



KATEDRA MECHANIKI I PODSTAW KONSTRUKCJI MASZYN
POLITECHNIKA OPOLSKA

MECHATRONIKA

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych

Układ sterowania napędu mechatronicznego z silnikiem krokowym.

Opracował: Dr inż. Roland Pawliczek

Opole 2016

Cel ćwiczenia

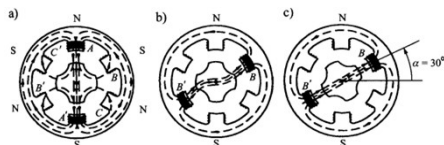
- Zapoznanie się z budową i zasadą działania silnika krokowego.
- Zapoznanie się z układami sterowania takiego silnika na przykładzie napędu liniowego z silnikiem krokowym.

Uwaga: Laboratorium w formie prezentacji urządzeń.

Przetwornik elektromagnetyczny

Wykorzystują siłę **reluktancji** (oporności magnetycznej) – układ dąży do położenia, w którym reluktancja jest najmniejsza.

Magnesy obrotowe:



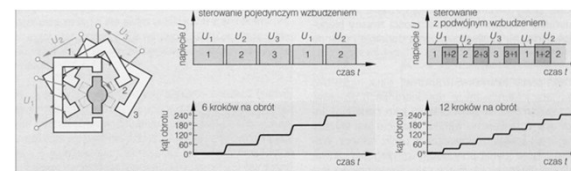
- trzy pary biegunów N-S (sterowalne)
- włączenie fazy BB' - wirnik dopasowuje się tak, aby opór magnetyczny dla przepływu strumienia magnetycznego był jak najmniejszy.

kąt obrotu

p – liczba faz, z_w – liczba zębów wirnika

$$|\alpha| = \frac{360^\circ}{pz_w}$$

Silniki krokowe



- 1) kroki 1, 2, 3 – obrót o 180° , kąt obrotu
pełny obrót = 6 kroków
- 2) kroki 1, 1+2, 2, 2+3, 3, 3+1, ...
pełny obrót = 12 kroków
- 1) Zwykle liczba kroków na jeden obrót wynosi 80!

- zbudowane są jak magnesy obrotowe
- wystawiane elektronicznie przez impulsowe sygnały prądowe
- każdy impuls prądowy = krok kątowy wirnika
- jednostkowy kąt obrotu $\alpha = 15^\circ$ do $\alpha = 0,36^\circ$

Zalety silnika krokowego

- Kąt obrotu silnika jest **proporcjonalny** do ilości impulsów wejściowych.
- Silnik pracuje z **pełnym momentem w stanie spoczynku** (o ile uzwojenia są zasilane).
- **Precyzyjne pozycjonowanie i powtarzalność ruchu** – dobre silniki krokowe mają dokładność ok. 3 - 5% kroku i błąd ten nie kumuluje się z kroku na krok.
- Możliwość bardzo szybkiego rozbiegu, hamowania i zmiany kierunku.
- **Niezawodne** - ze względu na brak szczotek. Żywotność silnika zależy zatem tylko od żywotności łożysk.
- **Zależność obrotów silnika od dyskretnych impulsów umożliwia sterowanie w pętli otwartej, przez co silnik krokowy jest łatwiejszy i tańszy w sterowaniu.**
- Szeroki zakres prędkości obrotowych uzyskiwany dzięki temu, że **prędkość jest proporcjonalna do częstotliwości impulsów** wejściowych.

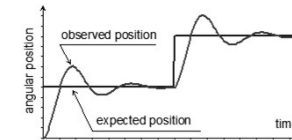
Wady silnika krokowego

- Rezonans mechaniczny pojawiający się przy niewłaściwym sterowaniu.

$$f_0 = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{nM_s}{J_C}}$$

M_s – moment spoczynkowy
 n – liczba biegunów rotora

$J_C = J_R + J_O$ – moment bezwładności rotora i obciążenia



- Trudności przy pracy z bardzo dużymi prędkościami

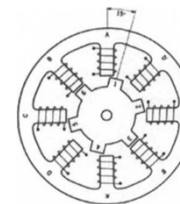
Budowa silników krokowych



Rodzaje silników krokowych

Silnik krokowy o zmiennej reluktancji

Jest to najprostszy silnik krokowy ze strukturalnego punktu widzenia. Silnik taki składa się z rotora o wielu zębach wykonanego z miękkiej stali i uzwojonego stojana. Kiedy uzwojenia stojana są zasilane prądem stałym, bieguny namagnesowują się. Ruch pojawia się na skutek przyciągania zębów rotora przez zasilane bieguny.

