

Podstawy sterowania silnikami krokowymi

1. WSTĘP

Nowoczesne technologie w różnych gałęziach narzucają coraz wyższe wymagania na urządzenia wchodzące w skład linii technologicznych. Wymagania jakie się stawia przed tymi urządzeniami, to przede wszystkim wysoka wydajność, eliminacja obsługi i niezawodność.

Wprowadzenie na szeroką skalę techniki mikroprocesorowej umożliwiło realizację funkcji sterowania w znacznym stopniu w sposób programowy co uprościło budowę sprzętu i podniosło jego niezawodność.

W wielu procesach technologicznych napęd oraz pozycjonowanie urządzeń wykonawczych jest nieodzownym elementem całego procesu. W napędach pozycjonujących stosuje się najczęściej silniki prądu stałego oraz silniki krokowe.

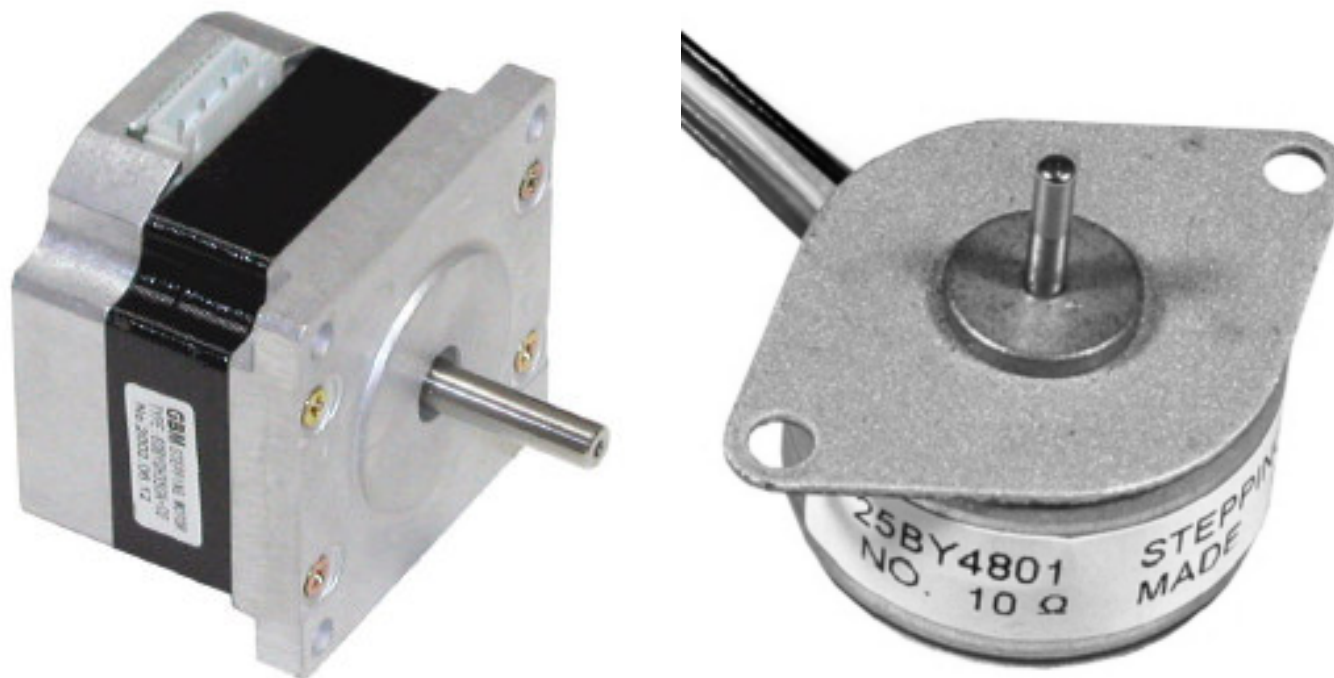
Współczesne elementy wykonawcze urządzeń pozycjonujących coraz częściej wyposażone są w silniki krokowe, które nie wymagają stosowania kosztownych i zawodnych mechanizmów krzywkowych i zapadkowych niezbędnych w przypadku napędów wykorzystujących silniki prądu stałego. Powyższy fakt oraz łatwość sterowania silników krokowych za pomocą urządzeń cyfrowych spowodował, że znajdują one coraz większe zastosowanie.

Silniki krokowe można spotkać w robotach przemysłowych a także w coraz większej liczbie urządzeń z którymi spotykamy się na co dzień. Opanowały one napędy dysków i dyskietek w komputerach, napędy głowic i wałków w drukarkach i maszynach do pisanie, przesuwanie głowic laserowych w odtwarzaczach kompaktowych.

Zagadnienia poruszane w tym opisie dotyczą układów sterowania z silnikami krokowymi, budowy silników krokowych, ich właściwości a w szczególności sterowania silników krokowych za pomocą układów mikroprocesorowych.

Według PN-87/E-01006 **silnik krokowy jest to silnik przekształcający ciąg sterujących impulsów elektrycznych na ciąg przesunięć kątowych lub liniowych.**

Silnik krokowy wykonuje obrót o konkretne przyrosty pod wpływem impulsów elektrycznych podawanych w odpowiedniej kolejności. Obroty silnika są związane bezpośrednio z podawanymi impulsami. Jest to więc silnik o działaniu dyskretnym.



Rys. 1. Przykładowe miniaturowe silniki krokowe

Kierunek obrotu jest związany z sekwencją podawanych impulsów, natomiast prędkość obrotów osi zależy od częstotliwości tych impulsów a kąt obrotu od ich ilości. Silnik krokowy nie może pracować bez elektronicznego układu sterowania.

Głównymi elementami układu sterowania silnika krokowego są: źródło impulsów, układ logiczny, stopień wyjściowy mocy i zasilacz prądu stałego. Źródłem impulsów może być generator impulsów, mikroprocesor, przetwornik sygnału ciągłego na impulsy lub pamięć operacyjna.

Układy sterowania urządzeń wyposażonych w silniki krokowe, z uwagi na skomplikowane i różnorakie funkcje realizowane przez te urządzenia, są coraz częściej sterownikami mikroprocesorowymi. Sterowniki mikroprocesorowe z łatwością mogą przejąć rolę wielu zespołów sterowania napędami krokowymi, a ponadto zapewnić optymalizację sterowania.

2. Podstawy wiedzy o silnikach krokowych:

Silniki krokowe są cyfrowo sterowanymi napędami stosowanymi do pozycjonowania. Umożliwiają łatwą kontrolę kąta i prędkości obrotowej w zakresie od zera do kilku tysięcy obrotów na sekundę zależnie od parametrów silnika i sterownika.

Charakterystyczną cechą silnika krokowego jest utrzymywanie rotora w określonej pozycji z pełnym momentem trzymającym co oznacza stały pobór prądu, dlatego też silniki krokowe mimo postępu są niepokojąco ciepłe. Zaletą łatwego pozycjonowania silnika stwarza wiele możliwości aplikacji od automatyzacji w przemyśle, poprzez urządzenia z zakresu techniki medycznej, zastosowania w przemyśle samochodowym do przemysłu zabawek i reklam.

2.1. Budowa silnika krokowego

Silnik krokowy składa się z rotora i stojana. To właśnie te dwa elementy odpowiedzialne są za jego rotacyjną pracę.

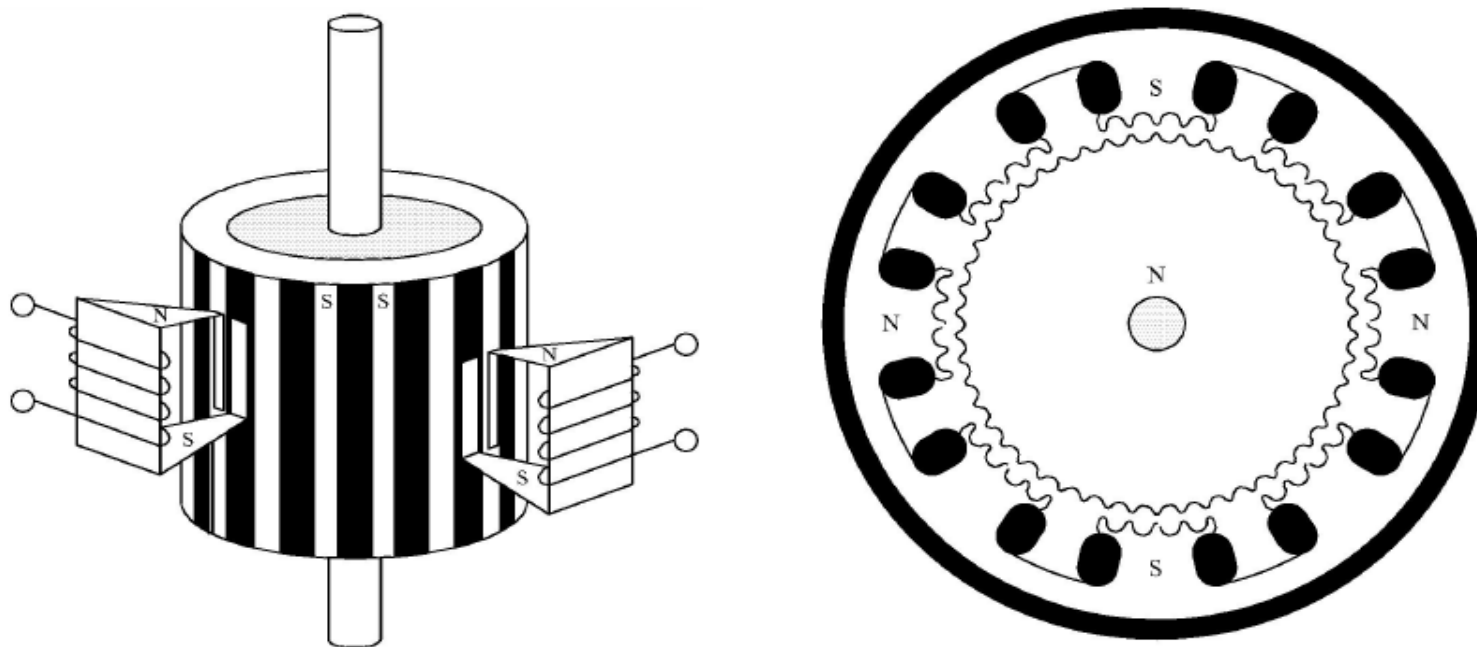
Wyróżniamy kilka rodzajów napędów krokowych prądu stałego:

- o zmiennej reluktancji (VR),
- z magnesem stałym (PM),
- hybrydowy oraz tarczowy.

Silnik o zmiennej reluktancji posiada najprostszą budowę przez co ma wielu zwolenników.

Obecnie prym na rynku wiodą silniki z magnesem stałym oraz hybrydowe. Te pierwsze są tańsze, jednak napędy hybrydowe charakteryzują się wyższą rozdzielczością i prędkością obrotu i dlatego są najpopularniejsze.

Silniki z magnesem stałym mają najczęściej rozdzielczość 24-48 kroków na obrót. Silnik ze stałym magnesem zbudowany jest odmiennie.



Rys. 2. Budowa silnika z magnesem stałym i hybrydowego

Rotor nie posiada zębów, w zamian ma kształt walca namagnesowanego naprzemiennie wzdłuż osi obrotu. Stojan znajduje się wokół rotora i składa się z elementów posiadających uzwojenia generujące bieguny na przeciwnych końcach elementu. Oba końce zakrzywione są do wewnątrz tak, aby bieguny znajdowały się naprzeciwko biegunów na rotorze.

Namagnesowanie rotora pozwala na uzyskanie lepszego momentu. Silniki te są bardzo tanie w produkcji dzięki zastosowaniu ferrytowych magnesów.

Silniki hybrydowe są najnowocześniejszym typem silników krokowych. Silnik hybrydowy jest bardziej kosztownym niż silnik z magnesem trwałym, cechuje się za to lepszymi parametrami jeśli chodzi o rozdzielczość i szybkość.

Zasada działania silnika opiera się na tym, że magnes trwały umieszczony na wirniku lub na stojanie wytwarza jednako biegunowy 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, by osie zębów stojana i wirnika bieguna o strumieniu wzmacniającym pole magnetyczne pokryły się.

Typowe kąty silnika hybrydowego mieszczą się w zakresie $3,6^\circ$ - $0,9^\circ$ tj. 100- 400 kroków na obrót.

