

**Zagadnienia z przedmiotu**  
**EKSPLOATACJA SYSTEMÓW MECHATRONICZNYCH W ROLNICTWIE**  
**16,17-06-2020 r.**

Proszę zapoznać się z zagadnieniami. Następnie proszę sporządzić krótką notatkę do podanych niżej punktów. Wykonaną pracę proszę przesłać na mój adres mailowy w formie skan lub zdjęcie. Wykonana praca będzie podstawą obecności, będzie oceniana. W razie pytań lub jakichkolwiek trudności proszę o kontakt mailowy lub telefoniczny ( tel. 530 630 395). Jeśli ktoś ma zaległe pracę proszę również w miarę możliwości przesłać.

*Temat: Napędy elektryczne*

1. *Schemat układu napędu elektrycznego- opis*
2. *Podział silników elektrycznych stosowanych w silownikach*
3. *Silniki prądu stałego*
4. *Silniki prądu zmiennego*
5. *Silniki krokowe*
6. *Serwomechanizmy*

*Efekty pracy ( skany lub zdjęcia) proszę przesłać na mój adres mailowy:*

*[szpilapiotr@radymno.edu.pl](mailto:szpilapiotr@radymno.edu.pl)*

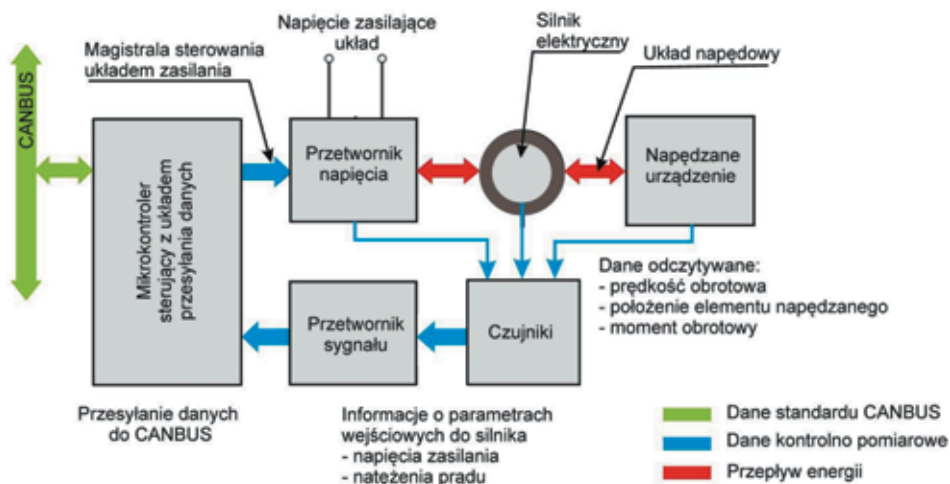
*Termin: 22 -06-2020 r*

*Pozdrawiam serdecznie*

*Piotr Szpila*

## Nap dy elektryczne

Elektryczne układy nap dowe stanowi systemy mechatroniczne przeznaczone do przekazywania nap du mechanizmów. W maszynach rolniczych nap dy elektryczne maj jeszcze niewielki udział w ród układów nap dowych, jednak ze wzgl du na ich autonomiczno i coraz wy sz niezawodno działania coraz cz ciej wykorzystywane s jako elementy wykonawcze. W skład systemu nap du elektrycznego wchodzi : siłownik elektryczny, mikrokontroler z układem przesyłania danych i sie przesyłania danych ( W porównaniu do rozwi za pneumatycznych lub hydraulicznych przeci tna cena systemu nap du elektrycznego jest zdecydowanie ni sza, wynika to przede wszystkim z braku drogiej stacji zasilaj cej. Monta elektrycznych siłowników liniowych jest znacznie szybszy ni układów hydraulicznych i pneumatycznych. Elektryczne siłowniki maj szybki i przewidywalny system dopasowania przemieszczenia w porównaniu z wła ciwym dopasowaniem parametrów ruchu w siłownikach hydraulicznych lub pneumatycznych, gdzie na pr dko przemieszczenia ma du y wpływ temperatura czynnika roboczego, wahania mocy lub nieliniowa charakterystyka samego urz dzenia wykonawczego.



**Rysunek 2.7.1. Ogólny schemat układu napędu elektrycznego.**

równaniu do hydraulicznych, gdzie występuje konieczność wymiany oleju i naprawy nieszczelności. Zaletą siłowników elektrycznych jest dokładne pozycjonowanie elementu napędzanego siłownikiem oraz małe opóźnienie w działaniu. W wielu rozwiązaniach mechatronicznych zastosowanie siłowników elektrycznych wymuszone jest łatwością jego stosowania w zabudowie modułowej, przy ich stosunkowo niewysokiej cenie. Ze względu na konstrukcję napędy elektryczne najczęściej stosowane są w połączeniu z układem mechanicznym.

