



KoNaR

KOŁO NAUKOWE ROBOTYKÓW

Koło Naukowe Robotyków „KoNaR”

**Robot mobilny klasy minisumo.
„Wibrobot”**

Jan Kędzierski

Wrocław. 30.06.2006

Spis treści

Od autora	3
1. Cel projektu	4
2. Wstęp	4
3. Opis konstrukcji nośnej	5
4. Opis układu napędowego	6
5. Opis układu zasilania	9
6. Czujniki	11
a) dalmierz ultradźwiękowy	11
b) czujniki koloru i czujniki zderzeniowe	15
7. Sterowanie napędami	17
8. Jednostka centralna oraz wybrane algorytmy	19
a) PWM	20
b) regulowanie prędkości obrotowych w napędach	20
c) pomiar odległości czujnikiem ultradźwiękowym	21
d) główny algorytm pracy robota	22
e) końcowe uwagi dotyczące algorytmów	22
9. Podsumowanie	22

Od autora.

Raport ten napisałem w podziękowaniu za pomoc Koła Naukowego Robotyków w powstanie tego projektu. Nie zawiera on zbyt wiele teoretycznych rozważań, są to jedynie uwagi niezbędne do budowy robota minisumo. Z czasem raport będę rozpisywał i poprawiał. Opis ten należy potraktować jako pewne koleżeńskie wskazówki. Za wszelkie uwagi będę niezwykle wdzięczny.

Zapraszam wszystkich na kolejne Otwarte Zawody Robotów Minisumo.

prezesjasko@wp.pl

gg: 1029541 (Janek)

strona koła:

<http://www.konar.iiar.pwr.wroc.pl>

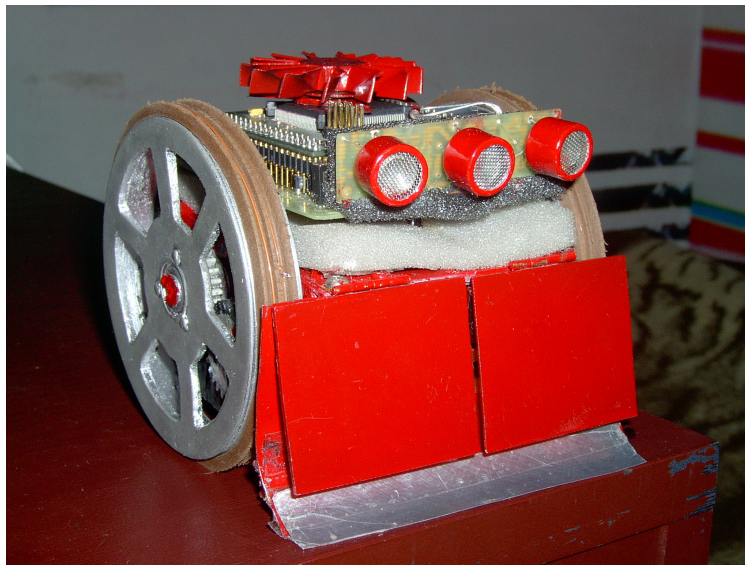
galerie z zawodów:

<http://air.ict.pwr.wroc.pl/galeria/index.php?cat=5>

1. Cel projektu

Celem projektu było skonstruowanie małego robota mobilnego. Robot ten miałby spełniać wymagania klasy minisumo oraz wziąć udział w Otwartych Zawodach Robotów Minisumo. Prace nad projektem odbywały się w grupie 5-cio osobowej. W raporcie opisano konstrukcje mechaniczne jak i układy elektroniki. Pozbawiony teoretycznych rozważań, powinien służyć jedynie jako pomoc początkującym konstruktorom przy budowie własnego modelu platformy mobilnej.

2. Wstęp



Fot. 1 Widok z przodu

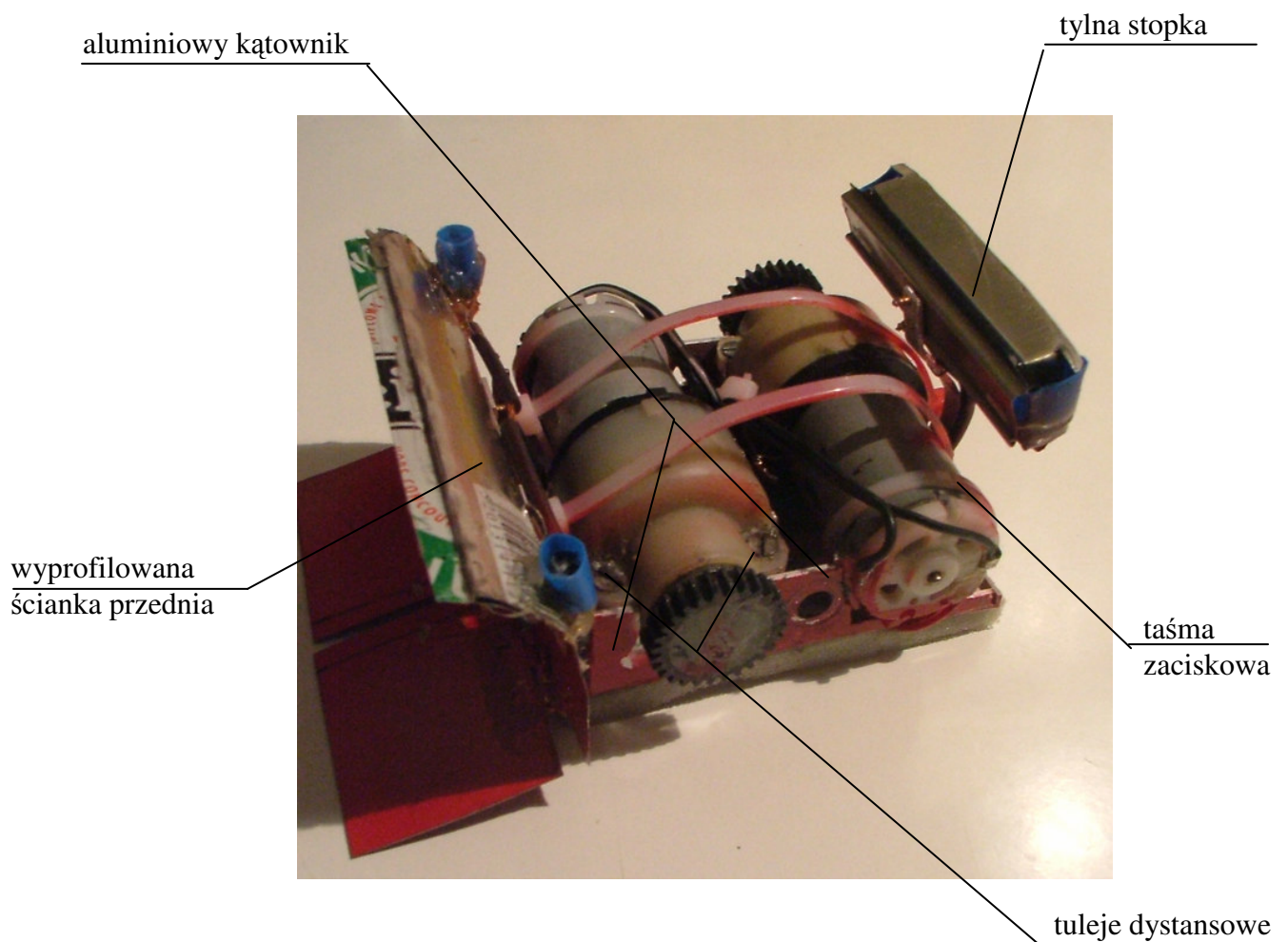
Klasa robotów minisumo narzuca dosyć spore ograniczenia konstruktorom. Masa robota nie może przekraczać 0,5kg oraz wymiary podstawy nie mogą być większe niż 10x10 cm. Sprawia to, że trudność wykonania takiej platformy to nie tylko poprawnie zaprojektowane układy elektroniczne i mechaniczne, ale także zminiaturyzowanie i odciążenie całości. Warto wspomnieć, że już same układy napędowe jak i zasilania zabierają niekiedy 2/3 całej masy. A zatem niewiele już zostaje na moduły czujników, procesor i pozostałe układy sterujące.

Już na etapie projektowania trzeba dbać o to, aby do budowy konstrukcji użyć zarówno jak najmniejszej ilości elementów mocujących ale także i o to, aby całość była stabilna. Napędy można wykonać na różne sposoby np: dwukołowe, czterokołowe oraz gąsienicowe. W raporcie tym opisano wykonanie napędu dwukołowego. Istotną rolę odgrywa również odpowiednio dobrany zestaw czujników. Ich niedobór pozbawia robota precyzyjności, z kolei nadmiarowość prowadzi do zwiększenia masy oraz niekiedy, ze względu na ich odmienne zasady pomiaru, do błędnej percepcji otoczenia.

