a kojim se reguliraju servomotori. Odrediti kinematiku robota i potrebne kuteve servomotora kako bi se robot mogao dovesti na zadanu poziciju temeljem vektor konfiguracije zglobova robota. Radnju koju robota mora u ručnom i automatskom modu provesti je podizanje vijka i prebacivanje s jedne na drugu poziciju, uz ispuštanje istog. Rad mikrokontrolera bazirati na Arduinu.

Zadatak uručen pristupniku: 18. svibnja 2022.
Rok za predaju rada: 18. srpnja 2022.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni rad:

prof. dr. sc. Dario Matika

Antonio Antunović, pred.

SAŽETAK

Objekt ovog rada je robotska ruka. Glavni cilj kojem smo težili je bio sama automatizacija, tj. postizanje kinematike kod te robotske ruke, što je značilo da se ona mora sama svojom snagom/silom pokretati i podizati i spuštati nekakav objekt pomoću elektropermanentnog magneta. To smo postigli programiranjem mikrokontrolera te pomoću njega upravljanjem ostalih komponenti čime smo omogućili kontrolu nad servo motorima i elektropermanentnim magnetom koji su tada obavljali zadanu, prije programiranu, radnju.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. SPAJANJE RADA	2
2.1. Shema	2
2.2. Maketa rada	4
3. ARDUINO	5
3.1. Mikrokontroler	5
3.2. Integrirano razvojno okruženje	7
4. ROBOTSKA RUKA	8
5. KOMPONENTE	11
5.1. Elektropermanentni magnet	11
5.2. Napajanje	13
5.3. Servo motori i kinematika	14
5.3.1. Kinematika	16
5.4. Kontrola pomoću MOSFET-a	22
5.4.1. MOSFET	22
5.4.2. Diode	22
5.4.3. Otpornici	23
5.5. Joystick modul	24
6. ZAKLJUČAK	26
7. LITERATURA	27
8. PRILOZI	28

POPIS OZNAKA I KRATICA

Datasheet	tehnički list
Duty cycle	radni ciklus
EPM	elektropermanentni magnet, engl. <i>electropermanent magnet</i>
IDE	integrirano razvojno okruženje, engl. <i>integrated development environment</i>
Joystick modul	modul sa „gljivama“ koje možemo naći na konzolnim kontrolerima
MOSFET	metal-oksidni-poluvodič tranzistor s efektom polja, engl. <i>metal–oxide–semiconductor field-effect transistor</i>
PWM	modulacija širine impulsa, engl. <i>pulse-width modulation</i>

POPIS SLIKA

Slika 1 Shema spajanja na mikrokontroler i joystick modul.....	2
Slika 2 Shema spajanja napajanja	3
Slika 3 Shema spajanja MOSFET-a sa servo motorima i EPM-om	3
Slika 4 Maketa robotske ruke.....	4
Slika 5 Croduino Basic3 pločica [1]	5
Slika 6 Croduino Basic pinout [2]	6
Slika 7 Arduino IDE aplikacija [3]	7
Slika 8 Originalni EEZYbotARM [4].....	8
Slika 9 Poklopac baze robotske ruke	9
Slika 10 Baza robotske ruke	9
Slika 11 Assembly dijelova baze robotske ruke	10
Slika 12 Maketa robotske ruke sa servo motorima i EPM-om.....	10
Slika 13 Princip rada EPM-a [5]	11
Slika 14 Dimenzije i presjek EPM-a [6]	12
Slika 15 Različiti dostupni EPM-ovi [6].....	12
Slika 16 Adapter za napajanje komponenti.....	13
Slika 17 MG996R servo motor [7].....	14
Slika 18 SG90 servo motor [8]	15
Slika 19 Vrijednosti za napon i PWM za SG90 [9]	16
Slika 20 Raspon kretanja kod servo motora za prvi članak.....	17
Slika 21 Raspon kretanja kod servo motora za drugi članak bez pomaka	17
Slika 22 Raspon kretanja kod servo motora za drugi članak s pomakom	18
Slika 23 Paralelnost članaka	19
Slika 24 Raspon kretanja kod servo motora za kretanje baze	19
Slika 25 Trigonometrijska shema kutova α i β	20
Slika 26 1RLZ24N N-kanalni MOSFET [11].....	22
Slika 27 1N4007 diode [12].....	23
Slika 28 Joystick modul PS2 [13]	24
Slika 29 Analogni očitavanja s modula ovisno o smjeru [14]	25

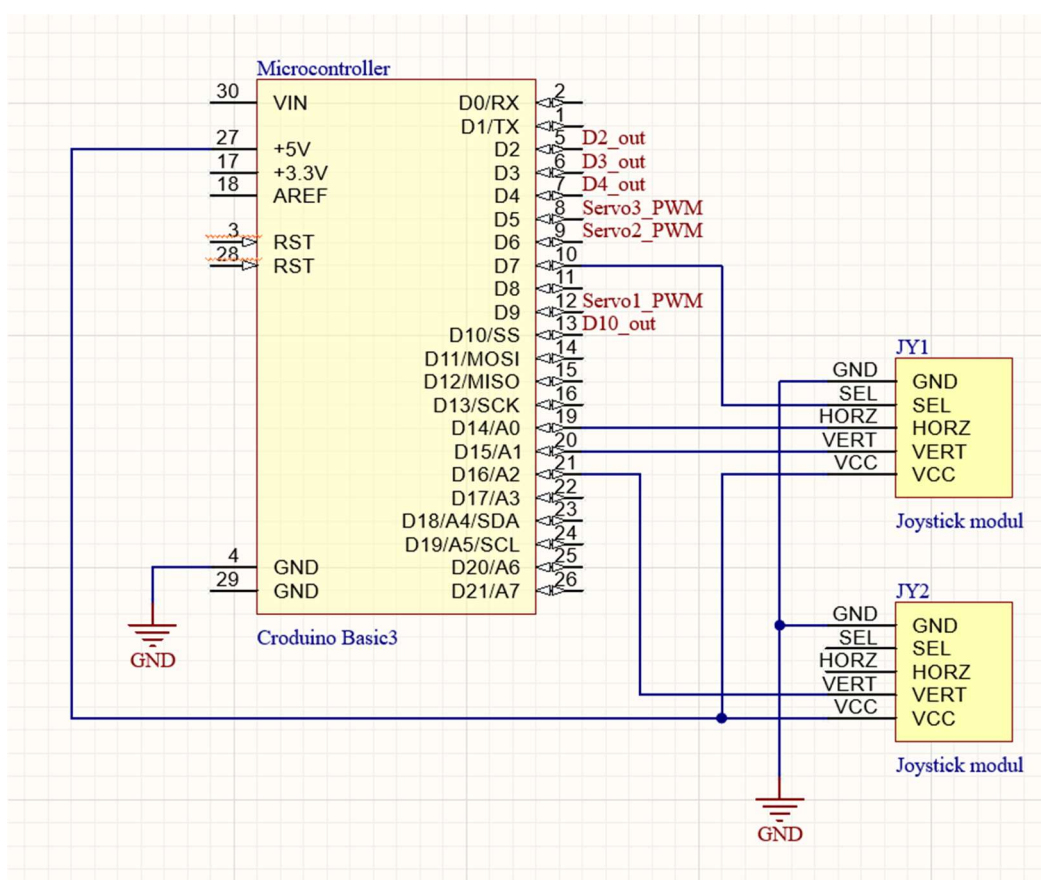
1. UVOD

Robotika je jedno od brzo rastućih polja ovog stoljeća. Unaprijedila je, ubrzala i pojednostavila veliki broj procesa u industriji i samoj proizvodnji. Pojavom mikrokontrolera izrada ovakvih uređaja je postala dostupna i izvan same industrije i pri puno jeftinijim cijenama iako su performanse na njima slabije. Jedno od platforma koja je u toj novoj tehnologiji izrasla je Arduino. Ta platforma se pokazala kao najbolja među kompeticijom te je postala privlačna za sve početnike i hobiste koje je zanimala elektronika i ovaj novi pristup istoj. Arduino je platforma koju smo izabrali za ovaj rad. U ovome završnom radu odrađujemo jednu robotsku ruku koja ima opciju ručnog upravljanja, ali i automatsko obavljanje zadanog zadatka što je i glavni cilj robota. Rad ćemo početi sa prikazom spajanja rada pomoću sheme i prikazom same makete robotske ruke i ostalih komponenata. Zatim ćemo malo opisati Arduino, mikrokontroler i sučelje unutar kojeg se sam programski dio rada pisao. Onda na red dolazi robotska ruka i njezin dizajn. Kako bi ta robotska ruka funkcionirala imamo i ostale komponente koje ćemo tada navesti i opisati kao što su EPM, napajanje, servo motori te uz njih i samu kinematiku, MOSFET-e i komponente potrebne za njihov ispravan rad i na kraju joystick modul. Završavamo rad sa jednim zaključkom koji će obuhvatiti što je naučeno tokom izrade ovog rada.

