

# KoNaR

KOŁO NAUKOWE ROBOTYKÓW

---

## Robot mobilny klasy minisumo „X”

---

Jan Kędziński  
Edgar Ostrowski  
Karol Sydor  
Łukasz Tułacz

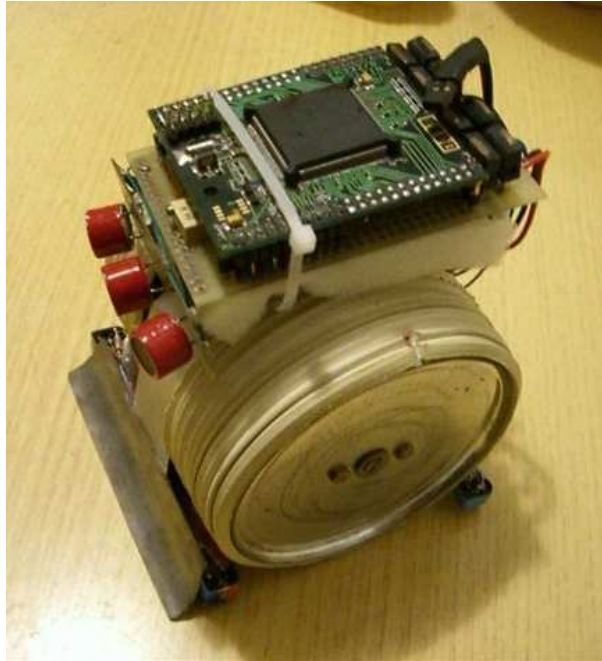
Koło Naukowe Robotyków „KoNaR”  
[www.konar.pwr.wroc.pl](http://www.konar.pwr.wroc.pl)  
Wrocław 2008

## Spis treści

<b>1. Wstęp</b> . . . . .	2
<b>2. Konstrukcja nośna typu X.</b> . . . . .	2
<b>3. Układ napędowy</b> . . . . .	5
<b>4. Układ zasilania</b> . . . . .	5
<b>5. Mikrokontroler</b> . . . . .	6
<b>6. Czujniki</b> . . . . .	7
6.1. Dalmierz ultradźwiękowy . . . . .	7
6.2. Czujniki koloru . . . . .	10
6.3. Optyczny czujnik przemieszczenia . . . . .	12
6.4. Enkodery . . . . .	13
<b>7. Sterowanie napędami</b> . . . . .	14
<b>8. Regulatory PID</b> . . . . .	17
<b>Literatura</b> . . . . .	17

## 1. Wstęp

Celem projektu było skonstruowanie małego robota mobilnego, który spełniałby wymagania klasy minisumo oraz wziął udział w Otwartych Zawodach Robotów Minisumo. Prace nad projektem prowadzone były w grupie pięcioosobowej. W raporcie opisano konstrukcję mechaniczną oraz układy elektroniczne. Pominięto teoretyczne rozważania. Dokument może służyć jako pomoc początkującym konstruktorom własnych platform mobilnych.

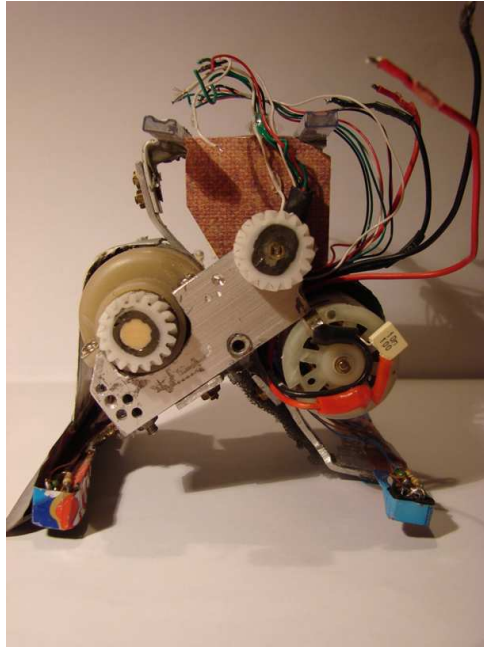


Rysunek 1. Robot mobilny klasy minisumo "X"

Klasa robotów minisumo narzuca dosyć spore ograniczenia konstruktorom. Masa robota nie może przekraczać 0,5kg oraz wymiary podstawy nie mogą być większe niż 10x10cm. 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 dwu-kołowego. 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.

## 2. Konstrukcja nośna typu X.

Unikatowy stelaż konstrukcji wykonany został ze specjalnych, bardzo lekkich i wytrzymałych stopów aluminium (Rysunek 2). Kątowniki takie można zakupić w sklepach z narzędziami oraz w marketach budowlanych. Stelaż ten składa się z dwóch części. Każda z nich tworzy gotowy działający serwomechanizm robota (Rysunek 3). Kompletny serwomechanizm zawiera silnik,



