

Zastosowanie silników krokowych jako napęd robota mobilnego

Bartłomiej Kurosz

22 maja 2015



KOPAR

Katedra Robotyki i Automatyki

Badanie sprawności napędu robota mobilnego opartego o silniki krokowe
na przykładzie robota klasy micromouse "Let Me Out".



KoPaR

Katedra Robotyki i Mechaniki Precyzyjnej

Plan prezentacji



KOPAR

Krajowa Organizacja Promocji Aktywności Robotycznej



Plan prezentacji

- Silnik krokowy.



KoPaR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Plan prezentacji

- Silnik krokowy.
- Dlaczego?



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI



Plan prezentacji

- Silnik krokowy.
- Dlaczego?
- Problemy projektowe i ich możliwe rozwiązania.



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Plan prezentacji

- Silnik krokowy.
- Dlaczego?
- Problemy projektowe i ich możliwe rozwiązania.
- Wstępne testy wybranych silników.



KOPAR

KLUB OPROGRAMOWANIA I PROJEKTOWANIA ROBOTÓW

Plan prezentacji

- Silnik krokowy.
- Dlaczego?
- Problemy projektowe i ich możliwe rozwiązania.
- Wstępne testy wybranych silników.
- Projekt, budowa.



KoPiAR

KOPIAR KATEDRA ROBOTYKI I MECHATYKI

Plan prezentacji

- Silnik krokowy.
- Dlaczego?
- Problemy projektowe i ich możliwe rozwiązania.
- Wstępne testy wybranych silników.
- Projekt, budowa.
- Testy, badania, problemy praktyczne.



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Plan prezentacji

- Silnik krokowy.
- Dlaczego?
- Problemy projektowe i ich możliwe rozwiązania.
- Wstępne testy wybranych silników.
- Projekt, budowa.
- Testy, badania, problemy praktyczne.
- Wnioski, podsumowanie.



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Plan prezentacji

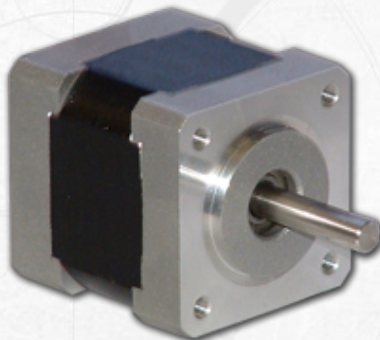
- **Silnik krokowy.**
- Dlaczego?
- Problemy projektowe i ich możliwe rozwiązania.
- Wstępne testy wybranych silników.
- Projekt, budowa.
- Testy, badania, problemy praktyczne.
- Wnioski, podsumowanie.



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Silnik krokowy

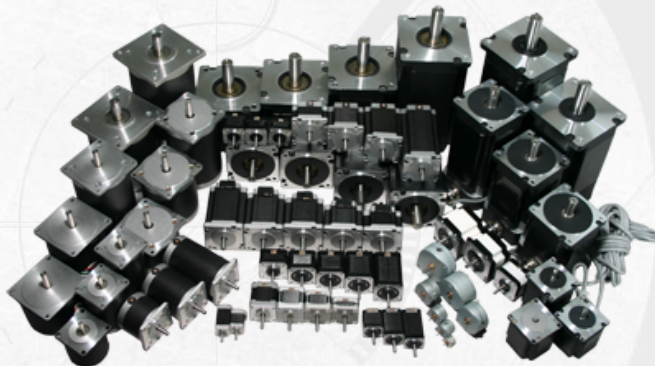


Rysunek: Silnik krokowy



KOPAR
KATEDRA NAPĘDÓW, ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Silnik krokowy



