Wydanie elektroniczne dostępne na www.ulubionykiosk.pl

2 NOWE KURSY

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

EP.com.pl

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● czerwiec ● 6/2024 ●

Tylko Prenumeratorzy

- mają dostęp do artykułów przed ich publikacją w EP na www.ep.com.pl – **EP W TOKU**
- mają dostęp do materiałów dodatkowych, takich jak pliki źródowe projektów na naszym serwerze **FTP** www.ulubionykiosk.pl/media

PRZEKAŹNIKI DO AUTOMATYKI

TEMAT NUMERU

TYLKO W EP! KURSY:

Nordic nRF z BT • Programowanie ESP32

inspirujące, użyteczne projekty

• matrixClock – efektowny zegar stołowy • Sterownik silnika krokowego z wyłącznikami krańcowymi • Płytka rozwojowa do testów 14-segmentowego wyświetlacza LCD • Moduł komunikacji szeregowej RS232/RS485 do Raspberry Pi Pico • Ekspander 7-segmentowego wyświetlacza LCD

podzespoły, sprzęt, aplikacje

• Jak zaprojektować i wyprodukować układ scalony bez nakładów finansowych? • PCBWay – kompleksowy outsourcing w branży elektronicznej • Konfigurowalny sterownik bezpieczeństwa PNOZmulti 2 firmy Pilz. Bezpieczny transfer danych z protokołem FsoE i elastyczną architekturą • Przegląd przekaźników z oferty Finder • Transoptory w ofercie TME – jakość, której możesz zaufać. Przykłady zastosowania produktów marki Everlight • Indukcyjne czujniki położenia rozwiązują problem błądzących pól magnetycznych • Dynamiczny rozwój firmy Elproma Elektronika • Scalony układ do zarządzania energią nPM1300

tutoriale

• Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych. Zestaw do kontrolowania wilgotności gleby Enviro Grow firmy Pimoroni • Ach, te iskrzące styki! • Uzyskiwanie niskiej jasności świecenia diod LED • Oszczędzanie energii w teorii i w praktyce

kursy

• Kurs programowania mikrokontrolerów Megawin • Kurs Nordic nRF z BT. Setup środowiska • Programowanie modułów ESP32 w środowisku ESP-IDF • Kurs FPGA Lattice. 14-segmentowy wyświetlacz LCD

ISSN 1230-3526 Indeks 357677
9 771230 352245 06
18,90 zł (w tym 8% VAT) • PRICE: 8 EUR

KOMUNIKACJA BEZPRZEWODOWA W IOT

eprasa.pl 12486519d0

–20%
NA START
181,40 zł

–30%
po pierwszym roku prenumeraty
158,80 zł

–40%
po drugim roku prenumeraty
136,10 zł

–50%
po trzecim roku nieprzerwanej prenumeraty
113,40 zł

Odkryj korzyści z prenumeraty drukowanej – większe oszczędności z każdym rokiem!

Rozpocznij swoją przygodę z *Elektroniką Praktyczną*. Decydując się teraz na roczną prenumeratę drukowaną, otrzymasz nie tylko dostęp do najnowszych wydań, ale i **znakomity start dzięki zniżce 20%** na pierwsze zamówienie!

Prenumerata to nie tylko wygoda dostępu do treści, ale także sposób na znaczące oszczędności. Dołącz do grona naszych stałych czytelników i ciesz się coraz lepszymi warunkami.

Im dłużej jesteś z nami, tym więcej oszczędzasz:
- po roku nieprzerwanej prenumeraty zapewnimy Ci **30% rabatu** na kolejny rok,
- po dwóch latach wierności zaoferujemy **40% rabatu**,
- po trzech latach lojalności osiągniesz **najwyższy poziom rabatu – 50%!**

Jak otrzymać rabat za lojalność?

Zaloguj się na swoje konto prenumeratora na **www.UlubionyKiosk.pl** i zamów prenumeratę, korzystając z przycisku PRZEDŁUŻ w zakładce „Prenumeraty".

Przeglądaj wcześniej, płać mniej – postaw na e-prenumeratę!

Wybierz prenumeratę cyfrową PDF i ciesz się dostępem do czasopisma nawet 7 dni przed oficjalną premierą w kioskach. Oszczędzaj czas i pieniądze – skorzystaj z **rabatu 30%** na roczną e-prenumeratę w cenie 126,90 zł.

Dodatkowa oferta dla prenumeratorów wersji drukowanej: jeśli już subskrybujesz wersję papierową, możesz dokupić równoległe e-wydania w cenie 36,20 zł/rok – z niesamowitym **rabatem 80%**.

Zyskaj nieograniczony dostęp do zasobów dla pasjonatów elektroniki!

Tylko prenumeratorzy mają pełny dostęp do:
- artykułów przed ich publikacją w *Elektronice Praktycznej* na www.ep.com.pl – EP W TOKU
- materiałów dodatkowych (takich jak pliki źródłowe projektów) na www.UlubionyKiosk.pl/media

Zamów prenumeratę drukowaną lub e-prenumeratę na www.UlubionyKiosk.pl lub przez przelew na konto Wydawnictwa AVT, a po zaksięgowaniu wpłaty wyślemy Ci mailowo kod dostępu do portalu.

Zacznij korzystać z pełnych zasobów już dziś!

Zamów prenumeratę lub e-prenumeratę na www.UlubionyKiosk.pl/prenumerata
tel. 22 257 84 22 (godz. 10–14) | prenumerata@avt.pl | AVT-Korporacja sp. z o.o. ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa
rachunek bankowy: 18 1050 1012 1000 0024 3173 1013

Naczynia połączone

Czerwcowym numerem „Elektroniki Praktycznej" zawładnął Internet Rzeczy. Koncepcja komunikujących się pomiędzy sobą urządzeń, przesyłających za pośrednictwem łączy teleinformatycznych rozmaite informacje w sposób całkowicie zautomatyzowany, rozlała się daleko poza te środki transmisji, które zwykliśmy kojarzyć z pojęciem Internetu. Choć z punktu widzenia większości użytkowników ekspansja IoT przejawia się głównie we wszechobecności urządzeń wyposażonych w transceiver Wi-Fi lub Bluetooth, to w rzeczywistości Internet Rzeczy korzysta dziś z szerokiej gamy innych pasm częstotliwości, protokołów oraz infrastruktur. IoT obejmuje bowiem nawet globalne łącza satelitarne, niskomocowe technologie sub-GHz czy w końcu najnowocześniejsze, mikrofalowe interfejsy o krótkim zasięgu i ogromnej przepustowości.

Nie da się ukryć, że rewolucja IoT przyjęła postać technologicznej kuli śnieżnej, która – pomimo i tak gigantycznych już rozmiarów – porywa za sobą kolejne obszary współczesnej elektroniki oraz informatyki. Jeden trend pociąga za sobą następne, innowacje rodzą wciąż nowe problemy, a ich rozwiązania napędzają kolejne zmiany. I tak w kółko. Przykład? Coraz większa liczba urządzeń generujących różnego rodzaju dane wymusza stosowanie nowych technik w zakresie przetwarzania brzegowego (ang. edge computing) – wymogi energooszczędności oraz rosnąca populacja węzłów sieci IoT narzucają ich twórcom konieczność wstępnej obróbki danych jeszcze przed przesłaniem ich na docelowy serwer lub do chmury. Same dane także bywają coraz bardziej niejednoznaczne, a trudności związane ich złożoną naturą pchają nas w stronę wszechobecnej sztucznej inteligencji – dlatego też kolejni producenci prześcigają się we wdrażaniu algorytmów ML oraz opracowanych specjalnie na ich potrzeby procesorów aplikacyjnych, wyposażonych w akceleratory wspierające programową realizację sztucznych sieci neuronowych.

Gromadzenie dużych ilości informacji o nas oraz otaczającym nas świecie budzi z kolei obawy o poziom pozostawionej nam jeszcze prywatności. A to napędza znów rynek rozwiązań z zakresu bezpieczeństwa informacji – stąd też w najnowszych mikrokontrolerach czy procesorach aplikacyjnych pojawiają się coraz bardziej wymyślne mechanizmy zabezpieczeń, mające chronić klucze szyfrujące, wspomagać szyfrowanie i deszyfrowanie informacji czy też uniemożliwiać hakerom przejęcie kontroli nad urządzeniem. I tak, ze stosunkowo prostej koncepcji internetowego połączenia milionów urządzeń doszliśmy do kolejnej technologicznej rewolucji, której dalszy rozwój w najbliższych latach trudno nawet dokładnie przewidzieć.

W naszej Redakcji doskonale zdajemy sobie sprawę, że ten, kto nie idzie do przodu, nieuchronnie zaczyna się cofać. Dlatego właśnie intensywnie kontynuujemy zapowiedzianą na początku roku strategię rozwoju naszego miesięcznika, a nasycona tematyką IoT zawartość numeru czerwcowego jest na to najlepszym dowodem. Oprócz solidnego, przekrojowego opracowania na temat komunikacji bezprzewodowej w aplikacjach Internetu Rzeczy, mamy dla naszych Czytelników aż dwa nowe kursy. Pierwszy z nich traktuje o programowaniu transceiverów nRF marki Nordic Semiconductor i opiera się na niezwykle popularnym układzie SoC typu nRF5340. Drugi kurs dotyczy natomiast święcących tryumfy popularności modułów Wi-Fi z serii ESP32 marki Espressif.

I teraz niezwykle ważna informacja – obydwa kursy są prowadzone przy użyciu oficjalnych środowisk IDE/SDK wspomnianych producentów, co stanowi rzecz jasna ukłon przede wszystkim w stronę zawodowych programistów, którym zależy na maksymalnym wykorzystaniu możliwości oferowanych przez te potężne platformy IoT. Nasze materiały szkoleniowe posłużą jednak także zaawansowanym pasjonatom elektroniki, dla których popularne środowiska – takie jak Arduino IDE – okazują się już niewystarczające w stosunku do wymagań realizowanych lub planowanych projektów.

W czerwcowym numerze „Elektroniki Praktycznej" przygotowaliśmy ponadto wiele innych interesujących materiałów. Szczególną uwagę zwracamy na sekcję Notatnik Konstruktora, która po miesięcznej przerwie wróciła na łamy EP ze zwiększoną mocą – tym razem mamy dla naszych Czytelników aż trzy artykuły pisane „przez praktyków – dla praktyków". Rzecz jasna nie zabrakło również kilku interesujących projektów, kolejnego odcinka cyklu poświęconego pomiarom środowiskowym, a także kontynuacji kursów programowania mikrokontrolerów Megawin oraz macierzy FPGA. Coś dla siebie znajdą również osoby zainteresowane zagadnieniami automatyki – tematem numeru są tym razem przekaźniki do różnych aplikacji w zakresie automatyzacji procesów przemysłowych oraz inteligentnych budynków.

Zapraszam do lektury!

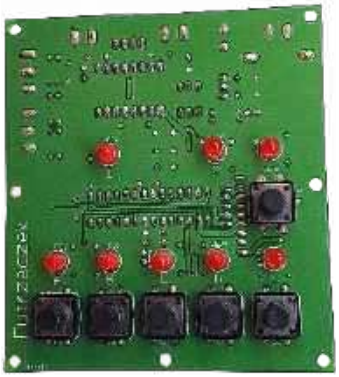
Przemysław Musz

eprasa.pl 12486519d0

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

Nr 6 (377) • Czerwiec 2024

12



19

24

27

30

Nie przeocz

Nowe podzespoły 5
Dodaj do obserwowanych 11
Koktajl niusów 104

Projekty

matrixClock – efektowny zegar stołowy (1) 12
Sterownik silnika krokowego z wyłącznikami krańcowymi 19
Płytka rozwojowa do testów 14-segmentowego wyświetlacza LCD 24

Miniprojekty

Ekspander 7-segmentowego wyświetlacza LCD 27
Moduł komunikacji szeregowej RS232/RS485 do Raspberry Pi Pico 30

Prezentacje

PCBWay – kompleksowy outsourcing w branży elektronicznej 32
Jak zaprojektować i wyprodukować układ scalony bez nakładów finansowych? 35
Konfigurowalny sterownik bezpieczeństwa PNOZmulti 2 firmy Pilz. Bezpieczny transfer danych z protokołem FsoE i elastyczną architekturą 38
Przegląd przekaźników z oferty Finder 46
Transoptory w ofercie TME – jakość, której możesz zaufać. Przykłady zastosowania produktów marki Everlight 50
Indukcyjne czujniki położenia rozwiązują problem błądzących pól magnetycznych 58
Scalony układ do zarządzania energią nPM1300 66
Dynamiczny rozwój firmy Elproma Elektronika 80

Temat numeru: Przekaźniki do automatyki

Przekaźniki do automatyki 40

Notatnik konstruktora

Ach, te iskrzące styki! 48
Uzyskiwanie niskiej jasności świecenia diod LED 60
Oszczędzanie energii w teorii i w praktyce (2) 62

Moduły w aplikacjach

Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (6). Zestaw do kontrolowania wilgotności gleby Enviro Grow firmy Pimoroni 52

Elektronika w praktyce

Komunikacja bezprzewodowa w IoT 70

Kursy

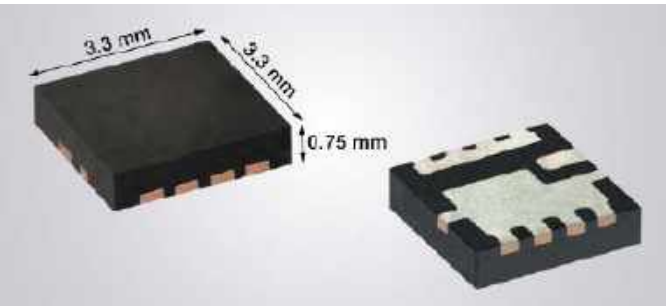
Kurs programowania mikrokontrolerów Megawin (2) 82
Kurs Nordic nRF z BT (1). Setup środowiska 89
Programowanie modułów ESP32 w środowisku ESP-IDF (1) 95
Kurs FPGA Lattice (20). 14-segmentowy wyświetlacz LCD 98

Prenumerata 2
Od wydawcy 5
Hity następnego numeru 107

Dodatkowe materiały do artykułów znajdziesz na https://ulubionykiosk.pl/media
Szczegóły na stronie 26
eprasa.pl 12486519d0

nowe podzespoły

Z kilkuset nowości wybraliśmy te, których nie wolno przeoczyć. Bieżące nowości można śledzić na www.elektronikaB2B.pl



30-woltowy tranzystor n-MOSFET o rezystancji RDS(ON) równej 0,71 mΩ

Vishay Siliconix dodaje do oferty tranzystorów MOSFET nowy model z kanałem N – SiSD5300DN – o bardzo małej rezystancji RDS(ON), wynoszącej 0,71 mΩ przy napięciu bramki 10 V i współczynniku FOM równym 42 mΩ·nC. Jest to tranzystor 30-woltowy produkowany w obudowie PowerPAK 1212-F o powierzchni 3,3 × 3,3 mm. W porównaniu z podobnymi tranzystorami w obudowach PowerPAK 1212-8S o tej samej powierzchni, wykazuje mniejszą o 18% rezystancję kanału, co przekłada się na wyższą gęstość mocy. W stosunku do poprzedników modelu SiSD5300DN, należących do poprzedniej generacji, współczynnik FOM zmniejszono o 35%, redukując tym samym straty przy przewodzeniu i przełączaniu. Umieszczone na środku krawędzi obudowy wyprowadzenie bramki ułatwia równoległe łączenie tranzystorów na jednowarstwowych płytkach drukowanych.

SiSD5300DN jest polecany do zastosowań w układach zarządzania zasilaniem, systemach napędowych i przełącznikach zasilania w elektronarzędziach, spawarkach, serwerach, stacjach bazowych i wielu innych. Jego dopuszczalny ciągły prąd drenu wynosi 198 A przy idealnym chłodzeniu (TC=25°C) i 158 A przy TC=+70°C, a maksymalny prąd impulsowy to 500 A (100 µs). Zakres temperatury pracy złącza rozciąga się od –55 do +150°C.

www.vishay.com

Niezawodne kondensatory polimerowe o małej rezystancji ESR i indukcyjności resztkowej

Kondensatory o zwiększonej żywotności z serii TCD zostały zaprojektowane specjalnie z myślą o zastosowaniach w sektorze wojskowym i lotniczym. Są one zgodne z wymogami norm militarnych DLA 04051. Wykazują bardzo małą rezystancję ESR (0,004...0,1 Ω @+25°C) i znikomą indukcyjność resztkową.

Obecnie w ofercie Kyocera AVX dostępne są wersje w dwóch rozmiarach obudów chipowych: EIA 1210 i 2917 z terminalami cynowymi i Sn/PB, produkowane w zakresie pojemności od 10 do 470 µF i napięcia znamionowego od 4 do 50 V. Mogą pracować w temperaturze otoczenia od –55 do +125°C, zapewniając niezawodność na poziomie 2000 h @+125°C oraz dużą odporność na silne udary i wibracje. Przeszły 500-godzinny test klimatyczny 85°C/85%RH.

www.kyocera-avx.com

Seria wysokoprądowych jumperów o rezystancji <0,2 mΩ w obudowach 0805, 1206, 2010 i 2512

Bourns oferuje nową serię jumperów wysokoprądowych Metal Strip, umożliwiających łączenie punktów na płytkach drukowanych, pomiędzy którymi nie ma możliwości poprowadzenia ścieżek. Są one produkowane ze stopu miedzi, zapewniającego rezystancję

REKLAMA

HAMMOND®

Obudowa miniaturowa 1551W IP68

Dowiedz się więcej:
hammondmfg.com/1551w

eusales@hammondmfg.com
+44 1256 812812

eprasa.pl 12486519d0

poniżej 0,2 mΩ. Uzyskały kwalifikację AEC-Q200, pozwalającą na zastosowanie w przemyśle samochodowym. Mogą pracować w zakresie temperatury otoczenia od –55 do +150°C.

Jumpery serii CRF przeszły 1000-godzinny test klimatyczny +85°C/85%RH. Zapewniają odporność na udary do 100 g (6 ms) i wibracje do 5 g (10 Hz...2 kHz). Są produkowane w obudowach chipowych o rozmiarach 0805, 1206, 2010 i 2512. Ich moc znamionowa wynosi odpowiednio: 0,5 W, 1 W, 1,5 W i 2 W, a maksymalny prąd przewodzenia: 50, 70, 86 i 100 A.

www.bourns.com

Kondensatory polimerowe o małej rezystancji ESR i dużym dopuszczalnym prądzie tętnienia

Panasonic wprowadza do sprzedaży serię hybrydowych kondensatorów elektrolityczno-polimerowych, wyznaczających nowe standardy branżowe w zakresie rezystancji ESR i dopuszczalnego prądu tętnienia. Podczas gdy większość odpowiedników wykazuje rezystancję ESD na poziomie 16 mΩ przy napięciu 35 V, w przypadku kondensatorów serii EEH-ZV próg ten wynosi zaledwie 12 V. Niższa rezystancja ESR oznacza mniejsze straty i większą niezawodność. Z kolei maksymalny prąd tętnienia (rms) został zwiększony z około 3,3 A, czyli wartości typowej dla odpowiedników produkcji innych firm, do 4,6 A, co pozwala na zastosowania w bardziej wymagających aplikacjach.

Kondensatory serii EEH-ZV uzyskały kwalifikację AEC-Q200, dzięki czemu mogą być używane w elektronice samochodowej. Są odporne na wibracje do 30 g, a ich niezawodność wynosi 4000 h w temperaturze +135°C, co pozwala na aplikacje m.in. w pompach wody i oleju, wentylatorach oraz wysokoprądowych konwerterach DC-DC.

http://industry.panasonic.eu

Transceivery na pasmo 60 GHz do bezprzewodowej transmisji sygnałów eUSB2, I²C, SPI, UART i GPIO

STMicroelectronics dodaje do oferty dwa tanie transceivery punkt-punkt do bezprzewodowej transmisji na krótką odległość sygnałów eUSB2, I²C, SPI, UART oraz GPIO. Układy te pracują w paśmie 60 GHz. Mogą znaleźć zastosowanie w akcesoriach eUSB, urządzeniach konsumenckich i aplikacjach przemysłowych, pozwalając wyeliminować tradycyjne kable oraz złącza, a także umożliwiając produkcję wodoodpornych urządzeń przenośnych o małej grubości i znikomym poborze mocy, niewrażliwych na działanie kurzu czy wilgoci. Przykładem zastosowań mogą być radary, lidary, roboty i inne urządzenia z mechanizmami ruchomymi.

ST60A3H0 i ST60A3H1 nie wymagają instalowania sterowników programowych ani korzystania ze stosów protokołów. Pobierają około 130 mW mocy w trybie eUSB oraz 90 mW w trybach UART, GPIO i I²C. W stanie uśpienia pobór mocy zmniejsza się do 23 μW. Maksymalna szybkość transmisji, sięgająca 480 Mbps, odpowiada specyfikacji USB 2.0 High Speed.

ST60A3H1 to transceiver z wbudowaną anteną, produkowany w obudowie VFBGA o powierzchni 4×3 mm, natomiast ST60A3H0, współpracujący z anteną zewnętrzną, ma wymiary 2,6×2,2 mm. Poza transmisją danych oba układy mogą być użyte do szybkiego, bezprzewodowego testowania produktów i bezprzewodowej aktualizacji oprogramowania firmware. Są objęte 10-letnią gwarancją ciągłości produkcji. Ich ceny zaczynają się od 5 USD.

www.st.com

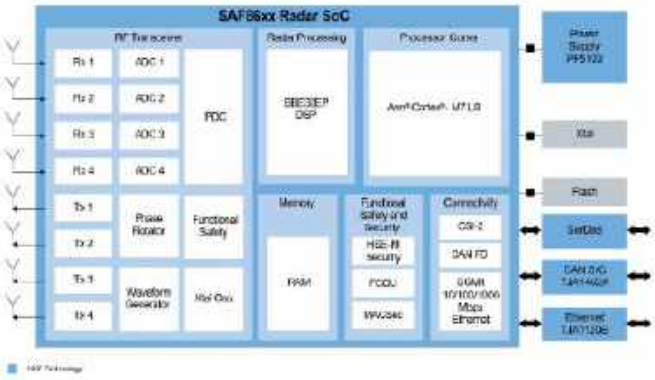
Rezonatory kwarcowe 16...80 MHz o stabilności od ±10 ppm i małej rezystancji ESR

Rezonatory kwarcowe serii JXS-WA, dzięki dużej stabilności i niskiej rezystancji ESR, są polecane do zastosowań w systemach komunikacji bezprzewodowej, m.in. Bluetooth LE, Bluetooth Smart, ZigBee, ISM, LoRa i LPWAN. Występują w wariantach o częstotliwościach typowych dla tych aplikacji (wynoszących od 16,0 do 80,0 MHz) i są produkowane w chipowych obudowach w rozmiarach 2016, 2520 i 3225. Na indywidualne zamówienia mogą zostać wyposażone w ekran EMI. Charakteryzują się stabilnością od ±10 ppm w temperaturze +25°C i dryftem długoterminowym poniżej ±1 ppm w pierwszym roku. Mogą pracować z obciążeniem pojemnościowym wynoszącym od 6 do 12 pF w zależności od wersji.

Pozostałe parametry:

- ESR: typ. 20...80 Ω,
- pojemność resztkowa: <3 pF,
- poziom sterowania: maks. 100 μW (rekomendowany 10 μW),
- zakres temperatury pracy: –40...+105°C.

www.jauch.com



Monolityczne radary SoC na pasmo 76...81 GHz do samochodowych systemów ADAS

NXP Semiconductors ogłasza rozszerzenie oferty monolitycznych radarów SoC o nową serię układów o oznaczeniach SAF86xx, zaprojektowanych do zastosowań w systemach wspomagania kierowcy (ADAS). Są one produkowane w technologii RFCMOS 28 nm i pracują w zakresie częstotliwości od 76 do 81 GHz. Pod względem architektury są zgodne z wprowadzonymi na rynek rok wcześniej odpowiednikami serii SAF85xx, produkowanymi w procesie 40 nm i 45 nm, umożliwiają natomiast realizację mniejszych i bardziej energooszczędnych

eprasa.pl 12486519d0

czujników radarowych o zasięgu do około 300 m, zapewniających niezawodne wykrywanie pieszych, rowerzystów oraz mniejszych obiektów jak np. krawężniki. Mogą być stosowane w systemach o poziomie nienaruszalności bezpieczeństwa ASIL B.

Układy z nowej serii zawierają 4 nadajniki, 4 odbiorniki, przetwornik A/C, przesuwnik fazy, niskoszumowy oscylator VCO, układ DSP BBE32EP, jednostkę obliczeniową ARM Cortex-M7, 2 MB pamięci SRAM z korekcją ECC i moduł sprzętowy MACsec do bezpiecznej komunikacji w samochodowych sieciach Ethernet. Zapewniają strumieniową transmisję danych niskiego poziomu z maksymalną szybkością 1 Gbps w zaawansowanych systemach ADAS, jazdy automatycznej i komfortu – na poziomach SAE 2+ i 3 (asystent jazdy w korku, asystent parkowania, asystent jazdy po autostradzie, ostrzeżenie o ruchu poprzecznym z przodu i z tyłu, unikanie kolizji bocznych i tylnych). Wspierają funkcje bezpieczeństwa NCAP (hamowanie awaryjne, identyfikacja martwego pola). Umożliwiają rozbudowę systemów ADAS o nowe funkcjonalności w oparciu o aktualizacje oprogramowania, przeprowadzane bezprzewodowo (Over-the-Air).

www.nxp.com

Chipowe warystory wielowarstwowe na napięcie robocze 5,5...18 V o krótkim czasie reakcji

Do oferty firmy Bourns wchodzi nowa rodzina chipowych warystorów wielowarstwowych do ochrony przepięciowej czułych elementów elektronicznych. Komponenty są produkowane w chipowych obudowach rozmiaru EIA 0805, 1206, 1210 i 1812. Charakteryzują się krótkim czasem reakcji (<1,0 ns w wersji 1812 i <0,5 ns w pozostałych rozmiarach), szerokim zakresem temperatury pracy od –40 do +125°C i zdolnością do absorpcji dużych impulsów energetycznych w stosunku do swoich gabarytów. Spełniają wymogi normy IEC 61000-4-5 w zakresie ochrony przepięciowej.

	V_{RMS} (V)	V_{DC} (V)	V_N min. (V)	V_N maks. (V)	V_C (V)	$I_{maks.}$ (A)	C_P typ. (pF)
	<10 µA		1 mA DC		1 A @ 8/20 µs	@ 8/20 µs	@ 1 kHz
BVR0805-04PF	4	5,5	7,8	12	22	80	600
BVR0805-06PF	6	9	11	18	30	80	650
BVR0805-08PF	8	11	14	20	40	100	440
BVR0805-11PF	11	14	17	21	38	100	500
BVR0805-14PF	14	18	22	28	44	120	350
BVR1206-04PF	4	5,5	8	14	25	200	2000
BVR1206-11PF	11	14	18	22	36	200	840
BVR1206-14PF	14	16	22	28	42	200	900
BVR1210-04	4	5,5	9	14	28	400	2100
BVR1210-14	14	18	22	29	45	500	1100
BVR1812-04	4	5,5	9	14	30	800	5400
BVR1812-10	10	14	16	22	42	800	3800

Obecnie w ofercie znalazło się 5 serii, obejmujących warystory o napięciu roboczym od 5,5 do 18 V, zdolne do rozproszenia impulsów prądowych nawet do 800 A (8/20 µs). Mogą one znaleźć zastosowanie m.in. w zasilaczach i urządzeniach AGD.

www.bourns.com

REKLAMA

ZAKTUALIZUJ ALTIUM DESIGNER DO NAJNOWSZEJ WERSJI

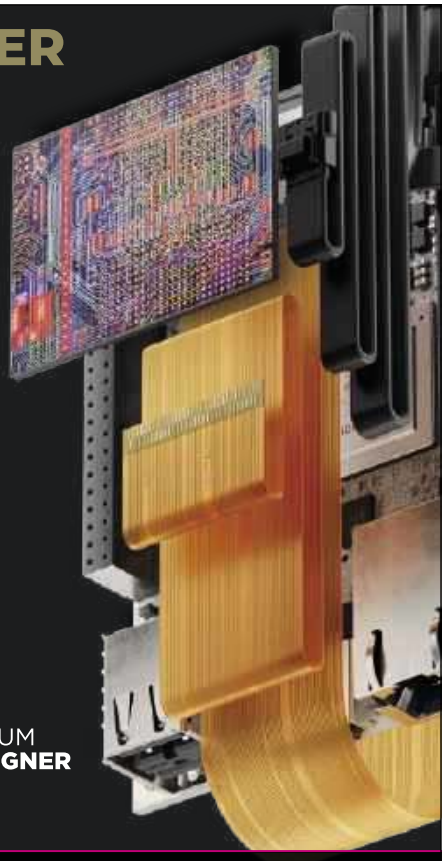
Wykorzystaj potencjał nowych funkcji:

PCB CoDesign - równoczesna praca projektantów na jednym PCB

Coinstrant Manager - menadżer ograniczeń

Ansys CoDesign - wymiana danych z Ansys Electronics Desktop

3D-MID Design - tworzenie druku na trójwymiarowym podłożu



Autoryzowany dystrybutor Altium w Polsce

ALTIUM DESIGNER

COMPUTER CONTROLS

Bielsko-Biała, ul. Bystrzańska 94 +48 33 485 94 90

info@ccontrols.pl
www.ccontrols.pl

eprasa.pl 12486519d0

Tani moduł komunikacyjny z obsługą standardów Wi-Fi 6, Bluetooth LE 5.3, Thread, ZigBee i Matter

NORA-W4 to tani, jednozakresowy moduł komunikacji bezprzewodowej do urządzeń zasilanych bateryjnie, obsługujący standardy Wi-Fi 6, Bluetooth LE 5.3, Thread, ZigBee i Matter. Został zrealizowany w oparciu o układ SoC Espressif ESP32-C6. Może znaleźć zastosowanie w aparaturze medycznej, automatyce przemysłowej oraz systemach smart home i aplikacjach związanych ze śledzeniem zasobów. Umożliwia zasilanym bateryjnie węzłom IoT działanie bezpośrednio przez Wi-Fi – ułatwia to implementację i ogranicza koszty systemowe, eliminując potrzebę stosowania bramki Bluetooth.

NORA-W4 korzysta z technologii Wi-Fi 6, zoptymalizowanej pod kątem IoT. Kompatybilność wsteczna z Wi-Fi 4 pozwala na zastosowania również w przypadkach, gdy infrastruktura Wi-Fi nie została zmodernizowana. Z kolei zgodność z innymi modułami u-blox rodziny NORA zapewnia łatwą migrację technologii, np. przejście z Wi-Fi 4 do Wi-Fi 6.

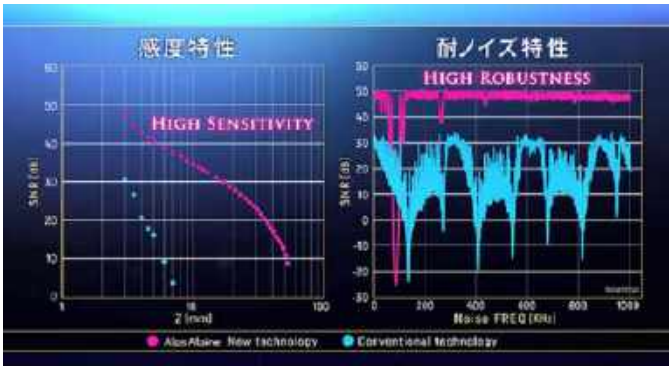
Moduł oferuje funkcje bezpieczeństwa, m.in. bezpiecznego rozruchu, szyfrowania pamięci Flash i bezpiecznego wykonywania aplikacji w izolowanym środowisku. Występuje w wersjach z 4 lub 8 MB pamięci Flash oraz ze zintegrowaną anteną PCB (ozn. NORA-W406) lub złączem do anteny zewnętrznej (NORA-W401).

Rozpoczęcie produkcji seryjnej modułów NORA-W4 zaplanowano na drugą połowę 2024 r.

Pozostałe cechy:

- standard Bluetooth: v5.3 (Bluetooth Low Energy),
- standardy Wi-Fi (IEEE 802.11): IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, IEEE 802.11ax,
- pojemność pamięci RAM: 512 kB,
- pojemność pamięci Flash: 4096 kB lub 8192 kB,
- interfejsy: UART, USB, I²C, GPIO, SPI, I²S,
- napięcie zasilania: 3,0...3,6 V,
- zakres temperatury pracy: –40...+85°C.

www.u-blox.com



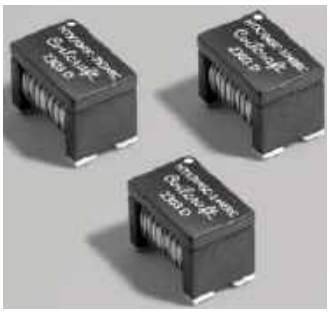
Czujniki pojemnościowe do samochodowych interfejsów dotykowych i pomiaru poziomu cieczy

Alps Alpine ogłasza rozpoczęcie sprzedaży zewnętrznej układów scalonych, które wcześniej były projektowane i rozwijane wyłącznie do użytku wewnętrznego w produktach wytwarzanych we własnym zakresie. Pierwszymi układami wprowadzonymi na rynek są czujniki pojemnościowe serii HSLCMB – z blokiem pomiarowym i 32-bitowym mikroprocesorem RISC (Synopsys ARC EM4TM, 21 MHz), charakteryzujące się dużą czułością oraz odpornością na zewnętrzne zaburzenia. Dzięki dużemu odstępowi sygnał–szum umożliwiają one identyfikację również bardziej odległych obiektów. Niski poziom szumów pozwala także na zastosowanie elektrod o mniejszej (w porównaniu do konkurencyjnych rozwiązań) powierzchni do detekcji obiektów znajdujących się na podobnym dystansie.

Czujniki serii HSLCMB zawierają 16 portów do współpracy z elektrodami pomiarowymi oraz interfejsy SPI i EUART. Pracują z napięciem zasilania z zakresu 4,75...5,5 V, pobierając typowo 14,5 mA prądu w stanie aktywnym i 21 µA w trybie standby. Są produkowane w obudowach QFN-48 o wymiarach 6×6×0,9 mm. Uzyskały kwalifikację samochodową AEC-Q100 grade 2 (–40...+105°C). Pod względem poziomu bezpieczeństwa funkcjonalnego zapewniają zgodność z klasyfikacją ASIL-B. Ich zakres zastosowań obejmuje przemysłowe i samochodowe panele dotykowe, rozpoznawanie gestów w interfejsach do obsługi bezkontaktowej oraz czujniki poziomu cieczy.

www.alpsalpine.com

Transformatory o małej pojemności międzyzwojowej do półmostkowych konwerterów LLC



Firma Coilcraft wprowadza na rynek serię transformatorów o małej pojemności międzyzwojowej (od 0,7 pF), zaprojektowanych do zastosowań w izolowanych układach sterowania bramek tranzystorów SiC, GaN i IGBT w półmostkowych konwerterach LLC. Pozwalają one obniżyć poziom generowanych zaburzeń elektromagnetycznych i zapewnić duży współczynnik CMTI. Są produkowane w obudowach chipowych o wymiarach 7,20×5,30×4,85 mm, charakteryzujących się drogą upływu i odstępem izolacyjnym 4,9 mm. Zapewniają izolację do 2800 V (napięcie rms) /4000 V (napięcie stałe) między uzwojeniem pierwotnym i wtórnym.

	Indukcyjność (±30%) [µH]	DCR maks. [Ω]		Indukcyjność rozproszenia (µH)		Przekładnia	Pojemność maks. [pF]	Irms [mA]
		Pri	Sec	Pri	Sec			
HTX7045C-753ARC	75	0,35	0,35	8,5	8,5	1:1	0,75	730
HTX7045C-104ARC	100	0,40	0,40	9,5	9,5	1:1	0,9	680
HTX7045C-124DRC	120	0,42	0,28	12,5	5,5	1:0,67	0,7	660
HTX7045C-124ERC	120	0,42	0,32	12,0	6,5	1:0,75	0,7	660
HTX7045C-124FRC	120	0,42	0,35	11,0	7,5	1:0,83	0,75	660
HTX7045C-134BRC	130	0,44	0,17	15,0	2,5	1:0,4	0,7	660
HTX7045C-144CRC	140	0,45	0,23	15,0	3,5	1:0,5	0,75	640

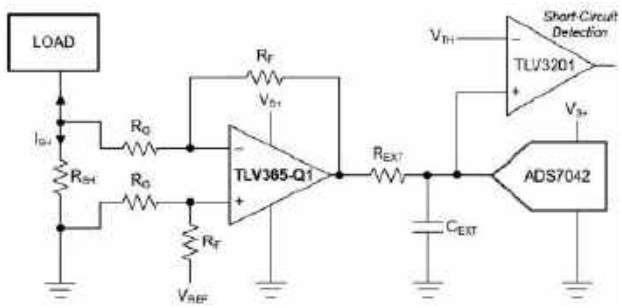
Oferta transformatorów HTX7045C obejmuje obecnie 7 modeli o przekładni od 1:1 do 2,5:1, indukcyjności uzwojenia pierwotnego od 75 do 140 µH i prądzie znamionowym od 640 do 730 mA. Uzyskały one kwalifikację AEC-Q200, pozwalającą na zastosowania w samochodowych falownikach trakcyjnych, ładowarkach i układach zarządzania akumulatorem. Są przystosowane do pracy w temperaturze otoczenia od –40 do +125°C.

www.coilcraft.com

Wzmacniacz operacyjny CMOS o paśmie 50 MHz z wejściami i wyjściem rail-to-rail

TLV365-Q1 to wzmacniacz operacyjny o paśmie 50 MHz, zrealizowany w procesie CMOS zapewniającym dużą impedancję wejściową. Oferuje wejścia i wyjście typu rail-to-rail o szerokim zakresie zmienności napięcia (100 mV od poziomów V+ i V–). Do najważniejszych zalet układu należy niskoszumowa praca, brak zniekształceń w obszarze przejściowym (zero-crossover), skuteczne tłumienie tętnień

eprasa.pl 12486519d0



napięcia na liniach zasilających, krótki czas stabilizacji napięcia wyjściowego (0,2 µs do 0,01%) i szeroki zakres temperatury roboczej od –40 do +125°C.

TLV365-Q1 nadaje się do wysterowania wejść próbkujących przetworników A/C w czujnikach natężenia prądu, układach audio i obwodach kondycjonowania niskonapięciowych sygnałów z czujników. Pracuje z napięciem zasilania od 2,2 do 5,5 V. Jest produkowany w obudowie SOT23-5.

W ofercie Texas Instruments jest też dostępny dwukanałowy odpowiednik TLV2365-Q1, dostępny w obudowie SOIC-8.

Pozostałe parametry:

- gęstość wejściowego napięcia szumu: 4,5 nV/√Hz,
- slew rate: 27 V/µs,
- dryft offsetu: maks. 2,6 µV/°C,
- wejściowy prąd polaryzacji: maks. 20 pA,
- CMRR: typ. 115 dB.

www.ti.com

Dwukierunkowy wzmacniacz pomiarowy current-sense do elektroniki samochodowej

TSC2020 to dwukierunkowy wzmacniacz pomiarowy current-sense do elektroniki samochodowej i przemysłowej, mogący pracować w szerokim zakresie temperatury otoczenia od –40 do +125°C. Jego wzmocnienie zostało zaprogramowane fabrycznie (20 V/V), a stopień wejściowy zapewnia odporność na przepięcia do 100 V. Najważniejszą zaletą układu jest minimalna liczba elementów współpracujących, wymaganych w przypadku innych odpowiedników funkcjonalnych (m.in. do programowania wzmocnienia i zabezpieczeń).

TSC2020 może znaleźć zastosowanie np. w serwerowych układach zasilania, elektronarzędziach, układach napędowych i systemach zarządzania akumulatorem. Charakteryzuje się szerokim zakresem wejściowego napięcia współbieżnego od –4 do +100 V, pozwalającym na zastosowanie m.in. w systemach 48-woltowych. Może mierzyć natężenie prądu w konfiguracji high-side lub low-side. Jest dostępny w dwóch wariantach obudów: SO8 i Mini SO8. Ceny hurtowe TSC2020 zaczynają się od 1,20 USD przy zamówieniach 1000 sztuk. Producent gwarantuje jego co najmniej 10-letnią dostępność.

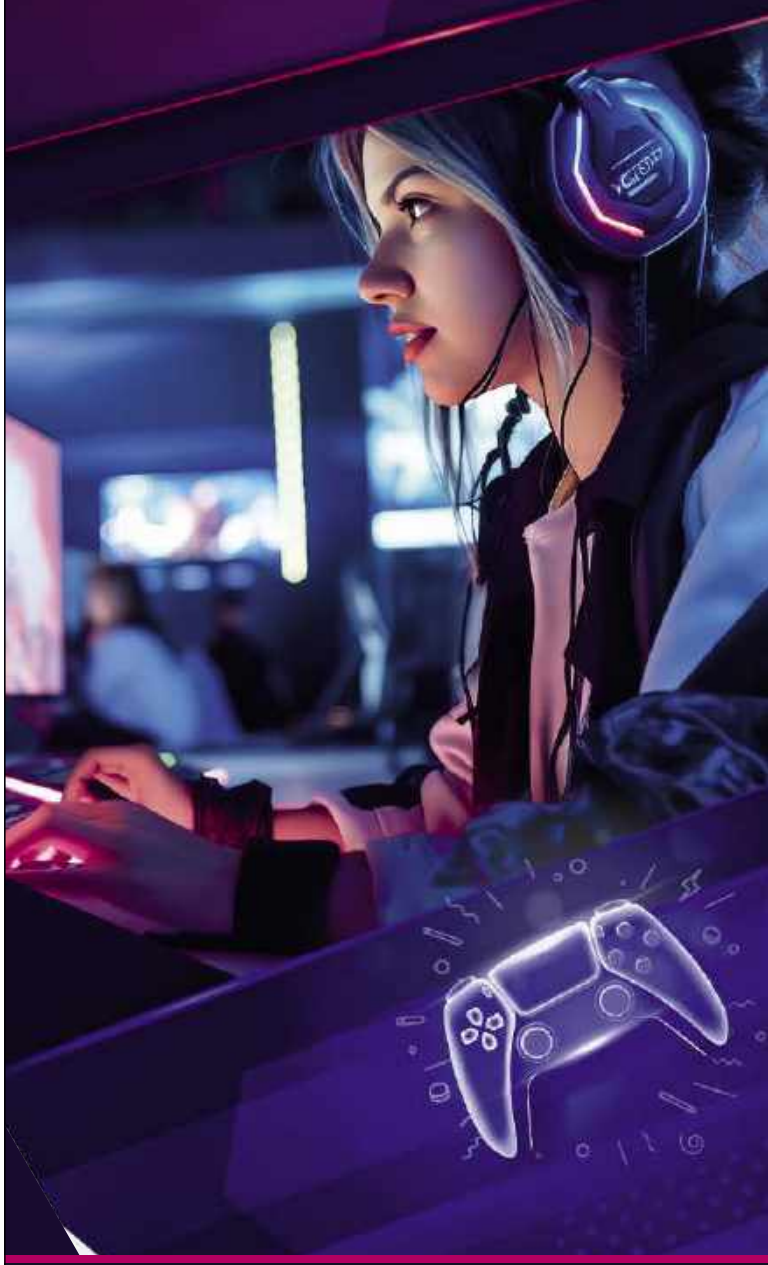
Pozostałe parametry:

- napięcie zasilania: 2,7...5,5 V,

REKLAMA

TME Electronic Components — EST. 1989 —
TRANSFER MULTISORT ELEKTRONIK

KOMFORTOWE, EFEKTOWNE I WYGODNE WYPOSAŻENIE DLA GRACZY

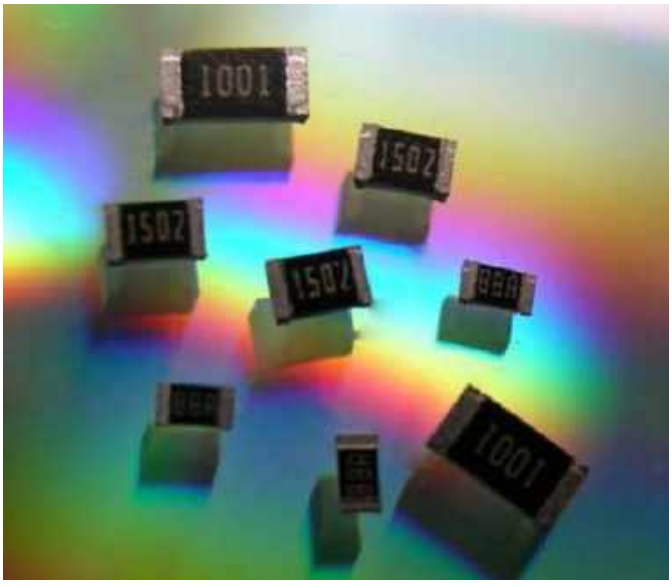


Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o.
Łódź, Polska, dso@tme.pl
Dołącz do nas:
tme.eu tme.com

eprasa.pl 1248651040

- wejściowe napięcie offsetu: typ. ±150 μV (dryft 0,5 μV/°C),
- CMRR: >100 dB,
- błąd wzmocnienia: 0,3% (dryft maks. 3,5 ppm/°C),
- dryft temperaturowy: 3,5 ppm/°C.

www.st.com



Precyzyjne rezystory chipowe do pracy w temperaturze otoczenia od –55 do +155°C

Do oferty firmy Stackpole wchodzi seria precyzyjnych rezystorów chipowych RNHT, przeznaczonych do zastosowań w elektronice samochodowej i przemysłowej. Uzyskały one kwalifikację AEC-Q200. Pod względem odporności na działanie siarki spełniają wymogi normy ASTM B 809. Mogą pracować w temperaturze od –55 do +155°C, w tym do +85°C z pełną mocą znamionową. Rezystory RNHT są produkowane w zakresie rezystancji od 10 Ω do 5,1 MΩ, w wersjach o tolerancji od ±0,02%. Charakteryzują się współczynnikiem TCR od ±5 ppm/°C, napięciem pracy do maksymalnie 200 V i mocą znamionową od 0,063 do 0,25 W. Dostępne są wersje w obudowach chipowych od rozmiaru 0402 do 1206.

www.seielect.com

Tranzystory CoolSiC MOSFET 2. generacji o zredukowanych o 10% stratach przełączeniowych

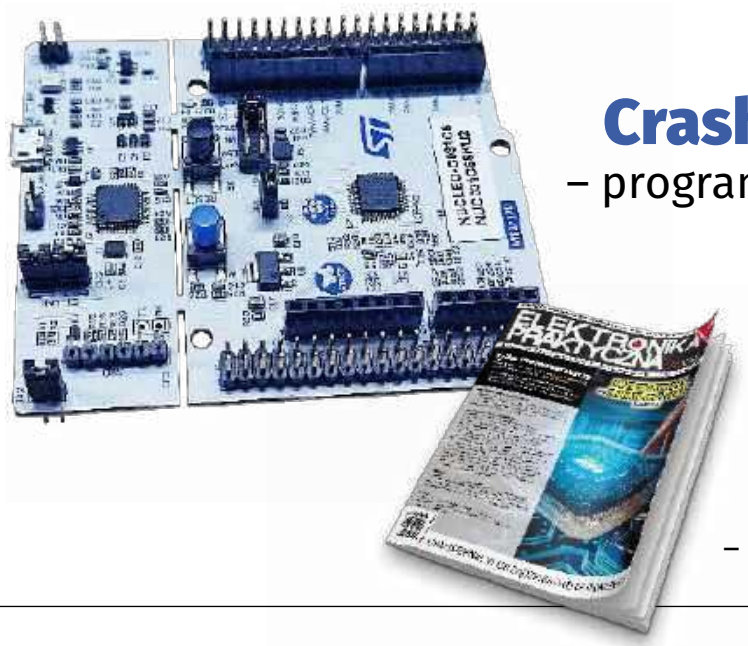
Infineon wprowadza na rynek drugą generację tranzystorów CoolSiC MOSFET do systemów konwersji mocy, charakteryzujących się zredukowanymi o 10% stratami w czasie przełączania. Występują one w wersjach o napięciu znamionowym 650 i 1200 V. Mogą znaleźć zastosowanie w fotowoltaice, systemach przechowywania energii, ładowarkach, układach napędowych i zasilaczach przemysłowych dużej mocy.

W ramach rodziny CoolSiC MOSFET G2 dostępnych jest obecnie kilkanaście typów tranzystorów, produkowanych w obudowach TO-263-7, PG-TO263-7, PG-TO247-4 i PG-TO247-3 o rezystancji termicznej RthJC, wynoszącej już od 0,19 K/W. Są one przystosowane do pracy w temperaturze otoczenia od –55 do +175°C. Charakteryzują się dopuszczalnym ciągłym prądem drenu do 238 A i rezystancją RDS(ON) od 6,7 mΩ (model IMBG65R007M2H, 650 V, PG-TO263-7, RthJC=0,19 K/W).

www.infineon.com

REKLAMA

Programowanie prostszych mikrokontrolerów (np. AVR, PIC, MSP430 czy też przestarzałych już 8051 bądź HCS08) bez użycia bibliotek, tj. przy wykorzystaniu samych tylko plików nagłówkowych z definicjami rejestrów i zawartych w nich bitów, jest raczej naturalną konsekwencją nieskomplikowanej architektury tych procesorów. Bardziej rozbudowane układy – w szczególności te oparte na rdzeniach ARM – są zwykle nieporównanie trudniejsze do opanowania na niskim poziomie abstrakcji, stąd większość programistów systemów wbudowanych korzysta w swojej codziennej pracy z bibliotek. Niniejszy kurs ma na celu pokazanie innej ścieżki rozwoju i – mamy nadzieję – przekona przynajmniej część spośród naszych Czytelników do zaprzyjaźnienia się z wymagającą, ale niezwykle wartościową metodą programowania układów STM32.



Crash Course STM32C0
– programowanie mikrokontrolerów ARM w rejestrach

Kupisz i przeczytasz w marcowym wydaniu „Elektroniki Praktycznej” – https://ulubionykiosk.pl

eprasa.pl 12486519d0

dodaj do obserwowanych

Przedstawiamy redakcyjny wybór najciekawszych projektów spośród ostatnio anonsowanych w internecie. Są to projekty na różnych etapach realizacji. Warto się zapoznać z projektami zakończonymi i śledzić realizację projektów niegotowych, by czerpać z nich inspirację do własnych prac.

ArduAOA – Arduino z obsługą BLE do zbierania i wyświetlania informacji o kącie natarcia

Prezentowana konstrukcja to lotniczy sensor, w którym znalazły się moduły Arduino z obsługą BLE do zbierania i wyświetlania informacji o kącie natarcia (AoA) samolotu.

W projekcie zastosowany został układ różnicowego pomiaru ciśnienia – na jego bazie zbudowany jest system do zbierania i wyświetlania informacji o AoA w lekkim samolocie doświadczalnym typu GA. Przeprowadzony przez autora research wykazał, że prace w tym zakresie mają już na swoim koncie FAA (Federal Aviation Administration) oraz Embry Riddle, opis testów można znaleźć w raporcie FAA DOT/FAA/TC-18/7. W projekcie znajduje się dokładne wyjaśnienie, w jaki sposób informacja o kącie natarcia używana jest podczas latania.

Autor wskazanego poniżej opracowania opisuje, jak zrealizował własną konstrukcję i jak funkcjonuje zaprojektowany przez niego system wyświetlania pomiarów (w postaci standaryzowanego wyświetlacza LED).

https://hackaday.io/project/193477-arduaoa

Symulator PlasMa Mini-Mainframe – hołd dla oldschoolowych systemów mini/mainframe

PlasMa symuluje kompletny system typu mainframe, ale zapakowana jest w samodzielną, kompaktową obudowę do postawienia na biurku. Symulator wyposażony został we wszystkie niezbędne kontrolki i przełączniki. System obejmuje natomiast zasymulowany „mini" procesor z niewielką ilością pamięci głównej oraz – również zasymulowane i wzorowane na rozwiązaniach znanych z komputerów typu mainframe – urządzenia peryferyjne, takie jak czytnik i dziurkarka do taśmy papierowej, taśmy magnetyczne, dyski wymienne oraz konsola operatora.

Procesor emulowany w systemie jest „mikrokodowany" i może obsługiwać (obecnie) 3 różne zestawy instrukcji: dwa oparte na architekturze Princeton TOY z pamięcią 2000 słów – do użytku edukacyjnego – oraz bardziej zaawansowany zestaw instrukcji oparty na NICE, z pamięcią 64000 słów i algebrą zmiennoprzecinkową.

Symulacja działa na mikrokontrolerze ATmega2560 kontrolującym interfejs użytkownika, który obejmuje około 540 diod LED, 100 przełączników, 6 kart SD do pamięci peryferyjnej, ekran LCD, klawiaturę, głośnik, interfejs Centronics do drukarki igłowej, interfejs PS/2 klawiatury QWERTY... oraz interfejs MIDI (wejściowy i wyjściowy) – do „zabawy" z audio.

PlasMa nie jest dostępna jako zestaw do samodzielnego złożenia, ale autor sprzedaje „pakiet budowlany", dostępny na życzenie (przy zamówieniu drogą mailową). Zestaw ten zawiera schematy, listy części, rysunki mechaniczne i oprogramowanie testowe. W ten sam sposób można zakupić puste płytki PCB.

Wszystkie inne programy i dokumentacja związane z PlasMa są dostępne bezpośrednio na stronie internetowej PhiLiZound. Niektóre z płytek PCB zostały zmodyfikowane od czasu zbudowania pierwszego prototypu, więc wszelkie obejścia pokazane we wcześniejszych dokumentach lub filmach można zignorować – na stronie z projektem dostępna jest zawsze jego zaktualizowana wersja.

Powyższy opis uzupełnia materiał wideo, obejmujący niektóre z omówionych tematów, dzięki czemu można ocenić postępy prac nad projektem – najnowsza dokumentacja stanowi natomiast obowiązujący przewodnik użytkownika.

Rozmach projektu na pierwszy rzut oka może wydawać się przytłaczający, ale ma budowę modułową, dzięki czemu można budować i testować po jednej płytce, stopniowo składając cały zestaw. Oznacza to również pewną elastyczność w zakresie efektu prac, np. można zbudować znacznie prostszą maszynę tylko do emulacji Toy, bez żadnych urządzeń peryferyjnych. Takie podejście pozwoliłoby uniknąć budowy płyt do akumulatora, kart SD czy MTDecks, zmniejszając jednocześnie liczbę przełączników i rozmiar obudowy.

https://tiny.pl/ddvdt, https://tiny.pl/ddvdr

eprasa.pl 12486519d0

AVT sklep

W ofercie AVT*
AVT6043

Najważniejsze parametry:
- Napięcie zasilania: 7...9 V
- Prąd obciążenia: 100 mA
- Źródło napięcia podtrzymania zegara RTC: bateria CR1220
- Prąd podtrzymania zegara RTC: 1 µA
- Zakres pomiarowy wbudowanego termometru: 0...55°C
- Dokładność pomiaru temperatury: 0,5°C
- Rozdzielczość pomiaru temperatury: 0,5/0,1°C (w zależności od rodzaju zastosowanego termometru scalonego)

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media

----	Energooszczędny zegar LED (EP 4/2023)
----	Ogromny zegar LCD bez procesora (EP 7/2022)
AVT5920	Licznik czasu pracy z wyświetlaczem LCD (EP 1/2022)
AVT5906	Clock (EP 12/2021)
----	Zegar na rękę (EP 12/2020)
----	µClock (EP 9/2020)
AVT5735	Estetyczny zegar (EP 1/2020)
AVT5677	Zegar ClockRDS (EP 6/2019)
AVT5640	Rozbudowany zegar (EP 7/2018)
AVT5522	Zegar ustawiany za pomocą GPS (EP 9/2015)

* **Uwaga!** Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania! Podstawową wersją zestawu jest wersja **[B]** nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji **[B]** zawiera elementy elektroniczne (w tym **[UK]** – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu. Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:
- **wersja [C]** – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw **[B]** (elementy wlutowane w płytkę PCB),
- **wersja [A]** – płytka drukowana bez elementów i dokumentacji.

Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

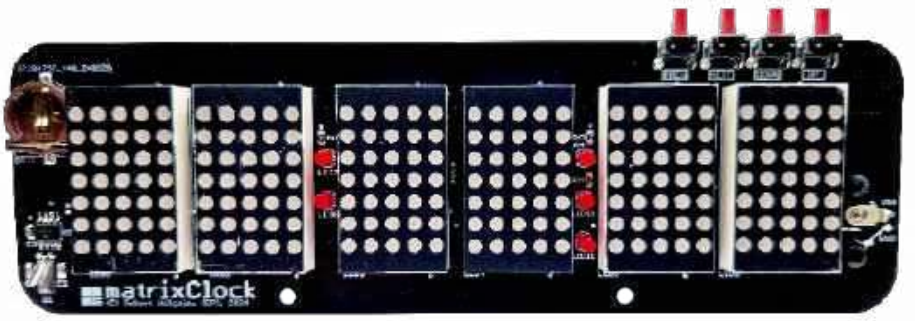
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik PDF! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! **http://sklep.avt.pl**

W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: **kity@avt.pl**.

matrixClock
– efektowny zegar stołowy (1)

Zegary cyfrowe, tak jak termometry, termostaty czy miniaturowe radyjka, należą do elementarza każdego elektronika amatora. Któż z nas nie ma w swoim portfolio podobnych urządzeń, które – mimo oczywistej prostoty – przynoszą dużo radości z własnoręcznej konstrukcji. Również i ja na liście zarówno skonstruowanych, jak i zaprojektowanych przez siebie urządzeń mam kilka takich systemów cechujących się różnym stopniem skomplikowania. I mimo takiego stanu rzeczy postanowiłem ponownie powrócić do tego zagadnienia, lecz tym razem zaprojektować urządzenie, które pogodzi pozornie sprzeczne założenia.

Z jednej strony chciałem, by odznaczało się ono dużą prostotą implementacji oraz nieskomplikowaną obsługą, a z drugiej strony – efektownym i nowoczesnym interfejsem użytkownika. Nie ukrywam, że inspiracją do powstania niniejszego projektu był zakupiony przeze mnie na chińskim portalu sprzedażowym prosty zegar biurkowy, wyposażony w bardzo efektowny, graficzny wyświetlacz VFD. Dodajmy: bardzo efektowny, ale niewielki, gdyż konstrukcja dużych wyświetlaczy tego typu, zwłaszcza graficznych, jest niezwykle kosztowna i w zasadzie odchodzi do lamusa. Zaintrygowany wspomnianym rozwiązaniem postanowiłem skonstruować urządzenie o zbliżonej funkcjonalności, lecz wyposażone w znacznie większy wyświetlacz graficzny, a ponieważ z założenia urządzenie miało być proste w implementacji i niedrogie w konstrukcji – do roli elementów interfejsu użytkownika wybrałem popularne, dość duże matryce LED o organizacji 5×7 pikseli. Przyznam szczerze, że przez chwilę zastanawiałem się nad zastosowaniem programowalnych diod LED, ale biorąc pod uwagę niezbędną liczbę takich elementów (a co za tym idzie – koszt ich zakupu), jak i trudność późniejszej implementacji zrezygnowałem z tego pomysłu, pozostając przy wspomnianych już matrycach. I właśnie na bazie powyższych założeń powstał projekt urządzenia matrixClock, którego schemat pokazano na **rysunku 1**.



Fotografia 1. Zmontowane urządzenie od strony warstwy TOP

eprasa.pl 12486519d0

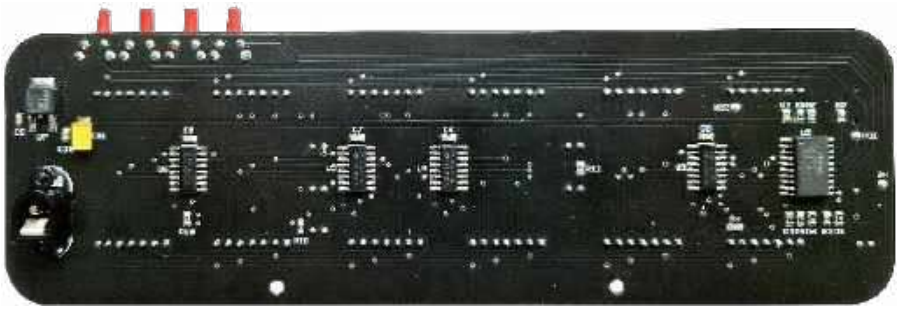
```
//Definicje dla portów sterujących rejestrem przesuwnym
#define SER_REG_PORT_NAME PORTB
#define SER_REG_SRCK_MASK PIN5_bm
#define SER_REG_RCK_MASK PIN3_bm
#define SER_REG_SEROUT_MASK PIN4_bm
#define SER_REG_G_MASK PIN2_bm

#define SER_REG_AS_OUTPUTS SER_REG_PORT_NAME.DIRSET = SER_REG_SRCK_MASK|SER_REG_RCK_MASK|SER_REG_SEROUT_MASK|SER_REG_G_MASK

#define SER_REG_SRCK_SET SER_REG_PORT_NAME.OUTSET = SER_REG_SRCK_MASK
#define SER_REG_SRCK_RESET SER_REG_PORT_NAME.OUTCLR = SER_REG_SRCK_MASK
#define SER_REG_SRCK_TICK SER_REG_SRCK_SET; SER_REG_SRCK_RESET

#define SER_REG_RCK_SET SER_REG_PORT_NAME.OUTSET = SER_REG_RCK_MASK
#define SER_REG_RCK_RESET SER_REG_PORT_NAME.OUTCLR = SER_REG_RCK_MASK
#define SER_REG_RCK_TICK SER_REG_RCK_SET; SER_REG_RCK_RESET

#define SER_REG_SEROUT_SET SER_REG_PORT_NAME.OUTSET = SER_REG_SEROUT_MASK
#define SER_REG_SEROUT_RESET SER_REG_PORT_NAME.OUTCLR = SER_REG_SEROUT_MASK

#define SER_REG_G_SET SER_REG_PORT_NAME.OUTSET = SER_REG_G_MASK
#define SER_REG_G_RESET SER_REG_PORT_NAME.OUTCLR = SER_REG_G_MASK

//Definicje dla portu wspólnych anod wyświetlacza LED
#define COM_ANODE_PORT_NAME PORTA
#define COM_ANODE_AS_OUTPUTS COM_ANODE_PORT_NAME.DIRSET = 0xFF

//Definicje dla funkcji wyświetlających
#define NORMAL 0
#define BLINKING 1

//Deklaracje zmiennych globalnych
extern uint8_t Cols[32];                        //Zmienna przechowująca zawartość wyświetlacza LED (30 kolumn liczonych od lewej do prawej
                                                //+ 2 dodatkowe upraszczające kod ISR)
extern volatile uint8_t Colon, Dot, Blinking;   //Zmienne przechowujące stan dwukropków, kropki i migania
extern volatile uint8_t readyForUpdate;         //Zezwolenie na atomową zmianę zmiennych

void initMultiplex(void);
void showChar(uint8_t Char, uint8_t Position, uint8_t Offset, uint8_t Blink);
```

Listing 1. Plik nagłówkowy mechanizmu multipleksowania

Ustawienia Fuse-bitów:
FREQSEL[1:0]: 10[1]
RSTPINCFG[1:0]: 00[2]
SUT[2:0]: 111[1]
EESAVE: 0[1]

[1] ustawienie domyślne producenta
[2] szczegóły w treści artykułu

Jak widać, zaprojektowano bardzo prosty system mikroprocesorowy, którego serce stanowi niewielki, ale nowoczesny mikrokontroler ATtiny806 firmy Microchip (dawniej Atmel), taktowany wewnętrznym oscylatorem RC o częstotliwości 10 MHz i realizujący całą założoną funkcjonalność urządzenia. Mikrokontroler nasz steruje pracą grupy czterech 8-bitowych rejestrów przesuwnych (szeregowo-równoległych) typu STPIC6C595 (wyprowadzenia PB5…PB2 mikrokontrolera), dzięki którym realizuje obsługę 6 matrycowych wyświetlaczy LED w konfiguracji wspólnej anody (wyprowadzenia PA7…PA1 mikrokontrolera) oraz 5 dodatkowych diod LED, oznaczonych jako LED7…LED11. Ponadto obsługuje zegar czasu rzeczywistego z podtrzymaniem bateryjnym pod postacią układu MCP79410-I/SN firmy Microchip – oraz prostą klawiaturę złożoną z 4 przycisków typu microswitch (wyprowadzenia PC3…PC0 mikrokontrolera), przeznaczonych do obsługi urządzenia. W ramach ostatniej z wymienionych funkcjonalności układ – w celu eliminacji drgań styków oraz detekcji krótkiego i długiego naciśnięcia każdego z przycisków – używa wbudowanego weń 16-bitowego układu czasowo-licznikowego TCB0 pracującego w trybie Periodic Interrupt. Uważnego Czytelnika zastanowi zapewne fakt wyboru nietypowych rejestrów przesuwnych zamiast zwyczajowych 74HC595. Jak się zapewne domyślacie, do obsługi tylu wyświetlaczy LED skorzystano ze znanego mechanizmu multipleksowania, a że do wysterowania mamy aż 32 wspólne katody (wyświetlaczy matrycowych LED1…LED6 i diod LED7…LED11), konieczne stało się sterowanie tymi elementami dość dużym prądem, by wynikowa ich jasność była na akceptowalnym poziomie. W takim wypadku zastosowanie zwykłych



Fotografia 2. Zmontowane urządzenie od strony warstwy BOTTOM

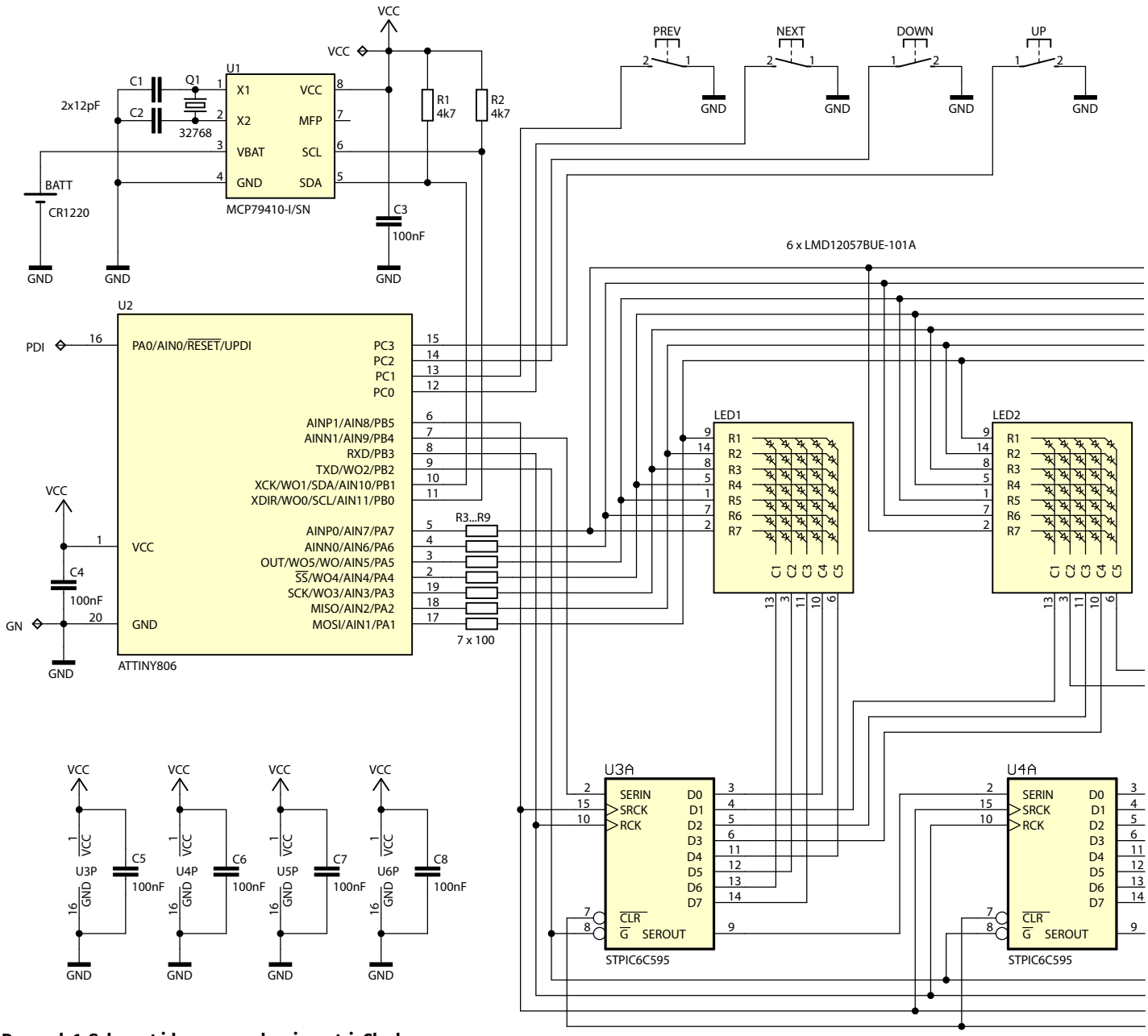
```
//Tablica przechowująca wzorce znaków
const uint8_t Font5x8[] PROGMEM =
{
    0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,  //spacja
    0x00, 0x00, 0x5F, 0x00, 0x00,  // !
    0x00, 0x07, 0x00, 0x07, 0x00,  // "
    0x14, 0x7F, 0x14, 0x7F, 0x14,  // #
    0x24, 0x2A, 0x7F, 0x2A, 0x12,  // $
    0x23, 0x13, 0x08, 0x64, 0x62,  // %
    0x36, 0x49, 0x55, 0x22, 0x50,  // &
    0x00, 0x05, 0x03, 0x00, 0x00,  // '
    0x00, 0x1C, 0x22, 0x41, 0x00,  // (
    0x00, 0x41, 0x22, 0x1C, 0x00,  // )
    0x08, 0x2A, 0x1C, 0x2A, 0x08,  // *
    0x08, 0x08, 0x3E, 0x08, 0x08,  // +
    0x00, 0x50, 0x30, 0x00, 0x00,  // ,
    0x08, 0x08, 0x08, 0x08, 0x08,  // -
    0x00, 0x30, 0x30, 0x00, 0x00,  // .
    0x20, 0x10, 0x08, 0x04, 0x02,  // /
    0x3E, 0x51, 0x49, 0x45, 0x3E,  // 0
    0x00, 0x42, 0x7F, 0x40, 0x00,  // 1
    0x42, 0x61, 0x51, 0x49, 0x46,  // 2
    0x21, 0x41, 0x45, 0x4B, 0x31,  // 3
    0x18, 0x14, 0x12, 0x7F, 0x10,  // 4
    0x27, 0x45, 0x45, 0x45, 0x39,  // 5
    0x3C, 0x4A, 0x49, 0x49, 0x30,  // 6
    0x01, 0x71, 0x09, 0x05, 0x03,  // 7
    0x36, 0x49, 0x49, 0x49, 0x36,  // 8
    0x06, 0x49, 0x49, 0x29, 0x1E,  // 9
    0x3E, 0x51, 0x49, 0x45, 0x3E,  // : ->
0 – ponownie, dla mechanizmu animacji
};

//Tablica przechowująca kolejność (od prawej do lewej) poszczególnych kolumn wyświetlacza
//LED widzianą od strony rejestrów przesuwnych. 1->DOT, 0->COLON
const uint8_t colPattern[32] = {25, 26, 24, 31, 27, 30, 18, 29, 28, 19, 17, 22, 16, 23,
21, 10, 20, 9, 8, 11, 15, 12, 14, 13, 2, 7, 3, 6, 5, 4, 1, 0};
```

Listing 2. Definicje niezbędnych stałych mechanizmu multipleksowania

```
void initMultiplex(void)
{
    //Porty sterujące rejestrami przesuwnymi jako wyjściowe ze stanami nieaktywnymi (0)
    SER_REG_AS_OUTPUTS;
    //Port wspólnych anod, jako wyjściowy ze stanami nieaktywnymi (0)
    COM_ANODE_AS_OUTPUTS;
    //Konfiguracja Timera TCA0 odpowiedzialnego za mechanizm multipleksowania. Stosowne przerwanie
    //systemowe wywoływane 1920 razy na sekundę, czyli 60 razy na sekundę dla każdej kolumny LED/diod dwukropka i kropki
    TCA0.SINGLE.PER = 5207;
    TCA0.SINGLE.CTRLA = TCA_SINGLE_CLKSEL_DIV1_gc|TCA_SINGLE_ENABLE_bm;
    TCA0.SINGLE.INTCTRL = TCA_SINGLE_OVF_bm;
}
```

Listing 3. Funkcja konfigurująca mechanizm multipleksowania

eprasa.pl 12486519d0



Rysunek 1. Schemat ideowy urządzenia matrixClock

74HC595 okazałoby się niewystarczające, w związku z czym sięgnięto po element, na którego równoległych wyjściach zintegrowano tranzystory mocy DMOS pozwalające na przepływ prądu rzędu 100 mA na wyjście (przy aktywnych wszystkich wyjściach!). Dość egzotyczne może się również wydawać przyporządkowanie poszczególnych wyjść rejestrów przesuwnych do wspólnych katod elementów LED, gdyż pozornie nie ma w nim większego sensu. W sensie elektrycznym rzeczywiście tak można to postrzegać, lecz przyporządkowanie, o którym mowa powyżej, wynika z chęci uproszczenia projektu obwodu drukowanego, zaś wszelkie niedogodności z niego wynikające zostaną zniwelowane na drodze programowej.

Zegar czasu rzeczywistego jest obsługiwany przy użyciu interfejsu TWI, będącego funkcjonalnym odpowiednikiem standardu I²C firmy Philips. Już teraz zwrócę uwagę, że jeśli chcemy, by nasz zegar wspierał funkcję podtrzymywania bateryjnego, należy zastosować dokładnie taki typ układu, jaki podano powyżej (i w spisie elementów), gdyż producent tego peryferium oferuje także wersje bez tej funkcjonalności oznaczone innym sufiksem.

Wyświetlacze LED i diody LED7…LED11 są sterowane w trybie multipleksowym z częstotliwością odświeżania 60 Hz. Plik nagłówkowy zawierający najważniejsze definicje używane do obsługi multipleksu pokazano na **listingu 1**, zaś na **listingu 2** można zobaczyć stałe definiujące wzorce poszczególnych znaków. Zastosowane rozwiązania

Wykaz elementów:

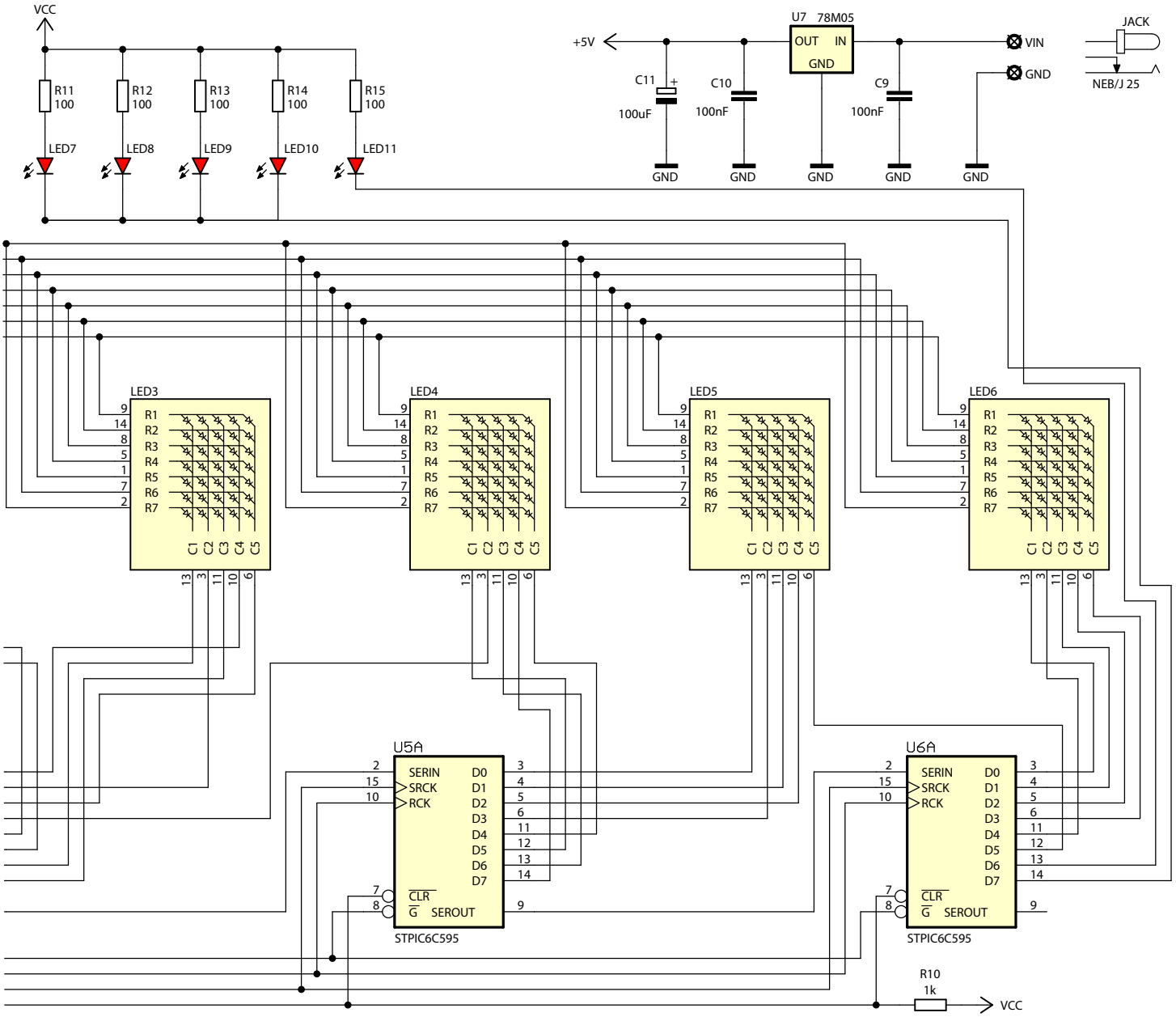
Rezystory: (obudowy SMD 0805)
R1, R2: 4.7 kΩ
R3...R9: 100 Ω
R10: 1 kΩ
R11...R15: 100 Ω

Kondensatory: (obudowy SMD 0805)
C1, C2: ceramiczny X7R 12 pF
C3...C10: ceramiczny X7R 100 nF
C11: tantalowy 100 µF/10V (obudowa C/6032-28R)

Półprzewodniki:
U1: MCP79410-I/SN (obudowa SO08)
U2: ATTINY806 (obudowa SO20)
U3...U6: STPIC6C595 (obudowa SO16)
U7: 78M05 (obudowa DPAK)
LED1...LED6: wyświetlacz matrycowy LMD12057BUE-101A, OSK351541-BR lub podobny o wybranym kolorze
LED7...LED11: dioda LED ∅ 3 mm czerwona, płaska

Pozostałe:
Q1: rezonator kwarcowy zegarkowy 32768 Hz
BATT: gniazdo baterii CR1220 typu CONNFLY DS1092-12-N8S
PREV, NEXT, DOWN, UP: microswitch TACT kątowy do montażu przewlekanego typu TL1105SF250Q lub podobny (wysokość 6 mm)
JACK: gniazdo zasilające do montażu przewlekanego typu NEB/J 25 (Lumberg) lub podobne
CR1220: bateria litowa pastylkowa typu CR1220

eprasa.pl 12486519d0




```
ISR(TCA0_OVF_vect)
{
    static uint8_t Idx, bigTick;
    static uint16_t smallTick;

    //Kasujemy flagę OVF, gdyż nie jest kasowana sprzętowo
    TCA0.SINGLE.INTFLAGS = TCA_SINGLE_OVF_bm;

    //Wyłączamy wszystkie bufory wyjściowe rejestrów przesuwnych dezaktywując tym samym kolumny wyświetlaczy LED
    SER_REG_G_SET;

    //Obsługujemy Tick migania – co 0.25 s
    if(++smallTick == 480)
    {
        smallTick = 0;
        bigTick ^= 1;
    }

    //Wybieramy kolejną z rzędu kolumnę wyświetlaczy LED wysyłając stosowny ciąg danych do rejestrów przesuwnych
    //Zaczynamy od kolumn wyświetlaczy LED po czym przechodzimy do kolumn sterujących dwukropkami i kropką
    for(uint8_t i=0; i<32; ++i)
    {
        if(i == colPattern[Idx])
        {
            if(Idx < 30)                                                    //Kolumny wyświetlaczy LED
            {
                if(Blinking & (1 << (Idx/5)))
                {
                    if(bigTick) SER_REG_SEROUT_SET; else SER_REG_SEROUT_RESET;
                }
                else SER_REG_SEROUT_SET;
            }
            else if(Idx == 30)                                              //30 -> DOT (kropka)
            {
                if(Dot) SER_REG_SEROUT_SET; else SER_REG_SEROUT_RESET;
            }
```

Listing 4. Funkcja obsługi przerwania realizująca mechanizm multipleksowania

eprasa.pl 12486519d0

```
            else                                                                    //31 -> COLON (dwukropki)
            {
                if(Colon) SER_REG_SEROUT_SET; else SER_REG_SEROUT_RESET;
            }
        }
        else SER_REG_SEROUT_RESET;

        //Sygnał zegarowy
        SER_REG_SRCK_TICK;
    }
    //Transfer stanów rejestrów przesuwnych do ich buforów wyjściowych (jeszcze nieaktywnych)
    SER_REG_RCK_TICK;
    //Na port wyjściowy wspólnych anod wystawiamy wzór do wyświetlenia
    COM_ANODE_PORT_NAME.OUT = Cols[Idx];
    //Włączamy wszystkie bufory wyjściowe rejestrów przesuwnych aktywując tym samym kolumny wyświetlaczy LED
    SER_REG_G_RESET;

    //Wybieramy kolejną z rzędu kolumnę. Opcjonalnie zezwolenie na atomową zmianę zmienej Cols[] w funkcji Main
    Idx = (Idx +1) & 0x1F;
    if(Idx == 0) readyForUpdate = 1; else readyForUpdate = 0;
}
```

Listing 4. Funkcja obsługi przerwania realizująca mechanizm multipleksowania – cd.

```
void showChar(uint8_t Char, uint8_t Position, uint8_t Offset, uint8_t Blink)
{
    uint8_t prevByte, nextByte;
    uint16_t Index;

    //Ustalamy index początku wzorca znaku, który to zamierzamy wyświetlić (odejmujemy 32, gdyż tablica zaczyna się od spacji)
    Index = (Char – ' ') * 5;

    //Czekamy na zezwolenie na aktualizację zawartości wyświetlacza LED
    readyForUpdate = 0;
    while(readyForUpdate == 0);

    //Aktualizujemy zawartość wyświetlacza uwzględniając przesunięcie wzorca cyfry
    for(uint8_t i=0; i<5; ++i)
    {
        prevByte = (uint8_t) pgm_read_byte(&Font5x8[Index]) >> Offset;
        nextByte = (uint8_t) pgm_read_byte(&Font5x8[Index+5]) << (8-Offset);

        Cols[i+(Position*5)] = prevByte|nextByte;
        Index++;
    }
    //Aktualizujemy stan zmiennej odpowiadającej za miganie
    if(Blink == BLINKING) Blinking |= (1<<Position); else Blinking &= ~(1<<Position);
}
```

Listing 5. Funkcja odpowiedzialna za wyświetlenie wzorca znaku na wyświetlaczu LED

```
//Definicje portów magistrali I²C
#define I²C_PORT_NAME PORTB
#define I²C_SDA_PINCTRL_REG PIN1CTRL                                    //PB1
#define I²C_SCL_PINCTRL_REG PIN0CTRL                                    //PB0

//Definicje częstotliwości magistrali oraz czasu narastania zboczy
#define I²C_FREQUENCY 400000UL                                          //Częstotliwość magistrali [Hz]
#define I²C_RISE_TIME 100UL                                             //Czas narastania zboczy zależny od impedancji magistrali [ns]
#define I²C_BAUD (uint8_t)((((((float) F_CPU/(float) I²C_FREQUENCY)) – 10 – ((float) F_CPU * I²C_RISE_TIME/1000000))) / 2)

//Definicje bitu potwierdzenia (ACK)
#define NACK 0
#define ACK 1

//Definicje statusów wykonania funkcji
#define OK 0
#define FAILED 255
```

Listing 6. Plik nagłówkowy modułu obsługi interfejsu I²C mikrokontrolerów AVR Tiny 0-series

```
void i2cInit(void)
{
    //Podciągnięcie portów SDA i SCL pod VCC
    I²C_PORT_NAME.I²C_SDA_PINCTRL_REG = PORT_PULLUPEN_bm;
    I²C_PORT_NAME.I²C_SCL_PINCTRL_REG = PORT_PULLUPEN_bm;

    TWI0.MBAUD = I²C_BAUD;                                  //Ustawienie częstotliwości magistrali
    TWI0.MCTRLA = TWI_ENABLE_bm;                            //Włączenie modułu I²C -> Tryb Master bez przerwań (tzw. pooling)
    TWI0.MSTATUS = TWI_BUSSTATE_IDLE_gc;                    //Domyślny tryb magistrali (Idle)
}
```

Listing 7. Ciało funkcji inicjalizującej sprzęg TWI mikrokontrolera AVR Tiny 0-series

```
uint8_t i2cStart(uint8_t Address)
{
    //Wysyłamy sygnał START z adresem klienta. Adres zawiera w sobie bit R/W (bit 0) decydujący o kierunku transmisji
    TWI0.MADDR = Address;

    while (!(TWI0.MSTATUS & (TWI_WIF_bm | TWI_RIF_bm)));        //Czekamy na zakończenie operacji

    //Jeśli doszło do błędu lub arbitrażu na magistrali i dostęp do niej został utracony zwracamy FAILED i czekamy na zwolnienie
magistrali
    if(TWI0.MSTATUS & TWI_ARBLOST_bm)
    {
        while(!(TWI0.MSTATUS & TWI_BUSSTATE_IDLE_gc));          //Czekamy na zwolnienie magistrali
        return FAILED;
    }
    //Jeśli klient nie potwierdził swojego adresu wysyłamy sygnał STOP i czekamy na zwolnienie magistrali
    else if(TWI0.MSTATUS & TWI_RXACK_bm)
    {
        TWI0.MCTRLB |= TWI_MCMD_STOP_gc;                        //Wysyłamy sygnał STOP
        while(!(TWI0.MSTATUS & TWI_BUSSTATE_IDLE_gc));          //Czekamy na zwolnienie magistrali
        return FAILED;
    }

    return OK;
}
```

Listing 8. Ciało funkcji odpowiedzialnej za wygenerowanie sygnału START interfejsu I²C i przesłanie adresu klienta

eprasa.pl 12486519d0

programowe, mające na celu optymalizację szybkości wykonywania kodu, objaśniono już przy okazji projektu miernika pojemności cMeter, opublikowanego w EP 05/2024 – zainteresowanych Czytelników zachęcamy do zapoznania się z zamieszczonym tam szczegółowym opisem. Funkcję konfigurującą mechanizm multipleksowania i dokonującą niezbędnych ustawień sprzętowych pokazano na **listingu 3**. Dalej, na **listingu 4** zamieszczono funkcję obsługi przerwania od przepełnienia licznika TCA0, odpowiedzialną za realizację mechanizmu multipleksowania wyświetlacza LED.