2. SPAJANJE RADA

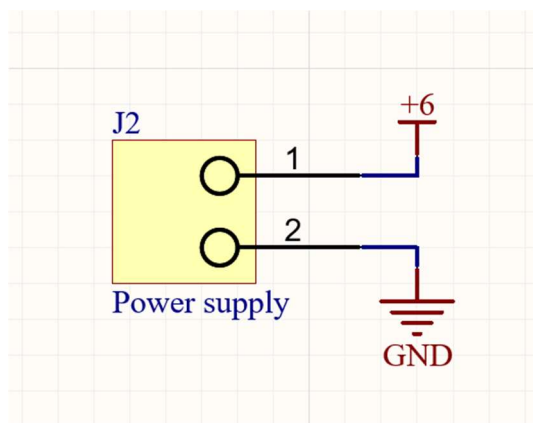
2.1. Shema

Kako bi pokretali cijeli ovaj rad iskoristili smo jednostavan mikrokontroler koji služi za kontrolu svih komponenti i međusobnu komunikaciju, bilo digitalnim ulazima i izlazima ili PWM-om, te napajanje manje zahtjevnih komponenti kao što su joystick moduli. Na Slika 1 možemo vidjeti njihovu shemu spajanja te tzv. *net label* s kojima smo označili spajanje ostalih komponenti na mikrokontroler.



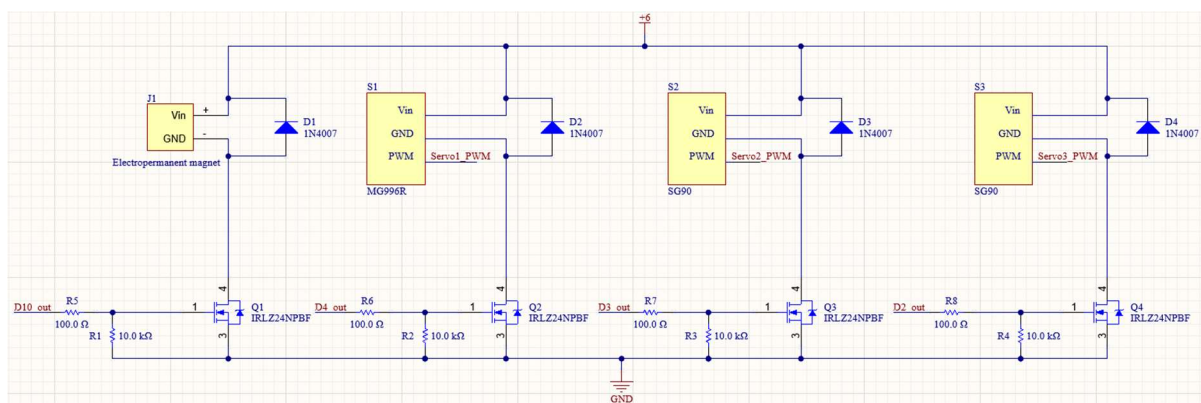
Slika 1 Shema spajanja na mikrokontroler i joystick modul

Za ostale komponente, servo motore i EPM, koristimo dodatno napajanje s naponom od 6V (Slika 2).



Slika 2 Shema spajanja napajanja

Taj napon je sasvim dovoljan za pogoniti navedene komponente no struja od 2.2A nam stvara pad napona pri radu više komponenti u isto vrijeme. Da bi umanjili tu potrošnju, tj. eliminirali sam pad napona, koristimo MOSFET-e kako bi komponente mogle nesmetano raditi. Uz sam MOSFET na Slika 3 vidimo i komponente poput diodi i otpornika čiju ćemo svrhu objasniti u kasnijem poglavlju. Također vidimo prije navedene *net label*e koji označavaju pinove na koje spajamo taj dio sklopa na mikrokontroler.

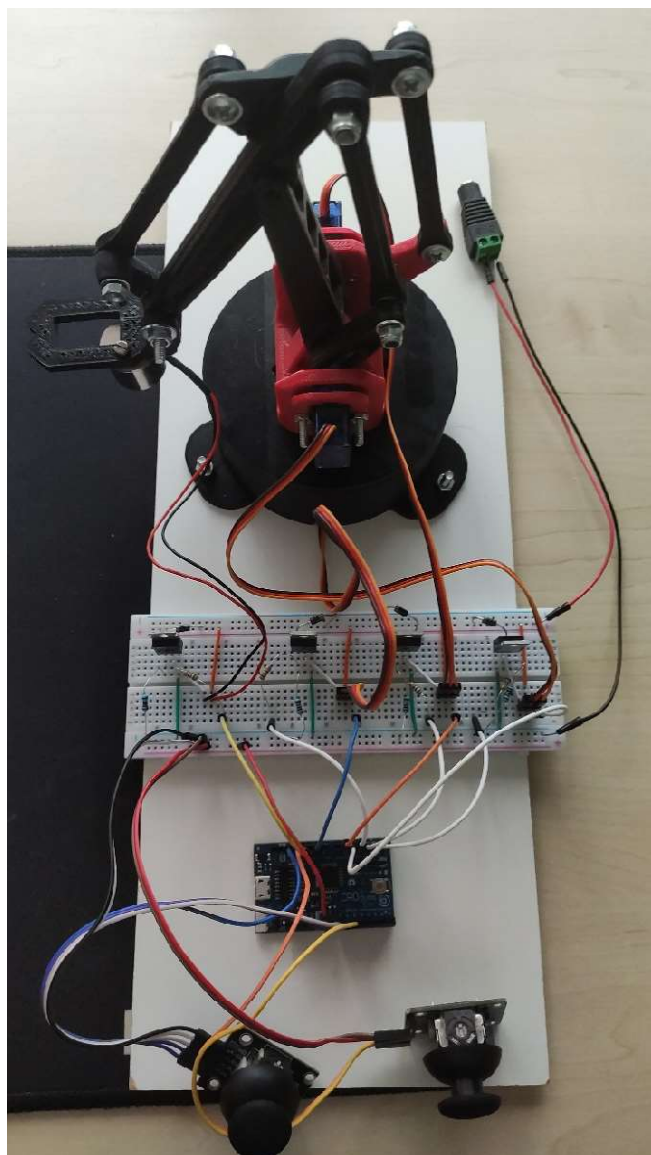


Slika 3 Shema spajanja MOSFET-a sa servo motorima i EPM-om

Sve ove sheme su napravljene ručno u programu CircuitMaker.

2.2. Maketa rada

Sve prije shematski prikazane komponente i spojeve, na Slika 4 možemo vidjeti spojene u cjelinu preko eksperimentalne pločice u jednu funkcionalnu maketu.



