



Mikrokontrolery ST w wersji L

Energooszczędne rozwiązania dla każdej aplikacji

Oferta produkcyjna STMicroelectronics poszerza się o energooszczędne wersje mikrokontrolerów 8- i 32-bitowych, które oferują swoim użytkownikom nie tylko obniżony pobór mocy, ale także szybkie rdzenie, pamięci Flash i SRAM o dużych pojemnościach, dużą liczbę wewnętrznych interfejsów komunikacyjnych, przetworniki A/C i C/A, a także zaawansowane interfejsy umożliwiające debugowanie pracy mikrokontrolera zainstalowanego w docelowym systemie. Ta ekspresowa charakterystyka dotyczy najnowszych rodzin mikrokontrolerów oferowanych przez STMicroelectronics: STM8 i STM32.

STM8L

Ekspansja mikrokontrolerów 32-bitowych zawróciła – nie bez powodu – w głowie wielu konstruktorów, ale tylko nielicznym spośród tych, którzy zajmują się projektowaniem urządzeń zasilanych bateryjnie. Specjalnie z myślą o takich aplikacjach firma STMicroelectronics

opracowała podrodzinę mikrokontrolerów STM8L, które – poza dobrym wyposażeniem – charakteryzują się bardzo małym poborem mocy w trybie aktywnym, czyli podczas normalnej pracy.

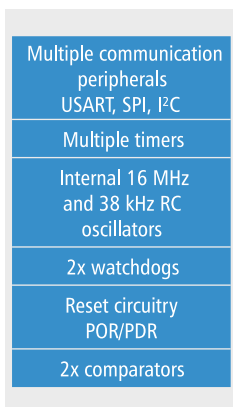
Rodzina mikrokontrolerów STM8L składa się z czterech linii (**rysunek 1**), różniących się

między sobą wyposażeniem w bloki peryferyjne, ale z identycznym, podstawowym otoczeniem CPU:

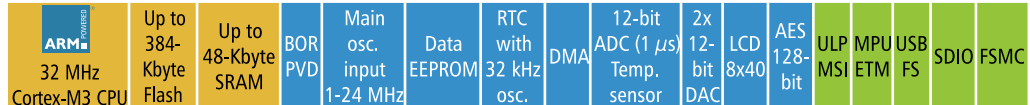
- STM8L101 – mikrokontrolery „podstawowe”, pozbawione przetworników A/C i C/A, wewnętrznej pamięci EEPROM, z pamięcią SRAM o pojemności 1,5 kB i z bogatym zestawem interfejsów komunikacyjnych,
- STM8L151 – nieco bardziej zaawansowane mikrokontrolery wyposażone w DMA, 12-bitowe przetworniki A/C i C/A, pamięć SRAM o pojemności 2 kB, wewnętrzną pamięć EEPROM, sprzętowy RTC i interfejsy komunikacyjne,
- STM8L152 – mikrokontrolery wyposażone jak STM8L151, wyposażone dodatkowo w sterownik wyświetlacza LCD o organizacji 4 backplane’y × 28 segmentów (w wersjach STM8L15xKx – 14 segmentów). W mikrokontrolery wbudowano także

Ultra-low-power product lines

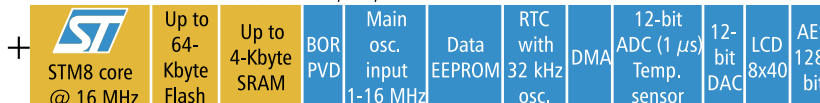
Common core peripherals and architecture:



Feature rich 32-bit solution: STM32L151/152/162 line



Feature rich 8-bit solution: STM8L151/152/162 line



Entry level 8-bit solution: STM8L101 line



Abbreviations:

BOR: Brown-out reset
ETM: Embedded trace unit
MPU: Memory protection unit
MSI: Multi-speed internal oscillator

Osc.: Oscillator
POR: Power-on reset
PDR: Power-down reset
PVD: Programmable voltage detector

