



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Милан Јововић

**ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ИЗРАДА
РОБОТСКЕ ШАКЕ КОЈА СИМУЛИРА
ПОКРЕТЕ ПРСТИЈУ ЛЉУДСКЕ РУКЕ И
УПРАВЉАЊЕ БЕЖИЧНИМ ПУТЕМ НА
ДАЉИНУ**

МАСТЕР РАД

Нови Сад, 2017.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР :	
Идентификациони број, ИБР :	
Тип документације, ТД :	Монографска документација
Тип записа, ТЗ :	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР :	Мастер рад
Аутор, АУ :	Милан Јововић
Ментор, МН :	Проф. др Владимир Рајс
Наслов рада, НР :	Пројектовање, израда и бежично управљање роботском шаком која симулира покрете прстију људске руке
Језик публикације, ЈП :	Српски / ћирилица
Језик извода, ЈИ :	Српски
Земља публиковања, ЗП :	Република Србија
Уже географско подручје, УГП :	Војводина
Година, ГО :	2017.
Издавач, ИЗ :	Факултет Техничких Наука
Место и адреса, МА :	Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад
Физички опис рада, ФО : (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	7/62/5/0/78/0/0
Научна област, НО :	Мехатроника
Научна дисциплина, НД :	Дигитална управљачка електроника
Предметна одредница/Кључне речи, ПО :	Роботска шака, пројектовање, израда, <i>Bluetooth</i> , штампана плочица, сензори, прсти, електроника, програмирање
УДК	
Чува се, ЧУ :	Библиотека ФТН-а, Нови Сад
Важна напомена, ВН :	
Извод, ИЗ :	У раду је описано конструисање роботске шаке, начин на који бежично комуницира, материјали од којих је направљена, приказане електро шеме, програмски код који је потребан за извршавање жељеног задатка, као упутство за повезивање и пуштање у рад.
Датум прихватања теме, ДП :	18.09.2017.
Датум одбране, ДО :	18.10.2017.
Чланови комисије,	Председник: Проф. др Гордана Остојић
	Члан: Доцент др Јован Бајић
	Члан, ментор: Проф. др Владимир Рајс
	Потпис ментора

	UNIVERSITY OF NOVI SAD • FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES 21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6
	KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :		
Identification number, INO :		
Document type, DT :	Monographic publication	
Type of record, TR :	Textual printed material	
Contents code, CC :	Master thesis	
Author, AU :	Milan Jovovic	
Mentor, MN :	Vladimir Rajs, PhD	
Title, TI :	Desing, produce and wireless control of the robot's hand	
Language of text, LT :	Serbian	
Language of abstract, LA :	Serbian	
Country of publication, CP :	Republic of Serbia	
Locality of publication, LP :	Vojvodina	
Publication year, PY :	2017.	
Publisher, PB :	Faculty of Technical Sciences	
Publication place, PP :	Trg Dositeja Obradovica 6, Novi Sad	
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	7/62/5/0/78/0/0	
Scientific field, SF :	Mechatronic	
Scientific discipline, SD :	Digital control electronics	
Subject/Key words, S/KW :	Robotic hand, design, production, Bluetooth, printed circuit board, sensors, fingers, electronics, programming	
UC		
Holding data, HD :	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Srbija	
Note, N :		
Abstract, AB :	The work describes the construction of a robotic hand, the way in which it communicates wirelessly, the materials from which it is made, the shown electro schemas, the code necessary for performing the desired task, as a guide for connection and commissioning.	
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	18.09.2017.	
Defended on, DE :	18.10.2017.	
Board, DB :	President:	Gordana Ostojic, PhD
	Member:	Jovan Bajic, PhD
	Member, Mentor:	Vladimir Rajs, PhD
		Menthor's sign



	УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА 21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6	Број:
	ЗАДАТАК ЗА ДИПЛОМСКИ - МАСТЕР РАД	Датум:
		18.09.2017.

Врста студија:	Мастер студије
Студијски програм:	Мехатроника, роботика и аутоматизација
Руководилац студијског програма:	Проф. др Стеван Станковски

Студент:	Милан Јововић	Број	Н1 18/2015
Област:	Дигитална управљачка електроника		
Ментор:	Проф. др Владимир Рајс		
НА ОСНОВУ ПОДНЕТЕ ПРИЈАВЕ, ПРИЛОЖЕНЕ ДОКУМЕНТАЦИЈЕ И ОДРЕДБИ СТАТУТА ФАКУЛТЕТА ИЗДАЈЕ СЕ ЗАДАТАК ЗА ДИПЛОМСКИ - МАСТЕР РАД, СА СЛЕДЕЋИМ ЕЛЕМЕНТИМА: - проблем – тема рада; - начин решавања проблема и начин практичне провере резултата рада, ако је таква провера неопходна; - литература			

НАСЛОВ ДИПЛОМСКОГ - МАСТЕР РАДА:

Пројектовање, израда и бежично управљање роботском шаком која симулира покрете прстију људске руке

ТЕКСТ ЗАДАТКА:

Пројектовати и изградити роботску шаку која симулира покрете прстију људске руке и омогућити управљање бежичним путем.

Руководилац студијског програма:	Ментор рада:
Проф. др Стеван Станковски	Проф. др Владимир Рајс

ЗАХВАЛНИЦА

Захваљујем се:

- *B.Sc. Предрагу Милетић, M.Sc. Милошу Топаловић, M.Sc. Сави Ђокић на томе што су ми несебично уступили поједине компоненте и алат потребан за израду овог рада;*
- *Баби Ковиљки Ковачевић на помоћи при зашивању сензора на рукавицу;*
- *Родитељима Мирјани Јововић и Милораду Јововић као и брату Марку Јововић на томе што су ме кроз живот усмеравали ка томе да будем оно што сад јесам;*
- *Девојци Дуњи Бараћ, другу Здравку Плавански и ужој родбини, на томе што су били уз мене, подржавали моје идеје и пружали животне савете;*
- *Свим професорима, асистентима, познаницима и добрим особама који су показали да су људи.*
-

Посебно се захваљујем колегама Зорану Тодоровић, B.Sc. Небојши Кукурик и M.Sc. Николи Пуцар под чијим кровом сам, у Новом Саду, боравио добар део свог студентског живота.

Садржај:

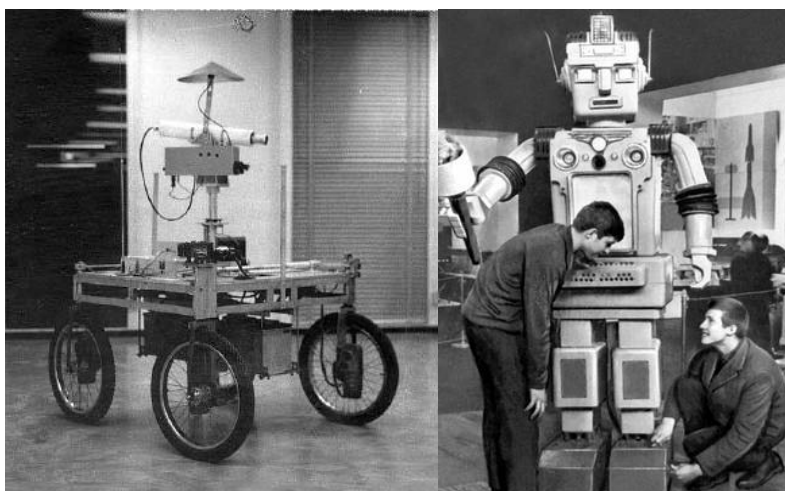
1. Увод.....	2
1.1. ОСНОВНИ ДЕЛОВИ РОБОТА	3
1.2. ПРЕГЛЕД РАДА.....	3
2. ЗАДАТАК РАДА	4
3. BLUETOOTH КОМУНИКАЦИЈА.....	5
3.1. МОДУЛ HC-05	7
3.2. ХАРДВЕРСКА ПРИПРЕМА ЗА ПОСТАВКУ РЕЖИМА РАДА BLUETOOTH МОДУЛА	8
3.3. ПОСТАВКА МОДУЛА У SLAVE РЕЖИМ.....	9
3.4. ПОСТАВКА МОДУЛА У MASTER РЕЖИМ.....	11
3.5. ПРОВЕРА ПОСТАВКИ ПАРАМЕТАРА ЗА BLUETOOTH МОДУЛЕ	12
4. ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ИЗРАДА ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА РОБОТСКЕ ШАКЕ	13
4.1. КОНСТРУИСАЊЕ И ИЗРАДА ПРСТИЈУ РОБОТСКЕ ШАКЕ.....	13
4.1.1. ПРВА ВЕРЗИЈА ПРСТА.....	14
4.1.2. ДРУГА ВЕРЗИЈА ПРСТА	15
4.2. ОДАБИР АКТУАТОРА	17
4.3. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ДРЖАЧА ЗА ПРСТЕ И МОТОРЕ	19
4.4. СЕНЗОРИ	22
4.5. ЕЛЕКТРОНСКИ СКЛОП ЗА РУКАВИЦУ.....	28
4.5.1. ЗАХТЕВИ СЕНЗОРСКОГ ДЕЛА И ИЗБОР КОМПОНЕНАТА	28
4.5.2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ПЛОЧИЦЕ СЕНЗОРСКОГ ДЕЛА.....	32
4.5.3. ПРОГРАМИРАЊЕ СЕНЗОРСКОГ ДЕЛА.....	38
4.5.4. ТЕСТИРАЊЕ ЕЛЕКТРОНИКЕ СЕНЗОРСКОГ ДЕЛА.....	42
4.6. ЕЛЕКТРОНСКИ СКЛОП ЗА РОБОТСКУ ШАКУ	43
4.6.1. ЗАХТЕВИ ЕЛЕКТРОНИКЕ ЗА РОБОТСКУ ШАКУ И ИЗБОР КОМПОНЕНАТА	43
4.6.2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ИЗРАДА ПЛОЧИЦЕ ЗА ЕЛЕКТРОНИКУ НА РОБОТСКОЈ ШАЦИ....	45
4.6.3. ПРОГРАМИРАЊЕ ЕЛЕКТРОНИКЕ ЗА РОБОТСКУ ШАКУ	48
4.6.4. ТЕСТИРАЊЕ ЕЛЕКТРОНИКЕ ЗА РОБОТСКУ ШАКУ.....	51
4.7. ДОДАТНИ РЕГУЛАТОРСКИ УРЕЂАЈ ЗА НАПАЈАЊЕ РОБОТСКЕ ШАКЕ.....	52
4.7.1. ТЕСТИРАЊЕ РЕГУЛАТОРСКОГ УРЕЂАЈА.....	54
4.8. ВОЋИЦЕ ЗА САЈЛЕ И ДИСТАНЦЕРИ	55
5. УПУТСТВО ЗА ПОВЕЗИВАЊЕ ЕЛЕКТРОНИКЕ И ПУШТАЊЕ РОБОТСКЕ ШАКЕ У РАД.....	58
6. ЗАКЉУЧАК.....	62
7. ЛИТЕРАТУРА.....	63

1. УВОД

Једну од значајнијих дефиниција робота дао је 1980. године амерички институт роботике: „Робот је вишефункционални манипулатор с могућношћу репрограмирања, пројектованог да преноси материјале, делове, алате и посебне уређаје, кроз различите програмиране покрете у сврху обављања различитих задатака“. Да би био способан да ради сложене послове робот треба да има вештачку интелигенцију (као што је мозак код људи и животиња), чула којима региструје дешавања у околини (као што је чуло слуха или вида животиња), делове који се покрећу и покрећу алате и самог робота (као што су руке и ноге код животиња) и извор енергије који напаја све ове делове [1]. Роботи су данас још увек електромеханички – механичке делове од метала и пластике покрећу електрични делови, а мозак робота је мали компјутер (микроприцесор) који је и сам електронски склоп. На слици 1 је приказана слика хуманоидног робота Софија, чији је творац *Hanson Robotics Ltd.*



Слика 1. Хуманоидни робот Софија



а)

б)

Слика 2. а) слика из Санфорда, забележена 1975. године; б) руски робот „Ехро-70“

Први роботи су направљени седамдесетих година XX века, били су прости и била им је потребна асистенција човека у раду зато што нису имали вештачка чула. Изглед неких од првих робота седамдесетих година приказан је на слици 2. Вештачка чула робота зову се сензори. Осамдесетих година XX века појавила се друга генерација робота која је имала сензоре и компјутерску интелигенцију, а данас су роботи у својој трећој фази развоја, много напреднији и сложенији него што су били на почетку развоја ове гране технике. Наука која се бави развојем робота зове се роботика и читава једна грана технике се бави производњом робота који имају све ширу примену у индустрији и свакодневном животу људи.

1.1. ОСНОВНИ ДЕЛОВИ РОБОТА

Робот мора да има:

- процесор који обрађује информације тј. мисли (мозак робота);
- сензоре који скупљају информације из околине у којој се налази робот (чула робота);
- делове који се покрећу и обављају неку радњу и
- извор енергије који напаја робота.

Ако постоји више покретних делова и сензора, они се уграде у тело робота.

1.2. ПРЕГЛЕД РАДА

Након уводне речи, у поглављу 2, аутор читаоца упознаје са проблемом који представља један од примера где робот треба да замени човека. Такође описује рад система блок-шемом. У поглављу 3 ће бити описано све везано за *Bluetooth* комуникацију, као и потребне инструкције за повезивање (упаривање) *Bluetooth* модула. Поглавље 4 односи се на пројектовање и израду појединачних делова роботске шаке. Подсекција 4.1 односи се на конструисање и израду прстију који су потребни за роботску шаку. У подсекцији 4.2 биће описани актуатори који су усвојени, као и њихов начин управљања, а у подсекцији 4.3 биће речи о држачима за прсте и серво моторе и биће приложен технички цртеж. Подсекција 4.3 представља подсекцију у којој ће детаљно бити описани сензори који су усвојени, као и њихов начин израде. Подсекција која се базира на разматрању захтева електронике сензорског дела, пројектовању и изради плочице сензорског дела, као програмирање и тестирање, јесте подсекција 4.5, а подсекција у којој се описује све то исто, само што се односи на електронски склоп за роботску шаку, јесте подсекција 4.6. 3 подсекцији 4.7 ће бити представљено решење регулације напона одакле ће се напајати електроника за роботску шаку и серво мотори, а у подсекцији 4.8 ће бити приказано решење које спречава запетљавање и пуцање сајли, услед трења, као и решење за дистанцирање електронике од површине на којој ће се налазити роботска шака, у виду избегавања кратких спојева и сличних проблема. Поглавље 5 је поглавље у којем ће детаљно, на сликовит начин, бити дато упутство за повезивање, а затим и упутство за пуштање у рад.

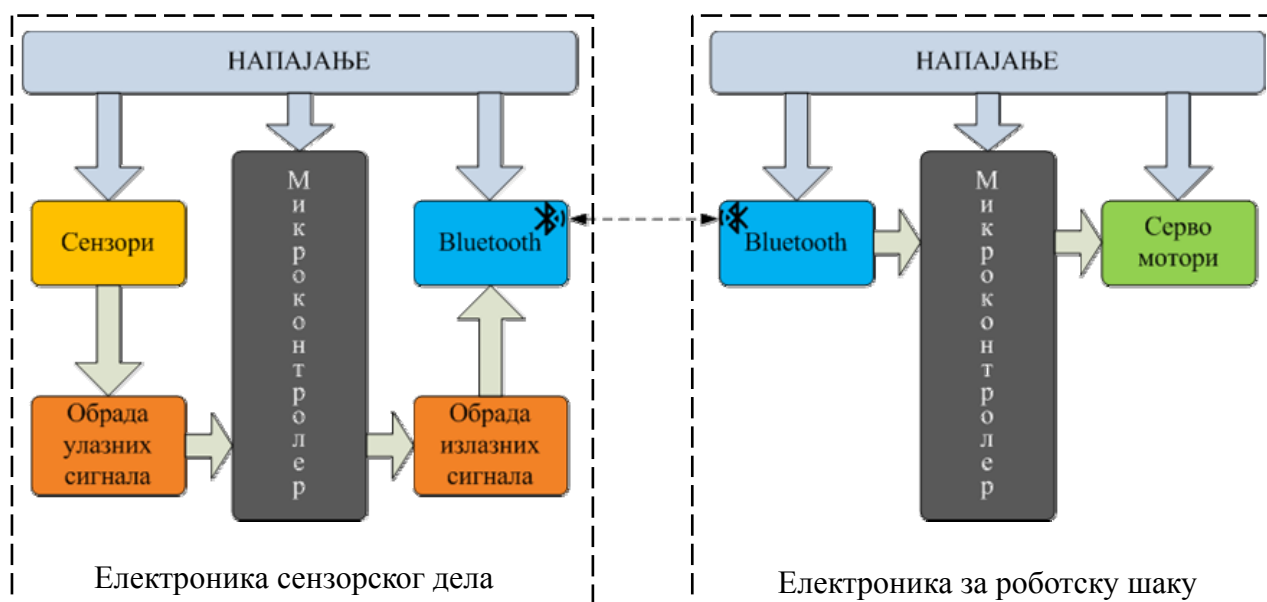
2. ЗАДАТАК РАДА

Данас се све чешће јавља потреба да човека замени робот у специјалним условима рада и окружењима. Један од примера је случај када човекова рука треба да одради одређене покрете како би се санирао квар унутар неког великог резервоара напуњеног опасним хемијским средствима које би нагризле кожу особи која би то учинила уласком у такву средину, у покушају санирања истог квара.

Наравно да се може направити одговарајућа опрема, као што су специјалне рукавице, одело, маска са кисеоником итд, али у том случају проблем може настати у случају да дође до појаве мале пукотине на неком делу опреме. Пукотине настају услед већег броја савијања и самим тим омогућавају улазак опасне хемијске супстанце унутар опреме, где долази у контакт са кожом особе која покушава да санира квар. Такође може да дође до пропуштања опасне течности унутар опреме на саставима, након одређеног временског периода услед попуштања лепка, старења опреме и још много других разлога.

Треба још узети у обзир да би таква опрема имала одређену тежину, као и дебљину, и као таква отежавала човеку да изврши одређене задатке. Као пример таквог случаја је смањена могућност савијања прстију унутар специјалних непропусних рукавица, због саме дебљине и других карактеристика таквог непропусног материјала.

Како би се, пре свега, повећао степен сигурности радника у оваквим ситуацијама, тј. радник изоловао од опасности, као и повећао степен ефикасности, задатак овог рада је да се пројектује и изradi прототип роботске шаке која треба да прати покрете људске шаке. Такође је потребно да управљачки део и извршни део комуницирају бежичним путем, како би корисник могао да управља са одговарајуће раздаљине. У овом пројектном задатку, за бежичну комуникацију, биће коришћена *Bluetooth*¹ комуникација, а блок-шема која описује рад система приказана је на слици 3.

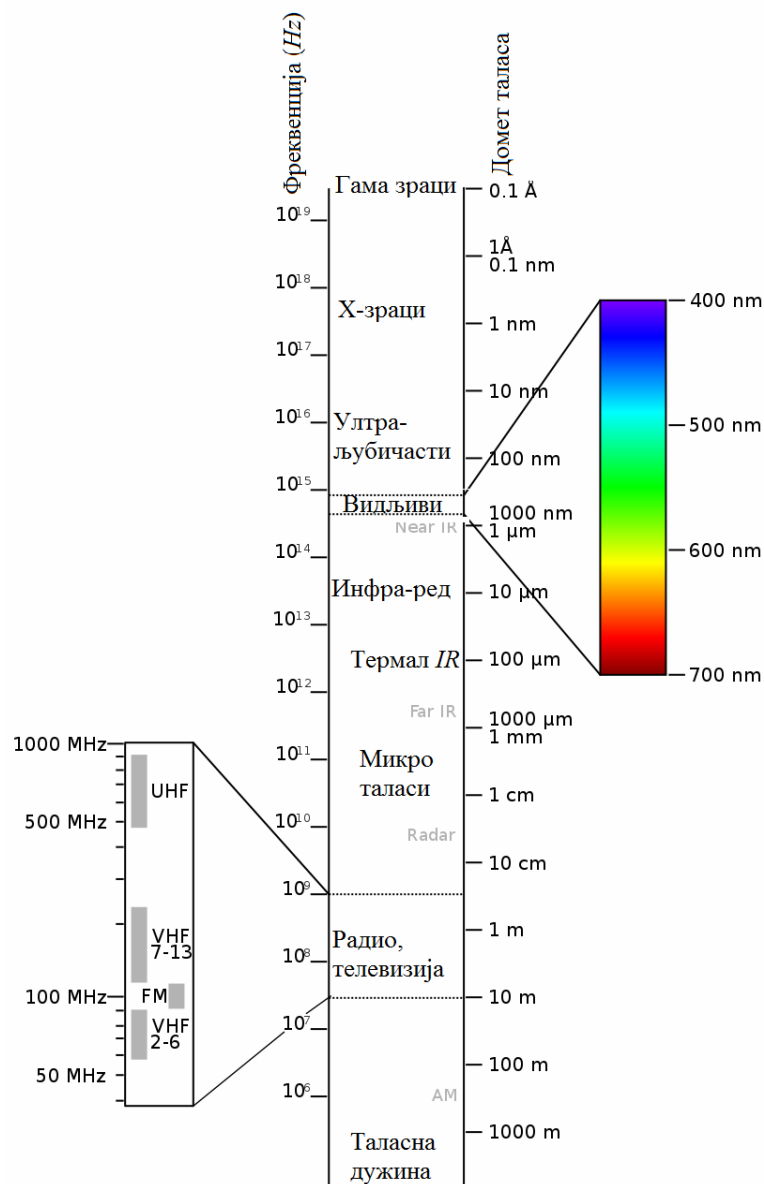


Слика 3. Блок-шема која описује рад система

¹ *Bluetooth* је један од начина бежичне комуникације. Више о томе је објашњено у наредном поглављу.

3. BLUETOOTH КОМУНИКАЦИЈА

Бежичне мреже, за пренос података, користе електромагнетни спектар (радио, микро и светлосне таласе). Слика електромагнетног спектра приказана је на слици 4. Радио таласи представљају опсег електромагнетних таласа са дужинама реда од једног метра па на више, односно са фреквенцијама реда гигахерца (GHz) или нижим.



Слика 4. Електромагнетни спектар

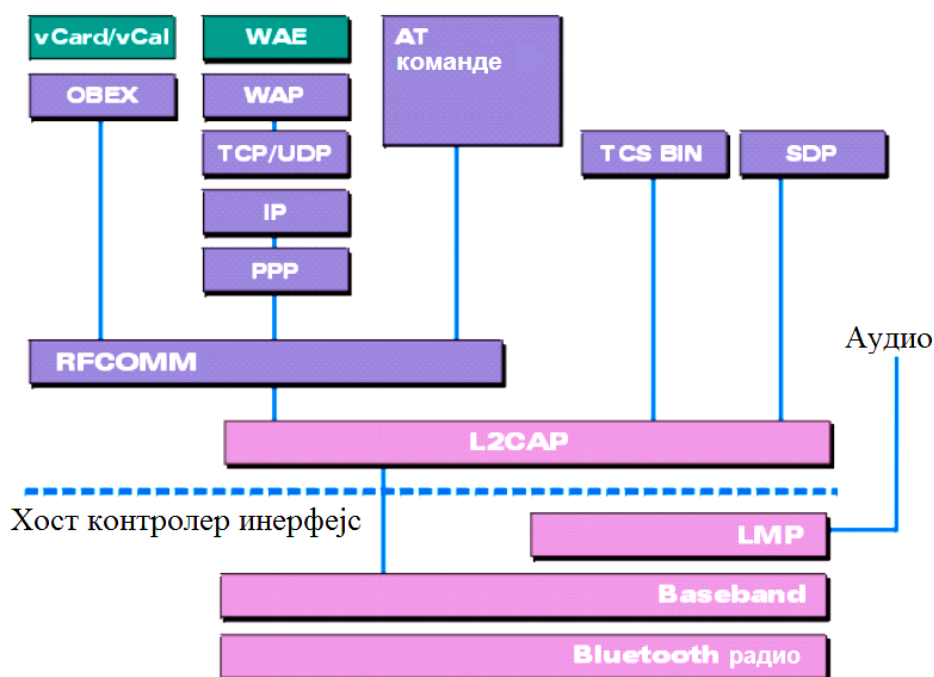
Године 1997. формирана је *Bluetooth Special Interest Group* група која се бавила бежичним мрежама кратког домета, да би већ 1999. године изашла верзија 1.0 *Bluetooth* стандарда. Последња верзија овог стандарда је 5.0 и он омогућава брзину од 50 Mbit/s са максималним дометом од 1, 10 или 100 m , што зависи од класе уређаја.

