

Mikrokontrolery do sterowania silnikami serii ST7MC, część 1



Od wielu lat mikroprocesory używane są do sterowania silnikami z elektroniczną komutacją uzwojeń (głównie silnikami krokowymi). W ostatnim dziesięcioleciu obserwujemy gwałtowny rozwój elektronicznych sterowników dla innych rodzajów silników: indukcyjnych oraz trójfazowych z wirującym magnesem (BLDC). Silniki te najlepiej pracują przy zasilaniu prądem przemiennym, możliwie najbardziej zbliżonym do sinusoidalnego. Kształtowanie sinusoidalnej obwiedni prądu uzyskuje się za pomocą modulacji współczynnika wypełnienia impulsów (PWM) lub impulsowej modulacji amplitudy (PAM). Ze względu na wymagane moce obliczeniowe, w bardziej zaawansowanych sterownikach wykorzystywano głównie procesory DSP, ale zapotrzebowanie rynkowe na tanie falowniki zaowocowało opracowaniem wielu typów prostych 8-bitowych mikrokontrolerów specjalnie przystosowanych do sterowania silnikami. Mikrokontrolery specjalizowane są wyposażone w dodatkowe układy peryferyjne:

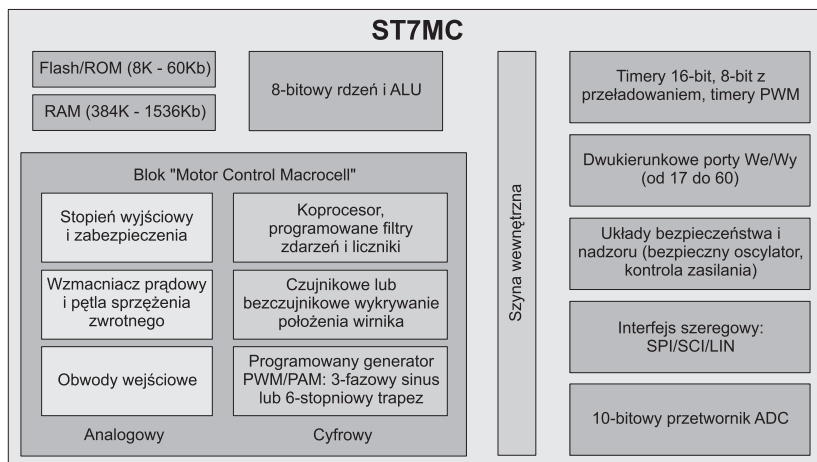
- Sprzętowe generatory PWM, umożliwiające generowanie impulsów o zmiennym współczynniku wypełnienia. Mikrokontroler może mieć „na pokładzie” od 2 do 6 takich generatorów.
- Wejścia analogowe do pomiaru prądu uzwojeń. Mogą być one wyposażone w odpowiednie wzmacniacze wejściowe.

Dobrze znana Czytelnikom EP rodzina 8-bitowych mikrokontrolerów ST7 wzbogaciła się o serię układów dedykowanych do układów sterowania silnikami z wirującym magnesem (BLDC) oraz silnikami indukcyjnymi. Firma ST Microelectronics wprowadziła w nich wiele nowinek technicznych, nie występujących w innych kontrolerach „silnikowych”.

- Wejścia analogowe i/lub cyfrowe do przetworników prędkości i położenia. Spotyka się tu także układy filtracji i kształtowania sygnałów, dostosowane do określonych przetworników (prądnica tachometryczna, enkoder, czujnik Halla).

