

# Silniki krokowe od podstaw

## część 3 - sterowanie

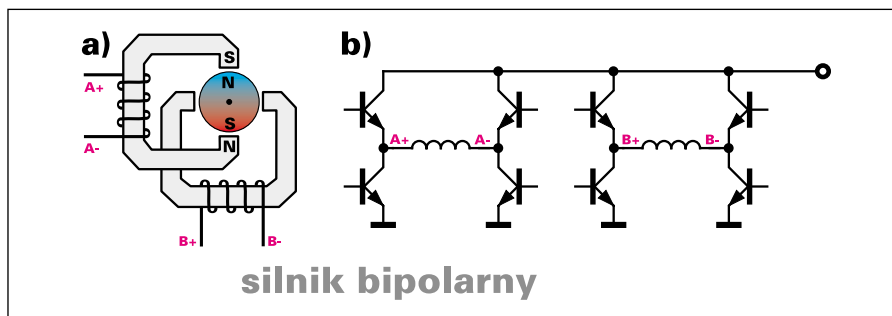
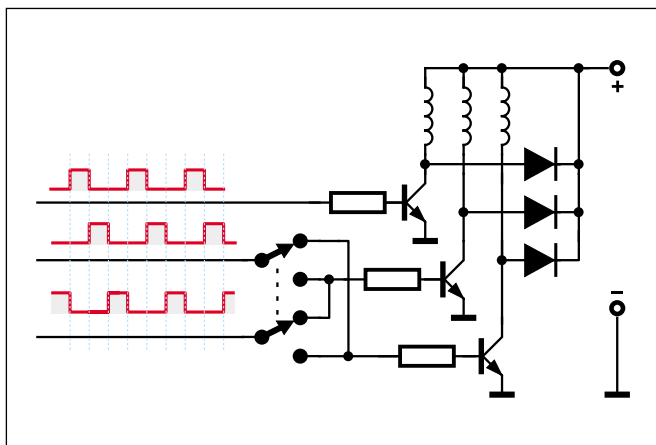


### Silniki VR

Silniki o zmiennej reluktancji mają zwykle trzy uzwojenia – porównaj rysunek 16 w EdW 8/2002 (czasem uzwojeń jest więcej). W poprzednim odcinku przedstawiona była zasada ich działania. Wynika z niej, że należy kolejno zasilać poszczególne uzwojenia. Zmiana kierunku wirowania następuje po zmianie kolejności zasilania uzwojeń. Zasilanie kolejno uzwojeń w sekwencji A, B, C, A, B, C, A, ... spowoduje obracanie się wirnika w jednym kierunku. Zasilanie w sekwencji A, C, B, A, C, B,... spowoduje obroty w kierunku przeciwnym. Można to zrobić, na przykład zamieniając miejscami końcówki dwóch uzwojeń. **Rysunek 30** pokazuje sekwencję sterującą i stopień wykonawczy z tranzystorami bipolarnymi.

Ponieważ silniki takie nie są już stosowane, nie będziemy się nimi bliżej zajmować.

Rys. 30



silnik bipolarny

### Silniki PM i HB

Pomimo odmiennej zasady działania, **silniki PM (z magnesem stałym) i HB (hybrydowe) mogą być i są sterowane w identyczny sposób**. Ogólne zasady sterowania pełnokrokowego i półkrokowego zostały przedstawione w pierwszej części cyklu (EdW 7/2002 str. 22). Warto jednak wgłębić się w zagadnienie, by w pełni zrozumieć dalsze szczegóły.

### Silniki bipolarnie i unipolarnie

Choć w rzeczywistości silniki PM i HB mają po kilka biegunów, w sumie zawierają tylko dwa uzwojenia, podzielone na sekcje. Dlatego uproszczony model z dwoma uzwojeniami z **rysunku 31a** (wg rysunku 21) jest doskonałym punktem wyjścia do dalszej analizy. Ry-

Rys. 31

sunki 21, 23, 26 pokazują, że w silnikach trzeba wytworzyć wirujące pole magnetyczne. Można to zrobić, zmieniając kierunek prądu w uzwojeniach. **Rysunek 31b** pokazuje sposób sterowania z wykorzystaniem dwóch mostków tranzystorowych. Nazywane są one często mostkami H (H bridge, full bridge) z uwagi na podobieństwo do litery H. W mostkach można też zastosować różne tranzystory (MOSFET N, MOSFET P, NPN, PNP, „darlingtony”), ale najczęściej są to albo tranzystory bipolarnie NPN, albo MOSFET N. Choć taki sposób sterowania pozwala w pełni wykorzystać silnik, jego realizacja nie jest najłatwiejsza. Trzeba oddzielnieysterować każdy z ośmiu tranzystorów.

