

Sterowniki Robotów

Sensory i sterowanie

Wojciech Domski

Katedra Cybernetyki i Robotyki,
Politechnika Wrocławska



Wrocław University
of Science and Technology



Plan prezentacji

- 1 Wprowadzenie
- 2 Silniki komutatorowe prądu stałego DC
- 3 Silniki bezszczotkowe prądu stałego BLCD
- 4 Silniki krokowe
- 5 Typy sterowania
- 6 Stopień mocy
- 7 Sterowanie silnikami
- 8 Pomiar pozycji, prędkości i prądu



Wrocław University
of Science and Technology



Rodzaje silników

Wybrane typy silników prądu stałego stosowane w robotyce

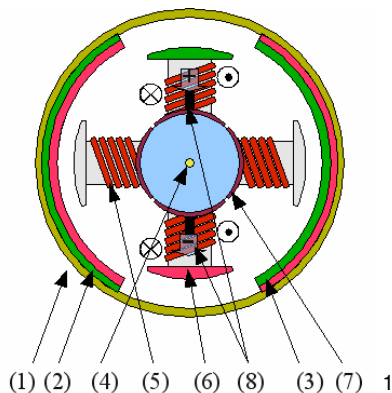
- silniki komutatorowe z magnesem trwałym PMDC (*Permanent Magnet DC*),
- bezszczotkowe silniki prądu stałego BLDC (*Brushless DC*),
- silniki krokowe (*Stepper Motor*).



Silniki komutatorowe prądu stałego DC



Budowa



Zastosowania

Silniki DC mogą być stosowane w szerokiej gamie urządzeń:

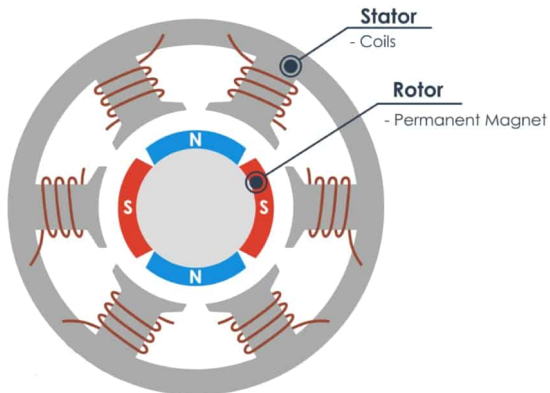
- układ napędowy pojazdów; napęd bezpośredni lub pośredni (przekładnia),
- urządzenia przemysłowe (pompy, wentylatory, przenośniki taśmowe),
- urządzenia robotyczne (manipulatory, platformy mobilne)
- urządzenia domowe (odkurzacze),
- urządzenia medyczne,
- pozycjonowanie,
- ...



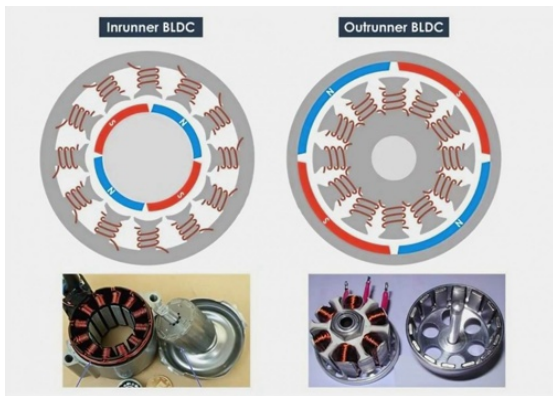
Silniki bezszczotkowe prądu stałego BLDC



Budowa



Inrunner i Outrunner



3



Wrocław University
of Science and Technology

³ican-motor.com



Zastosowania

Silniki BLDC mogą być stosowane w szerokiej gamie urządzeń:

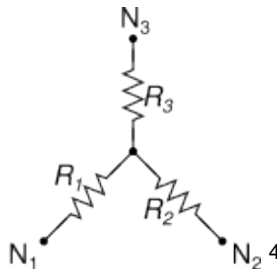
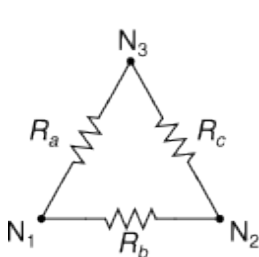
- układ napędowy pojazdów; zazwyczaj napęd bezpośredni (samochody, hulajnogi, skutery, ...)
- urządzenia robotyczne (manipulatory, platformy mobilne)
- urządzenia przemysłowe (pompy, wentylatory, przenośniki taśmowe),
- precyzyjne pozycjonowanie, (zarówno silniki rotacyjne jak i liniowe)
- napęd urządzeń latających (drony, samoloty)
- ...



