

Mikrokontrolery i układy FPGA

Dynamicznie rozwijający się rynek elektroniczny, szczególnie branża IoT powoduje, że producenci komponentów elektronicznych dostarczają na rynek układy integrujące bloki oraz funkcjonalność niezbędną do kompleksowego pokrycia wymagań aplikacji. Ten trend dotyczy głównie układów programowalnych lub mających możliwości konfiguracyjne, takich jak mikrokontrolery i układy FPGA.

Dla układów MCU głównymi rynkami obecnie napędzającymi produkcją jest IoT oraz automotive. Branża IoT wymaga od mikrokontrolerów wielu różnych cech charakterystycznych, którymi m.in. są: energooszczędność, szyfrowanie i zabezpieczenia sprzętowe, tryby energooszczędne, różnorodność pod względem zasobów, chroniona pamięć aplikacji, różne pojemności pamięci Flash, bezpieczny bootloader, kompatybilność względem wyprowadzeń, komunikacja bezprzewodowa, system czasu rzeczywistego, narzędzia do programowania i debugowania, zestawy do szybkiego prototypowania.

Silicon Laboratories

Jedną z najszybciej rozwijających się firm w zakresie mikrokontrolerów oraz układów bezprzewodowych dla aplikacji IoT jest Silicon Labs. Firma dostarcza na rynek układy dedykowane dla zastosowań w aplikacjach zasilanych bateryjnie, posiadających szerokie spektrum dostępnych zasobów wewnętrznych. Tabela nr. 1 przedstawia główne parametry charakterystyczne dla poszczególnych rodzin układów 32-bitowych z rodziny EFM. Każda z rodzin posiada cechy charakterystyczne dla siebie np. wielkość pamięci, maksymalna częstotliwość pracy, prąd w poszczególnych trybach pracy czy interfejsy.

Więcej informacji:

Computer Controls Sp. z o.o.
ul. Powązkowska 15, 01-797 Warszawa
tel. 22 718 31 90, www.ccontrols.pl



Kompatybilność pin to pin

Zgodność pod względem wyprowadzeń wewnątrz rodziny oraz z pozostałymi rodzinami umożliwia zamianę danej wersji mikrokontrolera lub rodziny na inną bez większej ingerencji w sprzętowy projekt urządzenia. W tabeli 2 pokazano możliwości zamiany poszczególnych rodzin mikrokontrolerów w zakresie kompatybilności pod względem wyprowadzeń i oprogramowania. Jak wynika z zestawienia, projektant ma możliwość doboru układu z innej rodziny posiadającego wymagane zasoby wewnętrzne lub interfejsy.

EMS – Energy Management System

W celach optymalizacji zużycia energii oraz ułatwieniu konfiguracji producent zdefiniował sześć trybów pracy dla rodzin mikrokontrolerów, które odpowiadają za wyłączenie pracy poszczególnych bloków układu. Całość operacji związanej z zarządzaniem energetycznym układu kontrolowana jest przez EMS. Na rysunku 1 pokazano pracę poszczególnych bloków w zależności od trybu pracy mikrokontrolera. Patrząc na dane umieszczone w tabeli 1 widzimy, iż dla trybu EM4H prąd pobór spada do 0,4...0,6 µA, natomiast dla EM0 wartości prądów pracy wynoszą od 63 µA do 225 µA/MHz.








Zabezpieczenia sprzętowe

W celu zapewnienia zwiększonego bezpieczeństwa dla urządzeń pracujących w systemach IoT, układy Silicon Labs, zarówno MCU jak i SoC (z wbudowanym transceiverem radiowym) są wyposażane

Tabela 1. Zestawienie kluczowych parametrów mikrokontrolerów EFM32 firmy Silicon Labs