Rysunek 2. Aluminiowa konstrukcja typu X

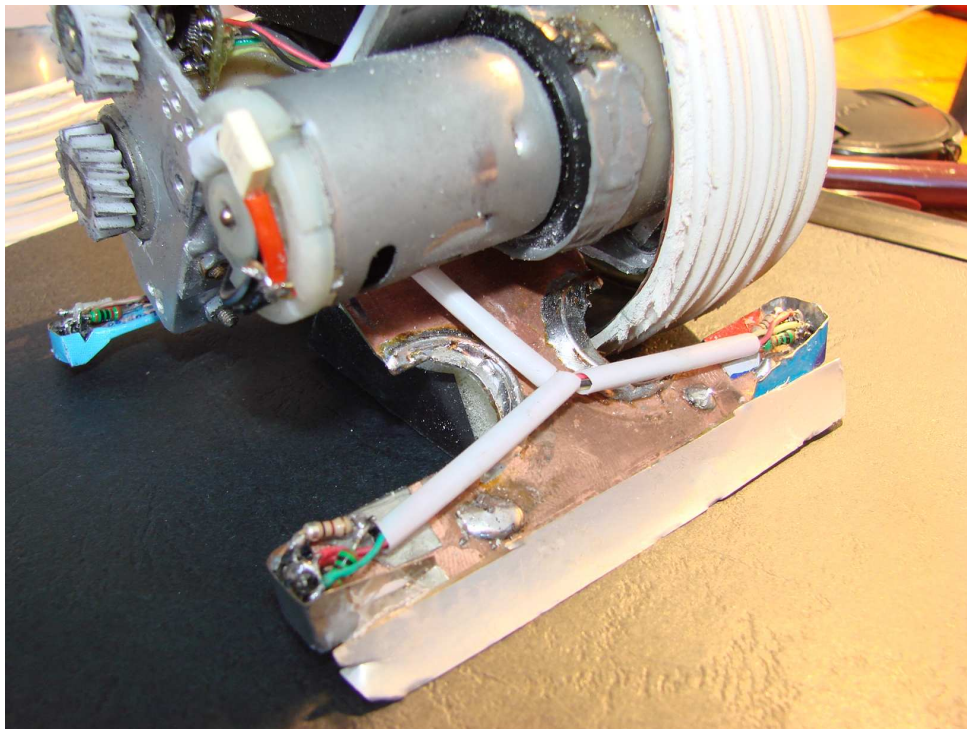
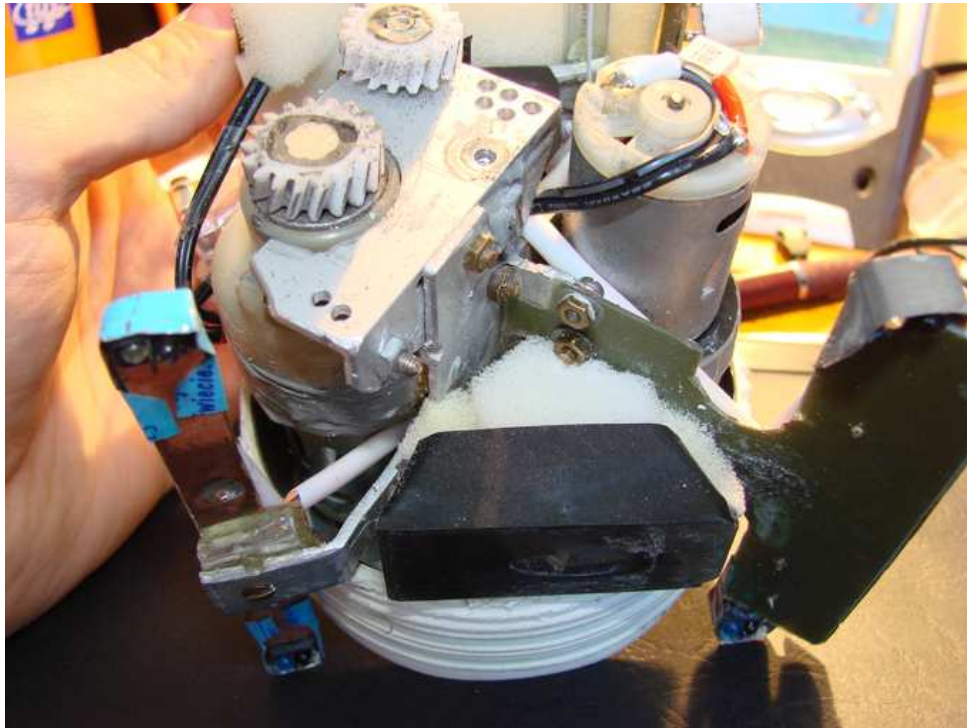
przekładnie, enkoder<sup>1</sup> oraz koło. Serwomechanizmy, co widać na rysunku, złożone są w kształt litery X, stąd pochodzi nazwa konstrukcji.



Rysunek 3. Servo-napęd oraz koło robota

Silniki zamocowane zostały na tulejach dystansowych, a całość skrecona śrubami o średnicy 3mm. W górnej części stelaża skonstruowano z lekkiego plastikowego kątownika stopkę do mocowania baterii oraz sterownika robota. Dodatkowo pokryto ją pianką, która ma amortyzować

<sup>1</sup> enkoder, czujnik pomiaru położenia kątownego, zlicza impulsy odpowiadające ruchowi obrotowemu, charakteryzujące się stałą liczbą impulsów na obrót.



Rysunek 4. Konstrukcja nośna

uderzenia delikatnych, elektronicznych elementów oraz czujników. Ma również za zadanie tłumić zakłócenia mechaniczne, przenoszące się od napędów do czułych dalmierzy ultradźwiękowych.

W przedniej części zainstalowano specjalny podbierak wykonany z laminatu. Aby wzmocnić konstrukcję podbieraka wykorzystano warstwę miedzianą do której przylutowano gruby drut miedziany (Rysunek 4). Konstrukcja nie mogła być zbyt ciężka, dlatego postanowiono zrezygnować z aluminiowej wersji tylnej stopki robota. Wykonano ją podobnie jak element mocowania sterownika z lekkiego plastikowego kątownika. Jest to w zasadzie rurka w kształcie kątownika, w której przechowuje się układy scalone. Można ją nabyć w sklepie elektronicznym (Rysunek 4). Niektóre elementy konstrukcji, w celu zmniejszenia masy całości, przykręcono jedynie jedną śrubą. Do wzmocnienia mocowania użyto dodatkowo klejów epoksydowych.

### 3. Układ napędowy

Dobranie i mocowanie odpowiednio silnych i lekkich napędów okazało się najtrudniejszą do wykonania częścią konstrukcji. Dostępne w sklepach wkrętarki mają zwykle solidnie wykonane ze stali, dwustopniowe przekładnie planetarne zwane również przekładniami obiegowymi [Fot. 4]. Niestety już sam silnik zasilany napięciem 3,6V wraz z przekładnią waży 140gram. Masa ta jest niedopuszczalna i nie pozwala na zainstalowanie większej ilości elementów, odpowiadających za pomiary otoczenia i podłoża.