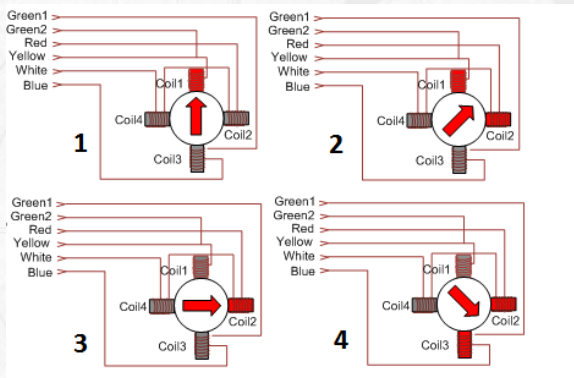
Rysunek: Dużo silników krokowych



KOPAR

KOPIA NAUKOWA, KROKOWY

Zasada działania silnika krokowego



Rysunek: Silnik krokowy



KOPAR

Krajowa Organizacja Promocyjna Aktywności Rolniczej

Zalety silnika krokowego



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI



Zalety silnika krokowego

- Kąt obrotu silnika proporcjonalny do liczby impulsów



KOPAR

KLUB OPAŁOWSKI, PORADNIK AKADEMICKI ROBOTYKI

Zalety silnika krokowego

- Kąt obrotu silnika proporcjonalny do liczby impulsów
- Silnik pracuje z pełnym momentem w stanie spoczynku



KOPAR

KATEDRA INŻYNIERII I ROBOTYKI W POZNANIU

Zalety silnika krokowego

- Kąt obrotu silnika proporcjonalny do liczby impulsów
- Silnik pracuje z pełnym momentem w stanie spoczynku
- Żywotność silnika wyznaczona wytrzymałością łożysk i cewek



KOPAR

Katedra Robotyki i Automatyki

Zalety silnika krokowego

- Kąt obrotu silnika proporcjonalny do liczby impulsów
- Silnik pracuje z pełnym momentem w stanie spoczynku
- Żywotność silnika wyznaczona wytrzymałością łożysk i cewek
- Możliwość pracy w otwartej pętli sterowania



KOPAR

Katedra Robotyki i Automatyki

Wady silnika krokowego



KoPaR

KLUB OBYWATELSKI PROMOCJI AKTYWNOŚCI ROBOTYCZNYCH



Wady silnika krokowego

- Przeznaczone do pracy z małymi prędkościami



KOPAR

Krajowa Organizacja Promocji Aktywności Rolniczej

Wady silnika krokowego

- Przeznaczone do pracy z małymi prędkościami
- Występuje zjawisko gubienia kroków



KOPAR

Klub Oświatowy Polaków w Ameryce

Wady silnika krokowego

- Przeznaczone do pracy z małymi prędkościami
- Występuje zjawisko gubienia kroków
- Duży pobór prądu



KOPAR

Klub Opałowy, Robotyczny i Akademicki



Wady silnika krokowego

- Przeznaczone do pracy z małymi prędkościami
- Występuje zjawisko gubienia kroków
- Duży pobór prądu
- Duża emisja ciepła



KOPAR

KLUB OPORU I PRĘDKOŚCI AKADEMICKIEJ ROBOTYKI

Wady silnika krokowego

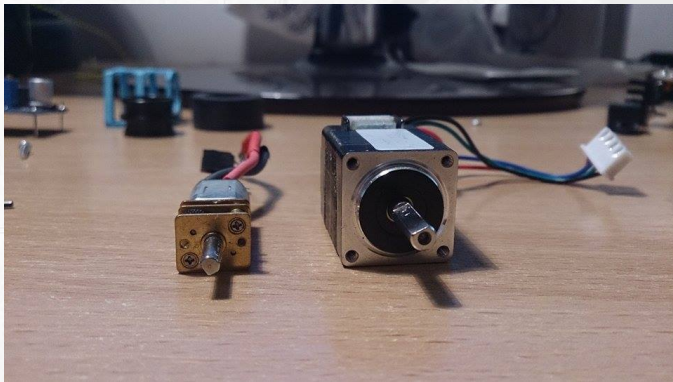
- Przeznaczone do pracy z małymi prędkościami
- Występuje zjawisko gubienia kroków
- Duży pobór prądu
- Duża emisja ciepła
- Waga i rozmiary