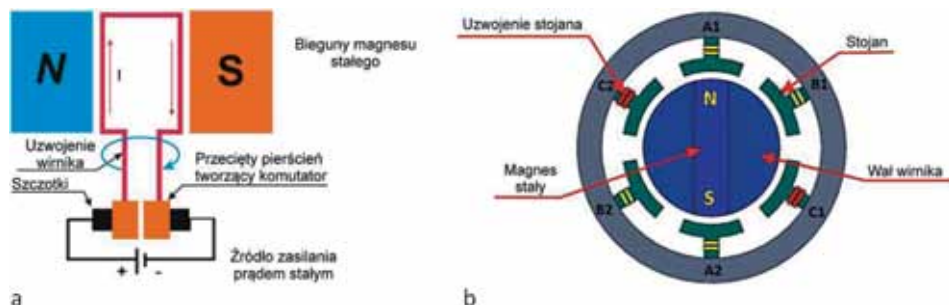
Podstawowym elementem siłownika elektrycznego jest silnik elektryczny. **Ze względu na budowę silniki elektryczne stosowane w siłownikach można podzielić na cztery grupy:**

1. Silniki prądu stałego:
  - szczotkowe,
  - bezszczotkowe.
2. Silniki prądu zmiennego:
  - synchroniczne,
  - asynchroniczne.
3. Silniki krokowe.
4. Serwomechanizmy:
  - obrotowe,
  - liniowe.

W siłownikach elektrycznych energia elektryczna przetwarzana jest na energię mechaniczną, wykorzystywaną do napędu elementów wykonawczych lub sterowania.

## 1. Silniki prądu stałego

Są to silniki zamieniające prąd stały w ruch obrotowy. Silniki prądu stałego mogą być budowane, jako silniki szczotkowe i bezszczotkowe



chemat silnika szczotkowego (a) i silnika bezszczotkowego (b).

**Silnik szczotkowy** zbudowany jest ze stojana wyposażonego w magnes trwały, wirnik (rotor) z uzwojeniem twornika (kilka ramek z nawiniętym uzwojeniem), węglowe szczotki – doprowadzające prąd do uzwojenia twornika, komutatora – pierścienia ze stykami umieszczonego na wałku wirnika – doprowadzającego prąd do twornika oraz z wyjścia do zasilania. Prąd stały doprowadzony do uzwojeń twornika wytwarza pole magnetyczne. Wytworzone w tworniku pole magnetyczne oddziałuje na pole magnetyczne wytwarzane przez magnesy trwałe. To pole wytwarza siłę, która obraca wirnik. Siła tworzy moment obrotowy silnika. Wytworzony moment obrotowy wymusza obrót twornika, tak długo, aż jego pole magnetyczne zostanie zrównoważone działaniem pola zewnętrznego (od magnesu trwałego). Po zrównoważeniu, dzięki przełączeniu w komutatorze, prąd przepływający przez uzwojenia twornika zmienia kierunek przepływu, odwracając tym samym polaryzację pola elektromagnetycznego wirnika. Moment obrotowy, ponownie wywierany na wirnik kontynuuje wcześniej wymuszony ruch. Zmiana kierunku przepływu prądu jest realizowana przez dzielony pierścień w komutatorze. Głównym celem stosowania komutatora jest obrócenie kierunku prądu elektrycznego w tworniku. Komutator ułatwia również przepływ prądu między twornikiem a źródłem zasilania. W czasie pracy silnika szczotki pozostają nieruchome, ale są w kontakcie ze stykami komutatora, który obraca się razem z twornikiem, w taki sposób, że przy każdym obrocie o  $180^\circ$ , kierunek przepływu prądu w tworniku jest odwracany.

Zalety szczotkowych silników prądu stałego:

- prosta konstrukcja silnika,
- łatwe sterowanie prędkością obrotową silnika.

Wady szczotkowych silników prądu stałego:

- kłopotliwa obsługa, wynikająca z istnienia szczotek,
- możliwość tworzenia się zanieczyszczeń wewnątrz silnika, obniżających sprawność silnika,
- problemy z regulacją prędkości obrotowej silnika w zakresie niskich prędkości,
- zużywanie szczotek w trakcie pracy silnika.

**Silnik bezszczotkowy** zbudowany jest z wirnika wyposażonego w magnesy trwałe i ze stojana z nawiniętymi uzwojeniami. Wirnik może być wykonany z ceramicznego magnesu trwałego. Dzięki umieszczeniu uzwojeń w stojanie silnika, można wyeliminować z konstrukcji silnika komutator. Funkcje komutatora przejmuje układ elektroniczny sterujący przepływem prądu do uzwojeń, zasilając je sekwencyjnie. W tego typu rozwiązaniu elektromagnesy umieszczone w stojanie pozostają nieruchome, a przemieszcza się magnes trwały. Prąd dostarczany do stojana zależy od położenia wirnika. Dopływ prądu do uzwojeń stojana jest przełączany sekwencyjnie za pomocą tranzystorów lub tyrystorów. Położenie wirnika jest wykrywane przez czujniki efektu Halla. Płynne przełączanie dopływu prądu pomiędzy uzwojeniami umożliwia wykonanie stałego i płynnego obrotu przez wirnik silnika.

Zalety bezszczotkowych silników prądu stałego:

- większa precyzja dzięki sterowaniu komputerowemu,
- większa wydajność,
- nieiskwienie – z powodu braku szczotek,
- mniejsze natężenie szumów i zakłóceń elektrycznych wytwarzanych przez silnik,
- brak zużywających się szczotek,
- łatwość chłodzenia elektromagnesów, dzięki temu, że są umieszczone na stojanie,
- możliwość pracy silnika przy prędkościach powyżej 10 000 obr./min w warunkach obciążenia i biegu jałowego,
- szybkość reakcji i szybkie przyspieszenie dzięki niskiej bezwładności wirnika.

