



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА**




Миљана Стефанов

**Унапређење примарног и извршног дела
макете за лабораторијске вежбе из
предмета Примена сензора и актуатора**

**Дипломски рад
-Основне академске студије-**

Нови Сад 2023.

	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:	Дипломски рад		
Аутор, АУ:	Миљана Стефанов		
Ментор, МН:	ванр. проф. др Јован Бајић		
Наслов рада, НР:	Унапређене примарног и извршног дела макете за лабораторијске вежбе из предмета Примена сензора и актуатора		
Језик публикације, ЈП:	Српски		
Језик извода, ЈИ:	Српски		
Земља публикавања, ЗП:	Србија		
Уже географско подручје, УГП:	Војводина		
Година, ГО:	2023		
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт		
Место и адреса, МА:	21000 Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6		
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/цитата/табела/слика/графика/прилога)	(6/55/0/0/67/0/0)		
Научна област, НО:	Електротехничко и рачунарско инжењерство		
Научна дисциплина, НД:	Електротехника		
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	eFuse, сензори, актуатори		
УДК			
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета Техничких Наука 21000 Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6		
Важна напомена, ВН:			
Извод, ИЗ:	У дипломском раду дати су основни подаци о претходно употребљеној макети. Описани су њени делови као и додатне компоненте које су употребљене. Објашњено су основни принципи рада и њихова имплементација		
Датум прихватања теме, ДП:	28.3.2023.		
Датум одбране, ДО:	13.10.2023.		
Чланови комисије, КО:	Председник:	Доц. др Миодраг Бркић	Потпис ментора
	Члан:	Ванр. Проф. др Владимир Рајс	
	Члан, ментор:	Ванр. Проф. др Јован Бајић	



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, T3:	Textual material, printed	
Contents code, CC:	Bachelor Thesis	
Author, AU:	Miljana Stefanov	
Mentor, MN:	Dr Jovan Bajić, Assoc. Prof.	
Title, TI:	Improvement of the primary and actuation part of the experimental setup for laboratory exercises within course of Application of sensors and actuators	
Language of text:, LT:	Serbian	
Language of abstract, LA:	Serbian	
Country of publication, CP:	Serbia	
Locality of publication, LP:	Vojvodina	
Publication year, PY:	2023	
Publisher, PB:	Author's reprint	
Publication place, PP:	21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6	
Physical description, PD: (chapters/ pages/ ref. / tables/ pictures/ graphs/ appendixes)	(6/55/0/0/67/0/0)	
Scientific field, SF:	Electrical Engineering	
Scientific discipline, SD:	Electrical Engineering	
Subject/ Key words, S/KW:	eFuse, sensors, actuators	
UC		
Holding data, HD:	Library of Faculty of Technical Sciences 21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6	
Note, N:		
Abstract, AB:	The bachelor thesis provides basic information about the previously used model. Its parts and additional components that are used are described. The basic working principles and their implementation are explained	
Accepted by the Scientific Board on, ASB:	28.3.2023.	
Defended on, DE:	13.10.2023.	
Defended board, DB:	President:	Dr Miodrag Brkić, Asst. Prof.
	Member:	Dr Vladimir Rajs, Assoc. Prof.
	Member, Mentor:	Dr Jovan Bajić, Assoc. Prof.
		Mentor's sign

	УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА 21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6	Датум:
	ЗАДАТАК ЗА ИЗРАДУ ДИПЛОМСКОГ (BACHELOR) РАДА	Лист/Листова:
		4/48

(Податке уноси предметни наставник - ментор)

Врста студија:	<input checked="" type="checkbox"/> Основне академске студије <input type="checkbox"/> Основне струковне студије
Студијски програм:	Енергетика, електроника и телекомуникације
Руководилац студијског програма:	Проф. др Милан Сечујски

Студент:	Миљана Стефанов	Број индекса:	ЕЕ 122/2019
Област:	Електротехничко и рачунарско инжењерство		
Ментор:	ванр. проф. др Јован Бајић		

НА ОСНОВУ ПОДНЕТЕ ПРИЈАВЕ, ПРИЛОЖЕНЕ ДОКУМЕНТАЦИЈЕ И ОДРЕДБИ СТАТУТА ФАКУЛТЕТА ИЗДАЈЕ СЕ ЗАДАТАК ЗА ДИПЛОМСКИ (Bachelor) РАД, СА СЛЕДЕЋИМ ЕЛЕМЕНТИМА:

- проблем – тема рада;
- начин решавања проблема и начин практичне провере резултата рада, ако је таква провера неопходна;
- литература

НАСЛОВ ДИПЛОМСКОГ (BACHELOR) РАДА:

**Унапређење примарног и извршног дела макете за лабораторијске вежбе
из предмета Примена сензора и актуатора**

ТЕКСТ ЗАДАТКА:

Аналиzirати и приказати постојећу макету за лабораторијске вежбе из предмета Примена сензора и актуатора. Размотрити могућа проширења и унапређења везана за сензорску и актуаторску плочицу. Дискутовати даља могућа усавршавања наведеног система.

Руководилац студијског програма:	Ментор рада:
Проф. др Милан Сечујски	Ванр. проф. др Јован Бајић

Примерак за: ☐ - Студента; ☐ - Ментора

Садржај:

1.	Увод	10
2.	Анализа проблема	13
3.	Заштитно коло	14
3.1.	eFuse	14
3.2.	PMOS – IRF4905	15
4.	Сензорска плоча	16
4.1.	Претходно употребљене компоненте	16
4.1.1.	LM7805 регулатор напона	16
4.1.2.	Sharp GP2Y0A41SK0F аналогни IR сензор даљине	17
4.1.3.	Индуктивни сензор	18
4.1.4.	Инфрацрвени сензорски модул	20
4.1.5.	Трансмисиони оптокаплер	21
4.1.6.	Сензор боје	22
4.1.7.	Инкрементални ротациони енкодер	24
4.1.8.	Холов сензор	25
4.2.	Додате компоненте	26
4.2.1.	Time of flight сензор	26
4.2.2.	Фотомодул	28
4.2.3.	FSR	29
4.2.4.	Сензор притиска	30
4.2.5.	LM35	33
5.	Актуаторска плоча	34
5.1.	Претходно употребљене компоненте	34
5.1.1.	DC мотор са четкицама	34
5.1.2.	DC мотор 3 click	35
5.1.3.	DRV8825 Stepper Motor Driver Chip	37
5.1.4.	Серво мотор	38
5.1.5.	Корачни мотор	39
5.1.6.	Вакуум пумпа	41
5.2.	Додата компонента	42
5.2.1.	Електромагнет	42
6.	Закључак	43
7.	Литература	44
8.	Додатак	46

Списак скраћеница:

Скраћеница	Енглески термин	Српски термин
ПЛЦ	Programmable Logic Controllers	Програмибилни логички контролер
<i>NRF</i>	<i>Network Repository Function</i>	Функција мрежног спремишта
<i>OLED</i>	<i>Organic light emitting diodes</i>	Органске светлосно емитујуће диоде
<i>FSR</i>	<i>Force sensing resistor</i>	Отпорник за детекцију силе
<i>eFuse</i>	<i>Electronic Fuse</i>	Електронски осигурач
<i>PMOS</i>	<i>P channel metal-oxide semiconductor</i>	/
<i>MOSFET</i>	<i>Metal-oxide semiconductor field effect transistor</i>	/
<i>PSD</i>	<i>Position Sensitive Detector</i>	Детектор осетљив на положај
<i>IREDD</i>	<i>Infrared Emitting Diode</i>	Инфрацрвена емитујућа диода
<i>LED</i>	<i>Light Emitting Diode</i>	Диода која емитује светлост
<i>IR</i>	<i>Infrared radiation</i>	Инфрацрвено зрачење
<i>RGB</i>	<i>Red Green Blue</i>	Црвено зелена плава
<i>VCSEL</i>	<i>Vertical cavity, surface emitting laser</i>	Ласер који емитује површину вертикалне шупљине
<i>SPAD</i>	<i>Single photon avalanche diode</i>	Једнофотонска лавинска диода
<i>IC</i>	<i>Inter – Integrated Circuit</i>	/
<i>A/D</i>	<i>Analog to digital</i>	Аналогно - дигитално
<i>DC motor</i>	<i>Direct current motor</i>	Мотори једносмерне струје
<i>BDC motor</i>	<i>Brushless direct current motor</i>	Мотори једносмерне струје без четкица
<i>CW</i>	<i>Clockwise</i>	У смеру казаљке на сату
<i>CCW</i>	<i>Counter Clockwise</i>	Супротно од смера казаљке на сату
<i>PWM</i>	<i>Pulse Width Modulation</i>	Ширинско импулсна модулација
<i>3D</i>	<i>Three dimensional</i>	Тродимензионални приказ
<i>PCB</i>	<i>Printed circuit board</i>	Штампана плоча

Списак слика:

Слика 1. 1 Стара макета	10
Слика 1.2 Блок шема макете процесног управљања	11
Слика 3.1.1 eFuse TPS259630DDAR	14
Слика 3.2.1 Ожичење IRF4905	15
Слика 3.2.2 Транзистор са диодом у заштитном колу	15
Слика 4.1.1.1 Физички изглед LM7805	16
Слика 4.1.1.2 Ожичење LM7805	16
Слика 4.1.2.1 GP2Y0A41SK0F IR сензор даљине	17
Слика 4.1.2.2 График зависности излазног напона од удаљености предмета	17
Слика 4.1.3.1 Спољашњост индуктивног сензора	18
Слика 4.1.3.2 Унутрашњост индуктивног сензора	18
Слика 4.1.4.1 Спољашњи изглед инфрацрвеног сензорског модула	20
Слика 4.1.5.1 Спољашњост и унутрашњост трансмисионог оптокаплера	21
Слика 4.1.6.1 Имплементација сензора боје који користи сензор TCS3200	22
Слика 4.1.6.2 Физички изглед TCS3200 сензорског модула	22
Слика 4.1.7.1 Инкрементални енкодер са својим излазним сигнаlima	24
Слика 4.1.8.1 Спољашњи изглед KY-024 сензора	25
Слика 4.2.1.1 Спољашњи изглед модула VL53L0XV2	26
Слика 4.2.1.2 Сензор VL53L0XV2	26
Слика 4.2.1.3 Графички приказ времена лета	27
Слика 4.2.2.1 Графички приказ зависности између интензитета светлости и отпорности	28
Слика 4.2.2.2 Физички изглед фотомодула	28
Слика 4.2.3.1 Разлике у прављењу ThruMode и ShuntMode FSR сензора	29
Слика 4.2.4.1 Сензор притиска MPXH6115A	31
Слика 4.2.4.2 Попречни пресек сензора притиска MPXH6115A	31
Слика 4.2.4.3 Изглед пиезоотпорника и мембране	32
Слика 4.2.4.4 Витстонов мост у чијим гранам су пиезоотпорници	32
Слика 4.2.5.1 Изглед сензора LM35(лево) и излазни напон LM35 у функцији од температуре (десно)	33
Слика 5.1.1.1 Спољашњи (лево) и унутрашњи (десно) изглед DC мотора	34
Слика 5.1.2.1 Спољашњи изглед DC MOTOR 3 Click	35
Слика 5.1.2.2 Х мост	36
Слика 5.1.2.3 PWM дијаграм	36

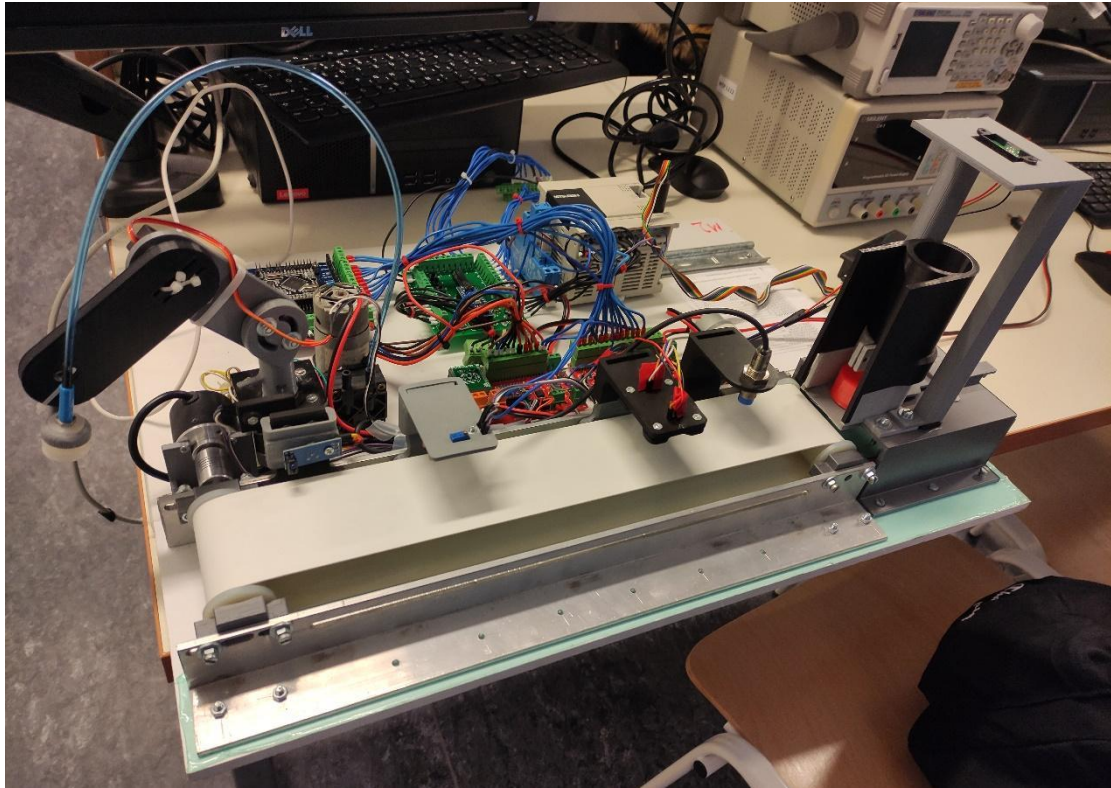
<i>Слика 5.1.3.1 Ожичење DRV8825 Stepper Motor Driver Chip-a</i>	<i>37</i>
<i>Слика 5.1.4.1 Изглед мотора SG90</i>	<i>38</i>
<i>Слика 5.1.4.2 Принцип функционисања серво мотора</i>	<i>38</i>
<i>Слика 5.1.5.1 Унутрашњост хибридног корачног мотора</i>	<i>39</i>
<i>Слика 5.1.5.2 Излазне жице корачног мотора</i>	<i>40</i>
<i>Слика 5.1.6.1 Мотор са вакуум пумпом.....</i>	<i>41</i>
<i>Слика 5.2.1.1 Електромагнет.....</i>	<i>42</i>
<i>Слика 8.1 Електрична шема заштитног кола.....</i>	<i>46</i>
<i>Слика 8.2 PCB заштитног кола.....</i>	<i>46</i>
<i>Слика 8.3 Електрична шема сензорске плоче</i>	<i>47</i>
<i>Слика 8.4 PCB сензорске плоче</i>	<i>47</i>
<i>Слика 8.5 Електрична шема актуаторске плоче.....</i>	<i>48</i>
<i>Слика 8.6 PCB актуаторске плоче</i>	<i>48</i>

Списак табела:

<i>Табела 4.1.6.1 Комбинација пинова S2 и S3 и одговарајући филтер</i>	<i>23</i>
<i>Табела 4.1.6.2. Комбинација пинова S0 и S1 и одговарајуће скалирање излазне фреквенције</i>	<i>23</i>
<i>Табела 4.2.4.1 Предности и мане пиезорезистивног сензора притиска.....</i>	<i>30</i>
<i>Табела 4.1.4.2. Предности и мане капацитивног сензора притиска</i>	<i>30</i>
<i>Табела 4.1.4.3. Предности и мане пиезоелектричног сензора притиска.....</i>	<i>31</i>
<i>Табела 5.1.2.1. Улаз, излаз и одговарајући режим рада</i>	<i>35</i>
<i>Табела 5.1.3.1. Сигнали на улазима M0, M1, M2 и одговарајући корак</i>	<i>37</i>

1. Увод

Како би се студенти упознали са радом различитих сензора и актуатора унутар неког система, користи се макета која је дата на слици 1.1.