Bluetooth представља радио линк кратког домета који се користи за бежичне комуникације између рачунара, мобилних телефона и мобилних уређаја. *Bluetooth* уређаји раде у фреквентном подручју од 2.4 GHz . Овај опсег је нелиценциран и користи се за

пренос сигнала малих снага. Два *Bluetooth* уређаја који су међусобно удаљени до 10m могу користити капацитет преноса до 2Mbit/s. *Bluetooth* је намењен за подршку типова апликација које се користе за пренос података, говора, графичке информације и видео сигнала.

До осам корисника може комуницирати у малим мрежама званим пикомреже (*piconet*). Десет оваквих пикомрежа може коегзистирати и у истом радио-фреквентном опсегу додељеном *Bluetooth*-у. Да би се обезбедила сигурност, свака веза је кодирана и заштићена од прислушкивања и интерференције.

Bluetooth је дефинисан као протокол архитектуре организоване у нивоима коју чине протоколи језгра, замене каблова, телефонски управљачки протоколи и усвојени протоколи. На слици 5 је приказана грана са протоколима.



Слика 5. Протоколи.

Протоколи језгра формирају структуру од пет нивоа, коју чине следећи елементи:

- радио: специфицира детаље интерфејса слободног простора, укључујући фреквенцију, коришћење фреквентног скакања, модулационе шеме и снагу предаје;
- основни опсег: бави се успостављањем везе у оквиру пикомрежа, адресирањем, формирањем пакета и управљањем снагом предаје.

Протокол управљања везом – *LMP (Link Manager Protocol)*: одговоран је за успостављање везе између *Bluetooth* уређаја и управљањем везе која је у току.

Управљање логичком везом и коришћење протокола *L2CAP (Logical Link Control And Adaptation Protocol)*: прилагођава више нивое протокола нивоу основног опсега.

Протокол откривања сервиса – *SDP (Service Discovery Protocol)*: између крајњих корисника како би се остварила правилна веза између два или више *Bluetooth* уређаја.

Bluetooth специфицира и телефонски управљачки протокол *TCS BIN (Telephony Control Specification – Binary)*. *TCS BIN* представља битски оријентисани протокол који дефинише позивни сигнал ради успостављања одговорних позива и позива за пренос

података између *Bluetooth* уређаја. *Bluetooth* стратегија је да се користи што је могуће више стандардних протокола.

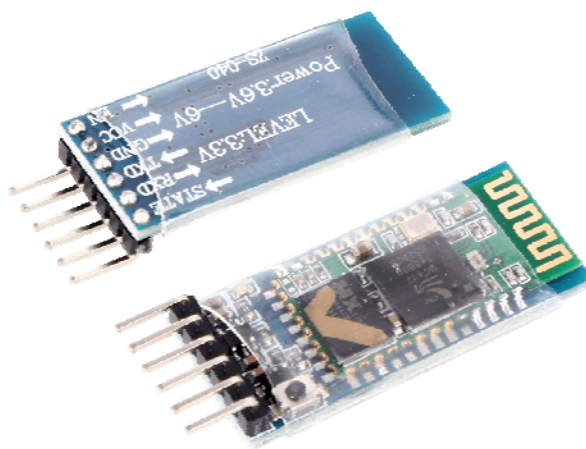
Усвојени протоколи укључују следеће:

- *PPP: Point to point* протокол;
- *TCP/UDP/IP*;
- *OBEX*: протокол за размену објеката је протокол на нивоу серије, а развијен је од стране *IrDA*²;
- *WAE/WAP*: *Bluetooth* уграђује у своју архитектуру бежично апликационо окружење и бежични апликациони протокол [2].

Након општих информација везане за *Bluetooth* уграђаје и протоколе, може се прећи на усвајање уређаја који ће, у овом пројектном задатку, решити питање бежичне комуникације. За остваривање бежичне комуникације усвојени су *Bluetooth* модули *HC-05*. Више о овим модулима је објашњено у наставку.

3.1. МОДУЛ HC-05

На слици 6 је приказан изглед усвојеног модула и његов распоред пинова, јер је потребно знати распоред због будућег пројектовања елемената који садрже конекторе за модул.



Слика 6. Полеђина *Bluetooth* модула са јасним распоредом пинова и изглед са предње стране

Након разматрања модула *HC-05*, као место за његово повезивање са електроником, усвојена је женска лествица од шест пинова (слика 7).



² *IrDA* (*Infrared data association*) је комуникациони протокол намењен point-to-point или point-to-multipoint комуникацији између електричних уређаја користећи директну инфра-црвену комуникацију кроз простор.

Модули *HC-05* припадају другој класи *Bluetooth* уређаја, што значи да им је максималан домет у интервалу од *5m* до *10m*. Такође је потребно нагласити да су карактеристични по томе што, у зависности од поставки параметара корисника, могу да раде или у режиму *MASTER* или у режиму *SLAVE*, за разлику од модула *HC-06*, који може да ради само у режиму *SLAVE*.

Након куповине модула, ако су нови и пре тога нису коришћени, они су фабрички подешени на *SLAVE* режим. Пошто су, за овај пројектни задатак, потребна два модула (један да шаље информације, а други да прима информације), аналогно њиховим улогама, потребно је извршити поставке за режим рада.

3.2. ХАРДВЕРСКА ПРИПРЕМА ЗА ПОСТАВКУ РЕЖИМА РАДА BLUETOOTH МОДУЛА

Поставке параметара за режим рада модула односе се на задавању *AT* команди, путем рачунара. За везу између рачунара и *Bluetooth* модула, потребно је поседовати *USB to TTL* серијски конвертор. За овај пројекат коришћен је *CP2102 USB 2.0 to TTL* серијски конвертор, а његов изглед са распоредом пинова приказан је на слици 8.

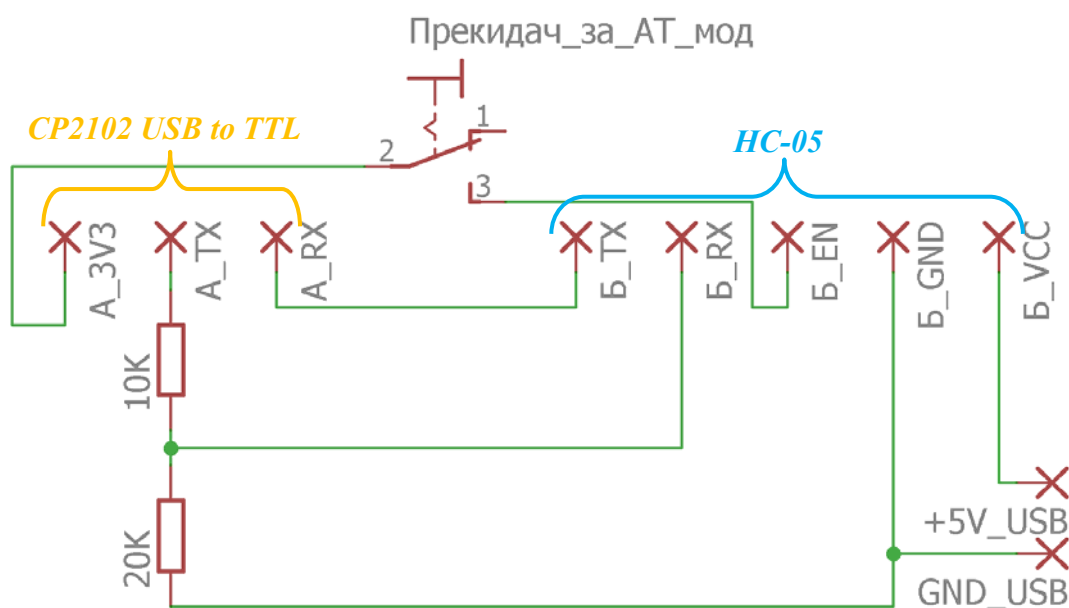


Слика 8. *CP2102 USB to TTL* конвертор

Овај конвертор се лако и једноставно повезује са рачунаром, преко серијског *USB* порта, а за повезивање са *Bluetooth* модулом потребно је испоштовати шему са слике 9 и правилно повезати.

Напомена: на *Rx* пин *Bluetooth* модула се не сме довести директан сигнал *Tx* са *USB to TTL* конвертора, јер на *Rx* пин не сме да се доведе напон од *5V*. Овакав проблем се решава напонским разделником, постављањем отпорника од *10kΩ* ка *Tx* пину конвертора и отпорника од *20kΩ* ка маси, тако да напон на отпорнику од *20kΩ* износи *3.3V* и тек онда, одатле сме да иде на *Rx* пин *Bluetooth* модула. На *Bluetooth* модул је потребно довести додатно напајање, како би се обезбедила довољна количина струје са *USB* порта и за модул и за конвертор. Оно што је јако битно, јесте да оба уређаја имају заједничку масу, како би могли да функционишу.

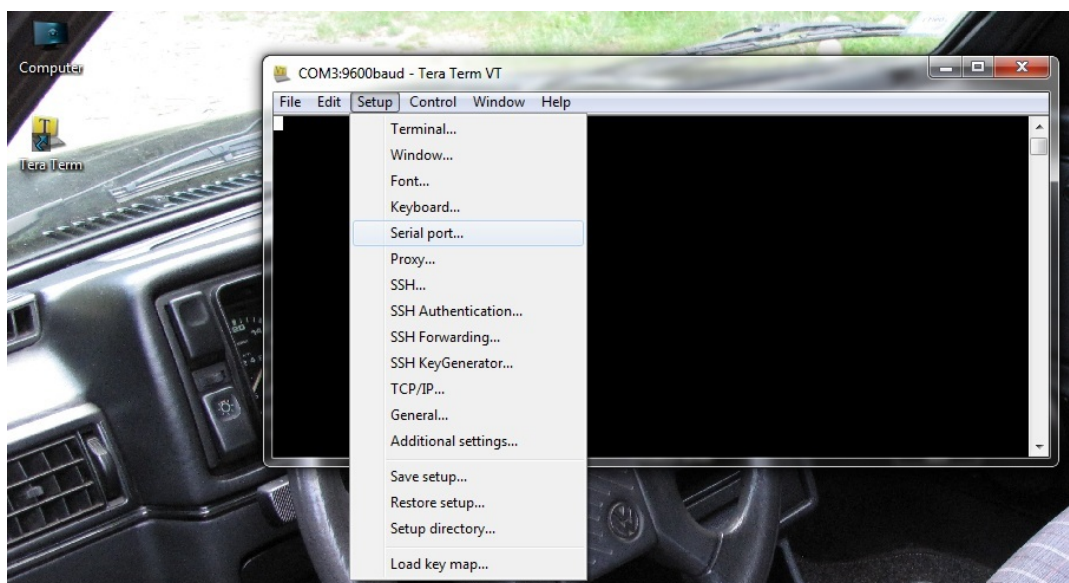
Пре укључивања уређаја, потребно је укључити прекидач за *AT* мод. Након што је један од *Bluetooth* модула повезан са *USB to TTL* конвертором који је повезан са рачунаром, потребно је испратити упутство које следи у наставку.



Слика 9. Шема повезивања Bluetooth модула и CP2102 USB to TTL конвертора

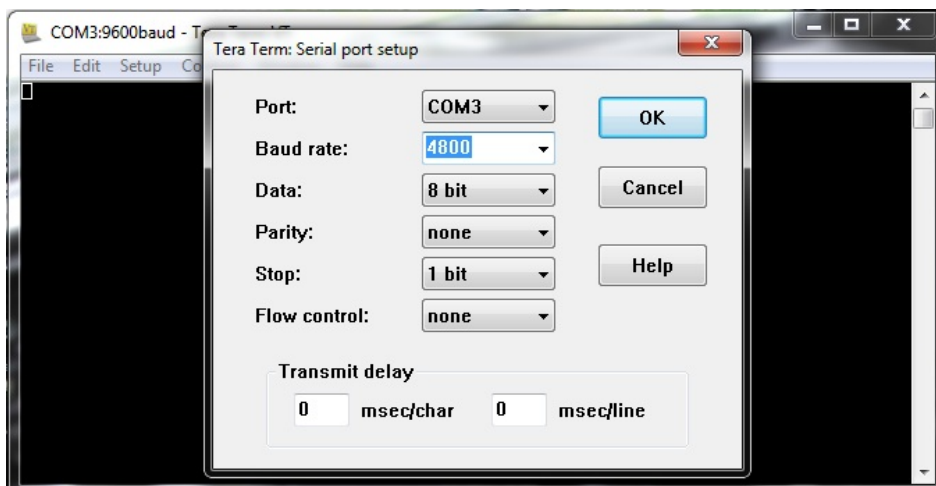
3.3. ПОСТАВКА МОДУЛА У SLAVE РЕЖИМ

За почетак, потребно је покренути терминал. За овај пројекат је коришћен терминал под називом *Tera Term*³, након чега је потребно одабрати *COM* порт на којем се налази *USB to TTL* конвертор, а после тога је потребно подесити параметре за серијску комуникацију и параметре везане за терминал. Упутство по којем се то ради дато је на слици 10, слици 11, слици 12 и слици 13.

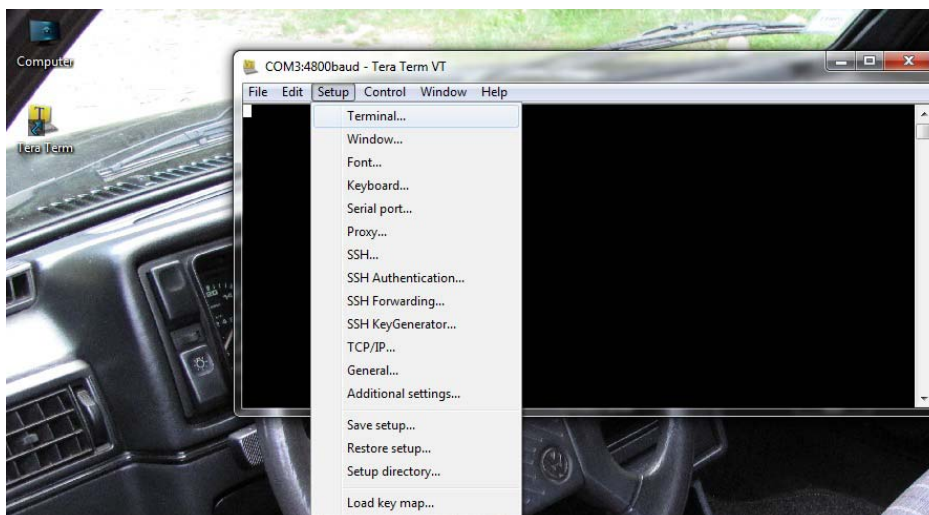


³ *Tera Term* софтвер се може преузети са следећег линка:
http://filehippo.com/download_tera_term/download/d46d29ca64be342761cd3cd75e71e30e/

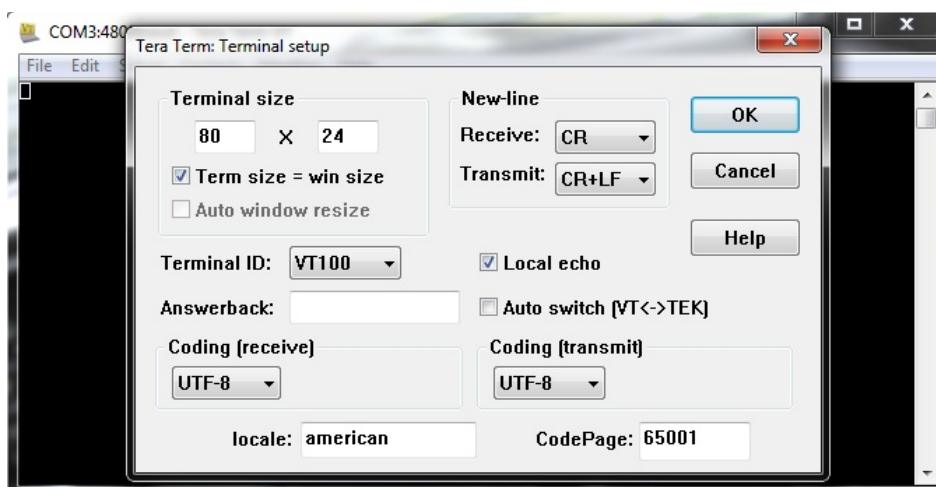
Слика 10. Улазак у подешавања која се односе на подешавање серијског порта



Слика 11. Поставке везане за серијски порт које морају бити постављене



Слика 12. Улазак у подешавања која се односе на подешавање терминала



Слика 13. Поставке везане за терминал које требају бити постављене

Ако су подешавања постављена као по упутствима са слика, да би се *Bluetooth* модул поставио у *SLAVE* режим рада, у терминалу је потребно откуцати следеће *AT* команде (након сваке команде је потребно притиснути тастер *ENTER*):

- *AT* → поновити пар пута, док се не појави *OK*, а ако се не појављује, нешто није у реду;
- *AT+ORGL* → поставка модула на фабричка подешавања;
- *AT+UART=9600,0,0* → поставка *Baud Rate* на 9600 у режиму рада ван *AT* мода;
- *AT+NAME=BT_SLAVE* → додељивање имена модулу;
- *AT+PSWD=sifra123* → поставка шифре;
- *AT+ROLE=0* → поставка модула у *SLAVE* режим рада;
- *AT+ADDR?* → команда после које се приказује адреса модула. Ова команда није обавезна, али је потребна у случају да постоји више *Bluetooth* уређаја, како би знали на коју адресу ћемо, касније, повезати *MASTER* уређај.

Ово су биле команде за поставке *Bluetooth* уређаја у *SLAVE* режим рада. Након тога се може искључити подешен *Bluetooth* модул и на његово место укључити други модул, са укљученим прекидачем за *AT* мод, и применити сличну процедуру. Инструкције следе у наставку.

3.4. ПОСТАВКА МОДУЛА У MASTER РЕЖИМ

Параметри за серијски порт и за терминал остају не промењени. Оно што је потребно урадити је унети следеће команде:

- *AT* → поновити пар пута, док се не појави *OK*, а ако се не појављује, нешто није у реду;
- *AT+ORGL* → поставка модула на фабричка подешавања;
- *AT+UART=9600,0,0* → поставка *Baud Rate* на 9600 у режиму рада ван *AT* мода;
- *AT+NAME=BT_MASTER* → додељивање имена модулу;
- *AT+PSWD=sifra123* → поставка шифре;
- *AT+RMAAD* → распаривање од претходно упарених уређаја;
- *AT+ROLE=1* → постављање модула у *MASTER* режим рада;
- *AT+CMODE=0* → дозвола конекције само на фиксну адресу;
- *AT+INIT* → иницијализација профила серијског порта;
- *AT+INQ* → претрага адреси *Bluetooth* уређаја;
- *AT+BIND= 2017,2,203388* → унос адресе подешњног *SLAVE* уређаја.

Након уноса ових команди, *Bluetooth* уређаји су упарени и потребно је извршити тестирање.

3.5. ПРОВЕРА ПОСТАВКИ ПАРАМЕТАРА ЗА BLUETOOTH МОДУЛЕ

Тестирање се врши уз помоћ два рачунара. За то је потребно да се поседују и два *USB to TTL* конвертора. Ако је и други конвертор идентичан као већ коришћени, онда и за њега важи идентична шема повезивања са слике 8.

Уређаји се, овог пута, укључују без укљученог прекидача за *AT* мод, а у софтверу *Tera Term* је потребно, у параметрима за серијски порт, да се подеси *Baud* на 9600, ако већ није аутоматски подешено, након поновног уласка у софтвер. Сви остали параметри, везани за софтвер, се постављају као што је већ објашњено у поглављу које се односи на хардверску припрему и постављају се на оба рачунара.

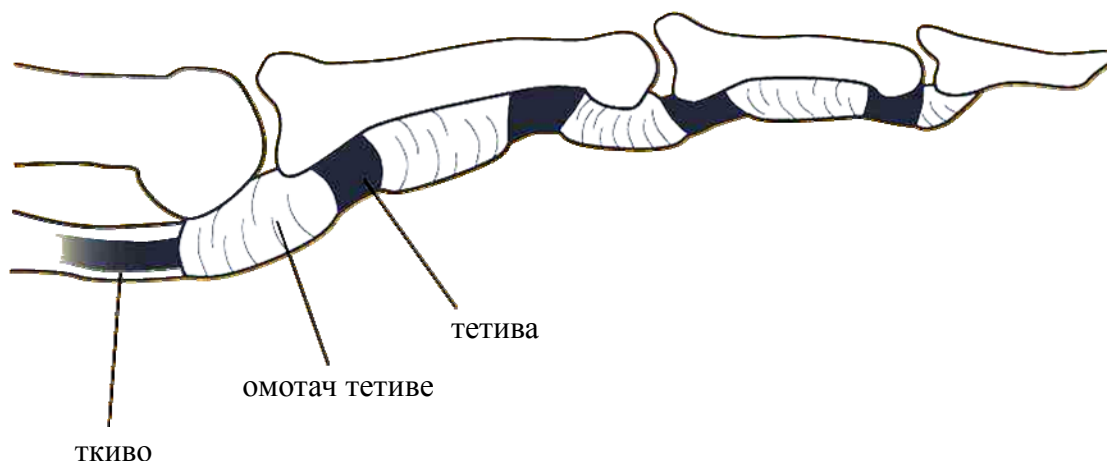
Знак успешног конектовања је приказивање произвољно унетих карактера у терминал једног корисника, на терминал другог корисника и обратно. Фреквенција трептања индикационих диода на *Bluetooth* модулима такође говори да су међусобно повезани, што говори да је тестирање успешно завршено, па се може зашчети пројектовање и израда појединих делова роботске шаке.

4. ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ИЗРАДА ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА РОБОТСКЕ ШАКЕ

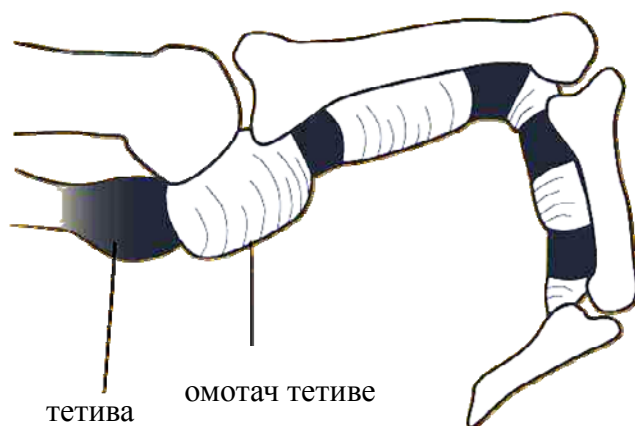
За пројектовање и израду роботске шаке потребно је знање из многих области, као што су: електроника, програмирање, механика, познавање материјала и друге. Такође је потребно имати практичног искуства, потребан алат и искуства са управљањем разним алатима. Неки од тих алата су: лемилица, бушилица, брусилница и доста додатних алата попут механичких склопова које припомажу обради. Наравно, поред свега тога је потребно имати одговарајуће електронске компоненте које се леме или који се обрађују. Пројекат почиње од конструисања прстију роботске шаке.

4.1. КОНСТРУИСАЊЕ И ИЗРАДА ПРСТИЈУ РОБОТСКЕ ШАКЕ

Прсти на роботској шаки се праве по узору на прсте људске шаке и треба да опонашају покрете људских прстију. На слици 14 је приказана анатомија људског прста у случају у којем је прст скроз опружен, а на слици 15 је приказан случај у коме је прст савијен.



Слика 14. Анатомија људског прста у опруженом положају



Слика 15. Анатомија људског прста у савијеном положају

Као што се види на сликама, тетива се затеже дуж прста, а својим затезањем проузрокује савијање прста, док омотач тетиве има улогу да држи тетиву уз кости. За овај пројекат су направљене две верзије о којима ће бити више речи у наставку.