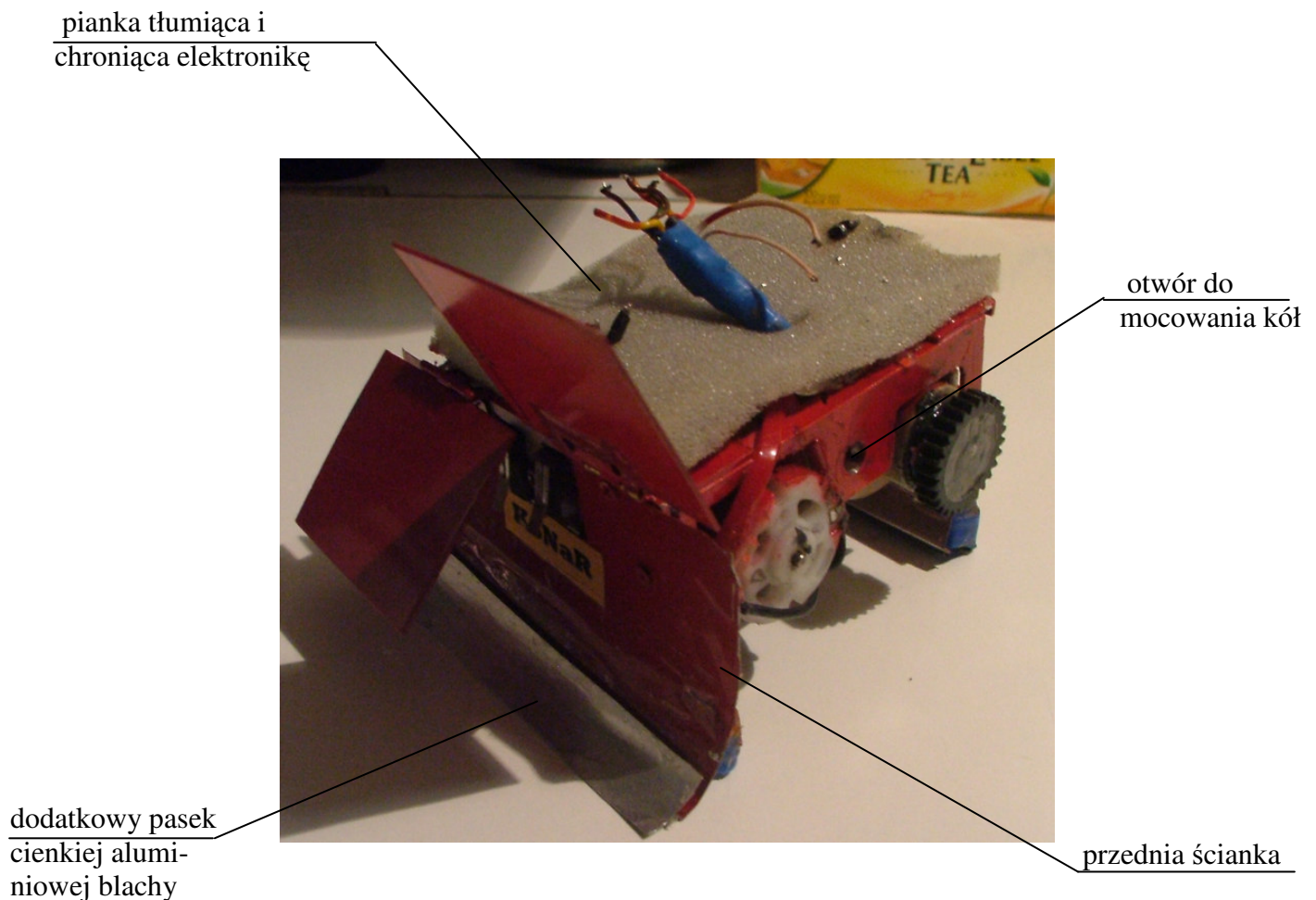
3. Opis konstrukcji nośnej.

Stelaż konstrukcji wykonany został ze specjalnych, bardzo lekkich i wytrzymałych stopów aluminium [Fot. 2]. Kątowniki takie można zakupić w sklepach z narzędziami oraz w marketach budowlanych. Ścianka przednia została odpowiednio wyprofilowana z blachy stalowej grubości ok. 0,1mm. Dodatkowo w dolnej części dokleiono cienki aluminiowy pasek z blachy pochodzącej z puszki po napoju [Fot. 2]. Element ten doskonale podbierał przeszkody znajdujące się przed robotem. Tylne ścianki miały za zadanie jedynie podparcie robota tak, aby nie odwrócił się do tyłu przy ruszaniu czy też zderzeniu się z przeszkodą.

Silniki umocowane zostały na tulejach dystansowych oraz przy użyciu taśm zaciskowych, a całość skreślona śrubami o średnicy 3mm. Górna część konstrukcji pokryta jest pianką [Fot. 3], na której zainstalowane zostały moduły elektroniki sterującej. Pianka ta ma amortyzować uderzenia delikatnych, elektronicznych elementów oraz czujników. Ma również za zadanie tłumić zakłócenia mechaniczne, przenoszące się od napędów do czułych dalmierzy ultradźwiękowych.



Fot. 2 Widok stelaża od spodu – elementy konstrukcji



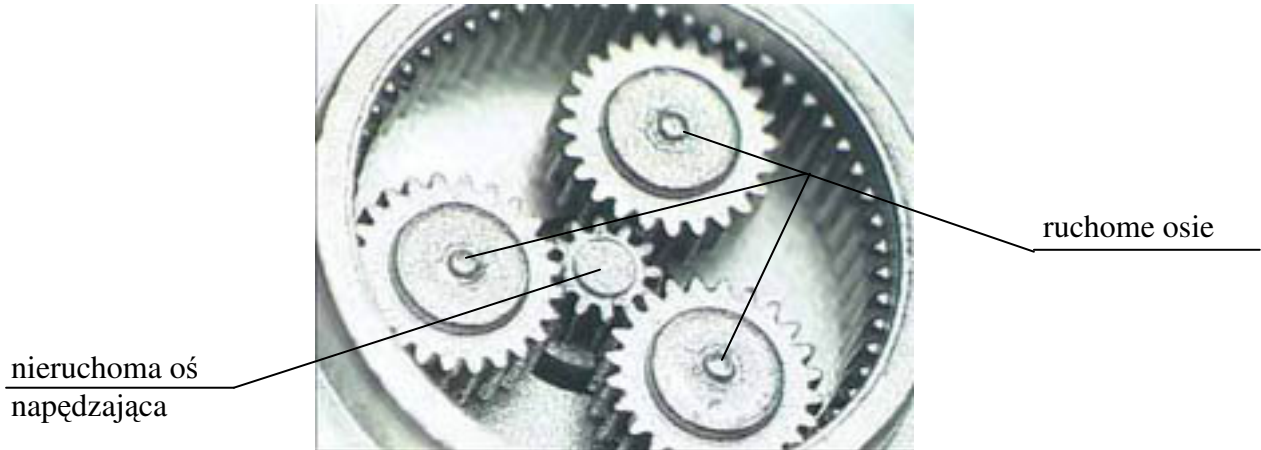
Fot. 3 Widok stelaża z przodu – elementy konstrukcji.

4. Opis układu napędowego.

Dobranie i mocowanie odpowiednio silnych i lekkich napędów okazało się najtrudniejszą do wykonania częścią konstrukcji. Pierwotnie zakupiono wkrętarki, z solidnie wykonanymi ze stali dwustopniowymi przekładniami planetarnymi zwanymi również przekładniami obiegowymi [Fot. 4]. Niestety już sam silnik zasilany napięciem 3,6V wraz z przekładnią ważył 140gram. W sumie z masą stelaża i elementami mocującymi napędy dało ponad 370gram. Masa ta była niedopuszczalna i nie pozwoliłaby na zainstalowanie większej ilości planowanych elementów, odpowiadających za pomiary otoczenia i podłoża.

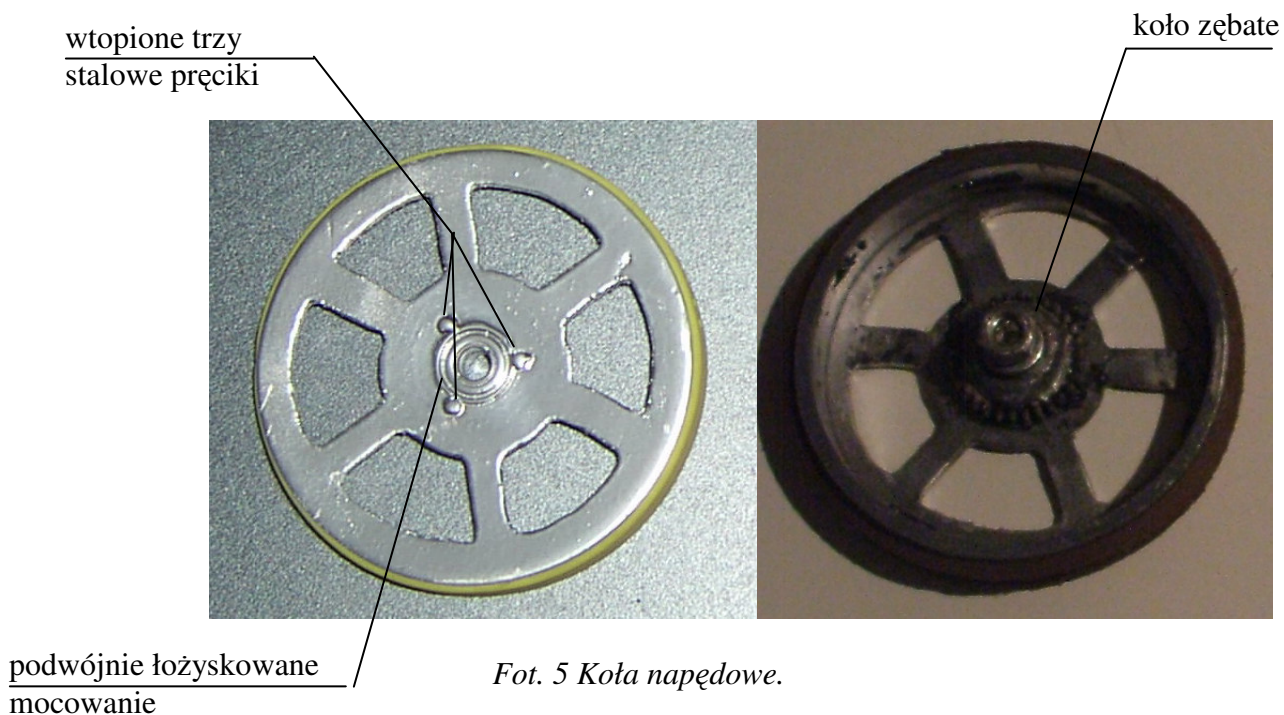
Ostatecznie z trudem udało się znaleźć w markecie tanie wkrętarki z identycznymi przekładniami tylko, że tym razem w całości wykonanymi z plastiku. Silniki miały identyczne wymiary ale napięcie zasilania wynosiło 2,4V co akurat było korzystne. Silniki o niższym napięciu miały mniejszą bezwładność i dawały się lepiej sterować.