Silnik hybrydowy łączy w sobie zalety silnika ze zmienną reluktancją i silnika z magnesem stałym. Dodatkowo ich zaletą jest osiąganie wyższych momentów trzymających przy zbliżonych parametrach konstrukcyjnych.

Rotor silnika ma wiele zębów i posiada osiowo namagnesowane magnesy umieszczone koncentrycznie wokół osi. Zęby rotora zapewniają lepszą drogę przepływowi magnetycznemu, co polepsza charakterystyki momentu spoczynkowego i dynamicznego w porównaniu z silnikami z magnesem stałym i reluktancyjnymi.



Rys. 3. Przykładowy silnik hybrydowy

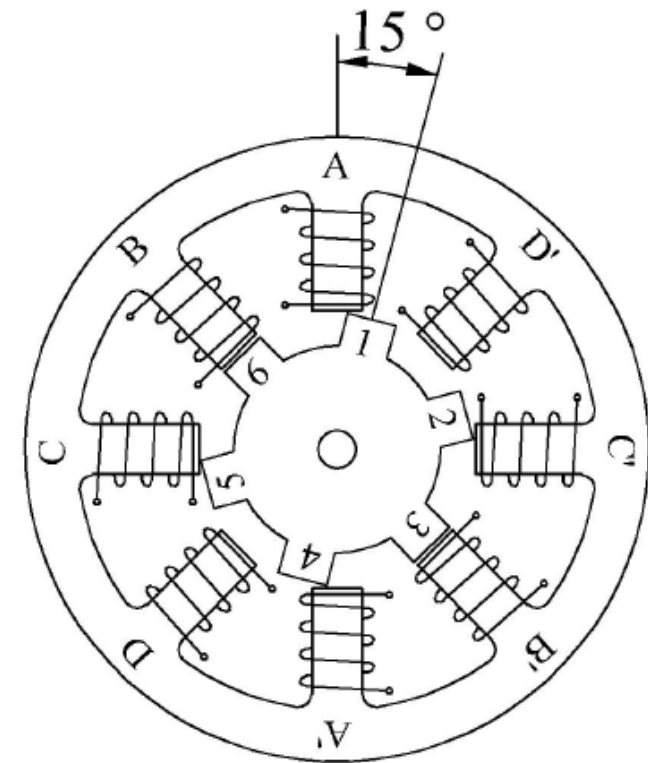
2.2. Zasada funkcjonowania silnika krokowego

Silniki krokowe działają dzięki odpychaniu i przyciąganiu elektrycznie wytwarzanych biegunów magnetycznych wewnątrz silnika.

Silniki o zmiennej reluktancji, są najprostszymi silnikami krokowymi. Posiadają one wirnik ze stali magnetycznej miękkiej i uzwojony stojan. Wirnik posiada wiele zębów wzdłuż osi obrotu.

Z tego względu, że rotor nie wytwarza żadnego pola magnetycznego, występują trudności z ustaleniem położenia rotora.

Oscylacje w ustalaniu położenia oraz niskie tłumienie wewnętrzne silnika powoduje, że silniki te wpadają w rezonans.



Rys. 4. Przekrój poprzeczny silnika o zmiennej reluktancji

Z tego powodu silniki te wymagają odpowiedniego tłumienia dynamicznego lub elektrycznego.

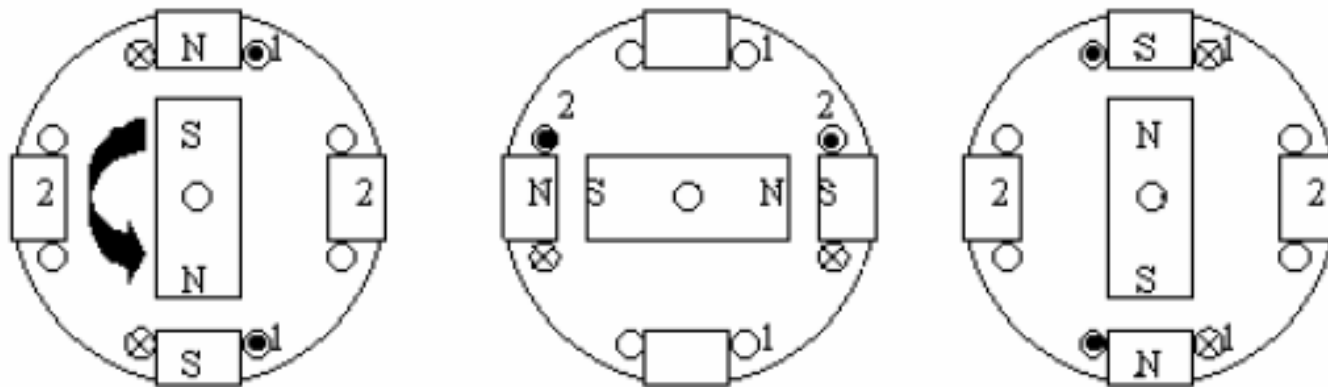
Impulsy elektryczne uzwojeń stojana, powodują odpowiednie namagnesowanie jego biegunów.

Rotor dąży do zminimalizowania oporu magnetycznego (reluktancji) pomiędzy jego zębami, a stojanem. Inaczej mówiąc, kiedy uzwojenia są zasilane, w stojanie powstaje indukcja magnetyczna i rotor ustawia się tak, aby zamknąć obwód magnetyczny. W ten sposób silnik wykonuje krok.

Aby rotor silnika krokowego mógł się obracać, wymagane jest odpowiednie zasilanie uzwojeń. Ponieważ rotor nie jest zasilany, komutacji podlega jedynie stojan. Prąd doprowadzany jest do faz silnika za pomocą zewnętrznych komutatorów. Komutatory te można traktować jako przełączniki prądu.

Typowy dwufazowy silnik krokowy ma komutację czterotaktową:

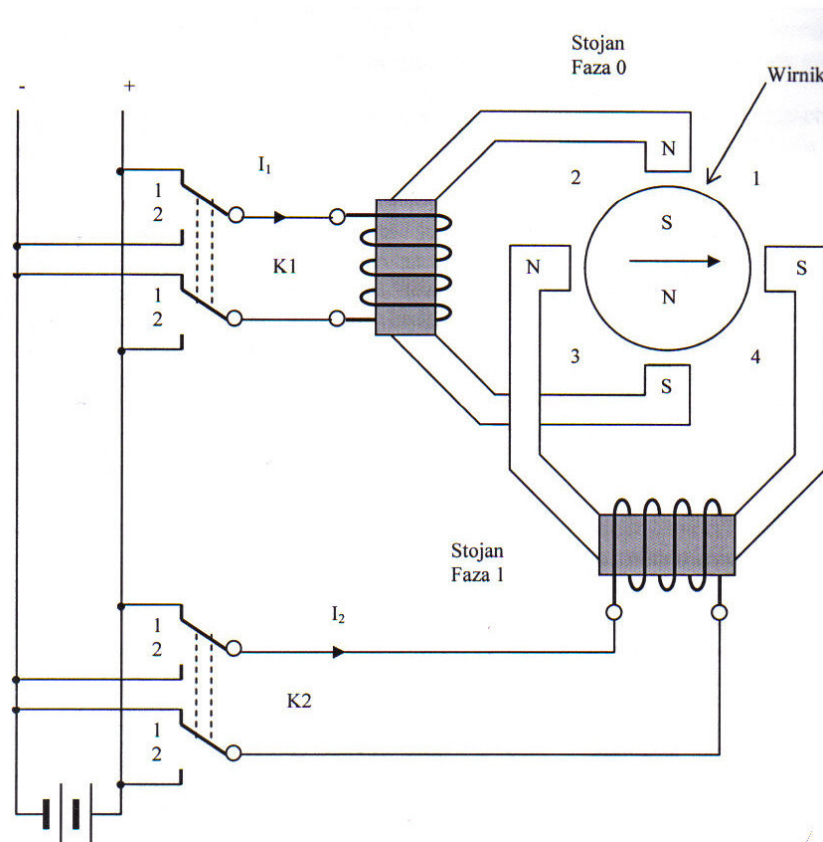
1. Po zasileniu cewki 1 napięciem o dodatniej biegunowości, wytworzy ona strumień a wirnik zajmie położenie by kierunek jego strumienia był zgodny z kierunkiem strumienia stojana,
2. Po zasileniu cewki 2 napięciem o dodatniej biegunowości strumień zmieni kierunek o 90° , co spowoduje obrót wirnika o ten sam kąt,
3. Zasilając cewkę 1 napięciem o ujemnej biegunowości otrzymamy strumień przemieszczony o kąt 90° w porównaniu z taktem poprzednim, wirnik znów podąży za tą zmianą tak jak to jest pokazane na rysunku poniżej,
4. W ostatnim takcie zasilamy cewkę 2 napięciem o ujemnej biegunowości, w wyniku czego otrzymujemy analogiczny skutek jak w pozostałych taktach.



Cały takt komutacji możemy zapisać w postaci: (+1) – (+2) – (-1) – (-2).

W praktyce sterowanie odbywa się z pomocą odpowiednich kluczy tranzystorowych.

Najprostszym przykładem wytwarzania momentu może być dwufazowy silnik magnetoelektryczny.



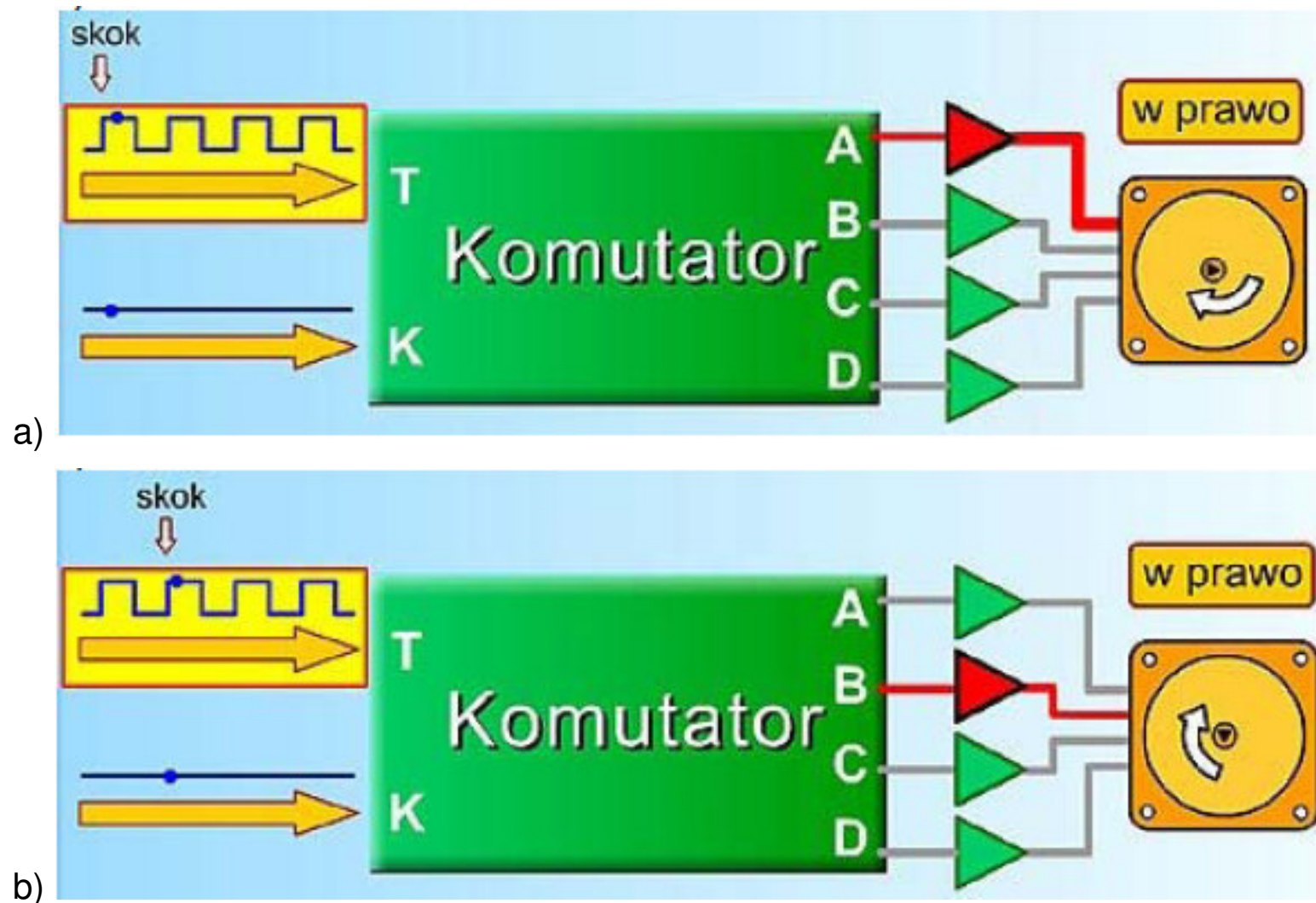
Rys. 5. Komutacja magnetoelektrycznego silnika krokowego

Pozycja Klucza K1	Pozycja Klucza K2	Pozycja wirnika	Kierunek obrotu wirnika
1	1	1	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;"> w pravo ↓ </div> <div style="text-align: center;"> ↑ lewo </div> </div>
2	1	2	
2	2	3	
1	2	4	

Położenie wirnika w funkcji stanów kluczy K1 i K2

W przypadku zastosowania silnika skokowego o wirniku biernym reluktancyjnym, który nie rozróżnia zmiany zwrotu wektora strumienia należy zastosować cztery pasma uzwojenia.