4.1.1. ПРВА ВЕРЗИЈА ПРСТА

Како би се најлакше разумео принцип рада прве верзије прста за роботску шаку, потребно је погледати слику 16 и пратити следеће објашњење како је направљена.



Слика 16. Изглед прве верзије прста у опруженом положају

Конструкција прста, у овој верзији, се састоји од једножилног проводника пуног пресека, дебљине $2,5\text{mm}^2$, који је исечен на три дела. Ти исечени комади проводника са изолацијом представљају замену за кости прста људске шаке.

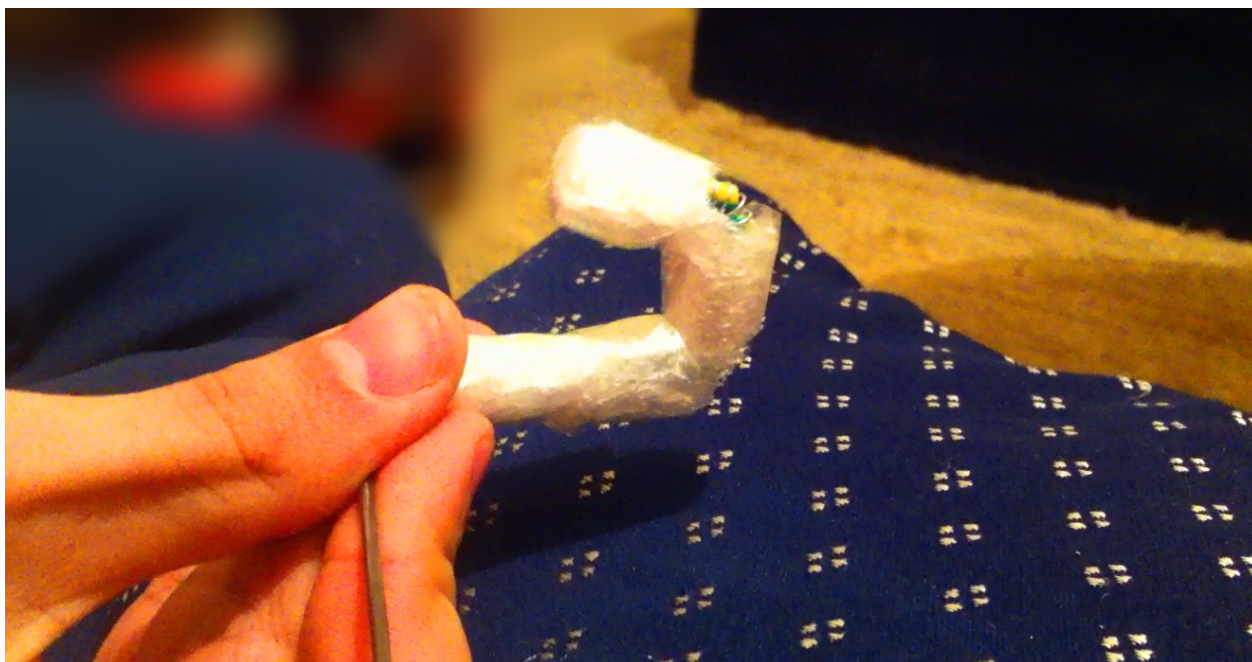
Сајла има улогу тетиве. Она је на врху прста, завезана за проводник и како се сајла затеже, прст се савија. Сајла је направљена од специјалног конца који има такву карактеристику да не може да дође до пуцања приликом затезања рукама.

Зглобове замењују опруге из хемијске оловке. У опругу је, са једне стране, увучен један проводник, а са друге стране други проводник. Карактеристике опруге су такве да је она еластична не само на притисак дуж њене аксијалне осе (као што има улогу при паљењу и гашењу хемијске оловке), него и на савијање, те након повлачења сајле (савијања прста) она има улогу да врати прст у почетну позицију (опружен прст).

Облога од PVC^4 фолије не само да има улогу да попуни простор око проводника, како би прст приближно изгледао као људски, него има и улогу изолације за тетиву. Сајла се провлачи дуж PVC фолије. Слика прста у савијеном положају је приказана на слици 17. Видео запис рада прста приказан је на линку 1^5 .

⁴ PVC је скраћеница за поливинил-хлорид. Од њега се праве фолије, изолације ел. проводника, играчке и други

⁵ Линк 1 - <https://drive.google.com/file/d/0B1oP4Q3qPZ3JMIUzaGx1WjJqeE0/view?usp=sharing> - приступљено 05.10.2017.



Слика 17. Изглед прве верзије прста у савијеном положају

Резултат тестирања је следећи: прст се савија и отпушта без икаквих потешкоћа док нема никаквог оптерећења или док је под малим оптерећењем. Чим се доведе веће оптерећење, приликом савијања прста долази до непожељне деформације опруге. Оваква нежељена реакције прста при мало већем оптерећењу, доводи до потребе за потрагом другог решења. Из тога произилази друга идеја за конструисање прстију, која је представљена у наставку.

4.1.2. ДРУГА ВЕРЗИЈА ПРСТА

Друга верзија прста се заснива на истом принципу, само што је, у овом случају прст направљен од тврде гуме (слика 18). Гума је под углом засечена на местима где прст треба да се савија, тј. на зглобовима, како би се на том месту гума ослабила и омогућило савијање.

Тетива је као у првој верзији, сајла која је идентичних карактеристика. Такође је закачена на врху прста и простире се дуж прста, кроз каналиће који су усечени у гуми. Како се сајла затеже, прст се савија, а након отпуштања сајле, еластично својство гуме враћа прст у првобитан положај.



Слика 18. Изглед друге верзије прста у опруженом положају

Изолација за тетиву је бакарна жица која је савијена у ћирилично слово „П“ и постављена на позиције као на слици 18, у отворе на гуми предвиђене за то. На полеђини прста се савију крајеви бакарне жице (један крај ка другом) како би се осигурало од нежељеног испадања жице из отвора, приликом рада прста, услед затезања сајле.

У самом подножју прста се налазе два вијка матричног навоја *МЗ* који служе за учвршћивање прста на елемент на који представља носач за прсте.

Након тестирања, ова верзија се показала далеко боља од прве верзије. Прст може да поднесе и мало веће оптерећење, без икаквих увијања и деформација. Из тог разлога је друга верзија усвојена као коначна верзија и израђени су и преостали прсти. На слици 19 је приказан изглед свих пет прстију, елементи који се налазе на крајевима сајли су подесиве закачке, помоћу којих се сајла може лако закачити, а такође се на тим закачкама може и грубо подесити одговарајућа дужина сајле.



Слика 19. Приказ свих пет прстију, након израде

4.2. ОДАБИР АКТУАТОРА

Актуатори су уређаји који претварају електричне или флуидне улазе у механичке излазе као што су позиција, сила, угао или момент [3]. Улога актуатора у овом пројекту је да замени улогу мишића који затежу тетиве које савијају прсте. С обзиром да је цео овај пројекат предвиђен да се напаја електричном енергијом једносмерне струје и у избор за актуаторе улазе само актуатори који се снабдевају једносмерном струјом.

Такође је потребно да актуатори буду малих димензија, како габаритне вредности роботске шаке не би превише одступале од димензија људске шаке, а уједно морају да обезбеде довољну снагу за савијање прстију, као и одговарајућу прецизност.

Након разматрања свих услова које захтева роботска шака од актуатора, за замену мишића усвојени су стандардни *DC* серво мотори који ће се, кроз овај рад, звати само серво мотори. На располагању су била четири серво мотора произвођача *Ansmann* ознаке *Basic Line AR 505* (слика 20) и један серво мотор произвођача *Modelcraft* ознаке *RS-2* (слика 21). Усвојени мотори при напону од $5V$ приближно могу да остваре момент од $3kg/cm$, што је сасвим задовољавајуће. Такође је и експериментално утврђено.

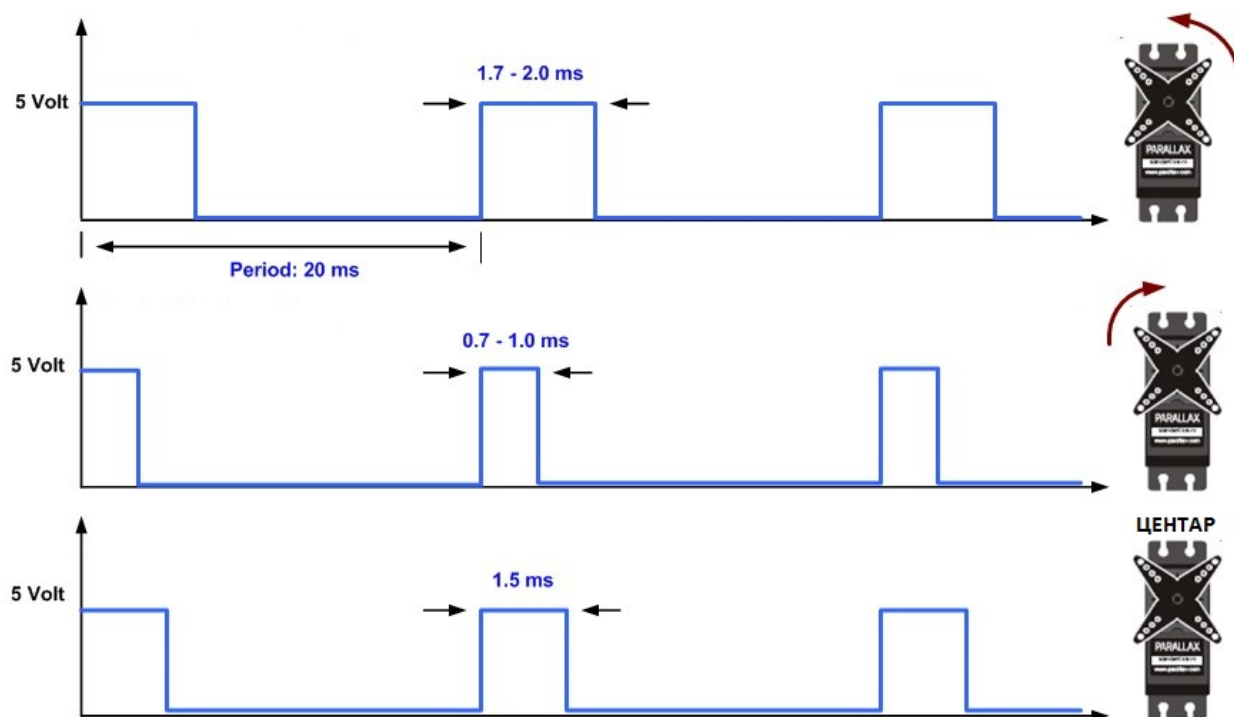


Слика 20. Серво мотор *Ansmann Basic Line AR 505* са крстићем



Слика 21. Серво мотор *Modelcraft RS-2*

Управљање оваквим актуаторима врши се PWM ⁶ сигнаlima. На слици 22 је приказан дијаграм уопштеног принципа по којем се генеришу PWM сигнали за серво моторе. За прецизнија подешавања угла закретања крстића на серво мотору је потребно мењати параметар дужине трајања импулса.

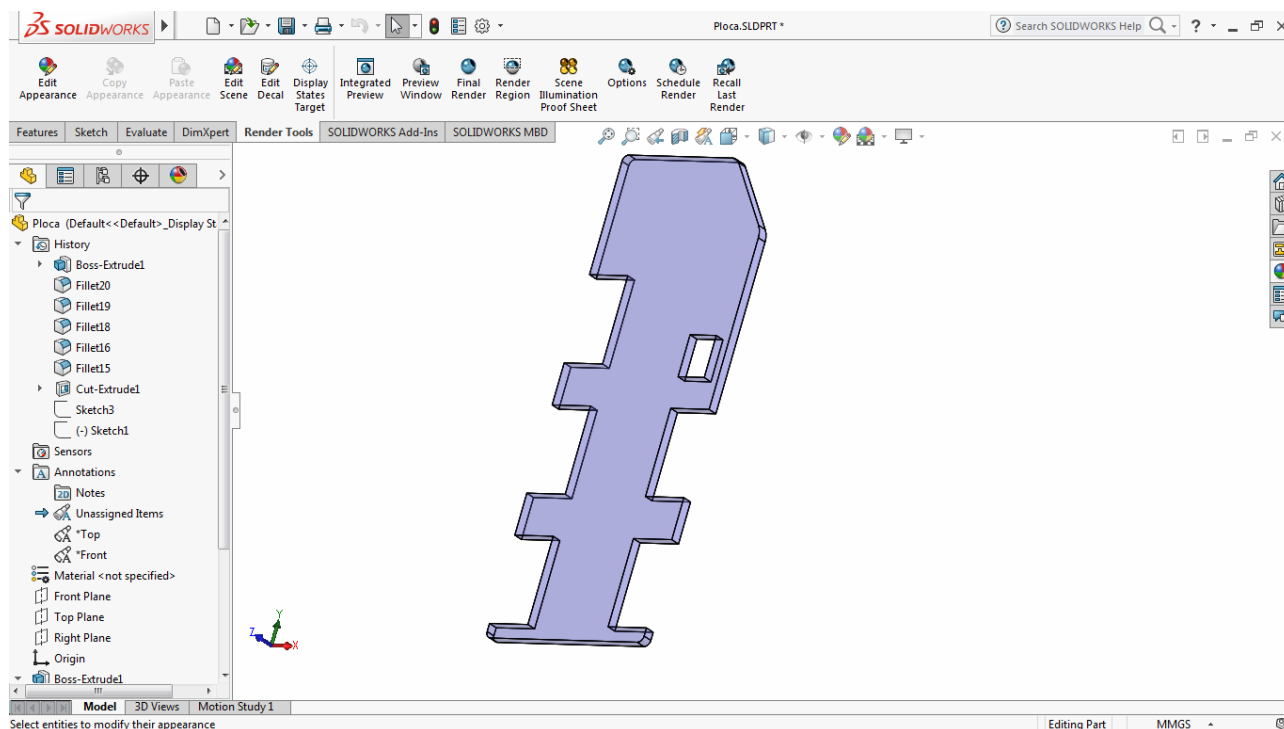


Слика 22. Уопштени дијаграм генерисања PWM сигнала за серво моторе

⁶ PWM је скраћеница од *Pulse Width Modulation* што значи Импулсно-Ширинска Модулација и представља врсту управљања која представља начин да се од дигиталног сигнала направи аналогна вредност. Однос импулс/пауза се модулише тако да одговара специфичном нивоу аналогног сигнала.

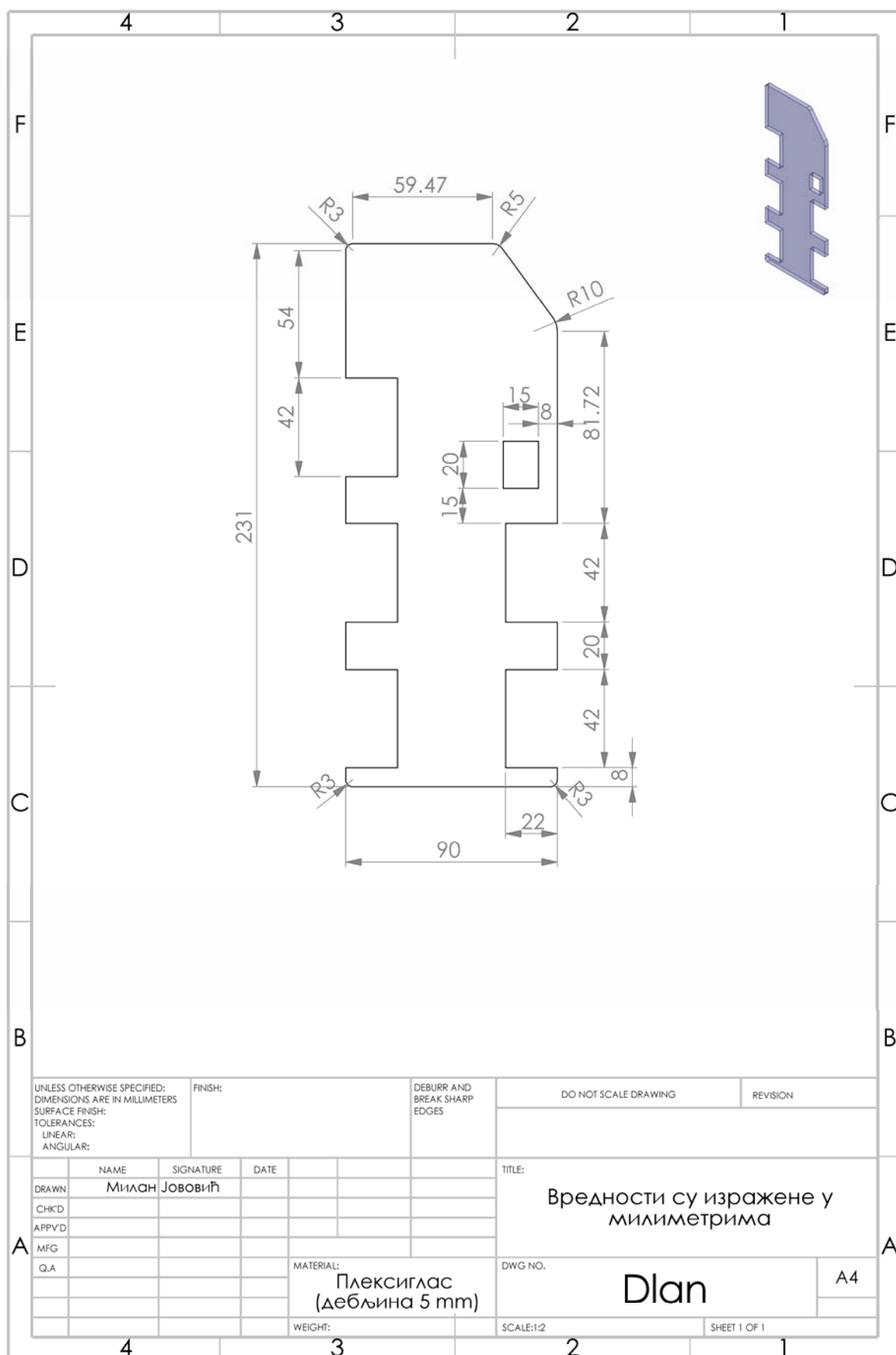
4.3. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ДРЖАЧА ЗА ПРСТЕ И МОТОРЕ

Након што су израђени прсти и усвојени мотори, потребно је направити њихове држаче. Такав држач игра улогу длана људске руке. На основу димензија серво мотора и прстију, пројектује се длан. Длан је испројектован у софтверу *SolidWorks*⁷ 2017. Тродимензионални изглед длана је приказан на слици 23, а технички цртеж са димензијама је приказан на слици 24.



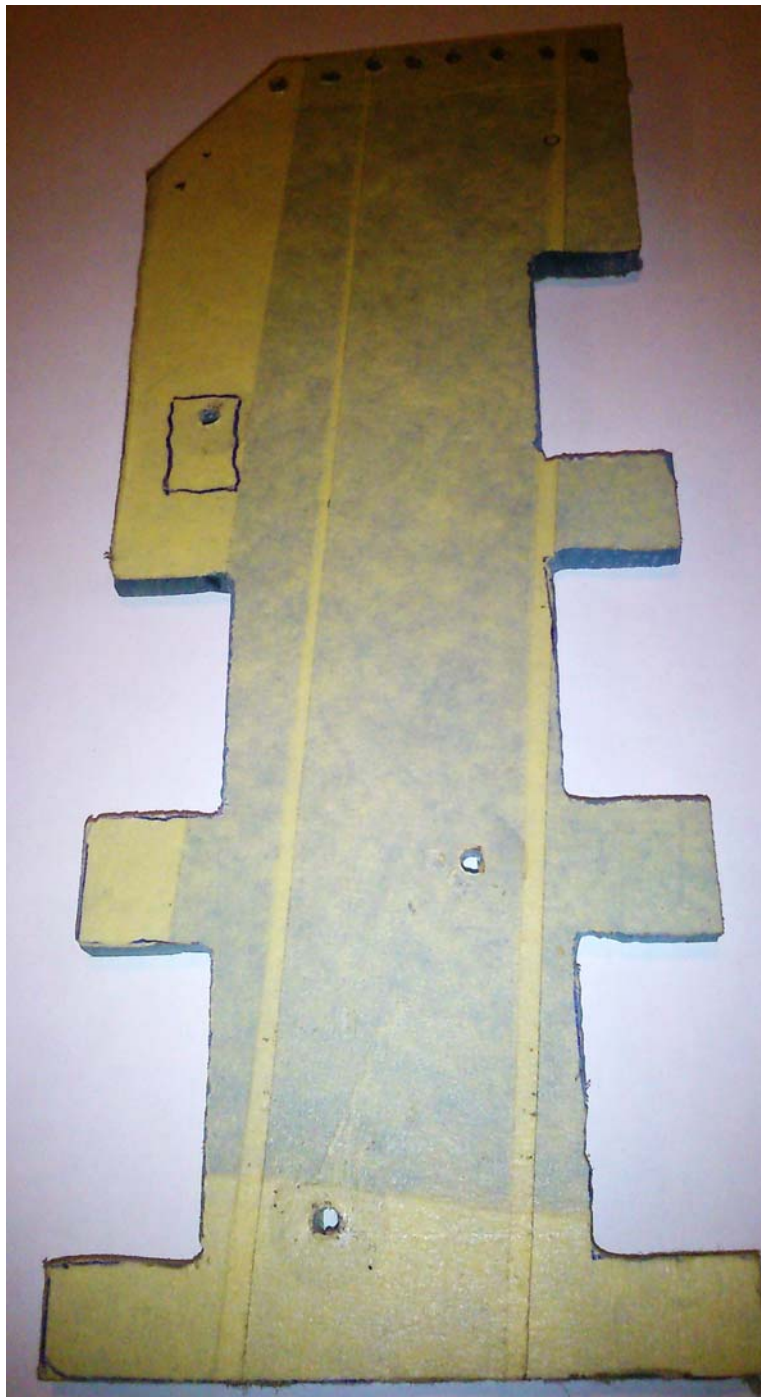
Слика 23. Тродимензионални приказ елемента у SolidWorks-у

⁷ *SolidWorks* је рачунарски програм који служи за тродимензионално моделовање. Творац овог софтвера је компанија *Dassault Systèmes*.

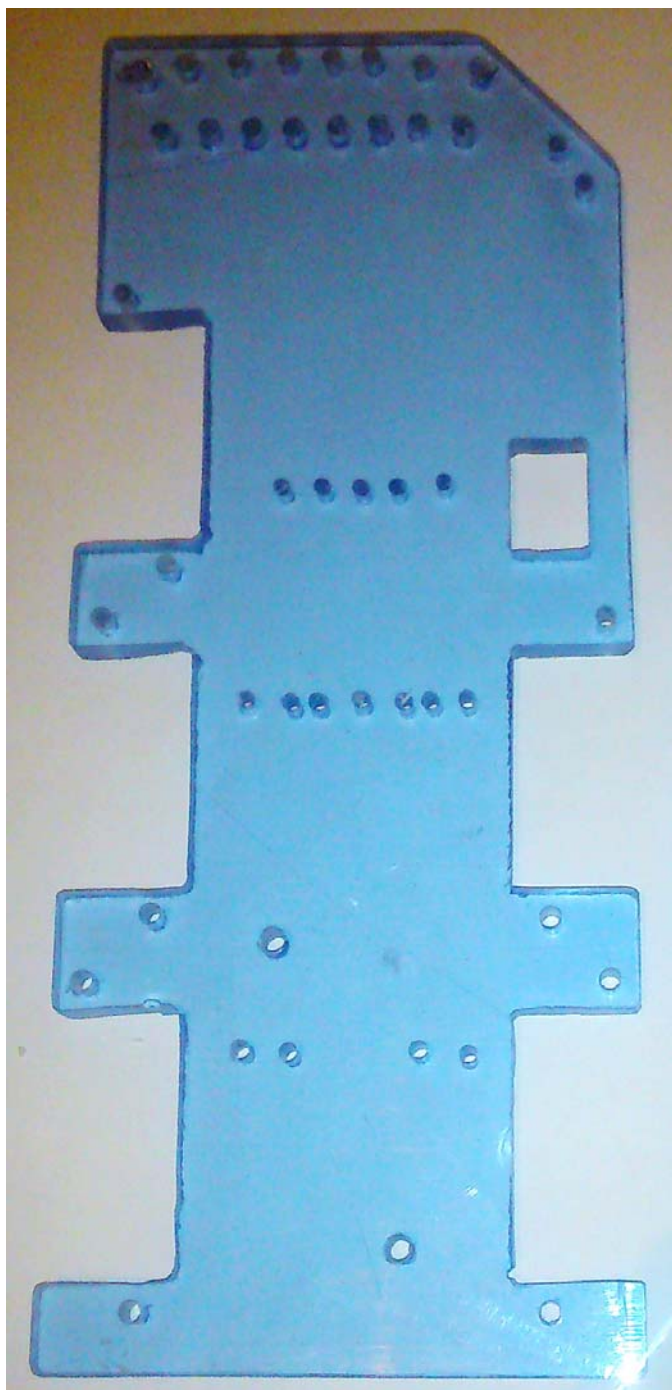


Слика 24. Технички цртеж длана роботске шаке

Длан је израђиван ручно, по димензијама са техничког цртежа. Димензије су пренете на плесиглас плочу која је сечена уз помоћ брусилице, док су ивице, након обраде брусилицом, обрађене турпијом. Отвори су бушени накнадно, након прецизнијег одређивања позиције компонената које треба да буду смештене на длан роботске шаке. Изглед длана након сечења је приказан на слици 25, а крајњи изглед, након бушења отвора, приказан је на слици 26.