KOPAR

Klub Oświatowy Polaków w Ameryce

Porównanie silnika krokowego z mikrosilnikiem Pololu



Rysunek: Widok od przodu



KOPAR

Katedra Inżynierii, Politechniki Wrocławskiej

Porównanie silnika krokowego z mikrosilnikiem Pololu



Rysunek: Widok z góry



KOPAR

KOŁA NAUKOWE, PRZEDSIĘWZIMIA

Porównanie silnika krokowego z mikrosilnikiem Pololu



Rysunek: Widok z boku

Porównanie silnika krokowego z mikrosilnikiem Pololu

Parametr	Silnik krokowy	Mikrosilnik Pololu 30:1
Waga	60 g	10 g



KOPAR

KLUB OPROGRAMOWANIA I ROBOTYKI AKADEMICKIEJ

Porównanie silnika krokowego z mikrosilnikiem Pololu

Parametr	Silnik krokowy	Mikrosilnik Pololu 30:1
Waga	60 g	10 g
Wymiary	20 x 20 x 30 mm	10 x 12 x 24 mm



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Porównanie silnika krokowego z mikrosilnikiem Pololu

Parametr	Silnik krokowy	Mikrosilnik Pololu 30:1
Waga	60 g	10 g
Wymiary	20 × 20 × 30 mm	10 × 12 × 24 mm
Napięcie zasilania	3.9 V	3 – 9 V



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Porównanie silnika krokowego z mikrosilnikiem Pololu

Parametr	Silnik krokowy	Mikrosilnik Pololu 30:1
Waga	60 g	10 g
Wymiary	20 × 20 × 30 mm	10 × 12 × 24 mm
Napięcie zasilania	3.9 V	3 – 9 V
Pobór prądu	600 mA	120 mA – 1600 mA



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Porównanie silnika krokowego z mikrosilnikiem Pololu

Parametr	Silnik krokowy	Mikrosilnik Pololu 30:1
Waga	60 g	10 g
Wymiary	20 × 20 × 30 mm	10 × 12 × 24 mm
Napięcie zasilania	3.9 V	3 – 9 V
Pobór prądu	600 mA	120 mA – 1600 mA
Moment obrotowy	140 g * cm (0.017 Nm)	600g * cm (0.059 Nm)

**KOPAR**

Katedra Robotyki i Automatyki

Porównanie silnika krokowego z mikrosilnikiem Pololu

Parametr	Silnik krokowy	Mikrosilnik Pololu 30:1
Waga	60 g	10 g
Wymiary	20 × 20 × 30 mm	10 × 12 × 24 mm
Napięcie zasilania	3.9 V	3 – 9 V
Pobór prądu	600 mA	120 mA – 1600 mA
Moment obrotowy	140 $g \cdot cm$ (0.017 Nm)	600 $g \cdot cm$ (0.059 Nm)
Średnica wału	4 mm	3 mm



KOPAR

Katedra Robotyki i Automatyki

Porównanie silnika krokowego z mikrosilnikiem Pololu

Parametr	Silnik krokowy	Mikrosilnik Pololu 30:1
Waga	60 g	10 g
Wymiary	20 × 20 × 30 mm	10 × 12 × 24 mm
Napięcie zasilania	3.9 V	3 – 9 V
Pobór prądu	600 mA	120 mA – 1600 mA
Moment obrotowy	140 $g \cdot cm$ (0.017 Nm)	600 $g \cdot cm$ (0.059 Nm)
Średnica wału	4 mm	3 mm
Cena	100 zł	70 zł



KOPAR

KLUB OPROGRAMOWANIA I ROBOTYKI AKADEMICKIEJ

Porównanie silnika krokowego z mikrosilnikiem Pololu

Parametr	Silnik krokowy	Mikrosilnik Pololu 30:1
Waga	60 g	10 g
Wymiary	20 × 20 × 30 mm	10 × 12 × 24 mm
Napięcie zasilania	3.9 V	3 – 9 V
Pobór prądu	600 mA	120 mA – 1600 mA
Moment obrotowy	140 $g \cdot cm$ (0.017 Nm)	600 $g \cdot cm$ (0.059 Nm)
Średnica wału	4 mm	3 mm
Cena	100 zł	70 zł
Sterowanie	Trudne	Proste



KOPAR

KLUB OPROGRAMOWANIA I ROBOTYKI AKADEMICKIEJ

Plan prezentacji

- Silnik krokowy.
- **Dlaczego?**
- Problemy projektowe i ich możliwe rozwiązania.
- Wstępne testy wybranych silników.
- Projekt, budowa.
- Testy, badania, problemy praktyczne.
- Wnioski, podsumowanie.