Układ komutacji takiego silnika jest pokazany poniżej:



Rys. 6. Komutator silnika skokowego: A,B,C,D - kolejne pasma silnika czteropasmowego,
T - wejście impulsów taktujących, K - wejście sygnału kierunku

a) - wzbudzanie pasma A po pierwszym impulsie taktu na wejściu T

b) - wzbudzanie pasma B po drugim impulsie taktu na wejściu T

W powyższym przypadku zmienialiśmy biegunowość napięcia sterującego, taki sposób jest nazywany **komutacją bipolarną**. Natomiast w przypadku niezmiennia biegunowości mamy do czynienia z **komutacją unipolarną**.

Pasma silnika mogą być wzbudzone pojedynczo, parami lub według innych zasad dostosowanych do jego budowy (np. przy czterech pasmach możemy w ośmiu taktach zasilać na przemian jedną lub dwie cewki).

Jeśli w czasie działania maszyny sposób ten nie jest zmieniany, mówi się o komutacji symetrycznej.

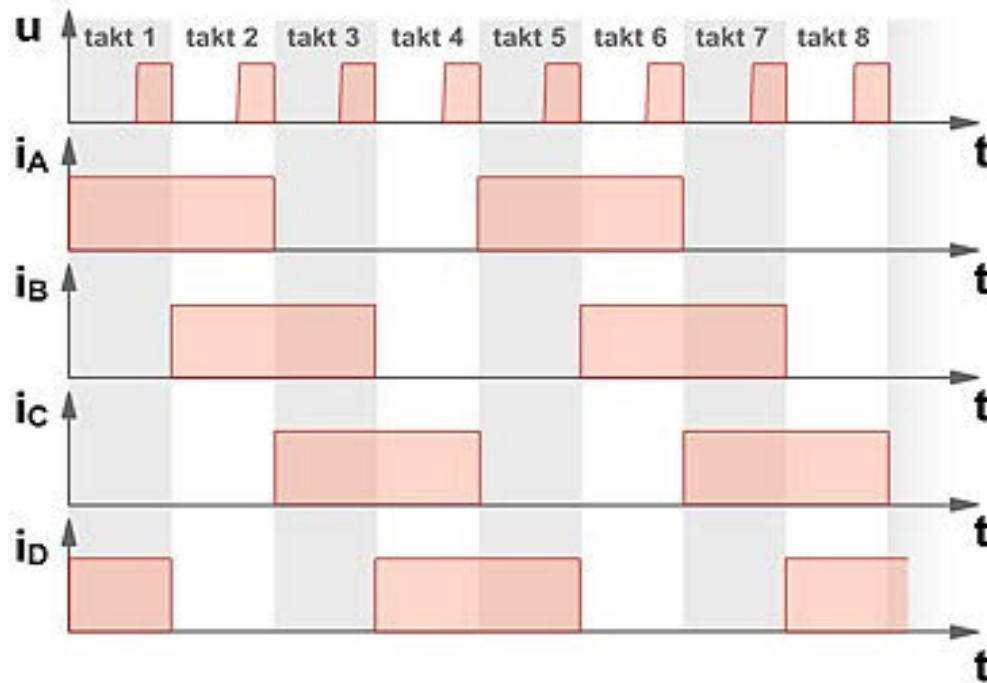
Łatwo zauważyć że w przypadku komutacji niesymetrycznej, zwiększa się dwukrotnie liczba taktów w cyklu, a tym samym zmniejsza się dwukrotnie skok wirnika silnika.

Przykładem może być często stosowany sposób nazywany 1/4. Oznacza to, że w każdej chwili tylko jedno z pasm jest wzbudzone, a liczba występujących kombinacji zasilania wynosi 4.

Innym równie często stosowanym algorytmem zasilania jest 2/4, czyli tzw. zasilanie pasm parami. Jest to sposób pozwalający na lepsze wykorzystanie miedzi uzwojenia.

Na rysunku poniżej pokazano wyidealizowany wykres obrazujący przebiegi prądów w pasmach silnika komutowanego w taki sposób.

W przedstawionym przypadku przełączenie komutatora następuje pod wpływem ujemnego zbocza impulsu taktującego.

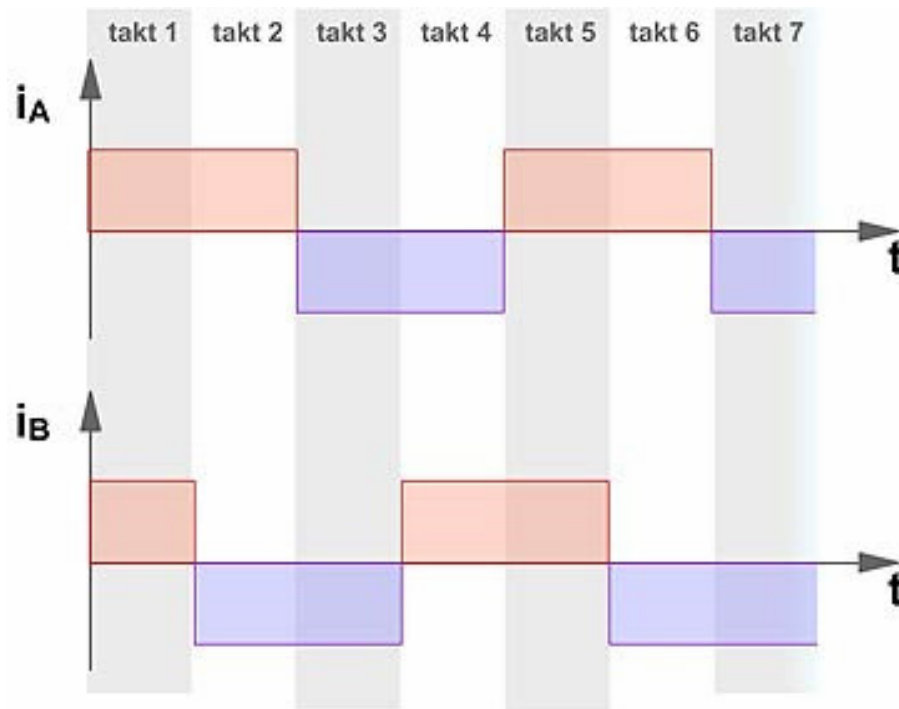


u - napięcie taktujące,

t - czas,

$i_A \div i_D$ - prądy w pasmach A, B, C, D

Rys. 7. Komutacja unipolarna czterech pasm parami wg algorytmu 2/4 (przebiegi wyidealizowane)

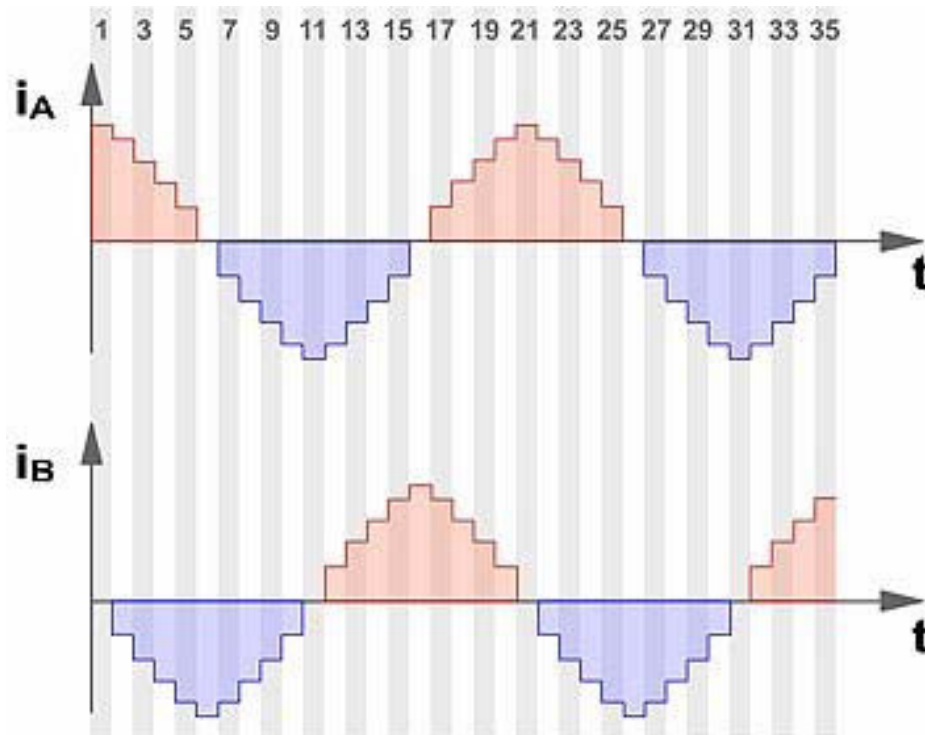


i_A, i_B - prądy w pasmach A i B

Rys. 8. Komutacja bipolarna dwóch pasm parami wg algorytmu 2/4 (przebiegi wyidealizowane)

Aby uzyskiwać jak najmniejsze skoki wirnika możemy zwiększać liczbę par biegunów wirnika lub liczbę pasm uzwojenia, jest to jednak kłopotliwe ze względów konstrukcyjnych.

Innym sposobem może być stopniowe przełączanie prądów w poszczególnych pasmach, co uzyskujemy metodami elektronicznymi. Przykład uzyskiwania mikroskoków jest pokazany poniżej:



i_A, i_B - prądy w pasmach A i B

Rys. 9. Komutacja bipolarna dwóch pasm parami z podziałem na mikroskoki (przebiegi wyidealizowane)

Skutkiem tego wytwarzany przez te prądy wypadkowy strumień magnetyczny w stanie również stopniowo zmienia swoje położenie kątowe. Na rysunku pokazano podział skoku na 5 mikroskoków.

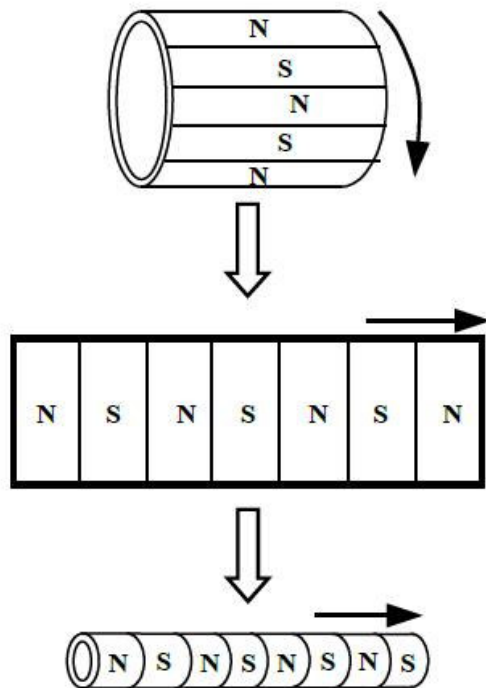
Podział taki, choć możliwy jak każdy inny, bywa rzadko stosowany ze względu na znaczne komplikacje układowe. Najczęściej stosowane są podziały na 2^n części, gdzie n - jest dowolną liczbą naturalną.

2.3. Ogólny podział silników krokowych

2.3.1. Podział ze względu na rodzaj ruchu

Oprócz opisanych powyżej silników krokowych obrotowych na rynku występuje również gałąź napędów krokowych liniowych. Tak jak w przypadku silników obrotowych, najczęściej spotykane są liniowe silniki skokowe reluktancyjne i hybrydowe, znacznie rzadziej elektrodynamiczne.