Listing 5 pokazuje funkcję wyświetlającą wzorzec znaku na elemencie LED. Jak widać, funkcja przyjmuje zarówno argument przesunięcia w pionie wzorca znaku o liczbę zdefiniowanych pikseli obrazu (w zakresie 0…8), co zostanie użyte w mechanizmie animacji zmian wyświetlanych cyfr – jak i argument odpowiedzialny za miganie wyświetlanej treści, co znajdzie z kolei zastosowanie w menu ustawień urządzenia (do wyróżnienia wartości poddawanej edycji). To już wszystko, jeśli chodzi o funkcje obsługi wyświetlacza LED – przejdźmy zatem do grupy funkcji odpowiedzialnych za obsługę interfejsu TWI. Nie jest to szczególnie nowatorskie rozwiązanie, jednak interfejs TWI w nowych mikrokontrolerach AVR Tiny z serii 0 różni się znacząco – pod względem sposobu obsługi, rozmieszczenia i znaczenia rejestrów konfiguracyjnych – od starszych wersji tych mikrokontrolerów, dlatego warto mu się przyjrzeć bliżej. Warto podkreślić, że prezentowane rozwiązanie nie będzie na wskroś uniwersalne (zależało mi bowiem na prostocie rozwiązań programistycznych), lecz w tak prostych zastosowaniach, jak omówione tutaj, moim zdaniem okazuje się wystarczająco dobre. Stosowny driver (w tym używający przerwań TWI) możemy zresztą wygenerować automatycznie z poziomu środowiska Microchip Studio, lecz jak możecie się sami przekonać, rozwiązanie proponowane przez producenta jest bardzo skomplikowane. Dzieje się tak, gdyż – jeśli ma pozostać w pełni uniwersalne – musi operować na dość dużym poziomie abstrakcji.

```
void i2cStop(void)
{
    TWI0.MCTRLB |= TWI_MCMD_STOP_gc;                    //Wysyłamy sygnał STOP
    while(!(TWI0.MSTATUS & TWI_BUSSTATE_IDLE_gc));      //Czekamy na zwolnienie magistrali
}
```

Listing 9. Ciało funkcji odpowiedzialnej za wygenerowanie sygnału STOP interfejsu I²C

```
uint8_t i2cWriteByte(uint8_t Byte)
{
    TWI0.MDATA = Byte;
    TWI0.MCTRLB = TWI_MCMD_RECVTRANS_gc;                //Wysyłamy bajt danych
    while(!(TWI0.MSTATUS & TWI_WIF_bm))                 //Czekamy na zakończenie transmisji

    //Jeśli doszło do błędu lub arbitrażu na magistrali i dostęp do niej został utracony zwracamy FAILED
    if(TWI0.MSTATUS & (TWI_ARBLOST_bm | TWI_BUSERR_bm)) return FAILED;

    return!(TWI0.MSTATUS & TWI_RXACK_bm);               //Zwracamy bit ACK
}
```

uListing 10. Ciało funkcji odpowiedzialnej za zapis bajtu poprzez interfejs I²C

```
uint8_t i2cReadByte(uint8_t Ack)
{
    uint8_t Byte;

    while(!(TWI0.MSTATUS & TWI_RIF_bm));                //Czekamy na zakończenie odczytu
    Byte = TWI0.MDATA;
    //Wysyłamy sygnał ACK, gdy oczekujemy więcej danych (i wznawiamy transmisję) lub sygnał NACK
    if(Ack) TWI0.MCTRLB = TWI_MCMD_RECVTRANS_gc|TWI_ACKACT_ACK_gc; else TWI0.MCTRLB = TWI_ACKACT_NACK_gc;

    return Byte;
}
```

Listing 11. Ciało funkcji odpowiedzialnej za odczyt bajtu poprzez interfejs I²C

```
//Definicje typów strukturalnych do obsługi zegara RTC
typedef struct
{
    uint8_t Hour;                           //0...23
    uint8_t Minute;                         //0...59
    uint8_t Second;                         //0...59
}timeType;

typedef struct
{
    uint8_t weekDay;                        //1...7
    uint8_t Day;                            //1...31
    uint8_t Month;                          //1...12
    uint8_t Year;                           //0...99
}dateType;

//Prototypy funkcji modułu
void RTCinit(uint8_t Settings);
void RTCwriteTime(timeType *Time);
void RTCreadTime(timeType *Time);
void RTCwriteDate(dateType *Date);
void RTCreadDate(dateType *Date);

//Definicje adresów układu MCP79410 w trybie zapisu/odczytu
#define MCP79410_WRITE_ADDR 0xDE
#define MCP79410_READ_ADDR 0xDF

//Definicje najważniejszych rejestrów sterujących i ich właściwości
#define TIME_START_REG 0x00
    #define START_OSCILLATOR (1<<7)
    #define STOP_OSCILLATOR (0<<7)

#define DATE_START_REG 0x03
    #define VBAT_ENABLE (1<<3)
    #define VBAT_DISABLE (0<<3)

#define CONTROL_REG 0x07
    #define MFP_AS_OUTPUT_1 (1<<7)
    #define MFP_AS_OUTPUT_0 (0<<7)
    #define MFP_AS_SQUARE_OUTPUT (1<<6)
    #define MFP_AS_NORMAL_OUTPUT (0<<6)
    #define NO_ALARMS_ACTIVE (0<<4)
    #define ALARM0_ACTIVE (1<<4)
    #define ALARM1_ACTIVE (2<<4)
    #define BOTH_ALARMS_ACTIVE (3<<4)
    #define EXTERNAL_OSCILLATOR (1<<3)
    #define INTERNAL_OSCILLATOR (0<<3)
    #define SQUARE_1HZ 0x00
    #define SQUARE_4096HZ 0x01
    #define SQUARE_8192HZ 0x02
    #define SQUARE_32768HZ 0x03

#define RAM_START_REG 0x20
```

Listing 12. Plik nagłówkowy modułu obsługi układu MCP79410

```
void RTCinit(uint8_t Settings)
{
    i2cStart(MCP79410_WRITE_ADDR);          //Adres MCP79410 do zapisu
    i2cWriteByte(CONTROL_REG);              //Adres startowy rejestru ustawień zegara RTC
    i2cWriteByte(Settings);                 //Ustawienia zegara RTC
    i2cStop();
}
```

Listing 13. Funkcja odpowiedzialna za konfigurację układu MCP79410

REKLAMA

LASEROWE
SZABLONY
DO MONTAŻU SMT

Materiał: stal nierdzewna CrNi
Zakres grubości blach: 0,020–1,000 mm
Wycinamy również detale
o dowolnych kształtach

LASTENIC LASER & ELECTRONICS sp. z o.o.
58-100 Świdnica, ul. Husarska 5
tel. 74 851 48 77, 697 977 732
www.lastenic.com info@lastenic.com

eprasa.pl 12486519d0

```
void RTCwriteTime(timeType *Time)
{
    i2cStart(MCP79410_WRITE_ADDR);                                          //Adres MCP79410 do zapisu
    i2cWriteByte(TIME_START_REG);                                           //Adres startowy rejestru czasu (w tym przypadku sekund)
    i2cWriteByte(((Time->Second/10)<<4)|(Time->Second%10)|START_OSCILLATOR);  //Sekundy w zapisie BCD + start oscylatora
    i2cWriteByte(((Time->Minute/10)<<4)|(Time->Minute%10));                 //Minuty w zapisie BCD
    i2cWriteByte(((Time->Hour/10)<<4)|(Time->Hour%10));                     //Godziny w zapisie BCD (standardowo zapis 24-godzinny)
    i2cStop();
}

void RTCreadTime(timeType *Time)
{
    uint8_t readByte;

    i2cStart(MCP79410_WRITE_ADDR);                                          //Adres MCP79410 do zapisu
    i2cWriteByte(TIME_START_REG);                                           //Adres startowy rejestru czasu (w tym przypadku sekund)
    i2cStart(MCP79410_READ_ADDR);                                           //Adres MCP79410 do odczytu

    readByte = i2cReadByte(ACK) & 0x7F;                                     //Sekundy w zapisie BCD – maskujemy bit pracującego
                                                                            //oscylatora (bit7)
    Time->Second = ((readByte>>4)*10) + (readByte&0x0F);

    readByte = i2cReadByte(ACK);                                            //Minuty w zapisie BCD
    Time->Minute = ((readByte>>4)*10) + (readByte&0x0F);

    readByte = i2cReadByte(NACK);                                           //Godziny w zapisie BCD (standardowo zapis 24-godzinny)
    Time->Hour = (((readByte&0x30)>>4)*10) + (readByte&0x0F);
    i2cStop();
}
```

Listing 14. Funkcje przeznaczone do odczytu i zapisu czasu układu MCP79410

```
void RTCwriteDate(dateType *Date)
{
    i2cStart(MCP79410_WRITE_ADDR);                          //Adres MCP79410 do zapisu
    i2cWriteByte(DATE_START_REG);                           //Adres startowy rejestru daty (w tym przypadku dni tygodnia)
    i2cWriteByte(Date->weekDay|VBAT_ENABLE);                //Dzień tygodnia + aktywacja podtrzymania bateryjnego
    i2cWriteByte(((Date->Day/10)<<4)|(Date->Day%10));       //Dzień w zapisie BCD
    i2cWriteByte(((Date->Month/10)<<4)|(Date->Month%10));   //Miesiąc w zapisie BCD
    i2cWriteByte(((Date->Year/10)<<4)|(Date->Year%10));     //Rok w zapisie BCD
    i2cStop();
}

void RTCreadDate(dateType *Date)
{
    uint8_t readByte;

    i2cStart(MCP79410_WRITE_ADDR);                          //Adres MCP79410 do zapisu
    i2cWriteByte(DATE_START_REG);                           //Adres startowy rejestru daty (w tym przypadku dni tygodnia)
    i2cStart(MCP79410_READ_ADDR);                           //Adres MCP79410 do odczytu

    Date->weekDay = i2cReadByte(ACK) & 0x07;                //Dzień tygodnia

    readByte = i2cReadByte(ACK);                            //Dzień w zapisie BCD
    Date->Day = ((readByte>>4)*10) + (readByte&0x0F);

    readByte = i2cReadByte(ACK);                            //Miesiąc w zapisie BCD
    Date->Month = (((readByte & 0x10)>>4)*10) + (readByte&0x0F);

    readByte = i2cReadByte(NACK);                           //Rok w zapisie BCD
    Date->Year = ((readByte>>4)*10) + (readByte&0x0F);
    i2cStop();
}
```

Listing 15. Funkcje przeznaczone do odczytu i zapisu daty układu MCP79410

Zacznijmy od pliku nagłówkowego, którego ciało pokazano na **listingu 6**. Dalej, na **listingu 7**, zaprezentowano ciało funkcji inicjalizującej interfejs TWI mikrokontrolera AVR Tiny 0-series. Na **listingu 8** pokazano z kolei ciało funkcji odpowiedzialnej za wygenerowanie sygnału START interfejsu I²C i przesłanie adresu slave'a (wraz z bitem kierunku R/W), zaś na **listingu 9** – ciało funkcji odpowiedzialnej za wygenerowanie sygnału STOP interfejsu I²C. I na koniec dwie kluczowe funkcje, pozwalające na zapis i odczyt bajtu poprzez interfejs I²C, których ciała pokazano odpowiednio na **listingach 10** i **11**.

Skoro wiemy już, jak obsługiwać interfejs TWI naszego mikrokontrolera, pora na omówienie modułu obsługi zegara MCP79410-I/SN. Tradycyjnie zacznijmy od pliku nagłówkowego, którego ciało pokazano na **listingu 12**.

Jak widać, wprowadzono dwa dodatkowe typy strukturalne (*timeType*, *dateType*), odpowiedzialne za przechowywanie oraz przetwarzanie czasu i daty wbudowanego zegara RTC. Następnie, na **listingu 13**, pokazano funkcję, której zadaniem jest konfiguracja cech sprzętowych zegara czasu rzeczywistego. Argument wywołania tejże funkcji decyduje o ustawieniach RTC (np. ustawieniach wyjścia MFP) i w przypadku naszego urządzenia przyjmuje wartość:

`MFP_AS_SQUARE_OUTPUT|NO_ALARMS_ACTIVE|INTERNAL_OSCILLATOR|SQUARE_1HZ;`

Na **listingu 14** pokazano z kolei dwie proste funkcje narzędziowe, umożliwiające odczyt i zapis czasu RTC, zaś na **listingu 15** – bliźniacze dwie funkcje odczytu i zapisu, ale tym razem daty.

W telegraficznym skrócie omówiliśmy kwestie implementacyjne, w związku z czym w drugiej części artykułu omówimy zagadnienia związane z montażem i obsługą urządzenia.

Robert Wołgajew, EP

REKLAMA

eprasa.pl 12486519d0

AVT sklep

W ofercie AVT*
AVT6044

Najważniejsze parametry:
- sterowanie jednym bipolarnym silnikiem krokowym,
- pięć funkcji: praca od krańcówki do krańcówki, od krańcówki do krańcówki i z powrotem, praca cykliczna w jedną i drugą stronę, ręczne sterowanie w jedną stronę, ręczne sterowanie w drugą stronę,
- płynna regulacja szybkości obrotowej potencjometrem,
- możliwość czterokrotnego spowolnienia szybkości obrotowej silnika,
- pięć rodzajów sterowania ruchem: pełne kroki, 1/2 kroku, 1/4 kroku, 1/8 kroku lub 1/16 kroku,
- częstotliwość impulsów taktujących pracę silnika 7,6...3900 Hz lub 1,9...975 Hz w trybie spowolnionym,
- sygnalizacja kierunku obracania się wału silnika,
- współpraca z dwoma wyłącznikami krańcowymi typu NO (normalnie otwarte),
- zasilanie napięciem 9...32 V,
- pobór prądu od 10 mA (w stanie spoczynku),
- prąd uzwojeń ustalany potencjometrem.

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media

----	Sterownik unipolarnego mikrosilnika krokowego do Pi Pico (EP 7/2023)
----	Sterownik dwóch silników krokowych do Raspberry Pi (EP 6/2023)
AVT5978	Sterownik dwóch mikrosilników krokowych do Pi Zero (EP 3/2023)
----	Sterownik mikrosilnika krokowego do Pi Pico (EP 12/2022)

* **Uwaga!** Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania! Podstawową wersją zestawu jest wersja **[B]** nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji **[B]** zawiera elementy elektroniczne (w tym **[UK]** – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu. Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:
- **wersja [C]** – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw **[B]** (elementy wlutowane w płytkę PCB),
- **wersja [A]** – płytka drukowana bez elementów i dokumentacji.

Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A] +** zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik PDF! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! **http://sklep.avt.pl**

W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: **kity@avt.pl**.

Sterownik silnika krokowego z wyłącznikami krańcowymi

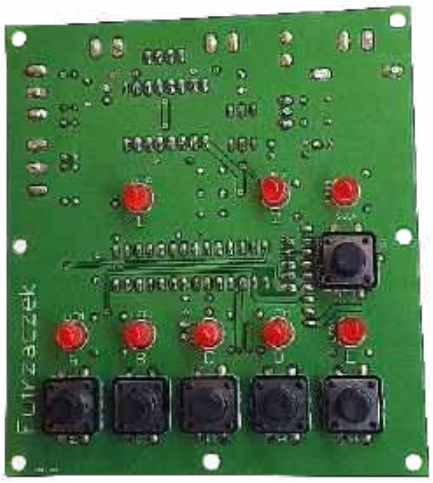
Silniki krokowe mogą się obracać powoli, naprawdę powoli. Tego typu napęd jest idealny w obrotowych platformach do robienia zdjęć albo do pozycjonowania różnych przedmiotów. Jednak silnik trzeba odpowiednio obsłużyć, by należycie wykonywał swoje zadanie i właśnie do tego celu służy niniejszy układ.

Silniki krokowe są niezwykle użyteczne pod tym względem, że ich szybkość obrotową da się regulować w szerokim zakresie, co więcej – cały czas utrzymują stały moment obrotowy oraz moment trzymania. Ich użycie jednak nie jest tak proste, jak ma to miejsce w przypadku silników prądu stałego, bowiem wymagają zarówno nadzorowania prądu płynącego przez ich cewki, jak też cyklicznej zmiany jego kierunku. Na szczęście mamy na rynku gotowe (i niedrogie!) moduły, które potrafią wykonać za nas większość owej niewygodnej pracy.

Sęk w tym, że wspomniane moduły również wymagają sterowania, co z kolei wymusza użycie mikrokontrolera… Zaprezentowane w niniejszym artykule urządzenie ma właśnie charakter układu sterującego, umożliwiającego wysterowanie bipolarnego silnika krokowego silnika tak, by wykonywał proste ruchy: w jedną stronę, w jedną i drugą stronę, naprzemienny ruch od końca do końca lub sterowanie w trybie ręcznym – to wszystko potrafi niniejszy układ. Zapraszam do lektury!

Budowa

Schemat ideowy urządzenia znajduje się na **rysunku 1**. Głównym podzespołem zawiadującym jego pracą jest mikrokontroler typu ATmega8A-PU z 8-bitowym rdzeniem AVR (taktowanym sygnałem o częstotliwości 4 MHz, dla którego wzorcem jest zewnętrzny rezonator kwarcowy). Wbudowany w mikrokontroler generator wzbudza drgania kryształu kwarcu Q1, przez co układ może generować sygnał taktujący silnikiem z wysoką stabilnością w dziedzinie częstotliwości. Pamięć Flash mikrokontrolera można zaprogramować po wyjęciu go z podstawki lub poprzez złącze J6.



Drugi podzespół, nie mniej istotny, jest podłączany do płytki poprzez wciśnięcie go w zaciski złączy J1 i J2. To gotowy moduł typu stepstick z układem A4988 od Allegro MicroSystems. Na niewielkiej płytce, którą można zobaczyć na **fotografii 1**, znajduje się sam układ scalony oraz niezbędne elementy bierne. Wśród nich wspomnieć należy również o potencjometrze ustalającym średni prąd cewek silnika, który to parametr

Wykaz elementów:

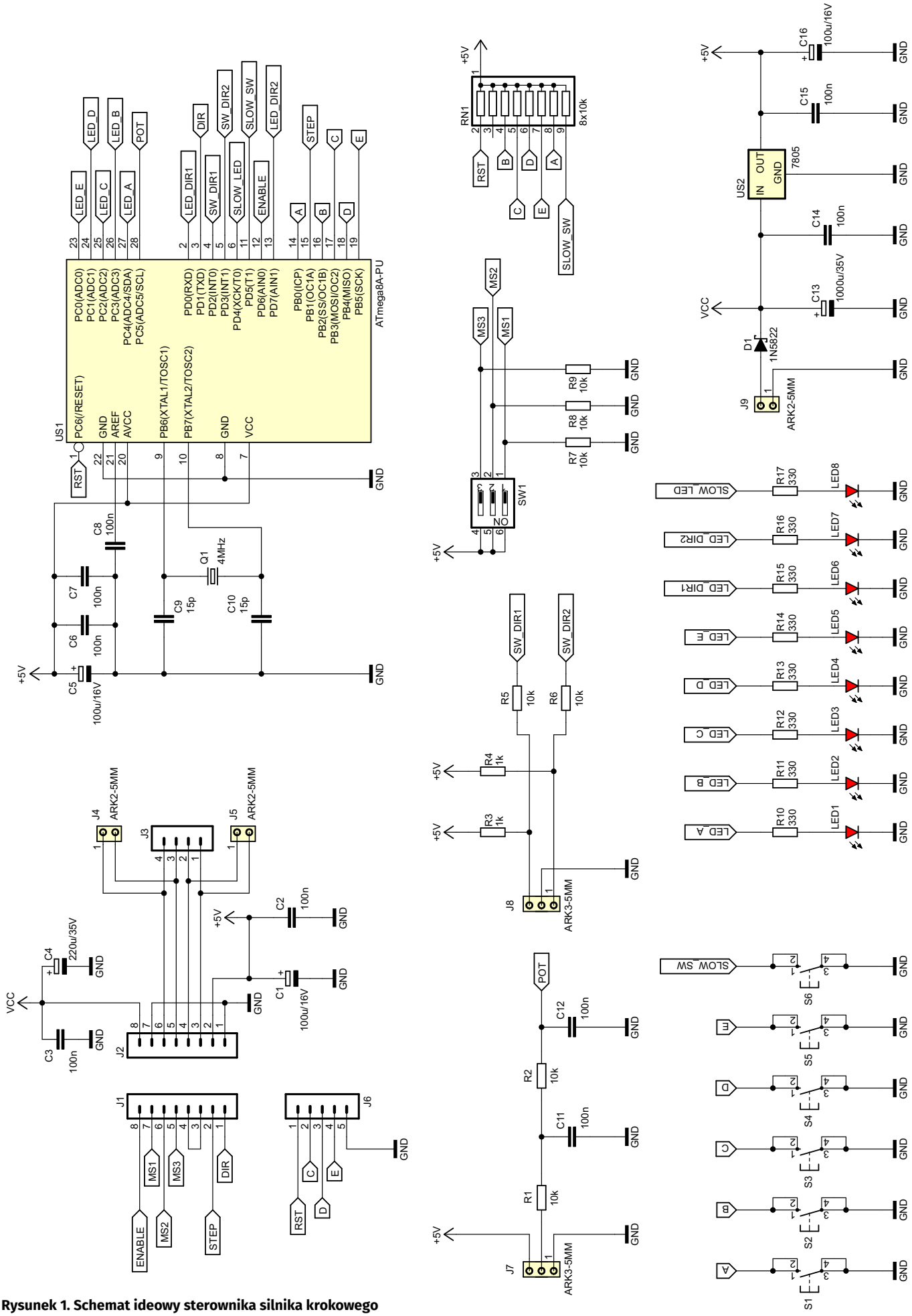
Rezystory: (THT o mocy 0,25 W)
R1, R2, R5...R9: 10 kΩ
R3, R4: 1 kΩ
R10...R17: 330 Ω
RN1: 8 × 10 kΩ SIL9

Kondensatory:
C1, C5, C16: 100 µF 16 V, raster 2,5 mm
C2, C3, C6...C8, C11, C12, C14, C15: 100 nF, raster 5 mm MKT
C4: 220 µF 35 V, raster 3,5 mm
C9, C10: 15 pF, raster 5 mm, monolityczne
C13: 1000 µF 35 V, raster 5 mm

Półprzewodniki:
D1: 1N5822
LED1...LED8: czerwona 5 mm np. LED F5 R
US1: ATmega8A-PU DIP28
US2: 7805 TO220

Inne:
J1, J2: goldpin 8 pin żeński 2,54 mm THT
J3: goldpin 4 pin męski 2,54 mm THT
J4, J5, J9: ARK2/500
J6: goldpin 5 pin męski 2,54 mm THT
J7, J8: ARK3/500
Q1: 4 MHz niski THT
S1...S6: microswitch 12×12 9 mm np. TS12-130
SW1: DIP-Switch 3 sekcje THT np. DIP SWITCH03
Jedna podstawka DIP28 wąska
Potencjometr 10 kΩ liniowy jednoobrotowy na panel, np. P10K/B CT16 (opis w tekście)
Moduł stepstick z układem A4988 np. ARD-6332 (opis w tekście)
Silnik krokowy bipolarny
Dwa wyłączniki krańcowe NO (opis w tekście)

eprasa.pl 12486519d0



Rysunek 1. Schemat ideowy sterownika silnika krokowego

eprasa.pl 12486519d0

Fotografia 1. Moduł z układem A4988

Rysunek 2. Wyprowadzenia modułu

ma wpływ zarówno na pobór prądu przez cały układ, jak i na moment trzymający silnika.

Układ wyprowadzeń modułu zaprezentowany został na **rysunku 2**. Do niewielkiej płytki trzeba doprowadzić zasilanie części cyfrowej (VDD: 3...5,5 V), zasilanie silnika (VMOT: 8...35 V) oraz sygnały sterujące, takie jak:

- aktywowanie niskim stanem logicznym (ENABLE),
- rodzaj pracy silnika: pełnokrokowa, półkrokowa itd. (MS1, MS2, MS3),
- zerowanie niskim stanem logicznym (RESET),
- uśpienie modułu niskim stanem logicznym (SLEEP),
- taktowanie kolejnych kroków napędu (STEP),
- ustalenie kierunku ruchu wału silnika (DIR).

Sam silnik podłącza się do wyprowadzeń 1A i 1B (pierwsza cewka) oraz 2A i 2B (druga cewka). Nie trzeba przy tym pamiętać o zewnętrznych diodach zabezpieczających albo o elementach kontrolujących prąd uzwojeń, ponieważ wszystkie te podzespoły są już zawarte na płytce modułu oraz w samym układzie A4988. Z tego powodu jego zastosowanie bardzo upraszcza realizację urządzenia. Również wbudowane w strukturę A4988 zabezpieczenia – takie jak ochrona przed zwarciem do masy lub przegrzaniem – podnoszą walory użytkowe modułu stepstick. Sam silnik można podłączyć do złącza J3 (typu goldpin) lub do złączy J4 i J5, które są śrubowymi listwami zaciskowymi.

W tym układzie mikrokontroler generuje trzy sygnały sterujące: ENABLE, STEP i DIR. Linii SLEEP i RESET nie używa się – zostały połączone razem, ponieważ ich stan logiczny powinien być w tym wypadku wysoki. Warto jednak zauważyć, że RESET nie ma wbudowanego rezystora podciągającego, natomiast SLEEP już ma, więc jeden rezystor podciąga oba wejścia – ot, cała zagadka dotycząca opisywanego połączenia.

Do regulacji szybkości obrotowej silnika służy zewnętrzny potencjometr liniowy, którego wyprowadzenia należy podłączyć do zacisków złącza J7. Ten element pracuje jako dzielnik napięcia zasilającego część cyfrową układu, toteż mikrokontroler – przy użyciu wbudowanego weń przetwornika analogowo-cyfrowego, którego napięciem referencyjnym również jest napięcie zasilające – mierzy sygnał wyjściowy pojawiający się na ślizgaczu potencjometru. Aby jednak odfiltrować znaczną część zakłóceń oraz zawęzić pasmo szumowe do minimum, do projektu włączono po drodze dwuczłonowy pasywny filtr dolnoprzepustowy typu RCRC. Dzięki temu napięcie trafiające na wejście przetwornika ma zdecydowanie mniejszą zawartość niepożądanej składowej zmiennej. Ponadto filtr taki stanowi również ochronę przed wyładowaniami elektrostatycznymi, ponieważ zwiększa czas narastania napięcia na diodach zabezpieczających wyprowadzenie mikrokontrolera, dając im czas na otwarcie się, jak również zmniejsza natężenie płynącego przez nie prądu.

Do zacisków złącza J8 należy podłączyć wyłączniki krańcowe, których sygnały wyjściowe będą ograniczały zakres ruchu osi sterowanego silnika krokowego. Powinny to być wyłączniki o stykach typu NO – normalnie otwarte. Rezystory R3 i R4 wymuszają wysoki stan logiczny na wejściach mikrokontrolera poprzez podciąganie rozwartego zestyku do potencjału +5 V. Relatywnie niewielka rezystancja tychże rezystorów wymusza przepływ prądu o stosunkowo wysokim natężeniu (około 5 mA) przez zwarte styki wyłączników krańcowych, lecz jest to zabieg celowy. W ten sposób układ staje się mniej wrażliwy na zaburzenia indukujące się nawet w długich przewodach połączeniowych pomiędzy zaciskami złącza J8 a wyłącznikami, ponieważ rezystancja obciążająca te przewody jest niska. Aby jednak opisane zakłócenia nie uszkodziły mikrokontrolera, w projekcie uwzględniono rezystory R5 i R6, które – podobnie jak opisany w poprzednim akapicie filtr RC – zwiększają czas narastania napięcia na diodach zabezpieczających wejścia oraz limitują natężenie prądu przez nie płynącego. Nie ma tutaj jednak intencjonalnie wprowadzonych filtrów RC, ponieważ wprowadzałyby one opóźnienie w reakcji układu na zwarcie styków wyłączników krańcowych, a ta powinna być jak najszybsza. Jedyne opóźnienie, które ma pomijalną wartość, wprowadzają pojemności pasożytnicze.

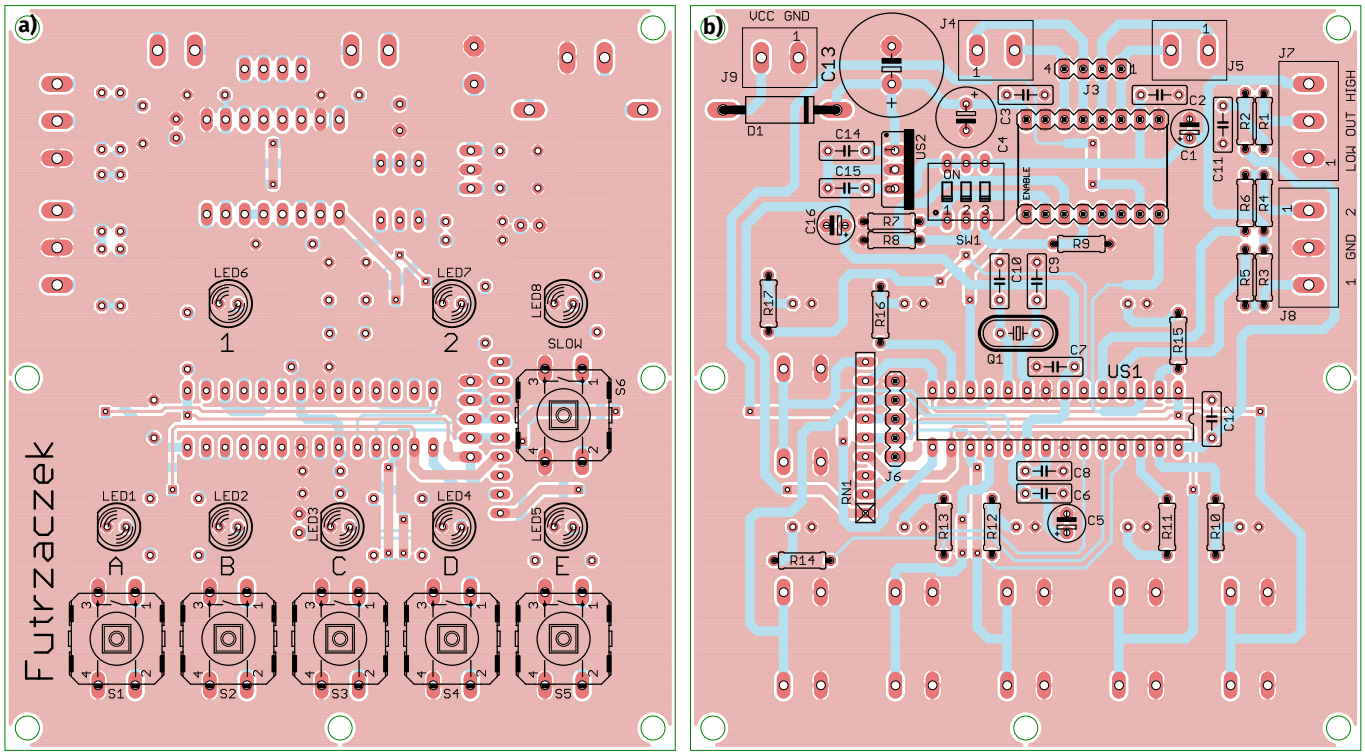
Układ A4988, znajdujący się w module sterującym silnikiem krokowym, ma możliwość wyboru jednego z pięciu rodzajów sterowania silnika – a dokładniej liczby kroków, wykonywanych przez silnik na każdy takt sygnału sterującego. Do ustalenia pożądanej wartości służy przełącznik typu DIP-Switch. Rezystory R7…R9 ustalają domyślnie niskie stany logiczne na omówionych wcześniej wejściach MS1…MS3, zaś załączenie sekcji przełącznika powoduje wymuszenie wysokiego stanu logicznego.

Użytkownik steruje układem poprzez sześć przycisków monostabilnych S1…S6. Do ustalenia wysokiego stanu logicznego na ich stykach w stanie rozwarcia służą nie tylko rezystory wbudowane w mikrokontroler, lecz również zewnętrzne, zawarte w drabince rezystorowej RN1. Rozwiązanie tego typu redukuje wrażliwość układu na zewnętrzne zakłócenia elektromagnetyczne poprzez zmniejszenie rezystancji obciążającej każdy ze styków. Układ może zatem działać poprawnie, nawet gdyby przyciski sterujące były dołączone do płytki na przewodach.

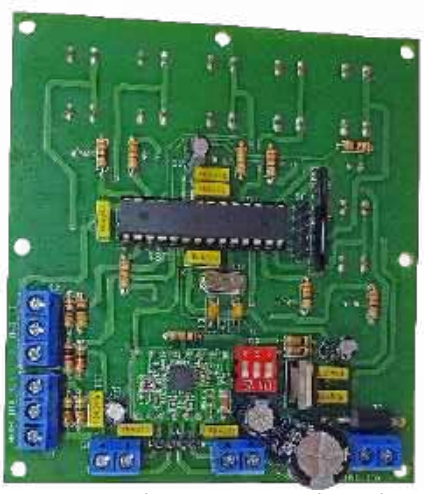
Diody LED1…LED8 obrazują użytkownikowi, co w danej chwili dzieje się z układem. Prąd każdej z nich jest ograniczony przez indywidualny rezystor do wartości około 10 mA, co zapewnia wyraźne świecenie przy relatywnie niewielkim poborze prądu. Napięcia 5 V do części cyfrowej wspomnianego układu dostarcza zwykły stabilizator liniowy typu 7805. Pobór prądu przez układ jest niewielki, więc nawet przy wysokim napięciu zasilającym moc strat w nim nie będzie

REKLAMA

eprasa.pl 12486519d0



Rysunek 3. Schemat montażowy płytki: a) strona TOP, b) strona BOTTOM



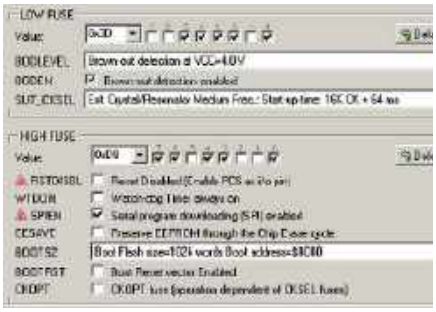
Fotografia 2. Widok zmontowanej płytki prototypowej – strona BOTTOM

uzasadniała zastąpienia go przetwornicą impulsową. Dioda D1 zabezpiecza układ przed zniszczeniem w razie pomyłkowej zamiany biegunów napięcia zasilającego. Kondensator C13, który ma znaczną pojemność, chroni część cyfrową układu przed chwilowymi zanikami napięcia, jakie mogą mieć miejsce w momencie przełączania uzwojeń silnika, czyli kiedy pobór prądu przez sterownik jest wyższy niż w stanie ustalonym.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 90 mm × 100 mm. Jej wzór ścieżek oraz schemat montażowy pokazuje **rysunek 3**.

Montaż proponuję rozpocząć od elementów o najmniejszej wysokości obudowy, czyli rezystorów, znajdujących się na spodniej



Rysunek 4. Szczegóły ustawienia bitów zabezpieczających

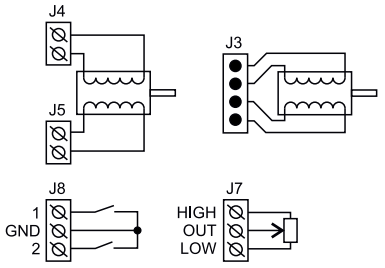
(Bottom) stronie płytki. Pozostałe elementy, które są umieszczone na tej samej stronie laminatu, można montować według wysokości ich obudowy. Pod układ scalony US1 proponuję zastosować podstawkę, aby ułatwić jego wymianę w razie uszkodzenia. Stabilizator US2 nie wymaga dodatkowego radiatora. Na drugiej stronie płytki (Top) jest miejsce dla przycisków monostabilnych S1…S6 oraz diod świecących LED1…LED8. Po wlutowaniu wszystkich podzespołów i sprawdzeniu poprawności montażu w złącza J1 i J2 można włożyć moduł z układem A4988. Polecam przy tym kierować się opisem na płytce drukowanej, który wskazuje wyprowadzenie ENABLE – na spodzie laminatu modułu A4988 można odnaleźć opisy nóżek. Odwrotne włożenie modułu może poskutkować jego zniszczeniem, dlatego kwestia ta jest szczególnie istotna. Zmontowany układ na stronie wierzchniej widać na **fotografii tytułowej**, z kolei tę samą płytkę od strony spodniej można zobaczyć na **fotografii 2**.

Na etapie uruchamiania konieczne jest zaprogramowanie pamięci Flash mikrokontrolera dostarczonym wsadem oraz zmiana jego bitów zabezpieczających. Oto ich nowe wartości:

```
Low Fuse = 0x3D
High Fuse = 0xD9
```

Szczegóły są widoczne na **rysunku 4**, na którym pokazano okno konfiguracji tychże bitów z poziomu programu BitBurner. W ten sposób zostanie uruchomiony wbudowany generator do rezonatorów kwarcowych o średniej częstotliwości oraz Brown-Out Detector, który wprowadzi mikrokontroler w stan zerowania, jeżeli jego napięcie zasilające spadnie poniżej 4 V. Zaprezentowana konstrukcja znacznie zmniejsza ryzyko zawieszenia się mikrokontrolera podczas uruchamiania.

Poprawnie zaprogramowany układ jest gotowy do działania po podłączeniu zasilania do zacisków złącza J9. Powinno to być napięcie stałe, dobrze filtrowane, lecz niekoniecznie stabilizowane. Jego wartość powinna wynosić 9...32 V z uwagi na graniczne warunki pracy stabilizatora US2 i modułu A4988 oraz wytrzymałość kondensatorów elektrolitycznych. Pobór prądu z tego źródła silnie zależy od stanu pracy układu oraz ustawionego potencjometrem

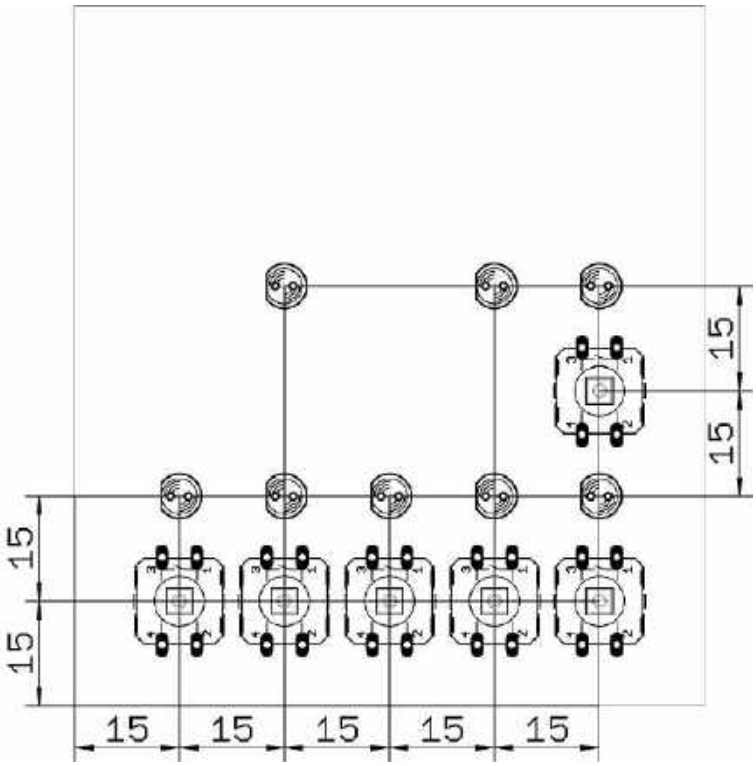


Rysunek 5. Schemat podłączenia potencjometru, silnika i wyłączników krańcowych

eprasa.pl 12486519d0

Tabela 1. Funkcje układu

Lp.	Oznaczenie funkcji	Funkcja uruchamiana przez...	Działanie funkcji
1	A	S1	Wykonanie jednego pełnego ruchu od wyłącznika do wyłącznika, potem zatrzymanie
2	B	S2	Wykonanie dwóch pełnych ruchów: od wyłącznika do wyłącznika i z powrotem, potem zatrzymanie
3	C	S3	Cykliczne wykonywanie ruchów od jednego wyłącznika do drugiego
4	D	S4	Ruch w kierunku DIR1 aż do zwolnienia przycisku lub zadziałania wyłącznika krańcowego 1
5	E	S5	Ruch w kierunku DIR2 aż do zwolnienia przycisku lub zadziałania wyłącznika krańcowego 2



Rysunek 6. Rozmieszczenie przycisków i diod LED na powierzchni płytki drukowanej

Tabela 2. Konfiguracja przełącznika SW1

Lp.	Rodzaj pracy silnika	Położenie przełącznika 1	Położenie przełącznika 2	Położenie przełącznika 3
1	Pełne kroki	OFF	OFF	OFF
2	1/2 kroku	ON	OFF	OFF
3	1/4 kroku	OFF	ON	OFF
4	1/8 kroku	ON	ON	OFF
5	1/16 kroku	ON	ON	ON

montażowym (na płytce modułu) prądu uzwojeń silnika. W stanie spoczynku pobór prądu wynosi około 10 mA. Układ A4988 pozwala ustawić prąd do 2 A na każdą z cewek silnika, lecz powyżej 1 A jest wymagany radiator. Do podłączenia silnika można zastosować złącza śrubowe J4 i J5, jak również złącze typu goldpin J3 – nie ma to znaczenia dla układu. Kierunek podłączenia uzwojeń trzeba dobrać doświadczalnie.

Do płytki należy podłączyć silnik krokowy, potencjometr ustalający szybkość obrotową oraz wyłączniki krańcowe. Schemat połączeń widoczny jest na **rysunku 5**. Potencjometr może mieć rezystancję ścieżki oporowej 10 kΩ, lecz nie jest to wymóg – jakakolwiek wartość z przedziału od kilku do kilkudziesięciu kiloomów będzie się tutaj nadawała. Przełączniki krańcowe muszą być zdolne do przewodzenia prądu o natężeniu 5 mA, zaś spadek napięcia na nich (w stanie zwarcia) nie powinien przekraczać wartości 1 V, w przeciwnym razie mikrokontroler będzie miał problem ze zinterpretowaniem tego stanu jako logiczne „0". Uwaga ta w większym stopniu dotyczy wyłączników mających fototranzystory, których napięcie nasycenia może wynosić setki miliwoltów. W przypadku elementów stykowych to zagadnienie jest nieistotne.

Siedem otworów o średnicy 3,2 mm każdy umożliwia stabilne i pewne przymocowanie laminatu. Cztery otwory są zlokalizowane w rogach, w odległości 3 mm od krawędzi laminatu, dodatkowo dwa znajdują się na środku jej dłuższych krawędzi i jeden na środku krótszej krawędzi, nieopodal przycisków.

Na **rysunku 6** pokazane jest rozmieszczenie sześciu przycisków monostabilnych i ośmiu diod elektroluminescencyjnych (są one ułożone w siatce o rastrze 15 mm). Dzięki tym informacjom można precyzyjnie wyciąć otwory w obudowie pod poszczególne elementy.

Eksploatacja

Po załączeniu zasilania układ znajduje się w stanie spoczynku: silnik nie obraca się, wszystkie diody LED są wyłączone. Jedynie dioda SLOW może się świecić, ponieważ jej stan jest odczytywany z nieulotnej pamięci EEPROM. Jeżeli się świeci, sterownik pracuje w trybie spowolnionym, czyli impulsy taktujące sterownik silnika będą generowane czterokrotnie wolniej. Wyłączenie tej diody oznacza powrót do pracy z normalną szybkością obrotową silnika. Zmiana odbywa się za pomocą przycisku SLOW (S6).

Załączenie silnika następuje po wciśnięciu jednego z pięciu przycisków S1…S5. Realizowane funkcje zostały zestawione w **tabeli 1**. Warto pamiętać, że przy każdym wciśnięciu przycisku, odpowiadającego funkcji A, B lub C, następuje zmiana kierunku ruchu silnika względem jego poprzedniego stanu. Funkcje D i E zawsze działają w tę samą stronę.

Układ nie ma limitu czasowego na wykonywany ruch – funkcje A i B będą się realizowały tak długo, aż zostaną zwarte wyłączniki krańcowe. Można je wcześniej wyłączyć poprzez wciśnięcie ponownie tego samego przycisku. Z kolei funkcja C będzie działać w nieskończoność, ją również można wyłączyć poprzez ponowne wciśnięcie przycisku S3. Funkcje D i E ustają natychmiast po zwolnieniu przycisku lub zwarciu odpowiedniego wyłącznika krańcowego. Diody LED1…LED5 sygnalizują działanie odpowiedniej funkcji, z kolei LED6 i LED7 – kierunek obrotów silnika.

W celu uniknięcia nadmiernego poboru mocy przez układ rekomenduję ustawienie możliwie niskiego prądu uzwojeń silnika. Układ A4988 nie będzie się wówczas przegrzewał, być może nawet nie będzie wymagał naklejenia radiatora. Warto również skonfigurować, zgodnie z **tabelą 2**, pożądany rodzaj pracy silnika. Im drobniejsze kroki wykonuje, tym płynniejsza wydaje się jego praca, lecz jednocześnie z tym mniejszą szybkością może się on obracać.

Michał Kurzela, EP

eprasa.pl 12486519d0

AVT sklep

W ofercie AVT*
AVT6045

Najważniejsze parametry:
- konstrukcja oparta na 8-pozycyjnym, 14-segmentowym wyświetlaczu LCD,
- wbudowany konwerter USB-UART typu FT230X,
- cztery mikroprzyciski do dowolnego zaprogramowania,
- napięcie zasilania: 5 V (z gniazda USB)
- wbudowany stabilizator napięcia 3,3 V.

* **Uwaga!** Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania! Podstawową wersją zestawu jest wersja **[B]** nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji **[B]** zawiera elementy elektroniczne (w tym **[UK]** – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu. Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:
- **wersja [C]** – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw **[B]** (elementy wlutowane w płytkę PCB),
- **wersja [A]** – płytka drukowana bez elementów i dokumentacji.

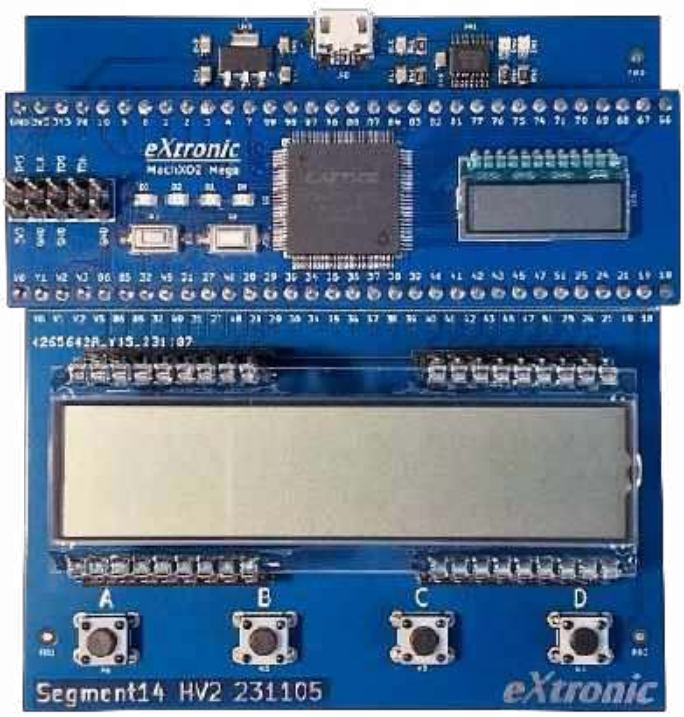
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik PDF! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!
http://sklep.avt.pl

W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: **kity@avt.pl**.

Płytka rozwojowa do testów 14-segmentowego wyświetlacza LCD

Płytka Segment14 powstała, aby umożliwić wygodne wykonanie ćwiczeń opisanych w 20 i 21 odcinku kursu FPGA Lattice, który publikowany jest co miesiąc w „Elektronice Praktycznej". Współpracuje ona z płytką MachXO2 mega, zaprezentowaną w EP 2023/09.



Płytka jest bardzo prosta – jej schemat pokazano na **rysunku 1**.

Omówienie schematu zacznijmy od złączy J2 i J3, widocznych w lewym górnym rogu. Są to złącza goldpin o rastrze 2,54 mm umożliwiające umieszczenie w nich płytki MachXO2 Mega z układem FPGA. Niebieskie liczby obok symboli złączy to numery pinów układu FPGA, do których doprowadzone są oznaczone sygnały. Możemy podzielić je na trzy grupy: 36 sygnałów związanych z wyświetlaczem LCD, 4 sygnały od przycisków oraz 2 sygnały interfejsu UART.

W płytce zastosowano wyświetlacz LCD typu VIM-828-DP13.2-RC-S-LV firmy Varitronix. Ma on 36 elektrod, a każda z nich musi być sterowana czterema różnymi napięciami: 0 V, 1 V, 2 V oraz 3 V. Piny układu FPGA działają zero-jedynkowo, dostarczając napięcie albo 0 V albo 3 V. Napięcia pośrednie możemy wygenerować stosując modulację PWM, a następnie przepuszczając tak wygenerowany sygnał przez filtr RC. Niestety, na każdy pin wyświetlacza potrzebujemy osobnego filtru RC. Z tego powodu na schemacie widzimy 36 rezystorów o rezystancji 4,7 kΩ oraz tyle samo kondensatorów o pojemności 1 nF.

W celu komunikacji z komputerem zastosowano konwerter USB/UART typu FT230X produkcji FTDI. Układ ten podłączony jest w najprostszy możliwy sposób, zgodnie z jego dokumentacją. Dzięki temu będzie można sterować układem FPGA poprzez wysyłanie poleceń z dowolnego terminala na komputerze.

Na płytce mamy do dyspozycji cztery przyciski, oznaczone literami A, B, C i D. Nie zastosowano żadnych rezystorów pull-up ani filtrów RC. Należy włączyć rezystory podciągające wbudowane w FPGA MachXO2, a drgania styków – wyeliminować również wewnątrz FPGA (sposób realizacji tego rozwiązania był omawiany w kursie).

Ostatnim elementem jest prosty stabilizator napięcia 1117-3.3, który konwertuje napięcie 5 V z gniazda USB na napięcie 3,3 V, zdatne do zasilania układu FPGA oraz wyświetlacza.

Wszystkie elementy, poza złączami i przyciskami, montowane są w technologii SMT, aby płytkę lutowało się łatwo i szybko. Polecam

Wykaz elementów:

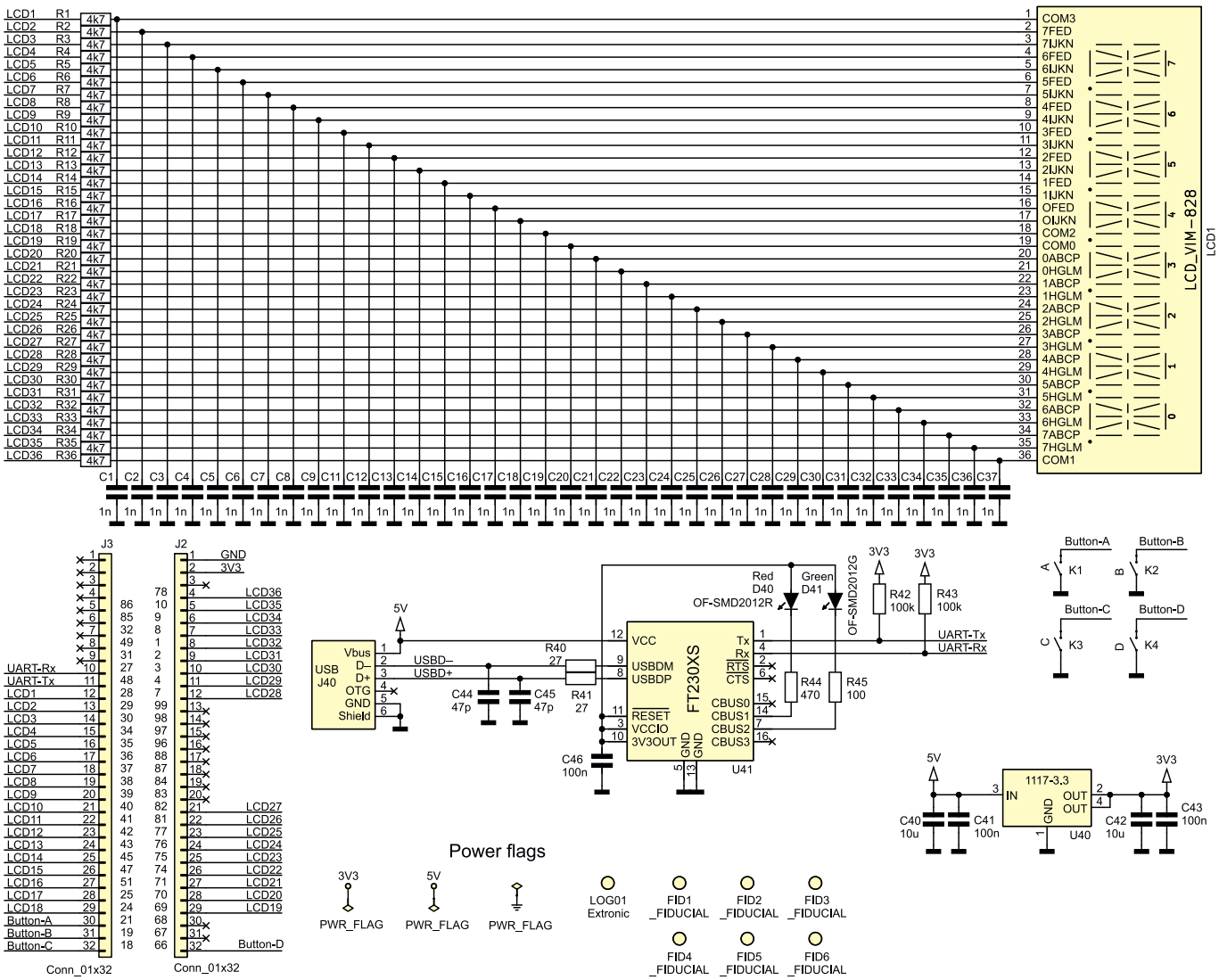
Rezystory: (SMD 0805, 5%)
R1...R36: 4,7 kΩ
R40, R41: 27 Ω
R42, R43: 100 kΩ
R44: 470 Ω
R45: 100 Ω

Półprzewodniki:
D40: dioda LED czerwona (SMD 0805)
D41: dioda LED zielona (SMD 0805)
U40: 1117-3.3 (SOT223)
U41: FT230XS (TSSOP16 r=0,65 mm)

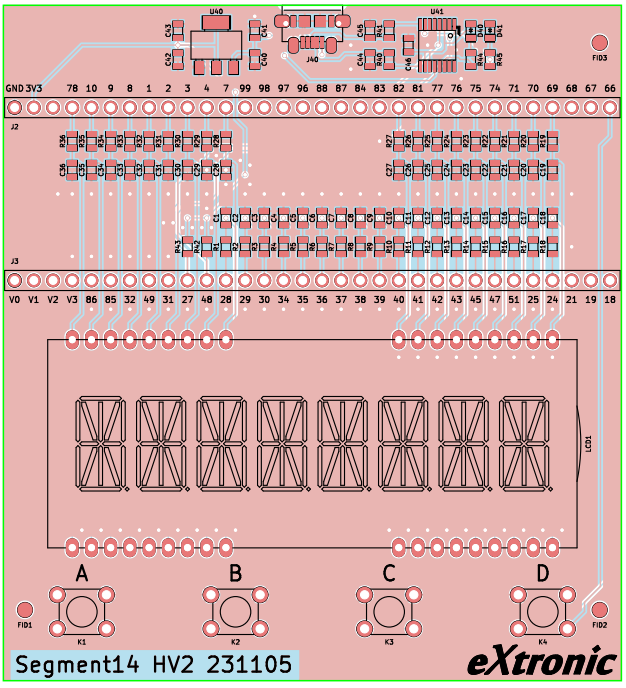
Kondensatory: (SMD 0805, X7R)
C1...C36: 1 nF
C41, C43, C46: 100 nF
C40, C42: 10 μF
C44, C45: 47 pF

Pozostałe:
K1...K4: microswitch 6×6 mm (THT)
LCD1: wyświetlacz LCD typu VIM-828-DP13.2-RC-S-LV
J2, J3: złącze goldpin 1×32, r=2,54 mm
J40: gniazdo micro USB (typ 10118194-0001LF)

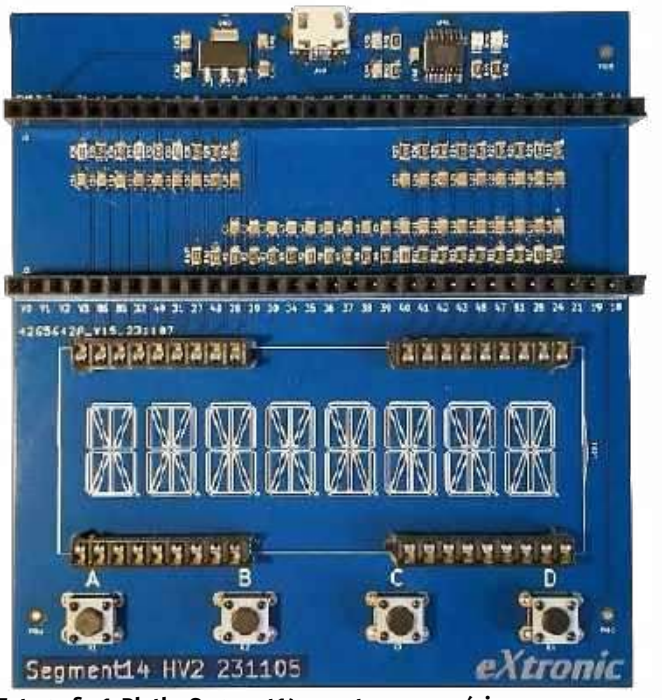
eprasa.pl 12486519d0



Rysunek 1. Schemat płytki



Rysunek 2. Schemat montażowy płytki



Fotografia 1. Płytka Segment14 zmontowana częściowo

eprasa.pl 12486519d0

Fotografia 2. Uruchomiona płytka Segment14

zamocować wyświetlacz za pomocą podstawek DIL pod układy scalone, aby w razie potrzeby dało się go łatwo wyciągnąć. Zastosowałem podstawki DIL18, po wcześniejszym pocięciu ich na kawałki. Płytkę w trakcie montażu pokazano na **fotografii 1**, a płytkę uruchomioną prezentuje **fotografia 2**.

Po zmontowaniu płytka powinna od razu działać. Układ FT230X można co prawda skonfigurować programem FT_PROG, lecz nie ma potrzeby zmieniać jego domyślnych ustawień.

Cała dokumentacja montażowa oraz pliki gerber dostępne są do pobrania z serwera EP (link do pliku Segment14 HV2 231105.zip).

Dominik Bieczyński
leonow32@gmail.com

REKLAMA

Pobierz bezpłatnie
multimedialne dodatki
do tego wydania
„Elektroniki Praktycznej"

Projekty, miniprojekty, materiały do artykułów i kursów oraz wiele innych!

* Kupiłeś magazyn w Ulubionym Kiosku lub masz prenumeratę? Multimedialne dodatki będą odblokowane automatycznie!

* Zakupiłeś czasopismo u zewnętrzenego dystrybutora? Odblokuj bibliotekę multimediów samodzielnie.

Szczegóły na UlubionyKiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0

AVT sklep

Najważniejsze parametry:
- konstrukcja oparta na układzie PCA8561A,
- niewielki pobór prądu: 4,5 µA przy odświeżaniu 32 Hz, 1 µA przy wyłączonym wyświetlaczu,
- napięcie zasilania: 3...5 V,
- wbudowany 7-segmentowy, 4-pozycyjny ekran LCD.

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media
---- Graficzny wyświetlacz OLED 2,3" z interfejsem I²C (EP 5/2023)
---- Dwukanałowy czujnik temperatury z interfejsem I²C (EP 2/2023)
---- Uniwersalny adapter I²C (EP 1/2023)
---- Licznik impulsów z podtrzymaniem bateryjnym (EP 12/2022)
---- Ekspander DAC z układem LTC1663 (EP 10/2022)

* **Uwaga!** Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania! Podstawową wersją zestawu jest wersja **[B]** nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji **[B]** zawiera elementy elektroniczne (w tym **[UK]** – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu. Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:
- **wersja [C]** – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw **[B]** (elementy wlutowane w płytkę PCB),
- **wersja [A]** – płytka drukowana bez elementów i dokumentacji.

Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik PDF! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!
http://sklep.avt.pl

W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: **kity@avt.pl**.

Ekspander 7-segmentowego wyświetlacza LCD

Prezentowany wyświetlacz – w porównaniu z tymi z tokijskiej dzielnicy Shibuya lub nowojorskiego Time Square – prezentuje się raczej skromnie, można powiedzieć nawet „szaro", prześcigając konkurentów jedną tylko zaletą, jaką jest niewielki pobór prądu. Czasem jednak właśnie ta jedna cecha czyni go bezkonkurencyjnym w zastosowaniach, w których inne wyświetlacze (nawet superkolorowe i o wysokiej rozdzielczości) nie zdają egzaminu.
Omówiony w artykule minimoduł ze sterownikiem czterocyfrowego wyświetlacza segmentowego LCD z magistralą I²C okazuje się przydatny, gdy zastosowany procesor nie ma wbudowanego kontrolera LCD, a zależy nam na wyświetleniu niewielkiej ilości informacji przy maksymalnym ograniczeniu poboru mocy. Moduł jest zgodny Raspberry Pi Pico, STM32, Arduino i nie tylko...

Komunikacja z użytkownikiem nie zawsze wymaga „dużych" wyświetlaczy graficznych, w wielu przypadkach sprawdzi się prosty, siedmiosegmentowy wyświetlacz LED. Cechuje się on jednak znacznym poborem mocy. Gdy zależy nam na oszczędnym gospodarowaniu energią, warto przemyśleć zastosowanie znakowego ekranu LCD, a gdy dodatkowo poszukujemy rozwiązania o niewielkich rozmiarach, pozostają do wyboru tylko wyświetlacze multipleksowane. Wybór mikrokontrolerów z wbudowanym sterownikiem LCD jest ograniczony, sam interfejs zajmuje sporą liczbę wyprowadzeń, a nie zawsze chcemy rezygnować z własnych preferencji co do wyboru mikrokontrolera. Wtedy z pomocą przychodzą zewnętrzne układy driverów LCD, m.in. zastosowany w module PCA8561A, którego strukturę wewnętrzną ukazano na **rysunku 1**.

PCF8561A zawiera układ drivera i polaryzacji wyświetlacza LCD pracującego w trybie multipleksowym, umożliwiając wysterowanie do 18 segmentów (SEG) z maksymalnie czterema elektrodami wspólnymi (COM). Układ obsługuje tryb statyczny i multipleksowany 1:2/3/4 wraz z generowaniem napięcia zasilającego elektrody wspólne. PCA8561A ma wbudowany generator taktujący, układ resetu POR, rejestry pamięci

Wykaz elementów:

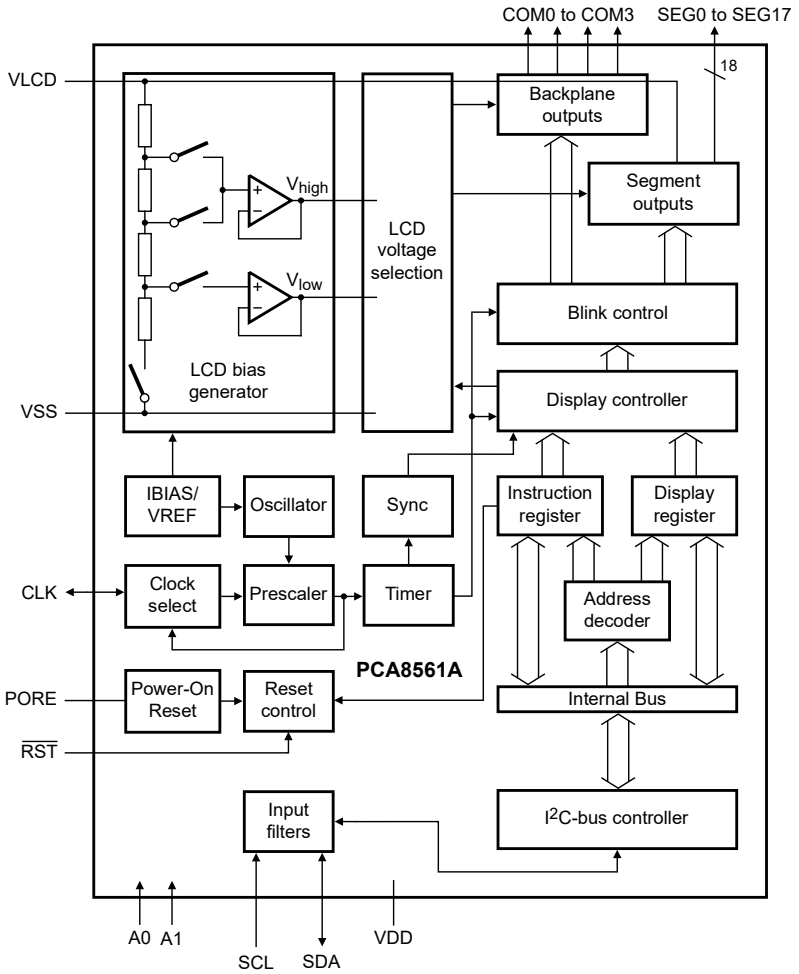
Rezystory: (SMD 0402)
R1, R2: 10 kΩ

Kondensatory: (SMD 0402, X7R, 10 V)
C1: 100 nF
C2, C3: 1 µF

Półprzewodniki:
U1: PCA8561AHN (QFN32_050)
U2: AP2138N-2.5TRG1 (SOT-23)

Pozostałe:
LCD: wyświetlacz LCD, typ S401M16KR
I²C: złącze JST 1 mm

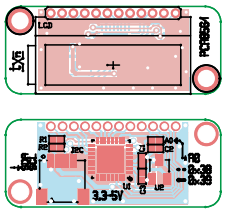
eprasa.pl 12486519d0



Rysunek 1. Budowa wewnętrzna PCA8561A (za notą NXP)

przechowujące kształt wyświetlanego znaku oraz – oczywiście – kontroler interfejsu I²C 400 kHz. Dostępna jest też wersja PCA8561B z łączem SPI.

Schemat układu pokazano na **rysunku 2**. Układ U1 taktowany jest wbudowanym generatorem, magistrala I²C doprowadzona została do złącza I²C zgodnego ze standardem QWIIC. Zwora A0 umożliwia wybór adresu 0x38/0x39, pod którym widoczny jest moduł na magistrali, co umożliwia zastosowanie nawet dwóch wyświetlaczy na wspólnej szynie komunikacyjnej. Sam układ pozwala na przypisanie czterech adresów poprzez zmianę stanów wyprowadzeń A0, A1 (przy czym wyprowadzenie A1 nie zostało użyte w modelu). Układ wymaga zasilania 3...5 V; wbudowany w U1 układ resetu POR, aktywowany stanem wysokim wyprowadzenia PORE, zapewnia prawidłowy restart po włączeniu zasilania. Wbudowany stabilizator U2 zapewnia zasilanie 2,5 V ekranowi LCD i jest ono niezależne od napięcia zasilającego U1, co gwarantuje elastyczność aplikacji. Napięcie 2,5 V oferuje wystarczająco dobrą czytelność i margines zasilania dla LDO.



Rysunek 3. Rozmieszczenie elementów na płytce modułu (a – strona TOP, b – strona BOTTOM)

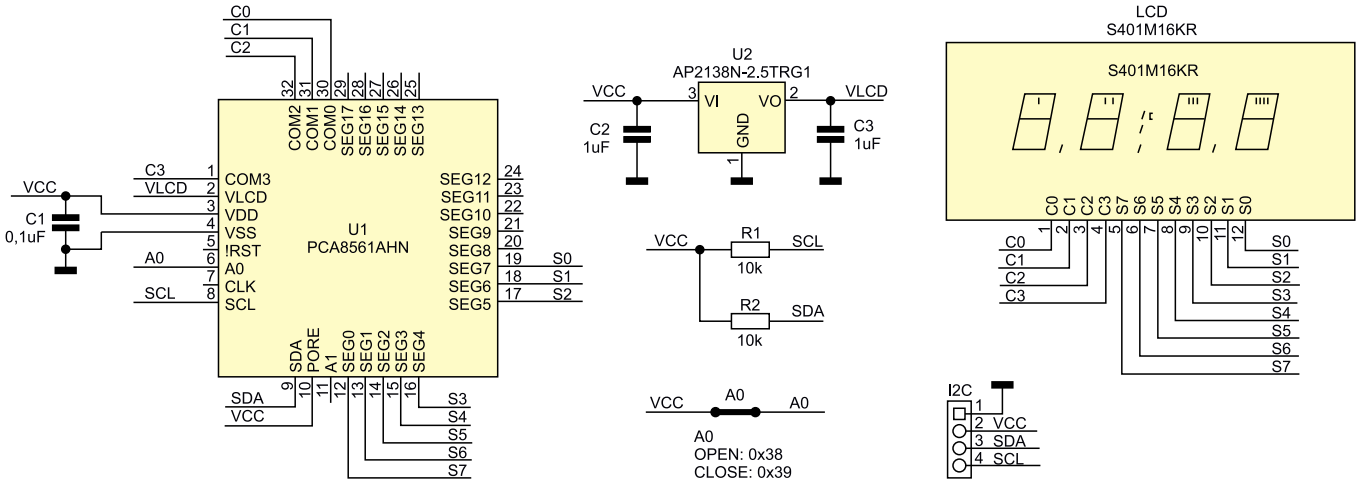
Można też zastosować stabilizator o napięciu 2,8 V w celu zwiększenia kontrastu wyświetlacza. Do wyprowadzeń SEG0..7 podłączone są segmenty ekranu LCD, natomiast elektrody wspólne wyprowadzono na linie COM0..3. Model współpracuje z miniaturowym wyświetlaczem S401M16KR, umożliwiającym wyświetlenie czterech cyfr siedmiosegmentowych o wysokości 4,4 mm, wraz z przecinkami i dwukropkiem zegarowym.

Układ zmontowany został na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, rozmieszczenie elementów pokazano na **rysunkach 3a i 3b**. Montaż jest typowy i nie wymaga opisu. Podczas prac montażowych należy zachować wymogi ESD, gdyż układ PCF i wyświetlacz mogłyby zostać uszkodzone ładunkami statycznymi. Przed przylutowaniem wyświetlacza warto ustalić mechanicznie jego położenie za pomocą paska samoprzylepnej, dwustronnej taśmy piankowej.

Zmontowany moduł zaprezentowano na **fotografii tytułowej**.

Sterowanie wyświetlaczem odbywa się poprzez rejestry układu PCA8561A, mapę rejestrów pokazano na **rysunku 4**.

Układ ma cztery rejestry sterujące pod adresami 0x00...0x03 i 12 rejestrów przechowujących kształt wyświetlonego znaku przypisanego do elektrody wspólnej 0x04...0x0F. W przypadku wyświetlacza S401 tryb multipleksowania oraz napięcia elektrod (MUX=1:4, BIAS=1/3) odpowiadają ustawieniom domyślnym PCA8561A. Aby uruchomić wyświetlanie, wystarczy określić częstotliwość odświeżania z zakresu



Rysunek 2. Schemat ideowy układu

eprasa.pl 12486519d0

Register name	Address	Bits							
	AP[4:0]	7	6	5	4	3	2	1	0
Command registers									
Software_reset	00h	SR[7:0]							
Device_ctrl	01h	0	0	0	FF[2:0]			OSC	COE
Display_ctrl_1	02h	0	0	0	BOOST	MUX[1:0]		B	DE
Display_ctrl_2	03h	0	0	0	0	0	BL[1:0]		INV
Display data registers[1]									
COM0	04h	SEG7	SEG6	SEG5	SEG4	SEG3	SEG2	SEG1	SEG0
	05h	SEG15	SEG14	SEG13	SEG12	SEG11	SEG10	SEG9	SEG8
	06h	-	-	-	-	-	-	SEG17	SEG16
COM1	07h	SEG7	SEG6	SEG5	SEG4	SEG3	SEG2	SEG1	SEG0
	08h	SEG15	SEG14	SEG13	SEG12	SEG11	SEG10	SEG9	SEG8
	09h	-	-	-	-	-	-	SEG17	SEG16
COM2	0Ah	SEG7	SEG6	SEG5	SEG4	SEG3	SEG2	SEG1	SEG0
	0Bh	SEG15	SEG14	SEG13	SEG12	SEG11	SEG10	SEG9	SEG8
	0Ch	-	-	-	-	-	-	SEG17	SEG16
COM3	0Dh	SEG7	SEG6	SEG5	SEG4	SEG3	SEG2	SEG1	SEG0
	0Eh	SEG15	SEG14	SEG13	SEG12	SEG11	SEG10	SEG9	SEG8
	0Fh	-	-	-	-	-	-	SEG17	SEG16

Rysunek 4. Mapa rejestrów PCF8561A (za notą NXP)

Tabela 1. Przypisanie segmentów LCD

REG	DIG4 (U)		DIG3 (D)		DIG2 (H)		DIG1 (T)	
	SEG0	SEG1	SEG2	SEG3	SEG4	SEG5	SEG6	SEG7
04h	COL	4D	DP3	3D	DP2	2D	DP1	1D
07h	4C	4E	3C	3E	2C	2E	1C	1E
0Ah	4B	4G	3B	3G	2B	2G	1B	1G
0Dh	4A	4F	3A	3F	2A	2F	1A	1F

Fotografia 1. Test wyświetlacza

32 Hz...256 Hz: FF[2:0] domyślnie 64 Hz, załączyć oscylator OSC w rejestrze kontrolnym Device_Ctrl_1(0x02), skonfigurować tryb pracy podłączonego wyświetlacza: BOOST, MUX[1:0], B(BIAS) w rejestrze kontrolnym Device_Ctrl_2(0x03) oraz aktywować sterownik DE w rejestrze Display_ctrl_1(0x02). Dodatkowo można zastosować tryb automatycznego migania BL[1:0] w zakresie 0,5 Hz...2 Hz oraz określić tryb sterowania kompensujący składową stałą INV (linia/ramka). Szczegółowy opis rejestrów zamieszczono w karcie katalogowej PCA8561A.

Do sterowania segmentami LCD użyte zostały rejestry COM0..3, w związku z użyciem wyprowadzeń SEG0..7, aktywne są tylko rejestry pod adresami 0x04, 0x07, 0x0A, 0x0D. Przypisanie fizycznych segmentów LCD pokazano w **tabeli 1**.

Moduł LCD nie wymaga uruchamiania. W celu szybkiego sprawdzenia zmontowaną płytkę można podłączyć do Raspberry Pi lub Arduino. Adres bazowy ustalony zworą A0 określony jest na 0x38, co w przypadku Raspberry można sprawdzić poleceniem:

```
I²Cdetect -y 1
```

Rysunek 5. Detekcja układu PCA8561A

```
#!/bin/bash
#PCA8561A test
echo "PCA8561 Test - 8.8:.8.8 blink"
I²Cset -y 1 0x38 0x01 0x00
I²Cset -y 1 0x38 0x02 0x01
I²Cset -y 1 0x38 0x03 0x06
I²Cset -y 1 0x38 0x04 0xFF
I²Cset -y 1 0x38 0x07 0xFF
I²Cset -y 1 0x38 0x0A 0xFF
I²Cset -y 1 0x38 0x0D 0xFF
sleep 2
echo "PCA8561 Test - 12:45"
I²Cset -y 1 0x38 0x03 0x00
I²Cset -y 1 0x38 0x04 0xC4
I²Cset -y 1 0x38 0x07 0xA6
I²Cset -y 1 0x38 0x0A 0x7E
I²Cset -y 1 0x38 0x0D 0xD8
echo "Quit"
```

Listing 1. Skrypt testowy PCA8561A

którego wynik działania pokazano na **rysunku 5**.

Jeżeli układ jest dostępny na magistrali, możemy określić parametry wyświetlania (MUX, BIAS, BL) w rejestrach konfiguracyjnych:

```
I²Cset -y 1 0x38 0x01 0x00
I²Cset -y 1 0x38 0x02 0x01
I²Cset -y 1 0x38 0x03 0x00
```

oraz wysterować w celu sprawdzenia wszystkie segmenty LCD:

```
I²Cset -y 1 0x38 0x04 0xFF
I²Cset -y 1 0x38 0x07 0xFF
I²Cset -y 1 0x38 0x0A 0xFF
I²Cset -y 1 0x38 0x0D 0xFF
```

można też wypróbować tryb migania:

```
I²Cset -y 1 0x38 0x03 0x06
```

Wszystkie polecenia jesteśmy w stanie wykonać skryptem pca8561a.sh z **listingu 1** lub szkicem PCA8561A.ino z materiałów dodatkowych.

Efekt działania skryptu pokazano na **fotografii 1**.

Podczas testów pobór prądu modułu zasilanego napięciem 3,3 V, w którym wysterowano wszystkie segmenty, wynosił poniżej 4,5 µA przy odświeżaniu 32 Hz – wzrastając do 6,5 µA przy częstotliwości odświeżania 256 Hz. W trybie wyłączonego wyświetlania (DE=0) wynosił poniżej 1 µA, co sprowadza się praktycznie do prądu spoczynkowego stabilizatora U2. Niskie pobory prądu pozwalają zasilać wyświetlacz z niewielkiej baterii przez długi czas.

Jeżeli wszystko działa poprawnie, można moduł zastosować we własnej aplikacji. Powodzenia!

Adam Tatuś, EP

eprasa.pl 12486519d0

AVT sklep

W ofercie AVT*
AVT6046

Najważniejsze parametry:
- niezależne porty RS232 i RS485 podłączone do osobnych bloków UART procesora RP2040,
- napięcie zasilania: 3,3 V
- wbudowane diody LED sygnalizujące kierunek transmisji,
- maksymalna prędkość transmisji RS485: 500 kbps.

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media

AVT6030	Dwuportowy mikro HUB USB-C dla systemów wbudowanych (EP 3/2024)
–––––	Dwukanałowy port szeregowy z pełnym interfejsem UART (EP 1/2024)
–––––	Moduł czterech wyjść HighSide do RPi Pico (EP 11/2023)
–––––	Filtr zasilania do Raspberry Pi (EP 9/2023)
–––––	Ekspander GPIO RPi z taśmą FPC (EP 8/2023)

* **Uwaga!** Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania! Podstawową wersją zestawu jest wersja **[B]** nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji **[B]** zawiera elementy elektroniczne (w tym **[UK]** – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu. Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:
- **wersja [C]** – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw **[B]** (elementy wlutowane w płytkę PCB),
- **wersja [A]** – płytka drukowana bez elementów i dokumentacji.

Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

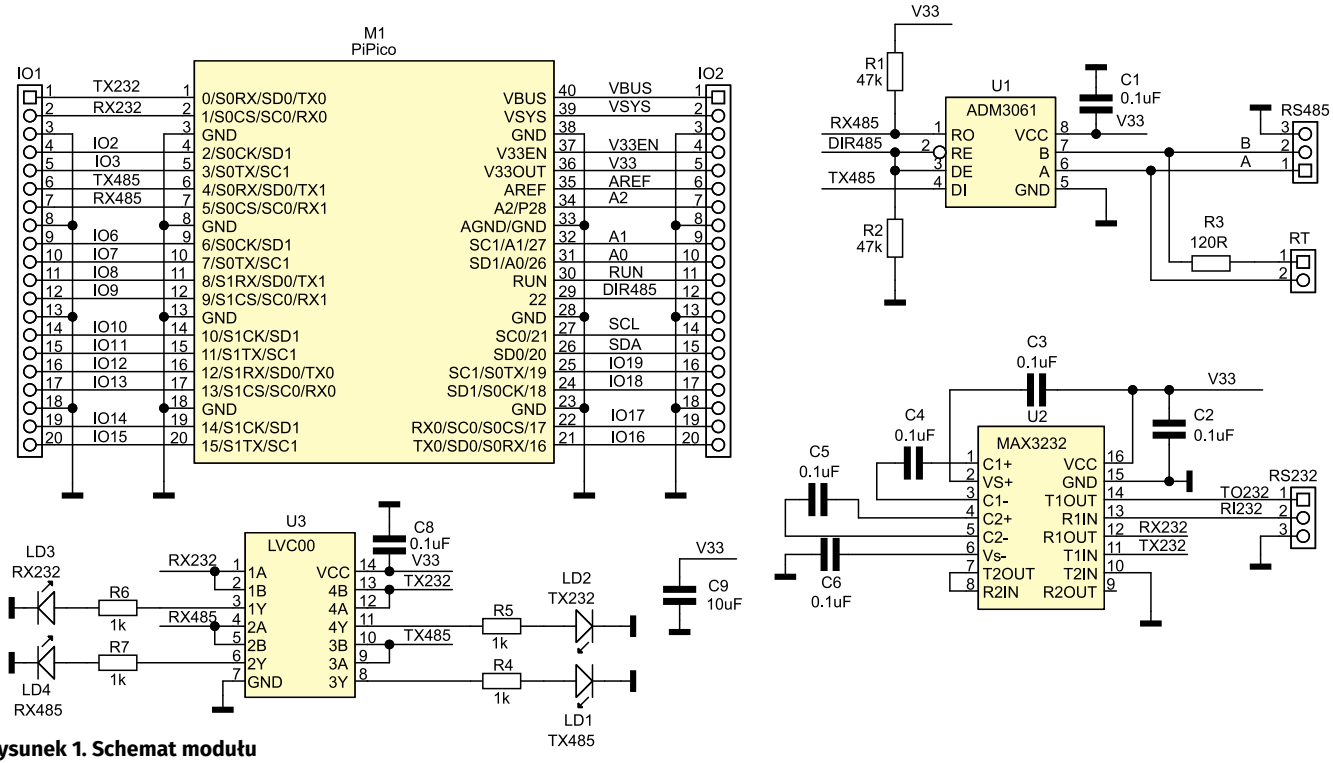
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik PDF! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!
http://sklep.avt.pl

W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: **kity@avt.pl**.