Uzwojenie

Konfiguracja typu trójkąt i gwiazda

Trójkąt	Gwiazda
$I_u = \sqrt{3} I_f$	$I_u = I_f$
$U_u = U_f$	$U_u = \sqrt{3} U_f$



Wrocław University
of Science and Technology

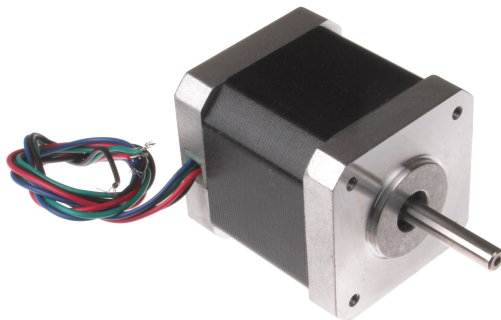
⁴Xyzy_n, wikipedia.org



Silniki krokowe



Budowa (1/2)



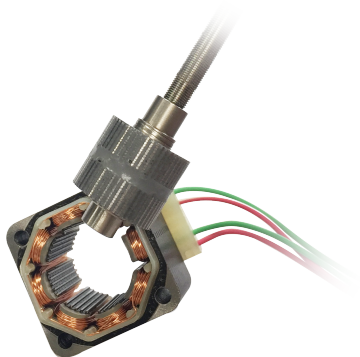
5



Wrocław University
of Science and Technology



Budowa (2/2)



6



Wrocław University
of Science and Technology

clippard.com

6



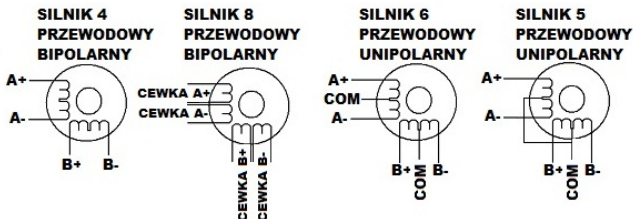
Zastosowania

Silniki krokowe mogą być stosowane w szerokiej gamie urządzeń:

- automatyzacja przemysłowa,
- napęd wózków/stołów w urządzeniach pozycjonujących (plotery, drukarki 3D)
- urządzenia medyczne i laboratoryjne (aparatura diagnostyczna, pompy),
- skanery (układ napędowy),
- automatyka samochodowa (lusterka)
- urządzenia astronomiczne (trackery),
- ...



Typy silników (1/1)



7



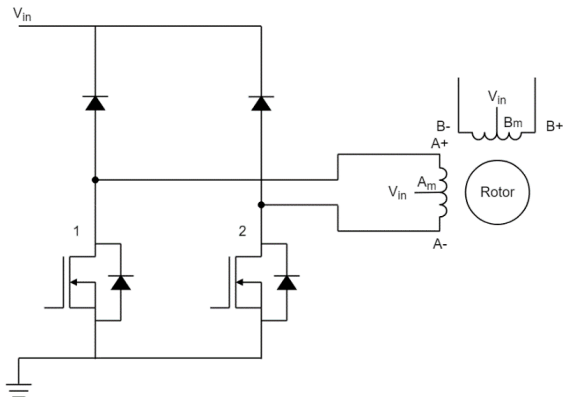
Silniki krokowe unipolarne (1/2)

Silniki krokowe unipolarne

- Jeden z odczepów (dodatkowy) podłączony jest do punktu środkowego cewki.
- W danym momencie czasu tylko połowa uzwojenia jest zasilana.
- Prostszy układ sterowania.
- Trudniejsza budowa mechaniczna.