Sprzętowa realizacja wybranych funkcji odciąża procesor i umożliwia realizację sterowania silnikiem w czasie rzeczywistym przez 8-bitową jednostkę centralną. Niektórzy

producenci zadbali także o odciążenie programisty, wyposażając swoje mikrokontrolery w pamięć ROM z biblioteką procedur realizujących podstawowe funkcje generowania przebiegów wyjściowych i sterowania silnikiem. Dla programisty piszącego w języku C procedury te dostępne są jako obiekty lub funkcje API. Pomimo tych wszystkich zabiegów, moc obliczeniowa kontrolera nie wystarcza do realizacji ste-



Rys. 1. Budowa mikrokontrolerów serii ST7MC

Tab. 1. Parametry mikrokontrolerów ST7MC

Symbol układu	Pamięć programu (FLASH)	RAM (bajtów)	Wejścia analogowe (10 bitów)	Standardowe timery (*1)		Interfejs szeregowy (*2)	We/Wy (wysoko-prądowe)	Obudowa
				16-bit	8-bit			
ST7MC1K2T6	8 kB	384	8	1(2/2/1)	1(1/0/1)	LINSCI	17 (3)	TQFP32
ST7MC2S4T6	16 kB	768	11	2(2/2/1)	1(1/0/1)	LINSCI, SPI	26 (6)	TQFP44
ST7MC2S5T6	24 kB	768	11	2(2/2/1)	1(1/0/1)	LINSCI, SPI	26 (6)	TQFP44
ST7MC2N6B6	32 kB	1024	14	2(2/2/1)	1(2/0/2)	LINSCI, SPI	36 (10)	SDIP56
ST7MC2R6T6	32 kB	1024	16	2(2/2/2)	1(2/0/4)	LINSCI, SPI	44 (12)	TQFP64
ST7MC2R7T6	48 kB	1024	16	2(2/2/2)	1(2/0/4)	LINSCI, SPI	44 (12)	TQFP64
ST7MC2M9T6	60 kB	1536	16	2(2/2/2)	1(2/0/4)	LINSCI, SPI	60 (12)	TQFP80

Uwagi:

(*1) W nawiasach podano możliwe tryby pracy timerów (IC/OC/PWM) tzn. wyzwalane, porównujące, modulacja PWM. Dodatkowe specjalizowane timery znajdują się w bloku „Motor Control”.

(*2) LINSCI™ jest uniwersalnym, asynchronicznym interfejsem szeregowym, mogącym pracować jako standardowy UART z własnym generatorem i transmisją do 500KbD, albo w trybie wielowęzłowym master/slave z protokołem LIN (Local Interconnect Network).

rowania urządzeniem, w którym zainstalowany jest silnik (np. obsługa klawiatury, wyświetlacza, wykonanie cyklu roboczego urządzenia).

Projektanci STM poszli o krok dalej, wyposażając mikrokontrolery serii ST7MC w bardzo rozbudowany blok sprzętowy „Motor Control Macrocell”, realizujący większość funkcji związanych ze sterowaniem silnika bez angażowania jednostki centralnej. Dzięki temu około 70% mocy obliczeniowej CPU jest dostępne dla aplikacji użytkownika.

Architektura kontrolerów ST7MC

Podstawowy schemat blokowy serii ST7MC przedstawiony jest na rys. 1. Poszczególne kontrolery różnią się wielkością pamięci programu i RAM, ilością wyprowadzeń i wyposażeniem, aktualnie seria ST7MC składa się z 7 typów kontrolerów z pamięcią programu FLASH, w opracowaniu są wersje ROM oraz układy na przemysłowy zakres temperatur pracy -40...+125°C (oznaczenie z sufiksem literowym 'C' zamiast '6'). Parametry aktualnie produkowanych mikrokontrolerów ST7MC są przedstawione w tab. 1.

Ponadto wszystkie mikrokontrolery serii ST7MC wyposażone są w następujące peryferia i funkcje:

- Timer Watchdog, resetujący procesor przy zakłóceniu pracy programu. Watchdog pracuje w trybie okienkowym, tzn. zawartość licznika timera musi być odświeżana przez program w określonych przedziałach czasowych - nie rzadziej, ale i nie częściej niż wynoszą zaprogramowane wartości graniczne.
- Monitor pracy systemu, nadzorujący zasilanie i generator zegarowy. Układ monitorowania napię-

cia zapewnia reset po włączeniu zasilania oraz generuje przerwanie przy niewielkim spadku napięcia, umożliwiając bezpieczne wyłączenie systemu. Monitor pracy generatora zegarowego jest wyposażony w dodatkowy generator PLL. Jeżeli nastąpi zanik sygnału z generatora kwarcowego, to generator PLL wytwarza własny sygnał zegarowy (o niższej częstotliwości) i generuje przerwanie sygnalizujące awarię.

