

**UNIWERSYTET WARMIŃSKO-MAZURSKI
W OLSZTYNIE
WYDZIAŁ MATEMATYKI I INFORMATYKI**

Kierunek: Informatyka

Patryk Jurkian

**Bezprzewodowe sterowanie ramieniem robota
przy wykorzystaniu mikrokontrolera Arduino**

Praca inżynierska wykonana w Katedrze
Metod Matematycznych Informatyki
pod kierunkiem
dr Piotra Artiemjew

Olsztyn 2015

**UNIVERSITY OF WARMIA AND MAZURY
IN OLSZTYN
FACULTY OF MATHEMATICS AND COMPUTER
SCIENCE**

Field of study: Computer Science

Patryk Jurkian

**Design of a Remote Controlled Robotic Arm Based
on Arduino microcontroller**

Engineering Thesis written in The Chair of Mathematical Methods of
Information Technology under supervision of
dr Piotr Artiemjew

Olsztyn 2015

Wstęp.....	8
Introduction.....	9
Cel i zakres pracy.....	11
CZĘŚĆ I.....	12
Rozdział 1 Opis manipulatorów	12
1.1 Rodzaje manipulatorów i ich zastosowanie	12
1.1.1 Manipulatory do prac podwodnych.....	12
1.1.2 Manipulatory Przemysłowe.....	14
1.1.3 Manipulatory do rozbrajania ładunków wybuchowych	15
1.1.4 Protezy elektroniczne	16
1.2 Struktura i budowa manipulatorów	17
1.2.1 Rodzaje połączeń	17
1.2.2 Stopnie swobody	18
1.2.3 Przestrzenie robocze.....	19
1.2.4 Chwyty - rodzaje, budowa i cechy	19
1.2.5 Chwyty posiadające sztywne końcówki chwytne.....	19
1.2.6 Chwyty podciśnieniowe	21
1.2.7 Chwyty elektromagnetyczne	22
1.3 Kinematyka manipulatora	23
1.3.1 Człony manipulatora	23
1.3.2 Łańcuchy kinematyczne manipulatora	24
1.3.3 Układ kinematyczny manipulatora.....	24
1.3.4 Układ współrzędnych	26
1.4 Mechanika manipulatorów - przekładnie	26
1.4.1 Przekładnie cierne	26
1.4.2 Przekładnie cięgnowe.....	27
1.4.3 Przekładnie zębate.....	28
1.5 Mechanika manipulatorów - napędy	29
1.5.1 Napędy hydrauliczne.....	29
1.5.2 Napędy pneumatyczne	30
1.5.3 Napędy elektryczne	31
1.6 Najważniejsze czujniki manipulatorów	33
1.6.1 Czujniki położenia.....	33
1.6.2 Czujniki prędkości.....	33
1.6.3 Czujniki siły i nacisku	34
1.6.4 Czujniki zbliżenia.....	34
1.6.5 Czujniki dotyku	35
1.6.6 Czujniki poślizgu	35
Rozdział 2 Mikrokontroler Arduino	36
2.1 Opis platformy Arduino	36
2.2 Budowa Arduino	37
2.2.1 Mikrokontroler	37
2.2.2 Wejścia zasilania	38
2.2.3 Złącza zasilania	38
2.2.4 Złącza cyfrowe	39
2.2.5 Złącza analogowe	39
2.2.6 Pozostałe podzespoły i złącza	40
2.3 Najpopularniejsze rodzaje płyt Arduino.....	41

2.3.1 Arduino Diecimila.....	41
2.3.2 Arduino Duemilanove	41
2.3.3 Arduino Uno.....	42
2.3.4 Arduino Leonardo	42
2.3.5 Arduino Mega	43
2.3.6 Arduino Nano.....	43
2.3.7 Arduino LilyPad.....	43
2.3.8 Arduino Bluetooth.....	44
2.4 Najpopularniejsze moduły rozszerzeniowe.....	44
2.4.1 Czujnik ruchu PIR.....	45
2.4.2 Czujnik odległości na podczerwień.....	46
2.4.3 Dalmierz ultradźwiękowy	46
2.4.4 Moduł pomiaru barw przedmiotu.....	47
2.4.5 Moduł czujnika do wykrywania toksycznego gazu.....	48
2.4.6 Moduł detektora drgań	48
2.4.7 Moduł akcelerometru	49
2.4.8 Moduł Klawiatury numerycznej.....	50
2.4.9 Moduł systemu GPS.....	50
2.4.10 Moduł RTC (Zegar czasu rzeczywistego)	51
2.4.11 Moduł wykrywacza pola magnetycznego	52
2.4.12 Moduł mikrofonowy	53
2.4.13 Moduł sieciowy	53
2.4.14 Moduł komunikacji radiowej (433MHz).....	54
2.4.15 Moduł XBee	55
2.5 Programowanie Platformy	56
2.5.1 Środowisko programistyczne (IDE)	56
2.5.2 Język programowania.....	58
2.5.3 Kompilacja – interpretacja na kod maszynowy.....	59
 CZĘŚĆ II	 60
 Rozdział 1 Mechanika Manipulatora.....	 60
1.1 Budowa manipulatora	60
1.1.1 Drewniana podstawa	60
1.1.2 Platforma obrotowa	62
1.1.3 Człon 1	70
1.1.4 Człon 2	73
1.1.5 Człon 3	75
1.1.6 Chwytnik	77
1.2 Połączenia serwomechanizmów z członami	82
1.2.1 Orczyk.....	82
1.2.2 Serwomechanizm – Ruchoma podstawa	84
1.2.3 Serwomechanizm – Człon 1.....	85
1.2.4 Serwomechanizm – Człon 2.....	86
1.2.5 Serwomechanizm – Człon 3.....	87
1.2.6 Serwomechanizm – Chwytnik.....	88
1.3 Kąty obrotu poszczególnych członów	89
1.3.1 Podstawa	89
1.3.2 Człon 1	89
1.3.3 Człon 2	90
1.3.4 Człon 3	90
1.3.5 Kąt obrotu chwytaka	91
1.3.6 Szerokość rozwarcia szczęk	91
1.4 Przestrzeń robocza manipulatora.....	92

1.5 Wykorzystane maszyny, narzędzia i proces budowy	93
Rozdział 2 Elektronika Manipulatora	101
2.1 Mikrokontroler Arduino	101
2.1.1 Podstawka i umiejscowienie Arduino na płycie montażowej	101
2.2 Zasilanie Manipulatora	103
2.2.1 Spis elementów modułu zasilania	104
2.2.2 Mostek prostowniczy (Mostek Graetza)	104
2.2.3 Gniazdo zasilania 5.5 mm	105
2.2.4 Przełącznik (Wyłącznik On-Off).....	106
2.2.5 Stabilizator napięcia i sygnalizator jego działania	108
2.2.6 Straty mocy na stabilizatorze	111
2.2.7 Sposoby chłodzenia elementów elektronicznych	112
2.2.8 Obliczenia temperatury pracy stabilizatora (bez radiatora)	113
2.2.9 Obliczenia temperatury pracy stabilizatora z radiatorem płaskim.....	115
2.2.10 Obliczenia prądu dla sygnalizatora LED	118
2.2.11 Przetwornica impulsowa	120
2.2.12 Opcjonalny moduł pomiaru napięcia i prądu przetwornicy	121
2.3 Moduł oświetlenia.....	123
2.3.1 Spis elementów modułu oświetlenia	125
2.3.2 Technologia LED	125
2.3.3 Tranzystor	126
2.3.4 Obliczenia regulacji jasności oświetlenia.....	129
2.3.5 Moc Tranzystora	131
2.4 Moduł odbiornika radiowego RF 433MHz.....	133
2.4.1 Spis elementów modułu radiowego	135
2.4.2 Radiowe przesyłanie danych	135
2.4.3 Obliczenie wartości prądu sygnalizatora	138
2.5 Napęd manipulatora – serwomechanizmy	139
2.5.1 Spis elementów modułu podłączenia serwomechanizmów	141
2.5.2 Spis serwomechanizmów	142
2.5.3 Zasilanie i sterowanie serwomechanizmami	144
2.5.4 Sposób działania serwomechanizmu	144
2.5.5 Serwomechanizmy wykorzystane w projekcie.....	146
2.6 Pilot.....	152
2.6.1 Spis elementów Pilota	153
2.6.2 Połączenia Arduino	153
2.6.3 Przyciski.....	155
2.6.4 Zasilanie pilota	158
2.6.5 Moduł Nadajnika.....	159
2.6.6 Diody sygnalizujące działanie pilota.....	162
2.6.7 Obliczenie prądu płynącego przez diodę SMD	165
Rozdział 3 Oprogramowanie Manipulatora.....	166
3.1 Odbiór danych i obsługi manipulatora	166
3.1.1 Zastosowane biblioteki nagłówkowe	166
3.1.2 Odbiór danych	166
3.1.3 Ruch członów manipulatora	167
3.1.4 Prędkość członów.....	173
3.1.5 Lampa oświetleniowa.....	173
3.1.6 Dioda sygnalizująca odbiór danych.....	175
3.2 Pilot – nadajnik manipulatora	175
3.2.1 Zastosowane biblioteki nagłówkowe	176
3.2.2 Wysyłanie danych	176
3.2.3 Funkcja wysyłająca stan przycisku	177

3.2.4 Funkcja zdalnego włączania lampy oświetlającej	180
3.2.5 Zdalna regulacja prędkości członów	182
3.2.6 Dioda sygnalizująca wysłanie danych.....	183
Rozdział 4 Testy Manipulatora.....	184
4.1 Przenoszenie przedmiotów	184
4.2 Pisanie	185
4.2 Przelewanie cieczy do pojemnika.....	185
4.3 Podlewanie rośliny	186
4.4 Kartkowanie	187
4.4 Gaszenie ognia	187
4.5 Zdejmowanie przedmiotu z podwyższenia	188
4.6 Dezynfekcja powierzchni	189
4.7 Manipulacja w ciemnościach.....	189
Podsumowanie.....	190
Literatura.....	191
Spis zawartości dołączonej płyty CD.....	193

*„Co wieczór stawiać sobie poważnie pytanie, czegośmy się w
danym dniu nowego nauczyli”*

Georg Christoph Lichtenberg

*Niniejszą pracę dedykuję rodzicom: Barbarze i Zbigniewowi oraz mojej
dziewczynie Emilce*

Wstęp

W dzisiejszych, zautomatyzowanym świecie praktycznie na każdym kroku można zauważyć manipulatory służące człowiekowi. Są one niezbędne w przemyśle, medycynie, militariach a nawet można je znaleźć po za granicami naszej planety. Są wszędzie tam, gdzie ręka człowieka nie może dotrzeć lub nie jest w stanie czegoś podnieść. Często są to zautomatyzowane maszyny, ale też można znaleźć takie, które są sterowane przez człowieka. Prawie zawsze ma się do czynienia z mikrokontrolerem – procesorem który umożliwia sterowanie ramionem i wszystkich jego pozostałych elementów. Przedstawiona poniżej praca jest właśnie o manipulatorze sterowanym zdalnie przez człowieka z wykorzystaniem mikrokontrolera Arduino. Wraz z rozwojem technologii można się spodziewać większej ilości takich urządzeń przede wszystkim w przemyśle. Wybrany temat został przeze mnie wybrany ponieważ stanowi połączenie kilku interesujących mnie dziedzin mianowicie: mechaniki, budowy maszyn, elektroniki i programowania. Dodatkowo zależało mi na stworzeniu robota od zera, który byłby sterowany drogą radiową. W pracy poruszono trzy zagadnienia mianowicie: zagadnienia konstruktywne, elektroniczne i programistyczne.

Część 1, która jest częścią opisu teoretycznego pracy składa się z dwóch rozdziałów. Rozdział 1 przedstawia zebraną teorię dotyczącą manipulatorów. Przedstawiono definicję robotycznego ramienia i wskazano w jakich dziedzinach znajdują one zastosowanie. Następnie skupiono się na samej jego strukturze i budowie z naciskiem na rodzaje współczesnych chwytaków. Swoje miejsce w tym rozdziale posiada również jego kinematyka. Szczególną uwagę skupiono na mechanice, mianowicie szczegółowo opisano napędy jakie można w nich znaleźć i rodzaje przekładni, które przenoszą ich ruch. Na zakończenie tego rozdziału przedstawiono kilka najbardziej istotnych czujników monitorowania otoczenia lub wnętrza robota. Rozdział 2 zajmuje się opisem mikrokontrolera Arduino i jego modułów. Przedstawiona została jego historia, zastosowania i możliwości. Wyszczególniono elementy układu i dokładnie je opisano. Wyszczególnione zostały najpopularniejsze płyty Arduino wraz ich specyfikacją. Największą część tego rozdziału zajmuje opis modułów, które rozszerzają możliwości płytki. Potem już tylko przedstawiono środowisko programistyczne i sposób programowania układu.

Część 2 jako najobszerniejsza część pracy jest opisem doświadczenia jakim była budowa i zaprogramowanie ramienia robota. Składa się ona z czterech rozdziałów. Rozdział 1 ukazuje opis budowy i mechaniki robota. W szczegółach przedstawiono rysunki techniczne i opisy wszystkich jego elementów, połączeń wraz z fotografiami. Zostały przedstawione maksymalne kąty obrotów poszczególnych przegubów, a także określono przestrzeń roboczą chwytaka. Kończącym ten rozdział jest opis procesu powstawania ramienia, wykorzystanych maszyn i narzędzi. Rozdział 2 jest cały poświęcony elektronice. Znajdują się w nim opisy, schematy i fotografie wszystkich elektronicznych modułów biorących udział w działaniu robota. Dodatkowo opisano funkcjonowanie tych elementów w projekcie. Mają tutaj też miejsce obliczenia prądów, ciepła oraz dokonano symulacji w różnych warunkach pracy. Rozdział 3 jest opisem kodu programu. Omówiona została każda linijka kodu i powiązania jej z danym elementem elektronicznym. Ostatni, rozdział 4 ukazuje kilka testów które zostały przeprowadzone w różnych sytuacjach i warunkach, potwierdzających działanie i zdolności manipulacyjne stworzonego robota.

Introduction

In today's, highly automatized world, manipulators taken advantage by humans are virtually omnipresent. They are utilized in industry, medicine, military, as well as in space. Such devices are used in places where human hand is unable to reach or lift an object. The aforementioned manipulators are, in the majority of cases, automatized devices. However, one may encounter those that are controlled by highly skilled individuals. Quite frequently, microcontrollers are incorporated in such machinery. They are microscopic processors allowing the operator to exercise a proper supervision over device's arms and all the remaining components of it. This dissertation touches upon the topic of a manipulator controlled remotely by means of utilization of the Arduino microcontroller. Together with the development of technology, it is expected that the number of the devices in question will notably increase. The topic of the dissertation has been chosen as it is a combination of several issues being of interest for the author, namely: mechanics, machine construction, electronics, and programming. Additionally, the aim of the author has been to build a radio-controlled robot from scratch. Within the scope of the paper, three major fields are dwelt upon: construction, electronics, and programming.

Section 1, which is theoretical in character, incorporates two main chapters. The first of them presents the gathered pieces of information regarding manipulators. The definition of a robotic arm is provided together with the specification of branches of industry it is used in. Afterwards, the focus is placed on its structure and design, with special attention to the types of modern claws. Within the scope of this chapter, kinematics is also discussed. The author also focuses on mechanics, as the drives implemented and the types of gearings that can be found in the device are provided. The said chapter ends with the discussion on most important environment monitoring and internal robot maintenance-oriented sensors. Chapter two deals with the Arduino microcontroller and its modules. The history, applications, and capabilities of the device in question are presented. Moreover, the elements of the system are enumerated and discussed in detail. Most popular Arduino boards and their technical specification are shown as well. The major part of this chapter is devoted to the presentation of modules expanding the capabilities of the basic board. The section in question ends with the provision of data on programming environment and mode.

Section 2 is the most comprehensive part of the dissertation as it serves as a description of a particular experiment, namely – creation and programming of a robotic arm. It includes four main chapters. The first of them is the description of robot's design and mechanical features. Therein, technical drawings, as well as the descriptions of its consecutive elements are provided and supplied with photos. Maximal rotation angles of individual swivels and working space of the claw are determined. This chapter ends with the description of the arm creation process with the identification of most useful devices and tools taken advantage of. Chapter 2 is entirely devoted to electronics. It incorporates descriptions, schemata, and photos of all the electronic modules allowing the robot to operate in a satisfactory fashion. Furthermore, the operational paradigm of such components is presented. As an additional part, current and heat calculations, as well as a working simulation are made. Chapter 3 depicts the programming code. Each line of the code is discussed in detail and linked to a given electronic component. The final, fourth chapter presents several experimentations that have been performed in various situations and under different conditions in order to check the full usefulness and manipulation-related capabilities of the robot.

Cel i zakres pracy

Celem pracy jest zaprojektowanie, zbudowanie i szczegółowe opisanie projektu manipulatora sterowanego drogą radiową oraz potwierdzenie jego działania poprzez szereg testów, które sprawdzają manipulator w różnych sytuacjach.

Zakres pracy obejmuje:

- Przegląd literatury dotyczącej budowy, napędów, rodzajów i zastosowań manipulatorów
- Przegląd literatury dotyczącej Platformy Arduino
- Przegląd literatury dotyczącej elektroniki
- Zaprojektowanie elementów manipulatora w programie AutoCad 2013
- Zbudowanie konstrukcji manipulatora używając konkretnych materiałów, maszyn i narzędzi
- Implementacja napędów w konstrukcji ramienia
- Zaprojektowanie elementów elektronicznych i połączeń między nimi w programie Fritzing
- Zespolecie wszystkich elementów elektronicznych na płycie prototypowej
- Napisanie programu sterującego manipulatorem
- Wykonanie testów pracy manipulatora

Część I

Rozdział 1 Opis manipulatorów

Manipulator to często urządzenie mechaniczno-elektroniczne, którego ruchy podobne są do ruchów ludzkiej ręki. Urządzenia takie stosowane w różnych dziedzinach życia mogą być zdalnie sterowane przez operatora bądź ich ruchy mogą być w pełni zautomatyzowane. Większość manipulatorów projektowanych współcześnie to ramiona składające się z pojedynczego łańcucha kinematycznego, posiadające z reguły od 5 do 9 stopni swobody. Taki manipulator wyposażony jest w zespół silników służących do napędu jego elementów, zasilania, sterowania oraz zespołu czujników. Manipulatory antropomorficzne są to robotyczne ramiona, których cechy są podobne do kończyn ludzkich - zarówno w budowie jak i działaniu. Po raz pierwszy manipulatory były stosowane podczas II wojny światowej. Były to, porównując z dzisiejszymi urządzeniami dość prymitywne maszyny służące do przenoszenia materiałów radioaktywnych z dala od operatora.^{1 2}

1.1 Rodzaje manipulatorów i ich zastosowanie

1.1.1 Manipulatory do prac podwodnych

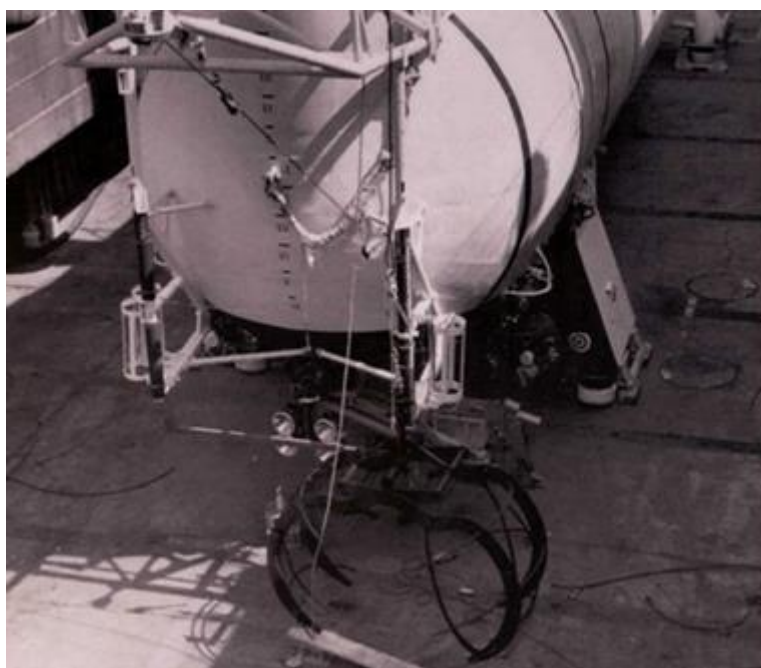
W roku 1953 został zaprojektowany robot wykorzystywany w pracach podwodnych. Wykorzystano go do wykopów archeologicznych na Morzu Śródziemnym. Posiadał kamerę i można było sterować nim bezprzewodowo. Ponad dwadzieścia lat później, w roku 1975 skonstruowany został robot o nazwie RCV-225 stosowany w pracach wojskowych i cywilnych. Jeżeli chodzi o eksploatację mórz i oceanów to na początku była ona ukierunkowana na poszukiwania złóż ropy naftowej. W początkowych okresach badań korzystano z załogowych pojazdów podwodnych, gdzie operatorzy wykorzystywali zewnętrzny manipulator do pobierania próbek z dna. Jednym z

¹ Praca zbiorowa pod redakcją Moreckiego Adama i Knapczyka Józefa, „Podstawy robotyki – Teoria i elementy manipulatorów i robotów” Wydawnictwo Naukowo-techniczne, rok 1994, str. 24

² Praca zbiorowa pod redakcją Wiak Stanisława „Mechatronika, Tom 2”, Wydawnictwo Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT rok 2010, str. 97-98

pierwszych manipulatorów był stworzony w roku 1961 "Trieste", który był zamontowany na załogowym pojeździe podwodnym.

Najwięcej manipulatorów wykorzystywanych w pracach pod powierzchnią wody jest zbudowanych na zasadzie ramienia o kilku stopniach swobody i dobranego do określonych zadań chwytaka. Jest on umieszczany na przedniej części robota, obok niego lub bezpośrednio nad nim znajdują się reflektory i kamera. Czasami manipulatory są stosowane jedynie do sterowania ruchem kamery, oświetleniem lub czujnika a nawet do stabilizacji podwodnego robota. W pracach podwodnych najczęściej stosuje się ramiona o 4-5 stopniach swobody. Długość manipulatorów zazwyczaj nie przekracza 2m. Najdłuższym z nich miał 2,6m długości i był w stanie udźwignąć 230N. Jednym z ograniczeń wydłużania ramion jest utrata stateczności podczas pracy, gdzie robot nie dotyka dna akwenu i należy też brać pod uwagę określoną przestrzeń robota gdzie manipulator będzie wykonywał zadanie. Podwodne manipulatory nie tylko służą do poszukiwań źródeł ropy naftowej ale także do przykrywania kabli i zakopywania rur na dnie, ich wymiany i naprawy, wyciągania zanieczyszczeń i wraków, wznoszeniu elementów platform i mocowaniu ich elementów(np.: platform wiertniczych).^{3 4}



Fot. 1.1 „Trieste” – jeden z pierwszych manipulatorów podwodnych ⁵

³ Praca zbiorowa pod redakcją Moreckiego Adama i Knapczyka Józefa, Wydawnictwo Naukowo-techniczne, rok 1994, str. 421-434

⁴ Schroepe Mark, „Wyprawy na samo dno”, Świat nauki, rok.2014, nr.5 str.41

⁵ www.cyberneticzoo.com

1.1.2 Manipulatory Przemysłowe

Manipulatory przemysłowe znajdują zastosowanie w przemyśle. Zastępują one człowieka w przypadku prac monotonnych, wymagających dużej siły czy też ze względu na koszty pracownika. Przede wszystkim mogą one pracować przez całą dobę. Na samym początku ich rozwoju były stosowane przede wszystkim do spawania czy przenoszenia materiałów. Rok 1954 uznaje się za narodziny ery przemysłowej robotów (Faza 1 – opatentowanie pierwszego manipulatora z pamięcią programu). Pierwsze roboty stosowane w fabrykach pojawiły się już w roku 1962 w Stanach Zjednoczonych, jednak ich najdynamiczniejszy rozwój nastąpił w Japonii. W Polsce pierwsze takie maszyny zostały zastosowane w latach siedemdziesiątych do zgrzewania nadwozia samochodu „Polonez”. Już dziś takie urządzenia stosuje się niemal wszędzie m.in.: w montażu, obsłudze pras, pokrycia powierzchni, polerowania, szlifowania, odlewnictwie czy lakiernictwie. Cechują się one swoją uniwersalnością, która polega na łatwości zaprogramowania danej sekwencji ruchów i jedno ramię może służyć do wykonywania wielu zadań. Potrafią poruszać się z dużą prędkością i precyzją. Posiadają wiele stopni swobody i większość z nich są to roboty stacjonarne, które nie mają możliwości przemieszczania się. Kiść manipulatora dobiera się w zależności od wykonywanej pracy np.: wiertarka czy spawarka umieszczona w miejsce chwytaka.^{6 7 8}



Fot. 1.2 Manipulator przemysłowy z zainstalowaną spawarką⁹

⁶ Praca zbiorowa pod redakcją Wiak Stanisława „Mechatronika, Tom 2”, Wydawnictwo Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT rok 2010, str. 97-99

⁷ Buratowski Tomasz, „Teoria Robotyki”, Wydawnictwo Akademia Górniczo-Hutnicza, rok. 2006, str. 33-41

⁸ Praca zbiorowa pod redakcją Moreckiego Adama i Knapczyka Józefa, Wydawnictwo Naukowo-techniczne, rok 1994, str. 439-442

⁹ www.automatykab2b.pl

1.1.3 Manipulatory do rozbrajania ładunków wybuchowych

Manipulatory te znajdują się na wyposażeniu saperów bądź jednostek antyterrorystycznych. Są one wyposażone najczęściej w gąsienice w celu sprawnego poruszania się po ewentualnych wybojach. Są sterowane bezprzewodowo na duże odległości i posiadają kamerę. Zainstalowano w nich wiele różnych czujników takich jak siłą nacisku chwytaka czy czujnik wykrywający niebezpieczne gazy. Dzięki nim jednostka antyterrorystyczna może dokładnie obejrzeć obiekt wyglądający na bombę i w razie potrzeby przetransportować ładunek w bezpieczne miejsce (z dala od ludzi bądź infrastruktury). Saperzy wykorzystują takie roboty do przenoszenia ładunków wybuchowych bądź do ich rozbrajania (nie jest wtedy wymagana obecność sapera w celu rozbrojenia bomby).

Jednym z nowocześniejszych robotów służących do rozbrajania bomb jest amerykański „Dragon Runner”. Został on przedstawiony w roku 2010 i aktualnie znajduje się on na wyposażeniu amerykańskiej armii. W racji jego małych gabarytów można go przenosić w plecaku, waży niecałe 6 kg a jego prędkość maksymalna to 8km/h. Jest w stanie poruszać się po wyboistym terenie, a nawet po schodach. Jest wyposażony w kamerę i steruje się nim przy pomocy specjalnego kontrolera. Posiada on manipulator pozwalający na działania takie jak: otwieranie drzwi, podnoszenie przedmiotów (do 4,5kg), uderzanie. Porusza się on praktycznie bezszelestnie. Jeżeli chodzi o Polskie osiągnięcia w takich zadaniach to roboty o nazwie „Inspector” i „Expert”. Poruszają się one dzięki gąsienicom. Mają one możliwość współpracy z urządzeniami do wybijania szyb, urządzeniami rentgenowskimi, kamerami, mikrofonami, materiałami pirotechnicznymi. Posiadają zdolność do rozpoznania ładunku, jego przeniesienie w dowolnie wskazany obszar, bądź jego neutralizacji na miejscu. Robot „Inspector” jest ciężkim robotem (ok. 500kg) pozwalającym na przenoszenie ładunków do 60kg (może przeciągnąć ładunek ważący nawet 1500kg). Posiada cztery kamery, a monitory są umieszczone na panelu sterowniczym. Jest on w stanie poruszać się po schodach. Robot „Expert” jest pierwszym

na świecie robotem przystosowanym do działań czy to w samolotach, wagonach, autobusach, okrętach i we wszystkich małych pomieszczeniach.^{10 11 12}



Fot. 1.3 Polski robot „Inspector” przenoszący ładunek

1.1.4 Protezy elektroniczne

Protezami już dziś można sterować przy pomocy myśli wykorzystując sygnały elektryczne. Umożliwiają odbiór przez mózg wrażenie czucia (poprzez szereg czujników). Jest to bioniczna dłoń, budową zewnętrzną niewiele różniącą się od ludzkiej, jedynie w środku zamiast mięśni czy żył – są kable, silniki, układy scalone. Proteza jest wykonywana często indywidualnie w zależności od uszkodzenia danej części ciała (w zależności od sprawności układu nerwowego). Podłączona proteza wykonuje ruchy poprzez odbiór odpowiednich impulsów i ich natężenia. Pierwszą osobą, która przetestowała na sobie zaawansowaną protezę elektroniczną był Jesse Sullivan, który stracił obie ręce dotykając kabla elektrycznego (przez jego ciało przeszło 7,5 tys. Woltów). W jego przypadku końcówki nerwów zostały połączone z mięśniami klatki piersiowej. Poruszając sztuczną ręką musi wpierw napinać te mięśnie. Protezy całej ręki są podzielone na kilka elementów (m.in.: bark, łokieć, dłoń). Posiadają one oddzielne silniki, które reagują na myśli człowieka. Ruch wygląda w ten sposób: Osoba ta myśli o poruszeniu nadgarstkiem, mózg przekazuje impuls do mięśnia w klatce piersiowej,

¹⁰ „Dragon Runner - bezzałogowy robot do rozbrajania bomb”, <http://gadzetomania.pl/25308,dragon-runner-bezzałogowy-robot-do-rozbrajania-bomb>

¹¹ „Polskie antyterrorystyczne roboty mobilne”, <http://zabezpieczenia.com.pl/ochrona-osobista/polskie-antyterrorystyczne-roboty-mobilne>

¹² Czulda Robert, „Mój przyjaciel robot”, Wiedza i życie, rok.2014, nr.10 str.42

następnie mięsień ten kurczy się przekazując stopień skurczu do wzmacniacza. Potem następuje przetworzenie impulsu przez układy scalone, które przekazują odpowiednie napięcie konkretnym silnikom przez co następuje ruch nadgarstkiem. Cała operacja trwa w ułamek sekundy.¹³



Fot. 1.4 Bioniczna proteza dłoni „Be-Bionic”¹⁴

1.2 Struktura i budowa manipulatorów

Wzajemne powiązania części mechanicznych, elektronicznych i informatycznych tworzą strukturę manipulatora. W ich skład wchodzi układ odpowiedzialny za sterowanie nim (funkcja mikrokontrolera i jego podzespołów w tym napisany program), a także cały mechanizm manipulatora, który nadaje mu wygląd i funkcjonalność. Po za tym istnieje jeszcze scena czyli miejsce gdzie znajduje się robot wraz z przedmiotami do manipulacji.¹⁵

1.2.1 Rodzaje połączeń

- a) Nieruchome
- b) Obrotowe
- c) Postępowe

¹³ Stanisławski Piotr, „Czucie w protezie”, Magazyn Integracja, rok 2009, nr.1

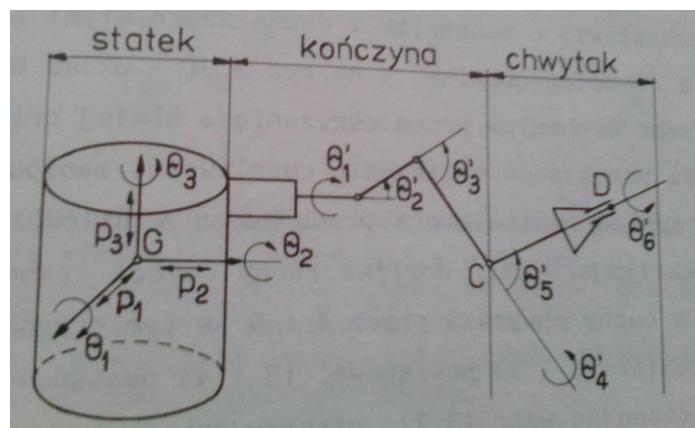
¹⁴ www.vigo-ortho.pl

¹⁵ Kost Gabriel, „Podstawy budowy robotów”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, rok 1996 str.13

- d) Śrubowe
- e) Postępowo-obrotowe
- f) Obrotowe i podwójny postęp
- g) Przegubowe
- h) Przegub liniowy
- i) Przegub obrotowy
- j) Stykowe
- k) Przegub swobodny ¹⁶

1.2.2 Stopnie swobody

Manipulatory są maszynami posiadającymi łańcuch kinematyczny, który może składać się z określonej ilości ogniw, umożliwiających przemieszczanie się chwytaka po obszarze przestrzeni roboczej. Stopnie swobody określają kształt przestrzeni roboczej. Poszczególne stopnie swobody potrzebują napędu razem z układem, przekazującym ruch, gdzie następuje zmiana współrzędnych ramion w jego przestrzeni. ^{17 18}



Fot. 1.5 Stopnie swobody chwytaka

¹⁶ Praca zbiorowa pod redakcją Moreckiego Adama i Knapczyka Józefa, Wydawnictwo Naukowo-techniczne, rok 1994, str. 29

¹⁷ Tamże, str.28

¹⁸ Rygałto Andrzej, „Robotyka dla Mechatroników”, Częstochowa 2008, str.17

1.2.3 Przestrzenie robocze

Obszar, w którym może swobodnie poruszać się cały manipulator jest nazywana przestrzenią roboczą ruchów globalnych. Obejmuje ona cały obszar ruchów wszystkich stopni łańcucha kinematycznego. Wyróżnia się przestrzeń roboczą główną, czyli tą gdzie może poruszać się sam chwytak (istnieje też przestrzeń lokalna, zarezerwowana tylko dla szczęk chwytaka) i przestrzeń pomocnicza, w której swoje miejsce mają dodatkowe człony manipulatora.¹⁹

1.2.4 Chwytak - rodzaje, budowa i cechy

Chwytak stanowi ostatni przegub manipulatora i służy od podnoszenia przedmiotu, jego stabilnego trzymania, przeniesienia na określoną odległość i jego pozostawienie w miejscu docelowym. Konstrukcje chwytaków są różne i są zależne od wielkości przenoszonego materiału, jego temperatury, masy, środka ciężkości i powierzchni. Chwytak jest niezbędnym wyposażeniem jednostki kinematycznej maszyny manipulacyjnej wykonującej w procesie produkcyjnym zadanie transportowe. Konstruktor chwytaka przede wszystkim musi wziąć pod uwagę sposób chwycenia jaki będzie przez niego realizowany, jego napęd, wytrzymałość materiału konstrukcyjnego i zastosowane w nim tryby i przekładnie, a także odpowiednia do jego pracy końcówka chwytka. Stworzony chwytak powinien dokładnie unieruchomić obiekt w sześciu kierunkach, aby w czasie jego ruchu obiekt nie poruszył się i nie wypadł. Nie mogą one odkształcać się podczas chwytu i ruchu. Chwytyki najczęściej są zbudowane z układu napędowego, układu wykonawczego i układu realizującego przeniesienie napędu.^{20 21}

1.2.5 Chwytyki posiadające sztywne końcówki chwytne

Chwytyki ze sztywnymi końcówkami są najbardziej zbliżone budową do ręki człowieka. Dzięki takiej budowie są stosowane do przenoszenia kształtów zbliżonych konstrukcją do brył geometrycznych o miarę regularnych kształtach. W przemyśle wykorzystuje się je do przenoszenia pudeł, wałków czy tulejek. Ten rodzaj idealnie nadaje się do

¹⁹ Kost Gabriel, „Podstawy budowy robotów”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, rok 1996 str.11

²⁰ Praca zbiorowa pod redakcją Moreckiego Adama i Knapczyka Józefa, Wydawnictwo Naukowo-techniczne, rok 1994, str.176

²¹ Buratowski Tomasz, „Teoria Robotyki”, Wydawnictwo Akademia Górniczo-Hutnicza, rok. 2006, str. 46

wykorzystania jako proteza. Znacznie gorzej radzą sobie w przypadku przenoszenia arkuszy blach, płyt i obiektów o bardzo złożonych kształtach.

Istnieje sześć podstawowych rodzajów ruchów chwytnych manipulatora. dzięki którym ma on możliwość dokładnego uchwycenia i utrzymania danego obiektu, a mianowicie:

- a) lateralny
- b) hakowy
- c) sferyczny
- d) szczypcowy
- e) dłoniowy
- f) cylindryczny

Ze względu na budowę i zastosowanie taki rodzaj chwytaków mogą być wyposażone od dwóch do nawet pięciu palców (w przemyśle najczęściej można spotkać o dwóch palcach a w protezach pięciu). Szczególnym rodzajem chwytaków są dwupalcowe, które dzięki swojej budowie umożliwiają dostosowanie się do kształtu powierzchni manipulowanego obiektu. Stosowane nakładki na końcówki chwytne są stosowane w przypadku precyzyjnych i delikatnych prac takich jak manipulowanie szkłem czy innymi przedmiotami kruchymi.²²



Fot. 1.6 Chwytnik do drewna niemieckiej firmy „Farma”²³

²² Praca zbiorowa pod redakcją Moreckiego Adama i Knapczyka Józefa, Wydawnictwo Naukowo-techniczne, rok 1994, str.176-180

²³ www.gamsjaeger-forst.at

1.2.6 Chwytaiki podciśnieniowe

Chwytaik podciśnieniowy składa się z pompy próżniowej generującej podciśnienie oraz przyssawki. Jedno nie może istnieć bez drugiego. Chwytaiki tego typu są powszechnie stosowane. Cechuje ich prostota konstrukcji, niewielki koszt wyprodukowania i posiadają mały ciężar. Ograniczeniami tych konstrukcji jest to że poprzez swój sposób działania mogą manipulować obiektami, które charakteryzują się kształtem kulistym bądź płaskim o dość dużej gładkości. Niezbędne także jest wytworzenie odpowiednio wysokiego ciśnienia co może skutkować dłuższym czasem uchwycenia danego przedmiotu. Ssawka powinna być szczelna, w przeciwnym wypadku ciśnienie może okazać się za małe do podniesienia przedmiotu. Nieszczelność powstaje wskutek mechanicznego uszkodzenia ssawki na skutek eksploatacji materiału czy obecności drobnych przedmiotów (np.: opiłków) między brzegiem ssawki a elementem manipulowanym. Chwytaiki podciśnieniowe poprzez rozprężanie gazu generują wysoki poziom hałasu, lecz można go zmniejszyć poprzez zastosowanie tłumików. Kolejną cechą działającą na niekorzyść tych urządzeń jest maksymalna temperatura, która nie powinna przekroczyć 400 stopni w przypadku normalnych przyssawek a 1200 stopni dla przyssawek z poliuretanu.^{24 25}



Fot. 1.7 Chwytaik podciśnieniowy firmy Steel Work²⁶

²⁴ Praca zbiorowa pod redakcją Moreckiego Adama i Knapczyka Józefa, Wydawnictwo Naukowo-techniczne, rok 1994, str.193

²⁵ Buratowski Tomasz, „Teoria Robotyki”, Wydawnictwo Akademia Górniczo-Hutnicza, rok. 2006, str. 57-60

²⁶ www.automatykab2b.pl

1.2.7 Chwytyki elektromagnetyczne

Chwytyki elektromagnetyczne dzielą się na te z:

- a) Magnesami trwałymi
- b) Elektromagnesami (rdzeniowe lub bezrdzeniowe)
- c) Magnesami trwałymi i elektromagnesami łącznie

Chwytyki z magnesami trwałymi potrzebują impulsu pneumatycznego bądź siłownika do porzucenia przedmiotu. Chwytyki elektromagnetyczne są zbudowane najczęściej z rdzenia ferromagnetycznego z dużą ilością nawiniętych zwojów miedzianych odizolowanych od siebie. W przypadku włączenia zasilania i w wyniku przepływu prądu tworzy się pole elektromagnetyczne. W przypadku odłączenia zasilania pole elektromagnetyczne zanika. Im więcej zwojów o większej średnicy, rodzaj rdzenia i natężenie przepływającego prądu tym silniejsze pole. Tego rodzaju chwytyki stosuje się do manipulowania materiałami stalowymi. Materiały te mogą być różnego kształtu, których nie można unieść pozostałymi rodzajami chwytaków. Jedną z cech jest możliwość uzyskania ogromnej siły przyciągania na jednostkę powierzchni, szybki czas chwycenia przedmiotu i przede wszystkim prostota wykonania. Ograniczeniem jest stosowanie tego rodzaju chwytaka tylko do manipulowania przedmiotami zbudowanymi z materiałów ferromagnetycznych. Dodatkowo pozycjonowanie często nie jest dokładne z powodu gwałtownego przesunięcia przedmiotu przy jego uchwyceniu i liczne metalowe zabrudzenia będące w pobliżu mogą zostać przyciągnięte i istnieje ryzyko zabrudzenia, porysowania powierzchni. Często również należy liczyć się z nagrzewaniem zwojów i rdzenia. Jeżeli temperatura rdzenia przekroczy 140 stopni, należy liczyć się z utratą przenikalności (chwytak przestanie przyciągać). Jest to związane z punktem Curie, czyli utraty właściwości magnetycznych rdzenia pod wpływem wysokiej temperatury.^{27 28 29}

²⁷ Górecki Piotr, „Rdzenie ferrytowe w praktyce cz.3”, Elektronika dla Wszystkich, rok.2003, nr.3 str.28

²⁸ Kost Gabriel, „Podstawy budowy robotów”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, rok 1996 str.131-132

²⁹ Praca zbiorowa pod redakcją Moreckiego Adama i Knapczyka Józefa, Wydawnictwo Naukowo-techniczne, rok 1994, str.194-196



Fot. 1.8 Chwytnik elektromagnetyczny firmy „Magnetix”³⁰

1.3 Kinematyka manipulatora

Zadaniem kinematyki jako nauki jest badanie ruchu. Korzystając z niej można badać położenie danego ciała, przyspieszenie, a także prędkość. Kinematyka manipulatorów zajmuje się opisem poszczególnych ruchów ogniwa łańcucha kinematycznego, nie wgłębiając się w przyczyny powstawania tych ruchów. Do opisu sztywnych elementów manipulatora, jego połączeń wykonywujących określone ruchy korzysta się z języka matematycznego.³¹

1.3.1 Człony manipulatora

Człony manipulatora są to sztywne ciała, z których zbudowany jest manipulator. W przypadku połączenia ze sobą dwóch przegubów, powstaje połączenie ruchowe. Takie połączenia stosowane w większości manipulatorów są połączeniami o jednym stopniu swobody. Para niższego rzędu jest to połączenie dwóch elementów, których ruch jest opisywany jest przez dwie powierzchnie, współpracujące ze sobą. Wyróżnia się następujące połączenia ruchowe z tej kategorii, mianowicie: kuliste, śrubowe, cylindryczne, płaskie, obrotowe i przesuwne. Człony numeruje się od nieruchomej podstawy (człon 0) aż do osiągnięcia ostatniego elementu czyli np.: chwytaka (człon n). Każdy człon manipulatora może być opisany przy udziale dwóch liczb. Określają one

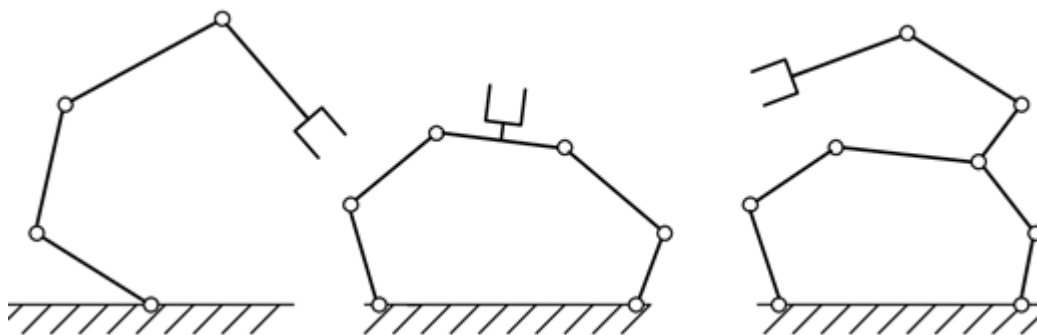
³⁰ www.magnetix.com.pl

³¹ Praca zbiorowa pod redakcją Moreckiego Adama i Knapczyka Józefa, Wydawnictwo Naukowo-techniczne, rok 1994, str. 52

umieszczenie w przestrzeni dwóch osi. Zawsze można określić odległość między osiami przegubów w przestrzeni trójwymiarowej. Jest ona mierzona wzdłuż prostopadłej linii. Istotną kwestią jest także określenie kąta skręcenia członu.³²

1.3.2 Łańcuchy kinematyczne manipulatora

Manipulator jest skonstruowany jako zestaw sztywnych ciał, które połączone tworzą razem łańcuch kinematyczny. Ciała te mogą wykonywać określone ruchy względem siebie. Połączenie ze sobą przynajmniej dwa ogniwa są parą kinematyczną. Można rozróżnić trzy rodzaje łańcuchów, mianowicie: łańcuch otwarty, zamknięty i złożony.³³



Rys. 1.1 Łańcuchy kinematyczne³⁴

1.3.3 Układ kinematyczny manipulatora

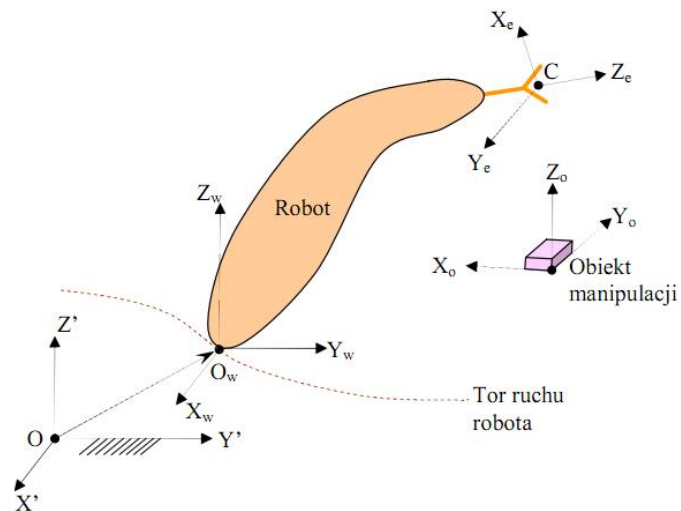
Możliwości ruchowe manipulatora dla określonych jego osi są przedstawiane przy pomocy napędów. Przekazują one energię wszystkim jego członom. Układ kinematyczny ma za zadanie opis możliwości ruchowych poszczególnych członów i ukazuje sposoby uzyskiwania tego ruchu poprzez napędy. Umożliwia on określenie współrzędnych ruchu członów w przestrzeni. Określa również położenie lokalnych układów współrzędnych w stosunku do głównego. Układ odniesienia manipulatorów stacjonarnych to układ współrzędnych podstawy. Jest on oznaczony często jako $X_wY_wZ_w$. Natomiast układ oznaczony $X_0Y_0Z_0$ to ten powiązany z obiektem manipulacji. Istnieją trzy zespoły ruchowe w łańcuchu kinematycznym mianowicie: lokalne, regionalne oraz globalne.

³² Praca zbiorowa pod redakcją Wiak Stanisława „Mechatronika, Tom 2”, Wydawnictwo Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT rok 2010, str. 28-32

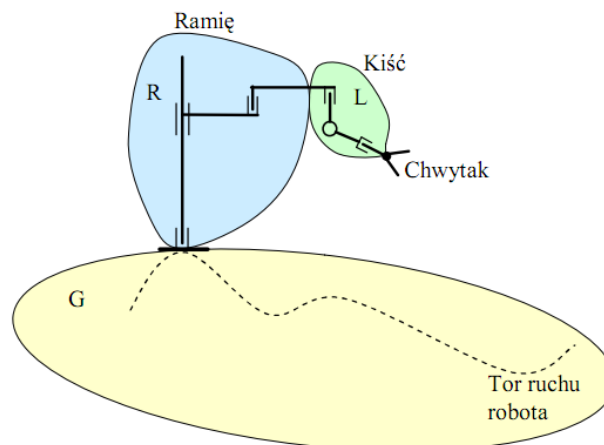
³³ Tamże, str. 100-112

³⁴ Tamże, str. 101

Zespół lokalny określa orientację chwytanie przedmiotu, czyli jest to kiść manipulatora. Regionalny z kolei realizuje ruchu kiści od jednego punktu do określonego drugiego w przestrzeni. Globalny jest strukturą przemieszczania.³⁵



Rys. 1.2 Współrzędne wykorzystywane do opisu członów manipulatora³⁶



Rys. 1.3 Wyszczególnione ruchy układu kinematycznego³⁷

³⁵ Rygałto Andrzej, „Robotyka dla Mechatroników”, Częstochowa 2008, str. 23-27

³⁶ Tamże, str. 30

³⁷ Tamże, str. 31

1.3.4 Układ współrzędnych

Do opisanie ruchu manipulatora w przestrzeni trójwymiarowej wykorzystywany jest kartezjański układ współrzędnych OXYZ. Dowolne cztery liczby (x_1 , x_2 , x_3 , x_4) to współrzędne jednorodnego punktu P w jego przestrzeni.

1.4 Mechanika manipulatorów - przekładnie

Przekładnie mechaniczne są znane ludzkości od setek lat. Przekładniami nazywamy te mechanizmy, które zamieniają ruch obrotowy jednej prędkości na obrotowy ruch innej (może być także ta sama). Czasami nawet zmienić można dzięki nim można na ruch prostoliniowy. Przekładnie mają miejsce wtedy, gdy przynajmniej dwa elementy współgrają ze sobą. Wyróżnia się w nich elementy napędzające i napędzane. Często elementem napędzającym (czynnym) jest zębata atakująca, która jest umieszczona na wirniku silnika a element napędzany bierny czyli ten, który przenosi jej ruch. Przełożenie przekładni jako jedna z istotniejszych jej właściwości jest to stosunek liczby obrotów elementu czynnego do liczby obrotów elementu biernego. Gdy koło czynne jest mniejsze od koła biernego wtedy przekładnia jest nazywana reduktorem. Natomiast, gdy koło czynne jest większe od biernego to jest to multiplikator. W przekładniach następuje zmiana takich parametrów jak: moment siły, siła i prędkość.^{38 39 40}

1.4.1 Przekładnie cierne

W tego rodzaju przekładniach ruch jest przekazywany z elementu czynnego na bierny przy pomocy sił tarcia tzn. element czynny bezpośrednio ociera się o element bierny napędzając go. W tego typu przekładniach dwa wały są do siebie mocno dociskane. Siła tarcia dwóch elementów zależy od materiału, z którego są one wykonane i siły docisku, im większy docisk tym większa jest ta siła. Często w przypadku przekładni, w których są małe naciski elementów tocznych materiały charakteryzują się dużym współczynnikiem tarcia a kiedy nacisk jest znaczny współczynnik ten jest niewielki. Oczywiście brane jest

³⁸ Rychlicki Wiesław, „Od obwodu elektrycznego do pierwszego robota”, Wydawnictwo Helion, rok. 2013, str.118-120

³⁹ Oleksiuk Waldemar, Paprocki Krzysztof, „Konstrukcja mechanicznych zespołów sprzętu elektronicznego”, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności Warszawa, rok 1997, str. 163-164

⁴⁰ Żółtowski Jan, „Podstawy konstrukcji maszyn – przekładnie”, Wydawnictwo Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej” rok. 2004, str. 6

pod uwagę również zastosowanie przekładni i sił jakie będą przenoszone. Przekładnie cierne wyklucza stosowanie ich do określania dokładnej pozycji członu biernego, ponieważ nie będą one dokładne ze względu na ich poślizg wobec siebie.⁴¹



Fot. 1.9 Przekładnia cierna⁴²

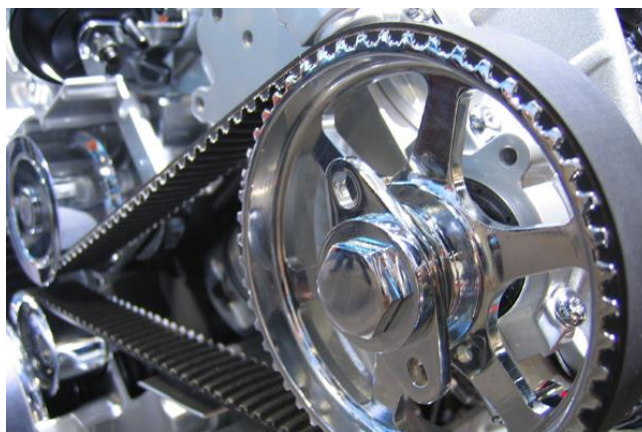
1.4.2 Przekładnie cięgnowe

Przenoszenie mocy w przekładniach cięgowych odbywa się przy pomocy siły tarcia między pasem a kołem pasowym. Pas oplata koło czynne i bierne, dzięki czemu następuje przekazanie siły. Przekładnie te stosuje się do zamiany ruchu posuwistego na obrotowy lub odwrotnie, jednak kąt obrotu nie może być zbyt duży. Cechą charakterystyczną tych przekładni jest to że dzięki zastosowanemu pasu bądź łańcuchowi istnieje możliwość przeniesienia napędu na duże odległości. Przekładnie cięgnowe mogą być stosowane wszędzie tam, gdzie są duże przeciążenia i wysoka prędkość obrotowa. Dodatkowym atutem jest ich cicha, równomierna praca. W przypadku małego tarcia między pasem a wałem lub zbyt wysokiej siły pas będzie się ślizgał, efektu tego nie będzie gdy zastosowany będzie pas klinowy lub zębaty na przystosowanym do niego wale

⁴¹ Oleksiuk Waldemar, Paprocki Krzysztof, „Konstrukcja mechanicznych zespołów sprzętu elektronicznego”, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności Warszawa, rok 1997, str.164-169

⁴² www.pharoahaudio.com

napędowym. Wyróżnia się przekładnie pasowe z pasem płaskim, klinowym, zębatym i łańcuchowym.^{43 44}



Fot. 1.10 Przekładnia cięgnowa z pasem zębatym⁴⁵

1.4.3 Przekładnie zębate

Przeniesienie napędu w przekładni zębatej następuje poprzez zazębienie się koła czynnego z biernym. Poślizg tutaj nie występuje. Przekładnie zębate można podzielić na przekładnie równoległe, kątowe, wichrowate, walcowe, stożkowe, z uzębieniem wewnętrznym i zewnętrznym. Przekładnie zębate muszą składać się minimalnie z dwóch elementów. W przypadku zazębienia się dwóch kół jest ona nazywana przekładnią jednostopniową, a w przypadku większej ich ilości jest ona przekładnią wielostopniową (złożoną). Przekładnie zębate charakteryzują się często małymi rozmiarami, więc chętnie są stosowane w małych urządzeniach mechanicznych. Są one łatwe do wykonania, ale raczej ich koszt wytworzenia nie należy do najtańszych. Dodatkowo stosując smar można do minimum wyciszyć ich pracę. Przekładnie te posiadają dość dużą sprawność i mają możliwość przenoszenia znacznych sił, zapewniają tym samym stałość przełożenia dlatego są również stosowane do określania dokładnej pozycji członu biernego (np.: w serwomechanizmach). Posiadają sztywną geometrie i przy zastosowaniu dużych sił i

⁴³ Żółtowski Jan, „Podstawy konstrukcji maszyn – przekładnie”, Wydawnictwo Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej” rok. 2004, str. 52-58

⁴⁴ Oleksiuk Waldemar, Paprocki Krzysztof, „Konstrukcja mechanicznych zespołów sprzętu elektronicznego”, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności Warszawa, rok 1997, str.169-171

⁴⁵ www.kontakt.sa.pl

słabego materiału łatwo można je uszkodzić bo praktycznie nie posiadają zabezpieczeń przez obciążeniem.^{46 47}



Fot. 1.11 Przekładnia zębata równoległa⁴⁸

1.5 Mechanika manipulatorów - napędy

We współczesnych robotach podobnie jak tych z poprzedniego wieku (zmieniły się tylko proporcje zastosowanych napędów) są stosowane napędy hydrauliczne, elektryczne i pneumatyczne. Każdy manipulator jest wyposażony w siłowniki które napędzają jego ramiona. Układy napędowe służą do przekształcania energii pierwotnej na energię mechaniczną i jej przekazywania.⁴⁹

1.5.1 Napędy hydrauliczne

Energia ciśnienia cieczy, która znajduje się w napędzie hydraulicznym zostaje przekształcona na energię mechaniczną. Wykonuje ona określoną pracę, o określonej sile. Aby powstał napęd hydrauliczny, musi on zawierać silnik do generowania ciśnienia i samą ciecz. Oznacza to, że czynnikiem służącym do przekazywania energii jest ciecz. Wyróżnia się hydrauliczne napędy hydrostatyczne i hydrokinetyczne. Napędy te są zbudowane z siłowników, które są bezpośrednio połączone z ramionami manipulatora. Ciecz która się w nich znajduje jest zwykle olejem o odpowiednich właściwościach.