Silniki krokowe unipolarne (2/2)



8



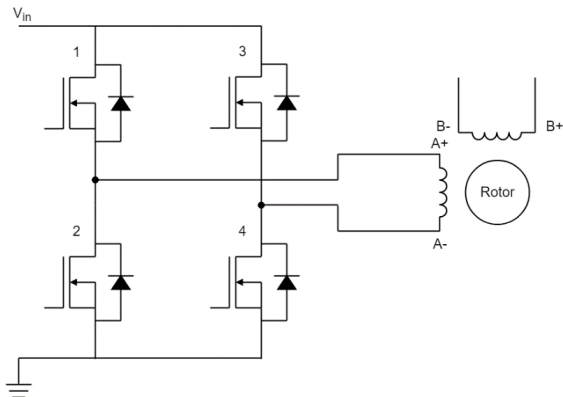
Silniki krokowe bipolarne (1/2)

Silniki krokowe bipolarne

- Cewka posiada tylko dwa odczepy.
- W danej chwili czasu wszystkie cewki mogą być zasilane.
- Bardziej skomplikowany układ sterowania.
- Łatwiejsza budowa mechaniczna



Silniki krokowe bipolarne (2/2)



9

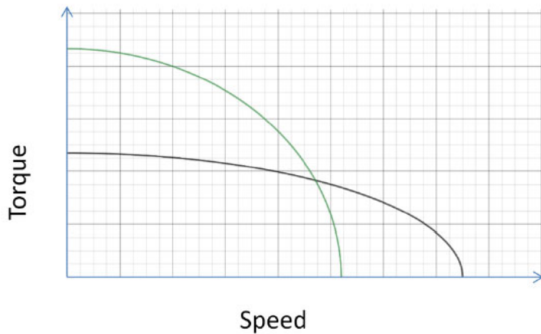


Wrocław University
of Science and Technology

9 monolithicpower.com



Różnice

Unipolar Bipolar 

10



Wrocław University
of Science and Technology

10ti.com



Typy sterowania

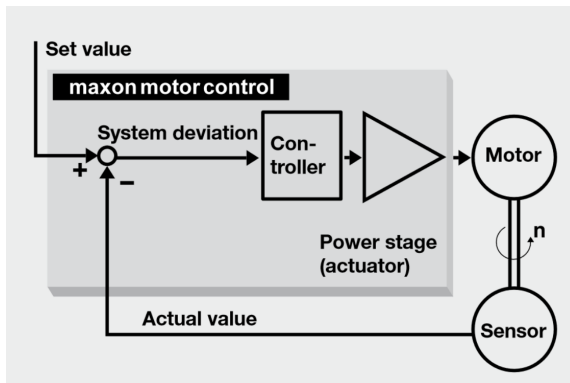


Rodzaje sterowania

- stabilizacja pozycji – sterowanie na poziomie kinematycznym,
- stabilizacja prędkości – sterowanie na poziomie kinematycznym,
- stabilizacja siły/momentu – sterowanie na poziomie dynamicznym.



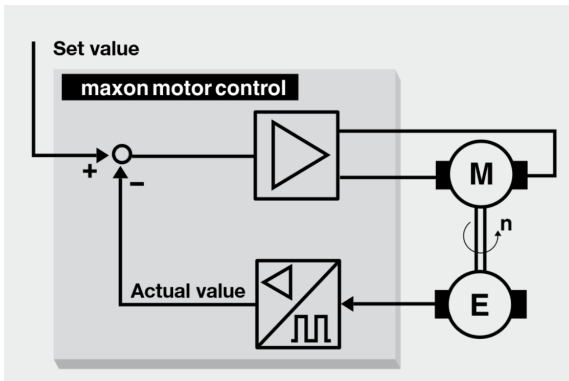
Układ sterowania pozycją/prędkością (1/3)



11



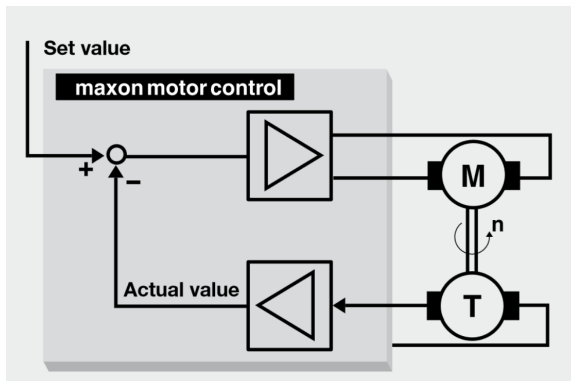
Układ sterowania pozycją/prędkością (2/3)