- Timer/zegar RTC: dodatkowy timer mogący służyć jako stabilne źródło podstawy czasu w aplikacjach czasu rzeczywistego.
- Możliwość programowania i usuwania błędów programu w systemie (*In-circuit programming/debugging*).
- Możliwość zmiany oprogramowania w gotowym urządzeniu (*In-application programming*).

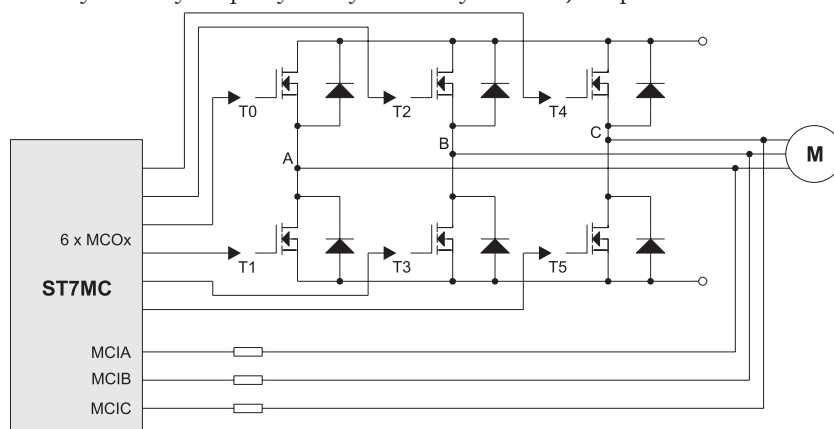
Blok sterowania silnikiem

W zależności od wybranej konfiguracji pracy, układ może sterować trójfazowym silnikiem indukcyjnym lub silnikiem z wirującym magnesem prądu stałego (BLDC) lub zmiennego.

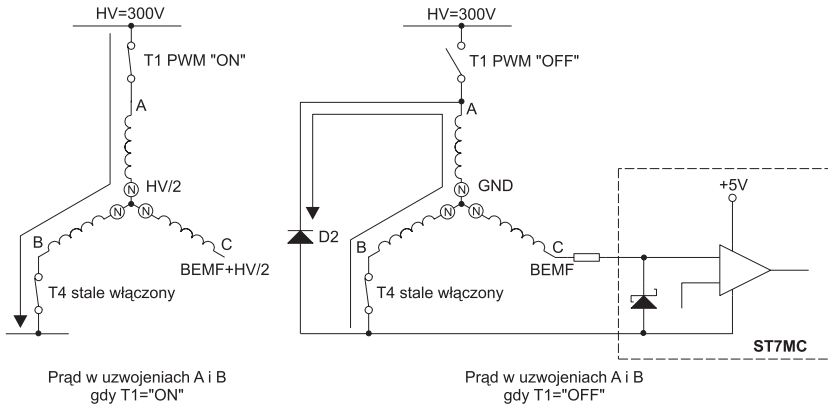
Do wyboru trybu pracy służy ze-

staw rejestrów konfiguracyjnych, dając programiście bardzo dużą liczbę opcji dostosowania pracy bloku sterowania silnikiem do specyficznych wymagań aplikacji.