⁴⁶ Rychlicki Wiesław, „Od obwodu elektrycznego do pierwszego robota”, Wydawnictwo Helion, rok. 2013, str.121

⁴⁷ Oleksiuk Waldemar, Paprocki Krzysztof, „Konstrukcja mechanicznych zespołów sprzętu elektronicznego”, Wydawnictwo Komunikacji i łączności Warszawa, rok 1997, str.184-187

⁴⁸ www.lely.com

⁴⁹ Praca zbiorowa pod redakcją Moreckiego Adama i Knapczyka Józefa, Wydawnictwo Naukowo-techniczne, rok 1994, str.203

Tworzeniem ciśnienia zajmują się silniki elektryczne, które napędzają łopatkę, a właśnie ona tworzy ciśnienie.

Napędy hydrauliczne są stosowane wszędzie tam, gdzie przy małych rozmiarach manipulatora trzeba podnosić duże ciężary. Są one bardzo szybkie, mają wysoką precyzję sterowania. Nawet bez stosowania przekładni są one w stanie osiągać niewielkie prędkości ruchu. Manipulatory wykorzystujące te napędy cechuje prostota, łatwość obsługi i konserwacji. Przeszkadzać może jedynie dość spory hałas generowany przez pompę i zanieczyszczenie olejem w przypadku jego rozlania.⁵⁰



Fot. 1.12 Manipulator z napędem hydraulicznym „KM 332/333” firmy K2inshofer⁵¹

1.5.2 Napędy pneumatyczne

Napędy pneumatyczne spełniają podobną funkcję jak napędy hydrauliczne, tyle że przenoszą one energię mechaniczną za pomocą sprężonego powietrza. Gaz jest tutaj czynnikiem roboczym. Tego rodzaju napędy stosowane są tam, gdzie nie potrzeba dużych sił do uniesienia przedmiotu. W ich skład wchodzi sprężarka powietrza, która jest źródłem powietrza napędzającego tłok. W przeciwieństwie do siłowników

⁵⁰ Tomasiak Edward, „Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, rok 2001, str. 11-13

⁵¹ www.kinshofer.com.pl

hydraulicznych tutaj potrzeba czasu aby sprężarka napelniła się powietrzem. Napędy pneumatyczne cechuje to, że są bardzo bezpieczne w eksploatacji, nie posiadają w sobie płynów które mogłyby rozlać się w przypadku uszkodzenia siłownika. Nie są urządzeniami skomplikowanymi, a do tego są dość tanie. Posiadają one sporą pewność ruchową, a także dużą przeciążalność. Manipulatory z napędem pneumatycznym są bardzo wrażliwe na nagłe zmiany obciążenia i posiadają gwałtowny rozruch. Siłowniki w tych napędach, podobnie jak w napędach hydraulicznych są połączone bezpośrednio z ramionami manipulatora. Elementami niezbędnymi do pracy są: filtr powietrza, smar, zawór redukcyjny i oczywiście powietrze.⁵²



Fot. 1.13 Manipulator z zastosowanym napędem pneumatycznym firmy Id Lifting⁵³

1.5.3 Napędy elektryczne

Przy pierwszych latach projektowania i wykorzystywania manipulatorów stosowano niemal tylko napędy hydrauliczne i pneumatyczne. W wyższych ich klasach i wraz z rozwojem elektroniki coraz częściej sięga się po napędy wykorzystujące elektryczność. Napędy te są bardzo dokładne, tanie i szeroko dostępne. Posiadają małe straty i są nieszkodliwe dla środowiska naturalnego. Dodatkowo posiadają bardzo dużą niezawodność, są ciche i do ruchu wymagają jedynie energii elektrycznej. Porównując ten napęd do napędów hydraulicznych czy pneumatycznych to mają one znacznie gorsze właściwości dynamiczne, mały stosunek mocy silnika do ciężaru urządzenia. Dlatego ten

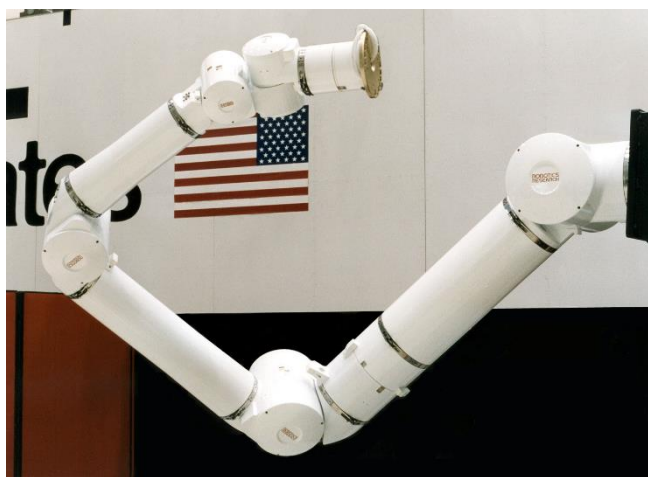
⁵² Szydelski Zbigniew, Olechowicz Jan, "Elementy napędu i sterowania hydraulicznego i pneumatycznego", Wydawnictwo Państwowe Wydawnictwo Naukowe, rok 1986, str.110-112

⁵³ www.id-lifting.pl

rodzaj napędu nie do końca nadaje się do zastosowania w manipulatorach gdzie będą przenoszone ciężkie przedmioty. W przypadku długotrwałego obciążenia silnik może ulec spaleniu. Najczęściej takie napędy są stosowane do pozycjonowania. Stosowane silniki to silniki krokowe i komutatorowe.

W silnikach krokowych (skokowych) wykorzystuje się impulsy elektryczne w celu wprawiania w ruch wirnik. Jego działanie polega na tym, że każdy pojedynczy impuls wprowadzany do uzwojenia przemieszcza wirnik o niewielki kąt. Im więcej modułów uzwojeń(na stojanie), do których są dołączone impulsy tym dokładniejszy kąt obrotu. Najczęściej na wirniku są umieszczone magnesy, a wokół nich występują uzwojenia które generują pole elektromagnetyczne przy podaniu impulsu. Dzięki temu silnik wykonuje obrót. Im większa jest częstotliwość impulsów tym szybciej silnik się obraca.

Silnik szczotkowy jest najstarszym typem silnika elektrycznego. Składa się z wirnika na którym są nawinięte odizolowane miedziane zwoje, komutatora, przełączającego napięcie, szczotek służących do przekazywania komutatorowi prądu oraz z magnesów trwałych, biorących udział w obrocie wirnika. Prąd przepuszczony przez uzwojenie wirnika powoduje powstanie wokół niego pola magnetycznego, które współdziała z polem magnesów. Dzięki temu następuje ruch wałka o dany kąt. Cykl powtarza się wielokrotnie. Do zmiany kierunku wystarczy zmienić biegunowość połączenia.^{54 55 56}



Fot. 1.14 Manipulator RRC z napędem elektrycznym wykorzystywany w przestrzeni kosmicznej⁵⁷

⁵⁴ Platt Charles, „Elektronika – Od praktyki do teorii”, Wydawnictwo Helion, rok 2013, str. 280

⁵⁵ Praca zbiorowa pod redakcją Moreckiego Adama i Knapczyka Józefa, Wydawnictwo Naukowo-techniczne, rok 1994, str.234-247

⁵⁶ Potocki Leszek, „Silniki krokowe od podstaw cz.1”, Elektronika dla Wszystkich, rok.2002, nr.7 str.22

⁵⁷ www.pubs.acs.org

1.6 Najważniejsze czujniki manipulatorów

Manipulatory często opierają się i decydują na podstawie informacji zebranych poprzez specjalne czujniki (sensory). Pobierają one informacje o otaczającym go środowisku, stanie podzespołów, a nawet mogą dostosowywać swoje funkcje w zależności do rodzajów chwytanego przedmiotu. Są potrzebne aby robot wiedział gdzie się znajduje i w jakim położeniu są jego ramiona i na ile może być samodzielny bez pomocy sterującego nim człowieka. Czujniki, które są umieszczane w manipulatorach można podzielić na te, które monitorują parametry wewnętrzne robota i te dostarczające informacji o jego otoczeniu. Największa koncentracja czujników jest w chwytaku manipulatora.⁵⁸

1.6.1 Czujniki położenia

Do określenia pozycji ramienia stosowane są czujniki gdzie pomiar dokonują się poprzez zmianę rezystancji, pojemności, indukcyjności. Najczęściej spotyka się rozwiązania oparte na zmieniającej się wartości rezystancji potencjometru wraz z ruchem członu. Przykładowo potencjometr ma 180 stopni kąt obrotu, taka samo jak kąt wychylenia ramienia robota. Przez potencjometr jest przepuszczane napięcie i przy określonym kącie wychylenia możemy zmierzyć określone napięcie, które jest interpretowane przez mikrokontroler na dany kąt lub inną wartość. Dzięki takiemu czujnikowi również można ustawić maksymalne czy minimalne wychylenia ramienia bądź wybór akcji w przypadku przekroczenia jakiejś wartości.⁵⁹

1.6.2 Czujniki prędkości

Czujniki prędkości są stosowane w kontroli nad prędkością danego wału. Dzięki takiej informacji zwrotnej podawana jest informacja o prędkości pojazdu bądź w celu jej korekty, gdy wymagane jest jej ciągle utrzymanie na stałym poziomie. W takich czujnikach stosowane są specjalne optyczne enkodery. Przymocowana na wale silnika obracająca się tarcza posiada na całej swojej długości otwory przez które pada światło, które jest wykrywane przez światłoczuły półprzewodnik i przetwarzana na impulsy

⁵⁸ Praca zbiorowa pod redakcją Moreckiego Adama i Knapczyka Józefa, Wydawnictwo Naukowo-techniczne, rok 1994, str.261

⁵⁹ Tamże, str.270-271

elektryczne. Mikrokontroler zlicza ilość impulsów w danej jednostce czasu i zwraca wynik jako prędkość.⁶⁰

1.6.3 Czujniki siły i nacisku

Tego rodzaju czujniki służą do pomiaru masy przedmiotów bądź informują i reagują na przeciążenia elementów mechanicznych. Niektóre z nich są zbudowane z rezystywnego materiału, który na skutek nacisku czy odkształcenia zmienia swoją rezystancję. Interpretując przepuszczone napięcie można dokładnie ustalić siły działające na ten materiał. Jedną z wad tego rozwiązania jest to że rezystancja może się zmieniać na skutek działania środowiska np.: temperatury otoczenia, w którym pracuje manipulator i wyniki czasem nie odzwierciedlają sił co może doprowadzić do błędnej reakcji bądź jej brak. Innym sposobem na pomiar siły jest zastosowanie czujnika tensometrycznego. Jest to czujnik, w którym znajduje się sprężyna ulegająca zniekształceniu pod wpływem przyłożonej siły. Wtedy długość sprężyny jest jej wyznacznikiem bądź naklejony na nią czujnik tensometryczny. Są one stosowane w wagach, w połączeniach maszyn i ich przekładni, w manipulatorach gdzie istotna jest delikatna siła nacisku chwytaka czy nawet w robotycznych protezach.⁶¹

1.6.4 Czujniki zbliżenia

Czujnik zbliżenia informuje o odległości manipulatora do badanego obiektu bądź przeszkody. Wyróżnia się czujniki indukcyjne, optyczne, ultradźwiękowe, mikrofalowe i pneumatyczne. Czujnik indukcyjny wykrywa zmiany pola magnetycznego, gdy w jego pobliżu jest metalowy obiekt. Im bliżej badanego obiektu tym te zmiany są większe. Czujniki tego typu wykrywają tylko obiekty metalowe, gdzie znalazły zastosowanie w przypadku automatycznych manipulatorów do spawania czy jako wykrywacze metali.

Czujniki optyczne (laserowe) wysyłają do obiektu wiązkę światła, która odbija się od niego i wraca, wówczas liczony jest czas powrotu wiązki co można przekonwertować na odległość. Takie czujniki pracują z dokładnością do 0.5mm. Jako wiązka światła wykorzystuje się półprzewodnik generujący promieniowanie podczerwone.

⁶⁰ Tamże, str.274-275

⁶¹ Tamże, str.275-276

1.6.5 Czujniki dotyku

Czujniki dotyku wykrywają obecność przedmiotu w szczękach chwytaka. Dodatkowo, jeżeli ich liczba jest odpowiednio duża i chwytak ma odpowiednią budowę to manipulator jest w stanie określić powierzchnie trzymanego obiektu. W prostych manipulatorach jako czujniki dotyku służą mikroprzełączniki, lecz te bardziej zaawansowane korzystają z czujników zbudowanych z przetworników indukcyjnych lub rezystancyjnych, gdzie w zależności od ugięcia czujnika zmieniają się ich właściwości. Wyróżnia się odczyty magnetyczne, elektryczne, indukcyjne czy fotoelektryczne. Takie czujniki mogą być stosowane przy rozbrajaniu materiałów wybuchowych czy próbek pobieranych z obcych planet.⁶²

1.6.6 Czujniki poślizgu

Czujniki poślizgu są stosowane tam, gdzie nie do końca wiadomo z jakim rodzajem materiałów będzie miał manipulator do czynienia (np.: bardzo delikatny). Podnoszenie nieznanego obiektu rozpoczyna się od zastosowania minimalnej siły nacisku chwytaka, jeżeli obiekt się ześlizgnie, czujnik da znać i mikrokontroler nieco zwiększy nacisk i tak aż do stabilnego uchwycenia przedmiotu. Po przeniesieniu go chwytak na nowo rozpoczyna pracę na małej sile nacisku.⁶³

⁶² Tamże, str.280-282

⁶³ Tamże, str.283-284

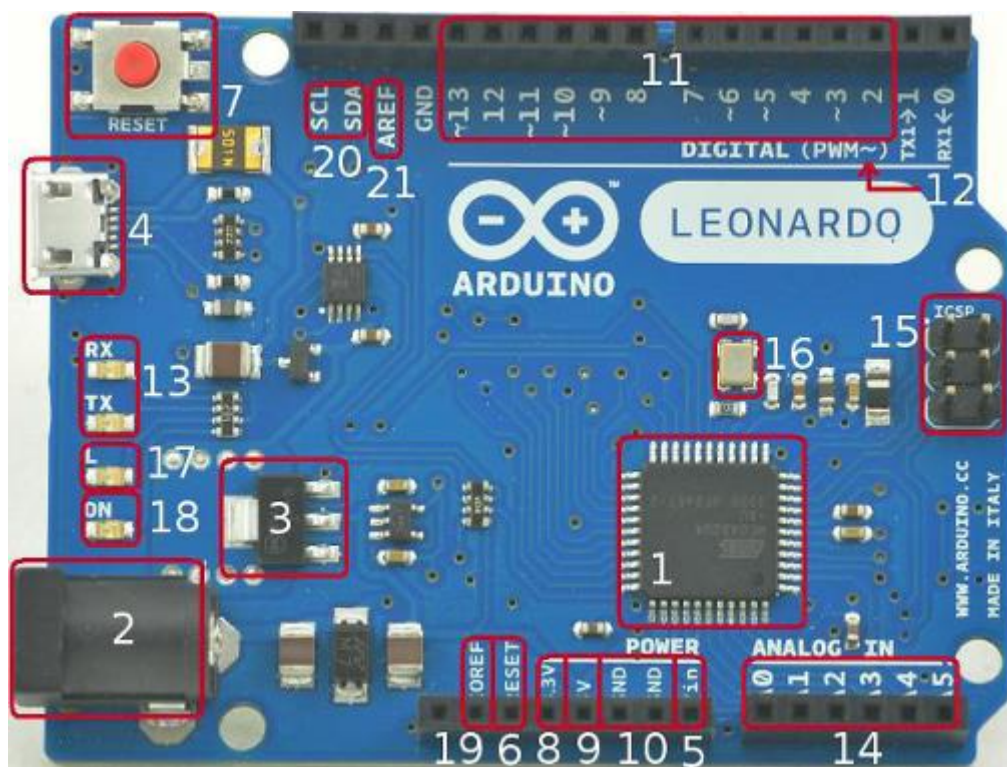
Rozdział 2 Mikrokontroler Arduino

2.1 Opis platformy Arduino

Arduino to tania i intuicyjna platforma, ułatwiająca tworzenie wielu ciekawych i użytkowych projektów. Do jej wykorzystania potrzebna jest jedynie znajomość podstaw elektroniki i programowania. Platforma składa się m.in z mikrokontrolera, który jest umieszczony na niewielkiej drukowanej płytce wyposażonej w złącza, rezystory, kondensatory i inne elementy elektroniczne. Wszystko jest ze sobą połączone co stanowi jeden układ. Płytkę można programować z poziomu komputera. Model ten został stworzony w 2005 roku przez Włochów: Davida Cuartielles i Massimo Banzi i miał służyć przede wszystkim studentom, którzy studiowali na wydziale robotyki. Pierwszy model nosił nazwę Arduino Serial, a następnym był Arduino USB. Płytkę jest wyposażona w złącze uniwersalnej magistrali szeregowej, czyli popularnego złącza USB, dzięki któremu możliwa jest komunikacja z komputerem (wymiana danych między Arduino i komputerem, wgrywanie kodu programu czy zasilanie platformy). Arduino posiada przede wszystkim takie złącza, aby dzięki nim można było podłączyć zewnętrzne elementy elektroniczne czy oddzielne moduły. Poprzez te rodzaje złącz mikrokontroler pozwala na sterowanie silnikami elektrycznymi, przekaźnikami, fotodiodami, głośnikami a także odczytywać wartości z potencjometrów, termistorów, fototranzystorów, czujników ciśnienia, dymu, odległości czy rodzajów kolorów. Mając takie możliwości rozszerzeń i współpracę z tak wieloma częściami elektronicznymi możliwe jest zbudowanie dowolnie skomplikowanego projektu służącego konkretnemu celowi. Arduino jest wyposażony również w wejście oddzielnego zasilania do którego jest możliwe podłączenie napięcia z zasilacza 7-12V lub kilka ogniw połączonych szeregowo z podobnymi wartościami, lecz nie mniejszymi. Modyfikacji może dokonywać każdy jego nabywca. Arduino jest bowiem otwartą platformą. Posiada dokumentację na zasadach licencji Creative Commons. Układy tego typu są tanie i szeroko dostępne na rynku, dlatego tak dużo klonów można znaleźć w sklepach czy na aukcjach internetowych. Arduino w 2008 roku otrzymał nagrodę kategorii Digital Communités. Mimo, iż sama nazwa Arduino jest objęta ochroną, zamienniki i klony platformy możemy rozpoznać po słowie "duino" na końcu nazwy np.: Seeeduino, które najczęściej nie różnią się niczym od włoskiego oryginału. Mikrokontroler właśnie z tych powodów został ciepło przyjęty zarówno przez elektroników amatorów czy też profesjonalistów. W swojej pracy

układu używają nawet ludzie bezpośrednio niezwiązani z elektroniką tacy jak artyści, muzycy czy designerzy. Arduino daje możliwość sterowania podłączonymi do niego elementami poprzez komputer czy nawet telefon. Językiem programowania używanym w projektach Arduino jest zmodyfikowana, uproszczona wersja języka C.⁶⁴

2.2 Budowa Arduino



Fot. 2.1 Budowa Arduino⁶⁵

2.2.1 Mikrokontroler

Mózgiem platformy Arduino jest mikrokontroler z rodziny procesorów ATmega [nr.1 fot. 2.1]. Składa się z procesora wykonującego rozkazy, a także różnych rodzajów pamięci. Jest zamknięty w małych rozmiarach obudowie zwanej chip. Układ scalony posiada z reguły 28 styków. Do pamięci są wgrywane programy pisane na komputerze. Pamięć robocza RAM będąca w chipie jest wykorzystywana do tymczasowego zapisywania

⁶⁴ Monk Simon „Arduino dla początkujących, podstawy i szkice”, wyd. Helion 2014, str. 11-15

⁶⁵ www.arduino.cc

danych przetwarzanych przez procesor. Jest to pamięć ulotna, która po odłączeniu zasilania zostaje bezpowrotnie utracona. Inna z kolei pamięć, w przeciwieństwie do RAMu, która nie zostaje utracona to pamięć EEPROM. Jest ona podobna do pamięci flash z tą różnicą, że flash przechowuje instrukcje programu a EEPROM dane pomiarów i instrukcji, których nie chcemy utracić po zresetowaniu lub wyłączeniu urządzenia. Niewielkie mikrokontrolery znajdują zastosowanie niemal w każdej dziedzinie życia. Stosując wciąż to coraz wydajniejsze i zminimalizowane mikrokontrolery producenci sprzętu elektronicznego mają możliwość zmniejszania ich rozmiarów i wydajności ich pracy. Prognozuje się, że z biegiem lat zostaną zaprojektowane układy wszczepiane lub wprowadzane do organizmu ludzkiego w celu monitorowania funkcji życiowych czy nawet do jego leczenia.^{66 67}

2.2.2 Wejścia zasilania

Na brzegu płytki Arduino znajduje się wejście zewnętrznego zasilania (3,5mm) [nr.2 fot. 2.1]. Aby osiągnąć stały przepływ napięcia nad tym stykiem umieszczony jest stabilizator napięcia generujący napięcie 5V [nr.3 fot. 2.1]. Akceptowane wartości przez stabilizator to od 7V do 12V. Najczęściej element ten jest montowany powierzchniowo. Jest sporych rozmiarów, po to, aby ułatwić rozproszenie ciepła w przypadku przepływu dużej wartości prądu. Dodatkowo w tym celu można zamontować na nim radiator. Złącze połączenia z komputerem, złącze USB również dostarcza platformie napięcie stałe równe 5V [nr.4 fot. 2.1]. I także Pin Vin umożliwia podłączenie zasilania o takich samych wartościach napięcia jak wtyk 3,5mm [nr.5 fot. 2.1].⁶⁸

2.2.3 Złącza zasilania

Złącza zasilania są umieszczone również na brzegu płytki. Pierwsze złącze jest oznaczone jako „RESET” [nr.6 fot. 2.1]. Używa się go podłączając jego pin do masy. Istnieje też sam przycisk o takiej funkcji [nr.7 fot. 2.1]. Korzystając z resetu rozpoczynamy działanie programu od początku. Zaraz po lewo złącza "Reset" przylutowane są piny, które dostarczają prąd o określonym napięciu (3,3V, 5V i masa (GND)) [nr.8, 9, 10 fot.

⁶⁶ Boxall John „Arduino, 65 praktycznych projektów”, Wydawnictwo Helion 2014, str. 39

⁶⁷ Borkowski Paweł „Przygoda z elektroniką” wyd. Helion 2013, str. 371

⁶⁸ Monk Simon „Arduino dla początkujących, podstawy i szkice”, wyd. Helion 2014, str. 17

2.1]. Masa ma napięcie 0V, co oznacza, że jest to odnośnik do pozostałych napięć znajdujących się na platformie.⁶⁹

2.2.4 Złącza cyfrowe

Złącza oznaczone jako cyfrowe pracują jako wejścia i wyjścia [nr.11 fot. 2.1]. W przypadku ustawienia jako wyjścia, działają one jako źródła prądowe dostarczające 5V po włączeniu ich i odpowiednim ustawieniu w programie. Jeżeli są wyłączone mają napięcie równe napięciu masy. Piny oznaczone numerami 3,5,6,9,10 i 11 z symbolem tyldy(~) to wyjścia PWM pozwalające na modulację szerokości impulsu. Oznacza to, że mogą generować w sposób sprzętowy sygnały elektryczne o zadanym wypełnieniu. Sygnały są generowane przez ten pin z określoną częstotliwością (w przypadku Arduino jest to 400Hz). Wypełnienie w tym przypadku oznacza jak długo w ciągu jednego okresu wystąpi stan wysoki sygnału. Określa się to najczęściej jako procentowy stosunek stanu wysokiego do czasu trwania całego okresu. Dzięki temu można sterować jasnością diody LED (jest włączana i wyłączana tyle razy na sekundę, że nasze oko nie jest w stanie rozpoznać migania i poprzez modyfikację szerokości impulsu możemy diodę dowolnie rozjaśnić bądź ściemnić). Ta sama zasada jest stosowana w celu sterowania prędkością obrotową silnika elektrycznego, do generowania sygnałów analogowych czy w określeniu położenia serwomechanizmu. 8 bitowy rejestr jest w stanie wygenerować 256 stopni wypełnienia co w praktyce oznacza bardzo dokładną możliwość regulacji długości szerokości impulsu (w Arduino rejestr PWM może regulować wypełnienie z 0,39% dokładnością). Piny oznaczone symbolami RX i TX odpowiadają za odbiór i transmisję danych. Połączone są z portem USB i w przypadku poprawnego wgrania szkicu dwukrotnie zapalają się. Cyfrowych złącz nie możemy zbyt obciążać, grozi to uszkodzeniem platformy. maksymalne natężenie prądu jakie możemy pobierać z jednego pinu to 40mA. W przypadku chęci zasilania bardziej prądożernego modułu będzie niezbędny tranzystor sterowany z tego pinu (podłączonego do bazy) i innego źródła zasilania które będzie podłączone pod jego emiter.⁷⁰

2.2.5 Złącza analogowe

Piny analogowe są przystosowane do pomiaru wysokości napięcia [nr.14 fot. 2.1]. Dzięki ich obecności można interpretować wynik w programie w zależności od wartości

⁶⁹ Tamże, str. 17

⁷⁰ Tamże, str. 18

wysokości napięcia między pinami a masą. Z racji wysokiej rezystancji wewnętrznej płynące prądy z tych złącz dostarczają niewielkie napięcia prądów. Mogą również pracować jako wejścia/wyjścia cyfrowe, po odpowiednim ustawieniu ich trybu działania w kompilatorze. Dzięki 10-bitowemu przetwornikowi A/C w procesorze ATmega wartości odczytywanych napięć na pinach analogowych przybierają wartości od 0 do 1024. W przypadku wartości 1024 mamy do czynienia z napięciem 5V, natomiast wartość 0 daje nam 0V, jak widać można dość precyzyjnie określić parametry odczytu np.: odczytać wartość temperatury korzystając z termistora.⁷¹

2.2.6 Pozostałe podzespoły i złącza

Na płytce Arduino umieszczony jest interfejs SPI, jest to port szeregowy, który służy do programowania układu [nr.15 fot. 2.1]. Działa on w sposób synchroniczny. Korzystając z interfejsu można programować procesor bez wykorzystania do tego celu portu USB. Można również ponownie wgrać bootloader w przypadku poważniejszego zawieszenia się platformy, kiedy połączenie przez port USB jest niemożliwe i gdy nic się nie dzieje po zresetowaniu przyciskiem "Reset". W komunikacji są używane piny MISO, MOSI oraz SCK. SPI posiada wysoką prędkość transmisji i używana jest do obsługi szybkich urządzeń takich jak pamięci EEPROM, przetworników C/A czy A/C. Aby wgrać program poprzez interfejs potrzebny jest oddzielny programator podłączany do 6 pinów na płytce Arduino i z drugiej strony do portu USB komputera. Kvarcowy generator drgań jest małym, prostokątnym elementem, służącym do generowania 16 milionów impulsów w ciągu sekundy [nr.16 fot. 2.1]. Potrzebny jest on po to, aby wraz z każdym wygenerowanym przez kwarc impulsem mikrokontroler wykonał pojedynczą operację arytmetyczną. Umieszczona na płytce dioda oznaczona symbolem "L" miga kiedy podłączymy pierwszy raz układ [nr.17 fot. 2.1]. Program do wykonania tego zadania o nazwie "Blink" jest fabrycznie wgrany do pamięci. Dioda jest połączona z pinem 13, co oznacza, że może on pracować jedynie jako wyjście. Obok diody "L" znajdują się dioda "On", która informuje nas o uruchomionym i pracującym Arduino [nr.18 fot. 2.1]. Pin "IOREF" służy do zasięgnięcia informacji na jakim napięciu aktualnie pracuje platforma [nr.19 fot. 2.1]. Piny SDA i SCL są to sygnały danych i zegara magistrali I2C [nr.20 fot. 2.1]. Dzięki nim można w projekcie użyć układu scalonego PCF8574 i skorzystać z

⁷¹ Tamże, str. 18

dodatkowych 8 pinów cyfrowych wejścia/wyjścia a nawet do 128 łącząc więcej takich układów. Magistrala I2C to synchroniczna magistrala szeregową, która najczęściej jest stosowana w sprzętach RTV i pozwala na komunikację z kością PCF8574. W przypadku podłączenia większej ilości tych układów znajduje zastosowanie cecha I2C którą jest własny protokół komunikacji. Magistrala I2C wykorzystana w Arduino nazywa się TWI z powodów problemów licencyjnych. Pin o terminologii "AREF" jest wejściem odniesienia napięcia i zasilają przetwornik DAC [nr.21 fot. 2.1].^{72 73}

2.3 Najpopularniejsze rodzaje płyt Arduino

2.3.1 Arduino Diecimila

Jedną z pierwszych wersji platformy Arduino była Diecimila, nazwa oznacza "dziesięć tysięcy". Użyty procesor w tej wersji to ośmiobitowa ATmega168 taktowana zegarem 16MHz. Ta wersja była wyposażona w pamięć flash 16kb (2kb dla bootloadera), SRAM 1kb, EEPROM 512B, interfejs ISP. Diecimila ma w sobie 14 wyprowadzeń cyfrowych, 6 to piny PWM i następne 6 to piny analogowe. Płynący prąd wyjść cyfrowych to odpowiednio dla 5V - 40mA a dla 3,3V - 50mA. Rekomendowanym napięciem pod jakie można było podłączyć to 7V-12V a maksymalne to 20V. Wersja ta posiada chip FTDI do komunikacji z USB. Była to pierwsza wersja Arduino, w którym źródło zasilania zostało wybierane automatycznie.⁷⁴

2.3.2 Arduino Duemilanove

Duemilanove ("dwa tysiące dziewięć" w tłumaczeniu z włoskiego) jest wyposażony w mikrokontroler z procesorem taktowanym 16MHz. Jest to ATmega168 albo ATmega328 w niektórych płytkach. Układ został wypuszczony na rynek 1 marca 2009r. Napięcie wejściowe jakie możemy zastosować w przypadku tej wersji to 7V-12V, z czego 5V jest napięciem akceptowanym przez płytkę. Te Arduino ma w sobie 14 wyprowadzeń cyfrowych z czego 6 z nich to piny PWM i następne 6 to piny analogowe. Maksymalne natężenie prądu z każdego wyjścia to 40mA przy napięciu 5V, natomiast nieco więcej bo 50mA może dać napięcie 3,3V. Pamięć Flash, która znajduje się na mikrokontrolerze jest

⁷² Tamże, str. 19

⁷³ www.starter-kit.nettigo.pl/2010/10/co-mierzysz-analogread

⁷⁴ www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDiecimila, strona producenta Arduino

wielkości 32kb (0,5kb dla bootloadera), SRAM 2kb i EEPROM 2kb. Duemilanove posiada 6-pinową magistralę SPI dla zewnętrznego programatora. Procesor włożony w podstawkę można wymienić.⁷⁵

2.3.3 Arduino Uno

Arduino Uno (zastąpił w 2010 roku model Arduino Duemilanove), jest jedną z najpopularniejszych na rynku platform. Platforma Arduino jest wyposażona w 14 cyfrowych wejść/wyjść. 6 z nich stanowią wyjścia PWM i 6 to analogowe piny. Procesor posiada taktowanie 16 MHz. Maksymalne napięcia jakie możemy przyłożyć do tego modelu Arduino to 6V-20V a zalecane: 7V-12V. W przypadku większych napięć trzeba liczyć się z przegrzaniem stabilizatora napięcia. Układ posiada statyczną pamięć SRAM o wielkości 2kb, pamięć flash 32kb z czego 5kb to pamięć przeznaczona dla bootloadera oraz pamięć EEPROM 1kb. W wersji Uno można znaleźć szeregowy interfejsy UART, SPI i magistralę I2C. Oryginalne wersje Uno pochodzące z Włoch są pokryte turkusowym lakierem w celu łatwiejszego odróżnienia ich od podróbek. Płyta Uno może dostarczyć większy prąd na złączu o napięciu 3,3 V. Ponadto płyta ta jest zawsze wyposażona w układ ATmega328. Wcześniejsze płyty były wyposażone w układy ATmega328 lub ATmega168. Zaletą płytki jest możliwość wymiany procesora w momencie uszkodzenia, model jest wyposażony w system, który chroni płytkę przed wysokim przepływem prądu.⁷⁶

2.3.4 Arduino Leonardo

Jedną z najnowszych platform Arduino obecną aktualnie na rynku jest Leonardo. Posiada przede wszystkim nowszy procesor AVR ATmega32u4 od Uno. Procesor, podobnie jak poprzednik posiada taktowanie procesora równe 16MHz. Procesor jest cienkim kwadratem, wlutowanym w płytkę techniką montażu powierzchniowego, także bez odpowiedniej stacji lutowniczej nie jest możliwe ręczne wymontowanie układu. Leonardo jest wyposażony w 20 cyfrowych wejść/wyjść. 7 z nich są to wyjścia PWM pozostałe 12 to wejścia analogowe. Maksymalne napięcia jakie możemy przyłożyć do tego modelu Arduino to 6V-20V a zalecane: 7V-12V. Pamięć SRAM w tym modelu to 2,5kb, flash 32 kb (4kb dla bootloadera), EEPROM 1kb. Model ten posiada już wejście microUSB, pokolorowany turkusowym, błyszczącym lakierem. Maksymalny pobór

⁷⁵ www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDuemilanove

⁷⁶ Monk Simon „Arduino dla początkujących, podstawy i szkice”, wyd. Helion 2014, str. 21

prądu to 40mA na każdy pin wyjściowy. W tej wersji znajdziemy oczywiście szeregowy interfejsy UART, SPI i magistralę I2C.⁷⁷

2.3.5 Arduino Mega

Ta wersja Arduino ma wymiary 109 na 53mm więc jest to największą i najbardziej funkcjonalną wersją tego mikrokontrolera. Wyposażona jest w procesor Atmega2560, który jest na stałe umieszczony na płycie. Mega jest w pełni kompatybilny z Arduino Uno. I tu, podobnie jak w przypadku starszych modeli mikrokontroler pracuje pod kontrolą zegara o częstotliwości taktowania 16MHz. Zalecane napięcie to standardowo 7V-12V a maksymalne 20V. Mega posiada pamięć SRAM 8kb, flash 256kb z czego 8kb to pamięć przeznaczona tylko dla bootloadera, EEPROM 4kb. Mega ma 54 cyfrowych wejść/wyjść. 15 z nich to kanały PWM a 16 to analogi. Złącze, przez które podłączamy platformę do komputera to port USB typu A-B. Ta wersja posiada ulepszoną wersję układu reset oraz dodatkowy pin IOREF. Maksymalny prąd jaki możemy pobierać ze złącz to 40mA.⁷⁸

2.3.6 Arduino Nano

Arduino Nano pod względem specyfikacji układ bardzo podobny do Arduino Uno nawet posiada ten sam procesor. W przeciwieństwie do Uno czy Leonardo układ ten posiada złącze mini USB a specyfikacja jest taka sama. Wszystkie wejścia/wyjścia są umieszczone na goldpinach, co oznacza że bez lutowania można je umieścić na płycie prototypowej. Procesor posiada już wbudowany bootloader, także jest możliwe programowanie bezpośrednio po podłączeniu interfejsu USB do komputera.⁷⁹

2.3.7 Arduino LilyPad

To okrągła, mała płytka zaprojektowana z myślą o ludziach, którzy chcą w jakimś celu zainstalować mikrokontroler pod ubraniem. Może ona między innymi być zastosowana do monitorowania funkcji życiowych człowieka. Ta wersja już nie posiada złącza USB, także aby móc ją zaprogramować należy wyposażać się w zewnętrzny programator podłączany do sześciopinowego złącza ICSP. Wejścia/wyjścia nie posiadają goldpinów tylko pobielone cyną miejsca, do których należy przylutować przewody, czy moduły.

⁷⁷ <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardLeonardo>, strona producenta

⁷⁸ Monk Simon „Arduino dla początkujących, podstawy i szkice”, wyd. Helion 2014, str. 22

⁷⁹ Tamże, str. 22

LilyPad posiada procesor ATmega328V, który gwarantuje niższe od innych procesorów tego typu napięcie oraz zużycie prądu. Umieszczony jest w sercu Arduino. Ta wersja platformy nie posiada ochrony przed odwrotną polaryzacją i trzeba uważać na podłączenie zasilania. Platforma nie posiada regulatora napięcia, co oznacza, że maksymalne napięcie jakie możemy przyłożyć do Arduino to 5,5V. W przypadku odwrotnej polaryzacji czy większego napięcia układ ulega niemal natychmiastowemu uszkodzeniu. LilyPad posiada 20 pinów wejścia/wyjścia, z czego 6 to PWM a pozostałe 6 to piny analogowe. Płytkę tą można umyć pod wodą czy nawet wyczyścić wykorzystując detergent.⁸⁰

2.3.8 Arduino Bluetooth

To wersja Arduino posiada kontroler Bluetooth, który zastępuje port szeregowy USB w celu bezprzewodowej komunikacji z komputerem i programowania płytki. Jest to jedna z najdroższych odmian wersji Arduino dlatego czasem użytkownicy wolą zakupić oddzielny moduł Bluetooth podłączany do np.: Arduino Uno. Na płytce jest zainstalowany chip CC2540, umożliwiający komunikację Bluetooth. Ten model najczęściej jest wyposażony w procesor Atmega328. Na wyposażeniu znajduje się 14 pinów cyfrowych wejścia/wyjścia. 6 z nich to PWM a 6 pracujących jako złącza analogowe. Arduino posiada wejście microUSB. Taktowanie zegara procesora to standardowo 16 MHz, pamięć SRAM 2kb, flash 32 (4kb dla bootloadera), EEPROM 1kb. Wymiary tej płytki to 53 na 19 mm.⁸¹

2.4 Najpopularniejsze moduły rozszerzeniowe

W sklepach czy na aukcjach internetowych można znaleźć pokaźną ilość modułów dedykowanych specjalnie dla platformy Arduino. Charakteryzują się tym, że ich piny i napięcie pracy spełniają wymagania Arduino. Są one zbudowane z płytki montażowej na której są przylutowane powierzchniowo elementy elektroniczne tworzące moduł. Na brzegach płytek umieszczone są piny aby można było bezpośrednio, bez lutowania umieszczać moduły na platformie Arduino. Wprowadzono je na potrzeby inżynierów, hobbystów czyli ludzi, którzy na co dzień zajmują się programowaniem mikrokontrolera

⁸⁰ Tamże, str. 24

⁸¹ Tamże, str. 23

Arduino, dzięki temu mogą oni znacznie rozszerzyć funkcjonalność i zastosowanie platformy. Moduły są zbudowane ze złącz, podzespołów elektronicznych przylutowanych na małej płytce drukowanej. Części elektroniczne na module są najczęściej umieszczone na płytce techniką montażu powierzchniowego dlatego są tak niewielkie. Producenci modułów dostarczają użytkownikowi pełną dokumentację, w której wyszczególniono specyfikacje pracy płytki i cały jej schemat. Dzięki temu użytkownik może dokonywać własnych zmian i modyfikacji układu. Przed podłączeniem modułu użytkownik powinien zadać sobie pytanie jaki jest zakres napięcia, ile pobiera energii elektrycznej i jakie natężenia mogą występować na wejściach modułu.⁸²

2.4.1 Czujnik ruchu PIR

Dedykowane czujniki ruchu PIR dla Arduino pracują w zakresie napięcia od 5V do 7V. W momencie wykrycia ruchu w obszarze światła podczerwonego przez wyjście modułu zaczyna przepływać prąd, co daje nam sygnał o obecności czyjegoś ruchu. Sekundę po tym zdarzeniu stan wysoki napięcia przechodzi na stan niski. Większość czujników ruchu posiada maksymalny prąd na wyjściu 10mA co umożliwia nam również podłączenie małej diody LED jako sygnalizatora ruchu. Czujnik jest wyposażony w trzy nóżki - podłączenie zasilania, masy i ostatnia jako wyjście. Czujniki ruchu oparte na pasywnej podczerwieni są instalowane w systemach alarmowych, przeciw kradzieżowych. Umieszcza się je też czasami w kamerach do obserwacji poruszającego się człowieka. Są to czujniki cyfrowe czyli po wykryciu ruchu na wyjściu pojawia się sygnał wysoki.⁸³



Fot. 2.2 Czujnik ruchu PIR HC-SR501⁸⁴

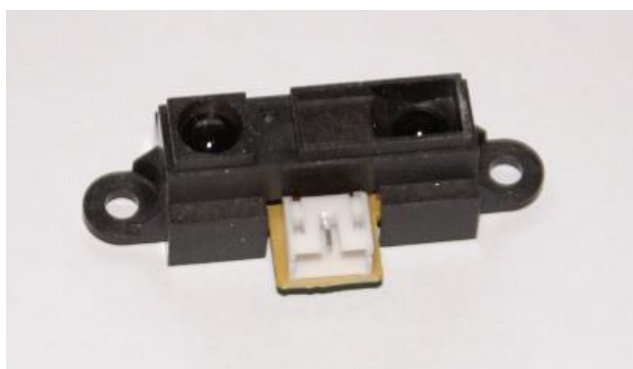
⁸² Tamże, str. 195

⁸³ Tamże, str. 195

⁸⁴ www.arduino.info.pl

2.4.2 Czujnik odległości na podczerwień

Czujniki tego typu są bardzo tanie i pozwalają na niezbyt precyzyjne mierzenie odległości. Nadajnik wysyła wiązkę promieniowania podczerwonego, które powraca do odbiornika generując napięcie proporcjonalne do odległości. Są to czujniki analogowe. Składają się z trzech nóżek, mianowicie zasilania 5V, masy i napięcia, które jest tym wyższe im przeszkoda jest coraz bliżej. Promieniowania podczerwonego generowanego przez moduł nie można sprawdzić gołym okiem, ale w celu sprawdzenia tego światła należy obserwować go przez kamerę aparatu.⁸⁵



Fot. 2.3 Czujnik odległości na podczerwień Sharp GP2Y0A21YK⁸⁶

2.4.3 Dalmierz ultradźwiękowy

Popularne dalmierze ultradźwiękowe składają się z dwóch okrągłych przetworników. Jeden z nich służy do wysyłania, a drugi do odbierania dźwięków. Wysyłana fala dźwiękowa odbija się od przeszkody i wraca do odbiornika. Czujnik w trakcie wysyłania fali nie może przesunąć się o kąt 45 stopni, gdyż wtedy fala nie trafi do odbiornika. Na podstawie czasu odbioru obliczana jest odległość od obiektu. Dźwięki te są wysokiej częstotliwości (ok 40kHz), dlatego ludzkie ucho nie jest w stanie ich zarejestrować. Mogą one określić odległość przeszkody oddalonej od czujnika do 3m. Droższe moduły charakteryzują się tym, że zamiast dwóch przetworników posiadają tylko jeden, pobierają mniej prądu i oczywiście posiadają większy zasięg i są dokładniejsze. Moduł posiada wejście na zasilanie 5V, masę i „signal” służący do zwracania odległości przeszkody w postaci długości stanu wysokiego. Odpowiednia biblioteka pozwala na interpretację tego

⁸⁵ Boxall John „Arduino, 65 praktycznych projektów” Wydawnictwo Helion 2014, str. 276-281

⁸⁶ www.nettigo.pl

sygnału na odległość w np.: centymetrach. Dalmierze są stosowane w robotach jako czujniki odległości czy w celu omijania przeszkód znajdujących się na jego drodze.^{87 88}



Fot. 2.4 Dalmierz ultradźwiękowy HC-SR04⁸⁹

2.4.4 Moduł pomiaru barw przedmiotu

Jednym z popularniejszych modułów wykrywających barwę wykorzystywanych w Arduino jest TCS3200. Nie należy on do najtańszych podzespołów. Zamontowany w nim układ scalony jest w stanie określić barwę przedmiotu. Obok niego są umieszczone diody LED świecące na kolor czerwony, żółty i zielony (podstawowe barwy). Po wykryciu określonego koloru na wyjściu cyfrowym modułu pojawia się określona ilość impulsów która jest zakodowana w odpowiednią barwę i jej natężenie.⁹⁰



Fot. 2.5 Moduł pomiaru barw przedmiotów Nema-6p⁹¹

⁸⁷ Monk Simon, „Zabawy z elektroniką. Ilustrowany przewodnik dla wynalazców i pasjonatów”, Wydawnictwo Helion 2014, str. 200-206

⁸⁸ Boxall John „Arduino, 65 praktycznych projektów”, Wydawnictwo Helion 2014, str. 281-282

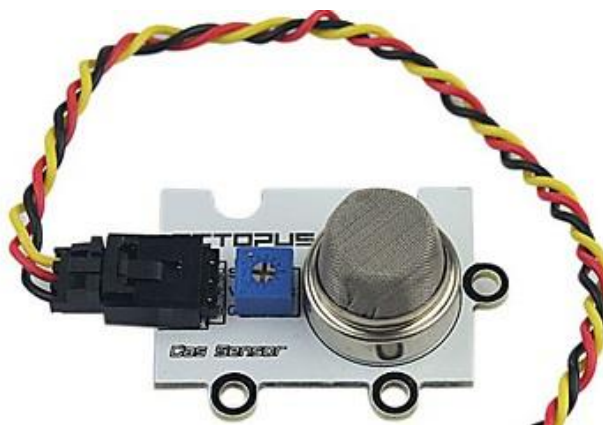
⁸⁹ www.botland.com.pl

⁹⁰ Monk Simon, „Zabawy z elektroniką. Ilustrowany przewodnik dla wynalazców i pasjonatów”, Wydawnictwo Helion 2014, str. 246-249

⁹¹ www.botland.com.pl

2.4.5 Moduł czujnika do wykrywania toksycznego gazu

Czujnik wykrywający toksyczny gaz zbudowany jest z miniaturowej grzałki i modułu katalitycznego, którego rezystancja jest ściśle zależna od stężenia metanu znajdującego się w powietrzu. Tego typu układy pobierają dużo prądu, ok 150 – 200mA, także potrzebne będzie oddzielne zasilanie. Znajdują swoje zastosowanie w wielu dziedzinach np: w przemyśle, w nauce czy w gospodarstwach domowych.⁹²



Fot. 2.6 Moduł czujnika gazu MQ5 Octopus⁹³

2.4.6 Moduł detektora drgań

Moduł detektora drgań rejestruje i określa siłę drgań powierzchni bądź elementu, na którym się on znajduje. Zbudowany jest on z cienkiego materiału piezoelektrycznego. Na jego końcu znajduje się niewielki ciężarek wprawiany w ruch w przypadku drgań powierzchni. Drgania ciężarka powodują z kolei wygięcia materiału piezoelektrycznego, co daje wahania napięcia na wyjściu detektora. Zmiany te są odczytywane przez Arduino i interpretowane, co pozwala nam na dokładne określenie współczynnika drgań. Czujniki takie stosuje się w maszynach, licznikach czy w urządzeniach alarmowych.⁹⁴

⁹² Monk Simon, „Zabawy z elektroniką. Ilustrowany przewodnik dla wynalazców i pasjonatów”, Wydawnictwo Helion 2014, str 241-243

⁹³ www.miniinthebox.com

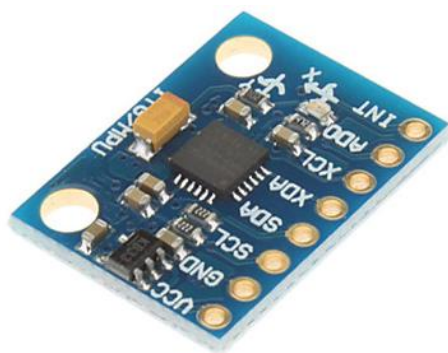
⁹⁴ Monk Simon, „Zabawy z elektroniką. Ilustrowany przewodnik dla wynalazców i pasjonatów”, Wydawnictwo Helion 2014, str 251-253



Fot. 2.7 Moduł detekcji drgań z komparatorem LM393 ⁹⁵

2.4.7 Moduł akcelerometru

Moduły akcelerometrów są zasilane napięciem 5V, czyli można je zasiląć bezpośrednio z płytki Arduino. W module jest umieszczony niewielki ciężarek, który wywiera nacisk na konkretną ściankę w przypadku jego przyspieszenia. Dla każdej osi położenia(ścianki) w przestrzeni X,Y i Z istnieją oddzielne piny, które są rejestrowane przez mikrokontroler Arduino i na podstawie ich wysokości napięcie można określić siłę nacisku ciężarku na jedną z trzech ścian. Dzięki temu schematowi można precyzyjnie określić, w którą stronę i z jakim przyspieszeniem porusza się dany obiekt. Akcelerometry są wykorzystywane jako czujniki przeciążeń maszyn, pojazdów, do określenia położenia przestrzennego urządzenia czy do określenia przyspieszenia pojazdu. ⁹⁶



Fot. 2.8 Moduł akcelerometru 6DOF mpu60 ⁹⁷

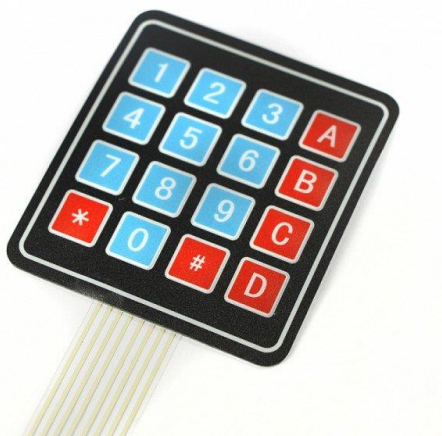
⁹⁵ www.electropark.pl

⁹⁶ Monk Simon, „Zabawy z elektroniką. Ilustrowany przewodnik dla wynalazców i pasjonatów”, Wydawnictwo Helion 2014, str 256-257

⁹⁷ www.miniimg.rightinthebox.com

2.4.8 Moduł Klawiatury numerycznej

W przypadku potrzeby pobierania jakiś danych od użytkownika wykorzystuje się klawiatury numeryczne. Składają się one z dziesięciu przycisków, z czego każde jego naciśnięcie jest rejestrowane przez oddzielny pin na Arduino. Ich działanie opiera się na umożliwieniu przepływu prądu, gdzie naciśnięcie przycisku to jego przepływ, a jego spoczynek to brak prądu. Dla Arduino została napisana specjalna biblioteka, dzięki której nie trzeba brać pod uwagę zjawiska "drżania styków" a co za tym idzie nie jest konieczne lutowanie rezystora i kondensatora przy każdym przycisku. W programie zaprogramować możemy funkcje dla naciśnięcia konkretnych przycisków lub ich konfiguracji np.: hasło zabezpieczające opcje, które będą dostępne jedynie po podaniu określonej konfiguracji cyfr, albo stworzenie prostego programatora.⁹⁸



Fot 2.9 Moduł klawiatury membranowej⁹⁹

2.4.9 Moduł systemu GPS

System GPS umożliwia precyzyjne określenie położenia urządzenia, na którym się on znajduje. Jego dokładność to nawet do kilku metrów w dowolnym miejscu na Ziemi. Wykorzystuje on do tego celu satelity okołoziemskie, rejestrujące jego położenie. Przy pomocy taniego modułu GPS jest możliwe precyzyjne określenie pozycji robota, zbudowanie dokładnego zegara, a nawet zaprojektowanie urządzenia, które rejestruje położenie obiektu i przesłanie do serwera lub zapisanie na karcie SD, a potem stworzenie mapy ruchów. Dzięki modułowi GPS jest możliwe również określenie prędkości z jaką

⁹⁸ Boxall John „Arduino, 65 praktycznych projektów” Wydawnictwo Helion 2014, str 217-221

⁹⁹ www.abc-rc.pl

porusza się dany obiekt. Aby użyć modułu należy wyposażyć się w dodatkową płytę drukowaną, która obejmuje odbiornik połączony przewodem, przyciski ON/OFF i jest na niej wiele nowych połączeń, aby nie trzeba było wszystkiego podłączać bezpośrednio do wejść/wyjść Arduino. Na płycie zawierającej odbiornik GPS jest umiejscowiony przełącznik, który aby działał prawidłowo musi być ustawiony w pozycji DLINE w pozycji UART. Jest tam również mała dioda LED informująca wykryciu danych z satelitów. Dane pobierane przez odbiornik muszą być poprzez odpowiednią bibliotekę skonwertowane na czytelne liczby odpowiadające położeniu obiektu. Istnieje również możliwość podłączenia odbiornika do wyświetlacza i tam pokazywanie współrzędnych.¹⁰⁰



Fot. 2.10 Moduł GPS NEO6MV2 ¹⁰¹

2.4.10 Moduł RTC (Zegar czasu rzeczywistego)

Moduł RTC to płytka posiadająca w sobie mały układ scalony stosowany do mierzenia czasu. Dzięki zegarowi z poziomu programowania urządzenia można zaprogramować jakąś akcję wykonywaną cyklicznie o określonej godzinie lub po prostu stworzyć zegar cyfrowy albo analogowy. Jest wiele takich modułów, które zazwyczaj różnią się jedynie precyzją pomiaru. Układu pomiaru czasu potrzebują jedynie zapasową baterie do podtrzymywania zasilania zegara. Jest to mała, płaska bateria litowa, która pozwala na wiele miesięcy czuwania bez zewnętrznego zasilania. W przypadku jej odłączenia zegar zostaje natychmiast zresetowany. Moduł zegara komunikuje się z Arduino poprzez magistrale I2C. RTC posiada cztery wyprowadzenia: pin masy, zasilania, SDA oraz SCL. Piny SDA i SCL podłączamy do pinów analogowych Arduino. ¹⁰²

¹⁰⁰ Boxall John „Arduino, 65 praktycznych projektów” Wydawnictwo Helion 2014, str 290-293

¹⁰¹ www.aliexpress.com

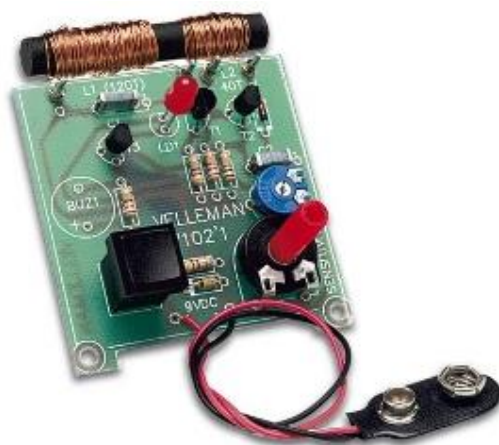
¹⁰² Monk Simon „Zabawy z elektroniką, ilustrowany przewodnik dla wynalazców i pasjonatów”, Wydawnictwo Helion 2014, str 236-237



Fot. 2.11 Moduł zegara czasu rzeczywistego I2C DS1307 ¹⁰³

2.4.11 Moduł wykrywacza pola magnetycznego

Moduł taki służy do wykrywania przedmiotów metalowych (ferromagnetycznych), które zaburzają jego pole elektromagnetyczne. Podstawowym komponentem zainstalowanym w nim jest czujnik Halla. Moduł posiada pin zasilania (5V), masy i wyjście analogowe dające znać o zarejestrowaniu zmiany pola. Robiąc projekt z wykorzystaniem tego elementu, należy go tak montować, aby czujnik był skierowany na zewnątrz. Może nam służyć również jako kompas lub obrotomierz. Działa na zasadzie porównywania różnicy potencjałów w przewodniku, który jest umieszczony w polu magnetycznym. Materiał ferromagnetyczny umieszczony w czujniku zmienia swoją rezystancję lub zwraca się pod wpływem pola magnetycznego. ¹⁰⁴



Fot. 2.12 Moduł wykrywania pola magnetycznego K7102 ¹⁰⁵

¹⁰³ www.miniinbox.com

¹⁰⁴ Monk Simon „Zabawy z elektroniką, ilustrowany przewodnik dla wynalazców i pasjonatów”, Wydawnictwo Helion 2014, str 261-262

¹⁰⁵ www.arlisklep.pl

2.4.12 Moduł mikrofonowy

Moduł mikrofonowy jest to płytką z przylutowanym mikrofonem, z jej brzegów wychodzą trzy piny – zasilanie, masa i audio. Zasilanie waha się w zależności od modułów i przylutowanych podzespołów od 2,7V do 5,5V. Taki mikrofon rejestruje zmiany ciśnienia, które są spowodowane przez rozchodzącą się falę dźwiękową. Są one tak małe że większość takich modułów posiada w sobie wbudowany wzmacniacz. Wyjście audio umożliwia właśnie odczytanie i przetworzenie przez Arduino poziomu zmian napięcia, które jest interpretowane jako częstotliwość i siła dźwięku. W przypadku ciszey napięcie na pinie audio to ok.2,5V (linia ciągła na oscyloskopie) a czym większy hałas tym można zarejestrować większe wahania napięcia w przedziale od 0V do 5V (postać sinusoidy). ¹⁰⁶



Fot. 2.13 Moduł mikrofonowy MAX3232 ¹⁰⁷

2.4.13 Moduł sieciowy

Wyróżnia się zintegrowane moduły sieciowe, które same w sobie posiadają mikrokontroler Arduino, jak i oddzielne płytki z wyposażonym kontrolerem W5100. Moduły z wbudowanym Arduino są narzędziem wygodniejszym, ładniejszym estetycznie i często mniej kosztują w porównaniu z oddzielnymi płytkami. W modułach sieciowych jest zainstalowane gniazdo Ethernet, wejście na karty pamięci i port szeregowy USB. Aby komunikować się z internetem potrzebny jest router, kabel i oczywiście odpowiednio napisany i wgrany program. Niezbędne jest również posiadania publicznego adresu IP. Przy pomocy takiego projektu, możemy zarówno wysyłać jakieś dane z platformy

¹⁰⁶ Monk Simon „Zabawy z elektroniką, ilustrowany przewodnik dla wynalazców i pasjonatów”, Wydawnictwo Helion 2014, str 268-269

¹⁰⁷ www.tme.eu

Arduino jak i również możemy sterować urządzeniami podłączonymi do niego z poziomu przeglądarki czy nawet Aplikacji na telefon komórkowy. Jednym z ciekawszych projektów wykorzystujący moduł sieciowy to zdalnie sterowana przez internet stacja monitoringu gospodarstwa domowego.¹⁰⁸



Fot. 2.14 Moduł sieciowy ENC28J60¹⁰⁹

2.4.14 Moduł komunikacji radiowej (433MHz)

Moduły radiowe RF o częstotliwości 433 MHz to tanie moduły wykorzystywane przede wszystkim przez amatorów bezprzewodowego przesyłania danych. W ich skład wchodzi nadajnik oraz odbiornik. Posiadają najczęściej trzy piny. Jeden to zasilanie 5V, drugi masa a trzeci to wyjście na antenę, którą we własnym zakresie można przylutować. Na małe odległości nie jest ona potrzebna. Do zalet modułów należą niska cena, dostępność na rynku, łatwość w obsłudze, niski pobór prądu. Jedną z większych wad modułów radiowych jest przede wszystkim brak mechanizmów, które służą sprawdzaniu błędów podczas transmisji. Nie ma w tych modułach możliwości weryfikacji poprawności otrzymywanych danych, dlatego tego typu moduły nadają się tylko do najprostszych zastosowań.¹¹⁰

¹⁰⁸ Boxall John „Arduino, 65 praktycznych projektów”, Wydawnictwo Helion 2014, str 379-381

¹⁰⁹ www.gameplusedu.com

¹¹⁰ Boxall John „Arduino, 65 praktycznych projektów”, Wydawnictwo Helion 2014, str 304-305



Fot. 2.15 Nadajnik i odbiornik modułu komunikacji radiowej model 03100277 ¹¹¹

2.4.15 Moduł XBee

W przypadku potrzeby wysyłania i odbierania wiadomości na dłuższe odległości z korekcją błędów stosowany jest moduł XBee. Jest on nieporównywalnie wydajniejszy od zwykłych modułów RF. XBee wysyła i odbiera dane szeregowo. Także w przypadku bardziej rozbudowanego projektu dane z mikrokontrolera mogą być wysyłane do wielu urządzeń jednocześnie. Jeżeli chcemy komunikować się z komputerem musimy użyć dodatkowej płytki o nazwie XBee Explorer. Moduły XBee wymagają stosowania dodatkowych bibliotek, działają one jak proste mosty danych szeregowych wysyłających i odbierających dane za pośrednictwem linii szeregowych systemu Arduino. Jedną z wad układów jest ich wysoka cena. ¹¹²



Fot. 2.16 Moduł XBee ¹¹³

¹¹¹ www.aliexpress.com

¹¹² Boxall John „Arduino, 65 praktycznych projektów”, Wydawnictwo Helion 2014, str 310-311

¹¹³ www.engadget.com

2.5 Programowanie Platformy

2.5.1 Środowisko programistyczne (IDE)

Producenci na swoich stronach internetowych często umieszczają darmowe środowiska programistyczne (IDE), którą są kompatybilne tylko z ich mikrokontrolerami. Największą aktualnie popularnością cieszą się środowiska dwóch producentów mikrokontrolerów, mianowicie: Atmel i Microchip. Dodatkowo istnieją kompilatory umożliwiające zaprogramowanie różnych mikroprocesorów tych bardziej i mniej znanych, jednak za użytkownię trzeba zapłacić. Środowisko programistyczne, które jest używane do programowania Arduino jest dostępne na systemy operacyjne Windows, Linuks a nawet na MacOS firmy Apple. Jest one do złudzenia podobne do notatnika, jest proste i funkcjonalne. Jego okno składa się z obszaru poleceń, tekstu i komunikatów. Aby zacząć programowanie dowolnej wersji Arduino jest potrzebna jedynie płytką z mikrokontrolerem, kabel USB i komputer z zainstalowanym środowiskiem.