12



Układ sterowania pozycją/prędkością (3/3)



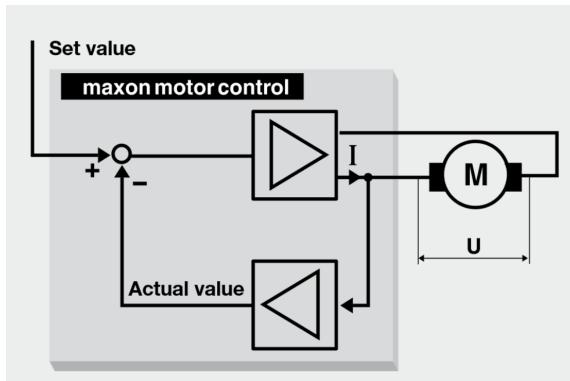
13



11. maxongroup.com
 12. Wrocław University of Science and Technology
 13. maxongroup.com



Układ sterowania momentem (1/1)



14

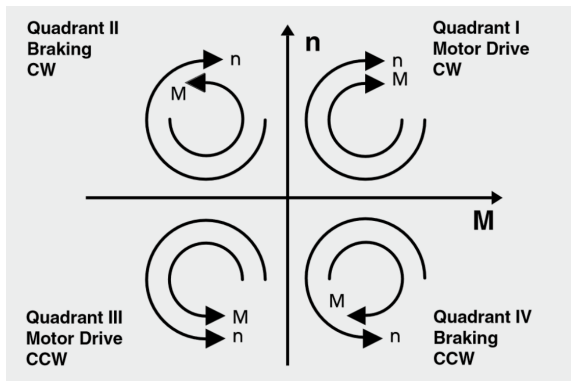


Wrocław University
of Science and Technology

14 maxongroup.com



Akcja silnika, a stan czujnika (1/1)



15

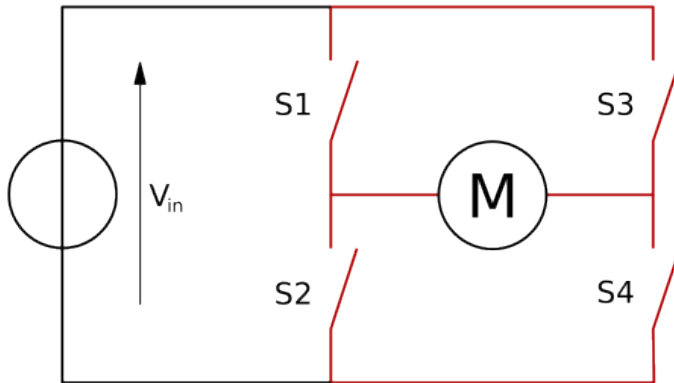


Wrocław University
of Science and Technology

15 maxongroup.com



Mostek H (1/2)



16



Wrocław University
of Science and Technology



Mostek H (2/2)

- umożliwia zmianę kierunku przepływu prądu,
- wymaga zastosowania czterech szybkich kluczy dużej mocy,
- wymaga zastosowania dodatkowego logicznego układu sterującego,
- różne techniki sterowania kluczami: unipolarny, bipolarny, 2Q, 4Q
- istnieją układy scalone zawierające jeden lub kilka mostków H: L293D, TB6612, MC33926, VNH3Sxx, ...

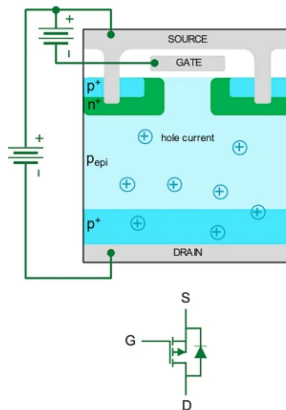
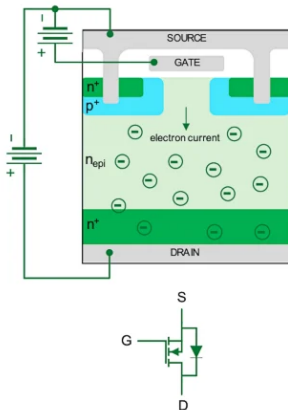


