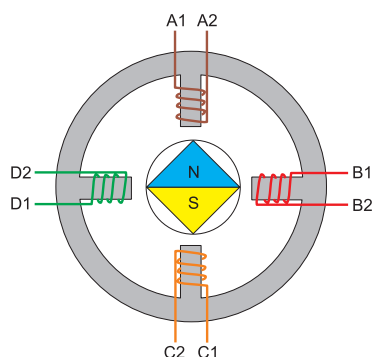


# Nowoczesne sterowniki silników krokowych, część 1

Silniki krokowe są coraz częściej wykorzystywane we współczesnych urządzeniach elektronicznych. Następująca miniaturyzacja, obniżanie kosztów zarówno silników jak i elektroniki sterującej, integracja sterowania w postaci jednego układu scalonego, są czynnikami przyspieszającymi ten proces. Firma STMicroelectronics wychodząc naprzeciw rosnącemu zainteresowaniu silnikami krokowymi opracowała rodzinę układów sterujących o nazwie powerSpin. Niniejszy artykuł prezentuje tę rodzinę.

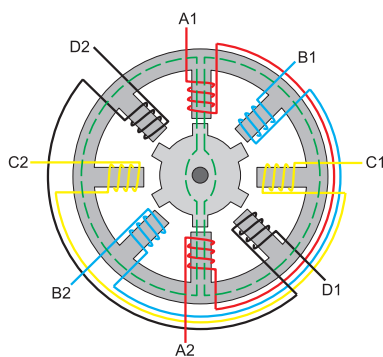
## Budowa silników krokowych

Z uwagi na sposób konstrukcji silniki krokowe dzielimy na dwie grupy: z magnesem stałym oraz o zmiennej reluktancji. Pierwszy typ silnika pokazany jest na rys. 1. Nie ma on zębów na rotorze i sta-

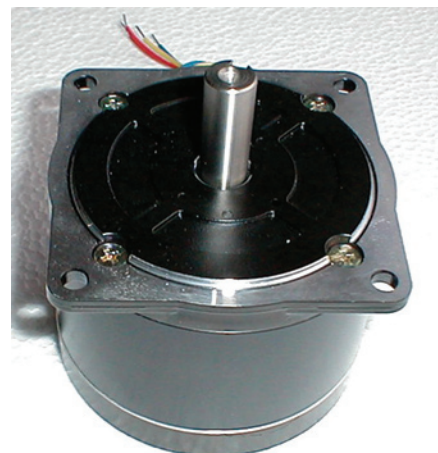


Rys. 1. Zasada działania silnika ze stałym magnesem

torze i w związku z tym przy jednym kroku obraca się o 45 lub 90 stopni. Jego zaletą jest bardzo wysoki moment obrotowy. Drugi typ silników (rys. 2) charakteryzuje się rdzeniem (rotorem) z miękkiego żelaza i uzwojony stator. W celu



Rys. 2. Zasada działania silnika o zmiennej reluktancji



jego uruchomienia należy kolejno przepuszczać prąd przez uzwojenia A, B, C oraz D.



Silniki krokowe wykorzystywane obecnie w automatyce przemysłowej składają się najczęściej z rdzenia z magnesem stałym osadzonego wewnątrz dwudzielnego rotora z zębami na zewnątrz oraz uzwojonego statora z zębami do wewnątrz. Dwie części rotora przesunięte są względem siebie o pół odległości pomiędzy zębami. Taki silnik nazywa się hybrydowym. Jego budowa pokazana jest na rys. 3. Zazwyczaj na rotorze jest 50 zębów, a na statorze 8 sekcji po 5 zębów. Gdy

## Specjalnie dla Czytelników EP:

próbki driverów do silników krokowych z serii



Oferujemy układy:

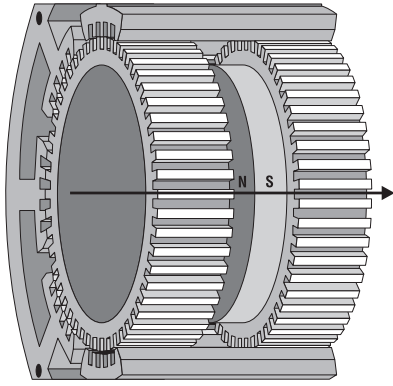
**L6205, L6206 i L6208** (w obudowach DIP)  
(ich dane katalogowe publikujemy na CD-EP6/2006B)

Smart Motor Driver Family

Fundatorem nagród jest firma



Na zgłoszenia czekamy do 22.06.2006.  
Prosimy je przesyłać na adres:  
**probki@ep.com.pl**. Akceptujemy wyłącznie e-maile z tematem "STM".