Слика 25. Изглед длана роботске шаке након сечења



Слика 26. Изглед длана роботске шаке након бушења отвора за компоненте

4.4. СЕНЗОРИ

Сензори су уређаји који претварају физичку величину као што су температура, удаљеност, притисак и слично у неку другу величину, која се даље обрађује. Таква величина је најчешће електрична величина, јер је та величина најпогоднија за обраду.

Сензори се могу класифицирати у две групе. По улазној величина и по врсти излаза.

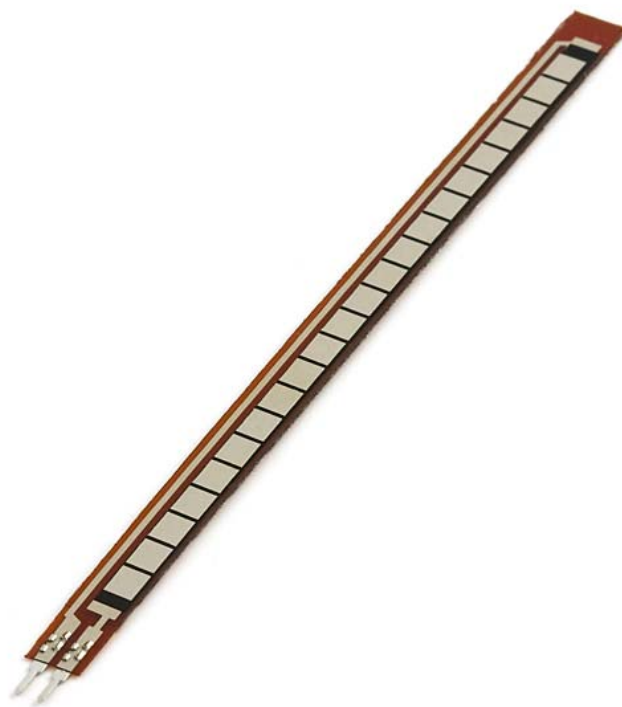
Подела по улазној величини:

- напон, струја, отпор;
- температура, притисак, влажност;
- положај, брзина, убрзање, сила;
- време, фреквенција;
- ниво, проток;
- електромагнетно зрачење и
- звук.

Подела по врсти излаза:

- аналогни – стандардне излазне вредности са струјних сензора су у интервалу од 0-20mA и 4-20 mA, а стандардне излазне вредности напонских сензора су 0-5V, 0-10V и $\pm 10V$.
- дигитални – најчешће се користи серијска комуникација према неком од стандардних протокола.

За пројектовање сензора роботске шаке, која имитира покрете људских прстију, потребни су такви сензори који ће претворити те исте покрете у електричну величину. Наравно, такви сензори постоје. То су, такозвани *Flex* сензори. На слици 27 је приказан такав сензор. Савијањем сензора мења се отпорност на излазу сензора.

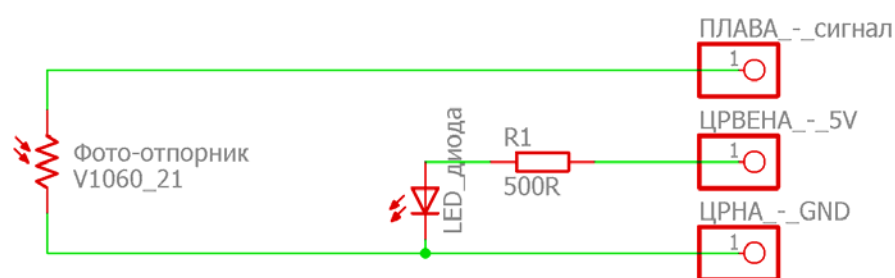


Слика 27. *Flex* сензор дужине 4.5" (114.3mm)

Трагање за овим сензором, у Србији, није завршено позитивним резултатом, а сам процес испоруке, након наручивања из неке друге државе, може да потраје и до неколико месеци. Због тога ова опција није усвојена.

У потрази за алтернативним решењем, пронађена су разна упутства о ручном прављењу *Flex* сензора. Један он упутстава приказан је на линку 2⁸. Ово решење, као ни многа слична нису усвојена, јер су се, након тестирања показали или непрецизни или кратког животног века, јер би дошло до прекида у алуминијуму, након извесног броја савијања, или до сличних оштећења.

Након дужег времена трагања и бројних покушаја и тестирања са непогодним резултатима, родила се идеја о сензору који би био направљен по следећем опису: одсече се комад провидног, лако савитљивог црева. Са једне стране црева се уметне *LED* диода⁹, а са друге стране црева се уметне фото-отпорник¹⁰. Након тога, на тако постављене елементе се навуче термо-бужир¹¹ одговарајуће дужине.



Слика 28. Шематски приказ сензора.

Електрична шема сензора (слика 28) заснована је на следећем принципу: кад се *LED* диода активира, она кроз цев шаље светлосне зраке који би допирали до фото-отпорника. Савијањем тако направљеног сензора би се смањивао интензитет светлости, а самим тим и расла отпорност на фото-отпорнику, све док се црево не савије до максималног положаја. У том положају, вредност на фото-отпорнику би била максимална вредност коју сензор може да проузрокује савијањем. Црево би требало бити провидно из разлога што би се светлост преносила кроз зидове црева, иако би се црево скроз савило и онемогућило директно простирање светлосног зрака до фото-отпорника, а термо-бужир би имао улогу као изолатор од спољних сметњи, тј. да спречи улазак светлости са спољне стране, како би излазне вредности са фото-отпорника биле увек исте у одговарајућој позицији, било да је дан или ноћ, или било да је просторија осветљена или не.

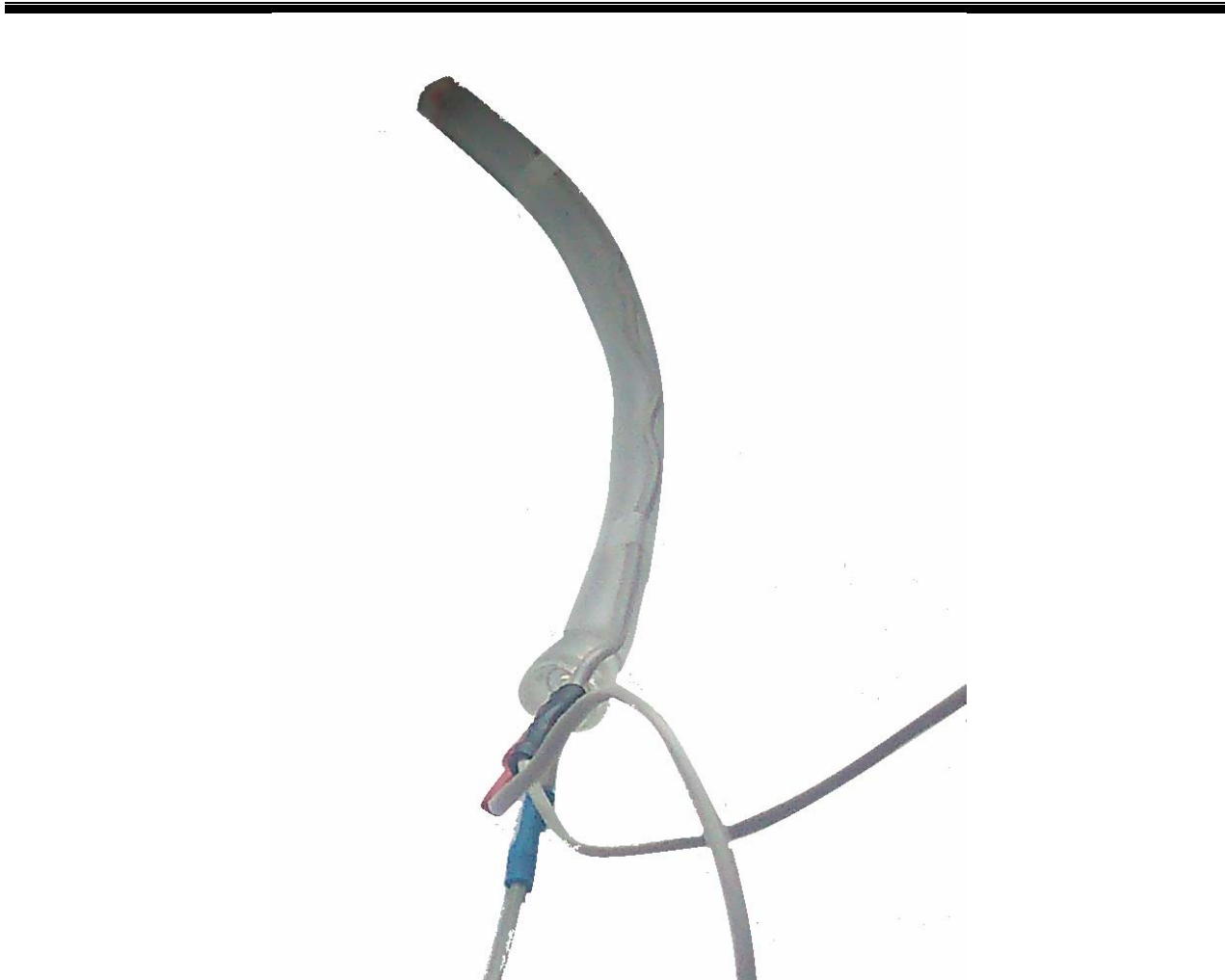
Након ове идеје, покренут је процес израде таквог сензора. Процес израде је приказан на следећим сликама (слика 29 и слика 30)

⁸ Линк 2: <https://www.youtube.com/watch?v=V6h8ikeDQyA> - приступљено 05.10.2017.

⁹ *LED* диода (*Light-emitting diode*), је посебна врста полупроводничке диоде која емитује светлост када је пропусно поларисана, тј. када кроз њу тече струја.

¹⁰ Фото-отпорник је отпорник који мења своју отпорност у зависности од интензитета светлости.

¹¹ Термо-бужир је црево које при топлоти мења свој волумен, тј. скупља се. У електроници се најчешће користи као изолација.

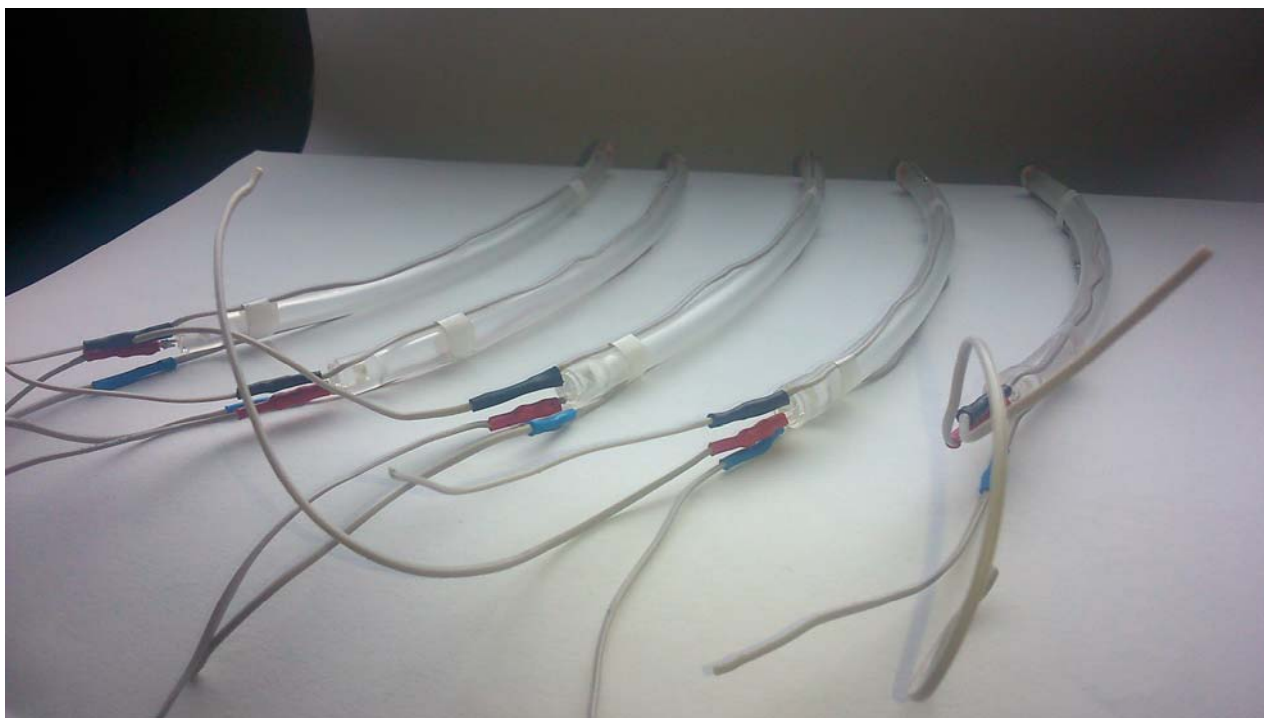


Слика 29. ручно прављени Flex сензор без термо-бужира



Слика 30. Стављање црева у термо-бужира

Након тестирања, сензор се у раду показао одлично. Далеко је прецизнији од свих претходних. А и век трајања је приближно бесконачан, јер *LED* диода није под максималним оптерећењем јер је постављен отпорник, тако да не може лако да дође до њеног прекида рада. До отказа сензора може да дође само у случају нестручног руковања опремом, тј. при чупању *Flat*¹² каблова и слично. Због добрих карактеристика ових сензора, они се усвајају и праве се сензори за преостале прсте. Изглед свих пет сензора без термо-бужира приказан је на слици 31, а на слици 32 је дат изглед свих пет готових сензора.



Слика 31. Приказ свих пет сензора пре поставке у термо-бужира

¹² Низ танких проводника са изолацијом који су међусобно спојени један уз други чине *Flat* кабл.

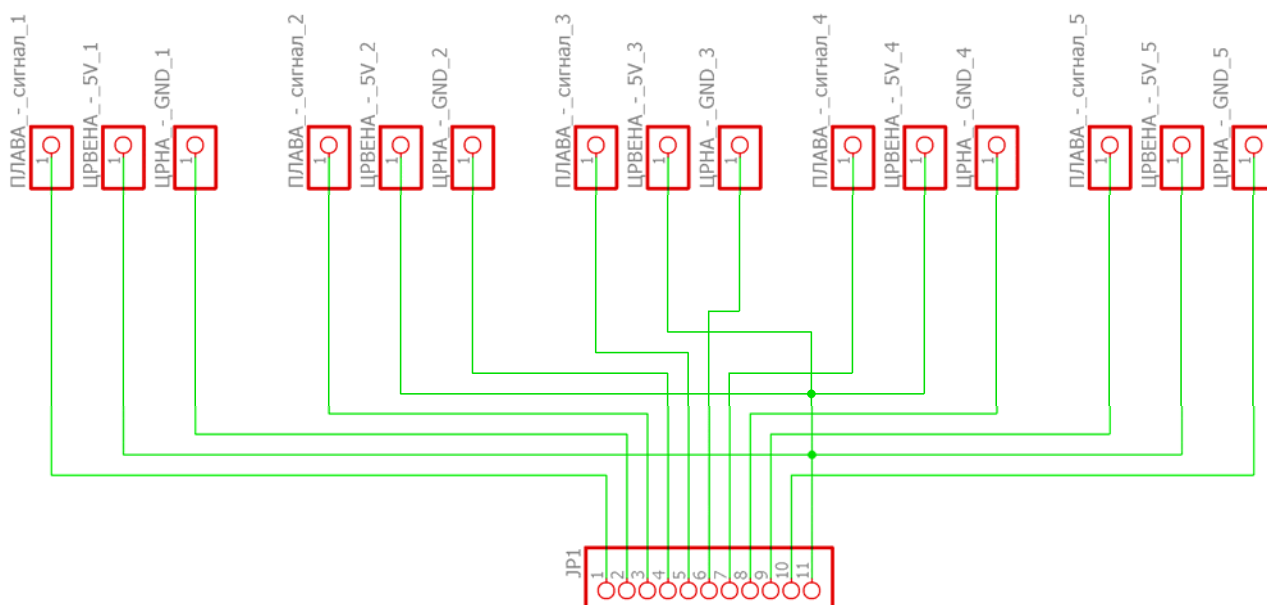


Слика 32. Приказ свих пет сензора након поставке у термо-бужир

После завршетка израде сензора, потребно их је причврстити тако да се лако и практично могу поставити на људску руку и како би се без потешкоћа људски прсти могли савијати, за време док су сензори на руци. Као решење овог проблема употребљена је обична танка радна рукавица. Сензори су зашивени за рукавицу, што се може видети на слици 33, а каблови свих пет сензора су пришивени на конектор по шеми са слике 34, како би се сензори лако повезали са остатком електронике, о којој ће бити речи у наставку.



Слика 33. Изглед свих сензора монтираних на рукавицу



Слика 34. Шема повезивања свих сензора на један конектор

4.5. ЕЛЕКТРОНСКИ СКЛОП ЗА РУКАВИЦУ

Електронски склоп за рукавицу треба да обезбеди пријем сигнала са сензора, претвори аналогне вредности сензора у дигиталне вредности и бежичним путем пошаље дигиталне вредности. Како би пројектовали и израдили електронски склоп за рукавицу потребно је да размотримо захтеве таквог сензорског дела.

4.5.1. ЗАХТЕВИ СЕНЗОРСКОГ ДЕЛА И ИЗБОР КОМПОНЕНАТА

Као што је већ речено, потребно је да се одреде сви захтеви сензорског дела, како би усвојили, пре свега, максималне димензије плочице за електронику, а потом усвојили компоненте, направили електричну шему и креирали штампану плочицу на којој је потребно залемити одговарајуће компоненте.

За димензионисање величине плочице потребно је добро размислити о простору на којем треба да буде одговарајућа електроника. Из практичног искуства се оријентационо одреди површина коју би заузимала електроника. Након тога, разматрањем рукавице са сензорима, може се доћи до закључка да она не поседује довољно простора који би задовољио оријентационо предвиђену површину. За решење овог проблема појавила се идеја о обезбеђивању додатног простора предвиђеног за одговарајућу електронику. Тај додатни простор може да обезбеди гумица за косу, која би се ставила на руку, одмах поред рукавице са сензорима. Рукавица је купљена у оближњој продавници, а њен изглед је приказан на слици 35. Како би сва електроника стала на гумицу за косу, употребљену као наруквицу (у даљем раду ће се звати наруквуца), електроника мора да се направи тако да се састоји од две штампане плочице где би једна стајала изнад друге, а међусобно би биле повезане. Усвојене максималне димензије штампаних плочица су: $35mm \times 70mm$

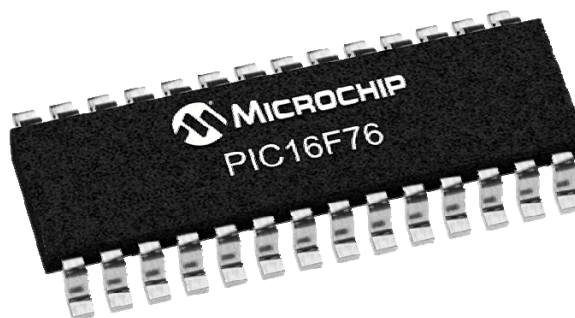


Слика 35. Гумица за косу која решава проблем недостатка простора за електронику.

Након одређивања коначних димензија плочице, потребно је усвојити контролер. Он представља мозак целог система. Микроконтролер треба да задовољава следеће услове:

- пет аналогних улаза, за сигнале са сензора на рукавици и
- да подржава серијску комуникацију (поседује пинове Rx^{13} и Tx^{14}).

Микроконтролер који је задовољавао претходне услове, уједно је и био на располагању. Стога је усвојен контролер компаније *Microchip* ознаке *PIC16F76* паковање *SO28*. Његов изглед је приказан на слици 36, а спецификација је дата на линку 3¹⁵.



Слика 36. Микроконтролер *PIC16F76* паковање *SO28*

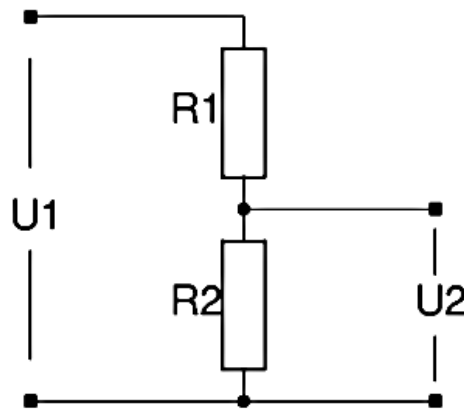
Идеја о претварању сигнала са рукавице која даје промену отпорности у сигнале које представљају промену вредности напона, реализована је напонским разделником. На слици 37 је приказан принцип рада напонског разделника, где је:

¹³ Rx је скраћено од *Receive* – примање података.

¹⁴ Tx је скраћено од *Transmitte* – слање података.

¹⁵ Линк 3: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30325b.pdf> - приступљено 05.10.2017.

- $R1$ - константна отпорност;
- $R2$ - вредност отпора са сензора у одређеном тренутку;
- $U1$ - улазни напон и
- $U2$ - излазни напон у тренутку у којем је очитана вредност отпорника $R2$.

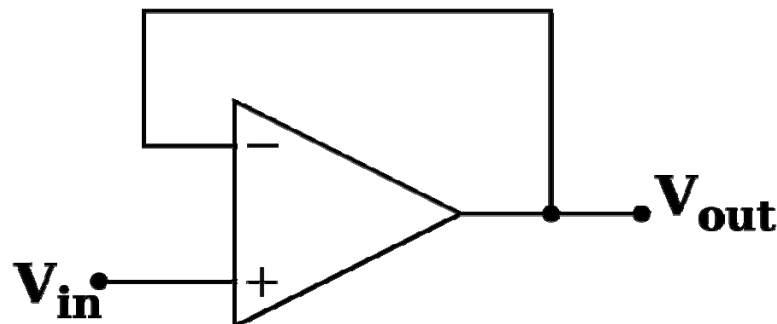


$$U2 = \frac{U1 * R2}{R1 + R2}$$

Слика 37. Напонски разделник

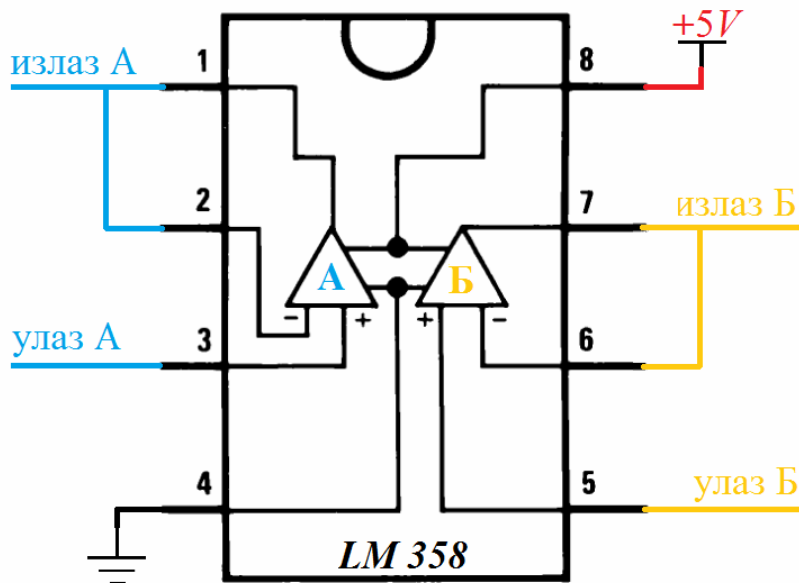
Како су $R1$ и $U1$ константне вредности, закључујемо да је излазни напон $U2$ зависан само од отпорника $R2$. Из тог разлога напонски разделник, у овом случају, користи као конвертор промене вредности отпора са сензора у промену вредности напона.