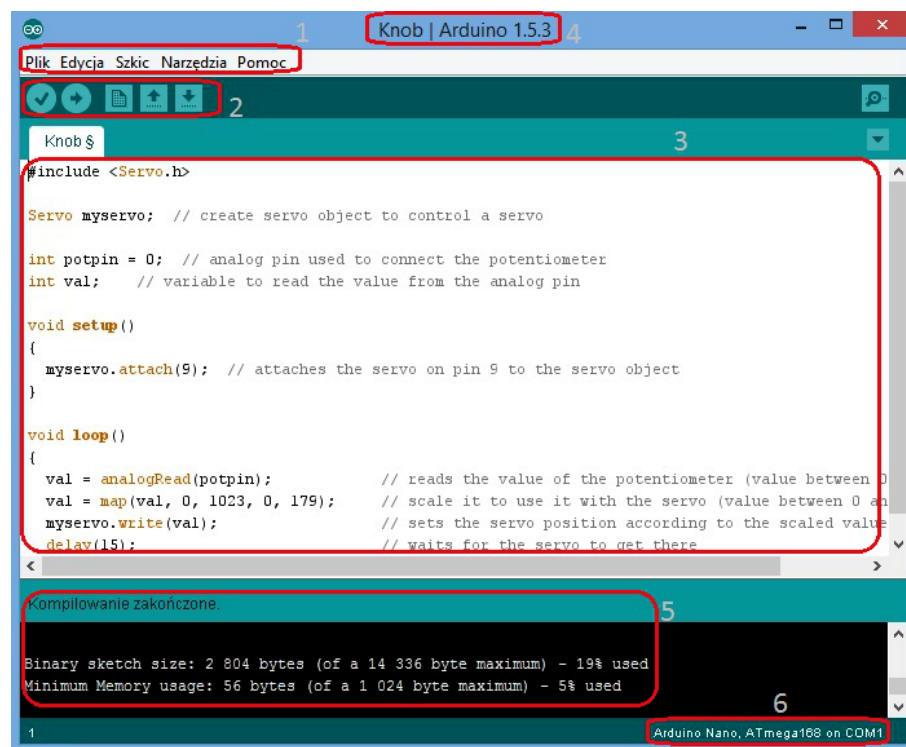
Na górze okna jest umieszczone główne menu [nr.1 fot. 2.17]. Korzystając z menu „Plik“ można tworzyć nowe szkice, otwierać już istniejące i przede wszystkim zapisywać stworzone programy. W tej zakładce istnieje również możliwość wydrukowania kodu źródłowego. Tutaj skorzystać też można z wyboru kilkudziesięciu przykładowych programów do obsługi różnych modułów, które są najczęściej dostarczane przez producenta konkretnego podzespołu m.in obsługi komunikacji radiowej, wi-fi, serwomechanizmów, czujnika ruchu czy obsługi kart pamięci. Dzięki opcji „wgraj“ następuje kompilacja i wgrywanie programu do mikrokontrolera poprzez port szeregowy a przy wyborze „wgraj korzystając z programatora“ szkic jest wgrywany poprzez programator. Przydaje się to szczególnie wtedy kiedy jest uszkodzone wejście USB na Arduino lub w przypadku takich wersji platform jak Mini czy LilyPad, które nie posiadają wyprowadzeń komunikacji szeregowej. Do zmiany domyślnych ustawień środowiska jest przeznaczona opcja „Preferencje“, gdzie przede wszystkim autorzy skupili się na możliwości edycji wizualnych ustawień i języka IDE. Drugim z kolei menu jest „Edycja“ gdzie można skorzystać ze standardowych poleceń wycinania, kopiowania, cofania itp. Interesującą pozycją w tej zakładce jest opcja „Kopia dla forum“ i „Kopia jako HTML“. Pierwsza z nich kopiuje cały kod źródłowy do schowka i taguje go, dzięki czemu tą zawartość od razu można przekopiować na forum internetowym. Wówczas będzie on odpowiednio wyróżniony. Druga możliwość pozwala na przekształcenie danego szkicu

w kod HTML i szybką możliwość umieszczenia kodu na własnej stronie internetowej. W zakładce „Szkic“ można zweryfikować kod w celu sprawdzenia poprawności napisanego programu. Tutaj również jest możliwość podejrzenia folderu danego programu, dodanie pliku a także wybór i dołączenie pliku nagłówkowego domyślnej biblioteki wbudowanej w środowisko. Menu „Narzędzia“ zawiera polecenia umożliwiające wybór wersji płytki dołączonej do komputera i nazwę portu, pod który jest ona podłączona. Tutaj jest do wyboru wersja procesora zainstalowanego na płycie. Opcja „Programator“ daje możliwość wyboru podłączonego programatora a „Wypal bootloader“ wrzuca nowy bootloader na procesor w przypadku jego uszkodzenia czy niepoprawnej wersji. Tutaj znajduje się taka opcja jak monitor szeregowy, który pozwala na obustronną komunikację komputera z Arduino, tzn. dzięki czemu mogą być pobierane dane z płytki bądź do niej wysyłane. Ostatnia zakładka to „Pomoc“, gdzie można uzyskać informacje na temat zainstalowanej wersji IDE, skorzystać z samouczka, bądź odwiedzić oficjalną stronę Arduino i jej forum dyskusyjne. Autorzy kompilatora umieścili tu również link do najczęściej zadawanych pytań co do problemów i podstawowych informacji o ich produktach. Poniżej elementów menu jest umieszczonych kilka ikon [nr.2 fot. 2.17]. Są to skróty do najczęściej wykorzystywanych funkcji aplikacji takich jak weryfikacja szkicu, jego wgranie do pamięci mikrokontrolera, nowy plik czy wczytanie już istniejącego projektu. Głównym polem aplikacji jest obszar tekstu, gdzie następuje pisanie programu [nr.3 fot. 2.17]. W obszarze komunikatów widoczne są wszelkie informacje dotyczące poprawności kompilacji kodu czy aktualizacji oprogramowania [nr.5 fot. 2.17]. W przypadku błędów kompilacji w tym rejonie ukazane będą błędy w kodzie, informacja o nich a także wiersz w którym one występują aby łatwiej można było je zlokalizować i poprawić. Jeżeli kod zostanie poprawnie skompilowany zwrótna informacja będzie zawierać wielkość zajmowanego programu w pamięci mikrokontrolera i napis o poprawności napisanego kodu. Tutaj są też informacje o rodzaju płytki podłączonej do konkretnego portu [nr.6 fot. 2.17]. Na samej górze jest informacja o wersji aplikacji [nr.4 fot. 2.17].^{114 115 116}

¹¹⁴ Borkowski Paweł „Przygoda z elektroniką” wyd. Helion 2013, str. 373-374

¹¹⁵ Monk Simon „Zabawy z elektroniką. Ilustrowany przewodnik dla wynalazców i pasjonatów” Wydawnictwo Helion 2014 str 149-152

¹¹⁶ Boxall John „Arduino, 65 praktycznych projektów” Wydawnictwo Helion 2014, str 42-50



Rys. 2.17 Środowisko programistyczne

2.5.2 Język programowania

Najczęściej mikrokontrolery są programowane w języku C lub w jego modyfikacjach. Istnieją też inne języki do tego celu takie jak Java, Python, Bascom czy nawet Pascal. Często też programuje się mikrokontrolery w assemblerze czyli języku niskiego poziomu. W celu zaprogramowania Arduino stosuje się język C, a właściwie jego modyfikację nazywaną językiem „Wiring”. Każdy szkic pisanego programu musi mieć pewne elementy, dzięki którym może on być poprawnie skompilowany. Na samym początku programu załączone zostają pliki nagłówkowe, czyli biblioteki dzięki którym możliwe jest działanie zastosowanych w programie funkcji. Funkcja „setup” jest wykonywana tylko raz przez mikrokontroler i służy np.: do ustawienia pracy pinów płytki. Główną funkcją programu wykonywaną wielokrotnie jest pętla „loop”. W tym właśnie miejscu wykonywane są instrukcje procesora aż do wyłączenia zasilania bądź naciśnięcia przycisku reset na płytce. Jest to pętla, która może być wykonywana w nieskończoność. Jedynie po wyłączeniu zasilania mikrokontrolera przestaje ona się wykonywać.^{117 118}

¹¹⁷ Borkowski Paweł „Przygoda z elektroniką” wyd. Helion 2013, str. 372-374

¹¹⁸ Monk Simon „Arduino dla początkujących, podstawy i szkice”, wyd. Helion 2014, str. 35-36

2.5.3 Kompilacja – interpretacja na kod maszynowy

W czasie kompilacji kodu następuje wiele skomplikowanych przekształceń dążących do tego, aby instrukcje zapisane w języku C zostały poprawnie zinterpretowane przez mikrokontroler. Mikrokontroler odczytuje jedynie kod maszynowy czyli cały program zostaje przetworzony na ciąg zer i jedynek, gdzie zero to brak prądu (tranzystor nie przewodzi prądu) a jedynka to jego obecność (tranzystor w stanie nasycenia). W skrócie kompilator przerabia kod programu napisany przez użytkownika wysokiego poziomu na kod binarny, który jest umieszczany w pamięci mikrokontrolera i stamtąd pobierany i wykonywany przez mikrokontroler. Tylko taka „surowa“ postać może być wykonana przez miliony tranzystorów znajdujących się we wnętrzu struktury półprzewodnikowej.

119

¹¹⁹ Tamże, str. 36-37

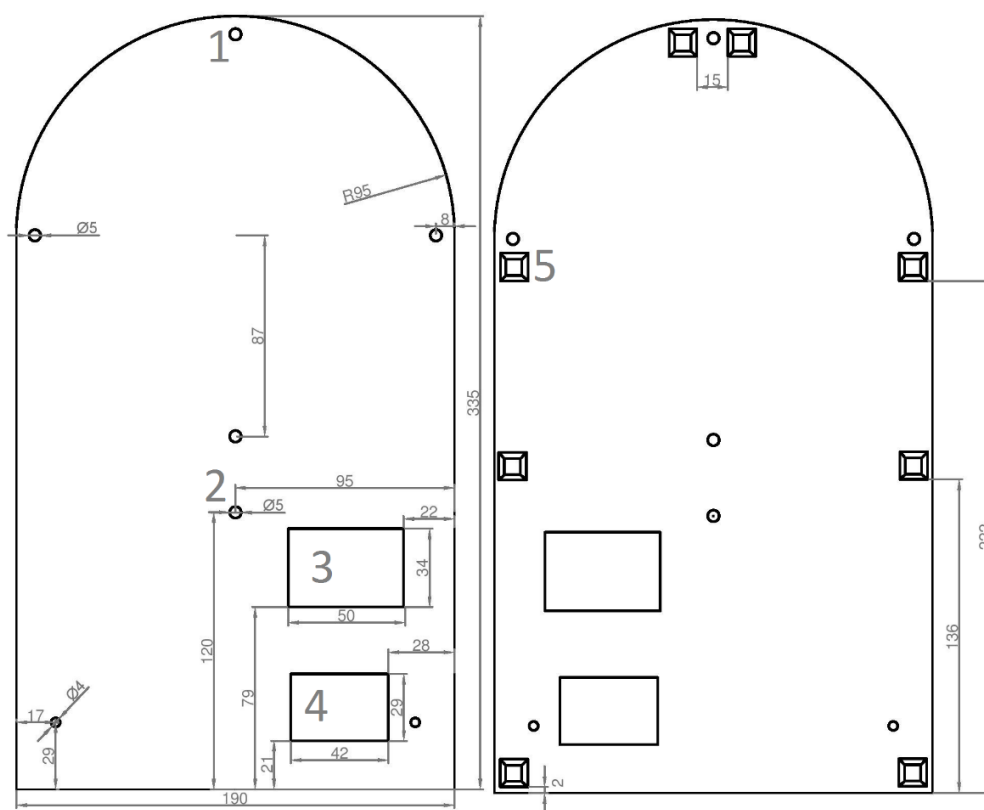
Część II

Rozdział 1 Mechanika Manipulatora

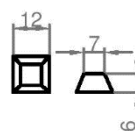
1.1 Budowa manipulatora

1.1.1 Drewniana podstawa

Projekt manipulatora wraz z elektronicznym modułem sterowania jest umiejscowiony na drewnianej podstawie, która powstała ze sklejki liściastej o grubości 10mm. Drewno zostało zastosowane ze względu na swoją lekkość, cenę i łatwość w obróbce. Przy pomocy podstawowych maszyn i narzędzi można było dowolnie kształtować jego powierzchnie, mianowicie wiercić, ciąć, frezować czy wygładzać papierem ściernym. Jeden brzeg deski został zaokrąglony aby na nim mogła zostać umieszczona ruchoma platforma o kształcie okręgu. Dzięki temu zabiegowi, można pozbyć się zbędnego materiału, który wystawałby poza wspomnianą platformę. W miejscu gdzie ma być umieszczona ruchoma platforma zostały przewiercone cztery otwory na śruby, aby połączenie drewna i stali nie posiadało żadnych luzów, ponieważ od tych mocowań zależy stabilność całego ramienia. Na przeciwległym brzegu sklejki istnieją trzy otwory tworzące kształt trójkąta, służą one do przymocowania płyty prototypowej z całą elektroniką robota. Płyta ta jest w pełni modyfikowalna czyli można odłączyć ją od projektu i dokonać zmian, bądź napraw. Dwa otwory w o prostokątnym kształcie zostały wyfrezowane, aby moduł pomiaru napięcia przetwornicy i włącznik zasilania mogły się w pełni zmieścić w podstawie, gdyż są one razem z wyprowadzeniami dość wysokie, a nie mogą one zbyt wystawać ponad płytę montażową, ze względów czysto estetycznych. Na odwrocie podstawy jest przyklejonych osiem gumowych nóżek, które zostały umieszczone w takiej konfiguracji aby zapewnić manipulatorowi wysoką stabilność podczas jego pracy.



Rys. 1.1 Wymiary drewnianej podstawy



Rys. 1.2 Wymiary gumowej nóżki



Fot. 1.1 Sklejka liściasta z wyszczególnionymi elementami

Spis elementów drewnianej podstawy

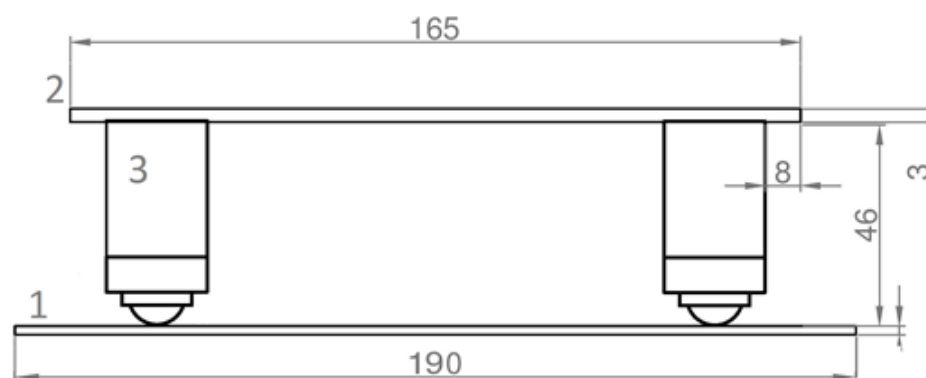
1. Otwór montażowy stalowej podstawy platformy
2. Otwór montażowy modułu elektronicznego
3. Przestrzeń na miernik napięcia
4. Przestrzeń na włącznik
5. Gumowa nóżka
6. Przestrzenie na nakrętki mocowań serwomechanizmu
7. Miejsce na instalację podstawy ruchomej platformy



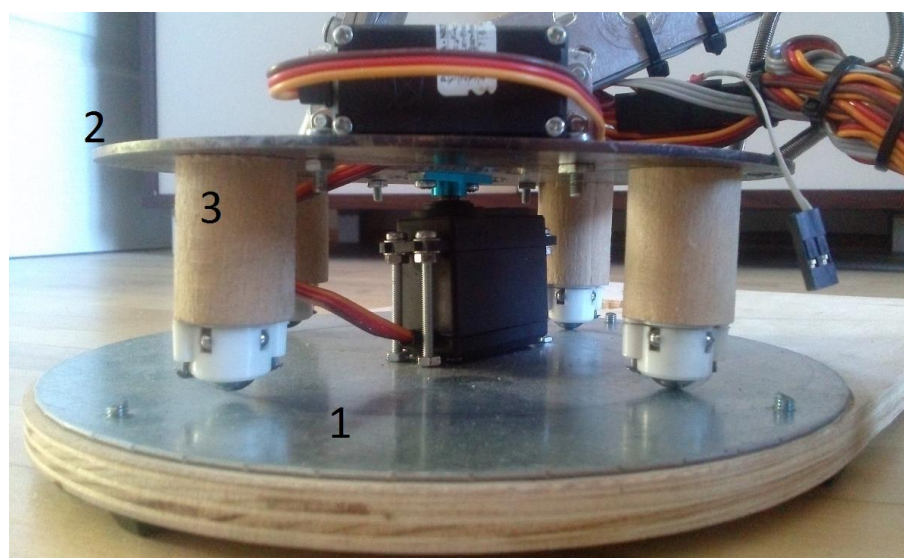
Fot. 1.2 Widok podstawy pod spodem – stabilizację nadają samoprzylepne nóżki

1.1.2 Platforma obrotowa

Cała platforma obrotowa zbudowana jest z dwóch elementów współgrających ze sobą, mianowicie z nieruchomej podstawy platformy oraz obrotowej jej części. Biorąc pod uwagę siły jakie na nią działają podczas obrotów i wychyleń członów jest ona zbudowana ze stalowej blachy, która charakteryzuje się odpowiednią ciężkością i wytrzymałością. Niestety bardzo trudnym zadaniem jest frezowanie lub wiercenie w niej, ponieważ nie jest ona tak plastycznym materiałem jak np.: aluminium.



Rys. 1.2 Wymiary ukazanej z boku platformy obrotowej



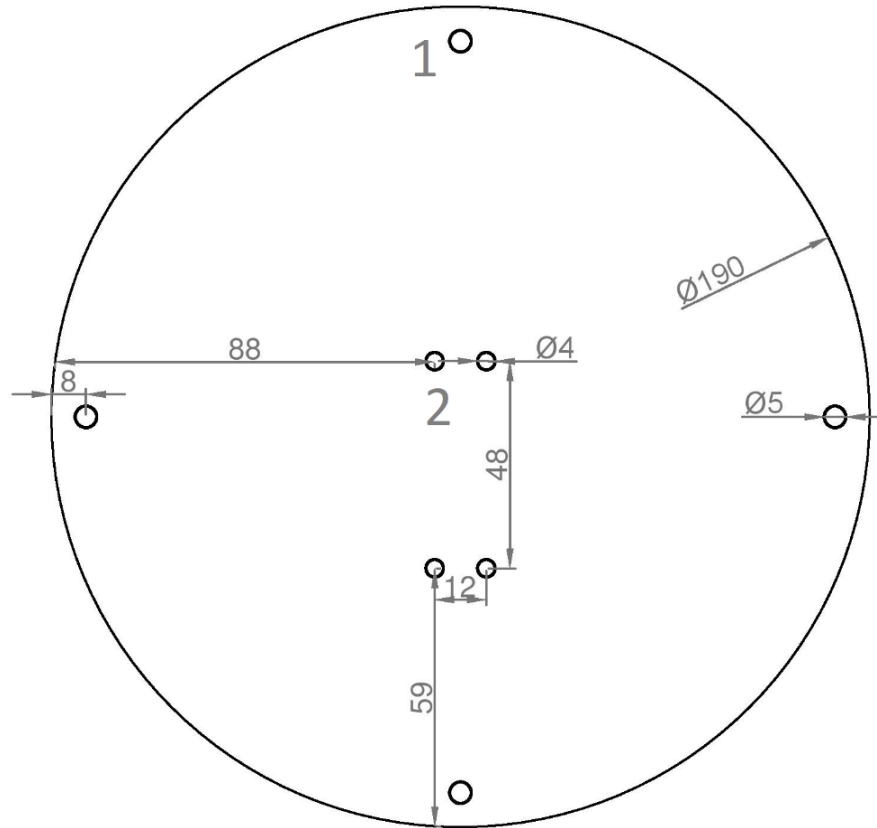
Fot. 1.3 Platforma obrotowa z wyróżnionymi elementami

Spis elementów platformy obrotowej

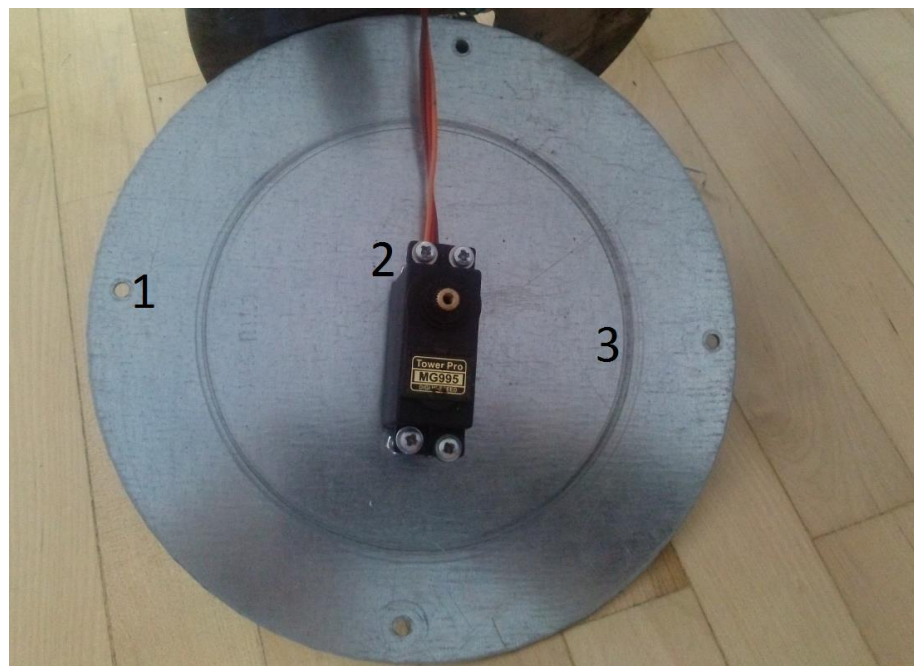
1. Nieruchoma podstawa
2. Ruchoma część platformy
3. Wspornik

Nieruchoma podstawa platformy połączona jest śrubami ze sklejka. Jak każdy element z metali jest on średnicy 2mm. Na jej powierzchni porusza się obrotowa jej część poprzez wsporniki. Można zauważyć wyryty ślad w kształcie koła co jest torem, gdzie wykonują

one swój ruch. Na samym środku okręgu wywiercone są cztery otwory, które służą do instalacji serwomechanizmu czterema długimi śrubami.



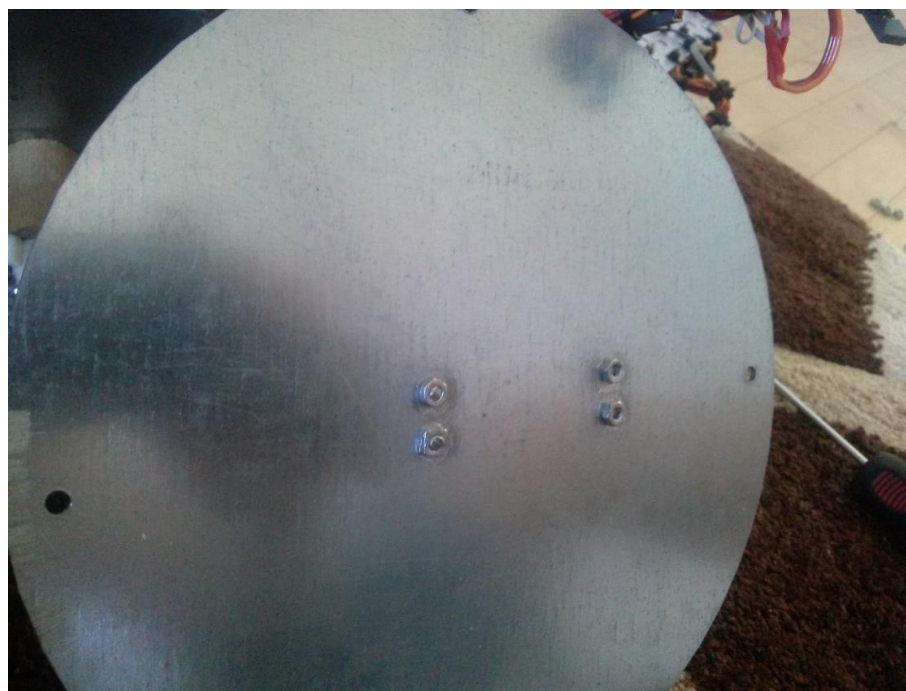
Rys. 1.3 Wymiary nieruchomej platformy obrotowej



Fot. 1.4 Nieruchoma podstawa platformy z wyszczególnionymi elementami

Spis elementów nieruchomej platformy obrotowej

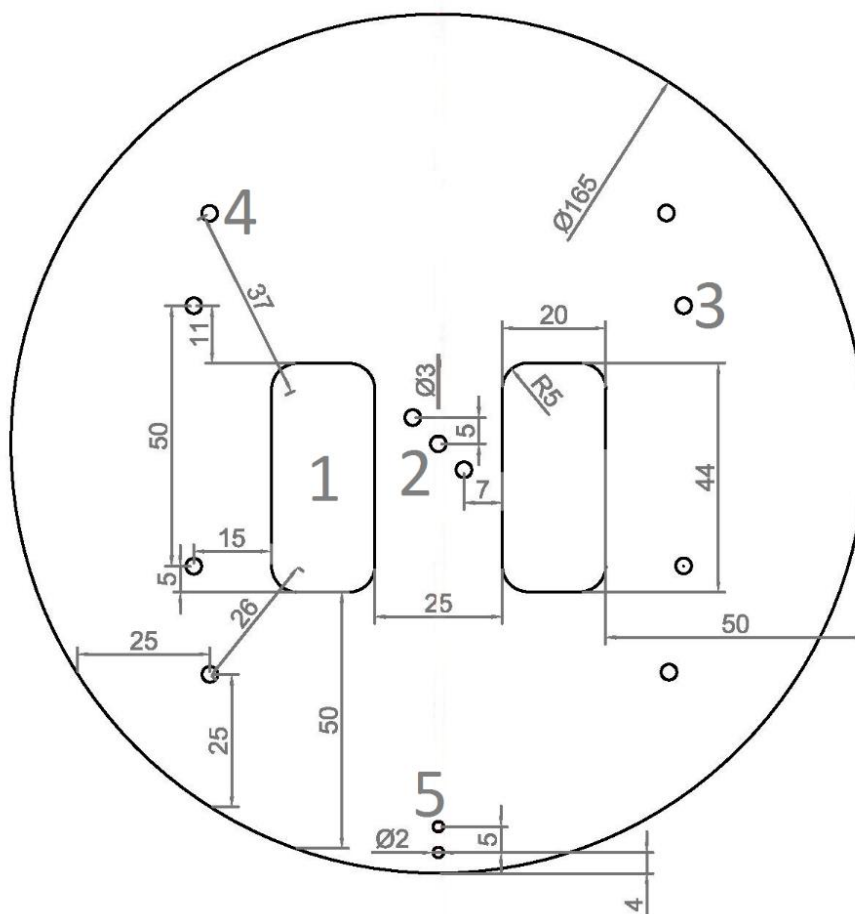
1. Otwory na śruby łączące platformę i sklejkę
2. Otwory montażowe serwomechanizmu
3. Tor ruchu wsporników



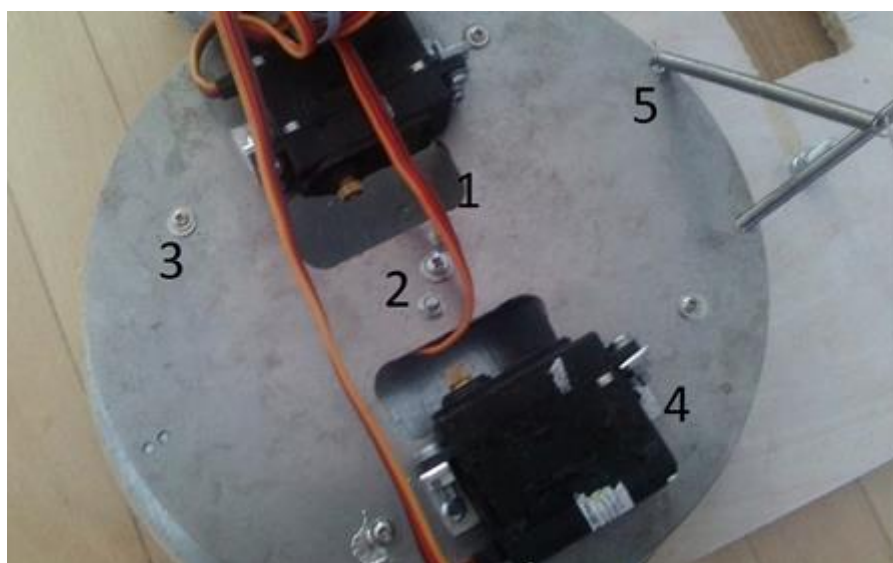
Fot 1.5 Druga strona nieruchomej podstawy – widoczne śruby montażu silnika

Ruchoma część platformy jest o 2.5cm mniejsza niż jej podstawa. Jest ona od spodu wyposażona w cztery wsporniki umożliwiające jej ruch obrotowy. Na jej przedniej powierzchni wyfrezowane są dwa owalne otwory, dzięki którym końce elementów członu 1 są w stanie poruszać się, wnikając w utworzone przez nie przestrzenie. Na samym środku stalowego okręgu mają swoje miejsce trzy otwory służące do przykręcenia orczyka znajdującego się pod spodem. Cztery otwory umieszczone blisko krawędzi platformy służą do przykręcenia wsporników. Na jeden wspornik przypada tylko jeden wkręt, mimo to podczas nawet szybkich ruchów istnieje małe prawdopodobieństwo oderwania się któregoś z nich. Otwory umieszczone po bokach platformy, tuż za owalną przestrzenią służą do przymocowania dwóch serwomechanizmów sterujących ruchami członu 1. Dwa małe otwory mieszczące na dolnym odcinku okręgu, służą do przyłączenia dwóch sprężyn wspomagających. Sprężyny są przytwierdzone do ramion członu 1 i ich celem jest wspomaganie podnoszenia cięższych przedmiotów poprzez magazynowanie energii potencjalnej. Energia ta zostaje zmagazynowana w sprężynie

podczas pochylenia się ramienia i zostaje ona oddana w trakcie podnoszenia jakiegoś przedmiotu.



Rys. 1.4 Wymiary ruchomej części platformy



Fot 1.6 Ruchoma część z wyszczególnionymi elementami

Spis elementów ruchomej części platformy

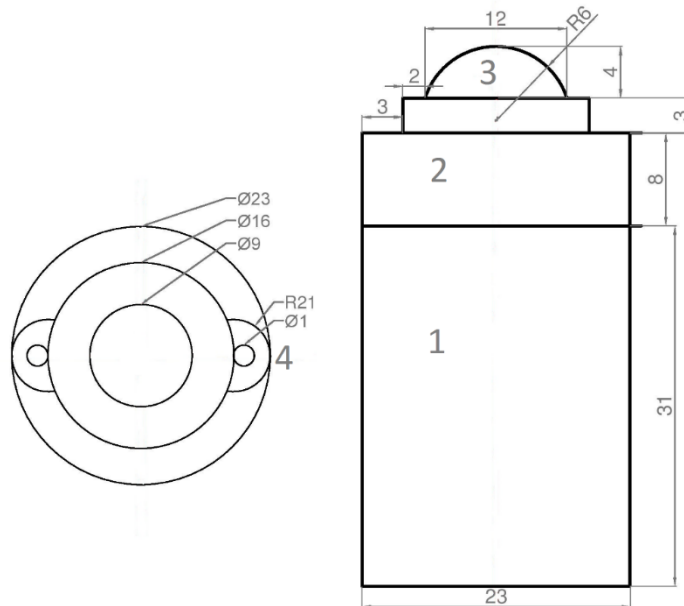
1. Owalna przestrzeń członu 1
2. Otwory montażowe orczyka
3. Otwory montażowe mocowań serwomechanizmów
4. Otwory montażowe wsporników
5. Otwory montażowe zahaczeń sprężyn



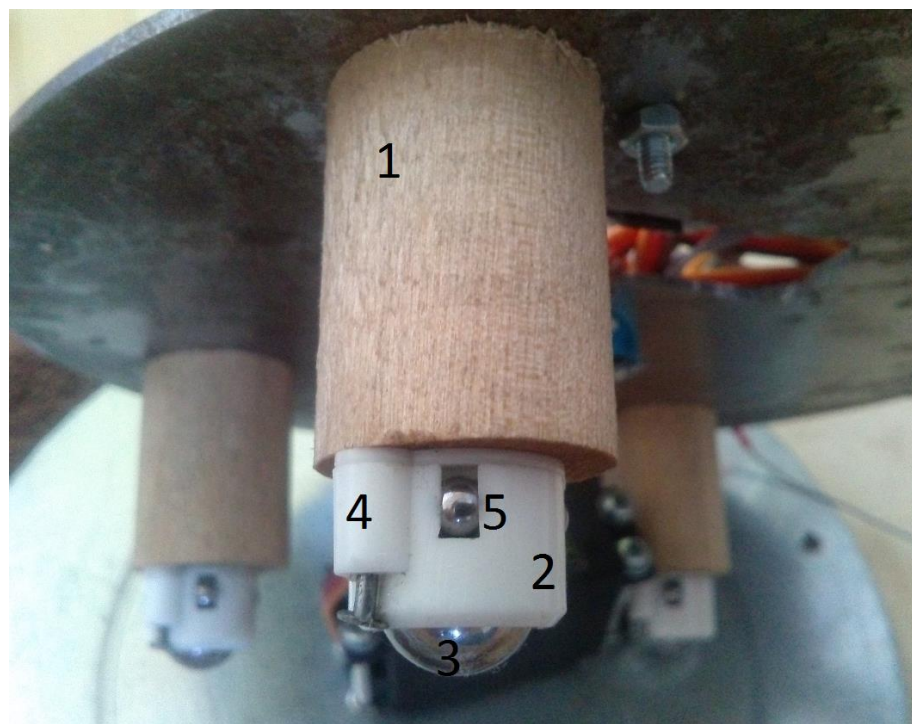
Fot. 1.7 Spód ruchomej części platformy

Wsporniki są elementami odpowiadającymi za płynny ruch platformy po jej podstawie. Są ich cztery sztuki co zapewnia dobrą stabilizację podczas jej ruchów i manipulacji cięższych przedmiotów przy maksymalnych wychyleniach ramion. Wspornik przyjmuje kształt walca i jest zbudowany z dwóch części mianowicie z drewnianej podpory i plastikowego koszyeczka utrzymującego metalowe kulki. Podpora została wytoczona z drewna brzoźowego i jej budowa pozwala na użycie długiego wkrętu na przymocowanie do ruchomej platformy. Plastikowy koszyeczek jest przybity do podpory dwoma małymi gwoździami. W jego środku znajduje się większych rozmiarów, wpół wystająca, metalowa kulka, która jest toczona po podstawie a otaczają ją cztery mniejsze, które podobnie jak w łożysku minimalizują tarcie. Dzięki takiej budowie, wspornik porusza się

bardzo cicho, lecz niezbędna jest jego okresowa konserwacja olejem wazelinowym. Taki olej idealnie też nadaje się do smarowania metalowych trybów wewnątrz serwomechanizmu.



Rys. 1.5 Wymiary wspornika



Fot 1.8 Wspornik z wyszczególnionymi elementami

Spis elementów wspornika

1. Drewniana podpora
2. Plastikowy koszyczek
3. Kula obrotowa
4. Otwór montażowy koszyczka
5. Kula pomocnicza



Fot 1.9 Wyrzeźbiony w stali tor obrotu wsporników



Fot 1.10 Koszyczek wraz z zawartością

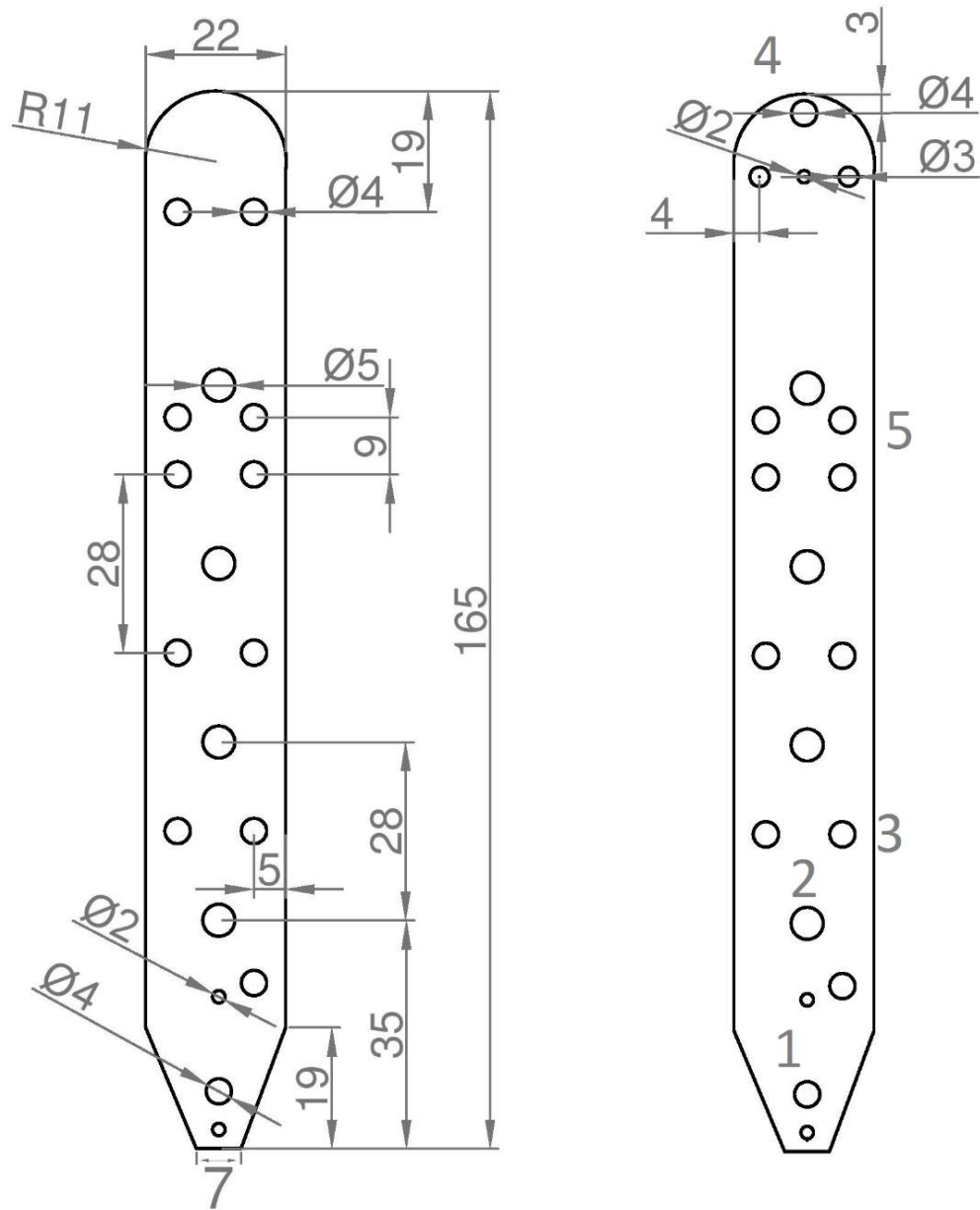


Fot 1.11 Olej do smarowania kuli wspornika i trybów serwomechanizmów

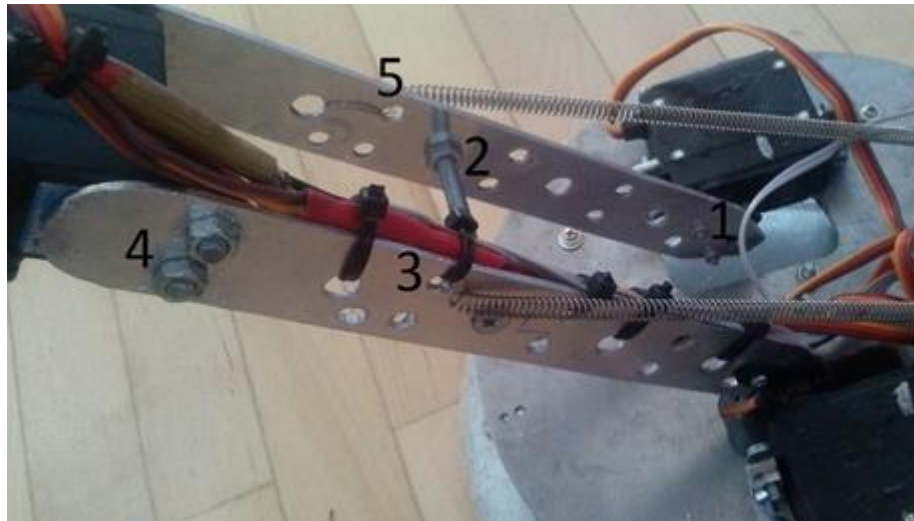
1.1.3 Człon 1

Człon 1 zbudowany jest z dwóch niemal identycznych kawałków blach aluminium. Różnią się tylko między sobą otworami służącymi do mocowania serwomechanizmu napędzającego przegub 2. Pierwszy koniec blachy został spiczasto zakończony, ponieważ dzięki temu mieści się on w wyfrezowanej przestrzeni platformy obrotowej i pełny ruch nie powoduje zahaczenia o jej krawędzie. W tym miejscu też jest umieszczonych kilka otworów, służących do umocowania orczyka. Większe otwory biegnące po osi symetrii blachy służą do umieszczenia w nich długich śrub. Mają one na celu połączenie w jedną całość tych dwóch aluminiowych elementów. Stanowią one swego rodzaju łącznik i dzięki temu zabiegowi można ustalić odpowiednią, dzielącą ich szerokość i sprawić żeby nie ulegała ona zmianie podczas pracy manipulatora. Mniejsze otwory na brzegach członu służą do przymocowania biegnących wzdłuż nich przewodów serwomechanizmów i diody mocy poprzez paski montażowe. Dzięki nim kable są spięte po jednej stronie członu i jest zmniejszone do minimum ryzyko ich zerwania. Jako

jedyny, człon ten jest obsługiwany przez dwa silne serwomechanizmy, ponieważ musi on podnosić resztę członów jak i samego siebie. Dlatego też mocowane są do niego sprężyny pomocnicze. Jest on najdłuższym elementem zastosowanym w projekcie.



Rys. 1.6 Wymiary lewej i prawej strony członu 1



Fot 1.12 Człon 1 z wyszczególnionymi elementami

Spis elementów członu 1

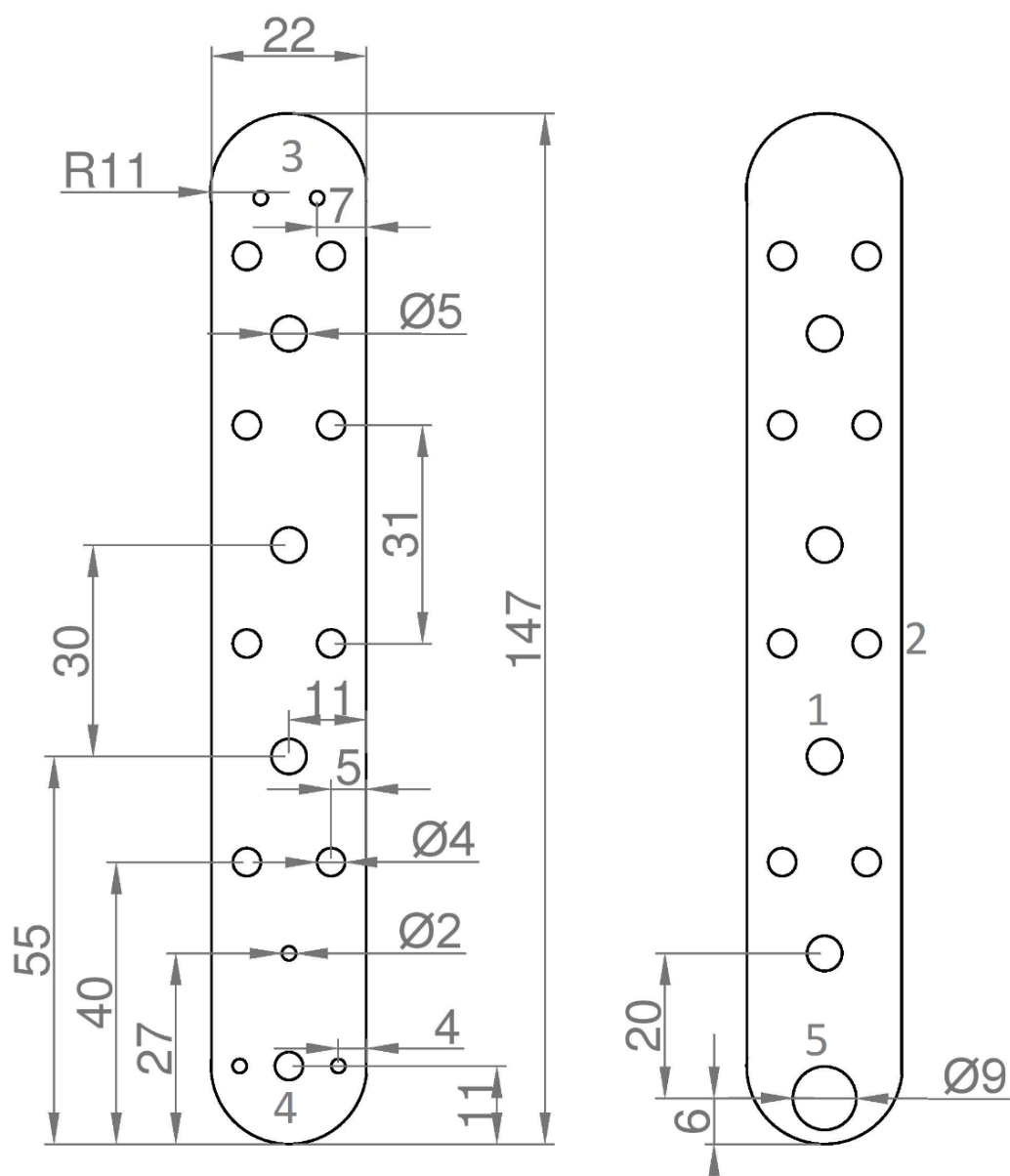
1. Otwory montażowe orczyka
2. Otwory montażowe śrub połączeniowych
3. Otwory zaczepienia pasków montażowych
4. Otwory montażowe serwomechanizmu członu 2
5. Otwory do przymocowania sprężyn wspomagających



Fot. 1.13 Prawa strona członu 1

1.1.4 Człon 2

Człon ten jest nieco mniejszy niż jego poprzednik. Jest wprawiany w ruch przy pomocy pojedynczego cyfrowego serwomechanizmu. Podobnie jak człon 1 posiada otwory służące do przykręcenia długich śrub stabilizacyjnych a na jego krawędzi znaleźć można też otwory do umieszczenia pasków montażowych. Nie zabrakło też miejsca na zainstalowanie serwomechanizmu napędzającego człon 3. W przeciwieństwie do poprzedniego członu, z obydwu stron blachy aluminiowe są zaokrąglone.