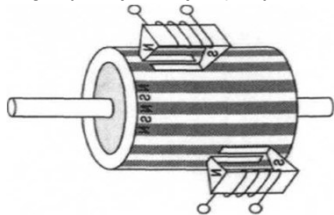


Przekrój poprzeczny silnika o zmiennej reluktancji

Rodzaje silników krokowych

Silnik krokowy z magnesem trwałym

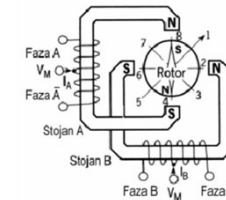
- Kąt jednostkowy $7,5^\circ - 15^\circ$ (48 - 24 kroków na obrót).
- Rotor nie posiada zębów, lecz jest namagnesowany naprzemiennie biegunami N i S tak, iż są one usytuowane równolegle do osi rotora.
- Namagnesowane bieguny rotora wpływają na zwiększenie indukcji magnetycznej, co daje lepszą charakterystykę momentową



Schemat budowy silnika z magnesami trwałymi

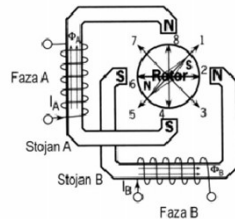
Silnik krokowy unipolarny

- Silnik unipolarny ma jedno uzwojenie na fazę z odczepem pośrodku.
- Sterowanie unipolarne zapewnia przepływ prądu w danym uzwojeniu tylko w jednym kierunku.
- Zaletą wariantu unipolarnego jest prostszy układ połączeń i mniejsza liczba tranzystorów, wadą zaś to, że jednocześnie pracuje tylko połowa uzwojenia, a zatem nie wytwarza się moment obrotowy o pełnej wartości.



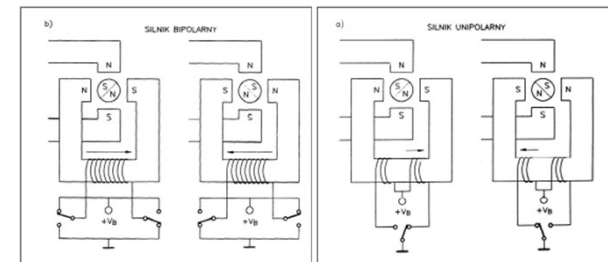
Silnik krokowy bipolarny

- Silnik bipolarny o dwóch fazach ma jedno uzwojenie na fazę.
- Sterowanie bipolarne zapewnia przepływ prądu w dwóch kierunkach.
- Zaletą sterowania bipolarnego jest dobre wykorzystanie momentu obrotowego dzięki temu, że całe uzwojenie jest w stanie prądowym po otrzymaniu impulsu



Sterowanie unipolarne i bipolarne

Porównanie układów sterowania bipolarnego i unipolarnego

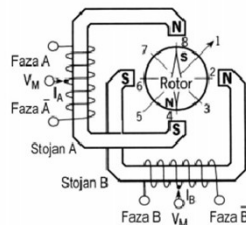


Rodzaje kroku pracy silnika

Sterowanie falowe

- Zasilana jedna faza : $A \rightarrow B \rightarrow \bar{A} \rightarrow \bar{B}$
Pozycja rotora: $8 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 6$

Wadą takiego sposobu sterowania jest to, że silniki o uzwojeniach unipolarnych wykorzystują tylko 25%, a o uzwojeniach bipolarnych 50% całkowitego uzwojenia silnika w danej chwili. Oznacza to, że nie uzyskuje się maksymalnego momentu wyjściowego silnika.