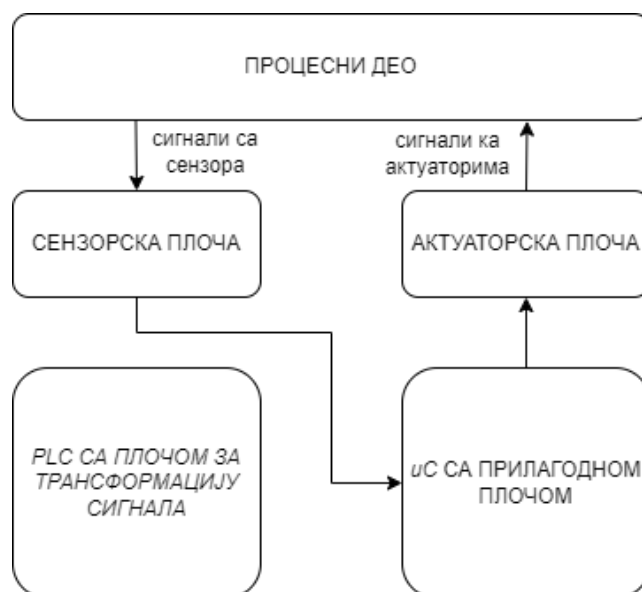
Слика 1.1. Стара макета

Дата макета процесног управљања на којој додајемо функционалности, користи се за наставу на различитим предметима и на различитим годинама. Као главно наставно средство приказана макета се користи на предмету „Примена сензора и аткуатора“ коју слушају студенти треће године. Претходна макета, а и унапређена се може поделити на следеће целине:

1. Процесни део
2. Заштитна плоча
3. Сензорска плоча
4. Актуаторска плоча
5. Прилагодна плоча
6. Индустријска плоча

На слици 1.2 дата је блок шема макете и како су дати процеси повезани. Треба напоменути да се управљање сензорима и актуаторима може вршити на два начина:

1. Помоћу *Arduino Mega 2560 Pro*
2. Помоћу ПЛЦ-а чија се ограничења компензују коришћењем *Arduino Nano*



Слика 1.2. Блок шема макете процесног управљања

Ако се контрола врши преко ПЛЦ-а онда стрелице иду ка блоку и од блока „ПЛЦ са плочом за трансформацију сигнала“. Није могуће истовремено да користимо оба начина за управљање сензорима и актуаторима.

Процесни део представља део процеса сортирања који се може срести у индустрији. Макета је дизајнирана да сортира објекте по боји, величини, магнетним особинама, итд. Састоји се од различитих сензора, актуатора, покретне траке, механичке руке, шаржера за складиштење предмета, одстојника, вратила,...

Заштитно коло, као што сама реч каже, служи за заштиту плоча од превисоког напона, инверзног напона и прејакe струје. Постоји и ограничење за доњи напон напајања који је додат како би што више искористили способности искоришћеног интегрисаног кола TPS259630DDAR.

Сензорска плоча омогућава интерфејс између прилагодне плоче/ПЛЦ-а и сензора који се налазе на процесном делу.

Актуаторска плоча обезбеђује лако управљање са актуаторима преко прилагодне плоче или ПЛЦ-а.

Главни задатак прилагодне плоче јесте да омогући повезивање *Arduino Mega 2560 Pro* са остатком система. *Arduino Mega 2560 Pro* омогућава:

1. Контролу процесног дела уз помоћ сензорске и актуаторске плоче
2. Вишеструко програмирање његових пинова на које су повезане различите периферије
3. Интерфејс са корисником преко различитих модула за комуникацију

На шематику постоје прикључци за повезивање периферија за комуникацију (*Bluetooth*, *NRF*, *OLED*, Терминал), прикључци за повезивање са сензорском и актуаторском плочом, као и додатни прикључци ако су нам потребни за неке друге периферије. Постоји и конектор за *Arduino Mega 2560 Pro*. Додата је сигнална зујалица као и дигитално-аналогни конвертор.

Индустријска плоча садржи *Arduino Nano* који заједно са ПЛЦ-ом врши управљање сензорима и актуаторима. Разлог постојања ове плоче јесте то што искоришћен ПЛЦ има ограничења. Постоје две могућности ишчитавања сензора и довођења сигнала. Прва могућност јесте, да се сигнал доведе на *Arduino Nano*, па тек онда на улаз ПЛЦ-а. Друга могућност јесте, да се доведе на улаз ПЛЦ-а где се одређени сензори воде на Дарлингтово коло *ULN2803A* који повећава струјне могућности сигнала и омогућава њихово читање на искоришћеном ПЛЦ-у.

Електронске шеме датих плочица налази се у прилогу. У наредним поглављима биће детаљно објашњене искоришћене компоненте у заштитном колу, сензорској и актуаторској плочи. Индустијска плоча као и прилагодна плоча биће детаљно објашњена у дипломском раду колеге Вање Лазаревића.

Дипломски се састоји из укупно седам поглавља. Прво поглавље представља увод, а друго анализу проблема. Поглавље три је заштитно коло, које садржи две мање целине, које представљају главне компоненте у датом колу. Четврто поглавље односи се на сензорску плочу, а пето се односи на актуаторску плочу. Оба ова поглавља имају две кључне целине. Једна целина се односи на употребљене компоненте на претходној верзији плоче, а друга целина на нове, додате компоненте дате плоче. Након овога, шесто поглавље представља закључак. На самом крају, осмо поглавље, наводи се сва коришћена литература.

2. Анализа проблема

Приликом рада на искоришћеној макети, приметило се да постоје одређени недостаци као и да има простора за унапређење. Датим унапређењем, студентима ће у даљем раду/студирању унапред бити познато неки искоришћени сензори/актуатори. У претходној верзији није постојала заштита од прекомерног и инверзног напона. Из тог разлога је направљена додатна плочица која представља заштитно коло. Додате су функционалности као што су:

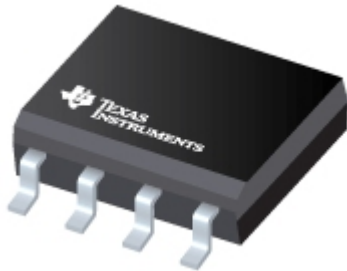
1. Мерење притиска преко сензора за мерење притиска
2. Мерење удаљености преко сензора за мерење удаљености
3. Мерење температуре преко сензора за мерење температуре
4. Сензор за детектовање светлости
5. Сензор за мерење силе, *FSR*
6. Додавање електромагнета

3. Заштитно коло

3.1. eFuse

eFuse су интегрисани уређаји који се користе за ограничавање струје и напона до безбедног нивоа током стања кvara. Ова компонента нуди многе предности у систему и може да имплементира заштиту која је тежа за реализацију ако се користе дискретне компоненте. Он је прецизнији, бржи и може сам да се „поправи“ без интервенције корисника.

TPS2596xx фамилија *eFuse*-а је високо интегрисано коло заштите. Уређаји пружају вишеструке режиме заштите користећи минималан број екстерних компоненти. Постоји заштита од прекомерне струје и напона и заштита од ниског напона. Компонента има уграђен механизам за искључивање при високим температурама. Искоришћен *eFuse* јесте TPS259630DDAR и његов спољашњи изглед дат је на слици испод.



Слика 3.1.1. *eFuse* - TPS259630DDAR

Избор вредности за екстерне компоненте одрађена је уз помоћ формула које су доступне у званичној документацији TPS259630DDAR. Избор отпорника за ограничење струје добијен је уз помоћ формуле означене под бројем 1.

$$R_{ILM}(\Omega) = \frac{903}{I_{ILM}(A) - 0.0112} \quad (1)$$

Након што се уврсти да је вредност $I_{ILM}(A)$ једнак 2А добијамо вредност 454Ω. Вредност која може да се нађе на тржишту и која нам одговара јесте 470Ω. Вредност отпорника за прекомерни напон (једначина 2) и за низак напон (једначина 3) бира се на основу следећих формула.

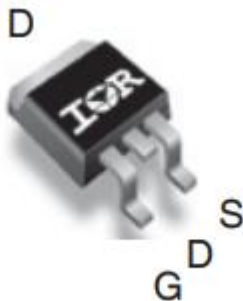
$$V_{UVLO} = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot V_{IN(UV)} \quad (2)$$

$$V_{OVLO} = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot V_{IN(OV)} \quad (3)$$

Из електричних спецификација уређаја, V_{OVLO} износи 1.2V, као и V_{UVLO} . Када се уврсте вредности $V_{IN(UV)} = 7V$, $V_{IN(OV)} = 14V$ и $R_3 = 47k\Omega$ добијамо колико износи $R_1 + R_2$. Због налажења одговарајућих вредности отпорника на тржишту, вредност R_1 је 470kΩ, а R_2 је 47kΩ. Нова максимална вредност улазног напона ($V_{IN(OV)}$) износи 14.4V, а минимална ($V_{IN(UV)}$) 7.2V.

3.2. PMOS – IRF4905

Као што је споменуто у претходном поглављу, није имплементирана заштита од инверзног напона. Из тог разлога додат је *PMOS* транзистор. На слици 3.2.1 дато је ожичење искоришћеног транзистора.

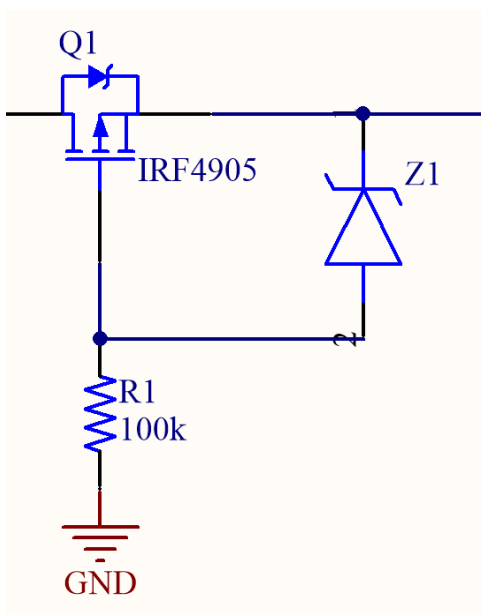


Слика 3.2.1. Ожичење IRF4905

Пре него што је изабрана ова компонента, размотрено је коришћење обичне диоде или шотки диоде, али због велике дисипације бољу варијанту представља PMOS транзистор. Када је добро повезан напон напајања, транзистор проводи дозвољавајући нормалан рад, супротно транзистор је искључен чиме је заштићено коло. Дати транзистор испуњава услове, а ти услови су:

- Напон V_{DS} мора да буде већи од напона напајања
- Мала вредност $R_{DS(on)}$ ($20m\Omega$) како би имали што мању дисипацију
- Висока вредност напона V_{GS} (+20V)

Зенер диода овде такође игра важну улогу у заштити *MOSFET*-а од оштећења. На слици 3.2.2 приказан је начин повезивања са употребљеним транзистором. *MOSFET* има максимални напон V_{GS} који може да издржи. Зенер диода ограничава V_{GS} унутар ових нивоа, тако да у суштини пружа одређену заштиту од пренапона. Искоришћена је Зенер диода од 12V.



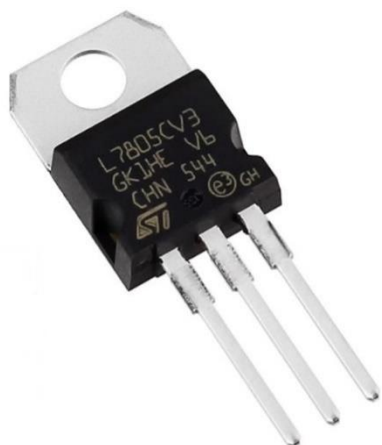
Слика 3.2.2. Транзистор са диодом у заштитном колу

4. Сензорска плоча

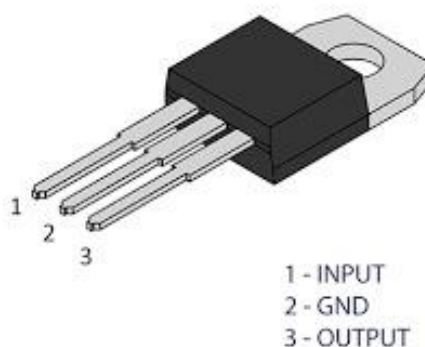
4.1. Претходно употребљене компоненте

4.1.1. LM7805 регулатор напона

Извори напона у колу могу да имају флукуације, што доводи до тога да не обезбеђују фиксну вредност напона на излазу. LM7805 је линеарни регулатор напона који одржава излазни напон на константној вредности од 5V. На сликама испод је дат приказ физичког изгледа LM7805, као и његово ожичење.