Z trudem wciąż udaje się znaleźć w marketach tanie wkrętarki z identycznymi przekładniami w całości wykonanymi z plastiku. W opisywanej konstrukcji silniki z wkrętarek wymieniono na trudno już dostępne napędy firmy Mabushi - odpowiedniki Graupner 380. Silniki te mają tylną ściankę wykonaną z plastiku i są lżejsze o 10gram od Graupner 400 (Rysunek 4).

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.

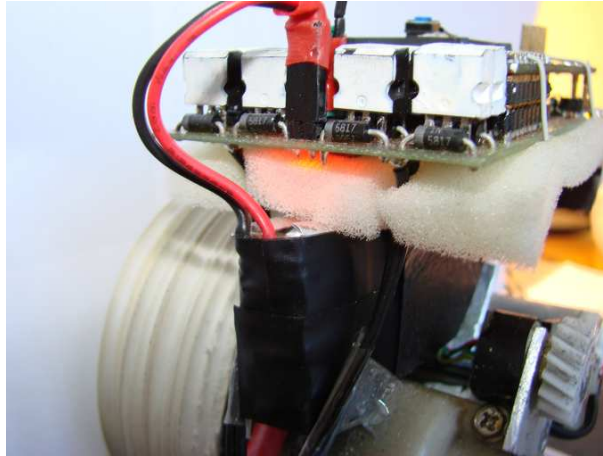
Koła napędowe wykonano z puszek po orzeszkach ziemnych (Rysunek 3). Nie wszystkie jednak puszki są identyczne. Firmowe orzeszki są pakowane w solidniejsze puszki wykonane z grubszej blachy. Puszki po tanich orzeszkach są lżejsze i pozwoliły na wykonanie kół, które ostatecznie ważyły 7 gram mniej. Do obydwu kół zamocowano dwoma śrubami zębątki, które wymontowano z tonerów drukarek laserowych.

Częścią roboczą większości wkrętarek jest gruba oś z otworem, w którym umieszcza się końcówki, czyli tzw bity. Oś ta została wraz z zębątką odpowiednio wyprofilowana tak aby nie dochodziło do poślizgu pomiędzy nimi. W otwór wbito klin, który rozpychał ścianki osi.

### 4. Układ zasilania

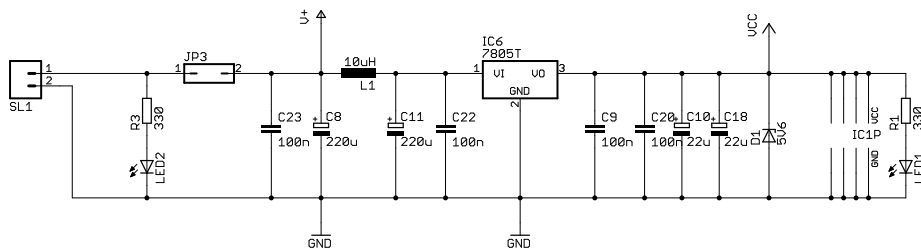
Głównym źródłem zasilania jest akumulator litowo-polimerowy. Maksymalny prąd rozładowywania, dla tego typu akumulatorów, wynosi od 8-12C, gdzie "C" to pojemność akumulatora. Przy pojemności 800mAh prąd ten może dochodzić nawet do 10A. Dzięki tak sporemu zapasowi prądowemu można śmiało stosować napędy opisane powyżej, bez obawy o uszkodzenie akumulatora. Do robota użyto pakietu składającego się z dwóch ogniw, co dało 7,4V oraz pojemności 800mAh (Rysunek 5).

Już na początku projektu zrezygnowano z budowy własnej ładowarki. Akumulatory litowe wymagają nieco bardziej skomplikowanego procesu ładowania niż nikielowo-kadmowe czy też nikielowo-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.



Rysunek 5. Mocowanie akumulatora

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.



Rysunek 6. Schemat ideowy układu zasilającego

Powyżej 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 L49400V5. 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 nagraniu się kabli nigdy nie dojdzie do stopienia się izolacji a w następstwie do zwarcia akumulatora.

## 5. Mikrokontroler

Do sterowania robota użyto modułu z mikrokontrolerem firmy Freescale. 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-bitową 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 kolejkowy 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 aut. dr Marek Wnuk ).

## 6. Czujniki

W urządzeniu zastosowano kilka typów czujników o odmiennych zasadach działania. Wśród nich można wyróżnić: dalmierze ultradźwiękowe, czujniki koloru, czujniki przemieszczenia. 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.

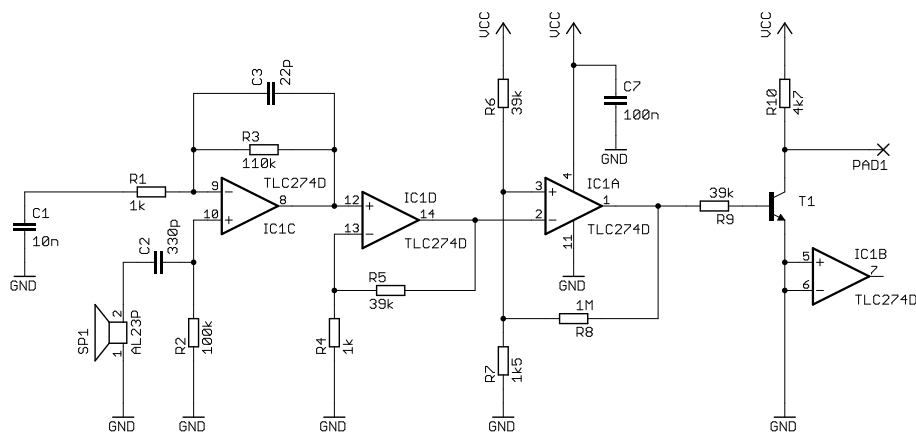
- **Czujnik koloru** - najwyższy priorytet - odpowiedzialny za wykrycie krawędzi ringu.
- **Optyczny czujnik przemieszczenia** - średni priorytet - odpowiedzialny za wykrycie mocniejszego przeciwnika.
- **Dalmierz ultradźwiękowy** - najniższy priorytet - odpowiedzialny za namierzanie przeciwnika.