	Series 0 Geckos							Series 1 Geckos			
	Zero Gecko Cortex-M0+	Tiny Gecko Series 0 Cortex-M3	Happy Gecko Cortex-M0+	Gecko Cortex-M3	Leopard Gecko Cortex-M3	Wonder Gecko Cortex-M4	Giant Gecko Series 0 Cortex-M3	Tiny Gecko Series 1 Cortex-M0+	Pearl Gecko Cortex-M4	Jade Gecko Cortex-M3	Giant Gecko Series 1 Cortex-M4
Clock	24 MHz	32 MHz	25 MHz	32 MHz	48 MHz	48 MHz	48 MHz	TBA Coming soon!	40 MHz	40 MHz	72 MHz
Flash	4-32 kB	4-32 kB	32-64 kB	16-128 kB	64-256 kB	64-256 kB	512-1024 kB		128-1024 kB	128-1024 kB	512-2048 kB
RAM	2-4 kB	2-4 kB	4-8 kB	8-16 kB	32 kB	32 kB	128 kB		32-256 kB	32-256 kB	192-512 kB
GPIO	17-37	17-56	17-35	24-90	50-93	50-93	56-93		24-65	24-65	56-144
EM0 current	114 µA/MHz	150 µA/MHz	131 µA/MHz	180 µA/MHz	211 µA/MHz	225 µA/MHz	219 µA/MHz		63 µA/MHz	63 µA/MHz	77 µA/MHz
EM2 current	0.9 µA	0.9 µA	0.9 µA	0.9 µA	0.9 µA	0.95 µA	1.1 µA		1.5 µA	1.5 µA	1.6 µA
EM4H current	0.5 µA	0.6 µA	0.6 µA	0.59 µA	0.65 µA	0.65 µA	0.4 µA		0.39 µA	0.39 µA	0.4 µA
Timers	2x	3x	3x	4x	5x	5x	5x		6x, 2x wdog	6x, 2x wdog	11x, 2x wdog
LESENSE	12 ch	12 ch	12 ch	12 ch	12 ch	12 ch	12 ch		16 ch	16 ch	16 ch
ADC	1x 12-bit, 12 ch	1x 12-bit, 12 ch		1x 12-bit, 8 ch	1x 12-bit, 8 ch	1x 12-bit, 8 ch	1x 12-bit, 8 ch		1x 12-bit, 33 ch	1x 12-bit, 33 ch	2x 12-bit, 54 ch
VDAC / Op Amp		1x 12-bit / 3x		1x 12-bit / -	1x 12-bit / 3x	1x 12-bit / 3x	1x 12-bit / 3x		2x 12-bit / 3x	2x 12-bit / 3x	2x 12-bit / 4x
Cap Sense	Relax Oscillator	Relax Oscillator	Relax Oscillator	Relax Oscillator	Relax Oscillator	Relax Oscillator	Relax Oscillator		SAR	SAR	SAR
LCD control		160 segment		160 segment	288 segment	288 segment	288 segment				288 segment
USB		Yes, 2.0	Yes, 2.0		Yes, 2.0	Yes, 2.0	Yes, 2.0				Yes, 2.0
10/100 Eth										1x (MAC)	
SDIO/MMC										1x	
QSPI/Octal SPI										2x	
CAN (2.0)										2x	
Packages	QFN, QFP	QFN, QFP, BGA	QFN, QFP, CSP	QFN, QFP, BGA	QFN, QFP, CSP	QFN, QFP, CSP	QFN, QFP, BGA	QFN, QFP, BGA	QFN, QFP, BGA	QFN, QFP, BGA	

Tabela 2. Zestawienie kompatybilności sprzętowej oraz programowej dla poszczególnych rodzin