Слика 4.1.1.1. Физички изглед LM7805



Слика 4.1.1.2. Ожичење LM7805

Између напона на улазу и излазу компоненте постоји велика разлика, која што је већа, резултује већим загревањем компоненте. Из овог разлога, уколико регулатор нема хладњак, може доћи до квара. Уколико не искористимо хладњак, регулатор може и даље да функционише без квара, уколико се уведу ограничења у виду дужине рада, као и ограничења напона на максимално 2V-3V изнад излазног напона. Максимална ефикасност се остварује када је на улазу доведено 7. 2V.

У наставку је дата формула преко које се одређује величина хладњака, како би се осигурало да обухвати довољну количину енергије која се дисипира на уређају.

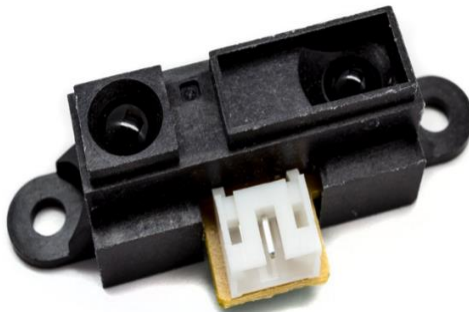
$$heat\ generated = ((input\ voltage) - 5) * output\ current \quad (4)$$

У датој реализацији није искоришћен хладњак зато што разлика улазног напона и излазног није велика.

Електролитски кондензатор се користи за смањење флукуација напона у различитим уређајима за филтрирање. Керамички кондензатори од 100nF постављени су са обе стране регулатора да би се сузбиле високе фреквенције.

4.1.2. Sharp GP2Y0A41SK0F аналогни IR сензор даљине

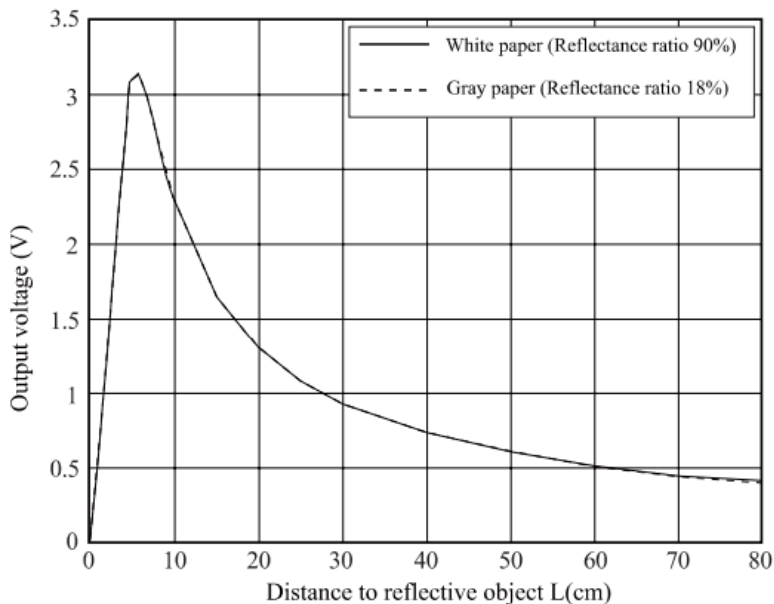
GP2Yxxxx Sharp је серија сензора удаљености, од којих је сваки одличан аналогни сензор даљине, који ради на принципу инфрацрвене светлости и аналогног напона који показује удаљеност, што га чини веома једноставним за коришћење. Сензор који користимо приказан је на слици 4.1.2.1.



Слика 4.1.2.1. GP2Y0A41SK0F IR сензор даљине

Овај сензор је сачињен од интегрисане комбинације детектора осетљивог на позицију, *PSD*, диоде која емитује инфрацрвену светлост, *IREL* и кола за обраду података. Када се сноп светлости рефлектује од објекта, рефлектовани сноп доћи ће до детектора светлости и „оптичка тачка“ биће формирана на *PSD*-у. Променом позиције објекта мења се угао рефлектоване светлости и позиција „оптичке тачке“.

Преносна карактеристика датог сензора дата је на слици испод.



Слика 4.1.2.2. График зависности излазног напона од удаљености предмета

Граф такође показује недостатке овог сензора, одзив није линеаран. Другим речима, велика промена излазног напона не одговара увек великој промени у дистанци. Како је ово оптички сензор, када је укључено светло које поред видљиве светлости даје и светлост у невидљивом опсегу, постојаће шум који сензор може покупити. Ово утиче на његову максималну могућу удаљеност. Може доћи до грешке у читавању удаљености. Рефлективност исто утиче на тачност читавања.

4.1.3. Индуктивни сензор

Баш као што његово име имплицира, индуктивни сензор близине је врста бесконтактнoг сензорског уређаја који користи електромагнетно поље за откривање металних објеката у свом домету. Индуктивни претварачи се најчешће користе за сензоре близине или помераја, односно када је потребно утврдити присуство или одсуство неког објекта, односно помераја.

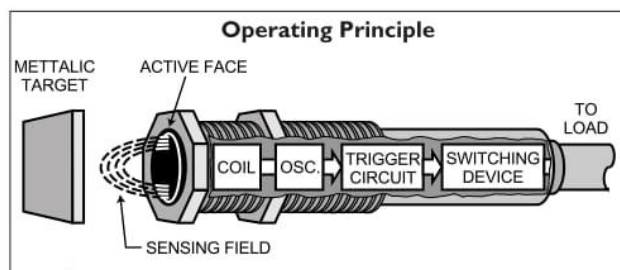
Типично коло индуктивног сензора близине састоји се од три главне компоненте:

- Унутрашњег намотаја
- Језгра од меког гвожђа и
- Осцилатора

Унутрашњи калем је намотан око феритног језгра и повезан са осцилаторним колом. Индуктивни сензори долазе у различитим облицима, величинама и осетљивости за откривање низа металних објеката. На сликама испод приказана је унутрашња структура као и спољашњи изглед искоришћеног сензора.



Слика 4.1.3.1. Спољашњост индуктивног сензора



Слика 4.1.3.2. Унутрашњост индуктивног сензора

Главне предности индуктивних претварача су:

- велика осетљивост,
- добре механичке особине (дуг век трајања) и
- бесконтактно мерење

Индуктивни сензор могу се реализовати:

- на бази коришћења променљиве релуктансе или
- на бази коришћења вртложних струја.

Искоришћен је индуктор на бази вртложних струја како би детектовао присуство проводног материјала који се налази на траци.

Када се проводни материјал нађе у променљивом магнетском пољу, електромоторна сила се индукује у материјалу и ствара локалне струје које се називају вртложне струје (*eng. Eddy current*). Вртложне струје стварају магнетско поље које се својим смером супротставља

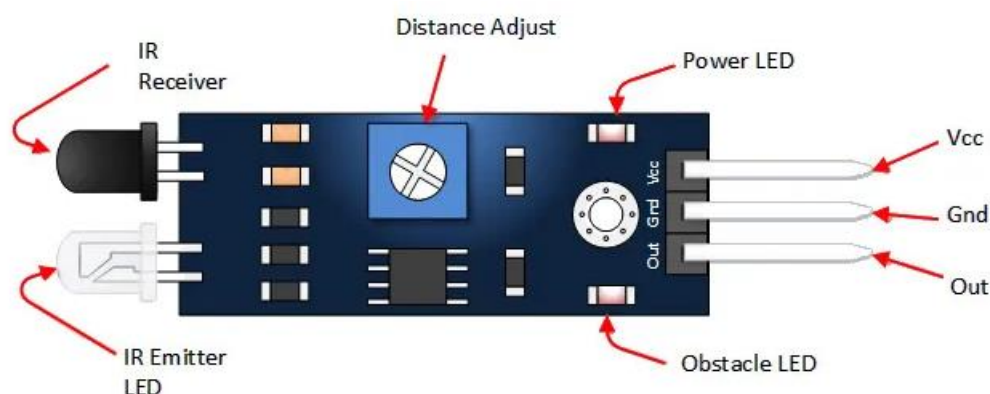
магнетном пољу које их је изазвало. Услед тога долази до промене импедансе намотаја која се може пратити мерењем напона на прикључцима намотаја.

Опсег индуктивног сензора варира у зависности од типа и величине сензора. Генерално, мали сензори имају кратак домет, док велики могу детектовати објекте на већим удаљеностима. Типични индуктивни сензори може да детектује до 60mm. Постоје посебне врсте сензора који могу понудити већи домет.

4.1.4. Инфрацрвени сензорски модул

Инфрацрвени сензор близине представља популаран сензор у електроници. Користи се у бежичној технологији, као што су функције даљинског управљања и детекција околних објеката/препрека.

Сензорски модул се састоји од инфрацрвене *LED* диоде и фотодиоде, што представља рефлексиони оптокаплер. Инфрацрвена *LED* је *LED* диода посебне намене. Може да емитује инфрацрвене зраке у распону од 700nm до 1 mm таласне дужине. Ове врсте зрака су невидљиве голим оком. Насупрот томе, фотодиода или инфрацрвени *LED* пријемник детектују инфрацрвене зраке. Рефлексиони оптокаплер детектује присуство и положај објекта на основу рефлектоване светлости од циљаног објекта. У зависности од интензитета рефлектоване светлости одређујемо колико је у ствари објекат близу, односно далеко. Поред оптокаплера, имамо LM358 операциони појачавач који ради сав посао поређења и генерише излаз. Осим тога, постоји и потенциометар који се може користити за подешавање осетљивости модула *IR* сензора или удаљености окидања за овај модул. Физички изглед сензора дат је на слици 4.1.4.1.



Слика 4.1.4.1. Спољашњи изглед инфрацрвеног сензорског модула

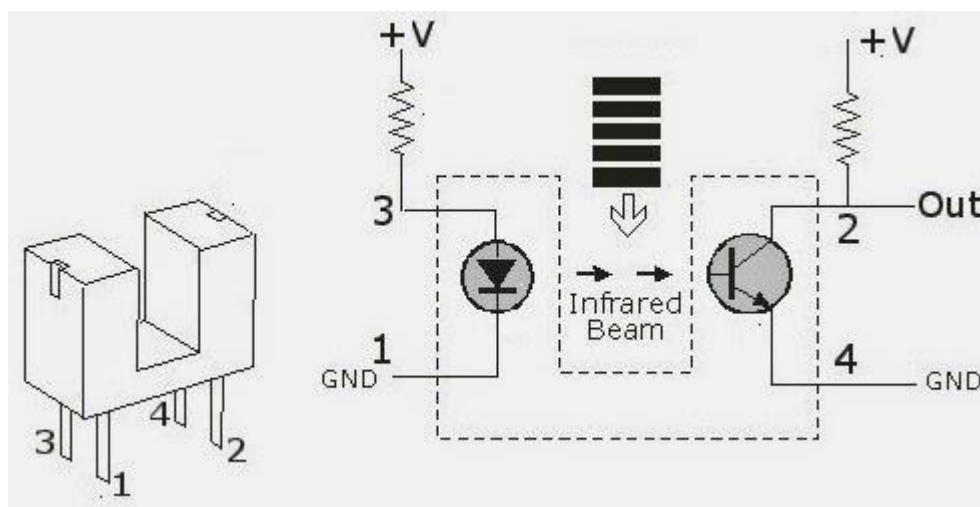
Једина разлика између дате слике и модула искоришћеног у овом пројекту јесте то што постоји додатни пин који представља аналогни, а на слици постоји само дигитални пин. На слици 4.1.4.1. назначени су и горња *LED* диода која светли када је сензор прикључен на извор напајања. Доња *LED* диода пали се када светло падне на инфрацрвени *LED* пријемник. Користи се у макети као сензор за регистровање објекта, препрека.

4.1.5. Трансмисиони оптокаплер

Трансмисиони оптокаплер користе се као сензори који се одликују:

- једноставном конструкцијом,
- ниском ценом
- бесконтактним мерењем и
- једноставним колом за обраду сигнала

Дати сензор састоји се од извора зрачења (*LED*) и оптичког пријемника. Најчешће оптички пријемник представља фототранзистор. Трансмисиони оптокаплер служи за детекцију присуства објекта између предајника и пријемника. Позиционирање роботске руке се врши преко овог сензора. Унутрашњост и физички изглед сензора дат је на слици 4.1.5.1.



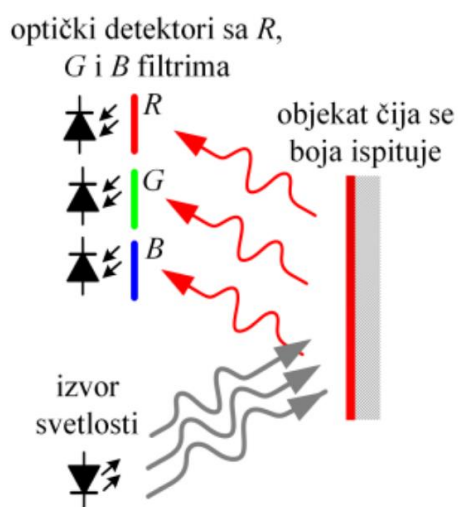
Слика 4.1.5.1. Спољашњост и унутрашњост трансмисионог оптокаплера

Једноставан принцип рада. Када се предмет нађе између пара пријемника-предајника светлост не долази до фототранзистора и он не проводи. Када се предмет помери/уклони, светлост долази на базу фототранзистора и он проводи.