Przekładnie planetarne charakteryzują się dużym przełożeniem przy zachowaniu dostatecznie małych wymiarów. Dodatkowo są bardzo wytrzymałe i mają bardzo małe luzy. W przeciwieństwie do tradycyjnych przekładni, w ruch wprawiane są nie tylko koła zębate wokół własnej osi, ale także i osie.



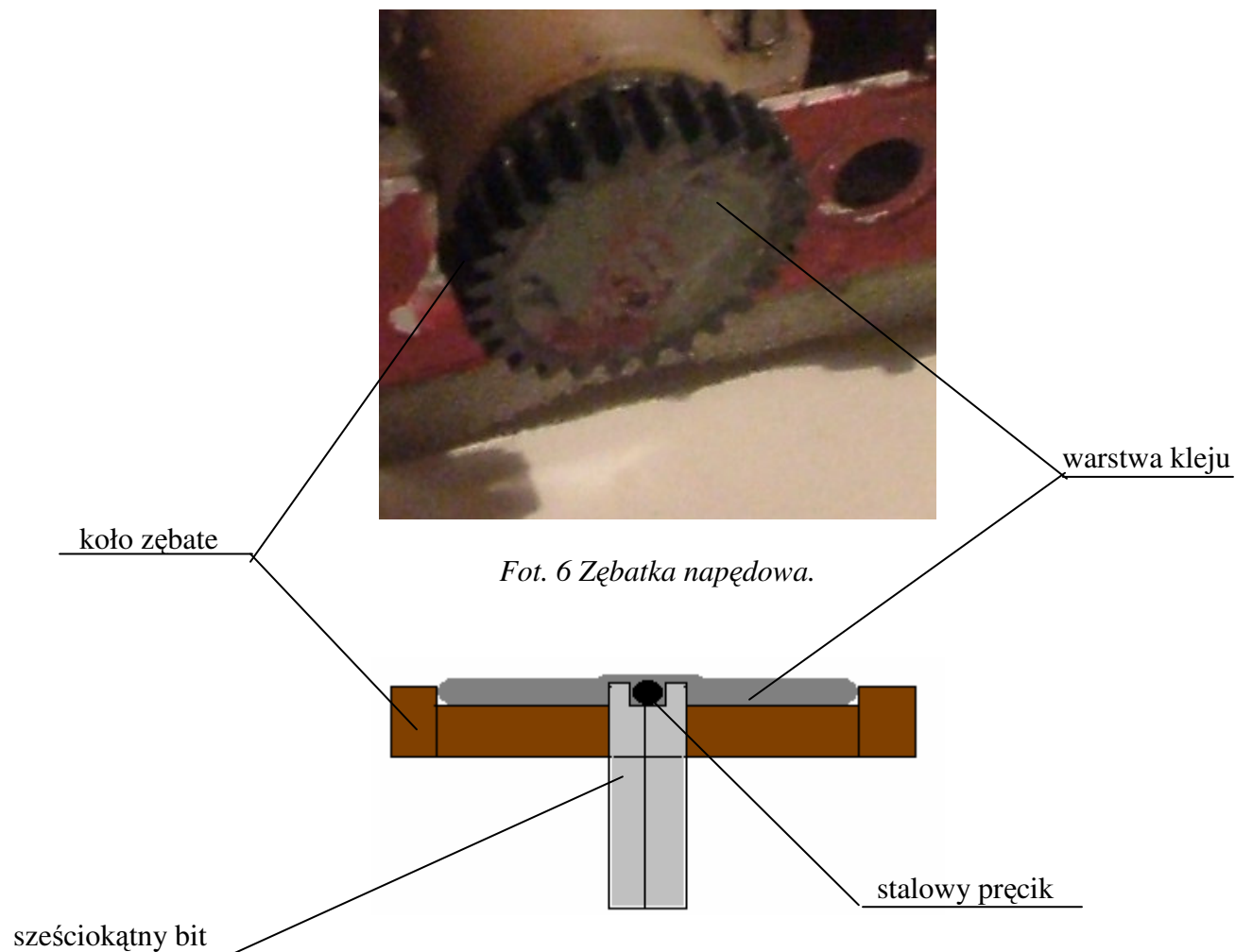
Fot. 4 Przykład przekładni planetarnej.

Koła napędowe wytoczono w plastiku tak, że ich średnica wynosiła 80mm. Do obydwu kół zamocowano zębatki, które wymontowano z drukarki komputerowej. Aby mocowanie wytrzymało duże siły, jakie powstają przy napotkaniu przez robota przeszkody, w miejscu mocowania zatopiono trzy stalowe pręciki [Fot. 5]. Te natomiast uzyskano przycinając zwykłe gwoździe. Każde koło do konstrukcji nośnej zamocowano na dwóch łożyskach. Cztery w sumie łożyska okazały się dosyć ciężkie, ale tego typu konstrukcja charakteryzowała się bardzo dobrą stabilnością. Całość zalano klejem Poxipol.



Fot. 5 Koła napędowe.

Częścią roboczą większości wkrętarek jest specjalnie wyprofilowany otwór, w którym umieszcza się końcówki, czyli tzw. bity. Otwory te oraz przycięte na odpowiednią długość bity wykorzystano do zamocowania zębatek napędowych [Fot. 6]. Nawet idealne dopasowanie otworu zębataki do sześciokątnego bitu, przy dużych siłach, nie dawało gwarancji, że nie dojdzie do obluźnienia mocowania. A zatem nacięto szczelinę na końcu bitu oraz wklejono w poprzek stalowy pręcik wykonany z gwoźdźcia [Rys. 1]. Również w tym przypadku całość zalano klejem Poxipol.



Fot. 6 Zębataka napędowa.

Rys 1. Zębataka napędowa.

5. Opis układu zasilania.

Głównym źródłem zasilania jest akumulator litowo-polimerowy czeskiej firmy E-Tec [Fot. 7]. Maksymalny prąd rozładowywania, dla tego typu akumulatorów, wynosi od 8-12C, gdzie „C” to pojemność akumulatora. Przy pojemności 1000mA prąd ten może dochodzić nawet do 10A. Dzięki tak sporemu zapasowi prądowemu można śmiało stosować napędy z wkrętarek, bez obawy o uszkodzenie akumulatora. Do robota użyto pakietu składającego się z dwóch ogniw, co dało 7,4V oraz pojemności 1200mA.



Fot. 7 Akumulator Li-Poly

Już na początku projektu zrezygnowano z budowy własnej ładowarki. Akumulatory litowe wymagają nieco bardziej skomplikowanego procesu ładowania niż niklowo-kadmowe czy też niklowo-wodorkowe. Ładowanie odbywa się w trzech fazach. Pierwsza występuje, gdy napięcie spadnie poniżej 3V na ogniwo ładowanie odbywa się przy pomocy stałego prądu 0,1C. Po przekroczeniu napięcia 3V stały prąd ładowania powinien wynosić 1C. Ostatnia faza, gdy napięcie osiągnie 4,2V na ogniwo wtedy ładuje się stałym napięciem równym 4,2V aż prąd spadnie do zera.

Ogniwa te dodatkowo wymagają ostrożności przy rozładowywaniu i ładowaniu. Jeżeli baterie rozładujemy do napięcia poniżej 2,6V na ogniwo, wtedy nastąpi trwałe uszkodzenie akumulatora. W trakcie ładowania nie wolno przekroczyć napięcia 4,225V, wtedy również może dojść do trwałego uszkodzenia ogniwa lub nawet do eksplozji całego pakietu.

Jak widać koszty wykonania tak skomplikowanej ładowarki z pewnością przekroczyłyby kwotę za którą można nabyć już gotową mikroprocesorową ładowarkę przeznaczoną do tego typu baterii [Fot. 8].



Fot. 8 Mikroprocesorowa ładowarka niemieckiej firmy Graupner.

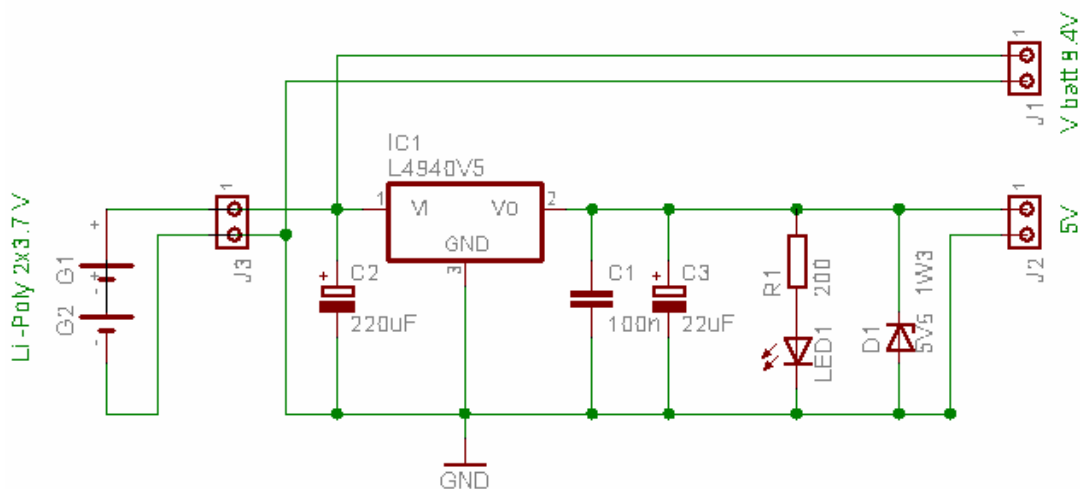
Więcej informacji o bateriach polimerowych na:

<http://konar.ict.pwr.wroc.pl/module.php?op=download&cmd=click&id=30>

Poniżej przedstawiono schemat układu zasilania. Do zasilania mikroprocesora oraz czujników użyto stabilizowanego napięcia 5V. Do ustabilizowania zakłóconego przez silniki napięcia użyto stabilizatora z serii Low-Drop L4940V5. Nawet przy pełnym wysterowaniu napędów napięcie akumulatora nie spadało poniżej 6,5V. Zatem stabilizator pracował bez problemu mając przy tym 1V zapasu. Widoczna na schemacie dioda D1 zenera została zainstalowana bezpośrednio na zasilaniu modułu z mikrokontrolerem. Dioda ta zabezpieczała mikrokontroler przed przepięciami, a także przed uszkodzonym stabilizatorem. Dioda ta powinna mieć moc 1,3W.