Slika 4 Maketa robotske ruke

3. ARDUINO

3.1. Mikrokontroler

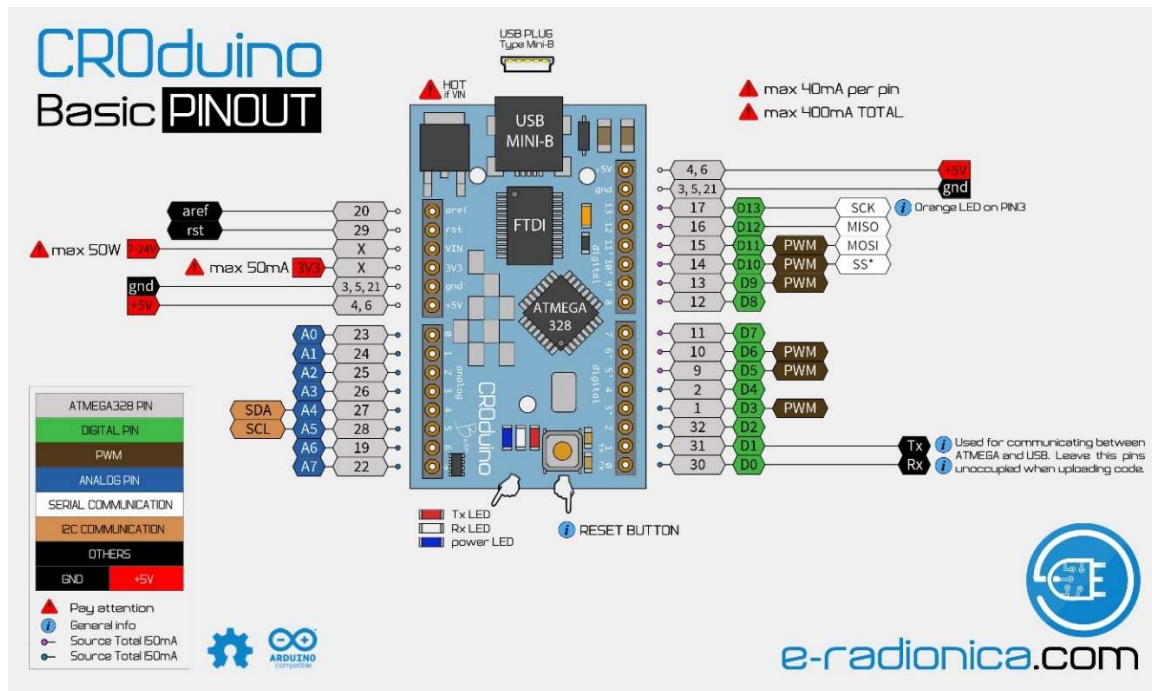
U ovom radu sam se odlučio koristiti Croduino Basic3 pločicom (Slika 5) koja je kompatibilna sa Arduino platformom i bazirana je na Arduino Nano pločici. Proizveden je od strane hrvatskog poduzeća i web-shopa e-radionica te je ujedno dio linije proizvoda ovog tipa s kojim su se prvi put izborili na hrvatskom tržištu. Ova pločica koristi Atmelov Atmega328 mikrokontroler koji ima 22 I/O pina, a za komunikaciju koristi CH340 USB na UART *bridge* [1]. Ona nam služi kako bi interpretirala izlazne podatke komponenata i sama slala „upute“ komponentama ovisno o primljenim podacima ili onima zadanim s naše strane. Time ona stvara sa ostalim komponentama jednu cjelinu.



Slika 5 Croduino Basic3 pločica [1]

Kao što smo već prije naveli ovaj mikrokontroler ima 22 I/O pina. Ti pinovi mogu biti analogni ili digitalni, što znači da šalju ili primaju analogne ili digitalne signale, a na ovom mikrokontroleru možemo naći 8 analognih i 14 digitalnih pinova. Pinovi mogu imati i druge funkcije poput SDA i SCL pinova za I²C komunikaciju, MOSI, MISO i SCK pinove za SPI komunikaciju ili pinove koji mogu slati PWM signal pomoću kojih se mogu kontrolirati komponente poput servo motora koje sam koristio u ovome radu. Osim I/O pinova mikrokontroler ima i druge pinove poput *ground* pinova, pinova sa

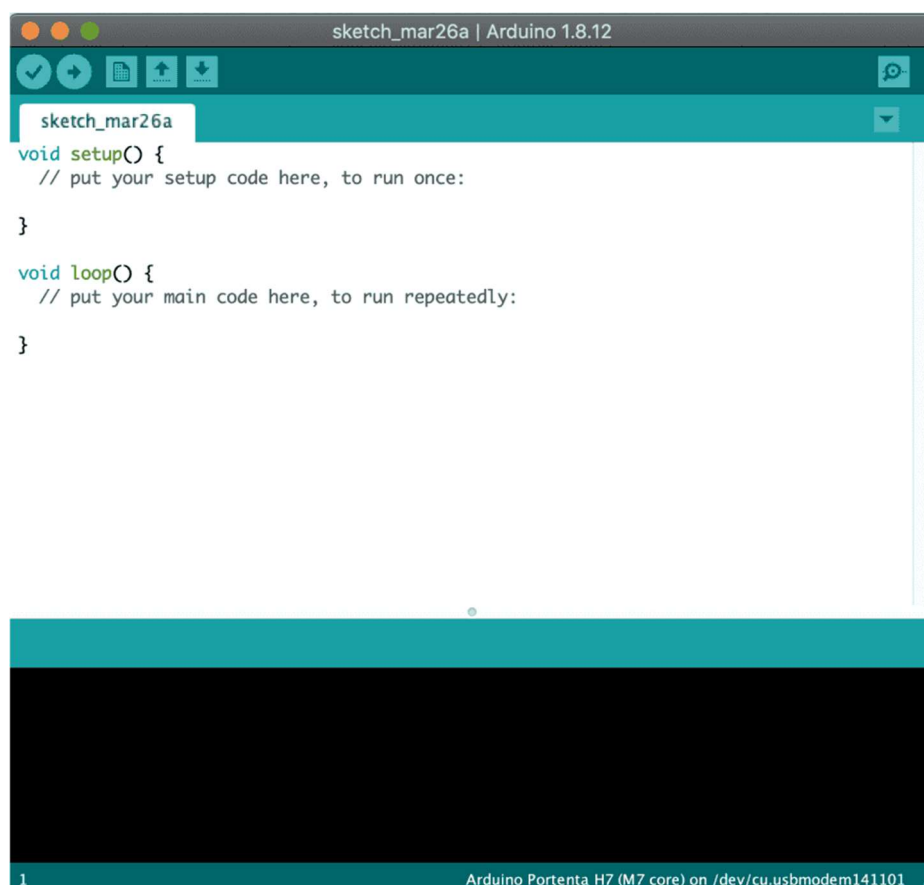
izlaznih 3V3 i 5V za napajanje manje zahtjevnih eksternih komponenti i VIN pin za spajanje vanjskog napajanja za napajanje mikrokontrolera. Sve navedeno se može vizualno vidjeti na tzv. *pinoutu* na Slika 6.



Slika 6 Croduino Basic pinout [2]

3.2. Integrirano razvojno okruženje

Arduino ima svoje razvojno okruženje naziva Arduino IDE. Program je napravljen u Java jeziku, a podržava programiranje u C i C++ jeziku. Za programiranje softvera za ovaj rad sam koristio upravo njega uz kombinaciju Microsoft Visual Code-a sa proširenjem za komunikaciju sa Arduino IDE aplikacijom i obavljanje svih radnji koje možemo i u njoj, ali s Visual Code dobivamo preglednije sučelje i mnoštvo ostalih proširenja koje on podržava. Na Slika 7 možemo vidjeti nekakav početni kod (ili *sketch*) koji dobivamo pokretanjem Arduino IDE aplikacije i sadrži dvije funkcije koje su potrebne za ispravan rad našeg koda na mikrokontroleru.

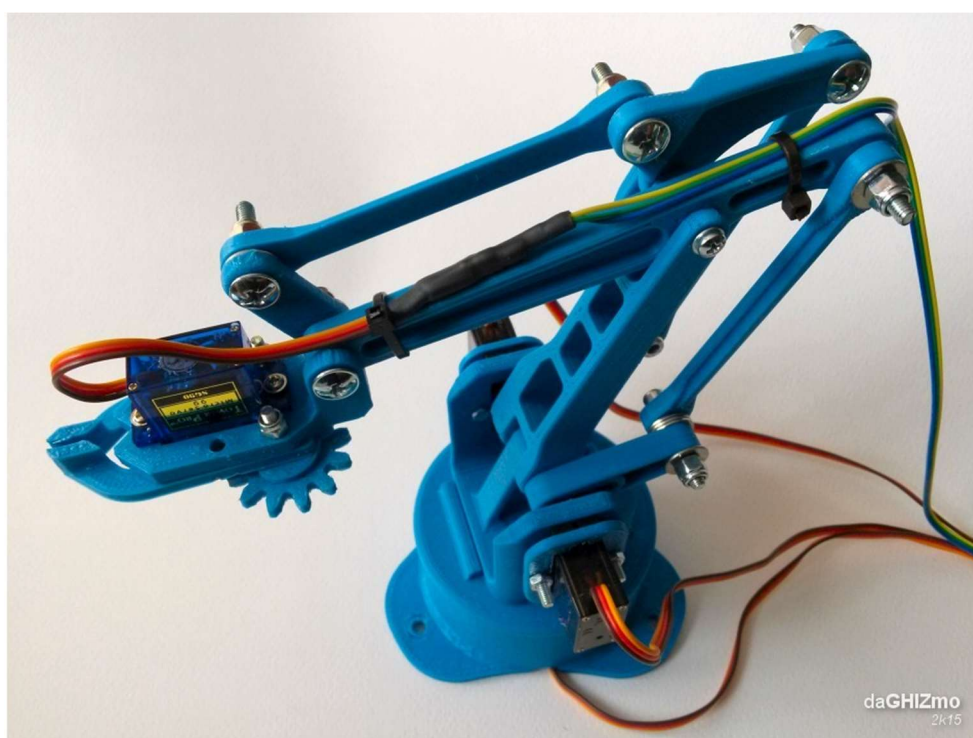


Slika 7 Arduino IDE aplikacija [3]

4. ROBOTSKA RUKA

Najlakša izvedba robotske ruke za potrebe mog rada je bilo 3D printanje. Takvu jednu ruku sam već imao pa sam ju mogao iskoristiti.