W przypadku silnika indukcyjnego oraz silnika z wirującym magnesem wykorzystywanego jako silnik serwo AC, blok sterowania można traktować jako trójfazowy generator sygnałów sinusoidalnych o obwiedni kształtowanej metodą modulacji PWM. Trzy fazy przebiegu wyjściowego są multipleksowane na sześć oddzielnych wyjść, co umożliwia bezpośrednie sterowanie trójfazowego mostka 6-tranzystorowego. Sterowanie silnika może być realizowane w trybie regulacji częstotliwości i napięcia z ograniczeniem maksymalnego prądu uzwojeń albo w trybie stabilizacji prądu uzwojeń (praca ze stałym momentem obrotowym). Możliwa jest regulacja obrotów w układzie z zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego, z wykorzystaniem prądnicy tachometrycznej lub enkodera. Blok sterowania zawiera obwody wejściowe do cyfrowej obróbki sygnałów z przetwornika, za pomocą wpisu do odpowiedniego rejestru, można je skonfigurować do współpracy z wybranym rodzajem przetwornika obrotowo



Rys. 2. Uproszczony schemat sterowania silnikami BLDC



Rys. 3. Zasada pomiaru napięć BEMF

– impulsowego (prądnicza tacho, enkoder, czujniki optyczne lub Halla).

W przypadku silnika prądu stałego z wirującym magnesem (BLDC), sterownik silnika musi dysponować informacją zwrotną o aktualnym położeniu kątowym wirnika. Standardowym rozwiązaniem jest wyposażenie trójfazowego silnika BLDC w trzy czujniki magnetyczne Halla, przekazujące informację o położeniu biegunów magnetycznych wirnika względem uzwojeń. Kontrolery ST7MC obsługują taki tryb pracy, ale znacznie ciekawszym rozwiązaniem jest opatentowane przez firmę STM bezczujnikowe wykrywanie położenia wirnika poprzez pomiar wielkości i kierunku zwrotnej siły elektromotorycznej (*Back EMF*) indukowanej w uzwojeniach silnika.

Pomiar BEMF wykonywany jest w taki sposób, aby zminimalizować wpływ prądu roboczego uzwojenia na wynik pomiaru. Wbudowany układ detekcji zdarzeń wybiera optymalny moment pomiaru, uwzględniając przesunięcie fazowe prądu względem napięcia oraz moment zaniku strumienia magnetycznego uzwojenia.