KOPAR

Katedra Robotyki i Automatyki

Dlaczego?



KoPaR

KLUB OBYWATELSKI PROMOCJI AKTYWNOŚCI ROBOTYCZNYCH



Dlaczego?

- Chęć budowy robota klasy micromouse.



KOPAR

KLUB OPROGRAMOWANIA I PROGRAMOWANIA AKADEMICKICH ROBOTÓW

Dlaczego?

- Chęć budowy robota klasy micromouse.
- Chęć dogłębniejszego poznania silników krokowych, sposobów sterowania, możliwości.



KOPAR

KLUB OPROGRAMOWANIA I ROBOTYKI AKADEMICKIEJ

Dlaczego?

- Chęć budowy robota klasy micromouse.
- Chęć dogłębniejszego poznania silników krokowych, sposobów sterowania, możliwości.
- Zbadanie sterowania opartego na otwartej pętli regulacji w robocie klasy micromouse.



KOPAR

KLUB OPROGRAMOWANIA I PROGRAMOWANIA AKADEMICKICH ROBOTÓW

Plan prezentacji

- Silnik krokowy.
- Dlaczego?
- **Problemy projektowe i ich możliwe rozwiązania**
- Wstępne testy wybranych silników .
- Projekt, budowa.
- Testy, badania, problemy praktyczne.
- Wnioski, podsumowanie.



KoNaR

KOŁO NAUKOWE, ROBOTYKOWE

Prędkość obrotowa, moment.



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI



Prędkość obrotowa, moment.

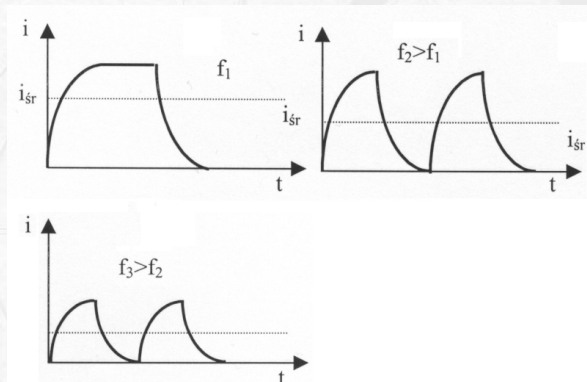
Silnik krokowy domyślnie nie ma przekładni, ma niewielkie moment obrotowy i przeznaczony jest na niskie prędkości obrotowe.



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Prędkość obrotowa, moment.



Rysunek: Zależność prądu od częstotliwości przełączania.

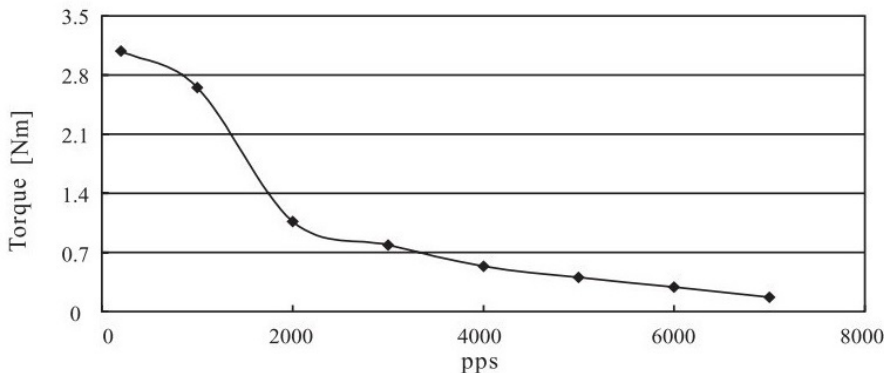


KOPAR

Katedra Napędów i Robotyki

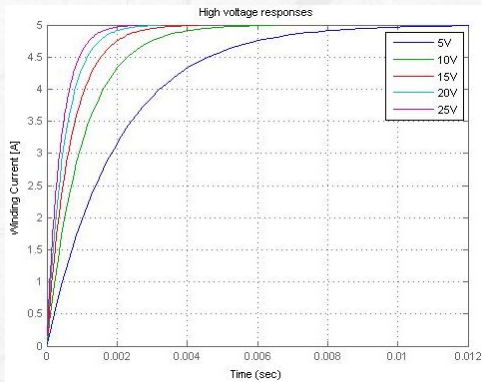
Prędkość obrotowa, moment.