Wady bezszczotkowych silników prądu stałego:

- wyższe koszty zakupu niż w przypadku silnika szczotkowego,
- skomplikowana budowa z powodu obecności kontrolera.

## 2. Silniki prądu zmiennego

Silniki prądu zmiennego przekształcają prąd przemienny w obrót elementu mechanicznego (energię mechaniczną). Podobnie jak w przypadku silników prądu stałego, prąd przepływa przez cewkę uzwojenia, wytwarzając moment

obrotowy w wirniku. Typowe elementy silnika prądu zmiennego to stojan i wirnik. Zamiast uzwojenia w wirniku silnika umieszczono magnesy trwałe, a w stojanie umieszczono uzwojenie elektromagnesów. Głównym ograniczeniem silników prądu przemiennego w stosunku do silników prądu stałego jest to, że regulacja prędkości obrotowej silnika jest trudniejsza do wykonania niż w silnikach prądu stałego. Aby przewyżyć to ograniczenie, silniki prądu przemiennego są zasilane ze źródła prądu o zmiennej częstotliwości (falowników), ale realizowana w ten sposób kontrola prędkości obrotowej silnika powoduje, że regulacja prędkości obrotowej jest związana z obniżoną sprawnością silnika

Silniki prądu zmiennego są dzielone na silniki synchroniczne i silniki asynchroniczne.

**Silnik synchroniczny** to silnik prądu przemiennego, który pracuje ze stałą prędkością ustaloną przez częstotliwość systemu. Wymaga prądu stałego (DC) do wzbudzenia i ma niski moment rozruchowy, a zatem nadaje się do zastosowań, które zaczynają się przy niskim obciążeniu. Ma dwie podstawowe części elektryczne: stojan i wirnik

Stojan składa się z grupy pojedynczych elektromagnesów rozmieszczonych w taki sposób, że tworzą wewnątrz pusty cylinder. Uzwojenie w stojanie wytwarza wirujące pole magnetyczne, którego prędkość wirowania wokół stojana jest proporcjonalna do częstotliwości prądu zasilającego. Wirnik jest wirującym elementem elektrycznym. Składa się również z grupy magnesów stałych rozmieszczonych promieniowo wokół wirnika, z biegunami zwróconymi w kierunku biegunów stojana. Wirnik jest zamontowany na wale silnika. Główna różnica między silnikiem synchronicznym a silnikiem indukcyjnym polega na tym, że wirnik silnika synchronicznego porusza się z taką samą prędkością jak obracające się pole magnetyczne. Stojan zasilany jest prądem trójfazowym, w wyniku tego polaryzacja stojana zmienia się stopniowo do zmian obracającego się pola magnetycznego. Wirnik podąża i obraca się wraz z polem magnetycznym stojana.

Prędkość obrotowa  $n_s$  silnika synchronicznego uzależniona jest od częstotliwości zasilającego go prądu zmiennego i opisana jest równaniem:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{P}$$

gdzie:

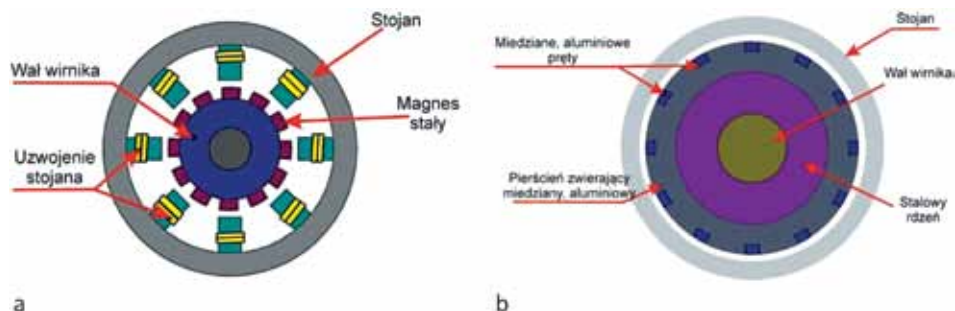
$f$  – częstotliwość prądu zasilającego silnik,

$P$  – liczba biegunów elektromagnesu stojana.

**Silnik indukcyjne (asynchroniczne).** Silniki indukcyjne są powszechnie stosowane w automatyce przemysłowej. Silniki indukcyjne są najczęściej stosowanymi systemami napędu. Mogą mieć moc od ułamków konia mecha-

nicznego do setek koni mechanicznych i mogą być stosowane wszędzie tam, gdzie nie jest wymagana zmienna prędkość obrotowa. Jednofazowe silniki indukcyjne są najczęściej stosowane w aplikacjach o małej mocy. Konstrukcja łożysk zależy od ostatecznego przeznaczenia silnika. Spotykane są następujące rodzaje silników o bardzo małych mocach (ułamki konia mechanicznego):

1. **Silniki indukcyjne z wyłącznikiem odśrodkowym:** ten typ silnika ma dobrą sprawność i umiarkowany moment rozruchowy. Silniki te są szeroko stosowane jako silniki napędowe w pralkach, suszarkach bębnowych i zmywarkach do naczyń.
2. **Silniki indukcyjne z kondensatorem rozruchowym:** mają takie same osiągi eksploatacyjne jak silniki z wyłącznikiem odśrodkowym, ale charakteryzują się większym momentem rozruchowym. Są stosowane głównie w układach napędu pomocniczego, podajnikach oraz do napędu klap zasuw.
3. **Silniki z kondensatorem pracy i rozruchu:** charakteryzują się wysoką sprawnością, cichą pracą i odwracalnością kierunku obrotów – to główne zalety tego rodzaju silników. Dzięki temu nadają się one do zastosowań w wielu urządzeniach, takich jak pralki, suszarki bębnowe, wentylatory i układy klimatyzacji.
4. **Silniki zwartobiegunowe:** nadają się do zastosowań małej mocy (poniżej 200 W). Typowym zastosowaniem są małe wentylatory do użytku domowego.



