# PRZEKAŹNIKI rodzaje, parametry, kryteria doboru

www.ep.com.pl

# ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA +FTP

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● LIPIEC ● 7/2019

## Niezbędnik elektronika na DVD

TYLKO DLA PRENUMERATORÓW

Noszony zestaw modułów inercyjnych • Mikrosterownik Wi-Fi • Agri-Stick – urządzenie do monitorowania parametrów gleby • Cyfrowy generator sygnału prostokątnego 1 Hz...499 kHz • Ładowarka akumulatorów LiPo • Smart Energy Sensor • Interfejs USB-I²S • Precyzyjny detektor przejścia przez zero • Konwerter poziomów magistrali I²C

Terminal GSM CT63 E • Sigma DSP na płytce ADAU1787EVAL • Uruchomienie GUI na płytce STM32F746G-DISCO • Inteligentne monitorowanie agregatów hydraulicznych

Systemy nawigacji satelitarnej • Jak zaprojektować zasilacz ze scaloną przetwornicą impulsową • Symulacja i pomiar, czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora

Środowisko programistyczne STM32CubeIDE • Jak to się robi w FPGA: gra typu space shooter na maXimatorze • Systemy dla internetu rzeczy • ISIX-RTOS v3 – system operacyjny dla mikrokontrolerów rodziny Cortex-M0/M3/M4/M7 • AudioDSP zestaw z procesorem Sigma DSP ADAU1701

KURSY

inspirujące
użyteczne
projekty

podzespoły
sprzęt
aplikacje

tutoriale

## TRANSMISJA DANYCH PRZEZ SIECI KOMÓRKOWE

TEMAT NUMERU

16 zł (w tym 8% VAT) • PRICE: 8 EUR • Nakład 27000 egz.
ISSN 1230-3526 Indeks 357677
9 771230 352191 07

eprasa.pl 4d9608b833

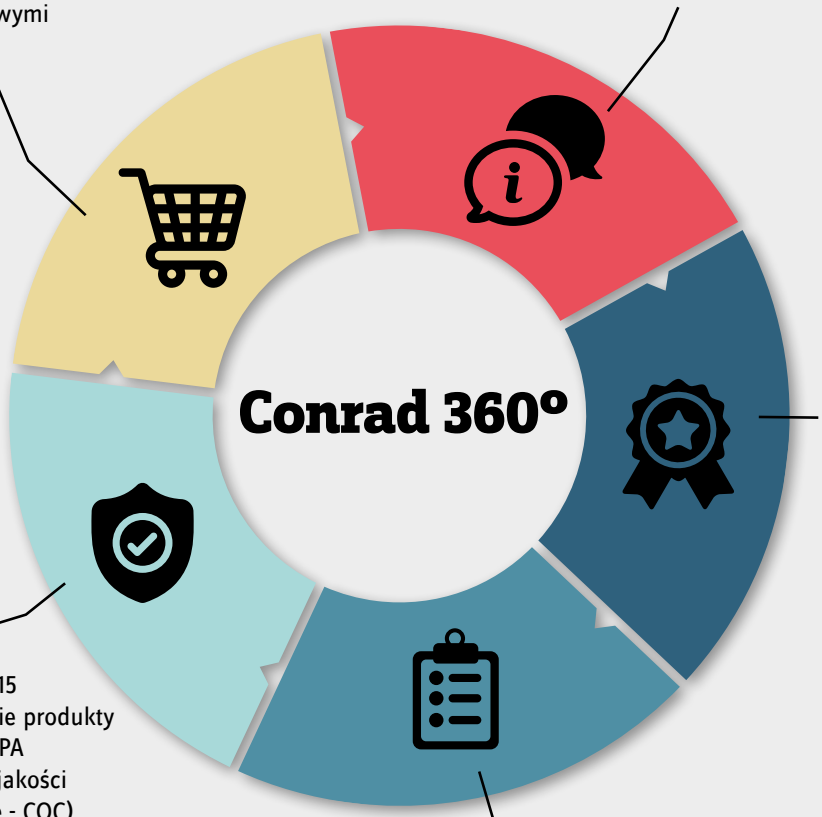
# Twój Partner w biznesie

## Dostosowane do potrzeb rozwiązania zakupowe

- OCI / Punch out
- EDI
- eKatalogi
- Konto handlowe z własnymi warunkami handlowymi
- RFQ, BOM

## Obsługa klienta

- Bezpłatne doradztwo techniczne
- Wykwalifikowani inżynierowie pomagający w doborze produktów




## Usługi specjalne

- Zlecenia terminowe:
  - » forward order,
  - » scheduled order,
  - » call-off-order
- Zamówienia spoza oferty regularnej
- Usługa dostawy 24h
- Kalibracja urządzeń pomiarowych
- Cięcie kabli na miarę (bez dodatkowych opłat)
- Serwis PCB
- Serwis druku 3D

## Najwyższa jakość

- Certyfikat ISO 9001:2015
- Gwarancja na wszystkie produkty
- Certyfikowana strefa EPA
- Wewnętrzna kontrola jakości (Conrad Quality Centre - CQC)

## Szeroki asortyment ponad 650 000 produktów

- Produkty dla różnych sektorów rynku: MRO, R&D, Edukacja itd.
- Najlepsi światowi producenci – ponad 2000 znanych marek
- Nasze marki własne - doskonały stosunek jakości do ceny
- 150 000 nowości w 2019 roku
- Centrum logistyczne Conrad obsługuje do 100 000 paczek dziennie

**12 622 98 00**
pn.-pt. 9:00-17:00

**12 622 98 10**

**bok@conrad.pl**

**www.conrad.pl**

eprasa.pl 4d9608b833

Miesięcznik **„Elektronika Praktyczna”** (12 numerów w roku) jest wydawany przez AVT-Korporacja Sp. z o.o. we współpracy z wieloma redakcjami zagranicznymi.