Hybrydowy, liniowy napęd krokowy składa się z ruchomego biegunnika i nieruchomego stojana.



Na rys. 10 pokazany jest sposób zamiany ruchu obrotowego na liniowy. Silnik uzyskany w wyniku tej transformacji nazywany jest też silnikiem tubowym.

Ponieważ rotor w takiej maszynie nie wykonuje ruchu obrotowego, ale tylko liniowy, więc w dalszej części pracy rotor będzie określany słowem rdzeń.

Silniki o ruchu liniowym znajdują zastosowanie jako:

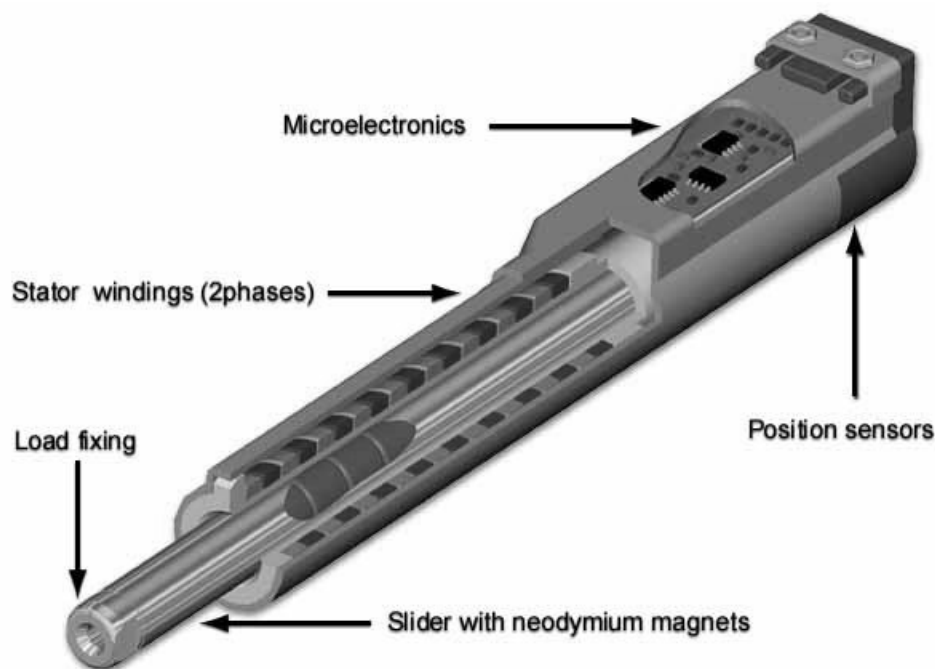
- zamienniki dla siłowników hydraulicznych,
- elementy wykonawcze różnego rodzaju manipulatorów
- precyzyjne elementy wykonawcze dla manipulatorów mikroskopowych
- elementy wykonawcze w pomieszczeniach o dużym rygorze czystości (np. produkcja cyfrowych układów elektronicznych)

Rys. 10. Transformacja silnika z ruchem obrotowym w silnik liniowy

Silniki liniowe charakteryzują się następującymi cechami:

- bezpośrednie połączenie do sterowników PLC lub komputerów przemysłowych,
- ciągłą kontrola pozycji rdzenia podczas wykonywania ruchu,

- bardzo duża dynamika ruchu, (ciągłe cykliczne operacje mogą być powtarzane z częstotliwością $> 15\text{Hz}$),
- zwarta budowa, konstrukcja stojana zintegrowana z czujnikami oraz łożyskami,
- duża długość rdzenia a w konsekwencji duże zakresy ruchu silnika liniowego,
- przystosowany do pracy w trudnych warunkach przemysłowych.



Silniki te są silnikami synchronicznymi, dwufazowymi z magnetycznym rdzeniem.

Silnik liniowy firmy LinMot składa się z:

- statora (wzbudnika), który zawiera 2 uzwojenia,
- rdzenia magnetycznego, zbudowany jest on z małych magnesów umieszczanych jeden obok drugiego w osi rdzenia,
- czujnik położenia rdzenia,
- moduł elektroniczny, który odpowiada za prawidłową pracę silnika.

Rys. 11. Budowa silnika liniowego firmy LinMot.

Zaletą liniowego silnika krokowego jest bezpośrednia zamiana impulsowych sygnałów wejściowych na przemieszczenie liniowe.

Liniowe napędy skokowe mają większą dokładność i sprawność oraz lepsze charakterystyki dynamiczne w porównaniu z wirującymi silnikami krokowymi w połączeniu z mechanizmami przetwarzania ruchu obrotowego na postępowy.

2.3.2. Podział ze względu na rodzaje uzwojeń silników krokowych

Klasyfikacja napędów krokowych rozróżnia ze względu na ilość segmentów silniki jedno i wielosegmentowe. Zwiększenie ilości segmentów umożliwia uzyskanie, przy odpowiednim zasilaniu impulsami uzwojeń segmentów, dużej liczby skoków na jeden obrót.

Z ilością segmentów związana jest ściśle ilość pasm uzwojeń silnika. Należy zauważyć, że istnieją dwa sposoby ułożenia pasm: symetryczne i niesymetryczne.

W konstrukcji symetrycznej uzwojenia dwóch przeciwległych biegunów stojana tworzą pasmo. Rozwiązanie niesymetryczne charakteryzuje się tym, że całe uzwojenie jednego pasma jest umieszczone na jednym biegunie.

Łatwo zauważyć że w przypadku komutacji niesymetrycznej, zwiększa się dwukrotnie liczba taktów w cyklu, a tym samym zmniejsza się dwukrotnie skok wirnika silnika.

Pasma silnika mogą być wzbudzane pojedynczo, parami lub według innych zasad dostosowanych do jego budowy (np. przy czterech pasmach możemy w ośmiu taktach zasilać na przemian jedną lub dwie cewki).

Silniki krokowe różnią się pod względem liczby pasm uzwojenia. Każde pasmo jest częścią uzwojenia i jest zasilane impulsami.

Rozróżnia się jedno-, dwu-, trzy-, cztero- lub pięciopasmowe silniki krokowe. Od liczby pasm zależą w dużej mierze właściwości silnika krokowego. Wraz ze wzrostem liczby pasm, zwiększa się moment obrotowy i liczba skoków na obrót przy malejącej wartości skoku.

Zwiększenie liczby pasm powoduje zmniejszenie pulsacji momentu obrotowego w efekcie dobre tłumienie oscylacji i ograniczenie zjawiska rezonansu.

3. SPOSOBY STEROWANIA SILNIKÓW KROKOWYCH

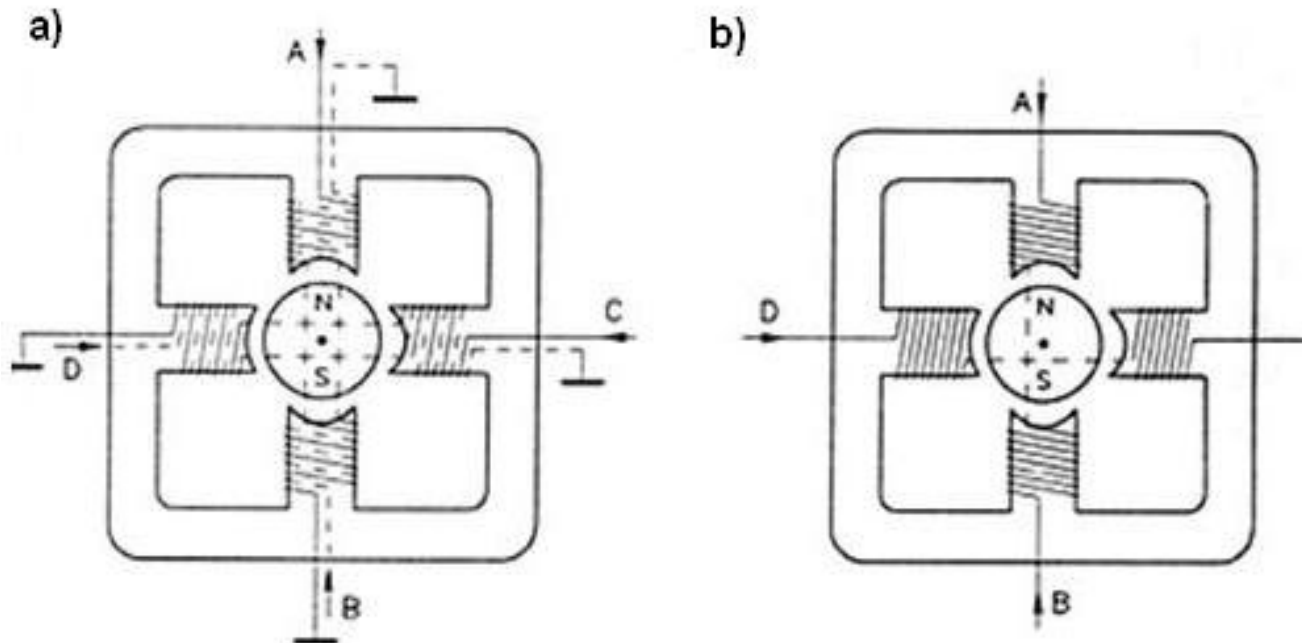
Rozpatrując właściwości silnika skokowego należy brać pod uwagę nie tylko cechy wynikające z budowy samego silnika ale trzeba brać pod uwagę silnik wraz z układem sterowania jako całość.

Rozpatrywanie samego tylko silnika daje obraz dalece niepełny. Układ sterowania odgrywa bowiem decydującą rolę w kształtowaniu pożądanych charakterystyk silników krokowych.

Zasadniczy rozwój silników krokowych zmierza w kierunku zwiększenia liczby skoków, sprawności i momentu obrotowego a zmniejszeniu inercji mechanicznej. O parametrach napędu skokowego decyduje konstrukcja mechaniczna danego obiektu i silnika, własności elektryczne i magnetyczne materiałów, z których wykonano silnik oraz sposób zasilania jego uzwojeń i wreszcie algorytm sterowania.

3.1. STEROWANIE BIPOLARNE I UNIPOLARNE SILNIKÓW KROKOWYCH

Wśród silników krokowych można wyróżnić dwa podstawowe typy: unipolarne i bipolarne.

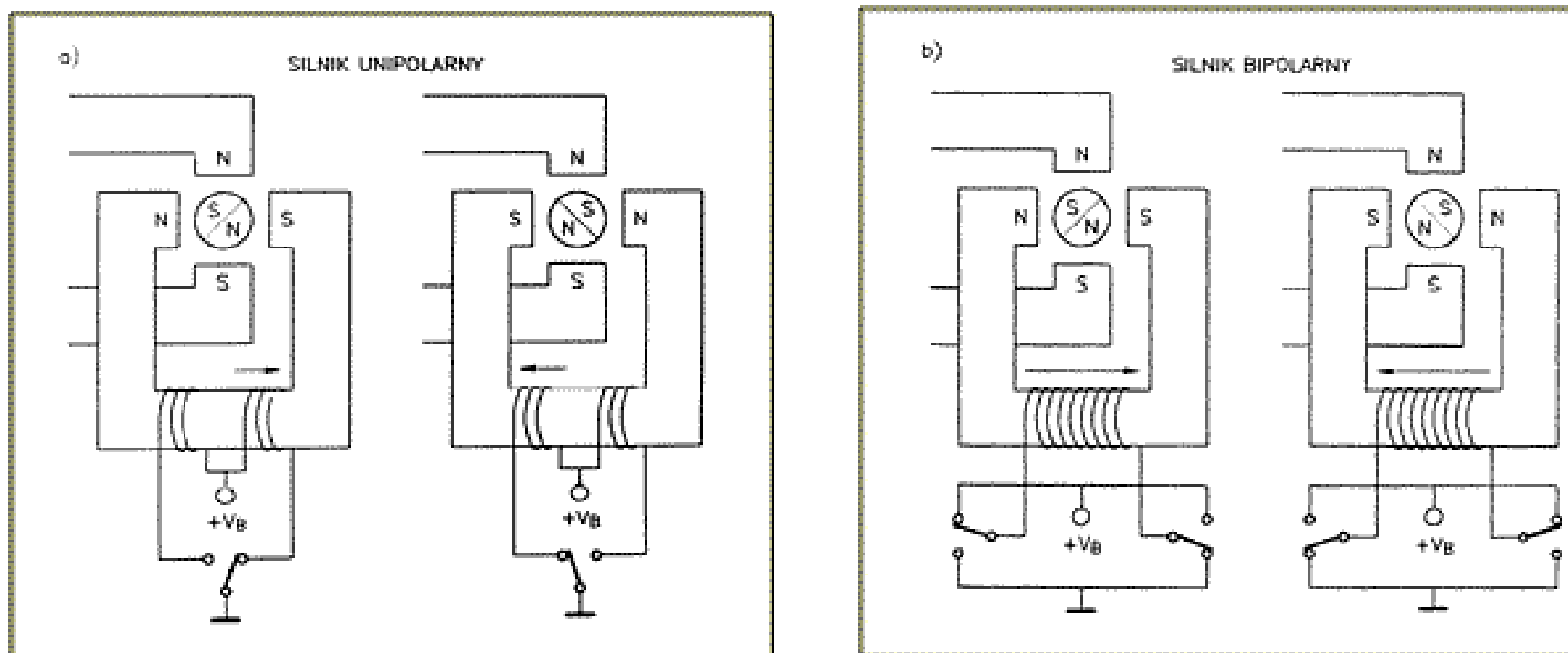


Rys. 12. Budowa silnika:
a) unipolarnego,
b) bipolarnego

Silnik bipolarny o dwóch fazach ma jedno uzwojenie na fazę, natomiast unipolarny ma jedno uzwojenie z odczepem pośrodku.