**Budowa silnika synchronicznego (a) i asynchronicznego (b).**

W silniku indukcyjnym bieguny stojana są tworzone przez nawinięte cewki, a wirnik jest magnesem trwałym, zasilany prądem w celu utworzenia stałych biegunów biegunowości. W przypadku silnika asynchronicznego (klatowego) stojan jest podobny do silnika synchronicznego z uzwojeniami, ale konstrukcja wirników jest inna. W silniku asynchronicznym wirnik wykonany jest z aluminiowych lub miedzianych niezolowanych prę-

tów. Pręty połączone są ze sobą po obu stronach pierścieniem zwierającym. Czasami tego typu silniki noszą nazwę silników indukcyjnych zwartych. Ze względu na prostotę konstrukcji silniki klatkowe stosowane są do napędu urządzeń mocno obciążonych urządzeń, w których konieczna jest regulacja prędkości. Wyposażenie układu zasilania w system sterowania za pomocą falowników umożliwia uzyskanie znacznych zmian prędkości obrotowej silnika, bez wpływu na wartość wytworzonego momentu obrotowego.

### 3. Silniki krokowe

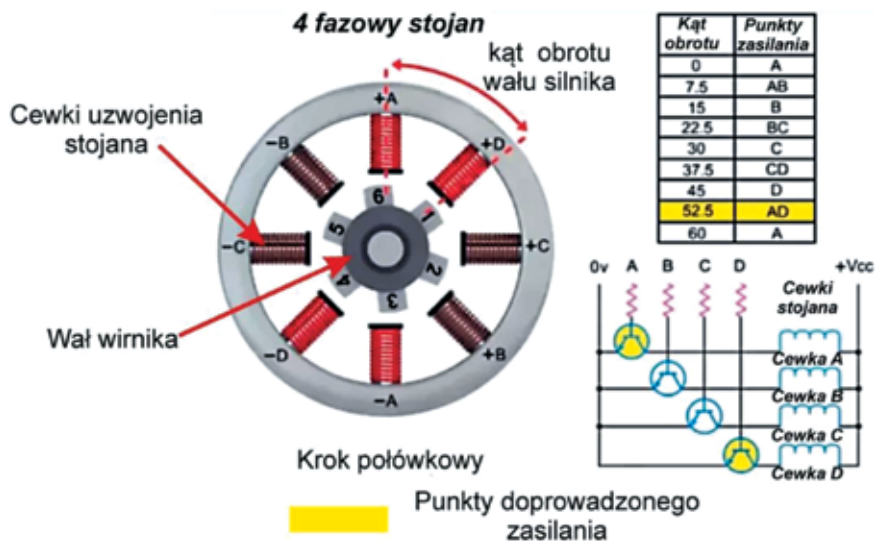
Silniki krokowe stanowi odmianę silnika impulsowego, który skokowo zmienia położenie kątowne wirnika. Według PN-87/E-01006 silnik krokowy to silnik przekształcający ciąg sterujących impulsów elektrycznych w ciąg przesunięć kątowych lub liniowych, nazywanych krokami obrotu. Kolejne impulsy podawane do uzwojenia silnika powodują obrót wirnika (rotora) o niewielki kąt wynoszący od  $0,8^\circ$  do  $3,6^\circ$ . Z tego powodu silniki krokowe mogą tworzyć stosunkowo tanie konstrukcje serwomotorów o otwartym układzie sterowania. Ze względu na konstrukcję silniki krokowe można podzielić na dwa podstawowe typy: **1) silniki ze stałym magnesem i 2) silniki ze zmienną reluktancją oraz 3) silniki hybrydowe**. Mankamentami silników krokowych jest możliwość gubienia kroków w przypadku dużych obciążeń oraz stosunkowo duży pobór prądu przez silnik.

#### Silniki krokowe ze zmienną reluktancją

Silniki te nie mają stałego magnesu i charakteryzują się stosunkowo niskim momentem obrotowym. Silniki zbudowane są z cylindrycznego wirnika wykonanego z miękkiej stali wyposażonych w 6 zębów, rozmieszczonych co  $60^\circ$ . Umieszczone na wirniku zęby mają zdolności ferromagnetyczne. Ze względu na materiał z jakiego są wykonane, charakteryzują się znikomym magnetyzmem szczątkowym. Inaczej mówiąc, nie posiadają zdolności do trwałego namagnesowania. Nieruchomy stojan silnika ma z reguły cztery pary cewek rozmieszczonych co  $45^\circ$ . Pole elektromagnetyczne wytwarzane jest przez sekwencyjne doprowadzenie prądu do cewek umieszczonych na stojanie. Na rysunku 2.7.4 przedstawiono w tabeli kolejność podłączeń cewek do źródła energii elektrycznej. Każda z przedstawionych sekwencji podłączenia pozwala na uzyskanie odpowiedniego położenia wału silnika. Wytworzone w cewkach pole magnetyczne przyciąga metalowe elementy wirnika. Gdy przez kolejne uzwojenia umieszczone na stojanie przepływa prąd, pole magnetyczne przyciąga najbliższy położony fragment zęba wirnika. Dzięki temu, włączając przepływ prądu przez kolejne uzwojenia stojana możliwe jest uzyskanie krokowego obrotu wirnika – z krokiem wynoszącym  $7,5^\circ$ . Przy braku