Należy również pamiętać o użyciu odpowiedniej grubości przewodów zasilających napędy. Także i ścieżki na płytce drukowanej powinny być pocynowane co zwiększa ich przewodność. Dobrym pomysłem okazało się użycie przewodów w izolacji teflonowej. Nawet przy dużych prądach i znacznym nagrzanu się kabli nigdy nie dojdzie do stopienia się izolacji a w następstwie do zwarcia akumulatora.

Na schemacie poniżej brakuje jeszcze jednego kondensatora. Kondensator ten powinien być przylewany do płytki czujnika ultradźwiękowego. Jego wartość pojemności powinna być równa ok. 1000uF. Poprawia on stabilność pracy wzmacniaczy odbiorników.



Schemat 1. Schemat układu zasilania.

Więcej o układach zasilania można znaleźć na:

<http://konar.ict.pwr.wroc.pl/module.php?op=download&cmd=click&id=5>

6. Czujniki.

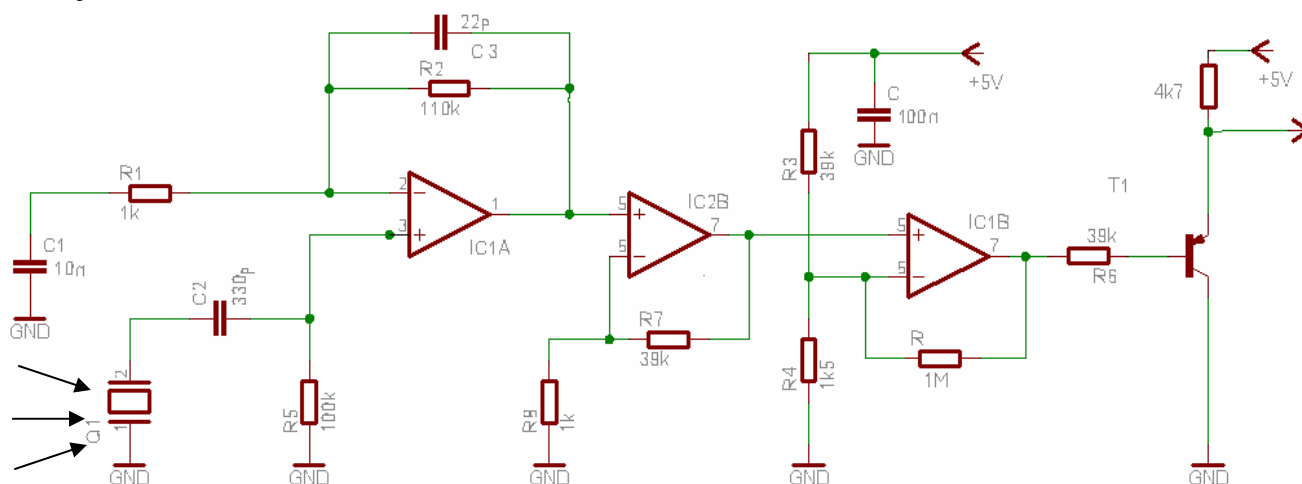
W urządzeniu zastosowano kilka typów czujników o odmiennych zasadach działania. Wśród nich można wyróżnić: dalmierze ultradźwiękowe, czujniki koloru, czujniki zderzeniowe. Każdy z nich posiada zarówno wady jak i zalety. Realizacja pomiarów, ich fuzja oraz gromadzenie wyników odbywa się w mikrokontrolerze dzięki specjalnie przygotowanemu oprogramowaniu. Czujnikom nadano odpowiednio priorytety [Tabela 1].

<i>czujnik</i>	<i>priorytet</i>
<i>koloru</i>	<i>1</i>
<i>zderzeniowe</i>	<i>2</i>
<i>dalmierze</i>	<i>3</i>

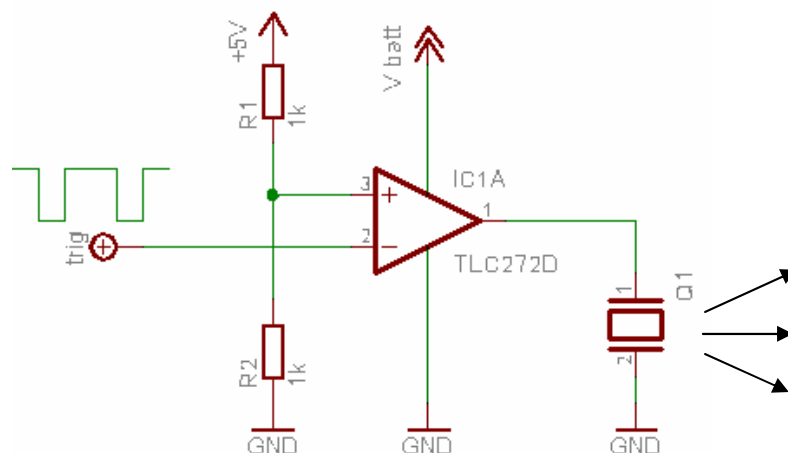
Tabela 1 Priorytety czujników.

a) dalmierz ultradźwiękowy [1] [4] [5] [6]

Pomiar odległości ultradźwiękami jest pomiarem aktywnym i pośrednim. Polega on na wyemitowaniu kilku impulsów o określonej częstotliwości, a następnie zmierzeniu czasu powrotu od napotkanego obiektu. Ważne jest by zastosowane do pomiaru nadajniki sygnału i odbiorniki były odpowiednio selektywne i właściwie dobrane. Dzięki temu sygnał odbierany przez odbiornik, nie będzie wymagał dodatkowej filtracji. Na rynku dostępnych jest sporo gotowych rozwiązań układów ultradźwiękowych. Jednakże prawie każde gotowe rozwiązanie zawiera w sobie mikrokontroler, który mierzy czas oraz generuje niezbędne do wykonania pomiaru sygnały. Ponieważ w robocie zastosowano centralny mikrokontroler, w celu obniżenia kosztu całości zdecydowano o zaprojektowaniu jedynie układów do sterowania odbiornikiem i nadajnikiem ultradźwięków.



Schemat 2 Schemat ideowy pojedynczego odbiornika



*Schemat 3 Przykład prostego nadajnika bez powielacza napięcia.
Układ zasilany bezpośrednio z baterii.*

Pierwsze dwa elementy kaskady widoczne na schemacie tworzą wzmacniacz wejścia [Schemat 2]. Pierwszy z nich pracuje w pętli ujemnego, zmiennoprądowego sprzężenia zwrotnego (C1 i R1). Aby układ odczuł na wysokie częstotliwości równolegle z rezystorem R2, wpięto kondensator C3 rzędu piko-faradów. Kondensator można wlotować tuż obok lub nad rezystorem R2. Element C2 powinien mieć wartość w granicach 300p-10nF. Mała wartość może delikatnie skrócić zasięg, ale skutecznie odkłada układ wejściowy od mechanicznych drgań. Ostatni wzmacniacz pracuje w układzie komparatora, dzielnik rezystorowy R3 i R4 ustala poziom progowania. Zwiększając rezystor R4 zwiększamy czułość układu, co za tym idzie, również i zasięg. Wartość ta powinna być w granicach 1-2k Ohm. Rezystor R rzędu mega-omów zapobiega wahaniom komparatora (histereza). Do budowy toru odbiornika użyto łatwo dostępny układ TLC274C (zintegrowane 4 wzmacniacze w jednym układzie, pasmo 2MHz) [Schemat 2]. Należy pamiętać aby czwarty wzmacniacz układu miał zwarte wejścia do masy. Ważne jest również aby kondensator C był jak najbliżej układu wzmacniaczy.

