

# Mikrokontrolery z przetwornikiem A/C o dużej rozdzielczości

*Jakość analogowych układów peryferyjnych wbudowanych w mikrokontrolery jest coraz wyższa. Zintegrowanie w strukturze pojedynczego układu obwodów analogowych i cyfrowych – oprócz innych zalet – umożliwi znaczne zmniejszenie wielkości urządzenia. Pomiar wykonywany przez nowoczesne mierniki zużycia energii elektrycznej, warsztatowe przyrządy pomiarowe oraz obróbka sygnałów analogowych o niewielkich poziomach dodatkowo wymagają przetwornika o dużej rozdzielczości. Wymagania te spełniają mikrokontrolery z przetwornikami A/C typu delta-sigma.*

Mikrokontrolery uniwersalne przeznaczone do różnych aplikacji najczęściej są wyposażane w przetworniki A/C typu SAR (z sukcesywną aproksymacją). Mają one rozdzielczość od 10 do 12 bitów. Dla wyższych rozdzielczości dostępne są mikrokontrolery z przetwornikami A/C typu delta-sigma. Dobrymi przykładami są nowe, 32-bitowe mikrokontrolery firm Renesas, STMicroelectronics, Infineon i Microchip.

## Renesas RX21A

Do serii Low Power High Performance RX200 firmy Renesas należy 32-bitowy mikrokontroler RX21A. Jest on wyposażony w 7-wejściowy, 24-bitowy przetwornik A/C typu delta-sigma. Maksymalna prędkość próbkowania to 12 kS/s na każdy kanał przetwornika. Przetwornik ma wewnętrzne źródło napięcia referencyjnego o niewielkim dryfcie temperaturowym (poniżej 30 ppm/K). Wejścia poszczególnych kanałów przetwornika A/C mogą być połączone wewnętrznie z wyjściami dwóch przetworników C/A o rozdzielczości 10-bitowej. Jest to bardzo praktyczne, ponieważ można w ten sposób dokonać automatycznej kalibracji poszczególnych kanałów przetwornika A/C. W torze pomiarowym, przed każdym



przetwornikiem, włączono wzmacniacz o programowanym wzmocnieniu (PGA) w zakresie 1...4 dla 3 wejść asymetrycznych lub 1...64 dla 4 wejść symetrycznych. Cztery z siedmiu kanałów przetwornika mają wejścia różnicowe (np. do pomiaru prądu) wyprowadzone na piny mikrokontrolera. Wejścia odwracające trzech pozostałych wzmacniaczy kanałowych są zwarte i dołączone do pojedynczego wyprowadzenia mikrokontrolera. Wejścia nieodwracające są wyprowadzone niezależnie i tworzą kanały asymetryczne. Schemat blokowy przetwornika A/C mikrokontrolerów RX21A pokazano na **rysunku 1**.

Mikrokontroler RX21 wyposażono w liczne funkcje zapewniające bezpieczeństwo kodu programu oraz wspomagające procedury zabezpieczające przesyłane dane. Jest to na przykład blok szyfrujący-deszyfrujący wykorzystujący algorytm AES. Może on znaleźć zastosowanie np. do zabezpieczenia danych przesyłanych drogą radiową. Inną sprzętową funkcją zabezpieczającą jest *tamper detection* pozwalająca na automatyczne zapisanie czasu z RTC przy próbie naruszenia integralności urządzenia. Mikrokontroler ma do 5 interfejsów UART, IrDA i SPI. Wyposażenie analogowe uzupełniają dwa komparatory i dwa przetworniki C/A. W strukturze zawarto również szybki, 10-bitowy przetwornik ADC (SAR) o czasie konwersji 2  $\mu$ s. Omawiane wyposażenie predysponuje mikrokontrolery RX21A do zastosowania w 1- i 3-fazowych miernikach energii elektrycznej, w urządzeniach laboratoryjnych oraz wagach.

Mikrokontrolery RX21A są dostępne w obudowach LQFP o 64, 80 i 100 wyprow-

wadzeniach. Zintegrowana pamięć Flash jest wykonana w opracowanej przez Renesas technologii MONOS. Jest to bardzo nowoczesna technologia, która umożliwia wykonywanie przez RX21A programu zapisanego w pamięci Flash przy taktowaniu CPU z częstotliwością do 50 MHz, bez potrzeby używania mechanizmu kolejki lub wprowadzania cykli oczekiwania (tzw. *wait state*). Wielkość pamięci, w którą są wyposażane mikrokontrolery wynosi od 256 kB do 512 kB. Specjalny obszar pamięci – Data Flash – jest przewidziano do użycia jako nieulotną pamięć danych. Gwarantowana liczba cykli zapisów w tej pamięci to 100 tys., a jej pojemność wynosi 8 kB.