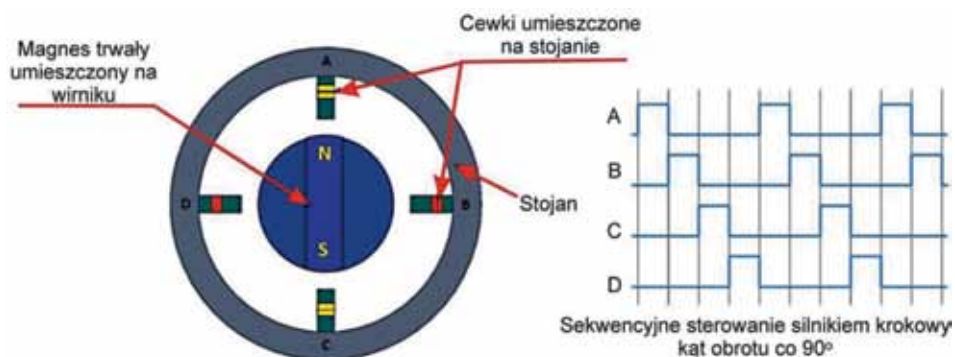
zasilania nie występuje pole magnetyczne w przestrzeni między wirnikiem i stojanem oraz nie występuje moment ustalający wirnik. W takiej sytuacji wirnik silnika krokowego może obracać się swobodnie.



**Budowa silnika krokowego ze zmienną reluktancją.**

### Silnik krokowy ze stałym magnesem

W tego typu silnikach wirnik (rotor) wyposażony jest w magnes trwały. W przeciwieństwie do innych silników krokowych, rotor silników ze stałym magnesem nie ma zębów, lecz jest namagnesowany naprzemiennie biegunami N i S. Namagnesowane bieguny rotora wpływają na zwiększenie indukcji magnetycznej, a wynikiem tego jest lepsza charakterystyka momentowa w porównaniu z silnikami o zmiennej reluktancji.

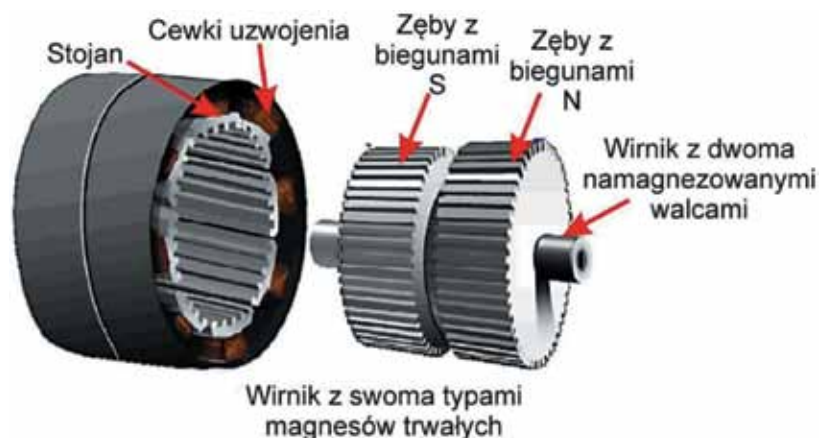


**Budowa silnika krokowego ze stałym magnesem.**

Na rysunku przedstawiono schemat prostego silnika krokowego ze sterowaniem za pomocą czterech faz (A-D). Przepływ prądu przez kolejne fazy w odpowiedniej sekwencji powoduje obrót rotora o kąt dostosowujący do zmiennego pola magnetycznego. Pomimo że przełączanie faz ma stosunkowo powolny przebieg, silniki tego typu charakteryzują się wysoką wartością momentu obrotowego i stosunkowo małym krokiem obrotu, wynoszącym od  $7,5^\circ$  do  $15^\circ$ .

### Silniki hybrydowe

Są najnowocześniejszym typem silników krokowych. Silnik hybrydowy jest bardziej kosztowny niż silnik z magnesem trwałym. Cechuje się za to lepszymi parametrami pod względem rozdzielczości i szybkości. Zasada działania silnika opiera się na tym, że magnes trwały umieszczony na wirniku lub na stojanie wytwarza jednakobiegunowy strumień magnetyczny, który zamyka się w obwodzie magnetycznym: stojan – szczelina powietrzna – wirnik. Po zasileniu uzwojenia stojana impulsem sterującym, wzbudzony strumień magnetyczny pod jednym biegunem stojana dodaje się do strumienia magnesów trwałych, pod drugim zaś, odejmuje się. Wirnik zostaje wprowadzony w ruch tak, aby osie zębów stojana i wirnika bieguna o strumieniu wzmacniającym pole magnetyczne pokryły się. Typowe kąty silnika hybrydowego mieszczą się w zakresie  $0,9^\circ$  do  $3,6^\circ$ , czyli 400-100 kroków na obrót. Silnik hybrydowy łączy w sobie zalety silnika ze zmienną reluktancją i silnika z magnesem stałym. Rotor silnika ma wiele zębów i posiada osiowo namagnesowane magnesy, umieszczone koncentrycznie wokół osi. Zęby rotora zapewniają lepszą drogę przepływowi magnetycznemu.