Moduł komunikacji szeregowej RS232/RS485 do Raspberry Pi Pico

Zaprezentowana płytka rozszerza funkcjonalność Raspberry Pi Pico o drivery portów szeregowych w standardach RS232 i RS485, przydatne w domowej automatyce i nie tylko.

Schemat modułu pokazano na **rysunku 1**. Płytka zawiera drivery portów komunikacyjnych w standardach RS232 i RS485. Układ U1 typu ADM3061 obsługuje komunikację RS485 w trybie half-duplex z prędkością



Rysunek 1. Schemat modułu

Wykaz elementów:

Rezystory:
R1, R2: 47 kΩ (SMD 0603, 5%)
R3: 120 Ω (SMD 1206, 1%)
R4...R7: 1 kΩ (SMD 0603, 5%)

Kondensatory: (SMD 0603, X7R)
C1...C6, C8: 100 nF
C9: 10 µF

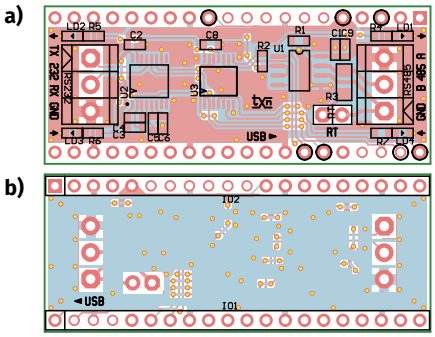
Półprzewodniki:
LD1, LD2: dioda LED czerwona (SMD 0603)
LD3, LD4: dioda LED żółta (SMD 0603)
U1: ADM3061 (SO-8)
U2: MAX3232 (TSSOP-16, r=0,65 mm)
U3: LVC00 (TSSOP-14, r=0,65 mm)

Pozostałe:
IO1,IO2: gniazdo SIP20 żeńskie
RS232, RS485: złącze śrubowe DG 3,5 mm 3-pin (DG381-3.5-3)
RT: zwora SIP2 + listwa SIP2 2,54 mm

eprasa.pl 12486519d0

```
from machine import UART, Pin
import time

uart0 = UART(0, baudrate=9600, tx=Pin(0), rx=Pin(1))

txData = b'UART 232 Loopback Test\n\r'
uart0.write(txData)
time.sleep(0.1)
rxData = bytes()
while uart0.any() > 0:
    rxData += uart0.read(1)

print(rxData.decode('utf-8'))
```

Listing 1. Skrypt testowy Loop232.py



Rysunek 2. Rozmieszczenie elementów modułu: a) – strona TOP, b) – strona BOTTOM

maksymalną 500 kbps, zapewniając przy tym pełne zabezpieczenie przed zwarciem, rozwarciem magistrali i skutkami przepięć. Układ zasilany jest napięciem 3,3 V, generowanym przez Raspberry Pi Pico i korzysta z UART1 (GPIO4,5) oraz GPIO22 (DIR485) do sterowania kierunkiem transmisji, natomiast bramki U3 buforują diody LD1,4 sygnalizujące stany na liniach komunikacji TX485/RX485. Z kolei układ U2 typu MAX3232 obsługuje komunikację RS232 i używa UART0 (GPIO0,1), zaś pozostałe bramki układu U3 buforują diody LD2,3 sygnalizujące stany sygnałów komunikacji TX232/RX232.

Sygnały magistral wyprowadzone zostały na złącza śrubowe RS232, RS485. Zwora RT umożliwia terminowanie magistrali RS485 rezystorem R3.

Układ został zmontowany na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, rozmieszczenie elementów pokazano na **rysunkach 2a** i **2b**.

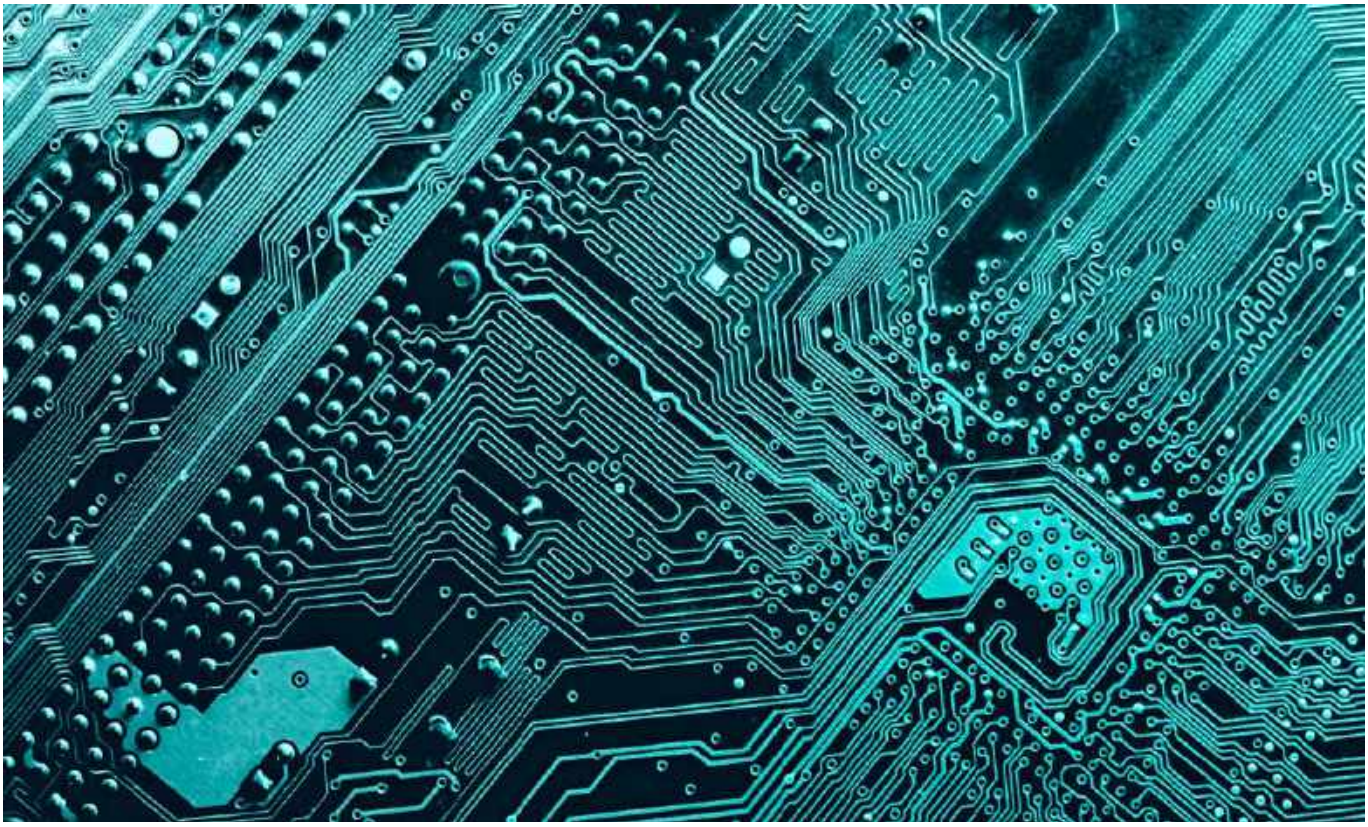
Montaż nie wymaga dokładniejszego opisu – gotową płytkę zaprezentowano na **fotografii tytułowej**.

W celu sprawdzenia działania interfejsu RS232 można uruchomić prosty skrypt testowy *Loop232.py*, który po zwarciu wyprowadzeń TX z RX złącza RS232 sprawdzi poprawność działania U2. Zawartość pliku *Loop232.py* pokazano na **listingu 1.**

Port RS485 można sprawdzić, podłączając do niego konwerter RS485/USB i pamiętając o konieczności zmiany kierunku transmisji sygnałem DIR485.

Adam Tatuś, EP

REKLAMA



PCBWay – kompleksowy outsourcing w branży elektronicznej

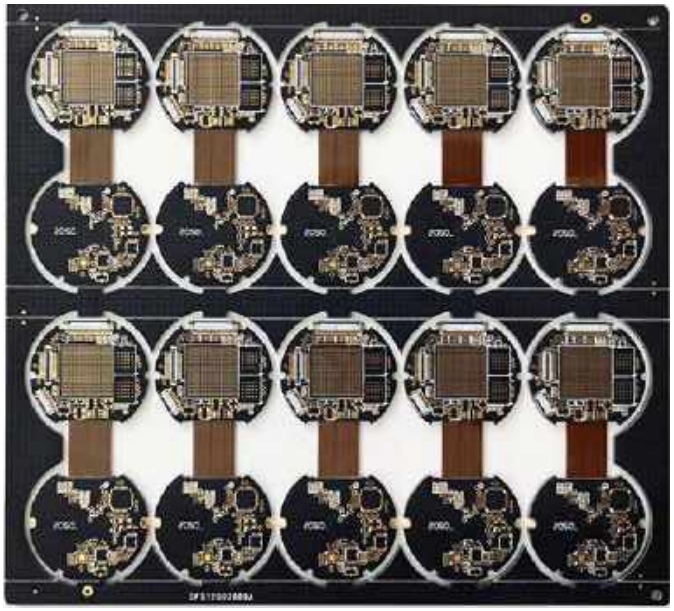
Elektronika jest specyficzną branżą – produkcja urządzeń (zarówno pojedynczych prototypów, jak i dużych serii wyrobów komercyjnych) wymaga interdyscyplinarnego podejścia, łączącego w sobie wytworzenie i montaż nie tylko samych obwodów drukowanych, ale także obudów, a nierzadko również innych podzespołów mechanicznych. Unikalna oferta firmy PCBWay obejmuje wszystkie wymienione usługi, a szeroka gama stosowanych technologii sprawia, że optymalne rozwiązania znajdą tu dla siebie wszyscy odbiorcy – przedsiębiorstwa produkcyjne, działy R&D, instytucje publiczne, a nawet… amatorzy elektroniki.

Fundamentem każdego współczesnego urządzenia elektronicznego jest płytka drukowana. Technologia PCB rozwija się intensywnie już od kilkudziesięciu lat, a niemal z roku na rok – w miarę formułowania coraz wyższych wymagań w zakresie miniaturyzacji i zwiększania osiągów pod względem elektrycznym (m.in. z uwagi na rosnącą częstotliwość taktowania procesorów oraz pamięci) – wzrasta liczba kolejnych, coraz poważniejszych wyzwań, którym muszą stawiać czoła producenci PCB. Jeszcze kilkanaście lat temu wyprodukowanie nawet kilku prostych 2-stronnych obwodów drukowanych wiązało się z relatywnie sporymi kosztami – szczególnie dotkliwymi w przypadku amatorów elektroniki oraz małych lub początkujących firm. Obwody wielowarstwowe jawiły się w tej sytuacji jako swoisty luksus, zarezerwowany tylko dla odbiorców o zasobnym portfelu – i siłą rzeczy były stosowane tylko w przypadkach absolutnej konieczności.

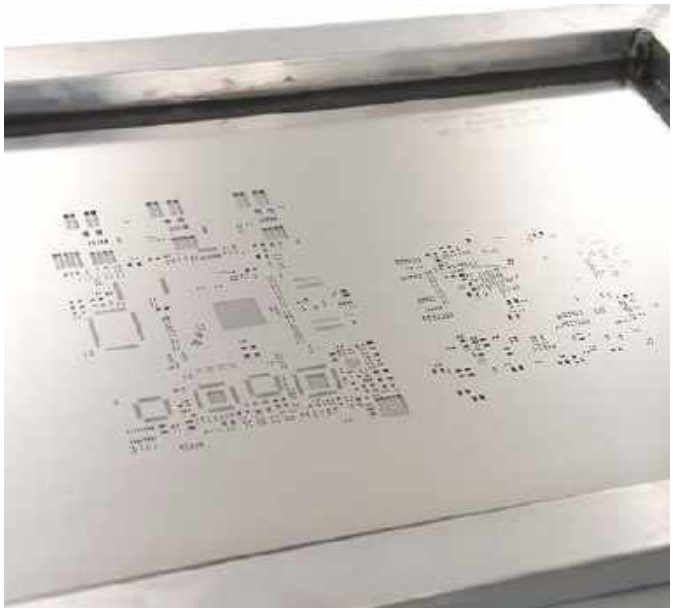
Warunki uprawiania elektronicznego fachu zmieniły się diametralnie po wkroczeniu na rynek firmy PCBWay – czołowego dostawcy obwodów drukowanych oraz usług w zakresie szybkiego prototypowania obudów i elementów mechanicznych. Dziś oferta firmy zawiera pięć głównych usług obejmujących pełny wachlarz możliwości produkcyjnych (**rysunek 1**).

Rysunek 1. Oferta PCBWay w zakresie usług produkcyjnych dla branży elektronicznej

eprasa.pl 12486519d0



Fotografia 1. Przykładowe obwody sztywno-giętkie



Fotografia 3. Przykładowy szablon do nakładania pasty lutowniczej

1. **Standard PCB** – o ile w przypadku wielu rodzimych producentów pojęcie „standardowych płytek drukowanych" sprowadza się do wytwarzania obwodów dwuwarstwowych, o tyle w PCBWay ta część oferty obejmuje konstrukcje 1-, 2-, 4-, 6-, 8-, 10-, 12-, a nawet 14-warstwowe, wytwarzane na bazie laminatów o charakterystyce (do wyboru) TG130-140, TG150-160, TG170-180, S1000H TG150 lub S100-2M TG170. Mało tego – w zakres zamówień „standardowych" wchodzą nawet płytki drukowane na podłożach aluminiowych, miedzianych oraz na specjalistycznych laminatach RF marki Rogers (4003C lub 4350B). Co więcej, dla inżynierów i operatorów parku maszynowego PCBWay problemu nie stanowią nawet rozbudowane obwody HDI z przelotkami zagrzebanymi i ślepymi – a wciąż mówimy tutaj tylko o zakładce „Standard PCB"!
2. **Advanced PCB** – tutaj do dyspozycji użytkownika są opcje zamawiania produkcji płytek drukowanych o potężnym stopniu złożoności – stos może liczyć nawet 60 warstw, a lista używanych materiałów bazowych obejmuje nawet specjalne laminaty mikrofalowe na pasmo dochodzące do 25 GHz. Ofertę w tym zakresie uzupełnia szeroki wachlarz dostępnych grubości miedzi (nawet 20 oz), rodzajów pokryć, a także usług dodatkowych – PCBWay jest w stanie wyprodukować m.in. półotwory lutownicze typu *castallated holes*, wbudowane bloki chłodzące (*copper coins*), wnęki frezowane w osi Z czy też metalizacje krawędzi.
3. **FPC/Rigid-Flex** – firma PCBWay wytwarza nie tylko obwody na podłożach sztywnych, ale także płytki elastyczne i sztywno-giętkie (**fotografia 1**) nawet do 16 warstw. Możliwe jest dostosowanie zamówienia do potrzeb określonej aplikacji m.in. poprzez dodanie warstwy samoprzylepnej 3M lub Tesa, ekranowania taśmy połączeniowej czy też niestandardowych usztywnień częściowych.
4. **Assembly** – PCBWay oferuje kompleksowe usługi w zakresie montażu obwodów drukowanych, zarówno w technologii SMT (**fotografia 2**), jak i THT. Pod względem logistycznym dostępne są trzy formy współpracy, różniące się sposobem rozdzielenia łańcucha dostaw pomiędzy klienta oraz dział zaopatrzenia PCBWay.
5. **SMD-Stencil** – oprócz kompletnych usług EMS, obejmujących produkcję PCB oraz montaż docelowych obwodów drukowanych, PCBWay wytwarza także wycinane laserowo szablony do nanoszenia pasty lutowniczej (**fotografia 3**). Do wyboru są zarówno wersje z ramą, jak i pozbawione tego rodzaju nośnika – dzięki temu każdy odbiorca może dobrać odpowiedni szablon do posiadanego modelu drukarki. Dostępne grubości blachy stalowej mieszczą się w przedziale od 0,08 mm do nawet 0,3 mm.

Fotografia 2. PCBWay oferuje kompleksowe usługi produkcji i montażu obwodów drukowanych

Mechanika w PCBWay, czyli usługi szybkiego prototypowania obudów (i nie tylko)

Rozległy i zróżnicowany park maszynowy firmy PCBWay umożliwia realizację nawet najbardziej złożonych zleceń w zakresie mechaniki precyzyjnej oraz szybkiego prototypowania detali mechanicznych. Ten segment oferty można podzielić na cztery główne podzakresy (**rysunek 2**):

1. **CNC machining** – PCBWay świadczy usługi w zakresie obróbki skrawaniem (**fotografia 4**) rozmaitych materiałów, takich jak

Rysunek 2. Oferta PCBWay w zakresie usług szybkiego prototypowania i produkcji seryjnej detali mechanicznych

eprasa.pl 12486519d0

Fotografia 4. Przykładowe detale wykonane za pomocą 3– i 5-osiowych frezarek CNC

Fotografia 5. Przykładowy wydruk 3D z materiału PA12 (nylon)

m.in. aluminium, stal nierdzewna, miedź, tytan, tworzywa sztuczne (ABS, polipropylen, teflon, POM i inne), a także bakelit, laminat FR4 czy guma.

2. **Sheet metal** – w przypadku projektów wymagających obudowy wykonanej z blachy stalowej, miedzianej lub aluminiowej (a także niektórych materiałów niemetalicznych) PCBWay może wykonywać precyzyjne detale z blachy giętej i ciętej laserowo, poddawane także obróbce końcowej wg zaleceń klienta (np. wykończenie powierzchni, gwintowanie otworów, znakowanie laserowe itp.).
3. **3D printing** – firma PCBWay udostępnia swoim odbiorcom najnowocześniejsze technologie druku 3D, w tym druk filamentowy (FDM), żywiczny (SLA, PolyJet), a także proszkowy (SLS, MJF, DLMS). Baza standardowych materiałów obejmuje kilkadziesiąt typów filamentów, żywic i proszków, a usługi postprocessingu pozwalają na wykonywanie znakowania laserowego czy też montażu wkładek gwintowanych. Przykładowy detal uzyskany dzięki technologii druku 3D można zobaczyć na **fotografii 5**. Warto dodać, że PCBWay oferuje także usługi inspekcji wytwarzanych detali, co znacząco podnosi jakość produktów końcowych dostarczanych do klientów (**fotografia 6**).
4. **Injection molding/vacuum casting** – w przypadku produkcji wielkoseryjnej szybkie metody prototypowania (w tym przede wszystkim druk 3D) okazują się już niewystarczające. W takich aplikacjach PCBWay rekomenduje produkcję form wtryskowych i form do odlewania próżniowego, zapewniających wszystkie korzyści technologiczne nieosiągalne w przypadku innych technik wytwarzania detali mechanicznych – w tym przede wszystkim niski koszt jednostkowy produkcji oraz doskonałe wykończenie powierzchni, niewymagające zwykle dodatkowej obróbki (np. polerowania czy szlifowania).

Podsumowanie

Współczesny przemysł elektroniczny narzuca konieczność interdyscyplinarnego spojrzenia na zagadnienie produkcji urządzeń. Oferta PCBWay jest skierowana zarówno do dużych i średnich odbiorców komercyjnych, jak i małych firm, start-upów, a nawet pasjonatów – co ważne, w każdym przypadku klienci mogą liczyć nie tylko na krótkie terminy realizacji zamówień, ale także możliwość śledzenia postępów realizacji zleceń w czasie rzeczywistym, całodobowe wsparcie ze strony działu obsługi klienta, a nade wszystko – najwyższą jakość finalnych produktów. Rozbudowany i stale rozwijający się park maszynowy plasuje firmę PCBWay w ścisłej czołówce przedsiębiorstw świadczących outsourcing produkcji PCB, szablonów SMT i detali mechanicznych, a także oferujących kompleksowe usługi EMS w pełnym zakresie zadań związanych z wytwarzaniem urządzeń elektronicznych.

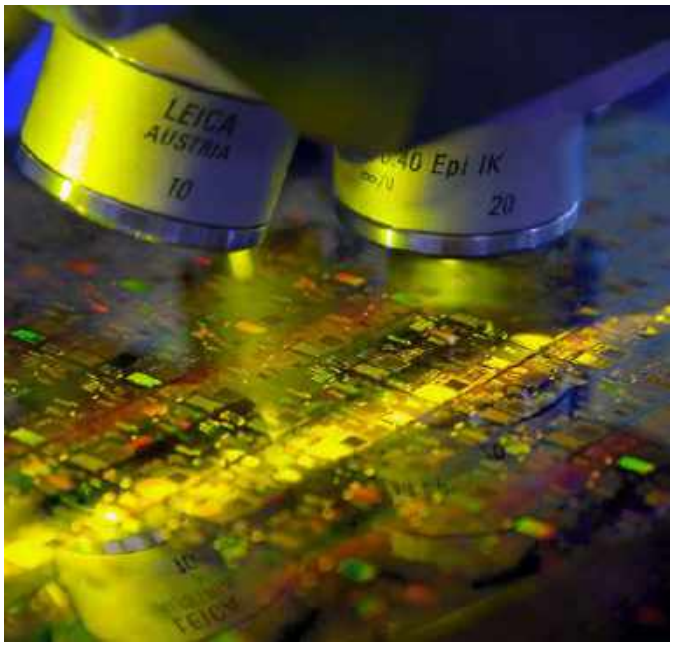
www.pcbway.com

Fotografia 6. Stanowisko kontroli jakości detali wytwarzanych metodą druku 3D

eprasa.pl 12486519d0

Jak zaprojektować i wyprodukować układ scalony bez nakładów finansowych?

W poprzednim miesiącu obiecaliśmy Czytelnikom zarówno szczegółowy opis rozwiązań implementowanych w instytucie IHP (Leibniz-Institute for High Performance Microelectronics), a służących projektowaniu układów scalonych – jak i prezentację nadchodzących programów Open MPW (Multi Project Wafer), które umożliwiają darmowe opracowanie prototypów układów półprzewodnikowych w technologii SG13G2 BiCMOS 130 nm.

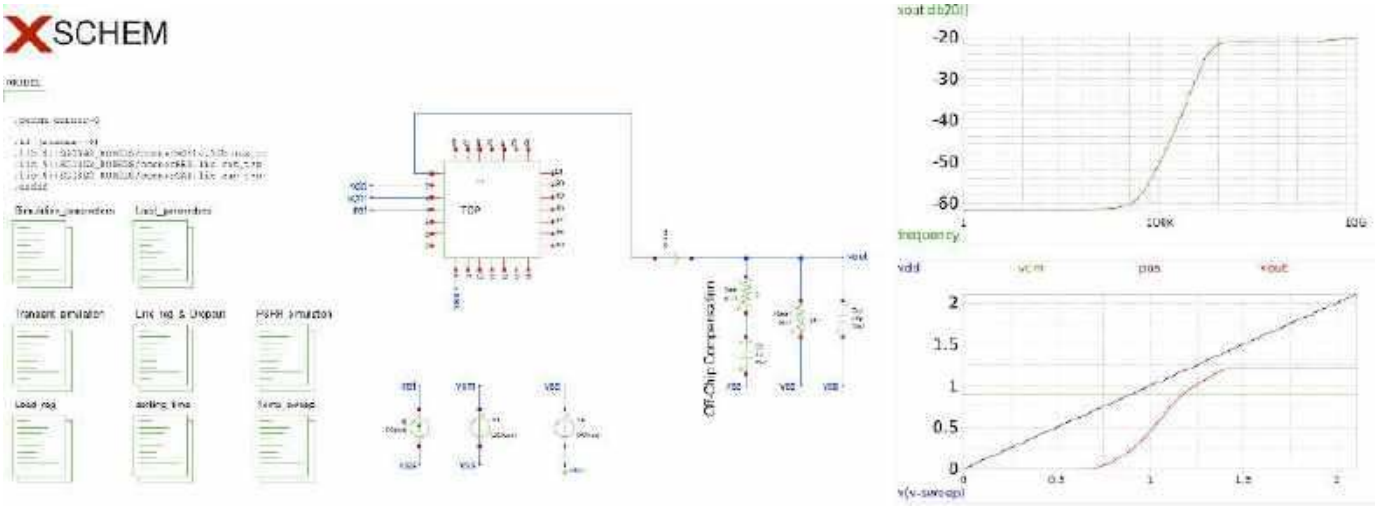


Aby dotrzymać obietnicy, najpierw zajmiemy się narzędziami do projektowania oraz elementami składowymi IHP-Open-PDK [2]. Pierwszym krokiem w kierunku naszego układu ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*) będzie narysowanie jego topologii w edytorze schematów. W domenie open source silicon dostępne są dwa narzędzia do tego celu: Xschem [3] oraz Qucs-S [4], oba wspierane przez IHP. Przykładowy schemat narysowany w edytorze Xschem zamieszczono na **rysunku 1**.

Kolejnym krokiem będzie przeprowadzenie szeregu symulacji celem weryfikacji działania układu. Tu z pomocą przychodzą dwa narzędzia: ngspice [5] oraz Xyce [6], które są co prawda programami pozbawionymi interfejsu graficznego, niemniej – tak Xschem, jak i Qucs-S – pozwalają nam na skonfigurowanie symulacji oraz wizualizację wyników wewnątrz edytora schematów.

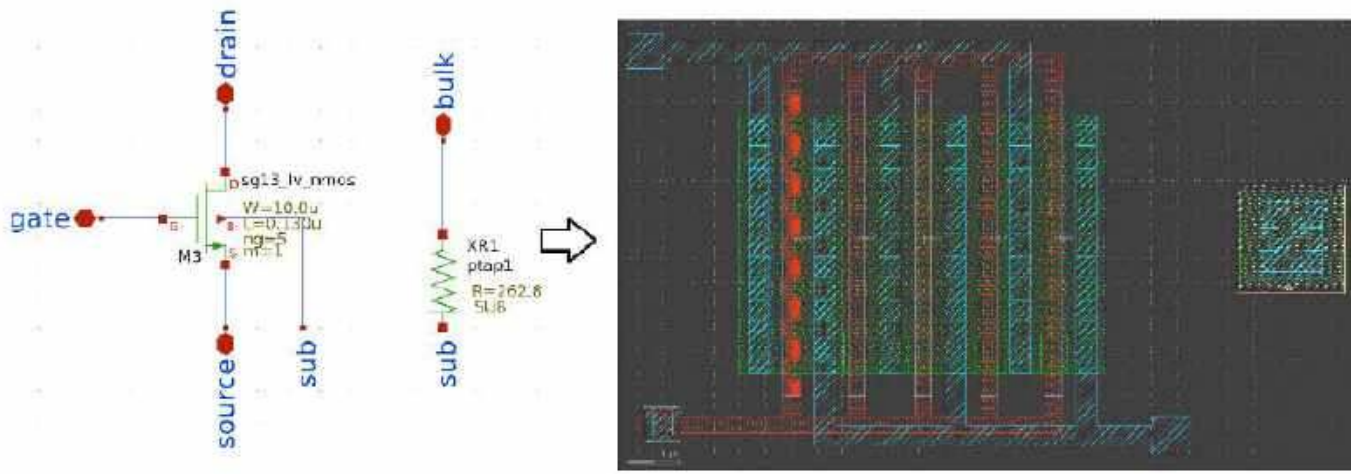
Warto wspomnieć, że wspólnym mianownikiem ww. narzędzi jest tzw. netlista, czyli tekstowy opis tak topologii układu, jak i konfiguracji symulatora. Mając za sobą etap projektowania układu z wykorzystaniem symulacji, możemy przejść do kolejnego kroku, czyli do stworzenia layoutu, który stanowi graficzną reprezentację urządzeń półprzewodnikowych oraz ich połączeń – w tym wypadku na podłożu krzemowym. Krok ten jest odpowiednikiem projektowania płytek PCB z zastosowaniem elementów dyskretnych. Edytorem layoutu, wybranym przez IHP, jest program Klayout [7], powszechnie używany w społeczności open source silicon. Aby ułatwić pracę projektantowi, Klayout pozwala na generowanie urządzeń z wykorzystaniem predefiniowanych szablonów. Każdy szablon posiada szereg zmiennych, które mogą być modyfikowane przez projektanta, tak aby odzwierciedlić wartości parametrów komponentów, zdefiniowanych na etapie symulacji. Zostało to zobrazowane na **rysunku 2**, ilustrującym pięciobramkowy tranzystor typu NMOS o nazwie sg13_lv_nmos i wymiarach

Leibniz Institute for High Performance Microelectronics



Rysunek 1. Przykładowy schemat układu LDO narysowany w edytorze Xschem – łącznie z blokami konfiguracji symulacji oraz wizualizacji graficznej symulowanych przebiegów

eprasa.pl 12486519d0



Rysunek 2. Przykład schematu opracowanego w Xschem oraz layoutu wykonanego z użyciem Klayout

10,0×0,13 µm. W związku z tym, że proces SG13G2 realizowany jest na podłożu typu P, odpowiedni kontakt z podłożem zapewnia element ptap1, modelowany w symulacji z użyciem rezystora.

Wydawałoby się, że wygenerowanie elementów, ich rozmieszczenie oraz połączenie kończy pracę nad układem – nic bardziej mylnego! W przypadku opracowywania płytek PCB odpowiedzialnością projektanta jest przestrzeganie reguł projektowych, związanych z możliwościami procesu technologicznego oraz dostarczanych przez fabrykę, która płytki fizycznie produkuje. Podobnie jest w domenie półprzewodników: poszczególne procesy, w tym proces SG13G2, narzucają w niej reguły projektowania, których należy bezwzględnie przestrzegać. Można znaleźć je w dokumencie SG13G2_os_layout_rules.pdf w repozytorium GitHub IHP-Open-PDK. Z pomocą w tym trudnym zadaniu projektowania layoutu zgodnie z wieloma regułami przychodzi nam edytor Klayout – jest on w stanie zweryfikować poprawność naszego projektu z użyciem reguł DRC (*Design Rule Check*), dostarczonych i zaimplementowanych przez autorów IHP-Open-PDK.

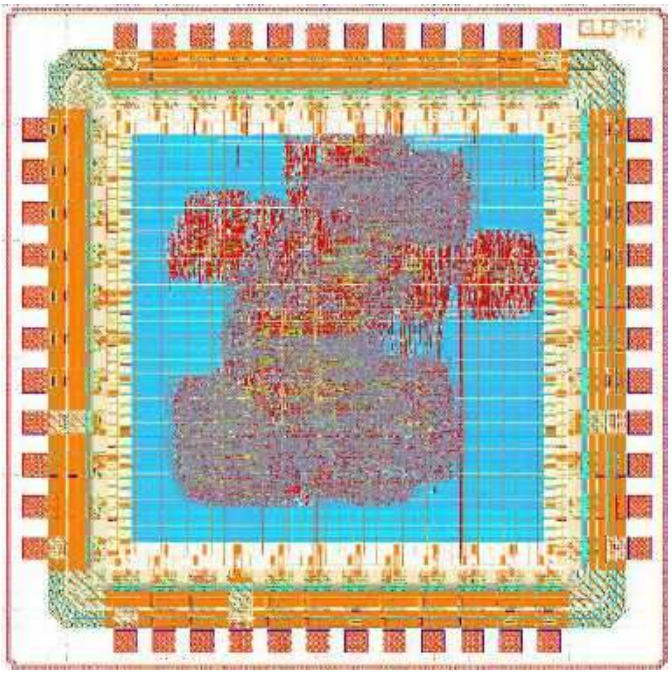
Kolejnym krokiem, nowym w porównaniu do projektowania PCB, jest krok weryfikacyjny, nazywany LVS (*Layout Versus Schematic*). Ma on za zadanie porównanie naszego schematu (netlisty w formacie tekstowym) z netlistą wyekstrahowaną z layoutu. Proces ekstrakcji obejmuje ekstrakcję elementów (oraz ich parametrów) i połączeń między nimi. Celem ww. kroku jest osiągnięcie spójności między schematem i layoutem. Podobnie jak w przypadku DRC, weryfikację LVS można przeprowadzić za pomocą programu Klayout, w którym zaimplementowane zostały reguły ekstrakcji oraz porównywania obu reprezentacji układu (schematu vs. layoutu).

Krokiem specyficznym dla układów elektronicznych pracujących powyżej 10 GHz (fale milimetrowe) są symulacje rozkładu pola elektromagnetycznego, dla wybranych części obwodu elektronicznego, celem ich charakteryzacji za pomocą elementów takich jak linie długie. W IHP trwają działania nad opracowaniem ww. metod z wykorzystaniem narzędzia openEMS [8] oraz jego integracji z opisanym wcześniej oprogramowaniem (Qucs-S, ngspice, Xyce, Klayout). OpenEMS może być użyty w kolejnym, charakterystycznym dla układów wysokich częstotliwości kroku, związanym z wartościami pasożytniczymi oporności, pojemności, indukcyjności (własnej i sprzężonej), zwanym PEX (*Parasitics EXtraction*). Wartości wygenerowane na etapie PEX wiążą się głównie z właściwościami elektrycznymi połączeń oraz geometrii układu opracowanej na etapie rysowania layoutu. W kroku tym możliwe jest wyekstrahowanie ww. wartości pasożytniczych i uwzględnienie ich w symulacji (post layout simulation), w celu zwiększenia dokładności otrzymanych wyników, które stają się tym samym bardziej rzeczywiste. Ostatni krok w procesie projektowania stanowi wygenerowanie pliku w popularnym formacie GDS2, który jest akceptowany przez większość fabryk półprzewodników.

Podsumowując, projektowanie jest procesem iteracyjnym i polega na wykonaniu sekwencji kroków z użyciem odpowiednich narzędzi. W wielu aspektach opracowywanie układów scalonych przypomina tworzenie układów elektronicznych z zastosowaniem elementów dyskretnych. W przypadku technologii półprzewodnikowych projektowanie sprowadza się głównie do określenia topologii układu oraz rozmiarów/formy użytych elementów półprzewodnikowych. Bardzo ważną ogólną zasadą pozostaje wykonywanie weryfikacji tam, gdzie to tylko możliwe, w związku z potrzebami: zapewnienia poprawnego działania układu, detekcji oraz eliminacji błędów.

Aby zapoznać Czytelnika z możliwościami rozwoju układów scalonych w obrębie technologii IHP SG13G2, przechodzimy do opisu elementów składowych IHP-Open-PDK. Sam PDK zachowuje kompatybilność z komercyjnym procesem SG13G2 dostarczanym przez IHP. Jego cechą charakterystyczną jest obecność tranzystorów bipolarnych HBT (w trzech wersjach) do zastosowań w bardzo wysokim paśmie częstotliwości rzędu setek gigaherców. Z komponentów aktywnych w PDK znajdziemy także komplementarne tranzystory polowe w wariantach niskiego (1,2 V) i wysokiego (3,3 V) napięcia.

Projektant ma ponadto do dyspozycji diody oraz struktury zabezpieczające ESD. W obszarze podłoża krzemowego możemy wykonać również 3 typy rezystorów o rezystancji powierzchniowej od kilku



Rysunek 3. Layout procesora RISCV wykonanego z użyciem elementów dostępnych w ramach IHP-Open-PDK

eprasa.pl 12486519d0

Rysunek 4. Uogólniony harmonogram programu OpenMPW oferowanego przez IHP w latach 2024...2025

Harmonogram organizacji programów Open MPW oferowanych przez IHP w ramach projektu FMD-QNC							
Tape Out date	10 May 2024	11 Nov 2024	22 Nov 2024	01 Mar 2025	09 May 2025	18 Jul 2025	15 Sep 2025
Technology	SG13G2	SG13CMOS	SG13G2	SG13G2	SG13G2	SG13G2	SG13CMOS
Area [mm²]	10	220	20	140	30	30	220

omów do kilku kiloomów. Połączenia w procesie SG13G2 są realizowane za pośrednictwem siedmiu warstw aluminiowej metalizacji (komercyjna wersja procesu dostarcza opcje wykonania metalizacji na bazie miedzi). Warto nadmienić, że ostatnie dwie warstwy metalu są grube (osiągają 3 µm) w porównaniu do cienkich, liczących 0,5 µm warstw o numerach 1...5, co z kolei ułatwia prowadzenie ścieżek, którymi płyną duże prądy. W obrębie warstw metalizacji istnieje możliwość wykonania kondensatora MiM (Metal Insulator Metal), induktorów oraz transformatorów. Poprzez dostępność wyżej opisanych elementów PDK rozumiemy istnienie bibliotek projektowych oraz niezbędnych danych, koniecznych, aby zaprojektować i przetestować układ z użyciem narzędzi, takich jak np. Xschem, ngspice i Klayout. Zgłębiając strukturę PDK: znajdziemy biblioteki symboli edytorów schematów; definicje modeli SPICE łącznie z danymi odzwierciedlającymi rozrzut parametrów w procesie produkcyjnym, które są przydatne w analizie typu Monte Carlo; szablony layoutów elementów półprzewodnikowych; zestaw reguł DRC i LVS. Dodatkowo PDK dostarcza bibliotek niezbędnych w procesie projektowania układów cyfrowych z zastosowaniem narzędzia OpenROAD-flow-scripts (ORFS), dostępnego na platformie GitHub [9]. Znajdziemy tam biblioteki standardowe (głównie bramki logiczne, przerzutniki), układy IO, pamięci SRAM. Każda z bibliotek zawiera modele: (1) funkcjonalny – w postaci kodu verilog, (2) czasowy – w postaci plików w formacie liberty, (3) funkcjonalny w domenie analogowej – w postaci plików SPICE, (4) uproszczonej geometrii – w postaci plików LEF, (5) layoutu – w postaci pliku GDS2. Narzędzie ORFS otrzymuje oficjalne wsparcie ze strony IHP, co pozwala na projektowanie układów cyfrowych, które następnie mogą zostać wyprodukowane w Instytucie. Przykład takiego układu, procesora RISCV, zaprezentowano na **rysunku 3**, a jego projekt dostępny jest na GitHubie [10].

Zgodnie z informacjami zaprezentowanymi w poprzednim artykule, sam proces rozwijania układów elektronicznych na krzemie w domenie open source może zostać rozszerzony o możliwości opracowania prototypów poprzez dostęp do zdolności produkcyjnych wybranych fabryk lub linii pilotażowych w ramach programów Open MPW. Instytut IHP udostępnił harmonogram organizacji programów Open MPW zamieszczony w **tabeli 1**.

W ramach OpenMPW IHP oferuje 2 procesy technologiczne – SG13G2 oraz SG13CMOS – między którymi jedyną różnicę, z punktu widzenia projektanta, stanowi dostępność tranzystorów HBT. Obecne są one tylko w procesie SG13G2 i pozwalają na projektowanie układów w paśmie setek GHz.

Pomimo że szczegółowe informacje na temat samego procesu oraz sposobu zgłoszenia udziału w programie OpenMPW można znaleźć na stronie [11], kilka aspektów wymaga szerszego wyjaśnienia. Najważniejszym spośród wszystkich wymagań opisanych na ww. stronie jest gotowość do upublicznienia swojego projektu na zasadach open source (licencja Apache 2.0). Pozwoli to na opracowanie biblioteki układów elektronicznych zaprojektowanych przez partycypantów programu, która w przyszłości stanie się bazą do projektowania bardziej skomplikowanych konstrukcji. Aby zagwarantować jakość ww. elementów biblioteki, układy elektroniczne wyprodukowane w kolejnych edycjach programów OpenMPW będą mogły podlegać testowaniu nie tylko przez projektanta, ale także każdego, kto będzie chciał takowych testów dokonać. Warto podkreślić, że projektant nie otrzyma swojego układu na własność, jednak będzie mógł wypożyczyć go z biblioteki układów (IHP-OpenSampleStoreHouse) – tak jak każda inna osoba zainteresowana testowaniem i dostarczeniem dodatkowych informacji na temat działania układu. W ramach współpracy badawczej IHP może także udostępnić swoje zdolności pomiarowe podmiotom zorientowanym na prowadzenie badań naukowych.

Uogólniony harmonogram programu OpenMPW został pokazany na **rysunku 4**. Mimo że szczegółowe informacje na temat każdej edycji będą publikowane na bieżąco, należy już dziś wiedzieć, że sam proces produkcji trwa w przybliżeniu 6 miesięcy, a okres ewaluacji planowany jest na maksymalnie 2 lata. Aby z sukcesem wziąć udział w najbliższym programie OpenMPW, warto jak najszybciej zainstalować niezbędne narzędzia, sklonować nasze repozytorium IHP-Open-PDK oraz zacząć przygodę z open source silicon. W razie jakichkolwiek pytań zapraszamy do kontaktu z nami drogą mailową lub na kanale Slack [12] #ihp-sg13g2. Zapraszamy także do śledzenia publicznie dostępnych materiałów z konferencji, takich jak FSiC [13], ORConf i Latch-Up [14].

dr Krzysztof Herman, dr Anna Sojka-Piotrowska
herman@ihp-microelectronics.com,
sojka@ihp-microelectronics.com
IHP GmbH – Leibniz Institute for High Performance Microelectronics, Frankfurt (Oder), Niemcy
https://www.ihp-microelectronics.com

Ważne linki:

- https://www.ihp-microelectronics.com/
- https://github.com/IHP-GmbH/IHP-Open-PDK
- https://xschem.sourceforge.io/
- https://github.com/ra3xdh/qucs_s
- https://git.code.sf.net/p/ngspice/ngspice
- https://github.com/Xyce/Xyce
- https://www.klayout.de/
- https://github.com/thliebig/openEMS-Project
- https://github.com/The-OpenROAD-Project/OpenROAD-flow-scripts
- https://github.com/IHP-GmbH/IHP-Open-DesignLib/tree/main/ElemRV
- https://ihp-open-ip.readthedocs.io/
- https://open-source-silicon.slack.com
- https://wiki.f-si.org/index.php?title=Main_Page
- https://fossi-foundation.org/

eprasa.pl 12486519d0

Konfigurowalny sterownik bezpieczeństwa PNOZmulti 2 firmy Pilz

Bezpieczny transfer danych z protokołem FsoE i elastyczną architekturą

Zagwarantowanie oczekiwanej wydajności procesu produkcyjnego uzależnione jest między innymi od możliwości płynnej integracji koncepcji bezpieczeństwa w budowie maszyny. Konfigurowalny sterownik PNOZmulti 2 firmy Pilz obsługuje otwarty system komunikacji w standardzie EtherCAT w połączeniu z protokołem bezpieczeństwa Safety-over-EtherCAT FSoE (FailSafe over EtherCAT). Dzięki temu pozwala na przesyłanie zarówno informacji dotyczących sterowania, jak i tych związanych z bezpieczeństwem. Sprzyja to zwiększeniu wydajności procesu oraz przekłada się na szerokie opcje rozbudowy ze względu na możliwości łączenia ze sobą różnych elementów bezpieczeństwa.

W rodzinie konfigurowalnych przekaźników bezpieczeństwa pojawiła się nowość, która stwarza warunki do zastosowania popularnego na rynku sterownika PNOZmulti 2 (**fotografia 1**) w środowisku EtherCAT. Nowy moduł PNOZ m EF EtherCAT FSoE pełni funkcję master, a jednocześnie umożliwia realizację komunikacji standardowej oraz safety za pomocą tego samego kanału. W zależności od aplikacji moduł Fieldbus sterownika bezpieczeństwa PNOZ m EF EtherCAT FSoE, w połączeniu z jednostką bazową PNOZ mB1, może być używany jako urządzenie FSoE master, FSoE slave, a także EtherCAT slave. Do konfiguracji służy znane narzędzie PNOZmulti Configurator.

Więcej informacje o opisywanym rozwiązaniu na stronie:

eprasa.pl 12486519d0

Safety-over-EtherCAT w komunikacji w standardzie EtherCAT

Dzięki modułowi komunikacyjnemu EtherCAT FSoE – w połączeniu z jednostką bazową PNOZ m B1 – realne staje się uzyskanie maksymalnie czterech połączeń master-master oraz do 60 połączeń master-slave. W ten sposób można z łatwością wdrażać i rozbudowywać elastyczne struktury za pomocą „jednokablowego rozwiązania" na poziomie magistrali Fieldbus. Certyfikowany system bezpieczeństwa to gwarancja nie tylko maksymalnego poziomu ochrony, ale także wydajności instalacji i maszyn.

Fotografia 1. Konfigurowalny sterownik PNOZmulti 2 firmy Pilz

Kompleksowe rozwiązanie bezpieczeństwa w standardzie FSoE

Za pomocą sterownika PNOZmulti 2, skonfigurowanego jako FSoE master, można łatwo zrealizować kompletne rozwiązanie systemu ochronnego z radarowym czujnikiem bezpieczeństwa PSENradar oraz napędem PMC (Pilz Motion Control) – w obu przypadkach również w standardzie FSoE. W opisanej sytuacji jednokablowe rozwiązanie służy do elastycznego włączania aktuatorów i czujników obsługujących protokół FSoE. Sterownik PNOZmulti 2 skonfigurowany jako FSoE master umożliwia monitorowanie wszystkich funkcji bezpieczeństwa – od wyłączników E-STOP i bramek bezpieczeństwa, po kurtyny świetlne – oraz tworzy połączenia z pozostałymi urządzeniami slave w sieci. Przekłada się to na minimalizację nakładów związanych z okablowaniem oraz znacznie obniża koszty inwestycji. Dostępne opcje diagnostyczne zapewniają również minimalizację przestojów.

Dodatkowo nowa centralka PSENradar – z możliwością pracy w sieci EtherCAT po protokole FsoE – obsługuje kartę SD, na której zapisywana jest konfiguracja systemu. Dwa nowe czujniki, PSEN rd 1.2 F-FOV oraz PSEN rd 1.2 F-FOV LR, mogą teraz pracować w aplikacjach o poziomie PL (d) kat.3. Zwiększony został także obszar działania urządzeń – do 5 m w przypadku wersji F-FOV i do 9 m w przypadku wersji F-FOV LR, co zwiększa zakres zastosowań urządzenia. Ponadto wprowadzono nowe podejście do wyznaczania strefy chronionej (możliwe jest asymetryczne kształtowanie obszaru lub zaprojektowanie obszaru chronionego o kształcie prostokąta).

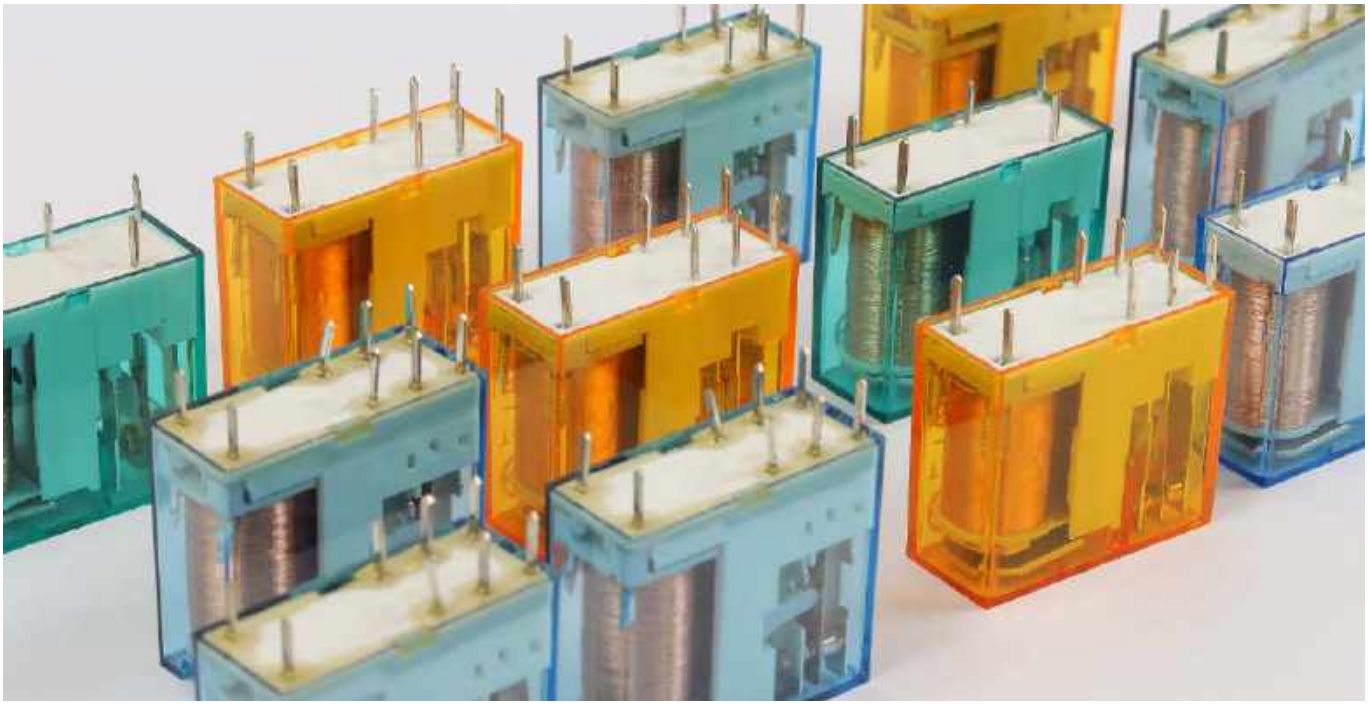
Bezpieczna komunikacja w oparciu na systemie SafetyNET p

Za pośrednictwem protokołu Ethernet SafetyNET p można podłączyć do 16 jednostek bazowych PNOZmulti 2 – służy do tego moduł rozszerzeń PNOZ m EF SafetyNET. Na pierwszym etapie łącze udostępniane jest poprzez topologię liniową. Wymiana danych 32-bitowych za pośrednictwem RTFL zapewnia krótki czas cyklu. Interfejs, w którym wejścia są konfigurowane przy użyciu 128 bitów, zaś wyjścia przy użyciu 32 bitów, tworzą łącza danych. Oprogramowanie PNOZmulti Network Editor stosowane jest do konfigurowania sieci SafetyNET p i łączenia projektów. Wywoływane bezpośrednio przez program PNOZmulti Configurator może łączyć zmienne wejściowe i wyjściowe projektów PNOZmulti. Po wysłaniu konfiguracji do systemu PNOZmulti sieć SafetyNET p jest gotowa do użytku.

Moduł rozszerzeń PNOZ m EF SafetyNET nadaje się do zastosowania w każdej jednostce bazowej konfigurowalnego sterownika PNOZ m B0 lub PNOZ m B1. Jednostki bazowe PNOZmulti i PNOZmulti Mini można łączyć przy użyciu modułu rozszerzeń Multi Link.

Fotografia 2. Sterownik PNOZmulti 2 wraz z radarowym czujnikiem bezpieczeństwa PSENradar

eprasa.pl 12486519d0



Przekaźniki do automatyki

Przekaźniki należą do najważniejszych komponentów stosowanych we wszystkich gałęziach automatyki. Trudno wyobrazić sobie współczesne systemy sterowania procesami przemysłowymi, dystrybucją energii elektrycznej czy inteligentnymi budynkami bez rozmaitych odmian przekaźników elektromechanicznych oraz półprzewodnikowych. W czerwcowym wydaniu Elektroniki Praktycznej przyglądamy się najważniejszym trendom na rynku przekaźników do automatyki, opisujemy kluczowe parametry tych podzespołów oraz wskazujemy wybrane modele przeznaczone do różnych zastosowań, które znaleźć można w aktualnej ofercie rynkowej czołowych producentów.

Przekaźnik niejedno ma imię

Na przestrzeni wielu dekad rozwoju elektrotechniki, elektroniki i automatyki słowo „przekaźnik" zyskało szereg znaczeń – często niemal całkowicie odbiegających od tego, z którym kojarzymy je w pierwszej chwili. Co ciekawe, nawet internetowy słownik języka polskiego PWN (https://sjp.pwn.pl) definiuje naszego bohatera jako *urządzenie odbierające jakieś impulsy, przetwarzające je i przekazujące dalej*. Taka definicja jest dla nas, elektroników, całkowicie nieprzydatna – moglibyśmy bowiem zastosować ją do szeregu urządzeń i układów całkowicie niezwiązanych z istotą przekaźnika jako takiego – do przytoczonego opisu może wszak pasować analogowy układ kształtowania impulsów, czy chociażby – „na upartego" – nawet… zwykły filtr pasywny (sic!).

A jednak, w naszej inżynierskiej praktyce pod hasłem „przekaźnik" i tak kryje się bogate portfolio rozmaitych rozwiązań technicznych, które z grubsza moglibyśmy podzielić na trzy główne kategorie:

- **przekaźniki elektromagnetyczne i styczniki**, czyli – de facto – stosunkowo proste komponenty elektromechaniczne,
- **przekaźniki półprzewodnikowe** – w formie prostych układów hybrydowych lub bardziej rozbudowanych modułów elektronicznych,
- **przekaźniki „aktywne"**, tj. zaawansowane urządzenia wyposażone, oprócz przekaźnika-komponentu, także w dodatkowe układy elektroniczne sterujące jego pracą.

W artykule dokonamy ekspresowego przeglądu przekaźników należących do wymienionych powyżej grup. Z oczywistych względów będzie to raczej telegraficzny skrót najważniejszych zagadnień, niż przekrojowe opracowanie na temat całego spektrum możliwych rodzajów przekaźników stosowanych w automatyce – bardziej szczegółowe informacje publikowaliśmy już niejednokrotnie na łamach „Elektroniki Praktycznej", dlatego zainteresowanych Czytelników zapraszamy do lektury archiwalnych numerów EP oraz artykułów w formie elektronicznej, które można znaleźć na naszym portalu (https://ep.com.pl).

Zadania przekaźników w obwodach automatyki przemysłowej i budynkowej

Na początek podsumujmy najważniejsze role, jakie odgrywają przekaźniki w instalacjach automatyki przemysłowej oraz aplikacjach smart building/smart home:

- **Przełączanie obciążeń DC i AC** – przekaźniki elektromagnetyczne oraz półprzewodnikowe doskonale nadają się do sterowania obciążeniami w bardzo szerokim zakresie prądów oraz napięć roboczych. Szczególnie elastyczne są pod tym względem tradycyjne konstrukcje elektromechaniczne, a to z uwagi na bardzo niską rezystancję styków (co pozwala zminimalizować straty mocy) oraz naturalną izolację w postaci szczelin powietrznych pomiędzy współpracującymi ze sobą stykami (pozostającymi w stanie rozłączenia) i pomiędzy sąsiadującymi sekcjami styków.
- **Budowa wyjść bezpotencjałowych** – kompaktowe przekaźniki perfekcyjnie nadają się do tworzenia wyjść bezpotencjałowych w sterownikach PLC (**fotografia 1**) i innych urządzeniach automatyki przemysłowej. Nawet najmniejsze przekaźniki są w stanie bezpośrednio kluczować obwody zasilania niewielkich obciążeń, zaś gdy zachodzi potrzeba wysterowania dużych odbiorników energii

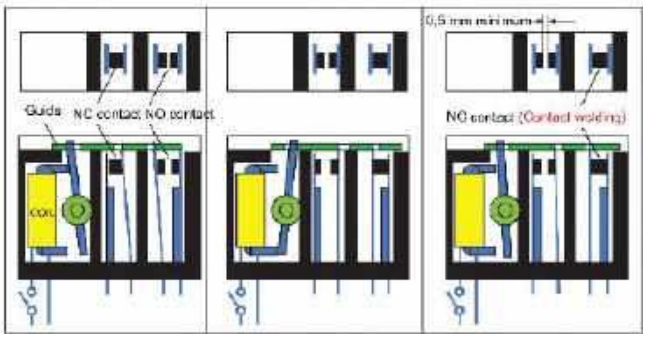
eprasa.pl 12486519d0

Fotografia 1. Przykładowa płytka drukowana sterownika PLC z widocznym zestawem przekaźników wyjściowych (po prawej). Źródło: http://t.ly/6PO3k

(np. silników), prostym rozwiązaniem okazuje się zastosowanie wyjścia przekaźnikowego sterownika PLC do zarządzania pracą stycznika. Zaletę wyjść opartych na przekaźnikach stanowi ponadto możliwość pracy z dowolnym rodzajem napięcia AC/DC, czego nie można powiedzieć np. o wyjściach dostosowanych do pracy w jednej, ustalonej polaryzacji i opartych na tranzystorach lub prostych transoptorach.

- **Wprowadzanie galwanicznej bariery ochronnej** – immanentna cecha przekaźników to obecność wewnętrznej bariery galwanicznej (**fotografia 2**) pomiędzy obwodem sterującym (cewką lub układami wejściowymi – w przypadku przekaźników SSR), a obwodem sterowanym (stykami lub „końcówką mocy", np. zespołem tranzystorów wyjściowych bądź triaków). Naturalną konsekwencją takiej konstrukcji jest zatem wprowadzenie do systemu pewnego stopnia ochrony przeciwporażeniowej, co ma szczególne znaczenie w sterowaniu odbiornikami zasilanymi z sieci energetycznej. W niektórych sytuacjach wymogi wytrzymałości dielektrycznej stawiane barierze są niższe, a jej zadaniem jest po prostu odseparowanie dwóch instalacji w celu wyeliminowania konieczności konwersji napięć pomiędzy dwoma systemami pracującymi na innych poziomach logicznych.
- **Przerywanie pętli masy** – pętla masy to nic innego, jak wielotorowe połączenia masy poprowadzone pomiędzy dwoma lub większą liczbą urządzeń. Taka niepożądana nadmiarowość jest przyczyną licznych problemów natury EMC, a w przypadku czułych sygnałów pomiarowych lub mniej odpornych na zakłócenia magistral cyfrowych, może doprowadzić do istotnych błędów przekazywanych danych, a w skrajnych przypadkach nawet do pewnych zagrożeń. Opisana wcześniej bariera galwaniczna (wprowadzana przez wyjścia przekaźnikowe) umożliwia uniknięcie niektórych tego typu problemów, o ile rzecz jasna wyjścia przekaźnikowe zostaną odpowiednio użyte.
- **Zarządzanie obwodami bezpieczeństwa** – przekaźniki elektromagnetyczne są szeroko rozpowszechnione w systemach bezpieczeństwa maszyn przemysłowych, w których umożliwiają pewne, awaryjne przerywanie obwodów w przypadku wykrycia jakichkolwiek nieprawidłowości stanowiących zagrożenie dla operatora i/lub maszyny. W tego typu aplikacjach zastosowanie znajdują specjalne modele przekaźników o zwiększonej niezawodności mechanicznej. Styki o przełączaniu wymuszonym (**rysunek 1**) zapewniają solidne, deterministyczne rozwarcie obwodów umożliwiają wiarygodną ocenę rzeczywistego położenia kotwicy – w przypadku zespawania styków „roboczych" typu NO, druga para kontaktów (NC) pozostanie rozwarta nawet po odłączeniu zasilania cewki, co pozwoli na wykrycie faktu awarii i podjęcie stosownych działań zaradczych (np. włączenie alarmu czy odcięcie zasilania lub sterowania maszyny za pomocą innego elementu wykonawczego). Tego typu przekaźniki, zapewniające zgodność z normą EN 60947-5-1 (załącznik L), są szeroko stosowane m.in. w obwodach kurtyn świetlnych, wyłącznikach bezpieczeństwa w osłonach zespołów ruchomych, etc.

Fotografia 2. Przekrój przykładowego przekaźnika z izolacją wzmocnioną



Rysunek 1. Zasada działania przekaźnika ze stykami o przełączaniu wymuszonym. Od lewej: prawidłowo działający przekaźnik w momencie, gdy cewka jest wyłączona; stan po włączeniu cewki; stan awarii, spowodowanej zespawaniem styków NO (http://t.ly/nNB9)

Fotografia 3. Przykładowy stycznik bezpieczeństwa wyposażony w styki lustrzane (http://t.ly/d3v2h)

W praktyce można także spotkać się z pojęciem styków lustrzanych wg normy EN 60947-4-1 (załącznik F) – pomocnicza para styków NC w żadnym przypadku nie może pozostawać zwarta równocześnie z główną parą włączoną w zasilanie obwodu sterowanego urządzenia. Rozwiązanie takie można znaleźć m.in. w stycznikach przeznaczonych do pracy w aplikacjach krytycznych pod względem bezpieczeństwa (**fotografia 3**).

Najważniejsze parametry przekaźników elektromagnetycznych

Parametry katalogowe klasycznych przekaźników możemy z grubsza podzielić na cztery najważniejsze grupy:

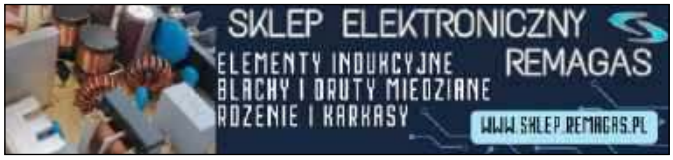
1. parametry obwodu sterującego (cewki),
2. parametry styków,
3. parametry izolacji,
4. parametry mechaniczne i środowiskowe.

Poniżej pokrótce scharakteryzujemy najważniejsze z nich.

Parametry cewki

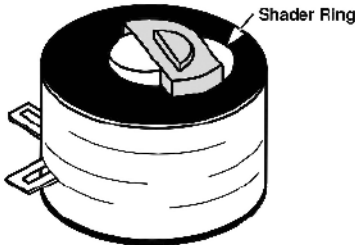
- **Rodzaj napięcia sterującego** – przekaźniki z cewką dostosowaną do pracy z napięciem stałym lub przemiennym różnią

REKLAMA



eprasa.pl 12486519d0

się pod względem konstrukcyjnym (**rysunek 2**), głównie z uwagi na konieczność „sztucznego" podtrzymania pola magnetycznego w cewce zasilanej napięciem przemiennym (ma to na celu ochronę przed odpuszczeniem kotwicy w momencie przejścia prądu przez zero). Nie oznacza to jednak, że przekaźniki z cewką typu AC mogą być stosowane w obwodach DC. Ograniczenie „w drugą stronę" wynika z kolei z niewielkich rozmiarów szczeliny pomiędzy kotwicą a rdzeniem cewki AC, które – w przypadku zasilania napięciem stałym – stwarzałyby ryzyko trwałego przyciągnięcia kotwicy i „sczepienia" jej z rdzeniem.



Rysunek 2. Cewka przekaźnika na napięcie przemienne – strzałką oznaczono dodatkowy pierścień wprowadzający przesunięcie fazowe w celu podtrzymania pola magnetycznego w momencie przejścia przez zero (http://t.ly/X4So5)

- **Napięcie znamionowe** określa „idealne" warunki zasilania cewki – zbyt niska wartość uniemożliwi przyciągnięcie kotwicy, zbyt wysoka natomiast jest w stanie uszkodzić uzwojenie i/lub elementy korpusu przekaźnika poprzez przegrzanie elektromagnesu.
- **Napięcie opadowe** to próg napięcia, poniżej którego kotwica zostaje „odpuszczona" i styki powracają do położenia spoczynkowego. Parametr ten stanowi często zaledwie kilkanaście procent napięcia znamionowego – tak szeroka histereza sprawia, że moc pobierana przez cewkę w czasie pracy ciągłej może być znacząco obniżona, bez ryzyka niepożądanego przełączenia styków. Z drugiej strony, ewentualne zakłócenia indukowane w długich przewodach sterujących mogą w skrajnych przypadkach uniemożliwiać prawidłowe wyłączenie przekaźnika.
- **Pobór mocy cewki** różni się pomiędzy poszczególnymi seriami przekaźników i często pozostaje niemal identyczny w przypadku modeli o różnych napięciach znamionowych cewki. Jeżeli zatem mamy do wyboru kilka przekaźników z tej samej rodziny (różniących się jedynie napięciem znamionowym), to wyższe napięcie będzie wiązało się z niższym poborem prądu (czyli większą rezystancją uzwojenia). W większości przypadków wybór konkretnego modelu do danej aplikacji będzie podyktowany wartością napięcia sterującego, ale warto mieć z tyłu głowy prosty fakt – im wyższa impedancja obwodu „pierwotnego", tym większa jego podatność na zakłócenia indukowane w okablowaniu. O ile w przypadku przekaźników montowanych bezpośrednio na PCB urządzenia to zagadnienie zwykle nie ma żadnego znaczenia praktycznego, o tyle w aplikacjach przemysłowych może ono okazać się czynnikiem decydującym o odporności systemu na zaburzenia elektromagnetyczne.

Parametry styków

- **Liczba i konfiguracja styków** jest określana analogicznie, jak w przypadku przełączników – na rynku istnieją zarówno proste przekaźniki z jedną tylko parą styków NO, jak i rozbudowane, zawierające kilka sekcji niezależnych (pod względem elektrycznym) styków przełącznych (**fotografia 4**).
- **Znamionowe oraz maksymalne napięcie zestyków** są determinowane zarówno przez odstępy izolacyjne (głównie powietrzne) pomiędzy poszczególnymi elementami bloku styków, jak i przez materiał pokrywający części kontaktowe (a co za tym idzie – ich odporność na uszkodzenia, pojawiające się w wyniku iskrzenia podczas przełączania). Wartości ratingów napięciowych znacząco różnią się w przypadku przełączania napięć w obwodach AC oraz DC, a wynika to wprost z fizyki zjawiska łuku elektrycznego. Jeżeli ów łuk powstanie podczas rozłączania styków pracujących w obwodzie stałonapięciowym, to czas jego trwania może być zaskakująco długi. W obwodzie zasilanym napięciem przemiennym łuk zgaśnie najpóźniej po około połowie okresu napięcia (np. po 10 milisekundach w przypadku napięcia sieciowego 50 Hz) i stanie się to w momencie przejścia przez zero. Nic więc dziwnego, że w notach katalogowych często napotkamy zestawienia ratingów napięciowych typu: $U_{n(AC)}$=250 V/$U_{n(DC)}$=24 V bądź $U_{n(AC)}$=250 V/$U_{n(DC)}$=30 V.

Fotografia 4. Rozbudowany przekaźnik dużej mocy z widocznymi czterema zestawami styków przełącznych, czyli 4PDT (http://t.ly/5vUPN)

- **Znamionowy prąd obciążenia** jest podawany dla poszczególnych warunków napięciowych (np. 16 A/250 V dla napięcia przemiennego i 16 A/24 V w przypadku napięcia stałego).
- **Dopuszczalne obciążenie styków** jest nierzadko zapisywane z oznaczeniem tzw. kategorii użyteczności, np. AC1, AC3 czy DC6. Poszczególne kategorie odnoszą się do rodzajów odbiorników przełączanych przez styki i w zunifikowany sposób opisują typowe zachowanie tychże odbiorników podczas załączania i rozłączania zasilania. Najbardziej „przyjazne" z punktu widzenia trwałości styków są proste urządzenia o charakterze rezystancyjnym, np. piece oporowe. Jednak już zwykłe żarówki zachowują się wybitnie nieliniowo, gdyż rezystancja zimnego włókna jest wielokrotnie niższa, niż opór włókna rozgrzanego do białości (czyli pracującego w stanie ustalonym). Styki „nie lubią" także obciążeń indukcyjnych (stwarzających spore problemy przy nagłym rozłączaniu w szczycie prądu) oraz pojemnościowych (z uwagi na potężny impuls, płynący przez nienaładowaną pojemność elektryczną w trakcie rozruchu). Parametrami liczbowymi określającymi explicite możliwości styków danego modelu przekaźnika są natomiast **maksymalna moc łączeniowa** oraz **maksymalny prąd załączania**.
- **Maksymalna częstość łączeń jest parametrem**, którego zdecydowanie nie należy forsować w normalnych warunkach pracy – wynika zarówno z konstrukcji mechanicznej styków, jak i pokryć pól kontaktowych. Diametralnie różni się przy tym w warunkach pracy pod obciążeniem oraz bez obciążenia. Przykładowo, przekaźniki instalacyjne z serii RPI-.P-UNI (**fotografia 5**) marki Relpol mają ww. parametry scharakteryzowane na poziomie (odpowiednio) 600 cykli/h i 72 000 cykli/h.

Fotografia 5. Przekaźnik instalacyjny z serii RPI-.P-UNI marki Relpol (http://t.ly/Us78d)

Parametry izolacji

- **Znamionowe napięcie izolacji** określa typowe warunki pracy przekaźnika, przy których bariera galwaniczna właściwie spełnia swoje zadanie w określonych przez producenta warunkach środowiskowych. Znacznie wyższa wartość **znamionowego napięcia udarowego** określa wytrzymałość izolacji na krótkie impulsy wysokiego napięcia pomiędzy cewką a zespołem styków – zagadnienie to wiąże się natomiast z **kategoria przepięciową**, która w przypadku typowych instalacji 230/240 V może definiować jeden z czterech poziomów ochrony przeciwprzepięciowej:
  - kategoria IV – poziom ochrony 6 kV,
  - kategoria III – poziom ochrony 4 kV,
  - kategoria II – poziom ochrony 2,5 kV,
  - kategoria I – poziom ochrony 1,5 kV.
- **Stopień zanieczyszczenia izolacji** określa przewidywane zanieczyszczenie środowiska, w którym może pracować przekaźnik

eprasa.pl 12486519d0

i silnie wiąże się z przyjętym przez producenta scenariuszem koordynacji izolacji oraz szczelnością obudowy:
  - **stopień 1**: dopuszczalne co najwyżej nieznaczne zanieczyszczenie nieprzewodzące,
  - **stopień 2**: zanieczyszczenie nieprzewodzące, które może stać się przewodzące z powodu sporadycznej kondensacji (rosa), pocenia się dłoni użytkownika, etc.,
  - **stopień 3**: zanieczyszczenie przewodzące lub mogące stać się przewodzącym w wyniku kondensacji,
  - **stopień 4**: pył przewodzący, deszcz lub wilgoć.
- **Odstęp powietrzny i powierzchniowy pomiędzy cewką a stykami** ma szczególne znaczenie w przypadku niektórych aplikacji (np. medycznych), wymuszających konieczność zachowania określonych wymogów normatywnych w tym zakresie.
- **Napięcie probiercze** powinno być określone osobno dla odstępu cewka-styki oraz dla samej przerwy zestykowej. W niektórych notach katalogowych można dodatkowo znaleźć informację na temat rodzaju izolacji (np. podstawowa lub wzmocniona).

Parametry mechaniczne i środowiskowe

- **Trwałość łączeniowa** to inaczej deklarowana przez producenta liczba cykli przełączania styków, która nie powinna doprowadzić do ich awarii, o ile zachowane zostaną określone warunki pracy (obciążenie elektryczne, temperatura otoczenia). Parametr ten jest determinowany przez materiał zastosowany do pokrycia pól kontaktowych.
- **Trwałość mechaniczna** jest ograniczona przez wytrzymałość blaszek sprężystych stanowiących podstawę konstrukcji styków. Zwykle jest o kilka rzędów wielkości wyższa od trwałości łączeniowej.
- **Stopień ochrony obudowy** wynika z zastosowanych przez producenta uszczelnień oraz sposobu wykonania obudowy. Najniższy stopień ochrony mają rzecz jasna przekaźniki, w których osłona jest zamontowana do podstawy jedynie za pomocą zatrzasków – typowo mamy wtedy do czynienia ze stopniem IP40. Zachowanie pełnej szczelności wymaga już zalewania, ale daje możliwość uzyskania ochrony na poziomie IP67, co znakomicie zwiększa odporność przekaźnika na pracę w warunkach dużego zapylenia i wilgotności.

Fotografia 6. Przekaźnik SSR ze zintegrowanym radiatorem (http://t.ly/b22EA)

- **Odporność na udary i wibracje** ma szczególne znaczenie w przypadku urządzeń pracujących w warunkach silnych zaburzeń akustycznych czy drgań mechanicznych przenoszonych przez korpus urządzenia. Odporność udarową określa się jako maksymalne przeciążenie (np. 30 g), zaś odporność na wibracje powinna zostać odniesiona do pasma częstotliwości (np. 10 g w zakresie od 10 do 150 Hz).

Opisaliśmy w telegraficznym skrócie najważniejsze parametry elektryczne, mechaniczne i środowiskowe przekaźników elektromagnetycznych – większość z wymienionych powyżej parametrów można odnieść także do przekaźników półprzewodnikowych (**fotografia 6**), choć w przypadku tych ostatnich możemy wskazać także szereg dodatkowych wielkości i cech, które pozostają charakterystyczne tylko w odniesieniu do SSR (jak choćby prąd upływu w stanie wyłączenia czy też sposób pracy wyjścia, np. przełączanie w zerze). Czytelników zainteresowanych tematyką przekaźników półprzewodnikowych zachęcamy

REKLAMA

Konfigurowalny sterownik PNOZmulti 2 teraz z możliwością komunikacji w środowisku EtherCAT

PILZ
THE SPIRIT OF SAFETY

- Moduł PNOZ m EF EtherCAT FSoE pełni funkcję Master i umożliwia jednocześnie realizację komunikacji standardowej oraz safety
- Moduł Fieldbus sterownika w połączeniu z jednostką bazową PNOZ mB1 może być używany jako urządzenie FSoE Master, FSoE Slave, a także EtherCAT Slave
- Łatwa i szybka konfiguracja za pomocą oprogramowania PNOZmulti Configurator

Safety over EtherCAT

Pilz Polska Sp. z o.o.
ul. Ruchliwa 15, 02-182 Warszawa
info@pilz.pl

eprasa.pl 12486519d0

do zapoznania się z artykułem na ich temat opublikowanym w EP 12/2021.

Przekaźniki instalacyjne

W systemach automatyki przemysłowej oraz budynkowej znaczną popularnością cieszą się przekaźniki instalacyjne. Ich charakterystyczną cechą jest obudowa dostosowana do montażu na szynie TS35, określanej powszechnie mianem szyny DIN (**fotografia 7**). W przypadku intensywnie eksploatowanych obwodów o dużej częstości przełączania (a więc także większym ryzyku zużycia styków) dobrym wyjściem może być użycie gniazda do przekaźników miniaturowych (**fotografia 8**), co umożliwi łatwą i szybką wymianę uszkodzonego komponentu, bez konieczności odłączania całości od reszty instalacji.

Fotografia 7. Przekaźnik instalacyjny marki Finder z przyciskiem testującym (http://t.ly/Ern4f)

Przekaźniki interfejsowe

Mianem przekaźników interfejsowych (**fotografia 9**) określa się najczęściej kompaktowe moduły na szynę DIN, które – oprócz przekaźnika małej mocy – zawierają także wbudowane zabezpieczenia (diodę gaszącą impulsy samoindukcji generowane przez cewkę, filtr wejściowy, etc.), a także optyczny wskaźnik zadziałania w postaci diody LED. Przekaźniki interfejsowe mają istotną przewagę nad zwykłymi przekaźnikami instalacyjnymi – wiele modeli może pracować z długimi liniami zasilającymi cewkę, co umożliwia wygodne pośredniczenie pomiędzy wyjściami sterowników PLC a innymi urządzeniami obiektowymi, nierzadko umieszczonymi z dala od właściwego kontrolera.

Fotografia 8. Gniazdo instalacyjne na szynę DIN do przekaźników marki Finder (http://t.ly/H9rNG)

Fotografia 9. Niskoprofilowy przekaźnik interfejsowy marki Finder (http://t.ly/yUSe3)

Przekaźniki nadzorcze

Jeżeli przekaźnik zostanie wyposażony w dodatkowe obwody sterujące jego pracą na podstawie sygnałów diagnostycznych (dotyczących parametrów obwodu zasilającego), to w efekcie otrzymamy tzw. przekaźnik nadzorczy (**fotografia 10**). Urządzenia z tej grupy są w stanie monitorować natężenie prądu, wykrywać zanik, asymetrię bądź błędną kolejność faz w instalacjach trójfazowych, a nawet kontrolować temperaturę za pomocą zewnętrznego czujnika. Wszystko to ma na celu zapewnienie optymalnych, bezpiecznych warunków eksploatacji urządzeń automatyki, w tym przede wszystkim rozmaitych silników elektrycznych.

Przekaźniki czasowe i programowalne

W wielu aplikacjach – szczególnie w „małej" automatyce budynkowej – zastosowanie znalazły przekaźniki czasowe, stanowiące połączenie zwykłego przekaźnika elektromagnetycznego z układem timera umożliwiającym często ustawienie jednego z wielu różnych trybów pracy. Prostsze konstrukcje są sterowane za pomocą kilku pokręteł i doskonale nadają się do realizacji np. systemów oświetlenia schodowego. Bardziej rozbudowane rozwiązania integrują w sobie cyfrowy sterownik, wyświetlacz, klawiaturę lub joystick, a nawet… moduł NFC – przykładem takiego zaawansowanego, programowalnego przekaźnika czasowego, może być moduł FI-84.02 renomowanej marki Finder (**fotografia 11**).

Fotografia 10. Przekaźnik nadzorczy napięcia marki Novatek Electro (http://t.ly/QgG5t)

Przekaźniki bezpieczeństwa

O zastosowaniach specjalnych modeli przekaźników w obwodach bezpieczeństwa pisaliśmy już na początku artykułu. Warto jednak zwrócić uwagę, że mianem „przekaźników bezpieczeństwa" nazywamy nie tylko zmodyfikowane konstrukcje przekaźników elektromagnetycznych (wyposażone np. w styki lustrzane lub o przełączaniu wymuszonym), ale także bardzo rozbudowane moduły przeznaczone do realizacji kompletnych systemów zabezpieczeń maszyn i instalacji przemysłowych. Przykład klasycznego rozwiązania można zobaczyć na **fotografii 12**, zaś jego schemat aplikacyjny – na **rysunku 3**. Przekaźniki bezpieczeństwa umożliwiają monitorowanie szeregu wejść z przełączników awaryjnych, wyłączników bezpieczeństwa, kurtyn (barier optycznych), a nawet mat naciskowych czy radarów bezpieczeństwa – na podstawie sygnałów z sensorów podejmowane są decyzje o zezwoleniu na pracę maszyny bądź o jej awaryjnym zatrzymaniu albo podjęciu innych akcji (np. ograniczeniu przestrzeni roboczej czy zmniejszeniu maksymalnej prędkości ruchu). Mało tego – wbudowany układ mikroprocesorowy nie tylko sprawdza ciągłość obwodów obsługujących elementy wejściowe, ale także kontroluje szereg innych aspektów wpływających na bezpieczeństwo systemu jako całości. Jedną z metod zapewnienia wysokiego poziomu ochrony może być wspomniane już wcześniej monitorowanie styków lustrzanych w celu wykrycia potencjalnego zespawania pól kontaktowych głównego stycznika.

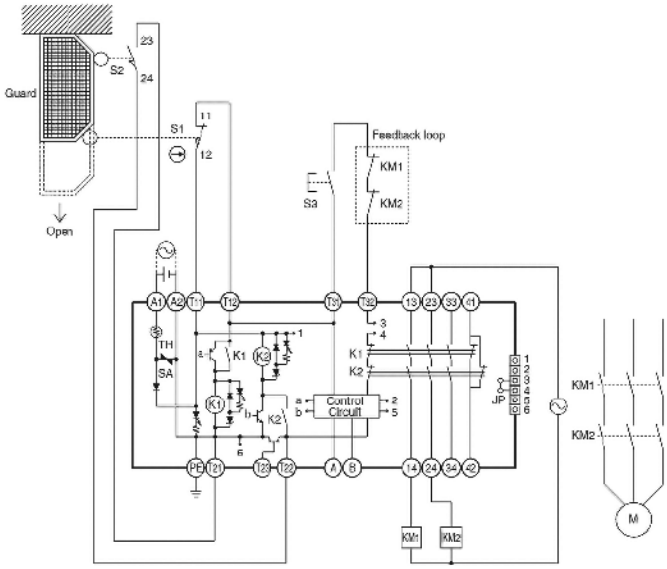
Fotografia 11. Inteligentny przekaźnik czasowy marki Finder (http://t.ly/9l5h_)

Przekaźniki do automatyki budynkowej

Na koniec naszego opisu pozostawiliśmy temat znacznie „lżejszy", ale za to bardziej rozpowszechniony w naszym codziennym życiu. Mowa o przekaźnikach przeznaczonych specjalnie do aplikacji automatyki budynkowej, w tym przede wszystkim instalacji smart home. Na rynku dostępne

Fotografia 12. Przykładowy przekaźnik bezpieczeństwa z serii G9SA marki Omron (http://t.ly/L4HDh)

eprasa.pl 12486519d0



Rysunek 3. Przykładowy schemat aplikacyjny przekaźnika bezpieczeństwa z serii G9SA (http://t.ly/l4O9O)

są dziesiątki modeli modułów przekaźnikowych wyposażonych w łączność Wi-Fi lub Bluetooth. Obecnie najchętniej stosuje się moduły dopuszkowe, które – jak sama nazwa wskazuje – oferują na tyle kompaktowe rozmiary, że bez większego problemu można je umieścić w zwykłej puszce podtynkowej, np. za wyłącznikiem ściennym. Proste podłączenie pozwala na zastosowanie w niemal dowolnym budynku, a łączność bezprzewodowa niweluje problemy związane z prowadzeniem dodatkowego okablowania sterującego, z którymi borykali się użytkownicy instalacji inteligentnego domu starszej generacji. Dzięki modułom takim, jak pokazany na **fotografii 13**, automatykę domową może dziś wdrożyć każdy właściciel domu lub mieszkania, co więcej – w dowolnym momencie po wykończeniu lub remoncie lokalu.

Fotografia 13. Przekaźnik dopuszkowy marki Bosch do aplikacji inteligentnego domu (http://t.ly/B9ShP)

Podsumowanie

Hasło „przekaźnik" dawno przestało już definiować prosty podzespół elektromechaniczny, przeznaczony do przełączania obwodów stosunkowo słabym sygnałem zasilającym cewkę. Dziś wyraz ten może oznaczać także bardzo rozbudowane urządzenie, które „bierze na siebie" odpowiedzialność za życie i zdrowie operatorów wielkich maszyn przemysłowych, niewielką kostkę nadającą domowi pewien stopień „inteligencji", czy też urządzenie pełniące rolę nadzorcy obwodów zasilania napędów elektrycznych. Co ciekawe, sama konstrukcja styków czy mechanizmu kotwicy nie zmienia się praktycznie od dekad – to, co stanowi o nowoczesności w świecie przekaźników, znajduje się niemal wyłącznie we współpracującej z nimi elektronice. Okazuje się zatem, że technologia wynaleziona w pierwszej połowie XIX wieku, czyli jeszcze za czasów telegrafu, wciąż skutecznie broni swojej pozycji – mimo upływu prawie 200 lat od narodzin. Trudno chyba o lepszy przykład technologii ponadczasowej.

inż. Przemysław Musz, EP

REKLAMA

eprasa.pl 12486519d0

Przegląd przekaźników z oferty Finder

W dzisiejszych czasach automatyka stosowana w sektorze przemysłowym i energetycznym odgrywa kluczową rolę w zwiększaniu efektywności oraz bezpieczeństwa procesów produkcyjnych czy dystrybucji energii. Do podstawowych elementów tych systemów należą elektromagnetyczne oraz półprzewodnikowe przekaźniki. Stanowią one nieodłączną część zarówno zaawansowanych systemów automatyzacji, jak i prostych układów zabezpieczeń. Umożliwiają ponadto niezawodne łączenie poszczególnych obwodów, zapewniają separację galwaniczną między sterowaniem a obwodem wykonawczym oraz pośredniczą w obwodach bezpieczeństwa.