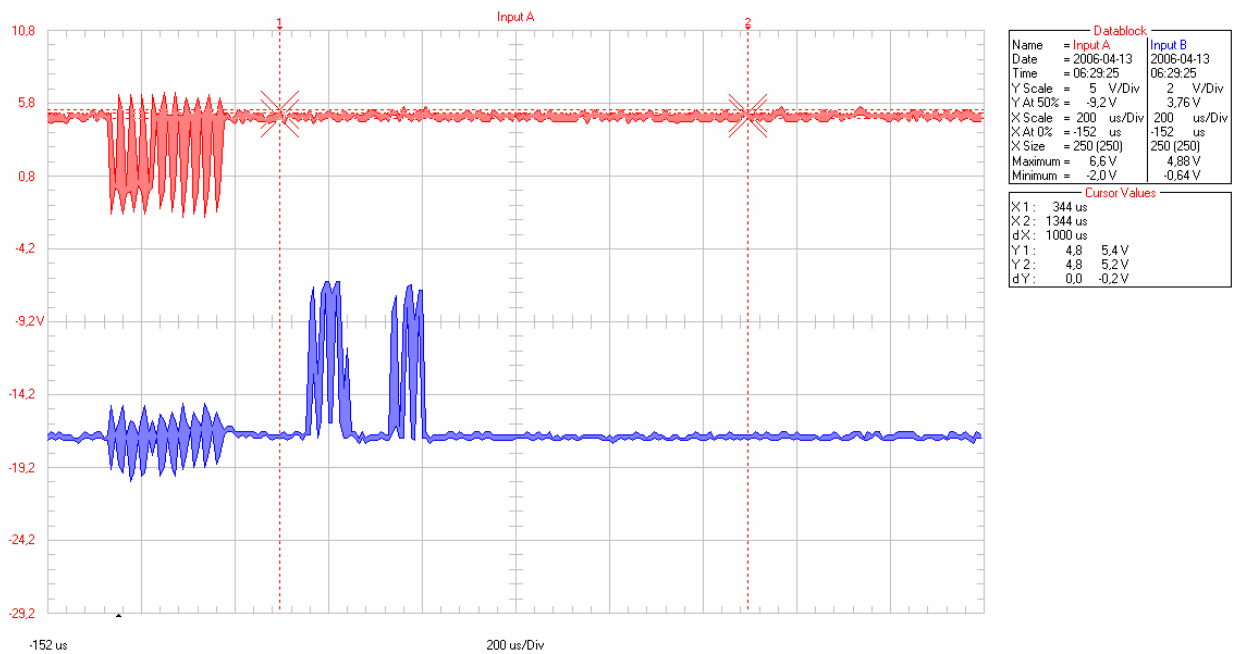
W projekcie użyto nadajnika o średnicy 10mm (110dB). Wzmocnienie odbiorników o średnicy 10mm wynosiło -70dB. Warto pamiętać aby w trakcie lutowania przetworników ultradźwiękowych zachować szczególną ostrożność. Ich nadmierne podgrzewanie i naginanie wyprowadzeń może doprowadzić do pogorszenia parametrów, a co gorsza do ich całkowitego uszkodzenia.

Niestety w momencie wysyłania szeregu sygnałów, nadawane fale są słyszalne dla odbiornika, ponieważ układ nawet po ukończeniu nadawania, jeszcze przez chwile rezonuje, drgania te są przechwytywane przez odbiornik. W celu eliminacji tego problemu odbiornik zaczyna nasłuchiwać dopiero po odczekaniu pewnej chwili od nadawania. Realizuje się to programowo. Sygnał nadawany, jest to kilka impulsów, zwiększenie ilości impulsów zdecydowanie poprawia zasięg, ale powoduje to wydłużenie strefy martwej, ponieważ wydłuża się czas oczekiwania odbiorników na wygaśnięcie drgań układu. Innym problemem w trakcie budowy okazało się podwójne echo [Rys.2]. Niestety nie zdołano wyjaśnić skąd ono pochodzi. Można jedynie przypuszczać, że prawdopodobnie pierwsze zakłócenie pochodzi bezpośrednio od nadajnika, a drugie odbija się od odbiornika znajdującego się po drugiej stronie nadajnika.

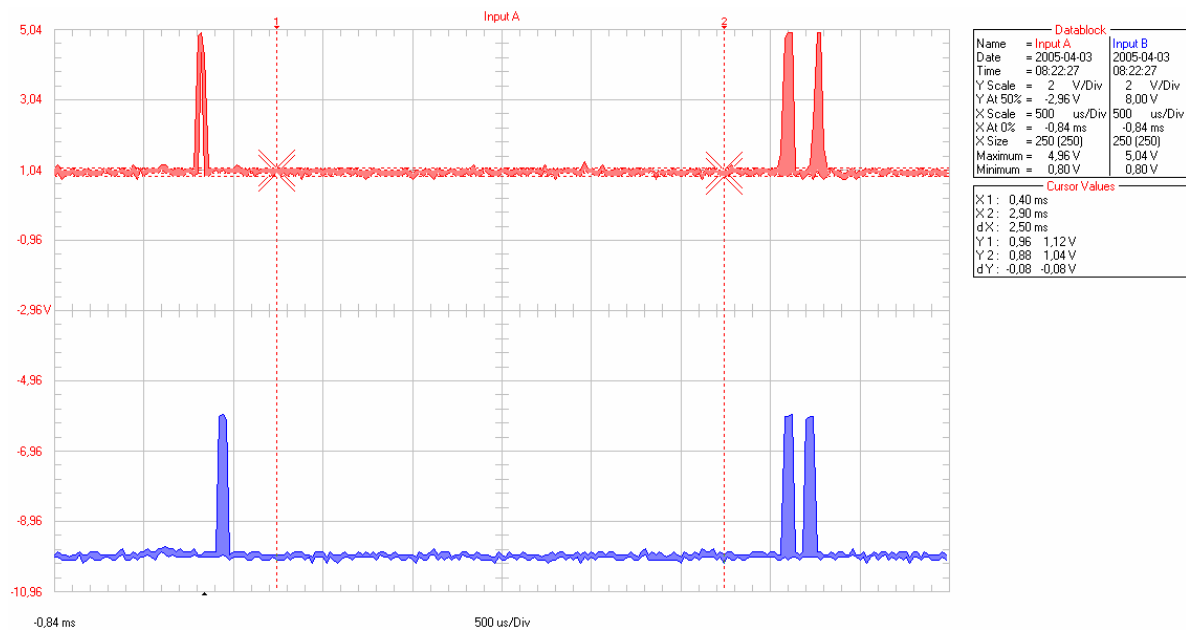
Wyeliminowanie zjawiska zostało zrealizowane na dwa sposoby: odpowiednie nachylenie odbiornika względem nadajnika oraz zmniejszenie czułości układu na komparatorze.

Dodatkowo zdecydowano o rozbudowie czujnika o kolejny identyczny tor odbiornika, co zwiększyło precyzję pomiaru, oraz umożliwiło śledzenie przeciwnika na ringu. W ostateczności użyto jednego nadajnika po środku oraz dwóch odbiorników lekko odgiętych na boki [Fot. 9].

W przypadku gdy istnieje potrzeba wykonania pomiarów z bardzo krótkiej odległości do 0,5-1m (Roboty Minisumo) możemy pobudzać nadajnik jedynie 5V. Daje to zupełnie zadawalające efekty zwłaszcza jeśli zasilanie baterii jest większe niż zasilanie pozostałych układów urządzenia. W naszym robocie użyto baterii 7,4V dodatkowo zdecydowano o wykorzystaniu wzmacniacza z wyjściami Rail-To-Rail, które to dostarczały do nadajnika napięcie odpowiadające napięciu zasilania. Aby zapewnić szybkie przełączanie się wyjścia, wzmacniacz pracuje w układzie komparatora [Schemat 3]. Układ należy tak zaprojektować, aby stan aktywny na wyjściu był stanem wysokim. W innym przypadku pojemność nadajnika będzie stale naładowana, a amplituda drgań bardzo mała.



Rys.2 Podwójne echo sygnału emitowanego przez nadajnik (pomiar na wejściu i wyjściu czujnika)



Rys.3 Podobny pomiar jak wyżej tylko, że dla dwóch kanałów (pomiar na wejściu i wyjściu czujnika)



Fot 9 Dalmierz ultradźwiękowy.

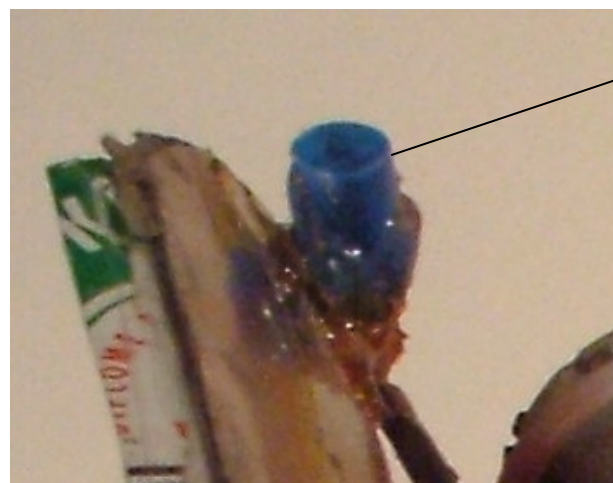
Więcej o dalmierzu ultradźwiękowym również tym o większym zasięgu można znaleźć na:
<http://konar.ict.pwr.wroc.pl/module.php?op=download&cmd=click&id=16>

b) czujniki koloru i czujniki zderzeniowe

Budowa czujników koloru jest stosunkowo prosta. Są one niczym innym jak zestawem złożonym z fototranzystora, nadawczej diody podczerwieni oraz układu dopasowującego sygnał podawany do mikrokontrolera. Przy pomiarze wykorzystuje się fakt, że poziom promieniowania odbitego od powierzchni, zależy od jej barwy i barwy promieniowania. Niestety na poziom rejestrowanego promieniowania wpływa również rodzaj powierzchni, poziom promieniowania tła a także odległość czujnika od powierzchni. Eliminacje tych źródeł zakłóceń wymaga użycia odpowiednich zabiegów konstrukcyjnych i programowych (odpowiedni sposób montażu czujników, filtracja pomiarów).