Istnieją także silniki posiadające po dwa uzwojenia na fazę. Mogą one pracować zarówno w trybie unipolarnym jak i bipolarnym.

Przy sterowaniu bipolarnym całe pasmo uzwojenia bierze jednocześnie udział w pracy natomiast przy sterowaniu unipolarnym jednocześnie jest włączona połowa pasma.



Rys. 13. Sposoby sterowania silnika : a) unipolarnego b) bipolarnego

W silniku bipolarnym do zmiany pola magnetycznego w rdzeniu wystarcza jeden przełącznik dwupozycyjny, lub dwa tranzystory włączane na przemian. W przypadku silnika unipolarnego do kluczenia prądu wystarczy jeden tranzystor na fazę.

Sterowanie unipolarne zapewnia przepływ prądu w danym uzwojeniu tylko w jednym kierunku, podczas gdy sterowanie bipolarne zapewnia przepływ prądu w dwóch kierunkach.

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.

Zaletą sterowania bipolarnego jest dobre wykorzystanie momentu obrotowego dzięki temu, że całe uzwojenie jest w stanie prądowym po otrzymaniu impulsu.

Ogólnie rzecz biorąc silniki bipolarne wymagają bardziej rozbudowanego układu sterowania. Problem ten został rozwiązany z chwilą pojawienia się specjalizowanych scalonych układów mocy zawierających dwa kompletne mostki tranzystorowe mogące kluczować znaczne prądy.

3.2. RODZAJE KROKU I ALGORYTMY KOMUTACJI

Najpowszechniejsze rodzaje sterowania to:

- falowe,
- pełnokrokowe,
- półkrokowe,
- mikrokrokowe.

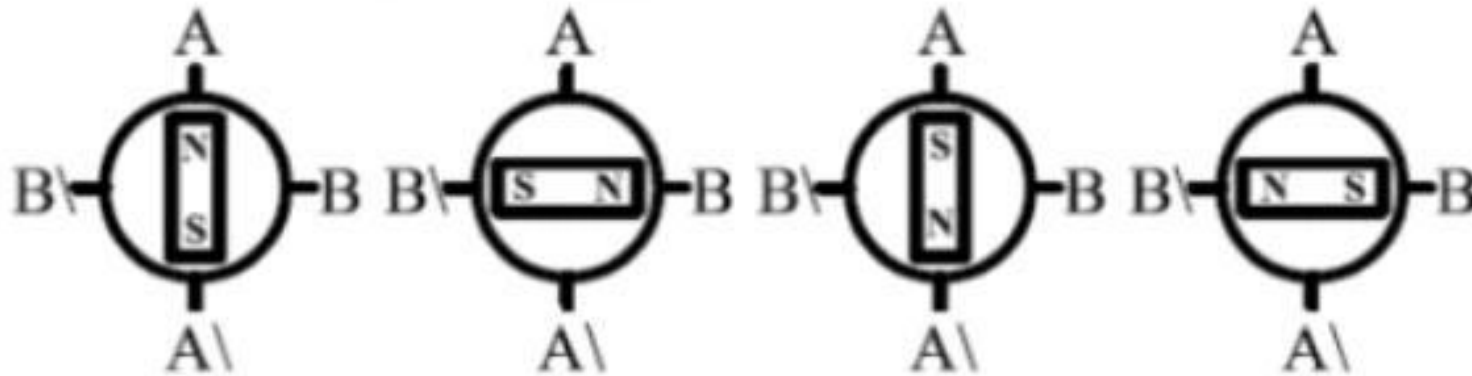
Pierwsze trzy rodzaje nie wymagają stosowania specjalnych układów energoelektrycznych. Najpopularniejsze silniki krokowe są dwufazowe, istnieją jednak silniki trójfazowe i pięciofazowe.

Silniki dwufazowe dzielimy na unipolarne i bipolarne. W związku z tym wyróżniamy konstrukcje z dwoma fazami i jednym, wspólnym odczepem po środku dla unipolarnych lub z dwoma uzwojeniami i osobnymi odczepami dla bipolarnych.

Unipolarne silniki nazywane są pięcio lub sześciu wyprowadzeniowymi. Bipolarne natomiast cztero i ośmio wyprowadzeniowymi. Fazy opisane są symbolami: A, A\, B, B\.

3.2.1. STEROWANIE FALOWE

W sterowaniu falowym inaczej zwanym jednofazowym w danym momencie zasilana jest jedna faza. Kolejność ich pracy jest następująca A-B-A'-B'. Wynikiem tego rodzaju sterowania jest wykonanie pełnego kroku.



Rys. 14. Położenie wału silnika dla pracy jednofazowej

Silniki falowe nazywane są silnikami unipolarnymi, co wynika właśnie z ilości faz silnika wykorzystywanych jednocześnie.

Dla silników o uzwojeniach unipolarnych i bipolarnych przy takich samych parametrach uzwojeń taki sposób zasilania wywołuje te same położenie mechaniczne.

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 czasu.

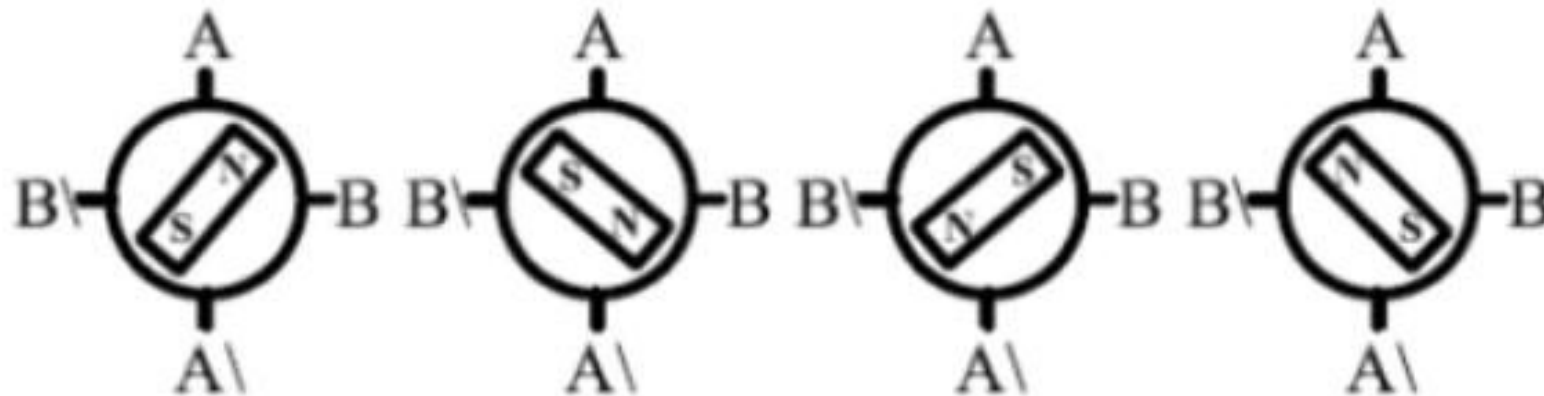
Oznacza to, że nie wykorzystuje się maksymalnego momentu wyjściowego silnika.

3.2.2. STEROWANIE PEŁNOKROKOWE

W sterowaniu dwufazowym inaczej pełnokrokowym w każdej chwili czasu zasilane są dwie fazy. Kolejność pracy opisuje się jako AB-A'B-A'B'-AB'.

Wynikiem tego rodzaju sterowania są takie same ruchy jak przy sterowaniu jednofazowym z tym, że pozycja wirnika jest przesunięta o pół kroku.

Jednak dzięki temu, że jednocześnie pracują dwie fazy silnik uzyskuje dwukrotnie większy moment w porównaniu do sterowania jednofazowego będący odpowiednikiem 50% całkowitego uzwojenia silnika.



Rys. 15. Położenie wału silnika dla pracy pełnokrokowej (dwufazowej)

Przy sterowaniu pełnokrokowym ruchy rotora są takie same jak przy falowym.

3.2.3. STEROWANIE PÓLKROKOWE

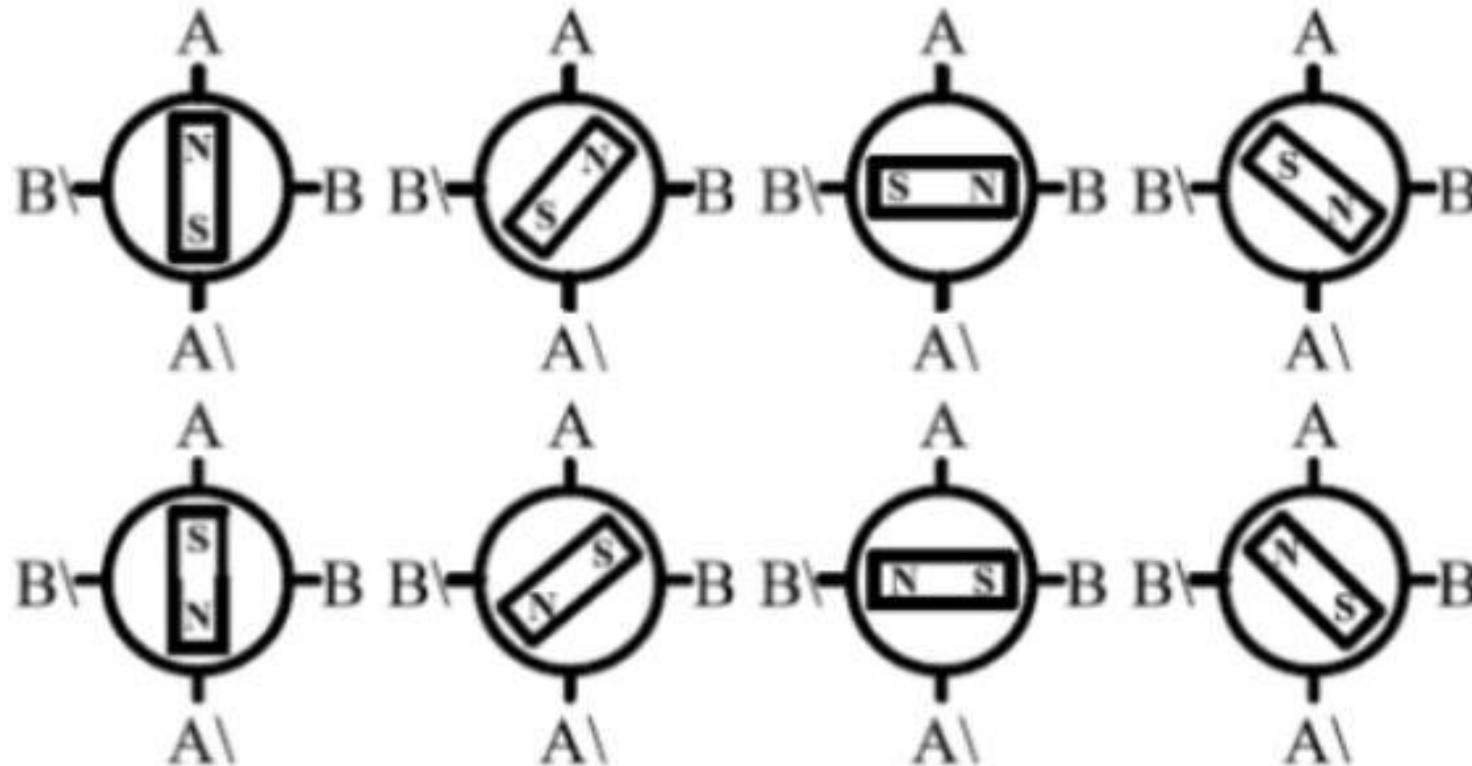
Sterowanie półkrokowe jest bardziej złożone od poprzednich dwóch rodzajów.