Aby radykalnie uprościć sterownik, wystarczy zastosować uzwojenie z odczepem w środku. Taki prosty sposób pozwala radykalnie uprościć sterownik – patrz **rysunek 32**. Prądy płyną niejako w tym samym kierunku, dlatego **silniki z dzielonym uzwojeniem nazywane są silnikami unipolarnymi**. W silniku według rysunku 31 prądy uzwojeń w kolejnych fazach cyklu płyną w obu kierunkach,

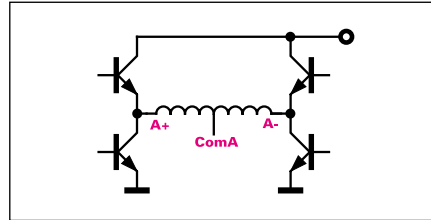
dlatego takie silniki nazywane są **silnikami bipolarnymi**. **Rysunek 33** pokazuje sposób wytworzenia zmian pola w obu typach silników.

Niewątpliwą zaletą silników unipolarnych jest łatwość sterowania – wystarczy cztery MOSFET-y i prosty generator sekwencji sterującej – porównaj rysunek 12 i 14 w EdW 7/2002.

Silnik bipolarny wymaga bardziej skomplikowanego sterownika. Ma jednak istotną zaletę. Jak pokazuje rysunek 32, połówki uzwojenia pracują na przemian, więc jedna z nich jest zawsze niewykorzystana, co zmniejsza maksymalne osiągi. W silniku bipolarnym pracuje całe uzwojenie i możliwości silnika można w pełni wykorzystać. Sterowanie bipolarnie daje lepsze wyniki, zwłaszcza przy małych i średnich prędkościach obrotowych; moment obrotowy jest wtedy większy o oko-

ło 30...40%. Jak pokazuje **rysunek 34**, każdy silnik unipolarny może pracować jako bipolarny – trzeba tylko zwiększyć napięcie zasilania. Jeszcze więcej możliwości daje silnik z czterema niezależnymi uzwojeniami. Może pracować jako unipolarny, a także jako bipolarny przy szeregowym i równoległym połączeniu uzwojeń według **rysunku 35**.

Rys. 34



Przy połączeniu równoległym według rysunku 35d silnik będzie prawidłowo pracował przy napięciu zasilania niższym, niż przy połączeniu szeregowym i będzie miał lepsze osiągi przy dużych prędkościach. Przy połączeniu szeregowym moment obrotowy jest większy przy małych prędkościach.

Początkującym można poradzić, żeby na początku wykorzystali ste-

rowanie unipolarne z czterema tranzystorami, a w razie potrzeby zawsze mogą wykorzystać sterowanie bipolarnie.

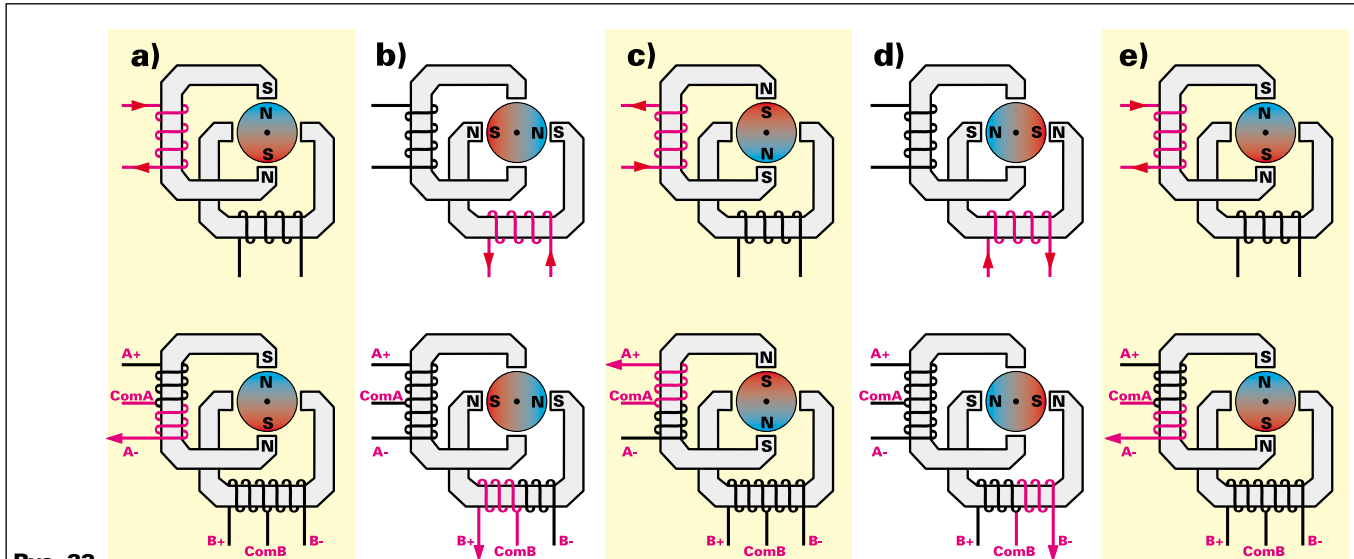
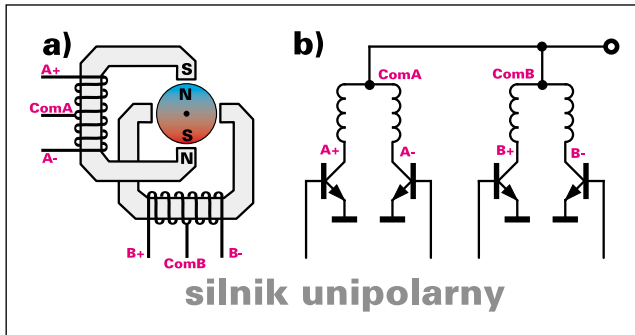
### Kroki i półkroki

W poprzednim akapicie pojawiło się stwierdzenie, że silnik unipolarny ma słabsze osiągi, bo zawsze jedno z uzwojeń każdej pary jest niewykorzystane. Do tego dochodzi pokrewne zagadnienie związane ze sposobem sterowania. Rysunek 33 pokazuje, że w każdym takcie cyklu zasilane jest tylko jedno z dwóch uzwojeń silnika bipolarnego. Drugie zawsze jest nieczynne. Jeszcze gorzej jest w silniku unipolarnym, gdzie, jak pokazuje ten sam rysunek, w każdej chwili wykorzystywane jest tylko 25% wszystkich uzwojeń. Oczywiście oznacza to, że silnik nie jest w pełni wykorzystany. Taki sposób sterowania nosi nazwę **sterowania falowego** (wave drive) i jest to jednocześnie tak zwane sterowanie pełnokrokowe.

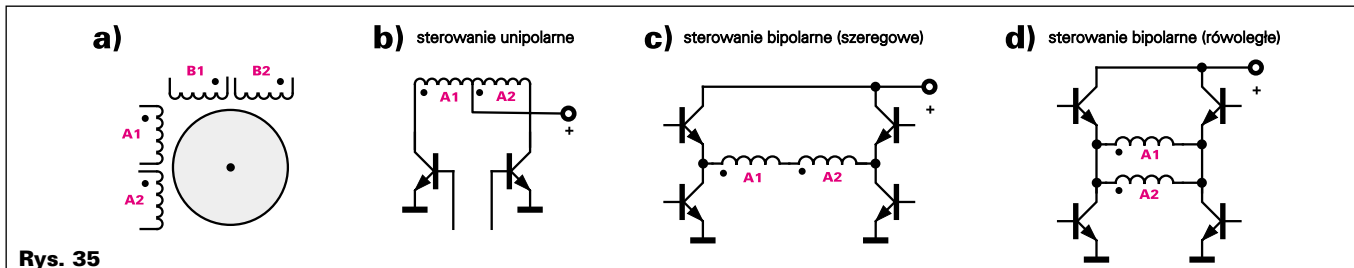
Wbrew pierwszemu wrażeniu, istnieje bardzo dobry sposób na wykorzystanie wszystkich uzwojeń silnika bipolarnego. Pokazuje to **rysunek 36** (porównaj go z rysunkiem 33). Teraz w każdej fazie cyklu zasilane są dwa uzwojenia. Nie dzieje się przy tym nic złego – bieguny wirnika ustawiają się nie naprzeciw biegunów stojana, tylko w połowie drogi między nimi.