Rys. 1.7 Wymiary lewej i prawej strony członu 2



Fot. 1.14 Człon 2 z wyszczególnionymi elementami

Spis elementów członu 2

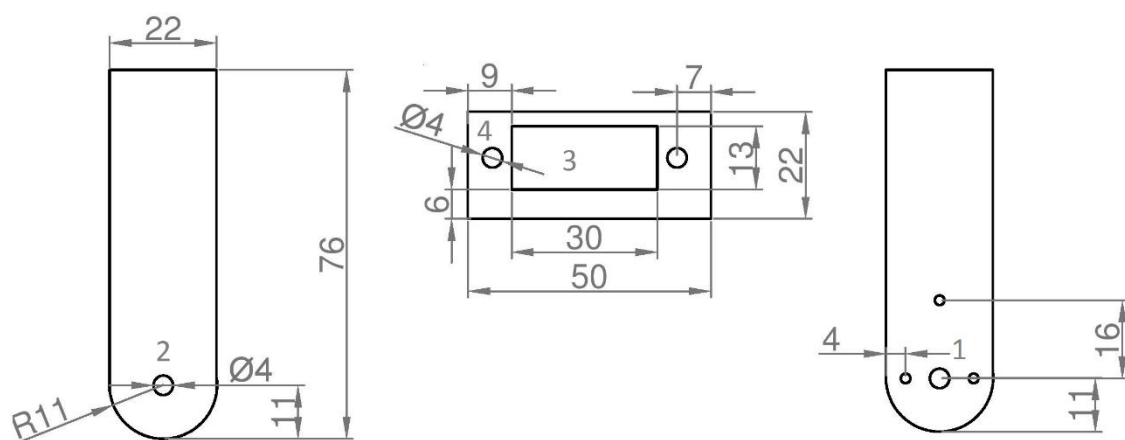
1. Otwory montażowe śrub połączeniowych
2. Otwory zaczepienia pasków montażowych
3. Otwory montażowe serwomechanizmu członu 3
4. Otwory montażowe orczyka
5. Otwór stabilizujący człon



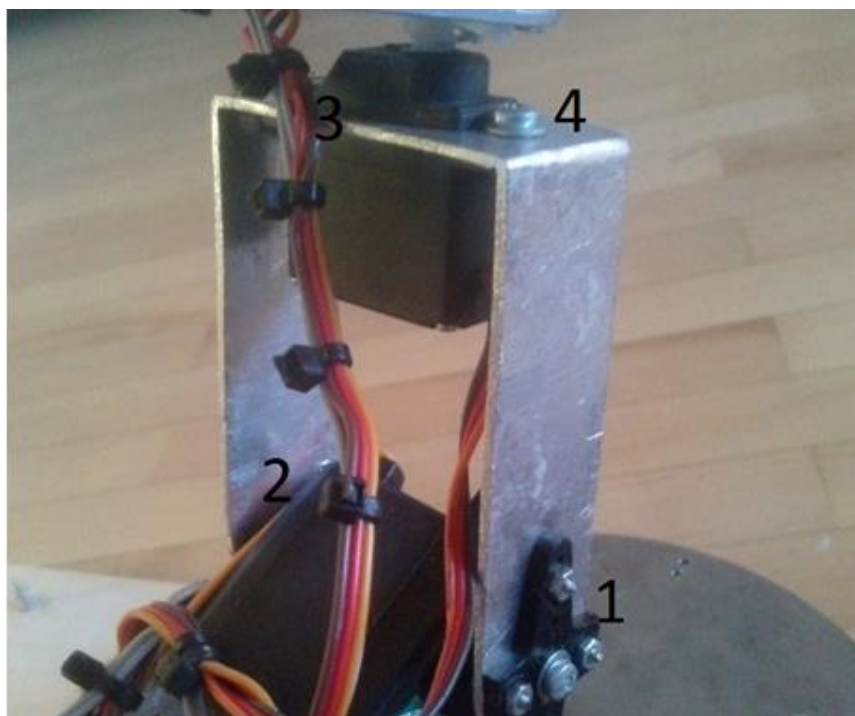
Fot. 1.15 Prawa strona członu 2

1.1.5 Człon 3

Człon 3 jest najkrótszym ramieniem zastosowanym w projekcie. Jest on zbudowany z pojedynczej aluminiowej blachy, która została odpowiednio ukształtowana manualnie przy pomocy imadła i ciężkiego młota. Na jego szczycie jest umieszczony chwytak. Ten człon nie posiada już otworów na śruby stabilizujące i na paski montażowe, ponieważ jest dość krótki i dzięki zastosowaniu jednej blachy bardzo stabilny. Dodatkowo kable, które przechodzą przez ten przegub muszą być bardzo luźne, ponieważ przemieszczają się po całej jego powierzchni podczas obrotów chwytaka i gdyby były przymocowane do jego konstrukcji uniemożliwiły by swobodny jego ruch. Widok z góry przedstawia prostokątny, wyfrezowany otwór, w którym zamocowany serwomechanizm sterujący obrotem chwytaka. Ze względu na ograniczone możliwości powiększenia tej przestrzeni i niewielkie siły działające podczas obrotu chwytaka zastosowany został serwomechanizm w wersji medium o niewielkich rozmiarach. Został on tak przymocowany, że ponad powierzchnie blachy wystaje jedynie niewielki jego fragment.



Rys. 1.8 Wymiary członu 3



Fot. 1.16 Człon 3 z wyszczególnionymi elementami

Spis elementów członu 3

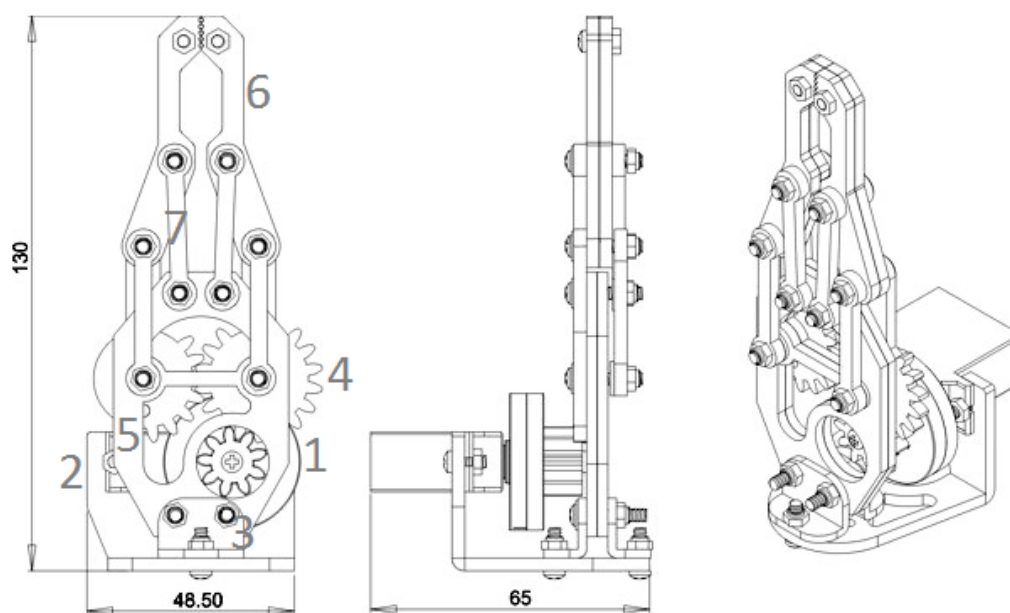
1. Otwory montażowe orczyka
2. Otwór stabilizujący człon
3. Otwór na serwomechanizm
4. Otwory montażowe serwomechanizm



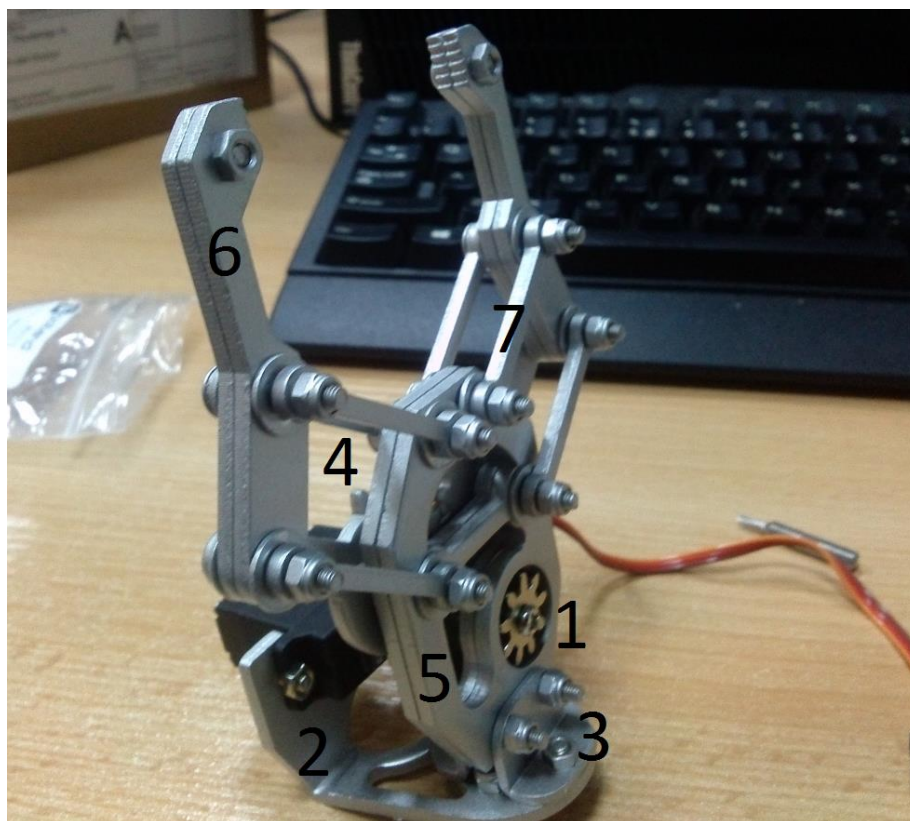
Fot. 1.17 Widok z góry członu 3

1.1.6 Chwytek

Chwytek jako ostatni element, nazywany również członem 4 służy do chwytania i przenoszenia przedmiotów o zróżnicowanym kształcie. Jest to rodzaj elementu ze sztywnymi końcówkami chwytynymi. Do jego obsługi potrzeba dwóch mniejszych silników typu medium. Jeden z nich przeznaczony jest do jego obrotu i zainstalowany jest na członie 3 i jednocześnie jego oś stanowi miejsce instalacji chwytaka. Z racji niewielkich sił działających na niego podczas obrotu, tryby zainstalowane w nim są zbudowane z plastiku. Drugim silnikiem jest ten, który porusza szczękami chwytaka. Zainstalowany jest on bezpośrednio na nim i poprzez metalowy, dużych rozmiarów tryb siła momentu obrotowego przekazywana jest pomocniczym trybom szczęk. Tryby te są połączone ze szczękami, które poprzez swoje odpowiednie ukształtowanie odchylają się w przód i w tył co odpowiada zaciskaniu lub ich rozwieraniu. Już ten rodzaj serwomechanizmu posiada metalowe tryby, ponieważ siła zacisku może być tak duża że plastikowe ulegają natychmiastowemu uszkodzeniu. Na szczękach chwytaka istnieje możliwość nałożenia gumowych nakładek, które w czasie manipulacji delikatnych, śliskich i kruchych przedmiotów zapewniają im lepszy uchwyt.



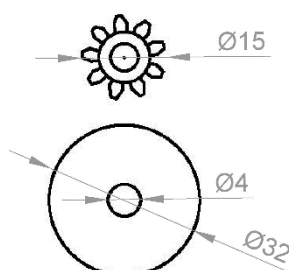
Rys. 1.9 Wymiary chwytaka



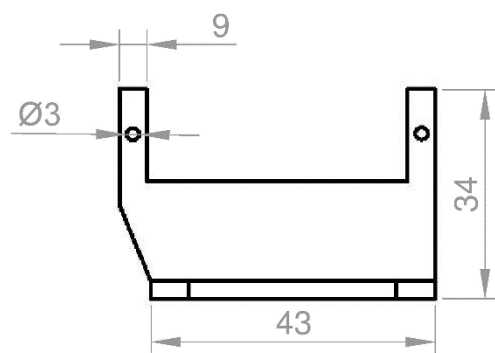
Fot. 1.18 Chwytnik z wyszczególnionymi elementami

Spis elementów chwytnika

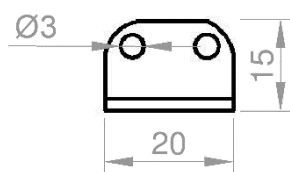
1. Metalowy tryb
2. Podstawa chwytnika
3. Łącznik podstawy z chwytnikiem
4. Tryby przekazujące ruch szczękom
5. Korpus chwytnika
6. Szczęki
7. Łącznik szczęk



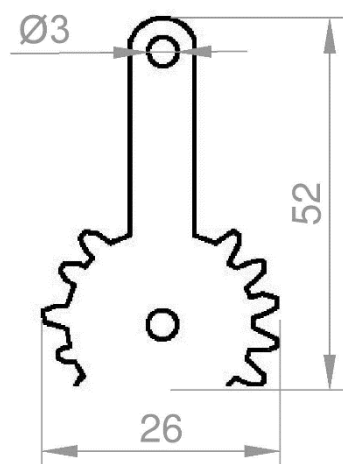
Rys. 1.10 Metalowy tryb



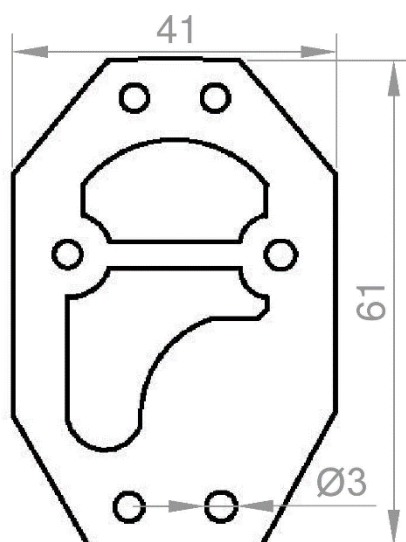
Rys. 1.11 Podstawa chwytaka



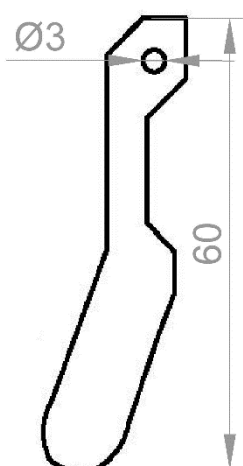
Rys. 1.12 Łącznik podstawy z chwytakiem



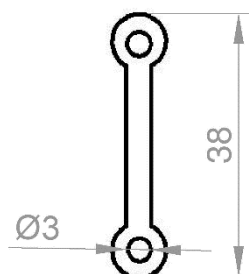
Rys. 1.13 Tryb przekazujące ruch szczękom



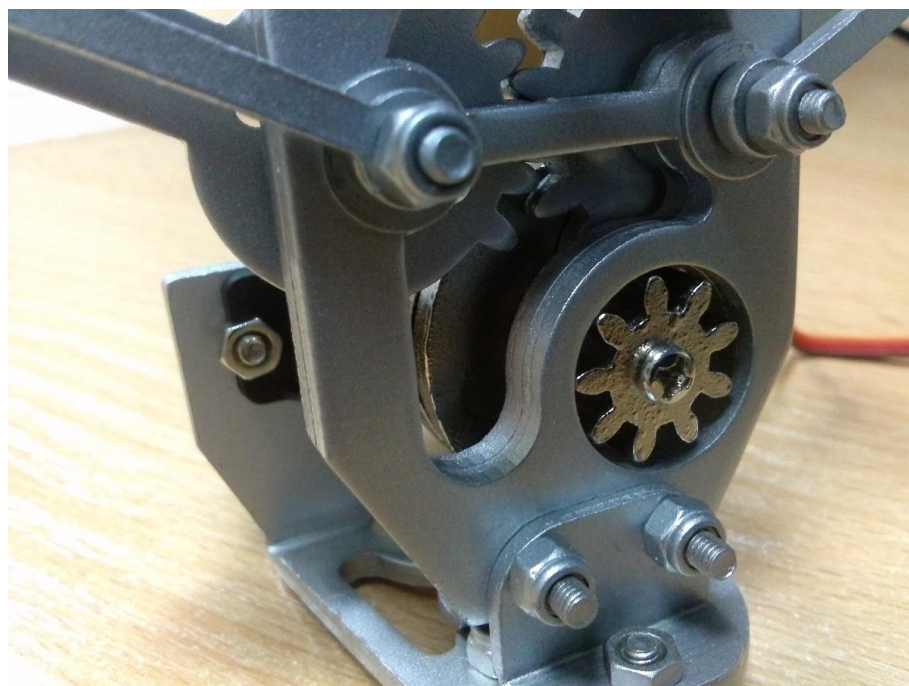
Rys. 1.14 Korpus chwytaka



Rys. 1.15 Szczęka



Rys. 1.16 Łącznik szczęki



Fot. 1.19 Metalowy tryb, podstawa i łącznik widoczne z bliska



Fot. 1.20 Gumowe nakładki na szczęki



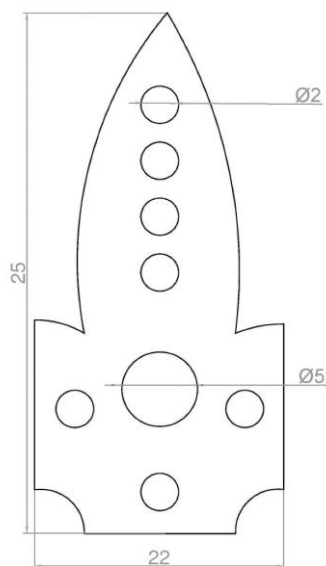
Fot. 1.21 Widoczne tryby, łączniki i szczęki chwytaka

1.2 Połączenia serwomechanizmów z członami

1.2.1 Orczyk

Orczyk serwomechanizmu jest to część połączeniowa między główną osią silnika a powierzchnią członu lub innego elementu. Jest to rodzaj łącznika, dzięki któremu można przenosić napęd silnika na dany element. Istnieją różne kształty, wielkości i rodzaje zastosowanych materiałów tych elementów. Orczyk jest połączony z osią silnika przy pomocy otworu zlokalizowanego w jego środku. Natomiast do połączenia z członem lub inną powierzchnią utworzonych jest szereg mniejszych otworów na śruby. Zastosowane w projekcie orczyki są zbudowane w większości z plastiku, tylko podstawa posiada

orczyk aluminiowy. Wszystkie jego rodzaje zostały zmodyfikowane aby swoim kształtem pasowały do połączeń.



Rys. 1.17 Wymiary zmodyfikowanego orczyka



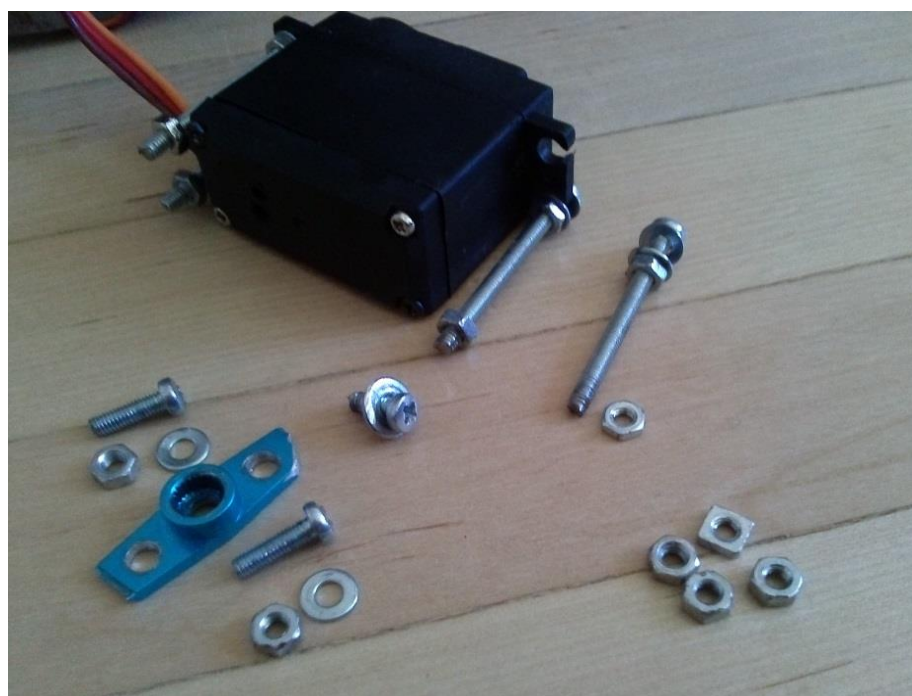
Fot. 1.22 Rodzaje orczyków dołączanych wraz z serwo mechanizmami

1.2.2 Serwomechanizm – Ruchoma podstawa

Serwomechanizm jest przymocowany do nieruchomej podstawy przy pomocy aż czterech śrub. Taka ilość służy do zwiększenia stabilizacji, ponieważ na tym jednym silniku i wspornikach opiera się cała konstrukcja robota. Czasami poprzez intensywne używanie maszyny śruby mogą ulec poluzowaniu. Z powodu tych sił orczyk który łączy oś silnika z ruchomą platformą jest zbudowany z aluminium. Jego otwory montażowe były zbyt małe więc zostały one rozwiercone a jego końcówki przycięte i przeszlifowane. Orczyk ten przymocowany jest do platformy za pomocą trzech śrub. Środkowa śruba jest dłuższa od pozostałych, ponieważ łączy ona platformę, orczyk i samą oś serwomechanizmu.

Śruby połączeniowe:

- 12x3 [mm] – 3 szt
- 35x3 [mm] – 4szt



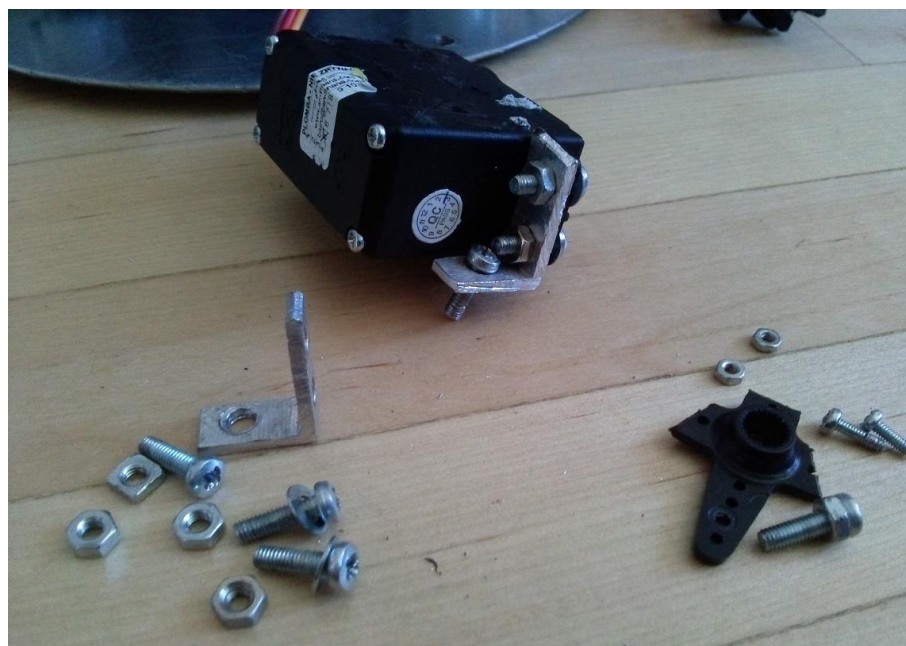
Fot. 1.23 Mocowania serwomechanizmu podstawy

1.2.3 Serwomechanizm – Człon 1

Na Platformie obrotowej są umieszczone dwa serwomechanizmy ustawione naprzeciw siebie. Przymocowane są do niej przy pomocy czterech aluminiowych kątowników, który każdy posiada po trzy otwory na śruby mocujące. Każdy z silników jest przymocowany dwoma kątownikami do podstawy. Osie silników są przymocowane do blach członu 1 poprzez plastikowe orczyki. Pod kształt blachy zostały one lekko przycięte z dwóch stron i ich otwory zostały rozwiercone. Są one przymocowane do blachy przy pomocy trzech śrubek i znajdują się po wewnętrznej stronie tego ramienia.

Śruby połączeniowe:

- 4 kątowniki
- 12x3 [mm] – 12 szt
- 8x2 [mm] – 4 szt



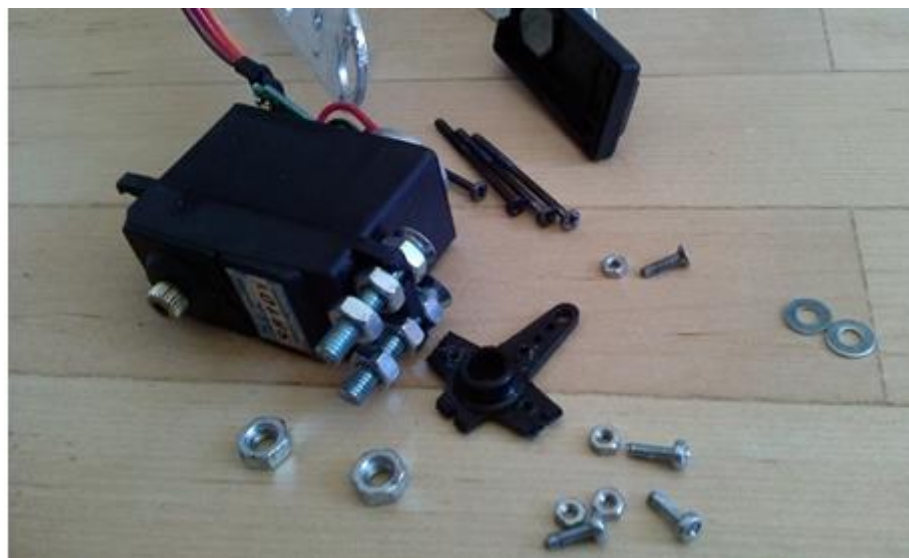
Fot. 1.24 Mocowania serwomechanizmu członu 1

1.2.4 Serwomechanizm – Człon 2

Serwomechanizm członu 2 jest przymocowany na końcu członu 1. Po lewej stronie elementu dwoma śrubami natomiast po prawej trzema. Lewa strona z dwoma śrubami jest połączona z wyprowadzeniami mocowań serwomechanizmu, które znajdują się na boku jego obudowy. Dwie śruby drugiej strony są to wkręty pokrywy serwomechanizmu, które zostały przewleczone przez aluminium. Do możliwości wkręcenia trzeciej, środkowej śruby obudowa silnika została przewiercona i nakrętka znajduje się w jej środku, tuż nad układem scalonym. Do poruszania i stabilizacji członu 2 został wykorzystany orczyk identyczny jak w przypadku poprzedniego mocowania z taką samą ilością śrub. W przypadku drugiej strony, blacha nie mogła zostać bez oparcia, dlatego obudowa silnika została przewiercona grubym wiertłem i w między nią a blachą prawej strony członu 3 jest zainstalowany metalowy sworzeń, zaklepany z dwóch stron, służący jako łożysko.

Śruby połączeniowe:

- 22x3 [mm] – 2 szt
- 44x2 [mm] – 4 szt
- 12x3 [mm] – 1 szt
- 12x2 [mm] – 4 szt
- Łożysko
- Sworzeń 7x10 [mm]



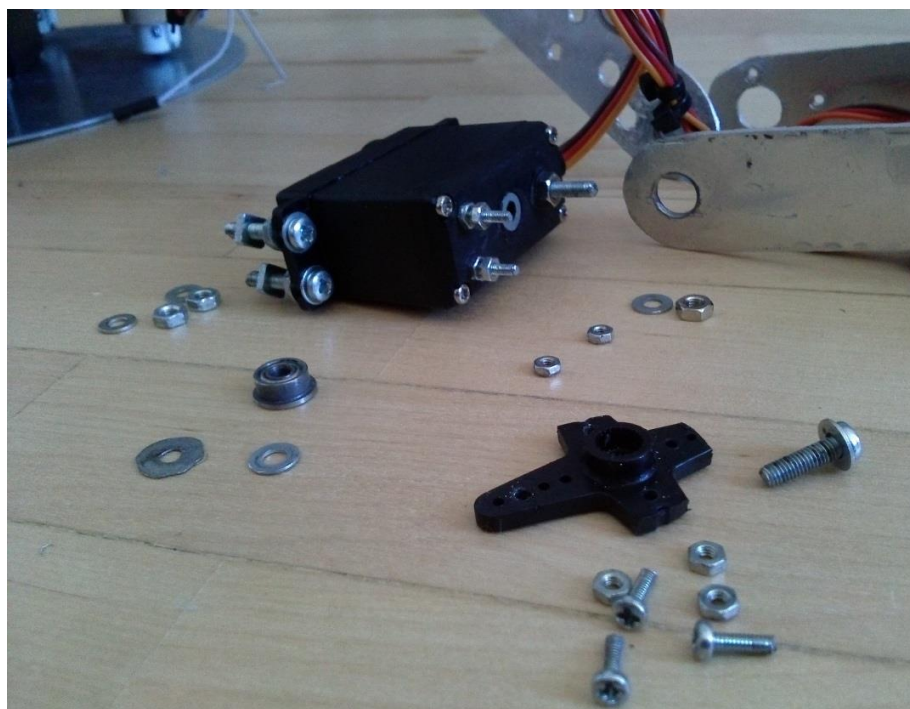
Fot. 1.25 Mocowania serwomechanizmu członu 2

1.2.5 Serwomechanizm – Człon 3

Serwomechanizm ma swoje miejsce na końcu członu 2. Po lewej stronie aluminiowej blachy jest on przykręcony dwoma śrubami, których nakrętki znajdują się w obudowie, dzięki przewierceniu jej. Podobnie jest z widoku prawej strony, tyle że śrubki są połączone z blachą poprzez boczne wyprowadzenia obudowy silnika. Umożliwia on ruch dzięki zastosowaniu plastikowego orczyka po lewej stronie ramienia, przymocowanego przy wykorzystaniu aż czterech śrubek. Z drugiej strony wywiercono otwór w obudowie a w blasze umieszczono małe łożysko kulkowe. Te elementy są połączone ze sobą sworzniem.

Śruby połączeniowe:

- 19x3 [mm] – 2 szt
- 12x3 [mm] – 1 szt
- 8x2 [mm] – 4 szt
- Łożysko
- Sworzeń 10x3 [mm]



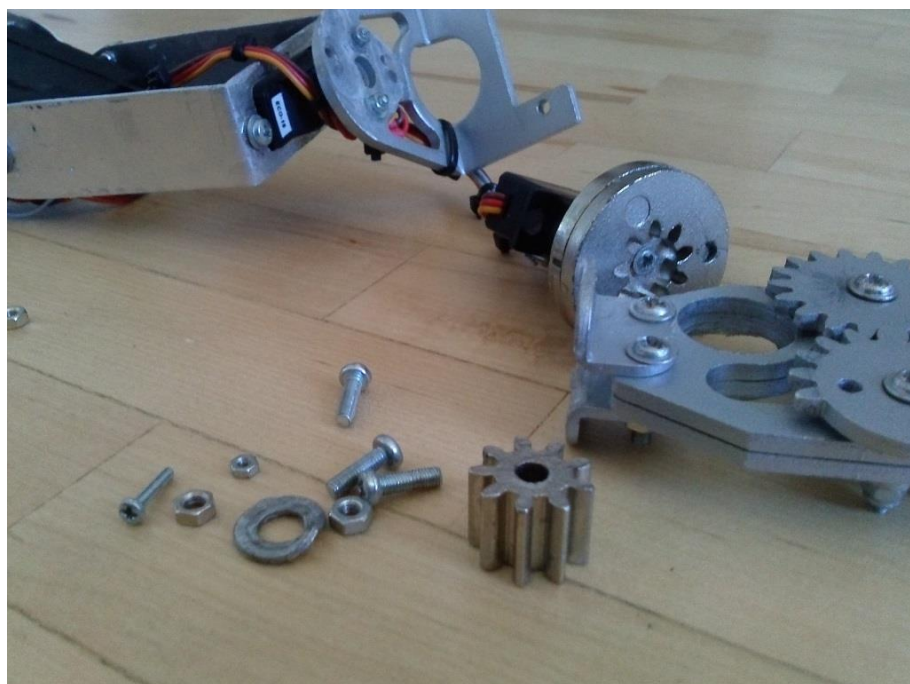
Fot. 1.26 Mocowania serwomechanizmu członu 3

1.2.6 Serwomechanizm – Chwytek

Silnik obracający chwytak, jest umieszczony w przestrzeni na końcu członu 2, przykręcony dwoma śrubami. Sama podstawa chwytaka została wyposażona w plastikowy orczyk mniejszego rozmiaru i stanowi połączenie serwomechanizm-chwytek. Jest on przymocowany do podstawy dwoma śrubami. Dodatkowo między orczykiem, podstawą a osią silnika jest przykręcony wkret aby chwytak nie wypadł z mocowania. Drugim silnikiem jest ten umieszczony bezpośrednio na chwytaku i jest on przykręcony dwoma śrubami do bocznego kątownika jego podstawy. Na jego oś nałożony jest metalowy tryb, przewleczony śrubą.

Śruby połączeniowe:

- 12x3 [mm] – 4 szt
- 8x2 [mm] – 4szt

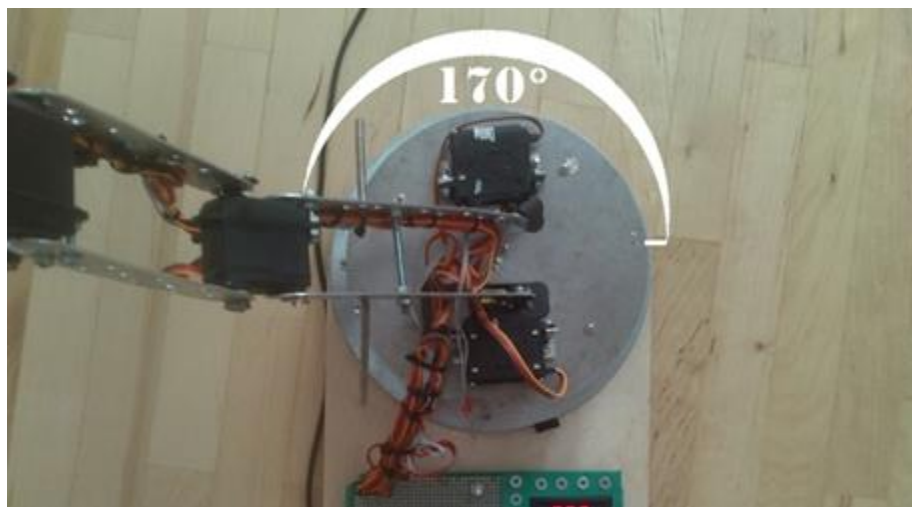


Fot. 1.27 Mocowania serwomechanizmów chwytaka

1.3 Kąty obrotu poszczególnych członów

Kąty obrotów poszczególnych ramion wyrażone są w stopniach, jest to przybliżony kąt między maksymalnym odchyleniem członu a jego minimalną wartością. Z racji niedokładności silników czy elementów montażowych wartości te nie osiągają pełnych 180° jak zapewnia ich producent. Poniżej są przedstawione realne kąty obrotów, które ten manipulator jest w stanie osiągnąć podczas jego pracy. Dodatkowo też pod ilustracjami można znaleźć odnośniki do filmów, które pokazują ten ruch.

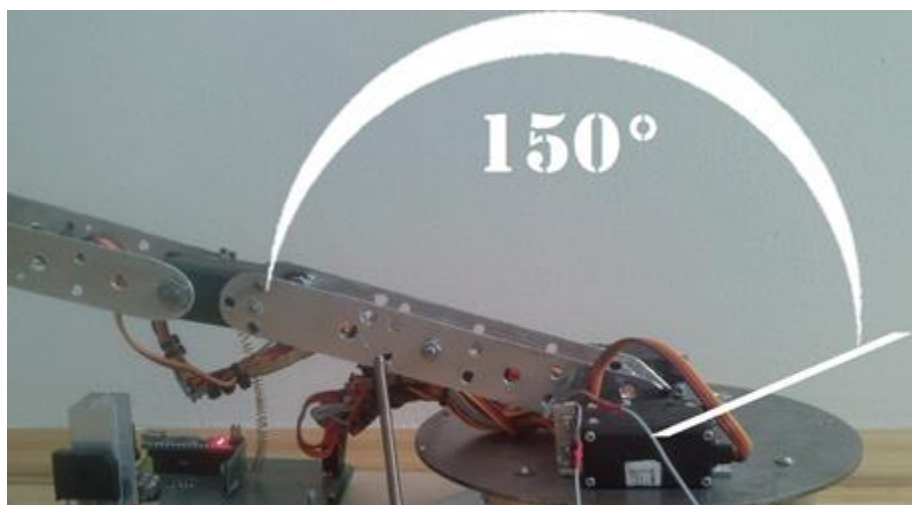
1.3.1 Podstawa



Fot. 1.28 Kąt obrotu platformy

➤ <https://youtu.be/47ICIDyybnk>

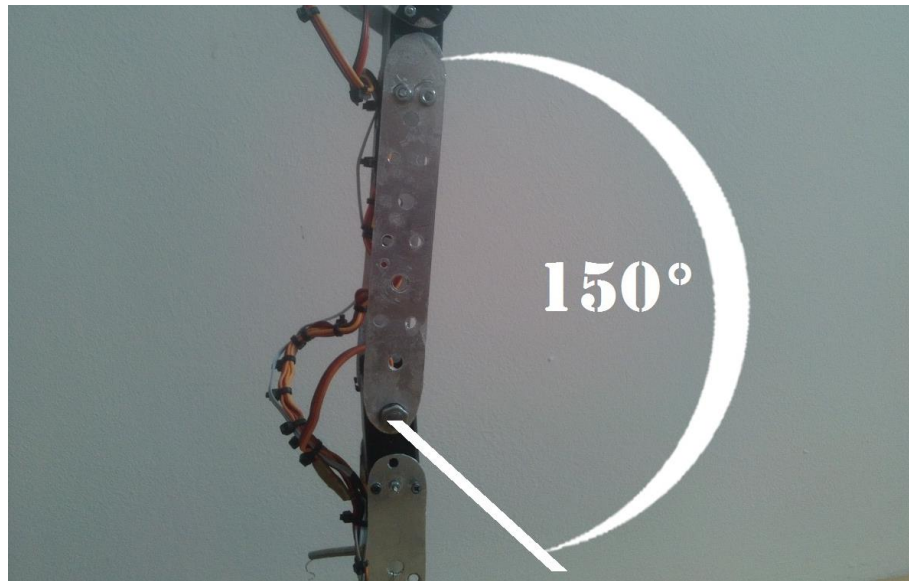
1.3.2 Człon 1



Fot. 1.29 Kąt obrotu członu 1

➤ https://youtu.be/5gfnhr_Nsiw

1.3.3 Człon 2



Fot. 1.30 Kąt obrotu członu 2

➤ https://youtu.be/5gfnhr_Nsiw

1.3.4 Człon 3



Fot. 1.31 Kąt obrotu członu 3

➤ <https://youtu.be/mikRV0UQDcM>

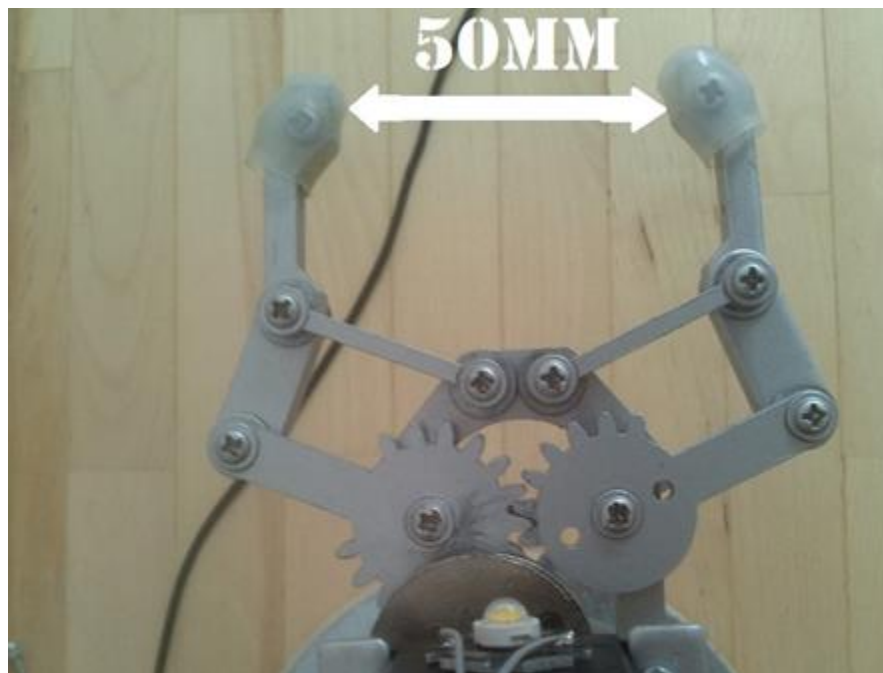
1.3.5 Kąt obrotu chwytaka



Fot. 1.32 Kąt obrotu chwytaka

➤ <https://youtu.be/YLhcxtXWft8>

1.3.6 Szerokość rozwarcia szczęk

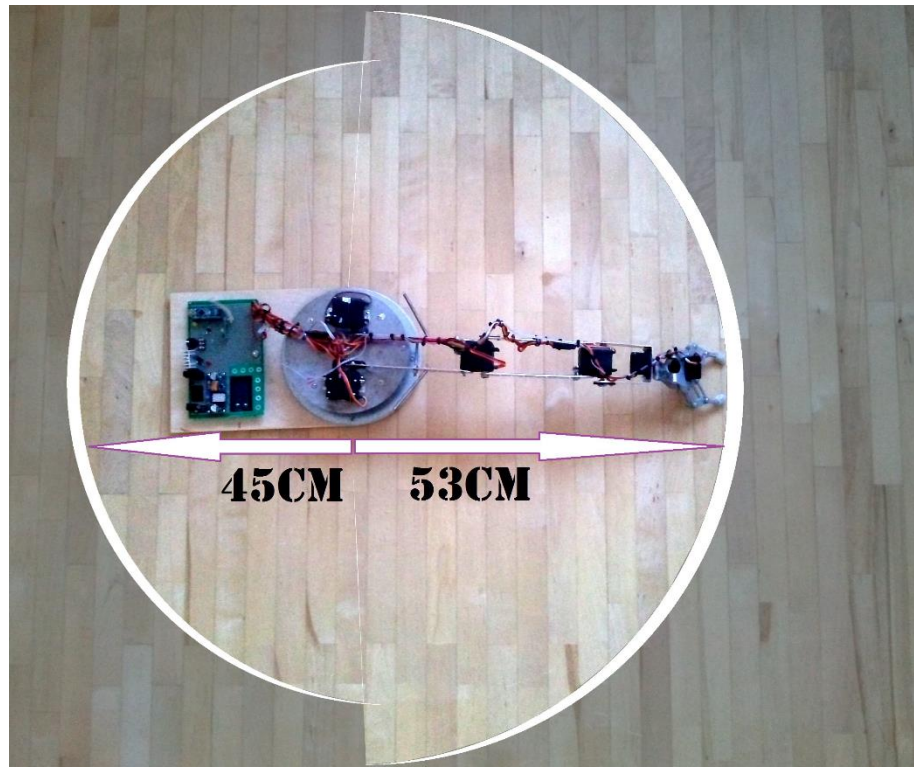


Fot. 1.33 Kąt rozwarcia szczęk

➤ https://youtu.be/7_XLqga0ov0

1.4 Przestrzeń robocza manipulatora

Przestrzeń robocza manipulatora jest ukazaniem przestrzeni, w której chwytak jest w stanie wykonywać swoje zadanie. Obejmuje ona zarówno maksymalne, jak i minimalne wartości tej przestrzeni. W przypadku tego projektu wartości te przyjmują długości możliwych ruchów w centymetrach i są mierzone od centrum podstawy.



Fot. 1.34 Wymiary przestrzeni roboczej widocznej z góry



Fot. 1.35 Wymiary przestrzeni roboczej widoku z boku

Filmik ruchów przestrzeni roboczej: https://youtu.be/z_x85BtgPgo

1.5 Wykorzystane maszyny, narzędzia i proces budowy

Cała konstrukcja mechaniczna manipulatora powstała w warsztacie Zbigniewa Jurkian – właściciela firmy „Model”. Firma zajmuje się wykonywaniem i regeneracją modeli odlewniczych.

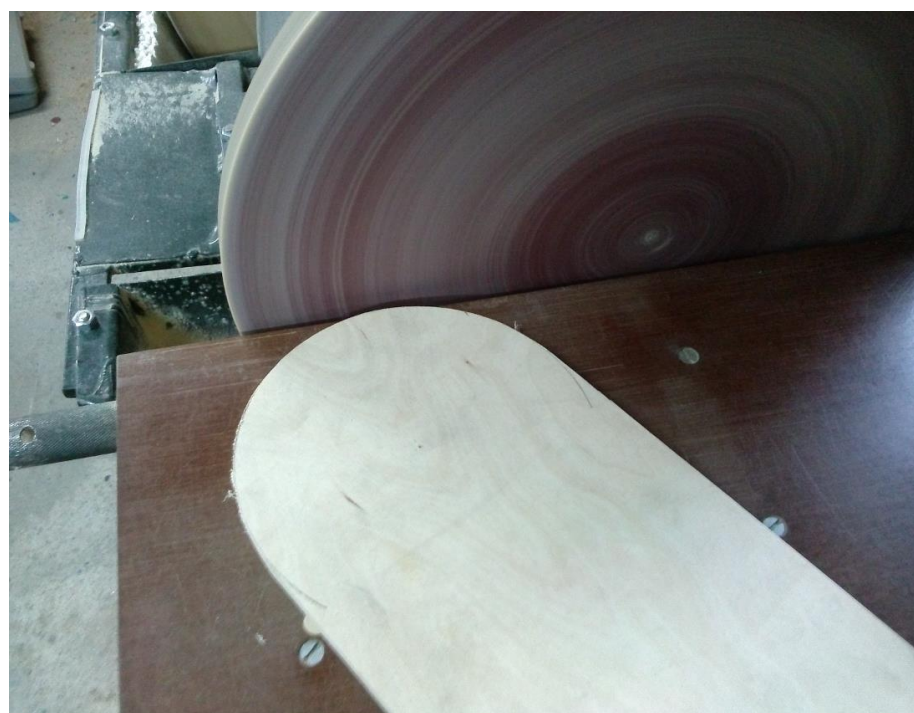


Fot. 1.36 Miejsce tworzenia manipulatora

Drewniana podstawa została wycięta z arkusza płyty na pile tarczowej, jej a brzeg został przeszlifowany w kształt półokręgu przy wykorzystaniu szlifierki talerzowej z nałożonym drobnym papierem ściernym. Otwory w niej przewiercono wiertarką stołową a przestrzenie na wyprowadzenia elektronicznych modułów zostały stworzone za pomocą ręcznej grawerki z nałożonym miniaturowym frezem.



Fot. 1.37 Cięcie drewna na pile tarczowej



Fot. 1.38 Szlifierka talerzowa podczas tworzenia półokręgu w drewnie



R Fot. 1.39 Wiertarka stołowa służyła do tworzenia otworów w drewnie i aluminium



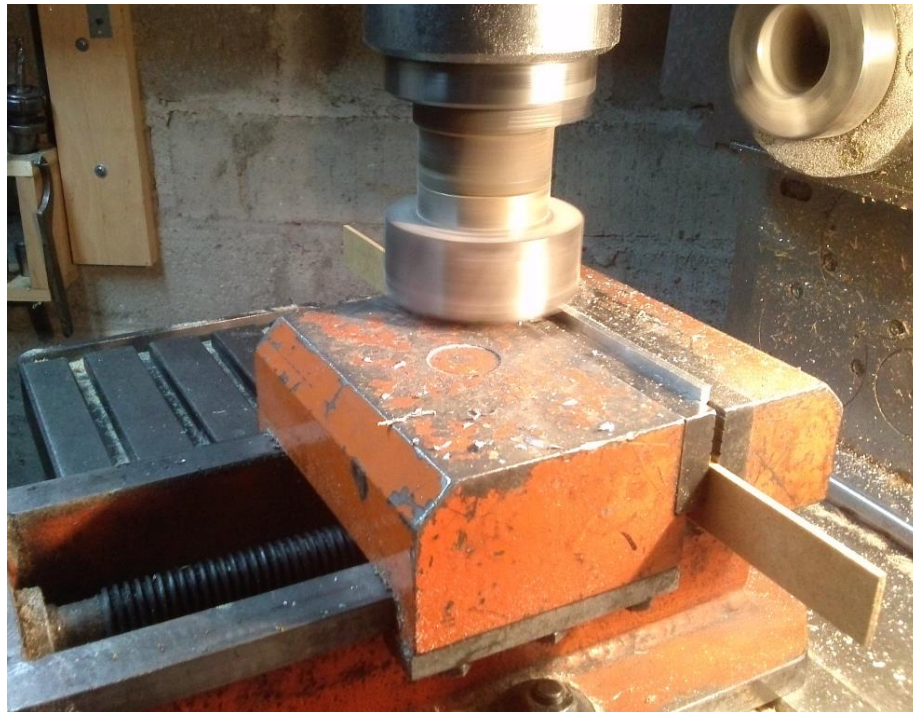
Fot. 1.40 Ręczna grawerka posłużyła zarówno do tworzenia otworów i szlifowania

Człony robota stworzone zostały z pojedynczego arkusza blachy. Musiała być ona piłowana brzeszczotem ręcznie, ponieważ w przypadku cięcia piłą tarczową aluminium się mocno nagrzewało, nadtapiało i istniało ryzyko zaklinowania się piły tym materiałem. Blacha została bardzo nierówno pocięta i każdy fragment posiadał różną szerokość i długość. W celu zrównania ich rozmiarów wszystkie zostały umieszczone na imadle

frezarki i wyrównane jej ostrzem. Równe już blachy, zostały umieszczone na wiertarce stołowej, rozwiercone na samej swojej długości i przycięte zgodnie z założeniami projektu. Zaokrąglenia powstały poprzez przeszlifowanie krawędzi szlifierką stołową i potem poprawione zostały jeszcze ręcznie pilnikiem do metalu.



Fot. 1.41 Wycinanie członów z arkusza aluminium



Fot. 1.42 Wyrównanie krawędzi członów frezarką

Filmik ukazujący frezowanie materiału blachy: <https://youtu.be/uNC55ooR-qs>

Filmik ukazujący frezowanie otworu członu 3: <https://youtu.be/Xjw36frt07g>



Fot. 1.43 Wiercenie otworów na orczyk

Filmik ukazujący wiercenie członów ramion robota: <https://youtu.be/DTHrZQp9EtQ>



Fot. 1.44 Szlifierka stołowa

Okrągła część platformy po obróbce została wygładzona pastą lekko ścierną, nałożoną na filc obracany przez wiertarkę, gdyż była ona mocno zarysowana z widocznymi zabrudzeniami.



Fot. 1.45 Polerowanie powierzchni podstawy

Drewniana części wspornika powstała poprzez przepiłowanie kawałka drewna i utworzenia z niego kwadratowej, długiej deski. Została ona umieszczona na głowicy tokarki i przetoczona na kształt walca. Przy wykorzystaniu pilarki taśmowej długi walec został podzielony na cztery kawałki i jego krawędzie zostały przeszlifowane szlifierką tarczową.



Fot. 1.46 Toczenie wspornika

Filmik ukazujący toczenie wspornika: <https://youtu.be/5dZ0F7eVcHQ>



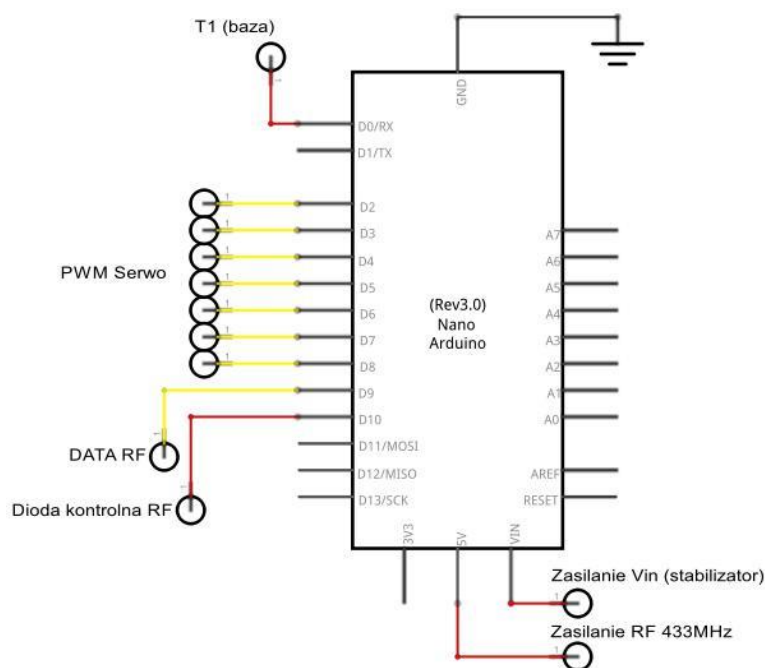
Fot 1.47 Pilarka taśmowa służąca do cięcia drewna

Do stworzenia modułu pilota i sterowania robotem potrzebna, prócz części, była lutownica razem z cyną i kalafonią, odsysacz cyny, trzecia ręka z lupą i miernik elektroniczny. Ze względu na małe rozmiary części i niektórych połączeń, korzystano w projekcie z dwóch precyzyjnych rozmiarów grot. Z racji małych rozmiarów odległości między połączeniami podczas lutowania często następowało połączenie dwóch linii połączenia co udawało się naprawić poprzez odessanie nadmiaru cyny metalowym odsysaczem z antystatyczną końcówką. Miernik elektroniczny najczęściej w projekcie służył do wykrywania usterek, błędów lutowań czyli wtedy kiedy nie miało się pewności co do poprawności połączeń. Podczas testów sprawdzane były napięcia i przepływający prąd w celu potwierdzenia obliczeń. Kalafonia natomiast była niezbędna do oczyszczania powierzchni lutowanej z tlenków i innych zanieczyszczeń. Niektóre połączenia bez zastosowania jej nie mogły się trwale połączyć takie jak połączenia kabli czy wyprowadzeń mikrokontrolera z przewodami srebrzanki.

Rozdział 2 Elektronika Manipulatora

2.1 Mikrokontroler Arduino

Głównym modułem sterującym i zarządzającym podłączonymi do niego elementami jest płyta Arduino Nano. Dzięki niej możliwe jest scalenie i poskładanie w jedną spójną całość wielu modułów, które same w sobie nie są przydatne, lecz podłączone do mikroprocesora stanowią jeden produkt, który współdziała i komunikuje się ze sobą. Największą liczbę pinów stanowią piny cyfrowe do sterowania serwomechanizmami zainstalowanymi na aluminiowej konstrukcji manipulatora. Pozostałe piny pozwalają na odbiór danych z modułu radiowego, sterowanie bazą tranzystora czy lampami sygnalizującymi.