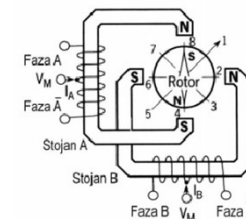


Rodzaje kroku pracy silnika

Sterowanie pełnokrokowe

- Zasilane dwie fazy jednocześnie: $AB \rightarrow \bar{A}\bar{B} \rightarrow \bar{A}B \rightarrow AB$
Pozycja rotora: $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 7$

Wynikiem sterowania pełnokrokowego są takie same ruchy jak przy sterowaniu z jedną fazą włączoną, ale pozycja rotora jest przesunięta o pół pełnego kroku. Wyjściowy moment obrotowy silnika o uzwojeniach unipolarnych jest mniejszy niż w silniku bipolarnym (dla silników o tych samych parametrach uzwojeń), gdyż silnik unipolarny wykorzystuje tylko 50% uzwojenia, podczas gdy bipolarny całe.



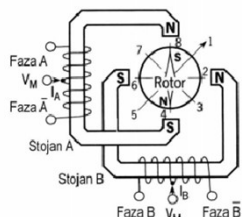
Rodzaje kroku pracy silnika

Sterowanie półkrokowe

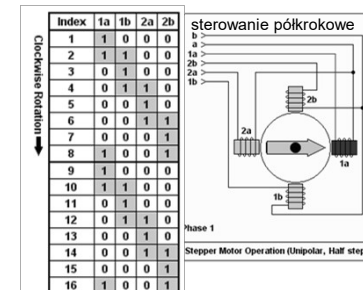
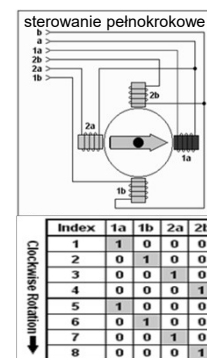
- Zasilane dwie fazy jednocześnie:
 $AB \rightarrow B \rightarrow \bar{A}\bar{B} \rightarrow \bar{A} \rightarrow \bar{A}B \rightarrow B \rightarrow AB \rightarrow \bar{A}$
Pozycja rotora: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8$

Sterowanie półkrokowe jest kombinacją sterowania falowego i pełnokrokowego. Co drugi krok zasilana jest tylko jedna faza, a w pozostałych krokach - dwie fazy.

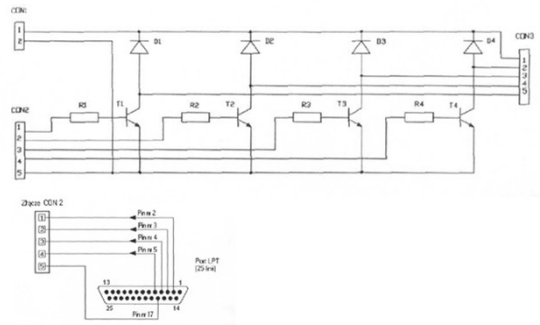
Sterowanie półkrokowe może zredukować efekt rezonansu mechanicznego, który ujawnia się silnie w dwóch poprzednich rodzajach sterowania.