4.1.6. Сензор боје

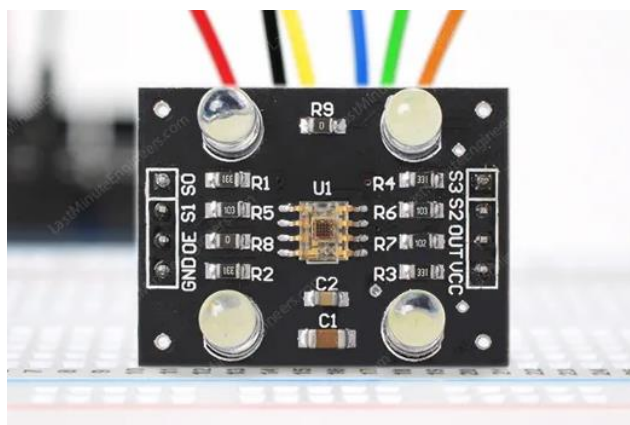
Већина сензора се заснива на истом принципу, на мерењу интензитета светлости рефлектоване од обојене површине. Сензори боје се углавном заснивају на RGB моделу боја.

Постоје два начина за имплементацију сензора боја. У првој конфигурацији користи се један широкопојасни извор светлости (типично бела *LED* диода) и три фотодетектора са различитим спектралним осетљивостима оствареним помоћу оптичких филтара. Типични оптички филтри који се користе су црвени, зелени и плави филтар. Светлост рефлектована од подлоге пролази кроз оптичке филтре до појединачних фотодетектора. На основу сигнала на три фотодетектора закључује се о боји подлоге. На слици 4.1.6.1 приказана је дата имплементација. Дату имплементацију користи TCS3200 сензор боје који је употребљен на плочи. Друга конфигурација користи три светлосна извора са различитим таласним дужинама и један широкопојасни детектор.



Слика 4.1.6.1. Имплементација сензора боје који користи сензор TCS3200

На слици 4.1.6.2 дат је физички изглед TCS3200 сензорског модула. У центру самог модула налази се TCS3200 сензор боје. Око њега се налази четири LED диоде које се упале кад се модул упали и осветљавају објекат чија се боја испитује. Радни напон јесте од 2.7V до 5.5V.



Слика 4.1.6.2. Физички изглед TCS3200 сензорског модула

TCS3200 детектује боју уз помоћ 8x8 низа фотодиода, од којих 16 фотодиода имају црвени филтер, 16 фотодиода имају зелени филтер, 16 плави филтер и осталих 16 немају никакав филтер. Сваких од ових 16 фотодиода конектовани су паралелно и уз помоћ пинова S2 и S3 може се изабрати које користимо.

У табели 4.1.6.1 приказан је скуп комбинација пинова S2 и S3 и који филтер се добија.

S2	S3	Филтер
Низак ниво	Низак ниво	Црвена
Низак ниво	Висок ниво	Плава
Висок ниво	Низак ниво	Без филтра
Висок ниво	Висок ниво	Зелена

Табела 4.1.6.1. Комбинација пинова S2 и S3 и одговарајући филтер

Интерни претварач струје у фреквенцију конвертује очитавања са фотодиода у квадратни импулс чија фреквенција је пропорционална интензитету изабране боје. Опсег типичне излазне фреквенције је 2Hz~500KHz.

Сензор има још два контролна пина S0 и S1 који се користе за скалирање излазне фреквенције. Фреквенција се може скалирати на три предодређене вредности од 2%, 20% или 100%. Уз помоћ ове функције омогућено је да се сензор користи са разним микроконтролерима или другим уређајима. Комбинацијом пинова S0 и S1 може се добити различит фактор скалирања, што је приказано у табели испод. За *Arduino* већина апликација користи скалирање од 20%.

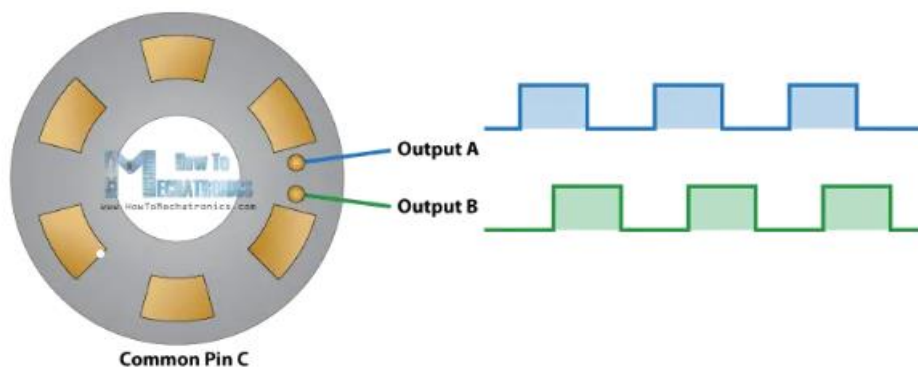
S0	S1	Скалирање излазне фреквенције
Низак ниво	Низак ниво	Искључено
Низак ниво	Висок ниво	2%
Висок ниво	Низак ниво	20%
Висок ниво	Висок ниво	100%

Табела 4.1.6.2. Комбинација пинова S0 и S1 и одговарајуће скалирање излазне фреквенције

4.1.7. Инкрементални ротациони енкодер

Енкодер је електромеханички уређај који претвара угаони померај његове осовине у електрични сигнал. Инкрементални енкодер је познат као један од најчешће коришћених ротационих енкодера. Генерише A/B дигиталне излазне сигнале на основу одређеног броја импулса по ротацији. На овај начин, угаоно кретање осовине се претвара у код да би се одредила његова брзина или релативни положај. Искоришћен енкодер не зна своју апсолутну позицију па је поребно да се зна почетна позиција, а после се мери позиција релативно у односу на њу.

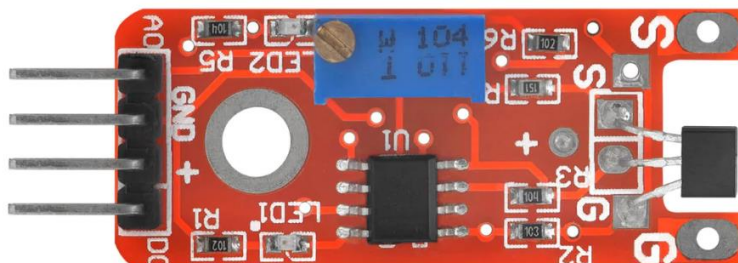
Кодер има диск са равномерно распоређеним контактним зонама које су повезани са заједничким пином C и са два друга одвојена контактна пина A и B као што је приказано на слици 4.1.7.1. Када диск почне да се окреће, пинови A и B успостављају контакт са заједничким пином и у складу са тиме се генеришу два правоугаона излазна сигнала. Ова два излазна сигнала су фазно померени за 90° . Узимање у обзир оба сигнала, можемо одредити смер кретања. Неки енкодери имају трећи излазни сигнал, канал Z , који обезбеђује један импулс по обртају. Овај појединачни импулс се користи за тачно одређивање референтне позиције.



Слика 4.1.7.1. Инкрементални енкодер са својим излазним сигнаlima

4.1.8. Холов сензор

Модел Холовог сензора који користимо јесте KY-024. Он представља линеарни магнетни Холов сензор који реагује у присуству магнетског поља. Може се покренути природним магнетом или електромагнетом. Изглед датог сензора дат је на слици 4.1.8.1.



Слика 4.1.8.1. Спољашњи изглед KY-024 сензора

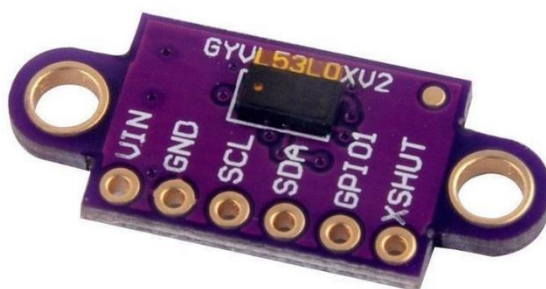
Када се електрични проводник са струјом нађе у магнетском пољу, настаје електрично поље. То је нормално на смер струје и на магнетно поље и компензује Лоренцову силу која делује на електроне. Холов сензор даје сигнал када је магнетско поље у коме се налази константно. Ово је предност у поређењу са једноставним калемом који може одредити само деривацију магнетног поља током времена. Има потенциометар којим се може подесити осетљивост сензора.

Сензор нуди и аналогни и дигитални излаз. Дигитални излаз делује као прекидач који се укључује и искључује када је магнет у близини. Аналогни излаз, с друге стране, може мерити поларитет и релативну јачину магнетног поља.

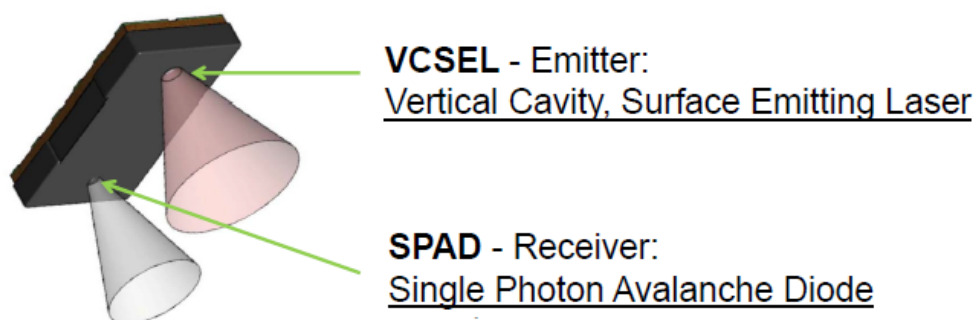
4.2. Додате компоненте

4.2.1. Time of flight сензор

Помоћу већ споменутог сензора GP2Y0A41SK0F мерили смо удаљеност, односно мерили смо колико се предмета налази у шаржеру. Претходни сензор је могао да мери удаљеност у опсегу од четири центиметара до тридесет центиметара. Проблем током рада јесте, да при већим удаљеностима, преко двадесет центиметара, има велико расипање светлости и даје нетачну вредност о раздаљини, због тога се не зна тачан број предмета у шаржеру. Одлучили смо да додамо додатан сензор који на другачији начин мери удаљеност. Сензор који смо одабрали јесте VL53L0XV2 “Time of Flight“ чији је физички изглед модула дат на слици 4.2.1.1, а на слици 4.2.1.2 дат је приказ самог сензора о коме ћемо детаљније причати у наставку.



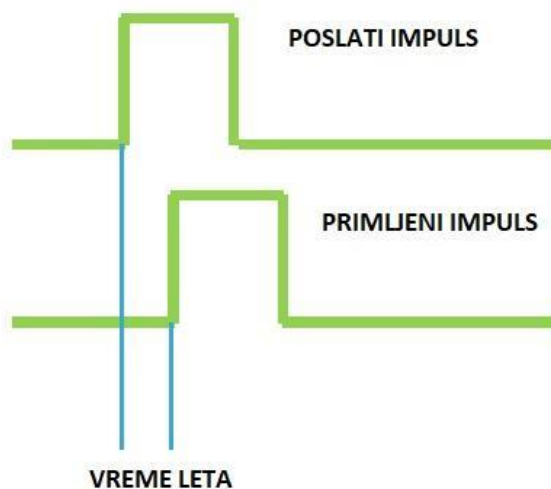
Слика 4.2.1.1. Спољашњи изглед модула VL53L0XV2



Слика 4.2.1.2. Сензор VL53L0X

VL53L0X је сензор за мерење удаљености заснован на ЛИДАР-у који за рад користи принцип времена лета. VL53L0X представља ласерски сензор за даљинско управљање. Користи принцип времена лета за мерење удаљености објекта. Овде се ласерски зрак испушта из отвора на чипу где се налази емитујући ласер (VCSEL). Светлост ласера путује до објекта и одбија се од њега и долази до детектора на чипу (SPAD).

Време лета представља време од тренутка када емитујући ласер почне да емитује зрак, до тренутка када се тај зрак врати. У зависности од тог времена ми знамо дистанцу коју је наш зрак прешао. На слици 4.2.1.3 графички је приказано време лета.

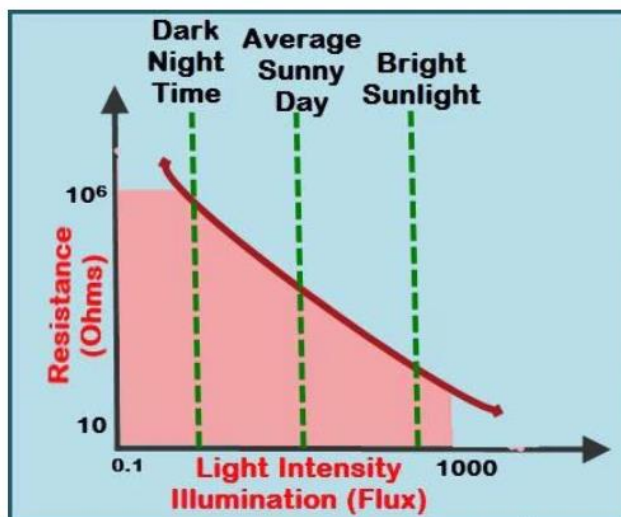


Слика 4.2.1.3. Графички приказ времена лета

Сензор може да мери опсег удаљености објекта чак и ако је његова површина рефлектујућа. Може да мери удаљеност и до два метра са резолуцијом од један милиметар. Његов ефективни домет и прецизност у великој мери зависе од услова околине и карактеристике циља, као што су рефлексија, величина и конфигурација сензора. Мерења опсега су доступна преко I²C интерфејса сензора који се такође користи за конфигурисање подешавања сензора.

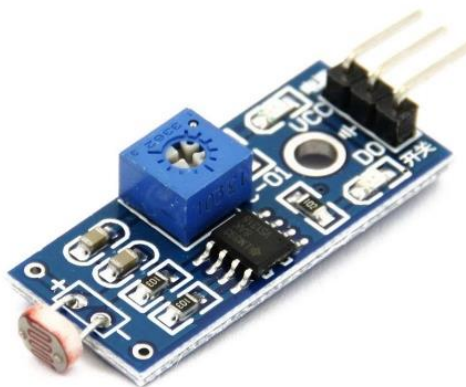
4.2.2. Фотомодул

Фотоотпорник представља посебан тип отпорника који ради на принципу фотопроводљивости. То значи да се отпорност мења у зависности од интензитета светлости. Његов отпор се смањује са повећањем интензитета светлости. У мраку, отпорност може бити и до $1\text{ M}\Omega$, а када је сензор изложен светлости, отпорност драстично опада. Осетљивост ових сензора варира у зависности од таласне дужине примењене светлости и представљају нелинеарне уређаје. Применом константног напона, интензитет светлости се повећава и повећава се струја. На слици испод је приказана крива која представља зависност отпора од светлости. Количина светлости која улази у сензор је обрнуто пропорционална отпору сензора.