ULP: Ultra-low-power
RTC: Real-time clock
AES: Advanced encryption standard

Rys. 1. Podstawowe wyposażenie mikrokontrolerów z linii STM8L i STM32L

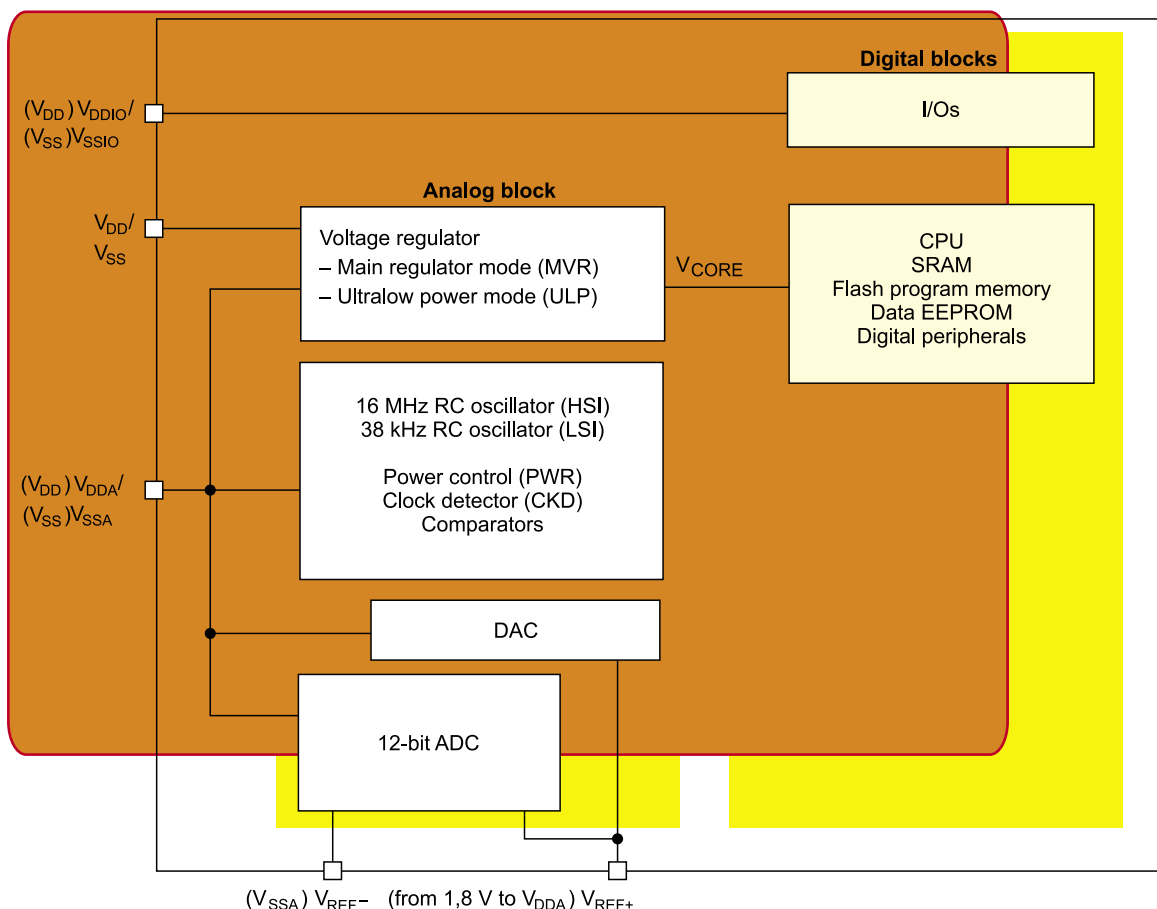
przetwornicę DC/DC zapewniającą właściwą polaryzację kryształów w LCD,

- STM8L162, konstrukcyjnie niemal identyczne z STM8L152, wyposażone dodatkowo w 12-bitowe przetworniki C/A z wyjściami napięciowymi, moduł kryptograficzny AES128.

Producent deklaruje pobór prądu przez CPU i jej najbliższe otoczenie na poziomie 150 μ A/MHz (STM8L101), co daje tym mi-

krokontrolerom przewagę nawet nad wieloma energooszczędnymi „klasykami” z rodziny MSP430. Oczywiście, tak ogólnie podawane dane należy traktować z ostrożnością, bowiem faktyczny pobór prądu przez mikrokontroler w realnej aplikacji zależy od liczby aktywnych peryferii i sposobu korzystania z nich. Mikrokontrolery STM8L wyposażono bowiem w selektywnie taktowane peryferia cyfrowe, a także programowo włączane peryferia analogowe.

