

Mikroprocesorowe moduły SOM w aplikacjach „silnikowych” – optymalizacja time-to-market

Do powszechnej obecności systemów mikrokontrolerowych w codziennym otoczeniu niepostrzeżenie przyzwyczailiśmy się na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat. Nie ma praktycznie urządzenia elektrycznego pozbawionego wbudowanej cyfrowej „inteligencji”, dotyczy to także systemów napędowych i silników elektrycznych, coraz powszechniej zasilanych przez wyspecjalizowane, mocno zelektronizowane falowniki lub regulatory.

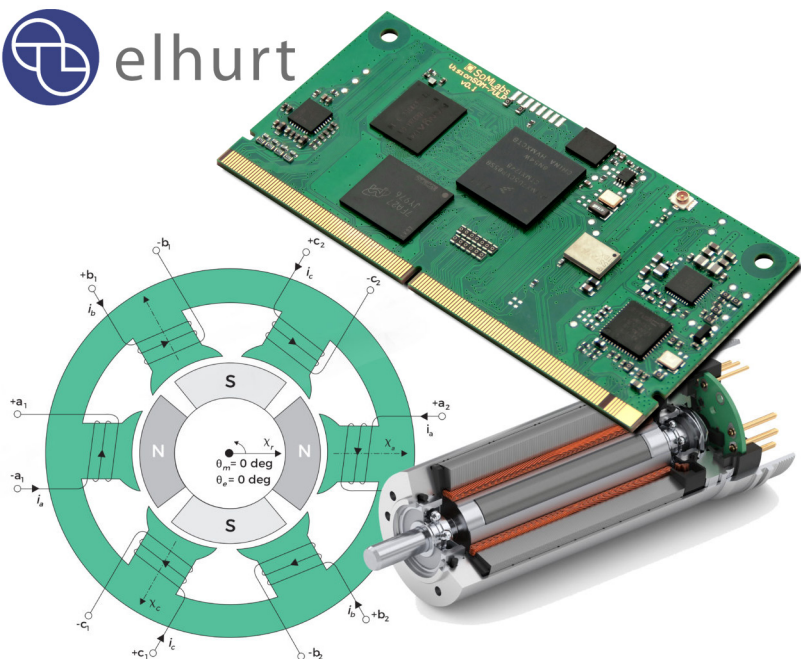
W artykule przedstawiamy opracowane i produkowane w Polsce systemy mikroprocesorowe na modułach SOM, których cechy i wyposażenie pozwalają na software’ową implementację najbardziej zaawansowanych algorytmów sterowania pracą silników i napędów.

Problemy sterowania pracą silników elektrycznych szybko się potęgują wraz z ich rosnącą mocą. Pierwszym historycznie problemem, którego rozwiązanie zelektronizowano, było zapewnienie miękkiego startu silników, co zapobiegało przeciążaniu linii zasilających, minimalizowało udary mechaniczne i jednocześnie upraszczało budowę mechaniczną silników.

Kolejnymi problemami, którego rozwiązanie zoptymalizowały rosnące możliwości podzespołów elektronicznych, były: bezstykowa regulacja prędkości obrotowej, momentu obrotowego i kierunku obracania się wałów silników. Ze względu na walory praktyczne dużą popularność zdobyły także elektroniczne hamulce wirników silników, które w wielu przypadkach pozwalają odzyskiwać energię hamowania i zwracać ją do źródła zasilania.

Schemat blokowy kompleksowego sterownika z elektronicznym inwerterem i wbudowanym regulatorem PFC pokazano na **rysunku 1**.