Слика 4.2.2.1. Графичка приказ зависности између интензитета светлости и отпорности

Сензорски модул који се користи има дигитални и аналогни пин. Излаз модула је на високом нивоу ако светлост није детектована, а на ниском је када се светлост детектује. Осетљивост сензора може да се намести уз помоћ потенциометра. Изглед искоришћеног сензорског модула дат је на слици 4.2.2.2.

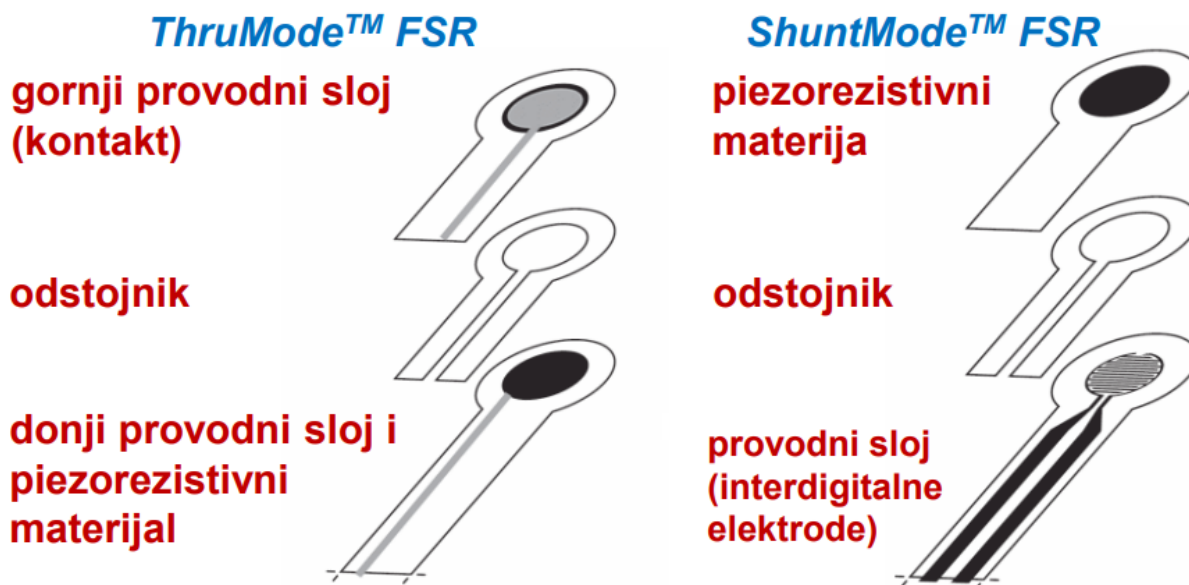


Слика 4.2.2.2. Физички изглед фотомодула

4.2.3. FSR

FSR представља отпорник за мерење силе и обично се праве помоћу пиезорезистивног мастила на бази угљеника који се штампа на површини полиестерског филма. Када се примени сила на *FSR* његова електрична отпорност се смањује. То се дешава зато што се смањује растојање између честица мастила на бази угљеника, чиме се омогућава краћа проводна путања, односно мања укупна отпорност. Када се uklони оптерећење, отпорност сензора се враћа на почетну вредност. Сензор се користи за мерење притиска, тежине и користи се као сензор додира. Главне предности *FSR* сензора су ниска цена и једноставна примена.

Постоје два типа *FSR* сензора, *ThruMode* и *ShuntMode*. *ThruMode* се користи када је потребно мерити мање вредности силе и притиска, односно има мањи опсег мерења. Други тип сензора користи се за мерење веће вредности силе и притиска, има већи опсег мерења и више је заступљен на тржишту. Погоднији су за израду на већим површина пошто се на тај начин користи мање сребра за контакте (интердигиталне електроде). Не могу да буду малих димензија као *ThruMode* због физичких ограничења приликом штампања интердигиталних електрода. На слици 4.2.3.1 приказана је разлика у прављењу ова два типа сензора.



Слика 4.2.3.1. Разлике у прављењу *ThruMode* и *ShuntMode* *FSR* сензора

4.2.4. Сензор притиска

Приликом сортирања различитих предмета често је коришћена роботска рука за померање предмета са покретне траке. Померање предмета са траке се извршава тако што када се нађе предмет испод роботске руке, заустави се трака, вакуум сисаљка се постави изнад предмета и предмет се „прилепи“ за сисаљку. Овај систем у многим случајевима добро функционише, али постоји случајеви где се сисаљка не постави тачно изнад предмета и предмет се не „прилепи“. Проблем се јавља код система зато што све зависи од позиције. Из тог разлога увели смо сензор притиска који нам елиминише тај сценарио, понаша се као повратна спрега система.

Приликом избора сензора разматрано је у односу на шта се мери, а након тога и начин мерења притиска. Постоји широк избор сензора, али на крају смо избор сузили на пиезорезистивни, пиезоелектрични и капацитивни сензор притиска. У наставку издвојени су предности и мане сваког типа сензора.

Врста сензора	Предности	Мане
Пиезорезистивни сензор притиска	Најранији, најчешће коришћени	Мора да се напаја
	Једноставна конструкција, ниска цена и издржљивост	Ограничење у скалирању
	Робусни са добром отпорношћу на ударце, вибрације и динамике промене притиска	Релативно ниска вредност излазног сигнала
	Коло за читавање једноставно, омогућава мерење високе резолуције	Излаз сензора зависи од температуре
	Излаз линеаран и време одзива испод 1ms	Отпорни елемент може да се веже за дијафрагму, проблем са лепком на високим температурама и надпритиску
	Широк опсег мерења (21kPa до 150MPa)	

Табела 4.2.4.1. Предности и мане пиезорезистивног сензора притиска

Врста сензора	Предности	Мане
Капацитивни сензор притиска	Једноставан и робустан	Изражена нелинеарност
	Широк температурни опсег	
	Широк опсег мерења притиска (250Pa до 70MPa)	
	Не захтевају извор напајања	Осетљиви на вибрације
	Брз одзив и добра поновљивост мерења	

Табела 4.2.4.2. Предности и мане капацитивног сензора притиска

Врста сензора	Предности	Мане
Пиезоелектрични сензор притиска	Робусни и мала снага	Сложенији електронски интерфејс
	Толеришу високе температуре до чак 1000°C	Неопходан појачавач пуњења
	Сами се напајају, неосетљиви на електромагнетне сметње	Због интегрисане електронике смањен опсег радне температуре
	Широк опсег мерења (0.7kPa до 70MPa)	Могу се користити само за динамичко мерење притиска
	Брз одзив	
	Једноставна конструкција	Осетљиви на вибрације, убрзања

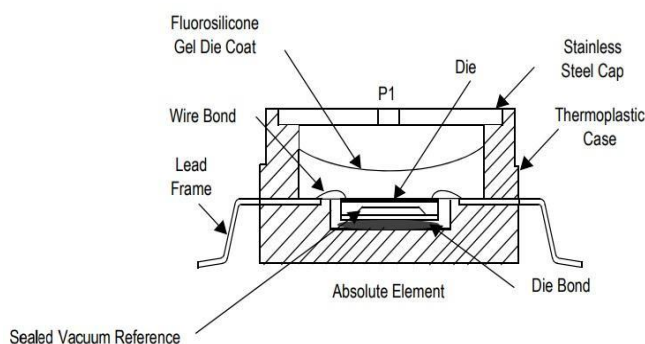
Табела 4.2.4.3. Предности и мане пиезоелектричног сензора притиска

На основу наведеног разматрања закључујемо да је најбоље искористити пиезорезистивни сензор притиска. Одабрали смо овај зато што вакуум пумпа приликом паљења, гашења и током свог рада ствара вибрације које би утицале на рад пиезоелектричног и капацитивног, али не и пиезорезистивног. Мана која нам не одговара код пиезорезистивног јесте ниска вредност излазног сигнала, али нађен је модел на тржишту у облику модула који на себи има појачавачки степен па самим тим нам неутралише ману. Споменути сензор притиска је МРХН6115А чији изглед је дат на слици 4.2.4.1.



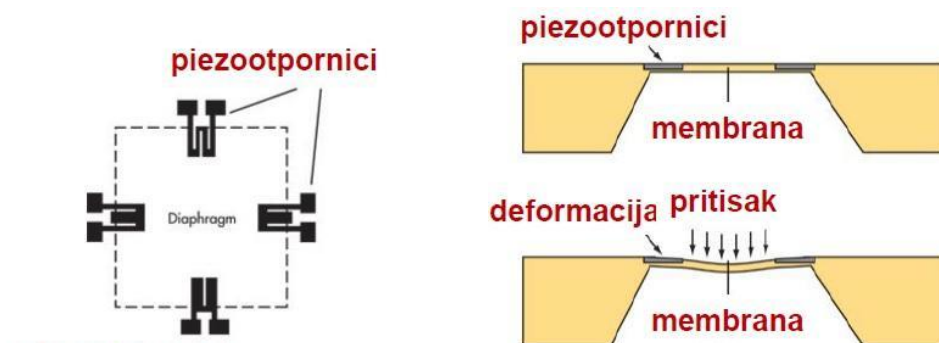
Слика 4.2.4.1. Сензор притиска МРХН6115А

Искоришћен сензор мери притисак на индиректан начин преко мерења деформација пиезо елемента. На слици 4.2.4.2 налази се попречни пресек датог сензора.



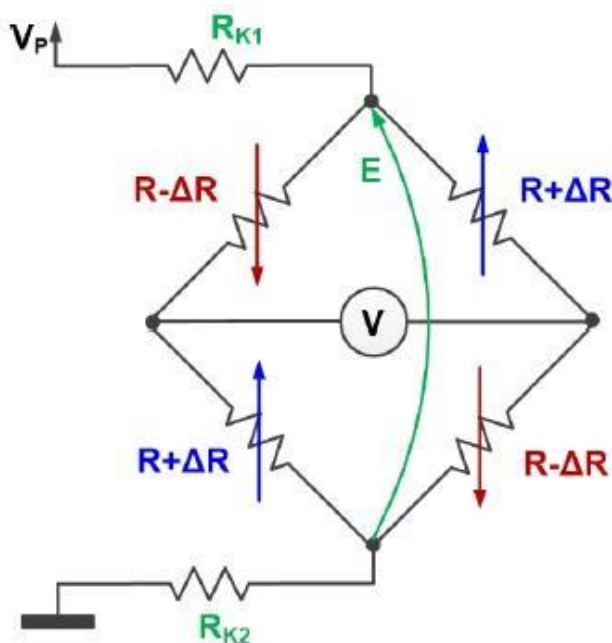
Слика 4.2.4.2. Попречни пресек сензора притиска МРХН6115А

Сензор мери апсолутни притисак, односно притисак у односу на уграђену вакуумску референцу. Сензор поседује танку силиконску мембрану на којој су израђена четири пиезоотпорника, односно мерне траке. Мембрана раздваја две средине, средину са референтним притиском и притиском који треба мерити. Услед промене мерног притиска у односу на референтну, мембрана се деформише, што доводи до промене отпорности пиезоотпорника. На слици 4.2.4.3 дат је изглед мерне траке као и како изгледа мембрана која раздваја две средине.



Слика 4.2.4.3. Изглед пиезоотпорника и мембране

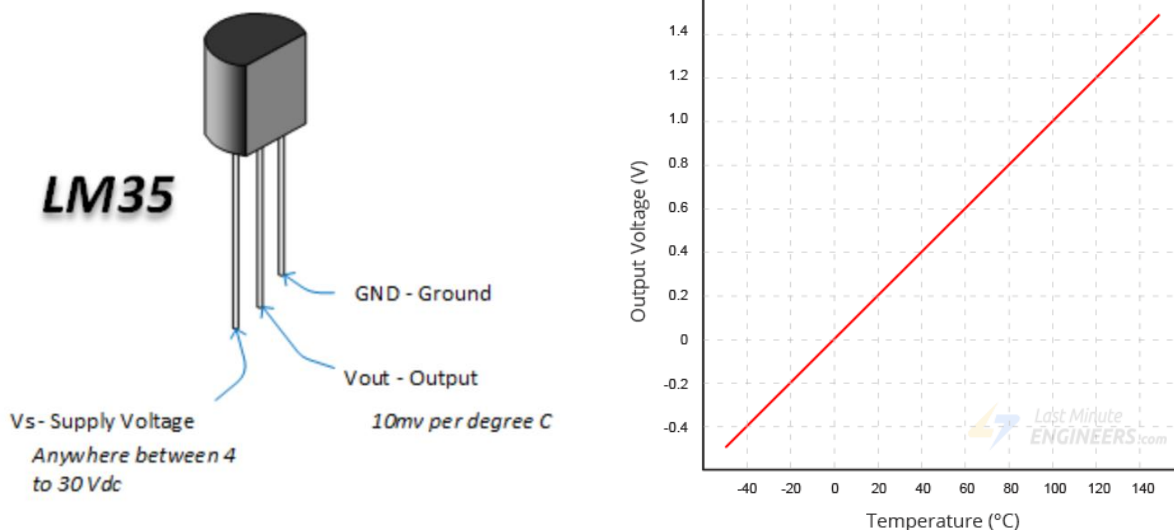
Пиезоотпорници су везани у Витстонов мост. Организовани су тако да са променом притиска отпорност код два пиезоотпорника расте, а код друга два отпорност опада. На слици 4.2.4.4 може се видети Витстонов мост у чијим гранама су пиезоотпорници. Пошто силицијум има позитивни температурни коефицијент, а пиезоотпорници негативни, извршена је температурна компензација, постављени су силицијумски отпорници R_{K1} и R_{K2}



Слика 4.2.4.4. Витстонов мост у чијим гранама су пиезоотпорници

4.2.5. LM35

LM35 је аналогни, линеарни температурни сензор чији излазни напон варира линеарно са променом температуре (слика 4.2.5.1 десно). Излазни напон се повећава за 10mV када се температура повећа за 1°C. Дати сензор не захтева калибрацију и обезбеђује типичну тачност од $\pm 0.5^\circ\text{C}$ на собној температури и $\pm 1^\circ\text{C}$ у пуном температурном опсегу од -55°C до $+155^\circ\text{C}$.