### 6.1. Dalmierz ultradźwiękowy

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.

Pierwsze dwa elementy kaskady widoczne na schemacie, tworzą wzmacniacz wejścia. Pierwszy z nich pracuje w pętli ujemnego, zmiennoprądowego sprzężenia zwrotnego (C1 i R1). Aby układ odczulić na wysokie częstotliwości równoległe z rezystorem R3, wpięto kondensator C3 rzędu piko-faradów. Kondensator można wlotować tuż obok lub nad rezystorem R3. 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





Rysunek 7. Schemat ideowy pojedynczego toru odbiorczego

w układzie komparatora, dzielnik rezystorowy R6 i R7 ustala poziom progowania. Zwiększając rezystor R7 zwiększamy czułość układu, co za tym idzie, również i zasięg. Wartość ta powinna być w granicach 1-2k Ohm. Rezystor R9 rzędu mega-omów zapobiega wahaniom komparatora (histereza). Do budowy toru odbiornika użyto łatwo dostępny układ TL084 (zintegrowane 4 wzmacniacze w jednym układzie, pasmo 2MHz). Należy pamiętać aby czwarty wzmacniacz układu miał zwarte wejścia do masy. Ważne jest również aby kondensator C7 był jak najbliżej układu wzmacniaczy.

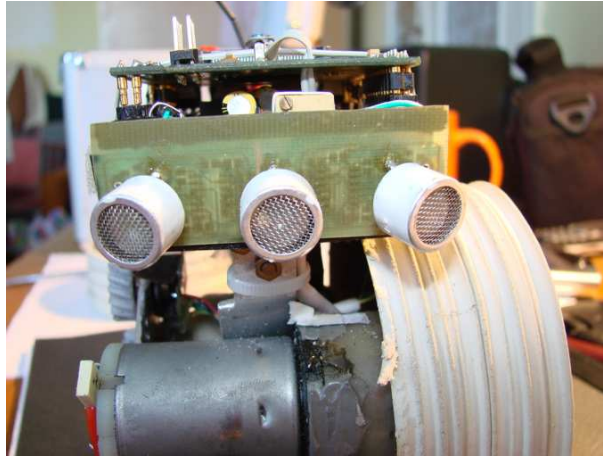
W projekcie użyto nadajnika o średnicy 10mm (110dB). Wzmocnienie odbiorników o średnicy 10mm wynosiło 70dB. Warto pamiętać aby w trakcie lutowania przetworników ultradźwiękowych zachować szczególną ostrożność. Ich nadmierne podgrzewanie i naginanie wyprowadzeń może doprowadzić do pogorszenia parametrów,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

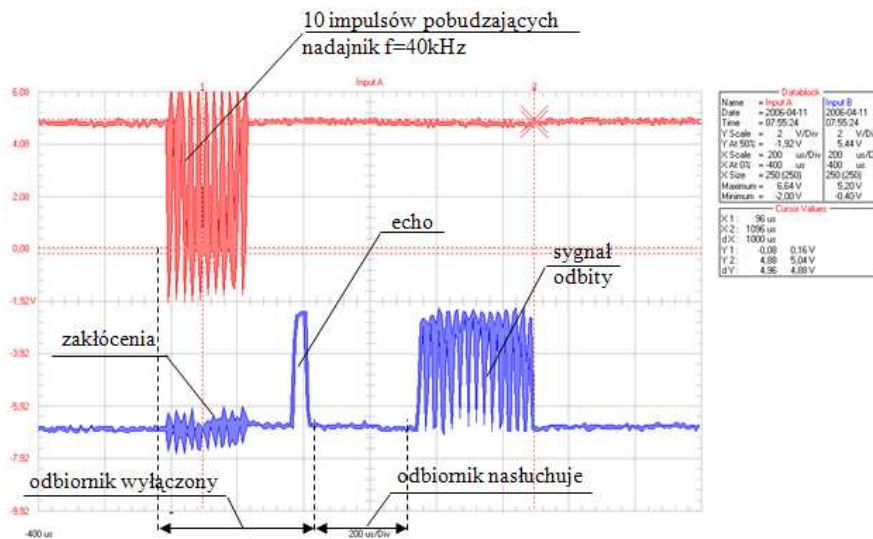
Dodatkowo zdecydowano o rozbudowie czujnika o kolejny identyczny tor odbiornika, co zwiększyło precyzję pomiaru, oraz umożliwiło śledzenie przeciwnika na ringu. W ostateczności użyto jednego nadajnika po środku oraz dwóch odbiorników lekko odgiętych na boki (Rysunek 8).

W przykładzie zobrazowanym na rysunku 9 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.

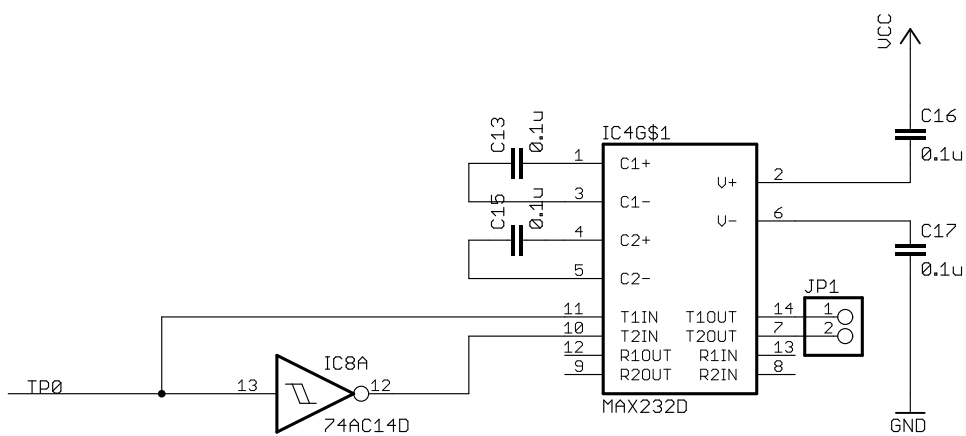
Wszystko to, co opisano powyżej realizuje się programowo wykorzystując funkcje czasowo - licznikowe. W użytym procesorze firmy Motorola w funkcji PWM skorzystano z opcji zgłaszania przerwania po każdym okresie i w ten sposób liczono wyemitowane impulsy, a także czas do rozpoczęcia nasłuchiwanie.



