



# Stellaris w roli sterownika silnika BLDC

*Trudno wyobrazić sobie współczesną elektronikę bez silników prądu stałego. Choć budowa każdego z nich jest oparta na podstawowych prawach fizyki sformułowanych na początku XIX w m.in. przez Christiana Oersteda, to dziś spotykamy się w praktyce z wieloma konstrukcjami. Są wśród nich takie, które długo nie mogły doczekać się powszechnego stosowania przede wszystkim ze względu na bardzo trudną do zrealizowania metodę sterowania. Z pomocą przyszły jak zwykle niezawodne mikrokontrolery.*

Zasada działania i konstrukcja typowego silnika prądu stałego jest banalnie prosta i znana od lat. Należy jednak zwrócić uwagę na to, że jako typowy uważamy silnik komutatorowy, to znaczy taki, w którym stojan jest utworzony przez odpowiednio wyprofilowany magnes stały, wewnątrz którego obraca się wirnik z uzwojeniem. Uzwojenie to składa się z kilku sekcji, do których cyklicznie podawane jest napięcie zasilające. Przełączanie odbywa się przez mechaniczny komutator utworzony z obracających się elementów stykowych umieszczonych na wale oraz szczotek umocowanych na sztywno. Napięcie zasilając kolejno każdą z sekcji uzwojenia, powoduje obrót wału silnika z zachowaniem stałego momentu obrotowego. Silnik taki charakteryzuje się niską ceną, ale ma bardzo istotną wadę – stosunkowo małą żywotność komutatora. Od dawna znana jest również nieco inna konstrukcja silnika prądu stałego. Mowa tu o silniku określanym w terminologii angielskiej jako BrushLess Direct-Current Motor (BLDC), co oznacza bezszczotkowy silnik prądu stałego. Przyjęto w nim odwrot-

ną koncepcję niż opisana wcześniej, a więc stojan jest utworzony z nieruchomych cewek, a magnesy są elementem wirnika. Konstrukcja taka wymaga specjalnego sposobu sterowania i z tego względu silniki te długo nie mogły przyjąć się w zastosowaniach na szeroką skalę. Aby silnik BLDC wprowadzić w ruch nie wystarczy podać na jego zaciski zasilające napięcie stałe, wymagany jest specjalny sterownik, który będzie to napięcie podawał cyklicznie na kolejne sekcje uzwojenia. Obecnie dostępne elementy elektroniczne, takie jak tranzystory MOSFET lub IGBT są wystarczająco tanie i niezawodne, aby w oparciu o nie budować sterowniki silników BLDC. Są to jednak tylko elementy wykonawcze, a potrzebna jest do tego jeszcze „logika” sterująca, a tu, jak zwykle niezastąpione okazują się mikrokontrolery.

## Stellaris idealny do obsługi silników BLDC

Firma Texas Instruments po wykupieniu Luminary Micro dopisała do listy oferowanych przez siebie podzespołów bardzo no-

woczesne mikrokontrolery 32-bitowe z rdzeniem ARM Cortex-M3 o wdzięcznej nazwie handlowej Stellaris. Mikrokontrolery są z założenia układami wielofunkcyjnymi, mogącymi realizować niemal dowolne zadania zależne w dużym stopniu od oprogramowania użytkowego. Wiadomo jednak, że część tych zadań jest wykonywana przy wsparciu o peryferyjne bloki sprzętowe, które są albo zaimplementowane w strukturze mikrokontrolera, albo „doklejone” z zewnątrz. Poprzez odpowiednie „wyposażenie” mikrokontrolera można zatem sprofilować zakres jego zastosowań, nie pozbawiając go przy tym uniwersalności. I tak, mikrokontroler LM3S8971 będący przedstawicielem rodziny Stellaris, ze względu na zaimplementowane bloki peryferyjne doskonale sprawdza się na przykład w roli sterownika silników BLDC. Schemat blokowy tego układu przedstawiono na **rysunek 1**. 32-bitowy procesor z rdzeniem ARM Cortex-M3 jest taktowany przebiegiem 50 MHz uzyskanym poprzez wewnętrznie powieloną częstotliwość generatora kwarcowego. Program może być zapisany w pamięci Flash (256 kB) i korzystać z 64 kB pamięci RAM. Dla tworzonych aplikacji dostępne są:

- układy czasowe/liczniki o elastycznej konfiguracji: 4 timery ogólnego zastosowania, z których każdy może pracować jako jeden licznik 32-bitowy lub dwa liczniki 16-bitowe, zegar czasu rzeczywistego (RTC), 24-bitowy timer systemowy (SysTick), 32-bitowy watchdog,
- dedykowany do aplikacji kontroli ruchu potrójny układ generacji PWM z 16-bitowo-



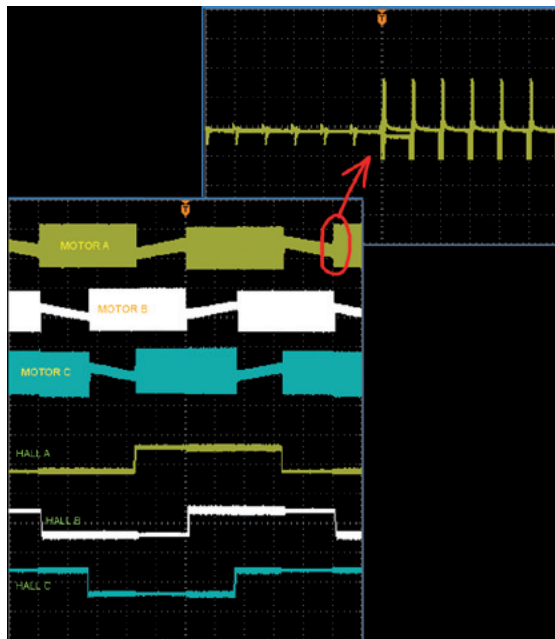
możliwości daje uruchamiany na komputerze PC program Brushless DC Motor Drive prze-

znaczony do zaawansowanego sterowania silnikiem. Dzięki interfejsowi graficznemu (GUI – *Graphical User Interface*) większość wydawanych komend jest bardzo czytelna i intuicyjna (rysunki 4 i 5). Na wykresach wyświetlanych na ekranie widać ponadto orientacyjnie jak zmieniały się poszczególne parametry w czasie. Warunkiem korzystania z programu jest dołączenie płytki do komputera poprzez kabel ethernetowy. Zintegrowany w mikrokontrolerze blok PHY ma funkcję Auto-MDX samoczynnie wykrywającą czy połączenie wykonano kablem prostym czy skrosowanym. Zasady konfigurowania połączenia są takie same jak innych urządzeń sieciowych. Najwygodniej jest korzystać z automatycznie nadawanego adresu IP przez serwer DHCP. Należy w tym celu odpowiednio skonfigurować protokół IP. Możliwe jest również ustalenie sztywnych adresów.

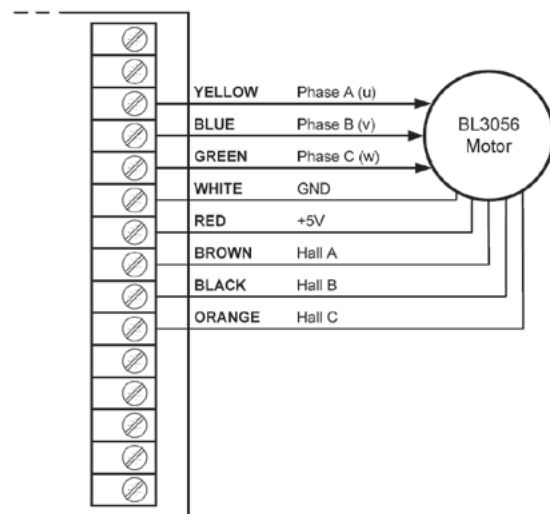
ethernetowy. Tak napisane aplikacje zapewniają:

- regulację obrotów silnika w przedziale 0...6000 obr/min (RPM) z krokiem 1 obr/min,
- przyspieszenie kątowe w zakresie od 1 do 50000 RPM/s,
- częstotliwości PWM 8 kHz, 12,5 kHz, 16 kHz, 20 kHz, 40 kHz i 50 kHz,
- kontrolę prędkości w zamkniętej pętli,
- dynamiczne hamowanie,
- monitorowanie stanu silnika w czasie rzeczywistym,
- modulację przebiegiem trapezoidalnym lub sinusoidalnym oraz bezczujnikową.