За даљу обраду таквог сигнала, потребно је прво сигнале довести на јединични појачавач. Јединични појачавач је специјални случај неинвертујућег појачавача. Улазна импеданса јединичног појачавача је бесконачно велика, а његово напонско појачање износи тачно један. Зато он представља идеални раздвојни степен, те представља идеално решење када је потребно повезати склоп који има веома велику излазну импедансу са склопом који има малу улазну импедансу. Као такав он спречава утицај оптерећења на сам извор сигнала [4]. Слика јединичног појача је дата на слици 38, где је V_{in} улазни напон, а V_{out} излазни напон.



Слика 38. Јединични појачавач

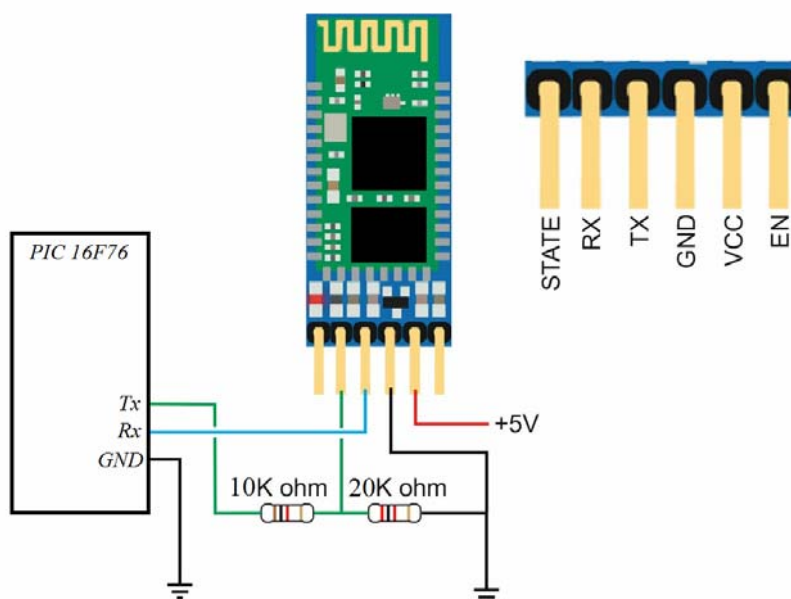
Усвајањем операционог појачавача *LM358* (паковање *SO28*) лако се могу направити два јединична појачавача, повезивањем по упутству приказаној на слици 39. Спецификација усвојеног операционог појачања је дата на линку 4¹⁶.



Слика 39. Шематски приказ повезивања

При пројектовању плочице сензорског дела, потребно је оставити места за *Bluetooth* модул, а елемент за његово конектовање је женска лествица са шест пинова, као на слици 7.

Напомена: и у овом случају, на *Rx* пин *Bluetooth* модула се не сме довести директан сигнал из микроконтролера, јер на *Rx* пин не сме да се доведе напон од *5V*. Зато овакав, већ познат проблем, решавамо напонским раздлеником, по упутству са слике 40.



Слика 40. Правилно повезивање *Bluetooth* модула са микроконтролером

¹⁶ Линк 4: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm158-n.pdf> - приступљено 05.10.2017.

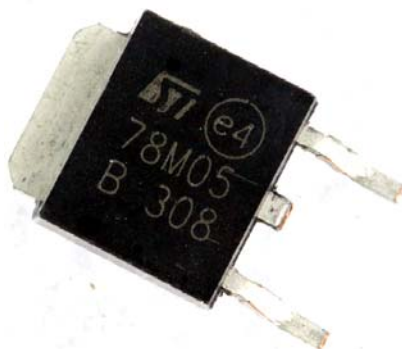
После усвајања основних компоненти потребно је да се дефинише напон напајања. Подржавани напони за усвојене компоненте су следећи:

- $PIC16F76 \rightarrow 4V - 5.5V$;
- $LM358 \rightarrow Max\ 32V$ и
- $HC-05 \rightarrow 3.6V - 6V$,

одакле следи да је заједнички напон на којем могу да несметано раде све компоненте напон од $5V$. Из разлога што је незгодно пронаћи одговарајуће преносиво напајање од стабилних $5V$ једносмерне струје, решење овог проблема је у примени стандардне блок батерије од $9V$ уз регулатор напона од $5V$. Као батерија од $9V$ усвојена батерија *Varta Longlife 9V Block 6LR61* (слика 41), а за регулатор напона усвојен је регулатор ознаке *LM78M05* у паковању *TO-252* (слика 42).



Слика 41. *Varta Longlife 9V*



Слика 42. Регулатор напона *LM78M05*

4.5.2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ПЛОЧИЦЕ СЕНЗОРСКОГ ДЕЛА

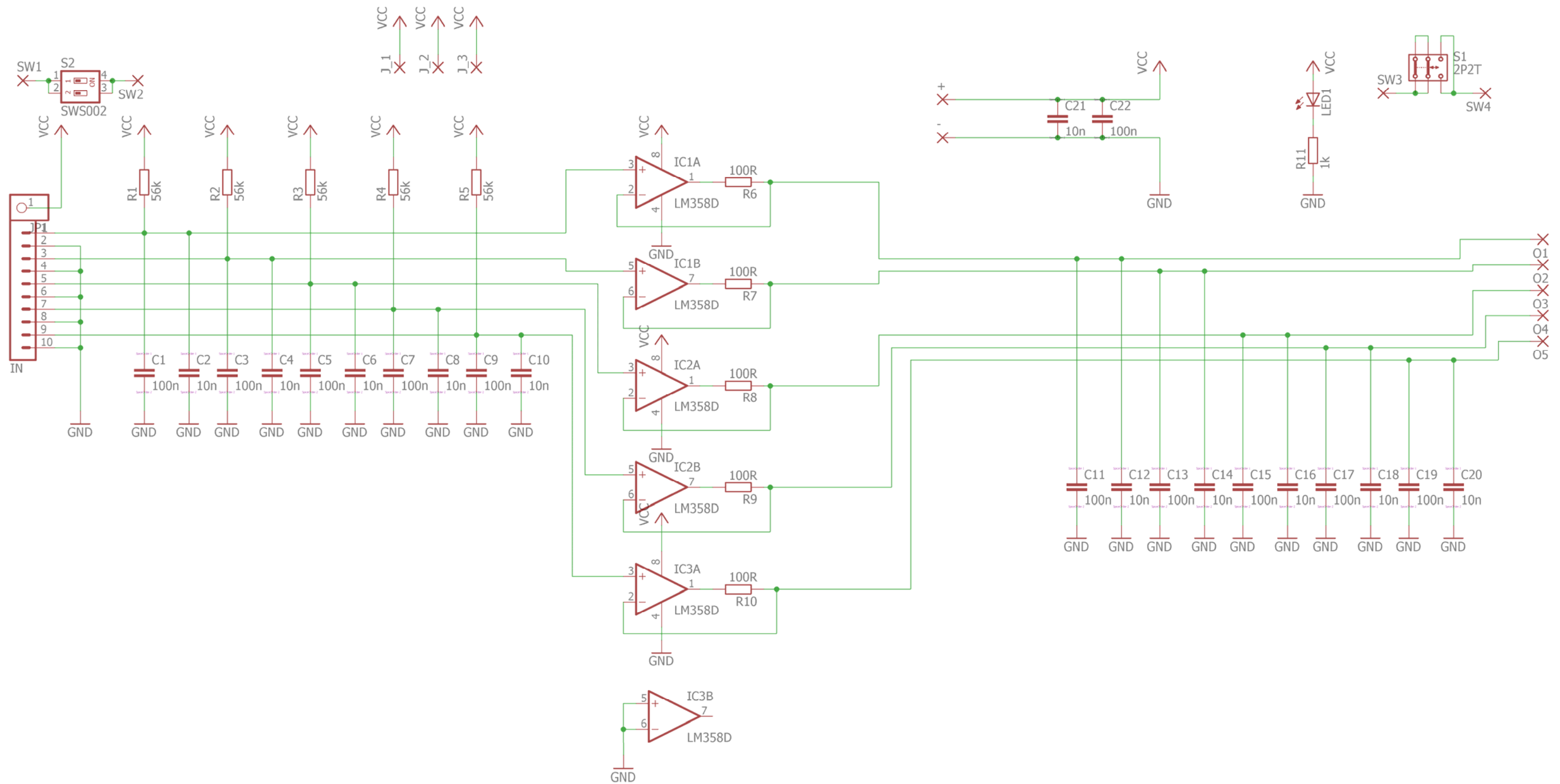
Као што је већ речено да је потребно направити две штампане плочице које би биле повезане, потребно је исцртати две шеме. Једну шему за горњу плочицу и једну за доњу плочицу. Шема за горњу плочицу је приказана на слици 43, а шема за доњу плочицу је приказана на слици 44. Обе шеме су цртане у програмском пакету *EAGLE*.

Принцип рада шеме је следећи: када се доведе напајање на конектор, помоћу прекидача *S1* или прекидача *S2*, затвара се струјно коло и струја протиче, преко диоде *D1* која има улогу да спречи оштећење електронског склопа услед погрешног повезивања напајања, тј. услед замене поларитета. Улазни напон даље путује до регулатора напона *LM78M05*, одакле излази стабилизован напон од $5V$, који се даље користи за напајање елемената. Диода *LED1* има улогу индикације, она даје знак да је уређај укључен. Сви

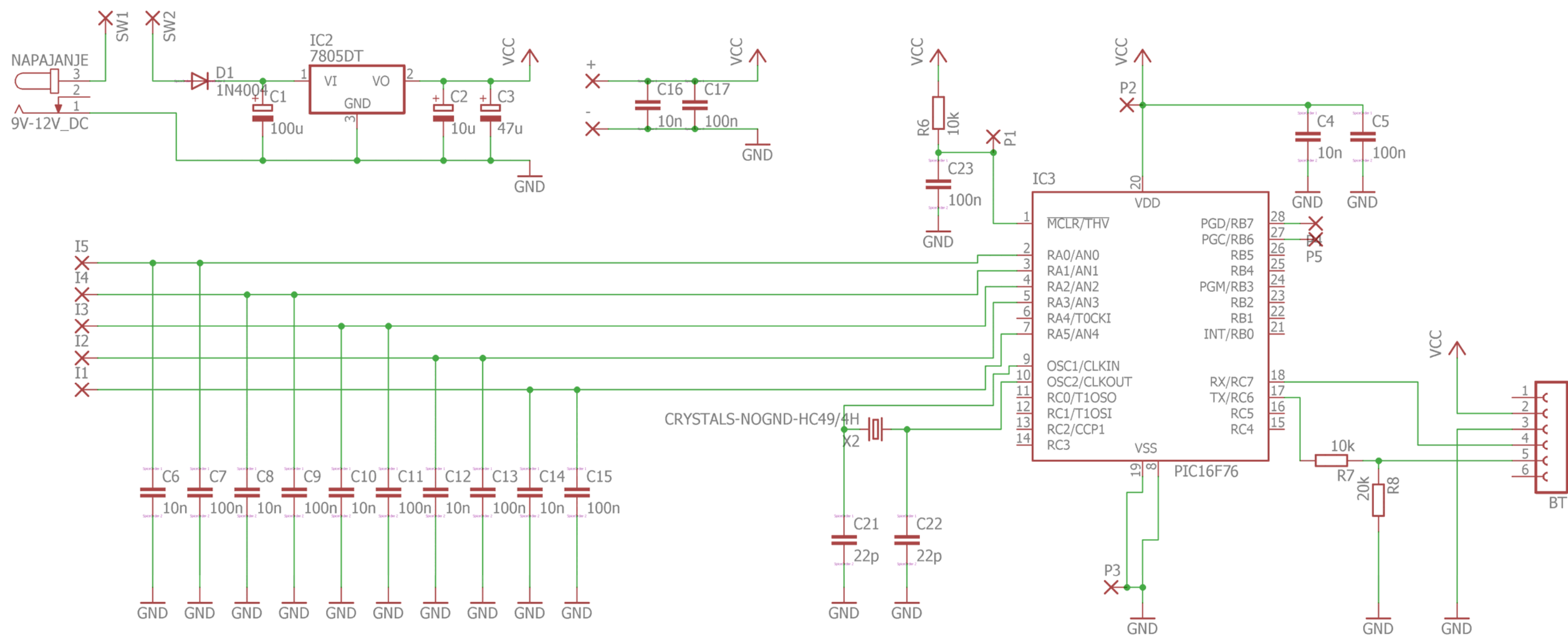
кондензатори имају улогу да филтрирају шумове из сигнала, а отпорници ограничавају струју кроз одговарајућу грану. Као по већ објашњеном принципу (слика 37), сигнали са рукавице се конвертују и шаљу на јединичне појачаваче и након тога, ти сигнали се прослеђују на аналогне улазе микроконтролера *PIC16F76*, одакле се даље прослеђују на лествицу предвиђену за *Bluetooth* модул, примењујући правило повезивања *Bluetooth* модула са слике 40.

После цртања шеме и провере, врши се практична реализација. Практична реализација неког електронског уређаја је, једноставно речено, поступак којим се све компоненте тог уређаја повезују у целину. То повезивање може да се оствари на више начина. Почетници користе готова, врло једноставна штампана кола која се састоје од узаних, паралелних бакарних линија или само бакарних тачака са избушеним отворима. Уз мало вештине и на њима је могуће реализовати многа електрична кола. Међутим, право решење на које сви љубитељи електронике дођу су штампане плочице.

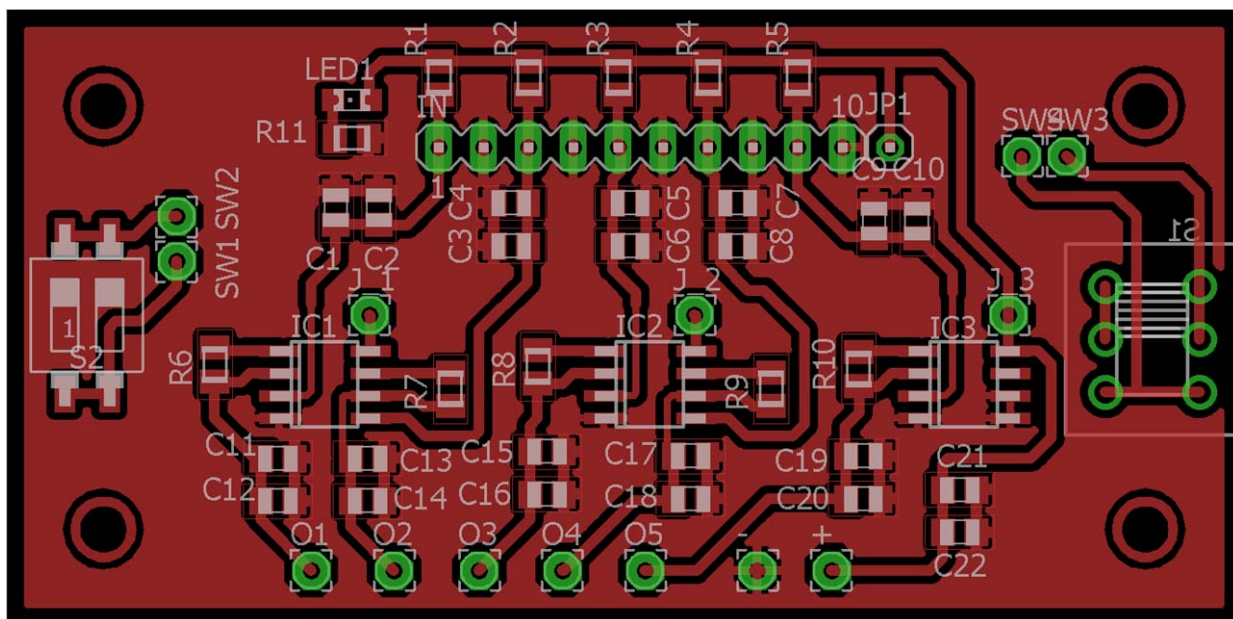
Први корак при изради штампаних плочица је прављење цртежа са распоредом бакарних линија и стопица у које се леме ножице компонената. Некада се то радило ручно, а данас, уз помоћ програмских пакета, може се добити савршен распоред компонената, како би се омогућиле мање димензије електронског склопа, а уједно и уштедело на материјалу. У овом пројекту, за цртање бакарних водова и распоред елемената, коришћен је исти програмски пакет *EAGLE*, као и за цртање шеме. Изглед распореда бакарних водова и компонената горње штампане плочице приказан је на слици 45, а за доње штампане плочице на слици 46.



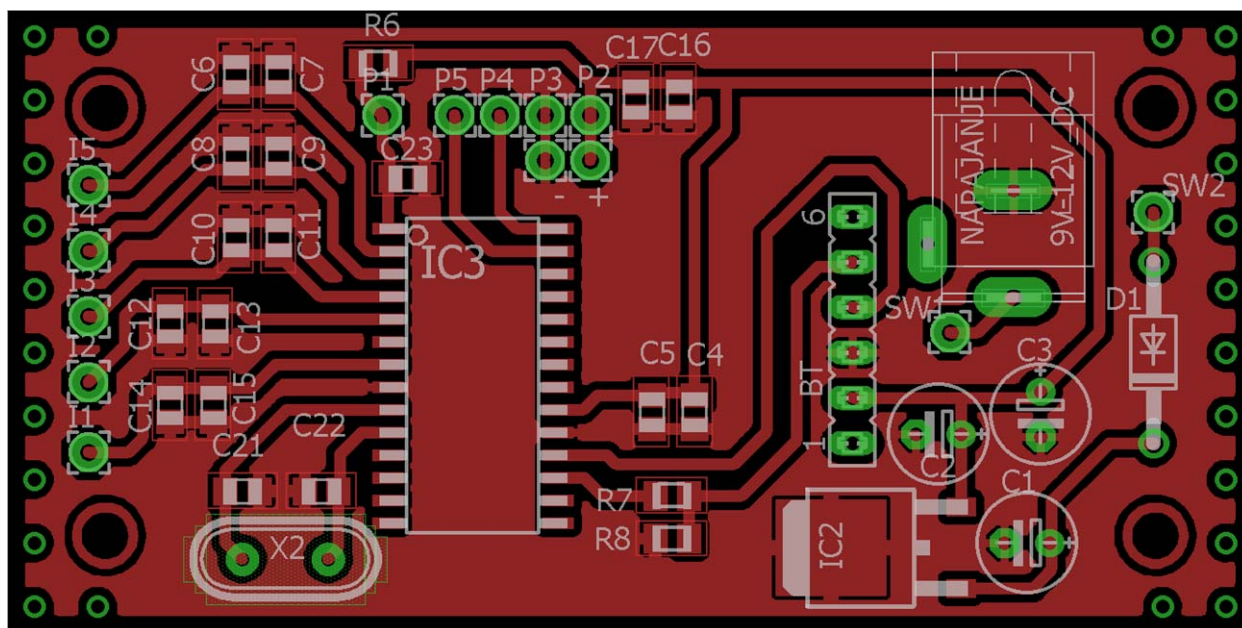
Слика 43. Шематски приказ горње плочице сензорског дела



Слика 44. Шематски приказ доње плочице сензорског дела



Слика 45. Распоред компоненти и бакарних водова горње плочице сензорског дела

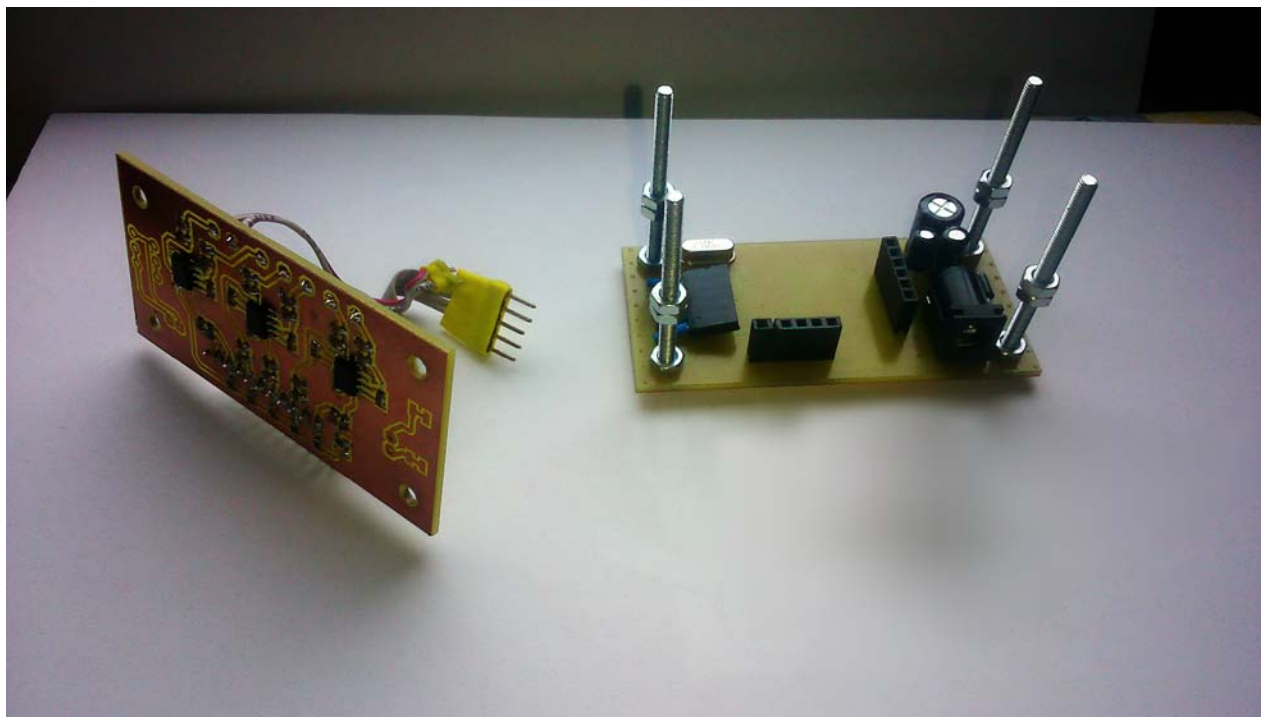


Слика 46. Распоред компоненти и бакарних водова доње плочице сензорског дела

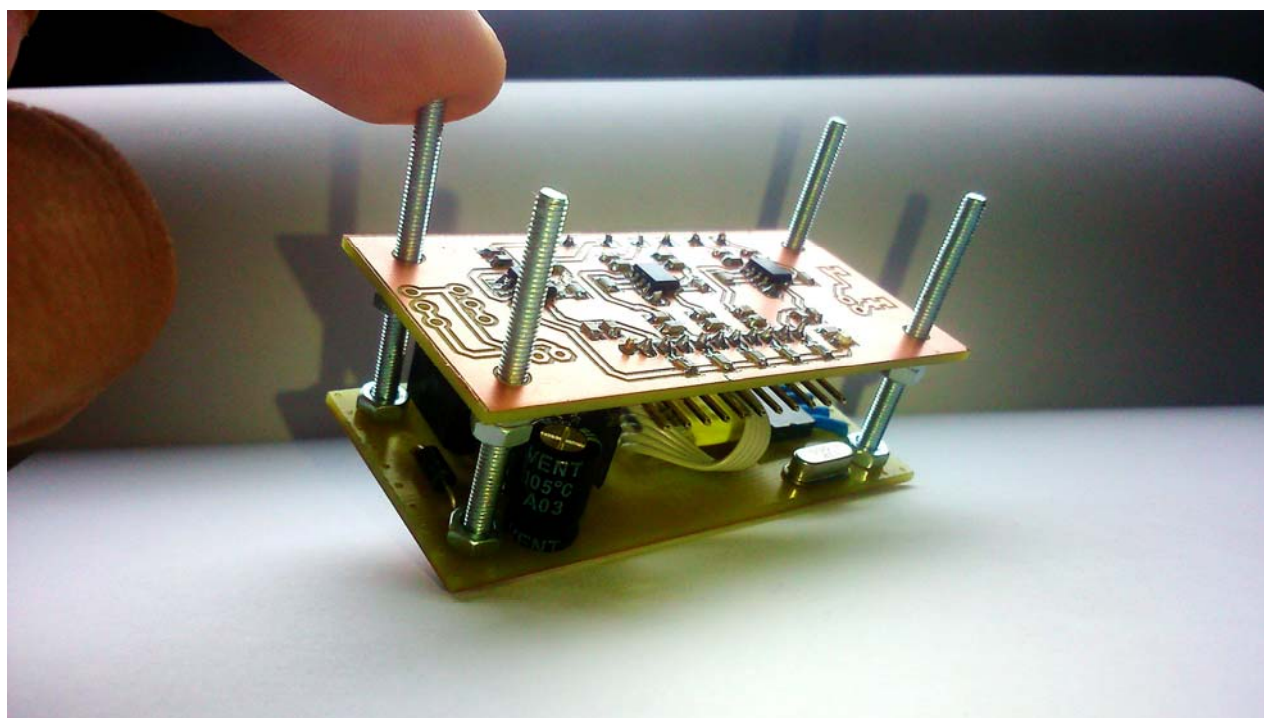
Други корак при изради штампаних плочица односи се на сам процес израде. Постоје разни поступци израде. Неки од најчешћих поступака ручне израде су израда форо-поступком, или израда коришћењем пегле, док се у индустрији користе разне машине. Плочице за овај пројекат су израђене обрадом на CNC¹⁷ машини.