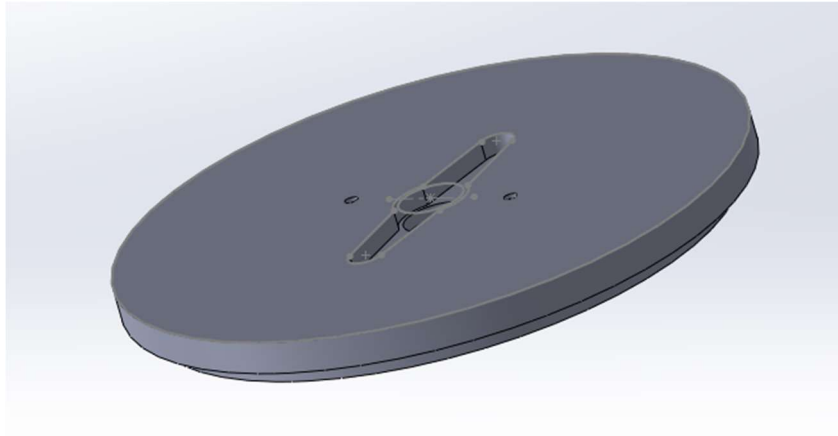
Glavnina ove ruke je bazirana na projektu „EEZYbotARM“ korisnika daGHIZmo na stranici Thingiverse. Cilj tog projekta je bio, kao što vidimo u imenu, dizajnirati „easy“, tj. lagan i jeftin za napraviti robot a da još uvijek izgleda dobro. Također sve komponente potrebne su relativno jeftine i prilično jednostavne za složiti [4]. Izgled tog robota možemo vidjeti na Slika 8.



Slika 8 Originalni EEZYbotARM [4]

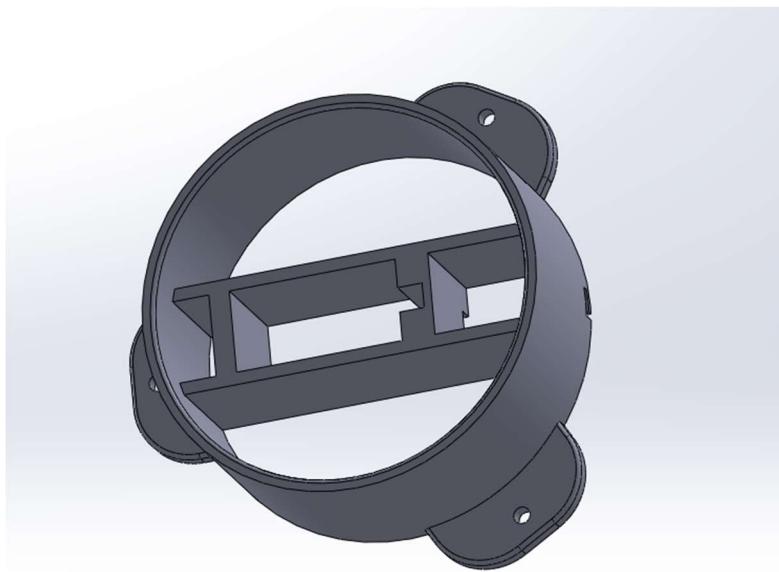
Zato što je moj rad imao neke drugačije potrebe i komponente bile su potrebne određene modifikacije. Hvataljka na kraju ruke je maknuta kako bi se na nju mogao pričvrstiti EPM. Samu bazu sam redizajnirao kako bih mogao staviti veći servo motor. Na slikama Slika 9 i Slika 10 mogu se vidjeti dijelovi te baze, poklopac i samo tijelo baze, a na Slika 11 njihov *assembly* (montaža dijelova).

Na poklopcu možemo vidjeti otvor u koji stavljamo nastavak za servo kroz koji ih spojimo i pomoću kojeg onda okrećemo poklopac (lijevo i desno). Još vidimo i dvije rupe kroz koje pomoću vijaka učvršćujemo ostatak robotske ruke i koja se onda okreće zajedno s poklopcem.



Slika 9 Poklopac baze robotske ruke

U bazu fiksiramo već spomenuti servo motor. Kroz otvor na strani provlačimo njegove žice a 3 proširenja sa rupama služe za učvršćivanje baze na nekakvu podlogu.

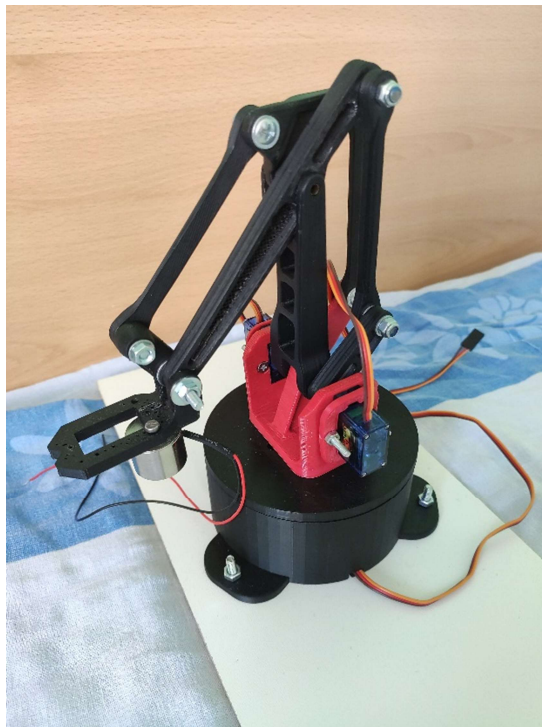


Slika 10 Baza robotske ruke



Slika 11 Assembly dijelova baze robotske ruke

Na Slika 12 možemo vidjeti isprintanu bazu s ostatkom ruke.