Слика 4.2.5.1 Изглед сензора LM35(лево) и излазни напон LM35 у функцији од температуре (десно)

Међутим, очитана аналогна вредност не враћа заправо излазни напон. Уместо тога, он мапира улазни напон између 0 до референтног напона A/D конвертора (у нашем случају радни напон од 5V) у 12-битне целобројне вредности у распону од 0 до 4095. У сврху конвертовања ове вредности назад у вредност излазног напона, користи се следећа формула:

$$V_{out} = (\text{reading from ADC}) * \left(\frac{5}{4096}\right) \quad (5)$$

Ова формула конвертује број који се налази у опсегу од 0 до 4095 са A/D конвертора на напон од 0 до 5V. Након овога, да би се добијена вредност напона претворила у температуру, користи се следећи израз:

$$T(^{\circ}\text{C}) = V_{out} * 100 \quad (6)$$

5. Актуаторска плоча

5.1. Претходно употребљене компоненте

5.1.1. DC мотор са четкицама

Ово је мотор једносмерне струје са три намотаја на ротору и две четкице, тј BDC мотор, чији је спољашњи и унутрашњи изглед дат на слици 5.1.1.1. Ротор је цилиндричног облика и састављен је од танких феромагнетских лимова, како би се смањили губици који настају услед вртложних струја. Намотаји су смештени у жлебове ротора, а спојени су преко ламела (кришака комутатора) у редну везу топологије троугла.



Слика 5.1.1.1. Спољашњи (лево) и унутрашњи (десно) изглед DC мотора

У оваквом уређају су елиминисани равнотежни положај и кратак спој извора напајања. Претпоставка је да су три намотаја довољна како тренутак и индукована ЕМС (електромоторна сила) не би зависили од угаоног положаја ротора.

Једносмерна струја се доводи на ротор преко четкица које су у контакту са ламелама, при чему се ламеле окрећу заједно са ротором. Контрола брзине DC мотора се врши променом висине напона, док се промена смера врши променом смера струје кроз намотаје мотора (механичким путем - комутацијом уз помоћ комутатора на који належу четкице).

Највећи проблем који се јавља у примени и одржавању конвенционалних BDC мотора је варничење на карбонским четкицама, па се четкице брзо хабају те их је потребно често мењати, а ово такође узрокује да се генеришу електромагнетне сметње (зрачење).

За BDC моторе генерално важи да су веома приступачни, имају велики обртни моменат, једнострано управљање, могућност управљања брзином обртаја у широком опсегу, добар обртни моменат (добру карактеристику брзине).

Главне особине овог мотора су: напон од 6V до 12V, струја неоптерећеног мотора од 100mA, комутација преко четкица, ефикасност IE4 са опцијом ротације од 170RPM до 350RPM

5.1.2. DC мотор 3 click

DC MOTOR 3 Click је *mikroBUST™* додаток плочи са *Toshiba TB6549FG* драјвер за моторе једносмерне струје. Интегрисано коло је способно да емитује струју до 3.5А са 30V, што га чини погодним за моторе велике снаге. На слици испод приказан је *DC MOTOR 3 Click*.



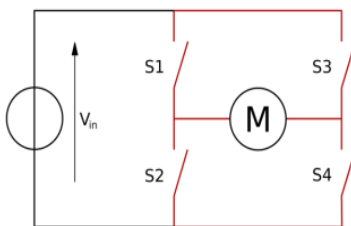
Слика 5.1.2.1. Спољашњи изглед *DC MOTOR 3 Click*

Два пара шrafoва постављена су на врху плочице. Један је за довођење екстерног напајања, а други за повезивање мотора. *TB6549FG* има четири режима рада: у смеру казаљке на сату (*CW*), супротно од казаљке на сату (*CCW*), кратко кочење и заустављање. Начин рада се конфигурише преко *IN1* и *IN12* пинова. Доступан је и одвојено контролисан режим приправности. Постоји заштита од прекомерне струје и у случају превелике температуре. Режим рада који је одређен комбинацијом пинова *IN1* и *IN12* дат је у наредној табели где *X* означава висок ниво, а *Л* низак ниво.

Улаз				Излаз		
<i>IN1</i>	<i>IN2</i>	<i>Standby pin</i>	<i>PWM</i>	<i>OUT1</i>	<i>OUT2</i>	Режим
X	X	X	X	Л	Л	кратко кочење
			Л			
Л	X	X	X	Л	X	<i>CW/CCW</i>
			Л	Л	Л	кратко кочење
X	Л	X	X	X	Л	<i>CCW/CW</i>
			Л	Л	Л	кратко кочење
Л	Л	X	X	ИСКЉУЧЕН		стоп
			Л			
X/Л	X/Л	Л	X	ИСКЉУЧЕН		приправност
			Л			

Табела 5.1.2.1. Улаз, излаз и одговарајући режим рада

Контрола мотора се генерално врши помоћу Х моста, чија је принципска шема приказана на слици 5.1.2.2.



Слика 5.1.2.2. Х мост

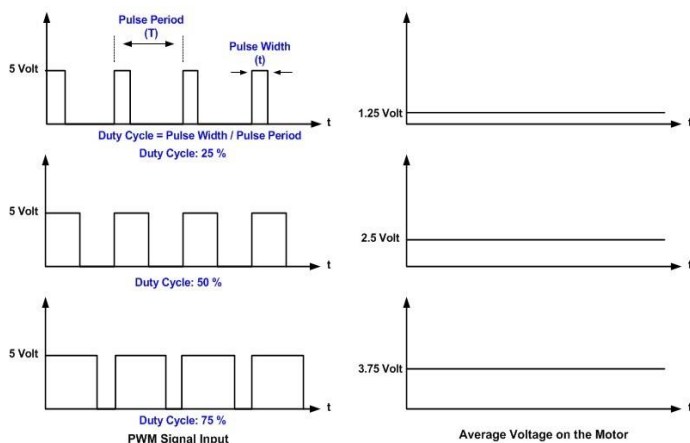
Комбинацијом укључених прекидача се добија одређено понашање мотора, при чему су увек затворена два прекидача:

- S1 = затворен , S2 = затворен ----- кратак спој!
- S1 = затворен , S3 = затворен ----- мотор кочи
- S1 = затворен , S4 = затворен ----- окреће се у смеру А
- S3 = затворен , S4 = затворен ----- кратак спој!
- S3 = затворен , S1 = затворен ----- мотор кочи
- S3 = затворен , S2 = затворен ----- окреће се у смеру Б

До сада је размотрена само промена смера уз помоћ Х моста, али сада можемо да размотримо контролу брзине преко Х моста. Главна идеја је да се прекидачи (транзистори) S1-S4 затварају и отварају доста брзо и онда ће мотор на себи имати напон који иде од напон напајања до 0V и поново на напон напајања веома брзо. Због особина мотора он ће видети само средњу вредност тог напона. То резултује да манипулацијом времена колико прекидач проводи, а колико не проводи можемо контролисати напон на њему. Чим контролишемо висину напона, контролишемо и брзину. Тако модулисан сигнал који носи информацију у облику колико времена је на логичкој јединици, а колико на логичкој нули назива се ширинско-импулсно модулисан сигнал (*PWM* сигнал).

Битно је напоменути да је периода таквог сигнала константна, мења се само време колико је тај сигнал на логичкој јединици а колико на нули. Код *PWM* сигнала дефинише се параметар фактор испуне и он представља однос времена када сигнал има вредност логичке јединице и периоде сигнала.

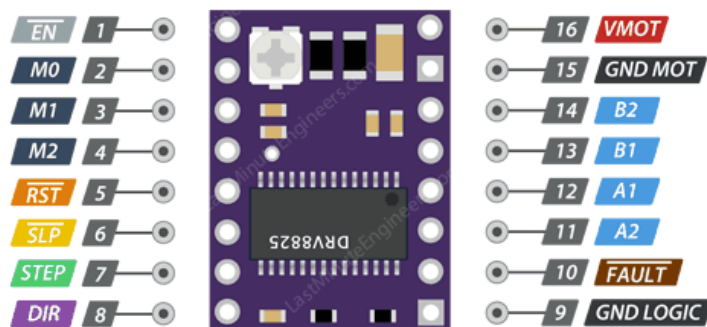
На слици испод се види како изгледа напон који мотор види за различите *PWM* сигнале. Када је омогућена *PWM* контрола, нормалан рад и краткотрајно кочење се понављају.



Слика 5.1.2.3. *PWM* дијаграм

5.1.3. DRV8825 Stepper Motor Driver Chip

У срцу модула је драјвер за микрокорак компаније *Texas Instruments* – *DRV8825*. Дати драјвер корачног мотора има капацитет излазног погона и до 45V. Излазна струја је регулисана, омогућајући рад корачног мотора без велике буке и елиминацију резонанције или звоњења, која је уобичајена у дизајну нерегулисаних корачних драјвера. Постоје два контролна пина. Један за контролу корака, а други за контролу правца окретања. Драјвер нуди шест различитих резолуција корака. Да би се обезбедио поуздан рад, драјвер има додатне карактеристике као што су поднапон, пробој, кратки спој, прекомерна и термичка заштита. На слици 5.1.3.1 дат је приказ где се који пин налази.



Слика 5.1.3.1. Ожичење DRV8825 Stepper Motor Driver Chip-a

Драјвер подржава микрокорак тако што дели један корак на мање кораке. Ово се постиже напајањем калемова са средњим нивоима струје. Постоје три улаза (M0, M1 и M2) за бирање величине корака, односно резолуција. Постављање одговарајућих логичких нивоа за ове пине можемо подесити мотор на једну од шест резолуција.

M0	M1	M2	Резолуција микрокорака
Низак ниво	Низак ниво	Низак ниво	Пун корак
Висок ниво	Низак ниво	Низак ниво	Полукорак
Низак ниво	Висок ниво	Низак ниво	1/4 корака
Висок ниво	Висок ниво	Низак ниво	1/8 корака
Низак ниво	Низак ниво	Висок ниво	1/16 корака
Висок ниво	Низак ниво	Висок ниво	1/32 корака
Низак ниво	Висок ниво	Висок ниво	1/32 корака
Висок ниво	Висок ниво	Висок ниво	1/32 корака

Табела 5.1.3.1. Сигнали на улазима M0, M1, M2 и одговарајући корак

Излазни канали драјвера мотора *DRV8825* налазе се са десне стране модула и представља пине B2, B1, A1 и A2 пин. Сваки излазни пин може да доведе до 2.5A до мотора. Међутим, количина струје која се доводи до мотора зависи од напајања, система за хлађење и подешавања за ограничење струје система. Упркос што има максималну струју од 2.5A по калему, драјвер може да обезбеди само око 1.5A по калему без прегревања. Да би се постигла већа струја од 1.5A по калему, потребно је додати хладњак или неки други начин хлађења.

5.1.4. Серво мотор

Серво мотор је ротациони актуатор који је развијен за коришћење где није потребно да мотор ради стално, него само током кратких временских интервала, где треба да реагује и да буде тачан у свом угаоном позиционирању.

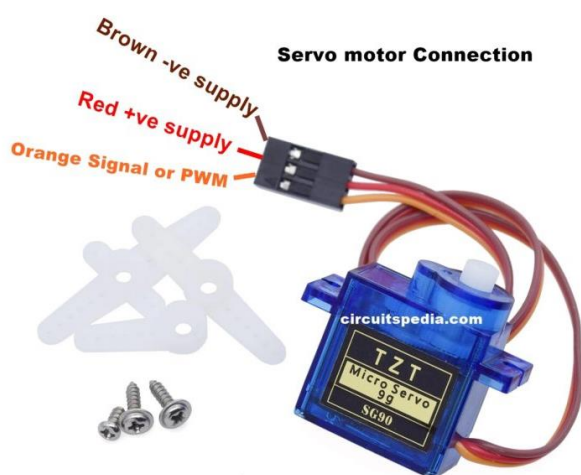
Особине које се везују за овај тип сензора су:

- тачно позиционирање и велика резолуција позиционирања,
- генерисање велике силе/момента на свом излазу (осовини),
- могућност држања позиције чак и при великим оптерећењима,
- брз одзив, без премашаја.

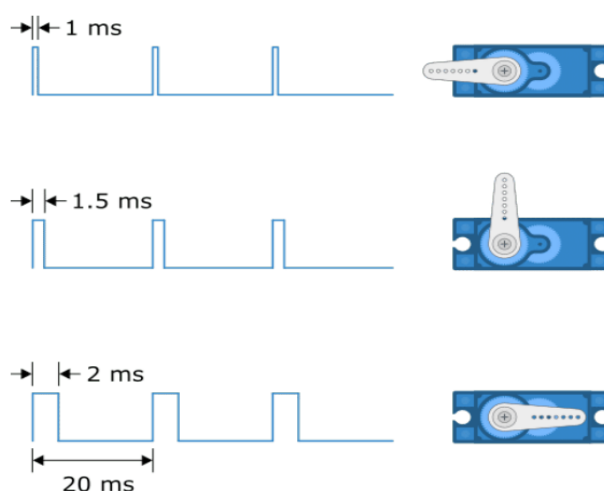
Тачност позиционирања је одређена преко повратне спреге која је имплементирана унутар самог серво мотора. Повратну спрегу најчешће представља потенциометар који се помера заједно са осовином када се зупчаници окрећу под утицајем мотора. Управљачки модул прати промену вредности на потенциометру како би угаasio мотор када се излазна оsovина нађе у одговарајућој позицији.

Серво мотор садржи три пина који служе за повезивање на масу, напајање и за управљачки сигнал који су приказани на слици 5.1.4.1. Најчешће као управљачки сигнал користимо *PWM* сигнал. У зависности од односа импулс-пауза (слика 5.1.4.2) који дефинишемо на улазу мотора, добијамо различите помераје. Периода се дефинише за трајање од 20ms. Серво има могућност обртања у опсегу од 180°. За померај од +90° сигнал је 2ms на високом нивоу, а преосталих 18ms налази се на ниском нивоу. Смањењем високог нивоа на 1ms, а остатак времена од 19ms на ниском нивоу, добијамо позицију коју дефинишемо као -90°.

Серво мотор се користи за позиционирање зглоба роботске руке као и за избацивање из шаржера.