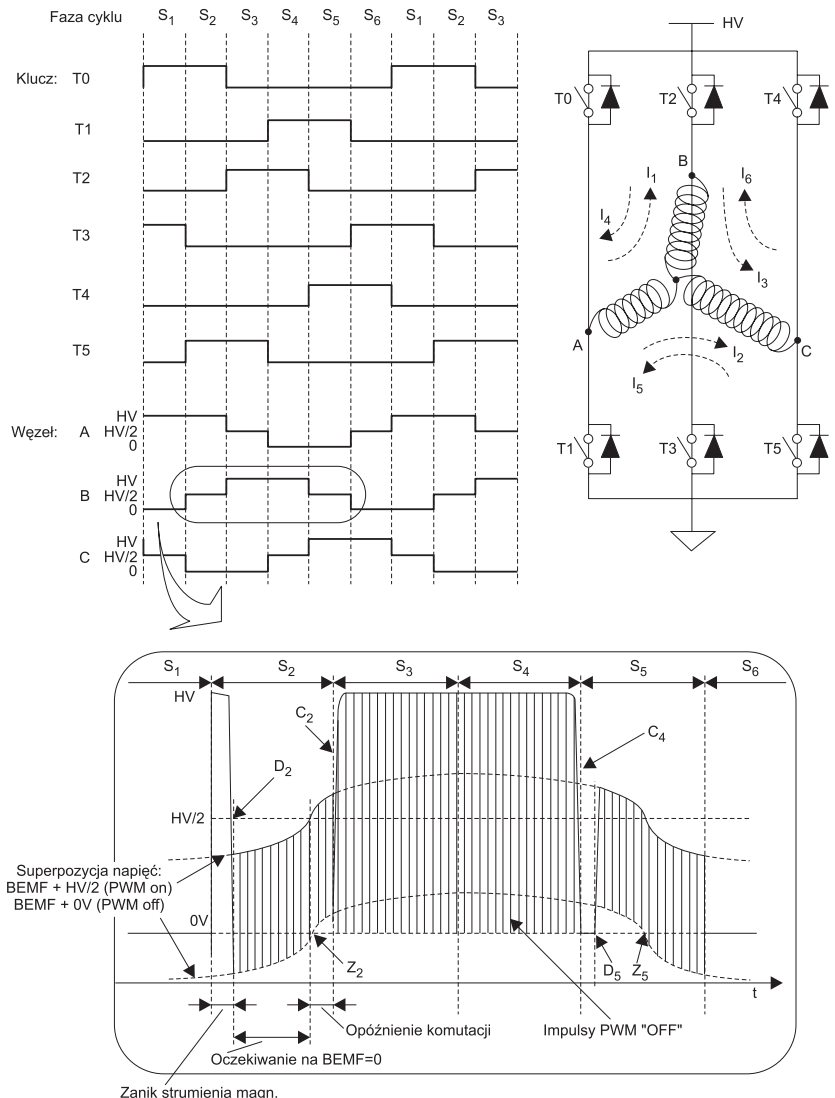
Bezczujnikowe sterowanie silnikiem BLDC

Uproszczony schemat sterowania wysokonapięciowym silnikiem BLDC za pomocą kontrolera ST7MC jest przedstawiony na rys. 2. Końcówki MClA...MCIC służą jako wejścia pomiarowe napięcia BEMF, natomiast wyjścia MCO0...MCO6 sterują kluczowaniem tranzystorów mostka trójfazowego (MOSFET lub IGBT). Dla uproszczenia schemat nie zawiera układów sterujących tranzystorami mocy.

Wyjścia MCOx mają obciążalność prądową do 50 mA w stanie niskim i mogą bezpośrednioysterować transoptory izolacyjne. Modulowane

metodą PWM napięcie na wyjściach MCOx zasila uzwojenia silnika impulsami o kształcie trapezowym.

Zasadę pomiaru napięcia BEMF zilustrowano na rys. 3. Napięcie to mierzone jest w tym uzwojeniu, które w danym cyklu nie jest zasilane (na rysunku jest to uzwojenie C). Tranzystor T4 jest stale włączony, natomiast



Rys. 4. Przebiegi czasowe napięć sterujących przy sterowaniu bezczujnikowym

T1 jest kluczowany przez generator PWM dla uzyskania określonej wartości prądu. Gdy T1 jest włączony (stan PWM „ON”), to napięcie w punkcie wspólnym uzwojeń wynosi HV/2, a napięcie w punkcie C mierzone względem GND jest superpozycją napięcia HV/2 i napięcia BEMF. Jeżeli T1 jest wyłączony, to napięcie w punkcie wspólnym ma poziom zerowy, a napięcie w punkcie C jest równe GND. Na rys. 4 przedstawiono przebiegi czasowe napięć sterujących ilustrujące zasadę bezczujnikowego sterowania silnikiem. Cykl komutacji uzwojeń składa się z sześciu faz $\Sigma 1... \Sigma 6$. Na diagramie czasowym przedstawiono stany kluczy tranzystorowych T0...T5 (stan ,0' – rozwartry, stan ,1' – zwarty lub kluczowany PWM) oraz średnie wartości napięć w węzłach A, B, C. Dolna część rysunku przedstawia bardziej szczegółowo przebieg czasowy napięcia w fazach $\Sigma 2... \Sigma 5$ dla węzła B. Początek fazy $\Sigma 2$ to zanikanie prądu