**Wydawca:**
AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel.: 22 257 84 99, faks: 22 257 84 00

**Adres redakcji:**
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel.: 22 257 84 60
faks: 22 257 84 00
e-mail: redakcja@ep.com.pl
*www.ep.com.pl*

**Redaktor Naczelny:**
Wiesław Marciniak

**Redaktor Programowy, Przewodniczący Rady Programowej:**
Piotr Zbysiński

**Zastępca Redaktora Naczelnego, Redaktor Prowadzący:**
Damian Sosnowski

**Zastępca Redaktora Naczelnego, Menedżer Magazynu**
Marcin Karbowniczek

**Szef Pracowni Konstrukcyjnej:**
Grzegorz Becker, tel.: 22 257 84 58

**Redaktor strony internetowej** *www.ep.com.pl*
Dariusz Welik

**Zespół marketingu i reklamy:**
Katarzyna Gugała, tel.: 22 257 84 64
Adam Kęska, tel.: 22 257 84 63
Bożena Krzykawska, tel.: 22 257 84 42
Grzegorz Krzykawski, tel.: 22 257 84 60
Maksymilian Hoser, tel.: 22 257 84 65

**Sekretarz Redakcji:**
Grzegorz Krzykawski, tel.: 22 257 84 60

**DTP i okładka:**
Dariusz Welik

**Stali Współpracownicy:**
Jacek Bogusz, Lucjan Bryndza, Jarosław Doliński, Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński, Michał Kurzela, Szymon Panecki, Sławomir Skrzyński, Ryszard Szymaniak, Adam Tatuś, Robert Wołgajew

**Uwaga!**
Kontakt z wymienionymi osobami jest możliwy via e-mail, według schematu: imię.nazwisko@ep.com.pl

**Prenumerata w Wydawnictwie AVT**
*www.avt.pl/prenumerata* lub tel.: 22 257 84 22
e-mail: prenumerata@avt.pl
*www.sklep.avt.pl*, tel.: 22 257 84 66

**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

Wydawnictwo AVT-Korporacja Sp. z o.o. należy do **Izby Wydawców Prasy**

**Copyright AVT-Korporacja 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”.

*felieton wakacyjny*

# Czy elektronik to też człowiek?

Zdaje się, że tak. Przynajmniej, gdy jest na wakacjach. Skorzystam więc z przerwy wakacyjnej i odłożę na chwilę elektronikę, by zająć się czymkolwiek innym, na przykład nacjonalizmem w nauce. Oto kilka krótkich historyjek. Najpierw dwa autentyczne wspomnienia z moich czasów studenckich.

Początek lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Politechnika Warszawska, Wydział Łączności (później przemianowany na Wydział Elektroniki). Wykład z matematyki prowadzi docent Trajdos – wykładowca charyzmatyczny. Rysuje na tablicy funkcję skoku jednostkowego i pisze obok – funkcja Heaviside'a. Pewnie spytacie jak się wymawia to nazwisko – zwraca się do studentów. Już kiedyś spytał mnie o to student – skierowałem go do biblioteki, by zajrzał do książki rosyjskiej (w tamtych latach Rosjanie bez żenady tłumaczyli z angielskiego i wydawali mnóstwo wartościowych książek). Po rosyjsku nazwiska pisane są fonetycznie, więc dowiemy się, jaka jest wymowa Heaviside'a. Na następnym wykładzie – kontynuuje opowieść docent Trajdos – student mówi: „zajrzałem i już wiem, to jest funkcja Zacharenki–Waszczenki”.

I druga opowieść. Kontynuowałem studia w Związku Radzieckim. Na wykładzie profesor omawia metodę wyciągania monokryształów z fazy ciekłej, nazywaną metodą Czochralskiego. Pytam profesora, czy Czochralski to Polak? Chwila zastanowienia. „Nie, to Czech” – pada odpowiedź. Dodam, co może nie jest bez znaczenia, że w tamtych czasach spośród wszystkich „bratnich narodów” w ZSRR najwyższe notowania mieli Czesi. Czochralski to oczywiście Polak, który opublikował tę metodę w czasopiśmie niemieckim już ponad sto lat temu. Choć minął wiek, jego metodą są wytwarzane monokryształy krzemu, z których powstaje niemal cała współczesna elektronika. Nazwisko Czochralski znajdziemy we wszystkich podręcznikach świata, widziałem również w podręczniku chińskim.

*Strzeżmy się nacjonalizmu. Jest śmieszny, ale bywa też straszny*

Współczesny Kopernikowi niemiecki luteranin Melanchthon pisał o sarmackim (czyli polskim) astronomie, który głosi absurdalną ideę o zatrzymaniu Słońca i poruszeniu Ziemi, co rozsądni ludzie muszą uznać za dowód słabości umysłu. Wiemy, że później bywało inaczej. Gdy wielkość Kopernika nie podlegała już dyskusji, Niemcy chętnie uznawali go za swego rodaka, choć historycy nie mają problemu z uznaniem jego polskości. Kopernik biegle używał polskiego, niemieckiego, łaciny i włoskiego – był lojalnym, bardzo zaangażowanym obywatelem i patriotą Królestwa Polskiego, biorąc czynny udział w obronie swojej ojczyzny.

I na koniec: Maria Skłodowska-Curie spoczywa w paryskim Panteonie – miejscu spoczynku najbardziej zasłużonych Francuzów, choć za jej życia bywało różnie. Gdy prasa paryska nieżyczliwie komentowała jej romans z żonatym Paulem Langevinem (wybitny fizyk), nazywano ją polską Żydówką.

I jeszcze Einstein, który mówił: „Gdy się okaże, że moja teoria jest prawdziwa, to Niemcy powiedzą, że jestem uczonym niemieckim, a Francuzi, że jestem uczonym światowym. Gdyby jednak moja teoria okazała się błędna, to dla Francuzów będę Niemcem, a dla Niemców Żydem”.

Przykładów, obnażających śmieszność immanentnie wpisaną w nacjonalizm, mógłbym przytaczać bez końca. Choć to wakacyjny felieton, to jednak z przesłaniem – strzeżmy się nacjonalizmu. Jest śmieszny, ale bywa też straszny.

Wiesław Marciniak

PRENUMERATA NAPRAWDĘ WARTO



eprasa.pl 4d9608b833

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

Nr 7 (318) • Lipiec 2019

**Nie przeocz**
Nowe podzespoły ... 6
Koktajl niusów ... 12
Raspberry Pi 4 Model B ... 15
Nowe płytki rozszerzeń Arduino MKR ... 17
Automaticon vs. Evertiq Expo – co było warto odwiedzić w 2019 roku? ... 18
Dodaj do obserwowanych ... 21
Niezbędnik elektronika ... 97

**Projekty soft**
Noszony zestaw modułów inercyjnych DIY ... 24
Agri-Stick – urządzenie do monitorowania parametrów gleby w rolnictwie ... 30

**Projekty**
Mikrosterownik Wi-Fi ... 37
Cyfrowy generator sygnału prostokątnego 1 Hz...499 kHz ... 43
Uniwersalna ładowarka akumulatorów LiPo ... 49
Smart Energy Sensor ... 53

**Moduły w aplikacjach**
Uruchomienie GUI na płytce STM32F746G-DISCO ... 60

**Miniprojekty**
Precyzyjny detektor przejścia napięcia przez zero ... 64
Konwerter poziomów magistrali I²C ... 66
Budżetowy interfejs USB<->I²S ... 67