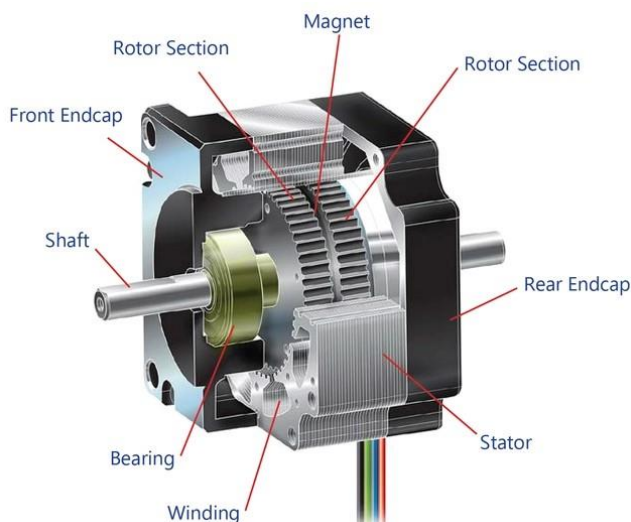
Слика 5.1.4.1 Изглед мотора SG90



Слика 5.1.4.2 Принцип функционисања серво мотора

5.1.5. Корачни мотор

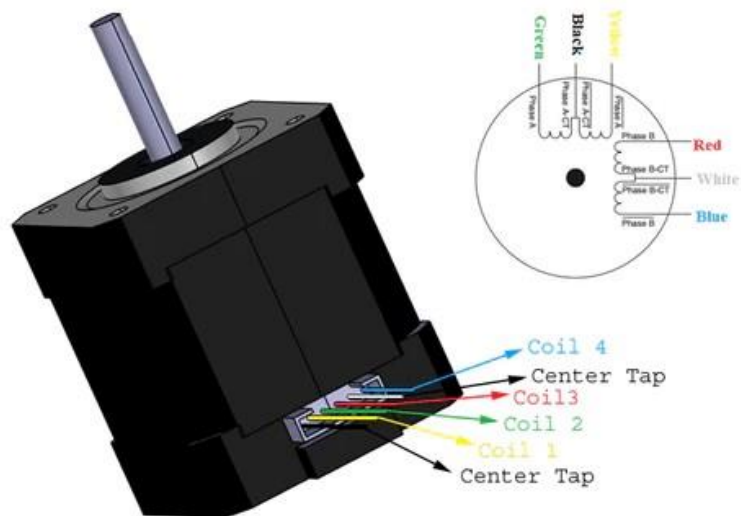
Мотори са повратном спрегом захтевају примену сензора и регулацију положаја. Стога, цена овим моторима може бити висока. Идеја која се крије иза корачних мотора јесте, конструкција мотора чијим се угаоним положајем може управљати без повратне спреге, без сензора. Од таквих мотора захтева се дискретни, тачно дефинисани, механички кораци као одзив на електричну побуду. Дати мотори представљају електромеханичке актуаторе који електричну побуду преводе у дискретне механичке кораке. Постоје три типа корачног мотора. То су мотори са сталним магнетом, на бази променљиве релуктансе и хибридни. Унутрашњост искоришћеног хибридног корачног мотор приказан је на слици 5.1.5.1.



Слика 5.1.5.1. Унутрашњост хибридног корачног мотора

Хибридни мотор по принципу рада представља комбинацију корачног мотора са сталним магнетом и мотора на бази променљиве релуктансе. На статору се налазе назубљени истурени жљебови од меког магнетног материјала, на којима се налазе намотаји. Ротор је назубљени стални магнет намагнетисан аксијално. Оваквом конструкцијом комбинују се добра својства корачних мотора на бази променљиве релуктансе и корачних мотора са сталним магнетом. Ротор хибридног корачног мотора састоји се из два назубљена диска при чему је један диск јужни, а други северни магнетни пол. Корачни мотор има угао окретање од 1.8° . Угао је еквивалентан 200 корака/окрет.

Овај тип мотора има шест жица различитих боја. Ако се користи униполарни корачни мотор треба искористи свих шест жица, а ако користимо биполарни онда неке жице се изостављају. У датом раду искоришћено је биполарно управљање тада се не користе бела и црна жица. На слици 5.1.5.2 види се шта представља свака боја жице. Корачни мотор се користи за позиционирање роботске руке.



Слика 5.1.5.2. Излазне жице корачног мотора

5.1.6. Вакуум пумпа

За покретање вакуум пумпе користи се DC мотор чији је принцип рада објашњен у претходном поглављу. Када крене мотор да се обрће, вакуум пумпа креће са великом брзином да помера ваздух са једног свог прикључка ка другом. Током овог процеса у првом прикључку појавиће се подпритисак, односно притисак који је нижи од атмосферског. Можемо га пренети кроз црево до сисаљке и тако можемо омогућити „лепљење“ предмета на сисаљку. Мотор са вакуум пумпом који ради на 12V приказан је на слици 5.1.6.1. Контролу мотора вршимо преко транзистора који се користи као прекидач.



Слика 5.1.6.1. Мотор са вакуум пумпом

5.2. Додата компонента

5.2.1. Електромагнет

Магнети су свуда око нас. Иако су све врсте магнета способне да производе магнетно поље, неки од њих користе другачији метод рада. Постоје трајни магнети, на пример, а постоје и електромагнети.

Електромагнет је врста магнетног уређаја који се одликује употребом електричне енергије. Другим речима, они производе магнетно поље користећи електричну енергију. Електромагнети се обично састоје од жице и проводног материјала који је омотан око металне основе. Како струја тече кроз жицу или проводни материјал, ствара се магнетно поље.

Имају једноставан начин рада. Када се струја креће, ствара се магнетно поље. Ови ефекти се могу појачати коришћењем дугачке жице или комада проводног материјала и омотавањем око металне основе, као што је комад гвожђа. Електрична енергија ће тећи кроз жицу или проводни материјал док истовремено ствара магнетно поље. Главна предност електромагнета јесте то што може да се контролише. Повећањем или смањењем струје се контролише електромагнетно поље.

Искоришћен електромагнет дат је на слици 5.2.1.1. Он се користи заједно са сисаљком за прихватање металних предмета.



Слика 5.2.1.1. Електромагнет

6. Закључак

Наведени проблеми који су били разматрани, успешно су се решени. Приликом тестирања није било проблема, али као и сваки реални систем, није све идеално. Када се макета употреби у настави, тек онда можемо да видимо, уз помоћ студената, како можемо да унапредимо систем. Односно, да ли је првобитна заштита од инверзног и прекомерног напона добра, да ли треба додати још неке сензоре и слично. Неколико идеја које би могле да се имплементирају у некој наредној итерацији су:

- Узети *eFuse* који има и могућност заштите од инверзног напона, како би плочица била компактнија
- Додавање додатних прикључака за напон напајања како би лакше спојили све неопходне плочице
- Дизајнирати кућиште за заштитно коло
- Наћи бољи начин повезивања сензора и актуатора

Тренурно се заштитно коло налази на макети, али није лоше да то буде одвојено, како би студенти имали могућност да користе на неким другим пројектима. Што се тиче повезивања сензора и актуатора, проблем је то што постоји пуно каблова и естетски није лепо на први поглед. Зато је та ставка наведена, као што је битна функционалност, битан је и естетски изглед.

7. Литература

- [1] – Макета,
<https://www.optolab.ftn.uns.ac.rs/index.php/education/course-notes/primena-senzora-i-aktuatora-psia>
[октобар 2023]
- [2] – Техничка документација за TPS259630DDAR,
<https://eu.mouser.com/ProductDetail/Texas-Instruments/TPS259621DDAT?qs=XeJtXLI041RIvFY51dY0JA%3D%3D>
[октобар 2023]
- [3] – Техничка документација за IRF4905S,
https://eu.mouser.com/datasheet/2/196/Infineon_IRF4905S_DataSheet_v01_01_EN-3165933.pdf
[октобар 2023]
- [4] – LM7805 regulator napona,
<https://www.electronicsforu.com/technology-trends/learn-electronics/7805-ic-voltage-regulator>,
[октобар 2023]
- [5] – GP2Y0A41SK0F аналогни сензор даљине,
https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf ,
[октобар 2023]
- [6] – Индуктивни сензор,
<https://www.geya.net/inductive-proximity-sensor-how-it-works/>,
[октобар 2023]
- [7] – Инфрацрвени сензорски модул,
<https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-ir-sensor-module-with-arduino>
[октобар 2023]
- [8] – Сензор боје,
<https://lastminuteengineers.com/tcs230-tcs3200-color-sensor-arduino-tutorial/>,
[октобар 2023]
- [9] – Инкрементални ротациони енкодер,
<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/rotary-encoder-works-use-arduino/>
[октобар 2023]
- [10] – Time of flight сензор,
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf>
[октобар 2023]
- [11] – Фотомодул,
<https://www.electroduino.com/ldr-sensor-module-how-ldr-sensor-works/>,
[октобар 2023]
- [12] – FSR,
<https://lastminuteengineers.com/fsr-arduino-tutorial/#:~:text=4.9V-,Wiring%20an%20FSR%20to%20an%20Arduino,down%20resistor%20and%20the%20FSR,>
[октобар 2023]

[13] – Разлике између различитих врста сензора притиска
<https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/technologies/sensors/pressure-sensors/core-technologies/capacitive-vs-piezoresistive-vs-piezoelectric/>
[октобар 2023]

[14] – LM35,
<https://lastminuteengineers.com/lm35-temperature-sensor-arduino-tutorial/>,
[октобар 2023]

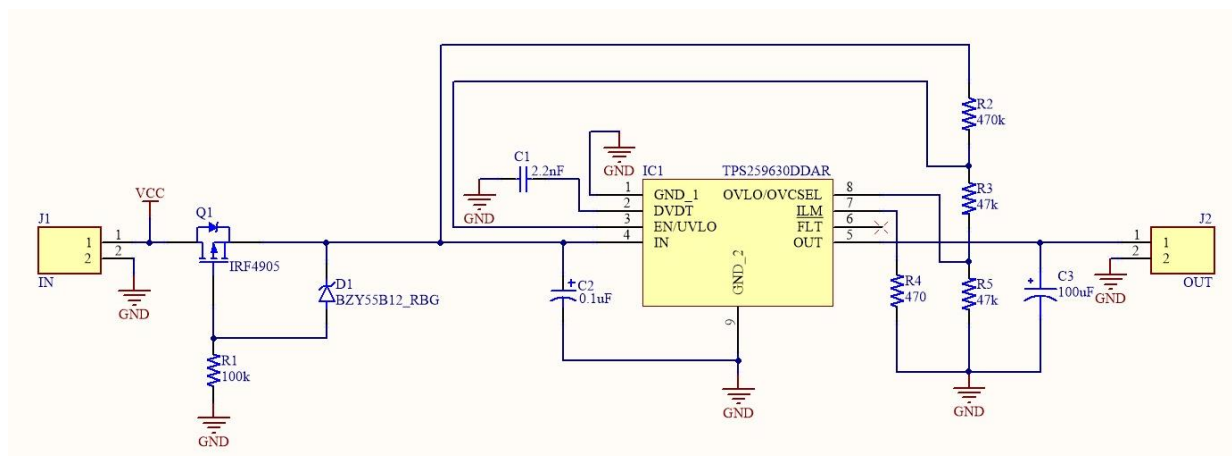
[15] – DC мотор 3 click,
<https://www.mikroe.com/dc-motor-3-click>,
[октобар 2023]

[16] – DRV8825 Stepper Motor Driver Chip,
<https://lastminuteengineers.com/drv8825-stepper-motor-driver-arduino-tutorial/>
[октобар 2023]

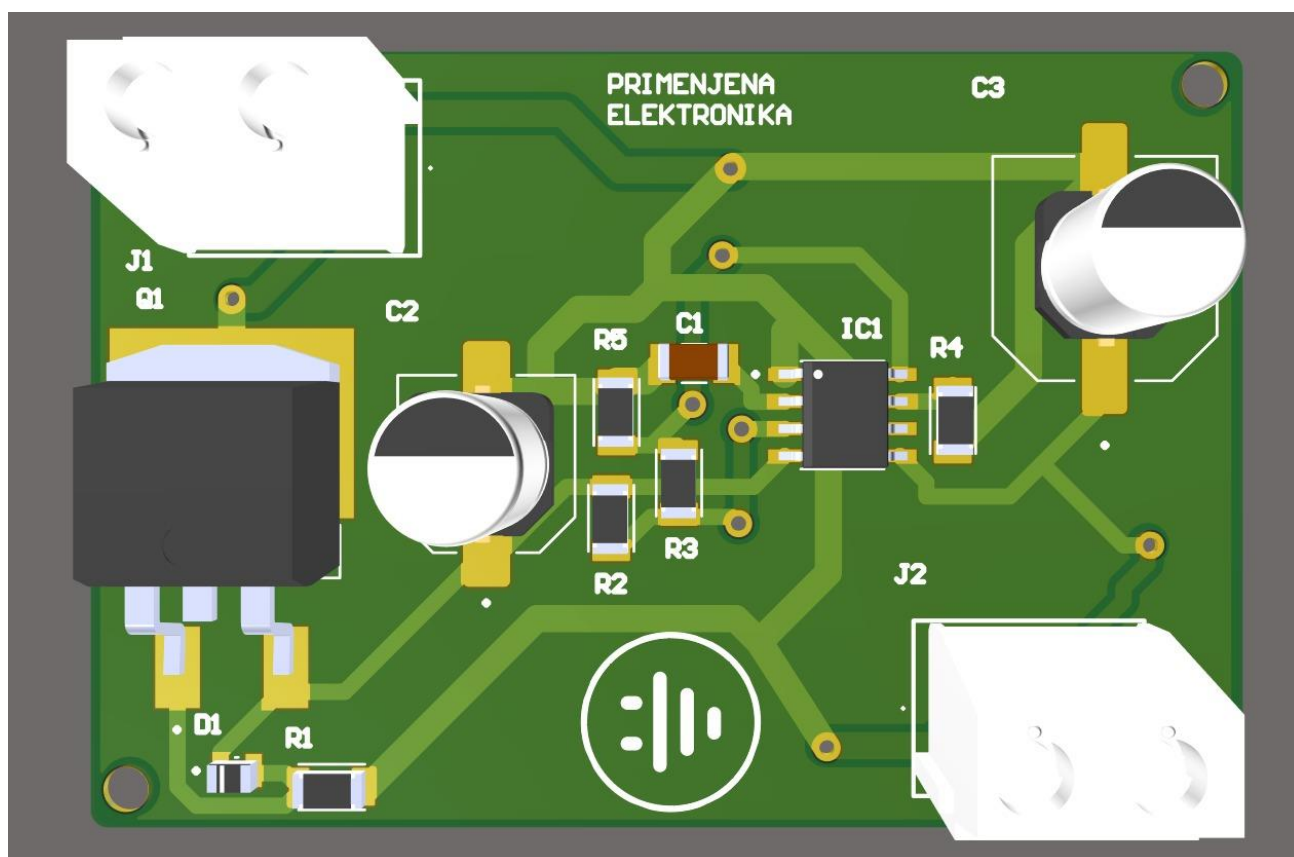
[17] – Корачни мотор,
<https://www.linengineering.com/technology/hybrid-stepper-motors>
[октобар 2023]