Takie rozwiązanie z jednej strony zapewnia bardzo dużą elastyczność, z drugiej kładzie na barki programisty sporą odpowiedzialność: musi on każdorazowo „ręcznie” włączać w razie potrzeby i wyłączać po wykorzystaniu bloki peryferyjne, zwłaszcza analogowe. Przykładowo włączenie przetwornika A/C zwiększa pobór prądu o 1,5 mA, a przetwornika C/A o 370 μ A, co w porównaniu z poborem prądu przez CPU i cyfrowe bloki peryferyjne jest dużą wartością.



Rys. 2. Konfiguracja wewnętrznego toru zasilającego w mikrokontrolerach STM8L

Kłopot z 5 V

Linie IO mikrokontrolerów STM8L nie są przystosowane do współpracy z układami cyfrowymi zasilanymi napięciem większym niż 3,6 V. Ograniczenie to nie dotyczy wyjść typu otwarty dren.



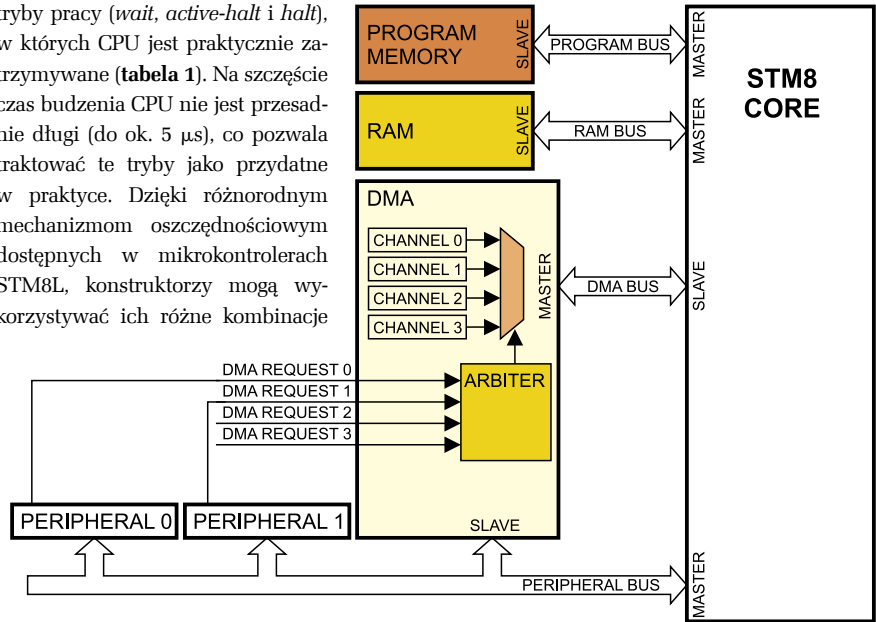
Tak dobre wyniki uzyskano m.in. dzięki zastosowaniu do produkcji mikrokontrolerów STM8L nowoczesnej technologii półprzewodnikowej o wymiarze charakterystycznym 130 nm, czego już odczuwalnym na rynku skutkiem są stosunkowo niewysokie ceny nowych mikrokontrolerów. „Gęsta” technologia zastosowana do produkcji mikrokontrolerów STM8L spowodowała, że wyposażono je w wewnętrzne stabilizatory liniowe, których zadaniem jest zapewnienie odpowiedniej wartości napięcia zasilającego rdzeń (1,8 V przy zasilaniu 1,8...3,6 V). Konfigurację toru zasilającego zastosowanego w mikrokontrolerach STM8L pokazano na rysunku 2. Wbudowany stabilizator LDO jest przystosowany do pracy w dwóch trybach:

- standardowym MVR, automatycznie włączanym podczas normalnej pracy CPU,
- oszczędnościowym ULP, włączanym automatycznie w trybach *halt* i *active-halt*.

Silna orientacja mikrokontrolerów STM8L na ograniczanie poboru energii znalazła odbicie w notach katalogowych – pobór prądu przez peryferia cyfrowe jest podawany w funkcji częstotliwości taktującej, co ma bez wątpienia dopingujący wpływ na konstruktorów i programistów, którzy mogą najłatwiej zmniejszyć pobór prądu obniżając częstotliwość taktowania mikrokontrolera. Wynika to z zastosowania do produkcji STM8L technologii CMOS, charakteryzującej się liniową zależnością pobieranej mocy od częstotliwości taktowania i praktycznie zerowym poborem mocy w stanie statycznym. Dzięki programowo sterowanemu preskalerowi, częstotliwość taktowania można modyfikować podczas pracy mikrokontrolera.