		Software compatible				Pin compatible within each package						
M4 w/FPU	Wonder	Optional Features USB LCD TFT		EFM32WG940 EFM32WG930 EFM32WG840 EFM32WG230		EFM32WG942 EFM32WG932 EFM32WG842 EFM32WG232	EFM32WG980 EFM32WG980 EFM32WG880 EFM32WG280		EFM32GG990 EFM32GG990 EFM32GG890 EFM32GG290	EFM32GG995 EFM32GG995 EFM32GG895 EFM32GG295		Up to 48 MHz Flash: 64 - 256 RAM: 32
	Giant	USB LCD TFT		EFM32GG940 EFM32GG930 EFM32GG840 EFM32GG230		EFM32GG942 EFM32GG932 EFM32GG842 EFM32GG232	EFM32GG980 EFM32GG980 EFM32GG880 EFM32GG280		EFM32GG990 EFM32GG990 EFM32GG890 EFM32GG290	EFM32GG995 EFM32GG995 EFM32GG895 EFM32GG295		Up to 48 MHz Flash: 512 - 1024 RAM: 128
	Leopard	USB LCD TFT		EFM32LG940 EFM32LG930 EFM32LG840 EFM32LG230		EFM32LG942 EFM32LG932 EFM32LG842 EFM32LG232	EFM32LG980 EFM32LG980 EFM32LG880 EFM32LG280		EFM32LG990 EFM32LG990 EFM32LG890 EFM32LG290	EFM32LG995 EFM32LG995 EFM32LG895 EFM32LG295		Up to 48 MHz Flash: 64 - 256 RAM: 32
M3	Gecko	LCD	EFM32G210 EFM32G200	EFM32G840 EFM32G230	EFM32G222	EFM32G842 EFM32G232	EFM32G880 EFM32G280		EFM32G890 EFM32G290			Up to 32 MHz Flash: 16 - 128 RAM: 8 - 16
	Tiny	LCD	EFM32TG110 EFM32TG108	EFM32TG210	EFM32TG840 EFM32TG230	EFM32TG222	EFM32TG842 EFM32TG232		EFM32TG825 EFM32TG225			Up to 32 MHz Flash: 4 - 32 RAM: 2 - 4
MO+	Happy	USB	EFM32HG309 EFM32HG308 EFM32HG110 EFM32HG108	EFM32HG310 EFM32HG210		EFM32HG322 EFM32HG321 EFM32HG222						Up to 25 MHz Flash: 32 - 64 RAM: 4 - 8
	Zero		EFM32ZG110 EFM32ZG108	EFM32ZG210		EFM32ZG222						Up to 24 MHz Flash: 4 - 32 RAM: 2 - 4
			QFN24	QFN32	QFN64	QFP48	QFP64	QFP100	BGA48	BGA112	BGA120	

- WLCSP package: Wonder, Leopard and Happy Gecko are available in an ultra-small CSP81/CSP36 package – EFM32WG360, EFM32LG360 and EFM32HG350
- Wafer sales: Giant, Wonder, Leopard, and Gecko are available in wafer form – EFM32GG900, EFM32WG900, EFM32LG900, and EFM32G800.

w bloki kryptografii sprzętowej umożliwiające szyfrowanie SHA, ECC, AES oraz mające funkcję TRNG.

Zabezpieczenia oprogramowania

W celu zwiększenia bezpieczeństwa w aplikacjach wykorzystujących układy SoC, producent udostępnia również cztery wersje Bootloadera: Field Upgradeable, Secure Boot, Signed GBL Firmware Update Image File, Encrypted GBL Firmware Update Image File.