Kody binarne sterowania

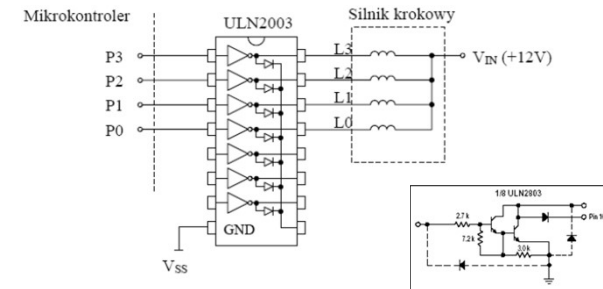


Kluczowanie zasilania uzwojeń

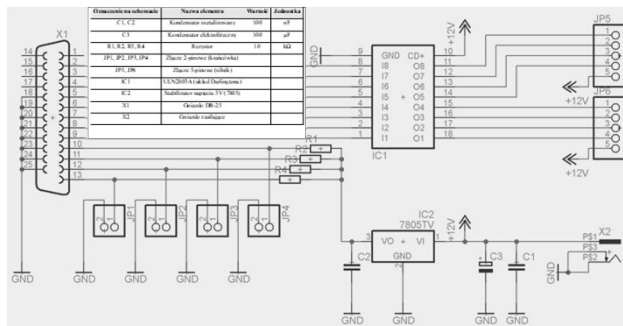


Sterowanie z układem ULN2003

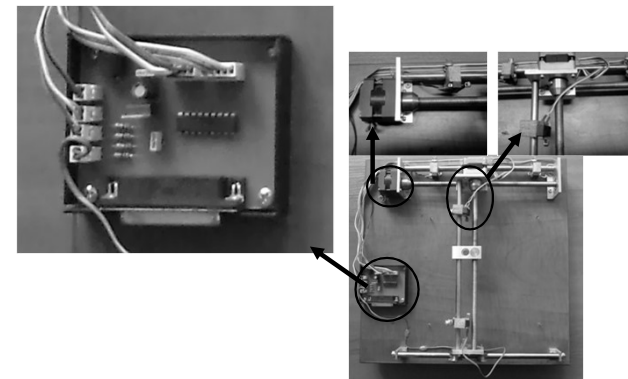
- Prądy w uzwojeniach silnika są kluczowane przez tranzystory zawarte w układzie scalonym ULN2003



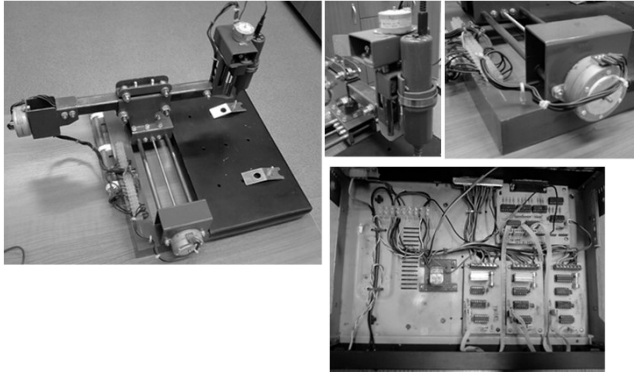
Sterowanie z układem ULN2003



Sterowanie z układem ULN2003



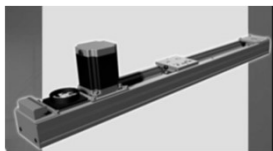
Przykład: frezarka 3D



Przykład: silnik + sterownik

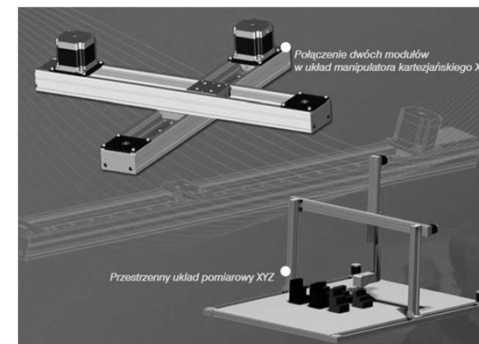


Przykład: Moduł liniowy WOBIT MLA ©

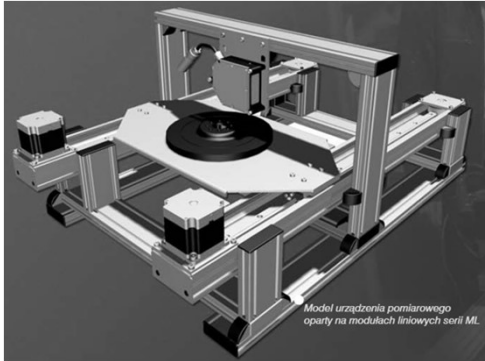


- Urządzenie do realizacji przemieszczeń liniowych wymagających pozycjonowania.
- Wózek napędzany jest paskiem zębatym. Pozycjonowanie paskiem zębatym jest tańszą alternatywą dla rozwiązań bazujących na śrubach pociągowych.
- Moduł napędzany jest silnikiem krokowym
- Profil wykonany z utwardzanego stopu aluminium 6061 T6,