Oprócz mechanizmów umożliwiających selektywne włączanie i wyłączenie bloków peryferyjnych, mikrokontrolery STM8L wyposażono także w nieco bardziej standardowe mechanizmy oszczędzania energii: są to trzy

tryby pracy (*wait*, *active-halt* i *halt*), w których CPU jest praktycznie zatrzymywane (tabela 1). Na szczęście czas budzenia CPU nie jest przesadnie długi (do ok. 5 μ s), co pozwala traktować te tryby jako przydatne w praktyce. Dzięki różnorodnym mechanizmom oszczędnościowym dostępnych w mikrokontrolerach STM8L, konstruktorzy mogą wykorzystywać ich różne kombinacje



Rys. 3. Schemat blokowy ilustrujący lokalizację bloku DMA w mikrokontrolerach STM8L

w celu osiągnięcia optymalnego stosunku wydajność/pobór mocy.

Wymiennosc mikrokontrolerów 8- i 32-bitowych znajduje dodatkowe wsparcie ze strony narzędzi do programowania i debugowania, bowiem firma STMicroelectronics opracowała interfejs USB o nazwie ST-Link (w Polsce dostępny jest jego ścisły odpowiednik – ZL30PRG), który obsługuje:

- jednoliniowy interfejs SWIM (*Single Wire Interface Module*), umożliwiający programowanie pamięci Flash w mikrokontrolerach STM8 i debugowanie ich pracy,
- interfejs JTAG oraz SWD, za pomocą których można programować pamięć Flash i debugować pracę mikrokontrolerów STM32.

Interfejs ST-Link jest obsługiwany przez bezpłatny pakiet narzędziowy STVD i program obsługujący programatory STVP (publikujemy je na CD-EP3/2010C) oraz pakiety EWB firmy IAR, μ Vision firmy Keil i TrueStudio firmy Atollic (da STM32).

Blok DMA wbudowany w mikrokontrolery STM8L15x (rysunek 3) obsługuje 4 kanały transferu danych. Umożliwia on autonomiczny transfer bloków danych pomiędzy obszarami pamię-

ci, a także (dwukierunkowo) pomiędzy blokami peryferyjnymi (np. interfejsami komunikacyjnymi) a pamięcią. Kontroler DMA może generować przerwanie nie tylko sygnalizujące zakończenie transferu danych, ale także osiągnięcie połowy założonego limitu. Obsługuje on także zadany przez programistę obszar pamięci jak bufor kołowy, nie wymagając żadnych interwencji.

Kolejnym atutem mikrokontrolerów STM8L15x jest konfigurowana przez programistę matryca routująca pozwalająca m.in. na elastyczne dołączanie wejść multiplexera analogowego (znajdującego się na wejściu przetwornika A/C) do linii IO mikrokontrolera (rysunek 4). Za pomocą *Routing Interface* można także elastycznie dołączać do linii IO wejścia i wyjścia komparatorów analogowych, wewnętrzne źródło napięcia odniesienia, wejścia IC2 i IC3 timera TIM1, a także wyjście przetwornika C/A.

STM32L

Rodzina mikrokontrolerów STM32 składa się z trzech zasadniczych podrodzin wyposażonych w 32-bitowe rdzenie Cortex-M3:

- STM32F – klasyczne mikrokontrolery z wbudowaną pamięcią Flash i bogatym

Tab. 1. Najważniejsze cechy trybów oszczędzania energii zastosowanych w mikrokontrolerach STM8L