**Temat numeru: Sieci komórkowe**
Sieci Komórkowe w 2019 roku ... 68
Poznaj swoją pozycję – czyli jak korzystać z systemów satelitarnego pozycjonowania ... 78

**Prezentacje**
Gotowy na 5G ... 86
Inteligentne monitorowanie agregatów hydraulicznych ... 88

**Sprzęt**
Dla praktyka. Terminal GSM CT63 E ... 76

**Podzespoły**
Sigma DSP – EVAL_ADAU1787 – dwurdzeniowe DSP – miniaturowy gigant ... 90

**Poradnik implementacji**
Jak zaprojektować zasilacz ze scaloną przetwornicą impulsową ... 92

**Notatnik konstruktora**
Symulacja i pomiar, czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora – zapowiedź cyklu ... 98

**Noszony zestaw modułów inercyjnych DIY**
**Digitalizacja ruchów ludzkiego ciała jest niezwykle ważna m.in. w systemach rzeczywistości wirtualnej czy rozszerzonej. Przeniesienie informacji o naturalnych ruchach np. dłoni do komputera, w czasie rzeczywistym, pozwala na zastosowanie tych informacji na przykład do sterowania oprogramowaniem. Pomysł ten nie jest nowy, a systemy pozwalające na śledzenie ruchów są już dostępne na rynku, jednakże daleko im do doskonałości. Większość z nich wykorzystuje ruchome, mechaniczne przetworniki do digitalizacji ruchów (np. czujniki potencjometryczne umieszczone w stawach) – stawiają one pewien mechaniczny opór podczas ruch i działają na ogół tylko w jednej osi, a znakomita większość ludzkich stawów skręca się, przynajmniej w pewnym stopniu, w dwóch lub więcej osiach. Problem ten rozwiązują moduły inercyjne (IMU). Pozwalają one na śledzenie ruchu obiektu w trójwymiarowej przestrzeni i nie posiadają wad sensorów mechanicznych.**

**Wybór konstruktora: Przekaźniki**
Jak dobrać przekaźnik do aplikacji? ... 102
Relpol ... 109
Finder ... 110
Micros ... 111
Dacpol ... 112

**Kursy**
Systemy dla Internetu Rzeczy (28). Technologia Bulk Acoustic Wave (BAW) ... 113
AudioDSP zestaw z procesorem Sigma DSP ADAU1701 (5). Obróbka sygnału cyfrowego ... 118
ISIX-RTOS v3 – system operacyjny dla mikrokontrolerów rodziny Cortex-M0/M3/M4/M7 (4). Sterowniki blokowe – SPI ... 124
Środowisko programistyczne STM32CubeIDE (1). Wprowadzenie ... 130
Jak to się robi w FPGA: gra typu space shooter na maXimatorze (1) ... 135

Prenumerata ... 101
Kramik i rynek ... 141
Hity następnego numeru ... 142

**Aby pobrać materiały dodatkowe do artykułów, zarejestruj się na https://media.avt.pl**

Szczegóły na stronie 85

eprasa.pl 4d9608b833

**Nowa rodzina heterogenicznych mikroprocesorów aplikacyjnych**

## Rodzina STM32MP1 w skrócie

- 2 x Cortex-A7 @650MHz
- 1 x Cortex-M4 @209MHz
- 32-b interfejs pamięci DDR3/3L
- GPU 3D/OpenGL ES2.0
- MAC Ethernet 1Gb/s
- interfejs MIPI-DSI
- koprocesor kryptograficzny
- ekosystem bazujący na STM32CUBE
- peryferia znane z mikrokontrolerów STM32

STM32 MP1

## Szeroki wybór i łatwość użycia

- 8 modeli MPU różniących się wyposażeniem
- obudowy BGA od 257 do 448 pinów
- możliwość implementacji systemu na PCB 4l
- wsparcie dla Linuxa i Androida

masters
creative technology

dystrybucja szkolenia wsparcie techniczne

life.augmented

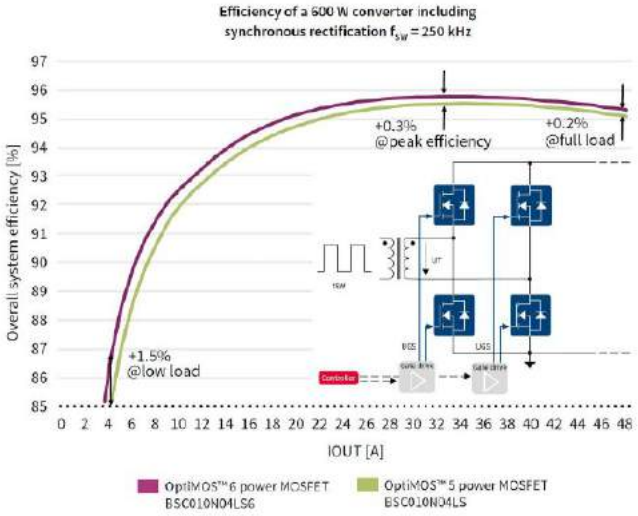
eprasa.pl 4d9608b833

# nowe podzespoły

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

## Tranzystory MOSFET o małych stratach w szerokim zakresie obciążeń

Infineon Technologies prezentuje nową rodzinę 40-woltowych tranzystorów MOSFET OptiMOS 6 zaprojektowanych do zastosowań w zasilaczach impulsowych. W porównaniu z tranzystorami wcześniejszej generacji zapewniają one mniejszą o 30% rezystancję RDS(on) oraz mniejsze współczynniki FOM (Qgd x RDS(on) mniejszy o 46%, Qg x RDS(on) mniejszy o 29%). Powoduje to, że charakteryzują się małymi stratami zarówno w zakresie dużych, jak i małych mocy wyjściowych zasilacza.



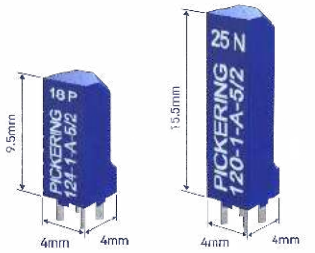

**Porównanie sprawności 600-watowego konwertera DC-DC z tranzystorami OptiMOS 5 i OptiMOS 6 w szerokim zakresie obciążeń**

Wykresy sprawności energetycznej pokazują wyraźnie, że w odniesieniu do tranzystorów poprzedniej generacji tranzystory OptiMOS 6 wykazują znacznie mniejsze straty w zakresie małych mocy wyjściowych. Pozostają one na niskim poziomie również przy dużych obciążeniach, pomimo że dominujące są w tym zakresie straty na przewodzenie uzależnione od RDS(on). Zapewnia to mniejsze wymogi odnośnie do układu chłodzenia oraz ułatwia łączenie równoległe tranzystorów, co w konsekwencji oznacza niższe koszty realizacji zasilacza.