Sterowanie półkrokowe jest kombinacją sterowania dwufazowego i jednofazowego

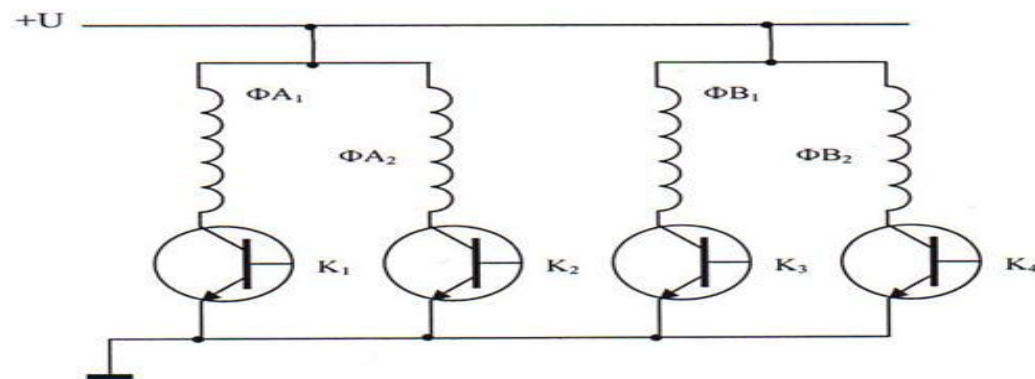
Stojan zasilany jest naprzemiennie na jedną, a następnie dwie fazy. Daje to w efekcie dwukrotnie krótszy krok.

Pozwala to na wyeliminowanie w dużym stopniu największej słabości pozostałych dwóch rodzajów pracy, efektu rezonansu mechanicznego silnika w trakcie pracy.

Schemat pracy w trybie półkropowym opisuje się kolejno AB-B-A'B-A'-A'B'-B'-AB'-A.



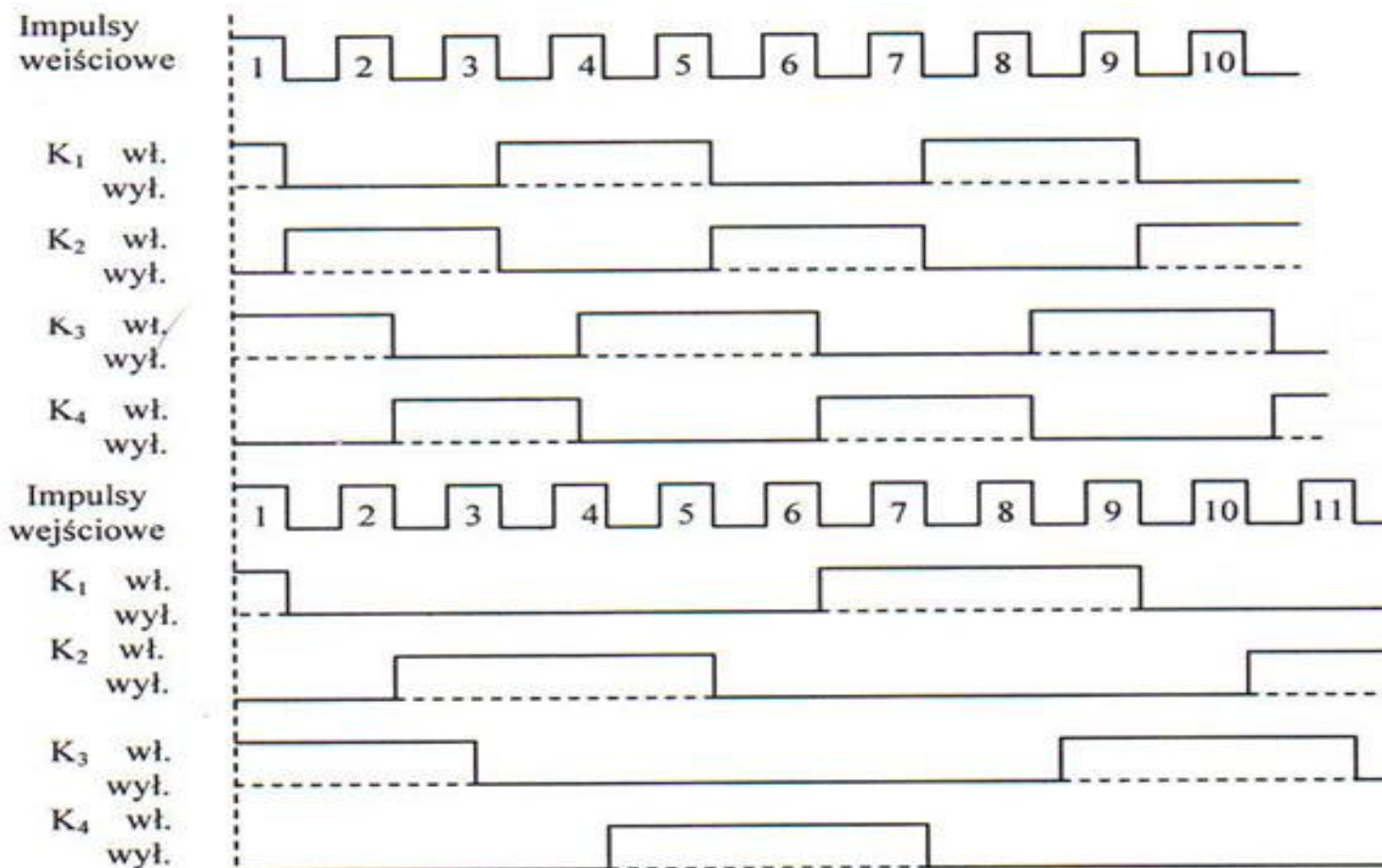
Rys. 16. Położenia wału silnika dla pracy z 1/2 kroku

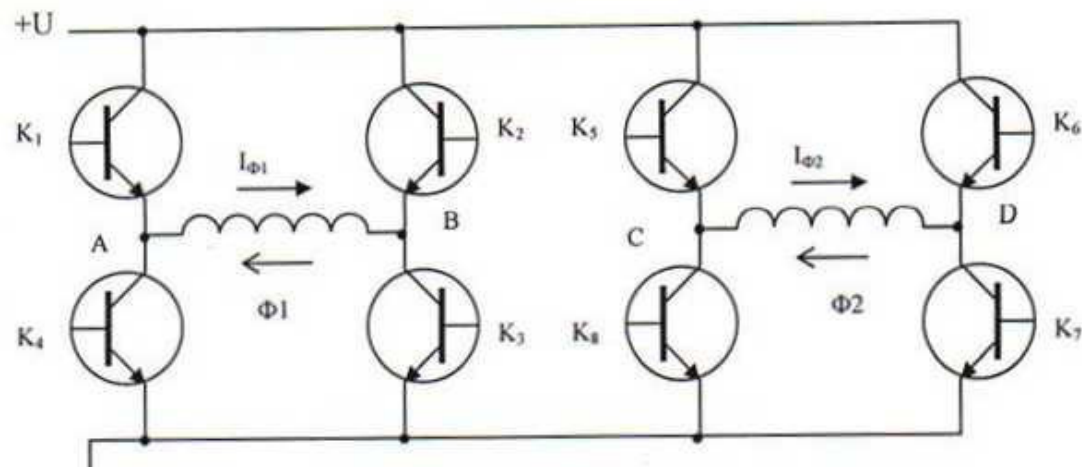


Silnik unipolarny 4-fazowy

Przebieg górny – pełny krok

Przebieg dolny – 1/2 kroku

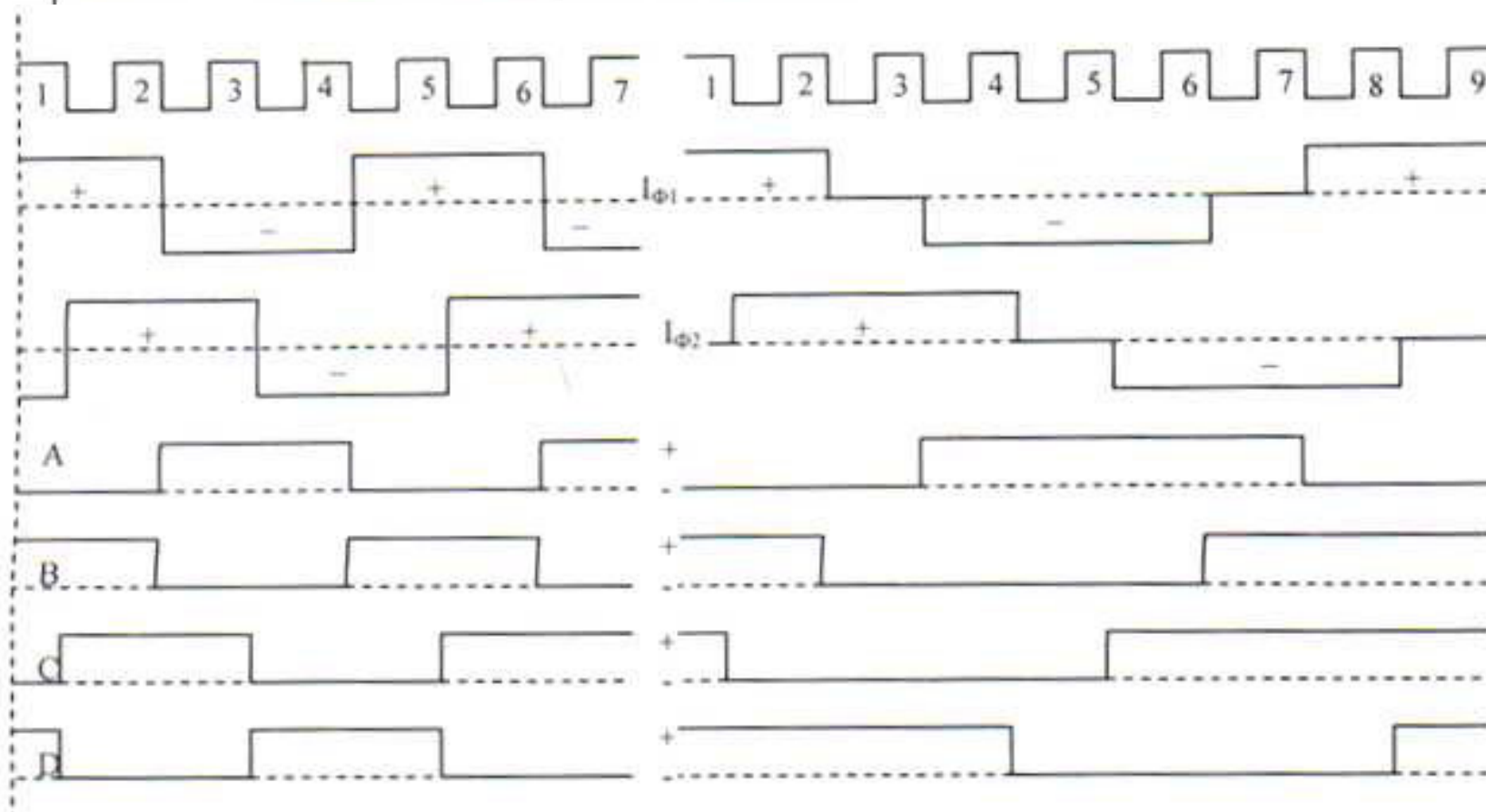




Silnik 2-fazowy bipolarny

Przebieg lewy – pełny krok

Przebieg prawy – 1/2 kroku



3.2.4. STEROWANIE MIKROKROWE

W sterowaniu mikrokrokovym prądy w uzwojeniach zmieniają się płynnie rozbijając w ten sposób pełen krok na wiele mniejszych kroczków.

Praca z mikrokrokiem polega na obracaniu polem magnetycznym stojana w sposób bardziej płynny niż w sterowaniu pełno i półkrokovym powoduje to mniejsze drgania i umożliwia bezszumowe poruszanie silnika do poziomu częstotliwości 0 Hz.