Konstruktorzy modułów sterujących do silników elektrycznych musieli początkowo pokonywać problemy wynikające z niedoskonałości elementów używanych w stopniach mocy, a także kłopoty związane z ograniczoną wydajnością systemów obliczeniowych, które realizowały algorytmy sterujące. Rozwój technologii półprzewodnikowych zaowocował wprowadzeniem na rynek nowoczesnych

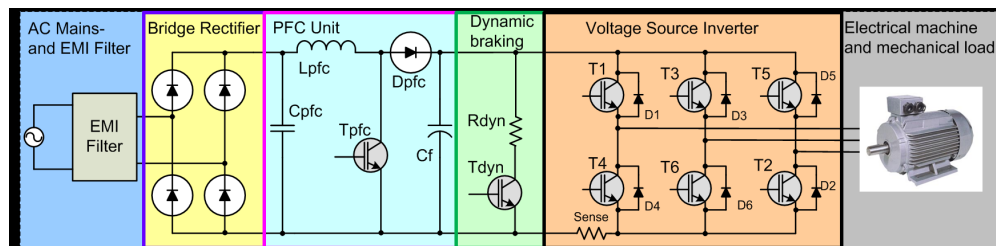


Więcej informacji:

Autoryzowanym dystrybutorem modułów SOM prezentowanych w artykule jest firma **Elhurt Sp. z o.o.**, ul. Galaktyczna 35 A, 80-299 Gdańsk. Kontakt: tel. +48 600 082 430, som.elhurt.com.pl e-mail: som@elhurt.com.pl, www.elhurt.com.pl



tranzystorów mocy (szczególnie unipolarnych i IGBT), a także procesorów DSP oraz DSC (m.in. 56800, Piccolo, XC866), które konstrukcyjnie zoptymalizowano pod kątem pracy w różnego rodzaju falownikach i inwerterach. Szybko rosnąca popularność rdzeni Cortex-M oferowanych przez firmę ARM i ich real-time’owa charakterystyka użytkowa spowodowały, że na rynku pojawiły się mikrokontrolery oraz układy SoC zoptymalizowane konstrukcyjnie dla aplikacji „silnikowych” (m.in. STM32, STSPIN32F0, SmartFusion 2 SoC, LPC1500).



Rysunek 1. Schemat blokowy kompleksowego sterownika silnika AC z elektronicznym inwerterem i wbudowanym regulatorem PFC

Lepsze parametry, wyższe wymagania

W aplikacjach niskomocowych szerokie zastosowanie znalazły silniki bezszczotkowe (BLDC - BrushLess Direct-Current), w których zamiast komutatora ze szczotkami zastosowano komutator elektroniczny zasilany prądem stałym. Sterownik realizujący

funkcję komutatora kolejno włącza i wyłącza zasilanie cewek, których pole magnetyczne powoduje obrót wirnika.

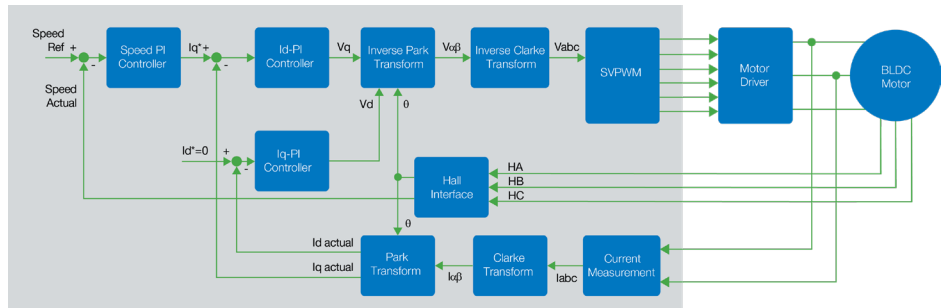
Główną zaletą silników bezszczotkowych jest wysoka trwałość i niezawodność wynikająca z wyeliminowania z konstrukcji ścierających się szczotek. Dzięki temu jedynym zużywającym się elementem silnika są jego łożyska. Eliminacja szczotek zapewnia cichą pracę silnika oraz wysoką sprawność energetyczną. Ponadto konstrukcja mechaniczna silników BLDC umożliwia zastosowanie hermetyzowanych obudów, gdyż ciepło z cewek może być odprowadzane bezpośrednio poprzez obudowę, co eliminuje konieczność zapewnienia wewnętrznej cyrkulacji powietrza. Poważnym atutem silników BLDC jest ponadto możliwość kontroli prędkości obrotowej prawie niezależnie od momentu silnika.