Przykład: Moduł liniowy WOBIT MLA ©



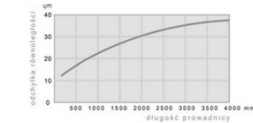
Przykład: Moduł liniowy WOBIT MLA ©



Przykład: Moduł liniowy WOBIT MLA ©

Dane techniczne (dla modułu liniowego MLA0373-6H15AKK):

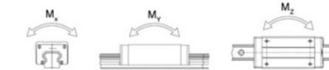
Maks. prędkość liniowa (wzr. zasilanego silnika liniowego)	0,6 [m/s]
Długość drogi pozycjonowania (przyśpiesz. $a_0 = 1,0 \text{ m/s}^2$, obciążenie $\leq 10\% F_{max}$)	0,1 [mm]
Maks. przyspieszenie	200 [ob/s ²]
Materiał profilu	Aluminium 6061-T6
Masa profilu	1,81 [kg/m]
Moment obrotowy silnika	1,2 [Nm]
Maksymalna siła F	20 [N]
Masa kompletnego modułu	3,4 [kg]
Dane prowadnicy liniowej	
Zastosowane prowadnice	HGH15
Maks. dopuszczalna prędkość liniowa	3 [m/s]
Maks. nośność statyczna prowadnicy C	25,31 [kN]
Maks. nośność dynamiczna prowadnicy C _d	11,38 [kN]
Masa prowadnicy HGH15	1,45 [kg/m]
Odczytka równoległości wózka względem prowadnicy	patrz rys.3
Wariancja wysokości H	0,02 [mm]
Wariancja szerokości N	0,02 [mm]
Tolerancja wysokości H	$\pm 0,1$ [mm]



Rys.3 Odczytka równoległości wózka względem prowadnicy



Rys.2 Dopuszczalne obciążenia



Moment statyczny		
M _x [Nm]	M _y [Nm]	M _z [Nm]
170	150	150

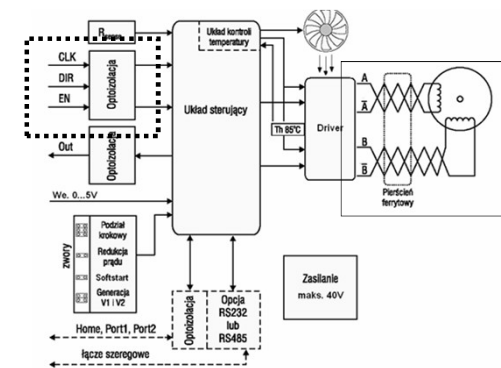
Przykład: Programowalny sterownik WOBIT SMC64v2 ©



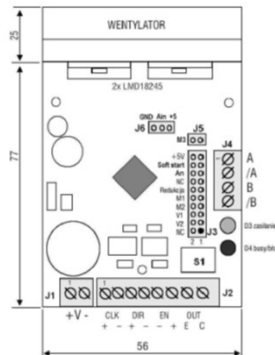
Właściwości

- Mikroprocesor, scalone stopnie mocy dla silników dwufazowych bipolarnych,
- Ochrona temperaturowa, napięciowa i przeciwzwarciowa
- Napięcie zasilania maks. 40V DC,
- Wysoki prąd znamionowy 3,5A (4A chwilowy),
- Praca pełno-, półkrokowa lub mikrokrokowa (1/4, 1/5, 1/8, 1/10, 1/16),
- Funkcja miękkiego startu i nawrotu,
- Optoizolacja sygnałów wejściowych i wyjściowych,
- Wskaznik LED dla zasilania i wyjścia błędu,

Przykład: Programowalny sterownik WOBIT SMC64v2 ©

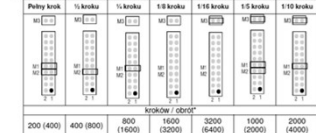


Przykład: Programowalny sterownik WOBIT SMC64v2 ©



3.1 Wybór podziału kroku

Podział krokowy realizowany jest za pomocą zworek M1, M2 i M3 wg poniższego schematu:



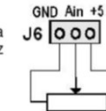
* dla silnika o skoku 1,8° (w nawiasie 0,9°)

Przykład: Programowalny sterownik WOBIT SMC64v2 ©

3.3.2 Tryb wejścia 0..5V (Ain)

Tryb ten umożliwia zadawanie prędkości za pomocą wejścia analogowego Ain (J6).