Tranzystory OptiMOS 6 są produkowane w 8 wariantach zamykanych w dwóch typach obudów: SuperSO8 (6×5 mm, RDS(on) od 0,7 do 5,9 mΩ) oraz PQFN (3,3×3,3 mm, RDS(on) od 1,8 do 6,3 mΩ).

*www.infineon.com*

## Najmniejsze na rynku przekaźniki kontaktronowe w obudowach o powierzchni 4×4 mm




Na targach Electronica China firma Pickering Electronics zademonstrowała najmniejsze na rynku przekaźniki kontraktonowe serii 124, produkowane w obudowach do montażu przewlekanego o wysokości 9,5 mm i powierzchni zaledwie 4×4 mm, pozwalające osiągnąć bardzo dużą gęstość upakowania na płytkach drukowanych. Są to przekaźniki 1 Form A występujące w wersjach z cewką o napięciu znamionowym 3 i 5 V. Charakteryzują się parametrami znamionowymi 0,5 A/ 5 W. Zastosowano w nich niezawodne styki pokryte warstwą rutenu, stosowane wcześniej w przekaźnikach serii 111, 111P i 117. Kolejną zaletą jest bardzo krótki czas załączania, wynoszący typowo 80 ms, pozwalający na zastosowania w szybkich testerach ATE oraz matrycach przełączających i multiplekserach.

W ofercie Pickering Electronics dostępne są też podobne przekaźniki serii 120 o parametrach znamionowych 1,0 A/20 W, produkowane w obudowach o wysokości 15,5 mm.

*www.pickeringrelay.com*

## 50-watowe konwertery DC-DC LGA50D o powierzchni 25,4×12,5 mm

Firma Artesyn Embedded Technologies opracowała serię konwerterów DC-DC LGA50D zapewniających jedną z największych gęstości mocy dla tego typu modułów. Są to nieizolowane konwertery zamykane w obudowach o powierzchni 25,4×12,5 mm, zawierające dwa niezależne, konfigurowalne wyjścia o parametrach 25 A/50 W, mogące również pracować równolegle w konfiguracji pojedynczego wyjścia 50 A/100 W. Co więcej, producent przewidział możliwość łączenia równoległego do 4 tego typu modułów, co pozwala uzyskać sumaryczną wydajność prądową 200 A na pojedynczej szynie zasilającej.

Konwertery LGA50D są przeznaczone głównie do zasilania mikroprocesorów serwerowych i układów FPGA w systemach

REKLAMA

BORNICO | Teraz większe MOŻLIWOŚCI
bornico.com.pl
montaż kontraktowy elektroniki
projektowanie urządzeń i systemów
Zakład Elektroniczny BORNICO
ul. Małęczyńska 25
26-600 Radom
tel. +48 48 365 58 22
bornico@bornico.com.pl



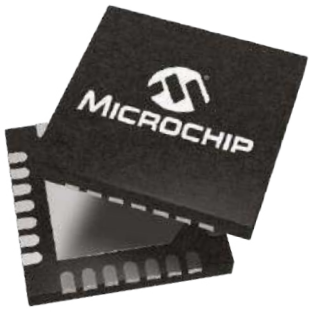
eprasa.pl 4d9608b833

# Inteligentne rozwiązania przyspieszają projektowanie

## Komponenty do optymalizacji inteligencji twojego projektu

Wraz z rozwojem technologii coraz więcej urządzeń wymaga inteligentnych systemów. Microchip stoi na czele tej ewolucji, oferując szeroką gamę rozwiązań, które pomagają:

- łatwo znaleźć odpowiedni poziom inteligencji dla swojego projektu dzięki szerokiej ofercie 8-, 16- i 32-bitowych MCU, DSC i MPU,
- efektywnie tworzyć wielowariantowe funkcjonalne projekty z elastycznymi obwodami peryferyjnymi,
- skrócić czas projektowania dzięki intuicyjnym środowiskom programistycznym, kompletnym projektom referencyjnym, darmowym bibliotekom oprogramowania i automatycznym narzędziom do generowania kodu.




Dowiedz się jak Microchip może zapewnić ci szybsze uruchomienie produkcji, dostarczając rozwiązania, które są nie tylko inteligentne, ale także połączone i bezpieczne.

SMART | CONNECTED | SECURE

**Bądź inteligentny na www.microchip.com/Smart**

MICROCHIP

Nazwa Microchip i logo, Microchip logo, są zastrzeżonymi znakami towarowymi firmy Microchip Technology Incorporated w U.S.A. i innych krajach. Wszystkie pozostałe wymienione znaki towarowe są własnością ich odpowiednich właścicieli.
© 2019 Microchip Technology Inc. Wszystkie prawa zastrzeżone. DS00002769A. MEC2237A-Pol-06-19
eprasa.pl 4d9608b833

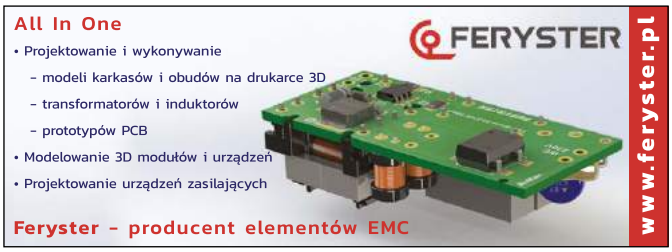
komputerowych, telekomunikacyjnych i sieciowych. Występują w kilku wariantach konstrukcyjnych, w tym w wykonaniu niskoprofilowym o grubości wynoszącej jedynie 6 mm. Specyfikacje odnośnie do napięcia wejściowego i wyjściowego pozostają identyczne dla wszystkich konfiguracji; zakres napięć wejściowych rozciąga się od 7,5 do 14 VDC, a zakres regulacji napięć wyjściowych wynosi od 0,6 do 5,2 V przy sprawności sięgającej 95,5%. Konfigurowanie parametrów pracy może się odbywać analogowo za pomocą zewnętrznych rezystorów lub cyfrowo za pomocą interfejsu PMBus.

Nowe konwertery LGA50D są kompatybilne pod względem funkcjonalnym z 80-amperowymi konwerterami wcześniejszej serii LGA80D. Dla ułatwienia ich konfiguracji i monitorowania producent przygotował pakiet oprogramowania graficznego dla komputerów PC oraz zestaw ewaluacyjny. Na płytce ewaluacyjnej znajdują się dwa moduły LGA50D, umożliwiające testowanie konwerterów pracujących w różnych konfiguracjach.