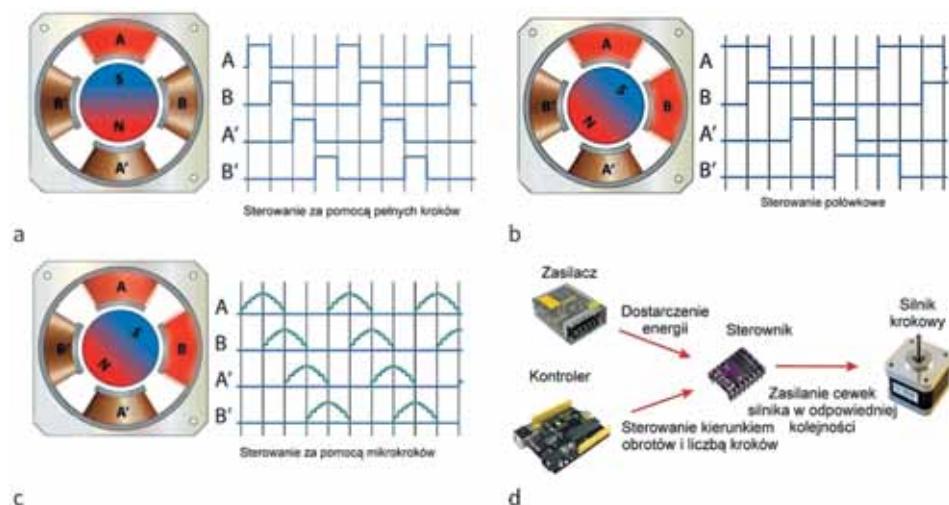


Budowa silnika krokowego hybrydowego.

mu, co polepsza charakterystyki momentu spoczynkowego i dynamicznego w porównaniu z silnikami z magnesem stałym i reluktancyjnym. Pomimo ceny, jest to jeden z najczęściej stosowanych silników krokowych, wykorzystywanych w przypadku napędu układów wymagających dokładnego pozycjonowania wału silnika.

### Sposób podłączenia silnika krokowego i sterowanie

Napęd silnika krokowego wymaga 3 elementów: 1) sterownika wysyłającego impulsy do silnika o odpowiednim napięciu, 2) kontrolera dostarczającego impulsy sterujące do sterownika oraz 3) zasilacza elektrycznego



#### Przykład algorytmu sterowania silnikiem krokowym:

a) jednofazowego, b) dwufazowego, c) mikrokrokami, d) elementy składowe systemu sterowania silnikiem krokowym.

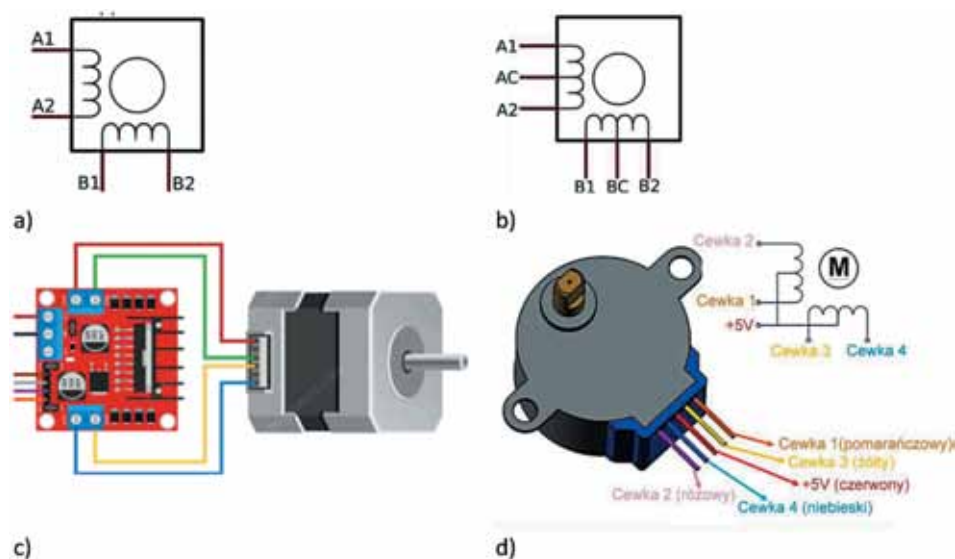
Sposób sterowania silników krokowych może być sterowaniem: jednofazowym, dwufazowym oraz mikrokrokami:

- 1. Sterowanie jednofazowe** polega na podaniu napięcia tylko na jedną cewkę umieszczoną w stojanie silnika. Wirnik obraca się o kąt wynikający z liczby elektromagnesów umieszczonych w stojanie. Jeżeli w stojanie umieszczono 4 elektromagnes, to kąt obrotu rotora wyniesie  $\alpha = 360/n$ .
- 2. Sterowanie dwufazowe** polega na wytworzeniu pola magnetycznego w dwóch sąsiadujących cewkach. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest dwukrotne zwiększenie liczby kroków elektromagnesu.