8. Додатак

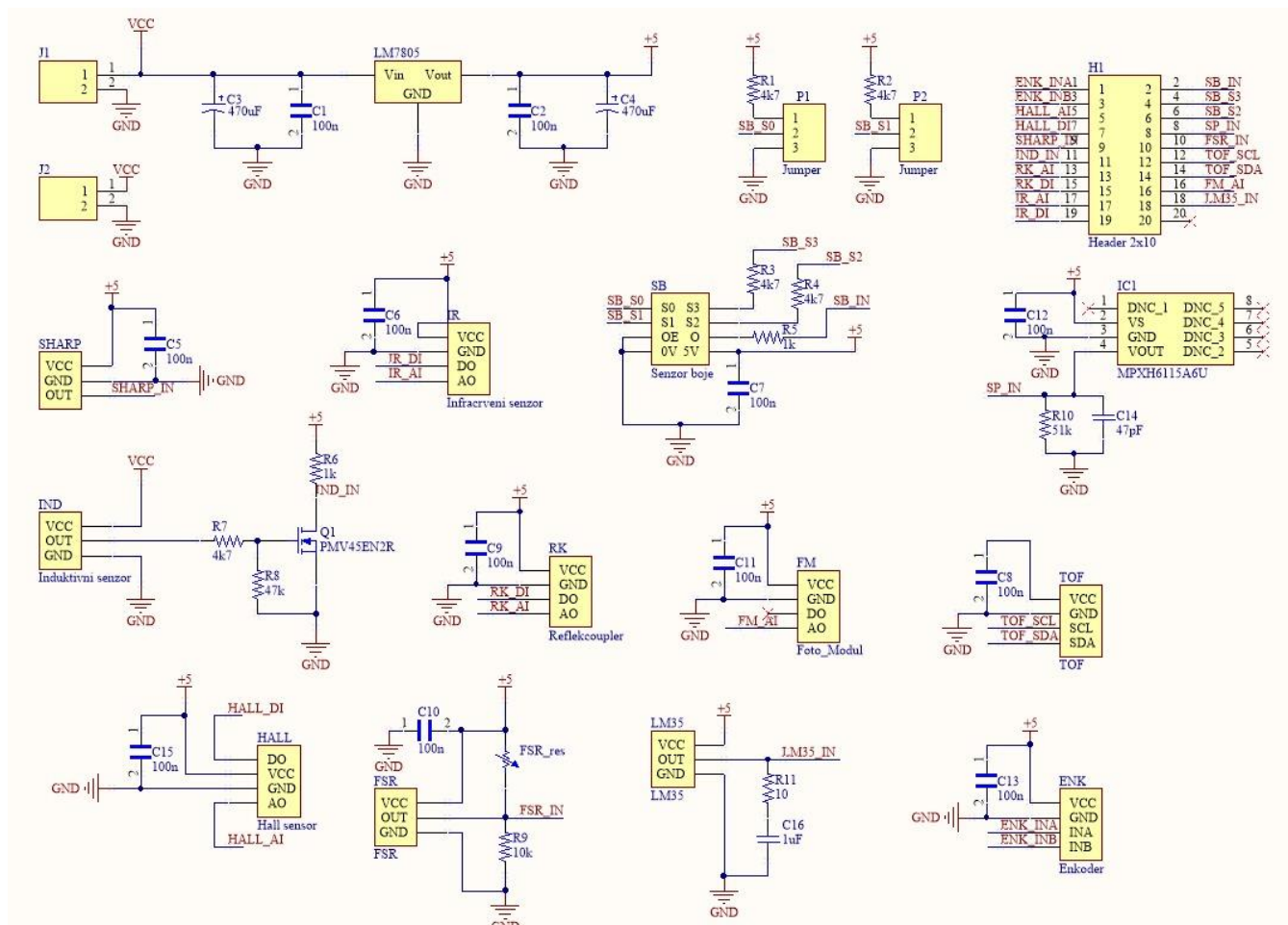
Електричне шеме сензорске плоче, актуаторске плоче и заштитног кола као и 3D приказ *PCB*-а.



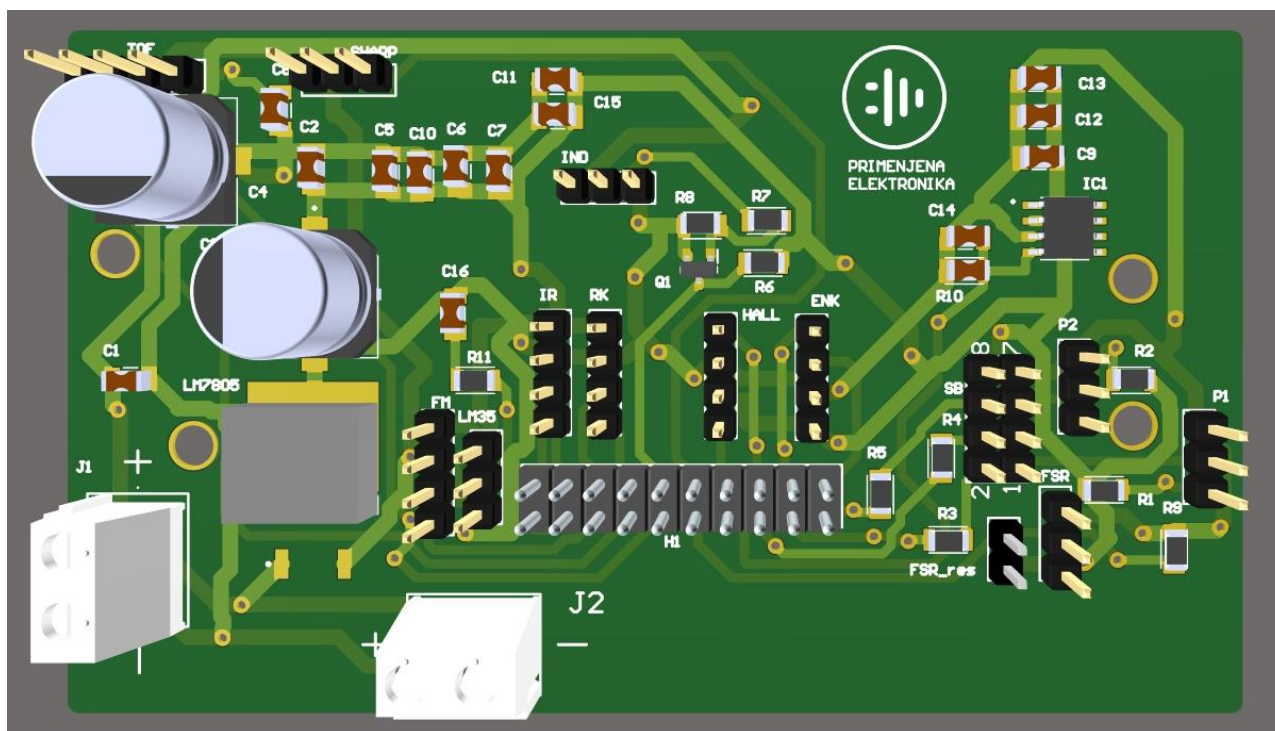
Слика 8.1. Електрична шема заштитног кола



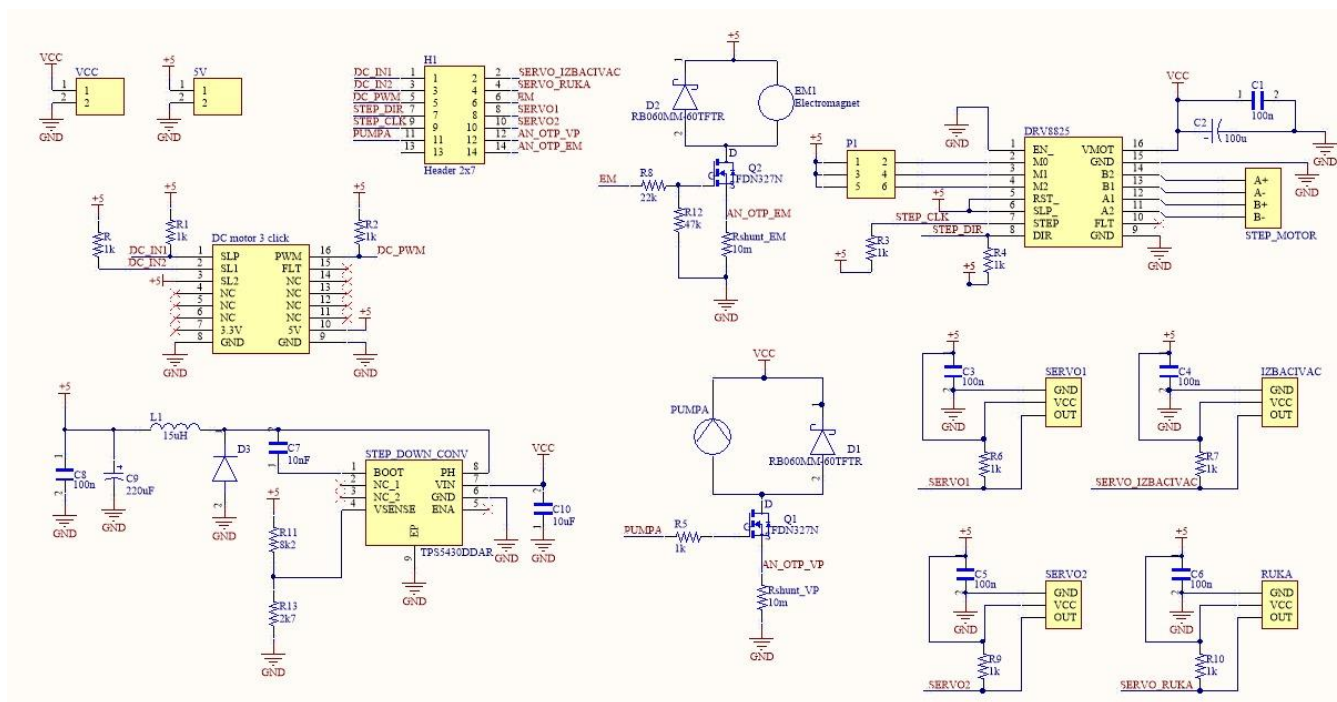
Слика 8.2. РСВ заштитног кола



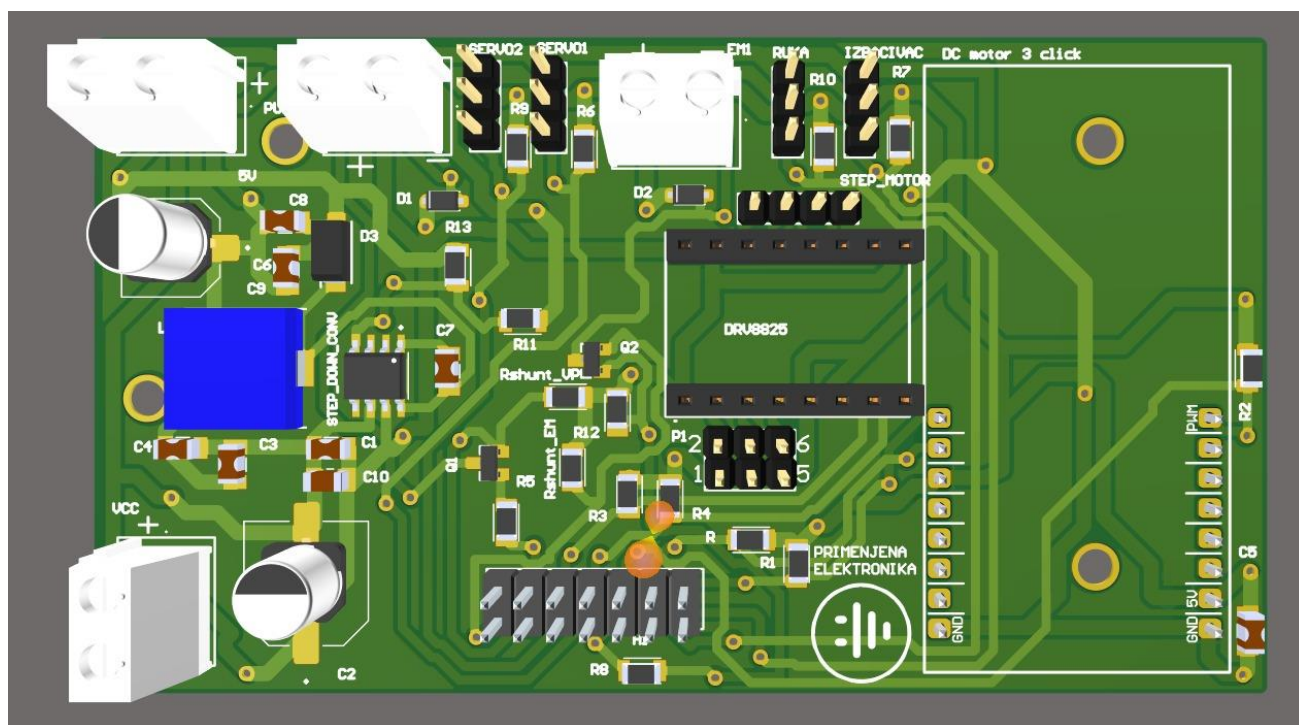
Слика 8.3. Електрична шема сензорске плоче



Слика 8.4. PCB сензорске плоче



Слика 8.5. Електрична шема актуаторске плоче



Слика 8.6. PCB актуаторске плоче