*www.artesyn.com*

REKLAMA

ZAJRZYJ NA TE STRONY



## Liniowy kontroler zasilania diod LED do współpracy z tranzystorem NPN lub n-MOSFET

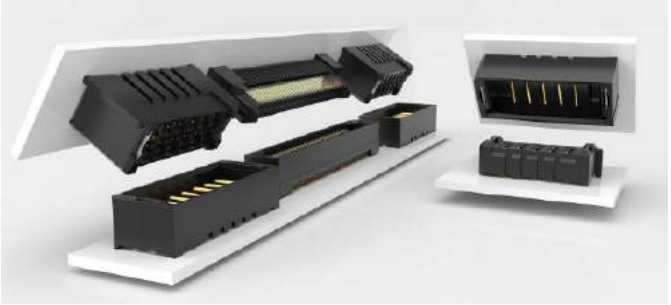
BCR601 to liniowy kontroler zasilania diod LED współpracujący z zewnętrznym tranzystorem bipolarnym NPN lub n-MOSFET, pozwalający na pokrycie szerokiego zakresu prądów i mocy wyjściowych. Jest kontrolerem tanim i miniaturowym, charakteryzującym się dużą skalą integracji. Pracuje z optoizolowaną pętlą sprzężenia zwrotnego, regulującą napięcie wyjściowe konwertera DC-DC w obwodzie pierwotnym, co pozwala na optymalne ustalenie napięcia pracy w zależności od potrzeb konkretnej aplikacji.

BCR601 zapewnia skuteczne tłumienie zaburzeń napięcia wyjściowego zasilacza. Prąd płynący przez diody jest skalowany poprzez dobór wartości zewnętrznego rezystora pomiarowego. Wbudowane zabezpieczenie hot-plug pozwala na wyjmowanie i instalowanie diod w pracującym układzie bez powodowania skoków natężenia prądu, mogących degradować parametry diod i skracać ich żywotność. Układ zawiera również programowalne zabezpieczenie nadnapięciowe oraz zabezpieczenie termiczne, powodujące czasowe zmniejszenie prądu wyjściowego do 30% wartości nominalnej po przekroczeniu dopuszczalnej temperatury pracy złącza (+155°C). Po obniżeniu się temperatury do +135°C następuje automatyczny powrót do normalnej pracy.

Pozostałe cechy:

- zakres napięć wejściowych od 8 do 60 V,
- możliwość współpracy z zewnętrznym tranzystorem bipolarnym NPN lub n-MOSFET,
- tłumienie tętnień napięcia zasilającego 100/120 Hz,
- 3-procentowa dokładność regulacji prądu wyjściowego,
- zakres dopuszczalnych temperatur pracy złącza od –40 do +160°C,
- zabezpieczenie ESD do 1,5 kV HBM.

*www.infineon.com*



## Ultraminiaturowe złącza wysokoprądowe o bardzo dużej gęstości prądu

Firma Samtec zaprojektowała nową serię ultraminiaturowych złączy płytka-płytka o bardzo dużej gęstości prądu. Podczas, gdy tradycyjne złącza tego typu umożliwiają przewodzenie prądów o natężeniu do 20 A, dopuszczalny prąd dla złączy mPOWER serii UMPT/UMPS wynosi 18 A przy mniejszej o połowę powierzchni montażowej. Obecnie są one produkowane w wersjach zawierających od 2 do 5 wyprowadzeń rozstawionych co 2 mm, a w najbliższym czasie mają wejść do oferty wersje o maksymalnie 10 kontaktach. Styki są pokrywane warstwą złota o grubości 0,25 μm lub 0,75 μm. Opcjonalne



eprasa.pl 4d9608b833

wyprowadzenia usztywniające zwiększają stabilność mocowania na płytce drukowanej.

Ze względu na dostępność wielu wersji wymiarowych o wysokości od 5 do 12 mm złącza wysokoprądowe mPOWER mogą być łatwo dodawane do istniejących i nowych projektów, pozwalając na realizację mieszanych systemów złączy sygnałowo-zasilających. Są kompatybilne z szybkimi złączami sygnałowymi serii AcceleRate HD, Edge Rate, SEARAY, SEARAY 0,80 mm, LP Array, Q Strip, Q2 i Tiger Eye.

*www.samtec.com*

## Energooszczędne regulatory LDO do urządzeń AV

Toshiba Electronics wprowadza do sprzedaży dwie nowe serie energooszczędnych stabilizatorów LDO zamykanych w miniaturowych obudowach DFN5B (1,2×1,2 mm), charakteryzujących się obniżonym o 1/3 napięciem dropout w stosunku do stabilizatorów wcześniejszych serii. Zostały one zaprojektowane do zasilania sekcji audio/video i w.cz., mikrokontrolerów, czujników obrazu CMOS i innych obciążeń wymagających źródła zasilającego o dużej stabilności.

40 stabilizatorów dostępnych w ramach serii TCR5BM wyróżnia się możliwością pracy z napięciem dropout już od 100 mV. Zapewniają one wydajność prądową do 500 mA. Druga z nowych serii, TCR8BM, obejmuje również 40 stabilizatorów, charakteryzujących się wydajnością prądową do 800 mA i napięciem dropout od 180 mV. W ramach obu serii produkowane są regulatory o napięciach wyjściowych od 0,8 do 3,6 V.

Dzięki zastosowaniu n-kanałowych tranzystorów MOSFET o niskiej rezystancji, produkowanych w oparciu na nowym procesie technologicznym, w nowych stabilizatorach uzyskano mniejsze o 1/3 napięcie dropout, przekładające się na mniejsze straty mocy od wcześniejszych serii regulatorów z oferty Toshiba. Dodatkowo współczynnik tłumienia tętnień zasilania na poziomie 98 dB zapewnia stabilne napięcie wyjściowe bez zakłóceń w.cz. pochodzących m.in. z zewnętrznych przetwornic DC-DC. Kolejne zalety to szybka odpowiedź impulsowa oraz mały pobór prądu w stanie spoczynkowym (około 20 μA), dwukrotnie mniejszy niż w innych podobnych stabilizatorach dostępnych obecnie na rynku.

*www.toshiba.semicon-storage.com*

## Dwubiegunowe przełączniki Halla o zakresie napięć zasilania od 3 do 28 V

AH3572/74 i AH3582 to wysokonapięciowe przełączniki Halla reagujące na oba bieguny magnetyczne, mogące pracować w szerokim zakresie napięć zasilania od 3 do 28 V oraz w szerokim zakresie temperatur od –40 do +125°C. Dzięki wbudowanemu układowi stabilizacji typu chopper zapewniają one precyzyjnie utrzymywane punkty przełączania BOP/BRP w całym zakresie dopuszczalnych parametrów pracy. Zawierają zabezpieczenie przed odwróceniem polaryzacji zasilania oraz zabezpieczenie nadprądowe na wyjściu.