Eksploatacja

- Straty mocy jako ciepło
 - spadek napięcia na kluczach w stanie nasycenia ($I \cdot R_{DSon}$ dla unipolarnych, U_{CEsat} dla bipolarnych)
 - praca w liniowym zakresie tranzystora w stanach przejściowych (t_{on} , t_{off}) – wysterowanie bramki lub bazy
- Zagrożenie zniszczeniem mostka
 - przebiecie tranzystorów przez napięcie samoindukcji (obciążenie indukcyjne) przy braku diod lub ich niedostatecznej szybkości załączania
 - przekroczenie dopuszczalnej mocy strat w elementach (tranzystory, diody) lub przekroczenie dopuszczalnej temperatury na skutek złego chłodzenia
 - zjawisko „przestrzelenia” ((z ang. *shoot through*)) – brak zachowania martwej strefy ((z ang. *dead zone*)) przy przełączaniu tranzystorów w półmostku



Tranzystory MOSFET (1/2)



17



Wrocław University
of Science and Technology



Tranzystory MOSFET (2/2)

- napięcie brama-źródło V_{GS} ,
- maksymalne napięcie dren-źródło V_{DS} ,
- rezystancja dren-źródło podczas pracy $R_{DS_{on}}$



Różnice (1/4)

Stan	P-MOSFET	N-MOSFET
włączony	$V_{GS} < 0V$	$V_{GS} > 0V$
wyłączony	$V_{GS} > 0V$	$V_{GS} < 0V$
	$V_{DS} < 0V$	$V_{DS} > 0V$



Różnice (2/4)

P-MOSFET

Źródło podłączone do VCC. Brama podłączona do GND; tranzystor przewodzi. Brama podłączona do VCC; tranzystor nie przewodzi.

N-MOSFET

Źródło podłączone do GND. Brama podłączona do VCC; tranzystor przewodzi. Brama podłączona do GND; tranzystor nie przewodzi.

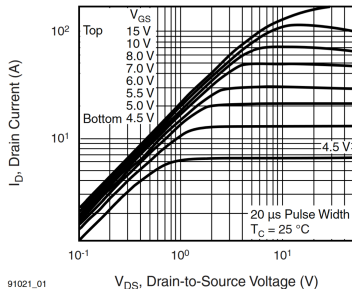


Różnice (3/4)

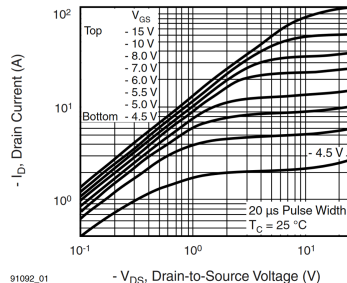
Aby otrzymać porównywalną rezystancję $R_{DS(on)}$ jak dla mosfetów typu N, mosfet typu P musi być 2x - 3x większy.



Różnice (4/4)



91021_01



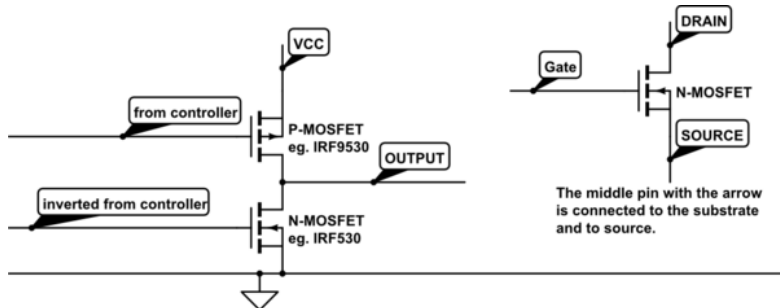
91092_01



Wrocław University
 of Science and Technology



Półmostek z transystorów MOSFET



18



Sterowanie silnikami



Sterowanie silnikiem komutatorowym prądu stałego z magnesem trwałym



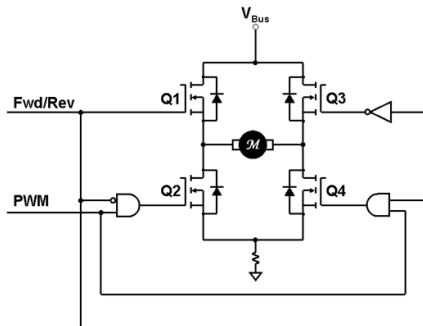
Sterowanie silnikiem DC

- komutator mechaniczny,
- zmiana kierunku obrotów poprzez zmianę polaryzacji zasilania,
- wymaga zastosowania jednego mostka H,
- liniowa charakterystyka obrotów silnika w funkcji napięcia zasilania,
- liniowa charakterystyka momentu obrotowego w funkcji prądu,