Więcej informacji:
FINDER Polska sp. z o.o.
62-080 Sady, ul. Logistyczna 27
tel. +48 61 865 94 07
www.findernet.com/pl/

Kluczowe parametry przekaźników obejmują szereg istotnych cech wpływających na funkcjonalność i wydajność tych elementów w różnych zastosowaniach. Jednym z głównych parametrów jest napięcie zasilania cewki, określające zakres napięcia elektrycznego, przy którym przekaźnik może prawidłowo działać. Kolejnym istotnym atrybutem jest prąd znamionowy – wskazuje on prąd obciążenia, jaki przekaźnik może obsłużyć bez przekroczenia określonych granic temperaturowych i mechanicznych. Ponadto istotna jest również liczba styków oraz ich konfiguracja, a także liczba cykli pracy, czyli liczba załączeń, jaką przekaźnik może wykonać przed wystąpieniem ewentualnej awarii. Należy także zwracać uwagę na parametry związane z izolacją elektryczną i odpornością na warunki środowiskowe, takie jak temperatura, wilgotność czy wibracje. Świadomość znaczenia tych kwestii jest kluczowa podczas doboru odpowiedniego przekaźnika do konkretnego zastosowania.

Wśród popularniejszych przekaźników elektromechanicznych firmy Finder warto wymienić miniaturowe przekaźniki przemysłowe serii 40 (**fotografia 1**), 46, 55 i 56. Są one często stosowane ze względu na uniwersalność przełączania różnych obciążeń i związaną z tym użyteczność w wielu aplikacjach. Świetnie sprawdzają się jako sterowniki regulujące pracę urządzeń, takich jak styczniki, grzałki czy systemy oświetleniowe. Ponadto znajdują zastosowanie w systemach alarmowych, systemach BMS oraz innych aplikacjach automatyki przemysłowej; mogą być montowane na panelu, a także za pomocą gniazd dostępnych zarówno na szynę DIN, jak i do płytek drukowanych. Gniazda na szynę DIN umożliwiają łatwy i szybki montaż w standardowych szafach sterowniczych, natomiast gniazda do płytek drukowanych pozwalają na integrację przekaźników bezpośrednio na PCB.

Seria 46 (fotografia 1) występuje w dwóch konfiguracjach: do wyboru mamy 2 zestyki przełączne o prądzie maksymalnym 8 A lub 1 zestyk przełączny 16 A. Mogą być zasilane napięciem w szerokim zakresie, począwszy od 12 V AC/DC aż do 240 V AC i 125 V DC.

eprasa.pl 12486519d0

Fotografia 1. Seria 40 – miniaturowe przekaźniki elektromechaniczne

Seria 55 (**fotografia 2**) zawiera przekaźniki o większej liczbie styków, co umożliwia sterowanie wieloma urządzeniami za pomocą jednego przekaźnika. Wersje z 2 lub 3 stykami są przystosowane do prądu 10 A, natomiast przekaźniki z 4 zestykami obsługują prąd do 7 A. Z kolei przekaźniki serii 56 są przeznaczone do większych mocy, ponieważ ich maksymalny prąd wynosi aż 12 A.

Powyższe przekaźniki wyposażone zostały w mechaniczne wskaźniki zadziałania oraz przyciski testujące z funkcją blokowania. Umożliwiają one szybkie monitorowanie stanu pracy elementu, co ułatwia diagnozę ewentualnych problemów w systemie sterowania. Przyciski testujące z funkcją blokowania pozwalają na ręczną weryfikację działania przekaźnika, dzięki czemu można bezpiecznie sprawdzić poprawność jego pracy i uprościć prace konserwacyjne.

Kolejną grupą przekaźników przemysłowych są wąskie (6 mm) przekaźnikowe moduły sprzęgające, zwane inaczej przekaźnikami interfejsowymi serii 39 (**fotografia 3**). Okazują się one wyjątkowo przydatne w systemach sterowania PLC oraz w elektronicznych systemach automatyki. Montuje się je na szynach DIN, co ułatwia integrację z istniejącymi układami. Standardowo ich konstrukcja obejmuje przekaźnik, gniazdo oraz wbudowany w gniazdo moduł przeciwzakłóceniowy, często ze wskaźnikiem LED informującym o zadziałaniu. W tych modułach używa się zarówno zacisków push-in, jak i zacisków śrubowych, przy czym te pierwsze są szybsze w montażu. Produkty z serii 39 dostępne są w szerokim zakresie napięć zasilania i maksymalnym prądzie obciążenia 6 A, co pozwala na dopasowanie do różnych potrzeb. Przekaźnik interfejsowy działa jako pośrednik między wieloma typami urządzeń, takich jak czujniki, kontrolery PLC oraz silniki/styczniki – dzięki czemu można efektywnie zarządzać sygnałami wejściowymi i wyjściowymi w złożonych systemach automatyki przemysłowej, zapewniając stabilność i niezawodność. Dodatkowo elementy te dostarczane są z szeroką gamą akcesoriów i gniazd, pozwalającą na dokładne dopasowanie przekaźnika do aplikacji i późniejsze jego podłączenie oraz oznakowanie. Co ciekawe, stosując gniazdo w systemie MasterPLUS, zyskujemy dodatkowe zabezpieczenie obwodów wyjściowych przy użyciu modułu bezpiecznikowego, a taki zabieg zwiększa bezpieczeństwo całego układu.

Fotografia 2. Przekaźnik serii 46 z mechanicznym wskaźnikiem zadziałania oraz przyciskiem testującym z funkcją blokowania

Fotografia 3. Przekaźniki serii 55 są dostępne w wersjach z 2, 3 lub nawet 4 stykami

W ofercie Finder, oprócz przekaźników elektromechanicznych, dostępne są także modele oparte na technologii SSR (Solid-State Relay). Charakteryzują się one brakiem ruchomych części mechanicznych, co przekłada się na ich wyższą niezawodność i dłuższą żywotność. W odróżnieniu od tradycyjnych przekaźników elektromagnetycznych, bazujących na cewkach i stykach do przełączania obwodów, przekaźniki SSR korzystają z półprzewodnikowych układów elektronicznych, takich jak tranzystory lub triaki, do kontroli przepływu prądu.

Dodatkowo do większości produktów Finder z omawianej kategorii dostępne są również niewielkich rozmiarów moduły sygnalizacyjne i EMC-przeciwprzepięciowe, które łatwo wpina się w gniazda przekaźników. Moduły sygnalizacyjne wyposażone zostały we wbudowaną diodę LED, która pokazuje, czy przekaźnik jest załączony. EMC-przeciwprzepięciowe moduły zapewniają nie tylko ochronę przed przepięciami oraz nadmiernymi napięciami, lecz także stanowią dodatkową warstwę zabezpieczeń dla całego systemu. Stosuje się w nich kilka elementów, które zostają dopasowane do rodzaju napięcia zasilającego przekaźnik. Diody gaszeniowej używa się w przekaźniku zasilanym napięciem stałym – w przypadku zaindukowania wysokiego napięcia o odwrotnej biegunowości na cewce ulega ono zwarciu przez diodę. Natomiast w układach zasilanych napięciem przemiennym stosuje się warystor, który – dzięki właściwościom rezystancyjnym – kontroluje i ogranicza przepływ nadmiernego prądu. Dodatkowo w modułach stosuje się często układ z bocznikiem rezystancyjnym lub układ RC, które w razie przepięcia, zaindukowania napięcia na przewodach zasilających czy wystąpienia rezonansu rozpraszają nadmiar energii elektrycznej, zapewniając kompleksową ochronę systemu przed uszkodzeniami.

Podsumowując, przekaźniki przemysłowe są kluczowymi elementami w systemach automatyki przemysłowej i energetycznej. Zapewniają precyzyjne sterowanie, niezawodność oraz bezpieczeństwo układów sterujących. Modele interfejsowe, takie jak seria 39 firmy Finder (**fotografia 4**), ułatwiają integrację różnych urządzeń, podnosząc efektywność i stabilność systemów, natomiast moduły sygnalizacyjne i przeciwprzepięciowe znacząco podnoszą poziom bezpieczeństwa. Przy wyborze komponentów warto postawić na jakość. Przekaźniki Finder gwarantują niezawodność i oferują innowacyjne rozwiązania technologiczne, dzięki czemu w znacznym stopniu przyczyniają się do zachowania ciągłości operacyjnej i zwiększenia bezpieczeństwa w wielu branżach przemysłowych.

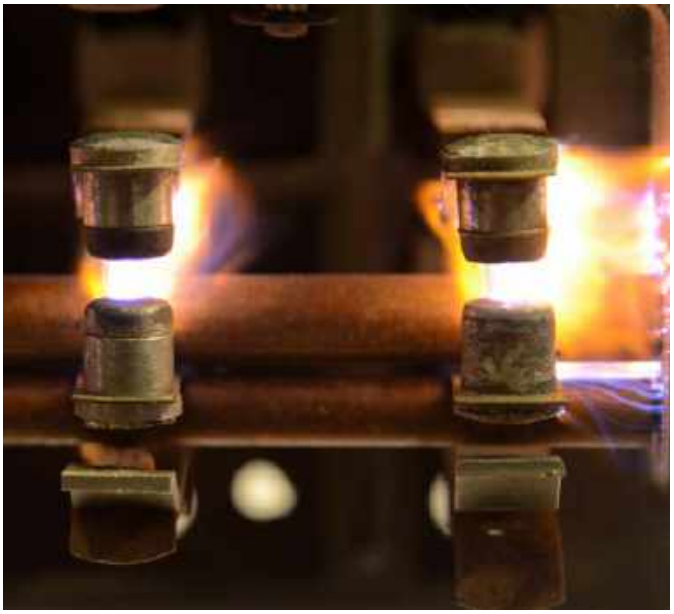
Lucyna Radziun

Fotografia 4. Przekaźnik interfejsowy serii 39 z modułem bezpiecznikowym

eprasa.pl 12486519d0

Ach, te iskrzące styki!

Przekaźniki, styczniki, wyłączniki i inne elektromechaniczne elementy przełączające. Co je łączy, poza tym, że potrafią… łączyć? Zdolność do generowania naprawdę solidnej dawki zakłóceń elektromagnetycznych podczas przełączania. W tym artykule opisuję, jakie skutki może mieć przeoczenie tego faktu, wskazuję również najpopularniejsze sposoby zapobiegania iskrzeniu oraz nieoczywiste zjawiska, na które trzeba uważać.



Elektronicy lubią mechaniczne styki, na przykład przekaźników, tylko w dwóch sytuacjach: kiedy przewodzą prąd lub kiedy tego nie robią. W momencie zmiany bieżącego stanu są one źródłem wielu problemów współczesnej elektroniki. Chodzi głównie o iskrzenie przełączających się metalowych styków, które generuje silną porcję zakłóceń o bardzo szerokim widmie częstotliwościowym. Już w XIX wieku niemiecki fizyk Heinrich Rudolf Hertz zaobserwował to zjawisko. Pomimo upływu lat, problem wcale się nie zmniejszył, wręcz przeciwnie – to nasze układy stały się bardziej wrażliwe.

Każde styki iskrzą w momencie ich załączania lub rozłączania. Kiedy jeden zderza się z drugim, ulegają wielokrotnemu odbiciu od siebie, co zapala i gasi łuk elektryczny między nimi. Ponadto ich powierzchnie kontaktu są nieregularne, a to dodatkowo potęguje opisane zjawisko. Z kolei podczas rozłączania mamy do czynienia z „ciągnięciem" łuku elektrycznego między oddalającymi się powierzchniami. W mniej przewidywalny sposób zachowuje się prąd przemienny, który samoistnie potrafi zgasić łuk (kiedy prąd akurat przechodzi przez zero), choć to marne pocieszenie, bowiem nie mamy żadnej kontroli nad momentem przełączania styków.

Kolejna zła wiadomość: każde styki, między którymi występuje jakieś napięcie (w momencie ich łączenia) lub przepływ prądu (podczas rozłączania), będą źródłem takich zakłóceń. Przykład? Mikroprzełączniki typu tact switch, używane do zadawania nastaw naszym urządzeniom z mikrokontrolerami. Ileż to artykułów napisano na temat debouncingu, czyli właśnie radzenia sobie z iskrzeniem styków w tych malutkich przełączniczkach. Jakie występuje tam napięcie? Zaledwie kilka woltów. I prąd również okazuje się mizerny, z reguły grubo poniżej 1 mA. A iskrzenie jak było, tak jest i będzie. O ile opisany mikroprzełącznik raczej nie wywoła szkód w układzie, jeżeli tylko układ go obsługujący został odpowiednio przygotowany od strony programowej, o tyle przekaźniki łączące większe prądy przy wyższych napięciach – już jak najbardziej.

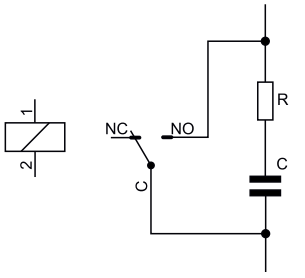
Dostałem niedawno do sprawdzenia niedziałającą płytkę przerywacza wycieraczek. W układzie znajdowały się dwa solidne przekaźniki zdolne przewodzić 40 A prądu stałego, a tuż obok nich umieszczony został mikrokontroler sterujący nimi. Co zauważyłem? Zasilanie mikrokontrolera prawidłowo filtrowane, wszystkie nieużywane wyprowadzenia podciągnięte przez rezystory do jakiegoś ustalonego potencjału, zatem od strony samego mikrokontrolera po prostu... miód-malina! Niestety, układ co pewien czas zawieszał się lub zaczynał wykonywać chaotyczne działania, a po zastosowaniu układu watchdog restartował się co chwilę. Z przekaźników natomiast sypały się snopy iskier, jakby ktoś próbował zainicjować łuk podczas spawania zanieczyszczoną elektrodą…

Nasi przodkowie już dawno temu stwierdzili, że lepiej jest zapobiegać, niż leczyć. Po wielu latach praktyki w elektronice stwierdzam, że byli to bardzo mądrzy ludzie. Jakiekolwiek ekranowanie wrażliwych elementów daje bardzo słaby efekt, ponieważ składowa magnetyczna emitowanych zakłóceń jest na tyle silna, że z powodzeniem przejdzie przez ekran. Oczywiście im większa odległość od źródła zakłóceń, tym słabszy ma ona charakter (traci znaczenie na rzecz składowej elektrycznej – fala staje się falą płaską), lecz rzadko możemy sobie pozwolić na luksus umieszczenia elementów wykonawczych hen daleko od elektroniki sterującej.

Na temat obwodów tłumiących, zwanych snubberami, napisano nie mniej artykułów niż o debouncingu. Teoria na ten temat jest piękna, wzory wyglądają prześlicznie, lecz zawarte w nich założenia mają pewną wadę: trzeba dokładnie znać parametry sterowanego obciążenia, by móc precyzyjnie obliczyć wartości elementów tłumika. Mało kiedy dysponujemy takimi danymi. Czy jakikolwiek producent silników do wycieraczek podaje w notach katalogowych indukcyjność uzwojeń? Jeszcze gorzej wygląda sytuacja, gdy kompletnie nie wiemy, co będzie sterowane przez dany przekaźnik: odkurzacz, żarówka, betoniarka, a może ładowarka do telefonu?

Dlatego w praktyce trzeba pożegnać ze smutkiem tę piękną teorię i wykonać po prostu coś, co działa. Być może nie będzie to rozwiązanie idealne, ale lepszy nawet źle dobrany obwód tłumiący niż brak jakiegokolwiek – poza określonymi przypadkami, o czym więcej piszę w dalszej części artykułu. Spośród różnych topologii snubberów sam najczęściej stosuję tę widoczną na **rysunku 1**. Składa się tylko z dwóch połączonych szeregowo elementów: rezystora i kondensatora. Jakie funkcje pełnią te elementy i jak je dobrać?

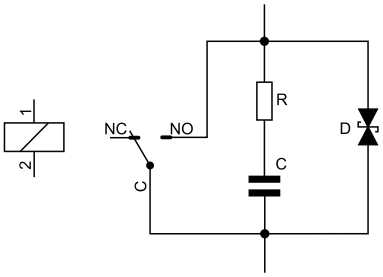
Kondensator C podtrzymuje drogę dla prądu płynącego przez styki w momencie ich przełączania. Można przyrównać to zjawisko do klasycznego (znanego z teorii obwodów) zachowania kondensatora przy szybkich zmianach napięcia między jego okładkami – zachowuje się wtedy jak zwarcie. Ale takie powstające przy każdym przełączeniu zwarcie również nie jest najkorzystniejsze dla styków, bowiem zwierający się naładowany kondensator stanowiłby dodatkowe źródło dość efektownych iskier, przyczyniających się do dodatkowej destrukcji styków. Dlatego zawsze powinien towarzyszyć mu



Rysunek 1. Schemat ideowy podstawowego snubbera

eprasa.pl 12486519d0

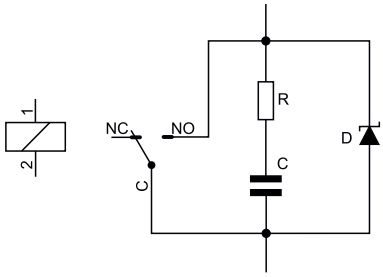
szeregowo włączony rezystor, który ograniczy prąd przez niego płynący. Element o zbyt niskiej rezystancji nie spełni swojej funkcji (kondensator będzie wymuszał przepływ prądu o wysokim natężeniu przez styki), z kolei zbyt wysoka rezystancja całkowicie zniweczy wpływ kondensatora na ten układ – prąd obciążenia będzie dalej płynął przez rozłączające się styki, nie zaś przez kondensator, co nie zredukuje problemu iskrzenia.



Rysunek 2. Modyfikacja pod kątem obciążeń indukcyjnych

Moje doświadczenia w tym zakresie wskazują, że warto umieścić kondensator o pojemności 100 nF w obwodach prądu stałego. Może być ona mniejsza – jeżeli zachodzi taka konieczność – w obwodach prądu przemiennego, ponieważ element reaktancyjny stanowi impedancję rzędu kilkunastu kiloomów w obwodzie zasilanym napięciem o częstotliwości 50 Hz. Na przykład w sytuacji, gdy przekaźnik przełącza cewkę stycznika, stosuję pojemność zaledwie 4,7 nF, ponieważ większa nie zapewnia rozwarcia się styków stycznika (prąd płynący przez cewkę okazuje się zbyt wysoki, by kotwica uległa zwolnieniu). Podobnie sytuacja wygląda z siłownikami elektrozaworów. W obwodach prądu stałego stosuję typowe kondensatory ceramiczne z dielektrykiem X7R w obudowach 1206, natomiast w obwodach prądu przemiennego są to najczęściej kondensatory MKT. Ich napięcie znamionowe powinno być wyższe od tego, którym zasilany jest obwód, ponieważ – po rozwarciu styków – między jego zaciskami będzie się odkładało napięcie niemal równe zasilającemu.

Drugim elementem jest rezystor, który staram się dobrać tak, aby przez styki zwierającego się przekaźnika (przy w pełni naładowanym kondensatorze) popłynął prąd zbliżony do wytrzymałości prądowej tychże styków lub mniejszy. Przykład: moje ulubione przekaźniki HF3FF mają dopuszczalny prąd styków równy 10 A – w nocie katalogowej odnotowano liczne wyjątki, ale na tej wartości poprzestańmy. W obwodzie zasilanym napięciem przemiennym 230V (wartość szczytowa 324 V) kondensator może być naładowany do napięcia nie wyższego niż owe 324 V. Z prawa Ohma wyliczam graniczną rezystancję rezystora: R=U/I=324 V/10 A=32,4 Ω. Najbliższa wartość w szeregu wynosi 33 Ω, więc takie rezystory stosuję w wielu swoich układach, również w tych, które są publikowane na łamach „Elektroniki Praktycznej". Rezystor powinien móc wytrzymać pełne napięcie zasilające, jakie się na nim odłoży: w układach niskonapięciowych stosuję z reguły SMD 1206, przy wyższych napięciach i/lub prądach są to elementy przewlekane o mocy 3 W.



Rysunek 3. Wersja z diodą transil dla prądu stałego

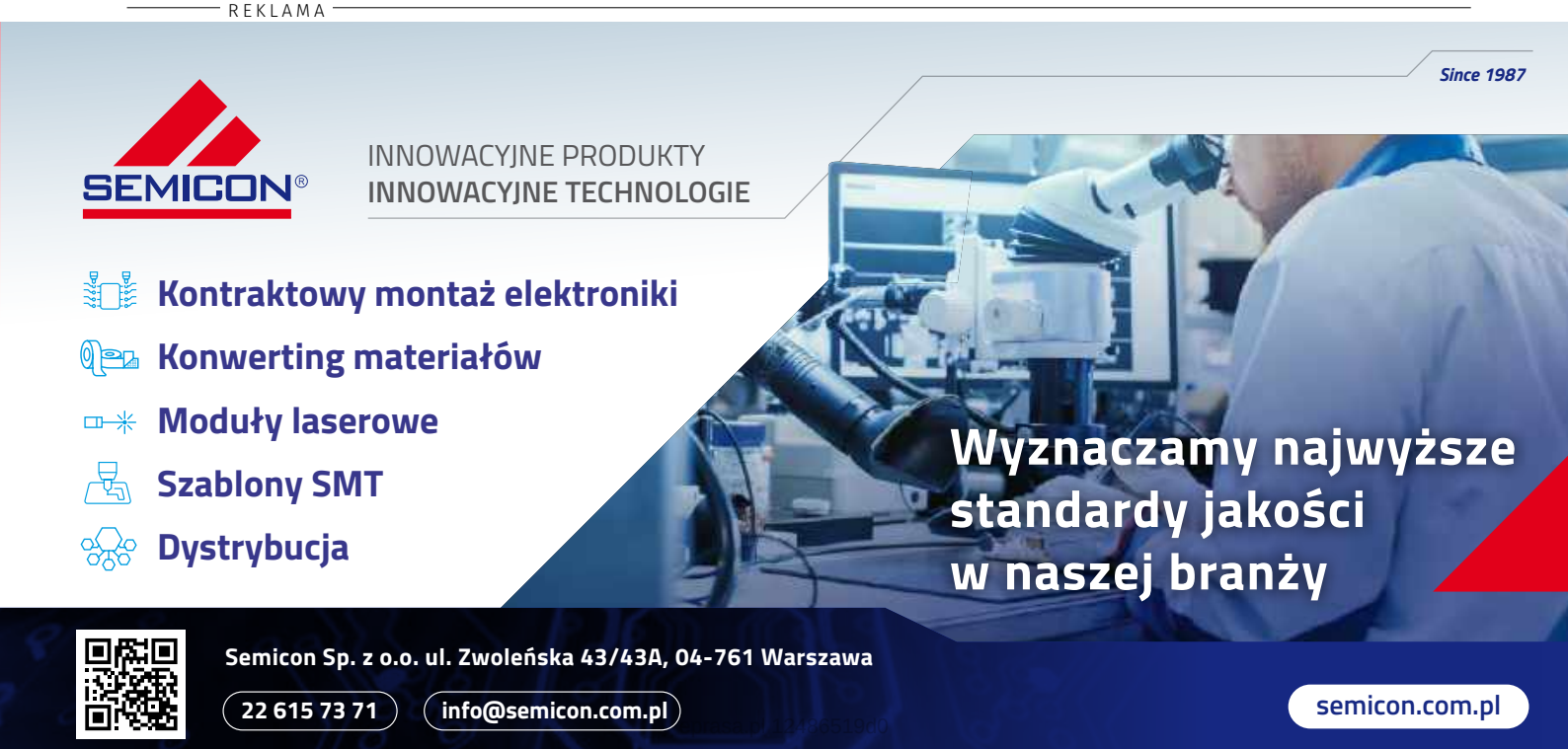
Powyższe wskazówki doboru elementów należy traktować jako orientacyjne, ponieważ pomijam szereg czynników, jak chociażby przesunięcie fazowe między prądem a napięciem na okładkach kondensatora. Jednak stosunek reaktancji kondensatora do rezystancji rezystora jasno wskazuje, że przesunięcie to będzie marginalnie małe, gdyż różnią się one o kilka rzędów wielkości.

Jeżeli mamy pewność, że sterowane obciążenie ma charakter indukcyjny, warto rozważyć dodanie dwukierunkowej diody typu transil równolegle do styków przekaźnika – **rysunek 2**. Impuls samoindukcji potrafi wygenerować naprawdę wysokie napięcie w momencie odłączania zasilania, a ponadto po co mamy ryzykować przebicie izolacji przekaźnika. Lepiej niesforne „szpilki" po prostu obciąć, niech dedykowane elementy półprzewodnikowe też mają szanse się wykazać. Napięcie przebicia takiej diody powinno być wyższe od wartości szczytowej napięcia zasilającego, aby nie przewodziła ona bez potrzeby. Diody jednokierunkowe zalecam tylko do obwodów prądu stałego i tylko wtedy, kiedy jesteśmy pewni polaryzacji napięcia przyłożonego do styków – **rysunek 3**. W każdej innej sytuacji doradzałbym diody dwukierunkowe, których ceny są niemal takie same jak jednokierunkowych.

Podsumowując, należy wspomnieć, że dwa lub trzy elementy o „groszowych" cenach potrafią uratować niejeden projekt, również ze względu na poziom emitowanych zakłóceń EMI. Także same elementy stykowe będą miały szczęśliwsze i dłuższe życie, dzięki mniejszemu iskrzeniu ich styków podczas każdego przełączenia. Trzeba przy tym pamiętać o pewnej wadzie zaprezentowanego układu: w przypadku prądu przemiennego nie zapewni on rozwarcia tak doskonałego, jak przedzielone powietrzem metalowe styki, toteż trzeba ów prąd upływu brać pod uwagę podczas dobierania pojemności kondensatora.

Michał Kurzela, EP

REKLAMA



Transoptory w ofercie TME – jakość, której możesz zaufać

Przykłady zastosowania produktów marki Everlight

Everlight oferuje klientom wiele serii transoptorów. Produkty te charakteryzują się wysoką jakością i wydajnością, dzięki czemu możliwe jest ich użycie w rozmaitych zastosowaniach. Transoptory Everlight spełniają wszelkie wymagania stawiane elementom montowanym w systemach kontrolnych, miernikach mocy, telekomunikacji czy układach napędowych i podobnych.

- Zastosowania transoptorów w układach napędów silnikowych.
- Transoptory w magistralach komunikacyjnych.
- Transoptory w układach sterowania windami.
- Aplikacje transoptorów w miernikach energii.

Transoptory to komponenty zbudowane z emitera światła i odbiornika, a ich główną funkcją jest zapewnienie izolacji galwanicznej między obwodami wejściowymi oraz wyjściowymi. Medium sygnału stanowi światło widzialne lub podczerwone. Transoptory używane są w urządzeniach sterujących, miernikach mocy, urządzeniach komunikacyjnych i systemach zasilania. Ich użycie w układzie poprawia jego zdolność przeciwzakłóceniową, a także niezawodność oraz stabilność.

Transoptory w układach napędów silnikowych

Transoptory odgrywają kluczową rolę w sterowaniu systemami napędów silnikowych, stanowiąc izolację galwaniczną między różnymi obwodami. Ich zastosowanie zwiększa bezpieczeństwo całego układu, pozwala bowiem na oddzielenie niskonapięciowego obwodu sterowania od wysokonapięciowego układu zasilania (wprowadzenie bariery izolacyjnej stanowi zabezpieczenie przed szpilkami napięcia). W efekcie uzyskujemy minimalizację zakłóceń oraz niższe ryzyko uszkodzeń wynikających z przepięć.

Transoptory mogą być również stosowane w układach kontrolnych monitorujących pracę silnika jako element sprzężenia zwrotnego – dzięki użyciu transoptorów analogowych możliwe jest uzyskanie sprzężenia zwrotnego, dotyczącego napięcia i prądu silnika, natomiast transoptory cyfrowe traktowane są jako elementy sprzężenia zwrotnego z enkoderów, pozwalających na precyzyjne sterowanie silnikiem.

W **tabeli 1** zaprezentowane zostały transoptory marki Everlight, przeznaczone do aplikacji w układach napędowych.

Transoptory w magistralach komunikacyjnych

W magistralach komunikacyjnych transoptory (**tabela 2**) są stosowane jako elementy izolacji między różnymi obwodami systemu, co pozwala na ochronę elementów sterujących przed zakłóceniami pochodzącymi z innych części infrastruktury (takich jak urządzenia peryferyjne czy też czujniki podłączone do magistrali).

Transoptory muszą spełniać wymagania czasowe aplikacji, tzn. zapewniać odpowiednią prędkość przesyłu informacji. Ułatwiają dopasowywanie napięć pomiędzy obwodem sterującym a linią transmisji danych.

eprasa.pl 12486519d0

Tabela 1. Transoptory marki Everlight przeznaczone do aplikacji w układach napędowych

Symbol artykułu	Typ optoizolatora	Rodzaj wyjścia	Obudowa	Liczba kanałów	Napięcie izolacji	Napięcie kolektor-emiter	CTR@If	Szybkość narastania napięcia
4N25-EVE	transoptor	tranzystorowe	DIP6	1	5 kV	80 V	20%@10 mA	
4N26-EVE	transoptor	tranzystorowe	DIP6	1	5 kV	80 V	20%@10 mA	
4N27-EVE	transoptor	tranzystorowe	DIP6	1	5 kV	80 V	10%@10 mA	
4N35-EVE	transoptor	tranzystorowe	DIP6	1	5 kV	80 V	100%@1 0mA	
4N36-EVE	transoptor	tranzystorowe	DIP6	1	5 kV	80 V	100%@ 10 mA	
CNY17-3-EVE	transoptor	tranzystorowe	DIP6	1	5 kV	80 V	100...200%@ 10 mA	
CNY17F-2-EVE	transoptor	tranzystorowe	DIP6	1	5 kV	80 V	63...125%@ 10 mA	
EL357N-G	transoptor	tranzystorowe	SOP4	1	3,75 kV	80 V	50...600%@ 5mA	
EL3H7-G	transoptor	tranzystorowe	SSOP4	1	3,75 kV	80 V	50...600%@5 mA	
EL816	transoptor	tranzystorowe	DIP4	1	5 kV	80 V	50...600%@5 mA	
EL3021	optotriak	triak	DIP6	1	5 kV			100 V/µs
EL3061	optotriak	układ przełączania w zerze	DIP6	1	5 kV			1 kV/µs
EL3063	optotriak	układ przełączania w zerze	DIP6	1	5 kV			1 kV/µs
EL3081	optotriak	układ przełączania w zerze	DIP6	1	5 kV			600 V/µs

Tabela 2. Transoptor do aplikacji w magistralach komunikacyjnych

Symbol artykułu	Typ optoizolatora	Rodzaj wyjścia	Obudowa	Liczba kanałów	Napięcie izolacji	Napięcie kolektor-emiter	CTR@If
EL815	transoptor	układ Darlingtona	DIP4	1	5 kV	35 V	600...7500%@1 mA

Tabela 3. Transoptory do systemów sterowania windami

Symbol artykułu	Typ optoizolatora	Rodzaj wyjścia	Obudowa	Liczba kanałów	Szybkość narastania napięcia	Napięcie izolacji
6N137-EVE	transoptor	logiczne	DIP8	1		5 kV
6N138-EVE	transoptor	układ Darlingtona	DIP8	1	1 kV/µs	5 kV
6N139-EVE	transoptor	układ Darlingtona	DIP8	1	1 kV/µs	5 kV
EL2631	transoptor	logiczne	DIP8	2	20 kV/µs	5 kV

Tabela 4. Transoptory zalecane do zastosowań w miernikach energii elektrycznej

Symbol artykułu	Typ optoizolatora	Rodzaj wyjścia	Obudowa	Liczba kanałów	Napięcie izolacji	CTR@If	Napięcie kolektor-emiter
6N137-EVE	transoptor	logiczne	DIP8	1	5 kV		
4N25-EVE	transoptor	tranzystorowe	DIP6	1	5 kV	20%@10 mA	80 V
4N26-EVE	transoptor	tranzystorowe	DIP6	1	5 kV	20%@10 mA	80 V
4N27-EVE	transoptor	tranzystorowe	DIP6	1	5 kV	10%@10 mA	80 V
4N35-EVE	transoptor	tranzystorowe	DIP6	1	5 kV	100%@10 mA	80 V
4N36-EVE	transoptor	tranzystorowe	DIP6	1	5 kV	100%@10 mA	80 V
CNY17-3-EVE	transoptor	tranzystorowe	DIP6	1	5 kV	100...200%@10 mA	80 V
6N138-EVE	transoptor	układ Darlingtona	DIP8	1	5 kV	300...2000%@1,6mA	
6N139-EVE	transoptor	układ Darlingtona	DIP8	1	5 kV	400...2500%@0,5mA	

Transoptory w systemach sterujących windą

Transoptory okazują się niezwykle istotne w systemach sterowania windami, wprowadzają bowiem izolację elektryczną między różnymi komponentami w celu zwiększenia bezpieczeństwa i niezawodności systemu. Elementy te skutecznie oddzielają sygnały sterujące, chroniąc niskonapięciowe obwody kontrolne od wysokonapięciowych obwodów zasilania napędu windy. Pozwala to na zapewnienie precyzyjnego i bezpiecznego działania dźwigów. Co więcej, transoptory znajdują zastosowanie również w układach sprzężenia zwrotnego położenia lub prędkości. Ze względu na fakt, iż jest to aplikacja krytyczna, ważna okazuje się niezawodność komponentu, dlatego transoptory marki Everlight uzyskały liczne certyfikaty – UL, cUL, VDE, SEMKO, NEMKO, DEMKO, FIMKO.

Listę transoptorów odpowiednich do opisywanych rodzajów aplikacji można znaleźć w **tabeli 3**.

Transoptory w miernikach energii elektrycznej

Transoptory znajdą również zastosowanie jako izolacja galwaniczna w aplikacjach mierników energii. Ponadto są stosowane jako elementy sprzężenia zwrotnego w układzie – transoptory analogowe dostarczają informacji na temat parametrów, takich jak napięcie i prąd układu, pozwalając tym samym na dokładny pomiar zużycia energii. Natomiast transoptory cyfrowe, poprzez dostarczanie informacji w postaci binarnej, zapewniają kontrolę nad prawidłowym działaniem miernika. W **tabeli 4** zebrano transoptory zalecane do zastosowań w miernikach energii elektrycznej.

Tekst opracowany przez
Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o.

https://www.tme.eu/pl/news/about-product/page/58176/transoptory-w-ofercie-tme-jakosc-ktorej-mozesz-zaufac/

eprasa.pl 12486519d0

Poprzednie odcinki znajdują się pod adresem:
https://ulubionykiosk.pl/media

Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (6)

Zestaw do kontrolowania wilgotności gleby Enviro Grow firmy Pimoroni

Pielęgnacja kwiatów doniczkowych to wdzięczne zajęcie poprawiające atmosferę domu, ale też świetna okazja do poznania układów IoT zawierających nie tylko czujniki, lecz także elementy wykonawcze. Doskonałym do tego celu produktem, umożliwiającym natychmiastowe uruchomienie działającego urządzenia, okazuje się zestaw do kontrolowania wilgotności gleby uprawianych roślin Enviro Grow (PIM637) firmy Pimoroni. Zestaw przeznaczony jest do projektów automatycznego ogródka.

Wiarygodny pomiar wilgotności gleby stanowi niełatwe zadanie. Wilgotność gleby to bowiem coś więcej niż tylko określenie ilości wody w glebie. Aby wyciągnąć sensowne wnioski na temat zawartości H_2O w podłożu, musisz wiedzieć coś o jego rodzaju. Gleba sama w sobie składa się z wody, powietrza, minerałów, materii organicznej, a czasami również lodu. Objętościowa zawartość wody (VWC) jest stosunkiem objętości wody do całkowitej objętości gleby. Pod względem tego parametru, gleba wysuszona w piecu z definicji zawiera 0% VWC. To jeden zdefiniowany punkt końcowy. Czysta woda znajduje się na drugim końcu skali, w 100%. Wiele osób uważa, że 100% VWC to podłoże w pełni nasycone, ale tak nie jest. Każdy rodzaj gleby będzie nasycony przy różnej zawartości wody.

Gleby na polu rzadko osiągają nasycenie. Gdy grunt absorbuje wodę, tworzy film wodny, który przylega do cząstek gleby. Istnieją również przestrzenie porów wypełnione powietrzem. To uwięzione powietrze sprawia, że procent nasycenia rzadko będzie równy teoretycznemu maksimum dla danego typu gleby.

Czujniki pojemnościowe wilgotności gleby

Czujniki pojemnościowe korzystają z wysokich częstotliwości (zwykle od 50 do 100 MHz), aby zminimalizować wpływ zasolenia gleby

eprasa.pl 12486519d0

na wyniki odczytu. Taka częstotliwość sond pojemnościowych „widzi" całą wodę w glebie, a jednocześnie okazuje się wystarczająco wysoka, aby uniknąć większości błędów pomiaru wynikających z zasolenia podłoża. Czujniki pojemnościowe mierzą przenikalność dielektryczną w celu uzyskania danych na temat objętościowej zawartości wody.

Rozsądne pomiary wilgotności można przeprowadzić przy użyciu dowolnej techniki, a błędy w pomiarach często wynikają raczej ze złych metod instalacji niż z ograniczeń samych metod.

Czujniki pojemnościowe mogą wykonywać pomiar ciągły. Niektóre ich rodzaje są łatwe w instalacji. Ponadto nie kosztują wiele i mogą uzyskać dobrą dokładność dzięki kalibracji pod kątem specyficznej odmiany gleby (2...3%). Zużywają również niewiele energii, do ich zasilania wystarczą małe baterie z niewielką liczbą paneli słonecznych. Przy wysokim zasoleniu (powyżej 8 dS/m ekstraktu nasycenia) czujnik staje się niedokładny. Niektóre dostępne na rynku wyroby o niskiej jakości charakteryzują się słabą dokładnością i wydajnością.

Obwody czujników pojemnościowych można zaprojektować tak, aby wykrywały bardzo małe zmiany w objętościowej zawartości wody – do tego stopnia, że NASA zastosowała technologię pojemnościową do pomiaru zawartości wody na Marsie.

Czujnik wilgotności gleby SoilWatch 10

SoilWatch 10 firmy Pino-Tech to pojemnościowy czujnik wilgotności gleby, który umożliwia pomiar względnej zawartości wody w podłożu (**fotografia 1**) [14]. Jest on wodoodporny i odporny na warunki atmosferyczne – osłonięte elektrody oraz hermetyczna obudowa zabezpieczają układ przed korozją.

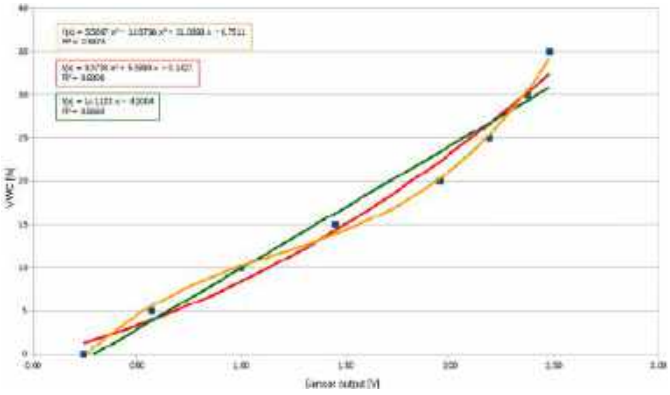
Specyfikacja czujnika SoilWatch 10 [14]:

- zasilanie: 3,1...5,0 V (maksymalnie 5,5 V),
- prąd: ~15 mA,
- sygnał wyjściowy: 0...3 V,
- dryft temperaturowy: mniejszy niż 5 mV (typ.),
- temperatura pracy: od –20°C do 80°C (odczyty poniżej 0°C są bez znaczenia),
- wymiary: 170×25×25 mm.

SoilWatch 10 pracuje z częstotliwością 75 MHz i generuje sygnał analogowy w zakresie 0...3 V, przy czym zakres wyjściowy jest przybliżony i różni się nieznacznie w przypadku różnych modeli. Ponadto – w zależności od użytej wersji – czujnik zapewnia napięcie wyjściowe bliskie 0 V w powietrzu i około 3 V w wodzie. SoilWatch 10 ma własny regulator napięcia, więc zmiany napięcia zasilania nie wpływają na jego sygnał wyjściowy.

Gdy czujnik jest stosowany w aplikacjach zasilanych bateryjnie, zaleca się użycie odpowiedniego klucza (tranzystor lub przekaźnik),

Fotografia 1. Czujnik wilgotności gleby SoilWatch 10 [14]



Rysunek 1. Dane kalibracyjne czujnika SoilWatch 10 dla gliny piaszczystej [14]

Fotografia 2. Zestaw Enviro Grow (PIM637) [1]

aby włączyć sensor jedynie na krótko. Typowy czas, po którym moduł jest gotowy do pracy, wynosi mniej niż 100 ms.

Dane kalibracyjne czujnika SoilWatch 10 dla gliny piaszczystej są pokazane na **rysunku 1** [14]. Taka gleba może mieć VWC równe 32% w warunkach polowych (co wskazuje na jej dobre nawodnienie).

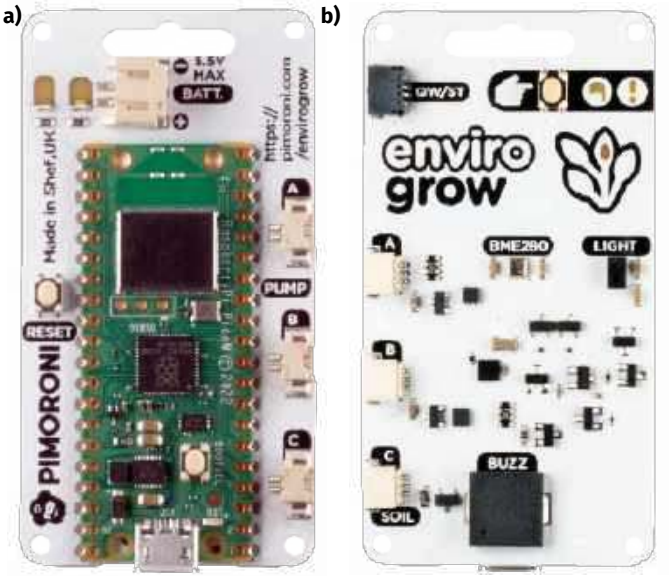
Zestaw Enviro Grow (PIM637)

Zestaw Enviro Grow (PIM637) firmy Pimoroni zawiera trzy pojemnościowe czujniki wilgoci gleby, trzy pompki wody, pojemnik na baterie AA oraz płytkę Enviro Grow (PIM627) z czujnikiem ciśnienia, oświetlenia oraz wilgotności i temperatury powietrza (**fotografia 2**) [1]. Każdy element zestawu można zakupić oddzielnie. Dodatkowo możliwe jest dokupienie dłuższych (1 m) kabli (CAB1006) do podłączenia czujników wilgotności gleby oraz przedłużacza kabla zasilania pompki (CAB2101).

Na rynku dostępny jest ponadto zestaw Grow (PIM510) firmy Pimoroni, zawierający te same trzy pojemnościowe czujniki wilgoci gleby z kablami 35 cm oraz płytkę Grow HAT Mini (PIM533) stanowiącą nakładkę na Raspberry Pi [7].

REKLAMA

eprasa.pl 12486519d0



Fotografia 3. Płytka Enviro Grow, a) widok od dołu, b) widok z góry [2]

Zestaw Enviro Grow (PIM637) zawiera [1]:

- płytkę Enviro Grow (PIM627) [2],
- 3× czujnik wilgotności gleby (PIM520) [3],
- 3× kabel czujnika wilgotności (35 cm) (CAB1007) [5],
- 3× minipompę wody (z kablem) (COM3700) [4],
- rurkę silikonową 1 m (COM3800) [6],
- 3× baterię AA,
- pojemnik na trzy baterie AA,
- kabel USB micro-B,
- rzep do mocowania pojemnika baterii.

Czujnik wilgotności gleby (PIM520)

Pojemnościowy czujnik wilgotności gleby (PIM520) firmy Pimoroni jest wyposażony w cyfrowe wyjście z modulacją częstotliwości (fotografia 2, w środku u góry) [3]. Sygnał wyjściowy mieści się w zakresie ok. 2...30 Hz. Ponieważ sensor pojemnościowy nie ma odsłoniętych elektrod, okazuje się znacznie mniej podatny na korozję w miarę upływu czasu niż tradycyjne czujniki rezystancyjne. Opisywany model zaopatrzony został w złącze JST SH 3P. Po obu stronach powierzchni czujnika zaznaczono linię UNDER oraz GROUND, pokazującą głębokość, na jaką czujnik powinien zostać wsunięty w glebę. Model PIM520 ma wymiary 99×10×5 mm.

Firma nie podaje więcej informacji na temat tego produktu oraz nie udostępnia schematu. Czujnik ma postać jednowarstwowej płytki drukowanej z elementami elektronicznymi przylutowanymi (SMD) na górnej części płytki (fotografia 2). Obie strony płytki są pokryte lakierem zabezpieczającym, a duże pola miedziane usytuowane obustronnie tworzą kondensator pomiarowy. Elementy elektroniczne nie są niczym zabezpieczone. W projekcie zastosowane zostały dwa układy scalone oraz kilka rezystorów i kondensatorów. TLC555C to uniwersalny timer skonfigurowany jako oscylator i jest zgodny z układem opisanym w artykule [8]. Pojemność pomiarowa z rezystorami dołączonymi do TLC555C określa generowaną częstotliwość wyjściową generatora. W przypadku czujnika umieszczonego w powietrzu jest to ok. 112 kHz. Ten przebieg jest podawany na układ 14-stopniowego dzielnika binarnego 74HC4060 – gdy czujnik umieszczony jest w powietrzu, podzielony sygnał cyfrowy ma częstotliwość ok. 27,446 Hz.

Minipompa wody (COM3700)

Minipompa wody (COM3700) firmy Pimoroni to mała, zanurzana pompa odśrodkowa o klasie wodoodporności IP68 i wymiarach ok. 43×38,5×25,5 mm (**fotografia 3**, w środku) [4]. Pompka działa z mocą 0,91 W przy napięciu 4,5 V (pobór prądu to 0,18 A). Zaopatrzona została w przewód zasilania ze złączem kompatybilnym z Molex Picoblade (raster 1,25 mm). Można ją łatwo podłączyć do gniazdek płytki Enviro Grow lub Grow HAT Mini. Dodatkowo możliwe jest dokupienie kabla przedłużacza zasilania (1 m) pompki wody (CAB2101). Maksymalna wysokość podnoszenia wody wynosi 0,55 m, a najwyższy osiągalny przepływ: 100 l/h. Do pompy podłącza się silikonową rurkę o wewnętrznej średnicy 5 mm (w zestawie).

Minipompa wody przeznaczona jest do domowych systemów automatycznego nawadniania roślin. Należy unikać wciągania gleby do pompki, ponieważ może to spowodować zablokowanie rotora. Aby uzyskać maksymalną trwałość silnika, należy również unikać pracy pompy na sucho przez dłuższy czas.

Płytka Enviro Grow (PIM627)

Widok płytki Enviro Grow (PIM627) pokazano na fotografii 3. Na dolnej stronie płytki znalazła się bezpośrednio (SMD) wlutowana płytka Raspberry Pi Pico W, udostępniająca gniazdko microUSB oraz przycisk BOOTSEL. Na dole płytki Enviro Weather zamontowane jest też gniazdko zasilania bateryjnego BATT (JST-PH), przycisk RESET (SW_RESET), dołączony do wejścia RUN procesora RP2040, dwie diody LED (widoczne także od góry) oraz trzy gniazdka (A, B, C) do podłączenia minipompek wody (PUMP). Natomiast na górnej stronie płytki zamontowane zostały: czujnik światła LTR-559 (LIGHT), sensor ciśnienia, temperatury i wilgotności (BME280), brzęczyk (BUZZER), gniazdko komunikacji I²C standardu Qwiic (QW/ST) oraz trzy gniazdka (A, B, C) do podłączenia czujników wilgotności gleby (SOIL).

Dodatkowo udostępnione są:

Przycisk użytkownika POKE (STATUS, dołączony do wejścia GPIO7 procesora RP2040) – wybudza płytkę ze stanu uśpienia i pozwala na natychmiastowy odczyt.

Dioda ACTIVITY (LED_ACT, biała, zamontowana pod spodem) – świeci, gdy płytka pracuje.

Dioda WARNING (LED_ALARM, czerwona, zamontowana pod spodem) – miga, jeśli wystąpił błąd, np. brak połączenia.

Dioda LED_ACT jest – poprzez rezystor 1 kΩ – sterowana z wyjścia GPIO6 procesora RP2040, zaś dioda LED_ALARM (także przez rezystor 1 kΩ) jest podłączona do wyjścia CLKOUT układu PCF85063 (RTC).

Właściwości płytki Enviro Grow [2]:

- Raspberry Pi Pico W:
  - dwurdzeniowy Arm Cortex M0+ działający z częstotliwością do 133 MHz i wyposażony 264 kB pamięci SRAM,
  - 2 MB pamięci flash QSPI obsługującej XiP,
  - moduł zasilany i programowalny przez USB micro-B,
  - bezprzewodowa komunikacja 2,4 GHz.
- Czujnik BME280:
  - pomiar ciśnienia: od 300 do 1100 hPa,
  - pomiar temperatury: od –40 do 85°C,
  - pomiar wilgotności powietrza: 0...100% RH,
  - interfejsy I²C oraz SPI.
- Czujnik LTR-559:
  - pomiar natężenia oświetlenia od 0,01 do 64000 lx,
  - czujnik zbliżeniowy do 5 cm,
  - filtr UV/IR,
  - interfejs I²C.
- Brzęczyk piezoelektryczny
- Funkcja uśpienia/budzenia za pomocą RTC
- Przycisk użytkownika
- Przycisk resetowania RESET
- Przycisk BOOTSEL (na płytce Raspberry Pi W)
- Złącze akumulatora JST-PH
- Dioda LED użytkownika
- Dioda LED ostrzegawcza
- Złącze Qwiic/Stemma QT do podłączenia układów zewnętrznych z protokołem I²C
- 3× złącze JST SH 3P do podłączenia czujnika wilgotności gleby
- 3× złącze Picoblade 2P do podłączenia mini pompy wody

eprasa.pl 12486519d0

Brzęczyk jest – poprzez tranzystor MOSFET – sterowany z wyjścia GPIO28 procesora RP2040. Sygnały z gniazdek do podłączenia czujników wilgotności gleby dołączane są do wejść GPIO13...15. Sygnały sterowania pompkami są podawane z wyjść GPIO10...12 (rezystory 2,2 kΩ do masy) na tranzystory MOSFET zabezpieczone diodami BAT54C.

Układ scalony BME280 firmy Bosch wykonuje pomiary ciśnienia (300...1100 hPa, 18/20 bitów), temperatury (–40°C...+85 °C, 18/20 bitów) oraz wilgotności względnej (0...100%, 16 bitów) w technologii pojemnościowej [11]. Na płytce Enviro Grow układ BME280 został skonfigurowany do pracy ze standardem komunikacji I²C i zasilaniem 3,3 V.

Układ scalony LTR-559 firmy LiteOn to czujnik światła otoczenia (ALS) oraz czujnik zbliżeniowy (PS) [12]. Na płytce Enviro Grow układ ten pracuje z zasilaniem 3,3 V. Wyjście INT dołączone zostało do wejścia GPIO3 procesora RP2040.

Układ scalony PCF85063ATL firmy NXP jest zegarem czasu rzeczywistego (RTC) i kalendarzem zoptymalizowanym pod kątem niskiego zużycia energii [13]. Na płytce Enviro Grow układ PCF8563ATL jest zasilany z napięcia V+_A0 (3,3 V). Układ PCF85063A skonfigurowany został do generowania sygnału RTC_ALARM. Do wyjścia /INT jest dołączony tranzystor MOSFET generujący sygnał RTC_ALARM. Wyjście CLKOUT układu dołączone zostało do diody LED (LED_ALARM).

Układy scalone BME280, LTR-559 oraz PCF85063ATL omówiliśmy dokładnie w poprzednim artykule z serii „Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (4): Stacja pogodowa Enviro Weather" [16].

Płytkę Enviro Weather można zasilać w danym momencie z jednego źródła: poprzez gniazdko micro USB albo z zewnętrznego napięcia – poprzez złącze akumulatora JST-PH. Układ zasilania płytki Enviro Grow jest taki sam, jak płytki Enviro Weather i został dokładnie opisany w poprzednim artykule z serii „Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (5): Optymalizacja poboru mocy urządzenia IoT z płytką Raspberry Pi Pico W" [21].

Płytka Raspberry Pi Pico W

Raspberry Pi Pico W firmy Raspberry Pi to płytka z mikrokontrolerem RP2040 wyposażonym w dwa rdzenie ARM Cortex-M0+ pracujące z częstotliwością 133 MHz, 264 kB RAM [15]. Na płytce znajduje się również 2 MB pamięci QSPI flash. Mikrokontroler RP20240 udostępnia rozbudowane interfejsy komunikacyjne: 2×SPI, 2×I²C, 2×UART, 3×12-bit ADC, 16 kanałów PWM oraz obsługę trybu niskiego zużycia energii (uśpienia) i trybu bezczynności. Układ może być programowany w języku C/C++ lub microPython.

Płytka ma zamontowane gniazdko micro USB służące do zasilania i przesyłania danych (USB 1.1 w trybach Host i Device). Wyposażona została ponadto w układ scalony CYW43439 firmy Infineon, rozszerzający jej funkcjonalności o łączność bezprzewodową w standardzie Wi-Fi 4 (IEEE 802.11b/g/n) oraz Bluetooth 5.2 (BDR, EDR oraz BLE) z pojedynczą anteną współdzieloną.

Po obu stronach płytki znajdują się pady umożliwiające wlutowanie złączy goldpin (2×20) lub bezpośrednie przylutowanie do płytki bazowej (SMD). Udostępniają one zasilanie oraz 26 wyprowadzeń GPIO.

Pierwsze uruchomienie płytki Enviro Grow

Dokładna instrukcja montażu zestawu krok po kroku (ze zdjęciami) pt. „Plant Monitoring with Enviro Grow" [9] stanowi doskonały przewodnik łączenia wszystkich elementów zestawu. Dodatkowe przydatne informacje zamieszczone zostały w „Auto-Watering with Grow" [10]. Gdy wszystko zostanie połączone, można rozpocząć pracę (początkowo lepiej uczynić to bez wody).

Podłącz baterię lub kabel USB do płytki Enviro i naciśnij przycisk POKE z przodu płytki, aby ją wybudzić. Dioda ACTIVITY zaświeci się, a po około sekundzie zacznie pulsować, wskazując, że urządzenie działa.

Jeśli płytka nie została jeszcze skonfigurowana, automatycznie włączy się odpowiedni tryb – dioda ACTIVITY zacznie szybko migać.

Płytka Enviro jest dostarczana z preinstalowanym oprogramowaniem, dzięki któremu można błyskawicznie rozpocząć rejestrowanie danych. Zaletę Enviro stanowi fakt, że całe oprogramowanie jest przechowywane na urządzeniu w postaci skryptów MicroPython, więc łatwo je otworzyć i sprawdzić każdy szczegół ich działania, a także zmienić pewne elementy.

Oprogramowanie obsługuje wiele miejsc docelowych do wysyłania danych:

- Adafruit IO: platforma zaprojektowana przez Adafruit do przechowywania i wyświetlania danych.
- MQTT: najpopularniejszy protokół przesyłania wiadomości w Internecie Rzeczy (IoT).
- InfluxDB: platforma, na której programiści tworzą aplikacje IoT, analitykę oraz chmurę.
- Adres HTTP: żądanie jest wysyłane do podanego adresu URL wraz ze wszystkimi danymi.

Dołączanie aplikacji Thonny do płytki Enviro Grow

Thonny to środowisko IDE o otwartym kodzie źródłowym, które służy do pisania i przesyłania programów MicroPython do różnych płytek programistycznych, takich jak Raspberry Pi Pico, ESP32 i ESP8266.

1. Na komputerze zainstaluj najnowszą wersję programu Thonny [17].
2. Dołącz skonfigurowaną płytkę Enviro Grow kablem USB do komputera.
3. Sprawdź w Menadżerze urządzeń, który port COMxx został przypisany do dołączonej płytki.
4. Z menu w prawym dolnym rogu wybierz MicroPython (RP2040) Board CD @COMxx.
5. Z okna *RP2040 device* otwórz plik main.py.
6. Kliknij na przycisk *Stop/Restart backend*.
7. Kliknij na przycisk *Run current script*.

Płytka z oprogramowaniem fabrycznym startuje w trybie konfiguracji, a biała dioda ACTIVITY szybko miga.

Płytka Enviro Grow w trybie konfiguracji wystawia punkt dostępowy Wi-Fi o nazwie „Enviro Grow Setup". W oknie Shell dołączonego do płytki programu Thonny zostanie wyświetlony log wykonywanych operacji.

Aktualizacja oprogramowania firmowego z transferem pliku obrazu

Użytkowanie płytki Enviro Weather najlepiej rozpocząć od zaktualizowania oprogramowania wbudowanego. Aktualizacja jest opisana na stronie Upgrading Firmware [18].

8. Pobierz ze strony *Enviro MicroPython firmware* [19] najnowszą wersję firmowego pliku obrazu (uf2), zawierającą jednocześnie Enviro i MicroPythona. Obecnie jest to plik *pimoroni-enviro-v1.20.4-micropython-enviro-v0.0.10.uf2*.

REKLAMA

eprasa.pl 12486519d0

9. Trzymaj wciśnięty przycisk BOOTSEL płytki Raspberry Pi Pico W (pod spodem płytki Enviro) i podłącz ją kablem USB do komputera.

Spowoduje to przejście oprogramowania płytki Pico W do trybu DFU i zostanie otwarte na komputerze okno RPI-RP2 pokazujące zawartość dysku udostępnianego przez Pico W.

10. Przeciągnij pobrany plik uf2 do okna RPI-RP2.

Pico W uruchomi się ponownie z najnowszą wersją MicroPythona. Nie będzie już udostępniał dysku oraz przejdzie bezpośrednio do trybu konfiguracji.

Uwaga! Nastąpi skasowanie poprzedniej zawartości pamięci Flash płytki, w tym pliku config.py oraz katalogów *readings* i *uploads*. Jeśli są one potrzebne, należy wcześniej wykonać ich kopie.

Aktualizacja oprogramowania firmowego z transferem plików projektu

Pełna wersja obrazu nie zawiera typowo najnowszej wersji MikroPythona. Jednak można osobno załadować jego najnowszą wersję, a potem dodać pliki aktualnej aplikacji Enviro.

11. Pobierz ze strony *Pimoroni Pico Libraries and Examples* [20] najnowszą wersję firmowego pliku obrazu (uf2) zawierającego MicroPythona. Obecnie jest to plik *pimoroni-enviro-v1.21.0--micropython.uf2*.
12. Trzymaj wciśnięty przycisk BOOTSEL płytki Pico W (pod spodem płytki Enviro) i podłącz ją kablem USB do komputera.
13. Odczekaj na koniec konfigurowania sterowników Windows.
14. Przeciągnij pobrany plik uf2 do okna RPI-RP2.
15. Jeśli jest to potrzebne, ponownie odczekaj do końca konfigurowania sterowników Windows.

Teraz kolej na aplikację Enviro.

16. Pobierz ze strony *Enviro MicroPython firmware* [19] folder projektu aplikacji Enviro (zip). Obecnie jest to plik *enviro-v0.0.10.zip*.
17. Rozpakuj plik zip.
18. Odłącz i dołącz płytkę Enviro Weather kablem USB do komputera.
19. Uruchom program Thonny.
20. Z menu w prawym dolnym rogu wybierz MicroPython (RP2040) Board CD @COMxx.
21. W oknie *Files* → *This computer* otwórz folder z rozpakowanym projektem aplikacji Enviro.
22. W oknie *This computer* zaznacz linie: *enviro*, *phew* oraz *main.py*.
23. Kliknij prawym klawiszem myszki i wybierz *Upload to*. Odczekaj do zakończenia przesyłania plików.
24. Kliknij w menu przycisk *Stop/Restart backend*.
25. Otwórz plik main.py na Raspberry Pi Pico.
26. Kliknij w menu przycisk *Run current script*.
27. W oknie Shell zobacz log startowy.

Konfigurowanie konta chmury Adafruit IO

Adafruit IO to bardzo prosty sposób na rozpoczęcie przechowywania danych w chmurze, dzięki czemu można zacząć działać w ciągu kilku minut. Skonfigurowanie prostego panelu do przeglądania danych z czujników jest łatwe. Adafruit oferuje całkowicie darmowy poziom, który pozwala na pracę z maksymalnie 10 kanałami.

28. Otwórz stronę https://io.adafruit.com/
29. Utwórz konto Adafruit, klikając opcję *Get Started for Free*.
30. Wypełnij dane.

Nazwa użytkownika będzie później potrzebna.

31. Gdy jesteś zalogowany, kliknij na *IO* w menu strony adafruit.io.
32. Kliknij żółty przycisk (klucza) w prawym górnym rogu strony.

Klucz jest długą liczbą, dlatego najlepiej go skopiować, aby nie trzeba było go później zapisywać/wpisywać.

33. W menu strony kliknij na *Feeds*.

Utwórz nową grupę o nazwie Grow.

34. Kliknij *New Group*.
35. Wpisz nazwę grupy, np. enviro. Kliknij *Create*.

Nie musisz ręcznie tworzyć kanałów dla Enviro – stanie się to automatycznie.

Bezpłatna obsługa Adafruit IO umożliwia przechowywanie danych przez 30 dni oraz publikowanie do 30 punktów danych na minutę. Taka wartość wydaje się spora, ale pamiętaj, że Enviro zwraca jednocześnie do 10 różnych odczytów z czujników. Płytka może – przy braku dostępu do chmury – przechowywać odczyty przez kilka godzin, a po podłączeniu zostaną one wysłane jednocześnie.

Dołączanie Enviro do chmury Adafruit IO

Aby skonfigurować płytkę Enviro Grow i rozpocząć rejestrowanie/publikowanie danych, trzeba przejść proces udostępniania. Można to uczynić za pomocą telefonu lub innego urządzenia obsługującego Wi-Fi, takiego jak tablet lub laptop.

36. Upewnij się, że płytka Enviro Grow ma podłączoną baterię lub zasilanie USB.

Płytka powinna przejść do trybu konfiguracji, a biała dioda ACTIVITY powinna szybko migać. Jeśli tak się nie dzieje, spróbuj nacisnąć RESET z tyłu płytki.

Płytka Enviro Grow pracująca w trybie konfiguracji wystawia punkt dostępowy Wi-Fi i sieć o nazwie „Enviro Grow Setup".

37. W telefonie (lub innym urządzeniu bezprzewodowym) przejdź do ustawień Internetu/sieci bezprzewodowej.
38. Znajdź sieć bezprzewodową o nazwie „Enviro Grow Setup" i połącz się z nią.

Po połączeniu pokazywana jest strona pico.wireless.

39. W pierwszym oknie kliknij *Ready? Let's go!*
40. Wpisz nazwę płytki Enviro Grow, np. grow1.
41. Wybierz sieć Wi-Fi z obsługą Internetu, wpisz hasło, kliknij *Logging*.
42. Wybierz *Every five minutes* oraz *Every reading*, kliknij *Uploads*.
43. Wybierz, gdzie przesyłać dane: Adafruit IO.
44. Wpisz nickname Twojego konta Adafruit IO oraz wpisz (skopiuj) klucz.

Konfigurowanie progu alarmu w kanałach. Jeśli w kanale poziom wilgotności gleby spadnie poniżej ustawionej wartości progowej (np. 50%), zostanie wygenerowany wielokrotny sygnał dźwiękowy, przy czym liczba sygnałów wskazuje kanał: A – jeden, B – dwa i C – trzy.

Można włączyć automatyczne nawadnianie. Zestaw Enviro Grow automatycznie włączy pompkę i będzie podlewać roślinę w doniczce do momentu, gdy poziom wilgotności gleby (w odpowiednim kanale) osiągnie ustawiony poziom progowy.

Biała dioda ACTIVITY cały czas szybko miga.

W następnym oknie kliknij *Reset the board*.

Dioda ACTIVITY dopiero teraz gaśnie. Log operacji wykonywanych podczas pierwszego uruchomienia płytki po skonfigurowaniu pokazany został na **rysunku 2**. Procesor ulegnie wybudzeniu przez zegar RTC za 5 minut. Wtedy dioda ACTIVITY zaświeci się przez sekundę

Rysunek 2. Log operacji płytki Enviro Grow po skonfigurowaniu

eprasa.pl 12486519d0

Fotografia 4. Czujnik wilgotności gleby (PIM520) [3]

i będzie pulsować cztery razy – w ten sposób sygnalizuje wykonywanie pomiarów i wysyłanie danych do sieci.

Jeśli płytka jest podłączona do zasilania z gniazdka USB, procesor nie przechodzi do stanu uśpienia. Płytka zachowuje połączenie poprzez USB z komputerem i dalej wystawiany jest wirtualny port COM.

Jeżeli natomiast płytka jest zasilana z gniazdka BATT, to procesor wchodzi w stan uśpienia (a właściwie jest wyłączany).

Ponowne konfigurowanie płytki Enviro Grow

Można ponownie uruchomić tryb konfigurowania płytki Enviro Grow.

45. Wciśnij i trzymają przycisk POKE.
46. Przyciśnij i zwolnij przycisk RESET (na odwrotnej stronie płytki).
47. Trzymaj przycisk POKE jeszcze przez więcej niż trzy sekundy.

Dioda ACTIVITY zaświeci się, a po około sekundzie zacznie pulsować, wskazując, że urządzenie działa w trybie konfiguracji.

Konfigurowanie płytki Enviro Grow poprzez plik konfiguracyjny

Można również zastosować prostszy sposób zmiany konfiguracji.

48. Dołącz aplikację Thonny do płytki Raspberry Pi Pico (opis powyżej).
49. Z okna *RP2040 device* otwórz plik config.py.

W tym pliku są zapisane wszystkie informacje konfiguracyjne: nickname, wifi_ssid, wifi_password, adafruit_io_username, adafruit_io_key, destination, reading_frequency i upload_frequency, oraz kilka innych.

Wystarczy teraz zmodyfikować odpowiednie pola, a potem zapisać.

W celu ustawienia wartości progu wilgotności gleby w kanale, należy zmienić wartości procentowe. Jeśli nie są używane wszystkie czujniki (lub trzeba wyłączyć dźwięk alarmów płytki Enviro Grow), należy ustawić odpowiednie kanały na 0. Zalecanym przez producenta sposobem na ustalenie właściwych poziomów jest pozostawienie doniczek do wyschnięcia do punktu, w którym wymagają podlewania, sprawdzenie odczytów, a następnie ustawienie w pliku config.py wartości zmiennych *moisture_target_X* na tę liczbę.

Najwygodniej po pierwszym skonfigurowaniu płytki Enviro Grow skopiować plik config.py z płytki do komputera – i w razie potrzeby podmieniać dane konfiguracyjne. Po resecie lub przełączeniu zasilania płytka zaczyna od razu pracować w trybie wysyłania danych do sieci.

Konfigurowanie automatycznego podlewania

Aby włączyć automatyczne nawadnianie, należy w Thonny otworzyć plik config.py i zmienić ustawienie zmiennej *auto_water* z False na True. Trzeba pamiętać, by następnie zapisać plik do płytki.

Prawdopodobnie zajdzie potrzeba dostosowania ustawienia zmiennej *moisture_target,* w zależności od rodzaju podlewanych roślin. Kod fabryczny automatycznego nawadniania obliczy czas pracy pomp na podstawie różnicy między poziomem wilgoci zgłoszonym przez czujniki a poziomem docelowym wilgoci – i dostarczy większą ilość wody, gdy potrzebne będzie intensywniejsze podlewanie.

Jeśli trzeba zmienić opisane powyżej zachowanie (być może pozwolić np. na dłuższe czasy podlewania), to należy otworzyć plik enviro/boards/grow.py w Thonny i poszukać linii:

duration = round((targets[i] – moisture_levels[i]) / 25, 1)

Zmienna *duration* określa, przez ile sekund pompa będzie pracować.

Można zmienić we wzorze liczbę 25 na mniejszą (np. 10), aby wydłużyć wszystkie impulsy – lub ustawić stałą wartość (np. 0,2), tak aby za każdym razem pompa dozowała tę samą ilość wody.

Prawdopodobnie wymagana okaże się pewna regulacja w celu znalezienia odpowiednich poziomów dla docelowej konfiguracji. Producent sugeruje, aby po zmianie ustawień kodu nie pozostawiać konfiguracji bez nadzoru ani na noc. Zaleca monitorowanie pracy czujnika przez jakiś czas, aż zacznie on działać zgodnie z oczekiwaniami.

Praca z zestawem Enviro Grow

Użytkowanie zestawu Enviro Grow jest proste, szczególnie według opisu zamieszczonego w „Plant Monitoring with Enviro Grow" [9]. Jednak warto zwrócić uwagę na kilka kwestii.

Istotne okazuje się umieszczenie czujników wilgotności w doniczce (fotografia tytułowa) [9]. Powinny znajdować się dalej od krawędzi doniczki – najlepiej po przeciwnej stronie niż koniec rurki do podlewania. Unikaj tworzenia syfonu za pomocą pompki i rurki – może to spowodować dość szybkie opróżnienie całego zbiornika wody do doniczek. Upewnij się również, że końcówki rurek z roślinami znajdują się zawsze wyżej niż poziom wody w zbiorniku.

Co najmniej połowa czujnika – najlepiej do napisu UNDER (**fotografia 4**) lub GROUND – musi stykać się z glebą, po drugiej stronie czujnika. Nie należy również przekraczać tej głębokości, gdyż umieszczone powyżej elementy elektroniczne nie zostały niczym zabezpieczone. Obie strony płytki drukowanej sensora są pokryte lakierem zabezpieczającym, ale boki nie mają żadnej ochrony. Po pewnym czasie konstrukcja taka może sprzyjać przenikaniu wody pod zabezpieczoną boczną powierzchnię.

Jeśli występuje dziwne zjawisko, w którym po pewnym czasie wszystkie odczyty z czujników umieszczonych w różnych doniczkach osiągają tę samą wartość – sprawdź, czy rośliny się nie stykają. Jeśli liście Twoich roślin są ze sobą połączone elektrycznie, może to prowadzić do odczytu wspólnej pojemności gleby.

Woda nie jest najlepszym sprzymierzeńcem układów elektronicznych, dlatego najlepiej umieścić system automatycznego nawadniania jak najdalej od wtyczek czy źródła zasilania. Dobrym pomysłem okaże się ułożenie całości na tacy lub podobnej podstawce, aby w razie wyciekania wody nie dostała się ona w żadne miejsce, w którym stwarzałaby zagrożenie.

Podsumowanie

Zestaw Enviro Grow stanowi znaczący krok naprzód w technologii pielęgnacji roślin. Dzięki zaawansowanym funkcjom i możliwościom oferuje kompleksowe rozwiązanie do monitorowania nawadniania roślin i zarządzania tym procesem, co czyni go nieocenionym narzędziem dla wszystkich osób zajmujących się uprawą roślin.

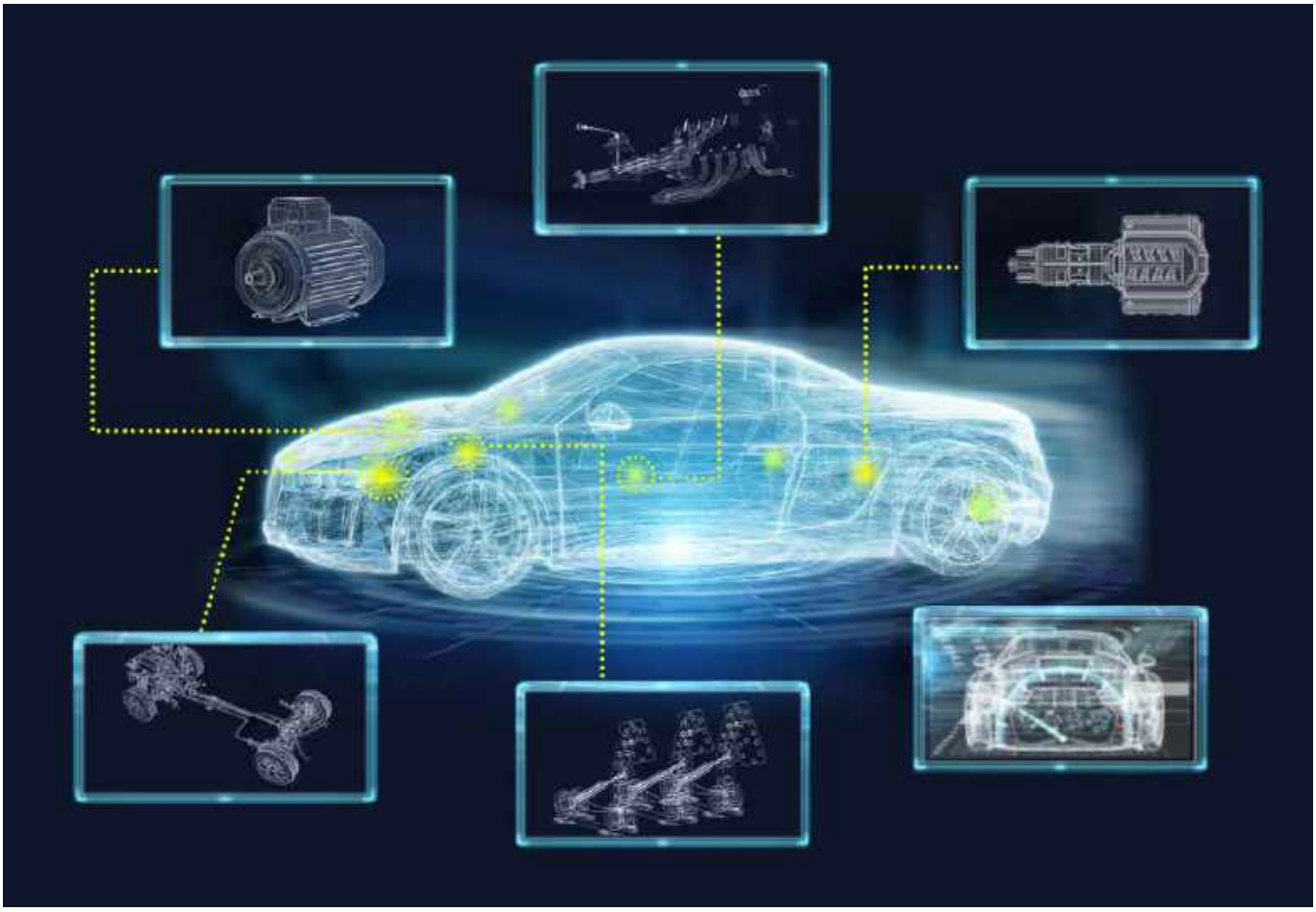
Zestaw Enviro Grow został doceniony i otrzymał 10 na 10 punktów na oficjalnej stronie Raspberry Pi Magazine.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

Literatura

[1] Enviro Grow (Pico W Aboard) – Enviro Grow + Accessory Kit (PIM637), https://tiny.pl/d5r3v
[2] Enviro Grow (Pico W Aboard) – Enviro Grow + Sensors (PIM627), https://tiny.pl/d5r3b
[3] Grow Moisture Sensors (pack of 3) (PIM520), https://tiny.pl/d5r3z
[4] Mini Submersible Water Pump (Grow) (COM3700), https://tiny.pl/d5r33
[5] 3-pin JST-SH cables for Grow moisture sensors (pack of 3) – 35cm (CAB1007), https://tiny.pl/d59hh
[6] Silicone Tube (1m) (Grow) (COM3800), https://tiny.pl/d59hq
[7] Grow – Grow Kit (PIM510), https://tiny.pl/d59hx
[8] Hacking a Capacitive Soil Moisture Sensor (v1.2) for Frequency Output, https://tiny.pl/d59hm
[9] Plant Monitoring with Enviro Grow, September 30, 2022, https://tiny.pl/d59hw
[10] Auto-Watering with Grow, https://tiny.pl/d59hr
[11] BME280 temperature, pressure, humidity sensor, https://tiny.pl/dt49w
[12] LTR-559 light and proximity sensor (datasheet), https://tiny.pl/dt49c
[13] PCF85063A Tiny Real-Time Clock/Calendar with Alarm Function and I²C-Bus, NXP, https://tiny.pl/dt49d
[14] SoilWatch 10 – Soil Moisture Sensor, https://tiny.pl/d59ht
[15] Raspberry Pi Pico and Pico W, https://tiny.pl/dt49r
[16] *Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (4). Stacja pogodowa Enviro Weather firmy Pimoroni*, EP 4/2024, https://tiny.pl/d93r1
[17] Thonny Python IDE, https://thonny.org/
[18] Upgrading Firmware, Pimoroni, https://tiny.pl/dt49p
[19] Enviro MicroPython firmware, https://tiny.pl/dt49f
[20] Pimoroni Pico Libraries and Examples, https://tiny.pl/dt49l
[21] *Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (5). Optymalizacja poboru mocy urządzenia IoT z płytką Raspberry Pi Pico W*, EP 5/2024, https://tiny.pl/d59hg

eprasa.pl 12486519d0



Indukcyjne czujniki położenia rozwiązują problem błądzących pól magnetycznych

Ekologiczne i wydajne pojazdy hybrydowe oraz elektryczne, oferowane przez coraz większą liczbę dostawców, nieustannie przyciągają uwagę użytkowników – nowoczesna elektromobilność jest bowiem ważnym krokiem w kierunku zrównoważonego rozwoju. Wraz z wprowadzeniem różnorodnych silników elektrycznych i akumulatorów w świecie elektroniki do głosu doszedł stary problem: błądzące pola magnetyczne.

Ten specyficzny rodzaj zakłóceń elektromagnetycznych (EMI) sieje spustoszenie wśród powszechnie stosowanych rozwiązań sensorów położenia. Problem dotyczy zarówno czujników, które z natury są szczególnie podatne na zakłócenia magnetyczne (w tym przede wszystkim czujników Halla), jak i tych, które wprawdzie mogą być odporne na błądzące pola magnetyczne, ale okazują się kosztowne (jak resolvery magnetyczne czy liniowe transformatory różnicowe LVDT). Remedium na opisane problemy stanowi zatem zastosowanie indukcyjnego czujnika położenia, który zapewnia dużą dokładność wykrywania pozycji nawet w środowisku bogatym w silne zakłócenia magnetyczne.

Pola magnetyczne nie są w żadnym razie nieznanym artefaktem ani nawet nowo odkrytym zjawiskiem w świecie półprzewodników oraz szeroko pojętej elektroniki. Jako zjawisko stanowią integralną część funkcjonowania półprzewodników i trzeba uwzględniać je przy projektowaniu każdego układu scalonego. Jednakże gdy bezszczotkowy silnik prądu stałego (BLDC), silnik synchroniczny z magnesami trwałymi (PMSM), wysokoprądowe okablowanie silników lub nawet oprzewodowanie akumulatorów znajduje się w pobliżu modułów elektronicznych i czujników, błądzące pola magnetyczne mogą zakłócać ich pracę, a w skrajnych przypadkach powodować nieodwracalne awarie – tak poważne w skutkach w przypadku systemów o krytycznym znaczeniu dla bezpieczeństwa. Problem staje się tym poważniejszy, że silniki BLDC i PMSM to jedne z najpopularniejszych rodzajów napędów stosowanych w elektrycznych lub hybrydowych pojazdach dwu- i czterokołowych. Obydwie spośród wymienionych konstrukcji napędu używają bardzo silnych magnesów na wirniku, a ich działanie opiera się na przepływie prądów o dużych natężeniach, kierowanych ze sterownika na uzwojenia stojana. Zarówno magnesy, jak i prądy zasilające silnik emitują zakłócenia (elektro)magnetyczne do otaczających je obszarów. Dodatkowe, mniejsze silniki BLDC są obecne w wielu innych częściach pojazdu, w tym w systemach

eprasa.pl 12486519d0

hamulcowych czy sterujących. Kluczowe znaczenie z punktu widzenia konstrukcji oraz poziomu zakłóceń magnetycznych we wszystkich pojazdach elektrycznych mają także akumulatory. Prąd elektryczny przepływający w czasie ich ładowania lub zasilania za ich pomocą napędu samochodu jest źródłem silnych, rozproszonych pól magnetycznych – niektóre pojazdy korzystają z kilku tysięcy akumulatorów do zasilania instalacji pokładowej, co czyni te ogniwa głównym źródłem zakłóceń prowadzących do problemów w funkcjonowaniu tradycyjnych czujników.

Sensory położenia są kluczowym elementem konstrukcji wielu podsystemów stosowanych w pojazdach – w tym pedałów nożnych, sterowania przepustnicą, systemów pozycjonowania hamulców, pokręteł pokładowych systemów informacyjno-rozrywkowych, dźwigni zmiany biegów, czujników układu kierowniczego i nie tylko. Historycznie rzecz biorąc, jako główną metodę wykrywania położenia stosowano wcześniej resolvery magnetyczne, liniowe transformatory różnicowe (LVDT) czy czujniki hallotronowe. Te ostatnie są jednymi z najczęściej wdrażanych rozwiązań i służą do określania natężenia oraz kierunku pola magnetycznego, dzięki czemu są w stanie określić położenie magnesu lub elektromagnesu umieszczonego w pobliżu czujnika. Część aktywną tego komponentu stanowi cienki kawałek krzemu, w którym – po wystawieniu go na działanie pola magnetycznego – nośniki o przeciwnych znakach (elektrony i dziury) są wypychane do przeciwległych krawędzi krzemu. Powoduje to wytworzenie bardzo małej różnicy potencjałów – zjawisko takie nosi nazwę efektu Halla i wymaga stosunkowo silnych pól magnetycznych do wytworzenia użytecznego sygnału. Jeśli występują zewnętrzne zakłócenia elektromagnetyczne, pojawia się ryzyko zniekształconego, przedwczesnego lub fałszywego wykrycia magnesu przez czujniki hallotronowe, co może skutkować trwałym uszkodzeniem współpracującej z nimi konstrukcji. Aby zmniejszyć ryzyko awarii wywołanej przez zakłócenia elektromagnetyczne, w praktyce stosuje się ekranowanie magnetyczne – chroni ono czujnik przed rozproszonymi polami zakłócającymi, co wiąże się jednak ze zwiększeniem rozmiarów i kosztów wdrożenia takich rozwiązań.

Coraz popularniejszym rozwiązaniem, pozwalającym zmniejszyć ryzyko, koszty i rozmiary czujników w aplikacjach narażonych na zakłócenia elektromagnetyczne, są indukcyjne czujniki położenia. Sensory te nie wymagają stosowania magnesów ani metali magnetycznych, ale – jak sama nazwa wskazuje – ich konstrukcja oparta jest na cewce indukcyjnej. Dzięki specyficznej budowie korpusu czujnika, który stanowi cienką płytkę drukowaną z uzwojeniami wykonanymi w postaci metalowych ścieżek, osiągnięto pasywne tłumienie zakłóceń elektromagnetycznych. Gdy przewodzący obiekt metalowy przechodzi nad czujnikiem, pola magnetyczne emitowane przez cewkę pierwotną (podobnie jak w przypadku uzwojenia pierwotnego w transformatorze) zostają zakłócone, a pole magnetyczne spada do zera w miejscu, w którym znajduje się ów obiekt. W płytce drukowanej znajdują się również dwie cewki odbiorcze (odpowiadające wtórnym uzwojeniom transformatora), służące do wykrywania różnych napięć spowodowanych zakłóceniami pola magnetycznego. Uzyskana informacja jest przetwarzana w układzie scalonym w celu zwrócenia do systemu wartości wyjściowej odpowiadającej pozycji obiektu znajdującego się w pobliżu czujnika. W konstrukcji układów uwzględniono implementację najważniejszych funkcji umożliwiających tłumienie wpływu przypadkowych pól magnetycznych, które normalnie zakłócałyby działanie systemu.