Rysunek 8. Widok dalmierza ultradźwiękowego



Rysunek 9. Widok dalmierza ultradźwiękowego



Rysunek 10. Schemat ideaowy toru nadawczego

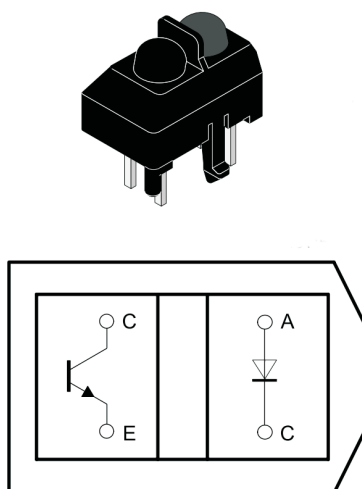
Za część nadawczą odpowiedzialna była przetwornica pojemnościowa MAX232 stosowana do budowy interfejsów RS232. Schemat przedstawia rys. 10. Na pierwsze wejście T1IN przetwornicy podano sygnał TP0 pochodzący bezpośrednio z mikrokontrolera a na drugie wejście T2IN zanegowany sygnał TP0. Wyjścia układu wzmacniającego podłączono bezpośrednio do nadajnika ultradźwiękowego za pomocą złącza (padów lutowniczych) JP1. Dodatni biegun nadajnika należy podłączyć do wzmocnionego sygnału TP0.

## 6.2. Czujniki koloru

Czujniki koloru składają się z diody nadawczej podczerwieni, fototranzystora i układu dopasowującego poziom sygnału podawanego na wejście cyfrowe mikrokontrolera. Zastosowano czujniki typu TCRT5000 (rysunek 11), które zawierają diodę i fototranzystor. Czujniki koloru wykorzystują fakt że poziom promieniowania odbitego od powierzchni, zależy od jej barwy. Niestety pojawiają się zakłócenia w postaci różnych parametrów absorpcyjnych powierzchni, promieniowania tła oraz zmiennej odległości czujnika od podłoża. W celu wyeliminowania niepożądanych zakłóceń stosuje się układ komparatora analogowego. Komparator analogowy posiada dwa wejścia w zależności od tego na którym wejściu panuje wyższy potencjał, wystawia odpowiedni stan logiczny na wyjściu.

Na rysunku 12 pokazano schemat modułu czujników koloru. Na odwracające wejście komparatora podany jest sygnał z czujnika. Na wejście nieodwracające podany jest sygnał pochodzący z dzielnika zbudowanego na rezystorze R3 i potencjometrze. Umożliwia on regulację progu i ewentualne korekty w zależności od rodzaju powierzchni. Rezystory R4-R8 wprowadzają niedużą histerezę, która poprawia stabilność układu. Ponieważ próg jest jeden dla wszystkich czujników, należało zadbać o to żeby wszystkie były zamocowane na tej samej wysokości i jednakowo osłonięte przed promieniowaniem dochodzącym z zewnątrz.

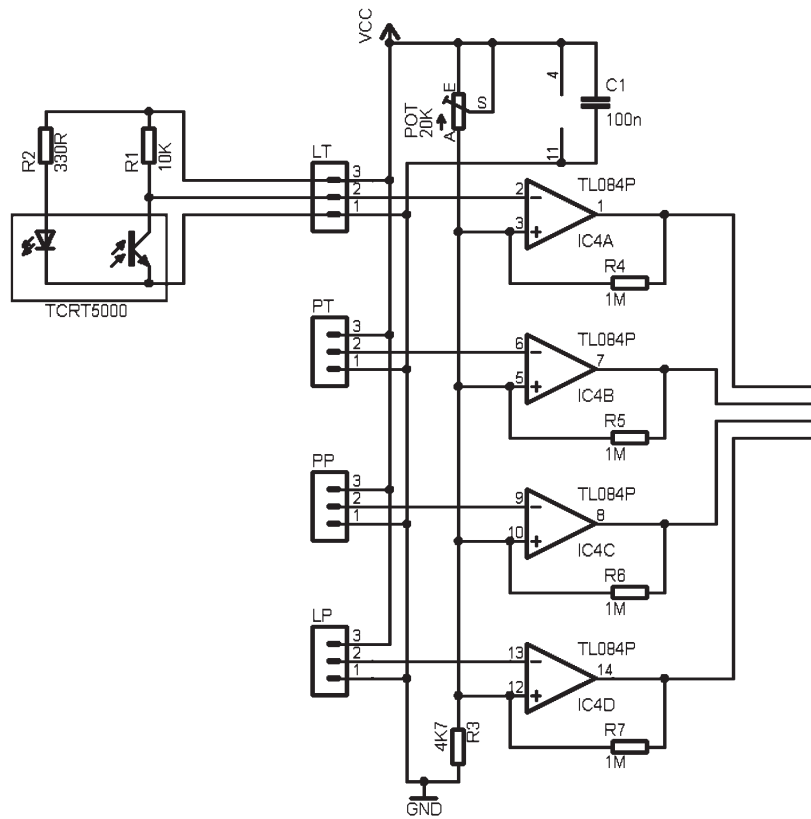
Z tyłu robota czujniki zamocowano na podłużnej płytce wykonanej z laminatu. Dodatkowo z cienkiej blachy aluminiowej wykonano osłony, które chronią przed niepożądanym oświetleniem i usztywniają całą konstrukcję, zabezpieczając jednocześnie przed uszkodzeniami mechanicznymi. Z przodu czujniki zostały umieszczone w odpowiednich wycięciach w przedniej płytce z laminatu. Zamocowane są za pomocą specjalnie wyprofilowanego kawałka blachy aluminiowej, który podobnie jak z tyłu pełni dodatkowo funkcje ochronne. Rezystory ograniczające prąd diody nadawczej (R2) i zasilające fototranzystor (R1) umieszczono przy samych czujnikach. Przewody