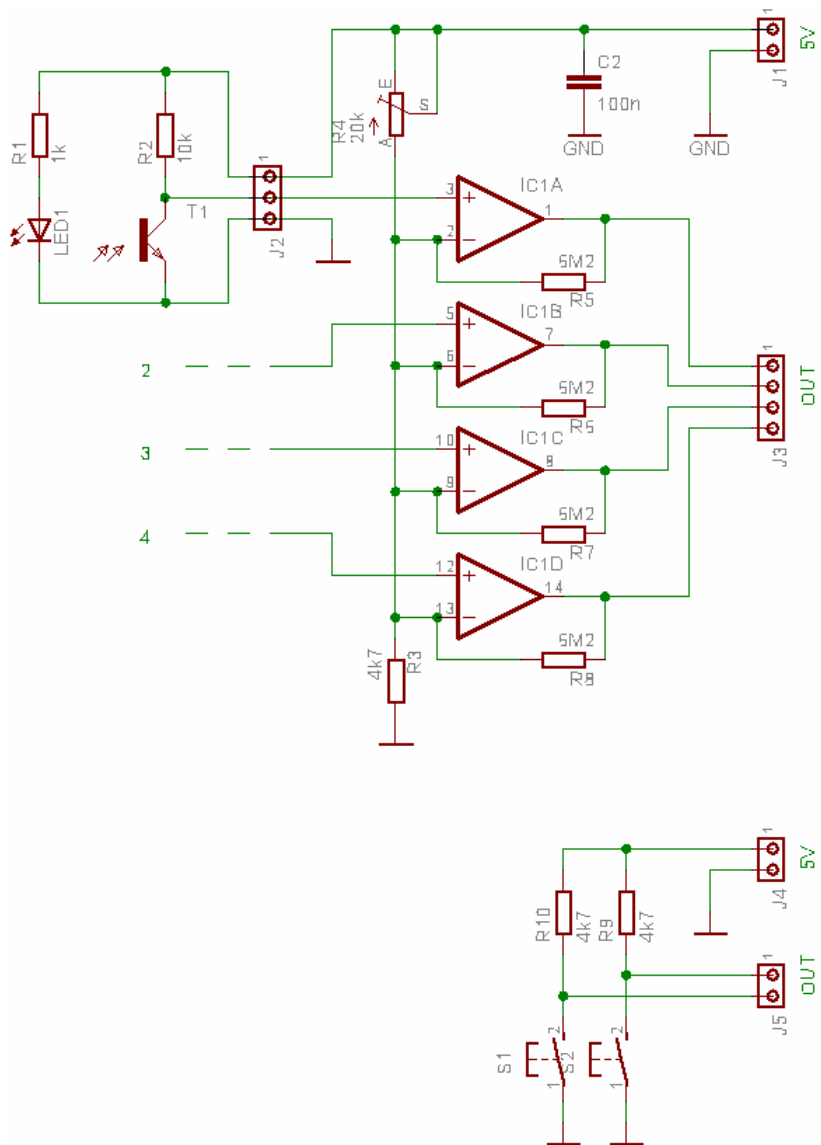
Na schemacie 4 przedstawiono zasadę działania czujników. Rezystor R4 służy do ustalenia progu, przy którym stan wyjściowy ma zmienić się na przeciwny. Rezystory sprzęgające każdy komparator służą do poprawienia stabilności pracy komparatora. Bloki 2,3,4 są identyczne jak blok 1. W układzie zastosowano wspólny dla każdego bloku poziom regulacji progowania. Istotne zatem jest to, aby zarówno fototranzystory jak i diody nadawcze były jednakowe. Warto również zwrócić uwagę na staranne wykonanie czujników oraz ich montaż, tak aby ich czułość była jednakowa lub przynajmniej zbliżona. W przypadku kiedy np. czujniki przednie będą zainstalowane wyżej lub pod innym kątem niż tylne, poziom promieniowania na powierzchnię badaną może znacząco się różnić. Rozwiązaniem takiego problemu mogłoby okazać się zastosowanie indywidualnych stopni progowania dla każdego komparatora osobno. Rozwiązuje to także problem braku możliwości jednakowej instalacji czujników, ze względu na różniącą się konstrukcje robota w części przedniej i tylnej. Aby już na poziomie sprzętowym wyeliminować część zakłóceń związanych z natężeniem oświetlenia otoczenia czujnik umieszczono w osłonie sięgającej podłoża. Zlutowany element zalano wraz z osłoną klejem.

Czujniki zderzeniowe to zwykłe styki zwane również krańcówkami. Rezystory 4k7 służą do wymuszenia stanów wysokich na wyjściu czujnika.



osłona czujnika

Fot. 10 Czujnik koloru.



Schemat 4 Schemat czujników koloru oraz czujników zderzeniowych.

7. Sterowanie napędami

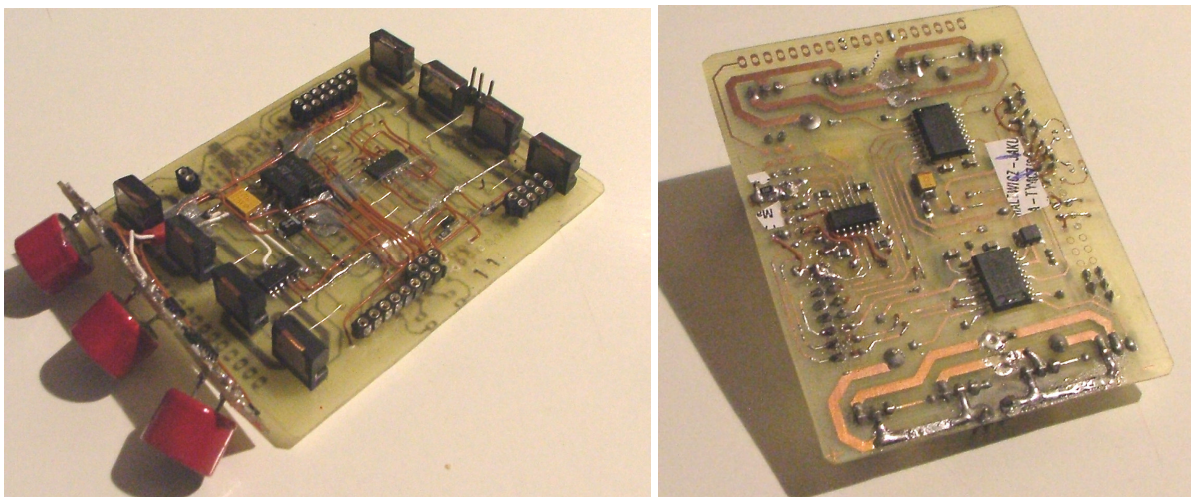
Niespodziewanie wiele trudności napotkano przy projektowaniu mostków sterujących napędami. Z powodu dużych prądów płynących w układzie, testów dokonywano na zasilaniu o niższej wydajności. Jak już niejednokrotnie wspomniano w raporcie, cały robot miał spore ograniczenia wagowe, zatem do budowy użyto jedynie niezbędnych elementów odpowiedzialnych za poprawną pracę mostków.

Tranzystory polowe typu N sterowane są stosunkowo dużym napięciem. Aby kanał tranzystora był w pełni otwarty napięcie bramki powinno wynosić minimum 10V. Dodatkowo w przypadku tranzystorów od strony dodatniego zasilania (górne), sterowane są różnicą napięcia, czyli ich pełne otwarcie nastąpi przy napięciu równym sumie napięcia 10V i napięcia zasilania mostka. Do zasilania robota użyto akumulatora 7,4V, niezbędne okazało się użycie przetwornicy.

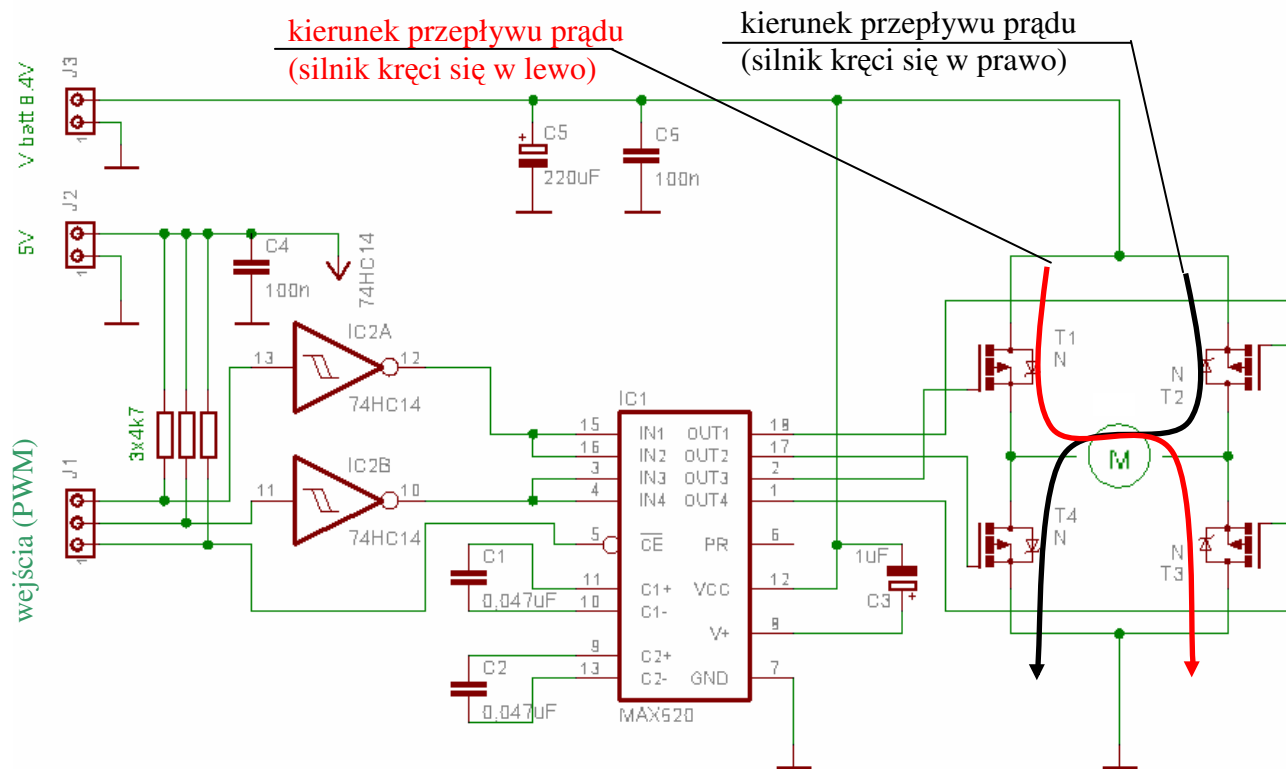
Rozwiązań jest kilka, poprzez różne układy dyskretnych przetwornic do gotowych zintegrowanych układów wymagających jedynie kilka elementów drobnej elektroniki oraz często nieco trudniej dostępnej cewki. Tranzystory, pomimo iż są sterowane napięciowo ich wewnętrzna pojemność wymusza na krótką chwilę w momencie przełączania spory prąd. Dlatego do poprawnego sterowania tranzystora używa się tzw. driver-ów. Układ składający się z 8-u tranzystorów, przetwornicy oraz driver-ów tworzy dość skomplikowany i z pewnością nieco ciężki układ.