## STMicroelectronics STM32F373

STM32F373 należy do popularnej serii mikrokontrolerów 32-bitowych z rdzeniem ARM Cortex-M4F z wbudowaną jednostką wspomagającą obliczenia zmiennoprzecinkowe (FPU). Mikrokontrolery te mają nawet trzy osobne przetworniki A/D typu sigma-delta o rozdzielczości 16-bitów. W zależności od trybu pracy można uzyskać prędkości próbkowania od 16,6 kS/s do 50 kS/s. W strukturze zawarto jeszcze 12-bitowy, szybki przetwornik A/C typu SAR, trzy 12-bitowe przetworniki C/A oraz dwa komparatory *rail-to-rail*.

W strukturę mikrokontrolerów z serii STM32F3 wbudowano również wiele interfejsów szeregowych, w tym USB i CAN. Zintegrowane moduły USART mają sprzętowo wspomagane linie sterujące do modemów. Możliwe jest również ustawienie



wspomagane go sprzętowo trybu pracy zgodnego z IrDA oraz transmisji zgodnej ze standardem ISO7816 (*SmartCard*). Do wbudowanego kontrolera *Touch Sensing* można dołączyć maksymalnie 24 przyciski. Zegar czasu rzeczywistego i kilkanaście rejestrów mają własny obwód niezależnego zasilania bateryjnego. Do jego dołączenia przewidziano osobne wyprowadzenie mikrokontrolera.

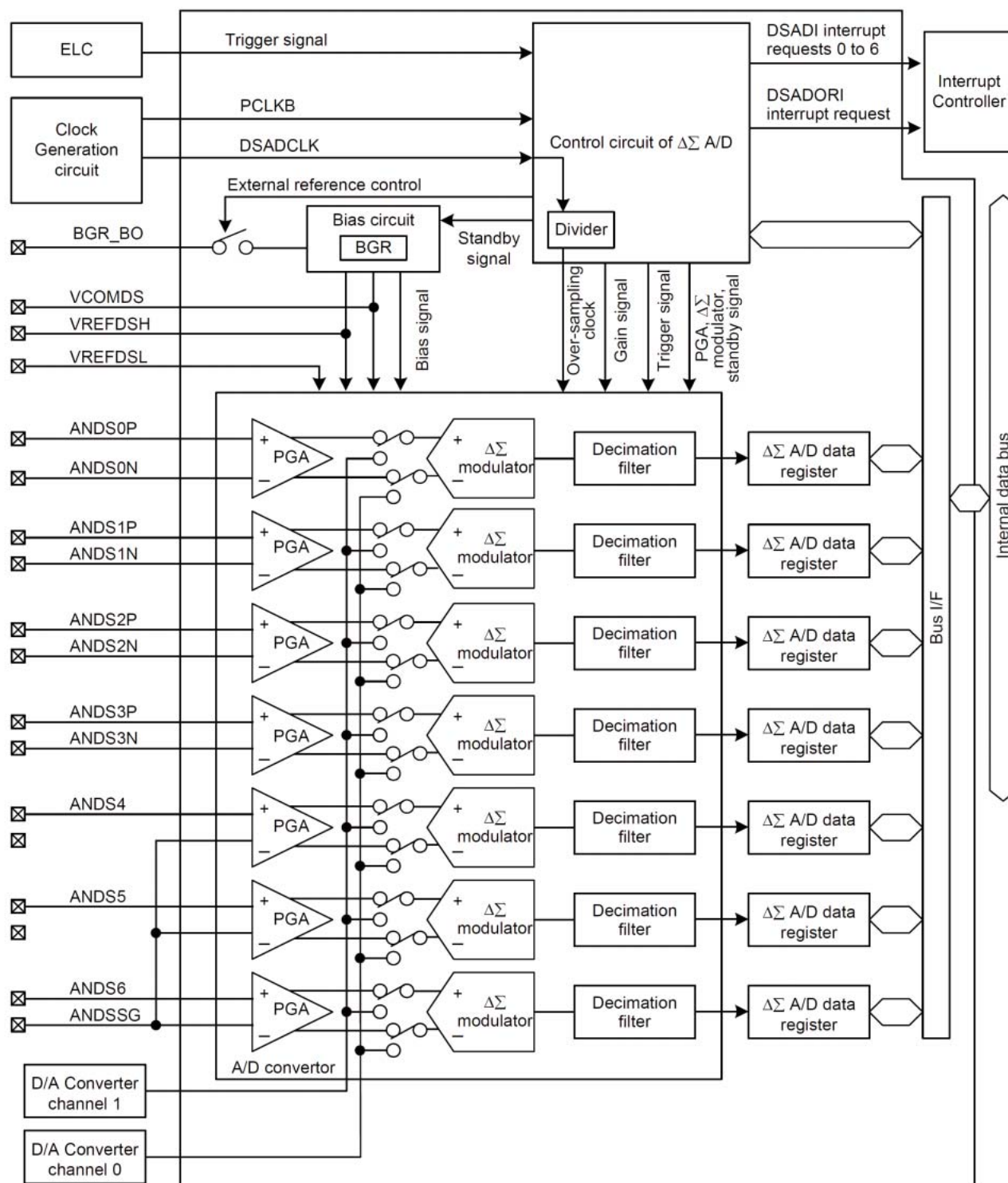
Dzięki takiemu wyposażeniu mikrokontrolery STM32F3 doskonale nadają się do urządzeń pomiarowych i sterowania napędami elektrycznymi, natomiast STM32F3 w obudowie WLCS66 o wymiarach zaled-