Te wszystkie zalety są okupione skomplikowaniem układu sterującego, którego schemat blokowy pokazano na **rysunku 2**. Jednostka obliczeniowa sterownika musi w prezentowanym układzie wykonywać w czasie rzeczywistym wymagające obliczenia:

- przekształcenie Clarka (także odwrotne), której zadaniem jest obliczenie wypadkowego wektora prądu, składającego się z trzech wektorów wygenerowanych na uzwojeniach silnika rozmieszczonych względem siebie o 120 stopni,
- przekształcenie Parka (także odwrotne), które służy do przeniesienia do przestrzeni zespolonej kąta i długości wirującego, chwilowego wektora wypadkowego prądu wirnika silnika.

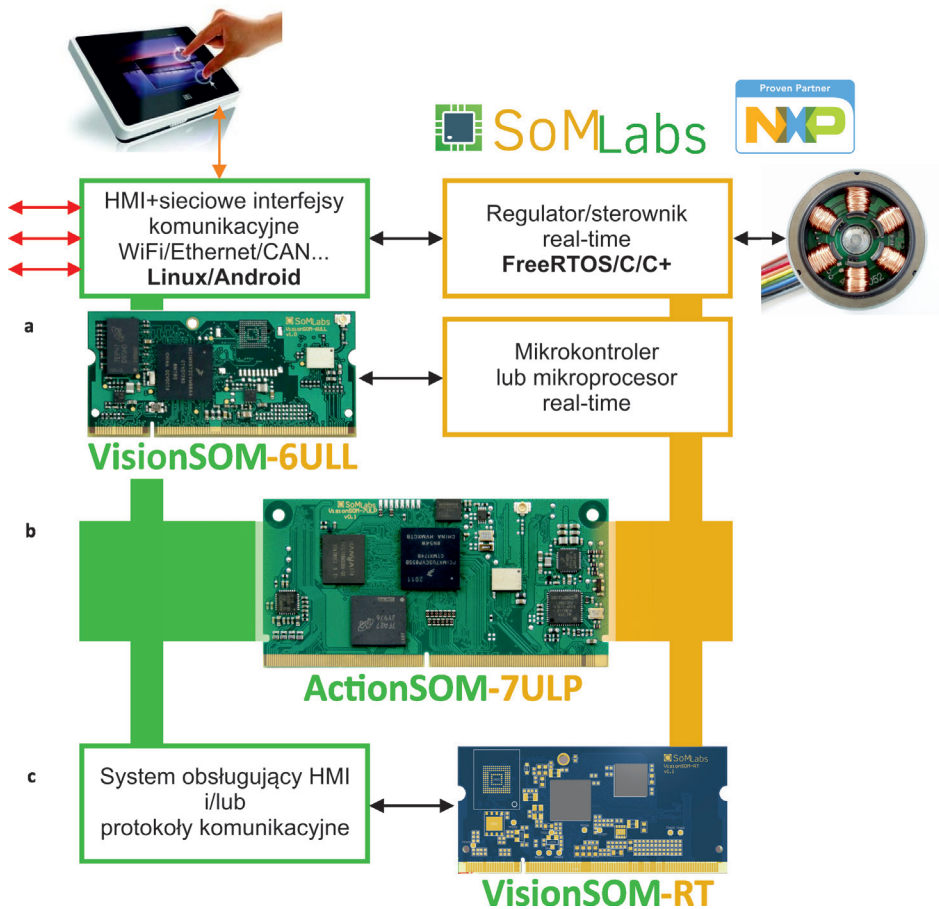
Na bazie wyników obliczeń są generowane wartości dla 3-fazowego generatora przebiegów PWM, które spełniają rolę przetworników C/A sterujących stopniami mocy, które zasilają cewki fazowe sterowanego silnika.