Różnią się architekturą stopnia wyjściowego: open-drain w przypadku AH3572/74 oraz push-pull (z wewnętrznym rezystorem polaryzującym) w przypadku AH3582. Różnicą między AH3572 i AH3574 jest wartość indukcji magnetycznej w punktach przełączania/zwalniania (BOP/BRP), wynosząca odpowiednio ±20/±10 Gs i ±40/±25 Gs. Wszystkie przełączniki z nowej oferty są zamykane w obudowach SOT23 i SIP-3.

Pozostałe parametry:

- prąd zasilania: 3 mA,
- czas włączania: 10 μs,
- czas odpowiedzi: 3,75 μs,
- zabezpieczenie przed odwróceniem polaryzacji zasilania: do 32 V,
- zabezpieczenie ESD: do 6 kV (HBM).

*www.diodes.com*

## 16-bitowy ekspander I²C ogólnego przeznaczenia

PI4IOE5V6416 to 16-bitowy ekspander I/O ogólnego przeznaczenia, mogący współpracować z większością mikrokontrolerów wyposażonych w interfejs I²C. Jest układem łatwym w implementacji, mogącym znaleźć zastosowanie wszędzie tam, gdzie wymagane jest zapewnienie dwukierunkowej komunikacji z większą liczbą układów I/O, a równocześnie należy do minimum ograniczyć liczbę połączeń. Przykładem mogą być aplikacje mobilne o zasilaniu bateryjnym, wymagające współpracy z czujnikami, przyciskami i keypadami.

Układ akceptuje napięcia od 1,65 do 5,5 V (1,8/2,5/3,3/5 V) zarówno po stronie portu GPIO, jak i linii SDA/SCL (interfejsu I²C), co pozwala na współpracę z nowoczesnymi mikroprocesorami i mikrokontrolerami o małym poborze mocy oraz umożliwia translację poziomów logicznych.

eprasa.pl 4d9608b833

Układ zapewnia obsługę trybów I²C Standard i I²C Fast (do 400 kbps). Umożliwia programowanie rodzaju wyjść (open-drain/push-pull) oraz zawiera wyjście przerwania przechodzące w stan aktywny, gdy stan któregoś z wejść GPIO zmienia się z wartości domyślnej, zapisanej w wewnętrznym rejestrze. Istnieje możliwość maskowania przerwań dla dowolnych linii GPIO.

PI4IOE5V6416 cechuje się małym poborem prądu w trybie standby, wynoszącym typowo 1,5 mA przy VDD=5 V (1,0 mA dla 3,3 V). Jest zamykany w dwóch typach obudów: TSSOP-24 i TQFN-24.

*www.diodes.com*

## Samochodowe cewki SMD do pracy w temperaturze otoczenia do +155°C

Cewki SMD nowej serii IHLP-2020BZ-5A (Vishay Dale) zostały zaprojektowane do zastosowań w wysokotemperaturowych podsystemach samochodowych, w tym w filtrach wysokoprądowych oraz przetwornicach DC-DC o częstotliwości taktowania do 2 MHz. Uzyskały w tym zakresie kwalifikację AEC-Q200. Są zamykane w niskoprofilowych obudowach rozmiaru 2020 o grubości 2 mm.

Seria IHLP-2020BZ-5A obejmuje cewki o indukcyjności od 0,47 do 10 μH i rezystancji szeregowej od 7,3 do 181 mΩ. Mogą one przewodzić duże impulsy prądowe bez wchodzenia w nasycenie. Prąd znamionowy wynosi w zależności od wersji od 2,5 do 13,43 A, a maksymalna temperatura pracy to +155°C.

*www.vishay.com*

## 650-woltowe diody Schottky'ego SiC o prądach przewodzenia do 40 A

Na targach APEC 2019 firma Littelfuse zaprezentowała dwie nowe serie diod Schottky'ego produkowanych w technologii SiC, wyróżniających się małymi stratami i dużą niezawodnością. Uzyskały one kwalifikację AEC-Q101, pozwalającą na pracę w elektronice samochodowej przy maksymalnej temperaturze złącza +175°C. Są produkowane na napięcie znamionowe 650 V i dopuszczalny prąd przewodzenia wynoszący w zależności do modelu od 6 do 40 A. Od tradycyjnych diod krzemowych różnią się pomijalnym wstecznym prądem wyłączania, odpornością na duże impulsy prądu udarowego (mniejsze straty mocy) i wysoką dopuszczalną temperaturą pracy. Znajdują zastosowanie w stacjach ładowania EV, falownikach, przetwornicach DC-DC i układach PFC.

Diody serii LSIC2SD065DxxA, zamykane w obudowach TO-263-2L, są produkowane w wersji o dopuszczalnym prądzie przewodzenia 6, 10 i 16 A. Diody serii LSIC2SD065ExxCCA są zamykane w większych obudowach TO-247-3L i występują w wersjach o prądzie przewodzenia 12, 16, 20 i 40 A.

*www.littelfuse.com*

## Pierwszy wielofazowy kontroler do realizacji stabilizatorów napięcia o wydajności prądowej >1000 A

XDPE132G5C to pierwszy na rynku kontroler umożliwiający realizację stabilizatorów napięcia, zaprojektowany na potrzeby przyszłych systemów sztucznej inteligencji i sieci 5G. Jest to kontroler PWM 16-fazowy, umożliwiający programowanie napięcia wyjściowego w krokach co 0,625 mV. Zawiera wbudowany interfejs PMBus 1.3/AVS do programowania i monitorowania parametrów pracy. Jest produkowany w obudowie QFN-56 o powierzchni 7×7 mm.

W połączeniu z 70-amperowym, zintegrowanym stopniem mocy TDA21475, kontroler XDPE132G5C umożliwia realizację systemów zasilania o wydajności prądowej >1000 A i sprawności na poziomie 95%. TDA21475 jest produkowany w małogabarytowej (6×5 mm) obudowie z wyprowadzeniem radiatora, pozwalającym zmniejszyć rezystancję termiczną Rth(j-top) z 19°C/W do zaledwie 1,6°C/W. Zapewnia to skuteczne odprowadzanie ciepła z górnej powierzchni i pozwala uzyskać dużą gęstość mocy. TDA21475 zawiera zabezpieczenie nadprądowe i nadnapięciowe oraz czujniki temperatury i prądu wyjściowego, udostępniające wyniki pomiaru w wewnętrznych rejestrach.