**3. Sterowanie mikro krokami** zblizone jest do sterowania dwufazowego, z tą różnicą, że prostokątny przebieg sygnału zastąpiono sterującym sygnałem wolno narastającym.

### Sposób podłączenia silnika krokowego do sterownika

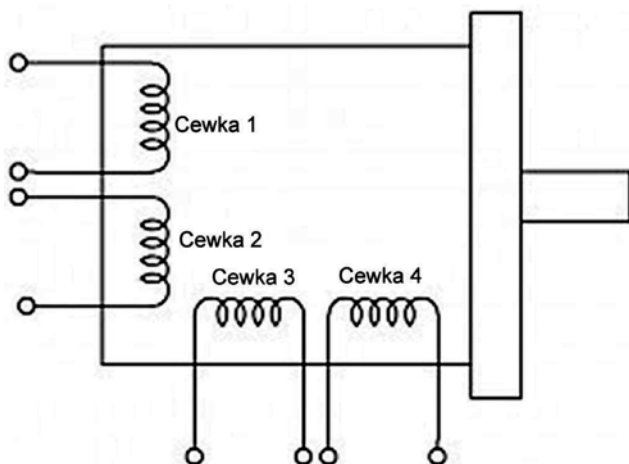
Silniki krokowe posiadają wyjścia w postaci przewodów, które podłączone są do sterownika. Zazwyczaj w dokumentacji silnika przewody te są wyraźnie oznakowane. W przypadku braku dokumentacji silnika konieczne jest samodzielne rozpoznanie przewodów i połączeń. Jeżeli z silnika krokowego wyprowadzone są 4 przewody, jest to silnik bipolarny. Silnik bipolarny ma uzwojenia, które nie są ze sobą połączone. Uzwojenia oznaczone na schemacie jako A i B nie są ze sobą połączone. Dlatego rezystancja pomiędzy punktami A1 i B1 lub między A1 i B2 będzie nieskończona, podczas gdy rezystancja między przewodami A1 i A2 oraz B1 i B2 będzie zdecydowanie niższa. W ten sposób można rozpoznać podłączenie przewodów do kolejnych cewek. Rozpoznanie właściwych przewodów doprowadzających prąd do cewek silnika, umożliwi podłączenie silnika bipolarnego do sterownika.



Przykład układu cewek w silniku: a) bipolarnym i b) unipolarnym.

Jeżeli na wyjściu silnika widocznych jest 5 lub 6 przewodów, to prawdopodobnie jest to silnik unipolarny. W przypadku wyjścia 5-przewodowego, należy sprawdzić, czy któryś z wychodzących 5 przewodów nie jest podłączony do obudowy silnika (masy). Jeżeli rezystancja pomiędzy dowolnym przewodem i masą silnika przyjmuje wartości zbliżone do 0, oznacza to, że jest to silnik bipolarny i dalsze działania identyfikacyjne wymagają wdrożenia procedury opisanej dla silnika bipolarnego. W przypadku, gdy żaden z przewodów nie jest podłączony z masą silnika, badany silnik jest silnikiem unipolarnym. Podobnie jak w przypadku silnika bipolarnego identyfikacja właściwych wyprowadzeń z silnika polega na pomiarze rezystancji pomiędzy przewodami i dalszego samodzielnego wnioskowania. Przyglądając się schematowi elektrycznemu można przyjąć, że rezystancja pomiędzy przewodami A1 i AC będzie stanowiła połowę rezystancji pomiędzy przewodami A1 i A2. Podobne warunki zmian rezystancji przewodów dotyczą połączeń między przewodami BC i B1 lub B2. Pomiar rezystancji pomiędzy przewodami A i B powinien wykazać nieskończoną wartość. Często producenci silników krokowych łączy przewody AC i BC, w efekcie na wyjściu silnika umieszczonych jest tylko 5 przewodów.

W niektórych silnikach krokowych stosuje się 8 przewodów wyjściowych. Schemat takiego silnika przedstawiono na rysunku. Jest to silnik unipolarny, dlatego w celu rozpoznania poszczególnych cewek należy skorzystać z procedury opisanej dla silnika unipolarnego.



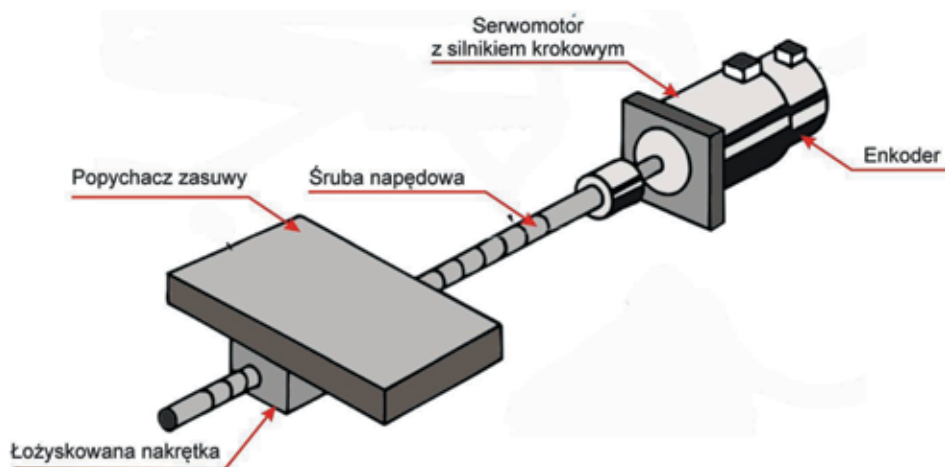
Schemat silnika krokowego o 8 przewodach wyjściowych.