Ponieważ złożoność obliczeniowa pętli sterowania jest duża, do jej real-time'owej implementacji konieczne jest użycie arytmetyki zmiennoprzecinkowej, najlepiej wspomaganą koprocesorem



Rysunek 2. Schematy blokowy typowego sterownika silnika BLDC

FPU (Floating Point Unit). Takie możliwości oferuje wiele współczesnych mikrokontrolerów i mikroprocesorów, nieco rzadziej są spotykane 3-fazowe generatory PWM z dodatkowymi sprzętowymi funkcjami ułatwiającymi sterowanie stopni końcowych (jak



Rysunek 3. Schematy blokowe typowych systemów sterowania silnikami elektrycznymi z interfejsem HMI i/lub sieciowymi interfejsami komunikacyjnymi: a) wersja bazująca na VisionSOM-6ULL w roli interfejsu komunikacyjnego, b) wersja na ActionSOM-7ULP z heterogenicznym SoC, c) z VisionSOM-RT spełniającym rolę sterownika silnika elektrycznego

Tabela 1. Typowe algorytmy sterowania pracą silników elektrycznych AC i DC oraz najważniejsze zasoby sprzętowe niezbędne do realizacji sterownika

Algorytm sterujący	Niezbędne wyposażenie sprzętowe
Trapezoidal Drive Control	Timer z Input Capture, Interrupt, 3-fazowy timer PWM
Sinusoidal Drive Control	Timer z Input Capture, Interrupt, 3-fazowy timer PWM
Simplified Vector Control	Timer z Input Capture, Interrupt, 3-fazowy timer PWM ze sprzętowym dead-time
Vector Control (FOC)	Szybka CPU+MAC (DSP), szybki przetwornik A/C, timer z Input Capture, Interrupt, 3-fazowy timer PWM ze sprzętowym dead-time
Sensorless Trapezoidal Drive Control	Timer z Input Capture, szybki przetwornik A/C, Interrupt, 3-fazowy timer PWM ze sprzętowym dead-time
Sensorless Vector Control	Szybka CPU+MAC (DSP), szybki przetwornik A/C, Interrupt, 3-fazowy timer PWM ze sprzętowym dead-time

dead-time, regulacja czasów narastania/opadania sygnałów PWM, rozpraszanie widma sygnałów sterujących, czy sprzętowa obsługa hamulca).

Silnik w sieci

Apetyt rośnie w miarę jedzenia, więc dość szybko czołowi producenci napędów, regulatorów i sterowników silników elektrycznych podjęli próby implementacji bardziej zaawansowanych funkcji użytkowych, jak na przykład: zdalną lub automatyczną regulację momentu obrotowego w zależności od obciążenia, stabilizację prędkości obrotowej, kontekstową regulację prędkości/momentu (co pozwalało na sterowaną zmianę prędkości przesuwania się taśmociągu lub linii produkcyjnej), monitorowanie obciążenia silnika i jego ochronę przed przeciążeniem.

Rosnące wymagania stawiane systemom sterującym pracą silników elektrycznych „wplątały” je w różnego rodzaju aplikacje sieciowe. Dotyczy to zarówno silników o niewielkich mocach, jak np. używane w pojazdach silniki wycieraczek lub przesuwające dach/szyby (komunikujące się za pomocą CAN), jak i silników o dużych mocach, jakie są używane między innymi w aplikacjach przemysłowych (Ethernet, Profinet itp.).

Jednoczesna obsługa części komunikacyjnej i HMI oraz części regulacyjnej/sterującej jest trudna, ze względu na konieczność gwarantowanej obsługi sterowania pracą silnika w reżimie czasu rzeczywistego. Z tego powodu w sterownikach silników wyposażonych w interfejsy komunikacyjne zazwyczaj są stosowane dwie rozdzielone domeny CPU:

- czasu rzeczywistego, która odpowiada za obsługę silnika,
- komunikacyjną, która odpowiada za obsługę interfejsu HMI (wyświetlacz LCD + touch-panel, interfejs Ethernet, WiFi lub CAN).