Prędkość obrotowa, moment.



Rysunek: Zależność momentu obrotowego od prędkości.

Prędkość obrotowa, moment.



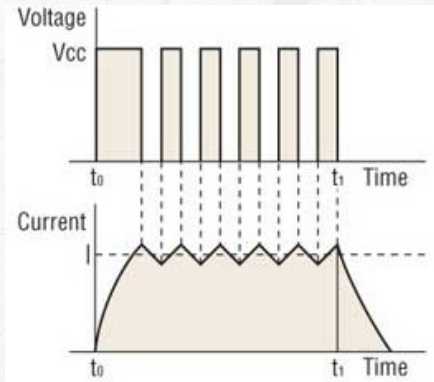
Rysunek: Krzywa ładowania układu LR w zależności od napięcia.



KOPAR

Katedra Robotyki i Automatyki

Prędkość obrotowa, moment.



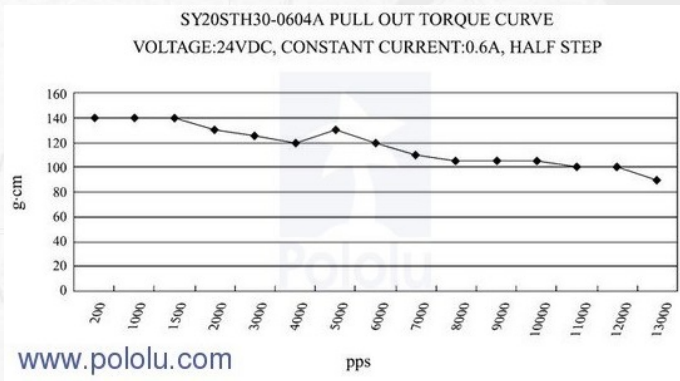
Rysunek: Ogranicznik prądowy, tzw. "chopper".



KOPAR

Katedra Robotyki i Automatyki

Prędkość obrotowa, moment.



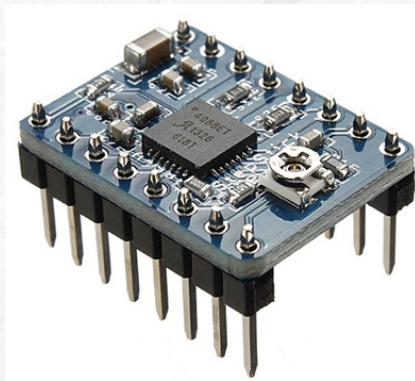
Rysunek: Ogranicznik prądowy, tzw. "chopper".



KOPAR

KLUB OPROGRAMOWANIA I PROJEKTOWANIA ROBOTÓW

Prędkość obrotowa, moment.



Rysunek: Sterownik silnika krokowego oparty o układ A4988.



KoPiAR

Katedra Inżynierii i Techniki, Uniwersytet Wrocławski

Prędkość obrotowa, moment.



Rysunek: Przetwornica Step-up.