¹⁷ CNC (Computer Numerical Control) машина је врста машине за обраду која све операције реализује према унетом алфа-нумеричком код-у преко рачунарске управљачке јединице која директно управља радом машине.

Трећи корак је последњи корак и он се односи на лемљење компонената по распореду са слике 45 и слике 46. Финални изглед електронике за сензорски део, након израде штампаних плочица и лемљења, приказан је на слици 47 и слици 48, а изглед након пришивања електронике на наруквицу, приказан је на слици 49. Следећа фаза је програмирање.



Слика 47. Изглед електронике сензорског дела пре склапања



Слика 48. Изглед електронике сензорског дела после склапања



Слика 49. Изглед електронике сензорског дела пришивеног за наруквицу

4.5.3. ПРОГРАМИРАЊЕ СЕНЗОРСКОГ ДЕЛА

Програмирање је термин под којим се најчешће подразумева креирање рачунарских програма, што укључује детаљну теоријску разраду проблема, изналажење концептуалног решења и имплементацију коришћењем неког од програмских језика [5].

У овом пројекту, задатак који се односи на програмирање електронике сензорског дела јесте да се направи такав програм који ће да омогући да примљене аналогне сигнале, које проузрокују сензори савијањем прстију на људској руци, претвори у дигиталне сигнале чије вредности се даље прослеђују *Bluetooth* модулу. Као решење задатка који се односи на програмирање електронике сензорског дела јесте програмски код који је приказан на слици 50. Програм је креиран у програмском пакету *mikroC PRO for PIC* компаније *MikroElektronika*. Из самог назива програмског пакета, може се закључити да је реч о програмском језику *C*.

Објашњење програмског код-а је следеће:

- **блок А** – декларација променљиве типа *char* (карактер);
- **блок Б** – подешавање параметара микроконтролера. За конвертовање аналогних сигнала у дигитални потребно је поставити параметре тако да порт А буде постављен као улазни и укључити аналогно/дигиталне конверторе микроконтролера (скраћено *ADC*);
- **блок В** – иницијализација за *UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)*, и иницијализација за аналогно/дигитални конвертор. Кашњење од *10000ms (10s)*, представља одлагање паљења аналогно/дигиталних конвертора.

UART је основа сваке серијске комуникације било на нивоу рачунара или микроконтролера и служи за претварање паралелних података (најчешће 8-битних) у серијски облик у циљу смањивања потребног броја комуникационих линија, односно омогући пренос података преко других медија.

- **Блок Г** – читавање вредности са аналого/дигиталних конвертора, смештање тих вредности у променљиву x и слање са старт бајтом чија је вредност произвољно узета и износи 244. Слање се врши сваких 10ms.

```

1 char x[10]; } А
.
.
. void main()
. {
.
. TRISA = 0xFF; } Б
. ADCON0 = 0xC1;
. ADCON1 = 0x00;
.
.
10 UART1_Init(9600); } В
. ADC_Init();
. delay_ms(10000);
.
. while(1)
. {
. x[0] = ADC_Read(0);
. x[1] = ADC_Read(1);
. x[2] = ADC_Read(2);
20 x[3] = ADC_Read(3);
. x[4] = ADC_Read(4); } Г
. x[5] = '\0';
. UART1_Write(244);
. UART1_Write_Text(x);
. delay_ms(10);
. }

```

Messages Quick Converter

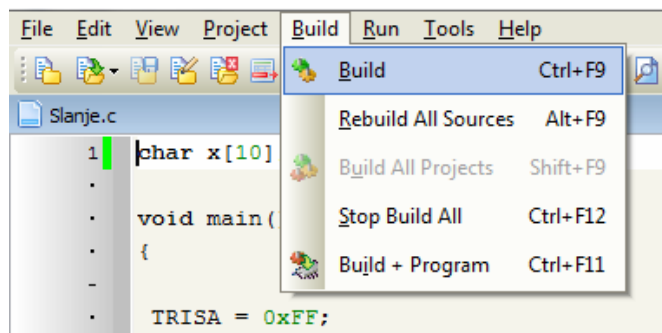
Errors Warnings Hints

Line	Message No.	Message Text
0	128	Linked in 234 ms
0	129	Project 'Slanje.mcppi' completed: 374 ms
0	103	Finished successfully: 06 Oct 2017, 04:25:07

1:1 Insert Compiled C:\Users\KSDGJFKJS

Слика 50. Програмски код који се односи на пријем аналогних сигнала, конвертовање у дигиталне сигнале и прослеђивање, серијском комуникацијом, на Bluetooth модулу

Да би овако написан програмски код могао да се користи за управљање микроконтролером, потребно је да програмски код компајлирамо. Компајлирање је преводјење изворног кода неког програмског језика (у овом случају је то C) у извршни (машински) код. Упутство за компајлирање, у претходно поменутом програмском пакету, дато је на слици 51.



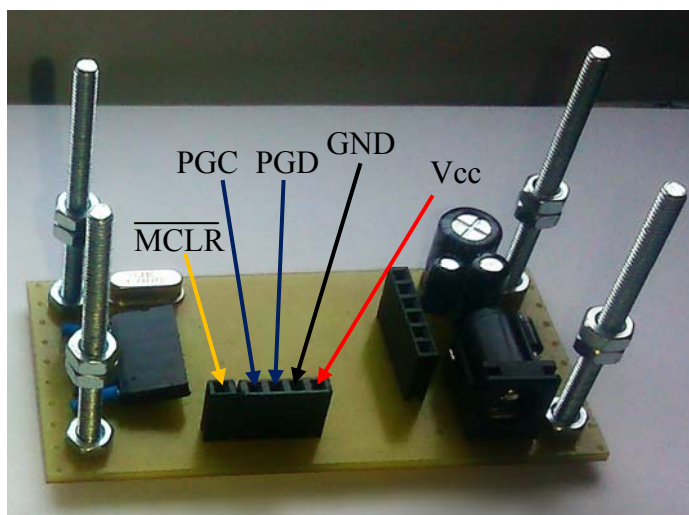
Слика 51. Упутство за компајлирање

Резултат успешног компајлирања је фајл са екстензијом *HEX* који се налази у фолдеру у којем је отворен пројекат.

Да би испрограмирали микроконтролер, потребно је поседовати програматор, преко којег би остварили физичку везу између рачунара на коме се налази *HEX* фајл и одговарајућег микроконтролера и на тај начин пребацили *HEX* фајл, тј. испрограмирали микроконтролер. За овај пројекат, послужио је програматор *PICkit 2*, произвођача *MikroElektronika* уз правило повезивања (слика 52). На слици 53 су приказани програмабилни прикључци електронике за сензорски део.



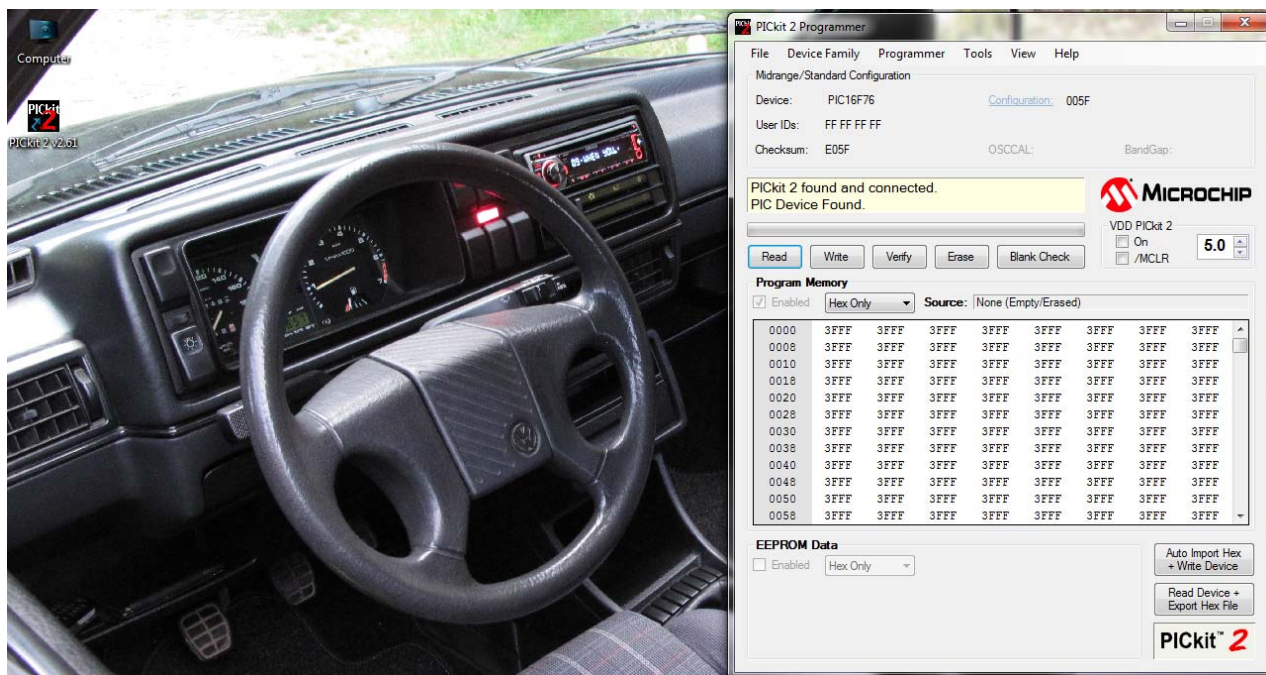
Слика 52. *PICkit 2* уз правило за повезивање



Слика 53. Програмабилни прикључци

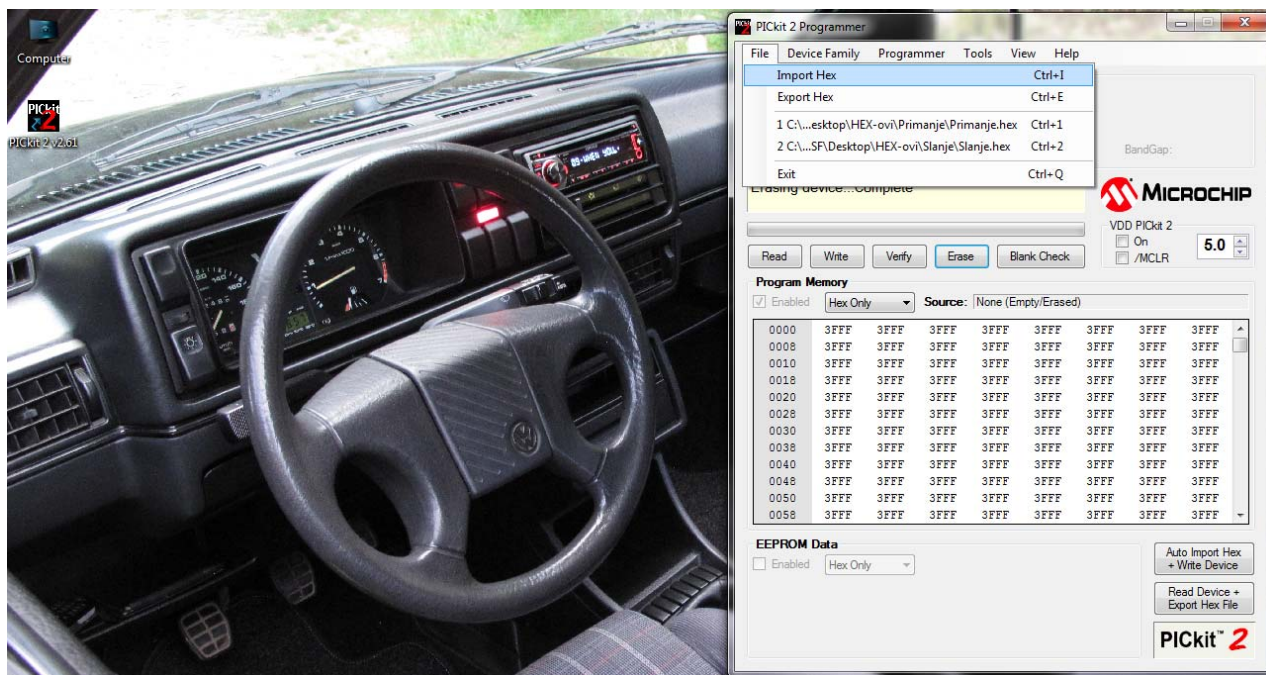
Следећи корак, после повезивања по упутствима, је покретање софтвера¹⁸ намењеног за *PICkit 2* и пребацивање *HEX* фајла на микроконтролер, тј. програмирање микроконтролера. То је потребно извршити по следећим инструкцијама:

- покренути софтвер отварањем иконице *PICkit 2 v2.61* (слика 54);
- након покретања програма појавиће се прозор у којем се може видети порука да је програматор успешно пронашао и конектовао се на микроконтролер. Сада је потребно обрисати претходни код из контролера, у случају да је пре тога уписивано нешто у његову програмску меморију брисање се врши опцијом *Erase*;
- потребно је учитати *HEX* фајл из рачунара, по упутству са слике 55;
- када се *HEX* фајл учита, потребно га је уписати у програмску меморију микроконтролера. То се врши опцијом *Write*, након чега треба да буде исписана порука да је контролер успешно испрограмиран (слика 56);
- након успешног програмирања, софтвер се може затворити, а програматор је потребно искључити са електронике за сензорски део, након чега је потребно извршити тестирање, о којем ће бити речи у наставку.

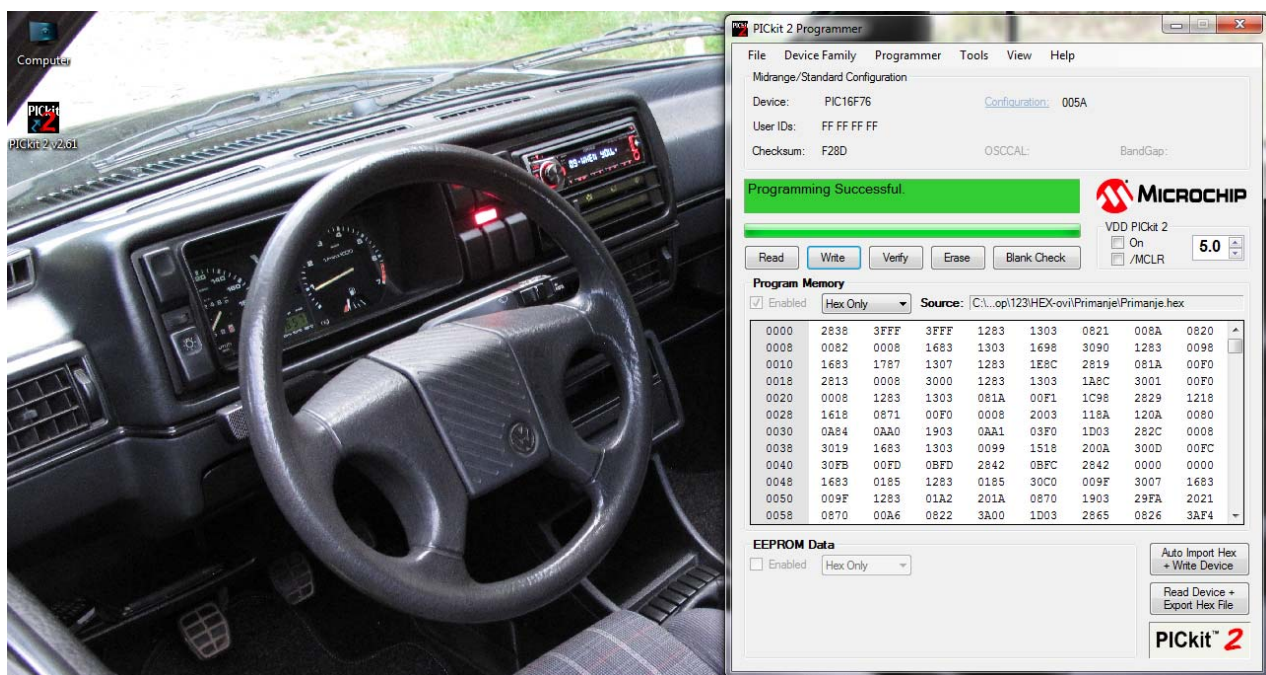


Слика 54. Покретање софтвера

¹⁸ Zip фајл инсталације софтвера за *PICkit 2* може се преузети са следећег линка: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/PICkit%20v2.61.00%20Setup%20A.zip> - приступљено 05.10.2017.



Слика 55. Учитавање HEX фајла



Слика 56. Резултат успешног уписивања HEX фајла у програмску меморију микроконтролера

4.5.4. ТЕСТИРАЊЕ ЕЛЕКТРОНИКЕ СЕНЗОРСКОГ ДЕЛА

Тестирање представља последњу фазу, након пројектовања и израде штампане плочице. Плочица треба да се, пре пуштања у рад детаљно прегледа, да случајно није дошло до кратких спојева, након чега се повезује и проверавају везе.

Замисао тестирања електронике за сензорски део је да се успостави веза између Bluetooth модула са електронике за сензорски део и рачунара, након чега би преко рачунара могли да посматрамо понашање уређаја, тј. да уочимо да ли електронски склоп

шаље икакве вредности, а ако шаље онда посматрамо да ли су те вредности очекиване или постоји неки проблем. За повезивање рачунара и *Bluetooth* модула на електроници за сензорски део користи се идентично правило као у поглављу 3.2 уз помоћ *USB to TTL* конвертора, тако што се *MASTER* уређај постави на електронику сензорског дела, а *SLAVE* на *USB to TTL* конвертор.

У овом случају, тестирање је извршено са позитивним резултатом. Рачунар прима вредности од стране електронике за сензорски део, а вредности су очекиване.

4.6. ЕЛЕКТРОНСКИ СКЛОП ЗА РОБОТСКУ ШАКУ

Електронски склоп за роботску шаку треба да обезбеди пријем сигнала који се односе на вредности аналогно/дигиталних конвертора, и на основу тих вредности да управља актуаторима, тј. да аналогно примљеним вредностима мења угао закретања крстића серво мотора. Како би пројектовали и израдили електронски склоп за роботску шаку, као и код пројектовања електронског склопа за сензорски део, потребно је да размотримо потребне захтеве.

4.6.1. ЗАХТЕВИ ЕЛЕКТРОНИКЕ ЗА РОБОТСКУ ШАКУ И ИЗБОР КОМПОНЕНАТА

Услови се разматрају на исти начин као и код електронике за сензорски део. Започиње се димензионисањем простора расположивог за штампану плочицу, тј. димензија штампане плочице.

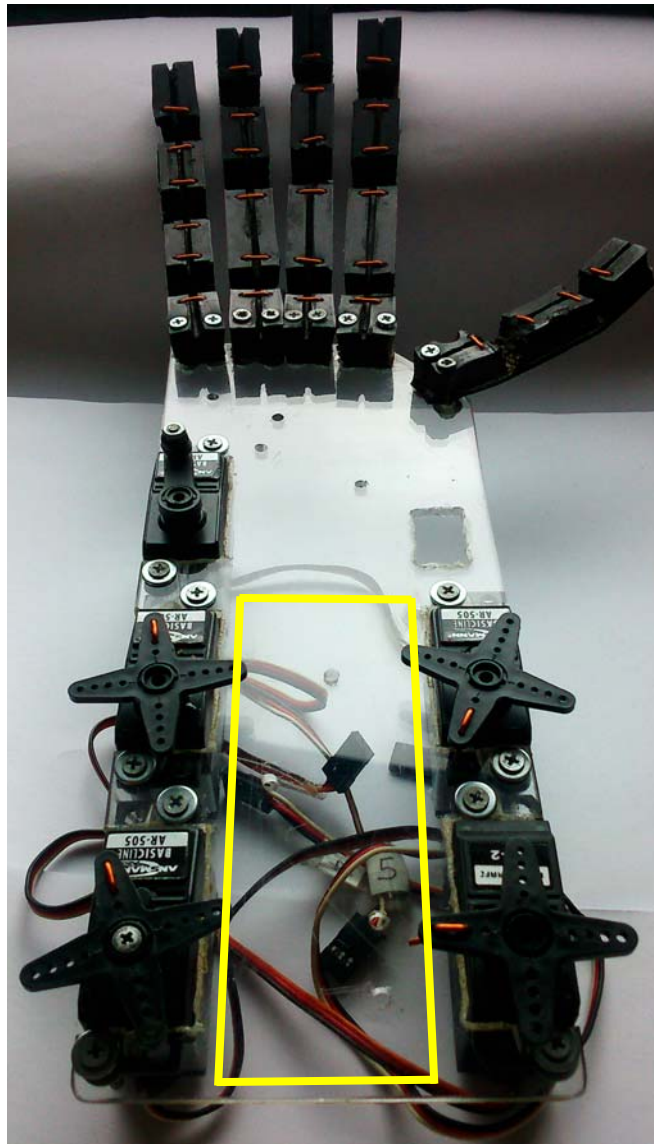
Како је длан роботске, поред простора намењеног за прсте и моторе, поседује довољно слободног простора за димензије електронике које су оријентационо предвиђене, на основу практичног искуства, усваја се да је простор између серво мотора простор за штампану плочоцу. Усвојена максимална димензија штампане плочице је: $40mm \times 150mm$. Простор намењен за електронику означен је на слици 57.

Након одређивања дозвољених димензија плочице, потребно је усвојити микроконтролер. У овом случају, Микроконтролер мора да задовољава следеће услове:

- да подржава серијску комуникацију (поседује пинове Rx и Tx) и
- да омогући генерисање пет *PWM* сигнала.

Усвојен је идентичан микроконтролер као и код електронике за сензорски део (*PIC16F76*), јер је био на располагању. Овај контролер нема фабрички генерисане *PWM* сигнале, него ће ти сигнали бити ручно (софтверски) генерисани у програмском код-у по принципу са слике 22.

За бежично примање вредности се користи идентични *Bluetooth* модули *HC-05*, па се из тог разлога усваја женска левница од шест пинова (исто као код електронике за сензорски део), која омогућава његово укључивање на електронику за роботску шаку.



Слика 57. Простор који је на располагању за електронику.