Aktywne i pasywne filtrowanie szumów to tylko niektóre z kluczowych funkcjonalności zaimplementowanych w wielu indukcyjnych czujnikach położenia. Aktywne odrzucanie błądzących pól magnetycznych osiąga się dzięki dobrze znanym właściwościom technicznym synchronicznej demodulacji i filtrów pasmowoprzepustowych. Połączenie tych technik umożliwia pomiar określonych sygnałów – przy jednoczesnym ignorowaniu natrętnego hałasu z otoczenia. Nadajnik i odbiornik są synchronizowane za pomocą wspólnego sygnału, dzięki czemu jesteśmy w stanie obliczyć dokładną różnicę fazy pomiędzy dwoma sygnałami i aktywnie tłumić szum pochodzący od niepożądanego pola magnetycznego. Filtrowanie pasywne możliwe jest natomiast dzięki zastosowaniu cewek przeznaczonych do detekcji napięcia. Zakłócenia wykryte na tych cewkach można zastosować do obliczenia dokładnego położenia obiektu (na podstawie stosunku wartości funkcji sinus i cosinus). Metale znajdujące się poza efektywnym zasięgiem szczeliny powietrznej nie są rejestrowane w obwodzie czujnikowym ze względu na zastosowanie metody ratiometrycznej z użyciem sygnałów z cewek odbiorczych. Wdrożenie opisanych metod tłumienia zakłóceń zapewnia dużą dokładność wykrywania położenia, a także odporność na błądzące pola magnetyczne przy jednoczesnej eliminacji potrzeby stosowania ciężkich i drogich magnesów lub ekranowania magnetycznego.

Na poparcie powyższych twierdzeń o doskonałej odporności opisywanych czujników na zakłócenia elektromagnetyczne zespół Microchip Technology zebrał drogą eksperymentalną dowody w postaci pomiarów. Badania przeprowadzono z użyciem indukcyjnych czujników położenia – w warunkach zewnętrznych pól magnetycznych indukowanych w pobliżu czujnika. W jednym eksperymencie magnes neodymowy umieszczono około 15 mm nad korpusem czujnika z liniową płytką PCB, używając akrylowej struktury nośnej w taki sposób, że wykrywany obiekt mógł swobodnie przechodzić pod magnesem, a sam magnes również można było przesuwać statycznie lub dynamicznie wzdłuż korpusu czujnika. Wzdłuż płytki sensora umieszczono także sondę gausometryczną, aby wykryć siłę obecnego tam pola. Pomimo że sonda wykryła pole magnetyczne o natężeniu 7,2 mT (5716,9 A/m), nie miało to wpływu na precyzyjny pomiar położenia celu podczas jego przesuwania się po akrylowej konstrukcji. Inne testy przeprowadzone zgodnie z normami motoryzacyjnymi ISO11452-8 potwierdzają, że poziomy odporności tych enkoderów spełniają poziom IV, a nawet przekraczają te wymagania, osiągając odporność na zakłócenia na poziomie 7000 A/m (8,8 mT) przy częstotliwości 10 Hz. Technologia enkodera indukcyjnego działa bez zakłóceń, pomimo wystawiania czujnika na działanie silnych pól magnetycznych. Dokładność i precyzja wykrywania celu nie są osłabione ani zniekształcone właśnie za sprawą zastosowania synchronicznej demodulacji oraz wysokiej częstotliwości roboczej scalonego front-endu pomiarowego.

Podsumowanie

Ponieważ wymagania stawiane projektantom narzucają stosowanie coraz mniejszych obudów – przy jednoczesnym zachowaniu tych samych, a nawet zwiększonych osiągów metrologicznych – indukcyjne czujniki położenia stanowią fantastyczne ulepszenie tradycyjnych rozwiązań magnetycznych. Ten sam układ scalony może obsługiwać projekty liniowego i obrotowego detektora położenia – przy użyciu prostego korpusu na bazie czujnika PCB i małego metalowego „celu" (obiektu ruchomego, współpracującego z uzwojeniami sensora). Rozwiązanie to wykazuje wybitną odporność na błądzące pola magnetyczne, a przy tym zachowuje doskonałą dokładność, wysoki poziom niezawodności (AEC Q100 klasa 0) i zapewnia wsparcie w zakresie oceny bezpieczeństwa systemu (ASIL D). Kontynuując rozwój portfolio produktowego w zakresie indukcyjnego wykrywania położenia, Microchip udostępnia najbardziej wszechstronne rozwiązania w branży. Układy indukcyjnych detektorów położenia Microchip obsługują niezliczone aplikacje, zarówno przy niskich, jak i naprawdę dużych prędkościach, w tym w zastosowaniach związanych ze sterowaniem silnikami, w których występuje wysoki poziom zakłóceń magnetycznych.

Dustin Tenney
Senior Product Marketing Engineer
Microchip Technologies Inc.
https://tiny.pl/d5lql

eprasa.pl 12486519d0

Uzyskiwanie niskiej jasności świecenia diod LED

Nowoczesne diody LED potrafią świecić naprawdę jasno. Ich sprawność z roku na rok rośnie (lub – przynajmniej – nie pogarsza się), ponadto odpowiednie kształtowanie emitowanej wiązki pozwala skupić strumień świetlny w wąskim obszarze. Co zrobić w sytuacji, gdy trzeba uzyskać niską jasność tychże diod? Problem wcale nie jest trywialny!

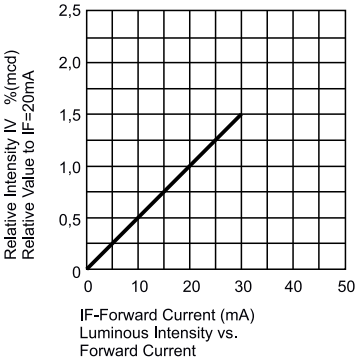
Przykład z życia wzięty: klient życzy sobie, aby wokół pokrętła regulacji głośności w nowym sterowniku wzmacniacza znajdowała się świecąca „otoczka". W zamyśle będzie to pierścień z mlecznobiałego, półprzejrzystego poliwęglanu, który od spodu muszę podświetlić kilkunastoma diodami LED w obudowach SMD (w celu uzyskania możliwie równomiernego podświetlenia pierścienia na całym jego obwodzie). Jak zaznaczył klient, efekt świetlny ma mieć kolor zielony, a do tego musi być subtelny, lekko dostrzegalny, absolutnie nieodwracający wzroku słuchacza od wyeksponowanych lamp elektronowych. Trzeba uwzględnić ponadto możliwość jego załączania i wyłączania wraz z całym wzmacniaczem.

Jak jasno potrafią świecić diody LED, wiemy chyba wszyscy. Nawet małe, niepozorne „pipki" w obudowach 0603 potrafią (odpowiednio wycelowane) nieźle oślepić. Oczywiście dzieje się tak ze względu na budowę samej struktury półprzewodnikowej – obudowa ma tutaj drugorzędne znaczenie, zwłaszcza w przypadku diod tzw. sygnalizacyjnych, czyli ukierunkowanych na niską cenę jednostkową i wysoką trwałość, nie zaś na spektakularną jasność.

W wielu typowych zastosowaniach zasilamy diody LED prądem o natężeniu kilku lub kilkunastu miliamperów. Świecą wtedy bardzo jasno, ich parametry maksymalne nie zostają przekroczone, pobór mocy okazuje się z reguły pomijalny (zwłaszcza w urządzeniach sieciowych). W opisanym przykładzie jednak myślenie należy „odwrócić", bowiem trzeba doprowadzić do sytuacji, w której kilkanaście diod będzie świeciło ze stosunkowo niską (i możliwie jednakową) jasnością. Na warsztat wziąłem diody typu HL-PC-3216U70GC od producenta Honglitronic, które świecą barwą zieloną, a zamknięte są w obudowach 1206 (ze względu na wygodę ich ustawienia na powierzchni płytki). Szeroki kąt świecenia 120° umożliwia ładne rozproszenie światła w całej objętości podświetlanego pierścienia. Dziesięć takich diod rozłożonych równomiernie po okręgu powinno wystarczyć.

Testy wykazały, że pożądana jasność pojedynczej diody jest uzyskiwana przy natężeniu prądu zasilającego równym 10 μA. Nie należy się temu przesadnie dziwić, wszak ludzkie oko jest szczególnie wyczulone właśnie na barwę zieloną. Z kolei jasność diody zależy od natężenia prądu przez nią płynącego (**rysunek 1**), więc regulując prąd, uzyskujemy bezpośredni wpływ na jasność światła. Prąd płynący przez diodę najprościej byłoby ograniczyć za pomocą rezystora włączonego z nią w szereg – zwłaszcza że moc na nim tracona będzie znikoma z racji bardzo małego natężenia prądu. Wprawdzie pokazany na rysunku 1 wykres dotyczy prądu przewodzenia rzędu miliamperów, lecz z samej zasady działania diody LED można domniemywać, iż zależność ta powinna być liniowa (lub chociaż quasi-liniowa) w szerokim zakresie prądu przewodzenia.

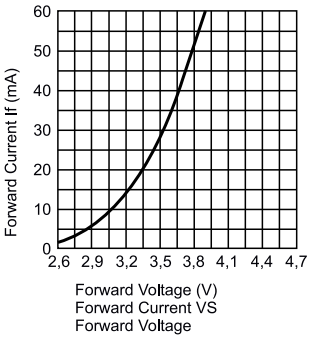
Jednak zamieszczony w nocie katalogowej wykres odzwierciedlający charakterystykę prądowo-napięciową tejże diody – **rysunek 2** – okazuje się w obszarze tak niskich prądów zupełnie nieprzydatny. Ma on charakter wybitnie poglądowy, toteż trzeba choćby zgrubnie oszacować napięcie przewodzenia wspomnianej diody w tym obszarze pracy. I tu kolejna niespodzianka – jedna dioda miała w takich warunkach napięcie przewodzenia równe 2,05 V, druga 1,86 V, zaś trzecia 2,23 V. Pomiaru dokonano woltomierzem o rezystancji wewnętrznej 100 MΩ, więc jego wpływ na dokładność tych pomiarów można uznać za pomijalny.



Rysunek 1. Zależność między prądem diody LED a jej jasnością

Rozbieżności pomiędzy poszczególnymi egzemplarzami są więc doskonale widoczne i niepodważalne, przekraczają 10%. Wpływ na ten stan rzeczy mają zapewne rozrzuty technologiczne, bowiem temperatura elementów podczas próby była niemal jednakowa. Pierwszy wniosek jest taki, że połączenie tych diod równolegle i zasilanie ze wspólnego rezystora ograniczającego ich prąd to pomysł kompletnie nietrafiony, bowiem będą one świecić z zupełnie różną jasnością. Nie pomaga tutaj również charakterystyka czułości oka ludzkiego, która jest zakrzywiona logarytmicznie – inaczej mówiąc: przy niewielkich poziomach jasności różnice są doskonale widoczne, zaś zacierają się dopiero przy znacznie jaśniejszym świetle. Trzeba mieć to na uwadze i naprawdę dobrze zadbać o wyrównanie prądów diod.

Drugi wniosek: najlepiej byłoby opisywane diody zasilać ze źródła prądowego, aby układ stał się niewrażliwy na rozrzuty napięć przewodzenia poszczególnych diod. Można to jednak uznać za strzelanie z armaty do muchy, bowiem w omawianym układzie mamy aż dziesięć diod, zaś najwyższe napięcie, jakim dysponuje zastosowana płytka sterownika, wynosi 12 V. Zatem opcja połączenia wszystkich diod szeregowo i zasilania z jednego precyzyjnego źródła prądowego odpada, gdyż do zasilenia całego obwodu wymagane byłoby zarezerwowanie napięcia rzędu 30 V. Trzeba by zatem podzielić komponenty na np. pięć łańcuchów po dwie diody, co komplikuje



Rysunek 2. Charakterystyka prądowo-napięciowa użytych w projekcie diod LED

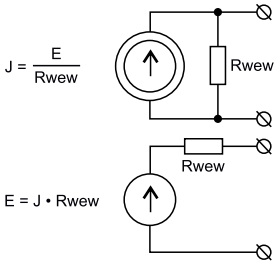
eprasa.pl 12486519d0

Tabela 1. Parametry elektryczne tranzystora BSS123 w stanie wyłączenia (wg noty katalogowej ON Semiconductor)

Symbol	Parametr	Warunki pomiaru	Min.	Typ.	Maks.	Jednostka
BV_{DSS}	Napięcie przebicia dren-źródło	V_{GS}=0 V, I_D=250 µA	100	–	–	V
$\frac{\Delta BV_{DSS}}{\Delta T_J}$	Współczynnik temperaturowy napięcia przebicia	I_D=250 µA, w odniesieniu do 25°C	–	97	–	mV/°C
I_{DSS}	Prąd drenu przy zerowym napięciu bramki	V_{DS}=100 V, V_{GS}=0 V	–	–	1	µA
		V_{DS}=100 V, V_{GS}=0 V, T_J=125°C	–	–	60	
		V_{DS}=20 V, V_{GS}=0 V	–	–	10	nA
I_{GSS}	Upływność bramki	V_{GS}=±20 V, V_{DS}=0 V	–	–	±50	nA

i rozbudowuje cały układ, który – podkreślam – ma jedynie podświetlać niewielki pierścionek wokół pokrętła. Znacznie lepszy pomysł stanowiłoby „zasymulowanie" źródła prądowego za pomocą odpowiednio dobranego rezystora. Jak to zrobić?

Rysunek 3 wyraża znaną z teorii obwodów zależność – nieidealne źródło prądowe może zostać zastąpione przez nieidealne źródło napięciowe, przy czym owa „nieidealność" jest w rzeczywistości rezystancją wewnętrzną. W przypadku źródeł prądowych nosi ona nazwę upływności. Każde rzeczywiste źródło prądowe ma upływność, którego wartość to kiloomy lub megaomy, zależnie od przyjętej topologii, w tym istnienia w układzie np. sprzężenia zwrotnego. Dlatego rezystor o rezystancji równej upływności takiego źródła będzie się zachowywał właśnie jak samo źródło.



Rysunek 3. Relacja między nieidealnymi źródłami: prądowym i napięciowym

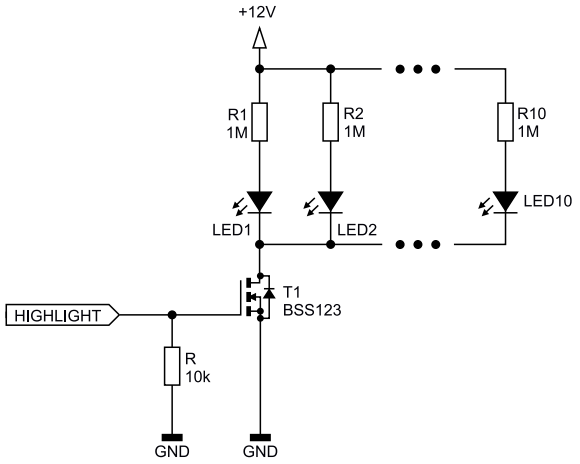
Im wyższa upływność źródła, tym bliższe ideału ono będzie, więc warto dążyć do możliwie wysokiej rezystancji rezystora ograniczającego prąd diody. Ma to również uzasadnienie intuicyjne: im większy będzie spadek napięcia na rezystorze, tym mniejszy wpływ na natężenie płynącego prądu będzie miało napięcie przewodzenia każdej z diod. Zmiana napięcia przewodzenia diody o 0,2 V to aż 10%, jeżeli na rezystorze ma się planowo odkładać napięcie o wartości 2 V – ale już tylko 2%, jeżeli przewidujemy do odłożenia na rezystorze napięcie rzędu 10 V. Przy 100 V na rezystorze będzie to zaledwie 0,2% – wartość całkowicie pomijalna, ale dobrze obrazująca, że warto dążyć do możliwie wysokiego spadku napięcia na rezystorze ograniczającym prąd diody, jeżeli tylko mamy ku temu warunki.

Przyjmując prąd pojedynczej diody na poziomie 10 µA, orientacyjną wartość napięcia przewodzenia na poziomie 2 V i napięcie zasilające równe 12 V, nietrudno jest obliczyć, że na każdy z dziesięciu rezystorów ograniczających prąd tychże diod przypadnie napięcie około 10 V, co przy tak zadanym natężeniu prądu przekłada się na ich rezystancję równą 1 MΩ. Najlepiej, aby były to rezystory o tolerancji 1%, która w dzisiejszych czasach jest już niemal standardem. Trzeba połączyć dziesięć takich gałęzi równolegle i zasilić z pojedynczego klucza tranzystorowego, jak na **rysunku 4**. Czy to koniec roboty? Niekoniecznie.

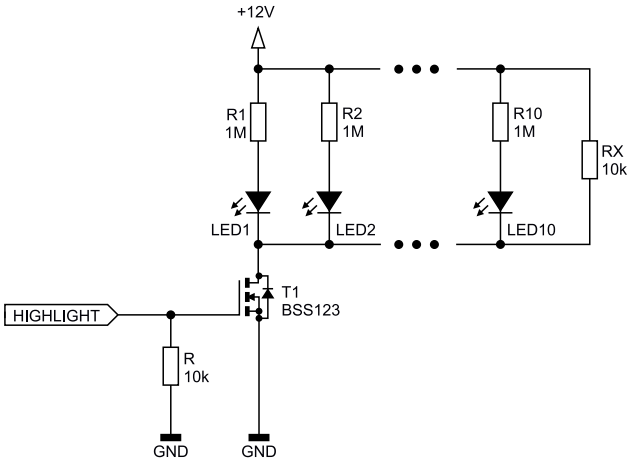
Przy tak niskim prądzie płynącym przez diody warto zwrócić uwagę na zagadnienie prądu zerowego użytego tranzystora. Jego wartość silnie zależy od potencjału drenu, jak również od temperatury złącza. Ponieważ mamy do czynienia z urządzeniem lampowym, trzeba wziąć pod uwagę nagrzewanie się wszystkich podzespołów do temperatury znacznie wyższej od pokojowej. Nota katalogowa tranzystora BSS123 nie obfituje w szczegóły na ten temat – **tabela 1** – ale daje pewien pogląd na rząd wielkości tegoż prądu. Można się spodziewać, że przy temperaturze wyższej od pokojowej prąd może przyjąć wartość nawet kilku mikroamperów. Prąd o takim natężeniu w większości przypadków nie spowoduje żadnych nieprawidłowości w działaniu układu, lecz tutaj może wywołać lekkie, ledwo zauważalne żarzenie się struktur diod LED.

Lepiej byłoby nie dopuścić do podobnego, nieestetycznego w skutkach zjawiska, tym bardziej że rozwiązanie okazuje się niezwykle proste – wystarczy wszystkie gałęzie włączone w dren tranzystora wykonawczego zbocznikować rezystorem o wartości na tyle małej, aby prąd zerowy drenu wywołał na nim spadek napięcia znacznie mniejszy niż napięcie przewodzenia diod. W tym układzie pod ręką były rezystory 10 kΩ, z których jeden został użyty w roli rezystora rozładowującego pojemność bramka-źródło, więc nic nie stało na przeszkodzie, by dodać jeszcze jeden, stanowiący główną drogę dla prądu zerowego drenu. Nawet przy maksymalnej wartości prądu zerowego (tj. 60 µA, którą można uzyskać przy znacznie wyższym napięciu dren-źródło i w ekstremalnie wysokiej temperaturze) na tym rezystorze odłoży się napięcie o wartości 600 mV, czyli znacznie mniej, niż jakakolwiek dioda LED wymaga do świecenia. W typowych warunkach będzie to kilkanaście czy nawet kilkadziesiąt miliwoltów, więc zatkanie tranzystora T1 spowoduje trwałe i pewne wyłączenie sterowanych przez niego diod. Schemat ideowy uwzględniający tę przeróbkę znajduje się na **rysunku 5**.

Michał Kurzela, EP



Rysunek 4. Schemat ideowy proponowanego rozwiązania



Rysunek 5. Modyfikacja uwzględniająca prąd zerowy drenu tranzystora sterującego

eprasa.pl 12486519d0

Oszczędzanie energii w teorii i w praktyce (2)

W poprzedniej części opracowania skupiliśmy się na obliczaniu zapotrzebowania na energię i omówiliśmy najprostsze w użyciu źródła energii: baterie oraz akumulatory. Tym razem przyjrzymy się bliżej jednemu z kluczowych komponentów, który z łatwością pozwala zaoszczędzić na poborze mocy – mowa oczywiście o mikrokontrolerze.

W większości projektów najważniejszym komponentem jest mikrokontroler – i to jego można postrzegać jako głównego „prądożercę". Na szczęście doskonale wiedzą o tym też producenci półprzewodników, dlatego od lat walczą o klienta, oferując coraz większą wydajność, coraz sprytniejsze peryferia czy też coraz mniejsze zapotrzebowanie na energię. Łatwo się w tym gąszczu ofert pogubić, a do tego noty katalogowe i strony produktów zawsze prezentują parametry danego komponentu zmierzone w najbardziej optymistycznych warunkach. Warto ponadto zastanowić się, czy lepiej byłoby wykonywać program z wolniejszym, aczkolwiek oszczędniejszym zegarem, czy jednak zwiększyć częstotliwość kosztem poboru prądu, aby szybciej skończyć zadanie i uśpić układ na dłużej. Na potrzeby porównania przyjmiemy kilka prostych założeń:

- program jest wykonywany raz na sekundę, a jego wykonanie zajmuje 2000 cykli programu;
- raz na sekundę wykonywany jest pomiar za pomocą ADC, w czasie którego mikrokontroler pozostaje uśpiony;
- do cyklicznego rozpoczynania egzekucji programu stosowany jest timer watchdog.

W ramach porównania wyliczony będzie średni pobór prądu przy napięciu zasilania 3 V lub 3,3 V (zależnie od tego, które dane są dostępne w notach) i dla różnych częstotliwości zegarowych dostępnych bez użycia zewnętrznego rezonatora. Ponieważ najwięcej doświadczenia mam z mikrokontrolerami firmy Microchip, właśnie one zostały wybrane do tych rozważań. Pobieżny przegląd not katalogowych procesorów różnych innych rodzin oraz producentów wskazuje na to, że nie ma między nimi dramatycznych różnic i w każdej rodzinie układów można znaleźć kilka dobrych alternatyw.

Microchip PIC, dsPIC/PIC24 i PIC32

Microchip od lat rozwija własną technologię XLP, nazywaną też nanoWatt. Sam spotkałem się z nią po raz pierwszy ponad dekadę temu, gdy zacząłem uczyć się programowania na układzie PIC18F45K50. Od tamtej pory zaobserwowałem spory postęp. Na przedstawiciela ośmiobitowych PICów wybrany został PIC18F27Q10, jeden z nowszych produktów z tej kategorii w ofercie Microchipa. Mikrokontroler ten oferuje bogaty zestaw rozbudowanych peryferiów, zapewniając przy tym dużą energooszczędność – nieużywane peryferia są wyłączone i nie pobierają prądu. W ramach oszczędności energii układ oferuje też rozbudowany system zegarowy oraz możliwość częściowego lub całkowitego uśpienia CPU. Producent chwali się również bardzo niskim poborem prądu: 900 nA przy 1,8 V w stanie uśpienia z aktywnym watchdogiem.

Posługując się notą katalogową, możemy policzyć średni pobór prądu przy dwóch ustawieniach zegara: LFINTOSC 31 kHz i HFINTOSC 4 MHz. Wartości poboru prądu dla obu częstotliwości trzeba odczytać z wykresów, co obarczone jest pewnym błędem. Dla LFINTOSC można przyjąć pobór 2,7 μA przy 3 V, a dla HFINTOSC będzie to już 500 μA przy 4 MHz. ADC w trakcie konwersji – gdy rdzeń pozostaje nieaktywny – pobiera 330 μA, a CPU w stanie uśpienia potrzebuje tylko 1,5 μA, wliczając w to zasilanie watchdoga. Poza poborem prądu musimy też znać czas wykonywania kodu i czas trwania konwersji ADC. Przetwornik analogowo-cyfrowy potrzebuje 11TAD + 3TCY. TAD to czas jednego cyklu konwersji, w tym wypadku będzie to okres wewnętrznego oscylatora ADC, wynoszący typowo 2,2 μs. TCY jest natomiast czasem trwania jednej instrukcji, w przypadku LFINTOSC wynosi on 129 μs, a przy 4 MHz sięga 1 μs. Te liczby wynikają z faktu, że jedna instrukcja wykonuje się przez cztery cykle zegarowe. Musimy też doliczyć czas startu oscylatora HFINTOSC: 100 μs. **Tabela 1** zawiera wyliczone czasy i pobór prądu na poszczególnych etapach pracy układu oraz uśrednione wartości natężenia prądu. Przy obliczaniu prądu uwzględniono też fakt, że zużycie go przez różne komponenty sumuje się, gdyż LFINTOSC nigdy się nie zatrzymuje (taktuje bowiem blok watchdog) i oba są używane przez ADC zależnie od ustawionej częstotliwości pracy. Średni pobór został wyliczony metodą pokazaną w poprzedniej części artykułu.

Jak widać, z wolniejszym zegarem można zaoszczędzić 28,7% energii tylko na średnim poborze prądu. To całkiem sporo, choć same wartości liczbowe wydają się znikome.

Pierwsza część artykułu znajduje się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

eprasa.pl 12486519d0

Spójrzmy teraz na układy 16-bitowe serii PIC24/dsPIC. Tutaj sytuacja nieco bardziej się komplikuje ze względu na fakt, w jak wielu spośród tych układów zdarzają się różne błędy w krzemie, czasami wpływające też na pobór prądu. Na przedstawiciela układów 16-bitowych wybrany został PIC24FJ128GC010. Układy z tej rodziny łączą w sobie rozbudowane peryferia analogowe z wieloma możliwościami oszczędzania energii. Dodatkowo Michrochip dodał sprzętową obsługę wyświetlaczy LCD, interfejs USB i dość szybkie CPU (16 MIPS) z hardware'ową realizacją mnożenia i dzielenia w jednym cyklu. Z naszego punktu widzenia użyteczną funkcją może być bateryjne podtrzymywanie pamięci oraz modułu RTCC. **Tabela 2**, ukazuje średni pobór prądu w przypadku naszego przykładowego programu korzystającego zegarów 31 kHz i 2 MHz przy napięciu zasilania 3,3 V.

W opisanym przykładzie to szybszy zegar prowadzi, a różnica wynosi 19,4%. Co ważne, im dłuższy program – przy tych samych zegarach – tym bardziej zaobserwowana przewaga będzie wzrastać.

W przypadku PIC32 mamy o tyle ciekawą sytuację, że przez lata Microchip używał architektury MIPS32 – ale po akwizycji firmy Atmel przez wspomnianego producenta do jego oferty dołączyły mikrokontrolery serii SAM, a potem PIC32 z rdzeniami ARM Cortex-M23 o niższym poborze prądu. Na reprezentanta układów 32-bitowych został jednak wybrany mikrokontroler z rdzeniem MIPS32 microAptiv, PIC32MM0256GPM036. Nie jest to ani najbardziej rozbudowany mikrokontroler z całej rodziny MIPS32, ani też najszybszy – za to na pewno energooszczędny. **Tabela 3** pokazuje wyniki pomiaru prądu przy napięciu zasilania 3,3 V.

Tym razem różnica okazuje się dramatyczna – użycie szybszego zegara zmniejsza średni pobór prądu 3,9 razy! Nadal jednak pobór prądu pozostaje znaczny, zwłaszcza gdy porównamy go z układami 8- i 16-bitowymi. PIC32MM0256GPM036 w naszym przykładzie pobiera 4 razy więcej energii niż PIC18F27Q10. Czytelnik może zatem zadać sobie pytanie, na co komu więcej bitów, skoro ośmiobitowiec wygrywa pod względem oszczędności energii? Odpowiedź jest prosta: wszystko zależy od założeń projektowych i programistycznych.

Więcej mocy!

W naszym przykładzie program był prosty i rzadko wykonywany. Sytuacja zmienia się wtedy, gdy wymaga on na przykład zaawansowanych obliczeń matematycznych. Programowe mnożenie i dzielenie dwóch zmiennych to relatywnie powolny proces, jeśli mikrokontroler nie zapewnia mu wsparcia sprzętowego. Nawet operacja dodawania lub odejmowania może zająć sporo cykli, gdy wykonujemy ją na liczbach 32- lub 64-bitowych, a ALU jest ośmiobitowe. W przypadku prostych programów nie stanowi to dużego problemu, jeśli jednak kod wymaga wielu różnych operacji na dużych liczbach, na przykład do przetwarzania danych o zmianach położenia i prędkości, to osiem bitów nie wystarczy.

Ale nie tylko do obliczeń przyda się szybszy i wydajniejszy układ. Niech program będzie 5 razy dłuższy – wówczas ośmiobitowy mikrokontroler z zegarem LFINOSC nie nadąży z wykonywaniem kodu. Mikrokontroler 16-bitowy z zegarem LPRC spędzi 64% czasu na wykonywaniu programu, natomiast układ MIPS32 będzie potrzebował tylko 32% czasu, dzięki zoptymalizowanej egzekucji instrukcji. W przypadku mikrokontrolera 8-bitowego nie ma wyboru – trzeba użyć szybszego zegara. Dla 16-bitowego PIC24FJ128GC010 to też będzie lepszy wybór – i to nawet oszczędniejszy niż dla PIC18F27Q10, gdyż ten drugi potrzebuje aż 22,2% więcej energii na jego wykonanie w tej samej jednostce czasu.

W naszym przykładzie wykonywaliśmy jeden pomiar ADC – a jeśli musimy wykonać ich dziesiątki, setki czy tysiące na sekundę? Albo użyć równolegle wielu różnych peryferiów? Wtedy przydać się może układ DMA – niewystępujący zbyt często w ośmiobitowcach, za to powszechnie dostępny w układach 16- i 32-bitowych. Załóżmy na przykład, iż potrzebny jest układ zasilany bateryjnie, który wykryje dźwięk lub sygnał elektryczny o określonych częstotliwościach poniżej 1 kHz. W takiej sytuacji można skonfigurować moduł ADC i moduł DMA, by moduł ADC zbierał 2048 próbek na sekundę, a moduł DMA zapisywał je w kolejnych komórkach bloku pamięci liczącego 4 kB. Po zapełnieniu jednej lub drugiej połowy bloku moduł DMA budzi CPU odpowiednim przerwaniem, a program wykonuje

Tabela 1. Pobór prądu mikrokontrolera PIC18F27Q10 przy dwóch różnych zegarach

Oscylator	LFINTOSC 31 kHz		HFINTOSC 4 MHz	
Parametr	**Czas**	**Pobór prądu**	**Czas**	**Pobór prądu**
Stan uśpienia	750,5882 ms	1,5 µA	997,8728 ms	1,5 µA
Start HFINTOSC	–	–	100 µs	502,7 µA
Program	258 ms	2,7 µA	2 ms	502,7 µA
ADC	411,2 µs	332,7 µA	27,2 µs	832,7 µA
Średni pobór	1 s	1,96 µA	1 s	2,75 µA

Tabela 2. Pobór prądu mikrokontrolera PIC24FJ128GC010 przy dwóch różnych zegarach

Oscylator	LPRC 31 kHz		FRC 2 MHz	
Parametr	**Czas**	**Pobór prądu**	**Czas**	**Pobór prądu**
Stan uśpienia	880,99 ms	1,22 µA	997,847 ms	1,22 µA
Start oscylatora	–	–	15 µs	415,9 µA
Program	129 ms	25,9 µA	2 ms	390,9 µA
ADC	10 µs	429,9 µA	10 µs	790,9 µA
Średni pobór	1 s	2,42 µA	1 s	1,95 µA

Tabela 3. Pobór prądu mikrokontrolera PIC32MM0256GPM036 przy dwóch różnych zegarach

Oscylator	LPRC 32 kHz		Fsys 1 MHz	
Parametr	**Czas**	**Pobór prądu**	**Czas**	**Pobór prądu**
Stan uśpienia	937,493 ms	5,9 µA	997,967 ms	5,9 µA
Start oscylatora	–	–	26 µs	965,9 µA
Program	62,5 ms	400 µA	2 ms	960 µA
ADC	7 µs	480,9 µA	7 µs	480,9 µA
Średni pobór	1 s	30,523 µA	1 s	7,843 µA

eprasa.pl 12486519d0

transformatę Fouriera na zbiorze 2048 próbek oraz identyfikuje obecność poszukiwanych częstotliwości (jeśli ich brak, wraca do stanu uśpienia), podczas gdy moduły ADC i DMA pracują dalej. Oczywiście można to zadanie zrealizować za pomocą kilku aktywnych filtrów pasmowych, ale koszt takiego rozwiązania może być zbyt wysoki. W naszym przykładzie układ ośmiobitowy, nawet z DMA, może się nie sprawdzić ze względu na liczbę potrzebnych obliczeń. Optymalnym rozwiązaniem może okazać się użycie układu z wbudowanymi funkcjami DSP. Zapewne część Czytelników zapyta, na co komu taki układ? Przykładowa odpowiedź może być dość prosta: do odróżniania pszczół od komarów. Pszczoły bzyczą z częstotliwością 250...300 Hz, trzmiele z częstotliwością 200...250 Hz, a komary w paśmie od 700 Hz do ponad 1 kHz. Inne potencjalnie zastosowanie to prosty układ mierzący aktywność mózgu, tj. wykrywający, czy użytkownik jest w stanie relaksu, czy wzmożonej aktywności. Wymyślenie kolejnych zastosowań zostawiam Czytelnikowi jako ćwiczenie wyobraźni.

Dobrym przykładem układów wymagających zarówno dużej mocy obliczeniowej, jak i oszczędnego wykonywania programu, są opaski sportowe mierzące aktywność fizyczną. Mikrokontroler musi zbierać i przetwarzać dane z wielu czujników, kompresować je oraz przechowywać w pamięci do czasu następnej synchronizacji, wyświetlać czas, licznik kroków, często też mierzyć tętno czy poziom natlenienia krwi oraz realizować dodatkowe funkcje. Jednocześnie opaska taka może mieć nieduże ogniwo litowe, które powinno wystarczać na minimum jedną dobę pracy – albo baterię, zdolną wytrzymać od kilku miesięcy do nawet roku. By uzmysłowić Czytelnikowi skalę opisywanego problemu, posłużę się przykładem opaski sportowej Amazfit Bip S: przy normalnym użytkowaniu wytrzymuje ona na jednym ładowaniu przynajmniej dwa dni, co sprawdziłem praktycznie. Opaska ta ma ogniwo litowo-polimerowe o pojemności 200 mAh. Oznacza to, że średni pobór prądu na sekundę wynosi ~1,16 μA (zatem mniej, niż wykazywały ujęte we wcześniejszych przykładach mikrokontrolery – przy realizacji znacznie większej liczby zadań, włącznie z obsługą podświetlanego wyświetlacza i optycznym pomiarem tętna co minutę). Osiągnięto tę oszczędność przez utrzymywanie stanu uśpienia wszystkich komponentów wewnątrz opaski przez większość czasu. Jeśli pomiar tętna następowałby co 5 minut, ten monitor aktywności działałby nawet 15 dni na jednym ładowaniu, gdyż to właśnie czujnik tętna pobiera najwięcej energii: na oświetlenie skóry i naczyń krwionośnych w niej się znajdujących. Nawet tu istnieje pewna oszczędność uzyskana przez producenta samego czujnika: diody LED pracują impulsowo ze zmienną intensywnością, dostosowaną do aktualnych warunków pomiaru. Pomiar położenia i ruchu opaski też nie jest ciągły – wystarczy wykonać go 2...3 razy na sekundę. Należy przy tym pamiętać, że większość sensorów MEMS ma własne procesory realizujące funkcję integracji oraz analizy pomiarów. Wysoka specjalizacja tych układów pozwoliła producentom ograniczyć pobór prądu i zintegrować takie funkcje, jak automatyczne wykrywanie zmiany położenia czy zliczanie kroków w samym sensorze. W ten sposób główny mikrokontroler opaski może pozostawać nieaktywny przez zdecydowaną większość czasu.

Tryby oszczędzania energii mikrokontrolera na przykładzie układów Microchip PIC, PIC24/dsPIC i PIC32

Podstawową techniką oszczędzania energii jest wielokrotnie już wspomniane usypianie mikrokontrolera. Ale usypianie usypianiu nierówne. Bardziej zaawansowane układy oferują bardziej różnorodne opcje dezaktywacji MCU. Przyjrzyjmy się trybom dostępnym w produktach Microchipa z technologią XLP. **Rysunek 1** pokazuje tabelę z noty aplikacyjnej AN1267, w której zestawiono pobory prądu kilku 8- i 16-bitowych mikrokontrolerów Microchip. Warto zwrócić uwagę na to, że prąd w trybie uśpienia i prąd zasilania timera watchdog są podane oddzielnie, wyszczególniono też analogiczny parametr modułu RTCC, a dodatkowo uwzględniono prąd upływu pinów poszczególnych mikrokontrolerów.

Tryb głębokiego snu (Deep Sleep) potrafi ograniczyć pobór prądu do poziomu poniżej 100 nA. Układ może być wybudzony przez ograniczoną liczbę zdarzeń: alarm z modułu RTCC, zewnętrzne przerwanie, reset układu spowodowany przez zasilanie lub pin MCRL i wreszcie wybudzenie przez DSWDT (Deep Sleep Watchdog Timer). Ponieważ niemal wszystko pozostaje wyłączone, wybudzenie z głębokiego snu okazuje się – z praktycznego punktu widzenia – kompletnym resetem układu. Wszystkie rejestry SFR oraz licznik programu ulegają zerowaniu. Timer1/SOSC, piny I/O oraz RTCC są zachowane, by móc kontynuować pracę układu, zaś stosowne flagi sygnalizujące przyczynę resetu i stan głębokiego uśpienia są ustawione. Program jest wykonywany od początku i to w gestii programisty pozostaje sprawdzić, co było przyczyną resetu, a także czy układ znajdował się wcześniej w stanie głębokiego uśpienia. Programista może też zachować kluczowe dane albo w dedykowanych rejestrach ogólnego przeznaczenia, albo w pamięci EEPROM układu (jeśli ta jest dostępna). Okazuje się to konieczne, gdyż – poza kilkoma rejestrami – wszystko, w tym również pamięć RAM układu, ulega zerowaniu. W układach, w których nie ma bloku EEPROM, można albo użyć pamięci zewnętrznej, albo krytyczne informacje zachowywać jako stałe pod określonym adresem pamięci programu – wszystkie mikrokontrolery Microchipa z wbudowanym Flashem mogą być programowane przez firmware.

Tryb snu (Sleep) dostępny jest w praktycznie wszystkich mikrokontrolerach Michrochip PIC. Podobne tryby mają też procesory z innych rodzin, a nawet innych firm. W tym trybie CPU pozostaje wyłączone, główny zegar zazwyczaj też, a pracują tylko te peryferia, które włączy program. Zachowana zostaje zawartość pamięci RAM, stan rejestrów i licznik programu. Po wybudzeniu mikrokontroler może kontynuować pracę od miejsca uśpienia. Ponieważ różne peryferia (jak choćby ADC czy moduły komunikacji szeregowej) mogą wybudzić układ, wspomniany tryb uśpienia używany jest najczęściej, gdy program musi czekać na jakąś informację, zanim podejmie działanie. Niektóre mikrokontrolery mają też zaawansowany moduł ADC, który może wykonywać dodatkowe operacje, w tym uśrednianie lub akumulację kolejnych wyników, a także generować przerwanie, gdy wynik konwersji ADC znajdzie się powyżej lub poniżej określonej wartości ustawionej przez program. Dzięki temu nie trzeba wybudzać mikrokontrolera w celu porównania każdego wyniku. Pokrewny tryb dostępny w niektórych mikrokontrolerach stanowi uśpienie niskonapięciowe/podtrzymujące (Low Voltage/Retention Sleep). Różni się on od standardowego trybu uśpienia użyciem dodatkowego regulatora napięcia, w celu obniżenia napięcia zasilania wewnętrznych rejestrów, RAM-u i logiki CPU dp 1,2 V. Dzięki temu maleje też pobór prądu. Wybudzenie z opisanego trybu trwa dłużej niż ze zwykłego uśpienia. Trzecim, pokrewnym trybem jest tryb snu z szybkim

Parameter	8-Bit PIC® MCUs			16-Bit PIC® MCUs		
	PIC16(LF)F1946	PIC16(LF)F1886/976	PIC16(LF)F1777/8/9	PIC24F10KA102	PIC24F/25GA310	PIC24F/25GB410
Deep Sleep (nA)	No Deep Sleep	No Deep Sleep	No Deep Sleep	20	10	30
Sleep (nA)	50[3]	50[3]	50[3]	35	330[3]	70[3]
WDT (nA)	400[2]	400[2]	600[2]	360[4]	270[4]	100[4]
32 kHz Oscillator with Timer/RTCC (nA)	600[2]	600[2]	500[2]	450	400	170
I/O Port Leakage (nA)	±5	±5	±5	±50	±100 to ±200	±100 to ±200
1 MHz Run Current (μA)	100[2]	90[2]	50[2]	105	160	170
Minimum Vdd	1.8	1.8	1.8	1.8	2.0	2.0

Note 1: All numbers are typical values at minimum device Vdd as reported in the most recent device data sheet. Values for WDT and/or RTCC may include base Sleep mode current. Sleep data is taken with BOR disabled, if possible. Nearest possible operating conditions are considered for comparison.
2: Data for minimum Vdd is not available for these specifications; data for 3V is shown.
3: Low-voltage/retention Sleep currents are considered.
4: DSWDT currents are considered.

Rysunek 1. Tabela zestawiająca pobory prądu przez wybrane mikrokontrolery 8- i 16-bitowe Microchip PIC, pochodząca z noty aplikacyjnej AN1267

eprasa.pl 12486519d0

wybudzaniem (Sleep with Fast Wake-up). Normalnie wybudzanie ze stanu snu trwa typowo 20 mikrosekund, podczas gdy tryb szybkiego wybudzenia zwiększa nieco pobór prądu, ale pozwala na szybszy powrót do wykonywania programu.

Dwa kolejne tryby pracy nie są de facto trybami uśpienia, ale też pozwalają na oszczędzenie energii. Tryb bezczynności (Idle) odłącza zegar od CPU, wstrzymując wykonywanie programu, ale dostarcza go dalej do peryferiów. Powrót do wykonywania programu następuje po zgłoszeniu przerwania. W trybie drzemki (Doze) – dostępnym w układach PIC24 i dsPIC33 – zegar CPU jest dzielony przez wartość wskazaną przez program, dzięki czemu kod wykonuje się z niższą częstotliwością niż w przypadku sygnału taktowania peryferiów. Tryb bezczynności ogranicza pobór prądu do 25% natężenia mierzonego w normalnym trybie pracy i może zastąpić pętlę, w której program czeka na zmianę statusu jakiegoś modułu peryferyjnego. Z kolei tryb drzemki redukuje pobór prądu do 35...75% normalnego natężenia prądu (zależnie od ustawienia dzielnika) i pozwala na wykonywanie programu „w tle", gdy peryferia nadal pracują z pełną prędkością. Za przykład ostatniego z opisanych mechanizmów niech posłuży użycie maksymalnej częstotliwości ADC (by zebrać próbki do przetworzenia) – w międzyczasie może być obsługiwany interfejs użytkownika.

Część mikrokontrolerów ma wbudowane dodatkowe wejście (i powiązany z nim tryb pracy) oznaczane jako Vbat. Zewnętrzne źródło napięcia – jak bateria, akumulator lub superkondensator – podłączone zostaje do pinu Vbat. W razie zaniku głównego zasilania to źródło podtrzyma: pracę zegara RTCC, dwa rejestry ogólne, używane w trybie głębokiego snu, a także blok pamięci RAM, zawierający klucze kryptograficzne i moduł zabezpieczający przed atakiem na silnik kryptograficzny, jeśli ten jest dostępny w mikrokontrolerze. Programista może wybrać, co będzie podtrzymywane przez domenę Vbat. Microchip zaleca, by krytyczne dane zachowywać w rejestrach DSGPRx dość często, jeśli istnieje ryzyko nagłego zaniku zasilania. W przypadku użycia akumulatora lub superkondensatora należy zatroszczyć się o zewnętrzny obwód ładowania tegoż, gdy główne napięcie zasilania jest obecne.

Inne funkcje oszczędzania energii

Poza użyciem trybów uśpienia można też ograniczyć natężenie prądu pobieranego przez mikrokontroler na inne sposoby – przede wszystkim wyłączając nieużywane peryferia za pomocą rejestrów PMD (Peripheral Module Disable), jeśli są dostępne. Dezaktywowane bloki nie będą zużywać energii. Rejestry SFR związane z modułem znajdującym się w tym stanie zostaną również wyłączone, przez co zniknie możliwość ich odczytania i zapisania. Oznacza to, że każdorazowe włączenie wybranego modułu będzie wymagało jego ponownej konfiguracji. Rozwiązanie takie ma sens, jeśli dany moduł używany będzie tylko sporadycznie.

Warto zatroszczyć się również o odpowiednią konfigurację nieużywanych pinów mikrokontrolera. Piny skonfigurowane jako wejścia logiczne co do zasady nie powinny „wisieć w powietrzu". Zaleca się podłączenie ich do zasilania lub masy przez rezystory 10 kΩ. Lepszym rozwiązaniem okaże się skonfigurowanie tych pinów jako wyjść ze stanem „0" – wtedy można je zostawić niepodłączone. Alternatywną opcję stanowi przełączenie wybranych pinów jako wejść analogowych, co całkowicie odłącza część cyfrową obsługi portów i pinów.

Praktycznie wszystkie mikrokontrolery mają możliwość zmiany prędkości pracy zegara. Częstym błędem początkujących programistów i projektantów okazuje się użycie maksymalnej prędkości wewnętrznego oscylatora albo nieuzasadnione użycie zewnętrznego rezonatora kwarcowego, co wydatnie podnosi pobór prądu. Domyślną częstotliwością wewnętrznego oscylatora ośmiobitowych PICów jest 500 kHz, czyli 125 kIPS. Jeśli program nie wymaga szybkiego działania albo wykonuje niewiele instrukcji między stanami uśpienia, warto zredukować taktowanie do najniższej dostępnej wartości. Jeśli jednak program jest bardziej złożony, to prędkość taktowania można stosownie zwiększyć. Dynamiczna zmiana taktowania, zależnie od rodzaju wykonywanych zadań, może pozwolić na znaczną redukcję średniego poboru prądu, bez ograniczania funkcjonalności całego urządzenia. Pamiętać należy, że peryferia taktowane są tym samym zegarem co CPU, a więc przy zmianie prędkości zegara trzeba dostosować również ustawienia tych modułów, by ich prędkość nie uległa zmianie. Ma to szczególne znaczenie w odniesieniu do modułów komunikacyjnych SPI/I²C, EU(S)ART oraz CCP (Capture/Compare/PWM).

Ważny aspekt oszczędzania energii stanowi odpowiednia optymalizacja kodu źródłowego, którą częściowo wykona za nas kompilator. Warto jednak samemu rozważyć, czy da się kod uprościć lub podzielić na mniejsze bloki wykonywane tylko wtedy, gdy funkcjonalność projektu tego wymaga. Im mniej programu mikrokontroler wykonuje między kolejnymi uśpieniami, tym bardziej urządzenie będzie energooszczędne. Jedną z ciekawszych sugestii od firmy Microchip jest to, by najpierw konfigurować wszystkie potrzebne peryferia, a dopiero potem włączać je razem – dzięki czemu unika się ich bezczynnego oczekiwania i marnowania prądu, w czasie gdy inne są dopiero konfigurowane. Ustawienie każdego rejestru zajmuje w końcu dwie instrukcje maszynowe (wczytanie wartości do rejestru W i transfer wartości z rejestru W do stosownego rejestru SFR). Jeśli jakiś moduł peryferyjny jest potrzebny tylko po spełnieniu określonego warunku (np. wartość ADC przekroczyła zadany próg), w związku z czym przez zdecydowaną większość czasu nie będzie potrzebny, można jego konfigurację i użycie połączyć w jedną funkcję, a po użyciu wyłączyć go za pomocą PMD (co powinno wyzerować też stosowne rejestry SFR).

Ostatni trik wart wspomnienia to sposób oszczędzania energii, gdy w projekcie użyto zewnętrznego modułu lub układu peryferyjnego. Mowa tu np. o dokładniejszym przetworniku ADC, wzmacniaczu operacyjnym współpracującym z czujnikiem albo zewnętrznej pamięci szeregowej. Wiele układów ma wejście sterujące, ale nie stanowi to reguły, co więcej – nie likwiduje problemu obwodów zewnętrznych. Prostym rozwiązaniem jest natomiast użycie wolnego pinu mikrokontrolera jako źródła zasilania dla tych komponentów. Należy oczywiście wziąć poprawkę na wydajność prądową samego pinu (zależnie od producenta i rodziny mikrokontrolerów wynosi ona zwykle 15...25 mA) oraz ograniczyć użycie kondensatorów odsprzęgających. Każdy kondensator 100 nF będzie miał ładunek 300 nC przy 3 V. W momencie odłączenia zasilania od układu wspomniany ładunek można traktować jako stratę. W układach bateryjnych i tak warto ograniczyć zastosowanie kondensatorów, zwłaszcza ceramicznych – ze względu na ich znaczny prąd upływu. Należy też wziąć poprawkę na czas potrzebny, by tak sterowany obwód zewnętrzny był gotowy do wykonania swojego zadania – zależnie od rodzaju układu bądź obwodu będzie to od kilku do kilkuset mikrosekund. Jeśli tak kontrolowanym układem jest pamięć EEPROM lub Flash, należy uwzględnić czas potrzebny na zakończenie czynności zapisu – układy sygnalizują ten fakt zmianą stosownego bitu w swoich rejestrach statusu lub/i przez generowanie sygnału przerwania.

Podsumowanie

Mikrokontrolery oferują wiele możliwości zaoszczędzenia energii – i wszystkie one znajdują się zazwyczaj pod kontrolą programisty. Istotnym aspektem pozostaje wybór odpowiedniego komponentu do projektu, ale oferty układowe okazują się naprawdę bogate i każdy producent ma w tym względzie coś w zanadrzu. Choć w artykule skupiłem się na układach Microchip PIC, to nie musimy ograniczać się do tych rodzin mikrokontrolerów – z punktu widzenia współczesnego programisty rodzaj użytego układu często nie ma znaczenia, ponieważ kod i tak jest pisany w języku wysokopoziomowym. W następnej części cyklu przyjrzymy się różnym czujnikom oraz układom peryferyjnym – i tam poszukamy dalszych oszczędności energii.

Paweł Kowalczyk, EP

eprasa.pl 12486519d0

Scalony układ do zarządzania energią nPM1300

Najnowszy członek rodziny układów PMIC (Power Management Integrated Circuit) firmy Nordic oszczędza miejsce na PCB i integruje kluczowe funkcje zarządzania systemem.

Więcej informacji:
Nordic Semiconductor Poland Sp. z o.o.
31-201 Kraków, Bratysławska 1A,
tel. +48 600 439 203
https://www.nordicsemi.com/

Technologie bezprzewodowe zaimplementowane przez Nordic Semicondutor, czy to Bluetooth LE, Wi-Fi, czy komórkowe IoT, zostały stworzone do obsługi złożonych aplikacji Internetu Rzeczy przy jednoczesnym zminimalizowaniu zużycia energii i wydłużeniu żywotności baterii. Ale zarządzanie energią to coś więcej niż wydajne układy typu SoC (System-On-Chip) czy moduły SiP (System-In-Package). Napięcie zasilania musi być regulowane i dostępne na kilku niezależnych szynach, a w przypadku aplikacji zasilanych z akumulatora trzeba będzie ponadto dostarczyć zewnętrzne napięcie niezbędne do jego ładowania.

Bez względu na to, jak wydajny jest procesor i transceiver, nieefektywny system zarządzania energią wpłynie negatywnie na żywotność ładowalnych baterii. Co więcej, konwencjonalne rozwiązania zarządzania zasilaniem zazwyczaj składają się z wielu osobnych układów – na przykład regulatora napięcia, ładowarki akumulatorów, wskaźnika stanu naładowania akumulatora, zewnętrznego watchdoga i obwodów twardego resetu – które zajmują cenne miejsce w projektach o ograniczonej przestrzeni.

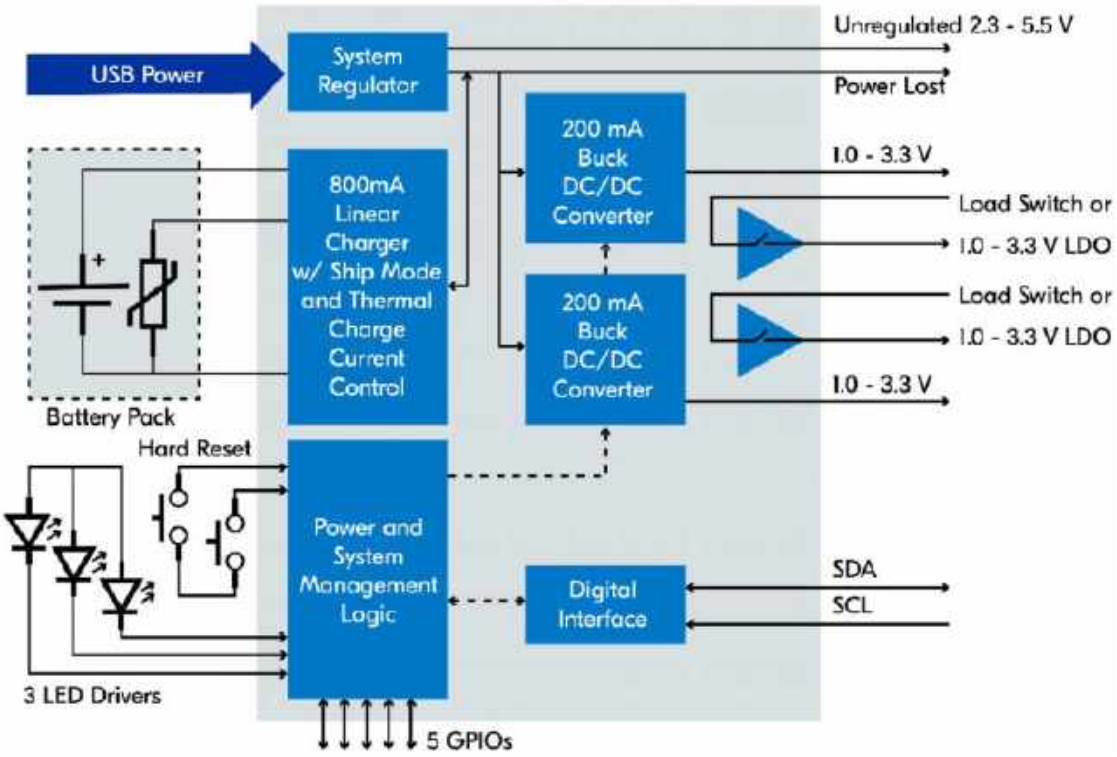
Nordic odpowiedział zarówno na wyzwania związane z wydajnością, jak i rozmiarami podsystemów zarządzania energią urządzeń IoT o małym poborze mocy oraz ograniczonej przestrzeni. Dokonał tego dzięki rodzinie układów scalonych do zarządzania energią (PMIC) nPM, obejmującej układy: nPM6001 (z sześcioma niezależnie sterowanymi szynami zasilania), nPM1100 (2-trybowy, konfigurowalny regulator typu buck wraz ze zintegrowaną ładowarką akumulatorów) oraz najnowszy układ nPM1300.

Ten ostatni został zoptymalizowany pod kątem maksymalnej wydajności i niewielkich rozmiarów, a przy tym upraszcza projektowanie systemu poprzez integrację podstawowych funkcji wymaganych do obsługi Bluetooth LE w jednej małej obudowie.

Inteligentne zarządzanie energią

Układ nPM1300 jest dostępny w obudowach: QFN32 o wymiarach 5×5 mm oraz WLCSP o wielkości 3,1×2,4 mm. Wewnątrz układu PMIC znalazły się dwa konwertery typu buck, dwa przełączniki obciążenia, ładowarka akumulatorów, wejście kompatybilne z USB-C, obwody

eprasa.pl 12486519d0



Rysunek 1. Układ PMIC nPM1300 ma dwie szyny zasilania regulowane przez oddzielne przetwornice DC-DC typu buck, konfigurowalne w zakresie od 1,0 do 3,3 V i oferujące wydajność prądową do 200 mA. Pozostałe dwie szyny zasilania działają jako przełączniki obciążenia – przełączając prądy do 100 mA ze źródeł zewnętrznych – ale mogą również pracować jako LDO. PMIC obsługuje akumulator za pomocą liniowego modułu ładowania o prądzie wyjściowym do 800 mA i programowalnym napięciu końcowym od 3,5 do 4,45 V

obsługujące tryb wysyłki (*ship mode*) i wskaźnik naładowania. Taka integracja upraszcza obwód zarządzania energią z ośmiu układów scalonych (i wymaganych elementów pasywnych) do jednego układu scalonego z kilkoma komponentami zewnętrznymi. Ponieważ programista musi pracować tylko z jednym układem, opisywane rozwiązanie czyni zarządzanie oraz konfigurację PMIC prostszymi. Aby jeszcze bardziej ułatwić proces, układ nPM1300 można skonfigurować pod kątem konkretnej aplikacji za pomocą programu nPM PowerUP PC, przeznaczonego do generowania kodu konfiguracyjnego; nPM1300 zawiera także kluczowe funkcje zarządzania systemem, które w typowych obwodach zarządzania energią zazwyczaj muszą być dodawane indywidualnie. Funkcje te sprawiają, że omawiany produkt jest najbardziej zintegrowanym układem PMIC na rynku.

Pierwszą funkcją zarządzania systemem w nPM1300 jest powrót do prawidłowego stanu systemu po nieudanym uruchomieniu. Jeśli takie zdarzenie wystąpi (tj. gdy obwody zasilania urządzenia zawieszą się w trakcie uruchamiania, jeszcze przed włączeniem watchdoga), PMIC odczeka, aż procesor zarządzający wskaże, że wszystko jest w porządku. Jeśli komunikat ten nie nadejdzie, PMIC ponownie uruchomi cykl zasilania wszystkich podłączonych urządzeń, aby podjąć kolejną próbę rozruchu.

Układ nPM1300 ma ponadto funkcję twardego resetu, realizowaną poprzez użycie jednego lub dwóch przycisków do wyłączenia zawieszonego urządzenia. Chociaż istnieją układy peryferyjne, które umożliwiają twardy reset, wbudowanie tej funkcji bezpośrednio w PMIC oszczędza miejsce na PCB i jest nieporównanie wygodniejsze pod względem aplikacyjnym.

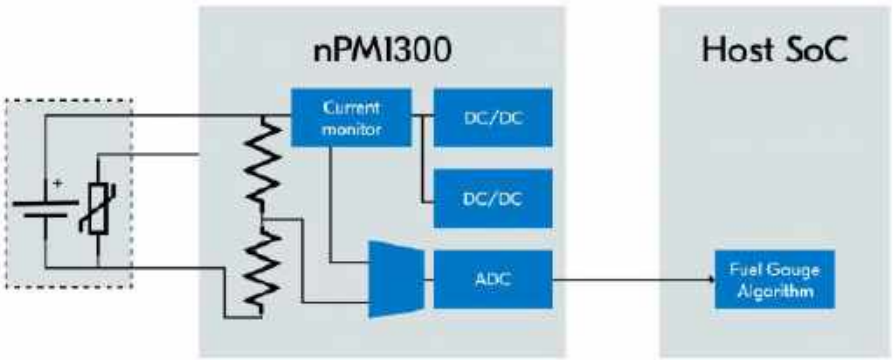
Rysunek 2. nPM1300 dołącza do nPM1100 i nPM6001 w rodzinie układów PMIC firmy Nordic. PMIC jest zoptymalizowany pod kątem maksymalnej wydajności i niewielkich rozmiarów oraz jest konfigurowany za pomocą kompatybilnego z I²C interfejsu dwuprzewodowego (TWI). Interfejs ten umożliwia łatwy dostęp oraz konfigurację szeregu zaawansowanych funkcji zarządzania systemem

Dokładne określenie poziomu naładowania akumulatora

Klucz do dokładnego wskaźnika stanu naładowania akumulatora w nPM1300 PMIC stanowi algorytm uruchamiany na mikrokontrolerze zarządzającym systemem, który jest używany do wyliczenia stanu naładowania akumulatora. Wbudowany procesor, taki jak Arm Cortex-M33 używany w Nordic nRF5340 SoC, ma wystarczającą moc obliczeniową do uruchomienia algorytmu, bez wpływu na działanie kodu aplikacji. Procesor korzysta z informacji, takich jak prąd wpływający do PMIC i wypływający z niego, wyjście z dzielnika napięcia monitorującego napięcie na zaciskach akumulatora oraz sygnał z termistora dostarczający informacje o temperaturze akumulatora. Dzięki informacjom o prądzie, napięciu i temperaturze, procesor hosta używa opracowanego przez Nordic algorytmu do dokładnego określenia stanu naładowania baterii. Odczyty raz na sekundę okazują się wystarczające do uzyskania dokładnego pomiaru, a zapotrzebowanie na pamięć danych wynosi zaledwie kilka kilobajtów. Zużycie energii dla jednosekundowej częstotliwości pomiaru dodaje około czterech dodatkowych mikroamperów do typowego prądu SoC. Jeśli procesor jest uśpiony, nie będzie dokonywał pomiarów stanu naładowania akumulatora, ale gdy tylko zostanie obudzony, natychmiast przeprowadzi nowe pomiary w celu określenia aktualnego stanu naładowania akumulatora.

eprasa.pl 12486519d0

Dodatkowo Nordic PMIC wyposażony został w tryb „hibernacji". Jest to tryb oszczędzania energii, który zasila tylko najważniejsze części PMIC. Uruchomiony zostaje timer (zużywający znikomy prąd na poziomie nanoamperów), wybudzający PMIC po określonym czasie. Timer może zostać wyłączony poprzez naciśnięcie przycisku.



Rysunek 3. Mając informacje o prądzie, napięciu i temperaturze, procesor używa opracowanego przez Nordic algorytmu do dokładnego określenia stanu naładowania akumulatora

Precyzyjny pomiar stanu naładowania akumulatora

W przeciwieństwie do wielu konkurencyjnych rozwiązań, nPM1300 zawiera bardzo dokładny wskaźnik poziomu naładowania akumulatora, niewymagający żadnych zewnętrznych komponentów. Urządzenie łączy w sobie precyzję licznika kulombów (który w sposób ciągły mierzy prąd wpływający do akumulatora lub wypływający z niego – i całkuje jego wartość po czasie, w celu określenia całkowitego naładowania ogniwa) z niewielkim zużyciem energii oraz prostotą pomiaru napięcia akumulatora.

Układ nPM1300 zawiera kluczowe funkcje systemowe, które sprawiają, że produkt ten jest najbardziej zintegrowanym układem PMIC na rynku

Ze względu na swoje nieskomplikowanie, pomiar napięcia źródła energii stanowi popularną technikę oceny stanu naładowania. Ponieważ różnica potencjałów pomiędzy biegunami baterii lub akumulatora spada wraz z jego rozładowywaniem, napięcie zmierzone w określonym czasie okazuje się dobrym wskaźnikiem pozostałych rezerw energii ogniwa. Chociaż metoda ta może dawać zadowalające wyniki w laboratorium, to w praktycznych scenariuszach aplikacyjnych często wiąże się ona z poważnymi niedokładnościami.

Nordic przeprowadził kilka eksperymentów, w których porównano metodę licznika kulombów z pomiarem napięcia baterii i wskaźnikiem naładowania nPM1300. W porównaniu z licznikiem kulombów, obliczenia napięcia baterii wykazały prawie 20-procentowy błąd przy pełnym naładowaniu, zmniejszając się do 10 procent w miarę wyczerpywania się ładunku. Dla porównania, wskaźnik stanu naładowania nPM1300 wykazywał maksymalnie dwuprocentowy błąd w najgorszym przypadku – w porównaniu z licznikiem kulombów, ale w większości mieścił się w granicach jednego procenta (w miarę wyczerpywania się baterii).

Niedokładności zwykłego pomiaru napięcia baterii zwiększają się, jeśli jest ona narażona na wahania temperatury. W ekstremalnym teście, w którym temperatura baterii wahała się od –10 do +50°C w ciągu 20 minut, technika pomiaru napięcia wykazywała do 30% błędu, podczas gdy maksymalny błąd wskaźnika stanu naładowania nPM1300 wynosił zaledwie 4% (w porównaniu do licznika kulombów).

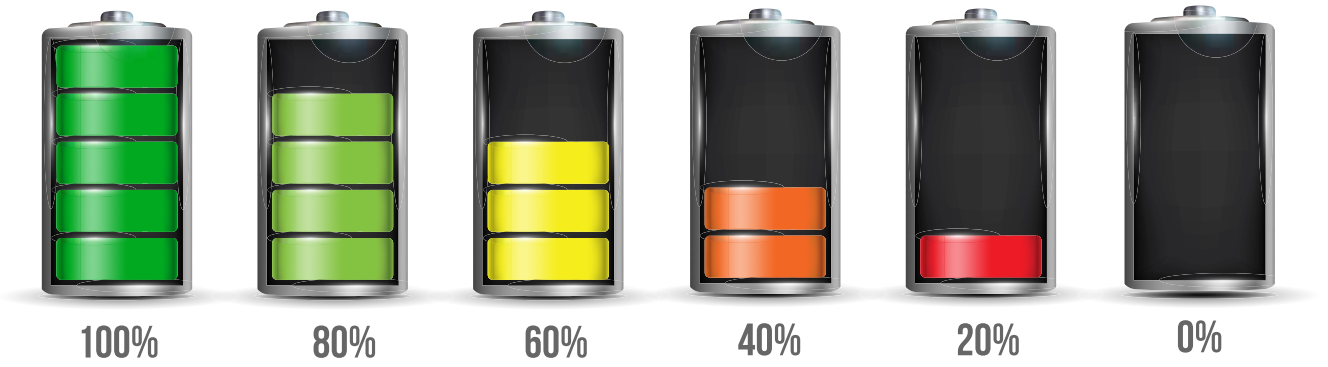
Kluczem do dokładności pomiaru stanu naładowania w szerokim zakresie temperatur jest algorytm uruchamiany przez procesor hosta (więcej informacji na ten temat można znaleźć w sekcji *Dokładne określenie poziomu naładowania akumulatora*). Aby algorytm mógł generować dokładne wyniki, musi najpierw zostać „nauczony" charakterystyki akumulatora – wystarczy jeden raz, jeśli produkt końcowy będzie nadal używał tego samego typu ogniwa. Uczenie odbywa się za pomocą zestawu ewaluacyjnego wyposażonego w płytkę nPM-FG (Fuel Gauge – wskaźnik „paliwa"), umożliwiającego zapewnienie odpowiedniego obciążenia rezystancyjnego – oraz poprzez aplikację nPM PowerUP. Proces jest powtarzany trzykrotnie w różnych temperaturach, aby umożliwić aplikacji zbudowanie dokładnego modelu akumulatora – jest on następnie eksportowany wraz z resztą kodu konfiguracyjnego do kodu źródłowego aplikacji.

Podsumowanie

nPM1300 to wydajny i kompaktowy układ PMIC, który oszczędza miejsce dzięki wbudowanym kluczowym funkcjom zarządzania systemem. Zawiera również bardzo dokładny wskaźnik stanu naładowania akumulatora. PMIC będzie współpracował z nadchodzącymi układami Nordic nRF54H20, nRF54L15 oraz z SoC rodzin nRF53 i nRF52; może być ponadto używany z mikrokontrolerami innych producentów. PMIC zachowuje także kompatybilność z SiP rodziny nRF91 (moduły LTE-M/NB-IOT) do zasilania urządzeń peryferyjnych i ładowania baterii. Moduł SiP podłącza się wtedy pod nieregulowaną szynę zasilania nPM1300 (VSYS), ponieważ ma on własny zintegrowany i wysokowydajny obwód zarządzania energią.

Używając układu nPM1300 wraz z SoC lub SiP firmy Nordic, projektant może zoptymalizować system zasilania swojego produktu bezprzewodowego, aby zmaksymalizować żywotność akumulatora.

Ten artykuł został ponownie opublikowany za zgodą Nordic Semiconductor's Wireless Quarter www.nordicsemi.com/News/Wireless-Quarter.



eprasa.pl 12486519d0

PROMOCYJNA OFERTA PROTOTYPÓW PCB

TYLKO $5

ZA 10 SZTUK PŁYTEK

DLACZEGO WARTO WYBRAĆ PCBWAY?

- Najwyższej jakości obwody drukowane
- Krótkie czasy realizacji
- Prosty i bezproblemowy proces zamówień
- Wsparcie dla Klientów 24/7

ŚWIĘTUJ Z NAMI 10 ROCZNICĘ PCBWAY!

Kolejne zniżki i atrakcje ogłosimy już w czerwcu i lipcu.

PCBWay

Adres URL:
www.pcbway.com

Poczta:
service@pcbway.com

eprasa.pl 12486519d0

Komunikacja bezprzewodowa w IoT

Internet Rzeczy (IoT) stanowi połączenie wielu technologii: czujników, procesorów, oprogramowania, systemów wbudowanych, uczenia maszynowego oraz interfejsów opartych na łączności radiowej – i reprezentuje odrębną gałąź branży IT. Istnieje wiele standardów bezprzewodowej komunikacji IoT – każdy spośród nich ma mocne strony, a wiele można dostosować do konkretnego przeznaczenia. Standardy IoT ewoluują, dostarczając sposobów na rozszerzenie swojego zastosowania daleko poza pierwotną koncepcję protokołu bezprzewodowego, która zazwyczaj obejmowała jedno urządzenie z jednym komputerem lub smartfonem. Rozwój łączności z Internetem, przechowywania w chmurze oraz warstw oprogramowania integrujących bezprzewodowe czujniki i siłowniki z inteligentnym oprogramowaniem w chmurze zapewnia pracę systemu w czasie rzeczywistym lub nawet w rzeczywistości wirtualnej.

IoT obejmuje urządzenia gospodarstwa domowego, aparaturę medyczną, sprzęt produkcyjny, urządzenia logistyczne i transportu samochodowego, reprezentujące różnorodne dziedziny. Rozwiązania Internetu Rzeczy składają się ze sprzętu, oprogramowania wbudowanego, technologii bezprzewodowych oraz protokołów komunikacyjnych, platform chmurowych do przetwarzania i przechowywania danych oraz aplikacji do interakcji z użytkownikami. Ze względu na zakres zastosowania podłączone urządzenia dzielimy na konsumencki i przemysłowy IoT. Konsumenckie urządzenia IoT to smartfony, smartwatche, trackery czy sprzęt gospodarstwa domowego – obecnie mamy do czynienia z boomem na takie konstrukcje. Są one zazwyczaj projektowane z myślą o krótkiej żywotności, podczas gdy zintegrowanie IIoT z procesami produkcyjnymi zapewnia ich niezawodne działanie przez wiele lat [6].

Urządzenia IoT mogą korzystać z różnych rozwiązań sieciowych w zależności od wielu czynników, w tym odległości od siebie, ilości danych, które muszą wymieniać, lokalizacji, w której będą używane, czy zużycia energii. Sieć IoT składa się z wielu czujników połączonych różnymi protokołami bezprzewodowymi w celu wymiany danych z chmurą i między sobą.

W roku 2022 firma Avnet (Farnell) przeprowadziła coroczne badanie Global IoT Survey [3]. Komunikacja/łączność została wskazana jako drugi co do istotności problem w rozwoju technologii Internetu Rzeczy. Zdecydowana większość respondentów (76%) korzysta z łączności bezprzewodowej, a z przewodowej – pozostałe 24%. Trzy standardy osiągnęły znaczący poziom zastosowania: Wi-Fi (45%), sieci komórkowe (20%) i BLE (15%). Przypuszczalnie są to aplikacje, które wymagają łączności – odpowiednio – na średnie, duże i małe odległości.

Odsetek respondentów wybierających te standardy prawdopodobnie lepiej odzwierciedla wymagania ich aplikacji niż jakiekolwiek szczególne preferencje. LoRa jest standardem łączności używanym przez 12% respondentów – co okazuje się interesujące, ponieważ rynek LPWAN wciąż się rozwija i z pewnością nie jest tak dojrzały jak Wi-Fi czy Bluetooth.

Podobnie standard Matter 1.0 – wprowadzony w zeszłym roku w celu zapewnienia „prostego, bezpiecznego i płynnego" łączenia świata – nie jest kompatybilny z możliwościami łączności każdego urządzenia. Dzieje się tak dlatego, że Matter pozwala kontrolerowi – takiemu jak Apple HomePod, Amazon Alexa, Google Nest Hub lub Samsung SmartThings – przejąć proces uruchamiania sieci dla nowych urządzeń IoT, używając sztucznej inteligencji (AI) i uczenia maszynowego (ML) do zarządzania wspólną komunikacją Wi-Fi na rzecz ekosystemu inteligentnego domu.

Technologie radiowe sieci rozległej małej mocy (LPWAN), jak CAT M-1 oraz NB-IoT, są dostępne w infrastrukturze komórkowej i istnieją już od kilku lat. Zaletę tych technologii stanowi korzystanie z istniejących wież komórkowych używanych do transmisji głosu i przesyłania danych o dużej przepustowości. Najlepszym rozwiązaniem okazuje się zakup „czasu" w ich sieciach poprzez zastosowanie modemów zgodnych z ich standardami, a następnie opłacenie miesięcznego planu użytkowania.

Jednakże urządzenia, które wymagają jedynie sporadycznego raportowania i kontroli, nie potrzebują dużej przepustowości, a ponieważ wiele

eprasa.pl 12486519d0

z nich jest zasilanych bateryjnie, zaistniało zapotrzebowanie na standardy o niższej mocy i mniejszej przepustowości. Technologie, które nie korzystają z istniejących sieci komórkowych i wymagają zbudowania infrastruktury na nowo, to między innymi Sigfox, LoRa/LoRaWAN – ich wadą okazuje się konieczność realizacji łącza nadrzędnego z Internetem.

Analitycy przewidują, że w 2025 r. liczba podłączonych do Internetu gospodarstw domowych na całym świecie przekroczy 30 miliardów, ponieważ rynek aplikacji smart home IoT będzie nadal rósł w tempie prawie 32 procent rocznie. Do najszybciej rozwijających się aplikacji należy segment bezpieczeństwa i monitorowania inteligentnych domów.

Rozwiązania elektroniczne w postaci modułów kontynuują swój dynamiczny rozwój. Zamiast wymagać od projektanta specjalistycznej wiedzy niezbędnej do projektowania na poziomie chipa, mogą zaoferować mu wstępnie zbudowany i certyfikowany moduł radiowy oraz anteny. Nie tylko ogranicza to zakres niezbędnej wiedzy technicznej na temat zagadnień RF, ale także umożliwia szybsze wprowadzanie produktów na rynek. Dobrym rozwiązaniem może być wcześniejsza komercjalizacja urządzenia mniej zoptymalizowanego pod względem kosztów (w celu przetestowania samego rynku pod kątem tej nowości), niż projektowanie od początku rozwiązania „szytego na miarę" z uwzględnieniem minimalizacji cen zastosowanych komponentów. Jeśli badany rynek jest wystarczająco duży, produkt można następnie zoptymalizować kosztowo, schodząc aż do poziomu chipa.

W 2023 r. GSMA Association wprowadziła specyfikację eSIM (zgodną z eUICC) do zastosowań IoT, aby objąć nią urządzenia z ograniczeniami w zakresie łączności sieciowej. Specyfikacja GSMA eSIM dla IoT (SGP.31/SGP.32) została specjalnie zaprojektowana, aby sprostać potrzebom sieci o pewnych ograniczeniach, np. NB-IoT czy LPWAN. Karta eSIM jest zazwyczaj lutowana na PCB docelowego urządzenia – zgodnie ze specyfikacją GSMA RSP. Klienci mogą zmieniać operatorów telekomunikacyjnych, zamiast wiązać się z jednym przez cały okres użytkowania urządzenia. Dzięki funkcjonalności RSP użytkownicy nie muszą już fizycznie wymieniać karty SIM za każdym razem, gdy zmieniają operatora. Oznacza to, że jednego chipa można używać przez cały cykl życia produktu, przyczyniając się do oszczędzania zasobów i ograniczenia wpływu na środowisko.

Komunikacja bezprzewodowa w IoT

W zależności od zasięgu bezprzewodową komunikację w IoT można podzielić na kilka grup:

- Komunikacja bliskiego zasięgu: NFC (Near-Field Communication).
- Sieci krótkiego zasięgu:
  - Osobiste: **PAN** (Personal Area Networks), **WPAN** (Wireless Personal Area Networks), np. Bluetooth, ANT+.
  - Lokalne: **WLAN** (Wireless Local Area Network). Są to sieci używane do komunikacji na małe odległości np. Wi-Fi.
- Sieci rozległe małej mocy: **LPWAN** (Low Power Wide Area Network). Są to sieci z protokołami komunikacyjnymi stosowanymi przez np. Sigfox oraz Lora – i umożliwiają przesyłanie mniejszych ilości informacji, ale na większą odległość.
- Komunikacja komórkowa: NB-IoT (NarrowBand IoT), Cat-M1 – standardy LTE przeznaczone do urządzeń IoT.
- Komunikacja satelitarna:
  - **GNSS** (Global Navigation Satellite Systems) – systemy nawigacji satelitarnej GPS, GLONASS, Galileo, Beidou, DORIS.
  - **NTN** (Non Terrestrial Network) – komunikacja satelitarna przeznaczona dla urządzeń IoT: NTN unmodified, z zastosowaniem technologii 5G NR NTN (5G New Radio), oraz NB-IoT NTN.

Można również przyjąć podział bardziej szczegółowy. Ze względu na zastosowanie możliwe jest także wyróżnienie kolejnych sieci: BAN (Body Area Network), WHAN (Wireless Home Area Network), WNAN (Wireless Neighborhood Area Network) lub MAN (Metropolitan Area Network).

Sieci bezprzewodowe mogą być zorganizowane z zastosowaniem różnych topologii: punkt-punkt, gwiazda, krata/siatka (mesh) i drzewo klastrów. Sieci kratowe, zaprojektowane tak, aby szybko przekazywać informacje na krótkim dystansie, korzystają z wielu węzłów z kilkoma potencjalnymi ścieżkami – może to oznaczać, że system zachowa funkcjonalność nawet w przypadku awarii jednego z węzłów. Topologia mesh jest stosowana w różnych protokołach komunikacji bezprzewodowej np. ZigBee, Bluetooth Mesh, Matter, Wi-SUN itd.

Standardy komunikacji

Connectivity Standards Alliance (CSA) [9], dawniej ZigBee Alliance, to grupa firm, które utrzymują i publikują standardy ZigBee oraz Matter, wraz z kilkoma innymi. Z biegiem lat liczba członków Sojuszu wzrosła do ponad 500 firm, w tym takich jak Amazon, Apple, Comcast, Google, Yandex, Ikea i Samsung SmartThings. Organizacja non profit Wi-Fi Alliance jest właścicielem znaku towarowego Wi-Fi [8]. Organizacja Bluetooth SIG udostępnia natomiast implementacje objęte licencją GPL [7]. Istnieje ponadto całkiem spora grupa innych organizacji wspierających standardy komunikacji do zastosowań IoT: LoRa Alliance [11], Thread Group [14], 3GPP (3rd Generation Partnership Project) [15], ANT+ Alliance, ANT Wireless, Garmin Canada [13], NFC Forum [12] oraz Mioty Alliance [19].

Wybór optymalnego protokołu w systemie IoT określają czynniki takie, jak lokalizacja geograficzna, zapotrzebowanie na energię, opcje zasilania bateryjnego, obecność barier fizycznych oraz koszty.

Oprócz wyboru technologii komunikacji bezprzewodowej IoT, istotny jest też wybór metody przesyłania danych. MQTT (Message Queue Telemetry Transport) to lekki protokół o niskim poborze mocy (ISO/IEC 20922), używany do przesyłania prostych zestawów danych pomiędzy czujnikami i aplikacjami. Znajduje się on na szczycie standardowego stosu sieci internetowej TCP/IP. Ze względu na zmniejszenie obciążenia łącza komunikacyjnego w podobnych przypadkach stosuje się też protokół UDP.

Komunikacja bliskiego zasięgu (NFC)

Technologia Near Field Communication (NFC) to zestaw protokołów umożliwiający transmisję danych między dwoma urządzeniami elektronicznymi na odległość 10 centymetrów lub mniejszą [12]. NFC zapewnia połączenie o małej prędkości dzięki prostej konfiguracji, której można użyć także do wstępnego zasilania urządzeń obsługujących połączenia bezprzewodowe. Podobnie jak inne technologie kart zbliżeniowych, NFC opiera się na sprzężeniu indukcyjnym pomiędzy dwiema cewkami znajdującymi się w tagu oraz czytniku NFC (np. smartfonie). Komunikacja NFC w jednym lub obu kierunkach korzysta z częstotliwości 13,56 MHz w dostępnym na całym świecie, nielicencjonowanym paśmie częstotliwości radiowej ISM, zgodnym ze standardem interfejsu radiowego ISO/IEC 18000-3 i pracuje przy szybkości transmisji danych w zakresie od 106 do 848 kbit/s.

NFC umożliwia zarówno zasilanie, jak i komunikację z pasywnym znacznikiem elektronicznym za pomocą fal radiowych. Służy głównie do identyfikacji i uwierzytelniania. Forum NFC opracowało specjalną specyfikację przekazu energii przez sprzężenie magnetyczne, znaną jako ładowanie bezprzewodowe NFC (WLC), która umożliwia zasilanie urządzeń z mocą do 1 W na odległości maksymalnie 2 cm [12].

Sieci krótkiego zasięgu (PAN, WPAN)

Komunikacja krótkiego zasięgu obejmuje popularne standardy, takie jak Bluetooth, ZigBee i Wi-Fi, które działają w nielicencjonowanych pasmach częstotliwości do zastosowań przemysłowych, naukowych czy medycznych (ISM). Chociaż w większości krajów te pasma nie wymagają licencji, istnieją standardy działania, pod kątem których urządzenia muszą zostać przetestowane. Wadą pasm nielicencjonowanych jest to, że w określonych lokalizacjach występuje wiele urządzeń korzystających z tych samych przedziałów widma RF i różnych

eprasa.pl 12486519d0

protokołów transmisji radiowej, w związku z czym problemem stają się zakłócenia, szczególnie w zatłoczonym paśmie radiowym 2,4 GHz. [1]

Większość standardów bezprzewodowych krótkiego zasięgu określa się mianem „sieci osobistych" (Personal Area Networks, PAN) – charakteryzują się one typowym zasięgiem od około 10 do 30 metrów (chociaż w dobrych warunkach wszystkie mogą zapewnić większy zasięg).

Jest też wiele innych standardów komunikacji radiowej przeznaczonych do specyficznych zastosowań. Na przykład Z-Wave to protokół transmisji bezprzewodowej używany głównie w automatyce budynków mieszkalnych i komercyjnych. Działa on podobnie do ZigBee, ponieważ korzysta z sieci typu mesh i częstotliwości radiowych pasma 800...900 MHz do komunikacji pomiędzy urządzeniami. Opracowano też Z-Wave Long Range (LR), który rozszerza łączność Z-Wave poza granice obiektu.

Bluetooth

Bluetooth został zaprojektowany w połowie lat 90. XX wieku – specjalnie jako sieć PAN, łącząca urządzenia do noszenia, telefony, komputerowe urządzenia peryferyjne i tak dalej [7]. Bluetooth korzysta z pasma ISM 2,4 GHz i pierwotnie był zdefiniowany w standardzie IEEE 802.15.1. Obecnie zarządza nim Bluetooth Special Interest Group (SIG) [7], będący sojuszem tysięcy firm produkujących urządzenia Bluetooth. Z biegiem czasu standardy Bluetooth IoT uległy zróżnicowaniu, dodano do nich Bluetooth Low Energy (BLE), Bluetooth Mesh i wprowadzono znaczące zmiany w Bluetooth 5.