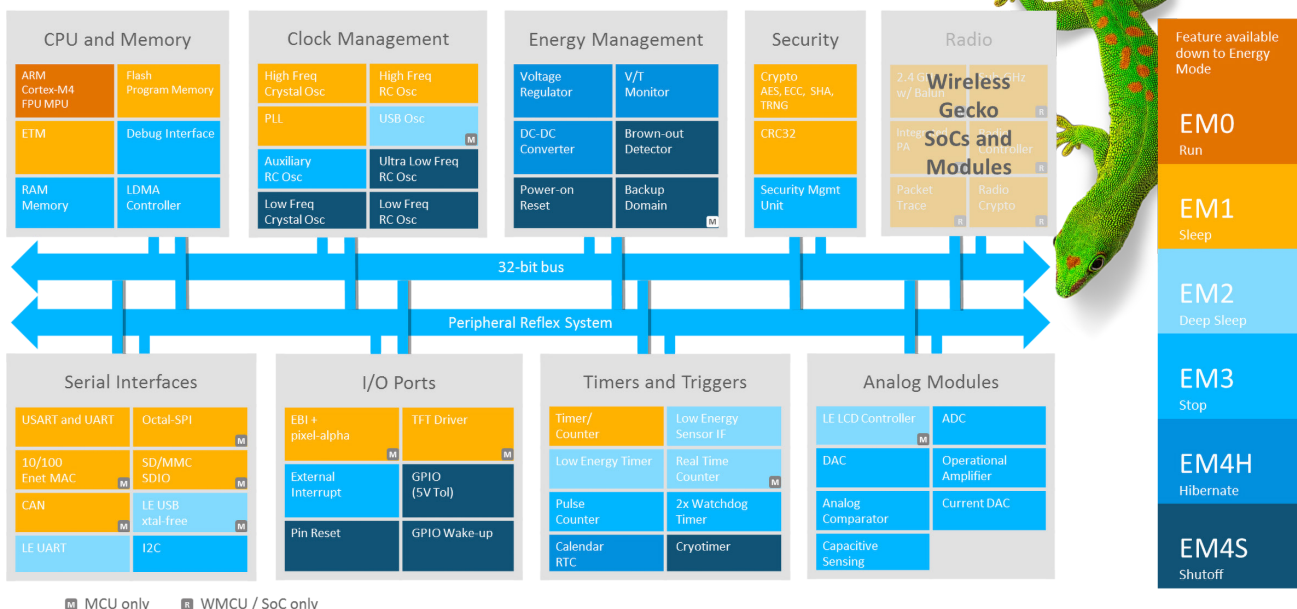
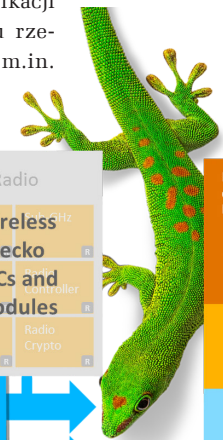
Protokoły komunikacji bezprzewodowej

W dobie Internetu Rzeczy dużą rolę odgrywa komunikacja bezprzewodowa. Konstruktorzy oraz firmy projektujące szukają rozwiązań kompleksowych, mogących uprościć i przyspieszyć opracowywanie i rozwój projektu. Firma Silicon Labs oprócz mikrokontrolerów dostarcza również układy SoC umożliwiające komunikację

w najpopularniejszych standardach przeznaczonych dla IoT (rysunek 2). Układy EFR32 pod względem budowy oraz organizacji wewnętrznej bazują na rozwiązaniach MCU z rodziny EFM32.

System czasu rzeczywistego

Rosnące wymagania dla układów komunikacji bezprzewodowej oraz brak jednego idealnego standardu komunikacji zmusza konstruktorów do stosowania rozwiązań niekiedy mogących obsługiwać minimum dwa standardy sieci. Wymusza to na dostawcach oferowanie rozwiązań kompleksowych pod względem software, zarządzania pracą układu oraz obsługi stosów komunikacji bezprzewodowej. Firma Silicon Labs po przejęciu firmy Micrium oferuje inżynierom możliwość zarządzania pracą aplikacji przy użyciu systemu czasu rzeczywistego, co pozwala na m.in.



Rysunek 1. Diagram blokowy układów EFM32 w kontekście poszczególnych trybów pracy

PODZESPOŁY



■ SoC
■ Module

Model	Thread	ZigBee	Bluetooth	Proprietary Wireless	Package	Flash	Power	Frequency	Other
Mighty Gecko	✓	✓	✓	✓	Basic	256 - 1024 kB Flash	Up to 19.5 dBm	Sub-GHz + 2.4 GHz	QFN32, QFN48, WLCSP40
Blue Gecko			✓	✓	Basic	128-1024 kB Flash	Up to 19.5 dBm	Sub-GHz + 2.4 GHz	SIP, QFN32, QFN48, WLCSP40
Flex Gecko				✓	Basic	32-1024 kB Flash	Up to 19.5 dBm	Sub-GHz + 2.4 GHz	QFN32, QFN48
Gecko MCUs					Advanced	4-2048 kB Flash	USB, Ethernet, CAN	QFP, QFN, BGA, CSP	24 - 192 pins

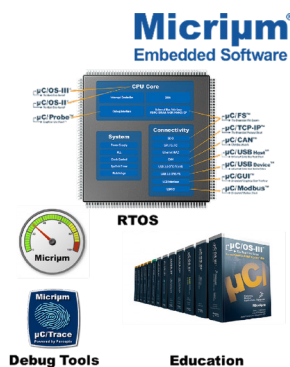
Rysunek 2. Protokoły komunikacyjne obsługiwane przez poszczególne rozwiązania z rodzin EFR32