wie 3,8 mm × 4,3 mm doskonale nadaje się do zastosowania w miniaturowych czujnikach.

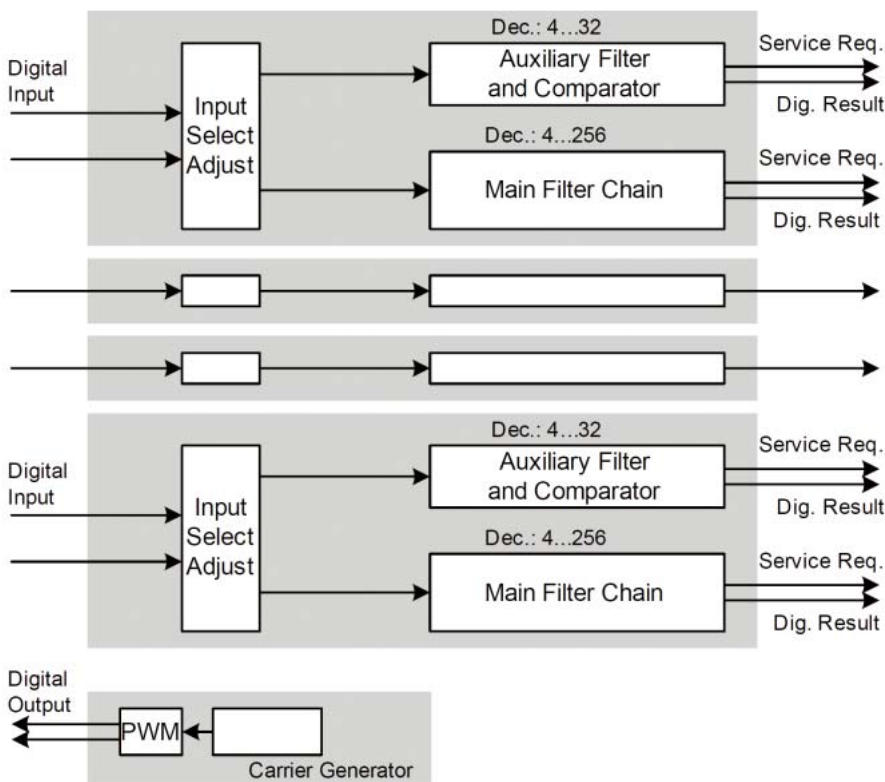
STMicroelectronics oferuje STM32F3 w obudowach o liczbie wyprowadzeń od 48 do 100. Pojemność pamięci programu wynosi od 64 kB do 256 kB. W pamięci RAM wbudowano mechanizmy kontrolne, które pozwalają automatycznie wykrywanie błędów. W obudowach 100-pinowych przewidziano wyprowadzenia interfejsu umożliwiającego debugowanie oprogramowania w czasie rzeczywistym – noszą one wspólną nazwę *Embedded Trace Macrocell*.