Bluetooth SIG definiuje kilka typów profili w sieci radiowej (protokołów dostępu) [7]. Jeśli chodzi o urządzenia IoT, Bluetooth 5 zapewnia większy zasięg i szybsze, bezpołączeniowe działanie (w przypadku urządzeń o małym zużyciu energii – w porównaniu z wcześniejszymi wersjami standardu). Do komunikacji radiowej warstwa fizyczna Bluetooth (PHY) używa modulacji GFSK i protokołów Frequency Hopped Spread Spectrum (FHSS) lub (w BLE) Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), które mają pewne funkcje unikania zakłóceń.

W przypadku większości urządzeń IoT żywotność baterii okazuje się kluczowym czynnikiem i często oczekuje się, że 10-letni czas pracy baterii obniży koszty eksploatacji (konserwacji) oraz zmaksymalizuje wygodę użytkowania. Dzięki szerokiej gamie wdrożeń i niewielkiemu zużyciu baterii, Bluetooth może być używany na wiele sposobów jako standard bezprzewodowy IoT krótkiego zasięgu.

Bluetooth Klasyczny – Bluetooth Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR). Bluetooth Classic, określane również jako Bluetooth Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR), to radio o małej mocy, które przesyła strumieniowo dane przez 79 kanałów w paśmie 2,4 GHz [7]. Ze względu na obsługę komunikacji urządzeń punkt-punkt Bluetooth Classic jest używany głównie do bezprzewodowego przesyłania strumieniowego dźwięku i stał się standardowym protokołem radiowym stosowanym w bezprzewodowych głośnikach, słuchawkach czy samochodowych systemach rozrywki.

Bluetooth Low Energy (BLE). Bluetooth Low Energy (LE) został zaprojektowany do pracy przy bardzo małym poborze mocy. Obsługuje wiele topologii komunikacyjnych, od transmisji punkt do punktu, aż po siatkę (Bluetooth Mesh) [7]. Bluetooth LE jest obecnie również szeroko stosowany jako technologia pozycjonowania urządzeń, aby sprostać rosnącemu zapotrzebowaniu na usługi lokalizacyjne o wysokiej dokładności w pomieszczeniach. Zawiera teraz funkcje, które umożliwiają jednemu urządzeniu określenie zarówno obecności, odległości, jak i kierunku innego urządzenia (Direction Finding). Począwszy od wersji protokołu Bluetooth 5.2 udostępniony został nowy standard transmisji audio LE Audio (dokładny opis w artykule [17]).

ANT+ to protokół bezprzewodowy o bardzo małym poborze mocy, działający w paśmie ISM 2,4 GHz, który szczególnie nadaje się do produktów zasilanych bateryjnie [13]. Jego wyjątkowa wydajność energetyczna sprawiła, że stał się popularnym wyborem do zastosowań w dziedzinie sportu i fitnessu oraz zdrowia i relaksu. Standard ANT+ jest używany zwłaszcza w urządzeniach do monitorowania aktywności fizycznej, takich jak np. zegarki sportowe, krokomierze, pulsometry, liczniki kalorii, ciśnieniomierze, a także monitory prędkości, wagiczy temperatury. Dzięki technologii ANT+ można utworzyć bezprzewodową szyfrowaną (AES 128) sieć (maksymalny rozmiar 65 535), w której informacje pomiarowe rejestrowane podczas treningu są przesyłane pomiędzy znajdującymi się w jej zasięgu urządzeniami (przepustowość danych wynosi od 0,5 Hz do 200 Hz × 8 bajtów). Możliwe jest ponadto przesłanie uzyskanych danych do telefonu lub innego urządzenia obsługującego ANT+ w celu ich gromadzenia oraz interpretacji. Obecnie z technologii ANT+ korzysta ponad 200 marek z całego świata.

Standard IEEE 802.15.4

Jest to kolejny standard IEEE stosowany w sieciach PAN małej mocy w pasmach 868 lub 915 MHz i 2,4 GHz. Definiuje sześć protokołów bezprzewodowych warstwy fizycznej, w tym oryginalne techniki DSSS, a ostatnio Chirp Spread Spectrum (CSS) w paśmie 2,4 GHz oraz Direct Sequence Ultra-wideband (UWB) w pasmach poniżej 1 GHz i powyżej 3 GHz. Warstwa MAC umożliwia również przeskakiwanie kanałów w celu zmniejszenia lub uniknięcia zakłóceń. IEEE 802.15.4 to standard zbiorczy dla wielu standardów komunikacyjnych IoT, które definiują wyższe warstwy sieci, w tym niemal bezpośrednie połączenie z Internetem ze względu na adresację IP, zwaną 6LoWPAN, co może uprościć wdrażanie sieci przeznaczonych do bezpośredniej wymiany danych z chmurą. Standard jest też stosowany w sieciach rozległych, np. Wi-SUN.

ZigBee to jeden ze standardów 802.15.4 i kolejny ulubiony standard PAN w przypadku bezpiecznych sieci bezprzewodowych o małym poborze mocy i niewielkiej szybkości transmisji danych [9]. ZigBee korzysta z zakresu częstotliwości radiowych ISM, w tym z pasma 2,4 GHz. Pozostałe zastosowane przedziały widma różnią się w zależności od regionów świata, a pasma ZigBee poniżej 1 GHz obejmują 915 MHz – w USA, 784 MHz – w Chinach i 868 MHz – w Europie. ZigBee z natury obsługuje sieci drzewiaste, gwiazdowe i kratowe, więc zbiory urządzeń mogą wspólnie przekazywać dane w krótkich przeskokach do węzłów sterujących [1]. Standard ten jest atrakcyjny dla konstruktorów sieci o małej szybkości transmisji danych rozproszonych na obszarze większym niż możliwy do objęcia przez prostą sieć punkt-punkt w podobnych warunkach. Ceną za to może być krótszy czas pracy baterii w przypadku urządzeń, które służą jako wzmacniacze dla bardziej odległych urządzeń ZigBee IoT, przesyłając – oprócz własnych danych – także dane i potwierdzenia między węzłami. Szybkości transmisji danych również różnią się w zależności od regionu i wahają się od 10 do 200 kb/s. ZigBee Alliance definiuje profile aplikacji, które są definicjami wyższych warstw oraz bibliotekami opracowanymi do różnych zastosowań – i które skłaniają do zachowania kompatybilności pomiędzy urządzeniami ZigBee od wielu dostawców. Niedawno sojusz zdefiniował zestaw protokołów wyższej warstwy zwanych „dotdot".

Thread. Technologia ta jest podobna do ZigBee, ponieważ opiera się na IEEE 802.15.4 PHY i MAC; jednakże używa protokołu IPv6 (6LoWPAN) [14]. To solidna, szyfrowana sieć kratowa zaprojektowana do bezpiecznego i niezawodnego łączenia się z setkami produktów oraz urządzeń automatyki domowej. Sieć ma właściwości samonaprawiające, krótkie komunikaty oszczędzają przepustowość i energię, natomiast usprawniony protokół routingu zmniejsza obciążenie sieci i opóźnienia transmisyjne.

Ultra WideBand (UWB). UWB opiera się na standardzie IEEE 802.15.4z [1]. Technologia UWB umożliwia pomiar odległości/lokalizacji z centymetrową dokładnością – oraz bezpieczną transmisję danych o bardzo małym poborze mocy, dużej przepustowości i bardzo krótkim opóźnieniu. Zapewnia niezwykle dokładny pomiar czasu przelotu sygnałów radiowych. Najnowsze zastosowania dotyczą gromadzenia danych z czujników, precyzyjnego lokalizowania i śledzenia

eprasa.pl 12486519d0

obiektów. Zazwyczaj UWB działa w zakresie od 6 do 8,5 GHz i korzysta z szerokości pasma około 500 MHz na kanał. Transmisja UWB jest odporna na ataki MITM, dzięki czemu można ją znaleźć m.in. w systemach bezpiecznego otwierania drzwi samochodowych czy w opiece medycznej. Standard ten jest obecnie obsługiwany przez wysokiej klasy telefony firm Apple oraz Samsung.

Wi-Fi (IEEE 802.11)

Wi-Fi to obszerna rodzina standardów o długiej tradycji, której nazwy zaczynają się od IEEE 802.11 [8]. Standard został opracowany tak, aby zapewniał wysoką przepustowość danych 10...50 Mb/s (w nowszych wersjach prawie 160 Mb/s). Ponieważ Wi-Fi w różnych formach istnieje już od dziesięcioleci, zyskał wielu dostawców chipów i modułów, dając projektantom szeroki wybór komponentów sprzętowych. Ponieważ Wi-Fi może bezpośrednio łączyć się z Internetem, projektanci urządzeń stają przed problemami związanymi z bezpieczeństwem w zakresie zapewnienia prywatności danych, a także prawidłowego działania urządzenia. Wi-Fi Location dostarcza informacje o lokalizacji na poziomie poniżej metra, co umożliwia świadczenie szeregu usług IoT uwzględniających lokalizację i skierowanych do środowisk przemysłowych oraz inteligentnych miast, zapewniając tym samym takie możliwości, jak nawigacja w pomieszczeniach, mobilność czy śledzenie zasobów.

IEEE 802.11n (Wi-Fi 4) i **802.11ac (Wi-Fi 5)** to poprawki do standardów 802.11, które dodają do sieci 802.11 bardziej rozbudowaną i wydajną funkcjonalność warstwy fizycznej, w tym MIMO, formowanie wiązki, agregację ramek i szersze kanały. Umożliwia to uzyskanie większych szybkości transmisji danych, ale wymaga znacznie większej mocy i zwykle pojawia się w bardziej złożonych urządzeniach z zasilaniem sieciowym (np. routerach bezprzewodowych), a nie w urządzeniach IoT.

IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6) może działać w pasmach ISM 2,4 GHz oraz 5 GHz. Działa z teoretyczną maksymalną szybkością około 10 Gb/s. IEEE 802.11ax wydłuża także okres pracy baterii urządzeń, które muszą łączyć się z routerem tylko od czasu do czasu, korzystając z ukierunkowanych harmonogramów budzenia. Dzięki temu urządzenia klienckie oszczędzają czas pracy baterii, który normalnie byłby używany do wyszukiwania dostępnych sygnałów. IEEE 802.11ax korzysta z nowego Wi-Fi Protected Access 3 (WPA3), poprawiającego bezpieczeństwo urządzeń WLAN. Urządzenie Wi-Fi 6 zaprojektowane dla pasm 2,4 i/lub 5 GHz jest również kompatybilne wstecz z wcześniejszymi technologiami Wi-Fi.

Wi-Fi 6E uzupełnia standard sieci bezprzewodowej o działanie w paśmie 6 GHz. Ponieważ w tym zakresie widma nie będą działać żadne urządzenia Wi-Fi poprzedniej generacji, transfer będzie znacznie szybszy.

IEEE 802.11be (Wi-Fi 7). Nowy standard IEEE 802.11be – nazwany EHT (Extremely High Throughput), wprowadzony w roku 2024 – zwiększa maksymalną prędkość z 9,6 Gb/s do 46 Gb/s, daje 100× mniejsze opóźnienie, korzysta jednocześnie z obu pasm Wi-Fi 6 GHz i 5 GHz. Wi-Fi 7 jest w pełni zgodny z poprzednimi standardami.

Matter-Over-Wi-Fi oraz Matter-Over-Thread

Upowszechnianie się zastrzeżonych standardów i dostawców usług stanowi główną przeszkodę we wdrażaniu urządzeń podłączonych do sieci. Na przykład obecny krajobraz inteligentnego domu obejmuje wiele zamkniętych ekosystemów, w tym HomeKit firmy Apple, Alexa firmy Amazon, Asystent Google i SmartThings firmy Samsung.

Aby zwiększyć zaufanie konsumentów, największe marki – współpracując z innymi firmami z branży – stworzyły Matter: ujednolicony standard inteligentnego domu [9]. Urządzenia obsługujące protokół Matter mogą z łatwością komunikować się ze sobą w granicach sieci i poza nią, korzystając z istniejących technologii, w tym Bluetooth LE, Ethernet, Wi-Fi i protokołu sieciowego Thread. Matter to standard łączności typu open source opracowany z myślą o inteligentnych urządzeniach domowych IoT. Sam standard jest bezpłatny, chociaż programiści i producenci ponoszą koszty certyfikacji. Stowarzyszenie Connectivity Standards Alliance (CSA) [9] wydało nowy standard Matter 1.3, obiecujący konwergencję głównych ekosystemów IoT, a także oferujący jeden protokół bezprzewodowy do łączenia wszystkich sieci i urządzeń IoT. Standard umożliwia ponadto aktualizacje za pośrednictwem sieci, zmniejsza zużycie energii i poprawia bezpieczeństwo urządzeń.

Amazon Sidewalk

Godną uwagi innowacją wprowadzoną w 2021 r. była Amazon Sidewalk – technologia sieci współdzielonej łącząca istniejące urządzenia Amazon IoT [1]. Amazon Sidewalk to opracowany przez firmę Amazon protokół komunikacji bezprzewodowej dalekiego zasięgu o niskiej przepustowości. Używa on Bluetooth Low Energy (BLE) do komunikacji na małe odległości – i 900 MHz LoRa (oraz innych częstotliwości) na dłuższych dystansach w celu komunikacji z urządzeniami gospodarstwa domowego, takimi jak systemy otwierania bram garażowych. Niektóre urządzenia Ring i głośniki Echo działają jako punkty dostępu, tworząc w ten sposób sieć ad hoc. Właściciele urządzeń Amazon dzielą się z siecią częścią swojego pasma internetowego, do wcześniej ustalonych limitów.

Sieci rozległe małej mocy (LPWAN)

Chociaż IoT zazwyczaj odnosi się do komunikacji krótkiego zasięgu, istnieje wiele zastosowań, w których wspomnianej technologii można używać na większe odległości. Te zastosowania sieci rozległej małej mocy (LPWAN) obejmują medycynę (ambulatoryjne monitorowanie pacjentów), zasoby naturalne (pomiary jakości wody, wydobycie ropy i minerałów), przemysł (monitorowanie i kontrola dużych zakładów), rolnictwo (dobrostan i lokalizacja zwierząt, monitorowanie pogody, zdrowia upraw i zużycia wody), inteligentne miasto (nadzór ruchu, obsługa parkingów, pomiary jakości powietrza czy zużycia mediów), monitorowanie budynków i nie tylko.

Postęp w technikach modulacji i integracji systemów typu SoC (System-on-Chip) znacznie zwiększył zasięg, w jakim mogą działać urządzenia o niskim poborze mocy. Użycie niższych pasm (poniżej 1 GHz) umożliwia także zmianę charakterystyki propagacji sygnału radiowego, co jest dużą zaletą w sieciach dalekiego zasięgu. Te niższe częstotliwości mogą również wymagać zastosowania większych anten w celu uzyskania potrzebnej wydajności. Przy częstotliwości 2,4 GHz antena ćwierćfalowa ma długość 31 mm, ale przy 915 MHz analogiczna antena ma długość około 82 mm. W przypadku produktów o dużym zasięgu i małej mocy większe i bardziej wydajne anteny (jeśli są akceptowalne mechanicznie) mogą się opłacić za sprawą długiego czasu pracy baterii, zmniejszając moc RF niezbędną do zapewnienia wymaganego dystansu transmisji. Ponadto Internet Rzeczy dalekiego zasięgu stwarza możliwości w zakresie usług komunikacyjnych na zasadzie subskrypcji – w porównaniu z całkowicie samodzielnymi instalacjami krótkiego zasięgu. Firmy z dużą zainstalowaną infrastrukturą radiową, np. dostawcy sieci telefonii komórkowej, udostępniają usługi za pomocą istniejących sieci, obejmując całe regiony lub kraje nowymi usługami transmisji danych o dużym zasięgu i małej szybkości. Zastosowanie licencjonowanego widma zapewnia wysoki poziom usług, lecz wymaga opłat abonamentowych. Instalacje komercyjne umożliwiają także proste połączenie z Internetem i systemami chmurowymi [1].

Według badania z pierwszego kwartału 2024, na całym świecie istnieje prawie 1,3 miliarda połączeń LPWAN IoT [20]. Stanowi to około 8% z ponad 16 miliardów urządzeń IoT podłączonych na całym świecie w 2023 r. Największy udział, około 54%, w połączeniach LPWAN ma NB-IoT. Jednak w Chinach ok. 81% wszystkich połączeń LPWAN to NB-IoT, a kraj ten odpowiadał za ok. 84% wszystkich globalnych połączeń NB-IoT. Natomiast pomijając Chiny, NB-IoT stanowił tylko 20% połączeń LPWAN w 2023. Po wyłączeniu wszystkich danych

eprasa.pl 12486519d0

LPWAN z Chin, LoRaWAN ma wiodący udział w globalnych połączeniach LPWAN na poziomie 41% – ponad dwukrotnie więcej niż udział NB-IoT.

W Ameryce Północnej udział technologii w komunikacji LPWAN IoT wynosił w roku 2023: LoRaWAN 47%, NB-IoT 25%, Wi-Fi 15% i Wi-SUN 14%. Podobnie w Japonii: LoRaWAN 35%, Wi-SUN 22%, NB-IoT 16%, CAT-M 13% i Wi-Fi 13%. W Indiach wyglądało to inaczej: NB-IoT 56%, CAT-M 46%, MioTY 36%, Wi-SUN 32% i LoRaWAN 32%. Widać tu wyraźnie regionalne preferencje wyboru technologii radiowych.

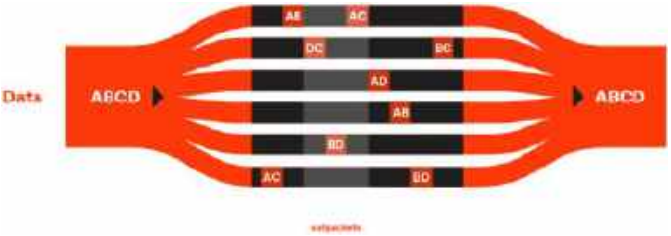
Sieci rozległe w pasmach bez licencji

Problem braku dostępu do zasilania sieciowego został w przypadku urządzeń IoT rozwiązany za pomocą sieci rozległych małej mocy (LPWAN). Te rozwiązania w zakresie łączności zoptymalizowano pod względem zużycia energii. Jednak technologia LPWAN nie jest wcale zagadnieniem prostym.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) to protokół sieciowy o niskim poborze mocy i rozległym zasięgu, przeznaczony do bezprzewodowego łączenia układów zasilanych bateryjnie z Internetem w sieciach regionalnych, krajowych lub globalnych. Zarządza nim otwarta organizacja non profit – LoRa Alliance [11]. Protokół umożliwia komunikację pomiędzy maksymalnie 1000 urządzeń. Wadę LoRa stanowi mała szybkość transmisji (od 0,3 do 50 kb/s), a zalety – duży zasięg transferu i niskie zużycie energii. LoRa korzysta z wolnych nielicencjonowanych pasm częstotliwości radiowych (ISM), takich jak 169 MHz, 433 MHz, 470 MHz, 868 MHz (Europa) i 915 MHz (Ameryka Północna). Ponieważ używa niższych częstotliwości radiowych, jej sygnały mogą przenikać w głąb budynków i docierać do miejsc niedostępnych dla sprzętu o wyższej częstotliwości (np. 2,4 GHz). Oferuje zazwyczaj zasięg do 2,5 km (miasto) i do 15 km (tereny podmiejskie). LoRa stosuje zestaw technik modulacji opatentowanych przez firmę Semtech i stosujących Chirped Spread Spectrum (CSS) – dzięki temu sygnał jest odporny na efekt Dopplera (w przypadku użytkowników mobilnych) i zanikanie wielościeżkowe. Zapewnia również znaczny poziom odporności na zakłócenia. LoRa może pracować poniżej poziomu szumu RF otoczenia i nawet o 20 dB lub więcej poniżej wąskopasmowych źródeł zakłóceń – ze względu na wzmocnienie przetwarzania modulacji widma rozproszonego. Ponieważ sygnał CSS jest łatwiejszy do dekodowania niż inne widmo rozproszone, można to zrobić przy mniejszej mocy obliczeniowej. Może to oznaczać dłuższą pracę baterii urządzenia IoT pomimo zaawansowanej modulacji RF. Przepustowość jest zadowalająca w kwestii przesyłania niewielkich ilości danych z czujników, ale niewystarczająca, aby na przykład zapewnić aktualizacje oprogramowania drogą bezprzewodową (OTA). Małe szybkości transmisji danych również poważnie ograniczają bezpieczeństwo oferowane przez sieci LPWAN. Dane przepływają łączami LoRa RF do bramek (zwanych także koncentratorami), które łączą się z Internetem i serwerami chmury/aplikacji. LoRa można wdrożyć jako sieć zastrzeżoną. W kilku obszarach świata istnieją publiczni operatorzy omawianej infrastruktury, którzy sprzedają łączność za pośrednictwem bramek (przeznaczonych do urządzeń LoRa) w celu przesyłania danych do chmury. Oprócz układów firmy Semtech dostępne stają się także układy firm ST Microelectronics i Microchip.

SigFox to zastrzeżony protokół radiowy działający w pasmach 868/915 MHz i zapewniający sieć bramek podobnych do komórkowych, które łączą się z Internetem oraz chmurą [1]. SigFox jest siecią gwiazdową, w której bramy służą jako kontrolery sieci. Oferuje duży zasięg i bardzo małe zużycie baterii; korzysta z transmisji radiowych Ultra Narrowband (UNB) o bardzo niskiej szybkości przesyłania danych. SigFox ma wyjątkowo lekki protokół i przesyła pakiet o długości 12 bajtów.

Wi-SUN (Wireless Smart Ubiquitous Network) jest siecią kratową o bardzo małym poborze mocy i dalekim zasięgu w paśmie poniżej 1 GHz. Jest to otwarty standard zarządzany przez sojusz Wi-SUN [10].



Rysunek 1. Transmisja podpakietów metodą TSMA w protokole Mioty [19]

Warstwa fizyczna korzysta z protokołu IEEE 802.15.4g. Wi-SUN oferuje wyższą przepustowość niż LoRaWAN i NB-IoT, a także mniejsze zużycie energii w trybie uśpienia. Dzięki obsłudze zarówno protokołu IPv6, jak i infrastruktury klucza publicznego (PKI), Wi-SUN oferuje korzyści w zakresie bezpieczeństwa, co dla zdecydowanej większości użytkowników jest kwestią równie ważną jak wydajność. Maksymalna jednostka transmisji obejmuje nieco ponad 1200 bajtów przy szybkości transmisji od 50 kb/s do 2,4 Mb/s.

Mioty to oparty na oprogramowaniu protokół sieci rozległej o małym poborze mocy (LPWAN), który został opracowany w celu przezwyciężenia dzisiejszych i przyszłych ograniczeń łączności bezprzewodowej [19]. Podstawowym wynalazkiem technologii Mioty jest metoda TSMA (ang. Telegram Splitting Multiple Access). Zgodnie z definicją Europejskiego Instytutu Norm Telekomunikacyjnych (ETSI TS 103 357) funkcja Telegram Splitting dzieli pakiety informacji, które mają być przesyłane w strumieniu danych, na małe podpakiety na poziomie czujnika. Te podpakiety są następnie przesyłane na różnych częstotliwościach i w różnym czasie (**rysunek 1**). Algorytm stacji bazowej monitoruje widmo pod kątem podpakietów i składa je ponownie w kompletną wiadomość. Zaawansowana korekcja błędów przekazywania (FEC) sprawia, że odbiornik potrzebuje tylko 50% danych radiowych, aby całkowicie zrekonstruować informacje. Takie rozwiązanie zmniejsza wpływ uszkodzonych lub utraconych pakietów na niezawodność komunikacji i zwiększa odporność na zakłócenia.

Mioty osiąga duży zasięg dzięki komunikacji w paśmie poniżej 1 GHz. Przy zużyciu energii wynoszącym 17,8 μWh (punkt końcowy, 868 MHz) na wiadomość, Mioty sprawia, że żywotność baterii przekraczająca 20 lat staje się rzeczywistością. Niezrównana dokładność i niezawodność pozwalają węzłom oraz stacjom bazowym Mioty pracować z pełną wydajnością przy prędkości przemieszczania do 120 km/h. Dzięki najlepszej w swojej klasie niezawodności i skalowalności, Mioty są przeznaczone do masowych wdrożeń przemysłowych, a także komercyjnych IoT. Docelowe zastosowania stanowią tu urządzenia czujnikowe o bardzo małym poborze mocy, takie jak mierniki i systemy monitorowania środowiska/przemysłu.

IEEE 802.11ah (Wi-Fi HaLow) – Wi-Fi dalekiego zasięgu to technologia zaprojektowana specjalnie dla rynku IoT [8]. Zapewnia łączność o dużym zasięgu i małym poborze mocy, co umożliwia dotarcie do urządzeń znajdujących się w odległości do 1 km od punktu dostępowego – a to okazuje się szczególnie przydatne w przedsiębiorstwach, gospodarstwach rolnych czy inteligentnych miastach. Wi-Fi HaLow działa w paśmie 850 do 950 MHz ze stosunkowo wąskimi kanałami, zazwyczaj o szerokości od 1 do 8 MHz oraz współczynnikami modulacji i kodowania zoptymalizowanymi pod kątem zasięgu (MCS). Pojedynczy punkt dostępowy Wi-Fi HaLow może obsłużyć do 8191 urządzeń, co stanowi 4-krotność wydajności obsługiwanej przez punkt dostępowy Wi-Fi 6. Omawiana technologia zapewnia zakres szybkości transmisji danych idealnie dostosowany do urządzeń IoT, na przykład od 150 kb/s (przy użyciu MCS 10 z modulacją BPSK) do maksymalnej szybkości 4,4 Mb/s (przy użyciu MCS 9 z pojedynczym strumieniem przestrzennym na najwęższe pasmo 1 MHz). Jednostrumieniowy punkt dostępowy Wi-Fi HaLow może obsługiwać różne urządzenia IoT, począwszy od czujników o bardzo małym poborze mocy, wysyłających pakiety 1 MHz z szybkością

eprasa.pl 12486519d0

do 150 kb/s, po kamery transmitujące 8-megahercowe pakiety z szybkością do 43 Mb/s. W kontekście domowego IoT ważnym czynnikiem okazuje się zdolność Wi-Fi HaLow do przenikania przez ściany i inne bariery lepiej niż technologie 2,4 GHz. Wi-Fi HaLow wdraża nowe tryby uśpienia i zarządzania (używając tego samego protokołu TWT, co Wi-Fi 6), aby zapewnić energooszczędną, wieloletnią pracę na baterii – co sprawia, że nadaje się do podłączania urządzeń, takich jak zamki do drzwi, oświetlenie, kamery oraz elementy ogrzewania, wentylacji czy klimatyzacji (HVAC). Wi-Fi HaLow obsługuje najnowsze wymagania Wi-Fi w zakresie uwierzytelniania (WPA3) i szyfrowania AES ruchu OTA, z szybkościami transmisji danych umożliwiającymi bezpieczne aktualizacje oprogramowania sprzętowego OTA. Program certyfikacji Wi-Fi Alliance daje konsumentom pewność, że wszystkie produkty marki HaLow z certyfikatem Wi-Fi będą ze sobą współdziałać [8].

5G NR+ to niekomórkowy standard radiowy niedawno włączony przez ITU do standardów 5G [15]. Jako technologia DECT, NR+ działa w globalnym nielicencjonowanym paśmie 1,9 GHz, co znacznie obniża koszty wdrożenia. Technologia ta używa samonaprawiającej się, zdecentralizowanej i autonomicznej sieci kratowej, co ułatwia dodawanie nowych urządzeń, a także eliminowanie pojedynczych punktów awarii. Jej elastyczna i wysoce skalowalna struktura sieci znajduje zastosowanie w wielu branżach i już teraz można wskazać liczne przypadki jej praktycznego wdrożenia. NR+ korzysta przy tym ze znanych technik komórkowych i zapewnia solidne, standardowe rozwiązanie, nieporównywalne z żadną inną technologią niekomórkową.

Wireless M-Bus (wM-Bus) – czyli bezprzewodowa magistrala liczników – to otwarty standard opracowany na potrzeby bardzo energooszczędnych, inteligentnych pomiarów, a także zastosowań w zaawansowanej infrastrukturze pomiarowej. Szybko zdobywa on popularność w Europie – w zakresie pomiarów zużycia energii elektrycznej, gazu, wody i ciepła. Sieć Wireless M-Bus opiera się na topologii gwiazdy z urządzeniami master i slave, opisanymi w normie EN 13757, która obejmuje szereg różnych trybów pracy w pasmach 868/433/169 MHz.

Komunikacja komórkowa

Pasmo licencjonowane odnosi się do komórkowych sieci danych, w których operatorzy wykupili widmo, kontrolują dostęp oraz zapewniają połączenia głosowe i transmisję danych. Sieci LTE oferują tryby przesyłania informacji o niższej szybkości, umożliwiające urządzeniom o małym poborze mocy przesyłanie danych przez sieci, a przy tym zapewniające duży zasięg, długi czas pracy baterii i połączenia z niemal wszechobecnymi sieciami komórkowymi.

Aplikacje IoT są sprawnie obsługiwane przez LTE-M i NB-IoT oparte na sieciach komórkowych 4G [15]. Firma 3GPP włączyła LTE-M i NB-IoT do specyfikacji 5G, potwierdzając ich długoterminowy status.

NB-IoT (NarrowBand IoT) to technologia LPWAN wdrożona w sieciach mobilnych. Korzysta ona z licencjonowanego widma (komórkowego) i stanowi dodatek do sieci LTE o małej szybkości transmisji danych oraz dużym zasięgu. Ponieważ za prawo do używania widma licencjonowanego operatorzy zapłacili miliardy dolarów, pobierają oni opłaty za transmisję danych (czyli za korzystanie z niego przez użytkowników końcowych) i wymagają rygorystycznych testów zgodności, co w efekcie przekłada się również na niezawodność komunikacji. Jednak NB-IoT oferuje zasięg ogólnokrajowy istniejącej infrastruktury sieci komórkowej, a obecnie zasięg niemal globalny – dzięki wąskopasmowemu połączeniu RF okazuje się on nawet większy niż w przypadku telefonów komórkowych. NB-IoT oferuje szybkość transmisji danych od 20 do 250 kb/s, w zależności od tego, jakie części „bloków zasobów" LTE są używane. Sprawdza się w pomieszczeniach zamkniętych dzięki możliwości przenikania przez ściany i budynki. Ponadto ma stosunkowo niską częstotliwość odświeżania, dzięki czemu jest optymalny do zastosowań, w których fakt ten nie stanowi problemu. Dlatego należy używać NB-IoT z czujnikami statycznymi, które muszą wysyłać zaktualizowane dane okresowo, a nie w trybie ciągłym. Główną zaletą omawianej technologii pozostaje jej niski koszt – rezygnacja z bramek znacznie zmniejsza nakłady wdrożeniowe. NB-IoT nie koliduje z innymi sieciami, natomiast może nakładać się na inne sieci, nawet te obciążone, bez utraty danych.

Cat-M1 – podobnie jak system NB-IoT – korzysta z licencjonowanego widma sieci komórkowej LTE. Zapewnia szybkość transmisji danych około 1 Mb/s na łączu półdupleksowym. Do aplikacji wymagających większej szybkości i zasięgu istniejącej infrastruktury komórkowej Cat-M1 jest wyborem optymalnym.

5G Non-Terrestrial Network (NTN)

Tylko około 10 procent powierzchni naszej planety ma dostęp do usług łączności naziemnej. Wiele wdrożeń IoT wymaga rozproszenia urządzeń na dużych obszarach, gdzie nie można polegać na zasięgu sieci komórkowej ani nawet niezawodnej infrastrukturze energetycznej. Sieci satelitarne mogą zapewnić łączność tam, gdzie inne opcje zawodzą. Dostępne są moduły IoT obsługujące technologie satelitarne, takie jak globalny system nawigacji satelitarnej (GNSS). Usługi uwzględniające lokalizację są wdrażane w różnych obszarach, w tym w usługach rządowych, transporcie, zarządzaniu ruchem, energetyce, opiece zdrowotnej.

Satelitarna komunikacja IoT zaspokaja potrzebę przesyłania wielu strumieni złożonych danych. Ze względu na duży zasięg protokół ten może przesyłać dane i komunikację głosową na całym świecie. Jego wadę stanowi jednak zwłoka w komunikacji wynikająca z odległości potrzebnej do przesyłania danych (co może zakłócać niektóre działania wrażliwe na opóźnienia), a ponadto okazuje się droższą opcją.

Postępująca konwergencja technologii satelitarnych i telefonii komórkowej jest możliwa dzięki integracji łączności sieci NTN (Non-Terrestrial-Network) z ekosystemem komórkowym 5G, wprowadzonej w ramach specyfikacji 3GPP Release-17 [15]. Wdrożono obsługę dwóch typów sieci naziemnych. 5G NR NTN obsługuje dostęp przez sieć satelitarną do telefonów komórkowych w zastosowaniach takich, jak transmisja głosu i danych na obszarach geograficznych nieobsługiwanych przez sieci naziemne. Natomiast NB-IoT NTN obsługuje dostęp do urządzeń IoT bezpośrednio z satelitów w rolnictwie, transporcie i innych zastosowaniach.

Po opublikowaniu specyfikacji 3GPP Release-17 zintegrowany rynek łączności satelitarnej i telefonii komórkowej nabrał znacznego przyspieszenia, napędzany istotnymi premierami produktów i ważnymi ogłoszeniami. Firmy takie jak Apple, Huawei, ZTE, Qualcomm, Motorola, MediaTek, Bullitt, Globalstar, Inmarsat oraz Iridium nawiązały strategiczne partnerstwa w ramach branż telefonii komórkowej i satelitarnej. Współpraca ta rozszerzyła się również na operatorów sieci komórkowych, którzy chcą zwiększyć zasięg swojej infrastruktury. Na przykład T-Mobile w Stanach Zjednoczonych rozpoczął współpracę z operatorem satelitarnym SpaceX/Starlink w celu świadczenia usług łączności z użyciem satelitów [18].

Pojawienie się na rynku urządzeń mobilnych od głównych producentów smartfonów konsumenckich i producentów chipsetów (takich jak Apple, Qualcomm, Motorola, MediaTek, Huawei i ZTE) z funkcją obsługi połączeń satelitarnych wskazuje, że zbliża się moment wprowadzenia komunikacji satelitarnej do mainstreamowego rynku konsumenckiego.

NTN to sieć obejmująca węzły, które fizycznie nie znajdują się na Ziemi. Chociaż myślimy przede wszystkim o satelitach w sieciach NTN, inne komponenty mogą składać się z platform/dronów małej wysokości (LAP), pseudosatelitów/dronów/balonów znajdujących się na dużych wysokościach (HAPS), a także satelitów na różnych orbitach oraz ich kombinacji. Każda sieć NTN ma kilka punktów obecności, w których sieć satelitarna łączy się z Internetem naziemnym. Łącza światłowodowe spinają ze sobą stacje lądowe, natomiast łącza laserowo-optyczne zapewniają komunikację pomiędzy satelitami.

eprasa.pl 12486519d0

Z kolei od bram satelitarnych naziemnych łącza szerokopasmowe zapewniają wymianę danych pomiędzy sieciami komórkowymi a konstelacjami satelitów za pomocą ogromnych połączeń o przepustowości ponad 20 gigabitów na sekundę.

Większość zainteresowania wokół sieci NTN koncentruje się obecnie na możliwościach bezpośredniego przesyłania danych do urządzenia. Funkcja ta umożliwia telefonom komórkowym łączenie się z satelitami, gdy znajdują się one poza zasięgiem naziemnych stacji bazowych. W ostatnich latach kilka firm podjęło nowe inicjatywy mające na celu promowanie komunikacji NTN bezpośrednio z urządzeniami: nowsze przedsięwzięcia, zwłaszcza Starlink, Amazon i inne, okazały się bardzo obiecujące i szybko odniosły sukces. Projekty te opierają się głównie na zastrzeżonych, niestandardowych technologiach, wymagających zaimplementowania własnościowych algorytmów i obwodów w satelicie do obsługi różnych, złożonych technologii komunikacyjnych.

Sieci NTN mogą zapewniać wsparcie w sytuacjach awaryjnych za pośrednictwem zastosowania w odległych obszarach jednocześnie różnych sieci: NB-IoT LTE / 5G GEO i Internetu dołączonych do 5G NTN LEO.

Sieci hybrydowe

Sieci hybrydowe łączą protokoły PAN krótkiego zasięgu i protokoły dalekiego zasięgu (LPWAN) w jedną sieć, w której lokalne klastry urządzeń IoT – korzystających na przykład z Bluetooth lub ZigBee – przenoszą dane do węzła centralnego, gdzie są one następnie agregowane i transmitowane przez sieci dalekiego zasięgu, takie jak jak LoRa lub Cat-M1. Działa to dobrze w przypadku sieci użyteczności publicznej, w których liczniki wody, gazu lub energii elektrycznej gromadzą dane z otoczenia za pośrednictwem urządzeń IoT krótkiego zasięgu lub sieci kratowych i okresowo wysyłają wyniki do chmury za pośrednictwem sieci radiowych dalekiego zasięgu lub sieci przewodowych. Ten hybrydowy model umożliwia wielu niedrogim urządzeniom IoT agregowanie danych, a następnie łączenie się z Internetem lub chmurą. Urządzenia IoT coraz częściej korzystają jednocześnie z wielu technologii dostępu radiowego – na przykład firma Telli Health oferuje rozwiązania komórkowe i LoRaWAN do zdalnego monitorowania pacjentów, dzięki czemu szybko stała się wiodącym amerykańskim rozwiązaniem w tym obszarze [5].

Scalone układy komunikacyjne dla branży IoT

Architektury systemów wbudowanych ewoluują stale – w miarę udostępniania nowszych technologii. To, co kiedyś było pojedynczą jednostką centralną otoczoną interfejsem i obwodami logicznymi, jest obecnie konstrukcją wielordzeniową z zaawansowaną zintegrowaną funkcjonalnością urządzeń peryferyjnych. Dlatego większość producentów układów scalonych do komunikacji oferuje zintegrowane środowiska programowania z systemem operacyjnym czasu rzeczywistego (RTOS). Zdecydowanie ułatwia to projektowanie, uruchamianie, testowanie i rozbudowę systemów. Oferta układów i modułów IoT jest bardzo obszerna. W poniższym zestawieniu zostały pokazane tylko niektóre z nich, ciekawe ze względu na architekturę, technologię, obsługiwane protokoły komunikacyjne czy własności funkcjonalne.

Aby zbudować lub zintegrować sprzęt IoT do dowolnego zastosowania, najlepiej wybrać moduł OEM obsługujący cztery technologie radiowe: BLE (oraz opcjonalnie Thread lub ZigBee), LTE-M, NB-IoT (najlepiej moduł SiP z jednoczesną obsługą obu) oraz komunikację satelitarną (GNSS).

Nordic Semiconductor jest wiodącym producentem wieloprotokołowych układów System-on-Chip (SoC) oraz System-in-Package (SiP) [16] – dostarcza on układy i oprogramowanie do szerokiego spektrum standardów komunikacji IoT: Cellular IoT (LTE-M and NB-IoT), Wi-Fi, Bluetooth Low Energy, Bluetooth LE Audio, Bluetooth Mesh, Bluetooth Direction Finding, DECT NR+, Thread, ZigBee, ANT oraz 2,4 GHz Proprietary.

Pełne portfolio obejmuje również takie technologie IoT, jak: Matter, Amazon Sidewalk, KNX IoT, Apple Find My Network, Security, Edge AI czy też Google Find My Device. Opisywany producent dostarcza ponadto układy do optymalnego zarządzania zasilaniem oraz oferuje rozwiązania chmury obliczeniowej i wsparcie aplikacji w wielu dziedzinach zastosowań. Firma Nordic Semiconductor jest kluczowym graczem w ekosystemie Matter ze względu na decydującą rolę, jaką jej energooszczędne chipy odgrywają w działaniu rozwiązań inteligentnego domu.

Wśród oferowanych produktów znajdują się wieloprotokołowe układy SoC serii: nRF52, nRF53 i nRF54 (komunikacja w pasmie 2,4 GHz) oraz serii nRF70 (Wi-Fi 6 z obsługą lokalizacji). Układy zapewniają doskonałą interoperacyjność komunikacyjną, mogą jednocześnie korzystać z protokołów ANT i Bluetooth LE, a także obsługują technologię Matter.

Układ nRF5340 to pierwszy na świecie bezprzewodowy SoC z dwoma procesorami Arm Cortex-M33. nRF5340 oferuje łączność Bluetooth 5.4 (która może przyjmować wszystkie role związane pozycjonowaniem Bluetooth), udostępnia także funkcje LE Audio, daleki zasięg i wysoką przepustowość 2 Mb/s. Protokoły kratowe, takie jak Bluetooth Mesh, Thread i ZigBee, mogą być uruchamiane jednocześnie z Bluetooth Low Energy. Obsługiwane są także protokoły NFC, ANT oraz 802.15.4.

Układ SiP nRF9161 wspiera 3GPP Release 14 LTE-M i NB-IoT na całym świecie, bez ograniczeń regionalnych. Umieszczony w kompaktowej obudowie 10×16 mm, opisywany SiP integruje programowalny procesor aplikacyjny Arm Cortex-M33 (64 MHz), uniwersalny modem LTE (700-2200 MHz) z obsługą GNSS i DECT NR+, RF Front End (RFFE) oraz system zarządzania energią (PMIC), a także niezbędne elementy pasywne i kwarce. W efekcie powstało najbardziej energooszczędne, kompletne rozwiązanie komórkowe IoT na rynku, wzbogacone o dodatkową kompatybilność z niekomórkowymi aplikacjami 5G NR+ (1,9 GHz).

Nowy układ nRF54H20 (zapowiadany w roku 2024) może pochwalić się wieloma procesorami Arm Cortex-M33 i koprocesorami RISC-V. Procesory są taktowane z częstotliwością do 320 MHz, a każdy z nich został zoptymalizowany pod kątem określonego rodzaju zastosowań. Układ jest dobrym rozwiązaniem do aplikacji wymagających złożonego uczenia maszynowego (ML) i obsługi fuzji czujników w systemach przetwarzania brzegowego.

Całkowicie nowy wieloprotokołowy moduł radiowy 2,4 GHz sprawia, że nRF54H20 SoC jako pierwszy na świecie oferuje czułość RX na poziomie –100 dBm (Bluetooth LE 1 Mb/s) oraz –104 dBm dla 802.15.4 (przy zasilaniu 3 V/2 mA).

nRF Connect SDK to skalowalne i ujednolicone środowisko programistyczne do tworzenia produktów opartych na układach z serii nRF52, nRF53, nRF54, nRF70 i nRF91. Integruje system operacyjny czasu rzeczywistego Zephyr oraz szeroką gamę przykładów, protokołów aplikacji, stosów, bibliotek czy sterowników sprzętowych. Zastosowanie systemu Zephyr umożliwia łatwą rozszerzalność i skalowalność oprogramowania użytkownika.

Firma Nordic Semiconductor dostarcza wiele płytek uruchomieniowych ze swoimi układami SoC i SiP. Szczególnie przydatne są platformy do prototypowania IoT Nordic Thingy:52, Nordic Thingy:53 oraz Nordic Thingy:91. Zawierają one układy komunikacyjne, zasilanie bateryjne oraz zestaw czujników i firmowe aplikacje realizujące komunikację z chmurą. Thingy:53 obsługuje wbudowane modele uczenia maszynowego.

STMicroelectronics oferuje 28 produktów do sieci LPWAN i 52 produkty do sieci WPAN, a także komponenty do komunikacji NFC/RFID, GNSS/GPS oraz pasma 60 GHz (rysunek tytułowy) [21]. Obejmują one obsługę takich standardów, jak: BLE, LoRa, Open Thread, KNC RF, Sigfox, Vat M1, NB-IoT, ZigBee czy Matter. Opisywane układy umożliwiają zastosowanie systemu Zephyr RTOS. Bogaty ekosystem STM32Cube wspiera natomiast wdrażanie i programowanie aplikacji.

Mikrokontrolery STM32Wx zapewniają łączność bezprzewodową z obsługą pasma sub-GHz i 2,4 GHz. Wysoce zintegrowane oraz

eprasa.pl 12486519d0

niezawodne, nadają się do szerokiego zakresu zastosowań przemysłowych i konsumenckich. Rozwiązania STM32Wx są kompatybilne z wieloma protokołami (od połączeń punkt-punkt i sieci typu mesh, aż po sieci rozległe), energooszczędne i oferują wbudowane funkcje bezpieczeństwa. Bezprzewodowe mikrokontrolery STM32Wx zbudowane wokół MCU i transceivera radiowego umożliwiają działanie w czasie rzeczywistym, zapewniając jednocześnie efektywne zużycie energii. Seria STM32WB i STM32WBA jest przeznaczona do łączności krótkiego zasięgu, a seria STM32WL – do łączności na duże odległości.

Nowa seria MCU STM32WBA (technologia 40 nm) to jednordzeniowy (ARM Cortex-M33) SoC, który obsługuje protokoły komunikacyjne Bluetooth Low Energy 5.4 i IEEE 802.15.4, w tym ZigBee i Thread. Dodatkowo seria jest kompatybilna z najnowszymi standardami OpenThread i Matter opracowanymi dla routerów granicznych. Zapewnia podstawowe funkcje bezprzewodowych urządzeń IoT w połączeniu z lepszymi zabezpieczeniami, gwarantując tym samym bezpieczne i niezawodne aplikacje.

Seria MCU STM32WB (technologia 90 nm) to dwurdzeniowy (ARM Cortex-M4 i M0+) SoC, który obsługuje protokoły komunikacyjne Bluetooth Low Energy 5.4 i IEEE 802.15.4, ZigBee oraz Thread, działające indywidualnie lub współbieżnie. Obsługę wielu protokołów umożliwia zastosowanie technologii Matter.

Seria MCU STM32WL to pierwszy na świecie SoC z obsługą LoRa. STM32WL jest w pełni otwarty i obsługuje wiele modulacji, co czyni go idealnym wyborem do sieci rozległych małej mocy (LPWAN). Rozszerzając możliwości projektowania IoT, mikrokontrolery STM32WL zapewniają właściwą równowagę pomiędzy zużyciem energii a wydajnością.

STMicroelectronics udostępnia też certyfikowane moduły komunikacji bezprzewodowej, gotowe do bezpośredniego zastosowania w projekcie użytkownika. Na przykład certyfikowany moduł STM32WBxM zawiera mikrokontroler STM32WBx5 i komplet obwodów peryferyjnych w pojedynczej obudowie LGA. Jest w pełni certyfikowany dla wszystkich protokołów i zapewnia zgodność z wymogami EMC obowiązującymi na różnych rynkach.

STMicroelectronics dostarcza także transceivery pracujące w paśmie V (60 GHz), przeznaczone do bezstykowej łączności krótkiego zasięgu (do kilku cm).

ST60A2 oferuje najlepszą w swojej klasie wydajność bezprzewodową z szybkością transferu do 6,25 Gbit/s, a także bardzo małym zużyciem energii. ST60A3H0 i ST60A3H1 to szybkie (480 Mbit/s) transceivery RF zgodne z protokołami eUSB2, UART i I²C. Zawierają wejścia/wyjścia ogólnego przeznaczenia (GPIO), które są również dostępne w trybie tunelowania.

Portfolio łączności komórkowej ST4SIM firmy ST obejmuje układy ST4SIM-300, zgodne z najnowszą specyfikacją GSMA eSIM dla IoT (SGP.31/SGP.32). To skalowalne, bezpieczne rozwiązanie jest kompatybilne z IoT oraz aplikacjami klasy przemysłowej. ST4SIM-300 zapewnia zgodność ze zdalnym udostępnianiem kart SIM (RSP) i ma interfejs szeregowy ISO 7816 z łączem SPI lub I²C.

ST87M01 jest wysokowydajną, w pełni programowalną, ultrakompaktową, energooszczędną serią modułów przemysłowych z certyfikatem LTE Cat NB2 NB-IoT i GNSS, oferującą pokrycie pasm na całym świecie, z zaawansowanymi funkcjami bezpieczeństwa.

STSAFE-A to SoC, który udostępnia najnowocześniejsze zabezpieczenia sprzętowe systemów wbudowanych do prostego, niezawodnego uwierzytelniania oraz pozwala na bezpieczne przechowywanie kluczy i certyfikatów.

Infineon. Układy AIROC Wi-Fi + Bluetooth Combo firmy Infineon są bardzo popularne [22]. Na przykład układ CYW43439 (Wi-Fi 4 802.11n + Bluetooth 5.4) został zastosowany na płytce Raspberry PI Pico W. Najnowsza oferta produktów rodziny CYW555xx integruje trójzakresowe (2,4/5/6 GHz) Wi-Fi IEEE 802.11ax oraz Bluetooth 5.4 w jednoukładowym rozwiązaniu SoC, umożliwiając projektowanie kompaktowych urządzeń IoT [22]. Układ zawiera rdzeń aplikacyjny ARM Cortex-M33 i rdzeń komunikacyjny ARM Cortex-R4. Układy można łączyć z procesorami pracującymi pod kontrolą systemów Linux i Android. Oprogramowanie i narzędzia ModusToolbox firmy Infineon oferują przykłady kodu i wsparcie programistyczne układów SoC. Jest dostępna bardzo szeroka oferta certyfikowanych modułów z tymi układami od takich firm, jak: Murata, Ezurio (dawniej Laird), Azurewave czy USI.

Silicon Labs oferuje bardzo szeroką gamę układów scalonych do komunikacji IoT obsługujących ponad 10 różnych protokołów komunikacyjnych [25]. Układy te zapewniają bardzo mały pobór mocy, integrują solidne zabezpieczenia w celu ochrony urządzeń i klientów przed cyberatakami, a także pomagają użytkownikom w szybszej integracji urządzeń IoT. Dodatkowo wiele układów jest dostępnych w postaci zintegrowanych, certyfikowanych modułów. Silicon Labs zapewnia producentom sprzętu IoT najbardziej kompleksowe rozwiązanie do programowania bezprzewodowego z użyciem Amazon Sidewalk, upraszczając proces programowania, redukując koszty i przyspieszając czas monetyzacji w przypadku urządzeń bazujących na protokole Amazon Sidewalk IoT. Certyfikowane rozwiązanie obejmuje pakiet SDK Amazon Sidewalk, sprzęt bezprzewodowy, zestawy i narzędzia zabezpieczające oraz programistyczne.

Za przykład mogą posłużyć układy rodziny EFR32FG28x – dwuzakresowe rozwiązanie na pasma 2,4 GHz oraz 0,1 do 2530 kHz z obsługą protokołów BLE, Amazon Sidewalk, WM-BUS i Wi-SUN.

SiWx917 to układ SoC z akceleratorem uczenia maszynowego i obsługą Wi-Fi 6 o bardzo niskim poborze mocy, Bluetooth Low Energy (LE) 5.4, Matter oraz IP. Podsystem bezprzewodowy składa się z wielowątkowego procesora (ThreadArch) pracującego z częstotliwością do 160 MHz, toru cyfrowego przetwarzania sygnału w paśmie podstawowym, front-endu analogowego, nadajnika-odbiornika RF 2,4 GHz i zintegrowanego wzmacniacza mocy. ARM Cortex-M4F jest przeznaczony do przetwarzania peryferyjnego oraz związanego z aplikacjami, podczas gdy ThreadArch obsługuje stosy bezprzewodowe i sieciowe na niezależnych wątkach.

EFR32FG23 to pierwszy na świecie bezpieczny układ SoC działający w paśmie Sub-GHz, z zasięgiem bezprzewodowym wynoszącym ponad 1 milę i żywotnością baterii przekraczającą 10 lat, z certyfikowanym zabezpieczeniem ARM PSA poziomu 3. Układ obsługuje Amazon Sidewalk, Mioty, Wireless M-Bus i Z-Wave.

Najnowsi członkowie rodziny EFR32xG22E to pierwsze układy SoC zaprojektowane do pracy w ramach ultraniskiego poboru mocy. Przeznaczone są do zastosowań bezbateryjnych z pozyskiwaniem energii z otoczenia (energy harvesting) zgodnie z nowym standardem Ambient IoT. Układy obsługują BLE, 802.15.4 i protokoły własnościowe, zapewniają ultraszybki, niskoenergetyczny zimny start (8 ms, 150 μJ) do zastosowań rozpoczynających się od stanu wyłączenia i budzenia (w celu przesyłania pakietów), a następnie szybkiego powrotu do stanu uśpienia. Szybkie (1,83 ms, 16,6 μJ) wyprowadzenie ze stanu głębokiego uśpienia zmniejsza energię budzenia o 78% w porównaniu do dotychczas stosowanych układów. Firma opracowała zestaw uruchomieniowy xG22E Explorer Kit z układem AEM13920 firmy E-pease – do jednoczesnego pozyskiwania energii z dwóch źródeł, takich jak światło wewnętrzne lub zewnętrzne, gradienty termiczne i fale elektromagnetyczne.

ONsemi. Układ RSL15 firmy Onsemi, przeznaczony do aparatów słuchowych, doskonale pokazuje ewolucję rozwiązań IoT [27]. RSL15 to bezprzewodowy MCU BLE 5.2 z bezpiecznym procesorem Arm Cortex-M33 o bardzo niskim poborze mocy. Rdzeń M33 zawiera jednostkę FPU i rozszerzenie DSP, co jest niezbędne do pracy kodeka audio. Układ poprzedniej generacji – RSL10 – zawierał rdzeń Arm Cortex-M3 oraz dodatkowy rdzeń LDSP32 (Dual Harvard) wymagający licencyjnego oprogramowania do obsługi kodeka audio.

Texas Instruments. Układy łączności bezprzewodowej platformy SimpleLink firmy Texas Instruments obejmują rodziny: CC33x0 (z obsługą Wi-Fi 6), CC2xxx (z obsługą BLE 5.2, Thread, ZigBee 3.0 i IEEE

eprasa.pl 12486519d0

802.15.4) oraz CC135x (z obsługą pasm 2,4 GHz i sub-1 GHz) [24]. Układ CC3351 to combo 10. generacji z obsługą Wi-Fi 6 (2,4/5 GHz) i BLE 5.4.

CC1352R jest wieloprotokołowym i wielopasmowym mikrokontrolerem bezprzewodowym wspierającym BLE 5.2, 802.15.4, 6LoWPAN, MIOTY, Wi-SUN, Thread i ZigBee. Układ ma budowę trójrdzeniową: ARM Cortex-M4F to rdzeń aplikacyjny, koprocesor ARM Cortex-M0 obsługuje komunikację bezprzewodową a autonomiczny rdzeń ULP Sensor Controler (SC) – układy peryferyjne. Pozwala to SC na obsługę ADC z szybkością 1 Sps przy średnim poborze prądu tylko 1 μA.

Pakiet programowy SimpleLink SDK zapewnia warstwę oprogramowania zwaną Dynamic Multi-protocol Manager (DMM), która umożliwia pojedynczemu radiu jednoczesne uruchamianie wielu protokołów bezprzewodowych na MCU poprzez przełączanie między stosami protokołów w czasie rzeczywistym. Pozwala to programiście określić niestandardowy priorytet protokołu dla każdego możliwego stanu systemu, zarządzać stosami protokołów i minimalizować opóźnienia.

Renesas oferuje układy i moduły w każdej kategorii komunikacji bezprzewodowej dla branży IoT: BLE 5.3, Matter, komórkowe IoT (Cat-M1/NB1/NM2), DECT, NFC, Wi-Fi 4/5/6/6E, transceivery Sub-GHz/Wi-SUN i modemy pasma 60 GHz [26].

Wi-Fi HaLow. Rodzina Micro MM61xx firmy Morse (pokazana na CES 2024) została zaprojektowana w celu zapewnienia obsługi Wi-Fi HaLow [23]. Chipy korzystają z pasm od 850 do 950 MHz, dzięki czemu można je stosować na całym świecie. MM6104 obsługuje pojedyncze strumienie z szybkością do 15 Mb/s, natomiast MM6108 wspiera transmisję danych z szybkością do 32,5 Mb/s.

UWB. Moduł Sera NX040 firmy Ezurio (dawniej Laird) integruje najnowocześniejszy układ krzemowy Trimension SR040 firmy NXP Semiconductors (obsługa UWB) [28] z możliwościami przetwarzania danych oraz komunikacji Bluetooth LE (i NFC) układu SoC nRF52833 firmy Nordic Semiconductor [16]. To innowacyjne połączenie z oprogramowaniem (możliwość obsługi w języku Python lub za pomocą komend AT) i usługami zapewnia układom UWB nowe możliwości wyjścia poza segmenty konsumenckie i motoryzacyjne w stronę głównych urządzeń IoT. Układ SR040 (ARM Cortex-M33) obsługuje IEEE 802.15.4/4z HRP UWB PHY (certyfikat FiRa) [28]. Opracowane zostały dwa warianty modułu: z anteną PCB oraz z zewnętrzną planarną anteną jednobiegunową UWB.

Trendy

Ankieta obejmująca ponad 1000 globalnych projektów wdrożeniowych IoT pokazała, że dla ponad 80% respondentów największym wyzwaniem IoT było projektowanie i optymalizacja oprogramowania sprzętowego urządzeń, a nie podstawowa łączność [5]. Trudność w opracowaniu firmware'u na scalony układ wieloprocesorowy skłania do stosowania prostszych układów jednoprocesorowych o wystarczająco dużej wydajności obliczeniowej. Na świecie największą popularnością cieszą się urządzenia IoT krótkiego zasięgu, stanowiące około 80 procent całkowitej liczby urządzeń. Eksperci oczekują, że w nadchodzących latach technologia krótkiego zasięgu utrzyma pozycję lidera. Zeszłoroczne badania pokazały, że każde przedsiębiorstwo korzysta obecnie ze średnio 2...3 różnych technologii komunikacji bezprzewodowej IoT, od sieci komórkowej po Amazon Sidewalk i od Wi-Fi po Wi-SUN. Nie stanowi to niespodzianki, gdyż każdy rynek wertykalny oraz regionalny charakteryzuje się własnymi, unikalnymi cechami, wyzwaniami i działają na nim określone rodzaje przedsiębiorstw. Producenci często łączą technologie krótkiego i dalekiego zasięgu w tym samym systemie IoT. W USA w dziedzinie Smart City tak wyglądało stosowanie sieci LPWAN: Wi-SUN (32%), NB-IoT (55%), CAT-M (41%) i LoRaWAN (27%). Dwa najważniejsze czynniki wyboru rodzaju komunikacji IoT – wydajność i bezpieczeństwo – są znacznie ważniejsze niż koszty. Dodatkowym kluczem okazuje się wybór zaufanego partnera, który wesprze wdrożenie.

Nielicencjonowane pasmo V fal milimetrowych RF o częstotliwości 60 GHz otwiera nowe możliwości łączności bezdotykowej krótkiego zasięgu w zakresie bardzo małej mocy (ale stosunkowo dużych szybkości transmisji danych w trybie Multi-Gigabit), bezdotykowych połączeń punkt-punkt, a także bardzo małych opóźnień w przypadku połączeń kablowych. Co ważne, są to rozwiązania bezpłatne i pozbawione konieczności stosowania (często dość awaryjnych) złączy.

Jednym z nowszych trendów Internetu Rzeczy (IoT) jest coraz szersze zastosowanie technologii Blockchain. Może ona pomóc zapewnić bezpieczeństwo danych w urządzeniach IoT i umożliwia sprawną interakcję pomiędzy różnymi węzłami sieci oraz pozwala na bezpieczne prowadzenie dokumentacji, dlatego Blockchain świetnie sprawdza się w zastosowaniach IoT.

Środowisko i zrównoważony rozwój

Zmiany klimatyczne i wynikające z nich problemy nie są niczym nowym. Temat ten okazuje się również kluczowy dla firm – od małych po duże korporacje – i stanowi integralną część ich strategii rozwoju oraz transformacji cyfrowej. IoT ma zdolność do generowania pozytywnego wpływu z perspektywy zarówno ekonomicznej oraz produkcyjnej, jak i społecznej czy środowiskowej. Obecnie te trzy elementy są brane pod uwagę już na etapie projektowania, a często uwzględniane są również w zwrocie z inwestycji. Sprostanie tym globalnym wyzwaniom i ochrona planety nie mogą być dłużej odkładane, a Internet Rzeczy może odegrać tu kluczową rolę. Opisane tendencje obejmują również dedykowane rozwiązania do monitorowania oraz ochrony zagrożonych gatunków zwierząt i ich siedlisk, a także rozwiązania w zakresie zapobiegania klęskom żywiołowym (powodzie, pożary, lawiny) i zarządzania nimi.

Urządzenia IoT mogą w dużym stopniu przyczynić się do zrównoważonego rozwoju. Względy ekonomiczne zachęcają do przyjęcia rozwiązań IoT, które zmniejszają koszty poprzez oszczędzanie energii lub zwiększanie wydajności. Skala skutków będzie miała charakter transformacji technologicznej. Wdrożenie inteligentnych liczników i wyświetlaczy w domach w Europie już teraz doprowadziło do zmniejszenia zużycia energii o 9%.

Ambient IoT

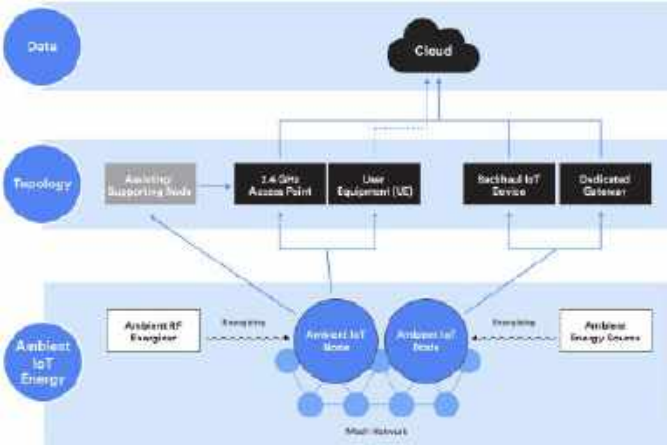
Badania UE wskazują, że IoT, który ma ocalić planetę, może także ją niszczyć – a jeśli nic nie zostanie uczynione w tej sprawie, to codziennie na całym świecie do 2025 r. będzie wyrzucanych około 78 milionów baterii z urządzeń IoT zasilanych bateryjnie, przy założeniu, że żywotność tych ogniw będzie wynosić średnio dwa lata.

Ambient IoT to nowa klasa urządzeń IoT. Koncepcja została pierwotnie wymyślona przez 3GPP w odniesieniu do ekosystemu dużej liczby obiektów, w którym każdy element jest podłączony do bezprzewodowej sieci czujników za pomocą tanich węzłów sensorów – z zasilaniem korzystającym wyłącznie z energii pozyskiwanej ze środowiska: fal radiowych, ciepła, ruchu lub innych zjawisk. Urządzenia zostały celowo zaprojektowane bez konieczności wymiany baterii. Standardy dla Ambient IoT są ustalane wspólnie przez 3GPP [29], IEEE (802.11 AMP) i Bluetooth SIG [30]. Planowane jest uwzględnienie Ambient IoT w standardzie Rel 19 lub nawet Rel 18. Proponowane wymagania okazują się bardzo wysokie: pobór mocy w trakcie transmisji ≤ 1 μW lub ≤ 10 μW, szybkość transmisji nadawanie/odbiór >5/0,1 kbps, rozmiar pakietu 100 b (min.), zasięg 10...50 m w pomieszczeniach i 50...100 m na zewnątrz.

Rysunek 2 pokazuje różne architektury implementacji Ambient IoT [30]. Czarne prostokąty reprezentują połączenie z Internetem.

IoT Pixels firmy Wiliot (**rysunek 3**) to niedrogi, niewielki, elastyczny znacznik wielkości znaczka pocztowego, zawierający urządzenie obliczeniowe i obwody zasilania energią pozyskaną z fal radiowych [2]. IoT Pixels same się zasilają: zbierają energię z fal radiowych emitowanych przez istniejące urządzenia sieciowe, w tym urządzenia Bluetooth, urządzenia LoRa WAN, starsze czytniki RFID

eprasa.pl 12486519d0



Rysunek 2. Architektury implementacji Ambient IoT [30]

czy smartfony. Prezentowane rozwiązanie zawiera procesor ARM Cortex M0+ (1MHz) i transceiver BLE 5 (zasięg 10 m). Dokładne omówienie mechanizmu pozyskiwania energii z fal radiowych znalazło się w artykule [4].

Podsumowanie

Rozwiązania IoT są z natury złożone technologicznie. Obejmują one pełny zakres zagadnień – od opracowywania urządzeń czujnikowych oferujących bezpieczną łączność z chmurą – po generowanie wniosków dla użytkownika końcowego. Niedobory półprzewodników i zakłócenia w łańcuchu dostaw spowodowane pandemią koronawirusa w dalszym ciągu mają wpływ na dostawców oraz producentów. Różne ekosystemy, adresy IP, technologie, a także standardy sprawiły, że dzisiejszy świat połączonych urządzeń jest niestety fragmentaryczny i nieporadny. A prosty, bezpieczny rozwój produktów nadal stanowi wyzwanie. Aby zbudować oraz wdrożyć kompletne rozwiązanie, należy zintegrować i przetestować szeroką gamę technologii – urządzeń, platform oprogramowania, aplikacji czy też narzędzi analitycznych, często pochodzących od wielu dostawców.

Należy wspomnieć o istotnych zagadnieniach, które nie zostały omówione w niniejszym artykule, jak: szczegóły techniczne pozyskiwania energii ze środowiska czy komputery kwantowe, które wymuszają zastosowanie nowych metod bezpieczeństwa.

Środowisko komunikacji bezprzewodowej stale się zmienia. Dzisiejsze najnowocześniejsze moduły IoT mogą szybko stać się nieprzydatne, chyba że zostaną zaprojektowane specjalnie pod kątem dynamicznej zmiany środowiska bezprzewodowego. Jedno z wyzwań IoT stanowi fakt, że istnienie tak wielu różnych urządzeń i platform może utrudniać im wzajemną komunikację. Oczekuje się, że będziemy świadkami dalszych wysiłków na rzecz zwiększenia interoperacyjności, tak aby urządzenia różnych producentów mogły bezproblemowo ze sobą współpracować – będzie to szczególnie ważne w przypadku inteligentnych miast i zastosowań przemysłowych, w których należy zintegrować wiele różnych systemów.

Rysunek 3. IoT Pixels firmy Wiliot [2]

W tym roku spodziewamy się uproszczonego zarządzania urządzeniami, solidnych zabezpieczeń i bezproblemowej łączności, ponieważ postępy takie jak Wi-Fi 6, Matter, Mioty i Wi-SUN stanowią dopiero początek innowacji w naszych domach, społecznościach czy firmach. Tania łączność zapewnia wiele nowych możliwości, które mogą uratować życie, poprawić jego jakość i zwiększyć wydajność działania, gdy projektanci IoT znajdą kreatywne zastosowania dla taniej, zautomatyzowanej komunikacji. Przyszłość Internetu Rzeczy wygląda obiecująco dzięki postępom w przetwarzaniu brzegowym, łączności 5G, integracji sztucznej inteligencji, bezpieczeństwu, blockchain, rozwiązaniom branżowym, zrównoważonemu rozwojowi, ulepszonej analizie danych czy rozszerzonej interoperacyjności. Urządzenie IoT powinno mieć wbudowane uwierzytelnianie, autoryzację, szyfrowanie, zarządzanie kluczami i danymi, bezpieczny routing i możliwość audytu, aby zapewnić bezpieczeństwo (tj. autentyczność, integralność, poufność, dostępność) oraz zgodność (tj. RODO, PCI, HIPAA, ISO-14064-2) [5].

Pojawienie się urządzeń Ambient IoT stanowi znaczący krok w ewolucji urządzeń IoT, oferując obiecującą przyszłość ekosystemu Internetu Rzeczy. Opierając się na źródłach energii dostępnych w otoczeniu, Ambient IoT umożliwia rozwój tańszych, mniejszych i bezobsługowych urządzeń, a w ten sposób otwiera nowe możliwości zastosowań Internetu Rzeczy w różnych branżach.

Analitycy prognozują, że do 2025 r. 75% wszystkich danych będzie przetwarzanych w urządzeniach brzegowych [5]. To z kolei wymusi wypracowanie oprogramowania do łączności, które okaże się przenośne, lekkie i wystarczająco elastyczne, aby działać na szerokiej gamie urządzeń, systemów operacyjnych czy modemów. Oprogramowanie powinno być konfigurowane i zarządzane przez zaawansowaną platformę obsługującą komunikację, która stosuje ML do optymalizacji łączności w oparciu o dostępność, odporność, przepustowość, opóźnienia, moc, bezpieczeństwo i koszt – tak, by zapewnić dostosowanie całości do unikalnych wymagań każdego urządzenia i aplikacji.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

Literatura
[1] IoT Wireless Technologies Guide, Application Notes, Keysight Technologies, May 30, 2023, https://tiny.pl/d5r31
[2] Wiliot, https://www.wiliot.com/
[3] *Raport o globalnych trendach Internetu Rzeczy (IoT)* – 2022, Farnell, https://tiny.pl/d5r3j
[4] *Pozyskiwanie energii z fal radiowych*, Henryk A. Kowalski, „Elektronika Praktyczna", 10/2020, https://tiny.pl/d5r3p
[5] IoT Predictions for 2024 and Beyond: The Rise of IoT Intelligence at the Edge, IoT For All, 13 March 2024, https://tiny.pl/d5r3l
[6] IoT: Technologies, Markets, and Forecasts for 2024, Integra Sources, April 11, 2024, https://tiny.pl/d5r38
[7] Bluetooth SIG, https://www.bluetooth.com/
[8] Wi-Fi Alliance, https://www.wi-fi.org/
[9] Connectivity Standards Alliance (former ZigBee), https://csa-iot.org/
[10] WiSUN Alliance, https://wi-sun.org/
[11] LoRa Alliance, https://lora-alliance.org/
[12] NFC Forum, https://nfc-forum.org/
[13] ANT+ Alliance, ANT Wireless, Garmin Canada, https://www.thisisant.com/
[14] Thread Group, https://threadgroup.org/
[15] 3GPP (3rd Generation Partnership Project), https://www.3gpp.org/
[16] Nordic Semiconductor, https://www.nordicsemi.com/
[17] *Bluetooth LE Audio*, Henryk A. Kowalski, „Elektronika Praktyczna", 5/2021, https://tiny.pl/d5r32
[18] The Definitive Guide to Non-Terrestrial Networks, Keysight Technologies, February 29, 2024, https://tiny.pl/d5r3k
[19] mioty Alliance, https://mioty-alliance.com/
[20] LPWAN market 2024: Licensed technologies boost their share among global 1.3 billion connections as LoRa leads outside China, Satyajit Sinha, March 21, 2024, IOT Analytics, https://iot-analytics.com/lpwan-market/
[21] STMicroelectronics, https://www.st.com/
[22] Infineon Technologies, https://www.infineon.com/cms/en/
[23] Morse Micro, https://www.morsemicro.com/
[24] Texas Instruments, https://www.ti.com/
[25] Silicon Laboratories, https://www.silabs.com/
[26] Renesas Electronics, https://www.renesas.com/us/en
[27] onsemi, https://www.onsemi.com/
[28] NXP Semiconductors, https://www.nxp.com/
[29] 3GPP Technical report 38.848, Study on Ambient IoT (Internet of Things) in RAN, September 2023, 3GPP, https://tiny.pl/d5r3n
[30] The Ambient IoT – The Emergence of a New Class of Bluetooth IoT Devices, May 9, 2024, Bluetooth SIG, https://tiny.pl/d5r34

eprasa.pl 12486519d0

Dynamiczny rozwój firmy Elproma Elektronika

W ciągu ostatnich kilku lat firma Elproma Elektronika zyskała reputację jednego z najbardziej innowacyjnych graczy na rynku technologii. Specjalizująca się w zaawansowanych systemach synchronizacji czasu i telemetrii, Elproma stała się kluczowym dostawcą rozwiązań technologicznych dla przemysłu, transportu, energetyki i telekomunikacji. Dynamiczny rozwój firmy jest efektem konsekwentnego inwestowania w badania i rozwój, współpracy z uczelniami technicznymi oraz wdrażania najnowszych technologii.

Elproma Elektronika nagrodzona na międzynarodowych konferencjach!

Dzięki ciągłym inwestycjom w badania i rozwój Elproma nieustannie wprowadza na rynek nowatorskie rozwiązania, takie jak wysokiej klasy systemy GPS oraz NTP, szeroko stosowane przez wiodące przedsiębiorstwa na całym świecie

W połowie kwietnia, podczas Targów International Exhibition of Inventions w Genewie (**fotografia 1**), firma została wielokrotnie wyróżniona i nagrodzona Srebrnym Medalem Targów (**fotografia 2**) za urządzenie FOSREM!

FOSREM to światłowodowy system monitorowania zdarzeń i zjawisk obrotowych oparty na interferometrze Sagnaca. Wyjątkowa czułość urządzenia oraz pasmo spełniają oczekiwania stawiane badaniom zdarzeń rotacyjnych i zjawisk, związanych z nieregularnymi ruchami obiektów występującymi podczas silnych wiatrów, ruchów tektonicznych czy trzęsień ziemi.

Dzięki zastosowaniu zaawansowanej technologii światłowodowej FOSREM dostarcza w czasie rzeczywistym cenne dane diagnostyczne, umożliwiając szybką reakcję na potencjalne zagrożenia oraz minimalizując ryzyko awarii.

Otrzymana nagroda stanowi dla producenta nie tylko ogromne wyróżnienie, ale także potwierdzenie zaangażowania w ciągłe innowacje i doskonałość w dziedzinie technologii.

Tuż po długim majowym weekendzie, w Katowicach – w trakcie XVI Europejskiego Kongresu Gospodarczego – firma Elproma Elektronika zajęła również I miejsce w konkursie CyberMarket. Jego celem jest zwiększenie rozpoznawalności polskich MŚP, które opracowały rozwiązania w obszarze cyberbezpieczeństwa.

W tegorocznej edycji wśród 10 finalistów znalazła się również Elproma z projektem monitorowania ataków cybernetycznych jamming/spoofing GNSS – **ARGOS**. Nagrodę za I miejsce z rąk Ministra Cyfryzacji Krzysztofa Gawkowskiego odebrał Dyrektor Operacyjny firmy, Pan Wawrzyniec Jakubowski.

ARGOS to zaawansowany system synchronizacji czasu, który korzysta z precyzyjnych technologii do zapewnienia dokładnego i niezawodnego pomiaru czasu. ARGOS pozwala zapobiegać awariom i jest narzędziem rozpoznaniawania ataków na GPS na obszarze Polski. Został zaprojektowany tak, aby sprostać wymaganiom różnych sektorów – m.in. przemysłu, energetyki, telekomunikacji i sektora publicznego – w których precyzyjna synchronizacja czasu okazuje się kluczowa.

Fotografia 1. Nagrody otrzymane przez firmę Elproma na targach International Exhibition of Inventions w Genewie

Fotografia 2. Srebrny medal dla firmy Elproma za urządzenie FORSEM

Nowy router RBMTX-Viper – rewolucja na rynku telemetrycznym – dostępny od III kwartału 2024 roku

Elproma Elektronika, dzięki nowoczesnym rozwiązaniom – takim jak RBMTX-Viper, nieustannie podnosi standardy w branży technologii telemetrycznych, oferując niezawodność i precyzję w najnowocześniejszych aplikacjach. Już niebawem Elproma wprowadzi na rynek nowy router przemysłowy RBMTX-Viper (**fotografia 5**), który będzie dostępny od drugiego kwartału 2024 roku. To innowacyjne urządzenie zostało zaprojektowane w odpowiedzi na rosnące wymagania klientów, dotyczące jednoczesnego podłączania wielu urządzeń za pomocą portów Gigabit Ethernet.

RBMTX-Viper wyróżnia się szeregiem zaawansowanych funkcji, w tym czterema gigabitowymi portami (1× WAN, 3× LAN), globalnym modułem GSM LTE Cat 4, funkcją GPS do precyzyjnego pozycjonowania, systemem operacyjnym Linux z SDK, OpenWRT, pasywnym PoE pass-through, Wi-Fi/Bluetooth oraz intuicyjnymi narzędziami konfiguracyjnymi. Te cechy

eprasa.pl 12486519d0

Fotografia 3. Prezentacja systemu ARGOS podczas XVI Europejskiego Kongresu Gospodarczego

czynią go idealnym rozwiązaniem do różnych aplikacji przemysłowych i komercyjnych.

Router RBMTX-Viper znajdzie swoje zastosowanie w:

- inteligentnych systemach transportowych,
- systemach parkingowych,
- przemyśle 4.0,
- systemach monitoringu CCTV,
- automatach paczkowych,
- stacjach ładowania pojazdów elektrycznych,
- instalacjach fotowoltaicznych i elektrowniach,
- cyfrowej reklamie (digital signage).

Pełną specyfikację urządzenia można znaleźć na stronie internetowej producenta pod adresem: https://tiny.pl/d5fws.

Fotografia 5. Router przemysłowy RBMTX-Viper

Zapraszamy do kontaktu w celu uzyskania szczegółowych informacji oraz dokonania pierwszego zakupu: sales@elpromaelectronics.com.

Fotografia 4. Wspólne zdjęcie pamiątkowe z konkursu CyberMarket

eprasa.pl 12486519d0

Kurs programowania mikrokontrolerów Megawin (2)

W poprzednim wydaniu „Elektroniki Praktycznej" opublikowaliśmy pierwszą część kursu programowania mikrokontrolerów z serii MG32F103. Opisaliśmy najważniejsze zagadnienia związane z konfiguracją zegara systemowego oraz obsługą portów I/O. Tym razem przyjrzymy się kolejnym, bardzo ważnym blokom peryferyjnym: przetwornikowi ADC, timerowi SysTick (wraz z obsługą przerwań) oraz sprzętowemu interfejsowi I²C.

Pierwszy odcinek kursu znajduje się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

Autor dziękuje firmie Micros (www.micros.com.pl) za udostępnienie programatora MLink oraz próbek układu MG32F103RBT6 na potrzeby opracowania niniejszego kursu.

Podstawowa obsługa przetwornika ADC

Podobnie jak większość rodzin układów STM32, także mikrokontrolery Megawin z serii MG32F1 są wyposażone w 12-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy (**rysunek 1**). Zarówno sposób konfiguracji programowej, jak i zakres funkcjonalności tego bloku okazują się bardzo zbliżone w przypadku STM32F1 i MG32F103 – dlatego osoby zaznajomione z użyciem starych bibliotek STM32 Standard Peripheral Library będą pozytywnie zaskoczone podobieństwem kodu źródłowego, zaprezentowanego na **listingu 1**, do programów obsługujących ADC w procesorach STM32F1. Pewne wątpliwości może natomiast budzić blok trzech instrukcji, znajdujących się na początku ciała funkcji `void ADC_config()`:

```
PWR_UnlockANA();
ANCTL_SARADCCmd(ENABLE);
PWR_LockANA();
```

Choć same nazwy wywołanych tutaj procedur na dobrą sprawę tłumaczą ich działanie, to kilka słów wyjaśnienia należy się Czytelnikom w nawiązaniu do samej istoty bloku ANCTL oraz powodów, dla których został on wyposażony w mechanizmy ochrony przed zapisem. W dokumentacji producenta nie znajdziemy schematu blokowego tego modułu – jest to wszak po prostu zestaw rejestrów konfiguracyjnych – ale jego znaczenie w funkcjonowaniu procesorów marki Megawin jest niebywale istotne. Blok ANCTL zarządza bowiem (na najwyższym poziomie funkcjonalnym) pracą nie tylko modułów typowo analogowych (przetwornika ADC oraz komparatora), ale także struktur MCU o znaczeniu krytycznym w kontekście niezawodności całego systemu, czyli:

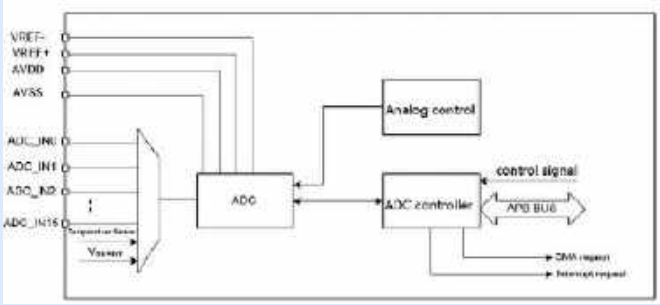
- oscylatorów MHSI (8 MHz), FHSI (48 MHz), LSI (32 kHz), HSE (4...16 MHz, w zależności od zastosowanego kwarcu lub generatora zewnętrznego),
- pętli synchronizacji fazowej (PLL),
- kontrolera pamięci Flash,
- bloku resetu POR/PDR,
- bloku nadzorującego napięcie zasilania (PVD).

```
void ADC_config(void) {

    /* wlaczenie sygnalu taktowania ADC i niezbednych zegarow dodatkowych */
    RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_ADC | RCC_APB1Periph_BMX1| RCC_APB1Periph_AFIO, ENABLE);

    /* odblokowanie bloku kontrolnego funkcji analogowych w celu zapisu  */
    PWR_UnlockANA();

    /* zezwolenie na prace przetwornika ADC */
    ANCTL_SARADCCmd(ENABLE);

    /* przywrocenie stanu zablokowanego w celu ochrony waznych rejestrow*/
    PWR_LockANA();

    /* struktura inicjalizacyjna ADC */
    ADC_InitTypeDef init;

    /* uzywamy pojedynczej konwersji, wiec nie potrzebujemy trybu ciaglego skanowania */
    init.ADC_ScanConvMode = DISABLE;
    init.ADC_ContinuousConvMode = DISABLE;

    /* nie uzywamy sprzetowego triggera (wyzwalanie programowe) */
    init.ADC_ExternalTrigConv = ADC_ExternalTrigConv_None;

    /* wyrownanie danych do prawej (zera po stronie MSB) */
    init.ADC_DataAlign = ADC_DataAlign_Right;

    /* jeden kanal do konwersji */
    init.ADC_NbrOfChannel = 1;

    /* inicjalizacja przetwornika */
    ADC_Init(&init);

    /* uzywamy tylko kanalu nr 14, wybieramy mozliwie dlugi czas probkowania */
    ADC_RegularChannelConfig(ADC_Channel_14, 1, ADC_SampleTime_239Cycles5);

    /* zezwolenie na wyzwalanie przetwornika */
    ADC_ExternalTrigConvCmd(ENABLE);

    /* wlaczenie bloku przetwornika */
    ADC_Cmd(ENABLE);

    /* zerowanie ustawien kalibracyjnych */
    ADC_ResetCalibration();

    /* oczekiwanie na gotowosc do rozpoczecia kalibracji */
    while(ADC_GetResetCalibrationStatus());

    /* rozpoczecie kalibracji */
    ADC_StartCalibration();

    /* oczekiwanie na zakonczenie kalibracji */
    while(ADC_GetCalibrationStatus());


}
```

Listing 1. Funkcja konfigurująca i inicjalizująca przetwornik ADC

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie **https://ulubionykiosk.pl/media**

eprasa.pl 12486519d0



Rysunek 1. Uproszczony schemat blokowy przetwornika ADC znajdującego się w strukturze procesora MG32F103 (źródło: MG32F10x User Guide V1.0.2)

Sensowne jest zatem zastosowanie blokady przed przypadkowym nadpisaniem wartości rejestrów kontrolujących pracę tych – kluczowych dla bezpieczeństwa – bloków procesora. Dlatego też, aby móc skorzystać z wbudowanego przetwornika analogowo-cyfrowego, musimy najpierw odblokować możliwość zapisu do rejestrów ANCTL, dopiero wtedy zezwolić na działanie ADC, po czym (dla pewności) ponownie zablokować ANCTL.