*www.infineon.com*

## Szybki i precyzyjny czujnik Halla o czułości ±1,2% i offsecie ±5 mV

Allegro MicroSystems dodaje do oferty czujników Halla nowy model ACS70310, zapewniający największą szybkość i dokładność pomiaru spośród dostępnych dotąd tego typu elementów pracujących w aplikacjach wymagających pomiaru prądu o natężeniu >400 A. Może on znaleźć zastosowanie między innymi w pojazdach o zasilaniu hybrydowym i elektrycznym. Zapewnia czułość ±1,2% i offset wynoszący ±5 mV w całym zakresie dopuszczalnych temperatur pracy od –40 do +150°C. Zawiera wyjście analogowe o napięciu proporcjonalnym do natężenia pola magnetycznego, którego czas odpowiedzi wynosi 2 ms, a szerokość pasma 240 kHz. Jest zabezpieczony przed zwarciem wyjścia, a wbudowany regulator zabezpiecza przed przepięciami do ±18 V pojawiającymi się na linii zasilania. Zakres dopuszczalnych napięć pojawiających się na wyjściu wynosi od –6 do +16 V.

ACS70310 umożliwia optymalizowanie przez użytkownika czułości, offsetu i innych parametrów już po zamontowaniu układu w systemie docelowym. Istnieje też możliwość zamówienia czujnika zaprogramowanego fabrycznie i przeprowadzanie szybkiej kalibracji programowej czułości i offsetu przy wykorzystaniu mikrokontrolera systemowego. Struktura wewnętrzna układu obejmuje element Halla i zintegrowany blok interfejsowy BiCMOS z niskoszumowym wzmacniaczem, niskoimpedancyjnym stopniem wyjściowym i szerokopasmowym układem dynamicznej eliminacji offsetu. ACS70310 jest zamykany w obudowie SIP-4 o grubości zaledwie 1 mm.

*www.allegromicro.com*



eprasa.pl 4d9608b833

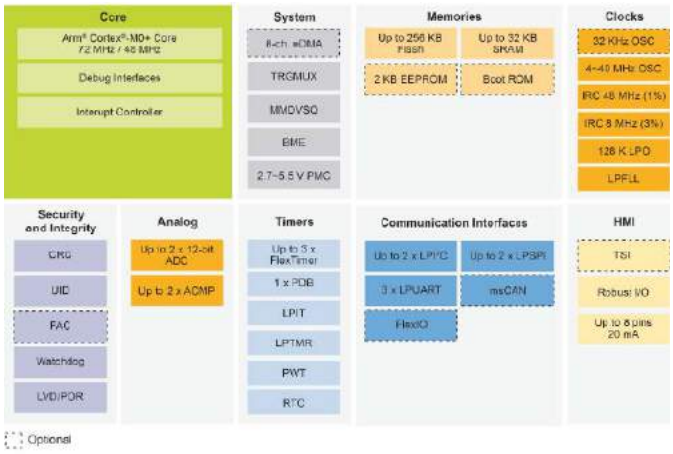
## Pierwsze na rynku kondensatory dyskowe X1/Y1 z kwalifikacją AEC-Q200

Firma Vishay BCcomponents wprowadza do oferty pierwsze na rynku kondensatory dyskowe z kwalifikacją AEC-Q200, przeznaczone do aplikacji klasy X1 (760 VAC)/Y1 (500 VAC), zgodnie z IEC 60384-14.4. Kondensatory serii AY1 zostały zoptymalizowane do filtrowania zakceń na linii AC oraz mogą znaleźć zastosowanie w ładowarkach i konwerterach DC-DC pojazdów elektrycznych i hybrydowych. Przeszły testy środowiskowe 85/85/1000 h i test 1000 cykli temperaturowych w zakresie od –55 do +125°C. Są produkowane na bazie dielektryka ceramicznego Y5U na zakres pojemności od 470 do 4700 pF (±20%).

*www.vishay.com*

## 5-woltowe mikrokontrolery z rdzeniem ARM Cortex-M0+ i sterownikiem ekranu dotykowego

NXP Semiconductor powiększa ofertę mikrokontrolerów 5-woltowych o nową rodzinę mikrokontrolerów KE1xZ opartych na rdzeniu ARM Cortex-M0+ taktowanym zegarem o częstotliwości do 72 MHz, oferujących zintegrowany kontroler CAN 2.0 A/B i sterownik pojemnościowych ekranów dotykowych o maksymalnie 36 kanałach. Są to mikrokontrolery polecane do zastosowań w elektronice użytkowej, systemach automatyki budynków




i systemach przemysłowych IoT. Zawierają do 256 KB pamięci Flash i 32 KB pamięci RAM. 16-kanałowy 12-bitowy przetwornik A/C o szybkości próbkowania 1 MSps wraz z modułami czasowymi FlexTimer, biblioteką narzędzi programowych Freemaster i wtyczką MCAT (Motor Control Application Tuning) umożliwia sterowanie silnikami 3-fazowymi.

Mikrokontrolery rodziny KE1xZ zostały zaprojektowane do pracy w środowiskach przemysłowych. Wyróżniają się dużą odpornością na zakłócenia elektromagnetyczne, a wbudowany sterownik ekranów dotykowych umożliwia współpracę również z ekranami narażonymi na zachlapanie wodą.

Dodatkowe cechy mikrokontrolerów KE1xZ MCU, zapewniające ich niezawodną i bezpieczną pracę, to:

- wbudowany zegar referencyjny 48 MHz dający 1-procentową dokładność w całym zakresie dopuszczalnych parametrów pracy,
- pamięć Boot ROM,
- 128-bitowy unikalny numer identyfikacyjny (UID) każdego chipa,
- funkcja automatycznej kalibracji przetwornika A/C,
- moduł generatora CRC,
- watchdog z niezależnym źródłem zegarowym i zewnętrzny układ monitorujący EWM (external watchdog monitor),
- wewnętrzny układ monitorujący aktywność zegara,
- certyfikat bezpieczeństwa IEC 60730 Class B.

Mikrokontrolery KE1xZ są zamykane w 44- i 48-wyprowadzeniowych obudowach LQFP. Ich ceny hurtowe zaczynają się od 0,79 USD przy zamówieniach 10 tys. sztuk. Firma NXP oferuje do nich oprogramowanie projektowe MCUXpresso oraz zestaw deweloperski FRDM-KE15Z i płytkę z interfejsem dotykowym FRDM-TOUCH, dostępne w cenie odpowiednio 35 USD i 14 USD.