После усвајања основних компоненти потребно је да се дефинише напон напајања. Подржавани напони за усвојене компоненте су следећи:

- $PIC16F76 \rightarrow 4V - 5.5V$;
- Серво мотори $\rightarrow 4.8V - 6V$ и
- $HC-05 \rightarrow 3.6V - 6V$,

Након чега се дефинише да напон напајања буде $5V$. За извор напајања је усвојен адаптер (исправљач) од непознатог уређаја који је остао у квару. Карактеристике тог извора напајања су следеће:

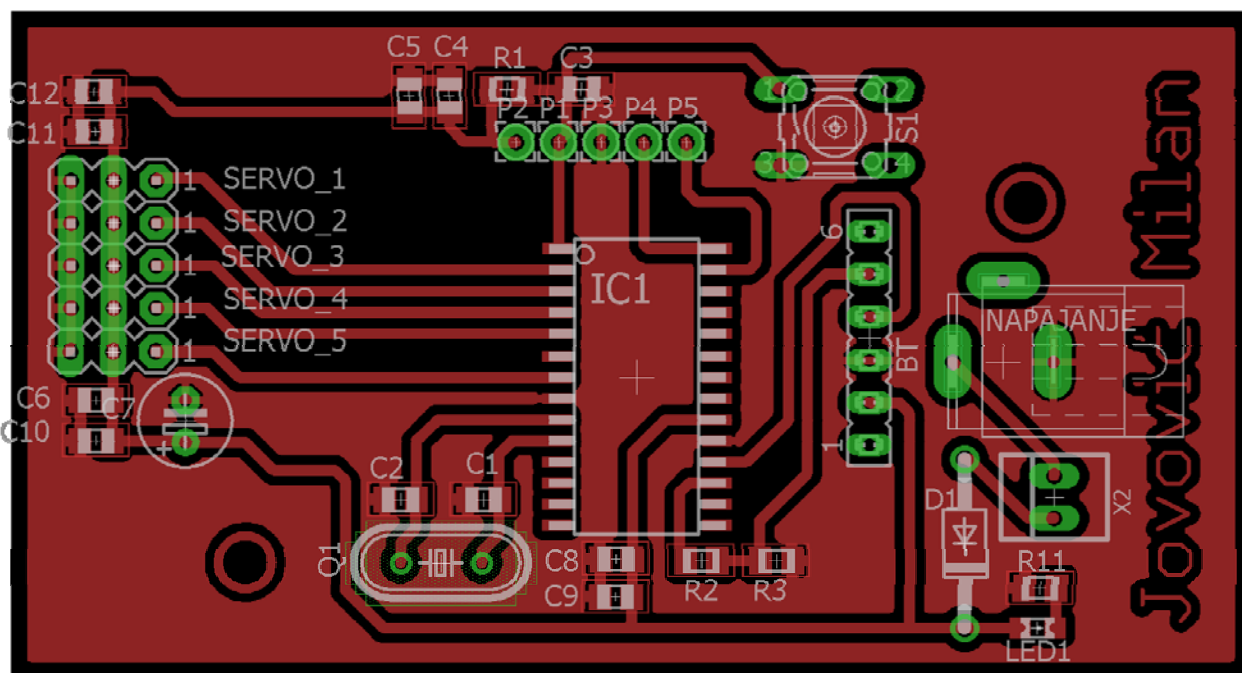
- улазни напон: $\sim 220-230V, 50Hz$;
- излазни напон: $5V$ и
- максимална струја: $1.2A$.

4.6.2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ИЗРАДА ПЛОЧИЦЕ ЗА ЕЛЕКТРОНИКУ НА РОБОТСКОЈ ШАЦИ

За пројектовање и израду плочице за електронику на роботској шаци, потребно је променити исти поступак као у претходном случају за електронику сензорског дела. Прво се нацрта шема, након чега се црта распоред компонената и бакарних водова за штампану плочицу, након чега се врши машинска израда плочице па затим леме одговарајуће компоненте. Примењује се потпуно исти редослед као и у случају са електроником за сензорски део.

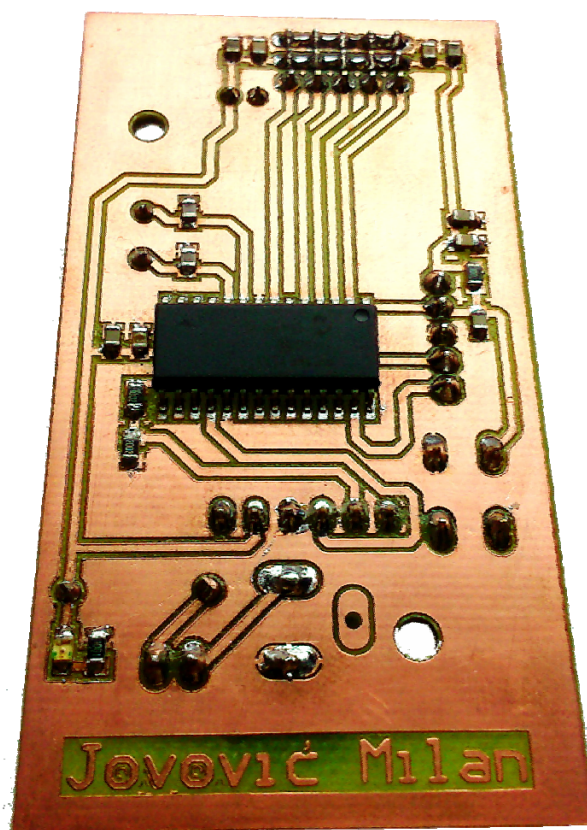
Шематски приказ електронике за роботску шаку приказан је на слици 58, а принцип рада је следећи: када се доведе, претходно стабилизovan, напон од $5V$ на конектор за напајање и кад се оствари кратак спој на изводима $X2-1$ и $X2-1$ који представљају изводе за прекидач, тада струја почиње да протиче преко сигурносне диоде $D1$ ка осталим елементима. Диода $LED1$ има улогу индикације, она даје знак да је уређај укључен. Сви кондензатори имају улогу да филтрирају шумове из сигнала, а отпорници ограничавају струју кроз одговарајућу грану. Сигнали (од стране електронике за сензорски део) пристижу у *Bluetooth* модул, одакле се прослеђују до микроконтролера (*PIC16F76*), где се примају и зависно њиховим вредностима, шаљу се *PWM* сигнали на конекторе за серво моторе.

Након цртања и провере шеме следи цртање распореда компоненти и бакарних водова, за будућу штампану плочицу (слика 59).

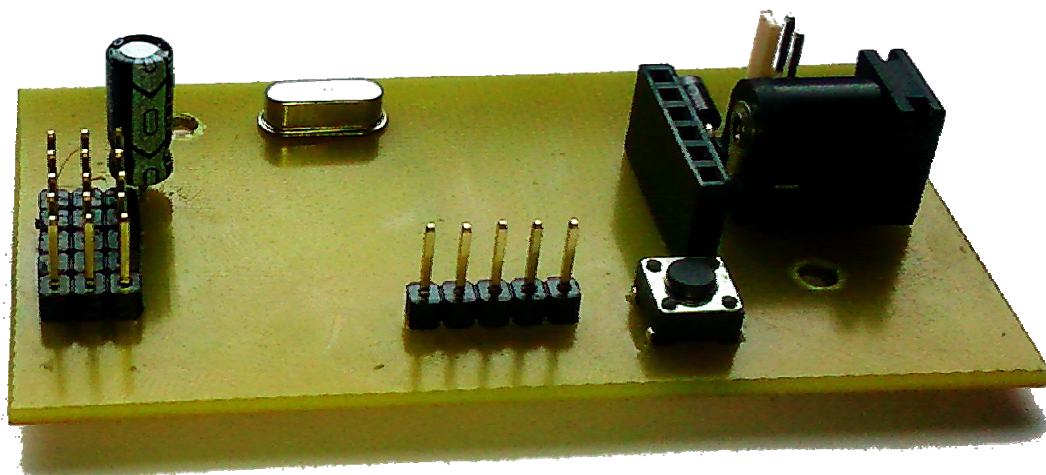


Слика 59. Распоред компоненти и бакарних водова

Штампана плочица, и у овом случају, израђена је обрадом на *CNC* машини, а изглед након обраде приказан је на слици 60 и слици 61.



Слика 60. Изглед задње стране штампане плочице након израде



Слика 61. Изглед предње стране штампане плочице након израде

4.6.3. ПРОГРАМИРАЊЕ ЕЛЕКТРОНИКЕ ЗА РОБОТСКУ ШАКУ

У овом пројекту, задатак који се односи на програмирање електронике роботске шаке јесте да се направи такав програм који ће да омогући да примљене дигиталне вредности сигнала, који достижу са *Bluetooth* модула, обради тако да у зависности од њихове вредности (положаја прстију људске руке) проследи серво моторима жељени *PWM* сигнал. Серво мотори, преко своје осовине, закрећу крстиће и самим тим савијају прст роботске шаке у одговарајуће позиције.

Решење овог задатка је програмски код који је приказан на слици 62, а објашњење програмског код-а је следеће:

- **блок А** – декларација променљивих;
- **блок Б** – иницијализација за *UART*;
- **блок В** – подешени параметри микроконтролера који се односе на порт *A* чији пинови могу бити или аналогни улаз, или дигитални улази/излази. У овом случају параметри подешени тако да сви пинови порта *A* буду дигитални излази и при покретању програма буду постављени на логичку нулу;
- **блок Г** – старт бајт – вредност која одобрава даље извршавање програма;
- **блок Д** – додељивање примљених вредности одговарајућој променљивој;
- **блок Ђ1** – у зависности од вредности променљиве *ADC0* шаље се одговарајући *PWM* сигнал за први прст;
- **блок Ђ2** – у зависности од вредности променљиве *ADC1* шаље се одговарајући *PWM* сигнал за други прст;
- **блок Ђ3** – у зависности од вредности променљиве *ADC2* шаље се одговарајући *PWM* сигнал за трећи прст;
- **блок Ђ4** – у зависности од вредности променљиве *ADC3* шаље се одговарајући *PWM* сигнал за четврти прст;
- **блок Ђ5** – у зависности од вредности променљиве *ADC4* шаље се одговарајући *PWM* сигнал за пети прст.

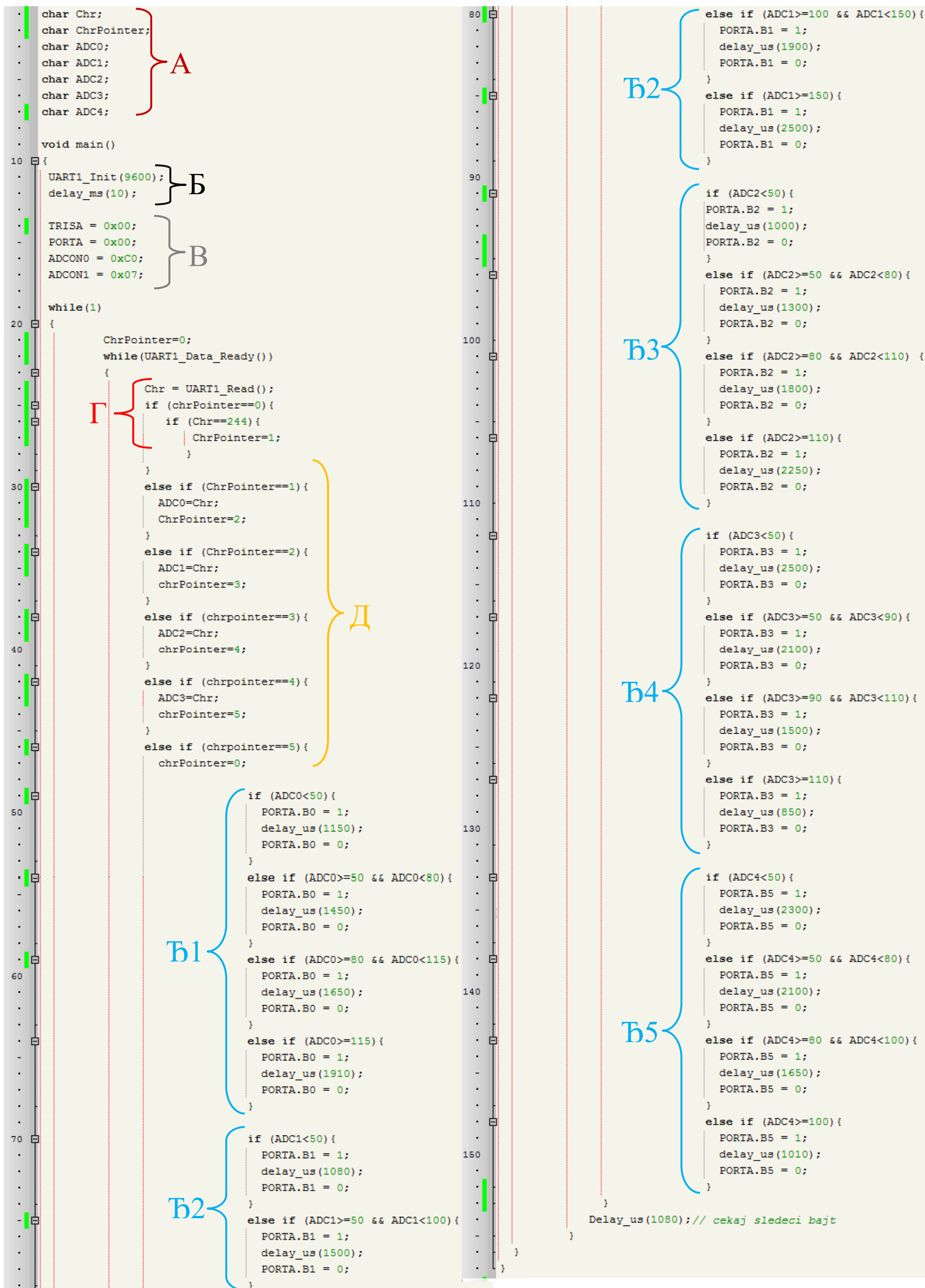
Напомена: блокови са префиксом **Ђ** су блокови у којима се врше сва подешавања везано за позиције прстију роботске шаке.

Као што се може закључити, програм је издељен на два дела. Први служи за чекање и пријем података, а други за генерисање импулса *PWM* сигнала. Први део програма чека старт бајт и не дозвољава даље извршавање програм док не стигне. Када се прими старт бајт, наредних пет бајтова се смешта у одговарајуће променљиве (*ADC0-ADC4*). Када су примљени сви подаци тада се извршава други део програма који се односи на генерисање *PWM* сигнала.

На основу вредности које су смештене у променљиве (*ADC0-ADC4*), генеришу се импулси одговарајуће дужине ($540-2470\mu s$). Импулси се генеришу тако што се одговарајући пин микроконтролера, задужен за први прст, постави на логичку јединицу. Затим се извршава пауза одговарајуће дужине, након чега се пин микроконтролера поставља на логичку нулу. Овај део кода се извршава у блоку **Ћ1**. Иста процедура се примењује на преостала четири прста (**Ћ2** - **Ћ5**). Програм одлази на део кода који се односи на чекање старт бајта. Да би серво мотори задржали своје положаје, потребно је да временски интервал између два импулса буде мањи од $20ms$.

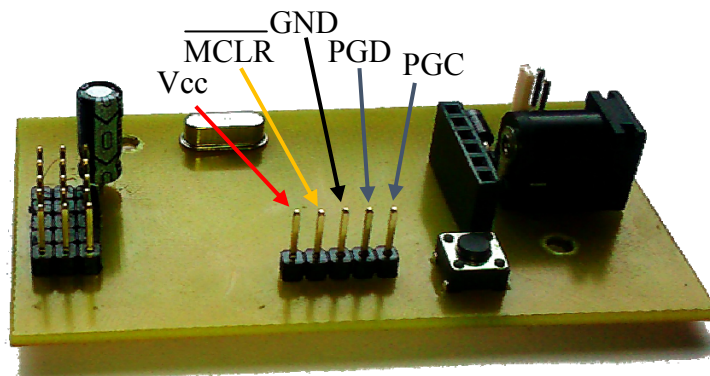
Уколико се старт бајт не појави, програм неће генерисати импулсе и у том случају, серво мотори ће бити искључени. Програм је замишљен да у случају губитка комуникације серво мотори буду слободни. Ово је потребно да би се прсти могли отворити и ослободи предмет који се налази у роботској шаци.

За време трајања нормалне комуникације, старт бајт стиже стиже, приближно, сваких $10ms$. Старт бајт стиже са електронике сензорског дела, а програмски код писан је тако да шаље старт бајт и остале податке сваких $10ms$. Ово омогућује да периода *PWM* сигнала траје приближно $10ms$. Самим тим серво мотори добија импулсе у одговарајуће време, што омогућава задржавање и промену њихове позиције.



Слика 62. Програмски код за електронику на роботској шаџи

Након написаног програмског код-а, потребно је извршити компајлирање, да би се креирао *HEX* фајл. Процедура за повезивање програматора са електроником за роботску шаку је приказана на слици 63, а сама процедура програмирања је идентична као у случају програмирања електронике за сензорски део, па се из тог разлога упутство неће понављати. После успешног програмирања следи тестирање.



Слика 63. Програмабилни пинови – правило за повезивање са *programatorom PICkit 2*

4.6.4. ТЕСТИРАЊЕ ЕЛЕКТРОНИКЕ ЗА РОБОТСКУ ШАКУ

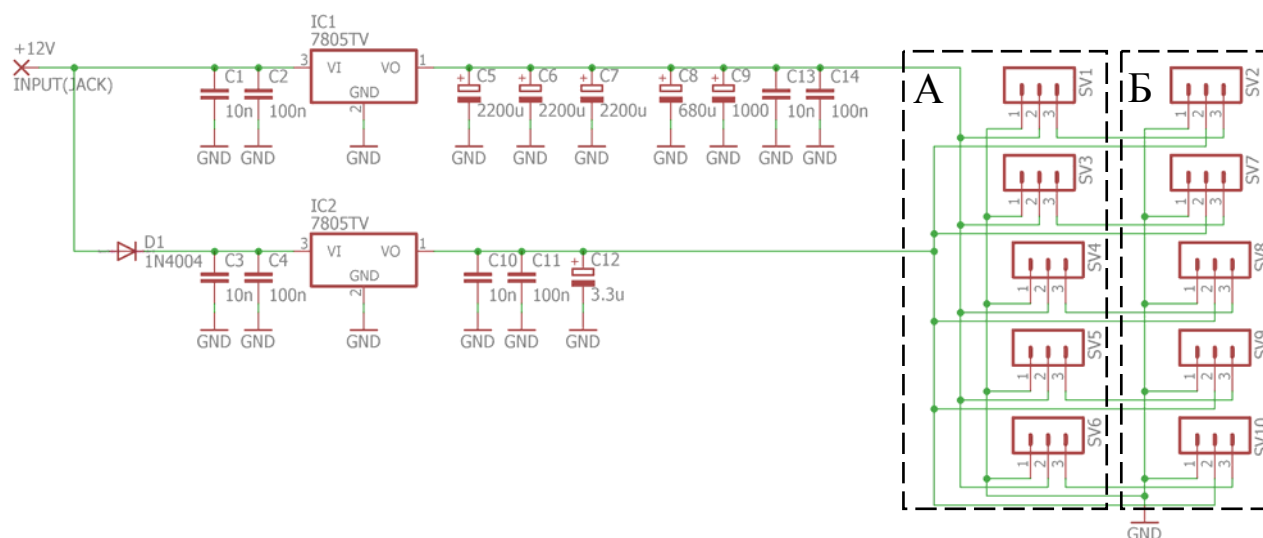
Поступак тестирања се своди на визуелну проверу бакарних водова, сбук гратких спојева, након чега се врши прикључивање серво мотора, прикључивање *Bloetooth* модула, провера да ли је све добро повезано и пуштање у рад са претходно направљеном и тестираном електроником за сензорски део. Детаљи о правилном повезивању налазе се у поглављу 5 овога рада. После извршеног пуштања у рад, резултат је следећи: прсти роботске шаке раде без проблема, све док раде појединачно. Како се на људској шапи почну савијати два прста или више, прсти на роботској шапи се почну савијати отежано у прекидима. Након обраћања пажње на рад индикаторске *LED* диоде, запажа се да се интензитет светлости *LED* диоде смањује и појачава, у тренутку када се деси да се савије више прстију на људској шапи, тј. кад прсти на роботској шапи раде отежано, у прекидима.

Закључак је следећи: усвојено напајање не може да пружи довољну количину струје која је потребна за несметани рад електронике на роботској шапи, *Bloetooth* модула и серво мотора. У тренутку када се савије више прстију, мотори одвуку струју ка себи, тако да микроконтролер у том тренутку нема довољно струје па се микроконтролер, на кратко, ресетује (угаси и упали), што проузрокује прекиде рада прстију роботске шаке.

Као алтернативно решење овог проблема јесте да се пронађе адекватно напајање које може да омогући потрошњу веће струје од претходног извора напајања, као и да се омогући додатна стабилизација напона, и по потреби регулација. Као извор напајања усвојена је акумулаторска батерија од 12V и струје од 7.2Ah. Уз такав извор напајања је потребно направити додатну стабилизацију и регулацију напона. О томе ће бити говора у поглављу 3.7. овог пројекта.

4.7. ДОДАТНИ РЕГУЛАТОРСКИ УРЕЂАЈ ЗА НАПАЈАЊЕ РОБОТСКЕ ШАКЕ

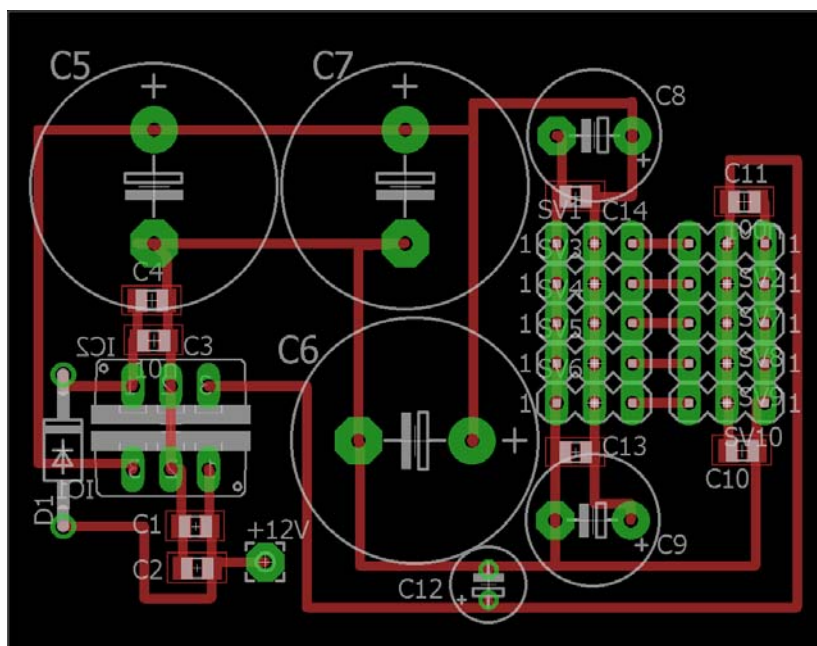
Пројектовање додатног регулаторског уређаја захтева да се направи такав уређај који омогућава да се напон са акумулаторске батерије ($12V$) прилагоди усвојеном напону за електронику роботске шаке ($5V$), али да се раздвоји напајање за микроконтролер од напајања за серво моторе, као и да регулаторски уређај омогући довољну струју за нормалан рад роботске шаке. Шематски приказ осмишљеног регулаторског уређаја је приказан на слици 64.