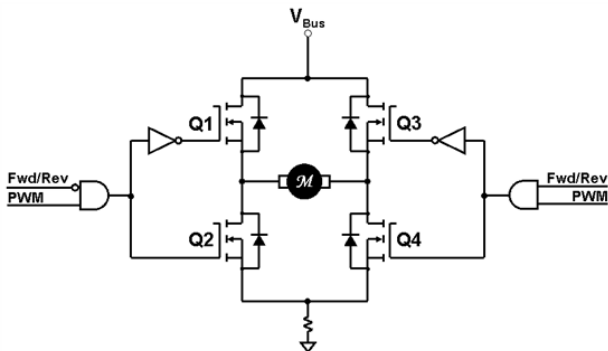
Sterowanie mostkiem H (1/6)

Unipolarny sterownik dwućwiartkowy (2Q)



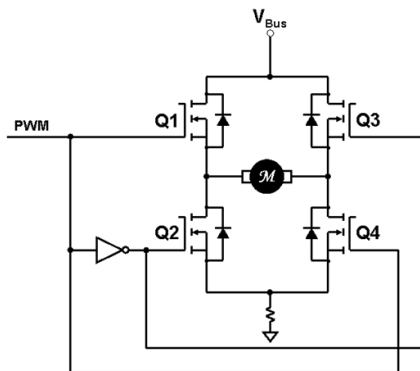
Sterowanie mostkiem H (2/6)

Unipolarny sterownik czteroćwiartkowy (4Q)



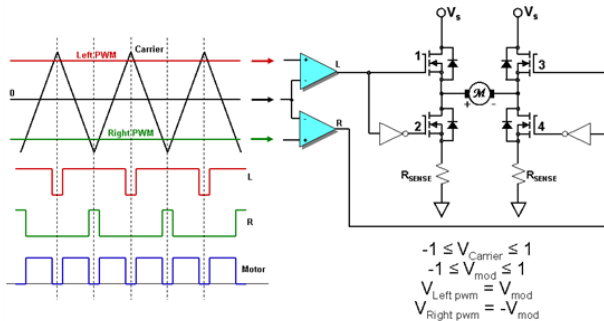
Sterowanie mostkiem H (3/6)

Bipolarny sterownik czteroćwiartkowy (4Q)



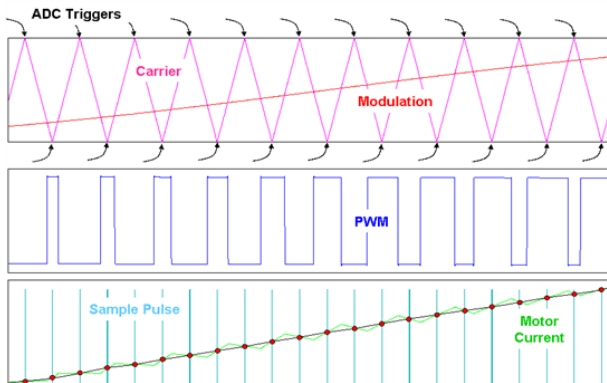
Sterowanie mostkiem H (4/6)

Unipolarny sterownik czteroćwiartkowy (4Q) wersja II



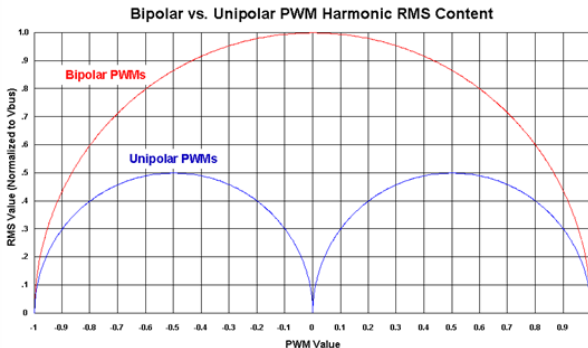
Sterowanie mostkiem H (5/6)