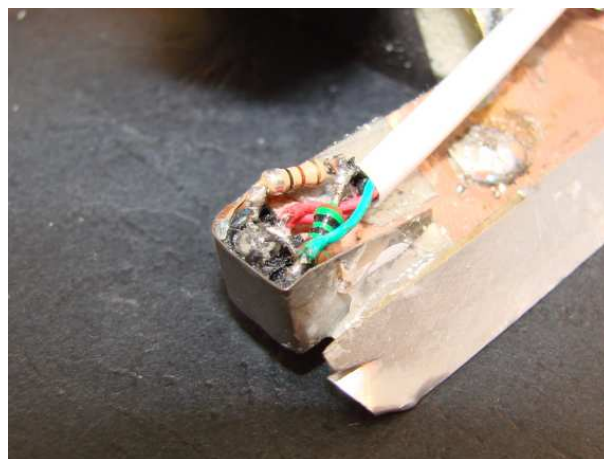
**Widok z góry**

Rysunek 11. TCRT5000

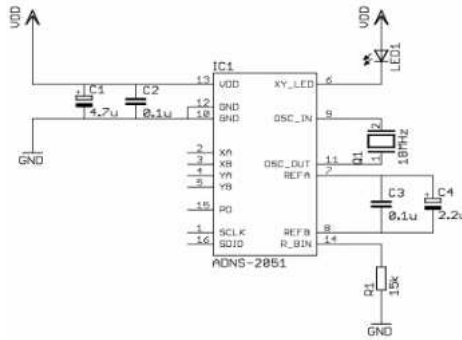
Łączące czujniki z płytką umieszczono w ochronnych rurkach, które zapobiegają ich uszkodzeniu, oraz pomagają utrzymać porządek.



Rysunek 12. Schemat ideaowy układu czujników białej linii



Rysunek 13. Widok mocowania czujnika TCRT5000



Rysunek 14. Schemat ideowy czujnika ADNS-2051

### 6.3. Optyczny czujnik przemieszczenia

Zasada działania czujników znajdujących się w myszkach optycznych jest oparta na Technologii Nawigacji Optycznej (Optical Navigation Technology). Wewnątrz układów znajduje się miniaturowy monochromatyczny aparat cyfrowy, który "fotografuje" powierzchnię pod myszką. Konieczne też jest stosowanie odpowiedniego układu optycznego oraz dodatkowego źródła światła w postaci diody LED. Na podstawie zmieniającego się obrazu, układ oblicza zmianę położenia w pionie i poziomie.

Więcej o czujniku przemieszczenia można przeczytać

[http://www.konar.ict.pwr.wroc.pl/uploads/download/raporty/Kedzierski\\_Ostrowski.pdf](http://www.konar.ict.pwr.wroc.pl/uploads/download/raporty/Kedzierski_Ostrowski.pdf)

```

#define SCLK 4 // definiujemy PIN zegara
#define SDIO 5 // definiujemy PIN wej/wyj

#define CONF_ADR 0x0a // rejestr konfiguracyjny
#define DEV_ID_ADR 0x00 // rejestr ProducID
#define MOTION_ADR 0x02 // rejestr Motion
#define DELTA_X_ADR 0x03 // rejestr Delta_X
#define DELTA_Y_ADR 0x04 // rejestr Delta_Y
#define QUALITY_ADR 0x05 // rejestr SQUAL

#define WRITE_MOUSE 0x80 // bit zapisu
#define RESET_MOUSE 0x80 // bit resetu
#define LED_MODE 0x40 // bit ustawienia trybu migawki
#define RES_800 0x10 // bit ustawienia rozdzielczosci

#define wait 3

#define long_wait 100

void delay(unsigned int); // funkcja delay
unsigned char czytaj_bajt_mouse(); // odczyt bajtu z myszki
void wyslij_bajt_mouse(unsigned char); // zapis bajtu z myszki
void Mouse_Init(); // inicjacja myszki

```

Listing 1. mouse.h

```

#include "mouse.h"

void delay(unsigned int c) { while(c-->0); return;}
//delay sie przydaje do czekania miedzy bajtami

/* wyslij osiem bitow danych zaczynajac od najstarszego bity D7..D0 */
void wyslij_bajt_mouse(unsigned char bajt)
{
    unsigned char maska=0x80; // zacznij od najstarszego bitu

```

```

DDRE |= (1<<SDIO);          //PIN SDIO jako wyjście
do {
    ClrBitE(SCLK);
    if (bajt&maska) SetBitE(SDIO); else ClrBitE(SDIO); // ustawia stan
    delay(wait);
    SetBitE(SCLK);          // clock 1
    delay(wait);
} while(maska >>= 1);      // kolejny bit
SetBitE(SDIO);            // przy wyjściu z funkcji ustawia PIN na 1
}

/* czytaj osiem bitów danych zaczynając od najstarszego bity D7..D0 */
unsigned char czytaj_bajt_mouse()
{
    unsigned char maska=0x80, bajt=0x00; /* zacznij od MSB bitu */
    DDRE &= ~(1<<SDIO);          //PIN SDIO jako wejście
    delay(3);
    do {
        ClrBitE(SCLK);
        delay(wait);
        // clock 1
        SetBitE(SCLK);
        delay(wait);
        if (CzytBitE(SDIO) == 1) bajt=bajt|maska; // sprawdza stan PIN-u SDIO

        } while(maska >> =1);          // ustawia kolejny bit
    return bajt;                    // zwraca zczytany bajt
}

void Mouse_Init()
{
    DDRE|= (1<<SCLK);          //PIN SCLK jako wyjście
    wyslij_bajt_mouse(WRITE_MOUSE|CONF_ADR); // zapis konfiguracji
    delay(long_wait);         // zaczekaj
    wyslij_bajt_mouse(RESET_MOUSE); // Resetuj urządzenie
    delay(long_wait);         // zaczekaj
    wyslij_bajt_mouse(WRITE_MOUSE|CONF_ADR); // zapis konfiguracji
    delay(long_wait);         // zaczekaj
    wyslij_bajt_mouse(RES_800|LED_MODE); //shuter_on oraz 800dpi
    delay(long_wait);         // zaczekaj
    wyslij_bajt_mouse(DEV_ID_ADR); // rejestr ID
    delay(long_wait);         // zaczekaj
    jakis_char=(unsigned char)czytaj_bajt_mouse(); //typ urządzenia
    delay(long_wait);         // zaczekaj
}

```

Listing 2. mouse.c

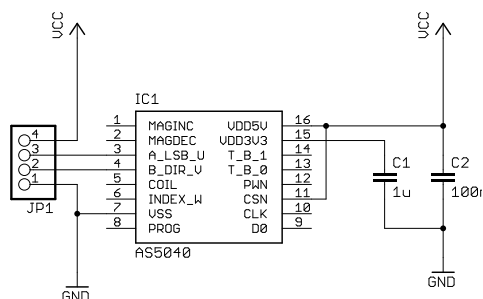
## 6.4. Enkodery

Enkoder, jak wcześniej wspomniano to czujnik pozwalający na pomiar kąta obrotu oraz ilości obrotów. W opisywanym robocie użyto magnetycznych enkoderów firmy astriamicrosystems. Zapewniają one bardzo precyzyjny bezkontaktowy pomiar obrotów kół. Na elemencie ruchomym montuje się magnes, czujnik reaguje na zmiany natężenia pola magnetycznego i wyznacza kąt obrotu. Zaletą tego rozwiązania są niewątpliwie niewielka masa oraz bardzo małe rozmiary układu. Czujniki te wykorzystano jak tradycyjne czujniki optyczne. Sygnały pochodzące z układów to dwa przesunięte względem siebie przebiegi prostokątne (Rysunek 16). Przesunięcie to wynosi 1/4 całego okresu generowanego na wyjściu układu. Dzięki temu możliwe jest odczytanie kierunku oraz prędkości. Zasada pomiaru polega na zliczaniu w równych odstępach czasowych

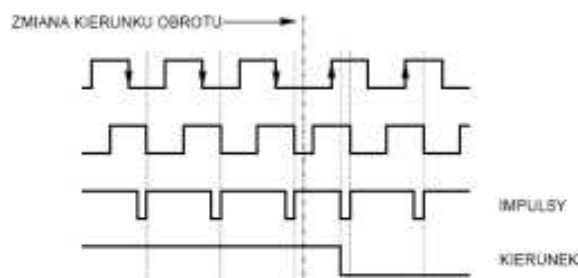
impulsów jednego z wyjść. Kierunek natomiast odczytujemy badając stan drugiego wyjścia w trakcie zbocza opadającego pierwszego wyjścia.

Montaż w robocie, ze względu na precyzyjność był nieco skomplikowany. Magnes przyklejono do miedzianej osi, którą umieszczono w obudowie po potencjometrze. Czujnik wraz z niezbędnymi do prawidłowej pracy elementami przylutowano do specjalnie przygotowanej płytki drukowanej. Na drugim końcu osi przyklejono zębatkę, która sprzęgnięta jest z zębatką przymocowaną do koła (Rysunek 17). Oś nie powinna obracać się zbyt luźno. Najlepiej zrobić jakiś delikatny docisk np z gąbki. Zabieg ten pozwoli na częściowe uniknięcie luzów, które prowadzą do nie prawidłowej pracy regulatora obrotów. Więcej o opisywanych enkoderach można znaleźć na:

- (PL) <http://www.konar.ict.pwr.wroc.pl/uploads/download/raporty/enkoder.pdf>
- (En) [http://www.austriamicrosystems.com/03products/products\\_detail/AS5040/download/AS5040\\_Features.pdf](http://www.austriamicrosystems.com/03products/products_detail/AS5040/download/AS5040_Features.pdf)



Rysunek 15. Schemat ideaowy enkodera magnetycznego

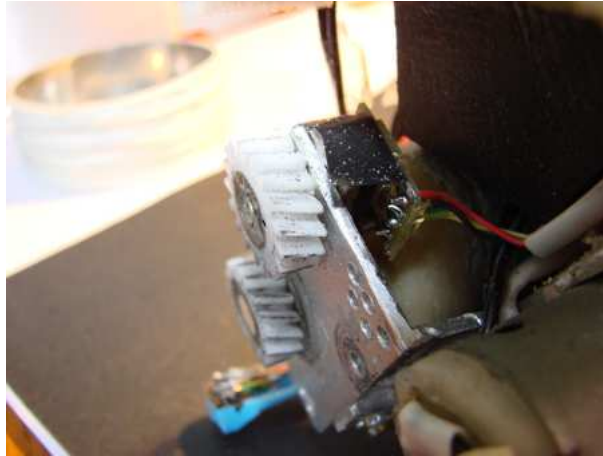


Rysunek 16. Interpretacja kierunku i prędkości

## 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



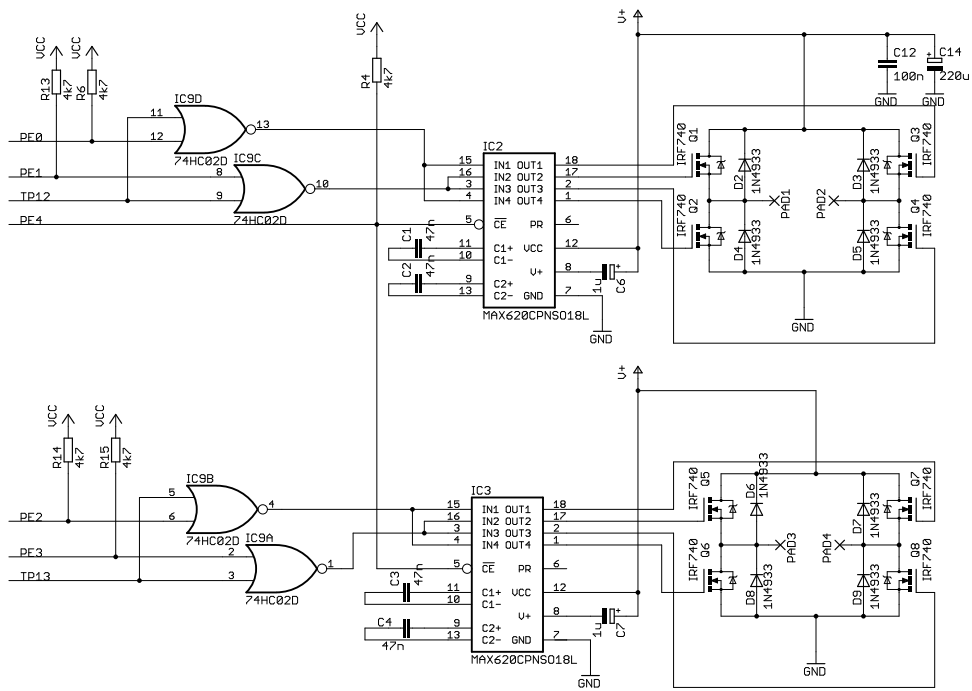
Rysunek 17. Mocowanie enkodera

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 (2007), 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.





Rysunek 18. Schemat ideowy końcówki mocy do sterowania napędów

## 8. Regulatory PID

Algorytm sterowania wygląda następująco

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

```
Regulator ten zrealizowano w następujący sposób:
//Zmienne pomocnicze:
signed int epsilon=0;
signed int czlon_P=0;
signed int czlon_I=0;
signed int czlon_D=0;
// badamy różnice między wartością zadana a rzeczywistą
epsilon=(ster.V_P-stan.V_W_P);
//zapisujemy to jako epsilon czyli błąd
czlon_P=epsilon;
// teraz korzystając ze zmiennej np. globalnej epsilon_suma dodajemy do niej wartość błędu
epsilon _suma+=epsilon;
// należy jednak ograniczyć całkowanie naszego błędu do np +/- 100
// tak aby pomnożone przez Ki nie dało więcej niż max. sterowanie
if (epsilon _suma>100) epsilon _suma=100;
if (epsilon _suma<-100) epsilon _suma=-100;
// I zapisujemy to jako czlon_I
czlon_I= epsilon_suma;
// odejmując od obecnej wartości błędu poprzednia wartość błędu uzyskujemy różniczkę
czlon_D=epsilon-epsilon_old;
// sumujemy wszystkie czlony mnożąc je przez odpowiadające im wzmocnienia
sterowanie= Kp*czlon_P+ Kd*czlon_D+ Ki*czlon_I;
// ograniczamy sterowanie tak aby nie wykraczało po za możliwie największe
if (sterowanie >1000) sterowanie =1000;
if (sterowanie <-1000) sterowanie =-1000;
// zapamiętujemy wartość błędu
epsilon _old= epsilon;
Zadaj_PWM(sterowanie); //opis funkcji PWM znajduje się poniżej
```

Listing 3. pid.c

Naturalnie zmienne epsilon\_suma, epsilon\_old, Kp, Kd, Ki powinny być zmiennymi albo typu static, albo zmiennymi globalnymi. Wygodnie jest je również umieścić w jednej strukturze.

Więcej o sterowaniu można przeczytać

[http://www.konar.ict.pwr.wroc.pl/uploads/download/raporty/zdarzenia\\_koncowe.pdf](http://www.konar.ict.pwr.wroc.pl/uploads/download/raporty/zdarzenia_koncowe.pdf)

<http://www.konar.ict.pwr.wroc.pl/uploads/download/raporty/wibrobot.pdf>

## Literatura

- [1] *Robot mobilny klasy minisumo.* "Wibrobot", Kędziński Jan, KOŁO NAUKOWE ROBOTYKÓW KONAR, 2004, <http://www.konar.ict.pwr.wroc.pl/uploads/download/raporty/wibrobot.pdf>
- [2] *Enkoder magnetyczny AS5040*, Kędziński Jan & Ostrowski Edgar, KOŁO NAUKOWE ROBOTYKÓW KONAR, 2006, <http://www.konar.ict.pwr.wroc.pl/uploads/download/raporty/enkoder.pdf>
- [3] *Optyczny czujnik przemieszczenia.*, Kędziński Jan & Ostrowski Edgar, KOŁO NAUKOWE ROBOTYKÓW KONAR, 2006, [http://www.konar.ict.pwr.wroc.pl/uploads/download/raporty/Kedziński\\_Ostrowski.pdf](http://www.konar.ict.pwr.wroc.pl/uploads/download/raporty/Kedziński_Ostrowski.pdf)
- [4] *Rozpoznawanie zdarzeń za pomocą czujnika optycznego z myszki w robocie mobilnym.*, Kędziński Jan & Ostrowski Edgar, KOŁO NAUKOWE ROBOTYKÓW KONAR, 2006, [http://www.konar.ict.pwr.wroc.pl/uploads/download/raporty/zdarzenia\\_koncowe.pdf](http://www.konar.ict.pwr.wroc.pl/uploads/download/raporty/zdarzenia_koncowe.pdf)
- [5] *Moduł z mikrokontrolerem MC68332* Marek Wnuk, INSTYTUT CYBERNETYKI TECHNICZNEJ POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ Raport serii SPR nr 7/2004
- [6] *ICD Interfejs BDM dla CPU32* Marek Wnuk, INSTYTUT CYBERNETYKI TECHNICZNEJ POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ Raport serii SPR nr 8/2004