## Infineon XMC4500

W serii XMC4500 firma Infineon postawiła na rdzeń ARM Cortex-M4 z wbudowanym FPU i sprzętowym wspomaganie DSP. Część odpowiedzialna za przetwarzanie sygnału analogowego nie ma zaimplementowanego kompletnego przetwornika A/C, a jedynie demodulator delta-sigma (**rysunek 2**). W mikrokontrolerze zaimplementowano cztery takie kanały. Demodulator delta-sigma (DSD) składa się z połączonych za sobą filtrów dolnoprzepustowych oraz modułu podpróbkującego. W XMC4500 można za pomocą odpowiednich ustawień w programie



Rysunek 1. Schemat blokowy 24-bitowego przetwornika A/C mikrokontrolerów z rodziny RX21A



Rysunek 2. Koncepcja funkcjonowania demodulatora sigma-delta w mikrokontrolerach X4500

połączyć kaskadowo maksymalnie trzy takie filtry. Poprzez rejestr funkcji specjalnych można również ustawić prędkość próbkowania. Wynik przetwarzania każdego kanału jest udostępniany w postaci 16-bitowej.

Modulator delta-sigma składa się z elementów zewnętrznych. Rozwiązanie takie niesie ze sobą wiele zalet. Pierwszą z nich jest uproszczona izolacja galwaniczna modulatora i demodulatora/mikrokontrolera, ponieważ na każdy z kanałów potrzebne jest odseparowanie tylko dwóch linii sygnałowych – zegara i danych. Drugą zaletą takiego

rozwiązania jest niewielki obszar oddziaływania zaburzeń na drodze od czujnika do mikrokontrolera, ponieważ digitalizacja odbywa się już w zewnętrznym modulatorze, czyli blisko miejsca pomiaru. Rozwiązanie takie pozwala na wyznaczanie prądów sieci poprzez pomiar spadku napięcia na rezystorze pomiarowym (boczniku). Taki pomiar stosuje się zwłaszcza w aplikacjach z silnikami elektrycznymi. W miernikach zużycia energii elektrycznej wykorzystuje się trzecią zaletę takiego rozwiązania – pomiar natężenia prądu za pomocą rezystorów boczniku-

jących jest odporny na próby manipulacji z użyciem silnego pola elektromagnetycznego lub magnetycznego.

Elementy mocy ze zintegrowanymi modulatorami delta-sigma to na przykład 3-fazowe mostki IGBT z serii MIPAQ firmy Infineon. Aplikacje docelowe rodziny XMC4500 to falowniki, zasilacze impulsowe, czujniki i sterowniki przemysłowe.

### Microchip PIC18F87J72

Mikrokontroler PIC18F87J72 firmy Microchip wyróżnia się wyposażeniem. W jego obudowie umieszczono 8-bitowy mikrokontroler z serii PIC18 oraz moduł AFE (*Analog Front End*) podobny do MCP3901. Moduł AFE jest 2-kanałowy i składa się z PGA, dwóch 24-bitowych przetworników delta-sigma mających zsynchronizowane próbkowanie oraz regulowanej korekcji faz. Wewnętrzne źródło napięcia referencyjnego wyróżnia się niewielkim dryftem temperaturowym (12 ppm/K). Mikrokontroler i AFE komunikują się poprzez sprzętowe SPI.



Zastosowanie jednostki CTMU (*Charge Time Measurement Unit*) –kontrolera pojemnościowego panelu dotykowego – pozwala na zintegrowanie sterowania za pomocą klawiatury dotykowej. W mikrokontroler wbudowano sterownik LCD umożliwiający sterowanie maksymalnie 4×33 segmentami oraz RTC z kalendarzem, 12-bitowy przetwornik SAR i interfejsy szeregowo.

Zastosowanie układu firmy Microchip umożliwia uzyskanie wysokiego stopnia integracji urządzenia i zmniejszenie liczby elementów potrzebnych do jego budowy. Oszczędza to miejsce na płycie oraz zmniejsza koszty związane z logistyką i magazynowaniem.

Mikrokontroler PIC18F87J72 jest wytwarzany w obudowie TQFP80. Ma pamięć Flash o pojemności 64 kB lub 128 kB. Dane konfiguracyjne można zapisać w tej pamięci metodą *self write*, która jest wspomagana sprzętowo. Skonstruowano go z myślą o takich aplikacjach, jak jednofazowe mierniki zużycia energii, urządzenia do pomiaru mocy, przenośne urządzenia pomiarowe i medyczne urządzenia diagnostyczne.

**Ralf Hickl**

**Menedżer Produktu –  
Mikrokontrolery**

**Rutronik Elektronische Bauelemente**