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Mocowania

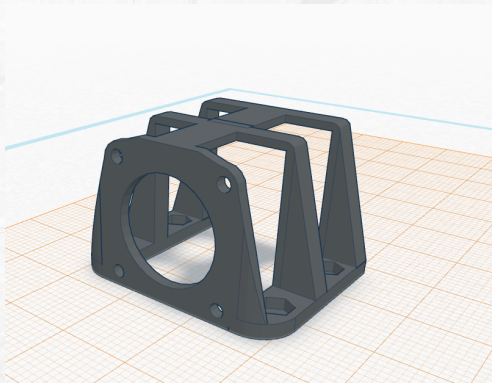


KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI



Mocowania



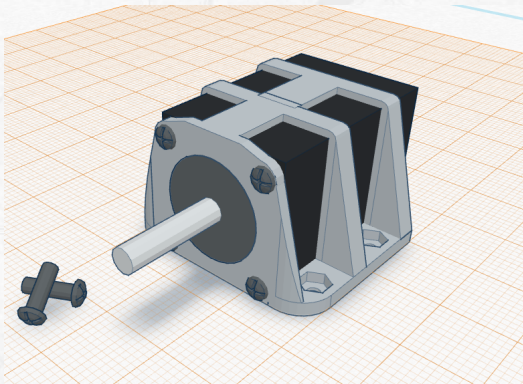
Rysunek: Mocowanie silnika NEMA8.



KOPAR

KATEDRA INŻYNIERII I PROJEKTOWANIA ROBOTYKI

Mocowania



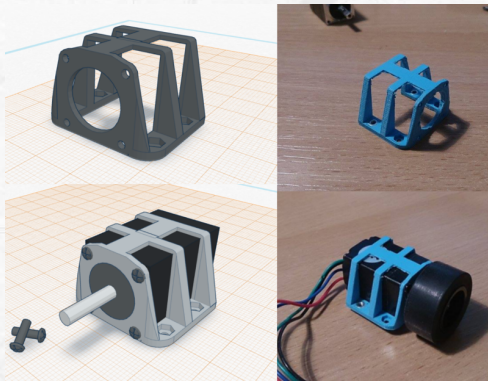
Rysunek: Mocowanie silnika NEMA8.



KOPAR

KLUB OPROGRAMOWANIA I PROJEKTOWANIA ROBOTÓW

Mocowania



Rysunek: Mocowanie silnika NEMA8.



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Plan prezentacji

- Silnik krokowy.
- Dlaczego?
- Problemy projektowe i ich możliwe rozwiązania.
- **Wstępne testy wybranych silników.**
- Projekt, budowa.
- Testy, badania, problemy praktyczne.
- Wnioski, podsumowanie.



KoNaR

KOŃSKI NAUKOWY, ROBOTYKOWY

Prędkość obrotowa

Napięcie zasilania: 24 V
Sterowanie: pełnokrokowe



KOPAR

KLUB OPROGRAMOWANIA I ROBOTYKI AKADEMICKIEJ

Prędkość obrotowa

Napięcie zasilania: 24 V
Sterowanie: pełnokrokowe

Maksymalna osiągnięta prędkość obrotowa bez obciążenia: 45 RPS
Sygnał sterujący o częstotliwości 9 KHz



KOPAR

Krajowe Ośrodki Promocji Akademickiej Robotyki

Plan prezentacji

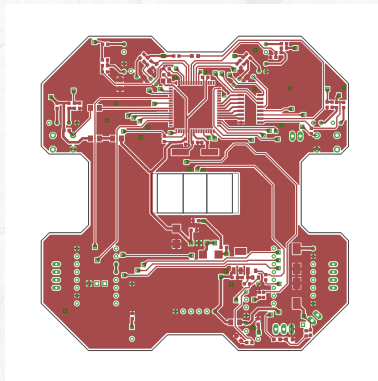
- Silnik krokowy.
- Dlaczego?
- Problemy projektowe i ich możliwe rozwiązania.
- Wstępne testy wybranych silników.
- **Projekt, budowa.**
- Testy, badania, problemy praktyczne.
- Wnioski, podsumowanie.