du i strumienia magnetycznego w uzwojeniu B, klucze T2, T3 są wyłączane, a obwód prądu zamyka się przez diodę regeneracyjną. Sterownik wykrywa zakończenie tego procesu i generuje zdarzenie D2 – „Demagnetyzacja w fazie 2”. Następnie układ oczekuje na przejście przez zero napięcia samoindukcji BEMF – czyli zdarzenie Z2 (impulsy widoczne na wykresie w fazie $\Sigma 2$ pochodzą od kluczowania uzwojeń A i C przez T0 – patrz rys. 3). Po zaprogramowanym czasie opóźnienia kontroler generuje zdarzenie C2 – „komutacja”, zaczyna się komutacja PWM uzwojenia C – faza $\Sigma 3$ i $\Sigma 4$. Czas trwania tych faz ustala wystąpienie odpowiednich zdarzeń D i Z w pozostałych fazach, generując zdarzenie zakończenia komutacji C4. Kolejne zdarzenia D5 i Z5 pozwalają zsynchronizować cykl komutacji dla następnego uzwojenia. Poszczególne uzwojenia kolejno pełnią rolę pomiaru napięcia BEMF w tych fazach cyklu, w których nie są zasilane. W ten sposób sekwencje

czasowe komutacji kluczy T0...T5 są zsynchronizowane z przemieszczaniem się biegunów magnetycznych wirnika względem uzwojeń. Działanie opisanego systemu synchronizacji powoduje, że regulacja obrotów silnika odbywa się inaczej niż w typowym sterowniku BLDC. Prędkość obrotowa nie zależy od częstotliwości generatora taktującego klucze, ale od napięcia i prądu uzwojeń – czyli od współczynnika wypełnienia generatora PWM. Możliwa jest regulacja napięciowa (stałe obroty) lub prądowa (stały moment). Wygląda to dość zawile, ale pamiętajmy o tym, że większość funkcji realizuje blok sterowania silnikiem. Zadaniem programisty jest ustalenie parametrów konfiguracyjnych oraz napisanie programu „nadzorującego” sprzętowe wykonywanie poszczególnych sekwencji. Kolejnym ułatwieniem są dostarczane przez producenta gotowe biblioteki dla języka C, będzie o tym mowa w dalszej części opisu.

Jacek Przepiórkowski



M2M
www.m2mgsm.com

KAMERA GPRS



TANIE MODEMY GPRS
USB, RS232, CF, PCMCIA

MODEMY (OEM)
GSM/GPRS, MODUŁY GPS



AKCESORIA





ul. Szymanowskiego 13, 05-092 Łomianki k/Warszawy
tel. (022) 7517680 www.elproma.com.pl
fax (022) 7517681 e-mail: m2m@elproma.com.pl

RK-SYSTEM
www.rk-system.com.pl



PRODUCENT PROFESJONALNYCH NARZĘDZI DLA ELEKTRONIKÓW I PROGRAMISTÓW

PRODUKUJEMY:

- uniwersalne programatory układów scalonych
- szybkie wielokanałowe analizatory stanów logicznych
- oscyloskopy cyfrowe z interfejsem USB

PONADTO W NASZEJ OFERCIE:

- kompilatory C, emulatory, debuggery, symulatory i assembly dla różnych procesorów
- oprogramowanie CAD/CAM/CAE dla elektroników: OrCAD, Allegro, Spectra, Pspice i inne

ul. Chelmońskiego 30, 05-825 Grodzisk Maz. Tel. (022) 724 30 39, 792 05 18, fax (022) 724 30 37, 755 58 78 email: sprzedaz@rk-system.com.pl

Niezależny dystrybutor komponentów elektronicznych. Podzespoły elektroniczne w przystępnej cenie i najkrótszym czasie.

Agilent, AMD, Ericsson, Fairchild, Fujitsu, Hewlett Packard, Hitachi, IBM, Infineon, Kodenshi, Lumex, Microchip, Motorola, NEC, Palmtech, Panasonic, Philips, Samsung, Sanyo, Seiko, Sharp, Siemens, Sony, Sunbrite, Toshiba, Vishay i wielu innych.

Alfine Components

www.alfine-components.pl