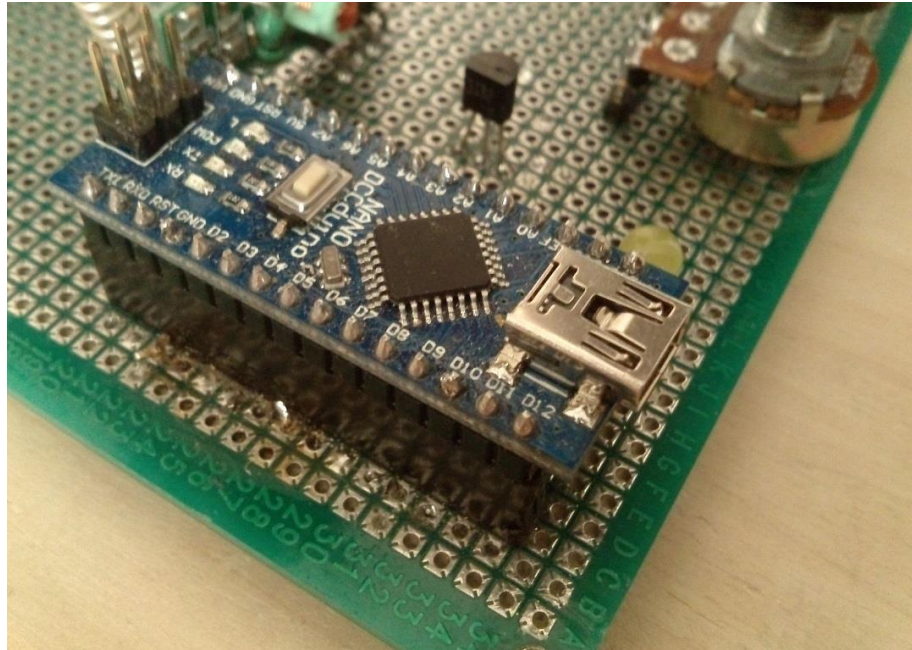


Rys. 2.1 Schemat Arduino i wszystkich podłączonych do niego elementów elektronicznych

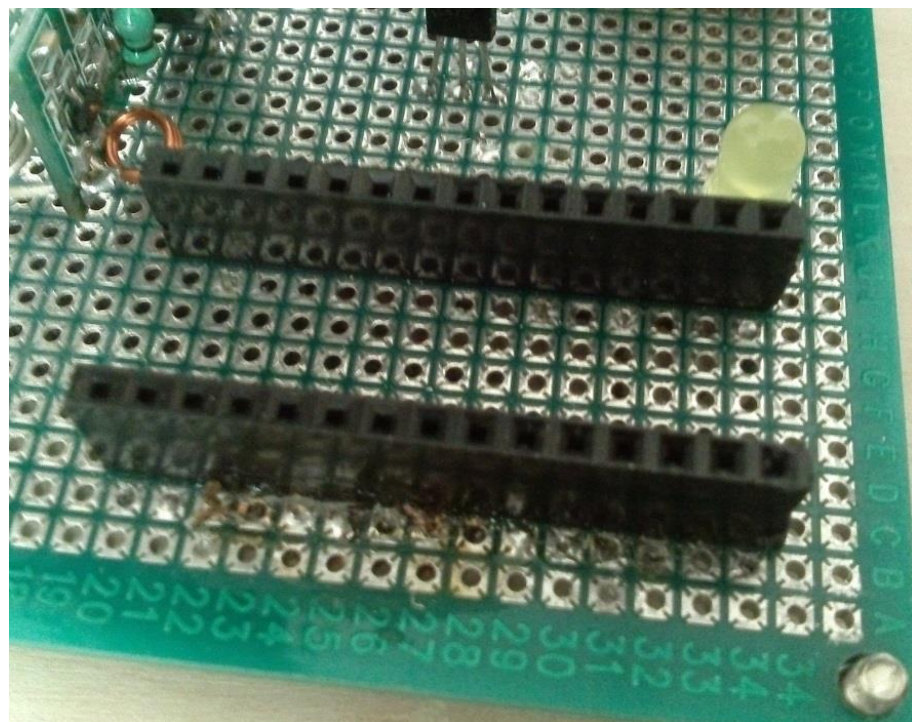
2.1.1 Podstawka i umiejscowienie Arduino na płycie montażowej

Mikrokontroler jest umieszczony na brzegu płyty, po lewej jej stronie. Z racji małej ilości miejsca na podstawie manipulatora i płycie wersja, która została zamontowana w projekcie to Arduino Nano. Ma te same parametry co większość płyt tego rodzaju z tym, że posiada miniaturowe rozmiary [Fot. 2.1]. Dodatkowym atutem rozmieszczenia w tym

miejsu jest to, że port USB, służący do programowania platformy jest na samym brzegu platformy co pozwala na bezproblemowe podłączenie przewodu. Specjalnie dla Arduino zaprojektowana została podstawka podłączeniowa [Fot. 2.2]. Dzięki niej istnieje możliwość sprawnego wyjęcia platformy w przypadku jej uszkodzenia, bądź wpięcia innych Nano z wgranymi już programami do manipulatora.



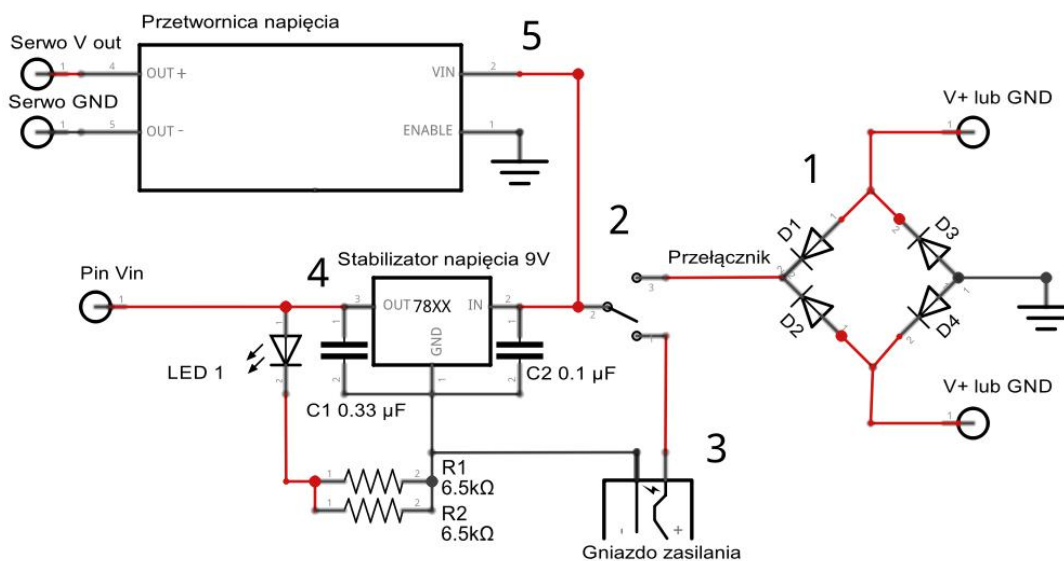
Fot. 2.1 Mikrokontroler Arduino



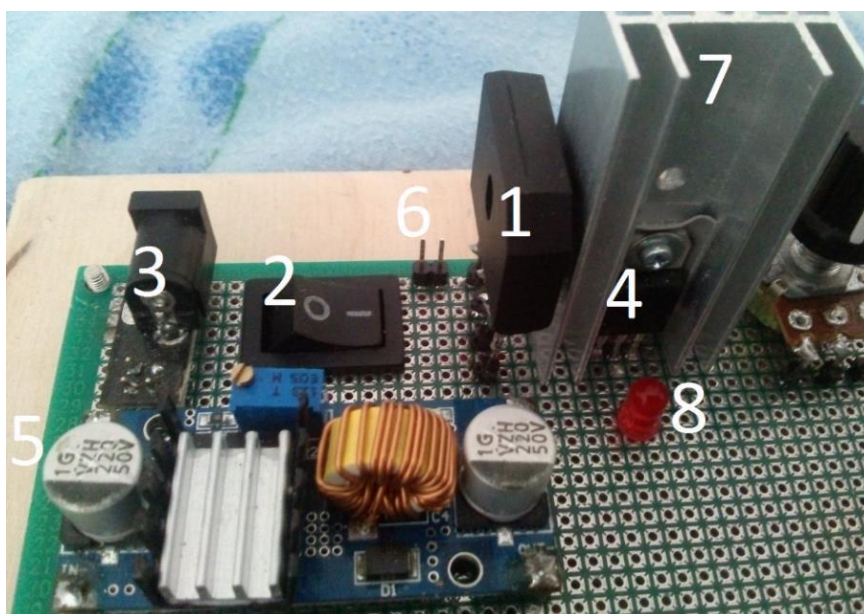
Fot 2.2 Podstawka pod Arduino

2.2 Zasilanie Manipulatora

Moduł zasilania został zaprojektowany w celu dostarczenia energii dla mikrokontrolera Arduino (układu sterowania), serwomechanizmów, diod LED czy modułu odbiornika radiowego. Układ zasilania składa się z gniazda 5.5mm, dwóch wejść goldpin, przełącznika, mostka prostowniczego (mostek graetza), stabilizatora napięcia i przetwornicy impulsowej co przedstawia poniższy schemat i zdjęcie.



Rys. 2.2 Schemat modułu zasilania



Fot. 2.3 Moduł zasilania na płycie montażowej

Film pracy zasilania manipulatora: <https://youtu.be/3OYEK6bsb4k>

2.2.1 Spis elementów modułu zasilania [Rys. 2.2 i Fot. 2.3]

1. Mostek Graetza
2. Przełącznik
3. Gniazdo zasilania
4. Stabilizator napięcia
5. Przetwornica impulsowa
6. Wtyk zasilania mostka Graetza
7. Radiator stabilizatora
8. Sygnalizator pracy stabilizatora

2.2.2 Mostek prostowniczy (Mostek Graetza)

Mostek Graetza to układ scalony zbudowany z czterech diod prostowniczych, które odpowiednio połączone ze sobą pełnią funkcję prostownika. Najczęściej stosuje się je w prostowaniu napięcia zmiennego. Dla wejścia do mostka nie ma znaczenia czy będzie podłączony plus zasilania czy minus. W obu przypadkach na wyjściu układu w jednakowych miejscach pojawia się plus i minus. Zastosowane w nim diody zbudowane są dziś najczęściej z krzemu. Składają się z dwóch domieszkowanych materiałów: jednego typu n (negative) podłączanego do minusa i materiału typu p (positive) podłączonego do plusa. Złącze tak zbudowane przepuszcza prąd tylko w jedną stronę.¹²⁰

121

W zasilaniu manipulatora mostek prostowniczy służy przede wszystkim jako opcjonalne, awaryjne wejście zasilnia w przypadku braku odpowiedniej wielkości wtyku zasilacza czy też przy jego uszkodzeniu. Mostek jest zastosowany przede wszystkim po to, aby użytkownik mógł dowolnie podłączyć kable zasilania, nie martwiąc się o biegunowość. Dzięki takiemu rozwiązaniu może on uniknąć błędnego podłączenia i możliwego spalenia stabilizatora czy przetwornicy napięcia. Istnieje też możliwość zasilenia maszyny samym napięciem zmiennym, jednak może być niezbędne przylutowanie na wyjściu mostka dodatkowych kondensatorów, które by wygładziły pulsacyjną charakterystykę prądu wyjściowego. Na

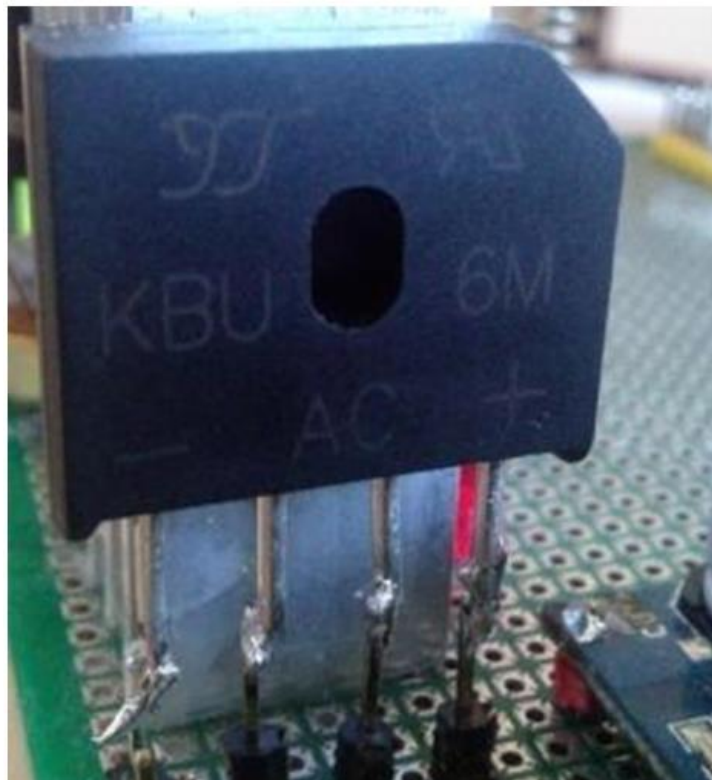
¹²⁰ Borkowski Paweł, „Przygoda z elektroniką” wyd. Helion 2013, str. 156-157

¹²¹ Eugene Aisberg „Tranzystor – ależ to bardzo proste” wyd. Naukowo-Techniczne 1965, str. 23-26

każdej diodzie mostka w projekcie występuje spadek napięcia 1V. Czyli podłączając zasilanie można spodziewać się spadku 2V.

Specyfikacja: DIOTEC SEMICONDUCTOR KBU6M:

- Maksymalne natężenie prądu (z radiatorem): 6A
- Maksymalne natężenie prądu (bez radiatora): 4A
- Maksymalne zmienne napięcie wejściowe: 700V
- Maksymalne napięcie wsteczne: 1kV
- Minimalne napięcie przewodzenia: 2V Prąd wsteczny: <5uA
- Opór cieplny: <3.3K/W
- Wymiary: 23.5 x 19.3 x 5.7 [mm]



Fot. 2.4 Mostek Graetza

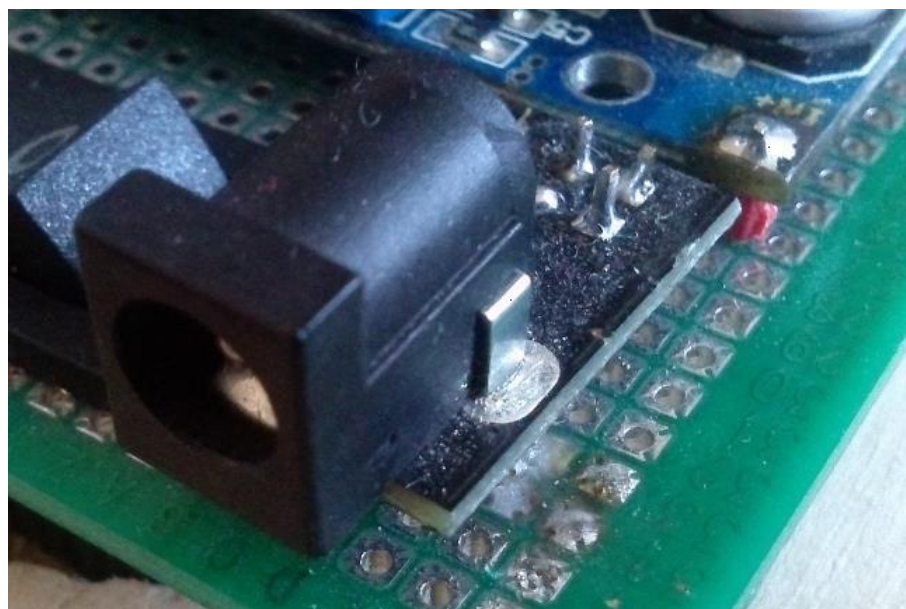
2.2.3 Gniazdo zasilania 5.5 mm

Gniazdo zasilania umieszczone na płycie montażowej ma średnicę 5.5mm i jest przystosowane do wtyków zasilaczy o takich wymiarach. Jest ono wlutowane do płytki, z której wystają cztery piny przystosowane do wpinania ich do płyt prototypowych o

rastrze 2.54mm. Dzięki temu można go umieszczać bez konieczności używania lutownicy, lecz ze względu na stabilność wszystkie cztery zostały przewleczone i przylutowane. W projekcie jest to główne wejścia zasilania i można go wykorzystać tylko do zasilaczy, które mają odpowiednio przystosowaną końcówkę np.: zasilacze laptopów HP.

Specyfikacja: Gniazda DC 2,5/5,5 do prototypowej płytki stykowej:

- Średnica gniazda: 5.5mm
- Wymiary: 11.6 x 20 [mm]
- Ilość pinów: 4 (po dwa na każdy biegun)
- Szerokość rozstawienia pinów: 2.54mm



Fot. 2.5 Główne gniazdo zasilania manipulatora

2.2.4 Przełącznik (Wylłącznik On-Off)

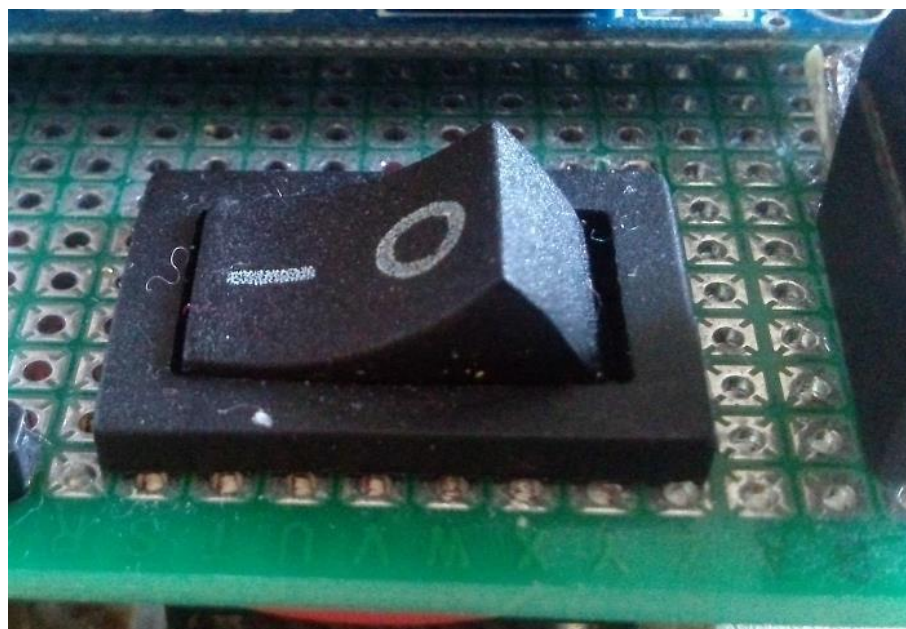
Obecnie na rynku istnieje wiele rodzajów styków. Wyróżniamy przełączniki początkowo zwarte i otwarte. Są one jednobiegunowe, dwubiegunowe, trójbiegunowe, czterobiegunowe itp. Styki są zbudowane najczęściej z miedzi czy srebra. W celu zapewnienia lepszej trwałości stosuje się styki pozłacane. W zależności od przewodzącego napięcia stosuje się odpowiednie grubości tych styków. W przypadku niewielkich napięć stosuje się bardzo cienkie styki, natomiast w przypadku ich wysokich wartości muszą być odpowiednio grube aby nadto się nie rozgrzewały i były odporne na

powstające podczas rozłączania i załączania łuki elektryczne, które na pewno zniszczyłyby cienką powierzchnię.¹²²

Przełącznik On-Off, jest typu dwubiegunowego przełączanego. Zastosowany w projekcie służy przede wszystkim do przełączenia między zasilaniem z gniazda 5.5 mm a mostkiem Graetza. Jest on niezbędny, ponieważ w tym samym czasie nie mogą być podłączone dwa źródła zasilania. Stan „0” stanowi przepływ prądu z mostka Graetza, natomiast stan „1” to przepływ prądu od podłączonego zasilacza pod gniazdo. W przypadku, gdy użytkownik korzysta tylko z gniazda zasilania stanowi on swego rodzaju włącznik i na odwrót.

Specyfikacja: Wylłącznik On-Off

- Wymiary: 20x15x10 [mm] Kolor: czarny
- Maksymalne napięcie: 250V
- Maksymalny przepływ prądu: 8A Rezystancja styków: do 35Ω
- Zakres temperatur pracy: -25°C ...+85°C
- Żywotność: 10000 cykli
- Ilość pozycji: 2



Fot. 2.6 Wylłącznik On-Off

¹²² Górecki Piotr, „Zwykłe i niezwykłe elementy stykowe”, Elektronika dla Wszystkich, rok.2000, nr.8 str.23-27

2.2.5 Stabilizator napięcia i sygnalizator jego działania

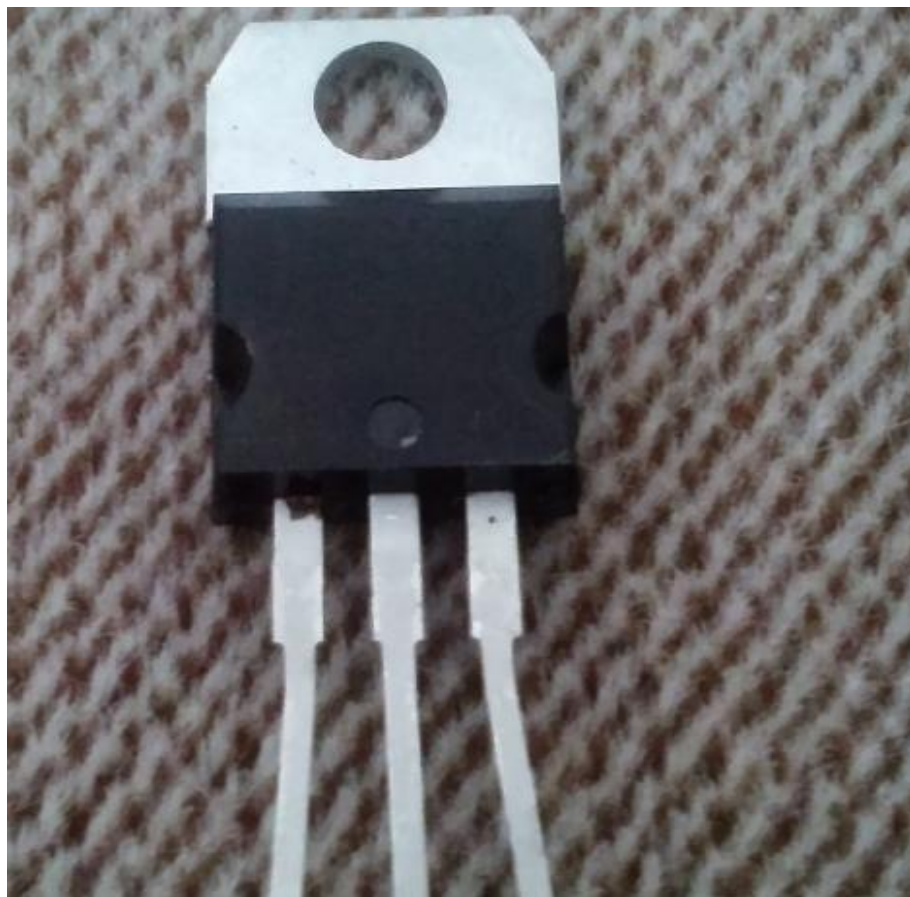
Stabilizatory napięcia służą do utrzymywania na stałym poziomie określonej wartości napięcia, praktycznie niezależnie od ilości podłączonych podzespołów. To dość skomplikowany układ scalony. Najczęściej posiadają one trzy wyprowadzenia, mianowicie wejście, wyjście i masę. Do wejścia podłączane jest zasilanie, a na wyjściu pojawia się ustabilizowane napięcie. Dzisiejsze układy scalone posiadają szereg zabezpieczeń np.: przed wysoką temperaturą i zbyt dużym przepływem prądu, dzięki czemu trudne jest ich uszkodzenie. W zależności od wielkości przepływu prądu stabilizatory posiadają określone wielkości obudów dla lepszego odprowadzania ciepła. W większości stabilizatorów napięcie wejściowe musi być wyższe przynajmniej o 2-3V, chociaż znaleźć można takie układy pracujące przy napięciu do 1V. Niektóre wersje stabilizatorów liniowych posiadają dodatkowy pin do regulacji napięcia wyjściowego poprzez rezystor. Do prawidłowej pracy i stabilności działania stabilizatora, konieczne jest zastosowanie kondensatorów, które umieszcza się jak najbliżej jego wyprowadzeń. Służą one do filtrowania napięcia. Ważnym parametrem takich układów jest wydzielana moc w postaci ciepła, która jest charakterystyczna dla tego typu układów. Dlatego część stabilizatorów posiada otwory gdzie istnieje możliwość dokręcenia radiatora. Wysoka temperatura zwiększa awaryjność i skraca żywotność półprzewodnikowej struktury.¹²³

Stabilizator napięcia zastosowany w projekcie służy dostarczaniu prądu mikrokontrolerowi Arduino. Na jego wyjściu jest akceptowane przez płytkę napięcie 9V. W celu zapewnienia stabilności działania mikrokontrolera napięcie musi być dobrze filtrowane. Dlatego zgodnie z wytycznymi producenta na jego wejściu i wyjściu zostały przylutowane kondensatory ceramiczne odpowiednio 0.33μF na wyjście i 0.1μF na wejście układu. Wejście stabilizatora jest bezpośrednio połączone z przełącznikiem, a co za tym idzie prąd jest dostarczany przez zasilacz, bądź poprzez alternatywne źródło jakim jest mostek Graetza. Wyjście układu stabilizującego jest połączone z pinem Vin Arduino, który jest wejściem jego zasilania. Dodatkowo w celu sygnalizacji pracy stabilizatora na jego wyjściu zainstalowana jest czerwona dioda LED razem z dwoma rezystorami połączonymi ze sobą równolegle w celu ograniczenia prądu. Jej świecenie informuje o dostarczaniu prądu do mikrokontrolera. Jest ona swoistym sygnalizatorem pracy stabilizatora.

¹²³ Górecki Piotr, „Stabilizatory liniowe cz.1 i 2”, Elektronika dla Wszystkich, rok.1996, nr.9 str.54-62

Specyfikacja: Stabilizator 9V L7809CV

- Typ zastosowanej obudowy: TO-220 Symbol: LM7809CV
- Maksymalne napięcie wyjściowe: 9V
- Maksymalne napięcie wejściowe: 35V
- Minimalne napięcie wejściowe: 11V
- Maksymalny prąd wyjściowy: 1A
- Temperatura pracy: -55°C – 150°C
- Ogólna rezystancja cieplna (R_{thja}): 65°C/W
- Rezystancja cieplna półprzewodnik – podłoże alu (R_{thjc}): 5°C/W
- Opcjonalne kondensatory: 0.33μF (wejście), 0.1μF(wyjście)
- Maksymalna moc strat P_{tot} (bez radiatora): 1.5W
- Wymiary: 25 x 11 x 9 [mm]



Fot. 2.7 Stabilizator napięcia 9V

Specyfikacja: Dioda LED (Sygnalizator)

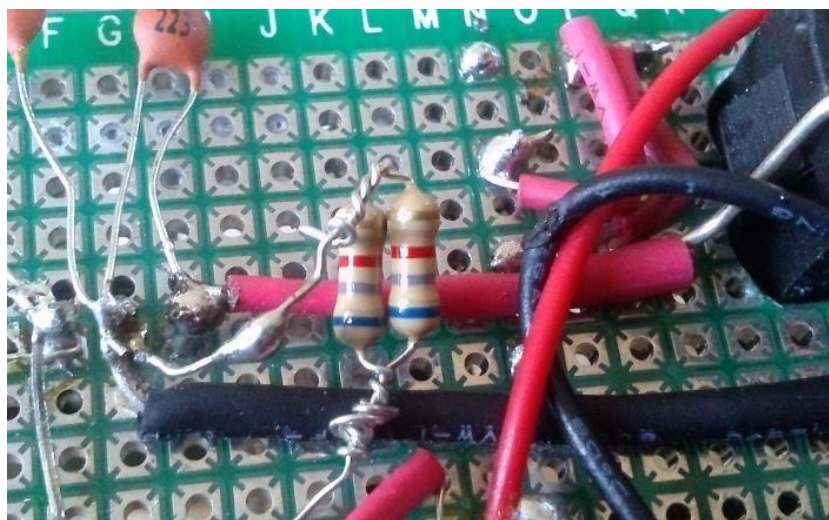
- Kolor: czerwony
- Średnica: 3mm Napięcie: 1.9V
- Pobór prądu: 20mA Jasność: ok. 80mcd
- Długość fali: 630 – 634 [nm]
- Temperatura pracy: -30°C ...+85°C



Fot. 2.8 Dioda LED sygnalizująca działanie stabilizatora

Specyfikacja: Rezystor

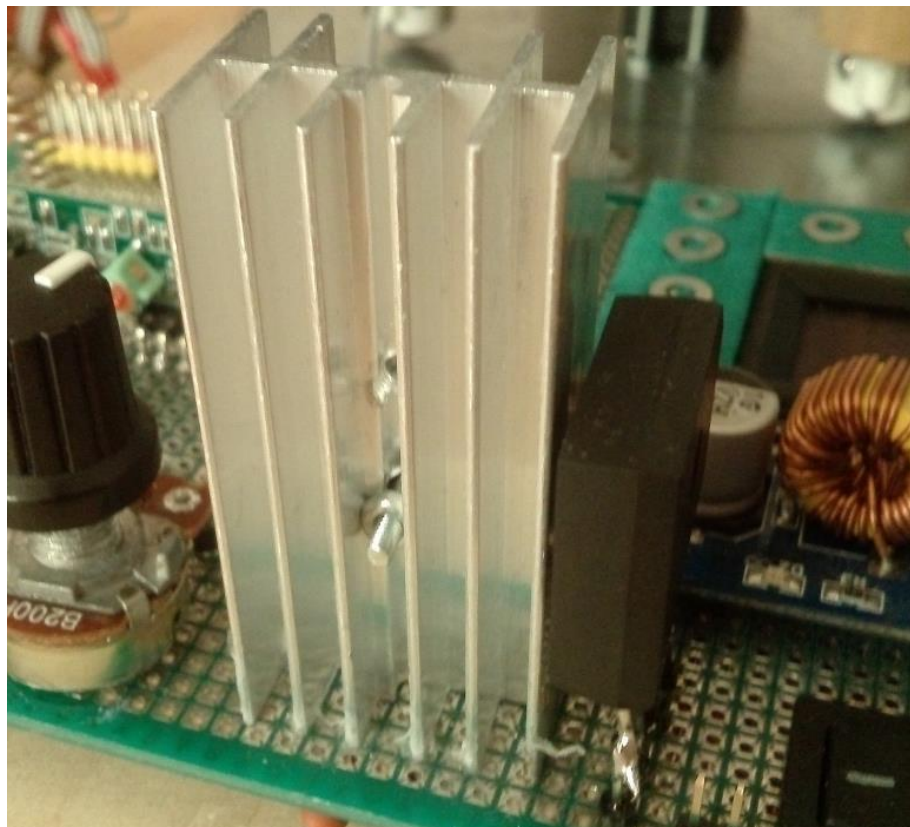
- Oporność: 6500 Ω
- Typ: warstwowy Moc: 0.25W
- Tolerancja: +/- 5%



Fot. 2.9 Rezystory ograniczające prąd sygnalizatora

Specyfikacja: Radiator

- Materiał: Aluminium
- Typ: Z żeberkami 7mm
- Wymiary: 23x52x16 [mm]
- Grubość blachy: 1mm



Fot. 2.10 Zainstalowany w projekcie radiator

2.2.6 Straty mocy na stabilizatorze

Struktura półprzewodnikowa zamknięta w obudowie podczas swojej pracy w projekcie wydziela dużo ciepła. W przypadku zastosowanego stabilizatora, aby zapewnić poprawną i stabilną jego pracę moc wydzielana na nim nie może przekraczać pewnej wartości ustalonej przez producenta dla poszczególnych rodzajów obudów (najczęściej jest to 1.5W-2W dla obudowy TO-220). Powyżej tej wartości stabilizator poprzez czujniki termiczne uniemożliwia dalszą pracę, a co za tym idzie płytką Arduino ma odcięte zasilanie i manipulator przestaje reagować na polecenia użytkownika. Niezwykle istotne

jest obliczenie jaką moc wydziela układ i jeżeli zachodzi taka potrzeba, zastosowanie odpowiedniego radiatora aby rozproszyć ciepło do otoczenia, dzięki temu zapewniając z zapasem odpowiednie warunki termiczne stabilizatora.

Korzystając z miernika uniwersalnego zaobserwowano, że pobór mocy mikrokontrolera (I_{ard}) wraz z modułami do niego podłączonymi nie przekracza 105mA.

$$I_{(ard)} = 105mA = 0.105A$$

Aby można było obliczyć wydzielaną moc potrzebna jest jeszcze informacja, jaki jest spadek napięcia na stabilizatorze. Obliczenia są dedykowane dla zasilaczy o napięciu 19V, ponieważ właśnie taki zasilacz został wykorzystany w pracy. Aby obliczyć spadek napięcia na układzie należy odjąć napięcie wejściowe (V_{in}) od wyjściowego (V_{out}).

- $V_{in} = 19V$
- $V_{out} = 9V$

$$U_{(stab)} = V_{in} - V_{out}$$

$$U_{(stab)} = 19V - 9V = 10V$$

Spadek napięcia na stabilizatorze (U_{stab}) to 10V. Mając już wszystkie potrzebne dane można za pomocą poniższego wzoru obliczyć wydzielaną moc na nim.

$$P = U \cdot I$$

$$P = 10V \cdot 0.105A = 1.05W$$

Z obliczeń wynika, że na tym zasilaczu stabilizator może pracować bez przykręconego radiatora, ponieważ obudowa TO-220 może bez problemów rozproszyć tę wartość.

2.2.7 Sposoby chłodzenia elementów elektronicznych

Najpopularniejszymi rodzajami chłodzenia elementów elektronicznych jest chłodzenie aktywne i pasywne. Czasem stosuje się również chłodzenie modułem Peltiera. Chłodzenie pasywne charakteryzuje się wykorzystaniem jedynie radiatora do odprowadzania ciepła. Nie generują one hałasu i są praktycznie bezawaryjne i bardzo tanie. Chłodzenie aktywne polega na wymuszeniu ruchu powietrza poprzez

zainstalowanie na radiatorze wentylatora. Taki sposób generuje szum i wymaga okresowej konserwacji, aby zmniejszyć do minimum ryzyko awarii, a także pobierania określonej ilości energii. W projekcie manipulatora wykorzystany jest rodzaj pasywny do chłodzenia stabilizatora napięcia i przetwornicy impulsowej, choć nie jest on wymagany. Ciepło znajdujące się w półprzewodnikowej strukturze musi być odprowadzone na zewnątrz poprzez jego obudowę do atmosfery. Ulega ono przemieszczeniu od miejsca cieplejszego do zimniejszego w celu wyrównania jego poziomu. Szybkość przepływu zależy od rodzaju zastosowanego materiału jak i różnicy temperatur między strukturą a otoczeniem. Bezpieczna praca tranzystorów i stabilizatorów w obudowach TO-220 to temperatura ok 150°C, choć mogą one pracować przez krótki czas w o wiele wyższych wartościach, to jednak tej temperatury nie powinno się przekraczać ze względu na stabilność układu i drastyczne skrócenie jego żywotności. Jedną z cech charakterystycznych opisujących stabilizator pod względem chłodzenia jest jego rezystancja cieplna (R_{th}) czyli opór jaki jest stawiany ciepłu na drodze jego przemieszczania się od obszaru cieplejszego do zimniejszego. Może się on składać z kilku składowych, mianowicie: rezystancja struktury półprzewodnikowej, obudowy, podkładki lub pasty i radiatora. Aluminium czy miedź, które bardzo chętnie są wykorzystywane do produkcji radiatorów mają bardzo małą wartość oporu cieplnego, natomiast plastik czy drewno posiadają wysoką wartość tego parametru. Opór cieplny wyrażany jest w stopniach Celsjusza na Wat, lub też Kelwinach na Wat. Jest to sposób ukazania jaka nastąpi różnica temperatur z obu stron elementu w przypadku przepływu 1W ciepła.¹²⁴

2.2.8 Obliczenia temperatury pracy stabilizatora (bez radiatora)

Najważniejszymi parametrami do przybliżonego obliczenia maksymalnej mocy w danych warunkach i temperatury stabilizatora jest przede wszystkim temperatura otoczenia, w której są prowadzone badania (często jest to maksymalnie zakładana temperatura), maksymalna moc elementu półprzewodnikowego w czasie jego pracy i rezystancja termiczna zastosowanej obudowy, którą można odnaleźć w jego

¹²⁴ Górecki Piotr, „Tranzystory dla początkujących – parametry termiczne”, Elektronika dla Wszystkich, rok.1998, nr.7 str.22-25

dokumentacji. Dodatkowo należy znać maksymalną temperaturę złącza, która nie powinna być przekroczona.

- Maksymalna temperatura otoczenia (T_o): 35°C
- Moc strat stabilizatora (P): 1.05W
- Rezystancja termiczna obudowy (R_{th}): 65°C/W
- Maksymalna temperatura złącza (T_{jmax}): 150°C

Na początku wyszczególniony powinien być maksymalny przyrost różnicy temperatur (ΔT) między układem scalonym a otoczeniem. Oblicza się go według wzoru:

$$\Delta T = T_{jmax} - T_o$$

$$\Delta T = 150^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C} = 115^{\circ}\text{C}$$

Jako, że została ustalona najwyższa przewidywalna temperatura otoczenia na poziomie 35°C , jest ona górną granicą, w której może pracować robot. Dla takiej temperatury są przedstawione wszystkie obliczenia w projekcie.

Parametr R_{th} to przybliżona rezystancja termiczna obudowy TO-220 według noty katalogowej producenta podzespołu. W celu obliczenia maksymalnej mocy, która może być wydzielona w założonych warunkach należy zastosować się do wzoru:

$$P = \frac{\Delta T}{R_{th}}$$

$$P = \frac{115^{\circ}\text{C}}{65^{\circ}\frac{\text{C}}{\text{W}}} = 1.77\text{W}$$

Z powyższego wzoru wynika że przy zakładanej temperaturze otoczenia 35°C i rezystancji złącza równej 65°C/W , stabilizator jest w stanie oddać 1.77W . Jest to o 0.27W więcej niż podaje wartość katalogowa. Wartość w dokumentacji producenta wynika najprawdopodobniej z innych warunków cieplnych otoczenia, które były ustalone podczas testów, i których producent określił jako maksymalne. Z tego wzoru można wyciągnąć wniosek, że im niższa temperatura otoczenia tym większą moc jest w stanie rozproszyć obudowa do otoczenia. Najistotniejszym obliczeniem będzie to

ukazane poniżej, dzięki któremu można w przybliżeniu określić temperaturę złącza, jaka się na nim pojawi.

$$\Delta T = P \cdot R_{th}$$

$$\Delta T = 1.05 W \cdot 65^{\circ} \frac{C}{W} = 68.25^{\circ} C$$

Temperatura z tego wzoru będzie jedynie różnicą temperatur między złączem a otoczeniem. Istnieje jeszcze potrzeba dodania wartości ciepłoty otoczenia, która występuje podczas badań.

$$T_j = 35^{\circ} C + 68.25^{\circ} C = 103.25^{\circ} C$$

$$T_{j\max} > T_j$$

W warunkach otoczenia równych 35°C temperatura obudowy będzie miała wartość 103.35°C. Jak widać z powyższej zależności jest ona o prawie 50°C mniejsza od bezpiecznej temperatury pracy stabilizatora. Oznacza to, że można pominąć instalację radiatora. Istnieje też prosta zależność, że im wyższa temperatura otoczenia tym wyższa temperatura obudowy. Na tym konkretnym zasilaczu i stabilizatorze musiała by istnieć temperatura aż 81.75°C aby istniało ryzyko jego uszkodzenia co pokazuje poniższe symulacyjne obliczenie.

$$T_j = 81.75^{\circ} C + 68.25^{\circ} C = 150^{\circ} C$$

$$T_{j\max} = T_j$$

2.2.9 Obliczenia temperatury pracy stabilizatora z radiatorem płaskim

Radiator jest dobierany indywidualnie do wydzielanego ciepła, wielkości obudowy chłodzonego obiektu czy miejsca na płycie montażowej. Wielkość i kształt radiatora można obliczyć. Do mało wymagających elementów stosuje się płaskie radiatory, które są wykonywane z kawałki miedzianej, bądź aluminiowej blachy. Mają kwadratowy kształt co pozwala na proste obliczenie wymiarów, które będą w stanie skutecznie odprowadzać do atmosfery określone ciepło. Bardziej skomplikowane radiatory

posiadają wymyślne kształty i liczne żeberka przez które następuje cyrkulacja powietrza.¹²⁵

O ile w przypadku podłączenia zasilacza o wartości nie przekraczającej 26V nie ma potrzeby instalowania dodatkowego radiatora to w przypadku chęci podłączenia wyższej jego wartości jest to niezbędne. Aby oszacować gabaryty radiatora aluminiowego dla zasilania 36V (bez radiatora jego temperatura jest w granicach 212°C) potrzeba danych o rezystancji cieplnej złącza aluminiowego drugiej strony stabilizatora (R_{thjc}) i rezystancje podkładki mikowej, która jest zamiast pasty termoprzewodzącej (R_{thcr}). Przypomnieć należy także maksymalną temperaturę półprzewodnika, otoczenia i wydzielaną moc.

- R_{thcr} : 1.2°C/W
- R_{thjc} : 5°C/W
- T_{jmax} : 150°C
- $P = 2.4W$

Dzięki tym parametrom można obliczyć potrzebną rezystancję cieplną blachy aluminiowej i korzystając z wykresu określić długość jej boku. Poniżej jest ukazany wzór na wartość całkowitą rezystancji cieplnej R_{thja} dla zasilacza 36V.

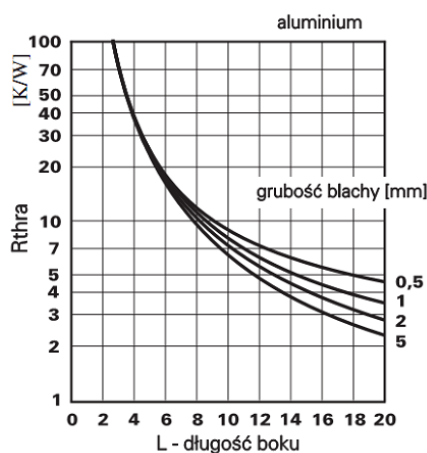
$$R_{thja} = \frac{\Delta T}{P}$$
$$R_{thja} = \frac{115^{\circ}C}{2.4W} = 48^{\circ}\frac{C}{W}$$

Całkowita rezystancja cieplna w tym przypadku wynosi 48°C/W. Do tego jeszcze należy obliczyć rezystancję cieplną, która ma odpowiadać konkretnej wielkości radiatora (R_{thra}).

$$R_{thra} = R_{thja} - (R_{thjc} + R_{thcr})$$
$$R_{thra} = 48^{\circ}\frac{C}{W} - \left(5^{\circ}\frac{C}{W} + 1.2^{\circ}\frac{C}{W}\right) = 41.8^{\circ}\frac{C}{W}$$

¹²⁵ Górecki Piotr, „Radiatory cz.3”, Elektronika praktyczna, rok.1994, nr.5 str.19

Teraz tylko należy na wykresie odszukać długość boku blachy aluminiowej podstawiając obliczoną wartość radiatora.



Rys. 2.3 Zależność rezystancji cieplnej od długości boku radiatora ¹²⁶

Z obliczeń i wykresu wynika, że aby możliwe było podłączenie zasilacza o napięciu 32V należy mieć przykręcony radiator o długości boku przynajmniej 4cm (16cm²) i grubości 2mm. Istnieje jeszcze możliwość przybliżonej temperatury zastosowanego radiatora (T_r). Wzór ten sprawdza się aby mieć pewność, że nie przekroczy się progowej wartości 150°C.

$$T_r = T_o + \left(P \cdot R_{thra} \right)$$

$$T_r = 35^{\circ}C + \left(2.4W \cdot 41.8^{\circ}\frac{C}{W} \right) = 135^{\circ}C$$

Poniżej znajdują się tabela zawierająca najpopularniejsze napięcia zasilaczy wraz z zestawieniem wydzielanej mocy na stabilizatorze, jego temperatury pracy z radiatorem i bez radiatora. Dodatkowo w tym zestawieniu jest temperatura jaką może mieć radiator o podanych gabarytach. Należy wziąć pod uwagę zasilacz 52V, który raczej nie mógłby być zastosowany ze względu na ograniczenie maksymalnego napięcie wejściowego stabilizatora a jest w tabeli jako ciekawostka. W tym wypadku duży radiator jest w stanie obniżyć temperaturę aż o ok.180°C.

¹²⁶ Górecki Piotr, „Radiatory w sprzęcie elektronicznym”, Elektronika dla Wszystkich, rok.1999, nr.12 str.39

Napięcie zasilacza	16V	19V	26V	32V	36V	52V
Wydzielana moc	0.73W	1.05W	1.78W	2.4W	2.8W	4.5W
Tem. złącza (bez radiatora)	82°C	103°C	151°C	191°C	212°C	327°C
Dł. boku radiatora [2mm]	-	-	-	4cm	4.5cm	23cm
Temperatura radiatora	-	-	-	135°C	132°C	147°C

2.2.10 Obliczenia prądu dla sygnalizatora LED

Poniżej przedstawione są obliczenia ograniczenia prądu dla diody LED, która z pewnością po bezpośrednim podłączeniu do 9V na pewno uległa by spaleni. Rezystory ograniczające prąd są połączone ze sobą równolegle. Potrzebny jest następujący wzór aby można było obliczyć ogólną wartość rezystancji. Jest to wzór na połączenie równoległe oporników. Oba rezystory mają tą samą wartość.

- $R_1 = 6500 \Omega$
- $R_2 = 6500 \Omega$
- $P = 0.25W$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Po jego przekształceniu i dostosowaniu do dwóch oporników uzyskuje się wzór, a następnie wynik działania matematycznego:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R = \frac{6500\Omega \cdot 6500\Omega}{6500\Omega + 6500\Omega} = \frac{42250000\Omega}{13000\Omega} = 3250\Omega$$

Oba oporniki połączone w taki sposób stanowią razem 3250Ω. Zostaje jeszcze kwestia przepływającego prądu poprzez diodę. W tym miejscu należy skorzystać z prawa Ohma i odpowiednio przekształcając go, aby wynik obliczeń wskazywał na wartość prądu przepływający przez nią.

$$U = I \cdot R$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{9V}{3250\Omega} = 0.0028A = 2.8mA$$

Prąd przepływający przez diodę jest bardzo mały, jedynie 2.8mA, ale wystarczający do jej widocznego świecenia. Maksymalny prąd mogący przepływać przez nią to 20mA, a dzięki prawu Ohma udało się obliczyć że przy 9V należy zastosować rezystor o min. wartości 355 Ω . W przypadku obliczenia wydzielanej mocy na rezystorach, trzeba wziąć pod uwagę ich połączenie. W Przypadku ich szeregowego połączenia moc nie podwaja się, inaczej jest w przypadku połączenia równoległego, mianowicie moc jest sumowana, gdyż rozkłada się w tym przypadku na obydwa oporniki.

$$P_{(rez)} = 0.25W \cdot 2 = 0.5W$$

Wydzielaną moc oblicza się według wzoru:

$$P = U \cdot I$$

Jednostką mocy jest Wat. U to spadek napięcia na rezystorach, a I to prąd przepływający przez nie. Spadek napięcia na rezystorach należy obliczyć poprzez odjęcie spadku napięcia na diodzie od napięcia wyjścia stabilizatora.

$$U = 9V - 1.7V = 7.3V$$

Następnie można już obliczyć moc wydzielaną na rezystorach.

$$P = 7.3V \cdot 0.0028A = 0.02W$$

Moc wydzielana na opornikach jest bardzo niska, w żadnym wypadku nie zagraża to ich przegrzaniu.

2.2.11 Przetwornica impulsowa

Przetwornica impulsowa swoim działaniem przypomina zwykły stabilizator napięcia. Dzięki jej zastosowaniu na wyjściu zasilania można uzyskać niższe lub wyższe napięcie przy zachowaniu sprawności do 90%. Istnieją przetwornice indukcyjne i pojemnościowe.

W przetwornicy indukcyjnej energia jest zmagazynowana w polu elektromagnetycznym, a w pojemnościowej w kondensatorze. Tego rodzaju układy działają na zasadzie pobierania niewielkiej ilości energii, zmagazynowanej w kondensatorze lub w cewce i następnie jest ona przekazywana na wyjście w postaci impulsów. Generowaniem impulsów zajmuje się specjalnie skonstruowany generator impulsowy, wytwarzający przebiegi piłokształtne o określonej częstotliwości. Czuwa nad nimi komparator. Zgodnie z częstotliwością generatora tranzystor ulega włączeniu i wyłączeniu. Stanowi on swego rodzaju klucz. Wydzielana moc jest mała, ponieważ w jednym ze stanów tranzystora prąd jest niewielki, a w drugim stanie jest jedynie mały spadek napięcia. Jedynie podczas samego procesu przełączania wydzielą się duża moc, która szybko jest tracona w czasie chwili zamknięcia półprzewodnika. W porównaniu do zwykłego stabilizatora, przetwornica zapewnia lepsze zabezpieczenie przed zakłóceniami, jest sprawniejsza, wydzielą mniej ciepła (zwłaszcza wersja z dławikiem) i ma szerszy zakres napięć wejściowych.^{127 128}

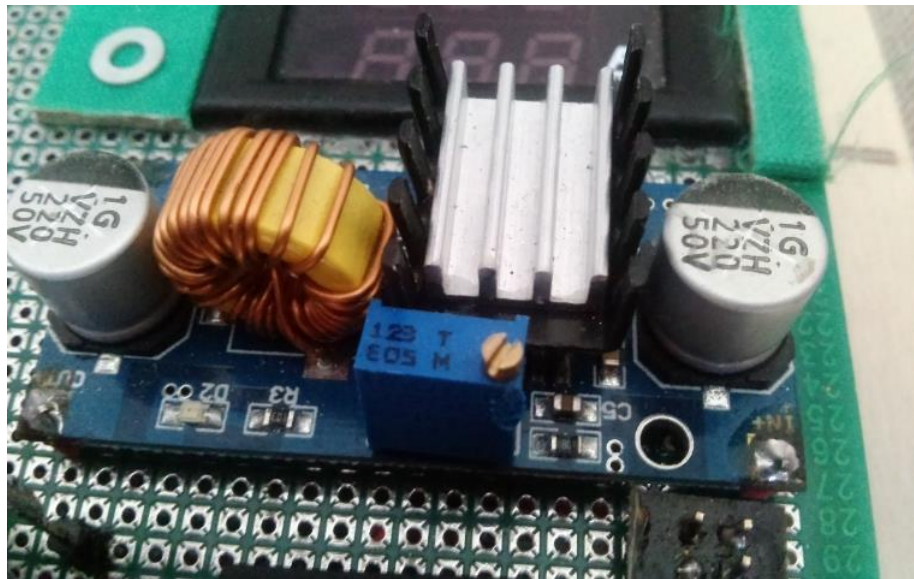
W projekcie, zamiast dodatkowego stabilizatora napięcia, zastosowano przetwornicę impulsową. Dzięki niej można w czasie rzeczywistym regulować napięcie korzystając z wbudowanego na niej potencjometru. Przede wszystkim jest bardzo wydajna, mało się grzeje, i na jej wyjściu może pojawić się takie napięcie jakie aktualnie potrzebują silniki w serwomechanizmach. Została tak dobrana, aby mogła zaspokoić energie wszystkich silników i nie przegrzać się. Ciężko było by znaleźć na rynku stabilizator liniowy, który tak idealnie nadał by się do zasilania prądożernych podzespołów projektu. Opcjonalnie, na stabilizatorze został umiejscowiony niewielki radiator.

¹²⁷ Górecki Piotr, „Przetwornice impulsowe - ogólnie”, Elektronika dla Wszystkich, rok.1997, nr.11 str.68

¹²⁸ Topór-Kamiński Lesław, „Elementy półprzewodnikowe i układy elektroniczne” wyd. Politechniki Śląskiej 2003, str. 166-168

Specyfikacja: Przetwornica impulsowa Step-Down BUCK XL4005

- Typ: Obniżająca napięcie (Step-Down)
- Minimalne napięcie wejściowe: 5V
- Minimalne napięcie wyjściowe: 0.8V
- Maksymalne napięcie wejściowe: 32V
- Maksymalne napięcie wyjściowe: 30V
- Maksymalne natężenie prądu wyjściowego: 5A
- Maksymalna częstotliwość przełączania: 300kHz
- Zabezpieczenie termiczne
- Temperatura pracy: -40°C ... 125°C
- Rezystancja cieplna: 30°C /W
- Sprawność: 90%
- Wymiary: 54 x 24 x 11 [mm]

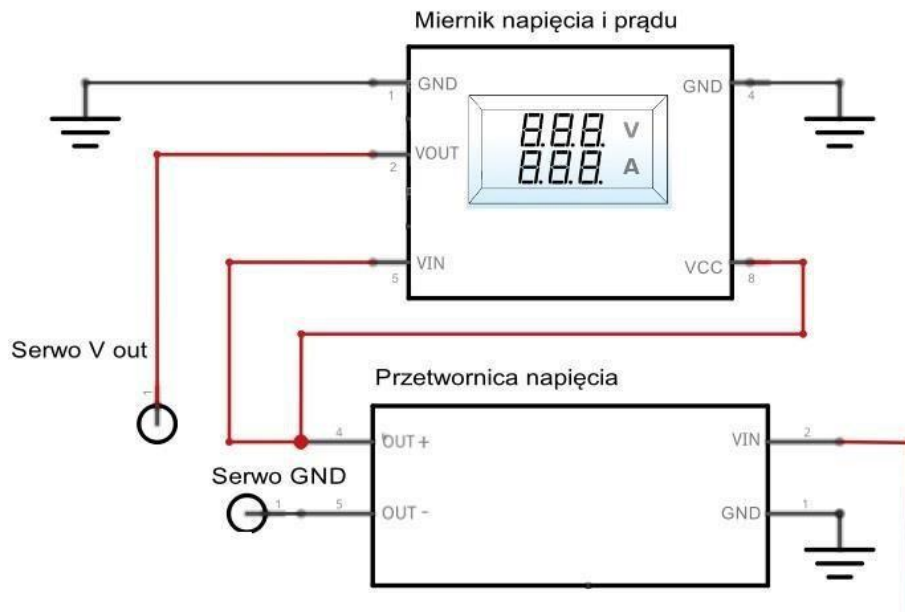


Fot. 2.11 Przetwornica napięcia Step-Down z widocznym radiatorem

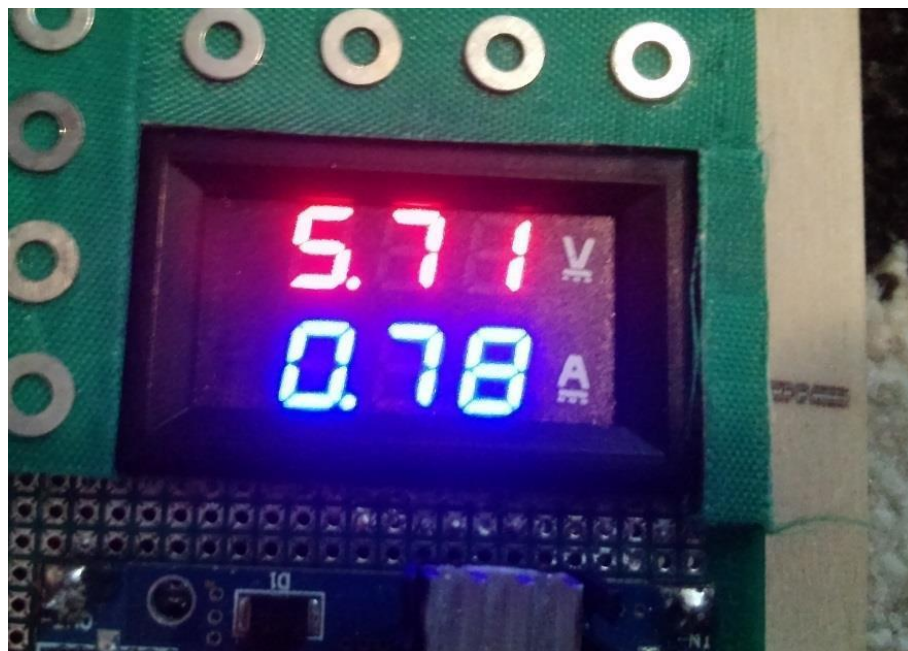
2.2.12 Opcjonalny moduł pomiaru napięcia i prądu przetwornicy

Moduł pomiaru napięcia i prądu czerpie zasilanie do swojej pracy bezpośrednio z przetwornicy. Na jej wyjściu, za wspomnianym zasilaniem modułu przewód trafia bezpośrednio do miernika, który mierzy napięcie i przepływający przez niego prąd, wyświetla na ekranie obie wartości i „wypuszcza” zmierzony prąd prosto do

serwomechanizmów i lampy oświetleniowej. Dzięki temu elementowi, na bieżąco widać napięcie między zaciskami przetwornicy, jak i natężenie które jest pobierane przez silniki i lampę oświetleniową [Rys. 2.4 i Fot 2.12].