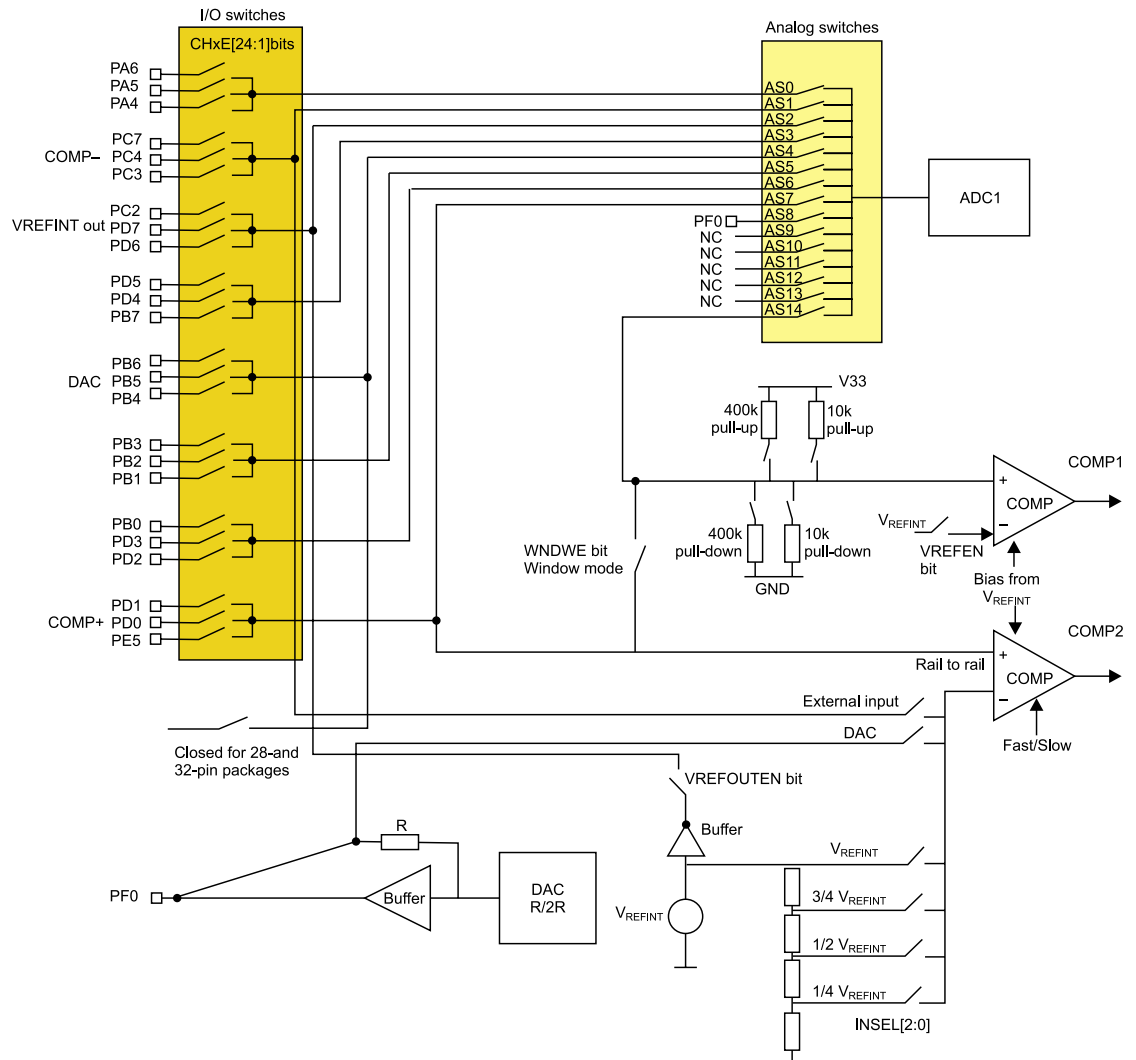
Tryb pracy	Peryferia	Generatory sygnałów zegarowych	CPU	Wybudzanie	Wewnętrzny stabilizator w trybie
WAIT	Aktywne	Obydwa włączone	Wyłączona	Zerowanie, przerwanie zewnętrzne lub wewnętrzne	MVR
ACTIVE HALT	Tylko AWU i IWDG	HSI wyłączony, LSI włączony	Wyłączona	Zerowanie, AWU lub przerwanie zewnętrzne	ULP
HALT	Tylko IWDG	LSI włączony jeżeli IWDG aktywny	Wyłączona	Zerowanie, przerwanie zewnętrzne	ULP

zestawem bloków peryferyjnych, począwszy od I²C/SPI, przez CAN i funkcjonalnie zaawansowane timery, aż po USB-OTG i MAC ethernetowy,

- STM32W – mikrokontrolery z bogatym zestawem bloków peryferyjnych, wzbogaconych o moduł kryptograficzny realizujący algorytm AES128 oraz kompletny tor radioowy zgodny z zaleceniami IEEE 802.15.4 oraz „dolną” warstwę MAC (*Media Access Control*) protokołu ZigBee,
- STM32L – rodzina mikrokontrolerów o wyposażeniu zbliżonym do STM32F, przystosowanych do taktowania sygnałami zegarowymi o częstotliwości do 32 MHz, zoptymalizowanych konstrukcyjnie pod kątem minimalizacji poboru energii z zasilania.