**Silniki 8-przewodowe** są jednymi z najbardziej uniwersalnych silników i dzięki odpowiedniemu połączeniu wyjść mogą być używane jako:

- ❑ **4-fazowe silniki unipolarne** – w przypadku, gdy wyjścia AC, BC, CC i DC są połączone. W takim przypadku silnik pracuje jak silniki 5-przewodowe,
- ❑ **2-fazowe szeregowe silniki bipolarne** – wszystkie cewki są połączone szeregowo, tak jak w silnikach 6-przewodowych,
- ❑ **2-fazowe równoległe silniki bipolarne** – cewki silnika są połączone równoległe. Efektem jest spadek rezystancji wyjściowej o połowę, ale wymagają dwukrotnie wyższego natężenia prądu zasilającego. Zaletą takiego rozwiązania jest wyższa wartość momentu obrotowego generowanego przez silnik.

#### 4. Serwomechanizm

Serwomotor jest urządzeniem elektromechanicznym, które umożliwia dokładny kątowy obrót wałka wyjściowego. Urządzenie składa się z silnika elektrycznego i elementu mechanizmu wykonawczego. W większości przypadków jest to przekładnia zębata połączona na wyjściu ze śrubą napędową. Serwomotory mogą być budowane jako **układy wykorzystujące silniki prądu stałego, zmiennego lub silniki krokowe**. Silnik elektryczny jest źródłem momentu obrotowego i ruchu przekazywanego bezpośrednio lub przez przekładnię do urządzenia mechanicznego oraz czujnika położenia, np. enkodera. Serwomechanizm posiada możliwość regulacji położenia, prędkości lub momentu obrotowego wałka wyjściowego, zgodnie z ustaloną zadaną wartością. Na rysunku przedstawiono przykład wykorzystania serwomechanizmu do przemieszczania zasuwki zamykającej zbiornik. Serwomechanizm



**Widok układu serwomotoru wykorzystywanej do przemieszczenia zasuwki w zbiorniku dozowania paszy.**

napędza śrubę pociągową, na której umieszczona jest zasuwa. Kąt obrotu wałka wyjściowego serwomechanizmu (śruby) skorelowany jest z liniowym przemieszczeniem zasuwy. Wbudowany w serwomechanizm enkoder oblicza kąt obrotu wałka i ustawia odpowiednie położenie zasuwy, w zależności od zmieniającej się wartości zadanej.

Praca systemu serwomechanizmu jest klasycznym przykładem regulacji wykorzystującej sprzężenie zwrotne. Regulacja realizowana jest według kilku podstawowych kroków:

1. Rzeczywiste położenie wałka i prędkość obrotowa wałka wyjściowego są mierzone i porównywane z wartością zadaną.
2. Następnie obliczana jest różnica pomiędzy wartością zadaną i zmierzoną, nazywaną odchyłką regulacji.
3. Kolejnym krokiem jest korekcja działania serwomotoru przez wykorzystanie informacji o powstałej odchyłce regulacji.

Jeżeli konieczna jest precyzyjna regulacja położenia zasuwy, do określenia położenia zasuwy wykorzystywany jest umieszczony na niej enkoder liniowy. Jego wskazania porównywane są z wartością zadaną i odchyłka regulacji wprowadzana jest następnie do sterownika silnika napędowego. Ze względu na pomiar bezpośredni położenia zasuwy nie ma potrzeby stosowania układu przeliczania i korekcji błędów wynikających z naturalnie występujących luzów pomiędzy elementami mechanicznymi.

W przypadku prostych mechanizmów możliwe jest bezpośrednio wykorzystanie silników krokowych do pracy w układzie serwomechanizmu. W takim przypadku układ napędowy nie ma sprzężenia zwrotnego i sterowany jest w systemie otwartym. Polega to na braku systemu pomiaru rzeczywistego położenia elementu napędzanego. Dlatego konfiguracja takiego układu jest bardzo prosta i polega tylko na zadaniu wykonania przez silnik krokowy obrotu wałka wyjściowego o pewną wartość. Tego typu pozycjonowanie jest realizowane małym kosztem, ale niestety w takim układzie brakuje możliwości kompensowania luzów międzyzębnych w mechanizmach kół zębatych oraz błędów w skokach zwoju śruby pociągowej. Ponadto w przypadku chwilowego zatrzymania się silnika, np. na skutek przeciążenia, pojawiają się błędy wynikające z liczby kroków, które miały być wykonane i kroków, które zostały wykonane. Błędy tego typu nie są kompensowane przez układ. Stosowanie pętli otwartej przy sterowaniu serwomechanizmów jest odpowiednie dla systemów sterowania realizujących zadania o niskiej precyzji, tanich i mało obciążonych.