Firma MAXIM produkuje już gotowe układy przeznaczone do budowy mostków zasilających silniki tradycyjne i silniki krokowe. Układ MAX620 zawiera już w sobie zintegrowaną przetwornicę pojemnościową oraz drivery tranzystorów. Wadą tych układów jest niewątpliwie ich zupełny brak w Polsce (2006), zakup niemożliwy, dostępność jedynie poprzez free-sample. Z pewnością konfiguracja przedstawiona powyżej charakteryzowałaby się lepszymi parametrami, jednak w opisywanym projekcie rozwiązanie to było zupełnie wystarczające.

Stanem aktywnym układów był stan wysoki, czyli taki, jaki ma większość mikrokontrolerów po resecie. W celu zwiększenia bezpieczeństwa pracy mostka zastosowano dodatkowo układ inwertorów 74HC14 (koniecznie z serii HC). Dwa układy, dały w sumie 8 wejść, a ponieważ tranzystory załączane są parami wejścia również połączono w pary [Schemat 5] [Fot.11].



Fot. 11 Płyta główna – widok z góry i z dołu.



Schemat 5 Mostek typu H – sterowanie jednego silnika.

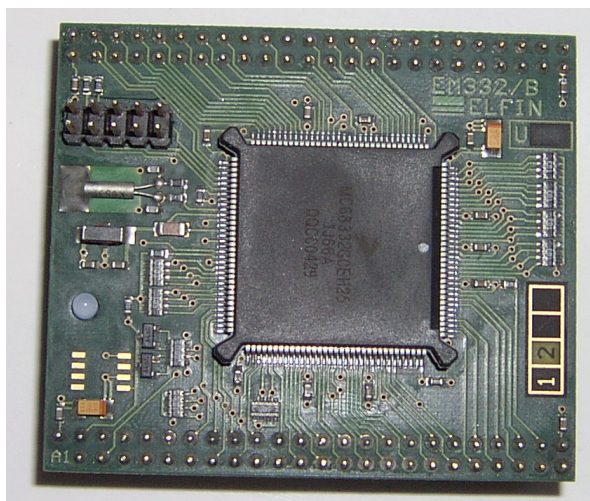
Więcej o układzie MAX620 można znaleźć na:

<http://www.datasheetarchive.com/datasheet.php?article=2203680>

8. Jednostka centralna oraz wybrane algorytmy [2] [3].

Do sterowania robota użyto modułu z mikrokontrolerem firmy MOTOROLA [Fot. 12]. Moduł ten został zaprojektowany przez Instytut Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej z przeznaczeniem do projektów badawczych i dydaktycznych.

Rodzina M683xx mikrokontrolerów firmy Motorola jest oparta na bardzo rozpowszechnionej rodzinie 16/32-bitowych mikroprocesorów M68K. Mikrokontrolery M683xx zostały wyposażone w 32-bitów, a jednostkę centralną (CPU32) opartą na procesorze 68020 oraz w zestaw układów wejścia/wyjścia (porty równoległe i szeregowy). Niemal ortogonalna architektura, bogata lista instrukcji i rozbudowane tryby adresowania czynią z CPU32 idealną jednostkę do programowania w językach wyższego rzędu. Z urządzeń peryferyjnych na szczególną uwagę zasługuje programowalny timer (TPU – *Time Processor Unit*), który zawiera własny procesor i pozwala odciążyć CPU32 od częstych, powtarzalnych operacji związanych z funkcjami czasowo-licznikowymi. Funkcje TPU mogą być programowane przez użytkownika w mikrokodzie i wprowadzane do wbudowanej pamięci RAM na miejsce fabrycznie przygotowanych funkcji czasowych. Inne ułatwienie to kolejkowany interfejs synchroniczny urządzeń zewnętrznych (QSPI . *Queued Serial Peripheral Interface*). Zasoby pamięciowe mikrokontrolera są skromne (2kB RAM przeznaczone dla TPU), ale wbudowany blok programowalnych dekodów adresowych (*Chip Selects*) umożliwia bezpośrednie przyłączenie standardowych pamięci RAM i FLASH bez używania jakichkolwiek układów dodatkowych. Wszystkie funkcje mikrokontrolera są w szerokim zakresie programowalne, zapewniając wielką elastyczność i w rezultacie, łatwość dopasowywania konfiguracji do potrzeb. Bardzo ważną zaletą rodziny M683xx jest wbudowany emulator z interfejsem BDM (*Background Debug Mode*), który pozwala uruchamiać, testować i modyfikować oprogramowanie bezpośrednio na systemie docelowym (*tekst zaczerpnięty z raportu serii SPR nr 7/2004*) [2].



Fot. 12 Moduł mikrokontrolera

Więcej o module i innych układach motoroli można znaleźć na stronach:

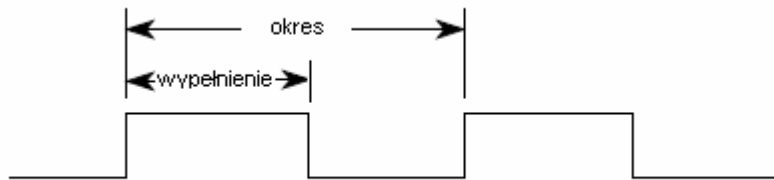
<http://rab.ict.pwr.wroc.pl/~mw/>

<http://rab.ict.pwr.wroc.pl/~mw/Proj/Micro/em332/em332.pdf>

Do budowy robota można użyć dowolnego procesora, z tego powodu w raporcie tym zrezygnowano z opisu konfiguracji poszczególnych kanałów zintegrowanego procesora czasowego TPU. Jednak zdecydowano się opisać pokrótce zasady działania algorytmów zaimplementowanych w użytym mikrokontrolerze.

a) PWM (Pulse Width Modulation)

Większość dostępnych na rynku mikrokontrolerów ma wbudowaną funkcję programowalnego generatora PWM. Jest to generator sygnału prostokątnego z możliwością programowej zmiany częstotliwości (okresu) i wypełnienia [Rys. 4]. Sygnał generowany wyprowadzany jest na zewnętrzne linie (piny) mikrokontrolera.

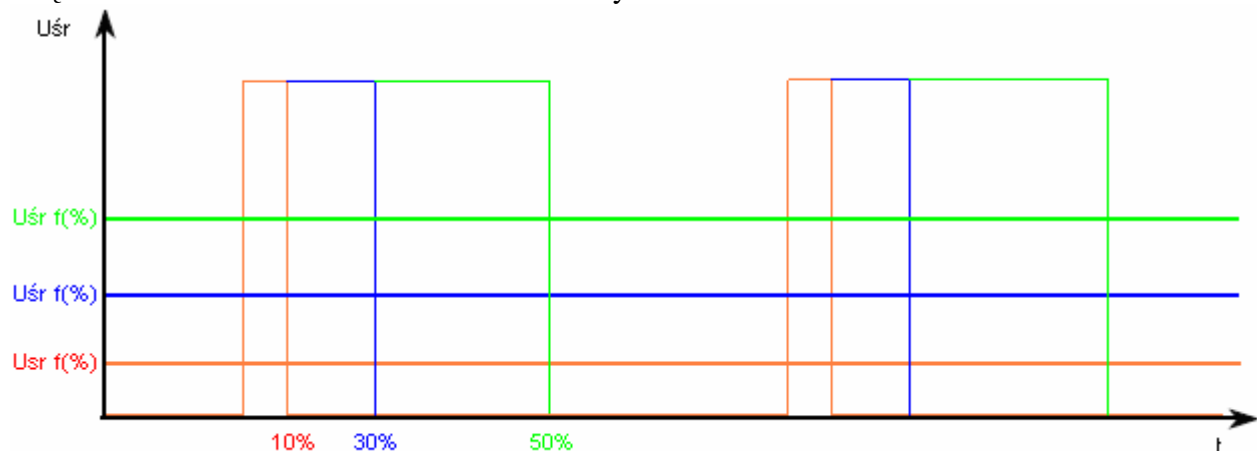


Rys. 4 Generator sygnału prostokątnego (PWM).