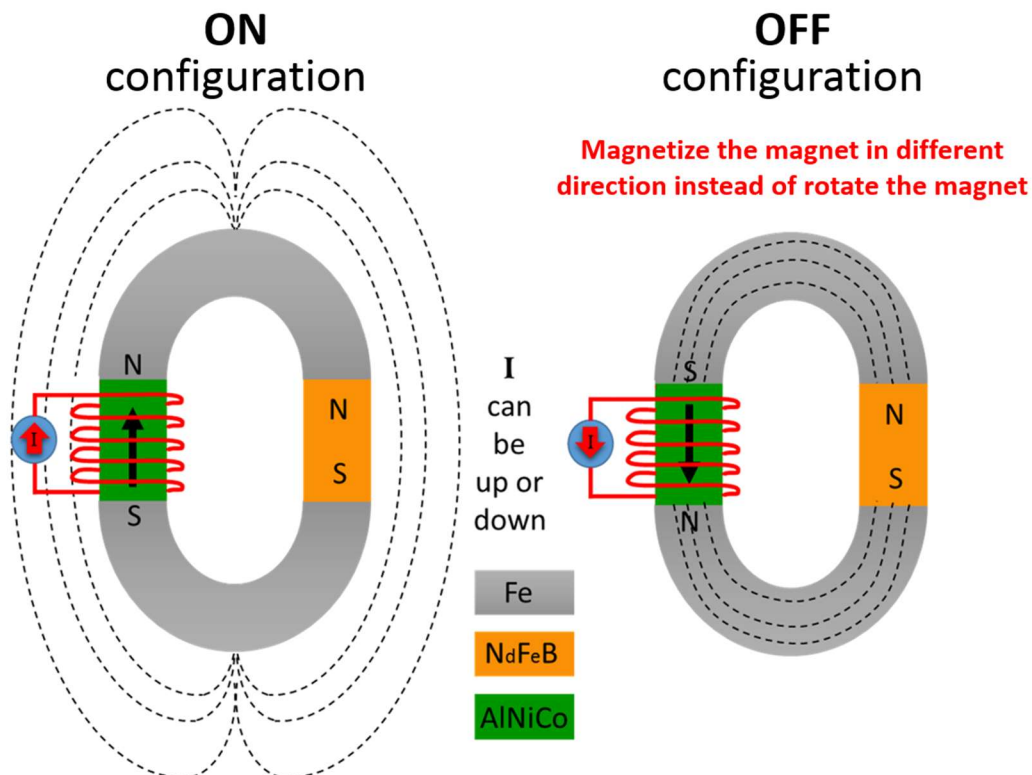


Slika 12 Maketa robotske ruke sa servo motorima i EPM-om

5. KOMPONENTE

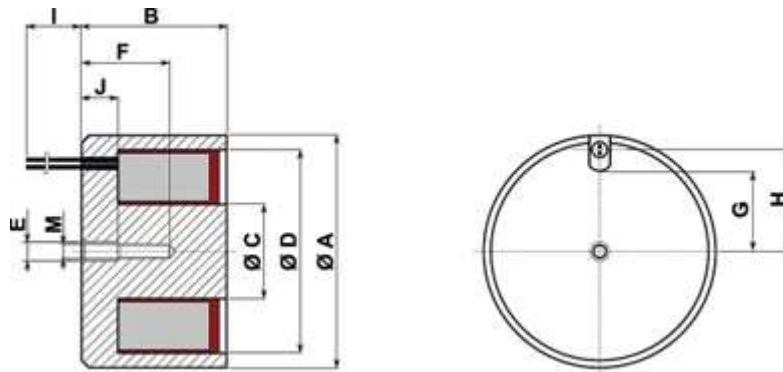
5.1. Elektropermanentni magnet

Kako ne bih izrađivali već klasičnu verziju robotske ruke koja je izrađena veliki broj puta, onu s hvataljkama, odlučili smo se na korištenje EPM-a kojemu je cilj prenošenje feromagnetnih materijala. Ovakav tip magneta radi drugačije nego već nam poznati permanentni magneti i sami elektromagneti ali ima karakteristike obje vrste magneta. Za razliku od elektromagneta EPM funkcioniра kao permanentni magnet dok god ne provodimo struju kroz njega a onda se isključuje, tj. postaje demagnetiziran provođenjem struje, što je suprotna logika od elektromagneta. U tome vidimo sličnosti čistim permanentnim magnetima, koje ova izvedba magneta i ima u sebi. Klasična izvedba sa permanentnim magnetima, bez zavojnice i provođenja struje, se mora fizički okretati kako bi joj promijenili polaritet i time ju demagnetizirali dok izvedba EPM-a to izvršava omotavanjem jednog od magneta zavojnicom, i kao prije navedeno puštanjem struje ga demagnetiziramo, u čemu možemo vidjeti i sličnost sa elektromagnetom. Slika 13 nam prikazuje taj princip rada.



Slika 13 Princip rada EPM-a [5]

EPM koji smo u ovom radu (Slika 15) koristili je mali ($\varnothing 20\text{mm} \times 16\text{mm} - \varnothing A \times B$ na Slika 14) i zahtjeva svega 6VDC. Jače verzije su postojale ali ovaj je bio sasvim dovoljan te je omogućio korištenje samo jednog napajanja i istog napona za EPM i servo motore. Ovaj EPM također ima držeću silu od 10N (1kg) što je dovoljno za prenošenje manjih objekata.



Slika 14 Dimenzije i presjek EPM-a [6]



Slika 15 Različiti dostupni EPM-ovi [6]

5.2. Napajanje

Za potrebe napajanja servo motora i EPM-a koristimo adapter. Adapter funkcionira tako da izmjeničnu struju sa gradske mreže pretvara u istosmjernu koju onda komponente mogu koristiti. Adapteru je određen napon od 6V (moguće je mijenjati napon kao što se vidi na Slika 16), a pri tom naponu adapter ima struju od 2.2A. To je sasvim dovoljno za pokretanje ovih komponenti individualno, osim SG90 servo koji mogu zbog svoje niske potrošnje raditi oba u isto vrijeme. To je upravo razlog korištenja MOSFET-a za kontrolu protoka struje jer bi u suprotnom došlo do pada napona zbog povećane potrošnje struje te neke komponente ne bi radile ispravno. To je bio i slučaj kada je EPM već bio spojen na MOSFET (gdje je bio prvotno potreban) i nije dijelio struju sa servo motorima.



Slika 16 Adapter za napajanje komponenti

5.3. Servo motori i kinematika

Na robotskoj ruci možemo naći 3 pokretna zglobova, jedan na bazi te dva za svaki od članaka. Zglob na bazi pokrećemo pomoću jačeg (veći zakretni moment) servo motora MG996R (Slika 17). Razlog jačeg servo motora ovdje, za razliku od ostala dva koji koriste slabije SG90 servo motore, je povećanje težine ostatka ruke dodatkom EPM. Također time dobivamo glađe okretanje baze.



Slika 17 MG996R servo motor [7]

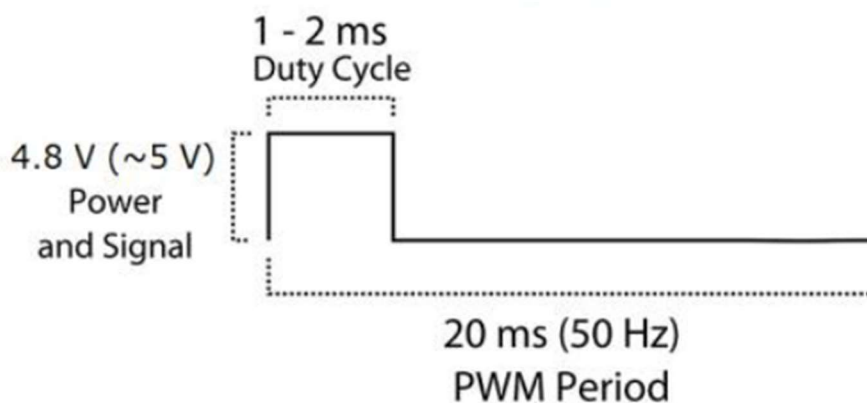
Kao što sam već naveo, ostala dva zglobova upravljamo manjim SG90 servo motorima (Slika 18). Oni su nam omogućili korištenje lakše i manje robotske ruke te su ju mogli pogoniti bez problema čak i sa dodatkom EPM-a i nekakvog manje tereta na istom. Bez obzira na to, udaljavanjem ruke od baze (pri nižim kutevima) pojavljuje se problem podizanja ili vraćanja ruke prema bazi.



Slika 18 SG90 servo motor [8]

Što se tiče potrebnog napona na servo motorima, MG996R prihvaća od 4.8V do 7.2V dok SG90 od 4.8V do 6V. Kao što smo već spomenuli, kako bi koristili samo jedno napajanje ono je postavljeno na napon od 6V i time ispunila potrebe i servo motora i ostalih komponenti (EPM). Potrošnja SG90 servo-a je svega 100-200mA a pod opterećenjem može doseći i 800mA. MG996R pak koristi između 500mA i 900mA a pod opterećenjem čak 2.5A. Upravo zbog ove brojke kao osiguranje su stavljeni MOSFET-i za kontrolu protoka struje te iako u teoriji i pri potrošnji u normalnom radu dostupnih 2.2A na napajanju bi trebalo biti dosta to nije bio slučaj. Zbog prirode korištenih servo-a (jeftine „kineske“ varijante) to nije bilo ni čudo jer ne samo da im je *datasheet* često nepotpun i neispravan i same performanse nisu uvijek konstantne te vanjski referenti za ovakve podatke znaju imati svako svoje podatke ili rezultate testova. To možemo i vidjeti kod jedne od drugih karakteristika ove vrste motora.

Kao što znamo poziciju servo motora određujemo slanjem vrijednosti radnog ciklusa (engl. *Duty cycle*) pri određenoj periodi (u slučaju SG90 i MG996R pri periodi od 20ms, tj. frekvenciji od 50Hz). Ovi servo motori imaju raspon od 180 stupnjeva (iako tako ne piše u *datasheetu* za MG996R), tj. 90 stupnjeva u svakom smjeru. U srednju poziciju (90 stupnjeva) dolazimo slanjem 1.5ms, u krajnju lijevu poziciju (0 stupnjeva) slanjem 1ms, a krajnju desnu poziciju (180 stupnjeva) slanjem radnog ciklusa od 2ms. To možemo vidjeti na Slika 19.