W silniku unipolarnym można tak samo zasilac dwa z czterech uzwojeń, co polepsza moc i moment silnika – zobacz **rysunek 37**.

Rys. 32



Rys. 33



Rys. 35

Sterowanie, zarówno silników bipolarnych, jak i unipolarnych, według rysunków 36, 37, bywa stosowane w praktyce. Nazywany je **sterowaniem pełnokrokowym** (full step). (Sposób sterowania według rysunku 33 to też sterowanie pełnokrokowe, ale dla rozróżnienia nazywamy je sterowaniem falowym).

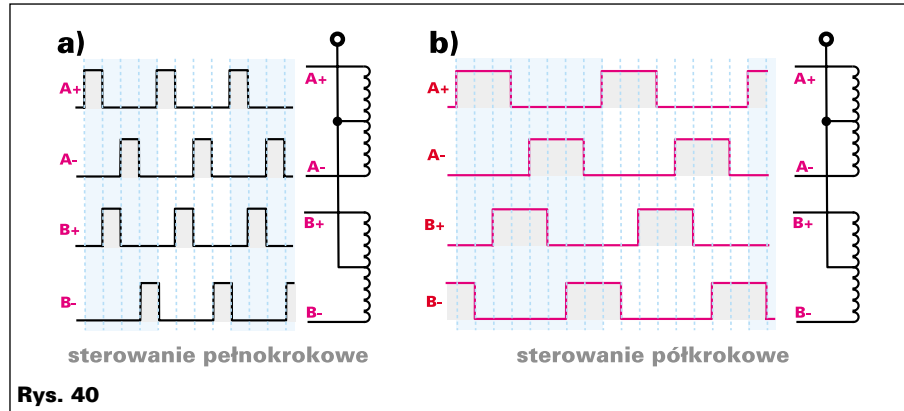
Jeszcze częściej wykorzystuje się **sterowanie półkrokowe** (half step), będące połączeniem poprzednio omówionych. Sekwencja sterująca i położenia przykładowego silnika bipolarnego pokazane są na **rysunku 38**, a unipolarnego na **rysunku 39** – porównaj rysunki 33, 36, 37. Na przemian zasilane jedno oraz dwa uzwojenia, przez co bieguny wirnika ustawiają się albo naprzeciw biegunów stojana, albo w połowie między nimi. Osiągi silnika są wprawdzie nieco gorsze, niż przy pracy pełnokrokowej (bo nie zawsze oba uzwojenia są zasilane), jednak praca półkrokowa ma istotne zalety. Typowe przebiegi sterujące silnika unipolarnego przy pracy pełno- i półkrokowej pokazane są na **rysunku 40**. Nie podaję przebiegów sterujących

dla ośmiu tranzystorów w mostkach zasilających silnik bipolarny. Zazwyczaj wykorzystuje się do tego specjalizowane układy scalone, a dociekliwi Czytelnicy w razie potrzeby bez trudu uzyskają je po analizie rysunków 31, 38 i 39. Kierunek obrotów zmienia się najczęściej przez zmianę sekwencji sterującej. W prostych zastosowaniach można po prostu zamienić końcówki A+, A- jednej pary uzwojeń.

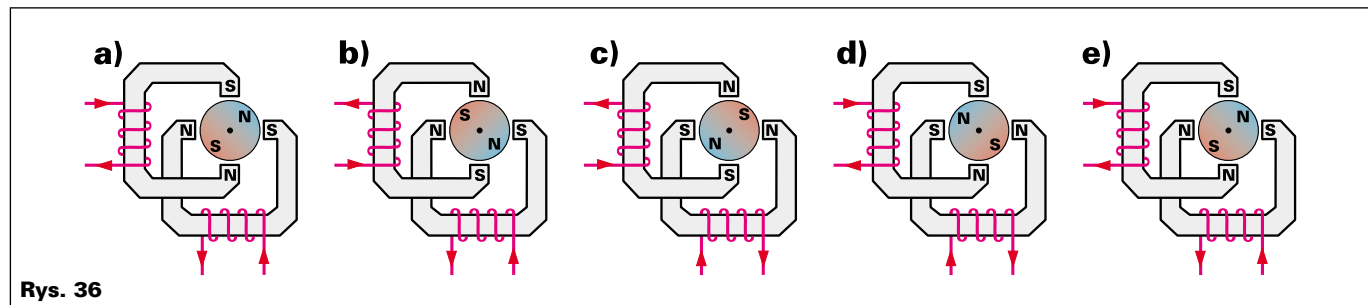
Pokazane rysunki dotyczą prostego silnika PM z jedną parą biegunów wirnika. Choć silnik HB ma inny sposób działania, a typowy silnik PM ma więcej biegunów, pokazane zasady dotyczą wszystkich silników PM i HB.