KoNaR

KOŃSKI NAUKOWY, ROBOTYKOWY

Projekt płytki



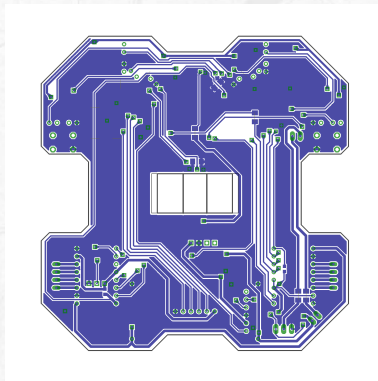
Rysunek: Warstwa top płytki



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Projekt płytki



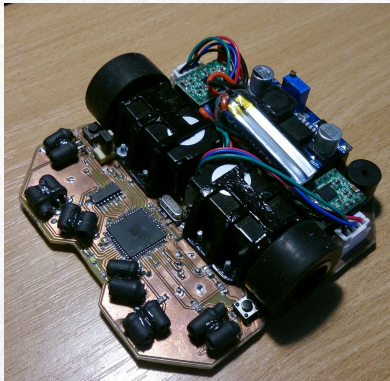
Rysunek: Warstwa bottom płytki



IoPnAR
Instytut Robotyki i Mechatyki

Katedra Inżynierii Robotyki i Mechatyki

Robot



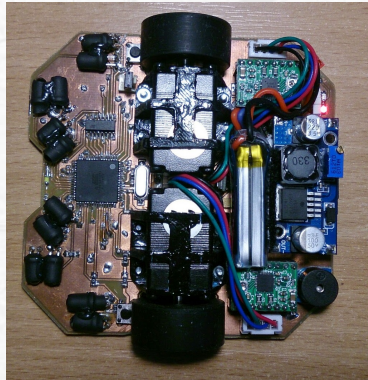
Rysunek: Widok z boku



KOPAR

Klub Oprogramowania i Robotyki Akademickiej

Robot



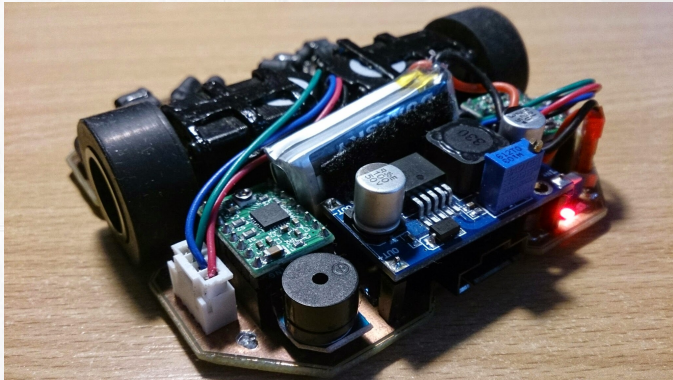
Rysunek: Widok z góry



KOPAR

KLUB OPROGRAMOWANIA I ROBOTYKI AKADEMICKIEJ

Robot



Rysunek: Widok z tyłu



KOPAR

KLUB OŚWIATOWY I PROMOCYJNY AKTYWNYCH ROBOTÓW

Plan prezentacji

- Silnik krokowy.
- Dlaczego?
- Problemy projektowe i ich możliwe rozwiązania.
- Wstępne testy wybranych silników.
- Projekt, budowa.
- **Testy, badania, problemy praktyczne.**
- Wnioski, podsumowanie.



KOPAR

KLUB OPROGRAMOWANIA I PROJEKTOWANIA ROBOTÓW

Testy prędkości



KOPAR

Krajowa Organizacja Pracy Akademickiej Robotyki



Testy prędkości

- Zasilanie silników: 24 V.



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Testy prędkości

- Zasilanie silników: 24 V.
- Sterowanie: ćwierćkroki (800 impulsów na obrót).



KOPAR

KLUB OPROGRAMOWANIA I ROBOTYKI AKADEMICKIEJ

Testy prędkości

- Zasilanie silników: 24 V.
- Sterowanie: ćwierćkroki (800 impulsów na obrót).
- Koła: Solarbotics o średnicy 2.8 cm.



KOPAR

KLUB OPROGRAMOWANIA I ROBOTYKI AKADEMICKIEJ

Testy prędkości

- Zasilanie silników: 24 V.
- Sterowanie: ćwierćkroki (800 impulsów na obrót).
- Koła: Solarbotics o średnicy 2.8 cm.
- Masa robota: 225 g.



KOPAR

KLUB OPROGRAMOWANIA I ROBOTYKI AKADEMICKIEJ

Testy prędkości

Maksymalna uzyskana prędkość: 211cm/s
Maksymalne testowane przyspieszenie: 52cm/s^2



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Film

Test prędkości



KOPAR

KLUB OŚWIATOWY POLITECHNIKI AKADEMICKIEJ ROBOTYKI

Film

Test dokładności:

- Otwarta pętla sprzężenia zwrotnego, brak sprzężenia od środowiska.
- Robot pierwszej generacji.