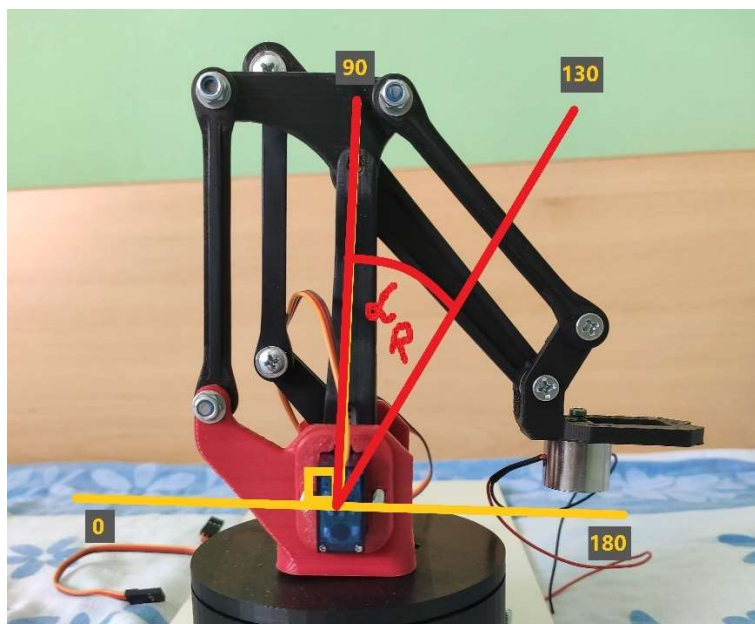


Slika 19 Vrijednosti za napon i PWM za SG90 [9]

Naravno i te vrijednosti u većini slučajeva nisu točne te minimalne vrijednosti znaju biti i niže, oko $500\mu\text{s}$, a maksimalne više, oko $2500\mu\text{s}$ (2.5ms). Ono što je meni pomoglo u ovom slučaju je bio *Servo library* 27[10] koji Arduino u svom Arduino IDE ima uključeno u neke od unaprijed dostupnih *libraryja*. On unutar svog *header* (*Servo.h*) datoteke već ima uključene određene vrijednosti za *duty cycle* koje su meni odgovarale ($544\mu\text{s}$ za minimum i $2400\mu\text{s}$ za maksimum) te ih pretvara u odgovarajući raspon (0-180 stupnjeva). Time puno olakšava određivanje kutova na servo motorima.

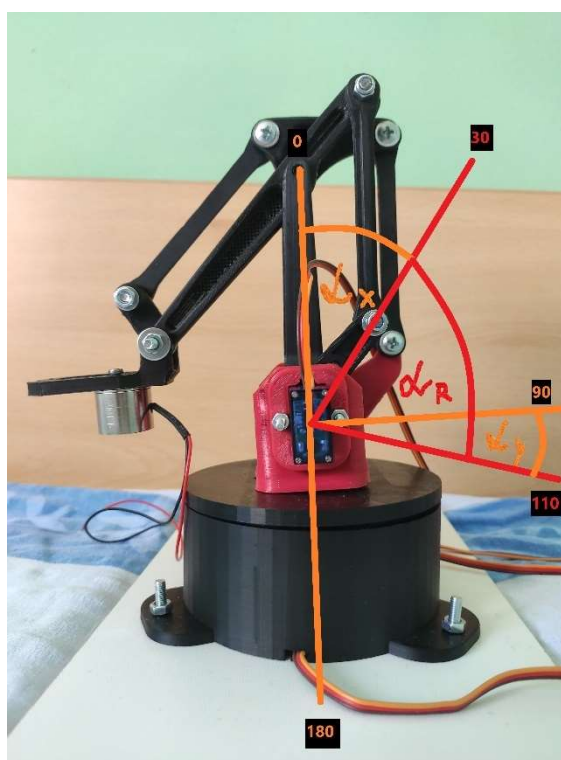
5.3.1. Kinematika

Iako imamo dostupnih 180 stupnjeva unutar kojih možemo kretati servo motore toliki nam raspon zapravo i nije potreban za robotsku ruku jer bi onda imali nepotrebnu kretnju i pri nekim kutovima riskirali štetu jer bi išli izvan dopuštenih granica same robotske ruke. Zato smo ih unutar koda limitirali unutar nama prihvatljivog raspona. Primjer toga možemo vidjeti na Slika 20 koja prikazuje dopušteni raspon servo motora (α_R) koji upravlja kretanjem prvog članka. Primjećujemo kako su krajnje vrijednosti (žuta boja) označene paralelno sa bazom, a u lijevo, gdje zapravo članak ide unazad, kut se smanjuje prema 0 stupnjeva i u desno, gdje članak ide unaprijed, kut se povećava prema 180 stupnjeva. Pomoću toga smo i odredili ovaj raspon od 90 do 130 stupnjeva koje možemo slati servo motoru kako bi dobili kut koji odgovara kinematici robotske ruke i našim potrebama.



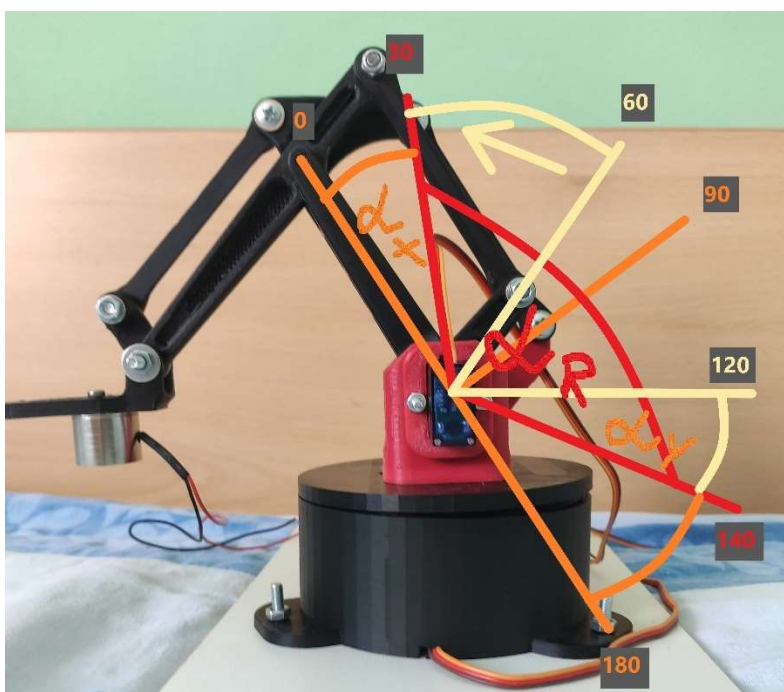
Slika 20 Raspon kretanja kod servo motora za prvi članak

Istu stvar radimo i kod servo motora kod drugog članka ali njegova kinematika je nešto drugačija. Kako bi dobili kut za njegov servo motor krajnje vrijednosti (narančasta linija) postavljamo po dužini prvog članka (Slika 21). Ovdje smo naznačili maksimalni dopušteni raspon (α_R) umjesto našeg određenog raspona zato što se ovaj članak neće moći na robotskoj ruci pomaknuti izvan tog raspona jer ga (namjerno) blokiraju drugi dijelovi ruke.



Slika 21 Raspon kretanja kod servo motora za drugi članak bez pomaka

Sad kada pomaknemo prvi članak vidimo da se os sa krajnjim vrijednostima pomiče zajedno s njim što nam u ovom slučaju dopušta 30 dodatnih stupnjeva kretanja (Slika 22). Kada je članak kojim pokrećemo drugi članak u toj poziciji umjesto uvijek dopustivih 30 stupnjeva razmaka od prvog članka on ne može se micati dalje od pozicije u kojoj je okomit s bazom s toga u tom trenutku ima najveći dopustivi raspon. Ako nastavimo dalje spuštati prvi članak on će zadržati taj raspon sve dok nije na 10 stupnjeva od druge krajnosti raspona (crvena linija na 140 stupnjeva) i ponovno smanjiti raspon za 30 stupnjeva na onaj originalni kad je prvi članak usporedan s bazom.



Slika 22 Raspon kretanja kod servo motora za drugi članak s pomakom

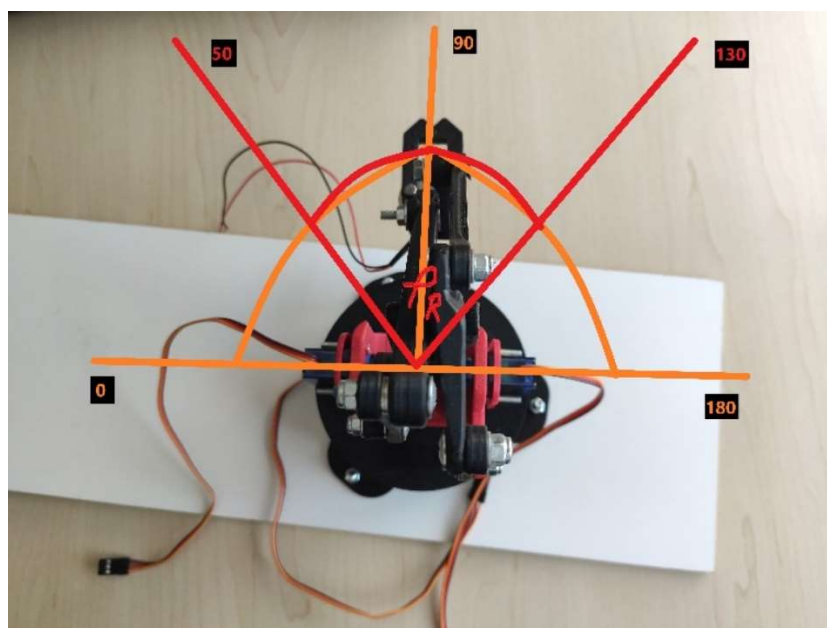
Kao što smo mogli dosad primijetiti sam servo za kretanje drugog članka se ne nalazi na zglobu gdje se spajaju prvi i drugi članak, već na malom članku koji je u ravnini sa servo motorom prvog članka. Na Slika 23 imamo prikazano kako su ti članci međusobno paralelni i kako time održavaju ispravan kut i pozicioniranje ruke. Pomakom tog „kontrolnog“ članka drugi članak će se kretati s njim kako bi mu ostao paralelno (narančaste linije). Isto se događa i sa prvim člankom i njemu paralelnim člankom (crvene linije), koji spaja taj prije nazvani „kontrolni“ članak i u produžetku drugi članak, koji kroz kretanje bilo kojeg od ta dva servo motora uvijek ostaju paralelni.

Ta međusobna paralelnost je ono što predstavlja pouzdanost kinematike ove robotske ruke.



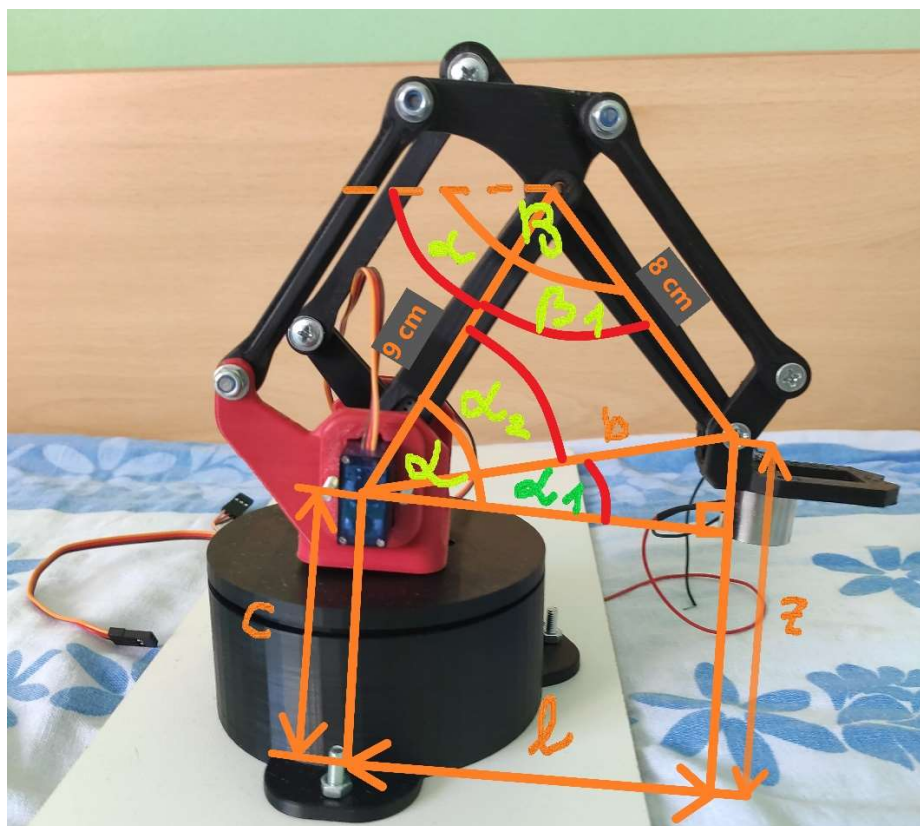
Slika 23 Paralelnost članaka

Zadnji servo motor, onaj za kretanje baze, je jednostavan kao i onaj kod prvog članka. Postavili smo mu prikazani raspon na Slika 24 (crvene linije, α_R) te se on vrti oko svoje osi za neki od tih kutova.



Slika 24 Raspon kretanja kod servo motora za kretanje baze

Sve ovo nam je pomoglo pri automatizaciji rada robotske ruke. Kako bi pozicionirali i orijentirali članke robotske ruke potrebni su nam kutovi α , β i φ . Kada kutove α i β (Slika 25) oduzmemo od 180 dobijemo potreban kut za slanje na servo motore za dva članka dok nam je φ dovoljan za servo motor na bazi. Zbog jednostavnosti robotske ruke, s poznatim duljinama članaka i koordinatama pomoću trigonometrije ih možemo lako izračunati.



Slika 25 Trigonometrijska shema kutova α i β

Pitagorin poučak

$$l = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$b = \sqrt{(z - c)^2 + l^2}$$

$$\alpha_1 = \cos^{-1} \frac{l}{b}$$

Kosinusni poučak

$$8^2 = 9^2 + b^2 + 2 * b * 9 \cos \alpha_2$$

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$$

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{l}{b} + \cos^{-1} \frac{9^2 * b^2 - 8^2}{2 * 9 * b}$$

$$b^2 = 9^2 + 8^2 + 2 * 8 * 9 \cos \beta_1$$

$$\beta = \beta_1 + \alpha$$

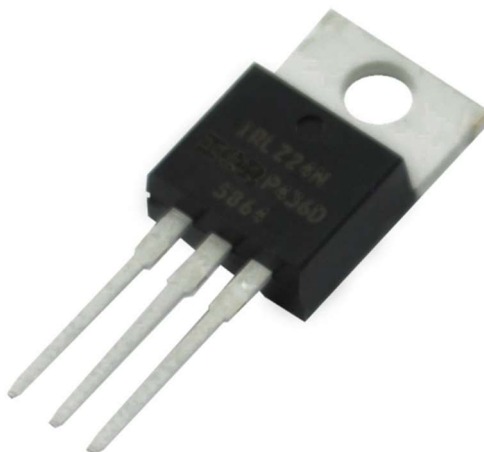
$$\beta = \alpha + \cos^{-1} \frac{9^2 * 8^2 - b^2}{2 * 9 * 8}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$

5.4. Kontrola pomoću MOSFET-a

5.4.1. MOSFET

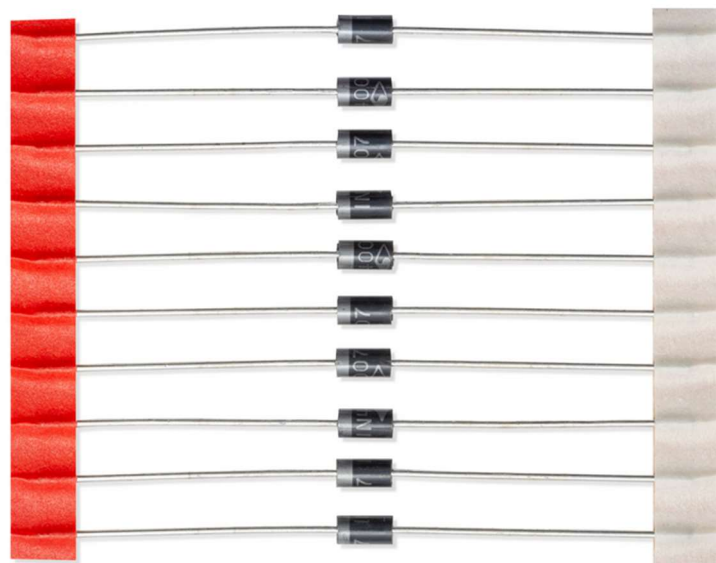
Priroda samih tranzistora, a posebice logic-level MOSFET-a koje koristimo ovdje i kojima je potreban napon od svega 3.3V ili 5V (koje su tipične vrijednosti napona za visoku razinu na mikrokontrolerima), činio ih je odličnim izborom za potrebe ovog rada. Specifično sam koristio 1RLZ24N N-kanalni MOSFET (Slika 26) te na njih spojio servo motore i EPM. Tranzistor mi je najpotrebniji bio kod kontrole EPM-a kod kojeg je bilo potrebno odrediti kada želimo pustiti ono što pomoću njega prenosimo te u tome trenutku dopustiti MOSFET-u da tada pusti struju i demagnetizira EPM. Zato što je to potrebno u samo određenim trenutcima, većinu vremena provede u pasivnom stanju gdje ne propuštamo u struju i on je magnetiziran, kako ne bi imali nepotrebnu potrošnju i neželjeno stanje EPM-a. Zbog istog razloga potrošnje sam i servo motore odlučio spojiti na MOSFET-e te time osigurao dovoljnu struju za svaku individualnu komponentu.



Slika 26 1RLZ24N N-kanalni MOSFET [11]

5.4.2. Diode

Za zaštitu na MOSFET-u koristimo 1N4007 diode (Slika 27) kao *flyback* diode koje bi eliminirale istoimeni *flyback*, tj. iznenadan skok napona kada mu prekinemo ili smanjimo dovod struje s napajanja. Njihov maksimalni napon od 1000V i maksimalna struja od 30A bila je više nego dovoljna za moje potrebe.



Slika 27 1N4007 diode [12]

5.4.3. Otpornici

Zadnju od komponenti koje smo koristili su otpornici. U ovom krugu koristimo jedan manji otpornik od $100\ \Omega$ kako bi osigurali da pri pokretanju MOSFET-a (kada pošaljemo sa mikrokontrolera visoko stanje na gate) nagli prolaz struje ne bi ošteti i sam mikrokontroler. Otpornik od $10\ \text{k}\Omega$ koristimo kao klasični *pull-down* otpornik kojemu je cilj točno odrediti stanje napona u strujnom krugu kada je MOSFET „otvoren“ (ne propušta struju), što je u ovom slučaju uzemljeno iliti nisko (engl. *LOW*) stanje, inače ostatak strujnog kruga ne bi imao točno definiran napon. Time točno određujemo uključeno stanje, kada mikrokontroler šalje visoko (engl. *HIGH*) stanje što znači da MOSFET može propustiti struju, time ga spajajući na napajanje tj. spajamo *drain* i *source* MOSFET-a, i isključeno, kada mikrokontroler šalje nisko stanje i MOSFET ne propušta struju te je spojen na *ground* (uzemljenje).

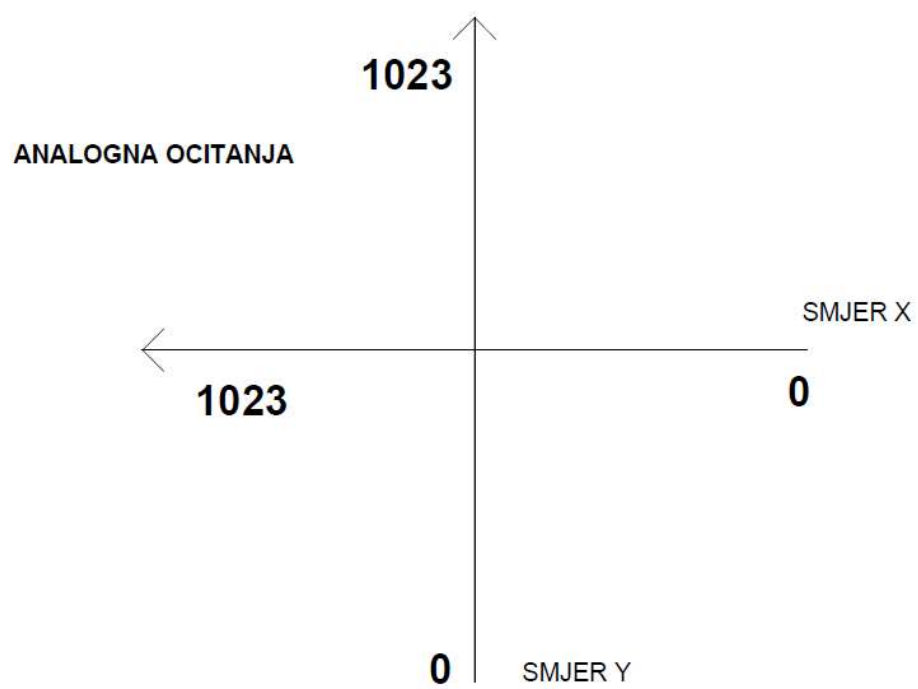
5.5. Joystick modul

U ručnom modu poziciju robotske ruke kontroliramo ovim modulom. Radi se o joystick modulu (Slika 28) koji omogućuje vertikalno i horizontalno (os x i y) upravljanje pomoću dva potencijometra te prekidač koji aktiviramo pritiskom. Sa dva takva modula može se upravljati nad sva 3 servo motora, prvim prekidačem šaljem signal za paljenje/gašenje EPM-a (mijenjanjem stanja na MOSFET-u) a drugim mijenjamo između ručnog i automatskog moda. Ovakva kontrola je vrlo intuitivna te brza i jednostavna za postaviti.



Slika 28 Joystick modul PS2 [13]

„Uzmimo za primjer os x: ako gljivicu pomaknemo do kraja u lijevo, potencijometar će nam davati očitavanje bliže *groundu*. Ako idemo u desno, očitavanje će biti bliže naponu na kojega smo spojili modul. Naravno, sama su očitavanja analogna (dobivamo vrijednost 0-1023) te je moguće precizno odrediti poziciju gljivice. Tipkalo radi na principu da šalje HIGH (1) kada je neaktivno i LOW (0) kada je tipkalo aktivno. To znači da tipkalo ima ugrađen *pull-up* otpornik.“ [14] Ovaj primjer nam dobro opisuje sam rad ovog modula i to možemo vidjeti opisano vizualno na Slika 29.



Slika 29 Analogni očitavanja s modula ovisno o smjeru [14]

6. ZAKLJUČAK

Prolaskom kroz sva ova poglavlja pojasnili smo kako svi dijelovi ovog rada funkcioniraju te kako smo ih spojili u cjelinu da bi uspješno izvršili zadatak automatizacije robotske ruke s elektropermanentnim magnetom.

Cijeli taj proces je bio u isto vrijeme teži i lakši nego očekivano. Teži u smislu nekakvih malih grešaka u programiranju na kojima sam zapeo na duže vrijeme dok ih nisam primijetio ili problem s pronalaskom odgovarajućeg napajanja zbog padova napona koji su se događali ili prvotno zbog starosti komponenti na jednim ili veće potrošnje struje nego očekivano. Lakše kod samog upravljanja robotske ruku, ili one manualne ili automatske. Naravno kroz oboje sam nešto naučio, posebice na polju elektrotehnike kod koje mi je praktično znanje bilo slabije. Završetkom samog rada sam uvidio i neka moguća poboljšanja, poput stavljanja većih servo motora za kretanje svih članaka ili jednostavno kvalitetnijih, ili recimo dodavanje dodatnih komponenti poput senzora koji bi omogućili još veću autonomiju i automatizaciju zadataka.

7. LITERATURA

- [1] E-radionica, [UMIROVLJEN] Croduino Basic3, https://e-radionica.com/hr/croduino-basic3.html?from_store=en, 11.7.2022.
- [2] E-radionica; Što je Arduino, a što Croduino?; <https://e-radionica.com/hr/blog/2015/10/08/sto-je-arduino-i-croduino/>, 11.7.2022.
- [3] Arduino, Overview of the Arduino IDE 1, <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/Environment>, 11.7.2022.
- [4] daGHIZmo, EEZYbotARM, <https://www.thingiverse.com/thing:1015238>, 11.7.2022.
- [5] Wikipedia, Electropermanent magnet, https://en.wikipedia.org/wiki/Electropermanent_magnet, 11.7.2022.
- [6] Selos, Elektromagnet magnetno (stanje bez strujanja) EPPM <https://www.selos.hr/drzeci-elektromagnete/drzeci-elektromagnete-s-trajnim-magnetom/>, 11.7.2022.
- [7] MG996R datasheet, <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1131873/ETC2/MG996R.html>, 11.7.2022.
- [8] Proto Supplies, <https://protosupplies.com/product/servo-motor-micro-sg90/>, 11.7.2022.
- [9] SG90 datasheet, http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf, 11.7.2022.
- [10] Arduino, Servo Library, <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/servo/>, 12.7.2022.
- [11] E-radionica, IRLZ24NPBF N-kanalni MOSFET tranzistor, <https://e-radionica.com/hr/irlz24npbf-mosfet-n-tip.html>, 11.7.2022.
- [12] E-radionica, 1N4007 dioda, <https://e-radionica.com/hr/1n4007-dioda.html>, 11.7.2022.
- [13] E-radionica, Joystick modul PS2, <https://e-radionica.com/hr/joystick-modul-ps2.html>, 11.7.2022.
- [14] E-radionica, KKM: Joystick Modul PS2, <https://e-radionica.com/hr/blog/2015/08/31/kkm-joystick-modul-ps2/>, 11.7.2022.

8. PRILOZI

CD-R