Rdzenie mikrokontrolerów STM32L, funkcjonalnie identyczne z zastosowanymi w klasycznej rodzinie STM32, są przystosowane do taktowania sygnałami zegarowymi o częstotliwości do 32 MHz, pobierają przy tym prąd o natężeniu (wg danych katalogowych) do 240 $\mu\text{A}/\text{MHz}$ (przy napięciu zasilającym rdzeń o wartości 1,2 V). Zastosowanie do produkcji mikrokontrolerów z rodziny STM32L technologii o wymiarze charakterystycznym 130 nm pozwoliło na obniżenie napięcia zasilającego do wartości 1,65 V, przy czym mikrokontrolery mogą pracować w urządzeniach zasilanych napięciem do 3,6 V – zakres dopuszczalnych napięć zasilających pozwala bardzo efektywnie wykorzystać dynamikę współczesnych, regeneralnych ogniw zasilających.

Zawartość pamięci Flash o pojemności 64 lub 128 kB jest chroniona za pomocą bloków MPU (*Memory Protection Unit*) oraz ECC (*Error Correction Code*). Mikrokontrolery wyposażono także w pamięć SRAM o pojemności 10 lub 16 kB oraz EEPROM o pojemności 4 kB, której zawartość także jest chroniona za pomocą bloku ECC. W skład standardowego wyposażenia mikrokontrolerów STM32L wchodzi 8 timerów, po dwa interfejsy SPI i I²C, trzy USART-y, jeden kanał USB *device*, a także 12-bitowy



Rys. 4. Uproszczony schemat bloku *Routing Interface*

Bezpłatne narzędzia

Firma STMicroelectronics udostępnia bezpłatnie środowisko projektowe dla mikrokontrolerów STM8L o nazwie STVD (ST Visual Develop). Jest ono standardowo wyposażone w kompilator asemblera, linker oraz program obsługujący interfejsy-programatory (w tym ST-Link i ZL30PRG). W przypadku zastosowania interfejsu obsługującego protokół SWIM programista ma możliwość monitorowania i debugowania programu wykonywanego przez mikrokontroler.

przetwornik A/C (od 16 do 24 kanałów wejściowych), dwa 12-bitowe przetworniki C/A z wyjściami napięciowymi, komparatory analogowe oraz interfejsy umożliwiające sterowanie segmentowymi LCD – te ostatnie są dostępne wyłącznie w mikrokontrolerach STM32L152xx (rysunek 1).

Producent zadbał o kompatybilność rozmieszczenia wyprowadzeń i większości możliwości funkcjonalnych bloków peryferyjnych mikrokontrolerów STM32L z klasycznymi STM32, montowanymi w takich samych obudowach (STM32L są oferowane w: LQFP/VFQFN48, LQFP/BGA64 i LQFP/BGA100), dzięki czemu konstruktorzy mogą dostosować wydajność obliczeniową i pobór mocy przez mikrokontroler do wymogów aplikacji bez konieczności modyfikacji płytki drukowanej.

Technologia półprzewodnikowa zastosowana do produkcji mikrokontrolerów STM32 zapewnia radykalną minimalizację prądów pasożytniczych, dzięki czemu pobór prądu przez

mikrokontroler w stanie spoczynku (*standby*) nie przekracza 0,27 μA . Tak dobry wynik osiągnięto m.in. dzięki zastosowaniu zaawansowanego systemu taktowania bloków peryferyjnych, co jest rozwiązaniem wprowadzonym na rynek wraz z mikrokontrolerami wyposażonymi w rdzenie z rodziny Cortex-M. Ciekawostką jest fakt, że taktowania wymagają nawet porty GPIO mikrokontrolerów, traktowane zazwyczaj jako proste „bramy” wejściowo-wyjściowe. Możliwość indywidualnego włączania i wyłączania sygnałów taktujących bloki peryferyjne, a także możliwość doboru częstotliwości tych sygnałów powodują (w technologii CMOS natężenie pobieranego prądu jest zależne od częstotliwości przełączania tranzystorów), że projektant ma duży wpływ na sposób wykorzystania w tworzonej aplikacji wewnętrznych bloków peryferyjnych i w wyniku tego na pobór mocy przez mikrokontroler podczas pracy.