**Leszek Potocki**

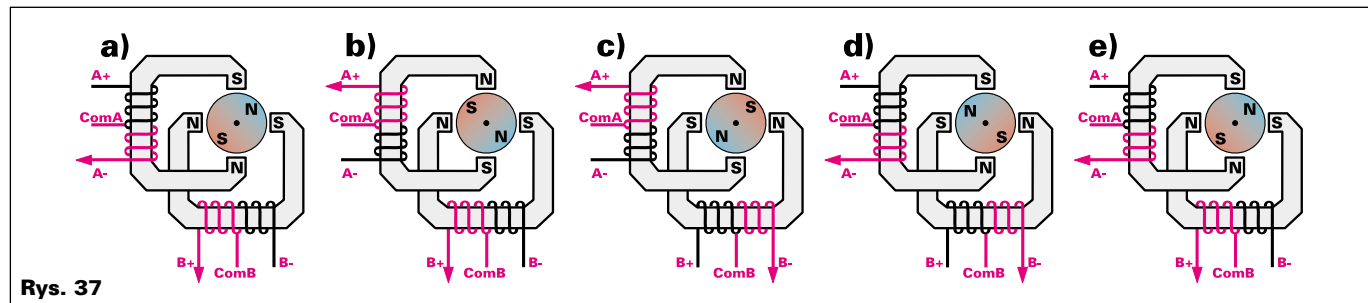
*Ciąg dalszy w następnym numerze EdW.*



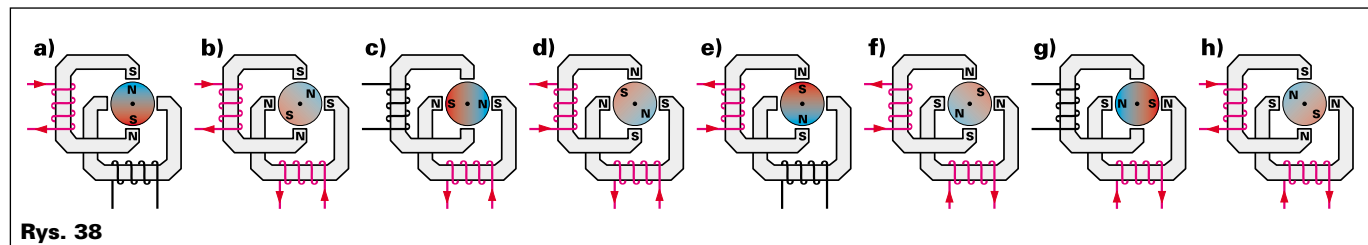
**Rys. 40**



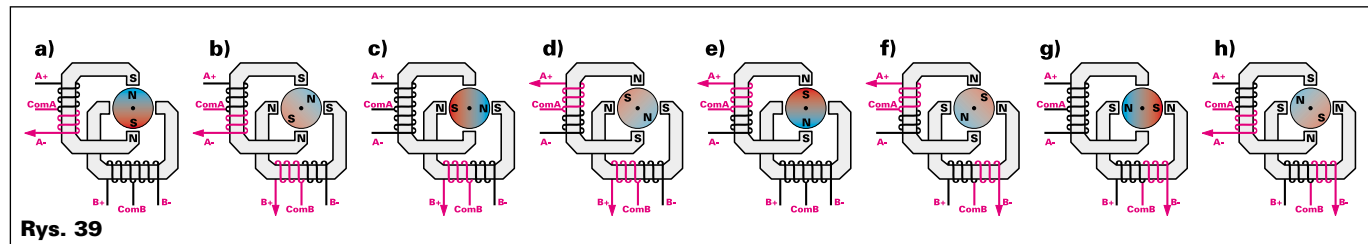
**Rys. 36**



**Rys. 37**



**Rys. 38**



**Rys. 39**