Rys. 2.4 Schemat podłączenia miernika



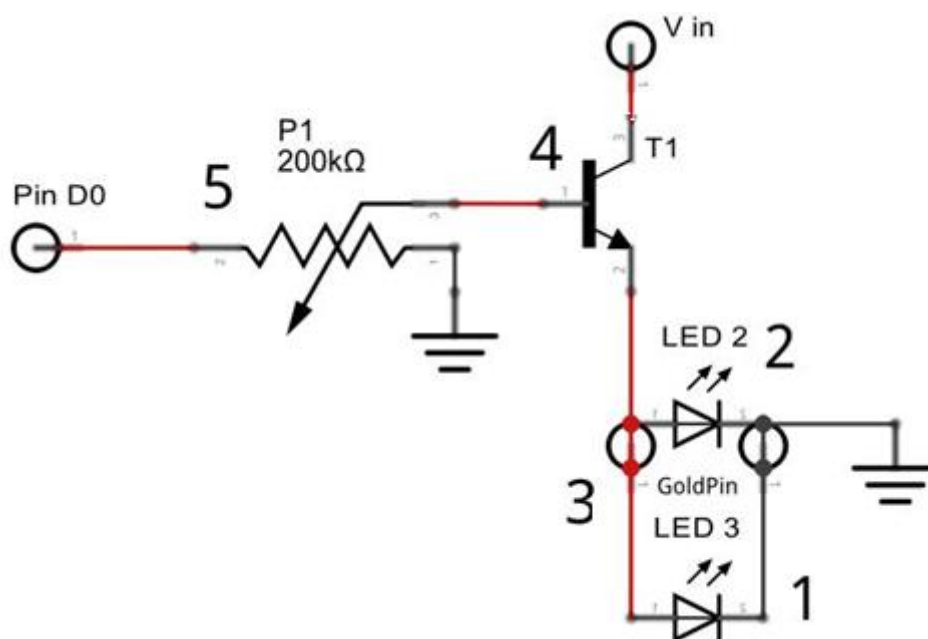
Fot. 2.12 Miernik napięcia i płynącego przez przetwornice prądu

Specyfikacja: Moduł woltomierza i amperomierza

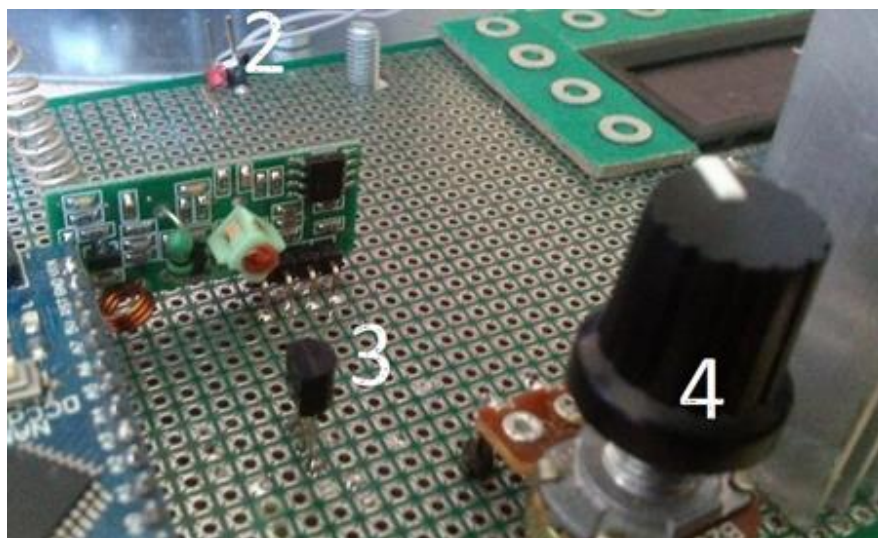
- Napięcie pracy: 3V ...30V
- Maksymalny pomiar napięcia: 99V
- Maksymalny pomiar prądu: 10A
- Wielkość wyświetlacza: 0.28"
- Odświeżania: co 0.5s
- Tolerancja pomiaru: 1%
- Temperatura pracy: -10°C ... +65°C
- Wymiary: 48x28x21 [mm]

2.3 Moduł oświetlenia

Zastosowany moduł oświetlenia został zainstalowany po to, aby w zupełnej ciemności można było prowadzić prace związane z przenoszeniem jakiś przedmiotów. Dioda mocy jest domyślnie wyłączona po uruchomieniu maszyny. Włączona zostaje na odległość poprzez wciśnięcie odpowiedniego przycisku na pilocie. Znajduje się ona na serwomechanizmie i bez przeszkód potrafi oświetlić obiekt manipulacji a nawet większą przestrzeń znajdującą się przed nim. Cały moduł składa się z potencjometru, tranzystora, diody mocy oświetleniowej i goldpinów.



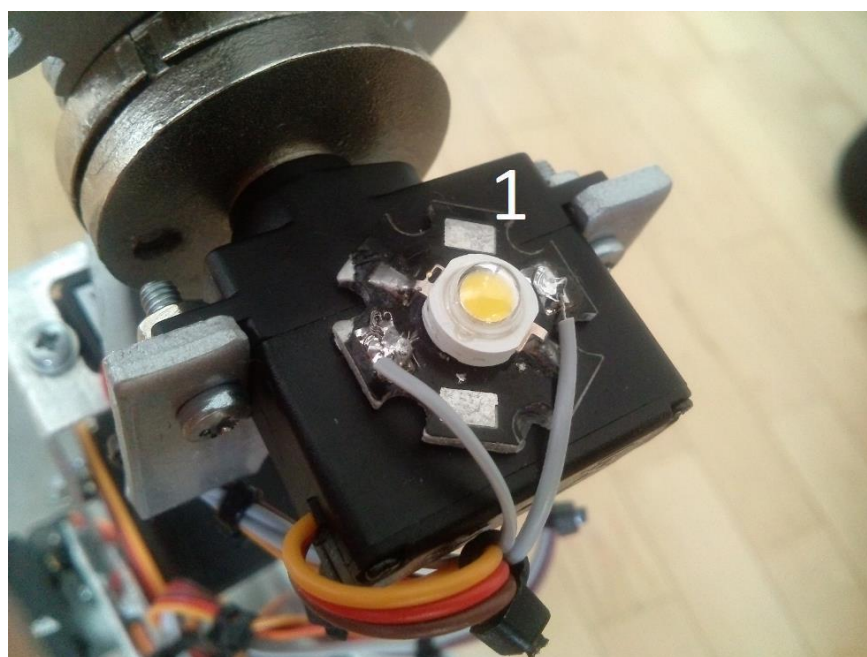
Rys. 2.5 Schemat modułu oświetleniowego



Fot.2.13 Moduł oświetlenia na płycie montażowej



Fot. 2.14 Pin połączeniowy



Fot. 2.15 Umieszczona na serwomechanizmie dioda mocy z widocznym radiatorem



Fot. 2.16 Praca diody mocy w ciemności

Film pracy oświetlenia w dzień i w nocy: <https://youtu.be/AFDRXPy0ezQ>

2.3.1 Spis elementów modułu oświetlenia [Rys. 2.5 i Fot. 2.13, 2.14, 2.15]

- Dioda Mocy LED
- Piny do połączenia z diodą mocy (gniazdo)
- Tranzystor
- Potencjometr z gałką
- Wtyk połączenia diody mocy z resztą układu
- Przewody połączeniowe

2.3.2 Technologia LED

Diody LED są elementami półprzewodnikowymi generującymi światło, które jest formą energii. Dziś rozumie się je jako strumień fotonów i jednocześnie jako fala elektromagnetyczna o wysokiej częstotliwości. Fotony są wysyłane wtedy, kiedy elektron o wyższym poziomie energetycznym przeskakuje na orbitę o niższym poziomie energetycznym. Kolor światła powstaje na skutek domieszkowania struktury określonymi pierwiastkami. Każdy kolor ma swoją długość fali. Diody również mogą

generować światło ultrafioletowe. Zostały one wynalezione w roku 1962. Pobierają one niewiele energii, dlatego ich koszt eksploatacji jest bardzo tani. Są one trwałe, wysokosprawne, małe, odporne na wstrząsy i udary mechaniczne. Należy pamiętać aby poprawnie podłączać diodę, w przeciwnym wypadku złącze ulegnie przebiciu i spaleniu. Jedną z wad jest ich temperatura, która może być bardzo wysoka. Zbyt duża jej wartość potrafi spalić diodę, ale przede wszystkim drastycznie spada jej żywotność i szybko maleje strumień świetlny. W diodach elektroluminescencyjnych 35% energii zostaje zamienione jako światło, a reszta czyli 65% na ciepło. W większości diod maksymalna temperatura jej złącza nie może przekroczyć 140°C. Nawet przekroczenie tej bariery o 10°C może spowodować 50% spadek żywotności półprzewodnikowej struktury. W celu chłodzenia stosuje się różnego rodzaju radiatory aluminiowe. Ich koszt często jest wyższy od kosztu samej diody. Istnieją pewne rozwiązania oparte na połączeniu radiatora i małego wentylatora wymuszającego obieg powietrza.^{129 130 131}

2.3.3 Tranzystor

Pierwsze tranzystory zostały skonstruowane przez firmę Bell w roku 1947 pod kierownictwem Williama Shockley. Był to tranzystor ostrzowy. Wcześniej, w latach '30 zostały nadane pierwsze patenty na nie, ale ze względów technicznych nie mogły być one wykorzystywane. Jest on elementem aktywnym, czyli takim, który potrafi wzmocnić napięcie wyjściowe, przy przyłożeniu na jego wejściu małego prądu. Wysokie napięcie nie bierze się z niczego, może być one pobierane z oddzielnego źródła. W układach takich jak np.: procesor, tranzystor pełni rolę przełącznika między stanem przewodzenia, a stanem zatkania (1 – tranzystor przewodzi prąd, 0 – tranzystor zatkany). Wykorzystuje się je również do zapamiętywania informacji w pamięciach półprzewodnikowych. W dzisiejszych czasach tranzystor jest w każdym układzie elektronicznym i pełni różne ważne funkcje. Typowy tranzystor jest elementem półprzewodnikowym, posiadającym trzy wyprowadzenia: kolektor, baza i emiter. Wyróżnia się tranzystory typu NPN i PNP, różniące się między sobą rozmieszczeniem wewnętrznej struktury i polaryzacją. Wersja NPN składa się z trzech elementów, mianowicie: półprzewodnik typu N(nadmiar elektronów), typu P(niedobór elektronów, dziury) i znowu typu N. W tranzystorze NPN

¹²⁹ Górecki Piotr, „Diody laserowe cz.1”, Elektronika dla Wszystkich, rok.1997, nr.3 str.18-19

¹³⁰ Zbysiński Piotr, „Chłodzenie LED średniej i małej mocy”, Elektronika praktyczna, rok.2015, nr.3 str.63

¹³¹ Dziuban Maciej, „Dlaczego trzeba chłodzić diody LED?”, Elektronika praktyczna, rok. 2015, nr.3 str.70

złącze baza-emiter jest spolaryzowane w kierunku przewodzenia, a baza-kolektor – w kierunku zaporowym. Istotną cechą każdego tranzystora jest jego wzmocnienie prądowe (beta tranzystora). Wielkość ta oznacza ile razy tranzystor jest w stanie wzmocnić napięcie podane na jego bazę. W typie NPN aby tranzystor był użyteczny baza musi być spolaryzowana dodatnio względem emitera, w PNP jest odwrotnie.¹³²

Specyfikacja: Tranzystor NPN BC547

- Typ obudowy: TO-92 Moc (P_c): 0.5W
- Maksymalny prąd kolektora (I_c): 100mA
- Maksymalne napięcie kolektor-baza(V_{cbo}): 50V
- Maksymalne napięcie kolektor-emiter(V_{ceo}): 45V
- Temperatura pracy (T_{stg}): -65°C - 150°C
- Maksymalna temperatura złącza (T_{jmax}): 150°C
- Wzmocnienie tranzystora (h_{FE}): 100
- Maksymalna częstotliwość przełączania: 300MHz
- Spadek napięcia baza-emiter (V_{be}): 0.7V



Fot. 2.17 Tranzystor BC547

¹³² Eugene Aisberg „Tranzystor – ależ to bardzo proste” wyd. Naukowo-Techniczne 1965, str. 20-50

Specyfikacja: Dioda Power LED Star 1W

- Moc: 1W
- Barwa: biała, ciepła
- Maksymalny prąd (I_c): 350mA
- Maksymalne napięcie pracy: 3V
- Jasność: ok. 80 lm
- Kąt świecenia: 120°
- Temperatura barwowa: 3000 – 3600K
- Materiał i typ radiatora: Aluminium, Star
- Maksymalna temperatura złącza (T_{jmax}): 140°
- Rezystancja termiczna (T_{js}): 0.48°C/W

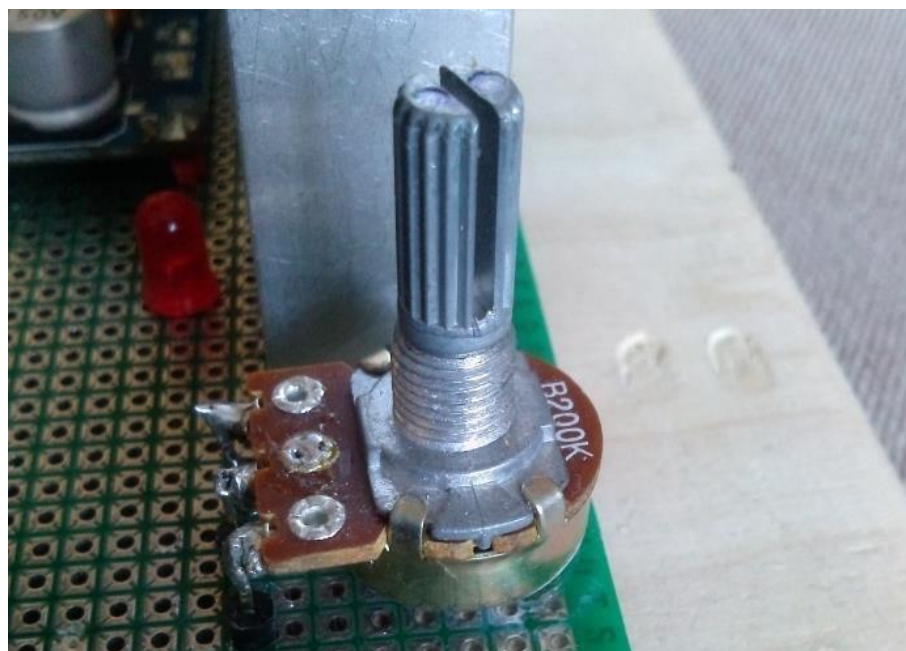


Fot. 2.18 Dioda mocy z widocznymi połączeniami

Specyfikacja: Potencjometr POM16

- Rezystancja: 200kΩ +/-30%
- Typ: Liniowy

- Kąt obrotu: $300^{\circ} \pm 5^{\circ}$
- Moc: 0.2W
- Maksymalne napięcie: 200V
- Żywotność: >15000 cykli
- Temperatura pracy: $-10^{\circ}\text{C} \dots +70^{\circ}\text{C}$
- Wymiary: 6x15x30 [mm]



Fot. 2.19 Potencjometr 200k Ω

2.3.4 Obliczenia regulacji jasności oświetlenia

W celu sterowania przepływem prądu, a co za tym idzie jasnością diody LED na bazie tranzystora został umieszczony potencjometr. Poprzez pokrętkę można regulować ilość prądu, która trafia do bazy półprzewodnika. Beta tranzystora (h_{FE}) zastosowanego w projekcie modelu to 100, co oznacza że stukrotnie tranzystor jest w stanie wzmacnić wartość prądu, która pojawia się na jego bazie. Przykładowo jeżeli przez bazę przepływa 1mA prądu to poprzez kolektor przepłynie 100mA. Poniższe obliczenia są dedykowane dla wartości potencjometru, który jest odkręcony na połowie swojej wartości. Został on tak podłączony aby jego kręcenie w kierunku ruchu wskazówek zegara powodowało rosnącą jasność światła. Oznacza to, że wtedy jego rezystancja maleje. 0° pokrętki to wartość 200k Ω a 300° to ok 0k Ω . Na każdy stopień obrotu przypada 0.67 Ω co wskazują obliczenia:

$$R_{(1^\circ)} = \frac{200k\Omega \cdot 1^\circ}{300^\circ} = 0.67\Omega$$

Do obliczeń przepływającego prądu i rezystancji potrzebne są następujące wartości:

- Napięcie pinu D0: 5V
- Maksymalny prąd wyjściowy pinu D0: 40mA
- Prąd wyjściowy przetwornicy: 6V

Baza tranzystora wykorzystuje prąd pochodzący z pinu D0, którego maksymalne natężenie może mieć wartość 40mA, czyli takie jak pozostałych pinów cyfrowych Arduino Nano. Natomiast prąd przepływający przez korektor w stronę emitera pochodzi z przetwornicy. Napięcie na przetwornicy można zmieniać, choć dla poprawnego działania całego manipulatora wyznaczony został bezpieczny przedział pracy, mianowicie od 5V do 7.2V. W tym przedziale podczas testów robota nie zauważono takich objawów jak przegrzanie, spalenie elementów. Wszystko funkcjonowało poprawnie przez ponad godzinę testów. W projekcie pokrętko potencjometru zostało ustawione na 285° i została obliczona jego rezystancja:

$$R_p = \frac{285^\circ \cdot 200k\Omega}{300^\circ} = 190k\Omega$$

$$R_p = 200k\Omega - 190k\Omega = 10k\Omega$$

Z obliczeń wyraźnie wynika że w tej pozycji potencjometr posiada 10kΩ. Następnie jest liczony spadek napięcia na potencjometrze (V_p) i prąd bazy (I_b) z prawa Ohma:

$$V_p = U - V_{be}$$

$$V_p = 5V - 0.7V = 4.3V$$

$$I_b = \frac{U}{R_p}$$

$$I_b = \frac{4.3V}{10000\Omega} = 0.00043A = 0.43mA$$

Na tej wartości potencjometru prąd przepływający przez bazę do emitera ma jedynie 0.43mA. Wspomniano, że tranzystor służy do wzmacniania prądu, dlatego wartość ta zostanie odpowiednio wzmacniona. Aby oszacować jaki prąd będzie przepływał przez diodę LED należy jedynie ten wynik pomnożyć przez współczynnik wzmacnienia tranzystora:

$$I_c = h_{FE} \cdot I_b$$

$$I_c = 100 \cdot 0.43mA = 43mA$$

Prąd kolektora będzie miał teraz 43mA, czyli w przypadku maksymalnego przepływu prądu przez kolektor jest to połowa jego maksymalnej wartości, a w przypadku diody LED jedynie 1/8 jej wartości. Już na tym poziomie można stwierdzić że w przypadku tego rodzaju tranzystora maksymalny prąd przepływający przez diodę będzie 1/3 jej wartości. W celu wykorzystania pełnej mocy zalecane jest zainstalowanie mocniejszego tranzystora. Prąd emitera jest sumą prądu bazy i kolektora:

$$I_e = I_k + I_b$$

$$I_e = 43mA + 0.43mA = 43.43mA$$

2.3.5 Moc Tranzystora

Należy uważać z odkręcaniem potencjometru, jego obudowa jest w stanie rozproszyć tylko 0.5W ciepła. Zabronione jest przekraczanie tej wartości, ponieważ na tej obudowie nie można zainstalować radiatora. Dodatkowo jego powierzchnia jest bardzo mała. Na początku należy obliczyć jaki jest spadek napięcia na tranzystorze czyli od napięcia przetwornicy ustawionej na 6V(V_{out}) odjąć napięcie spadku na diodzie LED(V_d):

$$U = V_{out} - V_d$$

$$U = 6V - 3V = 3V$$

Do obliczenia wydzielanej mocy tranzystora na tym kącie obrotu znanym z poprzednich obliczeń potrzeba tylko jednego działania:

$$P_t = U \cdot I_k$$

$$P_t = 3V \cdot 0.043A = 0.129W$$

$$P_{\max} > P_t$$

Wydzielana moc tranzystora jest sporo mniejsza od maksymalnej, także nie ma obaw o zakłócenie stabilność układu.

Poniższa tabela jest zestawieniem współpracy wszystkich tych elementów dla których było przeprowadzone obliczenia. Zmiana jednego parametru (rezystancji potencjometru) ma znaczący wpływ na całą resztę. Sensowne działanie diody rozpoczyna się dopiero do przekroczeniu połowy gałki potencjometru. Jednak należy zwrócić uwagę aby do końca jej nie przekręcać, ponieważ dioda, a tym bardziej tranzystor ulegnie uszkodzeniu. Na maksymalny przekroczeniu potencjometru aż sześćokrotnie przekracza się prąd kolektora i o 0.3W moc tranzystora. Z tych obliczeń można wywnioskować, że maksymalne przekroczenie gałki nie może być większe 292°. Ze względu na tolerancje rezystancji potencjometru i szereg innych czynników osiągnięcie takich dokładnych wartości jest niemożliwe, dlatego obliczenia te należy traktować z przymrużeniem oka. (w tym potencjometrze ciężko na wymierzenie tego stopnia obrotu) Jedynie zastosowanie bardzo precyzyjnych elementów pozwoliłoby na operowanie takimi danymi. Są one przedstawione orientacyjnie. W każdym wypadku nie zaleca się maksymalnego odkręcania potencjometru.

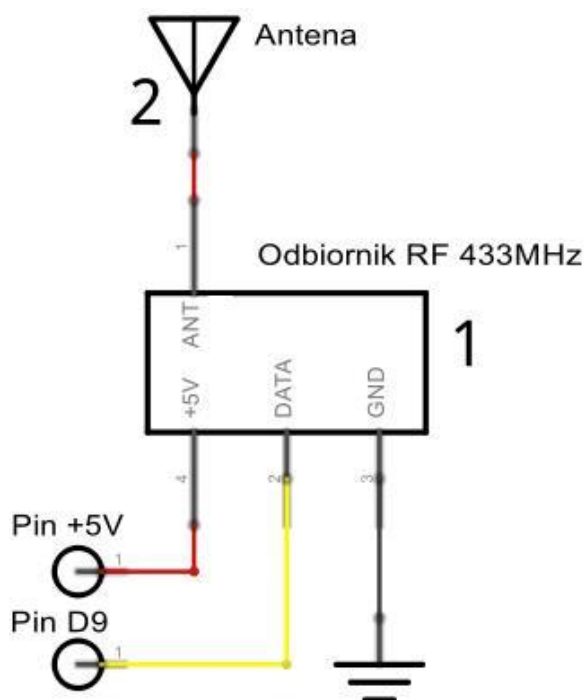
Kąt obrotu	299°	295°	292°	285°	200°	150°
Rezystancja	700Ω	3kΩ	5kΩ	10kΩ	67kΩ	100kΩ
Prąd bazy	6.14mA	1.43mA	0.8mA	0.43mA	0.063mA	0.043mA
Prąd kolektora	614mA	143mA	80mA	43mA	6.3mA	4.3mA
Moc tranzystora	1.8W	0.429	0.24W	0.129W	0.019W	0.013W
Moc diody	1.8W	0.429	0.24W	0.129W	0.019W	0.013W

Z racji tego, że w teście spadek napięcia na diodzie LED i tranzystorze jest ten sam, obowiązują również ten sam wzór pozwalający obliczyć moc diody co jest przedstawione w ostatnim wierszu kolumny.

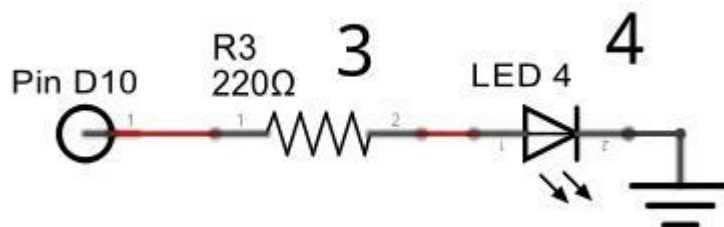
$$P_t = 3V \cdot 0.043A = 0.129W$$

2.4 Moduł odbiornika radiowego RF 433MHz

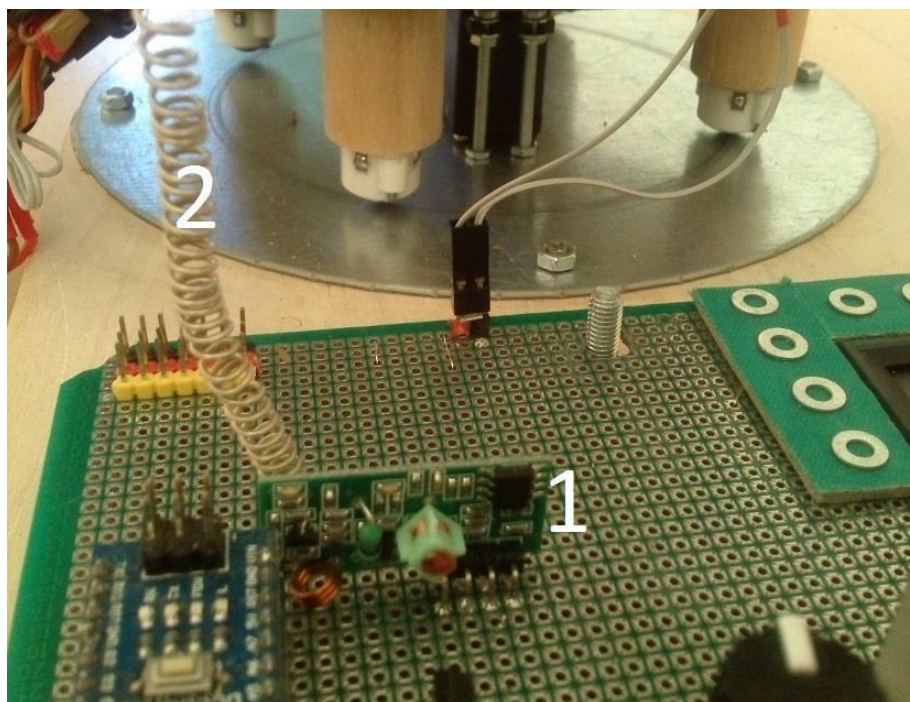
Moduł odbiornika radiowego częstotliwości 433MHz został zainstalowany na płycie montażowej w celu odbierania danych i przekazywaniu ich do mikrokontrolera Arduino w celu ich przetworzenia i sterowania serwomechanizmami czy lampą. Zastosowany moduł jest bardzo tani jak i nieprecyzyjny, dlatego sterowanie robotem bez wlutowania odpowiedniej anteny nie miało by sensu na odległości większe niż 2 metry. W celu zwiększenia odległości sterowania została ona stworzona. Cały moduł składa się z odbiornika radiowego i diody LED, która sygnalizuje odbieranie danych.



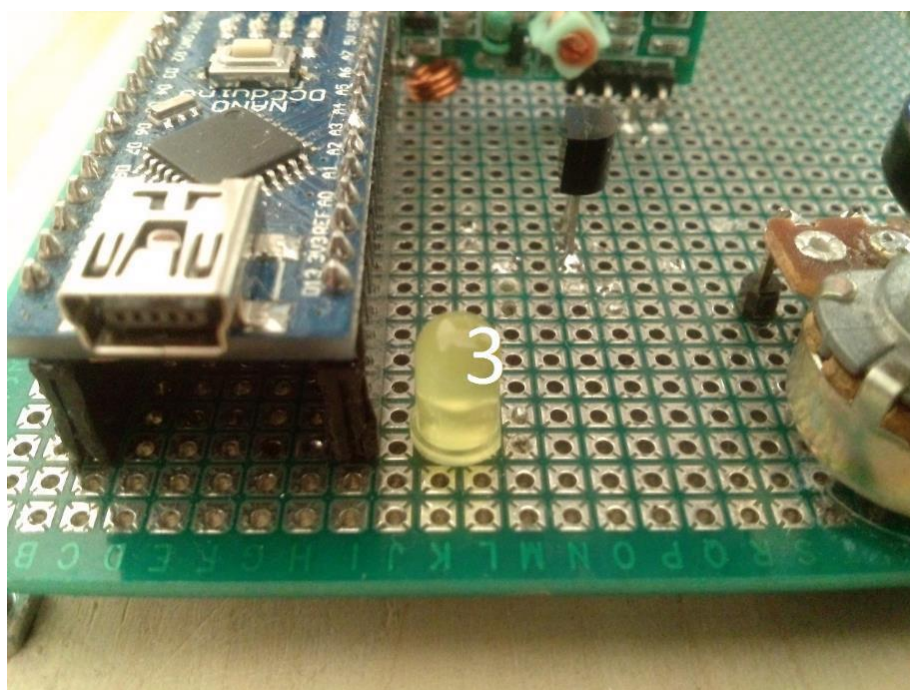
Rys. 2.6 Schemat połączenia odbiornika radiowego



Rys. 2.7 Schemat połączenia sygnalizatora LED



Fot. 2.20 Moduł odbiornika bezprzewodowego z anteną



Fot. 2.21 Dioda LED sygnalizująca odbierania danych

Film pracy nadawania i odbioru danych: <https://youtu.be/n61VdSmaEuQ>

2.4.1 Spis elementów modułu radiowego [Rys. 2.6, 2.7 i Fot. 2.20, 2.21]

1. Odbiornik modułu radiowego 433MHz
2. Antena
3. Sygnalizator odbierania danych

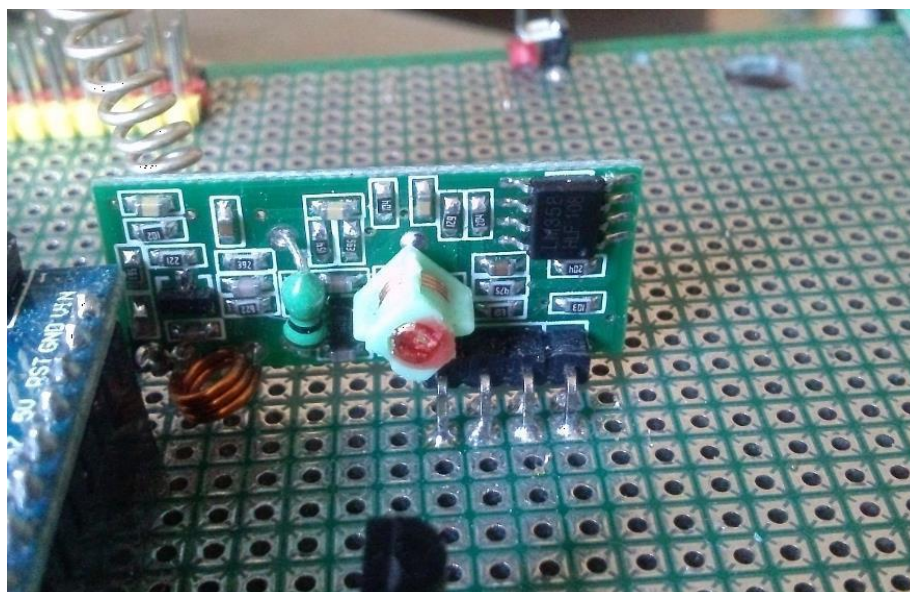
2.4.2 Radiowe przesyłanie danych

W tej formie komunikacji, fale radiowe odgrywają najistotniejszą rolę. To one powodują nawiązanie połączenia między nadajnikiem a odbiornikiem. Fale te są wytwarzane przez nadajnik poprzez prąd zmienny wysokiej częstotliwości, który płynie przez antenę nadawczą. (Płynący prąd przez przewodnik wytwarza wokół niego fale elektromagnetyczną) Fale zostają niejako oderwane od przewodnika i rozchodzą się w postaci okręgów. Prędkość takiej fali to 300 tys. m/s. W antenie odbiorczej zaś, fala ta wywołuje prąd bardzo podobny od nadanego ale o wiele mniejszym natężeniu. Aby można było nadać falę, modulator wbudowany w nadajniku tworzy falę wysokiej częstotliwości, która nosi nazwę fali nośnej, ponieważ jest ona w stanie przenieść dane. Dane są na nią nakładane i wysyłane w przestrzeń. Natomiast w odbiorniku energia z anteny odbiorczej jest porównywana z obwodem rezonansowym, który również ma swoją częstotliwość tak jak odebrana fala. Częstotliwość ustawia się zmieniając pojemność kondensatora lub indukcyjność cewki, dzięki temu można „nastroić” odbiornik (obwód rezonansowy) do częstotliwości odbieranych fal. Następnie następuje wyodrębnienie informacji z fali nośnej.¹³³

Specyfikacja: Moduł komunikacji RF 433MHz – odbiornik

- Napięcie zasilania: 5V
- Pobór prądu: ok. 5.5 mA
- Metoda pracy: OOK/ASK
- Częstotliwość pracy: 315MHz...433MHz (możliwa regulacja)
- Przepustowość: 2MHz
- Czułość: -100dBm (50 Ω)
- Prędkość transmisji: <9.6Kbps
- Wymiary 19x19 [mm]

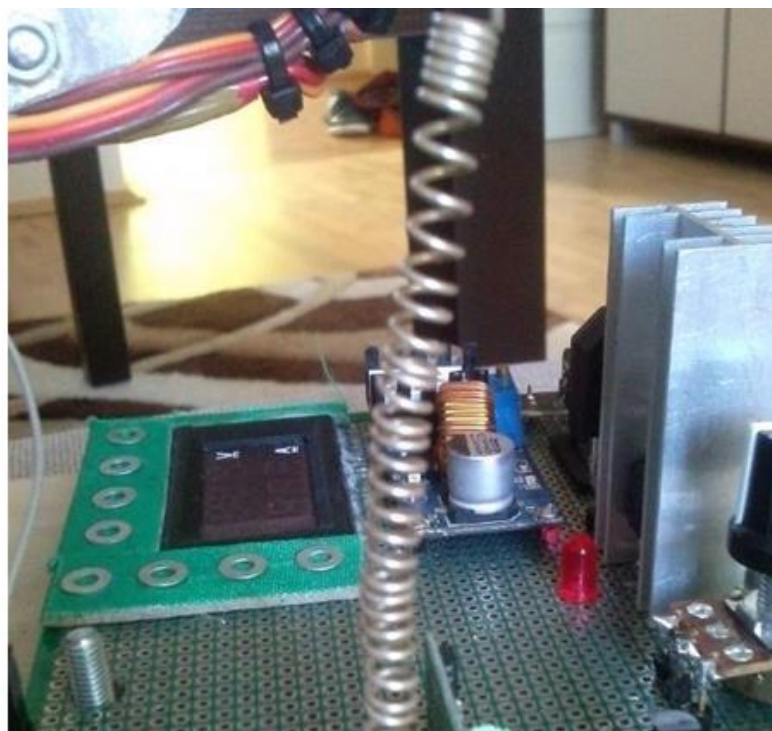
¹³³ Aisberg Eugene, „Radio”, wyd. Naukowo – Techniczne 1956, str. 15-18



Fot. 2.22 Odbiornik modułu RF 433MHz

Specyfikacja: Antena odbiorcza

- Typ: Spiralna
- Materiał: Srebrzanka
- Wysokość: 85mm
- Średnica drutu: 1mm
- Średnica anteny: 4mm



Fot. 2.23 Antena wykonana ze srebrzanki

Specyfikacja: Dioda LED

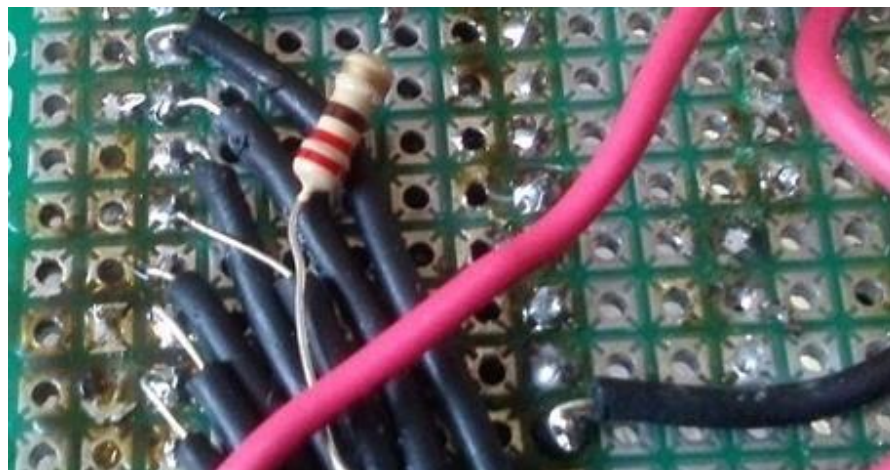
- Kolor: Żółty
- Napięcie: 2.02V
- Pobór prądu: 20mA
- Jasność: ok. 60mcd
- Długość fali: 592nm
- Temperatura pracy: -30°C ...+85°C



Fot. 2.24 Diody LED świecąca tylko w przypadku odbierania danych

Specyfikacja: Rezystor

- Oporność: 220Ω
- Typ: warstwowy
- Moc: 0.25W
- Tolerancja: +/- 5%



Fot. 2.25 Rezystor ograniczający prąd dla sygnalizatora

2.4.3 Obliczenie wartości prądu sygnalizatora

Dioda LED sygnalizująca odbieranie danych połączona jest z pinem D10, na którego wyjściu pojawia się napięcie 5V w przypadku wykrycia odebranych danych. Dioda przy takim napięciu mogła by ulec spaleni, dlatego w celu ograniczenia płynącego prądu został wlutowany opornik małej mocy. Aby obliczyć jaki prąd płynie przez diodę potrzebne są dane:

- Napięcie Pinu D10(V_{pin}): 5V
- Wartość rezystora(R_3): 220Ω
- Spadek napięcia na diodzie(V_d) : 2V

Na początku należy obliczyć jaka wartość napięcia jest ograniczona przez rezystor. W tym celu od napięcia pinu należy odjąć spadek napięcia na diodzie:

$$U = V_{pin} - V_d$$

$$U = 5V - 2V = 3V$$

Z obliczeń wynika, że spadek napięcia na rezystorze to 3V, następnie jedynie przekształconym prawem Ohma należy obliczyć przepływający prąd przez ten opornik (I_d):

$$I_d = \frac{U}{R_3}$$

$$I_d = \frac{3V}{220\Omega} = 0.014A = 14mA$$

Prąd przepływający przez sygnalizator to 14mA, mieści się on w przedziale bezpiecznej wartości natężenia dla tej diody i zbytnio nie obciąża pinu D10. Poniżej jeszcze przedstawione są obliczenia ilustrujące moc na rezystorze(P_r):

$$P_r = U_r \cdot I$$

$$P_r = 3V \cdot 0.014A = 0.042W$$

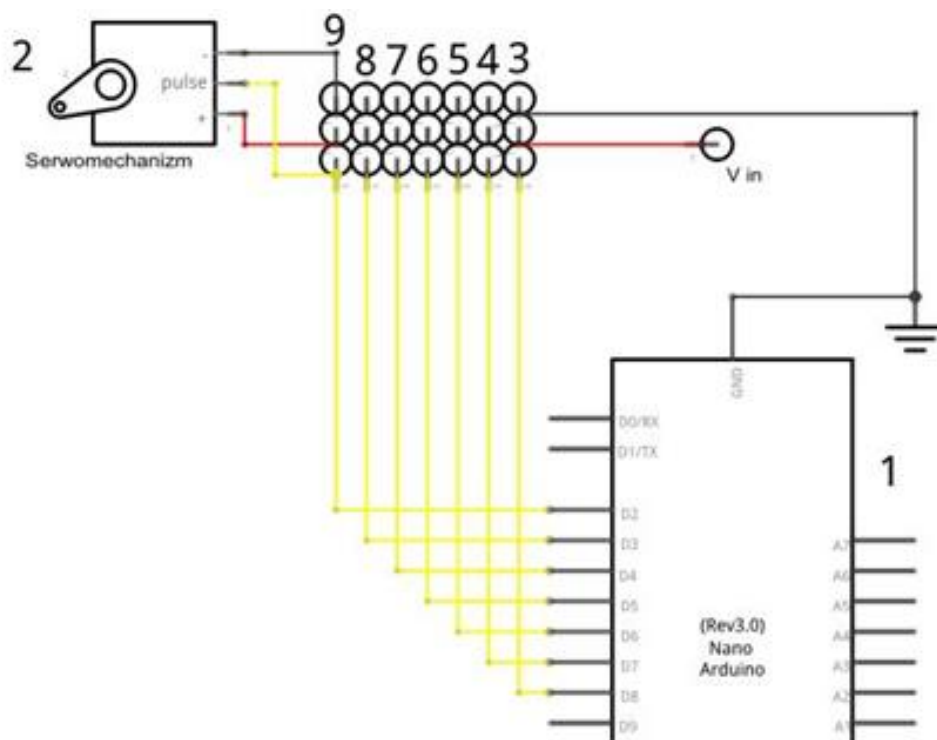
i diodzie LED (P_d):

$$P_d = U_d \cdot I$$
$$P_r = 2V \cdot 0.014A = 0.028W$$

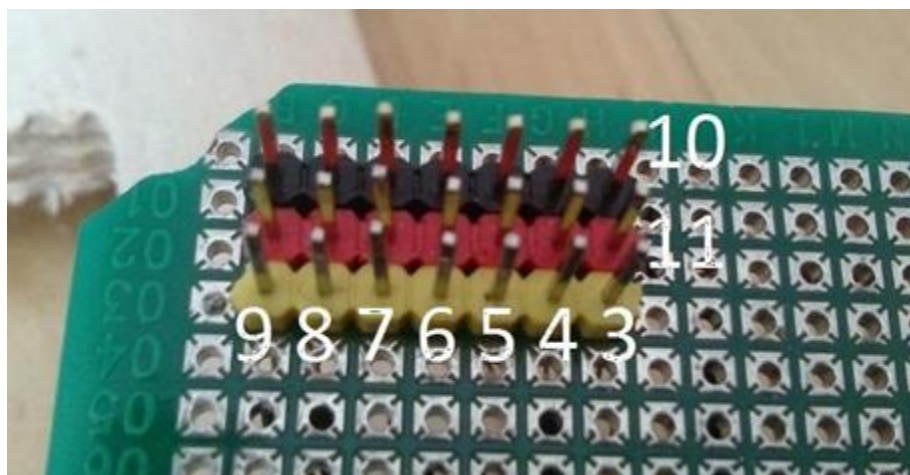
W powyższym wzorze U_r to spadek napięcia na oporniku, a U_d to spadek napięcia na diodzie, a I to przepływający przez nie prąd.

2.5 Napęd manipulatora – serwomechanizmy

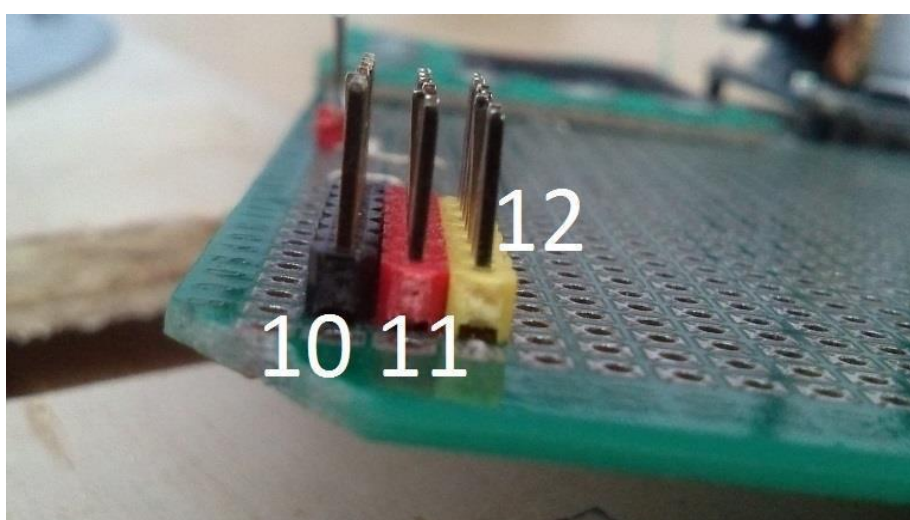
Serwomechanizmy stanowią napęd ramion i podstawy manipulatora. Są one odpowiednio przymocowane do konstrukcji aluminiowej w taki sposób, że z łatwością spełniają swoją pracę. Serwomechanizmy zastosowane w projekcie, mogą maksymalnie wykonywać obrót o 180° co w zupełności wystarcza ramionom do ich poruszania się w przestrzeni roboczej. Zastosowane w manipulatorze silniki mają różne charakterystyki takie jak np.: moment siły jaką jest w stanie dać mechanizm czy szybkość ruchu. Siła ta została oszacowana tak aby manipulator mógł utrzymać i podnosić swoje ramiona i oczywiście chwytane przedmioty.



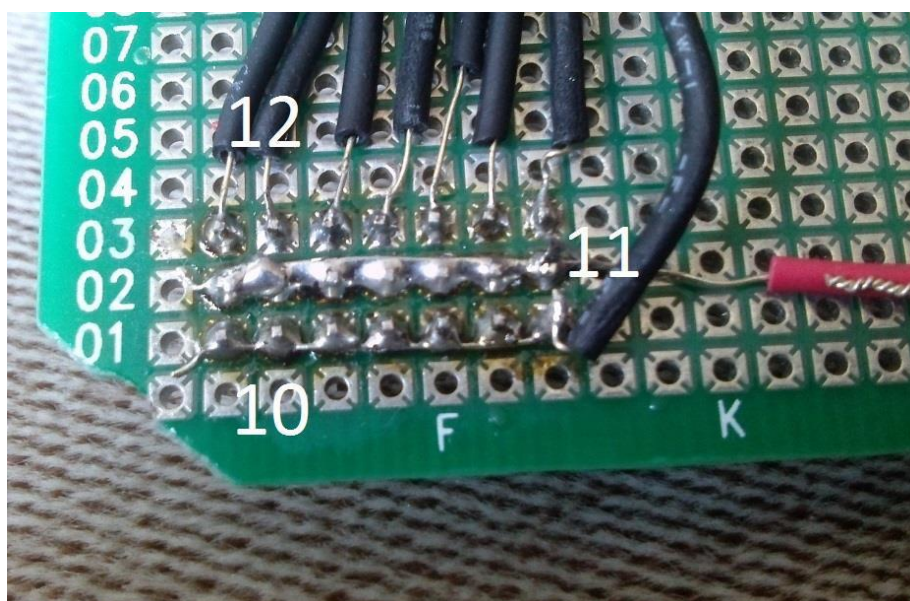
Rys. 2.8 Schemat połączenia serwomechanizmów



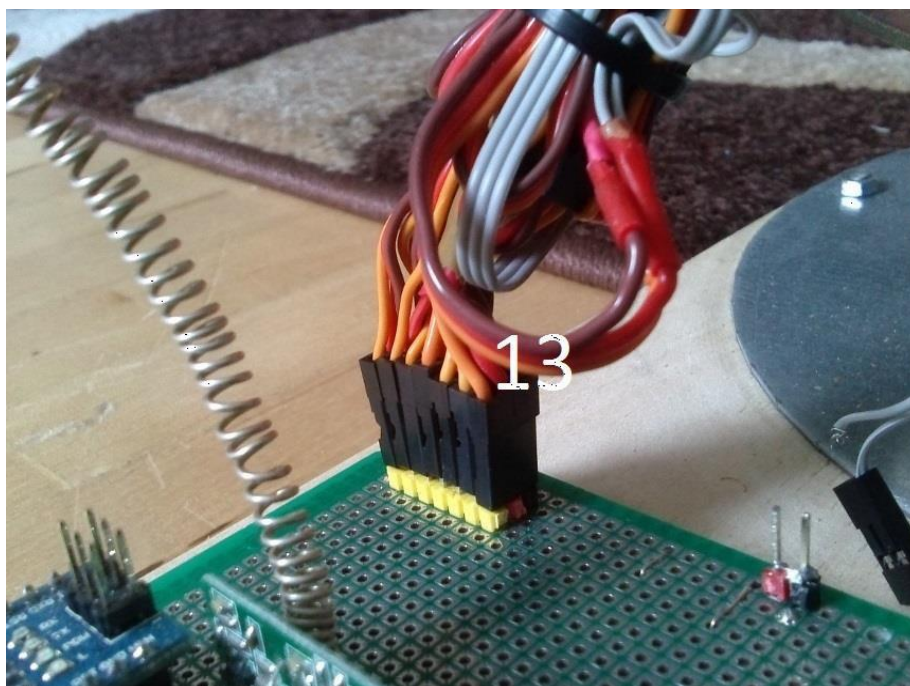
Fot. 2.26 Moduł połączeniowy serwomechanizmów w trzech kolorach



Fot. 2.27 Goldpiny widoczne z boku



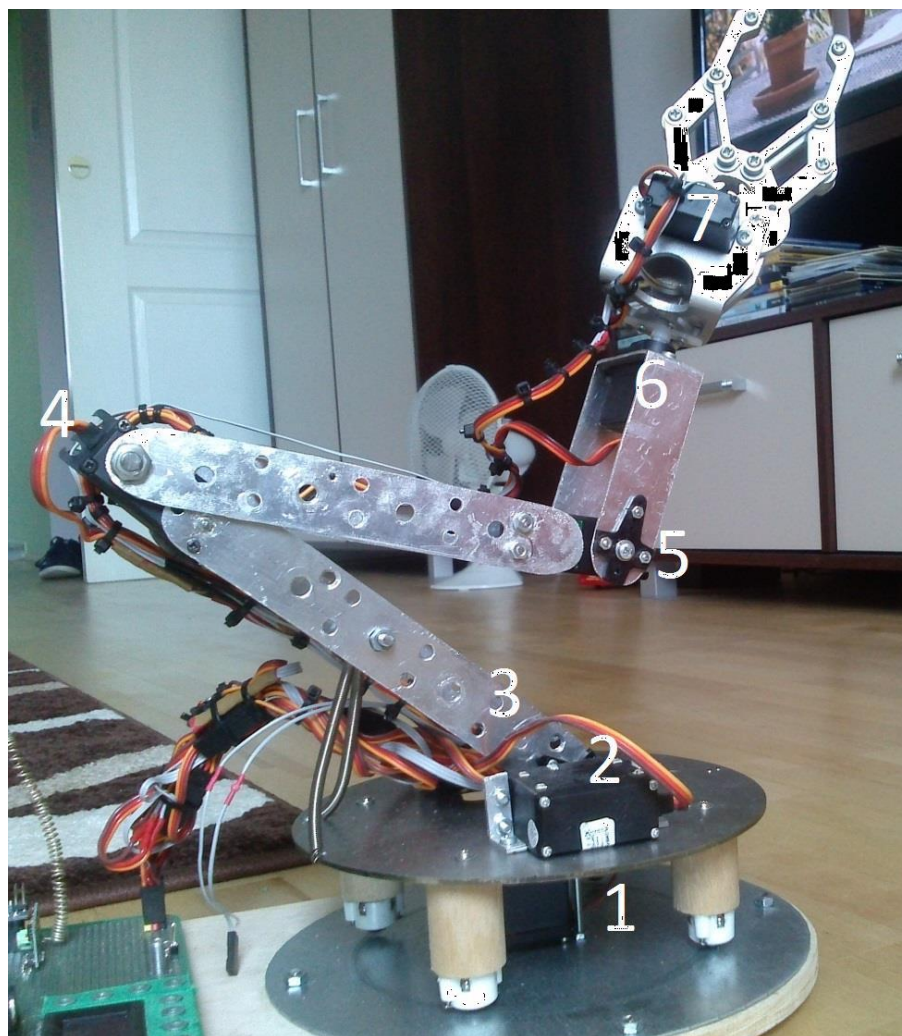
Fot. 2.28 Sposób połączenia goldpinów z zasilaniem, masą i sygnałami PWM



Fot. 2.29 Połączenia wtyków podczas pracy manipulatora

2.5.1 Spis elementów modułu podłączenia serwomechanizmów [Rys. 2.18 i Fot. 2.26, 2.27, 2.28, 2.29]

1. Mikrokontroler Arduino
2. Przykładowy serwomechanizm
3. Pin serwomechanizmu ruchu podstawy (człon 0)
4. Pin serwomechanizmu ruchu członu 1 (prawa strona)
5. Pin serwomechanizmu ruchu członu 1 (lewa strona)
6. Pin serwomechanizmu ruchu członu 2
7. Pin serwomechanizmu ruchu członu 3
8. Pin serwomechanizmu obrotu chwytaka (człon 4)
9. Pin serwomechanizmu uścisku chwytaka (człon 4)
10. Masa (Serwo GND)
11. Zasilanie (Serwo Vout)
12. Piny sygnału PWM
13. Wtyki serwomechanizmów



Fot. 2.30 Manipulator z wyszczególnionymi serwomechanizmami

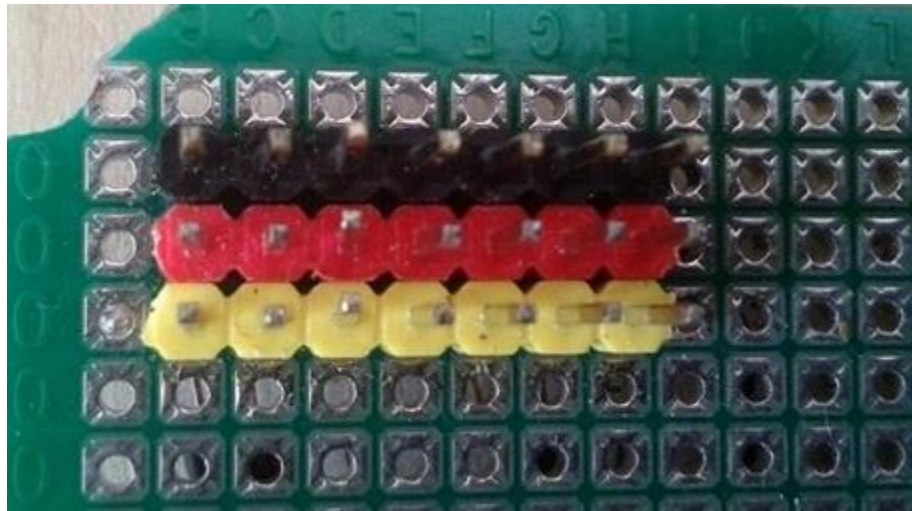
Film pracy serwomechanizmów: <https://youtu.be/-sRUm-RGlQI>