Pomiar prądu dla sterownika bipolarnego (*center-aligned PWM*)



Sterowanie mostkiem H (6/6)

Porównanie zawartości harmoniczných



Sterowanie bezszczotkowym silnikiem prądu stałego



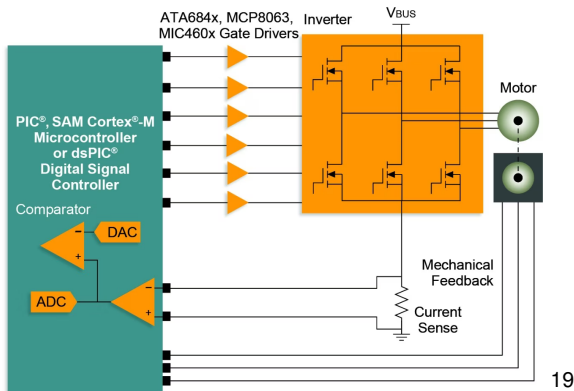
Sterowanie silnikiem BLDC (1/6)

- komutator elektroniczny – wymaga zastosowania dodatkowego logicznego układu sterującego,
- pozycja rotora określana za pośrednictwem czujników Halla lub enkodera,
- zmiana kierunku obrotów poprzez zmianę sekwencji załączającej uzwojenia silnika,
- wymaga zastosowania trzech półmostków,
- liniowa charakterystyka obrotów silnika w funkcji napięcia zasilania,
- liniowa charakterystyka momentu obrotowego w funkcji prądu,

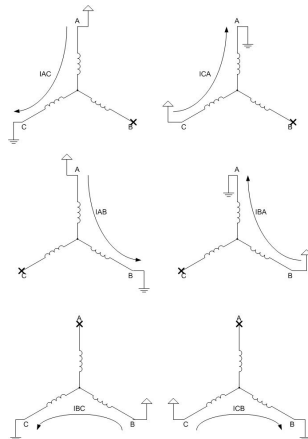
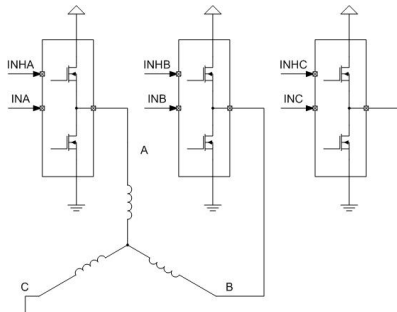


Sterowanie silnikiem BLDC (2/6)

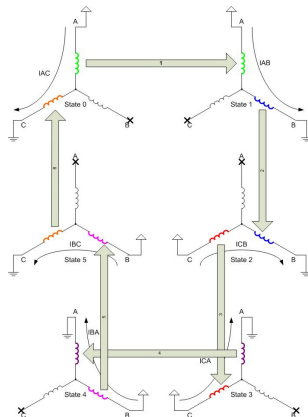
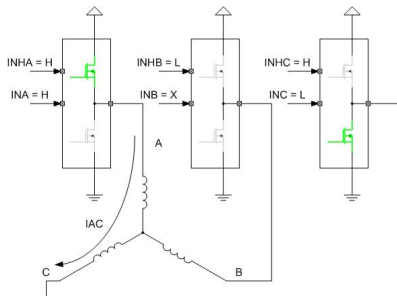
Układ sterowania



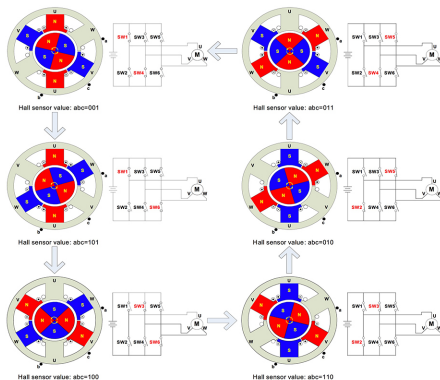
Sterowanie silnikiem BLDC (3/6)