Sygnał analogowy należy podłączyć do złącza J6. Można również podłączyć bezpośrednio potencjometr zgodnie z rysunkiem obok.



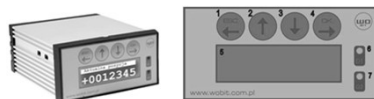
Procedura aktywacji wejścia Ain:

- 1) wyłączyć zasilanie sterownika,
- 2) włożyć zworkę AN,
- 3) włączyć zasilanie sterownika.

Od tego momentu częstotliwość generatora wewnętrznego sterownika jest proporcjonalna do napięcia podawanego na wejście Ain wg wzoru:

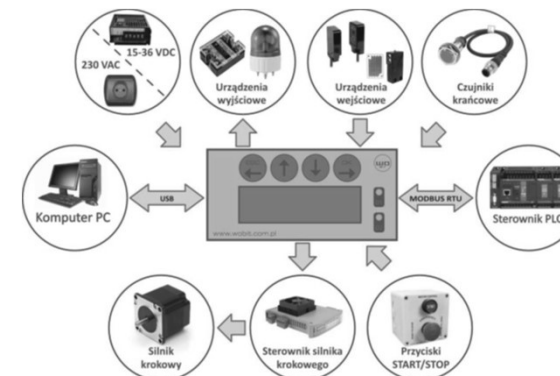
$$F_{gen} \text{ (Hz)} = \text{Ain} \cdot 204,8,$$

Przykład: Zadajnik trajektorii MG-Z1 ©

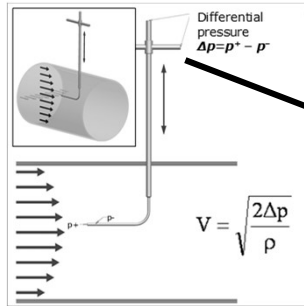


- Jednoosiowy zadajnik MG-ZT1 w połączeniu ze sterownikiem mocy umożliwia generowanie trajektorii ruchu dla dowolnego silnika krokowego.
- Urządzenie znajduje zastosowanie w aplikacjach, gdzie zachodzi konieczność cyklicznego wykonywania sekwencji ruchów wału silnika o wielu parametrach, takich jak pozycja, prędkość, przyspieszenie i hamowanie.
- Dodatkowe wyjścia przekaźnikowe oraz cyfrowe wejścia optoizolowane, co pozwala na podłączenie innych urządzeń automatyki: czujniki optyczne, czy sygnalizatory zewnętrzne.

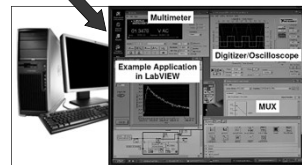
Przykład: Zadajnik trajektorii MG-Z1 ©



Przykład: Układ kontroli położenia czujnika

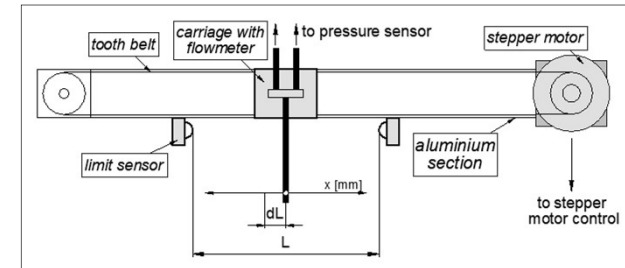


Układ kontroli położenia rurki Prandtla w celu wyznaczenia profilu prędkości strumienia gazu w przekroju kanału.



Przykład: Układ kontroli położenia czujnika

Idea napędu zmiany położenia czujnika



Przykład: Układ kontroli położenia czujnika

Zastosowanie modułu MLA