2.5.2 Spis serwomechanizmów [Fot. 2.30]

1. Serwomechanizm ruchu podstawy (człon 0) TowerPro MG-995
2. Serwomechanizm ruchu członu 1 (prawa strona) TowerPro MG-995
3. Serwomechanizm ruchu członu 1(lewa strona) TowerPro MG-995
4. Serwomechanizm ruchu członu 2 S8101
5. Serwomechanizm ruchu członu 3 TowerPro MG-995
6. Serwomechanizm obrotu chwytaka (człon 4) PowerHD HD-1160A
7. Serwomechanizm uścisku chwytaka (człon 4) PowerHD HD-1711MG

Specyfikacja: Kostka połączeń serwomechanizmów

- Wymiary: 18x8x11 [mm]
- Liczba pinów: 21
- Wysokość pinu: 7mm



Fot. 2.31 Kostka połączeniowa widoczna z góry

Specyfikacja: Wtyk

- Wymiary: 7x14x2 [mm]
- Kolor: Czarny
- Ilość wejść: 3



Fot. 2.32 Trójżyłowy wtyk serwomechanizmu

2.5.3 Zasilanie i sterowanie serwomechanizmami

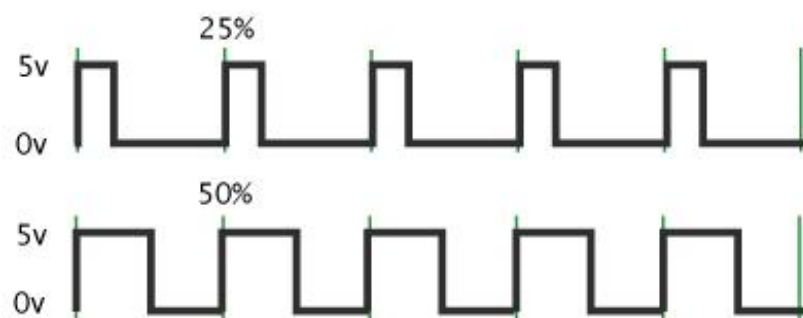
Złącza serwomechanizmów zbudowane są z trzech wyprowadzenia – pinów. Zostały one zaprojektowane aby można było w łatwy sposób odłączyć wyprowadzenia serwomechanizmów od płytki stykowej. Ma to swoją zaletę, że po odłączeniu wtyczek można całkowicie zdemontować całą płytę montażową i dokonać ewentualnych napraw czy usprawnień. Z drugiej strony taki sposób połączenia jest wygodny i estetyczny. Są one bardzo trwałe i wytrzymują wiele cykli rozłączania, gdyż każdy pin w wierszu jest scalony ze sobą warstwą plastiku i od spodu wyprowadzenia są wlutowane w otwory płytki. Jednym z dwóch pinów jest zasilanie i ujemny jego biegun. Są to kolory pinów odpowiednio czerwony i czarny. Cały szereg pinów czerwonych jest równolegle połączony z przetwornicą napięcia, która dostarcza im odpowiedniej mocy. W podobnym schemacie połączone są czarne piny do masy układu. Z kolei piny koloru żółtego są to piny sygnałowe (sygnał PWM), które każde z osobna są połączone z oddzielnym pinem cyfrowym w Arduino. Kolory zostały zastosowane po to aby wpinając wtyk serwomechanizmu odpowiednio je ze sobą połączyć (kolory przewodów są takie same), gdyż odwrotne połączenie może uszkodzić delikatny układ scalony w środku. Każdy pin stanowi sterowanie dla określonego silnika, mianowicie:

- Pin D8 – ruch członu 0
- Pin D7 – ruch prawej strony członu 1
- Pin D6 – ruch lewej strony członu 1
- Pin D5 – ruch członu 2
- Pin D4 – ruch członu 3
- Pin D3 – obrót chwytaka
- Pin D2 – uścisk chwytka

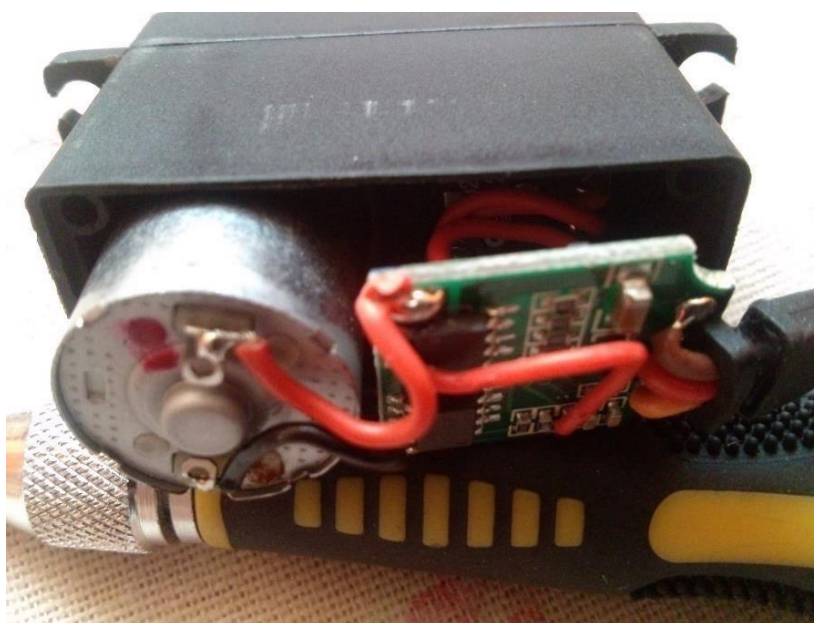
2.5.4 Sposób działania serwomechanizmu

Kąt wychylenia orczyka serwomechanizmu steruje się za pomocą zmiany szerokości impulsu (sygnał PWM) pinu cyfrowego [Rys. 2.9]. Taki sygnał płynie przez wspomniane wcześniej piny i połączenia koloru żółtego. Jest to współczynnik procentowy stanu wysokiego do stanu niskiego w określonej jednostce czasu. Taki stan jest wykrywany przez układ scalony serwomechanizmu, który interpretuje współczynnik wypełnienia i w zależności od wartości procentowej odpowiednio ustala kąt obrotu znajdującego się w

środku potencjometru (w zastosowanych serwomechanizmach kąt obrotu to maksymalnie 180°) [Fot. 2.33]. Potencjometr (główna oś przekazująca moment) jest umieszczony po to, aby w zależności od modulacji szerokości sygnału, dać sygnał silnikowi, który obraca go do tego momentu, aż rezystancja potencjometru osiągnie określoną przez układ scalony wartość [Fot. 2.34]. Podsumowując, w układzie scalonym dla określonej wartości szerokości impulsu jest określona rezystancja potencjometru, którą silnik stara się utrzymać. W celu wytworzenia odpowiedniej siły momentu obrotowego, w serwomechanizmie jest umieszczonych szereg trybów [Fot. 2.35].¹³⁴



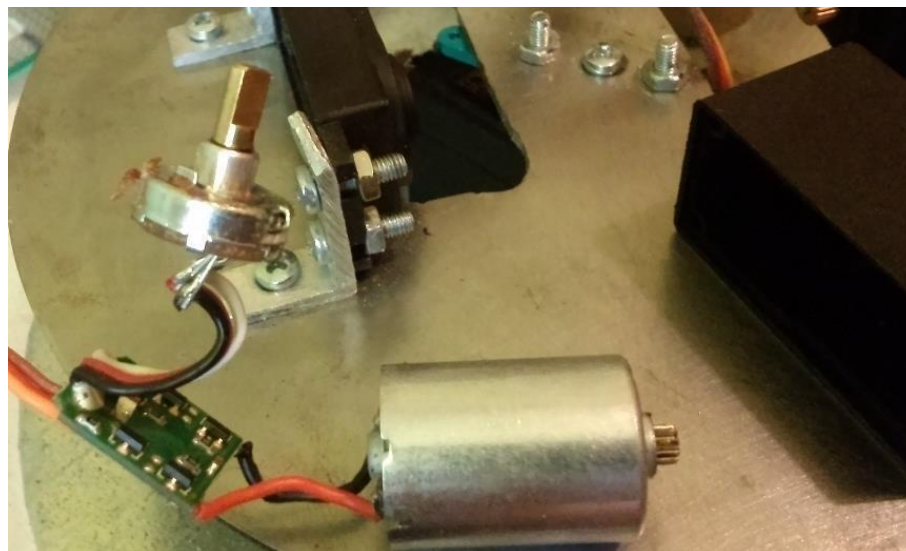
Rys. 2.9 Szerokość wypełnienia impulsu stanem wysokim w 25% i 50%¹³⁵



Fot. 2.33 Układ sterujący i jego połączenie z silnikiem

¹³⁴ Boxall John „Arduino, 65 praktycznych projektów” Wydawnictwo Helion 2014, str. 66-67

¹³⁵ www.cs.smith.edu



Fot. 2.34 Połączenie silnika, układu sterującego i potencjometru



Fot. 2.35 Metalowe Tryby serwomechanizmu mg-995

2.5.5 Serwomechanizmy wykorzystane w projekcie

W celu obrotu podstawy, umieszczono w niej silne serwo mg-995, próby umieszczenia tam słabszych silników uniemożliwiało płynne ruchy obrotowe. Platforma podstawy, jak i cały manipulator zwłaszcza rozłożony i chwytający przedmiot jest dość ciężki, dlatego testowane silniki poniżej momentu 10kg*cm nie zdawały testów – przestawały pracować.

Ruch członu 1, wymaga aż dwóch serw mg-995. Potrzebna jest duża siła aby utrzymać i podnieść całego robota trzymającego jakiś przedmiot. Próby zastosowania pojedynczego silnika nie powiodły się, ponieważ manipulator nie mógł nawet podnieść samego siebie. Serwomechanizm zastosowany do poruszania członu 2 ma nieco gorszy moment siły od wspomnianych mg-995, lecz jego atutem jest to, że jest jedynym serwem cyfrowym w projekcie, dzięki czemu jest w stanie utrzymać w określonej pozycji ciężar, którego manipulacja wymaga nawet podwójnej siły jego momentu. W członie 3 manipulatora zastosowano znów silne mg-995. Do obrotu chwytaka nie jest potrzebna duża siła, dlatego zdecydowano się na słabszy silnik z plastikowymi trybami. Jest to wersja mniejsza od pozostałych, ponieważ otwór w aluminium nie mógł być zbyt szeroki dla normalnej wielkości serw. Uścisk chwytaka, również nie wymaga zbyt dużej siły, potrzeba jedynie tyle, aby chwycić stabilnie przedmiot. Silnik tam umieszczony jest również mniejszej wielkości, ze względu na ograniczone miejsce jego instalacji. Lecz już w tym miejscu sytuacja wymaga serwa z metalowymi trybami, ponieważ plastikowe ich wersje po kilku chwilach manipulacji przedmiotu, ulegały uszkodzeniom mechanicznym [Fot. 2.36].



Fot 2.36 Uszkodzone plastikowe tryby w jednym z serwomechanizmów

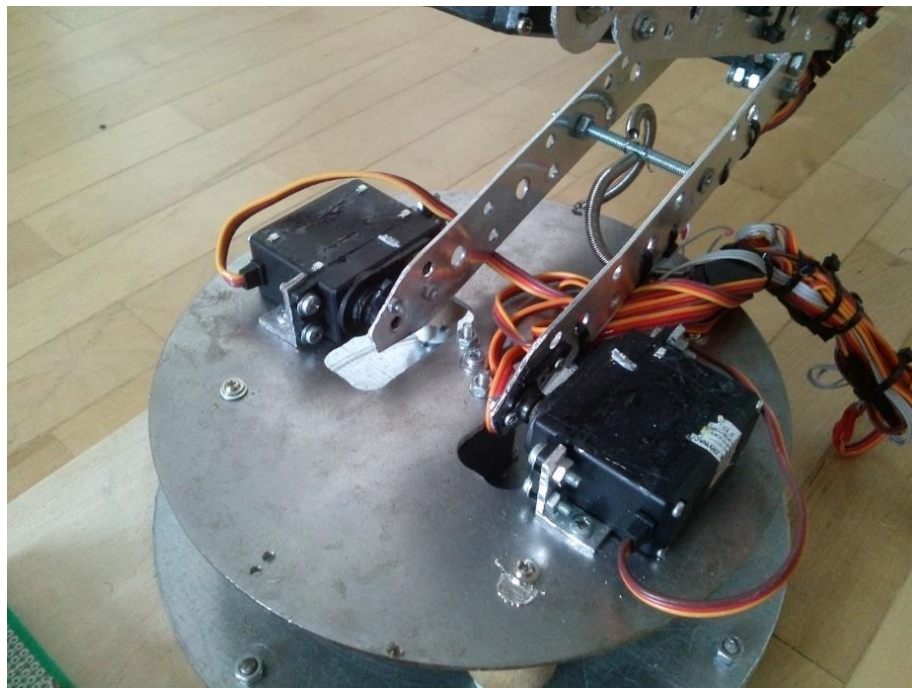
Specyfikacja: Serwomechanizm MG – 995 (7V)

- Moment: 15kg*cm
- Typ: Standard
- Napięcia pracy: 4.8V ...7.2V

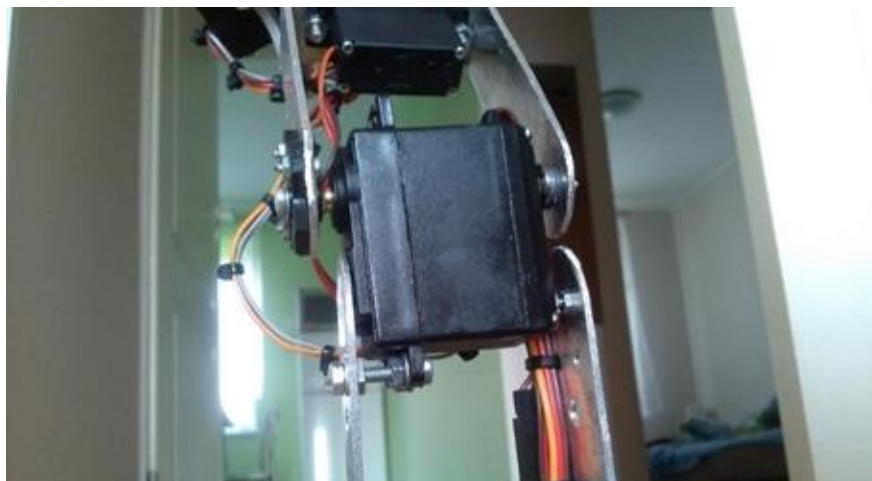
- Maksymalny pobór prądu: ???
- Prędkość: 0.16s/60°
- Temperatura pracy: 0°C ...55°C
- Materiał trybów: Metalowe
- Wymiary: 40.7x19.7x42.9 [mm]
- Waga: 55g



Fot. 2.37 Napęd obrotu podstawy - na zębatkę jest nakładana cała platforma



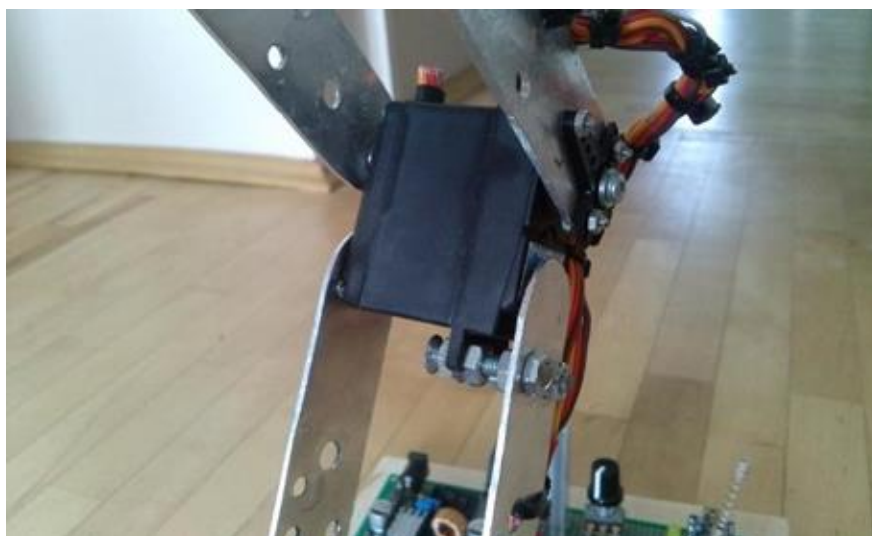
Fot. 2.38 Napęd ruchu członu 1 – dwa silniki dla większej siły



Fot. 2.39 Serwomechanizm poruszający członem 3 – tym, na którego końcu znajduje się chwytak

Specyfikacja: Serwomechanizm S8101 (7V)

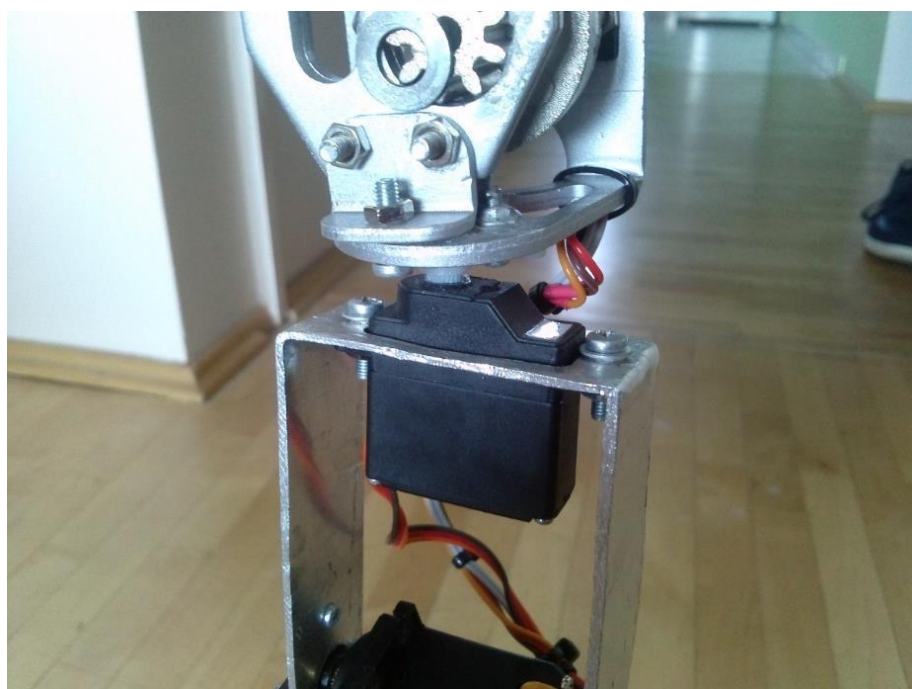
- Moment: 13kg*cm
- Typ: Standard
- Napięcia pracy: 6V ...7.4V
- Maksymalny pobór prądu:
- Prędkość: 0.14s/60°
- Temperatura pracy: 0°C ...65°C
- Materiał trybów: Metalowe
- Wymiary: 40.8x20.1x38 [mm]
- Waga: 58g



Fot. 2.40 Serwomechanizm wprawiający w ruch człon 2

Specyfikacja: Serwomechanizm S8101 (6V)

- Moment: 2.7kg*cm
- Typ: Medium
- Napięcia pracy: 4.8V ...6V
- Maksymalny pobór prądu: 800mA
- Prędkość: 0.11s/60°
- Materiał trybów: Plastikowe
- Wymiary: 29x12x30 [mm]
- Waga: 16g



Fot. 2.41 Serwomechanizm obracający chwytak

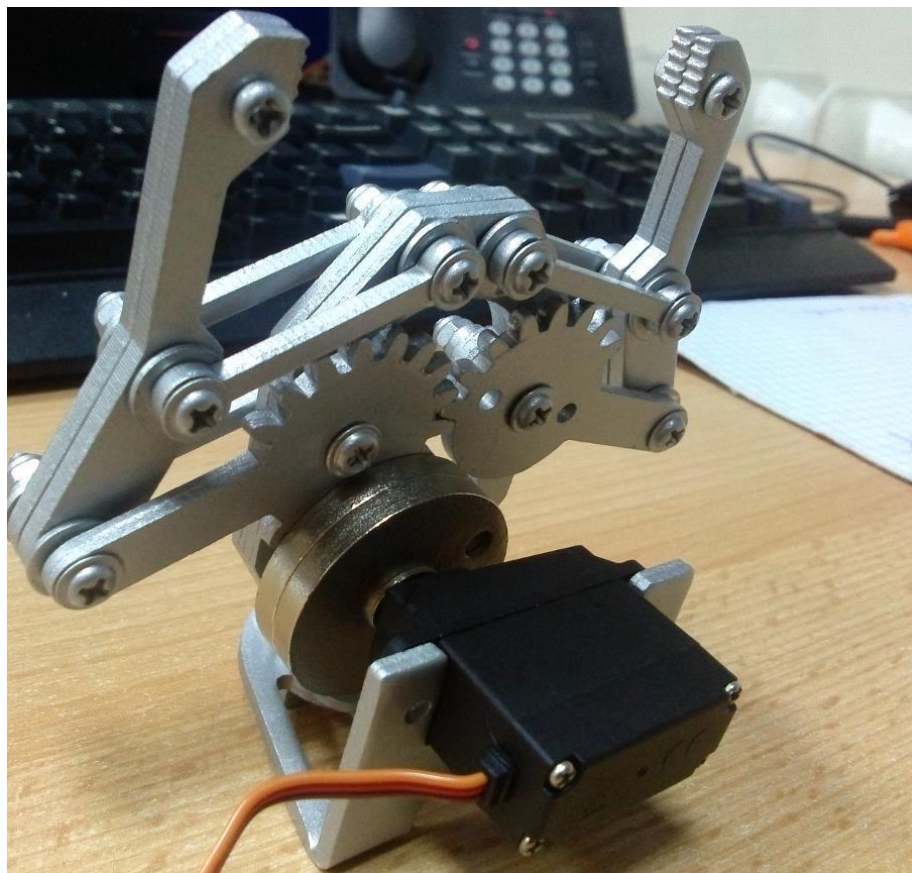
Specyfikacja: Serwomechanizm S8101 (6V)

- Moment: 3.5kg*cm
- Typ: Medium
- Napięcia pracy: 4.8V ...6V
- Maksymalny pobór prądu: 800mA
- Prędkość: 0.11s/60°
- Materiał trybów: Metalowe

- Wymiary: 29.5x11.6x30 [mm]
- Waga: 17.5g



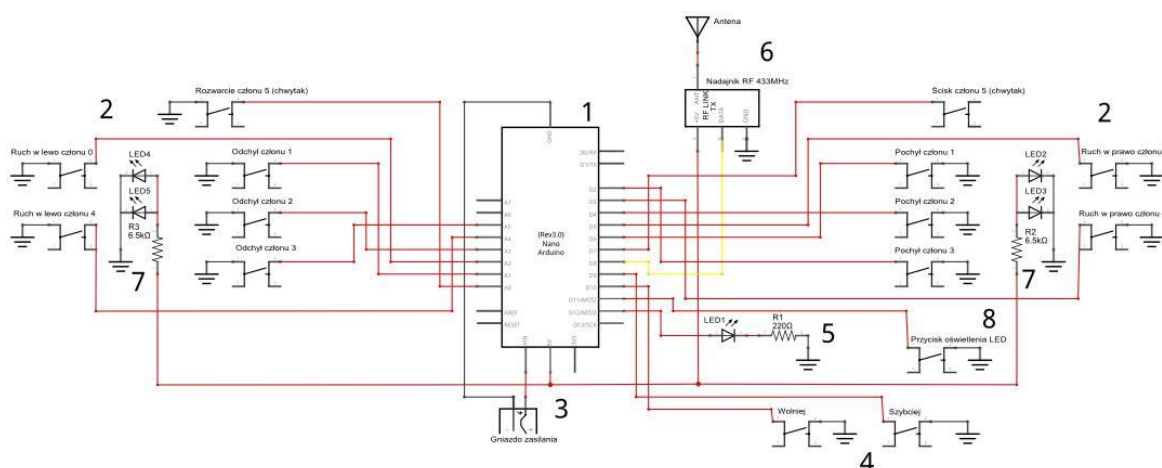
Fot. 2.42 Napęd uścisku szczęk chwytaka



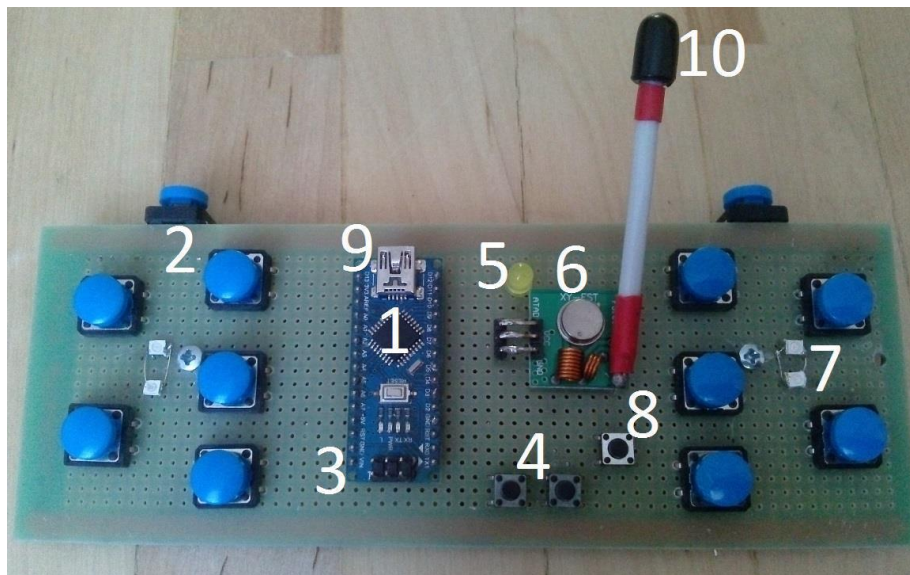
Fot. 2.43 Wymontowany chwytak z widocznym serwomechanizmem bez diody mocy

2.6 Pilot

Pilot stanowi bezprzewodowe sterowanie poszczególnymi ramionami manipulatora. Za jego pomocą można też uruchamiać diodę mocy oświetlającą uchwycony przedmiot czy nawet wpływać na szybkość poruszania się serwomechanizmów. Zbudowany jest przycisków, modułu nadajnika, diody informacyjnej, diod montowanych powierzchniowo do sygnalizowania pracy pilota czy nawet śrub do podłączenia baterijnego modułu zasilania.



Rys. 2.10 Cały schemat połączeń Pilota



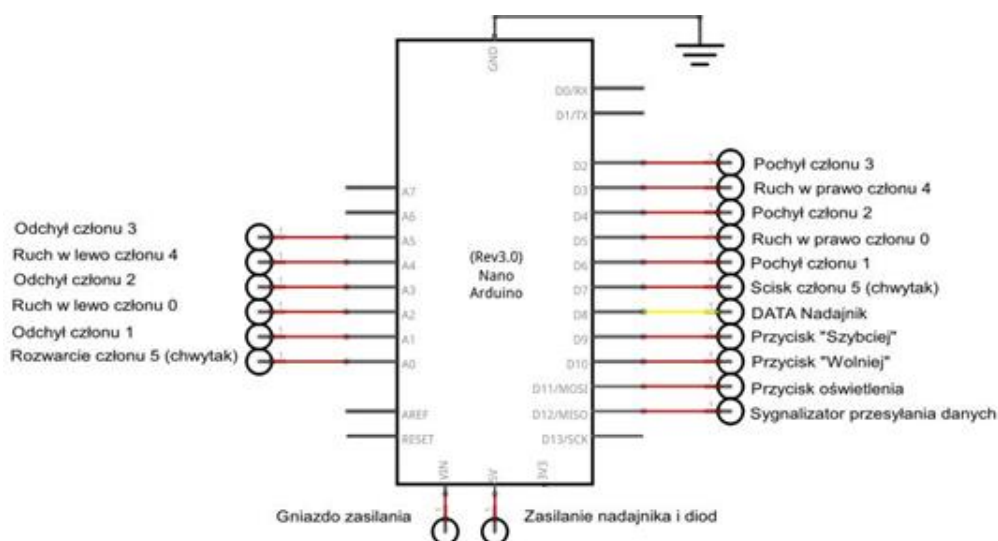
Fot. 2.44 Pilot z wyszczególnionymi elementami

2.6.1 Spis elementów Pilota [Rys. 2.10 i Fot. 2.43]

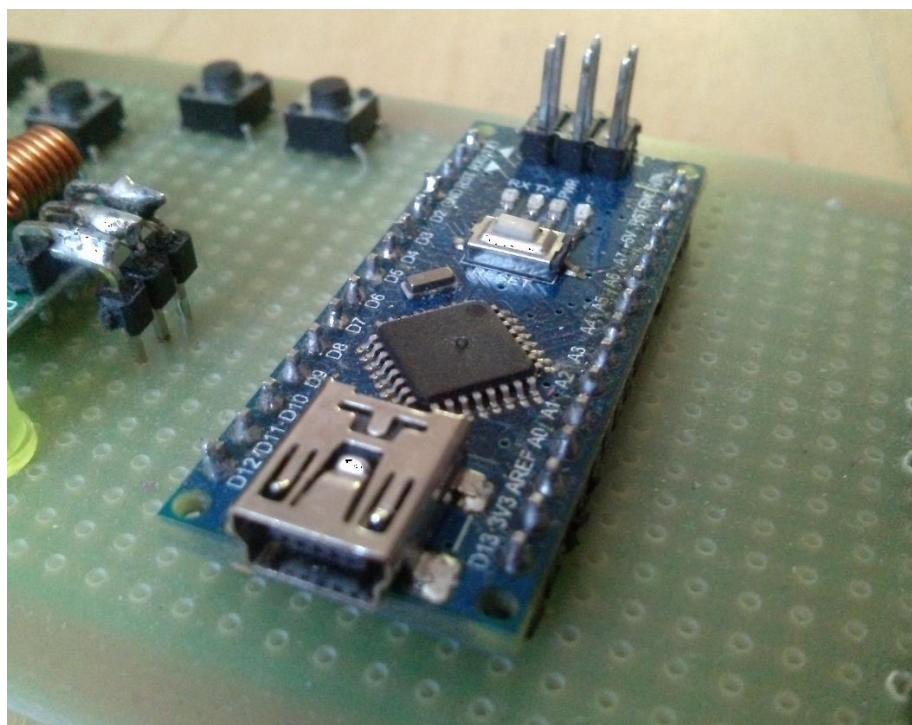
1. Mikrokontroler Arduino
2. Przyciski sterowania manipulatorem
3. Wejście zasilania (Vin)
4. Przyciski sterowania szybkością ruchów robota
5. Dioda sygnalizująca wysyłanie danych
6. Nadajnik modułu radiowego RF 433Mhz
7. Diody sygnalizujące działanie pilota
8. Przycisk włączania oświetlenia diody mocy manipulatora
9. Port USB
10. Antena

2.6.2 Połączenia Arduino

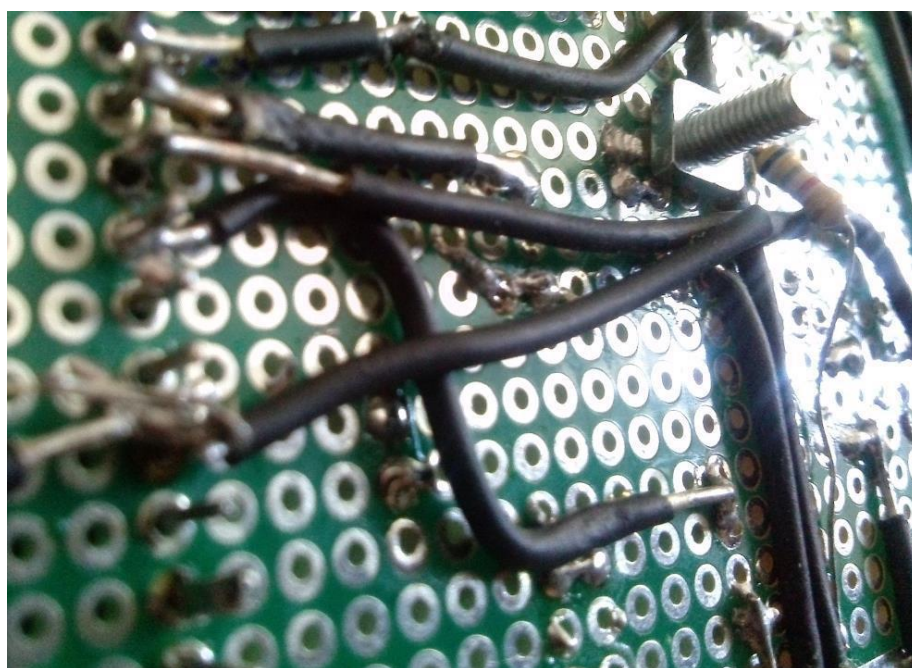
Głównym układem sterującym jest Arduino w wersji Nano. Został on wybrany ze względu na ograniczone wymiary pilota. Na poniższym schemacie są pokazane wszystkie jego wyprowadzenia z opisem pinów. Platforma Arduino została w takim kierunku umieszczona na płycie aby port USB znajdował się na samej górze pilota, ma to na celu sprawne połączenie z komputerem w celu jego zaprogramowania lub podpięcie zasilania. Na pilocie jest więcej połączeń niż na płycie montażowej elektronicznej wersji samego manipulatora, ponieważ najwięcej styków zajmują przyciski tact-switch, które służą do sterowania robotem. Wszystko od spodu jest połączone srebrzanką średnicy 2mm, na której jest nałożona koszulka termokurczliwa.



Rys. 2.11 Schemat wyprowadzeń Arduino



Fot. 2.45 Arduino Nano na płycie montażowej



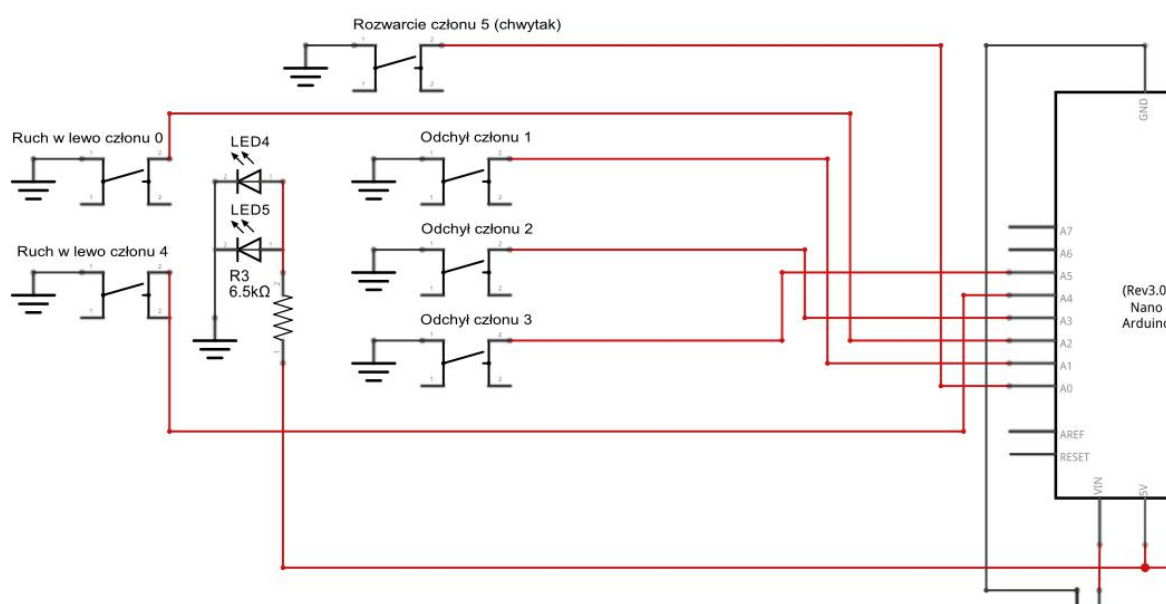
Fot. 2.46 Srebrzanka z koszulką termokurczliwą jako przewody połączeń



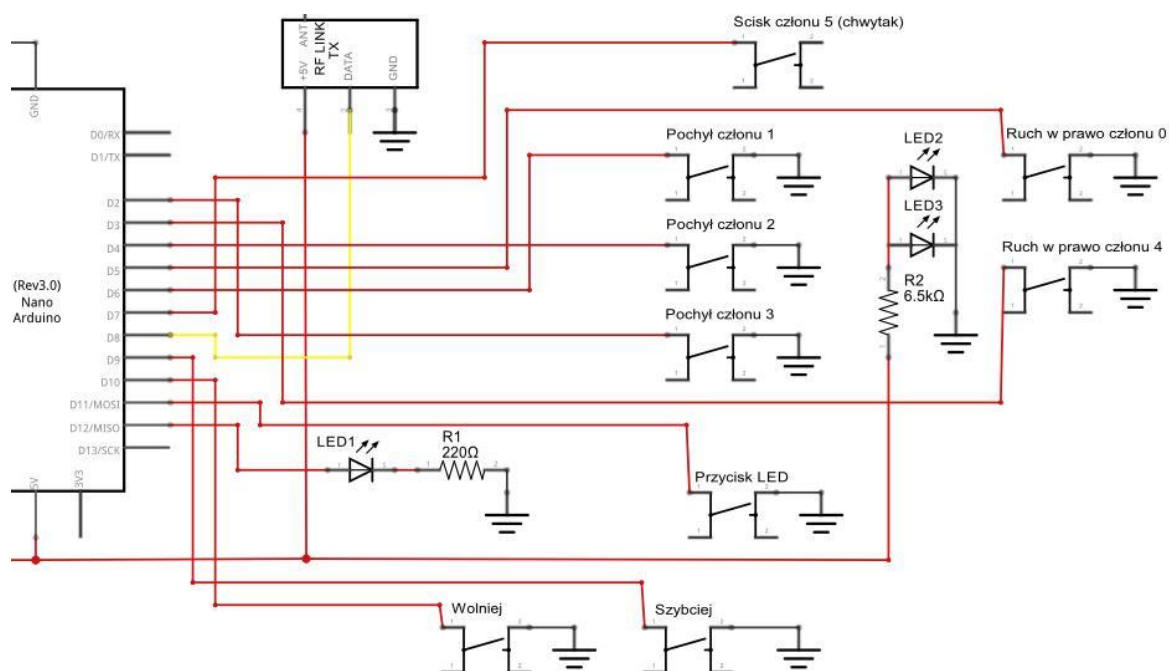
Fot. 2.47 Widok połączeń z drugiej strony pilota

2.6.3 Przyciski

Bezprzewodowy pilot składa się z dwóch rodzajów przycisków, mianowicie przyciski duże, niebieskie do sterowania ramionami robota i mniejsze, czarne do zmiany szybkości jego ruchów czy włączenia diody oświetleniowej. Przyciski zostały w taki sposób rozmieszczone, aby między nimi była spora przestrzeń. Ma to na celu wygodę w użytkowaniu. Dodatkowo są one odpowiednio rozmieszczone na płycie montażowej, tzn.: pierwsze z brzegu płyty są do obrotów (platforma podstawy, obrót chwytaka), druga kolumna do ruchów w przód, w tył (człon 1, człon 2 i człon 3), a przyciski umieszczone na samej górze pilota odpowiadają za uścisk i zwolnienie szczęk chwytaka.

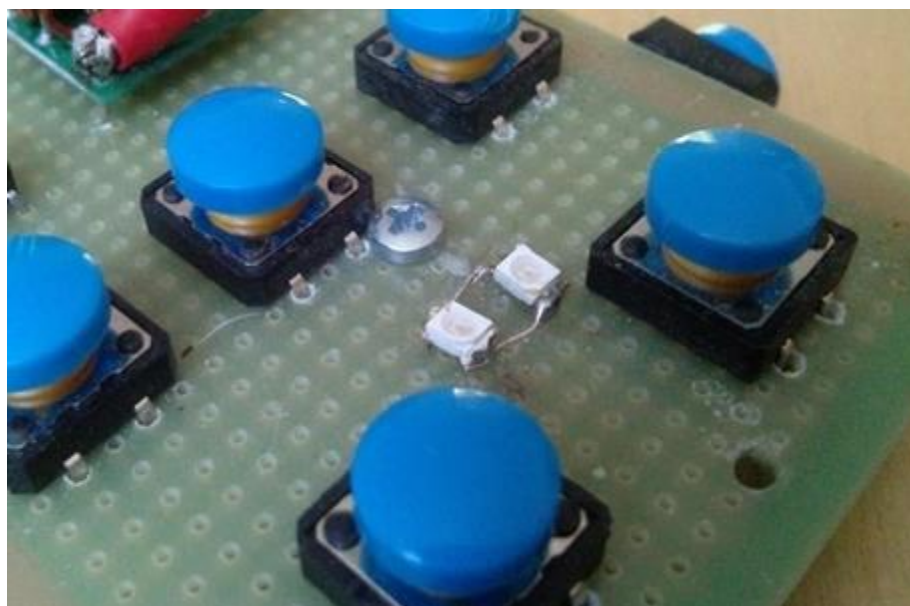


Rys. 2.12 Schemat połączenia przycisków – strona lewa



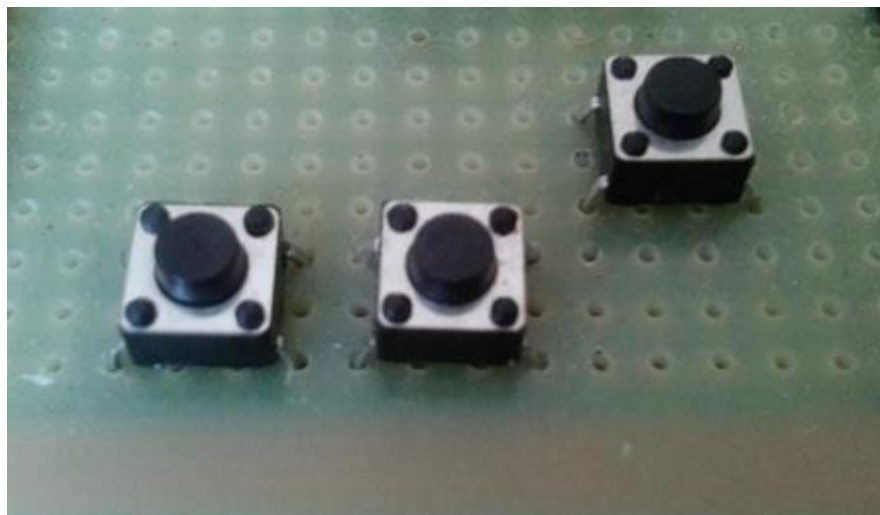
Specyfikacja: Tact Switch (duży)

- Kolor: Niebieski
- Wymiary: 12x12x3.5 [mm]
- Średnica nasadki: 10 mm

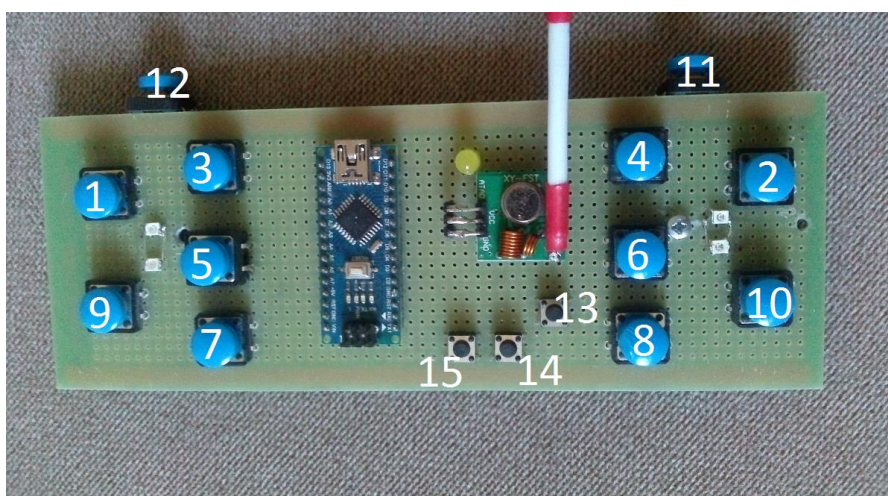


Specyfikacja: Tact Switch (mały)

- Kolor: czarny
- Wymiary: 6x6x4.3 [mm]



Fot. 2.49 Małe przyciski odpowiednio od lewej: zwolnienie, przyspieszenie ruchów i włączenie diody mocy



Fot. 2.50 Numeracja wszystkich przycisków pilota

Poniższa tabela przedstawia, który numer przycisku jest dedykowany dla określonej akcji. Dzięki niej i wcześniejszemu schematowi użytkownik manipulatora jest w stanie w prosty sposób opanować sterowanie maszyną.

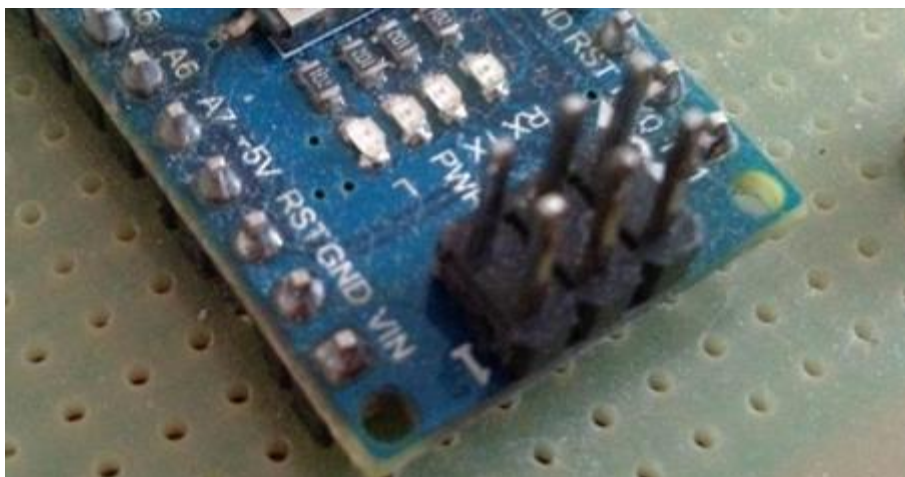
Nr. przycisku	Element	Akcja
1	Podstawa	Obrót w lewo
2	Podstawa	Obrót w prawo
3	Człon 1	Odchył
4	Człon 1	Pochył
5	Człon 2	Odchył
6	Człon 2	Pochył
7	Człon 3	Odchył
8	Człon 3	Pochył
9	Chwytek	Obrót w lewo
10	Chwytek	Obrót w prawo
11	Chwytek	Ścisk
12	Chwytek	Rozwarcie
13	Oświetlenie	Włączenie
14	Prędkość	Zwiększenie
15	Prędkość	Zmniejszenie

2.6.4 Zasilanie pilota

Moduł pilota można zasila na trzy sposoby, mianowicie bateryjnie, przez port USB, oraz przez wejście pinu V_{in} . Średni pobór prądu pilota to ok. 50mA. Akceptowalne napięcia baterii czy poprzez pin V_{in} to od 7V do 12V. Najlepszym rozwiązaniem jest użycie dwóch baterii 9V, połączonych równolegle, które były by rozmieszczone każda po dwóch stronach płyty montażowej pilota w celu jego równowagi



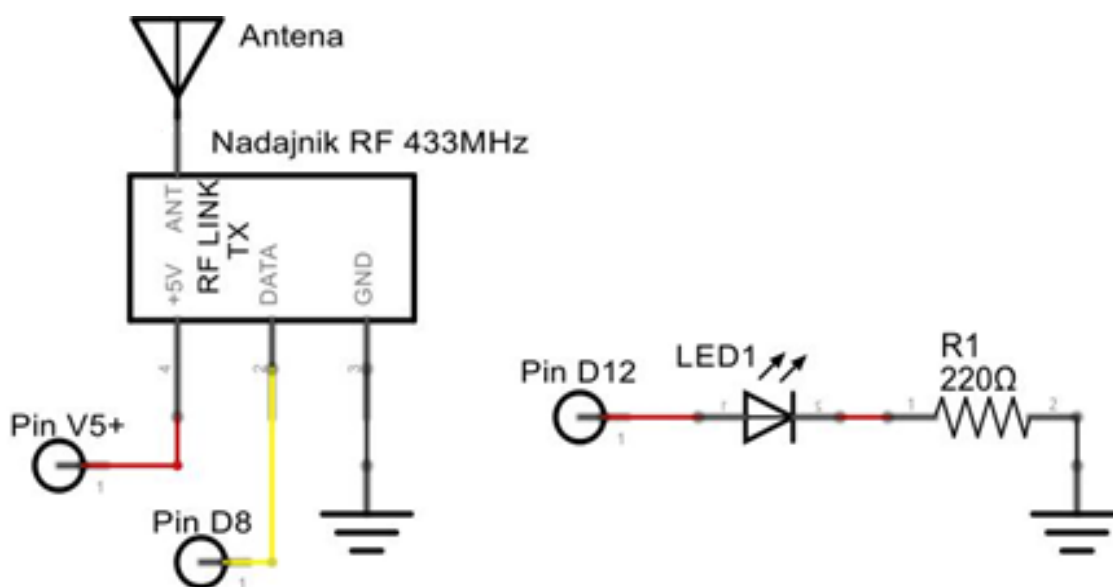
Fot. 2.51 Gniazdo portu USB



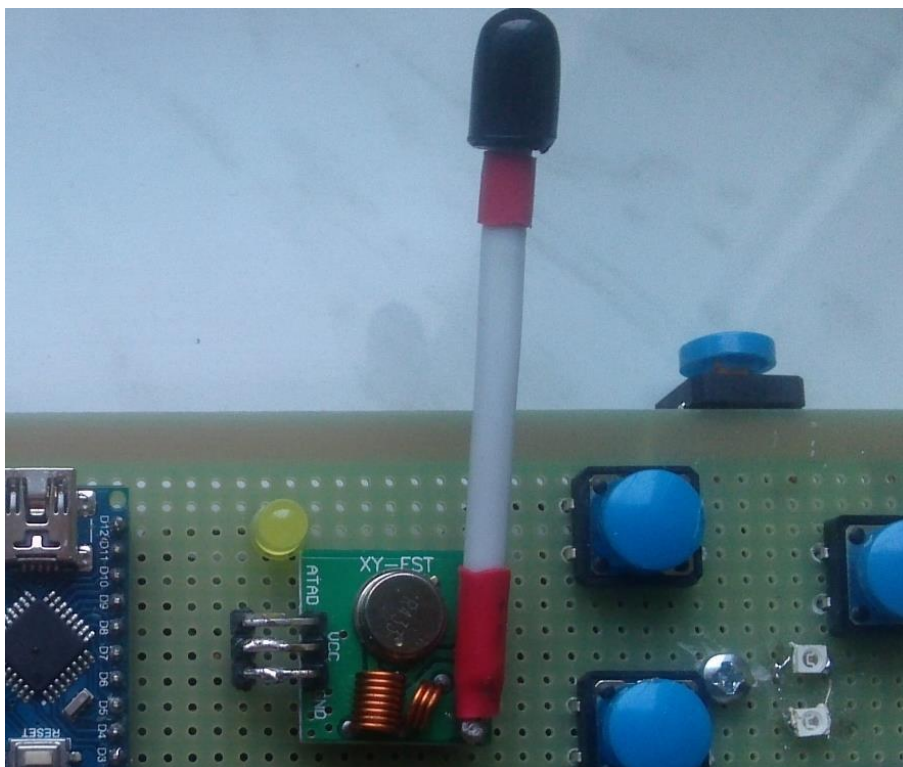
Fot. 2.52 Wejście pinu zasilania razem z masą

2.6.5 Moduł Nadajnika

Nadajnik składa się z trzech części, mianowicie z modułu nadajnika radiowego, anteny oraz sygnalizatora wysyłania danych. W przypadku wysyłki pakietu danych żółta dioda zapala się. Moduł pobiera prąd bezpośrednio z pinu o wartości napięcia 5V Arduino, natomiast dane do wysyłki zostają przesyłane przez cyfrowy pin D8. Dioda pobiera energię do działania poprzez pin D12 i jest ograniczona rezystorem.



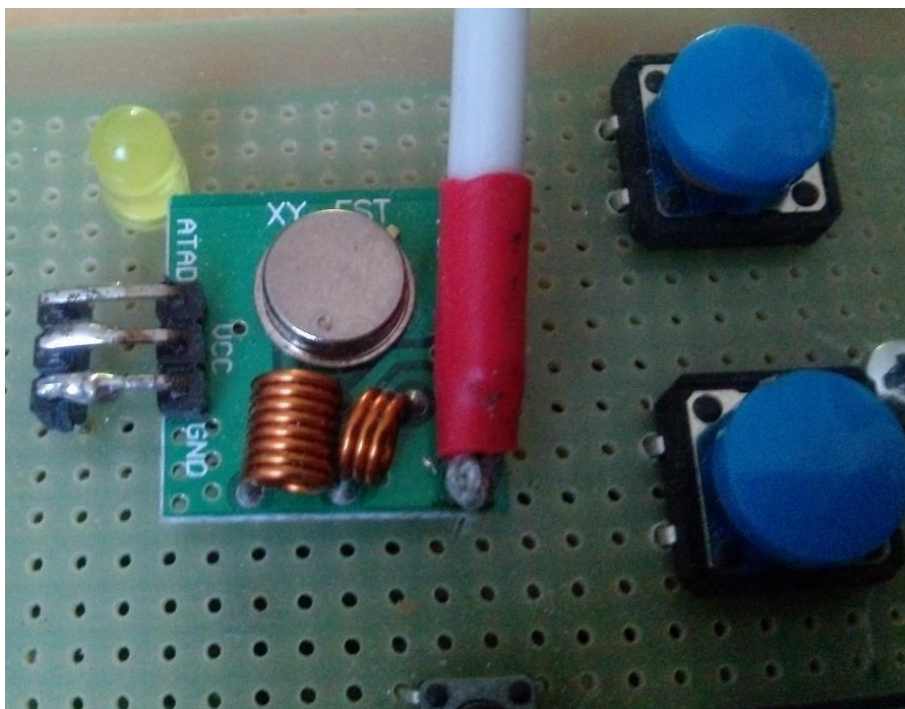
Rys. 2.14 Schemat połączenia Nadajnika radiowego i sygnalizatora wysyłania danych



Fot. 2.53 Moduł nadawczy komunikacji radiowej z widoczną diodą i anteną

Specyfikacja: Moduł komunikacji RF 433MHz – odbiornik

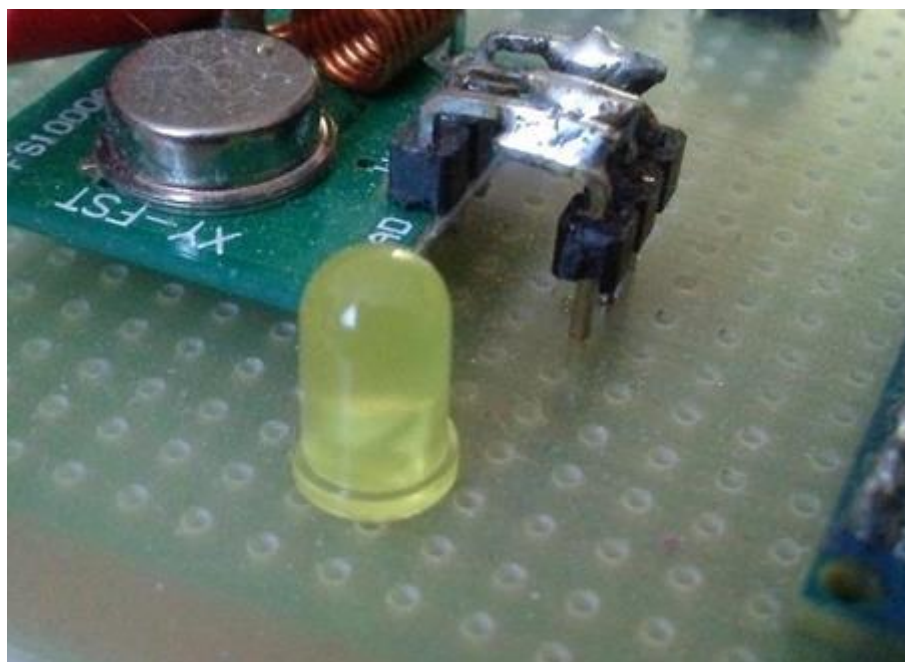
- Napięcie zasilania: 3V ...12V
- Pobór prądu: ok. 30 mA
- Dedykowana długość anteny: 32cm
- Metoda pracy: OOK/ASK
- Częstotliwość pracy: 315MHz...433MHz
- Prędkość transmisji: <10Kbps
- Wymiary 19x19 [mm]



Fot. 2.54 Nadajnik RF z przylutowanymi wyprowadzeniami i miejsce wlutowania anteny

Specyfikacja: Dioda LED

Dioda i zainstalowany obok niej rezystor są takie same jak z rozdziału 2.4 dotyczącego odbiornika danych.