Sterowanie silnikiem BLDC (4/6)



Sterowanie silnikiem BLDC (5/6)



20



Sterowanie silnikiem BLDC (6/6)

21



19 microchip.com
20 Wrocław University of Science and Technology
Ingur.com

21 set-tech.com.tw



Sterowanie silnikiem krokowym

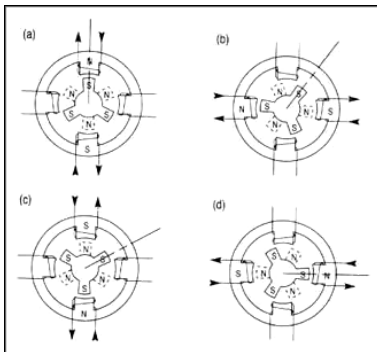
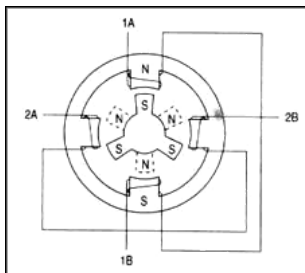


Sterowanie silnikiem krokowym (1/2)

- komutator elektroniczny – wymaga zastosowania dodatkowego logicznego układu sterującego,
- możliwe sterowanie w otwartej pętli
- zmiana kierunku obrotów poprzez zmianę sekwencji załączającej uzwojenia silnika,
- wymaga zastosowania dwóch mostków H,
- prędkość obrotowa zależna od długości kroku znamionowego i częstotliwości przełączania prądu uzwojeń silnika,
- moment obrotowy proporcjonalny do prądu uzwojeń silnika
- możliwość zwiększenia dokładności pozycjonowania poprzez pracę mikrokrokową.



Sterowanie silnikiem krokowym (2/2)

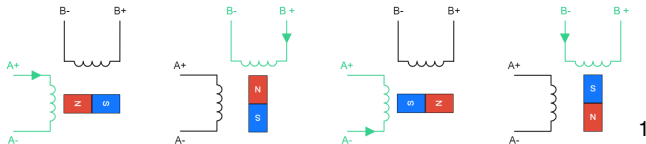


Typy sterowania

- falowe,
- pełnokrokowe,
- półkrokowe,
- sterowanie mikrokrokiem.



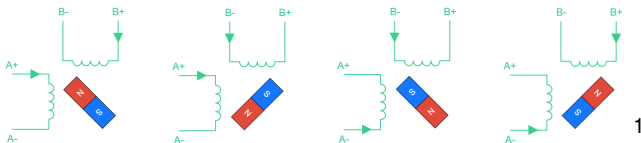
Sterowanie falowe



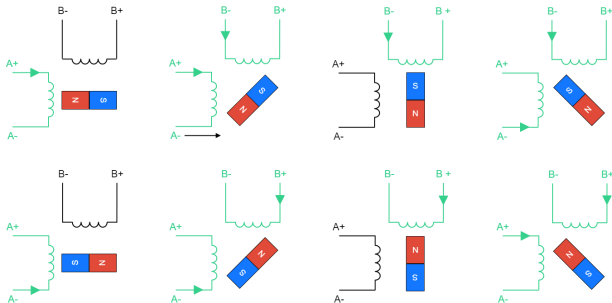
1



Sterowanie pełnokrokowe



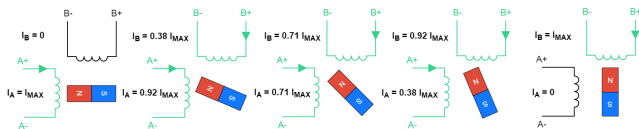
Sterowanie półkrokowe



1



Sterowanie mikrookrowe



Pomiar pozycji

- enkoder inkrementalny, absolutny,
- przetwornik potencjometryczny,
- czujniki magnetyczne ze ścieżką magnetyczną,
- resolver,
- ...



Pomiar prędkości obrotowej

- czujniki optyczne,
- prądnica tachometryczna,
- czujniki magnetyczne Halla,
- wykorzystując SEM,
- ...



Pomiar prądu

- pomiar spadku napięcia na rezystorze pomiarowym
- czujniki wykorzystujące efekt Halla,
- czujniki wykorzystujące zjawisko indukcji magnetycznej (tylko AC)