Ograniczenie poboru mocy w mikrokontrolerach STM32L uzyskano także dzięki

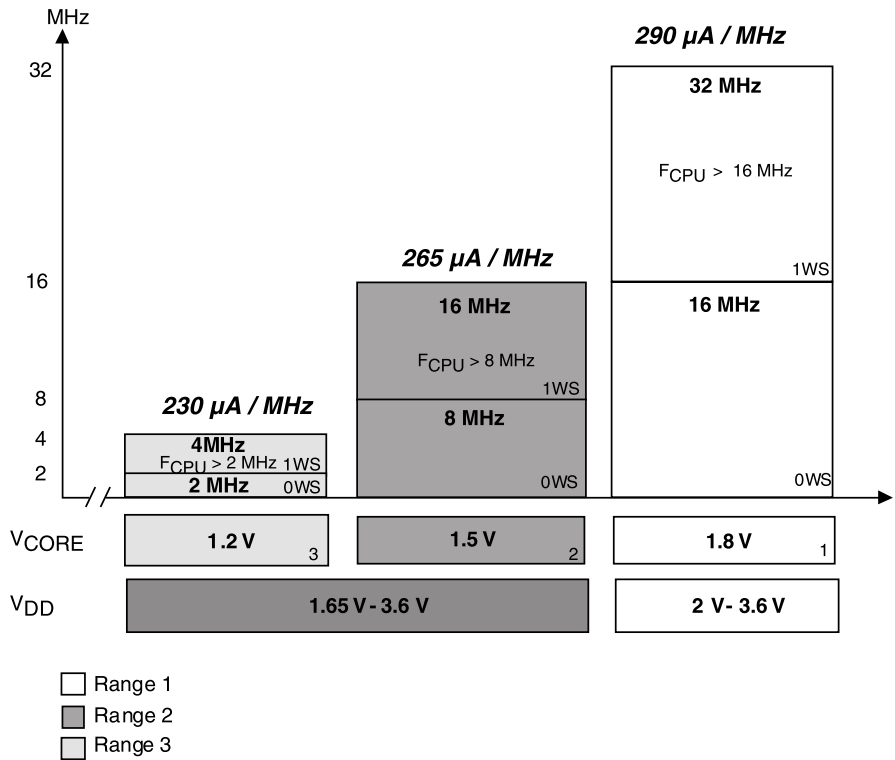
możliwości różnicowania wartości napięcia zasilającego rdzeń (rysunek 5) w zależności od wykonywanego zadania, co wiąże się także z maksymalną częstotliwością taktowania CPU. Pozwala to na przykład gromadzić dane za pomocą przetwornika A/C z rdzeniem zasilanym napięciem 1,2 V, taktowanym sygnałem zegarowym o częstotliwości 1 MHz i następnie – po przełączeniu napięcia zasilającego rdzeń na 1,8 V, zwiększeniu napięcia zasilającego rdzeń i włączeniu taktowania interfejsu USB – wysłanie w krótkim czasie niezbędnych danych do współpracującego komputera.

Pomocne dla programistów piszących „energooszczędne” programy dla STM32L są specyficzne bloki peryferyjne (platforma *EnergyLite*), różniące się od stosowanych w klasycznych wersjach STM32:

- 12-bitowy przetwornik A/C potrafiący funkcjonować bez konieczności interwencji CPU, samoczynnie obsługujący tryb pomiaru *burst*,
- komparatory analogowe, pozostające w stanie aktywności we wszystkich trybach oszczędzania energii – można je wykorzystać do „budzenia” mikrokontrolera w chwili zmiany wartości monitorowanego napięcia,
- samodzielny sterownik LCD (wyłącznie w STM32L152xx) zintegrowany z generatorem napięcia polaryzującego sterowaną matrycę LCD o wymiarach do 8x40 segmentów,
- zegar RTC zaprojektowany w sposób sprzeczny ze współczesnymi teoriami obowiązującymi w projektowaniu rozbudowanych systemów cyfrowych, dzięki czemu pobiera podczas pracy poniżej 1 μ A. „Sprzeczność” z teorią wynika z jego asynchronicznej budowy, dzięki czemu sygnał zegarowy kluczuje minimalną liczbę tranzystorów, co owocuje spektakularnie małym natężeniem pobieranego prądu - na przykład populamy RTC PCF8583 pobiera nie mniej niż 15 μ A w podobnych warunkach.