KoPaR

KOŁA NAUKOWE, PRZEDZYMOWY

Film

Testy w labiryncie ze sprzężeniem od czujników.



KOPAR

Katedra Robotyki i Automatyki



Plan prezentacji

- Silnik krokowy.
- Dlaczego?
- Problemy projektowe i ich możliwe rozwiązania.
- Wstępne testy wybranych silników.
- Projekt, budowa.
- Testy, badania, problemy praktyczne.
- **Wnioski, podsumowanie.**



KOPAR

Klub Oprogramowania i Robotyki Akademickiej

Co zostało zrealizowane?



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI



Co zostało zrealizowane?

- Rozwiązanie większości problemów projektowych.



KoPiAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Co zostało zrealizowane?

- Rozwiązanie większości problemów projektowych.
- Budowa robota spełniającego wymagania klasy micromouse.



KOPAR

KLUB OLIMPIADY PROGRAMOWANIA I ROBOTYKI AKADEMICKIEJ

Co zostało zrealizowane?

- Rozwiązanie większości problemów projektowych.
- Budowa robota spełniającego wymagania klasy micromouse.
- Implementacja regulatora częstotliwości oraz algorytmu grafowego (*floodfill*).



KOPAR

KLUB OPROGRAMOWANIA I PROGRAMOWANIA AKADEMICKICH ROBOTÓW

Co zostało zrealizowane?

- Rozwiązanie większości problemów projektowych.
- Budowa robota spełniającego wymagania klasy micromouse.
- Implementacja regulatora częstotliwości oraz algorytmu grafowego (*floodfill*).
- Start w zawodach.



KoPiAR

Katedra Inżynierii Robotyki i Mechatyki

Co zostało zrealizowane?

- Rozwiązanie większości problemów projektowych.
- Budowa robota spełniającego wymagania klasy micromouse.
- Implementacja regulatora częstotliwości oraz algorytmu grafowego (*floodfill*).
- Start w zawodach.
- Ukończenie labiryntu na zawodach.



KoPiAR

Katedra Inżynierii Robotyki i Mechatyki

Co zostało zrealizowane?

- Rozwiązanie większości problemów projektowych.
- Budowa robota spełniającego wymagania klasy micromouse.
- Implementacja regulatora częstotliwości oraz algorytmu grafowego (*floodfill*).
- Start w zawodach.
- ~~Ukończenie labiryntu na zawodach.~~ (Rybnik plz)



KOPAR

Klub Oprogramowania i Programowania Robotów

Wnioski

- Silniki krokowe pozwalają na bardzo dokładne sterowanie robotem mobilnym, z dokładnością do zgubionych kroków.



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI

Wnioski

- Silniki krokowe pozwalają na bardzo dokładne sterowanie robotem mobilnym, z dokładnością do zgubionych kroków.
- Wykorzystując podwyższone napięcie oraz sterowniki silników krokowych, można osiągnąć rozsądne prędkości i przyspieszenia.



KoPiAR

KOPIAR - KROKOWE ODPORNE I AKTYWNE ROBOTYKOWE

Wnioski

- Głównymi problemami nie do pokonania są waga i rozmiar.



KoNaR

KOŃSKI NAUKOWY, ROBOTYKOWY I MECHATRONICZNY



Wnioski

- Głównymi problemami nie do pokonania są waga i rozmiar.
- Układ zasilania w połączeniu z układem sterowania zajmuje sporo miejsca, przez co zmieszczenie tego na małym robocie mobilnym jest nieco problematyczne.



KoPiAR

KOPIAR KATEDRA ROBOTYKI I MECHATRONIKI

Koniec

Dziękuję za uwagę!



KOPAR

KATEDRA ROBOTYKI I AUTOMATYKI



Easter egg

I jeszcze na koniec mały dodatek...



KoPaR

KLUB NAUKOWY POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

IRB 1400 grożący Adamowi



KOPAR

KLUB OŚWIATOWY POLITECHNIKI AKADEMICKIEJ ROBOTYKI