Highlights:

- Most widely deployed RTOS (UBM 2015 Survey)
- Proven - shipping μ C/OS for over 25 years
- High quality and robust code
- Highly qualified and mature software

Benefits:

- Professionally developed
 - TCP/IP, SSL, USB and CAN
 - Graphics, File System
- Large ecosystem providing
 - Java development, security, and cloud connectivity
 - μ C/Probe and SystemView visualization tools



Rysunek 3. Micrium Embedded Software

dynamiczne przełączanie pomiędzy sieciami bezprzewodowymi oraz optymalizację efektywności pracy układu.

Maxim Integrated

Rosnący rynek IoT spowodował, że firmy wcześniej niemające rozwiązań z tego zakresu zaczęły oferować produkty dopasowywane do specyfiki rynku Internetu Rzeczy, łącząc zalety swoich dotychczasowych produktów oraz wymagań nowych produktów. Idealem przykładem takich rozwiązań jest firma Maxim Integrated, która dotychczasowo dostarczała głównie mikrokontrolery z branży secure micro (secure payment, PIN pads, secure access control). Obecnie w rozwiązaniach producenta znalazły się rozwiązania przeznaczone do systemów bateryjnych łączących zwiększone kwestie bezpieczeństwa, komunikacji bezprzewodowej oraz low power.

Wiele wersji, duża różnorodność, zwiększone bezpieczeństwo

Na rysunku 4 pokazano zestawienie dostępnych i przyszłych rozwiązań od Maxim Integrated. Układy charakteryzują się dużym zróżnicowaniem wielkości pamięci wewnętrznej FLASH, minimalistycznym wykonaniem niektórych wersji (MAX32660), zaawansowanymi blokami AFE (MAX32600) oraz komunikacją bezprzewodową (MAX32656 oraz MAX32566). Ponadto, wersje układów /31, /21, /26 posiadają dodatkowo wbudowany TPU (Trust Protection Unit) rysunek 5.

PMU – zaawansowana energooszczędność

Podobnie jak w przypadku układów firmy Silicon Labs, układy Maxim Integrated mają siedem energooszczędnych trybów pracy, odpowiadających za pracę poszczególnych bloków. Za obsługę trybów

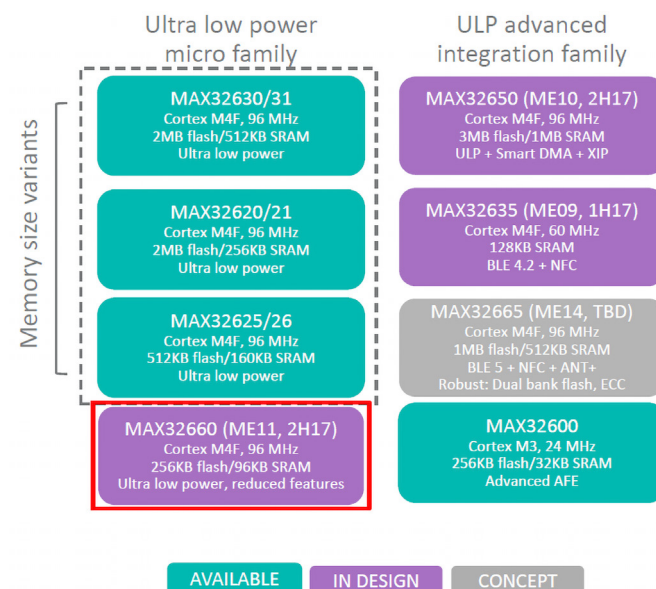
pracy oraz minimalizację zużycia energii odpowiedzialny jest PMU (Power Management Unit). Na rysunku 6 zaprezentowano wartości zużycia energii w poszczególnych trybach pracy mikrokontrolerów, dla najniższego trybu układ pobiera około 230 nW mocy oraz 13 mW dla pełnej pracy przy 96 MHz.