Schematy blokowe takich rozwiązań przedstawiono na **rysunku 3**.

Sprzęt od strony praktycznej

W ofercie handlowej firmy Elhurt dostępne są trzy wersje modułów mikroprocesorowych, opracowanych i produkowanych w Polsce przez firmę SoMLabs, które mogą być stosowane w szeroko rozumianych aplikacjach „napędowych”:

- moduły VisionSOM-6ULL (Cortex-A7), których cechy, wyposażenie i parametry pozwalają realizować na nich dowolny interfejs komunikacyjny, współpracujący z dowolnym mikrokontrolerem czasu rzeczywistego (rysunek 3a),
- moduły VisionSOM-RT (Cortex-M7), których cechy, wyposażenie i parametry pozwalają realizować sterownik/regulator czasu rzeczywistego, współpracujący z zewnętrznym interfejsem komunikacyjnym (rysunek 3c),

Tabela 2. Zestawienie podstawowych cech i możliwości modułów SOM firmy SoMLabs

Cecha	VisionSOM-RT	VisionSOM-6ULL	ActionSOM-7ULP
CPU	Cortex-M7 @600 MHz	Cortex-A7 @900MHz	Cortex-A7 @800MHz Cortex-M4F @200MHz
Mikroprocesor	i.MX-RT	i.MX6ULL	i.MX7ULP
Komunikacja	Ethernet	Ethernet WiFi BLE	Ethernet WiFi BLE
RAM	Do 32 MB	Do 512MB	Do 1GB
Flash	eMMC/QSPI	eMMC/NAND/SD	eMMC/NAND/SD
Grafika	PXP	PXP	GPU 2D/3D
Inne			Kodek audio Zintegrowany Eth-PHY
OS	FreeRTOS	Linux	Linux Android FreeRTOS

- moduły ActionSOM-7ULP, które dzięki zastosowaniu heterogenicznego układu SoC (Cortex-A7 + Cortex-M4) mogą realizować wszystkie funkcje sterownika/regulatora silnika: rdzeń Cortex-A7 z Linuksem lub Androidem rolę interfejsu komunikacyjnego, szybki rdzeń Cortex-M4 zintegrowany z FPU rolę real-time'owego kontrolera silnika (rysunek 3b).

Zestawienie najważniejszych cech i wyposażenia modułów SOM przedstawiono w **tabeli 2**. Gama dostępnych rozwiązań pozwala na wykorzystanie nowoczesnych SOM w każdej części funkcjonalnej projektu „silnikowego”, niezależnie od specyfiki projektu i przyzwyczajęń konstruktora.

Atutem rozwiązań bazujących na modułach SOM jest między innymi uproszczenie projektowania części sprzętowej, są one bowiem montowane na wielowarstwowych płytach drukowanych. Ze względu na wysokie częstotliwości sygnałów występujących w systemie projekt PCB dla mikroprocesorowego SOM musi uwzględniać dużą liczbę wymogów charakterystycznych dla projektów radiowych. Stoją one zazwyczaj w sprzeczności z wymogami projektowymi interfejsu dużej mocy, co komplikuje i wydłuża czas realizacji projektu. Optymalizując swoje rozwiązanie, warto więc wziąć pod uwagę nowoczesne moduły SOM firmy SoMLabs.

Elhurt

W księgarni AVT (sklep.avt.pl) jest dostępna książka wydana nakładem Wydawnictwa BTC p.t. „Silniki PM BLDC właściwości, sterowanie, aplikacje”, której autorem jest Krzysztof Krykowski (kod KS-151100). Jest to biblia konstruktorów sterowników i regulatorów współpracujących z silnikami BLDC.



REKLAMA

100% elektroniki na avt.pl/prenumerata

Prenumerujesz **Elektronikę Praktyczną**

+

Elektronikę dla Wszystkich?
Skorzystaj z promocji

1+1=3

i zamów bezpłatną prenumeratę **Elektronikę**