Fot. 2.55 Żółty sygnalizator LED, za nim połączenie wyprowadzeń nadajnika z goldpinami

Specyfikacja: Antena nadawcza

- Typ: Spiralna w plastikowej obudowie
- Materiał: Stalowy drut
- Wysokość: 68mm
- Średnica drutu: 0.5mm
- Średnica anteny: 3.5mm

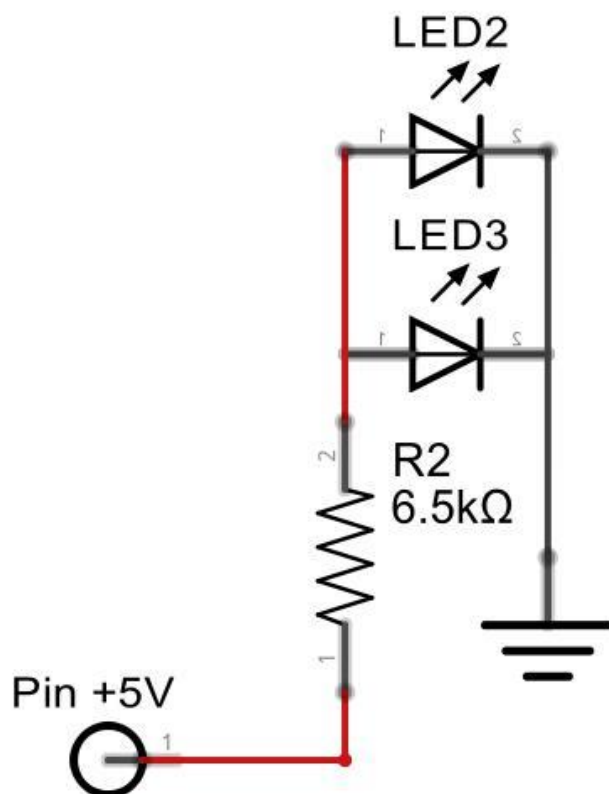


Fot. 2.56 Antena nadawcza z kapturkiem

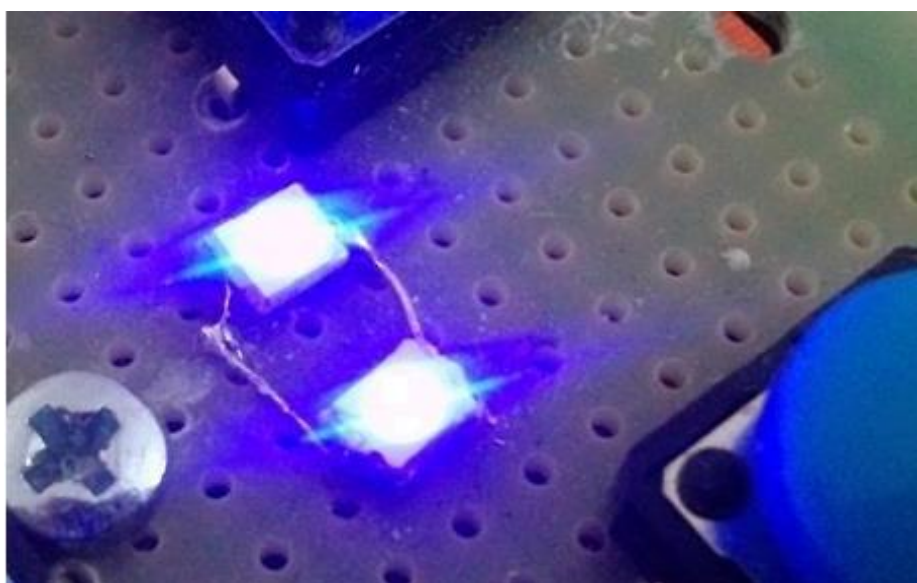
2.6.6 Diody sygnalizujące działanie pilota

Diody służą zarówno jako sygnalizator działania podłączonego pod zasilanie pilota jak i oświetlają przycisku w przypadku sterowania robotem w ciemnościach. Jest ich cztery, po

dwie z każdej strony. Są one połączone równolegle, a wlutowany rezystor ogranicza prąd do nich płynący z wyjścia zasilania Arduino 5V.



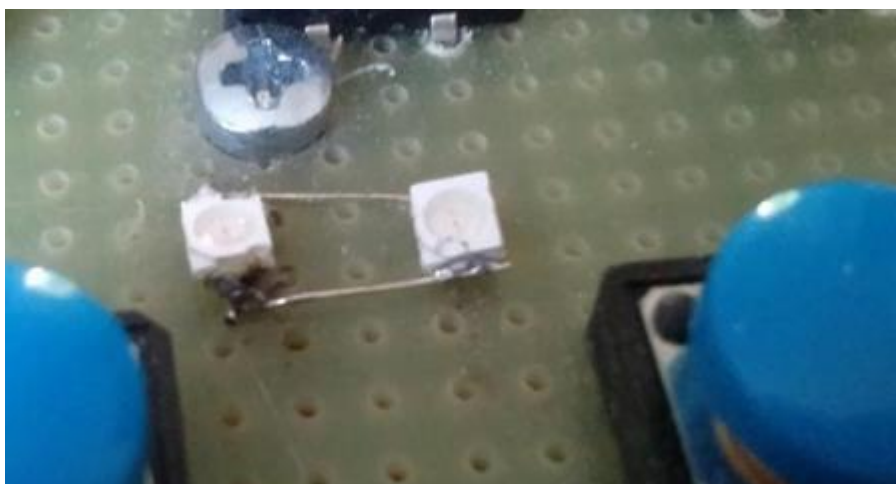
Rys. 2.15 Schemat połączenia równoległego diod ze wspólnym opornikiem



Fot. 2.57 Diody LED SMD podczas swojej pracy

Specyfikacja: Dioda LED SMD

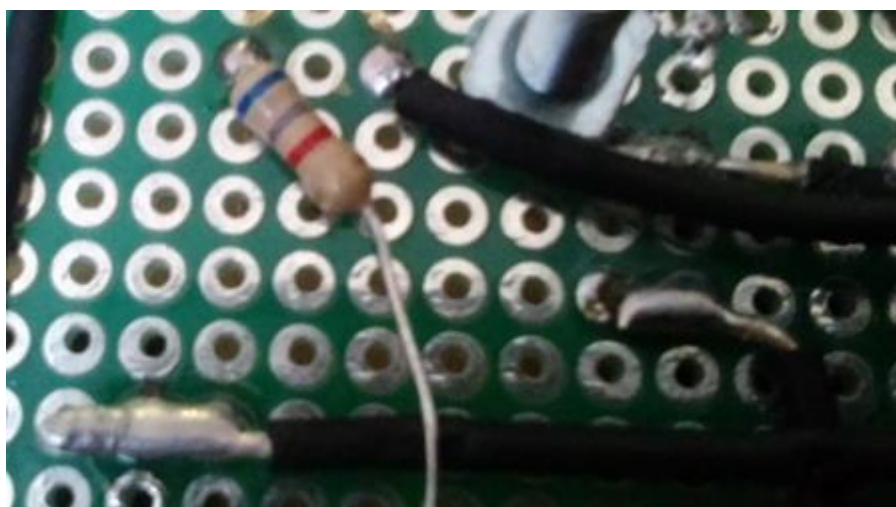
- Kolor: Niebieski
- Typ obudowy: SMD 1206
- Napięcie pracy: 3.3V
- Maksymalny prąd pracy: 20mA
- Jasność: 50mcd
- Wymiary: 3x2.5x1.5mm



Fot. 2.58 Sposób połączenia miniaturowych diod LED

Specyfikacja: Rezystor

Rezystor jest identyczny jak ten z podrozdziału 2.2.5 Stabilizator napięcia.



Fot. 2.59 Opornik ograniczający prąd dla dwóch diod

2.6.7 Obliczenie prądu płynącego przez diodę SMD

Diody połączone ze sobą równolegle, korzystają z jednego rezystora. Poniżej znajdują się dane, niezbędne do obliczenia jaki prąd przepływa przez rezystor, czy przez poszczególne diody:

- $R = 220\Omega$
- $I_{\max} = 20\text{mA}$
- $P_d = 0.1\text{W}$

Do obliczenia przepływającego prądu przez rezystor należy zastosować następujący wzór:

$$U_r = V_{in} - V_d$$
$$U_r = 5\text{V} - 3.3\text{V} = 1.7\text{V}$$

Jeżeli jest znany spadek napięcia na diodzie, zgodnie z powyższym wzorem, można oszacować spadek jaki następuje na oporniku. Jest to wartość 1.7V. Następnie zostaje przekształcony wzór prawa Ohma i obliczenie jaki prąd przepływa przez rezystor.

$$I_d = \frac{U_r}{R}$$
$$I_d = \frac{1.7\text{V}}{220\Omega} = 0.008\text{A} = 8\text{mA}$$

Przedstawiony powyżej wzór ukazuje jaka wartość prądu zostaje przepuszczona przez rezystancję. Z racji tego, że diody są połączone równolegle prąd dzieli się na dwa:

$$I_{d1} = \frac{8\text{mA}}{2} = 4\text{mA}$$

Na tym etapie wiadomo już, że wartość prądu płynąca przez każdą diodę to jedynie 4mA. Przy tej ilości prądu światło jest intensywne i potrafi dostatecznie oświetlić przyciski w ciemności. Poniżej znajdują się dodatkowe obliczenia na wydzielaną moc rezystora i diody SMD.

$$P_r = 1.7\text{V} \cdot 0.008\text{A} = 0.014\text{W}$$
$$P_d = 3.3\text{V} \cdot 0.004\text{A} = 0.013\text{W}$$

Rozdział 3 Oprogramowanie Manipulatora

3.1 Odbiór danych i obsługi manipulatora

Sterownik obsługi robota składa się z modułu odbioru danych, sterowania członami i ich prędkości, a także włączania i wyłączania zainstalowanej na chwytaku diody mocy.

3.1.1 Zastosowane biblioteki nagłówkowe

W kodzie zostały zastosowane dwie biblioteki do obsługi serwomechanizmów i połączenia radiowego. Są nimi: „ServoTimer2.h” i „VirtualWire.h”. Standardowa biblioteka nagłówkowa do obsługi serw, która jest dołączona do IDE Arduino „Servo.h” nie została wykorzystana w projekcie, ponieważ zarówno ona jak i „VirtualWire” korzystają z tego samego sprzętowego timera (timer1) i kontrolera przerwań, także niemożliwe jest poprawne skompilowanie i wgranie programu na płytkę z mikrokontrolerem. Biblioteka „ServoTimer2” korzysta już z wewnętrznego kontrolera przerwań i timera, a dodatkowo jest bardziej precyzyjna niż standardowa jej wersja, ponieważ zamiast podawania w funkcji 180 stopni obrotu serwomechanizmu podaje się wartość szerokości impulsu w milisekundach. Maksymalna wartość, którą może ona przyjąć może mieć nawet 2250ms. Można ją pobrać na zagranicznych portalach i forach. W Arduino Nano działa bez problemów, natomiast w wersji Leonardo, ze względu na nieobsługiwany procesor już nie. Plik nagłówkowy „VirtualWire” pozwala na radiową komunikację tanich nadajników i odbiorników dedykowanych dla Arduino. Oferuje ona wysyłanie krótkich wiadomości, bez sprawdzania błędów. Wysyłane są one z 4-bitowym kodowaniem. Biblioteka pracuje na układach wyposażonych w mikroprocesory ATmega8/168 i ATmega328 i można ją pobrać ze strony producenta.

```
#include <ServoTimer2.h>
#include <VirtualWire.h>
```

3.1.2 Odbiór danych

W części deklaracji zmiennych środowiska programistycznego Arduino należy określić tablice i zmienną, które służą do obsługi przerwań, ilości i prędkości odbieranych bitów. Poniższa część kodu jest niezbędna do prawidłowego działania odbioru danych, występuje także w przypadku nadajnika.

```
uint8_t buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN];
uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN
```

Kod ukazany poniżej stanowi szereg ustawień wirtualnego połączenia. Są one wszystkie zdefiniowane w funkcji „setup”. W procedurze „vw_setup” prędkość transmisji danych została określona na 6000 Kb/s, stanowiącą maksymalną jej wartość. Powyżej tej wartości połączenie jest gubione, natomiast w przypadku ustawienia poniżej 3000 Kb/s dane są przesyłane ze znacznymi opóźnieniami. O ile w przypadku małych odległości opóźnienia te nie są zbyt wielkie to oddalając się parametry połączenia stają się coraz gorsze. Wskazany pin obecny w funkcji „vw_set_rx_pin” stanowi podłączenie odbiornika z platformą Arduino. Pin D9 jest pinem cyfrowym i w takim systemie odbierane są dane.

```
vw_set_ptt_inverted(true);
vw_setup(6000);
vw_set_rx_pin(9);
vw_rx_start();
```

Ciąg zer i jedynek przemieszczający się w zakodowanej postaci fali elektromagnetycznej o częstotliwości 433 Mhz trafia do anteny odbiornika, gdzie zostaje przekazany poprzez pin do mikrokontrolera. Instrukcja warunkowa „if” wyłapuje wszystkie znaki nadawane na tej częstotliwości i przez instrukcje w niej zagnieżdżoną „switch-case” otrzymana wiadomość zostaje zinterpretowana i na jej podstawie ustalana jest odpowiednia akcja.

```
if (vw_get_message(buf, &buflen))
{
    switch (buf[0])
    {
        case 'odebrany_znak':
    }
}
```

3.1.3 Ruch członów manipulatora

Aby wykorzystać całą paletę możliwości, jakie daje biblioteka obsługująca serwomechanizmy dla wszystkich ich rodzajów znajdujących się w projekcie, zostały

stworzone obiekty klasy „ServoTimer2”. Znajdują się one poniżej plików nagłówkowych. Dzięki tym zabiegom, będzie można sterować każdym z silników i wydawać polecenia położenia ich w określonej pozycji.

```
ServoTimer2 servo_podstawa;  
ServoTimer2 servo_czlon_1_lewy;  
ServoTimer2 servo_czlon_1_prawy;  
ServoTimer2 servo_czlon_2;  
ServoTimer2 servo_czlon_3;  
ServoTimer2 servo_obrot_chwytek;  
ServoTimer2 servo_uscisk_chwytek;
```

Poniższe siedem deklaracji zmiennych typu całkowitego „int” służy do ustawienia poszczególnych ramion manipulatora w określonych pozycjach startowych, a także biorą one bezpośredni udział w jego ruchu. Zmienne przyjmują wartości szerokości impulsu w milisekundach. Dla każdego członu została określona jego pozycja, którą przyjmuje przy włączeniu zasilania. Zostały one tak ustawione, aby podczas ustawiania się z dowolnej pozycji poszczególne ramiona nie kolidowały ze sobą, nie zahaczały o podstawę robota i aby pozycja ta stanowiła optymalne warunki rozpoczęcia pracy z maszyną. Znalezienie tych wartości startowych odbywało się na podstawie prób i błędów.

```
int pozycja_podstawy=1500;  
int pozycja_czlon_1_lewy = 750;  
int pozycja_czlon_1_prawy = 2210;  
int pozycja_czlon_2 = 2150;  
int pozycja_czlon_3 = 1700;  
int pozycja_obrot_chwytek = 1500;  
int pozycja_uscisk_chwytek = 850;
```



Fot. 3.1 Manipulator w pozycji startowej

Ustawianie się robota do pozycji startowej: <https://youtu.be/1BINIlsES6E>

Zadeklarowana zmienna typu całkowitego „predkosc” służy do zwiększania lub zmniejszania pozycji serwomechanizmu o określoną wartość, która w tym przypadku jest określona domyślnie na 10 milisekund. Oznacza to że podczas pojedynczego naciśnięcia przycisku ruchu zmienna pozycji manipulatora zwiększy się, lub zmniejszy o 10ms. Ulega ona zmianie w programie jedynie podczas przyspieszania bądź zwalniania służącymi do tego przyciskami.

```
int predkosc=10;
```

W poniższych liniach kodu wziętych z funkcji „setup”, dla mikrokontrolera Arduino wskazane zostały numery pinów cyfrowych, na których będą podawane sygnały PWM. Każdy serwomechanizm sterowany jest przez oddzielne wyjście. Wyrażenie „attach()” stanowi powiązanie numeru pinu do obiektu poszczególnego członu.

```
servo_podstawa.attach(8);  
servo_czlon_1_lewy.attach(7);  
servo_czlon_1_prawy.attach(6);
```

```
servo_czlon_2.attach(5);  
servo_czlon_3.attach(4);  
servo_obrot_chwytak.attach(3);  
servo_uscisk_chwytak.attach(2);
```

Przedstawione poniżej instrukcje umieszczone są w głównej pętli programu i dzięki nim po włączeniu zasilania ramiona manipulatora ustawiają się na ustalone wcześniej pozycje. Funkcja „write()” służy do wymuszenia pozycji członu manipulatora. Argumentem jej są zmienne zdefiniowane na początku programu.

```
servo_podstawa.write(pozycja_podstawy);  
servo_czlon_1_lewy.write(pozycja_czlon_1_lewy);  
servo_czlon_1_prawy.write(pozycja_czlon_1_prawy);  
servo_czlon_2.write(pozycja_czlon_2);  
servo_czlon_3.write(pozycja_czlon_3);  
servo_obrot_chwytak.write(pozycja_obrot_chwytak);  
servo_uscisk_chwytak.write(pozycja_uscisk_chwytak);
```

Poprzez poniższe instrukcje wyłapujące przychodzące znaki przez „switch-case” dokonywana jest określona akcja. W przypadku wykrycia pierwszego znaku „a” zmienna „pozycja_podstawy” jest zwiększana o ustaloną wcześniej wartość zmiennej „predkosc”. Instrukcja warunkowa „if” została w tym przypadku zastosowana aby określić maksymalne wartości odchylenia silników. Powyżej tej ustalonej wartości nie jest możliwy ich obrót, co stanowi zabezpieczenie przed wysyłaniem do układu serwomechanizmu takich szerokości impulsów, które były by przez niego nieinterpretowalne lub nieprawidłowo interpretowane. Pomimo zapewnień producenta silników o pełnych możliwościach obrotu, charakteryzują się jednak one taką rozbieżnością tolerancji, że trudno jest uzyskać pełen 180 ° obrotu. Dlatego dla każdego z nich na podstawie wielu testów zostały ustawione indywidualne ograniczenia milisekundowe. Również z powodów różnych ich szybkości, w niektórych wyrażeniach dodano do zmiennej „predkosc” takie wartości aby mogły one dorównać szybkości silników podstawowych mg-995. Podobnie jak przy ustawieniu się na pozycje startową, również tu funkcja „write()” przekazuje wartości do układów scalonych silników. Po ustawieniu się ich na określoną przez użytkownika pozycję w przestrzeni, utrzymują one ją i czekają na dalsze instrukcje.

```

switch (buf[0])
{
    case 'a':
        pozycja_podstawy+=predkosc;
        if (pozycja_podstawy>=2250) pozycja_podstawy=2250;
        servo_podstawa.write(pozycja_podstawy);
        break;
    case 'b':
        pozycja_podstawy-=predkosc;
        if (pozycja_podstawy<=650) pozycja_podstawy=650;
        servo_podstawa.write(pozycja_podstawy);
        break;
    case 'c':
        pozycja_czlon_1_lewy-=predkosc_2;
        if(pozycja_czlon_1_lewy<=750)pozycja_czlon_1_lewy=750;
        pozycja_czlon_1_prawy+=predkosc;
        if(pozycja_czlon_1_prawy>=2210) pozycja_czlon_1_prawy=2210;
        servo_czlon_1_lewy.write(pozycja_czlon_1_lewy);
        servo_czlon_1_prawy.write(pozycja_czlon_1_prawy);
        break;
    case 'd':
        pozycja_czlon_1_lewy+=predkosc_2;
        if (pozycja_czlon_1_lewy>=2250) pozycja_czlon_1_lewy=2250;
        pozycja_czlon_1_prawy-=predkosc;
        if (pozycja_czlon_1_prawy<=1130) pozycja_czlon_1_prawy=1130;
        servo_czlon_1_lewy.write(pozycja_czlon_1_lewy);
        servo_czlon_1_prawy.write(pozycja_czlon_1_prawy);
        break;
    case 'e':
        pozycja_czlon_2+=predkosc;
        if (pozycja_czlon_2>=2250) pozycja_czlon_2=2250;
        servo_czlon_2.write(pozycja_czlon_2);
        break;
    case 'f':

```

```

        pozycja_czlon_2-=predkosc;
        if (pozycja_czlon_2<=750) pozycja_czlon_2=750;
        servo_czlon_2.write(pozycja_czlon_2);
        break;
    case 'g':
        pozycja_czlon_3+=predkosc;
        if (pozycja_czlon_3>=2250) pozycja_czlon_3=2250;
        servo_czlon_3.write(pozycja_czlon_3);
        break;
    case 'h': //Pochył chwytaka prawa
        pozycja_czlon_3-=predkosc;
        if (pozycja_czlon_3<=750) pozycja_czlon_3=750;
        servo_czlon_3.write(pozycja_czlon_3);
        break;
    case 'i':
        pozycja_obrot_chwytek+=predkosc;
        if (pozycja_obrot_chwytek>=2250) pozycja_obrot_chwytek=2250;
        servo_obrot_chwytek.write(pozycja_obrot_chwytek);
        break;
    case 'j':
        pozycja_obrot_chwytek-=predkosc;
        if (pozycja_obrot_chwytek<=750) pozycja_obrot_chwytek=750;
        servo_obrot_chwytek.write(pozycja_obrot_chwytek);
        break;
    case 'k':
        pozycja_uscisk_chwytek+=(predkosc+25);
        if (pozycja_uscisk_chwytek>=2250) pozycja_uscisk_chwytek=2250;
        servo_uscisk_chwytek.write(pozycja_uscisk_chwytek);
        break;
    case 'l':
        pozycja_uscisk_chwytek-=(predkosc+25);
        if (pozycja_uscisk_chwytek<=750) pozycja_uscisk_chwytek=750;
        servo_uscisk_chwytek.write(pozycja_uscisk_chwytek);
        break;
}

```

3.1.4 Prędkość członów

W przypadku naciśnięcia przycisku przyspieszającego na pilocie, odebrany zostaje znak „y”. Wówczas następuje inkrementacja zmiennej „predkosc”, czyli zwiększenie jej wartości o 1ms. Następnie dzięki instrukcji „delay()” program czeka 100ms. Te wyrażenie ma na celu powodowanie płynnej i odpowiednio wolnej regulacji prędkości, bez niego podczas naciśnięcia przycisku prędkość zwiększała się lub zmniejszała zbyt szybko i niemożliwe było dokładne ustalenie pożądanej prędkości członów robota. Odbiór znaku „z” powoduje z kolei dekrementację tej zmiennej. Prócz ręcznego ustalenia w programie szybkości poruszania się ramion, co wymaga ponownej jego kompilacji jest to jedyny sposób na modyfikację zdalną tej zmiennej. Po odłączeniu zasilania ustawiona przez użytkownika wartość zostaje zresetowana i przywrócona do domyślnej wartości. Ta funkcjonalność została stworzona po to aby poprzez zmniejszenie prędkości poruszania się członów uzyskać większą precyzję w manipulacji danym przedmiotem.

```
switch (buf[0])
{
    case 'y':
        predkosc+=1;
        delay(100);
        break;

    case 'x':
        predkosc-=1;
        delay(100);
        break;
}
```

3.1.5 Lampa oświetleniowa

Na początku programu została zadeklarowana zmienna „stan_diody” i ustawiona jest jej wartość na 0. Jest to zmienna sterująca, biorąca bezpośredni udział w wykrywaniu stanu diody i jej włączaniu lub wyłączaniu. Może ona przyjmować wartość 1 lub 0.

```
int stan_diody=0;
```

Poniższa instrukcja mieszcząca się w „setup” programu o nazwie „pinMode” wskazuje numer pinu i tryb jego pracy. „Output” oznacza pracę pinu jako wyjście czyli na jego zaciskach ma się pojawić prąd sterujący bazą tranzystora. W przypadku ustawienia na „input” pin cyfrowy pełnił by rolę wykrywania napięcia a analogowy mógłby obliczyć jego wysokość. Funkcja „digitalWrite()” wskazuje jak pierwszy argument numer pinu i domyślnie ustawia jego napięcie na „low” czyli niskiego napięcia 0V. Ustawienie na „high” od razu włączało by diodę z powodu wystąpienia wysokiej jego wartości.

```
pinMode(0, OUTPUT);  
digitalWrite(0, LOW);
```

W głównej pętli „loop” w sekcji odbioru danych, przy pojawieniu się znaku „m” zmienna pomocnicza „stan_dioda” zostaje ustawiona na wartość 1, co zostaje wykryte przez znajdującą się poza „switch” instrukcje warunkową, która podejmuje decyzje o jej zapaleniu bądź wyłączeniu poprzez ustawienie odpowiedniej wysokości napięcia na pinie 0. Odbiór znaku ‘n’ przywraca początkowy stan zmiennej pomocniczej i wysokie napięcie podawane na bazę tranzystora zostaje odcięte.

```
switch (buf[0])  
{  
    case 'm':  
        stan_dioda=1;  
        break;  
    case 'n':  
        stan_dioda=0;  
        break;  
}  
  
if (stan_dioda == 1)  
    digitalWrite(0, HIGH);  
if (stan_dioda == 0)  
    digitalWrite(0, LOW);
```

3.1.6 Dioda sygnalizująca odbiór danych

Do pinu cyfrowego o numerze 10 została podłączona dioda, która zapala się w momencie odebrania danych na określonej częstotliwości. Dzięki tej funkcjonalności projektu użytkownik jest w stanie wykryć moment odebrania informacji przez odbiornik i w przypadku uszkodzenia i braku reakcji manipulatora zweryfikować czy jakieś informacje są w ogóle odbierane. I tutaj jak w przypadku diody oświetleniowej pin 10 zostaje ustawiony jako wyjście.

```
pinMode(10, OUTPUT);
```

W przypadku wylapania jakiegokolwiek znaku na częstotliwości 433Mhz na pinie 10 pojawia się napięcie 5V co powoduje zapalenie się żółtej diody LED. Opóźnienie 2ms ma na celu wstrzymanie jej zgaszenia, ponieważ odbiór danych odbywa się tak szybko że odbiór pojedynczego znaku nie powoduje nawet rozgrzania się półprzewodnikowej struktury diody. Ten krótki czas daje możliwość błysku światła i może być zarejestrowane przez ludzkie oko. Brak światła oznacza brak danych w buforze odbioru.

```
if (vw_get_message(buf, &buflen))
{
    digitalWrite(10, HIGH);
    delay(2);
} else digitalWrite(10, LOW);
```

3.2 Pilot – nadajnik manipulatora

Kod programu pilota składa się z funkcji wysyłającej stan przycisku do zdalnej obsługi ramion manipulatora, funkcji kontroli oświetlenia i regulacji prędkości członów. Dodatkowo, podobnie jak w przypadku odbiornika danych została zaimplementowana obsługa diody LED, która świecąc się sygnalizuje moment wysyłania w przestrzeń informacji.

3.2.1 Zastosowane biblioteki nagłówkowe

Jedyną biblioteką, umieszczoną w programie jest „VirtualWire.h”, obsługująca funkcje wysyłania danych, która została omówiona przy plikach nagłówkowych sterownika obsługi manipulatora.

3.2.2 Wysyłanie danych

Do wysłania ciągu zer i jedynek w przestrzeń, prócz pliku nagłówkowego należy zdefiniować tablice i zmienną, która w identycznej konfiguracji pojawiła się w odbiorniku danych.

```
uint8_t buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN];  
uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN;
```

Poniżej przez programistę została określona prędkość transmisji wysyłania danych. Musi być ona identyczna z ustawieniami prędkości odbiornika, ponieważ nawet lekka rozbieżność o kilka Kb/s może spowodować brak synchronizacji między nadajnikiem a odbiornikiem i w rezultacie zupełny brak połączenia. W przypadku mikrokontrolera Arduino Nano umieszczonego na pilocie, nadajnik łączy się z nim za pomocą pinu cyfrowego 8.

```
vw_set_ptt_inverted(true);  
vw_setup(6000);  
vw_set_tx_pin(8);
```

Do bezpośredniego zlecenia wysłania znaku służą wyrażenia przedstawione poniżej. Funkcja „vw_setup” wysyła znak kryjący się pod zmienną „stan_przycisku” a instrukcja strlen() określa długość wysyłanego polecenia.

```
vw_send((uint8_t *)stan_przycisku, strlen(stan_ przycisku));  
vw_wait_tx();
```

3.2.3 Funkcja wysyłająca stan przycisku

Dla każdego serwomechanizmu zostały przygotowane dwa przyciski i dwie zmienne. Orczyk silnika wykonuje ruch w lewo i w prawo, co przekłada się na ruch obrotowy podstawy w obie strony, pochylenie i odchylenie ramion robota, obrót chwytaka oraz ścisk i rozwarcie jego szczęk. Przyciski znajdujące się po lewej stronie pilota zostały zaprogramowane do obrotu w stronę lewą orczyka a te znajdujące się po jego prawej stronie do obrotu w prawo, dlatego istnieje konieczność utworzenia dwóch przycisków i zmiennych: każda dla każdego kierunku ruchu. Zmienne kierunku lewego są przypisane do pinów analogowych a prawego do zmiennych cyfrowych. W tym wypadku nie ma znaczenia rodzaj pinu, dla wygody połączenia ich z mikrokontrolerem i łatwości w lutowaniu zostały one w takiej konfiguracji ustawione.

```
int pozycja_podstawy_lewo = A2;
int pozycja_podstawy_prawo = 5;

int pozycja_czlon_1_lewo = A1;
int pozycja_czlon_1_prawo = 6;

int pozycja_czlon_2_lewo = A3;
int pozycja_czlon_2_prawo = 4;

int pozycja_czlon_3_lewo = A5;
int pozycja_czlon_3_prawo = 2;

int obrot_chwytaka_lewy = A4;
int obrot_chwytaka_prawy = 3;

int uscisk_chwytaka_lewy = A0;
int uscisk_chwytaka_prawy = 7;
```

Dla wyżej wymienionych zmiennych, w funkcji „setup” należy określić ich wartość napięcia początkowego. Służą do tego celu instrukcje przedstawione poniżej. W przypadku tego projektu piny przycisków są ustawione jako wejścia, a ich napięcie początkowe wynosi 5V. W przypadku naciśnięcia jakiegokolwiek przycisku, zostaje utworzone połączenie między pinem a masą i jego wartość wynosi 0V co można sprawdzić stosując instrukcje warunkowe.

```
pinMode(pozycja_podstawy_lewo, INPUT);  
digitalWrite(A2, HIGH);  
pinMode(pozycja_podstawy_prawo, INPUT);  
digitalWrite(5, HIGH);
```

```
pinMode(pozycja_czlon_1_lewo, INPUT);  
digitalWrite(A1, HIGH);  
pinMode(pozycja_czlon_1_prawo, INPUT);  
digitalWrite(6, HIGH);
```

```
pinMode(pozycja_czlon_2_lewo, INPUT);  
digitalWrite(A3, HIGH);  
pinMode(pozycja_czlon_2_prawo, INPUT);  
digitalWrite(4, HIGH);
```

```
pinMode(pozycja_czlon_3_lewy, INPUT);  
digitalWrite(A5, HIGH);  
pinMode(pozycja_czlon_3_prawy, INPUT);  
digitalWrite(2, HIGH);
```

```
pinMode(obrot_chwybaka_lewy, INPUT);  
digitalWrite(A4, HIGH);  
pinMode(obrot_chwybaka_prawy, INPUT);  
digitalWrite(3, HIGH);
```

```
pinMode(uscisk_chwybaka_lewy, INPUT);  
digitalWrite(A0, HIGH);  
pinMode(uscisk_chwybaka_prawy, INPUT);  
digitalWrite(7, HIGH);
```

Funkcja o nazwie „F_przycisk” znajdująca się tuż za deklaracjami zmiennych została stworzona w celu wysłania określonego znaku w przypadku naciśnięcia przycisku ruchu. Jej dwoma pierwszymi argumentami są zmienne kierunków ruchu, a dwie pozostałe przekazują znaki, które mają być wysłane. W chwili pojedynczego wciśnięcia przycisku obrotu w lewo podstawy robota, instrukcja warunkowo wykrywa stan niski na wyjściu pinu i zgodnie z

dalszymi instrukcjami transmisji wysyła znak „a”, który jest przekazany poprzez zmienną znakową „lewy”. Analogicznie jest w przypadku wysłania znaku do ruchu w prawo co jest przedstawione w poniższym wycinku kodu.

```
void F_przycisk(int przycisk_lewy, int przycisk_prawy, char *lewy, char
*prawy)
{
    if (digitalRead(przycisk_lewy)==LOW)
    {
        vw_send((uint8_t *)lewy, strlen(lewy));
        vw_wait_tx();
        digitalWrite(12, HIGH);
        delay(3);
        digitalWrite(12, LOW);
    }

    if (digitalRead(przycisk_prawy)==LOW)
    {
        vw_send((uint8_t *)prawy, strlen(prawy));
        vw_wait_tx();
        digitalWrite(12, HIGH);
        delay(3);
        digitalWrite(12, LOW);
    }
}
```

Funkcje służące do wysyłania znaków zostają wywołane następująco:

```
F_przycisk(pozycja_podstawy_lewo, pozycja_podstawy_prawo, "a", "b");
F_przycisk(pozycja_czlon_1_lewo, pozycja_czlon_1_prawo, "c", "d");
F_przycisk(pozycja_czlon_2_lewo, pozycja_czlon_2_prawo, "e", "f");
F_przycisk(pozycja_czlon_3_lewy, pozycja_czlon_3_prawy, "g", "h");
F_przycisk(obrot_chwybaka_lewy, obrot_chwybaka_prawy, "i", "j");
F_przycisk(uscisk_chwybaka_lewy, uscisk_chwybaka_prawy, "k", "l");
```

W kodzie zastosowano sześć takich funkcji do obsługi silników manipulatora, poniżej jest przedstawiona tabela, która pokazuje jaki element i z jaką akcją zostaje uruchomiony poprzez wysyłkę danego znaku literowego. Jest to modyfikacja tabeli z rozdziału poświęconego elektronice pilota. Tabela jest niezbędna użytkownikowi maszyny do nauczenia się sterowania.

Nr. przycisku	Znak	Element	Akcja
1	a	Podstawa	Obrót w lewo
2	b	Podstawa	Obrót w prawo
3	c	Człon 1	Odchył
4	d	Człon 1	Pochył
5	e	Człon 2	Odchył
6	f	Człon 2	Pochył
7	g	Człon 3	Odchył
8	h	Człon 3	Pochył
9	i	Chwytek	Obrót w lewo
10	j	Chwytek	Obrót w prawo
11	k	Chwytek	Ścisk
12	l	Chwytek	Rozwarcie
13	m	Oświetlenie	Włączenie
13	n	Oświetlenie	Wyłączenie
14	y	Prędkość	Zwiększenie
15	x	Prędkość	Zmniejszenie

3.2.4 Funkcja zdalnego włączania lampy oświetlającej

Zmienna typu całkowitego „pom_dioda” jest pomocniczą zmienną przyjmującą tylko dwie wartości, mianowicie 1 i 0. Służy ona do sprawdzania podczas działania programu jaki jest aktualny stan diody. Z kolei zmienna o nazwie „dioda” wskazuje numer pinu, który jest połączony z przyciskiem do jej sterowania.

```
int pom_dioda=0;
int dioda = 11;
```

W dwóch poniższych liniijkach pin diody zostaje ustawiony jako wyjście z domyślnym stanem wysokim, czyli oznaczającym jaki stan napięcia obowiązuje na zaciskach pinu podczas spoczynku przycisku.

```
pinMode(dioda, INPUT);  
digitalWrite(11, HIGH);
```

Funkcja sterująca zdalnie diodą „F_przycisk_dioda” wysyła do odbiornika dwa znaki, które mikrokontroler odbiorczy interpretuje jako zapalenie diody bądź też jej wyłączenie. Do kontroli diody jest tylko jeden przycisk, a dwa wysyłane znaki. Tutaj istotną rolę gra zmienna „pom_dioda” która w przypadku naciśnięcia i uruchomienia diody musi posiadać wartość 0, czyli być wyłączona. Po włączeniu oświetlenia zmienna pomocnicza jest ustawiana na wartość 1 co umożliwia spełnienie drugiego warunku czyli wyłączenia jej. W przedstawionej funkcji nie jest możliwe wysłanie znaku uruchomienia lampy kiedy faktycznie jest ona włączona.

```
void F_przycisk_dioda(int wlacznik, char *stan_wlaczony, char  
*stan_wylaczony)  
{  
    if ((digitalRead(wlacznik)==LOW)&&(pom_dioda==0))  
    {  
        vw_send((uint8_t *)stan_wlaczony, strlen(stan_wlaczony));  
        vw_wait_tx();  
        delay(200);  
        digitalWrite(12, HIGH);  
        delay(3);  
        digitalWrite(12, LOW);  
        pom_dioda=1;  
    }  
  
    if ((digitalRead(wlacznik)==LOW)&&(pom_dioda==1))  
    {  
        vw_send((uint8_t *)stan_wylaczony, strlen(stan_wylaczony));  
        vw_wait_tx();
```

```

        delay(200);
        digitalWrite(12, HIGH);
        delay(3);
        digitalWrite(12, LOW);
        pom_dioda=0;
    }
}

```

Funkcja zostaje wywołana, podobnie jak w przypadkach przycisków w głównej pętli „loop”. Wysyłany znak „m” włącza diodę a „n” ją wyłącza.

```
F_przycisk_dioda(dioda, "m", "n");
```

3.2.5 Zdalna regulacja prędkości członów

Poniżej przedstawione zmienne służą do ustawienia pinów dwóch przycisków, które służą odpowiednio do zmniejszania prędkości i jej zwiększania. Dwa przyciski są podłączone pod pin 9 i 10.

```

int predkosc_minus=10;
int predkosc_plus=9;

```

Podobnie jak w przypadku pozostałych podłączeń przycisków, tutaj też ustawia się je na wyjście i stan wysoki napięcia

```

pinMode(predkosc_minus, INPUT);
digitalWrite(10, HIGH);
pinMode(predkosc_plus, INPUT);
digitalWrite(9, HIGH);

```

Moduł regulacji prędkości korzysta z tej samej funkcji co przyciski sterowania członami manipulatora, ponieważ wysyłka znaków i sprawdzenie wciśnięcia guzików niczym nie różni się od sterowania ramionami. Wysłany znak „x” zmniejsza prędkość, a „y” ją zwiększa.

```
F_przycisk(predkosc_minus, predkosc_plus, "x", "y");
```

Film demonstrujący regulacje prędkości członów: <https://youtu.be/cSddvJVHMHg>

3.2.6 Dioda sygnalizująca wysłanie danych

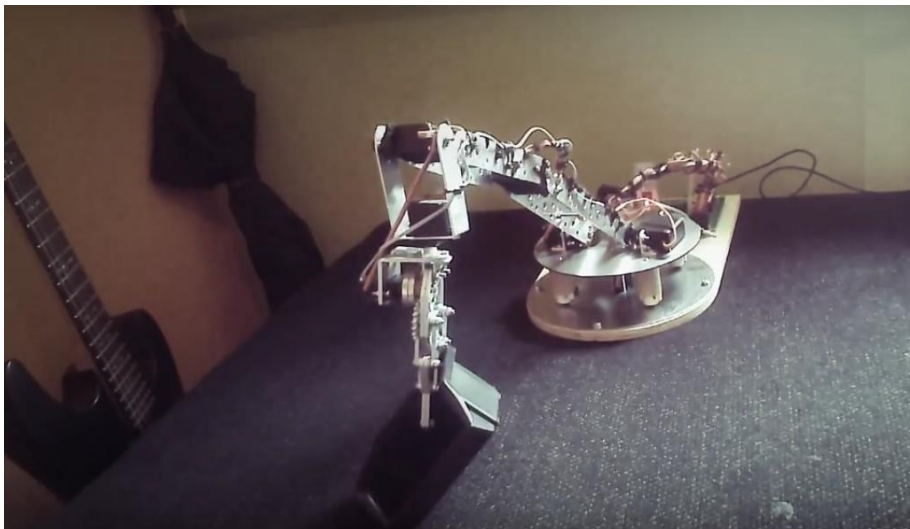
Żółta dioda umieszczona tuż obok nadajnika na pilocie, świeci zawsze kiedy są wysyłane jakiegokolwiek dane w przestrzeń. Krótki kod zapalania się jej znajduje się w funkcji „F_przycisk” i „F_przycisk_dioda” w instrukcji warunkowej. Oznacz to, że jak zostanie wciśnięty odpowiedni guzik i zostanie przerobiony kod na wysyłkę znaku to na 3ms zapala się dioda, która po tym czasie gaśnie. Opóźnienie zostało wprowadzone ze względu na szybkość wysyłania danych. Dioda kontrolna jest podłączona pod pin 12.

```
if (digitalRead(przycisk)==LOW)
{
    digitalWrite(12, HIGH);
    delay(3);
    digitalWrite(12, LOW);
}
```

Rozdział 4 Testy Manipulatora

4.1 Przenoszenie przedmiotów

Jest to jeden z podstawowych i najważniejszych testów stwierdzający przydatność robota do wykonywania takich czynności jak ustawianie się w polu danego obiektu, jego chwytanie, podniesienie i przemieszczenie w inne miejsce. Na test składają się dwa filmy pokazujące jego pracę i możliwości. W niektórych odcinkach filmów zauważyć można włączanie się diody oświetleniowej. Przedmioty te nie są duże i ciężkie, ale charakteryzują się przede wszystkim zróżnicowanym kształtem, do którego chwytak musi się przystosować. Wśród przedmiotów można zauważyć pudełko, szklaną butelkę, rolkę taśmy, tubkę kleju, zapalniczkę, mikrokontroler Arduino, serwomechanizm, czy nawet duży kondensator. O ile w pierwszym filmie ukazana jest manipulacja częścią tych elementów bez konkretnego celu to w drugim zadaniem jest włożenie rozsypanych przedmiotów do pudełka i uniesienie jego z całą zawartością.



Fot. 1.X Manipulator podczas podnoszenia pudełka

- <https://youtu.be/Kq9ISxhktfs>
- <https://youtu.be/ON9z-ddU-S0>

4.2 Pisanie

O ile pisanie używając manipulatora jest bardzo skomplikowaną sprawą, filmik ma na celu pokazanie że jest możliwe uchwycenie cienkich i długich przedmiotów i zrobienie jakiejś czynności z ich pomocą. Równie dobrze zamiast pisaka mogła by być śruba, sworzeń czy nawet pręt do skrobania z powierzchni materiału toksycznego czy radioaktywnego.



➤ https://youtu.be/2Orqk1E_HE

4.2 Przelewanie cieczy do pojemnika

Przedstawiony poniżej film prezentuje, że przy pomocy tego manipulatora można podnieść mały, szklany pojemnik zawierający ciecz i przelać ją do większego. W celu zwiększania delikatności chwytania przedmiotów na szczęki chwytaka zostały założone przezroczyste, gumowe nakładki. Celem testu było przelanie cieczy z dwóch pojemników do jednego większego, bez ich potłuczenia czy wylania całej zawartości na podłoże. Z racji dość szybkiej prędkości członów trochę cieczy zostało rozlanych ale eksperyment zakończył się powodzeniem – dwie ciecze zmieszały się ze sobą.



Fot. 1.X Dwie ciecze i główny pojemnik

➤ <https://youtu.be/ON7koj0TBa8>

4.3 Podlewanie rośliny

W celu podlania rośliny manipulator w tym teście musiał podnieść pojemnik wypełniony wodą, bezpiecznie przetransportować go nad ziemię rośliny i bez uszkodzenia jej liści wylać całą zawartość, a następnie odstawić pusty już pojemnik na podłogę.



Rys Fot. 1.X Test podlewania kwiatu przy pomocy małego zbiornika wody

➤ https://youtu.be/c_jO0FWOwnc

4.4 Kartkowanie

Zadanie te z pozoru bardzo proste, jest niezwykle trudne dla tak zbudowanego manipulatora. Celem doświadczenia było przewrócenie kilku stron książki bez ich porwania czy pogniecenia. Wymagało od robota sporej precyzji i delikatności, gdyż siła ramion bez problemu rozerwała by cienkie strony książki.



➤ <https://youtu.be/ivmXIEPg8iQ>

4.4 Gaszenie ognia

Test gaszenia płomienia miał na celu ukazanie, że dzięki temu manipulatorowi jest możliwe gaszenie pożaru w miejscach, które stanowią zagrożenie dla człowieka. Polegał na zlokalizowaniu i podniesieniu pojemnika z wodą, szybkie umieszczenie go nad źródłem ognia i wylanie całej cieczy na niego. Ogień został z powodzeniem ugaszony. Równie dobrze, zamiast chwycić pojemnik z cieszą robot może użyć węża strażackiego.



Fot. 1.X Źródło ognia i woda

➤ https://youtu.be/W91C_20euR4

4.5 Zdejmowanie przedmiotu z podwyższenia

W tym teście manipulator musiał się sprawdzić w zdejmowaniu i potem umieszczeniu przedmiotów na podwyższeniu. Zrobił to, co potrafią manipulatory przemysłowe wyręczające człowieka w podobnych zadaniach. Przedmiotami były dwie buteleczki, co zwiększało trudność zadania, ponieważ ich kształt i śliskość były dla robota sporym wyzwaniem.

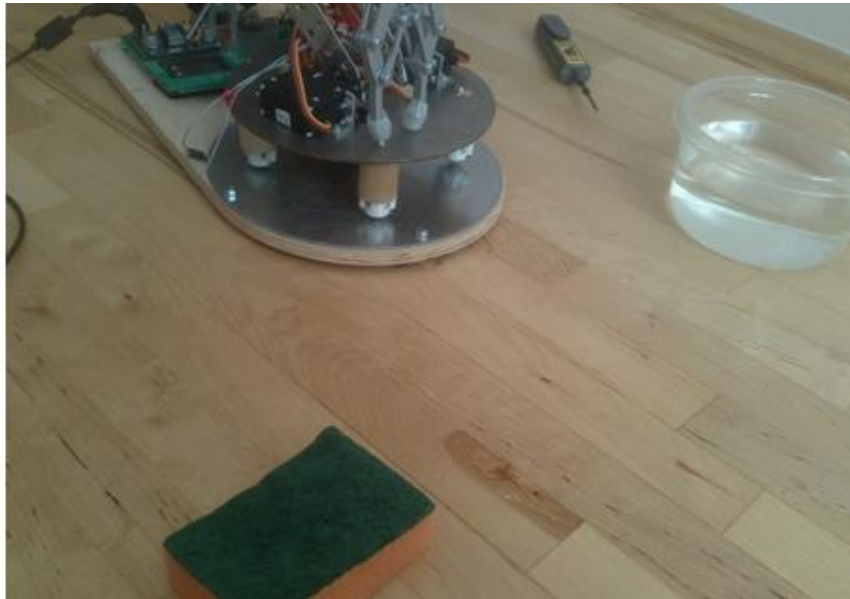


Fot. 1.X Próba zdjęcia butelki z podwyższenia

➤ <https://youtu.be/PSxWWWh5qFiA>

4.6 Dezynfekcja powierzchni

Test powstał z myślą o powierzchniach zabrudzonych materiałami żrącymi, radioaktywnymi lub znajdujących się w przestrzeniach o niekorzystnym środowisku dla człowieka. Zadaniem manipulatora było podniesienie gąbki, zamoczenie w wodze i wyczyszczenie określonego fragmentu powierzchni. Taka czynność była wykonywana wielokrotnie aż do usunięcia zabrudzenia.



Fot. 1.X Pojemnik z wodą i gąbka do dezynfekcji powierzchni

➤ <https://youtu.be/ULBZgPlIK5M>

4.7 Manipulacja w ciemnościach

Poniższe nagranie z testu pokazuje możliwość skutecznego manipulowania przedmiotami w zupełnych ciemnościach przy użyciu lampy umieszczonej na chwytaku. Dzięki niej widać nie tylko obiekt manipulacji i przestrzeń roboczą, ale także o wiele dalsze przedmioty i przestrzenie.



➤ <https://youtu.be/MhxWdaNBxqs>

Podsumowanie

Powyższa praca stanowi kompendium wiedzy na temat manipulatorów i mikrokontrolera Arduino. Opisano współczesne manipulatory i przedstawiono charakterystykę popularnej platformy Arduino i jej modułów. Dzięki teoretycznej wiedzy został stworzony w pełni działający manipulator. Nie należało to do prostych zadań lecz po kilku miesiącach projekt został ukończony i z powodzeniem przetestowany. Z pomocą programu AutoCad zaprojektowano części robota i na podstawie rysunków technicznych przystąpiono do ich realizacji. Wykorzystano wiele maszyn i narzędzi w celu ich stworzenia. Elektronika zaprojektowana w programie Fritzing posłużyła do chwycenia za lutownice i skonstruowania działającego pilota, modułu odbioru i sterowania członami. Dzięki środowisku programistycznym napisano odpowiednie sterowniki do maszyny i wgrano je na płytkę mikrokontrolera. Wszelkie kroki w tym obliczenia, opisy, praca na maszynach zostały bardzo szczegółowo opisane i potwierdzone wieloma zdjęciami i filmami. Nawet tu znaleźć można opisy działania poszczególnych elementów elektronicznych, ich historie i zastosowania w innym niż ten projektach.

Literatura:

Książki:

1. Borkowski Paweł „Przygoda z elektroniką” wyd. Helion 2013
2. Boxall John „Arduino, 65 praktycznych projektów”, Wydawnictwo Helion 2014
3. Buratowski Tomasz, „Teoria Robotyki”, Wydawnictwo Akademia Górniczo-Hutnicza, rok. 2006
4. Eugene Aisberg, „Radio”, wyd. Naukowo – Techniczne 1956
5. Eugene Aisberg „Tranzystor – ależ to bardzo proste” wyd. Naukowo-Techniczne 1965
6. Monk Simon „Arduino dla początkujących, podstawy i szkice”, wyd. Helion 2014
7. Monk Simon „Zabawy z elektroniką, ilustrowany przewodnik dla wynalazców i pasjonatów”, Wydawnictwo Helion 2014
8. Kost Gabriel, „Podstawy budowy robotów”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, rok 1996
9. Oleksiuk Waldemar, Paprocki Krzysztof, „Konstrukcja mechanicznych zespołów sprzętu elektronicznego”, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności Warszawa, rok 1997
10. Platt Charles, „Elektronika – Od praktyki do teorii”, Wydawnictwo Helion, rok 2013
11. Praca zbiorowa pod redakcją Moreckiego Adama i Knapczyka Józefa, „Podstawy robotyki – Teoria i elementy manipulatorów i robotów” Wydawnictwo Naukowo-techniczne, rok 1994
12. Praca zbiorowa pod redakcją Wiak Stanisława „Mechatronika, Tom 2”, Wydawnictwo Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT rok 2010
13. Rychlicki Wiesław, „Od obwodu elektrycznego do pierwszego robota”, Wydawnictwo Helion, rok. 2013
14. Rygałło Andrzej, „Robotyka dla Mechatroników”, Częstochowa 2008
15. Szydełski Zbigniew, Olechowicz Jan, "Elementy napędu i sterowania hydraulicznego i pneumatycznego", Wydawnictwo Państwowe Wydawnictwo Naukowe, rok 1986
16. Tomasiak Edward, „Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, rok 2001

17. Topór-Kamiński Lesław, „Elementy półprzewodnikowe i układy elektroniczne”
wyd. Politechniki Śląskiej 2003
18. Żółtowski Jan, „Podstawy konstrukcji maszyn – przekładnie”, Wydawnictwo
Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej” rok. 2004

Czasopisma:

1. Czulda Robert, „Mój przyjaciel robot”, Wiedza i życie, rok.2014
2. Dziuban Maciej , „Dlaczego trzeba chłodzić diody LED ?”, Elektronika
praktyczna, rok. 2015
3. Górecki Piotr, „Diody laserowe cz.1”, Elektronika dla Wszystkich, rok.1997
4. Górecki Piotr, „Radiatory w sprzęcie elektronicznym”, Elektronika dla Wszystkich,
rok.1999
5. Górecki Piotr, „Rdzenie ferrytowe w praktyce cz.3”, Elektronika dla Wszystkich,
rok.2003
6. Górecki Piotr, „Przetwornice impulsowe - ogólnie”, Elektronika dla Wszystkich,
rok.1997
7. Górecki Piotr, „Stabilizatory liniowe cz.1 i 2”, Elektronika dla Wszystkich,
rok.1996
8. Górecki Piotr, „Tranzystory dla początkujących – parametry termiczne”,
Elektronika dla Wszystkich, rok.1998
9. Górecki Piotr, „Zwykłe i niezwykłe elementy stykowe”, Elektronika dla
Wszystkich, rok.2000
10. Potocki Leszek, „Silniki krokowe od podstaw cz.1”, Elektronika dla Wszystkich,
rok.2002
11. Schrope Mark, „Wyprawy na samo dno”, Świat nauki, rok.2014
12. Stanisławski Piotr, „Czucie w protezie”, Magazyn Integracja, rok 2009
13. Zbysiński Piotr, „Chłodzenie LED średniej i małej mocy”, Elektronika praktyczna,
rok.2015

Strony internetowe:

19. „Dragon Runner - bezzałogowy robot do rozbrajania bomb”,
<http://gadzetomania.pl/25308,dragon-runner-bezzałogowy-robot-do-rozbrajania-bomb>
20. „Polskie antyterrorystyczne roboty mobilne”,
<http://zabezpieczenia.com.pl/ochrona-osobista/polskie-antyterrorystyczne-roboty-mobilne>

Spis zawartości dołączonej płyty CD

- Elektroniczna wersja pracy inżynierskiej
- Kod źródłowy pilota i odbiornika