TPU – zwiększone bezpieczeństwo

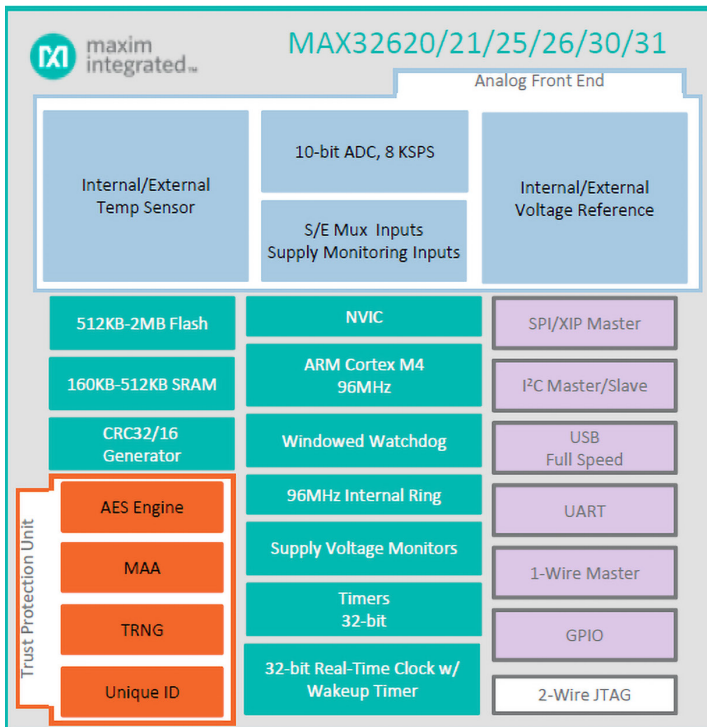
Dla zwiększenia bezpieczeństwa układy oznaczone /31, /21, /26 mają wspomniany wcześniej blok Trust Protection Unit, oferujący funkcjonalność taką jak:

- Modular Arithmetic Accelerator (MAA), True Random Number Generator (TRNG),
- Secure Nonvolatile Key Storage, SHA-256, AES-128/192/256,
- Memory Decryption Integrity Unit, Secure Boot ROM.

Maksymalną ochronę przed atakiem z zewnątrz, mającym na celu zmianę lub skasowanie oprogramowania zapewnia Secure Bootloader (rysunek 7). Bootloader taki zwiększa bezpieczeństwo aplikacji po przez m.in. sprawdzanie autentyczności oprogramowania, przywracanie oryginalnej kopii systemu przy próbach wymazania programu gdzie sam jest umieszczony w pamięci niedostępnej i niemożliwej do skasowania.



Rysunek 4. Zestawienie rozwiązań firmy Maxim Integrated dla rynku IoT



- ### Benefits
- Maximize lifetime of battery powered devices
 - Build smart, autonomous devices capable of processing and acting on data
 - Eliminate other processors by combining communications and DSP code into one core
 - Future proof with scalable memory architecture, robust HW Security

- ### Features
- 1.5-2.5uA retention current w/ all SRAM maintained
 - Up to 2MB flash and 512KB SRAM
 - Cortex M4 core with DSP and floating point acceleration
 - Advanced security available: AES, ECDSA, RSA, DSA. Supports secure booting and life cycle management.

Rysunek 5. Diagram blokowy MCU firmy Maxim Integrated

- LP3:RUN, 96MHz, No I/O power drain: ~13mW
- LP2:PMU, 96MHz: ~3.3mW
- LP3:RUN, 4MHz RC oscillator: ~500µW
- LP2:PMU, 4MHz RC oscillator: ~215µW
- LP1:STANDBY (Retention Mode), RTC enabled: ~2.7µW
- LP0:STOP, RTC enabled: ~1.1µW
- LP0:STOP, RTC disabled: ~230nW
- The highest power mode is over 50,000 times the power of the lowest power mode!
- Cost of switch modes is negligible: about 5µs from sleep to full speed.