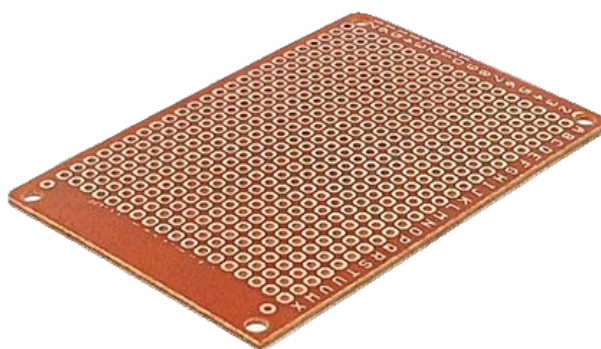
Слика 64. Шематски приказ регулатора

Принцип по којем шема ради је следећи: доведе се напон од $12V$ са конектора који се налази на последње направљеној штампаној плочици (За то су потребне мале преправке на претходној плочици, о којима ће бити речи касније). Доведени напон се прослеђује на два регулатора (горњи и доњи). Горњи регулатор је регулатор *LM78S05* (паковање *TO-220*) и његове карактеристике су такве на његовом излазу буде напон од $5V$ и омогући максималну потрошњу струје величине $2A$. Кондензатори на излазу из регулатора имају улогу да додатно стабилизују напон, приликом рада серво мотора. Блок *A* представља конекторе за серво моторе где је обезбеђено њихово напајање са регулатора *LM78S05*. Доњи регулатор је *LM7805* (паковање *TO-220*) који такође на свом излазу даје напон од $5V$, али његова карактеристика је таква да не може да подржи потрошњу већу од $1A$, те је он искоришћен за напајање микроконтролера и *Bluetooth* модула на претходно направљеној штампаној плочици за роботску шаку. Блок *B* представља изводе за *flat* кабл који служи за остваривање везе са претходно направљеном штампаном плочицом, преко које се примају сигнали за управљање серво моторима, а прослеђује струја са регулатора *LM7805* предвиђена за напајање микроконтролера и *Bluetooth* модула.

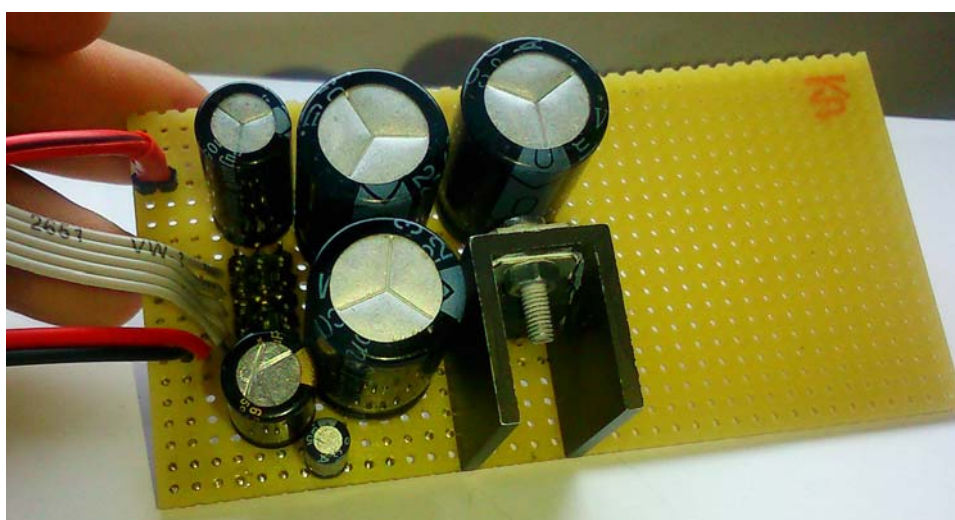
Распоред компоненти и водова оваквог уређаја је приказан на слици 65. Метода израде плочице, овог пута, је другачија у односу на методу израде претходних плочица. При изради ове плочице користи се универзална, избушена, тачкаста плочица као са слике 66. Лемљењем компоненти и креирањем водова по распореду са слике 65, добије се уређај чији је изглед приказан на слици 67 и слици 68. Плочица је димензија $43mm \times 55mm$ и пронашла је место на длану роботске шаке, испред електронике за роботску шаку.



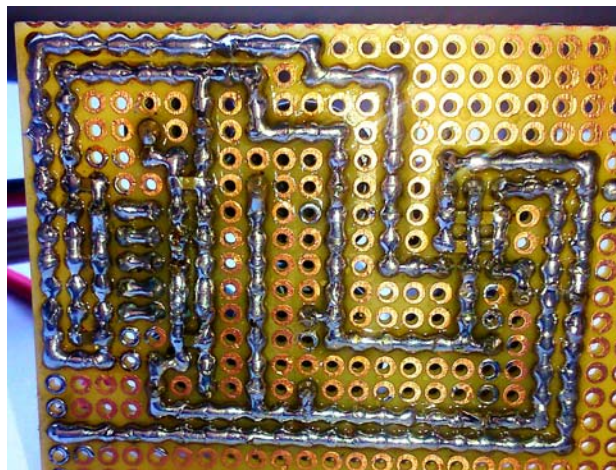
Слика 65. Распоред компоненти и водова регулаторског уређаја



Слика 66. Универзална, избушена, тачкаста плочица

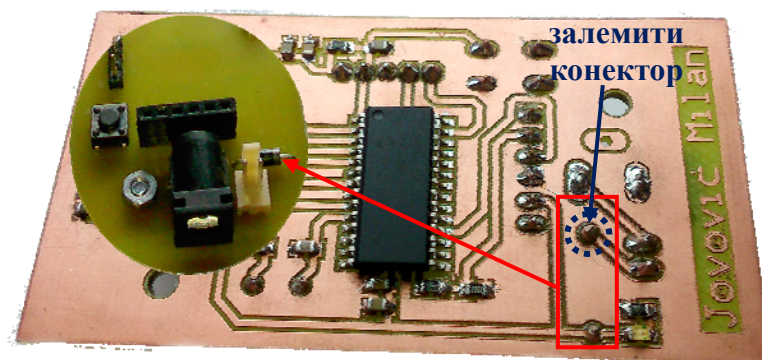


Слика 67. Изглед плочице регулаторског уређаја са горње стране



Слика 68. Изглед плочице регулаторског уређаја са доње стране

Мала корекција на штампаној плочици за електронику роботске шаке, ради прилагођавања са регулаторским уређајем (слика 69), односи се на уклањање сигурносне диоде *1N4007* и поставку конектора за напајање регулаторског уређаја.



Слика 69. Упутство за корекцију ради прилагођавања са уређајем за регулацију

4.7.1. ТЕСТИРАЊЕ РЕГУЛАТОРСКОГ УРЕЂАЈА

Под тестирањем регулаторског уређаја се подразумева, пре свега посматрањем од кратких спојева, а затим повезивање тог истог уређаја са електроником за роботску шаку, довођењем напајања са акумулаторске батерије, проверавање да ли је добро повезано и поновно пуштање у рад.

Овог пута, резултати тестирања су позитивни. Све ради како треба и под највећим оптерећењем, тј. кад су сви прсти савијени.

4.8. ВОЋИЦЕ ЗА САЈЛЕ И ДИСТАНЦЕРИ

За тестирање роботске шаке, сајле су се могле повезати са крстићима, уз помоћ затезача који су лако израђени од вијка учвешћених за длан роботске шаке, преко којих се налази пластична заштита, како навој не би исекао сајле. Такво решење није дугорочно, јер се може десити да се, приликом отпуштања (претходно савијеног) прста сајла опусти и прескочи затезач, те проузрокује запетљавање са осталим сајлама. Такође може доћи и до прекида сајле, услед трења, након дужег коршћења, па као таква, роботска шака захтева чешће одржавање и редовну замену сајли.

За дугорочно решење постављена су *PVC* црева унутрашњег пречника *3mm*, кроз која сајле несметано пролазе. Овакво решење не дозвољава да се сајле замрсе, а црева су довољно глатка да је и трење смањено. Црева су постављена као на слици 70.

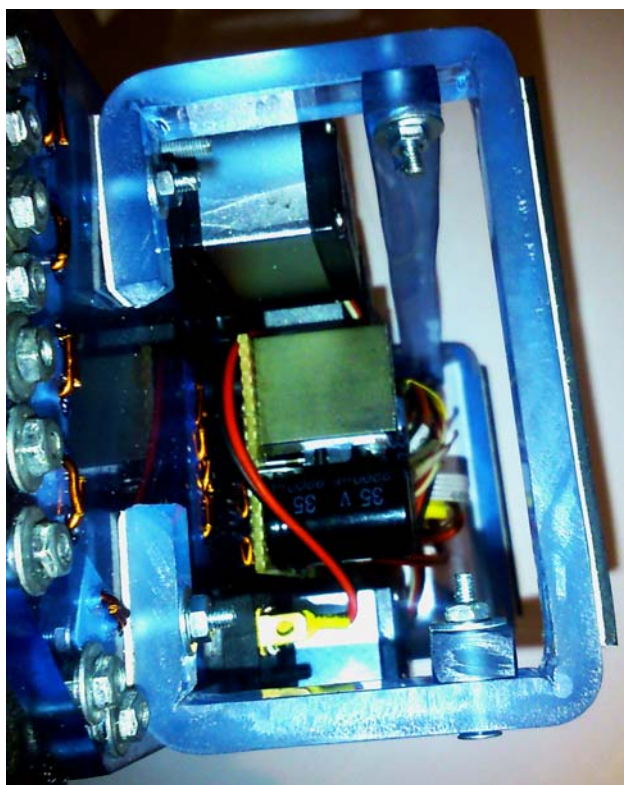


Слика 70. Изглед роботске шаке са цревима која имају улогу вођице за сајле

Следећи недостатак ове роботске шаке је то што се, у положају као на слици 70, рука ослања на електронику, што може да проузрокује велике проблеме, ако се рука задеси на некој металној површини. Метална површина може да проузрокује кратак спој између елемената на плочицама или чак спојеве између бакарних водова, што доводи до нежељене хаварије.

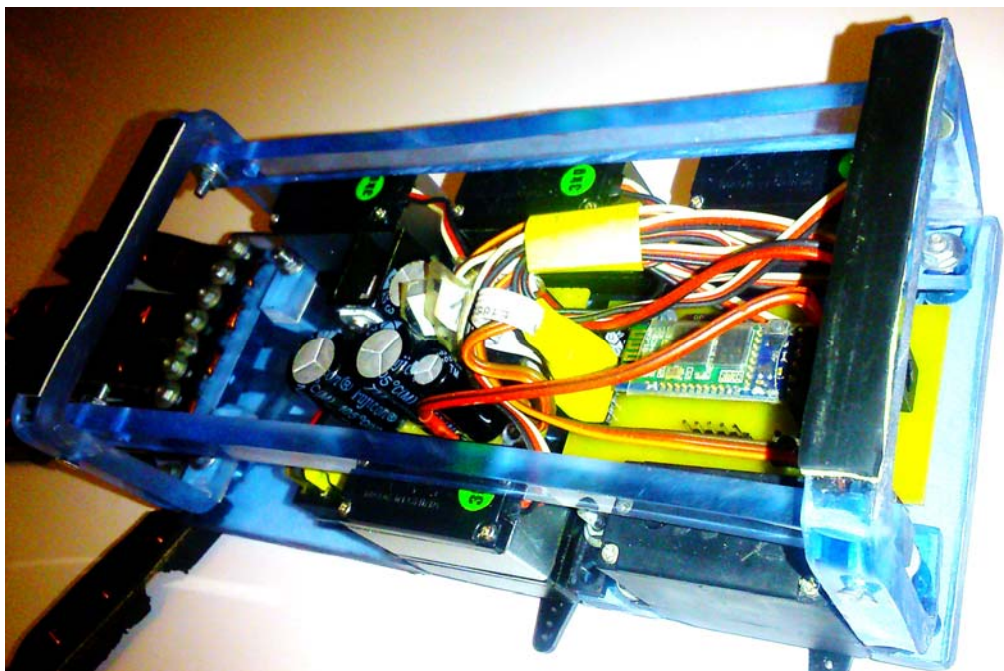
Овакав проблем се решава једноставно, прављењем дистанцера¹⁹ и поставком на одговарајућа места. Термичком обрадом плексигласа, направљена су два дистанцера и, вијчаном везом, постављени на одговарајућа места на роботској шаци.

Након поставке дистанцера, због веће стабилности, дистанцери су међусобно повезани са два профила од плексигласа. Такође су на површину дистанцера, која належе на површину на којој роботска шака треба да се одложи (сто), постављене су траке гумених профила. Оне имају улогу да максимално повећају трење између те две површине, тј. да не дозволе да роботска шака склизне са површине на којој се налази. Изглед тако постављених дистанцера, са гуменим профилима и профилима који учвршћују дистанцере, приказан је на слици 71 и слици 72.



Слика 71. Дистанцер код прстију роботске шаке

¹⁹ Дистанцери се другачије зову одстојници. Они имају улогу да дистанцирају елементе од нечага, тј. да направе одстојање.



Слика 72. Изглед дистанцера са профилима за додатну стабилност и тракама гумених профила које омогућавају да роботска шака не клизи кад се налази на глаткој површини

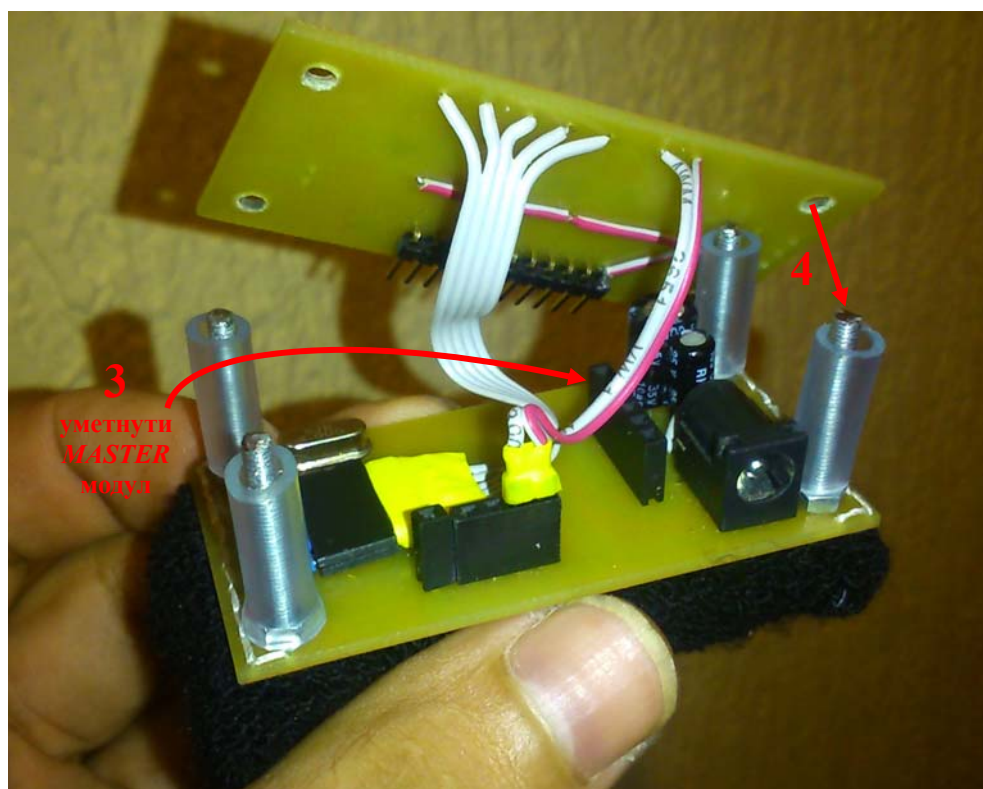
Као што се може предосетити, задатак овог пројекта се привео крају. Поставка траки гумених профила на дистанцере је последњи корак при изради роботске шаке. Оно што преостаје јесте да се будућим корисницима обезбеди упутство за повезивање и пуштање у рад.

5. УПУТСТВО ЗА ПОВЕЗИВАЊЕ ЕЛЕКТРОНИКЕ И ПУШТАЊЕ РОБОТСКЕ ШАКЕ У РАД

У овом поглављу, аутору овог пројекта велику услугу чини стара кинеска пословица која гласи: „Слика говори хиљаду речи“. Поштујући стару, добру пословицу, започеће се од упутства за повезивање по корацима који се односе на електронику сензорског дела и дата је на слици 73, слици 74, слици 75, слици 76.



Слика 73. Кораци 1, 2, 3 и 4



Слика 74. Изглед након прва два корака, трећи и четврти корак

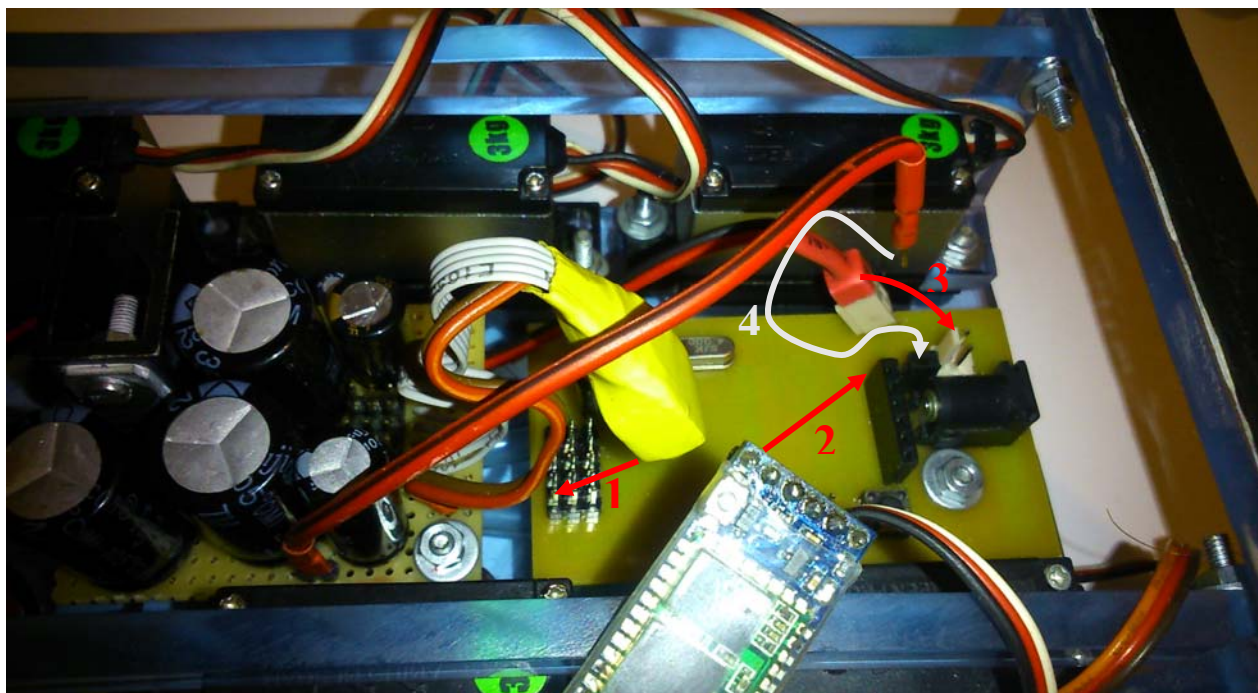


Слика 75. Изглед након претходних корака и пети корак

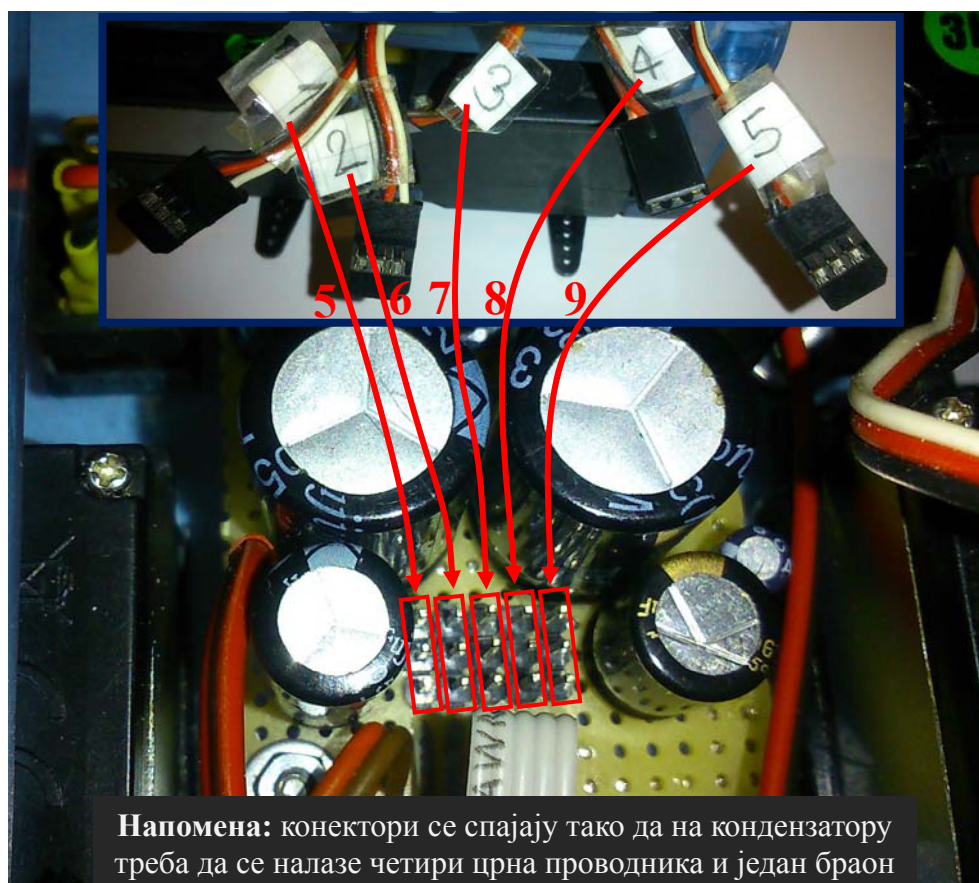


Слика 76. Изглед након свих претходних корака

Након повезивања по претходном упутству који се односи на сензорски део, следи упутство по корацима које се односи на електронику за роботску шаку и регулаторски уређај. Упутство је дато на слици 77, слици 78 и слици 79.



Слика 77. Кораџи 1,2,3 и 4



Слика 78. Преосталих пет корака



Слика 79. Изглед након повезивања, после свих корака из упутства

Упутство за пуштање роботске шаке у рад је следеће:

1. На конектор за напајање електронике роботске шаке довести напајање са акумулаторске батерије. Обратите пажњу на поларитет!
2. Укључити прекидач који се налази на роботској шаци.
3. На конектор за напајање електронике сензорског дела довести напајање са блок батерије од 9V.
4. Укључити електронику сензорског дела на прекидач који се налази на проводнику за напајање.
5. Сачекати од 2s - 4s да се уређаји (бежичним путем) повежу. Успорено треперење црвене диоде сигнализира да су уређаји повезани.
6. Сачекати 10s да електроника сензорског дела пошаље сигнал за старт.
7. Роботска шака је спремна за употребу!

6. ЗАКЉУЧАК

Оваква роботска шака, уз минималне преправке као што су замена серво мотора са водоотпорним моторима исте конструкције, додатно заливање електронике у пластичну масу или неку другу непропусну масу, може да спречи пропуштање течност до саме електронике и самим тим спречи хаварију у некој течној средини.

Роботска шака, из овог пројекта, погодна је за многа надограђивања и побољшавања. Неки од примера су додавање још једног степена слободe на палац роботске шаке (померање палца лево-десно) или управљање роботском шаком уз помоћ мобилног телефона. Такође, као идеја за побољшања, јесте повећавање домета између електронике на роботској шапи и сензорског дела, тако да са роботском шаком, уз одговарајући степен заштите мреже, може да управља особа која се налази на другом крају града, државе или чак континента. Замислите да доктор са једног континента, уз помоћ овакве руке, може да изврши операцију особе која се налази на другом континенту и спаси тој особи живот!

Роботска шака, конструисана по изгледу и по функцијама људске шаке има широку примену, као и сама човекова шака, и представља један од многобројних примера где робот замењује човека. Данас се појављују и нано роботи који су микроскопске машине за које не можемо рећи да су механичке јер делују на молекуларном нивоу. У будућности ће роботи можда бити од крви и меса као ми, иако их није створила природа већ човек да испуњавају одређене задатке.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Роботика - Сајт одсека Мехатронка, Техничка школа Трстеник [pristupljeno 05.10.2017.]
<https://mehatronikats.wordpress.com/robotika/>
- [2] Гордана Остојић, Скрипта из предмета „Индустријске комуникационе мреже и протоколи“, Факултет Техничких Наука, Нови Сад.
- [3] Ivan Darkić, LabView - priprema za 1. kolokvijum [pristupljeno 05.10.2017.]
<https://drakic.files.wordpress.com/2011/10/i-kolokvijum.pdf>
- [4] Операциони појачавач - Википедија [pristupljeno 05.10.2017.]
https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Operacioni_poja%C4%8Dava%C4%8D
- [5] Програмирање - Википедија - приступљено 05.10.2017.
<https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%B0%D1%9A%D0%B5>