Wielkość kodu wynikowego aplikacji zależy od tego, czy ma ona obsługiwać interfejs graficzny czy nie. Trzeba jednak zaznaczyć, że dostarczana biblioteka z funkcjami sterownika silników BLDC jest wymagająca pod względem zapotrzebowania na pamięć. Nie powinno to dziwić, bowiem liczba zgromadzonych w niej funkcji jest naprawdę imponująca, a trzeba pamiętać także i o innych uwzględnionych w niej peryferiach. Dość powiedzieć, że dokument opisujący bibliotekę liczy sobie ok. 400 stron. Programy źródłowe mogą być kompilowane w różnych środowiskach uruchomieniowych, zarówno komercyjnych, np. Keil czy IAR, jak i darmowych – GCC.



Rysunek 2. Schemat dołączenia silnika BLDC z wykorzystaniem czujników Halla



Rysunek 3. Przebiegi napięciowe na zaciskach płytki

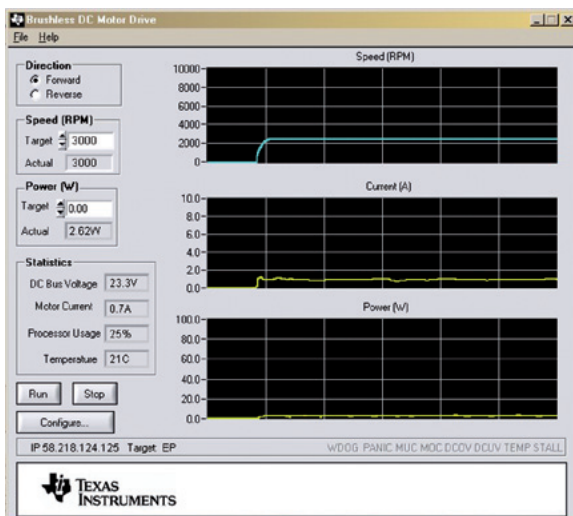
**Software**

Sterowanie silnikiem BLDC wbrew pozorom nie jest zadaniem banalnym. Świadczy o tym choćby bogactwo funkcji zawartych w bibliotece Stellaris Peripheral Driver Library udostępnionej w opisywanym zestawie. Funkcje te realizują pełną kontrolę i sterowanie silnikami pracującymi w różnych konfiguracjach. Wykorzystywane są do tego opisane wcześniej zasoby mikrokontrolera Stellaris LM3S8971, przede wszystkim takie jak: 6-kanalowy moduł PWM, 8 kanałów przetwornika A/C, moduł enkodera kwadraturowego i interfejs

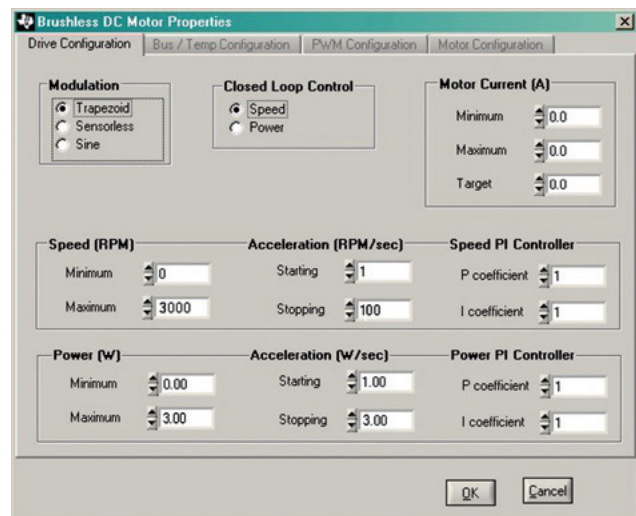
**Target**

Zestaw BLDC Motor Control Reference Design Kit jest przeznaczony niemal wyłącznie dla fachowców, i to bardzo dobrze znających się na silnikach BLDC, doskonale przy tym radzących sobie z programowaniem w języku C. Należy sądzić, że nabywcom zestawu nie obce powinny być również zagadnienia sprzętowe, trudno bowiem sądzić, aby w tym przypadku zadania związane z opracowaniem aplikacji rozdzielać na konstruktorów specjalizujących się niezależnie w softwarze albo hardware.

Jarosław Doliński, EP  
jaroslaw.dolinski@ep.com.pl



Rysunek 4. Okno przykładowego programu sterującego silnikiem BLDC



Rysunek 5. Jedna z zakładki ustalających konfigurację silnika BLDC