Sygnał ten można wykorzystać do sterowania mostków H czyli układami sterującymi napędami. Jak już opisywano powyżej, większość gotowych czujników ultradźwiękowych (dalmierzy) ma wbudowany generator sygnału pobudzającego nadajnik. W przypadku tej konstrukcji do generowania sygnału 40kHz wykorzystano właśnie jeden z kanałów PWM z zaprogramowanym wypełnieniem 50%.

b) Regulowanie prędkości obrotowych w napędach

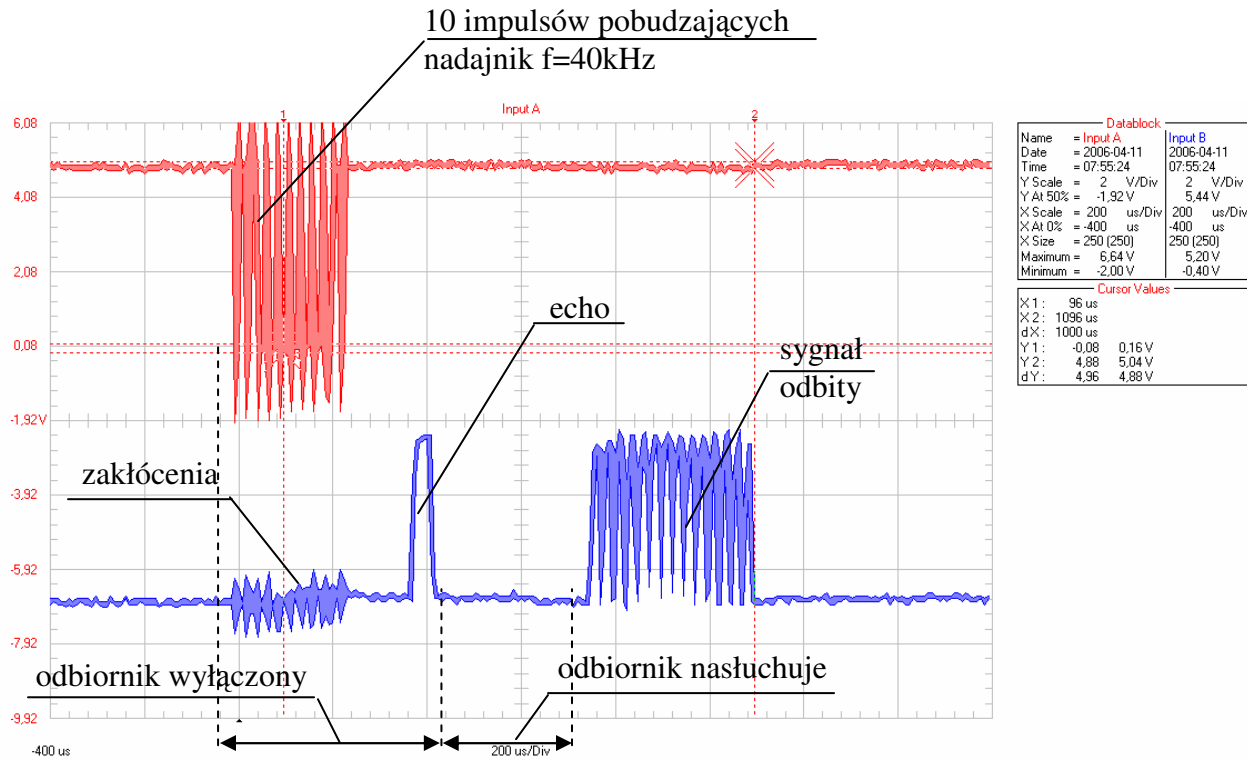
Cewki silników wprawiających robota w ruch mają głównie charakter indukcyjny, a zatem całkują (uśredniają) napięcie zasilające. Dokładniej przedstawia to wykres poniżej [Rys. 5]. Częstotliwość PWM dla sterowania silnikami wynosiła 1kHz.



Rys. 5 Wartości średnie napięcia w funkcji wypełnienia (wartości przybliżone).

c) Pomiar odległości czujnikiem ultradźwiękowym

Rysunki poniżej są rzeczywistymi przebiegami zmierzonymi na wejściu i wyjściu dalmierza.



Rys. 6 Przebiegi czasowe kanału nadawczego i odbiorczego dla obiektu umiejscowionego bardzo blisko ok. 10cm. Wyraźnie widać, że sygnał odebrany jest w 100% a nawet nieco szerszy co jest spowodowane wielokrotnym odbiciem. (pomiar na wejściu i wyjściu czujnika)

W przykładzie przedstawionym na rysunku powyżej przedstawiono zasadę pomiaru. Przed wyemitowaniem 10-ciu impulsów przez nadajnik następuje zablokowanie przerwań odbiorników lub ich wyłączenie (w zależności od koncepcji konstruktora). Po ukończeniu emisji należy odczekać czas w przybliżeniu równy pięciokrotnej długości okresu jednego impulsu aż układ przestanie rezonować. Niestety to nie wszystko, należy jeszcze odczekać czas ok. piętnastokrotnie dłuższy od okresu jednego impulsu, aż wszystkie odbicia sygnału nadawanego się rozproszą. W sumie daje to czas 20 impulsów. Okres ten można skrócić jeżeli wyemitujemy mniejszą liczbę impulsów, analogicznie zwiększyć przy większej liczbie impulsów.

Wszystko to, co opisano powyżej realizuje się programowo wykorzystując funkcje czasowo – licznikowe. W użytym procesorze firmy Motorola w funkcji PWM skorzystano z opcji zgłaszania przerwania po każdym okresie i w ten sposób liczono wyemitowane impulsy, a także czas do rozpoczęcia nasłuchiwanie.

d) główny algorytm pracy robota [4]

Robot działa wg zasady patrz, myśl i działaj realizując przy tym tzw. automat stanów. A zatem najpierw mikrokontroler szczytuje wektor stanu czyli stany wyjściowe poszczególnych czujników następnie wg nadanych im algorytmom analizuje zebrane informacje. Po przeanalizowaniu pomiarów następuje wybranie odpowiedniego algorytmu działania (skręć w lewo, zwiększ prędkość, jazda w tył, jazda w przód,...). Najistotniejszymi pomiarami są stany czujników koloru (ze względu na ich rolę zwanymi również czujnikami białej linii). Robot nie może wyjechać poza obszar działania.

Celem przedstawionego projektu było wystartowanie w III Otwartych Zawodach Robotów Minisumo, czyli głównymi zadaniami platformy jest wykrycie przeciwnika oraz skuteczny atak kończący się wypchnięciem go za ring (czarny obszar otoczony białym okręgiem).

W opisywanej konstrukcji częstotliwość z jaką pobierano informacje o otoczeniu wynosiła 1kHz, czyli pomiaru dokonywano co 1ms. Naturalnie należy pamiętać, że dalmierze ultradźwiękowe, ze względu na ich zasadę działania (głównie chodzi tu o prędkość dźwięku), dokonują jednego pomiaru przez ok. 20ms co daje 50 pomiarów w ciągu jednej sekundy. Gdy zdecydujemy się na implementację jakiegokolwiek filtra uśredniającego pomiar z kilku prób, informacja pochodząca z tego czujnika będzie jeszcze rzadziej aktualizowana.

e) końcowe uwagi dotyczące algorytmów

Pisząc oprogramowanie należy zwrócić uwagę na kilka drobnych szczegółów. Nie wolno doprowadzić do zadziałania algorytmów pracy silnika w prawo i w lewo. Efektem takiego błędnego sterowania jest uszkodzenie mostka a nawet ogniów. Nie powinno się również nigdy maksymalnie wysterować mostków. Oczywiście wydaje się, że silniki o napięciu zasilania 2,4 czy też 3,6V mogą nie wytrzymać napięcia ogniwa 8,4V. Głównie zużywają lub wypalają się komutatory. Wszelkich testów, zwłaszcza tych początkowych, zaleca się dokonywać na silnikach zastępczych o niskim poborze prądu i zasilaniu o niższej wydajności prądowej.

9. Podsumowanie.

Opisany robot zajął II miejsce na III Otwartych Zawodach Robotów Minisumo organizowanych na Politechnice Wrocławskiej. Z pewnością wiele jest jeszcze błędów konstrukcyjnych sam raport będzie z czasem poprawiany i rozpisywany.

Konstrukcja była bardzo stabilna, żaden z elementów nie uległ poważnemu uszkodzeniu ani w trakcie testów, ani podczas zawodów. Cztery łożyska zainstalowane w kołach sprawiły, że robot poruszał się dosyć efektywnie i skutecznie, pomimo braku sprzężenia zwrotnego prędkości obrotowych kół. Ciekawa koncepcja dalmierza ultradźwiękowego (jeden nadajnik, dwa odbiorniki) uzbroidły konstrukcje w bardzo skuteczny w namierzaniu przeciwnika element.

Prędkości, a dokładniej współczynniki wypełnienia PWM-a, dobrano eksperymentalnie tak aby robot nie poruszał się za wolno, ale także aby mógł skutecznie zahamować lub zmienić kierunek jazdy. Odpowiednia liczba kondensatorów filtrujących zasilanie oraz ich prawidłowe rozmieszczenie bez problemu radziły sobie z zakłóceniami, których głównym źródłem były silniki. Tranzystory grzały się znacznie, z pewnością dobrym pomysłem okazałoby się

zamocowanie ich na konstrukcji nośnej, ale należy się wtedy liczyć z dodatkową masą elementów mocujących. W załączniku zamieszczono kilka dodatkowych zdjęć.

- [1] Praktyczny Elektronik 7/1996 *Ultradźwiękowy miernik odległości.*
- [2] WNUK M. *Instytut Informatyki Automatyki i Robotyki Politechniki Wrocławskiej. Raport serii SPRnr 7/04 Moduł z mikrokontrolerem MC68332.*
- [3] *TPU Time Processor Unit Reference Manual*, TPURM/AD Rev. 3, Motorola Inc., 1996.
- [4] KĘDZIERSKI.J *Kompaktowy zestaw czujników do percepcji otoczenia dla platform mobilnych* Konferencja Naukowa Studentów na PWr.
- [5] KĘDZIERSKI.J *Sonar ultradźwiękowy. Raport z prac nad czujnikami w Kole Naukowym Robotyków „KoNaR”.*
- [6] JANIĄK M. *Instytut Informatyki Automatyki i Robotyki Politechniki Wrocławskiej. Budowa prostego dalmierza ultradźwiękowego. Raport serii PRE nr. 55/04*

Załącznik:

