

LoLEK

ROBOT MOBILNY KLASY LINE FOLLOWER

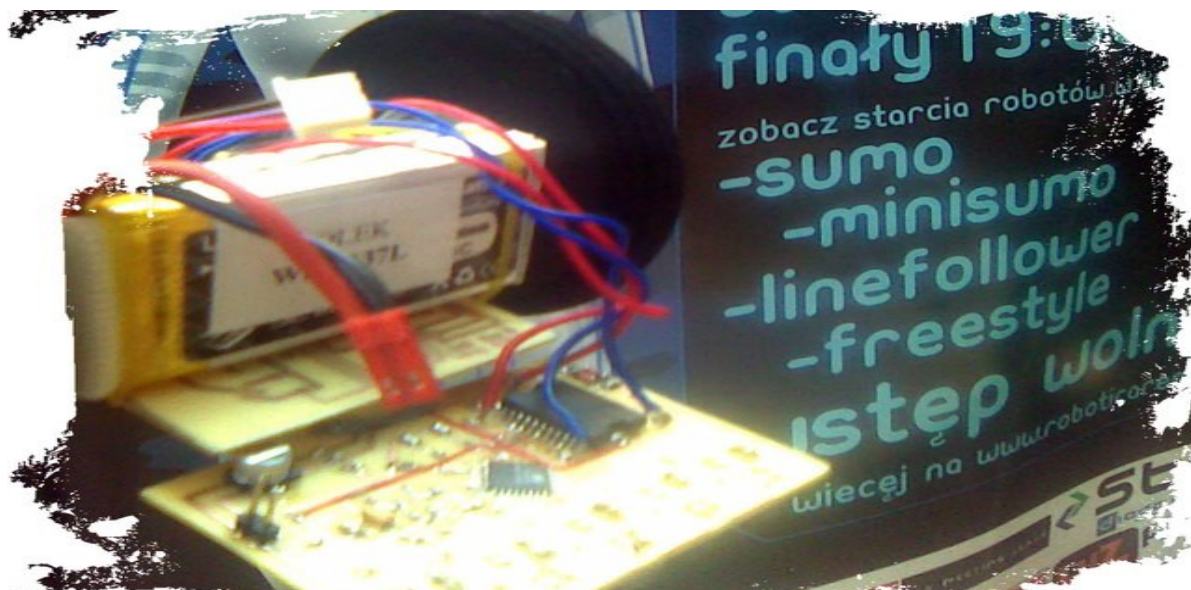


KOLEO

KOLEO NAUKOWE ROBOTYKÓW

**PAWEŁ
BARDOWSKI**

Wrocław, 2008



Spis treści:

Słowo od autora	3
Sterownik.....	4
Budowa.....	4
Szczegółowa zawartość bloków funkcjonalnych robota	6
Zasilanie.....	7
Mikrokontroler	7
Sensory	9
Sterowanie silnikiem	11
Mechanika	16
Budowa.....	16
Płytki	17
Montaż i uruchomienie	19
Programowanie mikrokontrolera.....	22
Zawody Robotic Arena 2008	23
Uwagi końcowe	25
Literatura	26

Słowo od autora

Potrzeba zbudowania robota wynikała z chęci zbadania tego typu urządzeń oraz przyczyniły się do tego organizowane przez koło naukowe KONAR międzynarodowe zawody „Robotic Arena 2008” w których chciałem wziąć udział. Wybór padł na roboty klasy linefollower.

Projekt w całości został sfinansowany przez Koło Naukowe Robotyków „KoNaR”.

LOJEK stanowi platformę mobilną na dwóch kołach i jednym ślizgaczu. Pomimo prostej konstrukcji okazało się, że jego budowa postawiła mnie przed wieloma problemami do rozwiązania oraz zmusiła do podjęcia różnych decyzji w wyniku, których **LOJEK** powoli zaczynał nabierać wyglądu, by w końcu stać się w pełni działającym robotem. Zaowocowało to zdobyciem cennego doświadczenia, które na pewno przyda się w przyszłości.

Czasu do zawodów było niewiele, całe „urządzenie tropiące” powstało w przeciągu kilku nocy. Był to szalony czas, kiedy to teoria stawała się praktyką.

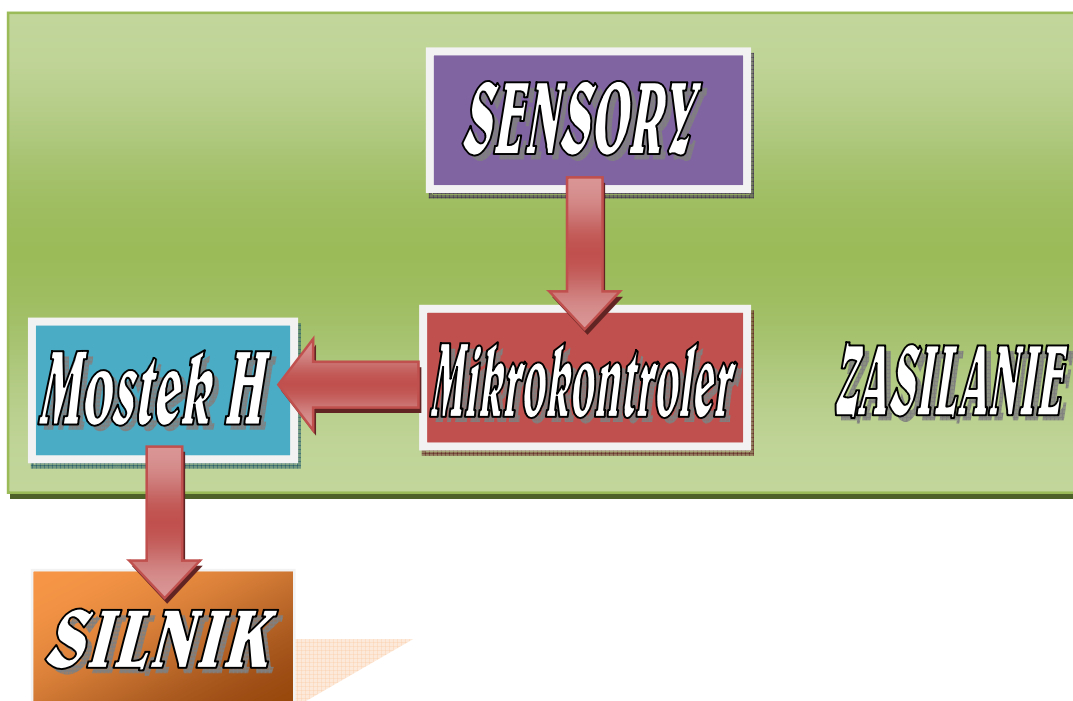
Podczas kiedy w zaciszu swojego warsztatu popijając kawę, robiąc zaległe projekty na uczelnie oraz wiele innych rzeczy, na które akurat nie miałem czasu... w zaciszu innego warsztatu... powstawał podobny robot, kolega **LOJKA** - „Bizonek” autorstwa Roberta Budzińskiego. Jego dokumentacja znajduje się w dziale download **na stronie koła naukowego „KoNaR”** – www.konar.pwr.wroc.pl. Zachęcam również do zapoznania się z nią.

Wszelkie uwagi i pytania proszę kierować na adres **bardowski (at) o2.pl**

Sterownik

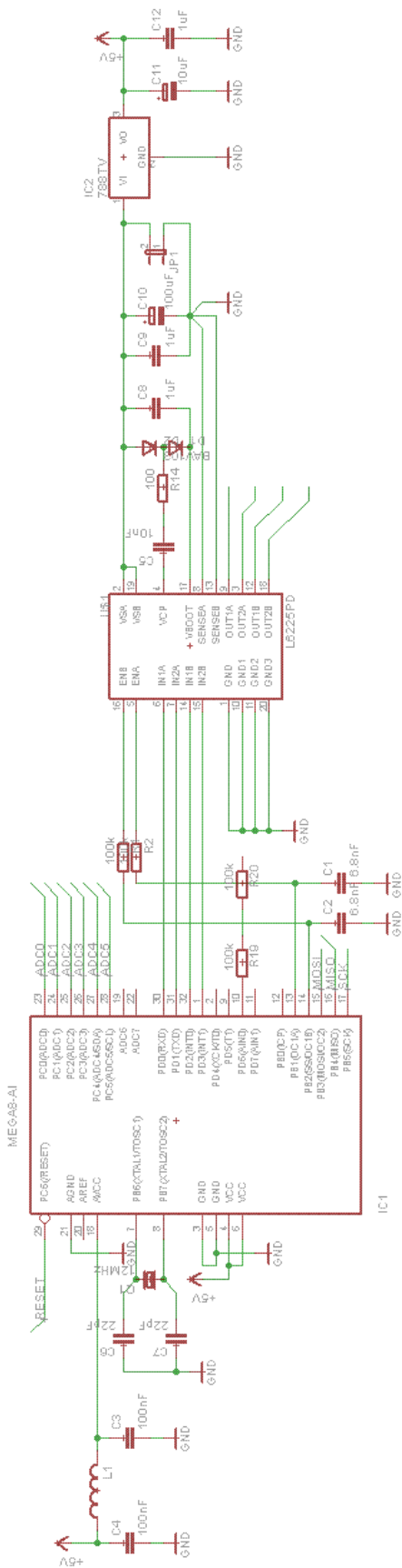
Budowa

LOPEK jest prosty jak konstrukcja czołgu T55. Poniżej zamieszczony schemat blokowy ukazuje całą ideę. Wydzielono 5 bloków funkcjonalnych, w których **ZASILANIE** obejmuje swoim zasięgiem 3 inne bloki: **SENSORY**, **MIKROKONTROLER** oraz **MOSTEK H**. **SILNIK** zasilany jest z bloku **MOSTEK H**.

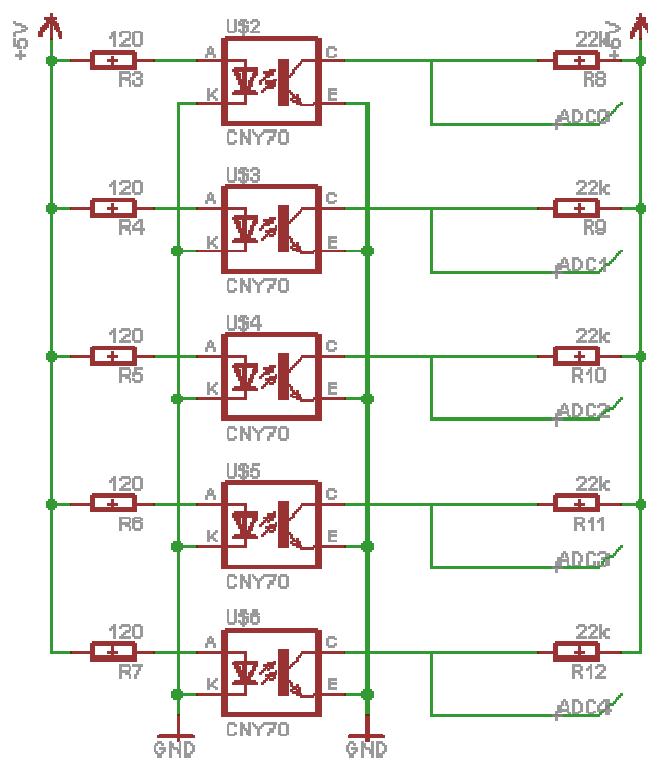


Informacje o położeniu czarnej linii z bloku **SENSORY** przekazywane są do bloku **MIKROKONTROLER**, gdzie podejmowane są odpowiednie decyzje oraz linio-podążające algorytmy sterowania. Te z kolei przekazywane są do bloku **MOSTEK H**, który zamienia mało wydajne prądowo sygnały z bloku **MIKROKONTROLER** na wydajne, pełno napięciowe sygnały zasilające blok **SILNIK**. Blok **ZASILANIE** zapewnia odpowiednie napięcia do wszystkich bloków poza blokiem **SILNIK**.

Schemat ideowy został zamieszczony na rysunkach 1 i 2. Jak widać nie ma tu nic nowego i odkrywczego. Całość opiera się o jeden mikrokontroler ATMEGA8 firmy Atmel, podwójny mostek H z ST Microelectronics oraz 5 czujników odbiciowych CNY70.



Rysunek 1. Schemat ideowy robota.



Rysunek 2. Schemat części dotyczącej czujników.

Szczegółowa zawartość bloków funkcjonalnych robota

MIKROKONTROLER:

- IC1 - Atmega8 AI
- Q1 – rezonator kwarcowy 12 MHz
- C6, C7 – kondensatory ceramiczne 22pF

SENSORY:

- R3, R4, R5, R6, R7 – rezystory zasilające fotodiode w czujniku CNY70
- R8, R9, R10, R11, R12 – rezystory podciągające do plusa zasilania kolektor fototranzystora w czujniku CNY70
- U\$2, U\$3, U\$4, U\$5, U\$6 – czujniki odbiciowe CNY70

MOSTEK H:

- U\$1 – L6225PD – scalony podwójny mostek H
- C1, C2, C5, C8
- R1, R2, R14
- D1, D2

SILNIK:

- Dwa silniki o odpowiednich wymiarach i spełniające inne wymagania w konstrukcji

ZASILANIE:

- Akumulator litowo-polimerowy
- IC2 – LM2940 – scalony regulator napięcia 5V Low Drop
- L1 – dławik
- C3, C4, C9, C10, C11, C12

Zasilanie

Źródło zasilania stanowi dwu-ogniowy **akumulator litowo-polimerowy**. Pozwala on uzyskać napięcie **około 7,4V**. Jego niewątpliwą zaletą jest lekkość oraz to, że wytrzymuje znaczne obciążenie pochodzące od silników. Silniki są połączone wprost do akumulatora przez mostek H – U\$1, a zasilanie mikrokontrolera zrealizowane zostało na scalonym regulatorze napięcia **5V Low Drop LM2940** IC2. Pozwala on uzyskać wymagane napięcie przy stosunkowo niewielkiej różnicy napięcia wejściowego do wyjściowego. W tym przypadku **napięcie nie może spaść poniżej 6,0V** (5,6V wartość krytyczna) gdyż przy niższym napięciu akumulator ulegnie nieodwracalnemu uszkodzeniu. Regulator IC2 nawet przy tak niskim napięciu wejściowym działał poprawnie. Kondensatory C9, C10, C11 i C12 chronią układ przez zwieranie impulsów o wyższych harmonicznym do masy oraz stabilizują niepożądane skoki napięcia. Kondensatory C3, C4 oraz dławik L1 służą do zasilania analogowej części mikrokontrolera, czyli przetwornika analogowo-cyfrowego do, którego podłączony jest każdy z pięciu czujników odbiciowych CNY70 U\$2-U\$6.

Mikrokontroler

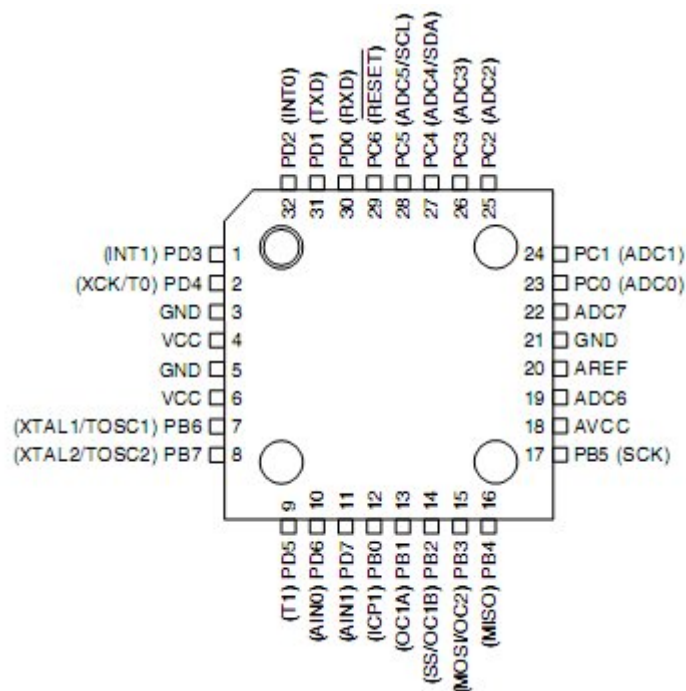
Całym robotem steruje mikrokontroler z rdzeniem AVR – **ATMEGA8** IC1. Taktowany jest on za pomocą rezonatora kwarcowego o częstotliwości 12,00 MHz. Przez co uzyskano niewyobrażalną jak na potrzeby robota moc obliczeniową 12 MILSów (12 milionów operacji na sekundę).

Ważniejsze cechy:

- Wydajny, 8-bitowy rdzeń AVR[®]
- Zaawansowana architektura RISC (skrócona lista rozkazów)
 - 130 instrukcji, większość wykonywana w jednym cyklu zegarowym
 - 32 rejestry ogólnego przeznaczenia
 - W pełni statyczna praca
- Wydajna pamięć
 - 8K bajtów pamięci programu – Flash
 - 512 bajtów EEPROM
 - 1K bajt wewnętrznej pamięci SRAM

- Cechy komponentów
 - Dwa 8-bitowe liczniki
 - Jeden 16-bitowy licznik
 - **Trzy kanały PWM**
 - **8-kanałowy ADC w obudowie TQFP**
 - Programowany licznik Watchdog
- Wejścia/wyjścia
 - 32 linie w obudowie TQFP
- Napięcie pracy
 - 4,5 – 5,5V
- Pobór mocy przy 4 MHz, 3V, 25°C
 - Aktywny: 3,6 mA
 - Tryb idle: 1,0 mA
 - Tryb Power-down: 0,5 µA

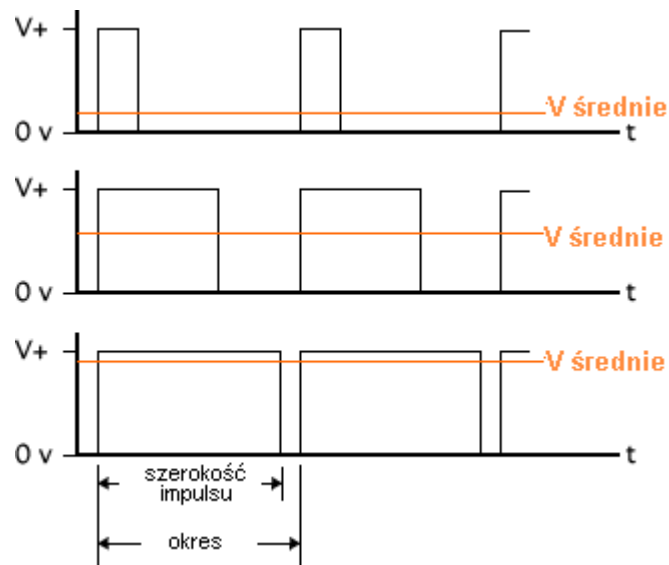
Takie cechy jak wbudowane moduły PWM, ADC, programowanie zamontowanego układu w systemie, mały pobór prądu oraz bardzo dużo literatury na jego tematy przyczyniły się do wyboru właśnie tego mikrokontrolera.



Rysunek 3. Układ wyprowadzeń ATMEGA8 w obudowie TQFP.

Moduł PWM Pulse-width modulation (pl. modulacja szerokości impulsu) wbudowany w strukturę „AVRka” został wykorzystany w robocie do kontrolowania napięcia na silniku. Odbywa się to na zasadzie regulacji sygnału napięciowego, polegającej na zmianie szerokości impulsu o stałej amplitudzie (napięcie akumulatora). Ideę jego wykorzystania obrazuje rysunek 4. Zmieniając szerokość impulsu w stałym okresie zmienia się **napięcie średnie** na silniku. Dlatego dwa kanały PWM

OC1_A oraz OC1_B zostały połączone do wejść mostka H, EN_A oraz EN_B, które włącza lub wyłącza cały mostek od silnika.

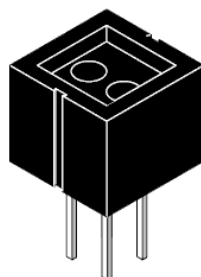


Rysunek 4. Idea modulacji szerokości impulsu.

Moduł ADC – jest nim przetwornik analogowo- cyfrowy pozwala on na pomiar przez mikrokontroler wartości analogowych od 0-5V. Jego 5 kanałów zostało połączonych z czujnikami odbiciowymi (ADC0-5). Pozwala to na dokładny (8-bitowa rozdzielczość) pomiar stanu czujnika „czarnej linii”.

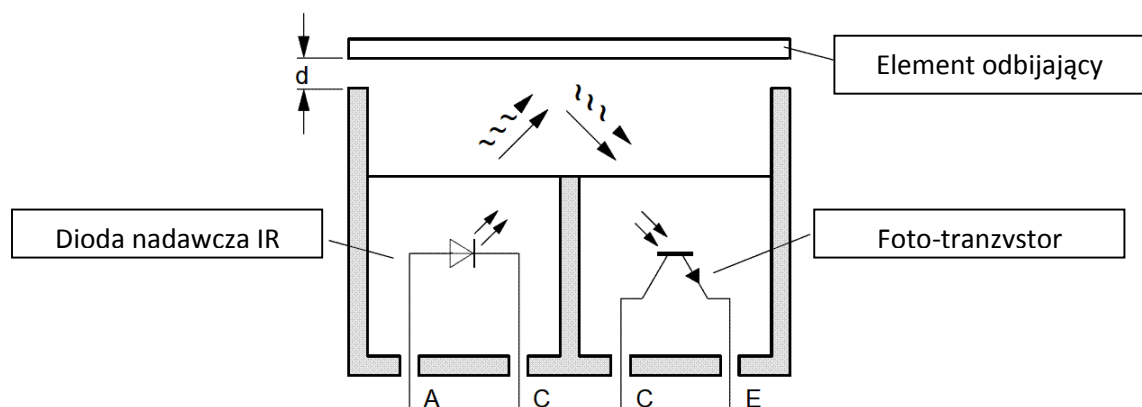
Sensory

Do lokalizacji czarnej linii zdecydowano się użyć czujników odbiciowych CNY70, którego wygląd przedstawiono na rysunku 5.

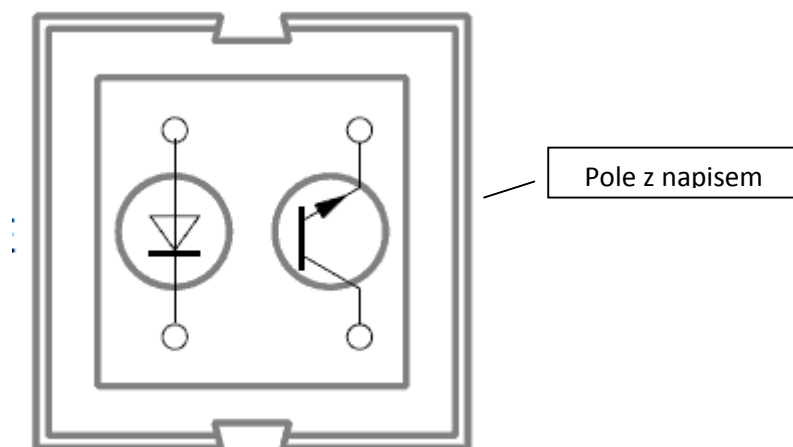


Rysunek 5. Wygląd zastosowanych czujników odbiciowych.

Są to niewielkich rozmiarów elementy posiadające w swojej strukturze diodę nadawczą IR oraz foto-tranzystor, uwidacznia do doskonale rysunek 7. Z tych dwóch wyżej wymienionych względów uznano, że nadają się idealnie. Pomimo tego, iż są one przeznaczone jedynie do wykrywania czy przed czujnikiem jest jakiś przedmiot, czy go nie ma (ew. odległość przedmiotu), a nie do wykrywania koloru, nic nie stoi na przeszkodzie, żeby jednak to robiły. Po pierwszych próbach okazało się, że znakomicie pełnią tą funkcję, ponieważ zmiana koloru przedmiotu przed czujnikiem znacząco zmieniała ilość światła, jakie docierało do foto-tranzystora, można było wykryć tą zmianę za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego.



Rysunek 6. Budowa czujnika CNY70.

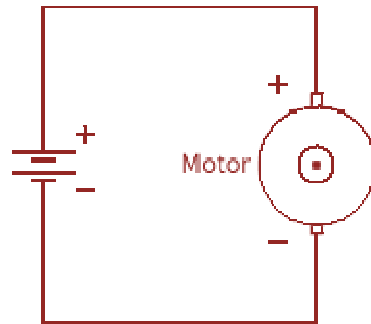


Rysunek 7. Rozkład wyprowadzeń czujnika CNY70 (widok od góry).

Z uwagi na błędy pojawiające się w literaturze odnośnie czujników odbiciowych CNY70 schemat wyprowadzeń zamieszczony został na rysunku 6.

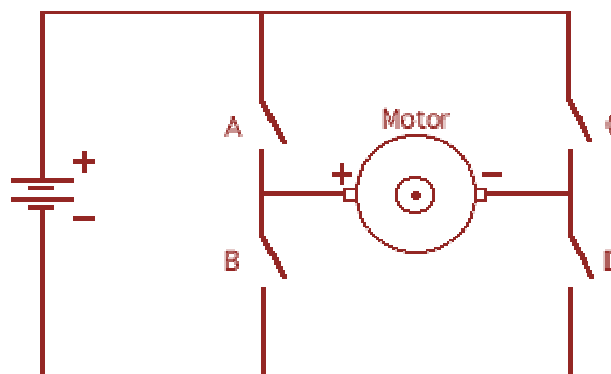
Sterowanie silnikiem

Najprostszym połączeniem silnika jest podłączenie go bezpośrednio do akumulatora – zacznie on się obracać wtedy w jedną stronę, gdy podłączymy styki silnika do przeciwnym biegunów akumulatora zacznie on się obracać w przeciwnym kierunku. Przedstawia to rysunek 8.



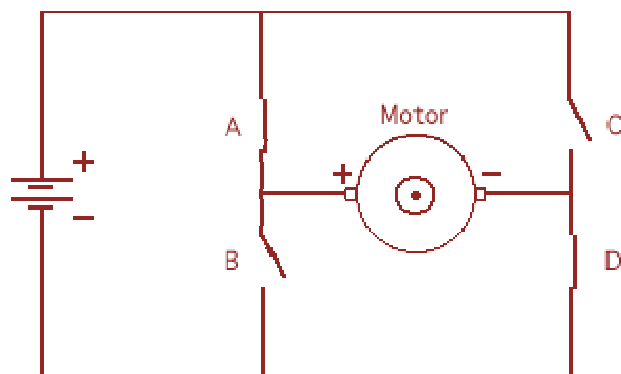
Rysunek 8. Proste podłączenie silnika prądu stałego (DC).

Do zmiany polaryzacji silnika bez zmian połączeń wykorzystuje się schemat znany pod nazwą „mostek H” – rysunek 9 (nazwa wynika z ustawienia połączeń wokół silnika w kształcie dużej litery H).



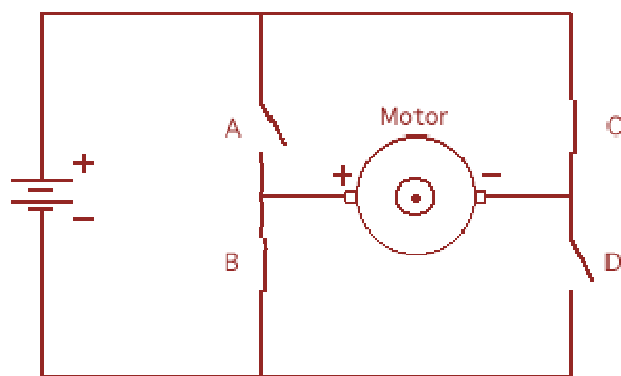
Rysunek 9. Mostek H.

Zamykając połączenie włącznikami A oraz D da w wyniku obracanie się silnika do przodu.



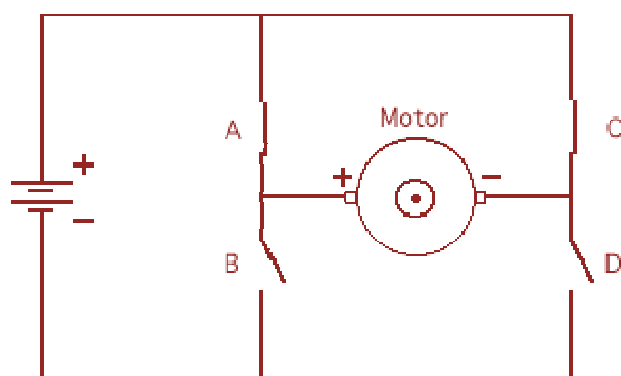
Rysunek 10. Do przodu.

Zamykając połączenie włącznikami B i C da w rezultacie odwrotny kierunek obrotu silnika.



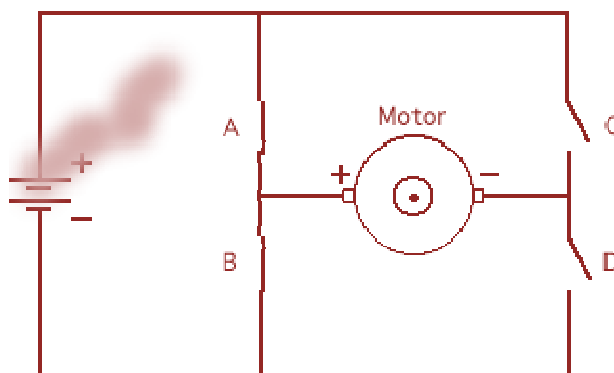
Rysunek 11. Do tyłu.

Podczas gdy silnik obraca się, zamykając obwód włącznikami A i C, co widać na rysunku 12, rozłączamy akumulator od silnika oraz łączymy ze sobą jego wyprowadzenia. Tym sposobem następuje efekt hamowania w silnikach prądu stałego DC.



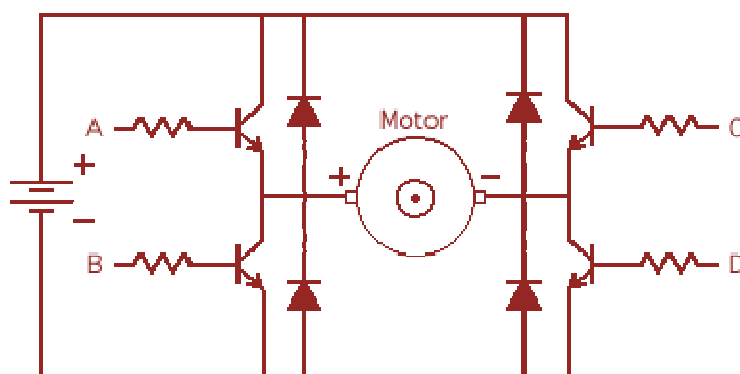
Rysunek 12. Hamowanie.

Przy stosowaniu takiej konfiguracji jest bardzo łatwo połączyć „na krótko” elektrody akumulatora poprzez zwarcie obwodu włącznikami A i B lub zwarcie obwodu włącznikami C i D. Należy być z tym bardzo ostrożnym! Przykład takiego połączenia (pechowy dla akumulatora) pokazuje rysunek 13.



Rysunek 13. Zwarcie baterii!!

Aby móc sterować mostkiem H przez mikrokontroler, mechaniczne włączniki mogą być zastąpione przez tranzystory. Uwaga dotycząca wykorzystania diod w obwodzie. Uzwojenie silnika jest zasadniczo indukcyjne. Gdy przepływ prądu w tej indukcyjności zostaje nagle odcięty, obecny w niej prąd nie może nagle przejść do zera. W rezultacie jest generowany impuls napięcia o przeciwnej polaryzacji. Napięcie to może być tak wysokie, że zniszczy tranzystory. Diody zapewniają bezpieczną ścieżkę powrotu, która omija i chroni tranzystory.



Rysunek 14. Mostek H z tranzystorami.

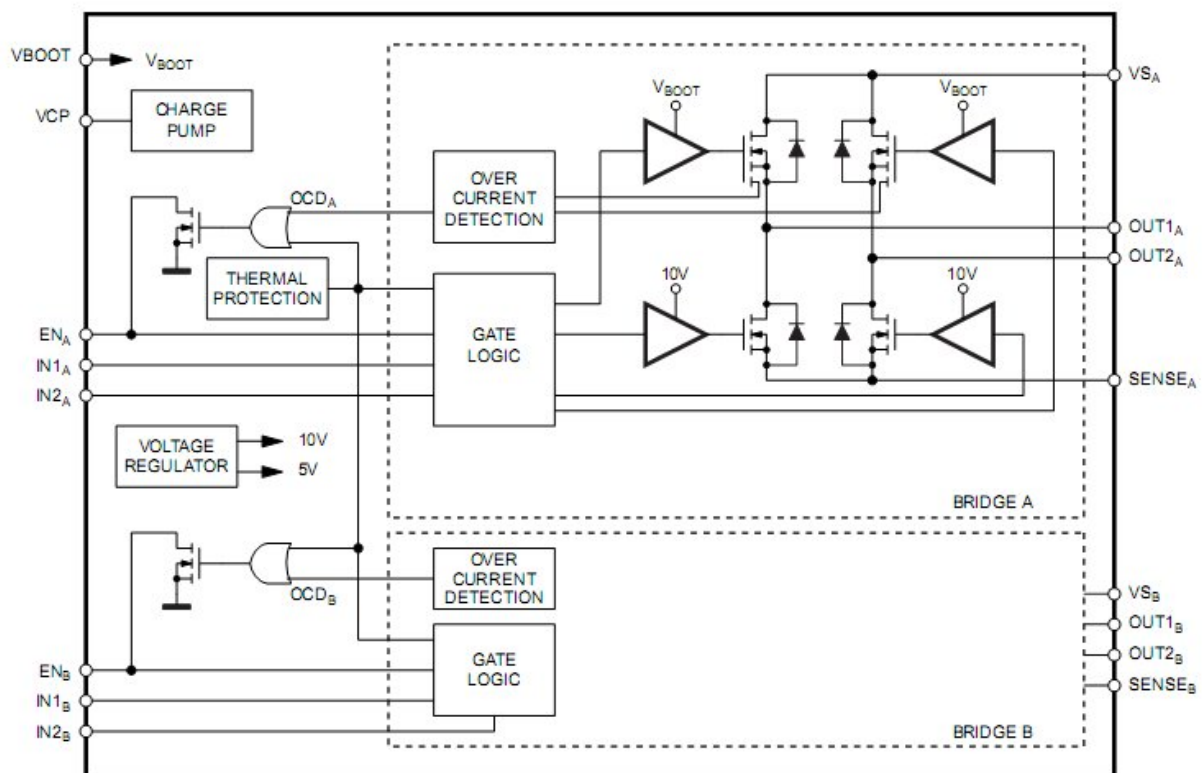
Mostek może być wykonany z dyskretnych tranzystorów lub można kupić od razu w układzie scalonym. Wykorzystanie układu scalonego pozwala zachować niewielkie rozmiary oraz zapobiega zwarciu baterii, jakie opisano powyżej. Zależnie od wersji może posiadać również inne zabezpieczenia

np. temperaturowe oraz dodatkowe funkcje. Przy wyborze takiego mostka powinno się dokładnie przeanalizować jego notę katalogową. Niektóre zawierają wewnętrzne diody, ale niektóre ich nie posiadają i projektant musi dodać zewnętrzne diody.

Do sterowania silnikiem zaprzęgnięto podwójny scalony mostek H - L6225 z ST Microelectronisc. Do jego podstawowych cech należy napięcie operacyjne z przedziału 8 do 52V, impuls prądu wyjściowego 2,8A, zabezpieczenie termiczne oraz przed nadmiernym prądem. Jego typowe aplikacje to bipolarne silniki krokowe oraz podwójne lub poczwórne silniki prądu stałego.



Do załączania odpowiednich połączeń wykorzystane zostały izolowane tranzystory mocy DMOS. Wymagają one odpowiednich napięć do ich sterowania, dlatego w obudowie układu znalazła się także przetwornica napięcia. Potrzebuje ona kilku zewnętrznych elementów do pracy, na schemacie z rysunku 1 są to C5, R14, D1, D2 oraz C8.

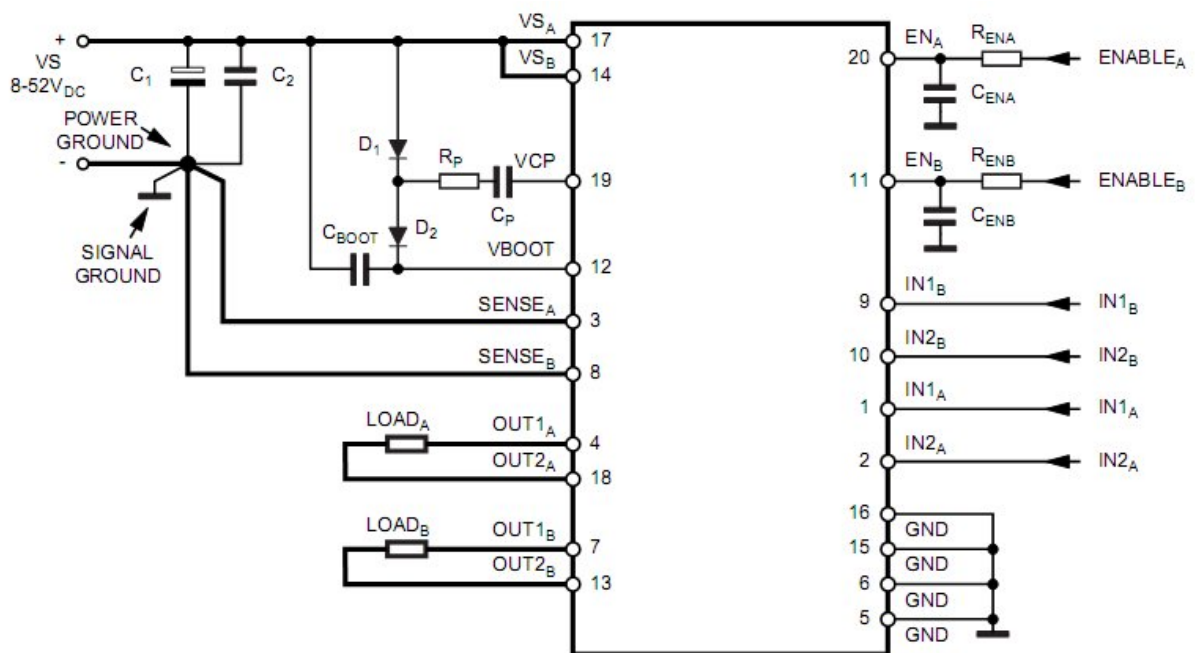


Rysunek 15. Schemat blokowy L6225.

W **IoT** została wykorzystana typowa aplikacja układu L6225 z noty aplikacyjnej przedstawiona na rysunku 17. Do wejść ENABLE_A oraz ENABLE_B zostały dołączone wyprowadzenia z sygnałami PWM z mikrokontrolera. Styki oznaczone IN1B, IN2B, IN1A i IN2A służą do sterowania wyjściami i tak odpowiednio stan na wejściu INX_Y generuje stan na wyjściu OUTX_Y. Do wyjść OUT zostały bezpośrednio dołączone silniki. Pokazane to jest w tabeli poniżej. „X” oznacza, że stan który występuje na tym wejściu nie ma wpływu na stan na wyjściu.

WEJŚCIA			WYJŚCIA	
EN	IN1	IN2	OUT1	OUT2
L	X	X	High Z	High Z
H	L	L	GND	GND
H	H	L	Vs	GND
H	L	H	GND	Vs
H	H	H	Vs	Vs

Rysunek 16. Tabela prawdy L6225.

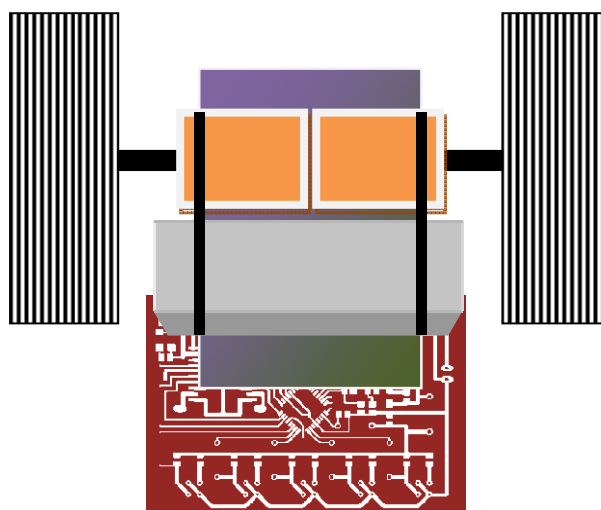


Rysunek 17. Typowa aplikacja L6225.

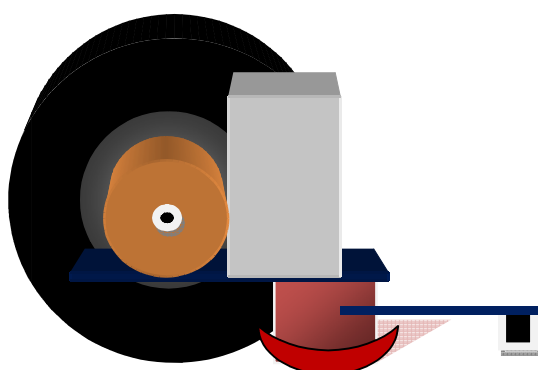
Mechanika

Budowa

Do budowy robota zastosowano jedynie to, co było konieczne. Do płytki stanowiącej podstawę przyklejono dwa silniki oraz gumkami przyczepiono akumulator. Od spodu została przytwierdzona zakrętka z butelki po szamponie, w której wycięto podłużny otwór w którego miejsce zamocowano płytkę z elektroniką.



Rysunek 18. Budowa robota. Widok z góry.

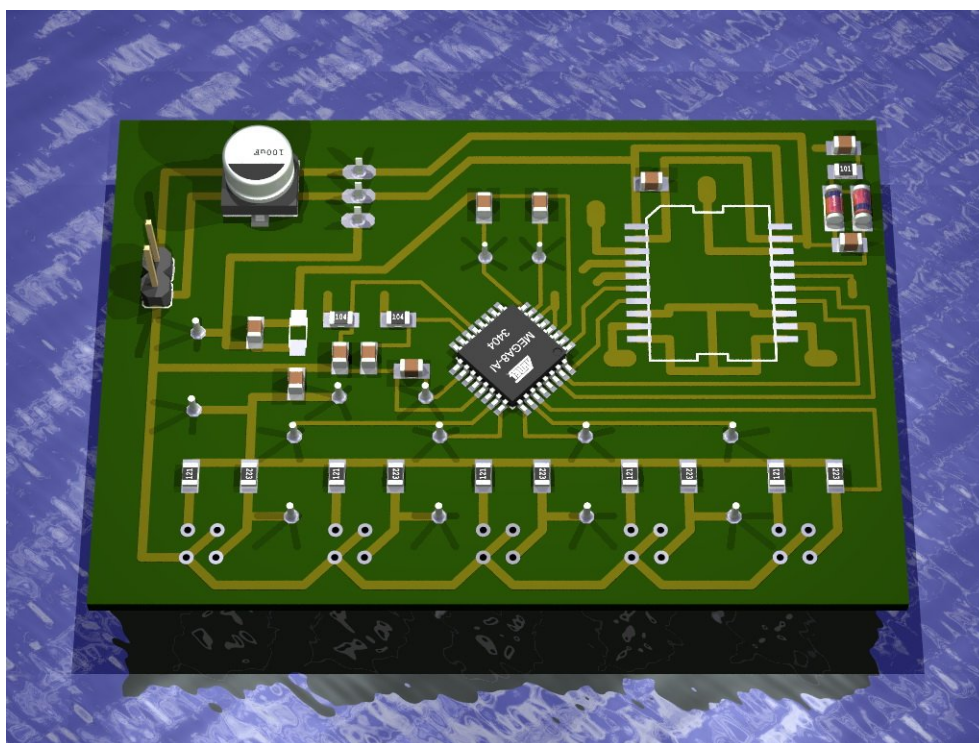


Rysunek 19. Budowa robota. Widok prawej strony.

Płytki

Płytki drukowana została zaprojektowana w Eagle. Została prawie w całości wykonana w technice SMD, jedynie rezonator kwarcowy, stabilizator, dławik do przetwornika A/C oraz czujniki odbiciowe CNY70 zostały umieszczone po drugiej stronie płytki techniką przewlekaną. Dzięki tym zabiegom cała elektronika robota zajmuje niewielką powierzchnię o wymiarach ok. 7 x 5 cm.

Największym problemem, jaki okazał się przy projektowaniu był brak niektórych elementów w standardowych bibliotekach programu. Nie było czujników odbiciowych CNY70 oraz podwójnego mostka H – L6225PD z ST Microelectronics. Widoczne na rysunkach 1 i 2 „czyste” zakończenia ścieżek przy procesorze (na środku) i mostku H (po prawej stronie) służą do podłączenia połączeń kablowych.

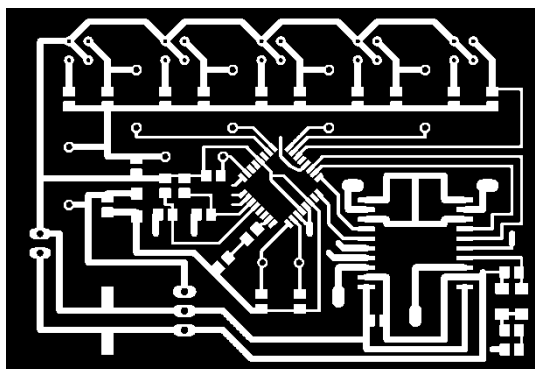


Rysunek 20. Wizualizacja płytki 3D

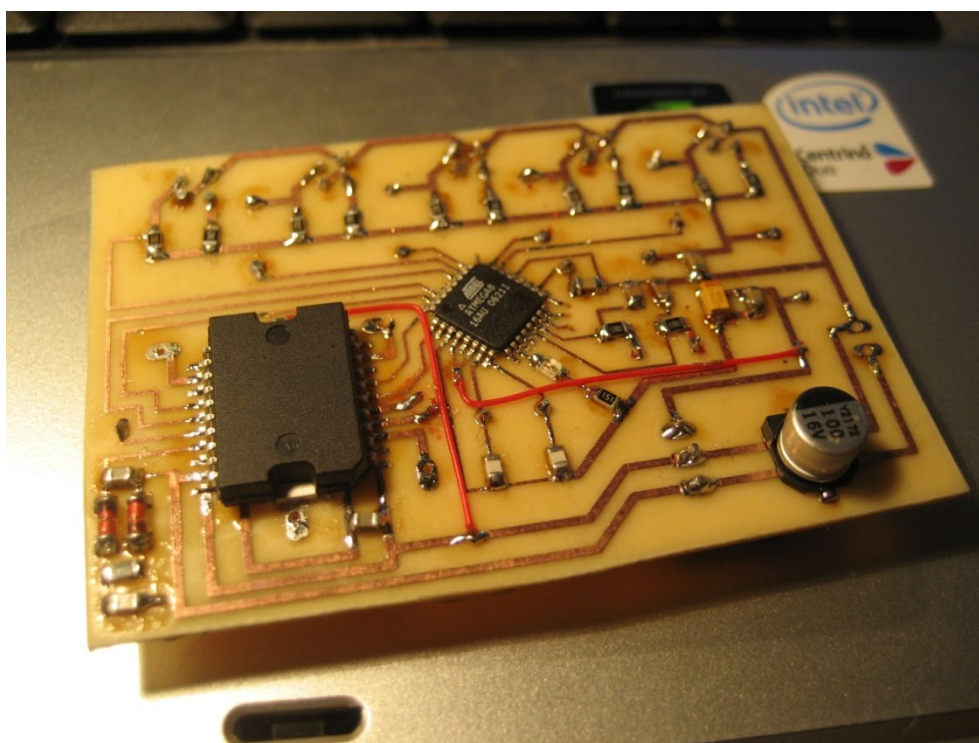
Bibliotekę z czujniczkami odbiciowymi udało się znaleźć na stronie producenta programu Eagle <http://www.cadsoftusa.com/>, natomiast bibliotekę do mostka dorobiono korzystając już z gotowego wzoru obudowy w bibliotece z elementami firmy ST Microelectronics.

Po ułożeniu wszystkich elementów i połączeniu ich ścieżkami dokonano wizualizacji 3D widocznej na rysunku 1. Bardzo pomocny przy tym okazał się opis [Jak korzystać z Eagle3D](#) Karola Sydora.

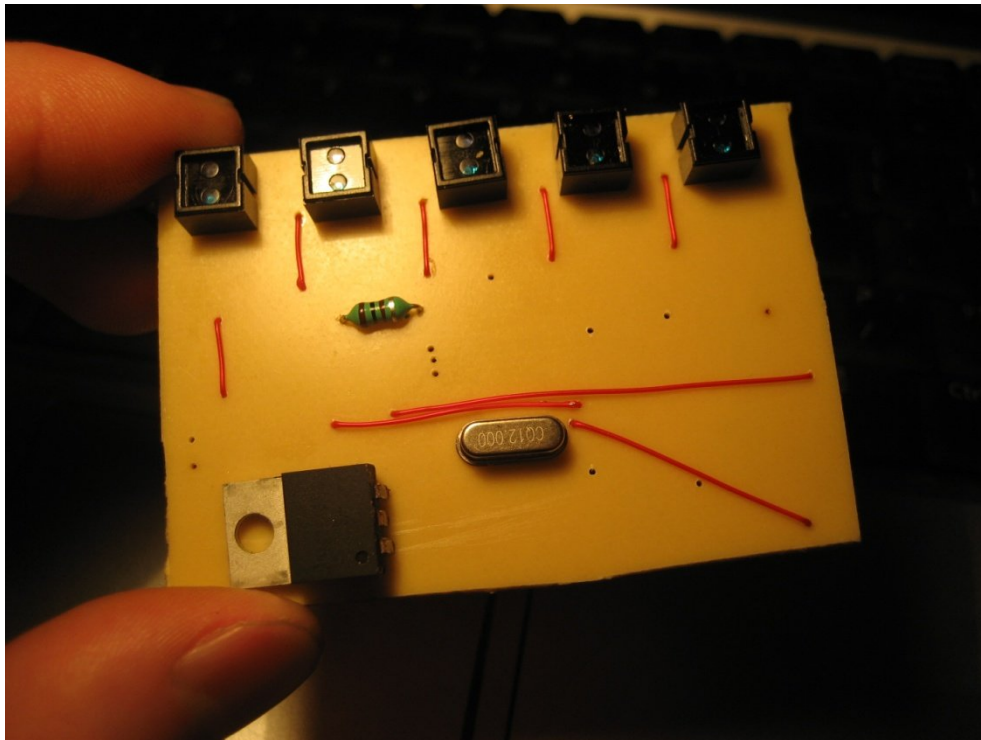
Gotowy projekt płytki widoczny na rysunku 21, został urzeczywistniony metodą fotochemiczną dzięki uprzejmości opiekunów oraz prowadzących w laboratorium układów elektronicznych.



Rysunek 21. Układ ścieżek.

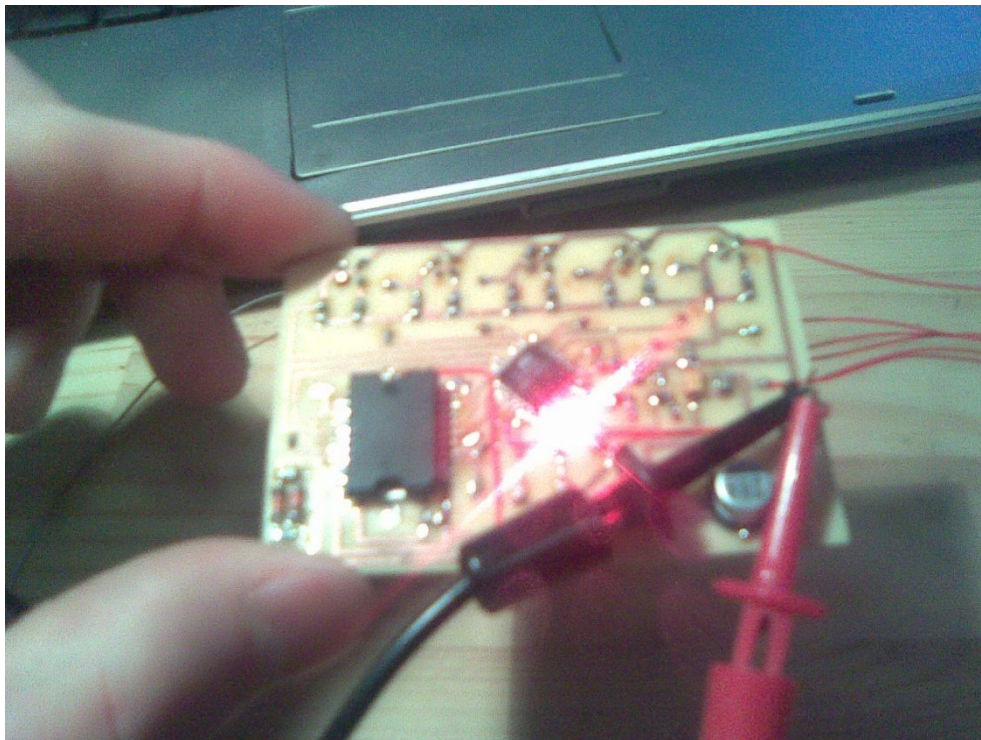


Rysunek 22. Gotowa płytka w całej okazałości.

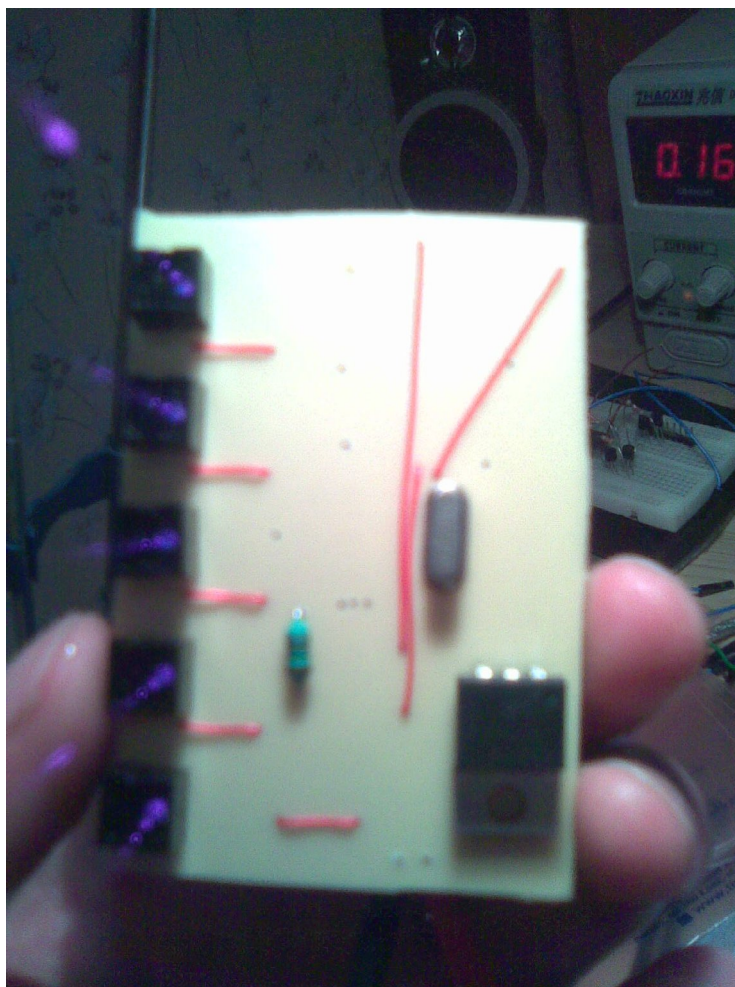


Rysunek 23. Dolna część płytki.

Montaż i uruchomienie



Rysunek 24. Uruchomienie płyty głównej.

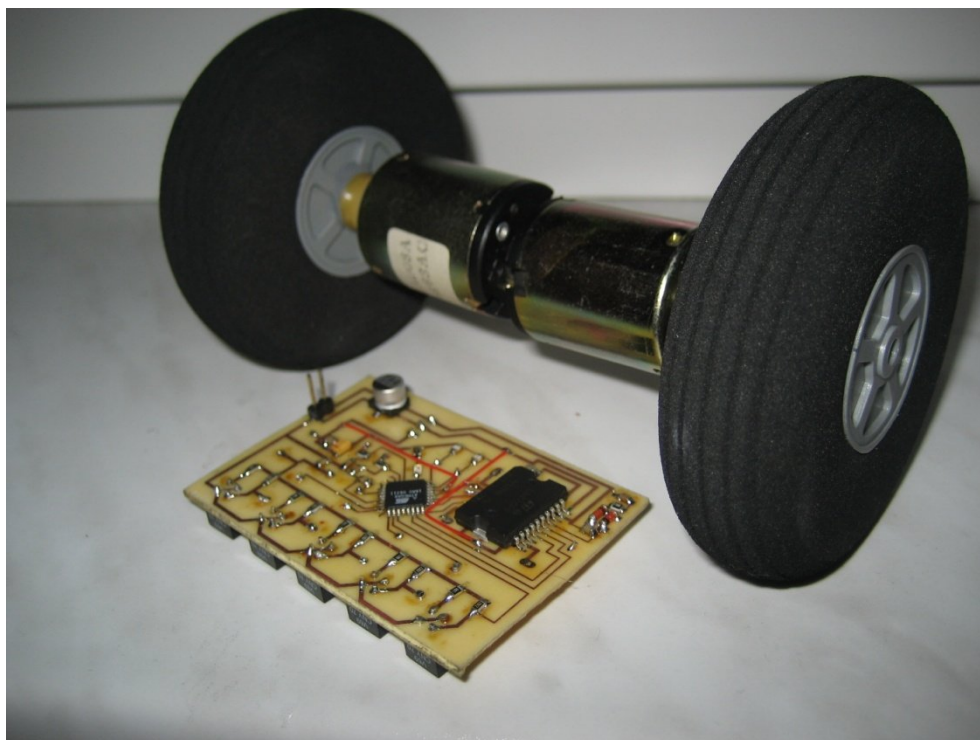


Rysunek 25. Próba działania sensorów.

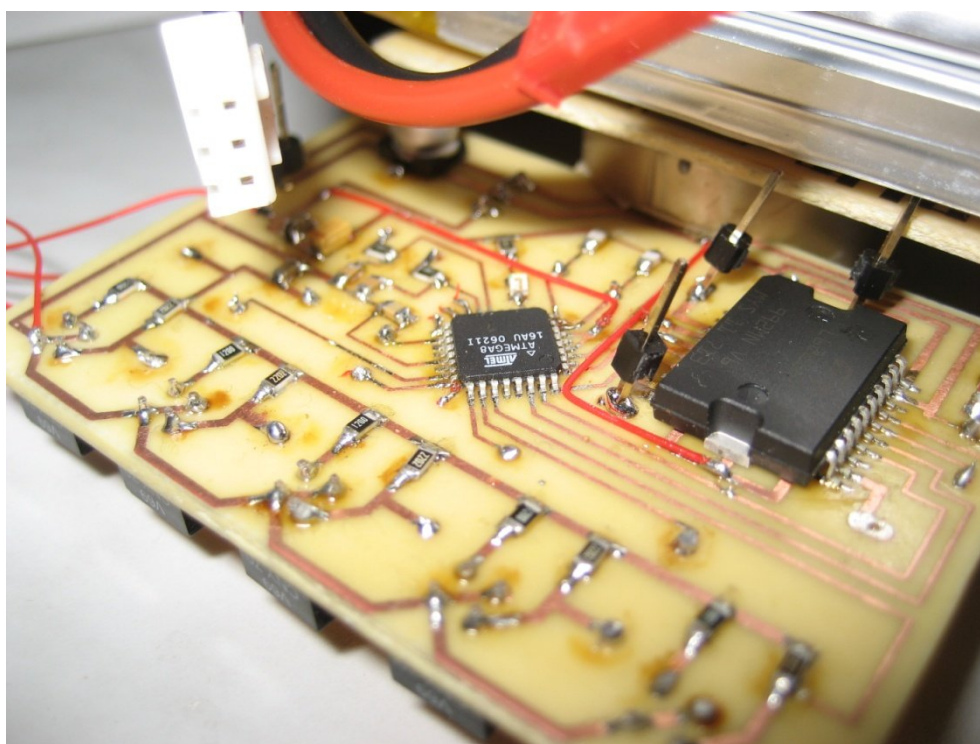
Ważnym elementem przy wykrywaniu linii był dobór odpowiednich rezystorów do zasilania diody oraz podciągania kolektora w czujniku CNY70. Sprawa była o tyle delikatna, że przy najlepszym doborze czujnik nad białą linią będzie dawał 0V na wyjściu, a 5V, kiedy będzie nad czarną linią. Dzięki temu można łatwo odczytywać dane przez mikrokontroler. Niestety zmieniając rezystor przy diodzie zmieniała się ilość generowanego światła, a to z kolei wpływało na prąd płynący przez rezystor podciągający kolektor fototranzystora do plusa. Kiedy wydawało się, że jedno już zostało dobrze ustawione, przyszła kolej zmienić drugie i wszystko zaczynało mieć swój kolejny początek.

Odnalezienie odpowiedniej konfiguracji rezystorów szło bardzo opornie! W końcu stanąłem przed wyborem, albo dobiore je dobrze co wcale może mi się nie udać i tylko stracę więcej cennego czasu oraz kolejne rezystory... albo przeleję całą moją frustrację na rodzinę i znajomych. Z uwagi o dobro najbliższych postanowiłem jednak wybrać pierwszą opcję. Tak na podstawie prób i błędów w moim przypadku rezystory zasilające diodę miały wartość 120Ω , a podciągające kolektor fototranzystora $22k\Omega$.

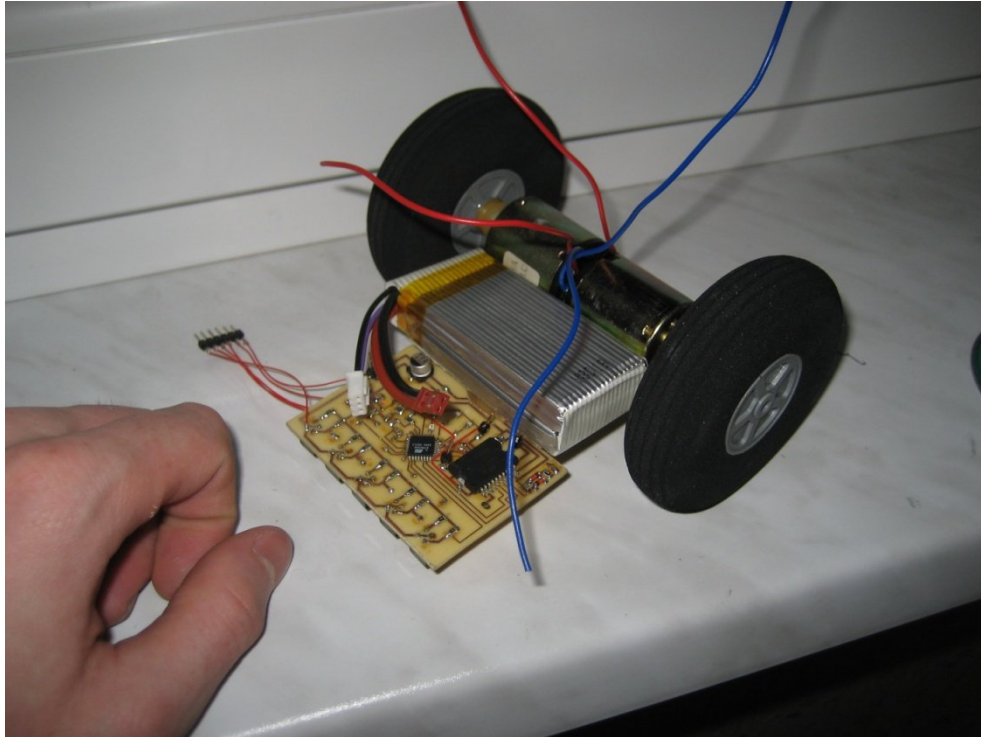
Rozwiązania to było bardzo użyteczne, ponieważ dzięki temu zrezygnowano z użycia przetwornika analogowo-cyfrowego upraszczając program.



Rysunek 26. Układ napędowy wraz z elektroniką.



Rysunek 27. Zamontowana płyta główna.



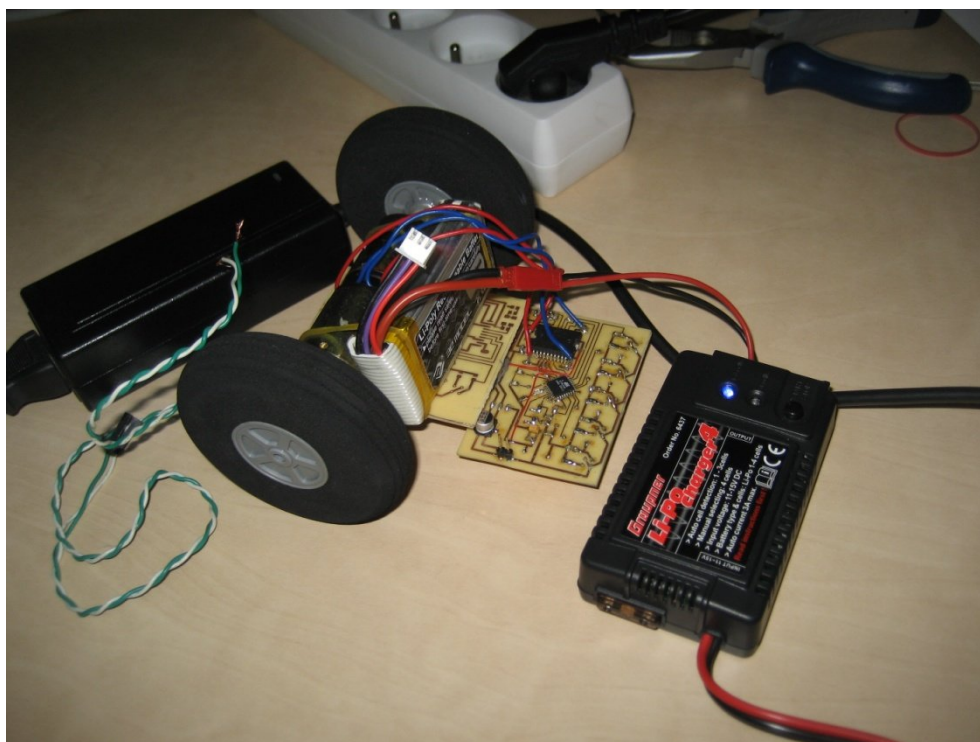
Rysunek 28. Próba dopasowanie elementów robota.

Programowanie mikrokontrolera

Mikrokontroler w robocie programuje się poprzez złącze ISP. Jest ono montowane jednorazowo na czas programowania i prób z algorytmami i sterowaniem, a potem usuwane. Na rysunku 13 po prawej stronie robota widać przyklejone czerwonym krynem goldpiny, do których zostawał podłączony programator.

Zawody Robotic Arena 2008

Żeby mieć siły do walki.. Skądś te siły trzeba wziąć! **LOLEK** swoją rywalizację z innymi robotami rozpoczął od naładowania akumulatora (rysunek 14). Trwało to trochę czasu, lecz brak energii w czasie zawodów był niedopuszczalna.

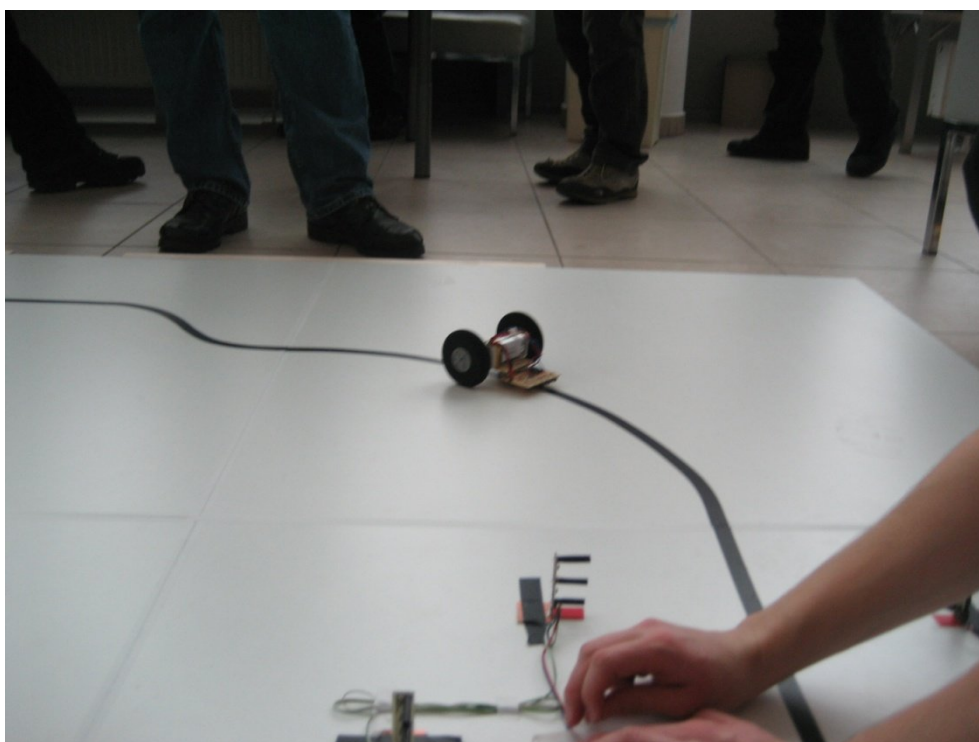


Rysunek 29. Ładowanie akumulatorów przed zawodami.

Następnie wykorzystując chwilę, kiedy tor do walk robotów podążających za linią był wolny **LOLEK** dokonał pierwszego próbnego przejazdu. Okazało się, że poradził sobie całkiem nieźle, przejechał wszystkie zakręty, cały czas pozostawał na linii oraz prawidłowo odczytywał dane z czujników. Skoro „test na trzeźwość” przeszedł, mogłem bez ewentualnych przeróbek oraz ustawień wystawić go do rywalizacji.



Rysunek 30. Próbné przejazdy.



Rysunek 31. **IQ1EK** przy mecie.

Uwagi końcowe

Na zawodach jak i już w czasie projektowania, a nawet robienia zakupów **IQIKowi** towarzyszył brat przyrodni **Bizonek**, którego autorem jest kolega Robert Budziński. Dwa roboty, te same kategorie, podobne wagi, większość identycznych części... Lecz inne koncepcje. Na zdjęciu 19 widać podobieństwo obu konstrukcji.



Rysunek 32. Bizonek oraz **IQIEK** wraz z konstruktorami.

IQIEK pokonał całą trasę na zawodach RA2008, czyli udało się zrobić robota, który pomimo wielu niedociągnięć pokonał kilku rywali. Jego budowa pokazała na co należy zwracać uwagę przy budowie tego typu robotów oraz stanowi dobry materiał do dalszych testów algorytmów pokonywania trasy po linii.

Literatura

1. „Eagle 3D”, Karol Sydor, Wrocław 2008
2. Regulamin zawodów dla robotów klasy Line Follower, www.roboticarena.pl
3. Nota katalogowa czujnika CNY70, <http://www.iele.polsl.pl/elenota/Vishay/83751.pdf>
4. Nota katalogowa mikrokontrolera ATMEGA8
5. Nota katalogowa podwójnego mostka H L6225PD,
<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/9451/l6225.pdf>
6. Krótka informacja o bateriach polimerowych, Jan Kędziński, Jacek Kalemba
7. <http://www.micromouseinfo.com/>
8. <http://www.wikipedia.org/>
9. <http://www.atmel.com/>