Powodem rezonansu silnika jest pulsujące dostarczanie energii. Lekarstwem na to może być mikrokrok. Silnik krokowy jest silnikiem synchronicznym. Oznacza to, że stabilne położenia zatrzymania wirnika jest zsynchronizowane z polem magnetycznym stojana.

Obroty wirnika uzyskuje się przez obracanie pola, wirnik podąża do nowego położenia stabilnego. Moment M wytwarzany przez silnik jest funkcją momentu spoczynkowego (moment trzymający) M_s i odległości pomiędzy polem magnetycznym stojana a pozycją wirnika Q_r

$M = M_s \cdot \sin(Q_s - Q_r)$ gdzie: Q_s i Q_r kątowa odległość wyrażone w stopniach elektrycznych.

Kiedy silnik sterowany jest w sposób pełno lub półkrokovy, pole magnetyczne stojana obraca się o odpowiednio 90° i 45° stopni elektrycznych na każdy krok silnika.

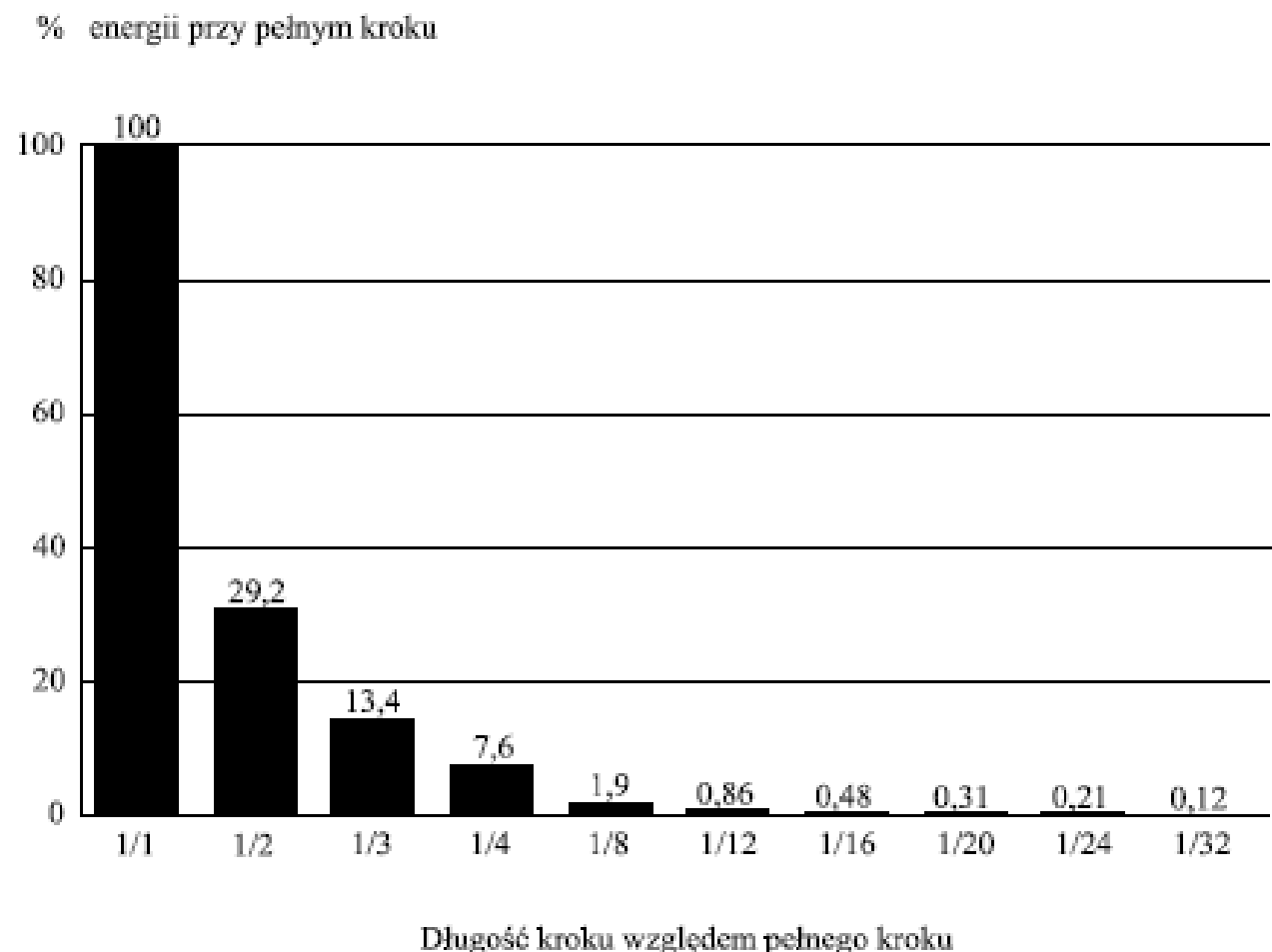
W sterowaniu mikrokrokovym należy prądy w uzwojeniach zmieniać płynnie rozbijając w ten sposób pełen krok na wiele mniejszych kroczków.

W pracy mikrokrokovej silnika układ sterowania musi wytworzyć sygnały o poziomach pośrednich pomiędzy maksymalną i minimalną wartością prądu źródła. Prądy w pasmach silnika wytwarzają wektor strumienia magnetycznego, którego położenie w przestrzeni jest określone przez wartość tych prądów.

Dzięki pracy z mikrokrokiem możliwe jest uzyskanie dokładniejszego pozycjonowania. Standardowy krok podzielony może być od 2 do 32 razy. W praktyce już przy podziale 8 i 16 uzyskuje się zadowalające rezultaty zmniejszenia wpływu rezonansu silnika.

Stosując sterowanie mikrokrokowe należy pamiętać, że wraz z podziałem kroku spadkowi podlega względna energia wzbudzająca przypadająca na jeden mikrokrok.

W sposób procentowy w odniesieniu do pełnego kroku przedstawia tę zależność rysunek poniżej.

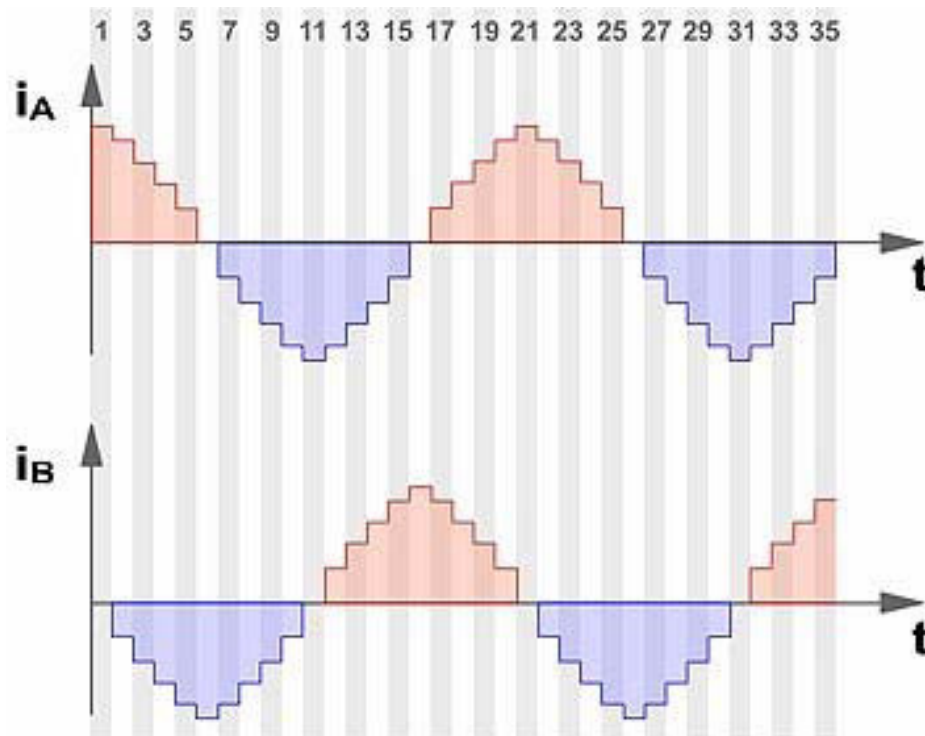


Rys. 17. Zmiana względnej energii przypadającej na jeden krok

Już przy 1/8 kroku energia potrzebna do wykonania skoku rotora jest 50 krotnie mniejsza.

Jeśli posiadamy sterownik, który może wytworzyć dowolny prąd na poziomie od 0 do 141% prądu nominalnego, możliwe jest wtedy wytworzenie obracającego się pola magnetycznego o dowolnej orientacji. Jest zatem możliwe wybranie dowolnego kąta elektrycznego kroku np. $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{32}$. Oprócz zmiany pola elektrycznego można zmienić jego natężenie.

Przykład wyidealizowanego uzyskiwania mikroskoków jest pokazany jeszcze raz poniżej:



i_A, i_B - prądy w pasmach A i B

Rys. 18. Komutacja bipolarna dwóch pasm parami z podziałem na mikroskoki

Skutkiem tego wytwarzany przez te prądy wypadkowy strumień magnetyczny w stanie również stopniowo zmienia swoje położenie kątowe. Na rysunku pokazano podział skoku na 5 mikroskoków.

3.3. Sterowniki silników krokowych na przykładzie sterownika SMC52

SMC52 jest sterownikiem przeznaczonym do współpracy z dwufazowym silnikiem krokowym. Umożliwia sterowanie pełnokrokowe lub krokiem podzielonym na 2, 4 lub 8 części, wymuszając odpowiednią wartość prądu w uzwojeniu silnika niezależnie od napięcia zasilania sterownika.

Każdy impuls prostokątny pojawiający się na wejściu kroku (CLK) powoduje przeskok silnika o jeden krok lub mikrokrok, w zależności od głębokości podziału krokowego ustawionego w sterowniku za pomocą zworek (M1 i M2).

Prąd znamionowy silnika ustalany jest za pomocą potencjometru znajdującego się na płytce drukowanej sterownika. Potencjometr umożliwia zmianę prądu fazy sterownika w zakresie 0,9 A do 2,5 A.

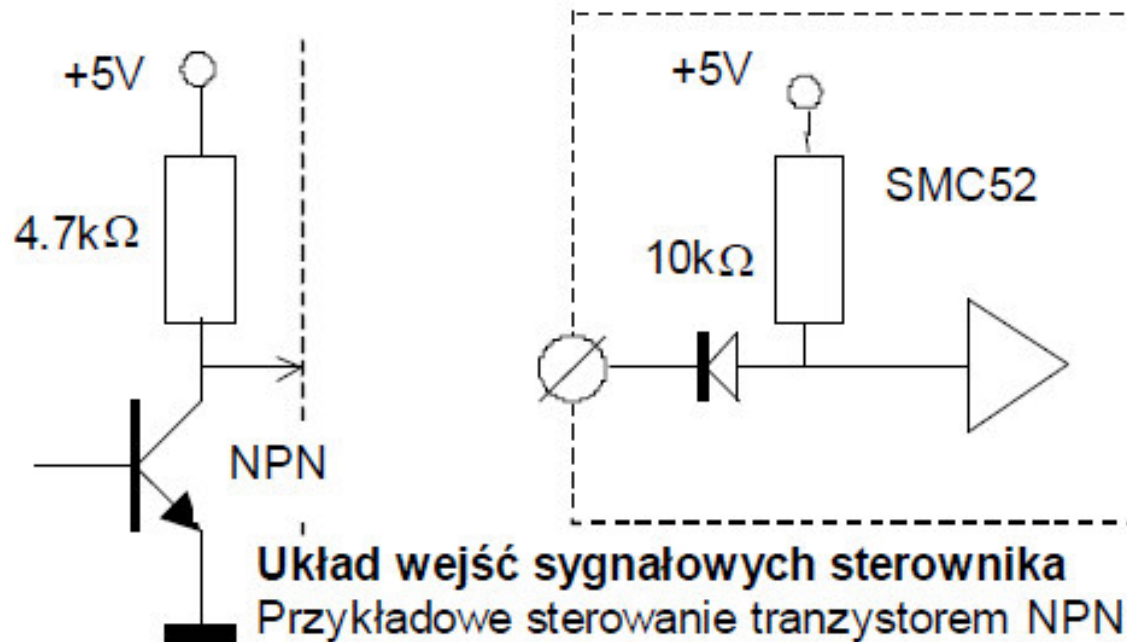
Charakterystyczne cechy sterownika:

- szeroki zakres napięcia zasilania +15V..+28V (35V max.)
- interfejs sterujący KROK/KIERUNEK
- wysoka częstotliwość kroku do 500kHz
- prąd znamionowy max 2.5A na fazę
- mikrokrok z podziałem do 1/8
- przeznaczony do obsługi silników 2-fazowych
- automatyczne kształtowanie sinusoidy
- podbicie prądu dla pracy mikrokrokowej (141% wartości prądu pełnokrokowego)
- zabezpieczenie termiczne końcówki mocy
- zabezpieczenie przeciwprzebieciowe końcówki mocy



Opis wejść sterujących

Przykładowy sposób sterowania wejść sterownika przedstawia poniższy rysunek. Do generowania sygnałów sterujących można użyć generatora np. sterownika PLC z odpowiednim wyjściem (umożliwiającym generowanie szybkich impulsów prostokątnych) lub z mikrokontrolera.