Rys. 3. Budowa silnika hybrydowego

silnik nie jest zasilany rotor ustawa się w taki sposób, aby zminimalizować reluktancję. Odstępy pomiędzy zębami na statorze są tak zorganizowane, że istnieje 200 pozycji neutralnych rotor/stator. Daje to z kolei krok  $360^\circ/200=1.8^\circ$ . Jest to krok podstawowy silnika hybrydowego.

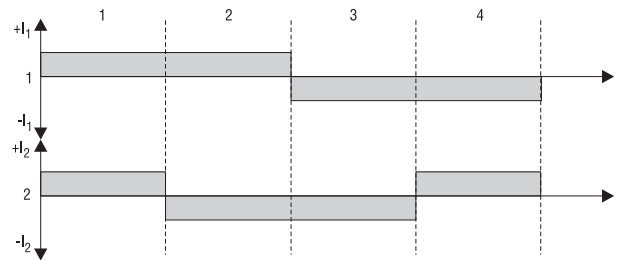
Silnik krokowy niezależnie od swej konstrukcji może mieć uzwojenia połączone na dwa sposoby. Pierwszy, częściej wykorzystywany, polega na połączeniu uzwojeń parzystych biegunów statora oraz nieparzystych niezależnie. Na zewnątrz silnika wyprowadzone są 4 przewody. Do ich sterowania potrzebne są dwa pełne mostki typu H. Druga metoda polega na połączeniu uzwojeń statora parami w sekcjach po 2. Środkowe odczepy są parami zwarte, w związku z tym na zewnątrz silnika wyprowadzone jest tylko 6 przewodów. Czasami zwiera się także te środkowe odczepy, jako że i tak są

podłączone do jednego potencjału. W takim przypadku na zewnątrz silnika wyprowadza się tylko 5 przewodów. Obydwie metody sterowania pokazano na rys. 4. Choć metoda unipolarna wydaje się prostsza do sterowania, to metoda bipolarna daje większy moment obrotowy przy starcie, co w połączeniu z integracją układów sterowania w postaci jednego chipu, czyni ją bardziej popularną. W dalszej części artykułu skupimy się tylko na sterowaniu silnikami bipolarnymi.

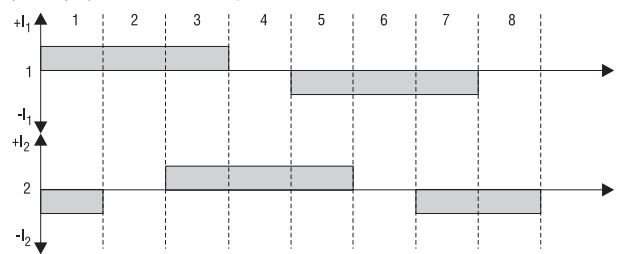
Najprostszą metodą sterowania jest praca pełnokrokowa. W tej metodzie prąd płynie zawsze przez obydwie sekcje uzwojeń (dla przypomnienia: 2 sekcje po 4 uzwojenia). Kolejność faz pokazano na rys. 5. W pierwszej fazie prąd płynie przez obydwie sekcje w tym samym kierunku. Nazwijmy ten kierunek dodatnim. W drugiej fazie odwracamy kierunek prądu w drugiej sekcji. W trzeciej fazie odwracamy kierunek w pierwszej sekcji, itd. Każda faza odpowiada obrotowi o jeden pełny krok, tj.  $1.8^\circ$ .

Inną metodą sterowania jest metoda półkrokowa. Schemat działania pokazano na rys. 6. Prąd płynie na zmianę przez jed-

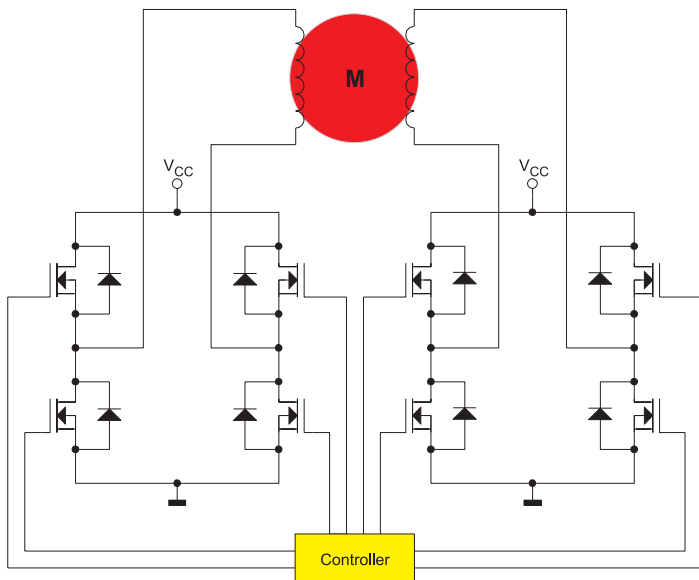
no lub dwa uzwojenia. Ponieważ moment obrotowy jest dużo większy, gdy prąd płynie przez obydwa uzwojenia niż przez jedno, to czasami stosuje się modulację prądu. Prąd w fazach 2, 4, 6 i 8 jest dwa razy większy, niż w fazach nieparzystych. Jedna faza odpowiada obrotowi o pół kroku, tj. o  $0.9^\circ$ . Dalszym rozwinięciem tej metody jest praca mikrokrokowa, gdy sterujemy uzwojenia silnika prądem sinusoidalnym lub zbliżonym do sinusoidalnego. W takim przypadku można uzyskać nawet do 100000 kroków na obrót. Pozwala to na bardzo precyzyjne ustawienie położenia silnika, zwłaszcza przy małych prędkościach obrotowych.



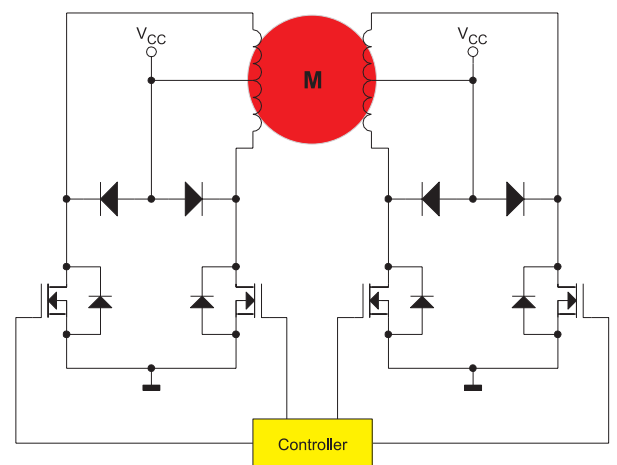
Rys. 5. Sposób sterowania uzwojeń silnika podczas pracy pełnokrokowej



Rys. 6. Sposób sterowania uzwojeń silnika podczas pracy półkrokowej



Rys. 4. Sterowanie silnikami krokowymi

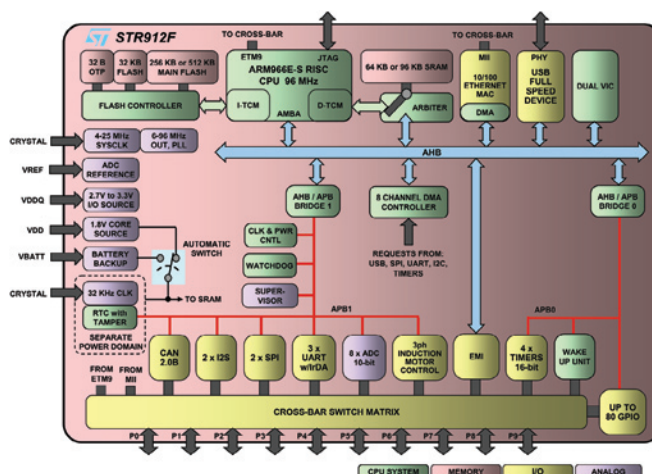


# STR91x – kontrolery z rdzeniem ARM9



www.st.com/mcu

- Rdzeń ARM966ES (16/32bit, 96MHz RISC)
- Architektura typu Harvard z 5poziomą kolejką (ang. pipeline)
- Instrukcje DSP wykonywane w pojedynczym cyklu zegara
- Do 512kB wbudowanej pamięci Flash
- Do 96kB wewnętrznej pamięci RAM
- 2 układy DMA (1+8 kanałów)
- Wbudowany układ PLL 4...96MHz
- tryby oszczędności energii (od 55µA)
- Do 32 wektorów przerwań
- możliwość programowania w systemie (JTAG)
- minimalna ilość dodatkowych elementów zewnętrznych
- obudowy LQFP80, LQFP128



## Bogata oferta peryferiów:

- 11 interfejsów komunikacyjnych
  - Ethernet MAC (z dedykowanym kanałem DMA)
  - CAN 2.0B
  - USB full speed – slave
  - 3 interfejsy UART z IrDA
  - 2 interfejsy I2C
  - 2 interfejsy SPI
  - interfejs do zewnętrznej pamięci (EMI)
- 8 kanałowy, 10bit przetwornik A/C z czasem konwersji 2µs
- Do 80 linii wejścia/wyjścia
- 4 timery 16-bitowe z generatorami czasu martwego (sterowanie silnikami 3fazowymi)
- Wbudowany w pełni funkcjonalny układ RTC



Solidne wsparcie techniczne dostępne przez m.in [www.st.com/mcu](http://www.st.com/mcu):

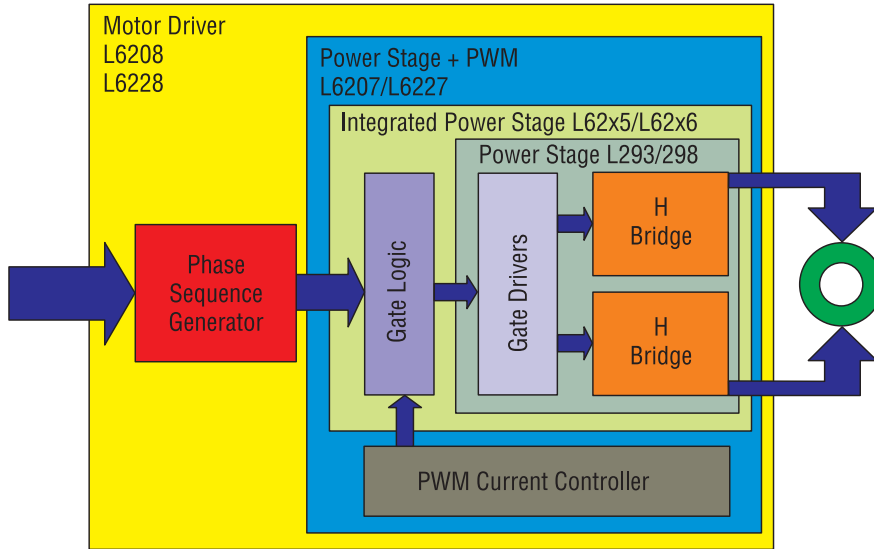
- narzędzia ewaluacyjne (ST, IAR, Raisonance, ...)
- darmowa biblioteka w języku C
- liczne noty aplikacyjne i przykłady programów
- solidna dokumentacja

www.st.com/mcu



**FUTURE ELECTRONICS POLSKA Sp. z o.o.**  
 03-704 Warszawa, ul. Panieńska 9  
 tel.: 022 618 92 02, fax: 022 618 80 50  
<http://www.futureelectronics.com>





Rys. 7. Schemat blokowy sterownika silnika

### Układy sterowania

Kompletny układ sterowania silnikiem krokowym składa się z następujących bloków funkcjonalnych:

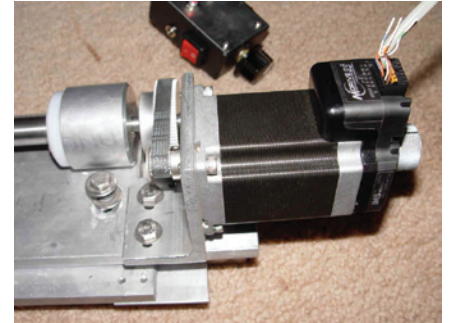
1. Jeden lub dwa pełne mostki (H bridge). Mogą być zbudowane zarówno z tranzystorów bipolarnych jak i MOSFET. Zaletą tych pierwszych jest proste sterowanie. Wadą duże zazwyczaj napięcie nasycenia tranzystorów, a co za tym idzie duże straty energii zamienianej na ciepło. Zaletą tranzystorów MOSFET są małe straty na przewodzeniu (z uwagi na niski  $R_{dsON}$ ). Do wad można zaliczyć konieczność dodania stopnia sterującego tranzystorami oraz wyższe niż w przypadku tranzystorów bipolarnych, napięcie zasilania. W obydwu przypadkach na samym wyjściu stopnia mocy powinny się znaleźć diody zabezpieczające przed przepięciami generowanymi na indukcyjności uzwojeń.

Do sterowania bipolarnym silnikiem krokowym potrzebne są dwa pełne mostki H. Jeżeli potrzebujemyysterować obydwie uzwojenia niezależnie, bądź sterujemy tylko jednym uzwojeniem (na przykład silnika DC), to wystarczy nam jeden mostek H.

2. Jak już wspomniano wcześniej w przypadku tranzystorów MOSFET jest wymagany sterownik (Gate Driver) wytwarzający wyższe napięcia w celu uruchomienia górnych tranzystorów mostka. Zazwyczaj jest to prosta pompa ładunkowa wymagająca

zaledwie kilku elementów zewnętrznych RC.

3. Do sterowania mostkami służy kolejny blok funkcjonalny (Gate Logic). Jest to prosta logika, której zadaniem jest zamiana kilku linii interfejsu na sygnały sterujące czterema lub ośmioma tranzystorami w stopniu wyjściowym. Dodatkowo może zawierać generator czasu martwego (dead time). Układ ten nie pozwala, aby w tym samym momencie przewodziły górny i dolny tranzystor mostka. Zabezpiecza to układ przed przeciążeniem i ewentualnie uszkodzeniem.
4. Do regulacji prądu płynącego przez uzwojenia silnika może być wykorzystywany w najprostszym przypadku komparator. Porównuje on spadek napięcia na rezystorze połączonym szeregowo z mostkiem z napięciem referencyjnym. Jeśli to pierwsze jest większe (co oznacza duży prąd płynący przez silnik), mostek zostaje wyłączony. Oczywiście układ sterowania prądem płynącym przez silnik może być dużo bardziej rozbudowany. Czasami można spotkać układy zawierające kilka komparatorów wybieranych poprzez zewnętrzne wyprowadzenia. Pozwa-



ła to na kształtowanie charakterystyki prądu płynącego przez silnik w pracy półkrokowej, tzw. shapping.

5. Niektóre układy sterowania silnikami krokowymi zawierają dodatkowo generator sekwencji (Phase Sequence Generator). Jest to prosty interfejs zamieniający kilka linii kontrolnych (zegar, kierunek obrotów, praca półkrokowa/pełnokrokowa, itd.) na sygnały sterujące mostkami. Z punktu widzenia mikrokontrolera, jest to najprostsze możliwe sterowanie. Wystarczy na początku zdefiniować stan linii kontrolnych, a następnie w żądanym momencie podać kolejny impuls zegarowy na wejście CLK. Tranzystory w mostkach zostanąysterowane odpowiednio do wykonania kolejnego kroku.

Wszystkie powyżej opisane bloki funkcjonalne pokazano schematycznie na rys. 7. Dodatkowo podane są oznaczenia elementów produkcji STMicroelectronics, które te bloki zawierają.

**Jerzy Baratowicz, ST**

Artykuł opracowano na podstawie materiałów firmy STMicroelectronics.