Jednym z dobrze się sprawdzających, przez to coraz popularniejszym pomysłem na zminimalizowanie ilości energii pobieranej przez mikrokontroler podczas pracy, są aplikacje wykonywane przez CPU z maksymalną możliwą prędkością (co skraca czas pracy rdzenia) w możliwie dużych (lecz nie obniżających funkcjonalności) odstępach czasu, co zapewnia niewielką wartość średnią natężenia pobieranego prądu.

Niebagatelną pomocą dla programistów tworzących aplikacje dla mikrokontrolerów STM32L jest duża liczba predefiniowanych trybów oszczędzania energii (tabela 2), które powodują pewne ograniczenia wydajności lub funkcjonalności mikrokontrolera, pozwalając w zamian ograniczyć pobór energii. Trzeba pamiętać, że każde przełączenie mikrokontrolera z trybu obniżonego poboru mocy do pełnej aktywności wymaga nieco czasu, przez który program użytkownika nie jest wykonywany.



Rys. 5. Pobór prądu przez mikrokontrolery STM32L w różnych trybach pracy

Tab. 2. Zestawienie trybów oszczędzania energii dostępnych w mikrokontrolerach STM32L

Tryb	Pobór prądu	CPU	Flash	RAM	Bloki peryferyjne	Aktywny generator zegarowy	LCD	RTC
Sleep	65...100 μ A/MHz	Nieaktywny	Włączona	Włączona	Aktywne	Dowolny	Aktywne	
Low Power Run	10,4 μ A	Aktywny	Włączona lub wyłączona	Włączona	Aktywne	MSI	Aktywne	
Low Power Sleep	do 6,1 μ A	Nieaktywny	Wyłączona	Włączona	Aktywne	MSI	Aktywne	
Stop + RTC	do 1,6 μ A	Nieaktywny	Wyłączona	Włączona	Zatrzymane	LSE, LSI	Aktywne	
Stop	0,5 μ A	Nieaktywny	Wyłączona	Włączona	Zatrzymane	LSE, LSI	Wyłączone	
Standby + RTC	do 1,3 μ A	Wyłączony	Wyłączona	Wyłączona	Wyłączony	LSE, LSI	Wyłączone	Włączony
Standby	0,24 μ A	Wyłączony	Wyłączona	Wyłączona	Wyłączony	LSE, LSI	Wyłączone	

W każdym z wymienionych przypadków programista tworzący aplikację musi mieć świadomość możliwości tkwiących w mechanizmach „zaszytych” w STM32L, ale – zapewne – w niedługim czasie pojawią się narzędzia programistyczne wspomagające pisanie aplikacji na platformy energooszczędne, które wskażą programiście sposoby zoptymalizowania energetycznego pisanego programu.

Podsumowanie

Mikrokontrolery STM8L przenoszą niektóre rozwiązania – charakterystyczne dotychczas dla 32-bitowców – do świata mikrokontrolerów 8-bitowych. Dzięki zaawansowanej ale łatwej w przyswojeniu architekturze, nowoczesnym

peryferiom, dużej elastyczności konfigurowania linii IO, a także bardzo małemu poborowi mocy, nadają się one doskonale do stosowania w aplikacjach niskomocowych, przede wszystkim wymagającym długotrwałej pracy przy zasilaniu baterijnym. Jest szansa, że przez długi czas będą stawiać opór 32-bitowej nawałnicy, która krok-po-kroku dominuje świat. Z kolei mikrokontrolery STM32L mają szansę stać się popularną platformą sprzętową dla urządzeń zasilanych bateryjnie. Ich atutem – poza niewielkim poborem mocy – jest kompatybilność z mikrokontrolerami z niezwykle popularnej rodziny STM32 i niektórymi modelami STM8.

Tomasz Starak