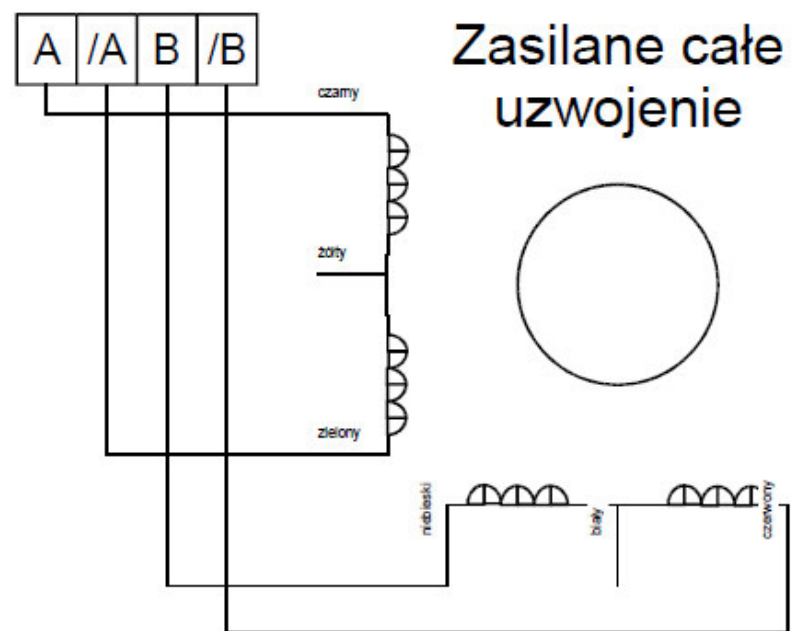
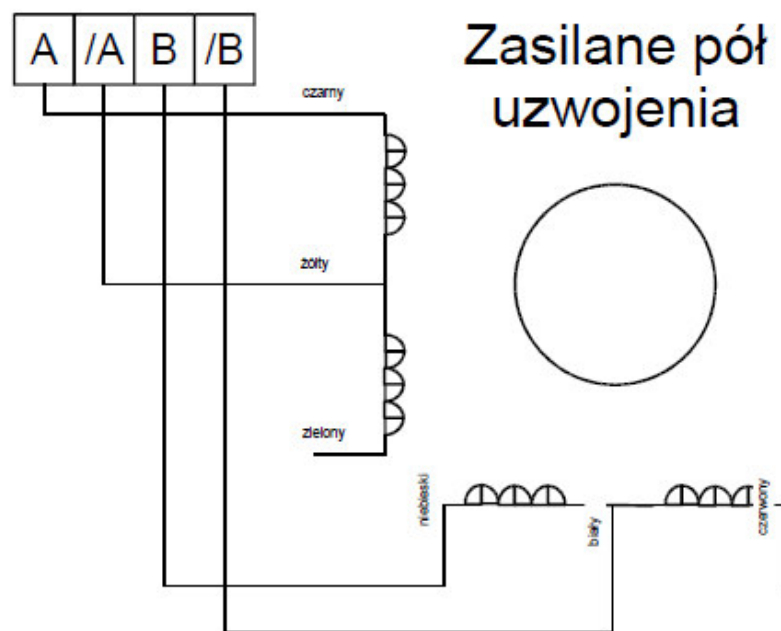
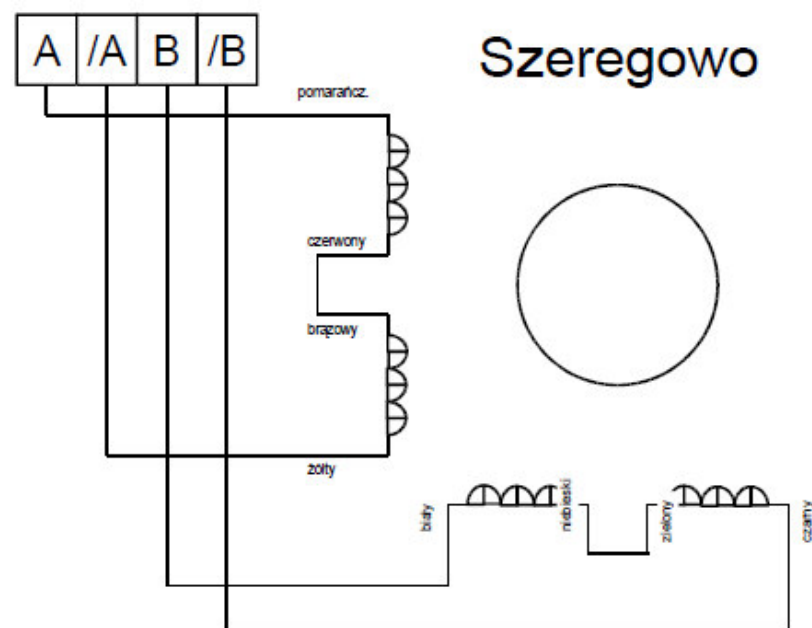
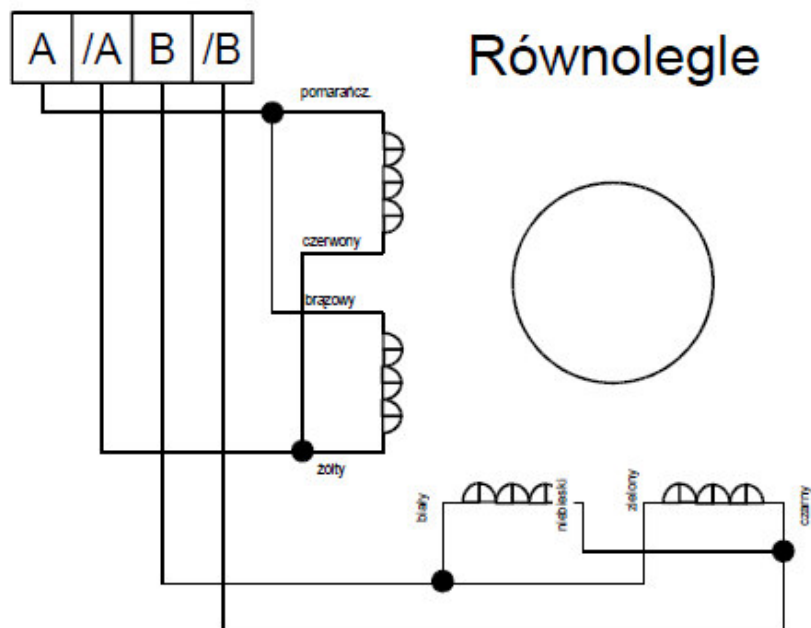
Wysterowanie wejścia sterownika polega na zwieraniu danego wejścia do masy.

Rys. 19. Sposób sterowania wejściami sterownika

Podłączenie silnika

Poniżej przedstawiono przykładowe sposoby podłączenia silników 8 i 6 przewodowych do sterownika. Podane kolory przewodów odpowiadają silnikowi 57BYG081 (8 przewodowy) i 42BYG802U (6 przewodowy).

Każdorazowo przed podłączeniem silnika należy zapoznać się z właściwymi kolorami przewodów, które określa producent silnika. Kolory kabli najczęściej podane są na etykiecie silnika.



4. Zalety i wady silników krokowych

Zalety:

- 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,
- możliwość osiągnięcia bardzo niskich prędkości synchronicznych obrotów z obciążeniem umocowanym bezpośrednio na osi,
- szeroki zakres prędkości obrotowych uzyskiwany dzięki temu, że prędkość jest proporcjonalna do częstotliwości impulsów wejściowych,
- jedną z najbardziej znaczących zalet silnika krokowego jest możliwość dokładnego sterowania w pętli otwartej. Praca w pętli otwartej oznacza, że nie potrzeba sprzężenia zwrotnego - informacji o położeniu. Takie sterowanie eliminuje potrzebę stosowania kosztownych urządzeń sprzężenia zwrotnego, takich jak enkodery optoelektroniczne. Pozycje znajduje się zliczając impulsy wejściowe.

Wady:

- rezonanse mechaniczne pojawiające się przy niewłaściwym sterowaniu,
- trudności przy pracy z bardzo dużymi prędkościami.

Zastosowanie silników krokowych

Ze względu na wymienione cechy charakterystyczne silniki skokowe znalazły bardzo wiele różnorodnych zastosowań. Ich udział ilościowy w całej grupie małych maszyn elektrycznych przekracza 15 % i stale rośnie.

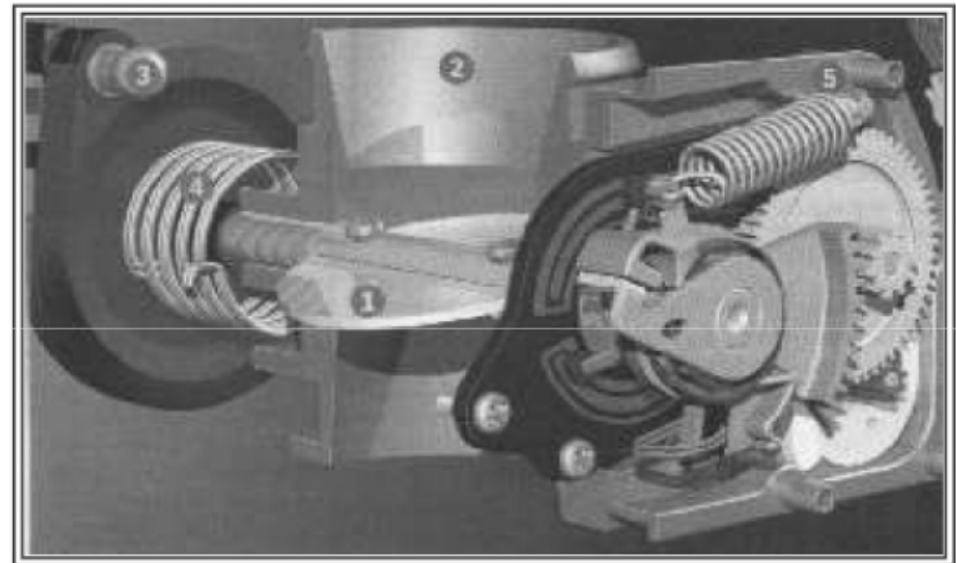
Znaleźć je można wszędzie tam, gdzie wymagane jest precyzyjne pozycjonowanie kątowe lub liniowe. Najwięcej silników skokowych znajduje się w komputerach i urządzeniach peryferyjnych do nich (stacjach dyskieta, dysków twardych, czytnikach i nagrywarkach płyt CD, DVD, drukarkach, skanerach).

Nowoczesne aparaty fotograficzne, kamery wideo, rzutniki obrazów i projektory, pozycjonery anten satelitarnych, telefaksy mają w swej budowie silniki skokowe.

Setki milionów silników skokowych pracuje na całym świecie w urządzeniach technologicznych, a wśród nich w robotach, manipulatorach, pozycjonerach, drukarkach kodów, układach selekcji, w maszynach sprzedających, pakujących i wielu, wielu innych.

Silniki do zastosowań technologicznych, a szerzej, profesjonalnych - często nazywa się elektromaszynowymi elementami automatyki wyróżniając tą nazwą maszyny o szczególnie wysokiej jakości wykonania i stabilności parametrów.

Podobnie wysokie wymagania odnośnie jakości wykonania i dokładności ruchu stawiane są silnikom stosowanym do budowy aparatury medycznej, jeszcze wyższe do urządzeń militarnych i lotnictwa, a najwyższe do sprzętu kosmicznego.



Rys. 20. Silnik krokowy w przepustnicy powietrza