Następne operacje bazują już wyłącznie na rejestrach samego przetwornika i polegają na przygotowaniu zawartości struktury inicjalizacyjnej typu `ADC_InitTypeDef`, na drodze sukcesywnego przypisywania nastaw kolejnych parametrów. Potem – przy użyciu funkcji `ADC_Init()`, przyjmującej jako parametr wskaźnik na ww. strukturę – wystarczy już tylko przekazać odpowiednie ustawienia do bloku rejestrów konfiguracyjnych. Osobnych działań wymaga:

- wybór kanału(-ów) do skanowania przez sekwencer wbudowany w przetwornik ADC – oraz czasu próbkowania,
- zezwolenie na wyzwalanie przetwornika sygnałem zewnętrznym (w naszym przypadku – dla ułatwienia – zastosujemy wyzwalanie programowe),
- właściwe włączenie bloku przetwornika (nie należy mylić tej operacji z odgórnym zezwoleniem, które ustawiliśmy wcześniej w bloku ANCTL),
- przeprowadzenie automatycznej kalibracji ADC, mającej na celu zniwelowanie rozrzutów pojemności próbkujących (producent zaleca wykonanie kalibracji każdorazowo po włączeniu zasilania systemu).

Tak skonfigurowany przetwornik ADC jest całkowicie przygotowany do pracy. Teraz, już w funkcji main() naszego programu, wystarczy rozpocząć konwersję (funkcja `ADC_SoftwareStartConvCmd(ENABLE)`), odczekać na jej zakończenie (poprzez sprawdzenie flagi EOC funkcją `ADC_GetFlagStatus(ADC_FLAG_EOC)`), a następnie odczytać zawartość 16-bitowego rejestru `ADC->DR`. Całość jest wykonywana w pętli `for()`, mającej na celu uśrednianie zestawu próbek (w naszym przypadku używamy „bufora" o rozmiarze 128), dzięki czemu odczyty prezentowane na wyświetlaczu LED będą znacznie stabilniejsze niż przy pracy z pojedynczymi wynikami konwersji ADC.

Wnikliwi Czytelnicy zauważą, że we fragmencie programu głównego, pokazanym na **listingu 2**, znalazła się także instrukcja warunkowa sprawdzająca stan przycisku SW2 i (w zależności od niego) wywołująca (lub nie) dodatkową funkcję `ADC_GetADValue()`, która jako parametr przyjmuje skopiowaną do zmiennej `adc_tmp` zawartość rejestru wyjściowego przetwornika. I tutaj właśnie zachodzi zjawisko dość dziwne, które w dokumentacji producenta nie zostało zbyt obszernie opisane. Ciało tejże funkcji pokazano na **listingu 3**.

Jak widać, funkcja `ADC_GetADValue()` ma za zadanie zwrócić nam (w postaci wartości typu `uint16_t`) „skorygowany wynik konwersji", a korekcja ta zależy od przedziału, w którym znajduje się

REKLAMA

HONGFA

Przekaźniki Hongfa
Sprawdzony producent przekaźników do Twojego projektu

Małe przekaźniki - duże możliwości!

Serie:
HF115F
HF118F
HF32F-G
HF46F-G
HF3FF
HF41F
HF49FD
HFD23
HFD27
HFD4
HF37F
14FF
gniazda

- Przekaźniki mocy
- Miniaturowe przekaźniki mocy
- Miniaturowe przekaźniki wysokiej mocy
- Subminiaturowe przekaźniki mocy
- Przekaźniki sygnałowe
- Subminiaturowe przekaźniki sygnałowe
- Gniazda i akcesoria

μ's MICROS

Micros sp.j. W.Kędra i J.Lic
ul. E.Godlewskiego 38,
30-198 Kraków

tel.: +48 12 636 95 66,
e-mail: bok@micros.com.pl

www.micros.com.pl

Hongfa na micros.com.pl

eprasa.pl 12486519d0

przekazany do funkcji parametr. Dokładniejsze przyjrzenie się warunkom oraz wykonywanym po ich spełnieniu operacjom matematycznym sugeruje, że opisywana funkcja ma za zadanie niwelować stosunkowo spore błędy offsetów, ale także (za co odpowiada ostatni warunek `else`) – pewną nieliniowość przetwarzania. Można się jedynie domyślać, że genezy takiego rozwiązania należy upatrywać w (wykrytych zbyt późno przez producenta) błędach w projekcie przetwornika na poziomie „krzemu". Taki scenariusz wydaje się wysoce prawdopodobny – tym bardziej że dziesiątki rozmaitych uchybień jest znanych także w przypadku procesorów znacznie większych i bardziej doświadczonych producentów półprzewodników (nieprzypadkowo pliki erraty, opracowywane np. do procesorów STM32, są całkiem obszerne i zawierają szereg mniej lub bardziej istotnych błędów zidentyfikowanych po wprowadzeniu układów do sprzedaży).

Kompletny kod źródłowy znajduje się w materiałach dodatkowych do tego odcinka kursu, dostępnych na stronie ep.com.pl. W katalogu Projekt03 umieszczone zostały wszystkie pliki i foldery niezbędne do uruchomienia projektu w środowisku Keil.

Po skompilowaniu i wgraniu kodu maszynowego do pamięci Flash procesora możemy przetestować nasz program – na wyświetlaczu LED będą się ukazywały wyniki konwersji przeliczone na wartość napięcia. Na marginesie warto dodać, że funkcja odpowiedzialna za wybór segmentów wyświetlacza niezbędnych do włączenia na danej pozycji (`void display_select_digit(uint8_t dig, uint8_t dp)`) została tym razem wzbogacona o zapis:

```
if(dp){
   GPIO_SetBits(DISP_DP_port, DISP_DP_pin);
}else{
   GPIO_ResetBits(DISP_DP_port, DISP_DP_pin);
}
```

który na podstawie wartości parametru dp zaświeca lub gasi punkt dziesiętny obok aktualnie obsługiwanego znaku (pozycji) wyświetlacza.

Warto we własnym zakresie dokładnie przetestować działanie programu – i to zarówno przy wciśniętym, jak i przy zwolnionym przycisku SW2. Podczas testów na płytce prototypowej dało się zauważyć, że funkcja korekcyjna `ADC_GetADValue()` istotnie zmienia nieznacznie liniowość odczytu oraz wpływa na offsety, ale nie redukuje całkowicie problemu „zawijania" zakresu pomiarowego. Dlatego też – w skrajnych położeniach suwaka potencjometru – wartości napięcia są obsługiwane błędnie: czy to poprzez nagły przeskok do drugiej skrajności (np. z 0 do ponad 4000), czy to przez efekt „saturacji", gdy obrót gałki o niewielki kąt nie powoduje żadnych zmian w odczycie napięcia. Praktyka pokazuje zatem, że przetwornik analogowo-cyfrowy wbudowany w procesor MG32F103 nie należy do najdokładniejszych i nie powinien być używany do pomiarów, w których duże znaczenie ma wiarygodność odczytów. Nic jednak nie stoi na przeszkodzie, by korzystać z niego w mniej wymagających zastosowaniach, np. do zgrubnej kwantyzacji wejść analogowych czy też do obsługi prostych czujników (np. fotorezystora w aplikacji wyłącznika zmierzchowego).

```
int main(void)
{

    int16_t cnt = 0;
    uint8_t pos = 0;

    /* liczba probek ktore beda usredniane */
    const uint8_t num_samples = 128;

    /* zmienna do przechowywania wyniku konwersji */
    uint16_t adc_tmp = 0;

    /* akumulator do usredniania probek */
    uint32_t volt_avg = 0;

    /* zmienna przechowujaca liczbe do wyswietlenia */
    uint16_t disp_num = 0;

    initPeripherals();

    LED_onoff(1, LED_OFF);
    LED_onoff(2, LED_OFF);

  while (1)
  {

        volt_avg = 0;

        /* zapelnianie bufora probek i sumowanie wynikow "w locie" */
        for(uint8_t i = 0; i < num_samples; i++){

            /* rozpoczecie pojedynczej konwersji ADC */
            ADC_SoftwareStartConvCmd(ENABLE);

            /* polling flagi konca konwersji */
            while(ADC_GetFlagStatus(ADC_FLAG_EOC) != SET){}

            /* przeliczanie wyniku na mV (Vref = Vcc = 3,3 V) */
            adc_tmp = ADC->DR;

            /* nacisniecie SW2 powoduje zastosowanie "funkcji korygujacej" */
            if(!GPIO_ReadInputDataBit(SW2_port, SW2_pin))
                adc_tmp = ADC_GetADValue(adc_tmp);

            volt_avg += (adc_tmp * 3300) / 4096;
        }

        /* zakonczenie obliczen (srednia arytmetyczna) */
        volt_avg /= num_samples;


        int8_t digits[4];

        /* Pozyskanie kolejnych pozycji dziesietnych */
        digits[0] = (disp_num % 10000) / 1000;
        digits[1] = (disp_num % 1000) / 100;
        digits[2] = (disp_num % 100) / 10;
        digits[3] = (disp_num % 10);

        /* Tymczasowe wylaczenie wyswietlacza */
        display_select_pos(255);

        /* Ustawienie cyfry do wyswietlenia na katodach */
        display_select_digit(digits[pos], (pos==0)?1:0);

        /* Wlaczenie wybranej pozycji */
        display_select_pos(pos);

        /* Obsluga licznika pozycji dziesietnych */
        pos++;
        if(pos > 3){
            pos = 0;
            disp_num = (uint16_t)volt_avg;
        }
    }

}
```

Listing 2. Główna funkcja programu do obsługi przetwornika ADC

```
uint16_t ADC_GetADValue(uint16_t data)
{
  uint32_t correct_value;
  uint32_t c_k, c_a;
    if(data<=64&&data>=32)
    {
        return data-32;
    }
    else if(data<=0x1F)
    {
        return data+4064;
    }
    else
    {
        correct_value = (data - 32) & 0xFFF;

        c_k = 133;
        c_a = 53;
        correct_value = ((correct_value + c_a) * 10000) / (c_k + 10000);
        return correct_value < 4096 ? correct_value : 4095;
    }
}
```

Listing 3. Funkcja korygująca odczyty z przetwornika ADC

SysTick i przerwania

Do tej pory dostępny na naszej płytce ewaluacyjnej wyświetlacz LED obsługiwaliśmy w najprostszy (i – z programistycznego punktu widzenia – najgorszy) możliwy sposób, czyli poprzez skanowanie kolejnych pozycji (znaków) w pętli głównej programu. Teraz naprawimy ten (intencjonalny) grzech uproszczenia, wprowadzając obsługę multipleksowania za pomocą przerwań od timera systemowego SysTick, stanowiącego integralną część mikrokontrolerów z rdzeniem ARM (niezależnie od producenta docelowej implementacji) i przeznaczonego przede

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0

wszystkim do taktowania mechanizmów czasowych systemów operacyjnych. Nic nie stoi jednak na przeszkodzie, by w aplikacjach typu *bare-metal* skorzystać z tego przydatnego peryferium w innych zastosowaniach, np. właśnie do obsługi multipleksowanego wyświetlacza LED.

W bibliotekach dostarczonych przez firmę Megawin dostępna jest prosta w użyciu funkcja konfigurująca timer SysTick o nazwie `SysTick_Config(uint32_t ticks)`; co ważne, funkcja ta pochodzi z biblioteki CMSIS, stąd jej zastosowanie jest takie samo, niezależnie od producenta mikrokontrolera. Osobom nieposiadającym doświadczenia w programowaniu procesorów o architekturze ARM przyda się informacja, że parametr ticks przekazywany w wywołaniu funkcji oznacza po prostu liczbę taktów sygnału zegarowego, która ma być odliczona pomiędzy kolejnymi wywołaniami procedury obsługi przerwania (ISR) od SysTicka. Aby uzyskać najczęściej spotykaną wartość równą 1 kHz, musimy zatem obliczyć parametr ticks poprzez podzielenie częstotliwości sygnału doprowadzonego do SysTicka (wyrażonej w hercach) przez nasz docelowy 1 kiloherc. Rdzeń mikrokontrolera w używanej przez nas konfiguracji jest taktowany sygnałem HCLK o częstotliwości 72 MHz pochodzącym z pętli PLL, zatem parametr ticks przyjmie wartość 72 000.

Warto w tym miejscu dodać, że w mikrokontrolerach z rodziny MG32F103 można wybrać także taktowanie SysTicka sygnałem HCLK podzielonym przez 8 – w tym celu, tuż po wykonaniu funkcji `SysTick_Config()`, należy wywołać dodatkową procedurę `SysTick_CLKSourceConfig()` z parametrem `SysTick_CLKSource_HCLK_Div8`, zdefiniowaną w pliku misc.c. Znacznie bardziej przydatna okazuje się natomiast funkcja rekonfigurująca priorytet przerwania – `NVIC_SetPriority()`, zdefiniowana w standardowym pliku źródłowym przeznaczonym do architektury ARM Cortex-M3 (core_cm3.h). Domyślne wywołanie `SysTick_Config()` zakłada, że priorytet przerwania od timera systemowego będzie ustawiony na najniższą możliwą wartość, stąd dowolne przerwanie o priorytecie nawet nieznacznie wyższym może bez trudu wywłaszczyć procedurę jego obsługi. Kwestia ustalenia priorytetów ma oczywiście znaczenie w przypadku, gdy w systemie korzystamy z wielu różnych przerwań – jak na razie SysTick jest jedynym peryferium, któremu zezwalamy na generowanie przerwań, stąd możemy pozostać przy ustawieniach domyślnych.

Ciało ISR timera SysTick należy umieścić w pliku mg32f10x_it.c, koniecznie pamiętając o wstawieniu deklaracji tejże procedury w odpowiadającym pliku nagłówkowym mg32f10x_it.h. Ważne jest tutaj dokładne odwzorowanie nazwy ISR, która swoje umocowanie logiczne ma w tablicy wektorów przerwań, zawartej w pliku startup_mg32f10x.lst. Procedura `SysTick_Handler()` przejmie od programu głównego zadanie obsługi wyświetlacza multipleksowanego, należy jedynie pamiętać o umieszczeniu zmiennych globalnych poza ciałem funkcji main() w pliku main.c, a także o umieszczeniu stosownych odwołań do tychże zmiennych w procedurze ISR. Wygląd funkcji `SysTick_Handler(void)` można zobaczyć na **listingu 4**.

Słowa komentarza wymaga jeszcze istotna zmiana wprowadzona w obsłudze samego multipleksu, a odróżniająca nieco sposób działania tego algorytmu od wersji zaprezentowanej w poprzednich programach. Tym razem – z uwagi na wyższą częstotliwość odświeżania LED oraz jego niezależność od biegu programu głównego – konieczne okaże się wprowadzenie dodatkowego zabezpieczenia przed przekłamaniami w odczytach. Zawartość zmiennej `volt_avg` jest modyfikowana w każdym obiegu pętli uśredniającej próbki pobierane z rejestru wyjściowego ADC. Na koniec całego procesu przepisujemy wprawdzie wynik obliczeń do zmiennej `disp_num`, ale wciąż nie daje nam to gwarancji, że swobodnie wykonywana procedura ISR nie pomiesza układów segmentów wyświetlacza odpowiadających następującym po sobie wynikom pomiaru. Dlatego też w programie wprowadzono podwójne buforowanie – ISR przepisuje zawartość zmiennej `disp_num` do „kopii zapasowej", czyli zmiennej `disp_num_shadow` dopiero po zakończeniu całego cyklu odświeżania wyświetlacza LED. W ten sposób zyskujemy pewność, że wskazanie prezentowane na wyświetlaczu będzie zawsze zgodne z rzeczywistym wynikiem pomiaru. Nieco podobne zabezpieczenie, ale z pojedynczym buforowaniem, można zobaczyć także na listingu 2 – tam jednak, z uwagi na bardziej synchroniczne (i zarazem deterministyczne) wykonywanie kodu obsługującego pomiary ADC oraz odświeżanie wyświetlacza, takie rozwiązanie w zupełności wystarczało.

```
void SysTick_Handler(void){

    /* odwolania do zmiennych globalnych sterujacych multipleksem */
    extern volatile uint8_t pos;
    extern volatile uint16_t disp_num;
    extern volatile uint16_t disp_num_shadow;


    int8_t digits[4];

    /* pozyskanie kolejnych pozycji dziesietnych */
    digits[0] = (disp_num_shadow % 10000) / 1000;
    digits[1] = (disp_num_shadow % 1000) / 100;
    digits[2] = (disp_num_shadow % 100) / 10;
    digits[3] = (disp_num_shadow % 10);

    /* tymczasowe wylaczenie wyswietlacza */
    display_select_pos(255);

    /* ustawienie cyfry do wyswietlenia na katodach */
    display_select_digit(digits[pos], (pos==0)?1:0);

    /* wlaczenie wybranej pozycji */
    display_select_pos(pos);

    /* obsluga licznika pozycji dziesietnych */
    pos++;

        if(pos > 3){

            pos = 0;
            /* aktualizacja odczytu po pelnym cyklu multipleksu */
            disp_num_shadow = disp_num;

        }

}
```

Listing 4. Procedura obsługi przerwania od SysTicka

Obsługa interfejsu I²C – konfiguracja

Na koniec tej części naszego kursu pozostawiliśmy obsługę wbudowanego interfejsu I²C mikrokontrolera MG32F103, którego uproszczony schemat blokowy pokazano na **rysunku 2**. Jak przystało na nowoczesny procesor z rdzeniem ARM, blok I²C naszego procesora oferuje szereg udogodnień programistycznych, zabezpieczeń i automatycznych funkcji nadzorujących oraz korygujących działanie interfejsu szeregowego. W piątym projekcie omawianym na łamach naszego kursu skupimy się na obsłudze zewnętrznego czujnika temperatury typu MCP9808 firmy Microchip – na płytce ewaluacyjnej jest on obecny jako układ U5.

Pierwszy element, który musimy dodać do naszego programu, to konfiguracja portów PB10 i PB11 jako linii interfejsu I²C (SCL i SDA):

```
GPIO_Init(GPIOB, GPIO_Pin_10, GPIO_MODE_AF |GPIO_
OTYPE_OD | GPIO_PUPD_NOPULL |GPIO_SPEED_HIGH
|GPIO_AF4);
GPIO_Init(GPIOB, GPIO_Pin_11, GPIO_MODE_AF |GPIO_
OTYPE_OD | GPIO_PUPD_NOPULL |GPIO_SPEED_HIGH
|GPIO_AF4);
```

Rysunek 2. Uproszczony schemat blokowy interfejsu I²C znajdującego się w strukturze procesora MG32F103 (źródło: MG32F10x User Guide V1.0.2)

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0

```
void I2C_config(void)
{

    /* wlaczenie taktowania interfejsu I²C i odpowiedniego sygnalu szyny systemowej */
    RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_BMX2 | RCC_APB2Periph_I2C2, ENABLE);

  /*
    PB10 (I²C2_SCL)
    PB11 (I²C2_SDA)
  */

    /* wstepne zerowanie konfiguracji I²C */
    I2C_DeInit(I2C2);

    /*  - tryb mastera
        - standardowa szybkosc transferu
        - zabezpieczenie szyny przed bledami ("zatrzasniecie" SDA lub SCL na stanie niskim)
        - zezwolenie na powtorzony start
    */
    I2C_Init(I2C2, I2C_CON_SLAVE_DISABLE  | I2C_CON_SPEED_STANDARD | I2C_CON_MASTER_MODE | I2C_CON_BUS_CLEAR_FEATURE_CTRL | I2C_CON_RESTART_EN);

    /* ustawienie adresu slave'a */
    I2C_TargetAddressConfig(I2C2, 0x18);

    /* parametry timingow linii SDA i SCL */

    /* tHIGH = (280 + FS_SPKLEN + 7) / 72 MHz = 4 us */
    I2C2->SS_SCL_HCNT = 280;

    /* tLOW = (339 + 1) / 72 MHz = 4,708 us */
    I2C2->SS_SCL_LCNT = 339;

    /* tSP = 3 / 72 MHz = 41,67 ns */
    I2C2->FS_SPKLEN = 3;

    /* tSU;DAT = 18 / 72 MHz = 250 ns */
    I2C2->SDA_SETUP = 18;

    /* tHD;DAT = 22 / 72 MHz = 302,08 ns */
    I2C2->SDA_HOLD = 22;

    /* I²C SCL Stuck at Low Timeout = 720000 / 72 MHz = 10 ms */
    I2C2->SCL_STUCK_AT_LOW_TIMEOUT = 720000;

}
```

Listing 5. Procedura inicjalizacji interfejsu I²C

Warto zwrócić uwagę, że tym razem wybieramy tryb wyjścia jako OD (otwarty dren), NOPULL (brak wewnętrznych rezystorów podciągających) oraz SPEED_HIGH (wysoka dopuszczalna częstotliwość przełączania).

W tej samej funkcji initPeripherals() wywołujemy także procedurę inicjalizacji interfejsu I²C – `I2C_config()` – której ciało pokazano na **listingu 5**. Po włączeniu taktowania interfejsu I²C, w odpowiednim rejestrze RCC należy wykonać deinicjalizację tego bloku peryferyjnego, co pozwoli niejako wystartować od zera, a tym samym uniknąć potencjalnych problemów podczas konfiguracji. Zaraz w następnym kroku dokonujemy inicjalizacji interfejsu, stosując poniższe ustawienia:

- tryb: master I²C,
- szybkość transferu danych: standardowa (około 100 kHz),
- aktywne zabezpieczenie szyny przed błędami (o tej funkcji napiszemy więcej w dalszej części artykułu),
- zezwolenie na generowanie przez mastera sygnału powtórzonego startu.

Następnie ustalamy adres slave'a, który w przypadku czujnika MCP9808 (podłączonego w konfiguracji sprzętowej zastosowanej na naszej płytce ewaluacyjnej) ma wartość 0x18. Ostatnią czynnością jest ustawienie rejestrów odpowiedzialnych za timingi stosowane podczas komunikacji – kolejne linie kodu odpowiadają za parametry:

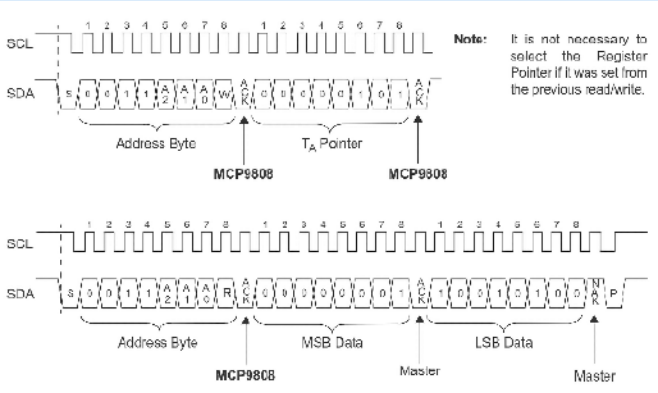
- *tHIGH* – czas trwania stanu wysokiego w sygnale SCL,
- *tLOW* – czas trwania stanu niskiego w sygnale SCL,
- *FS spike suppression limit* (FS_SPKLEN) – liczba cykli sygnału taktującego blok I²C odpowiadająca najdłuższemu impulsowi zakłócającemu, który zostanie stłumiony przez filtr cyfrowy,
- *SDA setup time* – czas, o jaki moment stabilizacji stanu na linii SDA ma wyprzedzać zbocze narastające sygnału na linii SCL,
- *SDA hold time* – czas, przez który prawidłowy stan logiczny sygnału na linii SDA ma być utrzymywany po zboczu opadającym na linii SCL,
- *SCL stuck at low timeout* – liczba cykli sygnału taktującego, po upłynięciu których kontroler I²C ma wygenerować przerwanie, jeżeli linia SCL pozostaje przez cały czas zablokowana (tj. panuje na niej stan niski).

Rysunek 3. Oscylogram prezentujący przebiegi uzyskane na linii SCL

Rysunek 4. Schemat blokowy algorytmu funkcji odzyskiwania kontroli nad szyną I²C

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0



Rysunek 5. Protokół komunikacji z czujnikiem MCP9808 w trybie odczytu rejestru temperatury (TA). Źródło: nota katalogowa MCP9808

Rzeczywiste przebiegi zarejestrowane na tak skonfigurowanej linii zegarowej można zobaczyć na oscylogramie pokazanym na **rysunku 3**.

Jak już wspomnieliśmy wcześniej, inżynierowie firmy Megawin odpowiedzialni za projektowanie procesorów przewidzieli dość rozbudowane opcje automatycznego uwalniania szyny po wystąpieniu na niej krytycznych błędów transmisji, objawiających się ściągnięciem linii SDA lub SCL do masy. Funkcja nazwana Bus Clear Feature (**rysunek 4**), jeżeli została aktywowana za pomocą maski `I2C_CON_BUS_CLEAR_FEATURE_CTRL` w parametrze wywołania funkcji `I2C_Init()`, samoczynnie monitoruje obydwie linie szyny I²C – i w razie potrzeby dokonuje resetu całego interfejsu.

Komunikacja z czujnikiem MCP9808

Uzbrojeni w najważniejsze informacje dotyczące konfiguracji I²C w trybie mastera, możemy przejść do opisu właściwej komunikacji z czujnikiem MCP9808. Na początek spójrzmy na **rysunek 5** pokazujący schematycznie przebiegi na liniach SCL i SDA podczas odczytu rejestru T_A. Dla ułatwienia nie będziemy zagłębiać się w tajniki konfiguracji i rozmaite funkcje dodatkowe sensora, skupimy się jednie na podstawowym odbiorze danych na temat zmierzonej temperatury. Po wysłaniu bajtu adresowego zakończonego bitem W (zapis) master powinien nadać adres rejestru, który w przypadku T_A ma wartość 0x05. Następnie master wystawia stan ponowionego startu i dokonuje standardowego odczytu dwóch bajtów danych w kolejności od MSB do LSB.

W rzeczywistym projekcie należałoby oddzielić obsługę samego czujnika od funkcji nadających i odbierających bajty do/z slave'a. Ponieważ jednak naszym celem jest poznanie samego mikrokontrolera, a nie pisanie uniwersalnego kodu o poziomie abstrakcji umożliwiającym jego przenoszenie pomiędzy różnymi platformami, to (wyjątkowo) całości odczytu dokonamy za pomocą pojedynczej funkcji `int16_t mcp9808_read_temp(void)`. Ciało tej funkcji pokazano na **listingu 6**.

Po uruchomieniu interfejsu i wyzerowaniu flag przerwań dokonujemy zapisu pierwszego bajtu danych – korzystamy tutaj z gotowej funkcji `I2C_WriteDataCmd()`, której pierwszym parametrem jest uchwyt używanego przez nas bloku peryferyjnego (w tym przypadku `I2C2`), zaś drugi to właściwe dane do przesłania. W kolejnej linii znów stosujemy tę samą funkcję, tym razem jednak jej parametrem jest z góry ustalona przez producenta komenda – `I2C_DATA_CMD_READ`. Zaraz, zaraz… czy na pewno wszystko jest tutaj w porządku? W większości innych mikrokontrolerów rejestr danych służy wyłącznie do realizacji zapisu, odczytu lub obydwu tych funkcji, ale nie do sterowania przepływem przez generowanie stanów „specjalnych" na linii I²C…

Istotnie – rozwiązanie zastosowane przez inżynierów firmy Megawin nie należy wprawdzie do najbardziej intuicyjnych, ale w gruncie rzeczy okazuje się całkiem wygodne w użyciu. Aby dokładnie zrozumieć sposób odróżniania właściwych danych od komend sterujących, należy zajrzeć do pliku mg32f10x.h, w którym zdefiniowano komendy pokazane na **listingu 7**. Pod poszczególnymi makrami kryją się bowiem pojedyncze bity, ale przesunięte o 8, 9, 10 lub 11 miejsc w lewo. Parametr wywołania funkcji `I2C_WriteDataCmd()` jest 16-bitowy – dane umieszczone w 8 najmłodszych bitach są zatem interpretowane jako bajt do wysłania, zaś gdy interfejs znajdzie

```
int16_t mcp9808_read_temp(void){

    uint32_t err = 0;
    uint8_t raw[2];

    /* uruchomienie interfejsu I²C */
    I²C_Cmd(I²C2, ENABLE);

    /* zerowanie flag przerwan */
    I²C_ClearITPendingBit(I²C2, 0xFFFF);

    /* adres rejestru temperatury (TA) */
    I²C_WriteDataCmd(I²C2, 0x05);


    /* przejscie w tryb odczytu */
    I²C_WriteDataCmd(I²C2, I²C_DATA_CMD_READ);

    /* oczekiwanie na gotowosc */
    while(  (I²C_GetFlagStatus(I²C2, I²C_FLAG_RFNE) == RESET) &&
            (I²C_GetRawITStatus(I²C2, I²C_IT_TX_ABRT) == RESET) &&
            (I²C_GetRawITStatus(I²C2, I²C_IT_SCL_STUCK_AT_LOW) == RESET));

    /* odczyt bajtu danych (MSB) */
    raw[0] = I²C_ReadData(I²C2);


    /* po drugim odczycie ma byc wyslany sygnal stopu */
    I²C_WriteDataCmd(I²C2, I²C_DATA_CMD_READ | I²C_DATA_CMD_STOP);

    /* oczekiwanie na gotowosc */
    while(  (I²C_GetFlagStatus(I²C2, I²C_FLAG_RFNE) == RESET) &&
            (I²C_GetRawITStatus(I²C2, I²C_IT_TX_ABRT) == RESET) &&
            (I²C_GetRawITStatus(I²C2, I²C_IT_SCL_STUCK_AT_LOW) == RESET));

    /* odczyt bajtu danych (LSB) */
    raw[1] = I²C_ReadData(I²C2);


    /* oczekiwanie na gotowosc */
    while(  (I²C_GetFlagStatus(I²C2, I²C_FLAG_TFE) == RESET) &&
            (I²C_GetRawITStatus(I²C2, I²C_IT_TX_ABRT) == RESET) &&
            (I²C_GetRawITStatus(I²C2, I²C_IT_SCL_STUCK_AT_LOW) == RESET));

    /* oczekiwanie na zakonczenie pracy maszyny stanow mastera */
    while(I²C_GetFlagStatus(I²C2, I²C_FLAG_MST_ACTIVITY) != RESET);

    /* sprawdzenie flag ewentualnych bledow nadawania */
    if(I²C_GetRawITStatus(I²C2, I²C_IT_TX_ABRT) != RESET) {

        /* zwrocenie informacji o przyczynie bledu nadawania */
        err = I²C_GetTxAbortSource(I²C2);

        /* zerowanie flagi przerwania od bledu nadawania */
        I²C_ClearITPendingBit(I²C2, I²C_IT_TX_ABRT);
    }

    else if(I²C_GetRawITStatus(I²C2, I²C_IT_SCL_STUCK_AT_LOW) != RESET) {

        /* arbitralnie przyjeta wartosc bledu oznaczajaca blokade SCL stanem niskim */
        err = 0xFFFFFFFF;

        /* zerowanie flagi przerwania od bledu zegara */
        I²C_ClearITPendingBit(I²C2, I²C_IT_SCL_STUCK_AT_LOW);
    }


    I²C_Cmd(I²C2, DISABLE);

    /* zwrocenie arbitralnie przyjetej wartosci oznaczajacej blad odczytu */
    if(err) return 9999;

    /* przeliczenie wartosci wyjsciowej na temperature w [*C]x100 */
    raw[0] &= 0x1F;
    return ((raw[0] * 1600) + (raw[1]*100 / 16));
}
```

Listing 6. Funkcja odczytu danych ze scalonego czujnika temperatury MCP9808

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0

```
/*****************************    Bit definition for I²C_DATA_CMD register    ******************************/
#define I²C_DATA_CMD_DAT_Msk            (0xFFU)          /*!< DAT field mask bit */

#define I²C_DATA_CMD_READ               (0x1U << 8)      /*!< This bit controls whether a read or a write is performed */
#define I²C_DATA_CMD_STOP               (0x1U << 9)      /*!< This bit controls whether a STOP is issued after the byte
                                                         is sent or received */
#define I²C_DATA_CMD_RESTART            (0x1U << 10)     /*!< This bit controls whether a RESTART is issued before the byte
                                                         is sent or received */
#define I²C_DATA_CMD_FIRST_DATA_BYTE    (0x1U << 11)     /*!< Indicates the first data byte received after the address phase
                                                         for receive transfer in Master receiver or Slave receiver mode */
```

Listing 7. Fragment pliku mg32f10x.h zawierający definicje komend interfejsu I²C

ustawiony jeden z bitów 8...11, to zostanie wykonana odpowiednia komenda. Takie rozwiązanie okazuje się szczególnie wygodne podczas odbierania wielu bajtów – po dokonaniu ostatniego odczytu wystarczy maskę `I2C_DATA_CMD_READ` połączyć z `I2C_DATA_CMD_STOP`, z czego korzystamy zresztą w kolejnej linii kodu po wywołaniu funkcji `I2C_ReadData()`. Jak widać na listingu 6, po wywołaniach komend odczytu następują okresy oczekiwania, realizowane metodą standardową (najprostszą) – tj. jako polling w pętli `while()`. Rzecz jasna takie rozwiązanie ma ograniczoną stosowalność i w praktyce powinno zostać zastąpione obsługą za pomocą przerwań, a najlepiej także DMA – zainteresowanych Czytelników zachęcamy do zapoznania się z materiałami producenta, które zawierają przykładowe programy korzystające z różnych scenariuszy użycia interfejsu I²C (a także wszystkich pozostałych peryferiów mikrokontrolera).

Po wykonaniu wszystkich opisanych powyżej operacji następuje jeszcze kilka testów. Gdy maszyna stanów mastera zakończy pracę (o czym świadczy wyzerowanie flagi `I2C_FLAG_MST_ACTIVITY`), warto sprawdzić, czy nie wystąpiły jakieś błędy nadawania – w tym celu odpytujemy flagę `I2C_IT_TX_ABRT` i (w razie jej ustawienia) pobieramy informację o przyczynie błędu, korzystając z funkcji `I2C_GetTxAbortSource()`. Lista potencjalnych błędów jest naprawdę długa – inżynierowie marki Megawin stanęli na wysokości zadania i przewidzieli wiele scenariuszy, które opisano na stronach 402 i 403 dokumentacji mikrokontrolera. Niezależnie od przyczyny ewentualnego błędu, po odczycie informacji diagnostycznych należy wyzerować flagę `I2C_IT_TX_ABRT`. Drugi blok `else if {}` pozwala na obsłużenie flagi odpowiadającej za zatrzaśnięcie linii SCL w stanie niskim (flaga `I2C_IT_SCL_STUCK_AT_LOW`).

Ostatnie operacje zamieszczone w ciele funkcji `mcp9808_read_temp()` mają za zadanie wyłączyć blok I²C oraz przeliczyć wartość wyjściową czujnika temperatury na odczyt wyrażony w stopniach Celsjusza (a dokładniej w jego setnych częściach, co znakomicie ułatwia późniejsze przesłanie wyniku do wyświetlacza LED). Dla uproszczenia zastosowano funkcję przeliczenia wyniku poprawną jedynie przy temperaturach nieujemnych, gdyż w gruncie rzeczy mało prawdopodobne, by płytka ewaluacyjna miała w trakcie nauki programowania znaleźć się w warunkach arktycznych – jeżeli jednak miałoby się tak zdarzyć, zainteresowanych Czytelników odsyłamy do noty katalogowej czujnika MCP9808, w której na stronie 25 znajduje się stosowny wzór odpowiedni do temperatur ujemnych.

Podsumowanie

W kolejnym odcinku naszego kursu omówiliśmy w telegraficznym skrócie obsługę przetwornika ADC, przerwań od timera SysTick oraz interfejsu I²C. Za miesiąc, w ostatniej już części cyklu, przyjrzymy się m.in. interfejsowi UART oraz wbudowanemu w mikrokontroler zegarowi czasu rzeczywistego (RTC).

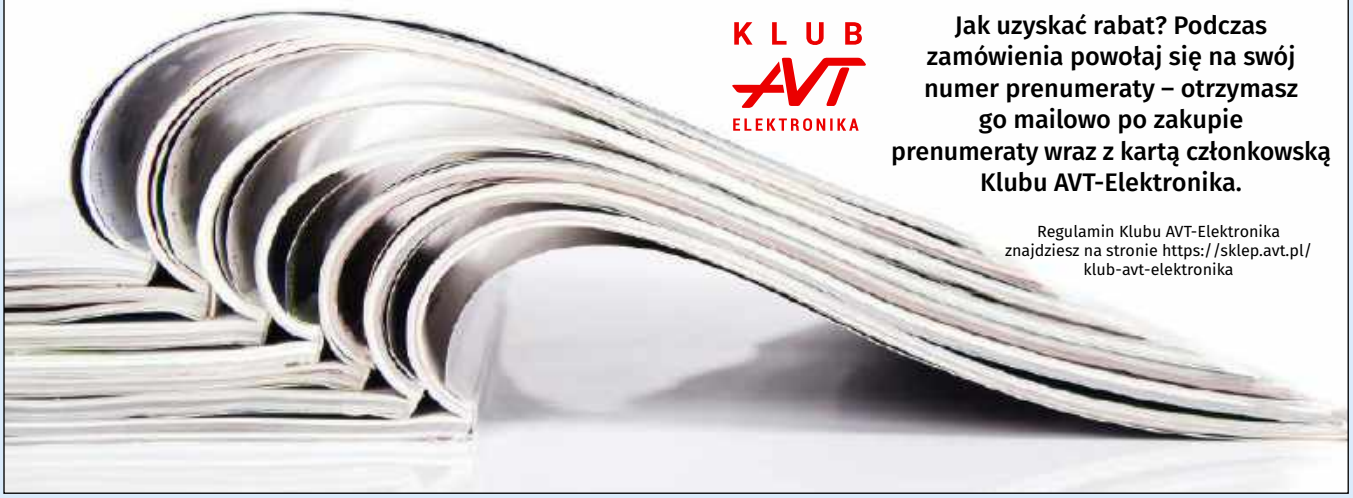
inż. Przemysław Musz, EP

REKLAMA

UWAGA! Tylko prenumeratorzy czasopism „Elektronika dla Wszystkich", „Elektronika Praktyczna", „Świat Radio" oraz „Elektronik" mogą korzystać z atrakcyjnych rabatów w Sklepie AVT:

- ✓ do 50% na wydania specjalne czasopism Wydawnictwa AVT
- ✓ 20% na kity w wersji A (płytki drukowane do projektów AVT)
- ✓ 10% na pozostałe wersje kitów: (A+, B, C, D)
- ✓ 10% na książki
- ✓ 5% na pozostałe produkty z oferty sklepu

Ponadto każdy prenumerator ww. czasopism korzysta z rabatów od 30% do 50% na zakup czasopism z oferty www.UlubionyKiosk.pl



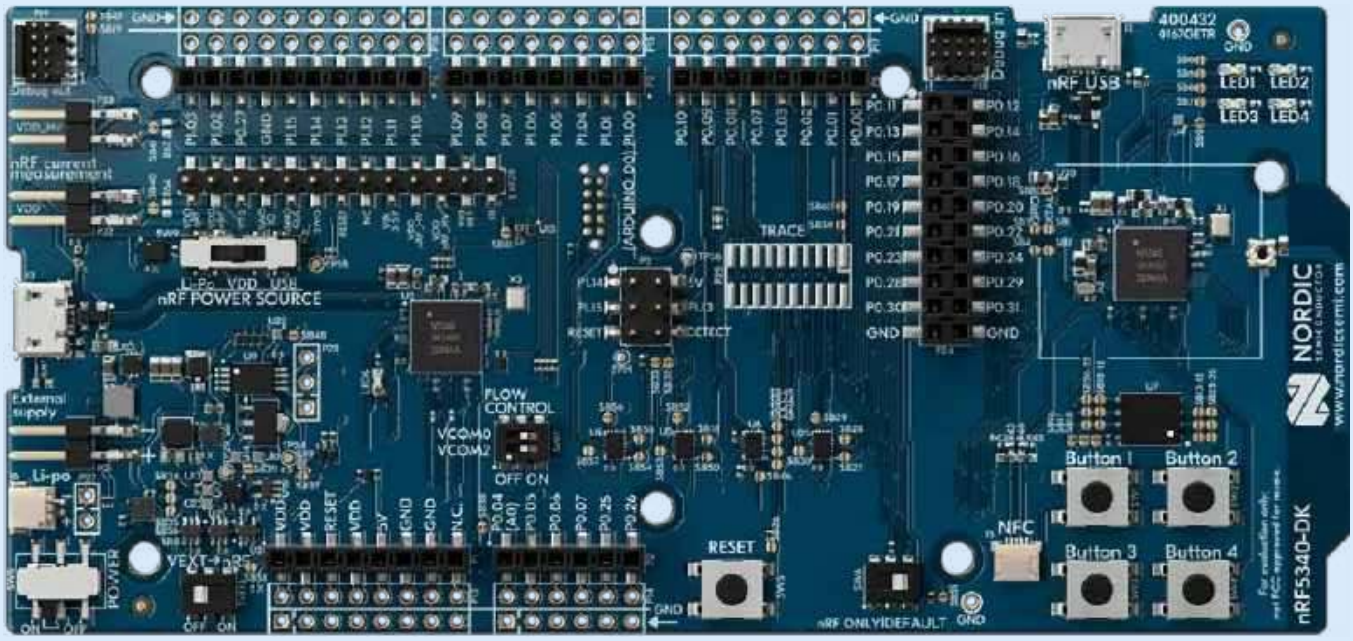
KLUB AVT ELEKTRONIKA

Jak uzyskać rabat? Podczas zamówienia powołaj się na swój numer prenumeraty – otrzymasz go mailowo po zakupie prenumeraty wraz z kartą członkowską Klubu AVT-Elektronika.

Regulamin Klubu AVT-Elektronika znajdziesz na stronie https://sklep.avt.pl/klub-avt-elektronika

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0



Kurs Nordic nRF z BT (1)

Setup środowiska

W pierwszej części naszego kursu programowania układów Nordic nRF pokażemy Ci, jak z sukcesem uruchomić Twoje pierwsze „Hello World" z migającą diodą LED – to pierwszy krok w świecie programowania systemów wbudowanych! Zanurzymy się w konfigurację środowiska z nRF Connect SDK i przyjrzymy się, co sprawia, że płyta deweloperska nRF5340 DK jest tak wszechstronna. Przygotuj się na ekscytującą podróż przez konfigurację, programowanie oraz testowanie, które otworzą przed Tobą nowe możliwości w technologii Bluetooth Low Energy i systemie Zephyr.

Wstęp

Od czego zaczyna się każdy kurs programowania w dowolnym języku? Tradycyjnie pierwszym etapem nauki jest napisanie i uruchomienie programu Hello World, wyświetlającego wiadomość powitalną w konsoli. To pozornie łatwe zadanie okazuje się bardzo cennym doświadczeniem z punktu widzenia programistów. Sukces (na tym etapie) oznacza nie tylko poprawne wykonanie instrukcji, ale przede wszystkim udaną konfigurację środowiska i przygotowanie do wdrażania coraz bardziej skomplikowanych zagadnień.

W obszarze systemów wbudowanych (embedded) ta tradycja również obowiązuje, jednak przybiera nieco inną formę. Wyświetlenie fragmentu tekstu zastępowane jest przez miganie diodą LED. Wykonując ten nieskomplikowany program, zyskujemy jeszcze więcej informacji, niż w przypadku jego klasycznej wersji. Oprócz sprawdzenia środowiska programistycznego, weryfikujemy również, czy nasz podstawowy „kawałek" sprzętu działa zgodnie z oczekiwaniami. Ponadto testujemy sprawność interfejsu komunikacyjnego, czyli posiadanego programatora/debuggera.

Uruchomienie Hello World z migającą diodą będzie naszym głównym celem w niniejszym artykule, którym rozpoczynamy kurs programowania układów Nordic nRF5340. W kolejnych częściach serii będziemy przybliżać coraz bardziej zaawansowane zagadnienia. Zaprezentujemy między innymi różne aspekty systemu operacyjnego Zephyr, a także postaramy się uruchomić kilka projektów korzystających z komunikacji Bluetooth Low Energy (BLE).

Platforma sprzętowa

Zacznijmy od garści informacji o układzie nRF5340. Producent prezentuje go jako pierwszy na świecie bezprzewodowy SoC (system-on-chip) z dwoma procesorami Arm Cortex-M33. Wśród cech produktu wymieniane są między innymi Bluetooth 5.4, HS-SPI, QSPI, USB oraz NFC. Procesor aplikacyjny ma 1 MB pamięci Flash i 512 KB RAM oraz jest w stanie działać z częstotliwością do 128 MHz.

W naszym kursie będziemy korzystać z zestawu deweloperskiego nRF5340 DK[1]. Ze względu na pełne wsparcie tej płytki, możemy szybko uruchomić na niej wiele gotowych przykładów. Posiadacze własnych PCB z układem nRF5340 – lub innym wspieranym przez Zephyra – mogą napotkać pewne trudności przy pierwszym uruchomieniu. Dlatego w dalszej części pokażemy też, jak dodać wsparcie nowej płytki.

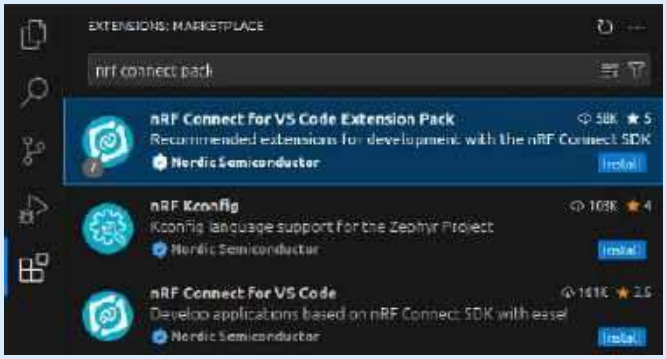
Platforma nRF5340 DK wyposażona została w debugger SEGGER J-Link, co ułatwi nam rozpoczęcie programowania. W zestawie dodatkowych peryferiów znajdują się między innymi: zewnętrzna pamięć Flash, 4 przyciski, port USB, elementy do sterowania zasilaniem oraz GPIO, wyprowadzone na kilku złączach. Płytka wyposażona jest również w 4 LED-y – mamy więc wszystko, czego potrzebujemy do uruchamiania pierwszych programów.

Przygotowanie środowiska

Podstawowym składnikiem naszego środowiska programistycznego będzie nRF Connect SDK [2]. Jest to pakiet oprogramowania,

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0



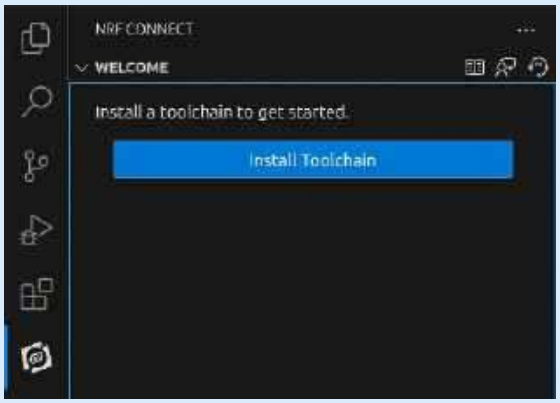
Rysunek 1. *nRF Connect for VS Code Extension Pack* w widoku *Extensions*

pozwalającego budować aplikacje do bezprzewodowych urządzeń opartych na układach nRF52, nRF53, nRF70 i nRF91 – zintegrowany z systemem Zephyr i zawierający wiele gotowych przykładów, sterowników oraz bibliotek.

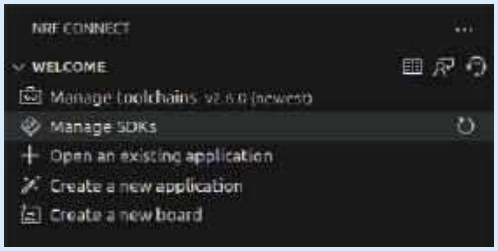
Zgodnie z zaleceniami producenta wybieramy instalację korzystającą z Visual Studio Code wraz z dedykowanym rozszerzeniem. Jedną z zalet tej ścieżki jest jej niezależność od używanego systemu operacyjnego. Istnieje alternatywna opcja budowania środowiska bez edytora, oparta jedynie na linii poleceń, jednak tę drogę rekomendujemy bardziej zaawansowanym użytkownikom [3].

Tworząc zalecane środowisko, instalujemy kolejno następujące oprogramowanie:

1. Narzędzia nRF Command Line Tools [4]. W zależności od systemu operacyjnego, załączone oprogramowanie SEGGER J-Link może wymagać dodatkowych kroków w czasie instalacji.
2. System kontroli wersji Git [5].
3. Edytor Visual Studio Code [6].
4. Rozszerzenie nRF Connect for VS Code Extension Pack [7]. Całą paczkę znajdziemy, wyszukując jej nazwę w widoku *Extensions*, który wybieramy, klikając jego ikonę na pasku aktywności *Activity Bar*, domyślnie znajdującym się po lewej stronie okna VS Code (**rysunek 1**).
5. Pakiet narzędzi nRF Connect SDK. Wybieramy na pasku aktywności widok naszego świeżo zainstalowanego rozszerzenia. Powinniśmy zobaczyć sekcję *WELCOME* z przyciskiem *Install Toolchain* (**rysunek 2**) – należy kliknąć go, a następnie wskazać wersję, która zostanie zainstalowana. W kursie będziemy korzystali z wersji v2.6.0.
6. Baza kodu nRF Connect SDK. Teraz, zamiast przycisku *Install Toolchain*, w sekcji *WELCOME* powinniśmy zobaczyć listę kilku opcji (**rysunek 3**). Jedną z nich będzie *Manage SDKs* – należy je kliknąć, a następnie wskazać wersję, która zostanie zainstalowana. W kursie będziemy korzystali z wersji v2.6.0.



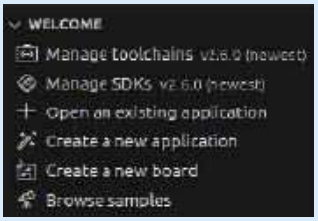
Rysunek 2. Widok *nRF Connect* po zainstalowaniu rozszerzenia w VS Code



Rysunek 3. Sekcja *WELCOME* w widoku *nRF Connect* po zainstalowaniu toolchaina

Jeżeli wszystko przebiegło pomyślnie, przy polu *Manage SDKs* zobaczymy wersję zainstalowanego oprogramowania (**rysunek 4**).

W tym momencie mamy wstępnie skonfigurowane środowisko i możemy przejść do tworzenia nowego projektu.



Rysunek 4. Sekcja *WELCOME* po zainstalowaniu

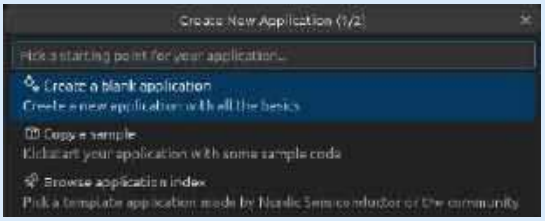
Pierwszy program

Zaczynamy od utworzenia nowej aplikacji – klikamy *Create a new application* w sekcji *WELCOME*. Wyświetlona zostanie lista, z której wybieramy *Create a blank application* (**rysunek 5**).

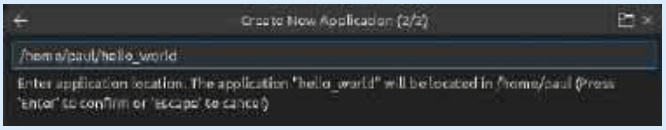
Następnie podajemy ścieżkę do aplikacji wraz z jej nazwą (**rysunek 6**). W naszym przypadku będzie to *hello_world*.

Projekt został utworzony, a w widoku *Explorer* powinniśmy zobaczyć kilka nowych plików. Jednym z nich jest *.gitignore* (**rysunek 7**), co wskazuje, że aplikacja utworzona została jako repozytorium Git.

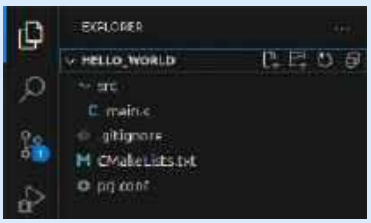
Ponieważ system budowania oparty został o CMake [8], wśród plików automatycznie dodanych do projektu natrafimy na *CMakeLists.txt*, którego zawartość prezentuje **listing 1.**



Rysunek 5. Okno *Create New Application* (1/2)



Rysunek 6. Okno *Create New Application* (2/2)



Rysunek 7. Projekt *hello_world* w widoku *Explorer*

```
cmake_minimum_required(VERSION 3.20.0)
find_package(Zephyr REQUIRED HINTS $ENV{ZEPHYR_BASE})
project(hello_world)

target_sources(app PRIVATE src/main.c)
```

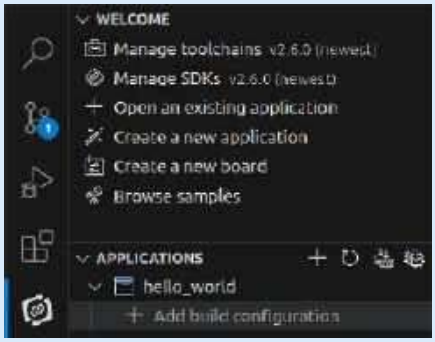
Listing 1. Plik CMakeLists.txt

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0

```
#include <zephyr/kernel.h>

int main(void)
{
return 0;
}
```

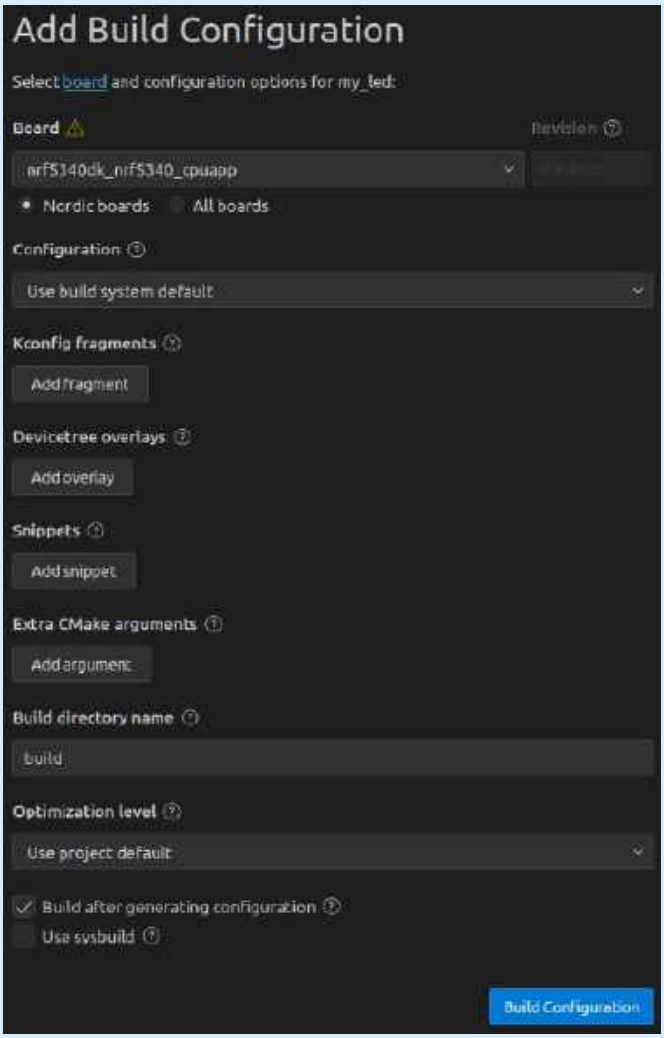
Listing 2. Plik main.c



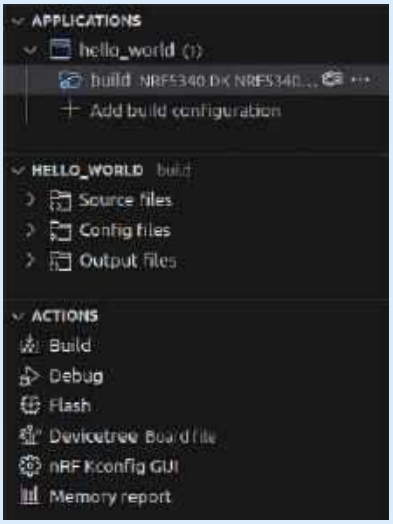
Rysunek 8. Sekcja *APPLICATIONS* w widoku *nRF Connect*

Warto zwrócić uwagę na fakt, że podczas załączania pakietu Zephyr (*find_package*) tworzy się również target o nazwie *app*, do którego dodawany jest następnie nasz plik źródłowy (*target_sources*).

W repozytorium dostępny jest również plik *prj.conf*, stanowiący fragment ustawień systemu Kconfig. Na razie pozostanie on pusty, gdyż nie będziemy zmieniać domyślnych opcji, jednak do tematu konfiguracji jeszcze wrócimy. W pliku *main.c*, znajdującym się w folderze *src*, znajdziemy kod widoczny na **listingu 2.**



Rysunek 9. Okno *Add Build Configuration*



Rysunek 10. Sekcje *HELLO_WORLD* i *ACTIONS* po dodaniu konfiguracji budowania

Nie wykonuje on wprawdzie żadnego szczególnego zadania, ale to nie przeszkodzi nam w jego zbudowaniu. W tym celu powinniśmy utworzyć nową konfigurację budowania aplikacji. W widoku *nRF Connect*, w sekcji *APPLICATIONS*, pod nazwą naszej świeżo utworzonej aplikacji klikamy *Add build configuration* (**rysunek 8**).

Pojawi się okno z wyborem różnych ustawień dotyczących budowania projektu (**rysunek 9**). W polu Board wybieramy konfigurację naszej płytki deweloperskiej, czyli *nrf5340dk_nrf5340_cpuapp*. Pozostałe opcje pozostawiamy domyślne, co oznacza między innymi, że pliki wynikowe trafią do folderu *build*. Klikamy przycisk *Build Configuration* – działanie takie, oprócz wygenerowania konfiguracji, spowoduje również zbudowanie aplikacji.

Pod nazwą aplikacji pojawiła się nasza nowa konfiguracja, a pod nią dwie nowe sekcje (**rysunek 10**).

Pierwsza z nich – czyli *HELLO_WORLD* – zawiera odnośniki do źródeł oraz wyników budowania. Z kolei sekcja *ACTIONS* pozwoli nam między innymi wgrać program na płytkę, jednak zanim przejdziemy do tego etapu, wprowadzimy zmiany potrzebne do prawidłowej pracy naszego Hello World.

Miganie diodą

Podmieniamy zawartość pliku *main.c* na kod odpowiedzialny za miganie diodą, widoczny na **listingu 3**.

Aby w pełni opisać powyższy kod, musielibyśmy teraz przybliżyć, czym są struktury *devicetree*. To temat, który zasługuje na głębszą analizę i zajmiemy się nim nieco później. W tej chwili ważne są tylko dwie informacje dotyczące obiektu *gpio_dt_spec led*:

- zawiera on wszystkie dane potrzebne do sterowania naszym LED-em, czyli: port, pin oraz dodatkowe flagi, które m.in. definiują stan aktywny,
- tworzony jest na podstawie node'a *led0* w *devicetree* i to tam są konfigurowane jego parametry.

Pozostały kod okazuje się już dość jednoznaczny. Na samym początku funkcji main sprawdzamy za pomocą *gpio_is_ready_dt*, czy port skojarzony z naszym pinem został odpowiednio zainicjalizowany. Następnie mamy funkcję *gpio_pin_configure_dt* do konfiguracji pinu. Ustawiamy pin jako wyjście, które początkowo będzie znajdować się w stanie aktywnym. Pętla *while* odpowiedzialna jest za cykliczne zmienianie stanu diody co jedną sekundę (użyta została tu funkcja *gpio_pin_toggle_dt* , która zmienia stan pinu na przeciwny).

Pora zbudować nasz nowy kod poprzez kliknięcie *Build* w sekcji *ACTIONS*. Zwróć uwagę na zakładkę *TERMINAL* w dolnej części okna VS Code, która pozwala na śledzenie procesu budowania

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0

```
#include <zephyr/kernel.h>
#include <zephyr/drivers/gpio.h>

static const struct gpio_dt_spec led = GPIO_DT_SPEC_GET(DT_NODELABEL(led0), gpios);

int main(void)
{
    if (!gpio_is_ready_dt(&led))
    {
    return 0;
    }

    gpio_pin_configure_dt(&led, GPIO_OUTPUT_ACTIVE);

    while (1)
    {
    gpio_pin_toggle_dt(&led);
    k_msleep(1000);
    }

    return 0;
}
```

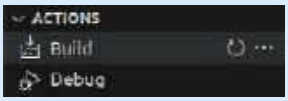
Listing 3. Implementacja migania diodą w pliku main.c

```
PROBLEMS   OUTPUT   DEBUG CONSOLE   TERMINAL   PORTS   NRF TERMINAL

 * Executing task: nRF Connect: Build: hello_world/build (active)

Building hello_world
west build --build-dir /home/paul/hello_world/build /home/paul/hello_world

[7/7] Linking C executable zephyr/zephyr.elf
Memory region         Used Size  Region Size  %age Used
           FLASH:       22972 B         1 MB      2.19%
             RAM:        6256 B       448 KB      1.36%
        IDT_LIST:           0 GB        32 KB      0.00%
 *  Terminal will be reused by tasks, press any key to close it.
```

Rysunek 11. Zakładka *TERMINAL* w VS Code po wykonaniu operacji *Build*

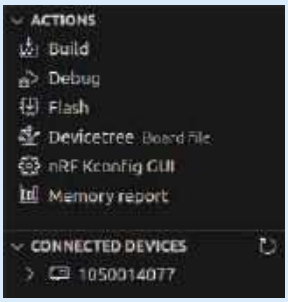
(**rysunek 11**). Widok z podsumowaniem zajętości pamięci przez aplikację najczęściej oznacza sukces.

Widzimy w terminalu, że proces budowania polegał na wykonaniu w linii poleceń komendy *west build*. Okazuje się, że wiele elementów graficznego interfejsu użytkownika tak naprawdę jedynie uruchamia narzędzie *west* z odpowiednimi argumentami, których szczegółowy opis znajdziemy w dokumentacji [9].



Rysunek 12. Dodatkowe opcje pola *Build* z sekcji *ACTIONS*

Warto zwrócić uwagę na jeszcze jedną cechę interfejsu graficznego. Jeśli przemieszczamy kursor nad daną opcją, często pojawiają się obok niej specjalne ikony, dzięki którym można wykonać szereg dodatkowych operacji. W przypadku opcji Build szczególnie interesująca okazuje się zapętlona strzałka (**rysunek 12**) – po kliknięciu wykona ona *Pristine Build*, czyli całkowite przebudowanie wszystkich plików projektu. Zalecamy używanie tej opcji, gdy dokonujesz jakichkolwiek modyfikacji związanych z konfiguracją aplikacji.



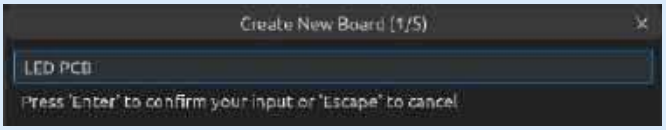
Rysunek 13. Sekcja *CONNECTED DEVICES* w widoku *nRF Connect*

Wgrywanie aplikacji

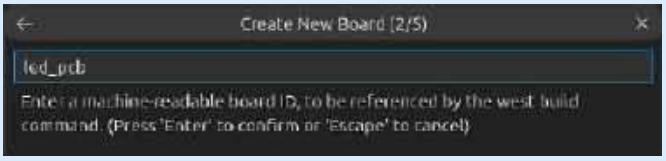
Pomyślne zbudowanie projektu oznacza, że w folderze *build/zephyr* pojawi się zestaw plików wynikowych, a wśród nich *zephyr.hex*, który będziemy wgrywać na płytkę. Najpierw podłączamy nRF5340 DK do komputera przez złącze Micro-USB znajdujące się na krótszej krawędzi płytki. Następnie otwieramy sekcję *CONNECTED DEVICES*, widniejącą poniżej *ACTIONS* (**rysunek 13**). Powinniśmy zobaczyć numer seryjny wbudowanego w płytkę J-Linka. Jeśli nie pojawił się od razu po podłączeniu, należy kliknąć zapętloną strzałkę po prawej stronie sekcji *CONNECTED DEVICES*.

Jeśli upewniliśmy się, że nRF Connect wykrywa naszą płytkę, pozostało jedynie kliknąć opcję Flash w sekcji *ACTIONS*. Podobnie jak w przypadku procesu budowania, również proces wgrywania możemy śledzić w terminalu (**rysunek 14**).

W tym momencie dioda podpisana na płytce jako LED1 powinna migać (na PCB diody numerowane są od 1 do 4, natomiast w kodzie indeksowane są od 0). Jeżeli chcielibyśmy wybrać inny LED, wystarczy zmienić identyfikator *led0* w *main.c* – w linii z definicją struktury *gpio_dt_spec* – na *led1*, *led2* lub *led3*. To, w jaki sposób odbywa się powiązanie naszego obiektu LED z konkretnym pinem, wyjaśni się, kiedy utworzymy własną konfigurację płytki.



Rysunek 15. Okno *Create New Board* (1/5)



Rysunek 16. Okno *Create New Board* (2/5)

Definicja nowej płytki

Załóżmy, że realizujemy własny projekt urządzenia wyposażonego w SoC nRF5340, w którym do każdego z czterech wybranych pinów mamy podpięty LED. Jeśli chcemy, by Zephyr był w stanie zbudować aplikację na tego typu płytkę, musimy w ściśle określony sposób go o tym poinformować [10]. W artykule co prawda wciąż korzystamy z naszego zestawu nRF5340 DK, ale bez przeszkód możemy symulować sytuację, w której *nRF Connect SDK* nie wie nic o tym zestawie.

Do realizacji naszych celów po raz kolejny użyjemy interfejsu graficznego. W sekcji *WELCOME* klikamy *Create a new board*. Pojawia się okno konfiguracji (**rysunek 15**), w którym zaczynamy od podania nazwy nowej płytki – w naszym przypadku będzie to *LED PCB*.

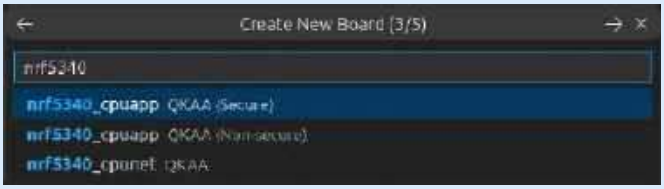
W kolejnym kroku podajemy identyfikator płytki (**rysunek 16**). Skorzystamy z automatycznie wygenerowanej nazwy *led_pcb*.

```
PROBLEMS   OUTPUT   DEBUG CONSOLE   TERMINAL   PORTS   NRF TERMINAL

 * Executing task: nRF Connect: Flash: hello_world/build (active)

Flashing build to 1050014077
west flash -d /home/paul/hello_world/build --skip-rebuild --dev-id 1050014077

-- west flash: using runner nrfjprog
-- runners.nrfjprog: reset after flashing requested
-- runners.nrfjprog: Flashing file: /home/paul/hello_world/build/zephyr/zephyr.hex
[ ################### ]   0.760s | Erase file   - Done erasing
[ ################### ]   0.178s | Program file - Done programming
[ ################### ]   0.155s | Verify file  - Done verifying
Applying pin reset.
-- runners.nrfjprog: Board with serial number 1050014077 flashed successfully.
 *  Terminal will be reused by tasks, press any key to close it.
```

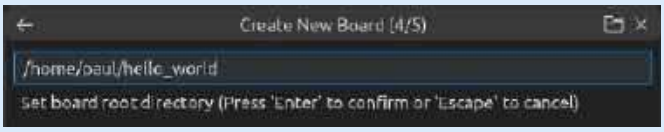
Rysunek 14. Informacje widoczne w terminalu po udanym wgrywaniu aplikacji

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie **https://ulubionykiosk.pl/media**

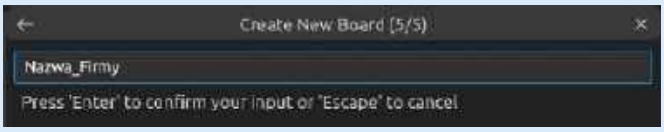
eprasa.pl 12486519d0



Rysunek 17. Okno *Create New Board* (3/5)



Rysunek 18. Okno *Create New Board* (4/5)



Rysunek 19. Okno *Create New Board* (5/5)

Następnie wyszukujemy nRF5340 i otrzymujemy listę trzech opcji do wyboru (**rysunek 17**). Wyjaśnijmy, jakie są między nimi różnice. Po pierwsze, określenia *Secure* i *Non-secure* dotyczą podziału zasobów na część bardziej i mniej zabezpieczoną. Tego tematu w tym momencie nie będziemy rozwijać, jednak zachęcamy do zapoznania się z dokumentacją [11].

Po drugie, nazwy *cpuapp* i *cpunet* oznaczają procesory *application* oraz *network*, z których składa się nRF5340. W tym miejscu konfiguracji mamy możliwość wyboru, na który z nich chcemy pisać kod. Do obszernego tematu tworzenia aplikacji na oba procesory wrócimy jeszcze w kolejnych artykułach. Na razie zostajemy przy opcji *nrf5340_cpuapp QKAA (Secure)*.

W kolejnym kroku wybieramy projekt, do którego dołączona zostanie nowa specyfikacja płytki (**rysunek 18**). Nasz *hello_world* powinien być tu widoczny od razu, możemy zatem przejść dalej.

Na koniec wpisujemy nazwę firmy, która wyprodukowała naszą płytkę (**rysunek 19**). Możemy wpisać tutaj dowolny ciąg znaków.

Efektem końcowym będzie zestaw plików utworzony w nowym katalogu boards (**rysunek 20**).

Znajdziemy w nim pliki obligatoryjne dla każdej płytki. Dotyczy to również wcześniej wybieranej *nrf5340dk_nrf5340_cpuapp* – podobny zestaw przeznaczony do niej znajdziemy w samym SDK, widocznym w systemie budowania.

Warto w pierwszej kolejności zajrzeć do *led_pcb.dts*. Skupimy się na początkowej części, pokazanej na **listingu 4**.

Rysunek 20. Pliki widoczne po utworzeniu konfiguracji nowej płytki

```
// Copyright (c) 2024 Nordic Semiconductor ASA
// SPDX-License-Identifier: Apache-2.0

/dts-v1/;
#include <nordic/nrf5340_cpuapp_qkaa.dtsi>

/{
model = "LED PCB";
compatible = "goodbyte,led-pcb";

chosen  {
    zephyr,sram = &sram0;
    zephyr,flash = &flash0;
    zephyr,code-partition = &slot0_partition;
    };
};
```

Listing 4. Początek pliku led_pcb.dts

Rysunek 21. Okno *Add Build Configuration* dla nowej płytki LED PCB

Rysunek 22. Sekcja *APPLICATIONS* po dodaniu drugiej konfiguracji budowania

Plik rozpoczyna się od określenia wersji składni, w której został napisany (*/dts-v1/;*). Następnie załączamy plik *nordic/nrf5340_cpuapp_qkaa.dtsi*, opisujący nasz procesor. W *devicetree* pliki z rozszerzeniem *dtsi* zawierają definicje dostępnego sprzętu. Warto zapamiętać, że domyślnie każdy node jest wyłączony, więc wymaga odblokowania, by można było go używać.

W linii 7 zaczyna się definicja głównego node'a. Właściwość *model* zawiera opis płytki, natomiast klucz *compatible* jest specjalną właściwością, decydującą o tym, czym jest dany node. Nie będziemy tutaj wchodzić w szczegóły bindingów, niemniej chętnych Czytelników odsyłamy do lektury dokumentacji [12].

Przejdźmy teraz do plików *Kconfig*:

- *Kconfig.board* – daje możliwość zdefiniowania własnych ustawień naszej płytki.
- *Kconfig.defconfig* – służy do ustawiania nowych wartości różnych opcji konfiguracyjnych płytki.
- *led_pcb_defconfig* – zawiera domyślną konfiguracje *Kconfig* danej płytki. Opcje tutaj wybrane mogą ulec nadpisaniu w projektowym pliku *prj.conf* – zwyczajowo umieszcza się tutaj konfiguracje zawsze prawdziwe dla naszej płytki.

Całości specyfikacji płytki dopełnia plik *board.cmake* – znajdują się w nim ustawienia flashowania i debugowania. Nie musimy tutaj nic modyfikować, gdyż domyślna konfiguracja uwzględnia używane przez nas narzędzia nrfjprog oraz J-Link.

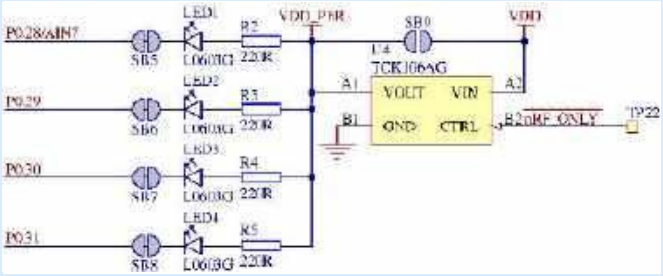
Dodajmy teraz konfigurację budowania dla naszej nowej płytki. Robimy to analogicznie jak wcześniej, przy czym tym razem w polu *Board* wybieramy *led_pcb* (**rysunek 21**).

```
/ {
    leds
    {
    compatible = "gpio-leds";
    led0: led_0 {
        gpios = <&gpio0 28 GPIO_ACTIVE_LOW>;
        label = "Green LED 0";
        };
    led1: led_1 {
        gpios = <&gpio0 29 GPIO_ACTIVE_LOW>;
        label = "Green LED 1";
    };
    led2: led_2 {
        gpios = <&gpio0 30 GPIO_ACTIVE_LOW>;
        label = "Green LED 2";
    };
    led3: led_3 {
        gpios = <&gpio0 31 GPIO_ACTIVE_LOW>;
        label = "Green LED 3";
    };
    };
};

&gpiote {
    status = "okay";
    };

&gpio0 {
    status = "okay";
    };
```

Listing 5. Kod dodawany do pliku led_pcb.dts

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0



Rysunek 23. Schemat połączeń LED [13]

```
gpio0: gpio@50000000
    {
    compatible = "nordic,nrf-gpio";
    gpio-controller;
    reg = <0x50000000 0x1000>;
    #gpio-cells = <2>;
    status = "disabled";
    port = <0>;
    gpiote-instance = <&gpiote>;
    };
```

Listing 6. Fragment pliku nrf5340_cpuapp.dtsi definiujący node gpio0

Od teraz w sekcji *APPLICATIONS* mamy do wyboru dwie konfiguracje budowania naszej aplikacji (**rysunek 22**). Nowa domyślna nazwa folderu z plikami wynikowymi to *build_1*.

Niestety, tym razem próba zbudowania projektu nie ma szans powodzenia. W pliku *main.c* używamy wyjścia LED, które w kontekście naszej nowej płytki jeszcze w ogóle nie istnieje. Z tego względu musimy wykonać kilka modyfikacji. Zaczniemy od pliku *led_pcb.dts*, do którego dopisujemy na końcu kod widoczny na **listingu 5**.

Każdy node diody jest „kompatybilny" z ogólnym urządzeniem *gpio-leds*. To oznacza, że może zawierać takie pola, jak *gpios* oraz *label*. Tylko pierwsze z nich jest wymagane i zawiera informacje o pinie skojarzonym z daną diodą. Wpisana konfiguracja wynika bezpośrednio ze schematu połączeń na naszej płytce (**rysunek 23**). Przykładowo możemy odczytać, że LED2 (indeks 1) zaświeci się, kiedy na P0.29 (port 0, pin 29) pojawi się stan niski.

W tym momencie warto zaznaczyć, że wpisane w identyfikatory *led_0, led_1, led_2 i led_3* to nazwy nowego node'em (*node name*). Z kolei *led1* czy *led3* to etykiety node'a (*node label*), za pomocą których możemy się do niego odnosić w kodzie C/C++ lub w samym *devicetree*.

Kolejnym krokiem jest dodanie do pliku *prj.conf* linii *CONFIG_GPIO=y*. Dzięki temu moduł GPIO zostaje dołączony do kompilacji. Jednak dlaczego wcześniej dla płytki *nrf5340dk_nrf5340_cpuapp* (*build*) tej opcji nie dodawaliśmy? Okazuje się, że Nordic – w domyślnej konfiguracji swojej płytki nRF5340 DK – już tę opcję włączył, a możemy się o tym przekonać zaglądając do pliku *nrf5340dk_nrf5340_cpuapp_defconfig* (znajdziemy go w SDK).

Poza głównym node'em/włączamy dodatkowe peryferia *gpio0* oraz *gpiote*, zmieniając ich status na *okay*. Skąd wzięliśmy informacje o tym, co należy odblokować? Wiemy, że nasza dioda korzysta z *gpio0*, a w *nrf5340_cpuapp.dtsi*, który jest pośrednio załączany do naszego pliku *.dts*, znajduje się node pokazany na **listingu 6**.

Możemy zauważyć, że status ma domyślną wartość *disabled*, więc – bez naszej modyfikacji w pliku *led_pcb.dts* – peryferium nie zostałoby poprawnie zainicjalizowane. To samo dotyczy node'a *gpiote* skojarzonego z *gpio0* .

Mając tak skonfigurowaną płytkę, możemy zbudować nasz projekt i ponownie wykonać operację wgrywania kodu maszynowego do pamięci Flash. Zwróć uwagę, że wcześniej budowaliśmy ten sam kod źródłowy na inną płytkę niż teraz, a plik *main.c* od tego czasu w ogóle się nie zmienił. To się nazywa przenośność!

Jeżeli napotkasz problemy na etapie konfiguracji, poniżej znajdziesz kilka ścieżek, do których warto zajrzeć.

- *build_1/zephyr/zephyr.dts* – finalny opis naszego sprzętu, biorący pod uwagę wszystko, z czego skorzystaliśmy oraz co nadpisaliśmy z domyślnych ustawień w plikach *.dtsi*,
- *build_1/zephyr/include/generated/devicetree_generate.h* – nagłówek, który powstaje na podstawie pliku *zephyr.dts* i który w naszym przypadku jest pośrednio dołączany do *main.c* przez *zephyr/drivers/gpio.h*,
- *build_1/zephyr/.config* – wszystkie dostępne opcje *Kconfig* wraz z informacją, czy zostały ustawione oraz jakie są ich ewentualne wartości.

Podsumowanie

W artykule pokazaliśmy, jak w kilku krokach można rozpocząć przygodę z programowaniem układu nRF5340. Opisaliśmy, jak to zrobić, mając zarówno oficjalnie wspieraną płytkę, jak i sprzęt w całości zaprojektowany oraz wykonany przez nas. Jak nietrudno zauważyć, więcej czasu na początku projektu spędzamy w części konfiguracyjnej, niż pisząc kod. Wiedza o tym, gdzie i jakie opcje należy wybrać w danym projekcie, jest kluczowa do skorzystania z pełnego potencjału systemu Zephyr.

Krzysztof Kierys
Paweł Jachimowski

Odnośniki w tekście:

1. https://tiny.pl/dcjs2
2. https://tiny.pl/dcjs8
3. https://tiny.pl/dcjss
4. https://tiny.pl/dcjs6
5. https://git-scm.com/downloads
6. https://code.visualstudio.com/download
7. https://tiny.pl/dcjsv
8. https://cmake.org/about/
9. https://docs.zephyrproject.org/latest/develop/west/index.html
10. https://tiny.pl/dcjsb
11. https://docs.zephyrproject.org/latest/services/tfm/overview.html
12. https://docs.zephyrproject.org/latest/build/dts/bindings.html
13. https://tiny.pl/dcjsz

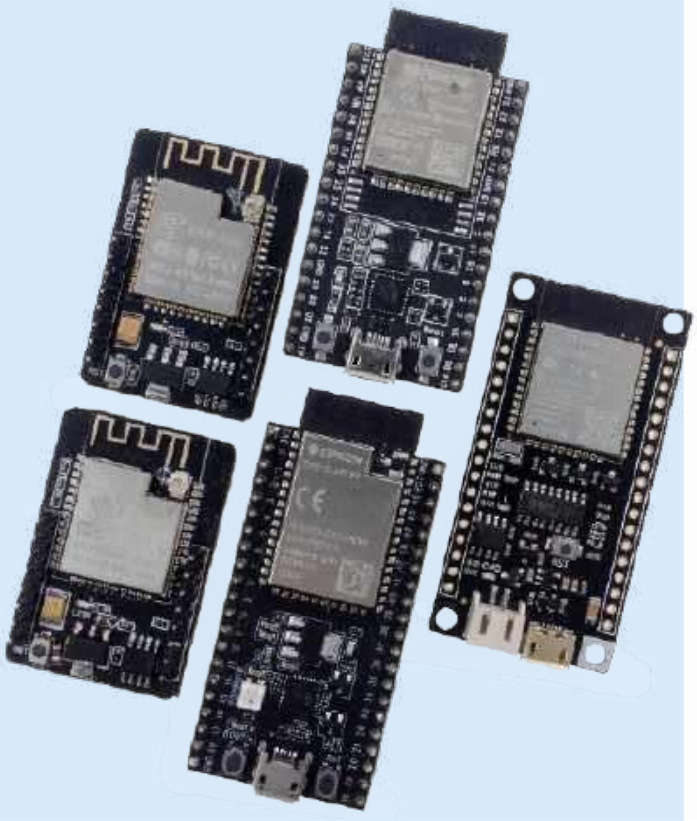
REKLAMA

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0

Programowanie modułów ESP32 w środowisku ESP-IDF (1)

Podczas gdy większość użytkowników układów i modułów ESP32 firmy Espressif korzysta ze środowiska Arduino, prawdziwy potencjał popularnych modułów Wi-Fi/Bluetooth pozostaje niejako w ukryciu. Niniejszy artykuł otwiera kurs programowania ESP32 w oficjalnym środowisku producenta – ESP-IDF – umożliwiającym skorzystanie w pełni z możliwości drzemiących w niedrogich i niezwykle uniwersalnych transceiverach IoT.



Układy i moduły serii ESP32, opatrzone charakterystycznym logotypem (**rysunek 1**), produkuje chińska firma ESPRESSIF z siedzibą w Szanghaju. Są one następcami niedrogiego układu ESP8266, łączącego w jednej strukturze mikrokontroler oraz obwody do komunikacji za pośrednictwem Wi-Fi. ESP32 przystosowany jest – oprócz łączności Wi-Fi – także do porozumiewania się z otoczeniem poprzez protokół Bluetooth, jego procesor może być 2-rdzeniowy, a do wybranych wersji układu można podłączyć pseudostatyczną pamięć RAM o pojemności do 8 MB. Oprócz tego układ jest wewnętrznie taktowany szybszym zegarem – w niektórych wersjach nawet 240 MHz, obsługuje także kilka trybów oszczędzania energii.

ESPRESSIF

Rysunek 1.

Moduły z ESP32 konkurują technicznie i cenowo z takimi konstrukcjami, jak Raspberry Pi Pico, STM32Nucleo czy Arduino.

ESP32 – dostępne wersje

Od czasu pojawienia się pierwszego ESP32 rodzina kontrolerów znacznie się rozrosła. Pojawiły się nowe serie jak ESP32-S czy ESP32-C z rozmaitymi wariantami w obrębie poszczególnych rodzin. W **tabeli 1**, na przykładzie wybranych wersji, pokazano niektóre z różnic pomiędzy nimi.

Do zastosowań małoseryjnych lub hobbystycznych wybiera się – zamiast kontrolerów – moduły, czyli małe płytki, na których pod metalowym ekranem jest wlutowany transceiver, oscylator kwarcowy i niezbędne elementy dodatkowe, takie jak pojemności odsprzęgające linie zasilania. Na krawędzie modułu wyprowadzone są podłączenia do dostępnych portów, a także linie zasilania i resetu. Na płytce może znajdować się ścieżka pełniąca funkcję anteny Wi-Fi i Bluetooth lub miniaturowe gniazdo do podłączenia zewnętrznej anteny. Do programowania takiego modułu potrzebny jest zewnętrzny konwerter USB-UART, pracujący z sygnałami TxD i RxD o poziomach 0...3,3 V. Wyprowadzenie TxD konwertera powinno być połączone z wyprowadzeniem RxD modułu, a wyprowadzenie RxD konwertera łączy się z wyprowadzeniem TxD modułu. Dodatkowo należy połączyć ze sobą wyprowadzenia GND konwertera i modułu. Aby wprowadzić moduł w tryb programowania, port GPIO0 w momencie resetu lub podania napięcia zasilania powinien być zwarty do masy.