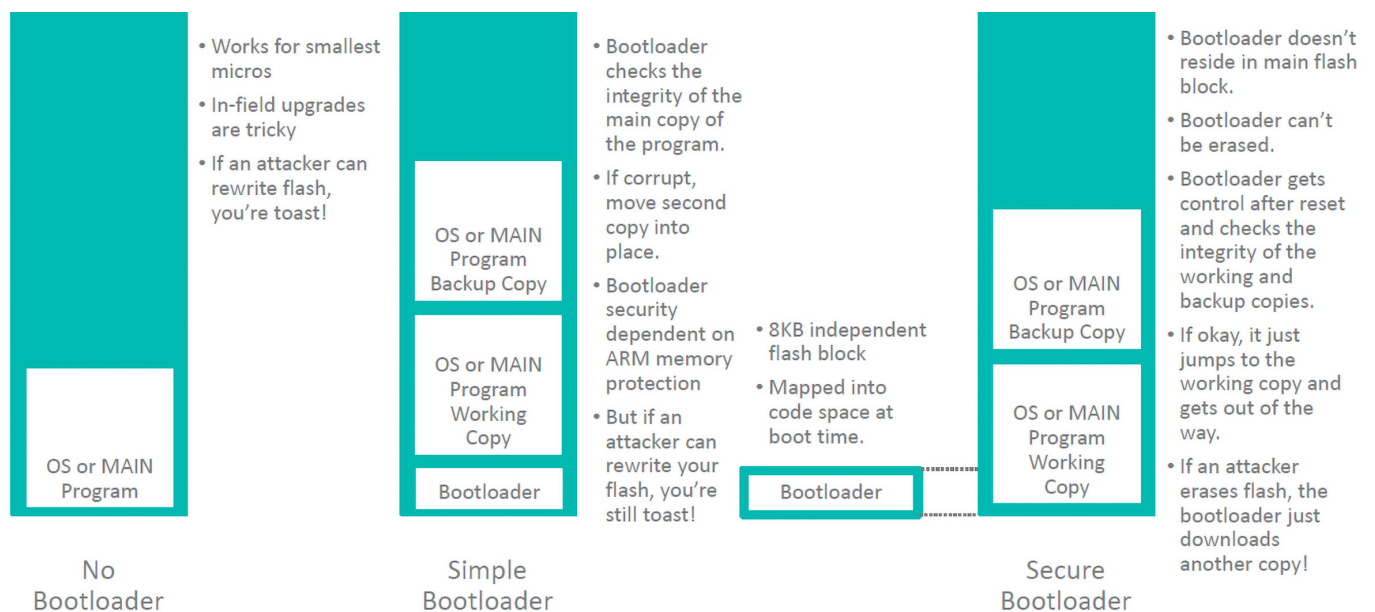
Rysunek 6. Wartości pobieranych prądów dla poszczególnych trybów pracy układu

Wiele rozwiązań, wiele możliwości, precyzyjny wybór

Spośród wszystkich dostępnych rozwiązań, konstruktorzy mają duży wybór i wiele możliwości dla zbudowania wymaganej aplikacji przy użyciu właściwego układu. Wiele z powstających aplikacji koncentruje się na prostych funkcjonalnościach odczytu danych,

przetworzenia oraz wysłaniu ich przy pomocy medium komunikacyjnego. Coraz więcej powstających projektów koncentruje się na wprowadzeniu dodatkowych kwestii związanych z bezpieczeństwem lub komunikacją w kilku bezprzewodowych standardach. Dla takich aplikacji bardzo ważne jest zarówno wykonanie energetyczne jak i cena jednak większą rolę odgrywa tutaj funkcjonalność samego układu, aby uniknąć dokładaniu kolejnych zewnętrznych scalaków, realizujących poszczególne zadania. Dlatego ważną kwestią jest wybranie odpowiedniego rozwiązania, pokrywającego niezbędne wymagane funkcje. Wielkość rynku rozwiązań komponentów jest duża, dlatego też kontakt z inżynierami aplikacyjnymi pomagają w zawężeniu spektrum poszukiwań oraz przy sprecyzowanych parametrach pozwalają na wybór konkretnego rozwiązania.

Kamil Prus,
Inżynier Aplikacyjny
Computer Controls Sp. z o.o.
kamil.prus@ccontrols.pl



Rysunek 7. Secure Bootloader – zalety stosowania