Jeszcze wygodniejsza w użyciu okazuje się jedna z wielu dostępnych na rynku płyt rozwojowych (fotografia tytułowa). Taka płyta ma

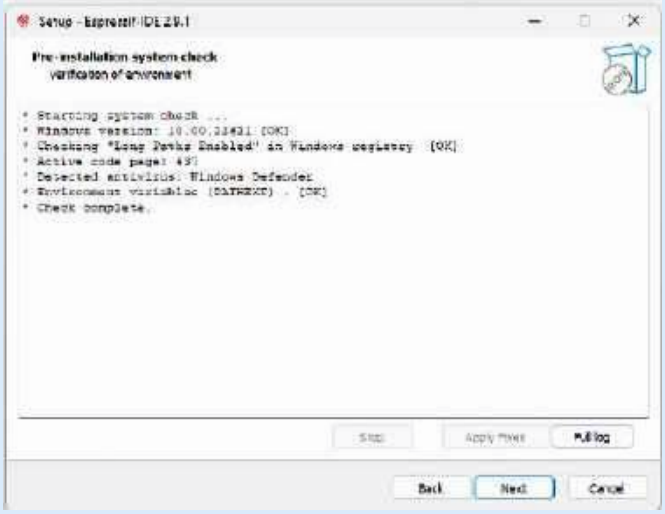
Tabela 1. Porównanie wersji układów ESP32

	ESP32	ESP32-S2	ESP32-C2
Procesor	Xtensa 32 bity/2 rdzenie	Xtensa 32 bity/1 rdzeń	RISC-V 32 bity/1 rdzeń
Zegar	240 MHz	240 MHz	120 MHz
Pamięć SRAM	520 kB	320 kB	272 kB
Pamięć ROM/Flash	448 kB...4 MB	128 kB...4 MB	576 kB...4 MB
Linie GPIO	34	43	14
Wi-Fi	802.11 b/g/n, 2,4 GHz	802.11 b/g/n, 2,4 GHz	802.11 b/g/n, 2,4 GHz
Bluetooth	BLE 4.2	brak	BLE 5
Inne	2×ADC 12 bit, 2×DAC 8 bit, 4×SPI, 2×I²C, interfejs kamery	2×ADC 13 bit, 2×DAC 8 bit, 4×SPI, 1×I²C, interfejs kamery	1×ADC 12 bit, 3×SPI, 1×I²C,

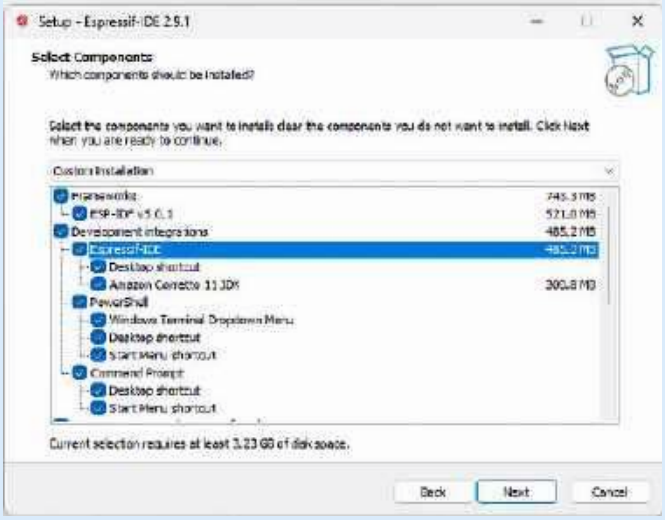
Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0

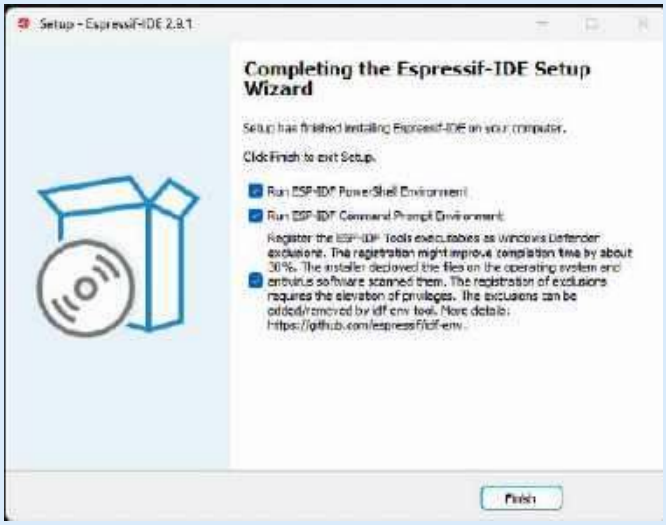
już zamontowany moduł ESP32, może być wyposażona w stabilizator 3,3 V, układ konwertera UART i gniazdo USB do wpięcia kabla łączącego płytę z komputerem, a przy okazji dostarczającego zasilanie. Przy opisanej konfiguracji w czasie programowania użytkownik nie musi sam ustawiać poziomu na porcie GPIO0 i resetować modułu, gdyż odbywa to się z użyciem dodatkowych sygnałów udostępnianych przez konwerter.



Rysunek 2.



Rysunek 3.



Rysunek 4.

Środowiska programistyczne

Kod źródłowy programu użytkownika można stworzyć w kilku ogólnodostępnych środowiskach programistycznych, korzystających z różnych języków programowania.

- Arduino to bardzo popularne IDE wśród programistów-hobbystów. ESP32 nie jest częścią domyślnej instalacji, wystarczy jednak zainstalować wtyczkę, aby uzyskać dostęp do ekosystemu Arduino. Domyślnym językiem programowania Arduino jest C++. Stanowi to niezły wybór dla użytkowników korzystających już z tego środowiska, zwłaszcza gdy ESP32 ma używać standardowych funkcji, do których to zastosowań można znaleźć w Internecie wiele gotowych przykładów.
- Thonny stanowi IDE Pythona: obsługuje MicroPython dla ESP32 i wymaga instalacji oprogramowania sprzętowego obsługującego interpreter MicroPython na ESP32, zanim będzie można używać Pythona na docelowym urządzeniu. Środowisko ma zresztą wbudowane narzędzie, które pozwala to zrobić za pośrednictwem portu szeregowego.
- PlatformIO pozwala programować zarówno w C, jak i C++. Domyślny język programowania stosowany w PlatformIO zależy od środowiska bazowego. W przypadku użytego zestawu narzędzi Arduino domyślnym językiem będzie C++.
- ESP-IDF to oficjalne zintegrowane środowisko rozwojowe firmy Espressif przeznaczone do urządzeń ESP32. Może pracować jako dodatek do Eclipse lub VS Code. Zapewnia największą kontrolę nad urządzeniami, jest także objęte oficjalną polityką uaktualnień przy udostępnianiu nowych wersji z poprawkami i kolejnymi funkcjonalnościami. ESP-IDF udostępnia także obszerną bibliotekę przykładów ułatwiających rozpoczęcie pracy w większości praktycznych zastosowań. Domyślnym językiem programowania w ESP-IDF jest C, jednak łatwo zmodyfikować projekt do C++.

Instalacja środowiska ESP-IDF za pomocą instalatora

Jeżeli środowisko ESP-IDF miałoby pracować na komputerze z systemem operacyjnym Windows 10 lub 11, można skorzystać z przygotowanego przez firmę Espressif pliku exe instalatora. Oprogramowanie to zainstaluje Eclipse, środowisko ESP-IDF, potrzebne narzędzia i sterowniki. Plik instalatora jest dostępny na [1].

Po uruchomieniu pliku instalatora wyświetli się lista wyboru języka, a potem warunki umowy licencyjnej, które trzeba zaakceptować, żeby rozpocząć instalację. Następnie przeprowadzona zostanie weryfikacja ustawień systemu, a wyniki wyświetlone tak, jak na **rysunku 2**. Po naciśnięciu przycisku Next pokaże się informacja o domyślnej lokalizacji folderu, w którym zapisane zostaną pobrane pliki

Rysunek 5.

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0

oprogramowania. Po akceptacji i naciśnięciu Next ukaże się lista komponentów do zainstalowania (**rysunek 3**). Po kolejnym naciśnięciu Next, a przed rozpoczęciem pobierania i instalacji niezbędnych plików, wyświetli się podsumowanie działań, które zostaną przeprowadzone w dalszej kolejności. Naciśnięcie klawisza Install inicjuje pobieranie plików, a pasek postępu sygnalizuje stan operacji. Po zakończeniu instalacji pokaże się tablica widoczna na **rysunku 4** – z informacjami o sukcesie oraz propozycjami dodatkowych ustawień.

Po zakończeniu instalacji można uruchomić środowisko ESP-IDF np. przez kliknięcie na dodaną na pulpicie ikonę Espressif-IDE. Najpierw pojawi się pytanie o lokalizację katalogu obszaru roboczego z domyślnym położeniem katalogu, którą można zaakceptować lub podać inną. Potem zostanie uruchomione IDE z wyświetloną stroną powitalną, tak jak to pokazano na **rysunku 5**. W tym momencie automatycznemu skonfigurowaniu ulegną zmienne środowiskowe, nie trzeba zatem uruchamiać żadnych dodatkowych narzędzi instalacyjnych z IDE.

Szczegółowy opis instalacji można znaleźć na [2].

Instalacja środowiska ESP-IDF na komputerach z innymi systemami operacyjnymi

W przypadku innych systemów operacyjnych, np. Linuksa, można zainstalować środowisko ESP-IDF jako wtyczkę do Eclipse. Trzeba wtedy wykonać ręczną instalację. Wcześniej w systemie powinny znajdować się następujące składniki:

- Java 17 lub nowsza wersja
- Python 3.6 lub nowsza wersja,
- Git (najnowsza dostępna wersja).

Trzeba upewnić się, że Java, Python i Git są dostępne w środowisku systemowym PATH.

Szczegółowy opis instalacji można znaleźć na [3].

Ryszard Szymaniak, EP

Linki

[1] https://dl.espressif.com/dl/esp-idf/
[2] https://tiny.pl/df3rg
[3] https://tiny.pl/df3rt

REKLAMA

Przejrzyj i zamów archiwalne wydania
ELEKTRONIKI PRAKTYCZNEJ

przesyłka GRATIS

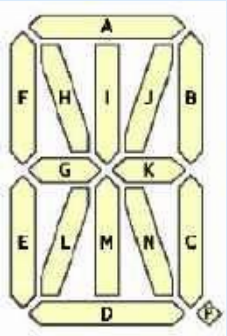
www.UlubionyKiosk.pl

Kurs FPGA Lattice (20)

14-segmentowy wyświetlacz LCD

Wyświetlacze 14-segmentowe umożliwiają pokazanie wszystkich cyfr, liter, nawiasów, znaków interpunkcyjnych i wielu innych. Produkowane są w technologiach LED oraz LCD. W tym odcinku kursu opracujemy prostą aplikację, która będzie odbierać znaki ASCII poprzez interfejs UART, aby pokazywać je na 14-segmentowym wyświetlaczu LCD.

Pierwszy raz z technologią wyświetlaczy LCD spotkaliśmy się w 13 odcinku kursu (EP 2023/11) – opracowaliśmy w nim moduł obsługujący 4-cyfrowy wyświetlacz 7-segmentowy. Opisywaliśmy wówczas dokładnie podstawy funkcjonowania takiego komponentu, a w szczególności sposób multipleksacji wyświetlacza, który ma cztery wyprowadzenia wspólne COM, a wszystkie jego elektrody steruje się czterema poziomami napięć. Gorąco zachęcam do odświeżenia informacji o podstawach multipleksacji LCD przed przeczytaniem niniejszego odcinka, ponieważ przebiega ona zupełnie inaczej niż w przypadku wyświetlaczy z diodami LED.



Rysunek 1. Oznaczenia segmentów wyświetlacza 14-segmentowego

W naszym projekcie zastosujemy płytkę Segment14, opisaną w tym samym numerze „Elektroniki Praktycznej". Współpracuje ona z płytką deweloperską MachXO2 Mega, używaną w poprzednich odcinkach kursu i zaprezentowaną w EP 2023/09. Można ją nabyć w sklepie AVT.

Na **rysunku 1** zestawiono oznaczenia wszystkich segmentów w wyświetlaczu 14-segmentowym. Stanowią one standard przyjęty przez większość producentów, ale można spotkać różne nomenklatury w zakresie segmentu przecinka (punktu dziesiętnego) – czasem oznaczany jest literami DP od angielskiego *decimal point*, a innym razem po prostu P.

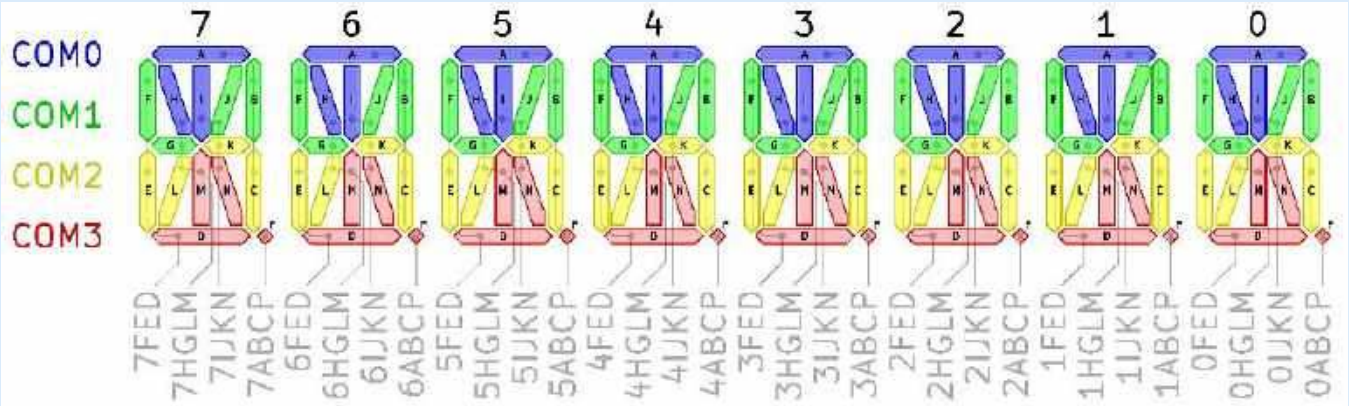
Zaprezentowane powyżej ułożenie segmentów umożliwia wyświetlanie znaków widocznych na **rysunku 2**. Choć wyświetlacz 14-segmentowy jest „wstecznie kompatybilny" z panelem 7-segmentowym, to można użyć dodatkowych segmentów, aby cyfry 1, 3 i 7 upodobnić do naturalnego kształtu tych znaków. Istnieje także możliwość wyświetlania niektórych małych liter, znaków interpunkcyjnych i wybranych symboli matematycznych.

Poprzednie odcinki znajdują się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

Materiały do pobrania:
- Repozytorium modułów użytych w kursie: https://tiny.pl/dmmj2
- Projekt w programie Diamond: https://tiny.pl/d5vs2

Na płytce testowej zastosowano wyświetlacz VIM-828-DP13.2-RC-S-LV firmy Varitronix – o bardzo klasycznej topologii, przystosowany do pokazywania 8 znaków, bez żadnych dodatkowych ikonek

Rysunek 2. Znaki możliwe do wyświetlenia



Rysunek 3. Schemat wewnętrzny wyświetlacza VIM-828

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie **https://ulubionykiosk.pl/media**

eprasa.pl 12486519d0

i innych bajerów. Komponent ten nie ma wbudowanego sterownika, więc musimy opracować go sami. Działa on w trybie:

- **1/4 duty**, co oznacza, że w danej chwili możliwe jest zaczernienie 1/4 segmentów, a więc sam wyświetlacz ma cztery elektrody wspólne COM,
- **1/3 bias**, co znaczy, że napięcie doprowadzone do elektrod stopniuje się co 1/3 maksymalnej wartości napięcia zasilającego, a dokładniej są to napięcia równe 0 V, 1 V, 2 V oraz 3 V (części ułamkowe zaokrągliłem).

Zobaczmy na **rysunku 3**, jak wygląda schemat wewnętrzny tego wyświetlacza.

Model VIM-828 ma 36 elektrod, z czego 4 to elektrody wspólne COM, a 32 – elektrody sterujące segmentami. Multipleksacja wyświetlaczy LCD, w przeciwieństwie do wyświetlaczy LED, jest niestety dość mocno skomplikowana i wymaga zastanowienia się przez dłuższą chwilę, jak w ogóle opanować obsługę takiego ekranu.

Dla ułatwienia elektrody COM oraz odpowiadające im segmenty zaznaczono kolorami:

- **Niebieski** – COM0,
- **Zielony** – COM1,
- **Żółty** – COM2,
- **Czerwony** – COM3.

W każdej chwili aktywna jest tylko jedna z czterech elektrod COM, a to umożliwia zaczernienie tylko segmentów zaznaczonych kolorem odpowiadającym aktywnej elektrodzie wspólnej. Zaczernione zostaną jedynie te segmenty, których elektrody są aktywne, na przykład: aby włączyć segment A znaku nr 7, musimy jednocześnie aktywować elektrody COM0 oraz 7ABCP. Wszystkie pozostałe segmenty pozostaną niewidoczne.

Poprzez pojęcie „aktywny" rozumiemy stan, w którym do elektrody doprowadzamy odpowiednie napięcie. Różnica napięć między aktywną parą elektrody COM i elektrody segmentów wynosi ±3 V, a między nieaktywnymi elektrodami przyjmuje wartość ±1 V. Zjawisko to zostało dokładniej opisane w 13 odcinku kursu – wraz z ukazaniem dokładnych przebiegów napięć na elektrodach wyświetlacza.

Preprocesor

Poznamy nową funkcjonalność języka Verilog, z której jeszcze nie korzystaliśmy. Jest nią preprocesor (choć bardziej prawidłowo powinniśmy używać nazwy „dyrektywy kompilatora"). Programiści języka C i C++ polubią tę opcję, ponieważ preprocesor w Verilogu działa bardzo podobnie.

Poniżej wypisano najczęściej stosowane dyrektywy preprocesora:

- `define ZMIENNA – zdefiniowanie zmiennej bez wartości,
- `define ZMIENNA WARTOŚĆ – zdefiniowanie zmiennej i przypisanie do niej jakiejś wartości,
- `undef ZMIENNA – kasowanie definicji zmiennej,
- `include „plik.v" – dołączenie pliku.

Zwróć uwagę, że wszystkie dyrektywy poprzedzone zostały znakiem ukośnego apostrofu, w przeciwieństwie do C i C++, w których stosuje się znak #.

Istotną różnicą względem C i C++ jest to, że w celu odczytania wartości zdefiniowanej zmiennej musimy jej nazwę poprzedzić ukośnym apostrofem. Takie zmienne możemy wtedy stosować w kodzie tak samo, jak stałe określone parametrami.

Istnieje możliwość tworzenia instrukcji warunkowych. Przykłady takich operacji zaprezentowano na **listingu 1**. Na marginesie dodam, że tym, co w języku Verilog zawsze mnie dziwiło, jest brak najprostszej instrukcji warunkowej `if. Można sprawdzać tylko, czy jakaś zmienna została lub nie została zdefiniowania, natomiast nie można w żaden sposób sprawdzać jej wartości.

Jak już wiemy, wyświetlacz VIM-828 ma 36 pinów, a każdy ze znaków ma 14 segmentów plus kropkę. Oczywiście można by napisać sterownik tego wyświetlacza i posługiwać się w kodzie numerami wyprowadzeń oraz numerycznymi pozycjami segmentów w taki sposób, jak zrobiliśmy to, pisząc kod 4-cyfrowego wyświetlacza 7-segmentowego. Przy tak prostym wyświetlaczu było to jeszcze akceptowalnie wygodne, ale przy bardziej złożonym lepiej będzie przypisać wszystkim pinom jakieś etykiety tekstowe, aby uniknąć pomyłki. Użyjemy w tym celu definicji preprocesora.

Na potrzeby definicji utworzymy osobny plik o nazwie vim828_defines.v, którego kod pokazano na **listingu 2**. Zaletę tego rozwiązania

```
// Zdefiniowanie zmiennej A
`define A

// Sprawdzanie, czy zmienna jest zdefiniowana
`ifdef A
    // Ten blok zostanie wykonany
`else
    // Ten blok zostanie pominięty
`endif

// Sprawdzanie czy zmienna nie jest zdefiniowania
`ifndef A
    // Ten blok zostanie pominięty
`else
    // Ten blok zostanie wykonany
`endif
```

Listing 1. Przykłady instrukcji warunkowych

```
// Plik vim828_defines.v
`ifndef VIM828_DEFINES_V                        // 1
`define VIM828_DEFINES_V                        // 2

// Numery pinów wyświetlacza i ich etykiety
`define COM0        19                          // 3
`define COM1        36
`define COM2        18
`define COM3         1

`define SEG0_ABCP   20
`define SEG0__FED   16
`define SEG0_IJKN   17
`define SEG0_HGLM   21

`define SEG1_ABCP   22
`define SEG1__FED   14
`define SEG1_IJKN   15
`define SEG1_HGLM   23

`define SEG2_ABCP   24
`define SEG2__FED   12
`define SEG2_IJKN   13
`define SEG2_HGLM   25

`define SEG3_ABCP   26
`define SEG3__FED   10
`define SEG3_IJKN   11
`define SEG3_HGLM   27

`define SEG4_ABCP   28
`define SEG4__FED    8
`define SEG4_IJKN    9
`define SEG4_HGLM   29

`define SEG5_ABCP   30
`define SEG5__FED    6
`define SEG5_IJKN    7
`define SEG5_HGLM   31

`define SEG6_ABCP   32
`define SEG6__FED    4
`define SEG6_IJKN    5
`define SEG6_HGLM   33

`define SEG7_ABCP   34
`define SEG7__FED    2
`define SEG7_IJKN    3
`define SEG7_HGLM   35

// Numery segmentów
`define BIT_A        0                          // 4
`define BIT_B        1
`define BIT_C        2
`define BIT_D        3
`define BIT_E        4
`define BIT_F        5
`define BIT_G        6
`define BIT_H        7
`define BIT_I        8
`define BIT_J        9
`define BIT_K       10
`define BIT_L       11
`define BIT_M       12
`define BIT_N       13
`define BIT_P       14

// Napięcie aktywnych i nieaktywnych
// elektrod COM i SEG
`define COM_H_ACTIVE    2'd3                    // 5
`define COM_H_PASSIVE   2'd1
`define SEG_H_ACTIVE    2'd0
`define SEG_H_PASSIVE   2'd2

`define COM_L_ACTIVE    2'd0
`define COM_L_PASSSIVE  2'd2
`define SEG_L_ACTIVE    2'd3
`define SEG_L_PASSIVE   2'd1

`endif // VIM828_DEFINES_V                      // 6
```

Listing 2. Kod pliku vim828_defines.v

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0

```
// Plik vim828.v

`default_nettype none
module VIM828 #(
    parameter CLOCK_HZ      = 10_000_000,
    parameter CHANGE_COM_US = 1000                                  // 1
)(
    input wire Clock,
    input wire Reset,

    // Znak pierwszy z prawej ma numer 0
    // Znak pierwszy z lewej ma numer 7
    // Kolejność segmentów = NMLKJIHGFEDCBA
    input wire [13:0] Segments7_i,                                  // 2
    input wire [13:0] Segments6_i,
    input wire [13:0] Segments5_i,
    input wire [13:0] Segments4_i,
    input wire [13:0] Segments3_i,
    input wire [13:0] Segments2_i,
    input wire [13:0] Segments1_i,
    input wire [13:0] Segments0_i,

    input wire [ 7:0] DecimalPoints_i,                              // 3

    // Wyjście do pinów wyświetlacza
    // Każde z wyjść musi mieć filtr RC, aby wygładzić PWM
    output wire [36:1] Pin_o                                        // 4
);

    // Join together segments data with decimal points
    wire [14:0] Bitmap7 = {DecimalPoints_i[7], Segments7_i};        // 5
    wire [14:0] Bitmap6 = {DecimalPoints_i[6], Segments6_i};
    wire [14:0] Bitmap5 = {DecimalPoints_i[5], Segments5_i};
    wire [14:0] Bitmap4 = {DecimalPoints_i[4], Segments4_i};
    wire [14:0] Bitmap3 = {DecimalPoints_i[3], Segments3_i};
    wire [14:0] Bitmap2 = {DecimalPoints_i[2], Segments2_i};
    wire [14:0] Bitmap1 = {DecimalPoints_i[1], Segments1_i};
    wire [14:0] Bitmap0 = {DecimalPoints_i[0], Segments0_i};

    // Generator PWM by wygenerować napięcia
    // równe 0, 1/3, 2/3 i 1 napięcia zasilającego
    wire [3:0] Voltage;                                             // 6
    VIM828_PWM VIM828_PWM_inst(                                     // 7
        .Clock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .Voltage0_o(Voltage[0]),  // 0V
        .Voltage1_o(Voltage[1]),  // 1V
        .Voltage2_o(Voltage[2]),  // 2V
        .Voltage3_o(Voltage[3])   // 3V
    );

    // Generator sygnałów przełączających stan maszyny
    wire ChangeState;                                               // 8

    StrobeGenerator #(                                              // 9
        .CLOCK_HZ(CLOCK_HZ),
        .PERIOD_US(CHANGE_COM_US)
    ) StrobeGenerator_inst(
        .Clock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .Enable_i(1'b1),
        .Strobe_o(ChangeState)                                      // 10
    );

    // Maszyna stanów
    reg [2:0] State /* synthesis syn_encoding = "sequential" */;    // 11
    localparam [2:0] COM_0H = 3'd0;
    localparam [2:0] COM_1H = 3'd1;
    localparam [2:0] COM_2H = 3'd2;
    localparam [2:0] COM_3H = 3'd3;
    localparam [2:0] COM_0L = 3'd4;
    localparam [2:0] COM_1L = 3'd5;
    localparam [2:0] COM_2L = 3'd6;
    localparam [2:0] COM_3L = 3'd7;

    // Zmiana stanu maszyny
    always @(posedge Clock, negedge Reset) begin                    // 12
        if(!Reset)
            State <= 0;
        else if(ChangeState)                                        // 13
            State <= State + 1'b1;                                  // 14
    end

    // A matrix of 36 elements that are 2-bit variables
    reg [1:0] PinVoltage[36:1];                                     // 15

    // Part H
    // - Active COM:   3
    // - Inactive COM: 1
    // - Active SEG:   0
    // - Inactive SEG: 2
    // Part L
    // - Active COM:   0
    // - Inactive COM: 2
    // - Active SEG:   3
    // - Inactive SEG: 1

    // Logika wyświetlacza
    always @(*) begin                                               // 16
        case(State)
            COM_0H: begin
                PinVoltage[`COM0] = `COM_H_ACTIVE;                  // 17
                PinVoltage[`COM1] = `COM_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`COM2] = `COM_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`COM3] = `COM_H_PASSIVE;

                PinVoltage[`SEG0_ABCP] = Bitmap0[`BIT_A] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;  // 18
                PinVoltage[`SEG0__FED] = `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG0_IJKN] = Bitmap0[`BIT_I] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG0_HGLM] = Bitmap0[`BIT_H] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;

                PinVoltage[`SEG1_ABCP] = Bitmap1[`BIT_A] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG1__FED] = `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG1_IJKN] = Bitmap1[`BIT_I] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG1_HGLM] = Bitmap1[`BIT_H] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;

                PinVoltage[`SEG2_ABCP] = Bitmap2[`BIT_A] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;
```

Listing 3. Kod pliku vim828.v

stanowi fakt, że definicje – w przeciwieństwie do parametrów – są globalne i można je stosować we wszystkich plikach projektu.

Podobnie jak w C i C++, definicje nie mogą się powtarzać. Do takiej nieprawidłowej sytuacji mogłoby dojść wtedy, gdy plik z definicjami byłby włączany za pomocą dyrektywy `include przez dwa lub większą liczbę modułów. Aby uniknąć takiego błędu, należy zastosować mechanizm *include guard*, który działa identycznie jak w C.

Plik rozpoczynamy sprawdzeniem, czy nie została zdefiniowana zmienna VIM828_DEFINES_V (linia 1). Zmienna celowo przypomina nazwę pliku. Jeżeli okaże się, że jest zdefiniowana, bo plik został już wcześniej włączony do syntezy, to natychmiast przechodzimy do instrukcji `endif, znajdującej się na końcu pliku (linia 6). W takiej sytuacji cała treść pliku ulega zignorowaniu, ponieważ został on przetworzony już wcześniej.

Natomiast jeżeli zmienna nie jest zdefiniowana, czyli warunek logiczny pozostaje spełniony, wówczas definiujemy ją w linii 2. Nie przypisujemy żadnej wartości – po prostu definiujemy pustą zmienną, a następnie analizujemy cały plik.

Na początek określmy piny wyświetlacza oraz ich numery, zaczynając od linii 3. Informacje te pochodzą z datasheetu wyświetlacza. Dalej, w linii 4, mamy numerację segmentów, a w linii 5 – napięcia (w woltach), jakie należy doprowadzić do poszczególnych elektrod wyświetlacza, by je uaktywnić lub nie.

Moduł VIM828

Przejdźmy teraz do omówienia głównego modułu wyświetlacza, którego kod pokazano na **listingu 3**. Moduł rozpoczynamy od parametrów. **CLOCK_HZ** to oczywiście częstotliwość sygnału zegarowego, doprowadzonego do wejścia **Clock**. Drugi parametr **CHANGE_COM_US** (linia 1) określa, jak długo ma trwać odstęp czasowy pomiędzy przełączeniami elektrod wspólnych COM. Niestety producent zapomniał o podaniu wspomnianego parametru w dokumentacji (?!) i trzeba było go wyznaczyć eksperymentalnie. Czas ten nie może być zbyt długi, ponieważ wtedy widać przełączanie segmentów. Nie może być też zbyt krótki, bo zużycie energii istotnie rośnie. Podczas eksperymentów stwierdziłem, że wartość rzędu 1000 µs daje optymalny wynik.

Następnie widzimy osiem 14-bitowych wejść **SegmentsX_i**, które mają sterować segmentami wyświetlacza (linia 2). Cyfra **X** oznacza numer znaku, gdzie 0 to znak pierwszy z prawej, a 7 – pierwszy z lewej. Wejścia te zorganizowane są w taki sposób, że najmłodszy bit steruje segmentem A. Kolejne bity sterują segmentami B, C, i tak dalej, aż do najstarszego bitu,

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0

sterującego segmentem N. Jedynka na wejściu powoduje zaczernienie segmentu, odpowiadającego danemu bitowi, natomiast zero sprawia, że segment staje się niewidoczny.

W linii 3 mamy 8-bitowe wejście **DecimalPoints_i**. Jak można się spodziewać, steruje ono przecinkami. Każdy bit tego wejścia odpowiada za jeden z ośmiu punktów dziesiętnych.

Moduł ma tylko jedno 36-bitowe wyjście **Pin_o** (linia 4). Zwróć uwagę, że bity tego wyjścia ponumerowane są od 1 do 36. Zwykle numerujemy je od zera, jednak nie zawsze stanowi to regułę. W tym przypadku chcemy podłączyć wyświetlacz do FPGA, a w dokumentacji jego piny ponumerowane są od 1. Aby nie wprowadzać zbędnego zamieszania, oznaczymy zatem wyjścia modułu tak, jak zostały one nazwane w dokumentacji wyświetlacza.

Osobne wejścia segmentów znaków oraz punktów dziesiętnych mają na celu ułatwienie komunikacji modułu wyświetlacza z innymi elementami systemu, a w szczególności z dekoderem znaków 14-segmentowych. W kolejnym odcinku opracujemy moduł, który będzie przekształcał 8-bitowe kody ASCII na kod wyświetlacza 14-segmentowego. Przecinki będzie można wówczas podświetlać niezależnie od tego, jakie znaki ASCII trafią na wyświetlacz.

```
                PinVoltage[`SEG2__FED] = `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG2_IJKN] = Bitmap2[`BIT_I] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG2_HGLM] = Bitmap2[`BIT_H] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;

                PinVoltage[`SEG3_ABCP] = Bitmap3[`BIT_A] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG3__FED] = `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG3_IJKN] = Bitmap3[`BIT_I] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG3_HGLM] = Bitmap3[`BIT_H] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;

                PinVoltage[`SEG4_ABCP] = Bitmap4[`BIT_A] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG4__FED] = `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG4_IJKN] = Bitmap4[`BIT_I] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG4_HGLM] = Bitmap4[`BIT_H] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;

                PinVoltage[`SEG5_ABCP] = Bitmap5[`BIT_A] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG5__FED] = `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG5_IJKN] = Bitmap5[`BIT_I] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG5_HGLM] = Bitmap5[`BIT_H] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;

                PinVoltage[`SEG6_ABCP] = Bitmap6[`BIT_A] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG6__FED] = `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG6_IJKN] = Bitmap6[`BIT_I] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG6_HGLM] = Bitmap6[`BIT_H] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;

                PinVoltage[`SEG7_ABCP] = Bitmap7[`BIT_A] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG7__FED] = `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG7_IJKN] = Bitmap7[`BIT_I] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;
                PinVoltage[`SEG7_HGLM] = Bitmap7[`BIT_H] ? `SEG_H_ACTIVE : `SEG_H_PASSIVE;
            end

// (...kompletny plik znajduje się w materialach dodatkowych na ep.com.pl...)


        endcase
    end

    // Przypisanie wyjść
    generate                                                        // 19
        genvar i;                                                   // 20
        for(i=1; i<=36; i=i+1) begin                                // 21
            assign Pin_o[i] = Voltage[PinVoltage[i]];               // 22
        end
    endgenerate

endmodule
`default_nettype wire
```

Listing 3. Kod pliku vim828.v – cd.

Jednak wewnątrz modułu sterownika wyświetlacza wygodniej będzie mieć wszystkie segmenty i przecinki zgrupowane. Przecinek stanowi de facto piętnasty segment. Z tego powodu w linii 5 i kolejnych tworzymy osiem 15-bitowych zmiennych wire **BitmapX**, które powstają ze sklejenia ze sobą odpowiadających sobie wejść przecinków i segmentów. Zaletę tego rozwiązania docenimy, analizując główny blok always opisywanego modułu.

W dalszej części projektu musimy utworzyć generator czterech napięć, sterujących elektrodami wyświetlacza. Zastosujemy identyczne rozwiązanie, jak w 13 odcinku kursu: w linii 7 tworzymy instancję modułu **VIM828_PWM**, którego zadanie polega na wygenerowaniu czterech sygnałów PWM o współczynnikach wypełnienia 0%, 33%, 66% i 100%. Takie sygnały – po przejściu przez filtry RC – dadzą napięcia 0 V, 1 V, 2 V oraz 3 V. Aby ułatwić sobie dostęp do nich, utworzymy 4-bitową zmienną **Voltage** typu wire (linia 6). Skorzystamy z następującej zależności: numer indeksu wskazanego bitu tej zmiennej, podawany w nawiasach kwadratowych **Voltage[X]**, jest taki sam, jak napięcie w woltach po przefiltrowaniu.

Kodu modułu VIM828_PWM nie będziemy analizować, ponieważ okazuje się on bardzo prosty (odsyłam do odcinka 13), a jego kod widnieje na **listingu 4**.

Wyświetlacz ma cztery elektrody COM, więc jego pracę trzeba podzielić na osiem stanów, następujących kolejno po sobie (zobacz rysunki 2 i 3 z odcinka 13 kursu w EP 2023/11). Każdy z tych stanów ma trwać przez czas określony w parametrze **CHANGE_COM_US** (linia 1). Do cyklicznego generowania sygnałów przełączających zastosujemy dobrze znany moduł **StrobeGenerator**, którego instancję tworzymy w linii 9. Wyjście Strobe_o łączymy ze zmienną **ChangeState** typu wire, utworzoną w linii 8 – będzie ona używana przez logikę maszyny stanów.

Rejestr maszyny stanów **State** tworzymy w linii 11, a poniżej definiujemy wszystkie osiem możliwych stanów.

W linii 12 rozpoczynamy pierwszy blok always. Jest to prosty blok sekwencyjny, którego jedyny cel to sprawdzanie, czy zmienna **ChangeState** została ustawiona w stan wysoki (linia 13). Jeżeli tak, to inkrementujemy licznik stanu maszyny (linia 14).

W linii 15 tworzymy tablicę **PinVoltage**, która przechowywać będzie napięcie, jakie należy dostarczyć do każdego pinu wyświetlacza. Tablica składa się z 36 elementów, ponumerowanych od 36 do 1 (kolejność numeracji nie ma znaczenia, może być odwrotna), w sposób odpowiadający oznaczeniom elektrod wyświetlacza. Każdy element ma tylko dwa bity, w których może przechowywać liczbę od 0 do 3, określającą napięcie w woltach doprowadzone do każdej elektrody.

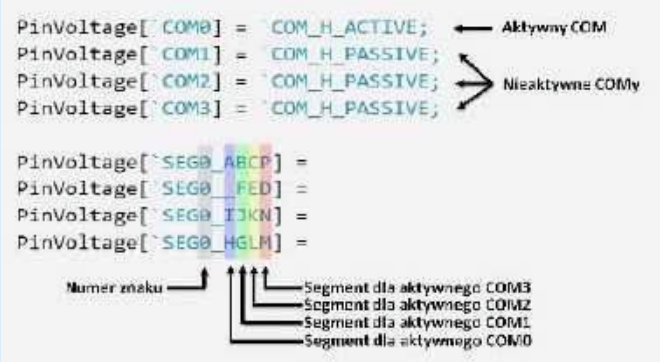
W linii 16 rozpoczynamy wielki blok always, czyli blok logiki kombinacyjnej, niezależnej od zegara i resetu, którego jedynym celem jest określenie napięć na elektrodach wyświetlacza na podstawie

```
// Plik vim828_pwm.v

`default_nettype none
module VIM828_PWM(
    input wire  Clock,
    input wire  Reset,
    output wire Voltage0_o, // Współczynnik wypełnienia 0%
    output wire Voltage1_o, // Współczynnik wypełnienia 33%
    output wire Voltage2_o, // Współczynnik wypełnienia 66%
    output wire Voltage3_o  // Współczynnik wypełnienia 100%
);

    // Prosta maszyna stanów
    reg [1:0] State /* synthesis syn_state_machine = 1 */;

    always @(posedge Clock, negedge Reset) begin
        if(!Reset)
            State <= 2'b00;
        else if(State == 2'b00)
            State <= 2'b01;
        else if(State == 2'b01)
            State <= 2'b11;
        else
            State <= 2'b00;
    end

    // Przypisanie wyjść
    assign Voltage0_o = 1'b0;
    assign Voltage1_o = State[1];
    assign Voltage2_o = State[0];
    assign Voltage3_o = 1'b1;

endmodule

`default_nettype wire
```

Listing. 4. Kod pliku vim828_pwm.v

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0



Rysunek 4. Wyjaśnienie oznaczeń używanych w kodzie

danych wejściowych i zapisanie wyników w tablicy PinVoltage. Koncepcja działania tego kodu jest identyczna jak w odcinku 13, lecz jej realizacja okaże się inna.

Blok always zawiera instrukcję case, opisującą komplet ośmiu możliwych stanów maszyny. Wszystkie linie kodu są w miarę podobne. Najpierw przypisujemy napięcia do elektrod wspólnych COM, a potem do elektrod segmentów.

Weźmy pod lupę linię 17. To, do którego elementu tablicy zamierzamy wpisać dane, określamy w nawiasach kwadratowych za pomocą definicji **`COM0**, pod którą kryje się liczba 19, czyli numer pinu wyświetlacza o nazwie COM0. Do tego elementu wpisujemy wartość definicji **`COM_H_ACTIVE**, czyli liczbę 3. Taka operacja spowoduje doprowadzenie napięcia 3 V do pinu 19 wyświetlacza.

Przejdźmy do linii 18. Kod podzielony został na fragmenty zgrupowane po cztery linie, ponieważ każdym znakiem sterują cztery elektrody segmentów. Etykiety pinów segmentów nazwano w taki sposób, aby dało się łatwo rozszyfrować, który segment w danej chwili jest konfigurowany. Wyjaśnienie oznaczeń zaprezentowano na **rysunku 4**.

W ten sposób wypełniamy tablicę **PinVoltage**, w której określamy napięcie wszystkich 36 elektrod wyświetlacza.

Pozostaje już tylko przypisać wyjścia modułu. Moglibyśmy zrobić to podobnie, jak w odcinku z wyświetlaczem 7-segmentowym, czyli napisać 36 podobnych przypisań w sposób ukazany poniżej:

```
assign Pin_o[i] = Voltage[PinVoltage[i]];
```

gdzie w miejsce i wstawiamy liczby od 1 do 36. Oczywistym pomysłem, ułatwiającym pisanie kodu, byłoby zastosowanie pętli **for** (linia 21). Jednak nie możemy tego uczynić tak po prostu, jakbyśmy pisali kod w C++. Wewnątrz pętli for tworzymy nowe przypisania, zatem samą pętlę musimy umieścić wewnątrz bloku **generate** (linia 19). Iterator pętli for, wykonującej się wewnątrz bloku generate, musi być zmienną typu **genvar**. Iterator pętli deklarujemy w linii 20.

Testbench modułu VIM828

Zgodnie z naszym zwyczajem, przed wygenerowaniem bitstreamu i wgraniem go do FPGA, przetestujemy nasz nowy moduł w symulatorze. Podczas symulacji będziemy chcieli zaczernić segment L znaku numer 6, a wszystkie pozostałe segmenty mają być niewidoczne. Kod testbencha pokazano na **listingu 5**.

Testbench jest banalnie prosty – w gruncie rzeczy ogranicza się tylko do utworzenia

```
// Kod pliku

`timescale 1ns/1ns
`default_nettype none

module VIM828_tb();

    parameter CLOCK_HZ       = 1_000_000;
    parameter HALF_PERIOD_NS = 1_000_000_000 / (2 * CLOCK_HZ);

    // Generator sygnału zegarowego
    reg Clock = 1'b1;
    always begin
        #HALF_PERIOD_NS;
        Clock = !Clock;
    end

    // Zmienne
    reg Reset  = 1'b0;

    // Instancja testowanego modułu
    VIM828 #(                                   // 1
        .CLOCK_HZ(CLOCK_HZ),
        .CHANGE_COM_US(50)                      // 2
    ) DUT(
        .Clock(Clock),
        .Reset(Reset),
                        //NMLKJIHGFEDCBA
        .Segments7_i(14'b00000000000000),
        .Segments6_i(14'b00100000000000),       // Widoczny segment L
        .Segments5_i(14'b00000000000000),
        .Segments4_i(14'b00000000000000),
        .Segments3_i(14'b00000000000000),
        .Segments2_i(14'b00000000000000),
        .Segments1_i(14'b00000000000000),
        .Segments0_i(14'b00000000000000),
        .DecimalPoints_i(8'b00000000),
        .Pin_o()
    );

    // Eksport wyników symulacji do pliku
    initial begin
        $dumpfile("vim828.vcd");
        $dumpvars(0, VIM828_tb);
    end

    // Sekwencja testowa
    initial begin
        $timeformat(-6, 3, "us", 10);
        $display("===== START =====");
        $display("CLOCK_HZ = %9d", CLOCK_HZ);

        @(posedge Clock);
        Reset = 1'b1;

        // Czekaj poprzez wszystkie 8 stanów
        repeat(8) begin                         // 3
            @(posedge DUT.ChangeState);
        end

        $display("====== END ======");
        $finish;
    end

endmodule
`default_nettype wire
```

Listing 5. Kod pliku vim828_tb.v

```
@echo off
iverilog -o vim828.o      ^
    vim828_defines.v    ^
    vim828.v            ^
    vim828_tb.v         ^
    vim828_pwm.v        ^
    strobe_generator.v
vvp vim828.o
del vim828.o
```

Listing 6. Kod pliku vim828.bat

```
// Plik top.v
`default_nettype none

module top(
    input wire Reset,
    output wire [36:1] PinLCD_o
);

    // Generator sygnału zegarowego
    parameter CLOCK_HZ = 14_000_000;
    wire Clock;
    OSCH #(
        .NOM_FREQ("14.00")
    ) OSCH_inst(
        .STDBY(1'b0),
        .OSC(Clock),
        .SEDSTDBY()
    );

    // Instancja sterownika wyświetlacza LCD
    VIM828 #(
        .CLOCK_HZ(CLOCK_HZ),
        .CHANGE_COM_US(1000)
    ) VIM828_inst(
        .Clock(Clock),
        .Reset(Reset),
                        // NMLKJIHGFEDCBA
        .Segments7_i(14'b10001001110000),  // K
        .Segments6_i(14'b00000000111110),  // U
        .Segments5_i(14'b10010001110011),  // R
        .Segments4_i(14'b00010001101101),  // S
        .Segments3_i(14'b00000001110001),  // F
        .Segments2_i(14'b00010001110011),  // P
        .Segments1_i(14'b00010000111101),  // G
        .Segments0_i(14'b00010001110111),  // A
        .DecimalPoints_i(8'b00010000),
        .Pin_o(PinLCD_o)
    );

endmodule

`default_nettype wire
```

Listing 7. Kod pliku top.v

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0

instancji testowanego modułu, puszczenia jej w ruch i czekania przez jakiś czas.

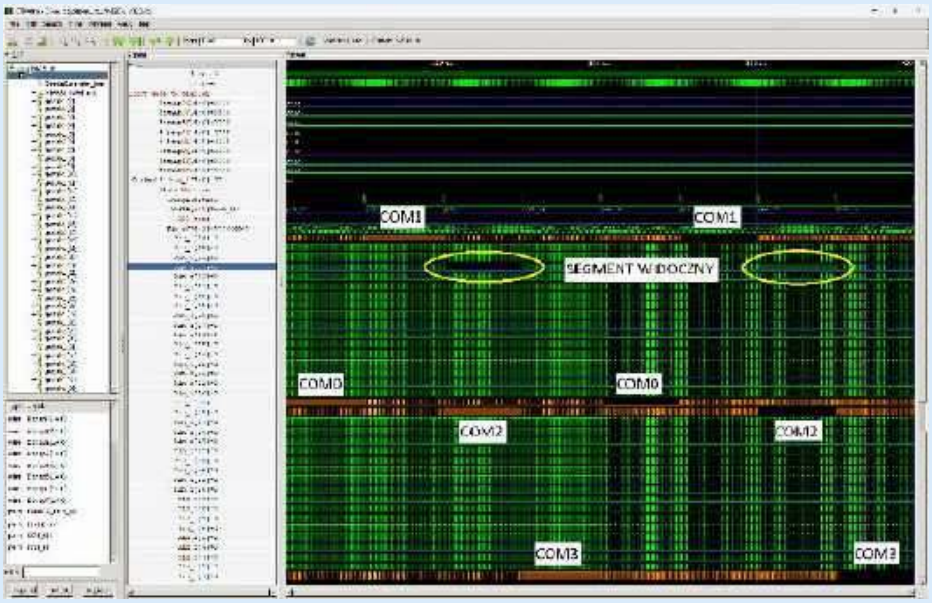
Instancję modułu **VIM828** tworzymy w linii 1. Na potrzeby symulacji przyspieszamy działanie modułu, ustawiając czas przełączania stanów na 50 µs za pomocą parametru **CHANGE_COM_US** (linia 2). Oczywiście moglibyśmy zasymulować wyświetlacz z rzeczywistym czasem przełączania 1000 µs, ale wtedy symulacja trwałaby dłużej, a plik wynikowy zajmowałby dużo więcej miejsca, co byłoby zupełnie niepotrzebne.

Kilka linii dalej ustalamy, które segmenty mają być widoczne. W naszym przykładzie chcemy zaczernić tylko jeden segment szóstego znaku, więc do wejścia **Segments6_i** podajemy ciąg zer z tylko jedną jedynką na właściwej pozycji. Oczywiście możemy testować dowolną kombinację widocznych i niewidocznych segmentów.

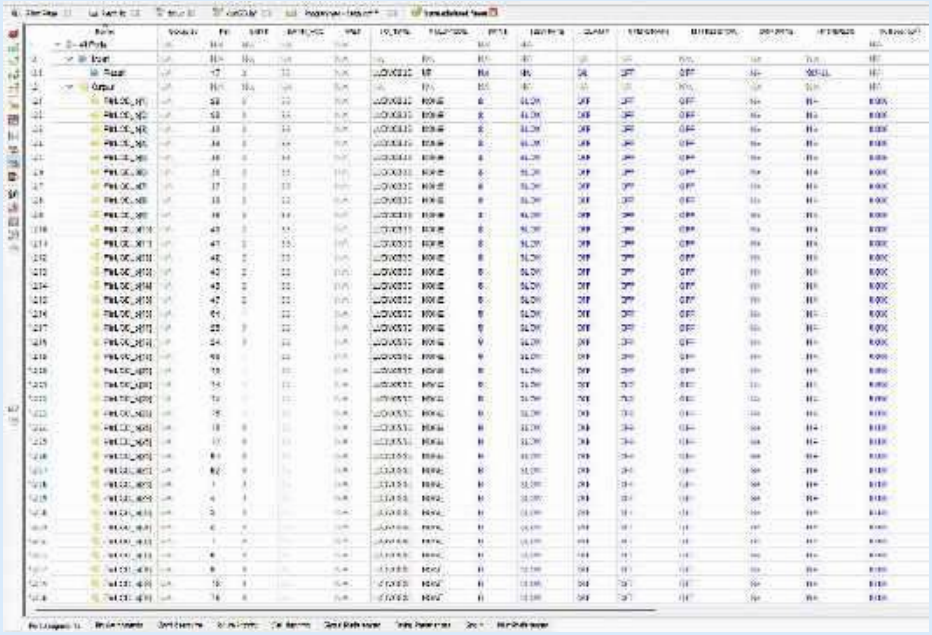
Maszyna stanów wyświetlacza ma osiem możliwych stanów. Aby zasymulować całą ramkę, musimy osiem razy poczekać na sygnał zmiany stanu. Rozwiązanie to widzimy w linii 3.

Uruchamiamy symulację skryptem, którego kod zaprezentowano na **listingu 6** – lub ręcznie wpisujemy te polecenia w konsoli. W celu poprawienia czytelności wprowadziłem znaki ^, które sprawiają, że kolejne linie traktuje się jako jedną. Okazuje się to czytelniejsze niż wypisywanie wszystkich plików w ciągu rozdzielanym spacjami.

Zwróć uwagę, że plik **vim828_defines.v** koniecznie musimy umieścić przed vim828.v. Pliki podlegają przetwarzaniu w takiej kolejności, w jakiej wymienione zostaną w skrypcie. Definicje mają zasięg globalny i dostępne są we wszystkich plikach – od momentu, w którym zostaną zdefiniowane! Z tego powodu kolejność plików ma znaczenie.



Rysunek 5. Efekt symulacji modułu wyświetlacza



Rysunek 6. Konfiguracja pinów

Otwórz plik wynikowy vim828.vcd w przeglądarce GTKWave i skonfiguruj ją tak, by uzyskać efekt widoczny na **rysunku 5**.

Widzimy 36 przebiegów PWM, które po przejściu przez filtry RC dadzą napięcie 0, 1, 2 lub 3 V na każdym pinie wyświetlacza.

W celu poprawienia czytelności kolorem pomarańczowym zaznaczyłem przebiegi na pinach 1, 18, 19 i 36 – są to elektrody wspólne COM. Przebiegi na wszystkich pinach segmentów okazują się identyczne, ponieważ wszystkie – z wyjątkiem segmentu L znaku numer 6 – zostały wygaszone. Fragment przebiegów odpowiedzialny za sterowanie tym segmentem zaznaczyłem żółtymi elipsami.

Zweryfikujmy to z rysunkiem 3, pokazującym wewnętrzny schemat połączeń segmentów wyświetlacza. Wszystkie segmenty L sterowane są przez elektrodę COM2 (kolor żółty). Segment L szóstego znaku sterowany jest pinem 6HGLM (o numerze 33). Spójrz teraz na **rysunek 6**. Sygnał Pin_o[33] wyraźnie zmienia swój stan, kiedy aktywna jest elektroda COM2 – a dokładniej mówiąc, sygnał ten stanowi negację COM2. W takiej sytuacji segment sterowany przez parę elektrod COM2 i 6HGLM zostanie zaczerniony i będzie widoczny.

Moduł top

Czas na ćwiczenia praktyczne na fizycznej macierzy FPGA. Aplikacja będzie bardzo prosta, a jej jedyne zadanie polegać będzie na wyświetlaniu statycznego napisu KURS.FPGA na wyświetlaczu. Kod modułu **top** pokazano na **listingu 7**. Znajduje się w nim tylko instancja generatora sygnału zegarowego oraz modułu wyświetlacza. Na wejścia **SegmentsX_i** sterownika wyświetlacza podajemy „na sztywno" bitmapy odpowiadające żądanym literom. Spróbuj wyświetlić jakiś inny napis.

Uruchom syntezę, a następnie otwórz Spreadsheet i skonfiguruj piny w taki sposób, jak pokazano na rysunku 6.

Generujemy bitstream, wgrywamy do FPGA i naszym oczom ukazuje się napis widoczny na zdjęciu tytułowym niniejszego odcinka kursu. Wyświetlanie statycznego napisu jest jednak nudne, dlatego w następnym odcinku użyjemy odbiornika UART, opracowanego w 19 odcinku cyklu, aby sterować wyświetlaczem przez terminal w komputerze.

Dominik Bieczyński
leonow32@gmail.com

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 12486519d0

koktajl niusów

Lakier samochodowy zmieniający kolor. Nowy patent Toyoty

Toyota opatentowała nowy typ lakieru samochodowego, którego kolor można zmieniać w kontrolowanych warunkach – przy użyciu światła i ciepła. Technika ta pozwala na modyfikację koloru pojazdu o wiele taniej i prościej, niż jest to obecnie czynione. Przyznany firmie Toyota patent ma zdecydowanie przyspieszyć i ułatwić zmianę barw auta, w szczególności ze względu na rezygnację z pokrywania pojazdu dodatkową powłoką zewnętrzną oraz zabezpieczania jej na różne sposoby. Cała technika okazuje się niezwykle łatwa w stosowaniu, czy to przez dealerów, czy przez warsztaty samochodowe, co sprawia, że istnieje realna możliwość jej komercyjnego użytku. Jak się okazuje, samochód musi zostać wprowadzony do specjalnego tunelu zawierającego elementy grzewcze, które z założenia powinny otaczać pojazd ze wszystkich stron. Gdy powierzchnia lakieru ulega nagrzewaniu, przesuwany jest nad nią panel emitujący światło, zwany modulatorem kolorów, by dokonać ostatecznej transformacji koloru lakieru. Uzyskanie wybranego koloru wymaga zastosowania światła o określonej częstotliwości, a także utrzymania lakieru w zadanej temperaturze przez odpowiedni czas. Według wniosku patentowego Toyoty opisywany proces podlega kontroli za pomocą elektronicznej jednostki sterującej (ECU), występującej w modulatorze kolorów. Modulator ten łączy się zdalnie z serwerem oraz czujnikami temperatury wbudowanymi w karoserię pojazdu, ażeby móc dobrać ustawienia dla określonego koloru. Całością procesu może zarządzać pojedynczy operator lub inteligentny robot. Jest to z pewnością absolutna rewolucja na rynku motoryzacji: z jednej strony robi ona wrażenie, a z drugiej – budzi przerażenie u lakierników, obawiających się utraty pracy. Jak będzie w praktyce, czas pokaże.

https://tiny.pl/dfz7h

Akcelerator QURE FLASH w poszukiwaniu nowych metod leczenia nowotworów

Powstały w Narodowym Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) akcelerator QURE FLASH umożliwia stabilne wytwarzanie wiązek elektronów z możliwością modelowania impulsu w dawce promieniowania. Tego typu możliwości są nieocenione, jeżeli chodzi o badania nad efektem „flash", a opisywany akcelerator został zaprojektowany z zastosowaniem bazy w postaci akceleratora śródoperacyjnego AQURE – pozwala na wytwarzanie zarówno wiązek promieniowania „flash", jak i klasycznych wiązek do terapii konwencjonalnej. Akcelerator QURE FLASH zawiera m.in. ruchomą podstawę, pozwalającą na dokładne przemieszczanie głowicy, co umożliwia zastosowanie akceleratora do licznych, innowacyjnych metod terapeutycznych.

W jego środku znajduje się wyspecjalizowane źródło promieniowania elektronowego obsługujące funkcje modyfikacji parametrów wiązek nawet o bardzo wysokiej mocy dawki. Opisywanym akceleratorem można w intuicyjny sposób sterować, a innowacyjne rozwiązania terapeutyczne, możliwe do odkrycia za pomocą akceleratora, będzie można łatwo wprowadzić do użytku klinicznego. Warto zaznaczyć, że efekt „flash" oznacza ochronę zdrowych komórek w organizmie człowieka przy zachowaniu dużej skuteczności eliminacji komórek nowotworowych. Jednakże efekt ten daje się zbadać jedynie w przypadku korzystania z wiązek promieniowania o bardzo wysokiej mocy. W porównaniu z terapią konwencjonalną i śródoperacyjną terapeutyczna dawka promieniowania podawana jest w czasie rzędu milisekund, podczas gdy w przypadku klasycznej metody tę samą dawkę podaje się już na przestrzeni kilku minut. Celem badań, które mają być prowadzone w oparciu na akceleratorze QURE FLASH, jest odnalezienie warunków pojawienia się efektu „flash" i doboru najbardziej optymalnych parametrów impulsu, żeby uzyskać najlepsze, pożądane efekty terapeutyczne, tak bardzo wyczekiwane przez pacjentów onkologicznych.

https://tiny.pl/dfzrt

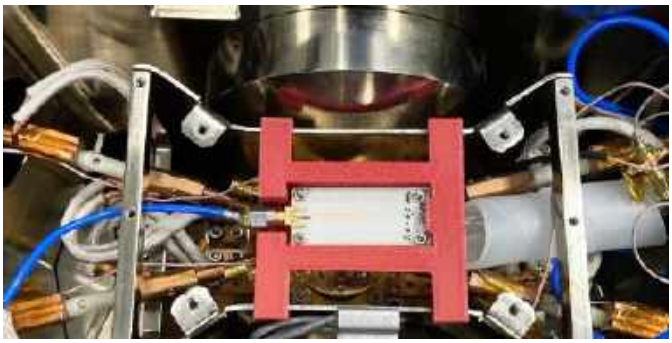
Udoskonalone serie selektorów napięcia SWA i SWZ od SCHURTER Electronics

Firma SCHURTER Electronics wprowadziła udoskonalenia do własnej, dobrze znanej i cenionej oferty selektorów napięcia z serii SWA oraz SWZ. W szczególności dokonana została wymiana powłoki zacisków z cynowej na srebrną, żeby z jednej strony poprawić połączenie lutowane, a z drugiej – rezystancję styków. Spotykane w analogowych urządzeniach audio selektory napięcia SWA oraz SWZ opierają się na wypróbowanych w praktyce komponentach, zaś niezawodne połączenia lutowane oraz zmniejszona rezystancja styków stanowią klucz do zapewnienia wysokiej wydajności.

eprasa.pl 12486519d0

Pożądana funkcja każdej pozycji określona zostaje poprzez różne opcje okablowania szeregowo-równoległego, a zastosowania selektorów SWA i SWZ obejmują także aplikacje przełączania obwodów sygnałowych urządzenia. Dostępne są liczne kombinacje oznaczeń napięcia, jak również możliwe jest wykonanie niestandardowych, specyficznych oznaczeń. Warto wspomnieć, że w sprzedaży są 2 podstawowe wersje selektorów napięcia SWA i SWZ, tzn. pierwsza przeznaczona z założenia do montażu panelowego, przykręcanego z zaciskami lutowanymi oraz druga – do płytek PCB, która umożliwia bardziej kompaktową instalację.

https://tiny.pl/dfzr9



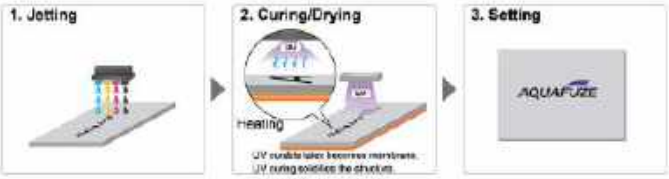
Pobieranie energii z mikrofalowego tła za pomocą mikroanteny z kryształu telluru

Na łamach prestiżowego czasopisma „Advanced Materials" pojawił się nowy artykuł przygotowany przez naukowców z Wydziału Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji AGH. Celem opracowania było eksperymentalne wykazanie, że mikrometryczne płatki telluru, które charakteryzuje skrętna struktura krystaliczna, można zastosować jako elementy nieliniowe generujące napięcie stałe pod wpływem promieniowania mikrofalowego. Praca – napisana przez pracowników Wydziału Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji AGH przy współudziale autorów zagranicznych – została przyjęta do druku w kwietniu 2024 roku. Z łatwością uzyskany przez naukowców „efekt prostowania" można zastosować do pobierania energii (ang. energy harvesting) np. z wszechobecnego tła radiowego w zakresie częstotliwości od 900 MHz do 6 GHz. Dzięki temu urządzenia, które muszą odznaczać się niewielkim czy też wręcz minimalnym poborem mocy (np. do potrzeb IoT), mogłyby działać bez zewnętrznego, dodatkowego zasilania – czerpiąc energię wyłącznie z otoczenia. Jak przyznaje jeden z autorów artykułu, biorący udział w pracach badawczych dr hab. inż. Witold Skowroński, prof. AGH: „Badania mają charakter podstawowy – w ostatnich latach rozwijają się badania nad materiałami skrętnymi (ang. chiral materials) – o strukturze podobnej do helisy DNA, przy czym na poziomie pojedynczych atomów – w tym wypadku telluru, który w przypadku odpowiedniej syntezy chemicznej, krystalizuje w postaci lewo- lub prawoskrętnych łańcuchów tworzących płatki, co prowadzi do powstania nowych własności tych materiałów – takich jak magnetorezystancja czy nieliniowy charakter transportu elektronów, zależny od kierunku przepływu. I właśnie tę nieliniowość wykorzystaliśmy do pomiaru efektu prostowania prądu – innymi słowy, powstania napięcia stałego pod wpływem oświetlania falą elektromagnetyczną o częstotliwościach radiowych. Jest to ten sam efekt, który powstaje w diodzie półprzewodnikowej, przy czym tutaj mamy do czynienia z pojedynczą warstwą materiału, a nie złączem jak w przypadku diody".

https://tiny.pl/dfzr3

Autorski atrament AQUAFUZE firmy FUJIFILM łączący technologię atramentów wodnych i utwardzanych promieniami UV

Niedawno firma FUJIFILM opracowała atrament wodny utwardzany promieniami UV, łącząc w tym celu istniejące już technologie



recepturowania tego typu materiałów na bazie wody z atramentami, które utwardzane są przez promienie UV. Wytwarzany w ten sposób produkt nadaje się do mnóstwa zastosowań, obejmujących przeróżne oznakowania i tapety w domach. Jest przy tym w pełni bezpieczny i bezwonny podczas drukowania, oferując jednocześnie wysoką odporność na ścieranie i kompatybilność z licznymi podłożami drukarskimi.

Opracowany przez firmę FUJIFILM atrament AQUAFUZE przylega do szerokiej gamy podłoży, bez użycia podkładów czy optymalizatorów. Jego utwardzanie wiązkami promieni UV eliminuje konieczność nakładania warstwy wierzchniej na zadrukowane podłoże, a zastosowanie dyspersji fotopolimerowej całkowicie ogranicza ryzyko zatykania się atramentowych głowic drukujących (na skutek wysychania atramentu). Zapewniany jest stabilny wyrzut materiału AQUAFUZE podczas drukowania przy gwarantowanej małej grubości drukowanego obrazu. Ograniczenie wydzielania zapachu przez atrament AQUAFUZE w znacznym stopniu zwiększa bezpieczeństwo użytkownika. Powierzchnia nadruku okazuje się niezwykle równomierna, co pozwala uzyskać efekt połysku pożądany w wielu materiałach reklamowych.

https://tiny.pl/dfz9m

Polska firma QNA Technology dysponuje eksperymentalną, pilotażową linią syntezy kropek kwantowych

Dnia 5 lutego 2024 roku polska firma QNA Technology zakończyła budowę unikalnej i eksperymentalnej pilotażowej linii syntezy kropek kwantowych. W następnych latach firma zamierza skoncentrować się na poszukiwaniu optymalizacji, jak też i usprawnień procesowych, zwiększaniu wydajności prowadzonych syntez kropek kwantowych oraz rozszerzeniu stopnia automatyzacji, przy obniżeniu jednostkowych kosztów produkcji. Zgodnie z zapowiedziami QNA Technology, pilotażowa linia syntezy kropek kwantowych będzie rozwijana, tzn. czeka ją modyfikacja, a także – w dalszej kolejności – rozbudowa i rozszerzenie o nowe funkcjonalności, co może wiązać się z zakupami kolejnych elementów oraz urządzeń w przyszłości. Decyzje te będą podejmowane na podstawie wielu istotnych wniosków z procesu walidacji oraz użytkowania pilotażowej linii syntezy. Jak mówi w poniższej wypowiedzi prezes firmy QNA Technology, Artur Podhorodecki:

„Ukończenie budowy linii pilotażowej do syntezy kropek kwantowych, stanowi następny krok z tytułu ścieżki naszego rozwoju. Następnymi etapami – zaplanowanymi na ten rok, bezpośrednio po realizacji testów technologicznych, będą: odtworzenie procesu syntezy kropek kwantowych na linii pilotażowej i dostosowanie go do wymagań technicznych, które są specyficzne dla przytoczonej linii (…). Realizacja wspomnianego celu pozwoli nam na przejście z klientami, którzy aktualnie testują nasze materiały (...), do kolejnych

eprasa.pl 12486519d0

etapów współpracy oraz znacząco wzmocni nasze wizerunki w branży (...). Eksperymentalna linia pilotażowa jest z pewnością także niezbędna do zebrania doświadczeń, które posłużą nam do zaprojektowania w przyszłości produkcyjnej linii syntezy o większej wydajności".

https://tiny.pl/dfz9g

XK-1c firmy Hammond, czyli współczesne wcielenie organów Hammond B-3

Kiedyś do zaprezentowania prawdziwego brzmienia organów Hammond B-3 i głośnika Leslie potrzebny był przeprowadzkowy van, a także wystarczająco dużo miejsca na scenie, aby pomieścić nawet 4 muzyków. Szczęśliwie jednak te czasy są już za nami. Współczesne organy, o symbolu XK-1c, oferują pełną okazałość i wszechstronność standardowego modelu B-3, w kompaktowym rozwiązaniu ważącym zaledwie 7,5 kg. Podążając śladami niezwykle popularnej serii klawiatur ultralekkich SK, model XK-1c stosuje ten sam wirtualny „silnik" Tonewheel, co flagowy model organów B-3. Model XK-1c umożliwia m.in. dostosowywanie organów do wymogów właściwego generowania dźwięków Hammond/Leslie – przy opcji zapisu wszystkich ustawień w każdym patchu. Większość (jeżeli nie wszystkie) ze stosowanych modyfikacji „Hot Rod" dostępna jest też w zakresie edycji. W fabrycznej bibliotece patchy występują różne brzmienia dźwięków Hammond. Oprócz profili Drawbar uwzględnione zostały również dźwięki 2 najpopularniejszych organów kombo – na tranzystorach wraz z 28 stopniami dźwiękowymi klasycznego organu rurkowego. Niewielki rozmiar XK-1c zaskakuje w porównaniu do jego ogromnego brzmienia, lecz już jedno dotknięcie tradycyjnej klawiatury typu waterfall pozwala upewnić się, że XK-1c to prawdziwe dzieło. Nie klon czy imitacja, a autentyczne organy Hammonda – godne tego nazwiska i dziedzictwa niemal 80 lat.

https://hammond.pl/organy/xk-1c/

Apple prezentuje najnowszy układ scalony M4

Powstały w procesie technologicznym 3 nm układ SoC wynosi niezwykłą energooszczędność układów scalonych Apple na jeszcze wyższy poziom, niż miało to miejsce do tej pory. Zasadniczym elementem układu scalonego M4 jest podsystem Neural Engine, który wykonuje niemalże 38 bilionów operacji na sekundę – to więcej niż obecnie dostępne jednostki przetwarzania sieci neuronowych w różnych rozwiązaniach. Występujący w M4 kontroler wyświetlacza powstał na bazie pionierskich i nowoczesnych technologii: odpowiadają one za fantastyczną precyzję, wierność barw oraz równomierną jasność ultranowoczesnego wyświetlacza Ultra Retina XDR, korzystającego ze skumulowanego światła 2 paneli OLED. Zaprojektowany przez Apple układ scalony M4 ma wbudowany silnik multimedialny – nie tylko obsługuje on najpopularniejsze kodeki wideo (w tym H.264, HEVC, a także ProRes), lecz także stosuje przyspieszenie sprzętowe AV1. Tym sposobem możliwie staje się obniżenie poboru mocy podczas odtwarzania wideo o sporej rozdzielczości. Warto również wspomnieć o 4 oddzielnych rdzeniach z silnikami dekodującymi i silnikami wykonawczymi, które odpowiadają za wysoką wydajność układu M4, oraz o 6 energooszczędnych rdzeniach – również z silnikami wykonawczymi. Oba rodzaje rdzeni mają też ulepszone akceleratory uczenia maszynowego (ML). Energooszczędność nowego układu sprawia, że urządzenia w niego wyposażone spełniają surowe standardy w zakresie oszczędnego gospodarowania energią i oferują baterię wystarczającą w praktyce na cały dzień pracy. Wszystko to zmniejsza ilość energii zużywanej w całym okresie eksploatacji tych urządzeń.

https://tiny.pl/dfz9j

Firma Comarch dysponuje pozwoleniem na korzystanie z pasma częstotliwości 4...4,1 GHz w sieciach prywatnych 5G SA

Pozwolenie na korzystanie z pasma częstotliwości 4...4,1 GHz wydał prezes Urzędu Komunikacji Elektronicznej (UKE) na okres jednego roku kalendarzowego. Pozwolenie to dotyczy prywatnej sieci 5G w firmie Comarch. Uzyskanie tej licencji umożliwi firmie budowę szybkiej oraz wydajnej sieci w 5G LAB z użyciem technologii mu-MIMO w ramach badań i testów różnych rozwiązań. Dzięki uzyskanemu od prezesa UKE pozwoleniu wszystkie rozwiązania Comarchu mają być opracowywane, testowane i demonstrowane w ramach w pełni operacyjnego i funkcjonalnego środowiska sieci 5G, co ma przełożyć się na wysokie osiągi w obszarze adaptacji do wymogów operacyjnych tego typu środowisk. Od teraz istnieje pełna możliwość symulowania przez firmę niezwykle skomplikowanych oraz wymagających warunków działania sieci 5G, z uwzględnieniem m.in. zmian parametrów usług, w zależności od zastosowanych urządzeń, jak również nieprzerwanym monitoringu sieci. Firma Comarch zamierza w najbliższym czasie zintegrować polepszoną sieć korzystającą z pasma 4...4,1 GHz z centralną infrastrukturą w głównej siedzibie w Krakowie. Będzie również oferować gotowe rozwiązania dostępne z poziomu Innovation Space, co pozwoli wykroczyć poza usługi sieciowe. Jako że w praktyce sieć 5G będzie dostępna na terenie kampusu firmy, będzie możliwe testowanie jej, z niezwykłą łatwością, w każdym innym głównym sektorze działalności Comarchu – co zapewni warunki do rozwoju bardziej przyszłościowych i niezawodnych produktów.

https://tiny.pl/dqkdw

Jakub Tyburski
jakub.tyburski@elportal.pl

eprasa.pl 12486519d0

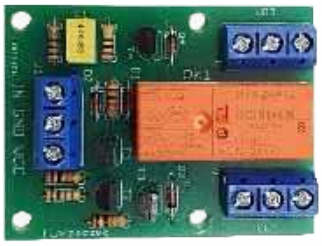
Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 7/2024

Termostat do pieca gazowego

Projekt termostatu powstał pod wpływem chwilowej potrzeby: w piecu gazowym uszkodził się stary, prosty termostat bazujący na bimetalu i trzeba było czymś go zastąpić. Konstrukcja, którą prezentujemy Czytelnikom w lipcowym numerze EP, to mikroprocesorowy termostat zbudowany w oparciu na mikrokontrolerze ATmega4808. Urządzenie mierzy temperaturę w reprezentatywnym pomieszczeniu i na jej podstawie (z zachowaniem odpowiedniej histerezy) kontroluje załączanie pieca. Sterowanie piecem odbywa się na prostej zasadzie włącz/wyłącz – pomimo nieskomplikowanej metody regulacji temperatury, użyteczność prezentowanego rozwiązania znacznie zwiększa fakt, że urządzenie oferuje dodatkowe możliwości programowania czasowego temperatur dzień/noc.

Energooszczędny przekaźnik elektromagnetyczny

Przekaźniki elektromagnetyczne mają sporo zalet, w tym m.in. mały spadek napięcia wprowadzany przez styki do sterowanego przez nie obwodu. Niestety, komponenty te pobierają dość znaczny prąd podczas działania cewki. Z kolei przekaźnikami bistabilnymi steruje się nieco inaczej niż klasycznymi, z elektromagnesem. Czy da się to pogodzić? Oczywiście! Prezentowany układ pozwala na wygodne sterowanie elektromagnetycznym przekaźnikiem bistabilnym na podstawie sygnału TTL, a zastosowane obwody detekcji zboczy zapewniają redukcję spoczynkowego poboru prądu praktycznie do zera, co pozwala na zastosowanie urządzenia w systemach, w których minimalizacja zużycia energii ma znaczenie krytyczne.



Technologie w elektronice: druk 3D w służbie elektroniki (2)

Wybór odpowiedniego materiału ma kolosalne znaczenie dla jakości i wytrzymałości gotowego produktu. Ponieważ druk 3D różni się diametralnie od innych metod wytwarzania trójwymiarowych detali – np. odlewania, wtryskiwania czy frezowania – wydruki mogą zachowywać się inaczej niż elementy produkowane metodami tradycyjnymi. Nas, jako elektroników, najczęściej interesuje przede wszystkim temperatura mięknięcia oraz właściwości izolacyjne, w drugiej zaś kolejności wytrzymałość mechaniczna. Istotnymi parametrami okazują się też wymagania co do drukarki, gdyż nie każdym materiałem da się drukować na tanim urządzeniu przeznaczonym głównie dla hobbystów. W drugiej części cyklu poświęconego technologii druku 3D skupimy się na materiałach relatywnie łatwo dostępnych, a z punktu widzenia elektronika – najbardziej użytecznych.

Pomiary prędkości obrotowej

W dobie dynamicznego rozwoju mechatroniki i elektromobilności precyzyjne, niezawodne pomiary prędkości obrotowej nabierają szczególnego znaczenia. W lipcowym wydaniu „Elektroniki Praktycznej” przyjrzymy się różnorodnym metodom oraz nowoczesnym czujnikom przeznaczonym do monitorowania prędkości obrotowej. Począwszy od tradycyjnych enkoderów optycznych i magnetycznych, poprzez prądnice tachometryczne i żyroskopy MEMS, aż po po zaawansowane sensory indukcyjne – omówimy zasadę działania, zalety i ograniczenia oraz praktyczne przykłady sensorów z każdej spośród najważniejszych grup czujników prędkości obrotowej.

Wiązki i taśmy

Miniaturyzacja urządzeń elektronicznych – w szczególności sprzętu komputerowego i fotograficznego, elektroniki ubieralnej czy urządzeń mobilnych – spowodowała znaczący wzrost popularności połączeń płytka-płytka, realizowanych za pomocą przewodów FFC oraz taśm FPC. Konwencjonalne wiązki kablowe są natomiast szeroko stosowane w dużych systemach, które zazwyczaj dają projektantom znacznie większą swobodę prowadzenia okablowania wewnątrz obudowy urządzenia lub szafy instalacyjnej. Należy jednak pamiętać, że podjęcie właściwych decyzji projektowych w kwestii oprzewodowania wewnętrznego zdecydowanie nie kończy się na określeniu ilości przestrzeni i geometrii docelowej wiązki lub taśmy – pod uwagę trzeba bowiem wziąć szereg czynników elektrycznych, mechanicznych, środowiskowych oraz materiałowych, a dodatkową komplikację stanowią wymogi EMC oraz kwestie integralności sygnałów. W lipcowym numerze „Elektroniki Praktycznej” bierzemy pod lupę praktyczne zagadnienia związane z aplikacjami wiązek i taśm przewodowych.

Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

AKSOTRONIK 21
BORNICO 55
COMPUTER CONTROLS 7
ELMAX 53
ELPROMA 80
FAULHABER 31
FINDER 45, 46
HAMMOND 5
IHP 35
LASTENIC LASER 17
MICROCHIP 58, 108
MICROS 83
NORDIC 66
PCBWAY 32, 69
PILZ 38, 43
REMAGAS 41
SEMICON 49
TME 9, 50

Miesięcznik **„Elektronika Praktyczna”** (12 numerów w roku) jest wydawany przez AVT Korporacja Sp. z o.o. we współpracy z wieloma redakcjami zagranicznymi.

Wydawnictwo:
AVT Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, e-mail: avt@avt.pl

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
e-mail: redakcja@ep.com.pl, www.ep.com.pl

Redaktor Naczelny:
Przemysław Musz

Redaktor Programowy, Przewodniczący Rady Programowej:
Piotr Zbysiński

Menedżer Magazynu:
Katarzyna Gugała, tel. 22 257 84 64

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Jakub Sobański

Zespół marketingu i reklamy:
Katarzyna Gugała, Bożena Krzykawska, Grzegorz Krzykawski, Grzegorz Lalak

Stali współpracownicy:
Lucjan Bryndza, Nikodem Czechowski, Jarosław Doliński, Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński, Paweł Kowalczyk, Henryk Kowalski, Rafał Kozik, Michał Kurzela, Szymon Panecki, Adam Sobczyk, Damian Sosnowski, Ryszard Szymaniak, Adam Tatuś, Jakub Tyburski, Robert Wołgajew

Uwaga!
Kontakt z wymienionymi osobami jest możliwy via e-mail, według schematu: imię.nazwisko@ep.com.pl

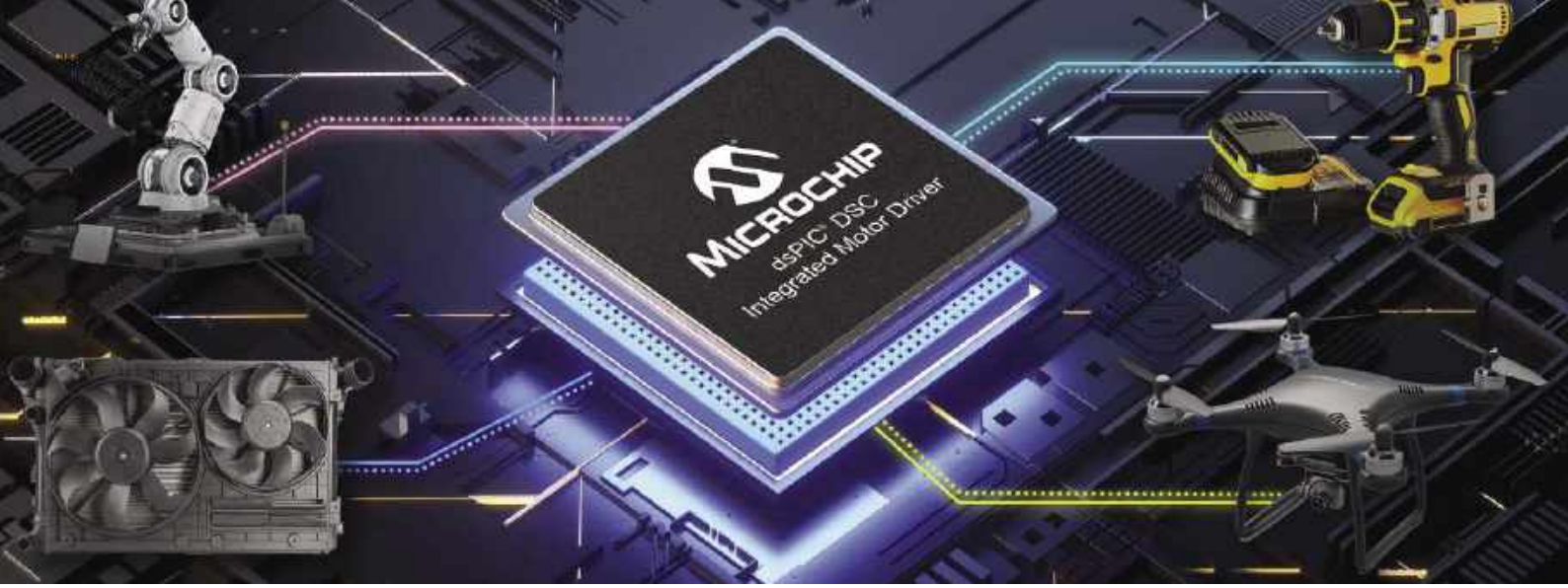
DTP, okładka, redakcja strony internetowej www.ep.com.pl:
MAD Sp. z o.o.

Prenumerata w Wydawnictwie AVT
www.ulubionykiosk.pl lub tel. 22 257 84 22 (godz. 10.00–14.00)
e-mail: prenumerata@avt.pl

Prenumerata w RUCH S.A.
www.prenumerata.ruch.com.pl
lub tel. 801 800 803, 22 717 59 59
e-mail: prenumerata@ruch.com.pl

Copyright AVTKorporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Projekty publikowane w „Elektronice Praktycznej”. mogą być wykorzystywane wyłącznie do własnych potrzeb. Korzystanie z tych projektów do innych celów, zwłaszcza do działalności zarobkowej, wymaga zgody redakcji „Elektroniki Praktycznej”. Przedruk oraz umieszczanie na stronach internetowych całości lub fragmentów publikacji zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej”. jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej”.

eprasa.pl 12486519d0



Sterownik silnika dsPIC® DSC

Sterowanie silnikiem w czasie rzeczywistym na jednym układzie

Rynek oczekuje od projektów sterowników silników coraz większej wydajności i złożoności w coraz mniejszym rozmiarze. Scalone sterowniki silnika dsPIC DSC zapewniają taką wydajność i sterowanie w czasie rzeczywistym silnikiem trójfazowym w aplikacjach, gdzie najważniejsza jest minimalna waga, koszt i rozmiar.

Scalone sterowniki silnika dsPIC DSC zawierają cyfrowy procesor sygnałowy dsPIC33C (DSP), sterowniki bramek dla pełnego mostka na MOSFET-ach, wzmacniacze operacyjne, komparatory i transceivery LIN lub CAN/CAN FD w jednym chipie. Układ wspiera pełny ekosystem narzędzi do tworzenia oprogramowania i projektowania zestawy i projekty referencyjne ułatwiające proste projektowanie.

Kluczowe właściwości

- Sterowanie wektorowe
- Zasilanie do 29 V (praca), 40 V (stany przejściowe)
- Kwalifikacja AEC–Q100, klasa 0 (od -40°C do +150°C)
- CPU 70-100 MHz, 64-256 KB Flash, 8-24 KB SRAM
- Do 6 wyjść PWM
- 12-bitowy ADC 3,5 MSPS (9 do 20 kanałów)
- Ochrona przed przebiciem, przetężeniem i zwarciem w sterownikach bramek
- Pobór prądu w trybie uśpienia 5µA
- Zgodne transceivery: LIN 2.0, 2.1, 2.2, 2.2A, SAE J2602-2 (LIN), ISO 11898-2, ISO 11898-2:206 i SAE J2962-2 (CAN/CAN FD)
- Gotowość do zapewnienia bezpieczeństwa funkcjonalnego i zaimplementowane zabezpieczenia

MICROCHIP

microchip.com/Integrated-Motor-Drivers

Nazwa i logo Microchip oraz logo Microchip są zastrzeżonymi znakami towarowymi firmy Microchip Technology Incorporated w USA i innych krajach. Wszystkie pozostałe znaki towarowe są własnością ich zarejestrowanych właścicieli. © 2024 Microchip Technology Inc. Wszelkie prawa zastrzeżone.
MEC2560A-POL-05-24

eprasa.pl 12486519d0