*www.nxp.com*

REKLAMA

HAMMOND MANUFACTURING®

Obudowy wentylowane

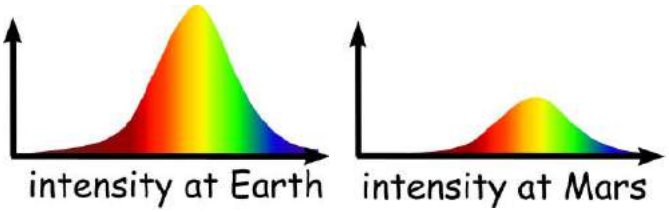
hammfg.com/electronics/small-case/plastic/1551v

Ponad 5000 różnych stylów obudowy:
hammfg.com/electronics/small-case

+44 1256 812812
sales@hammondmfg.eu

eprasa.pl 4d9608b833

# koktajl niusów




## Marsjańska energia Słońca

Czy jest możliwe generowanie prądu elektrycznego ze Słońca na Marsie? Oczywiście, że tak – ale pod warunkiem, że elektrownia z nim związana zostanie zmodyfikowana, ponieważ, w przeciwieństwie do Ziemi, intensywność światła gwiazdy na tej planecie jest dużo mniejsza, i jest pokazana na rysunku.

## Emisji UKF FM więcej niż się zdaje

Ile jest obecnie prowadzonych emisji UKF FM w Polsce? Odpowiedź brzmi: 1055 (stan na 1.06.2019 r.). Emisje te można sprawdzić na stronie: ***http://bit.ly/2I34289***.

**Administrative Distance**

| Source of Routing Information | Default Administrative Distance (AD) |
|---|---|
| Connected | 0 |
| Statically configured | 1 |
| EIGRP summary route | 5 |
| External BGP | 20 |
| Internal EIGRP | 90 |
| IGRP | 100 |
| IS-IS | 115 |
| OSPF | 110 |
| RIP (both v1 and v2) | 120 |
| EGP | 140 |
| ODR | 160 |
| External EIGRP | 170 |
| Internal BGP | 200 |
| Unknown or unbelievable | 255 (will not be used) |

## I w sieci potrzeba wiarygodności

Jak wiadomo, z roku na rok nieprzerwanie wzrasta liczba osób korzystających z sieci, dlatego zapewnienie jej niezawodności staje się coraz większym wyzwaniem. W szczególności problem stanowi duża liczba stosowanych protokołów routingu, których wydajność jest różna. Oczywiście protokoły te są użyteczne i nie można bez nich się obejść (wszak musi być wiadome, jak mają być transportowane pakiety w sieci). Można je ze sobą porównać i stwierdzić, które z nich są najlepsze, aby lepiej wykorzystać trasy w sieciach. Porównanie to odbywa się na podstawie tzw. dystansu administracyjnego (ang. administrative distance), który jest miarą wiarygodności wspomnianych protokołów opracowaną przez firmę Cisco i stosowaną przez routery tworzące te sieci. Miara ta jest liczbą z zakresu od 0 do 255. Im jest mniejsza, tym bardziej jest niezawodny dany protokół, natomiast im większa, tym protokół ten jest bardziej zawodny. Konkretnie chodzi o wartości takie jak na rysunku, przyjęte jako standard przez przytoczoną firmę.

**The Antenna Formula - applied**

- If a half-wave dipole antenna needed to be constructed for a 60 Hz signal, how large would it need to be?

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{186{,}000\,\frac{mi}{\sec}}{60} = 3100mi$$

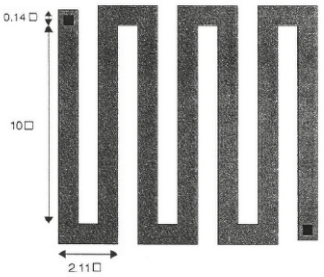
$$\frac{\lambda}{2} = 1550miles!$$

## Dipolowy zawrót głowy (długością!)

Dlaczego anteny dipolowe (zwłaszcza cało- i półfalowe) to zły pomysł, aby odbierać sygnały radiowe o bardzo niskich częstotliwościach? Ponieważ musiałyby być bardzo długie. Przykład pokazano wyżej – 1550 mil, czyli ponad 2000 km. Tego nikomu nie chciałoby się zrobić! Jednak nie oznacza to, że nie da się w ogóle emitować tego rodzaju sygnałów. Aby to zrobić, wystarczy zastosować antenę w kształcie zamkniętej pętli, której wymiary są w praktyce dużo mniejsze od długości fali. Właśnie tak czyni Rosyjska Marynarka Wojenna – instalacja ZEVS zlokalizowana na kole podbiegunowym pod Murmańskiem.

*Analog Layout Considerations*

Integrated Resistor




- The contact contributes 0.14 squares.
- Each bend contributes 2.11 squares.

C.-J. Yen *Analog Layout and Process Concern* 66

## „Scalony" potencjometr w układzie

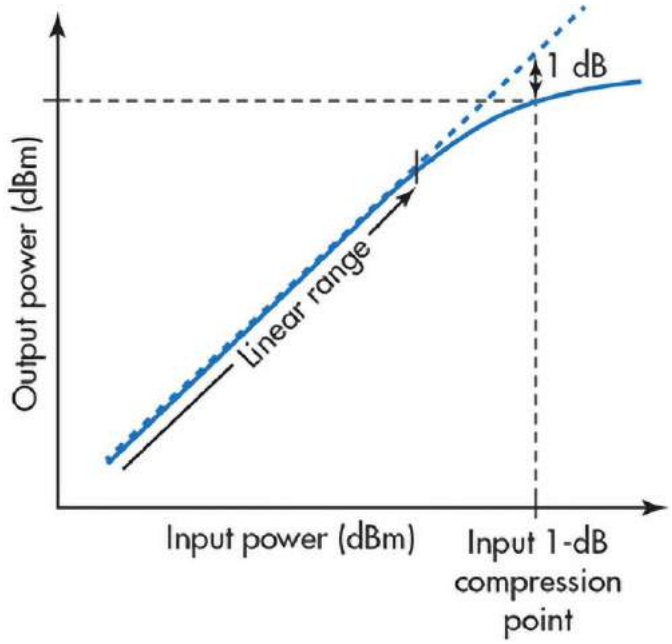
Jak się okazuje, rezystor w układzie scalonym to tak naprawdę „ukryty" potencjometr. W jego przypadku bowiem chodzi o dobór długości ścieżki, która przekłada się na daną wartość rezystancji. W dodatku, tak jak w potencjometrze, ścieżka ta jest układana w meandry, co pokazuje rysunek, w celu maksymalnego zwiększenia jej długości, a przez to zwiększenia wspomnianej wartości.

## „Punktowa" istota mieszaczy

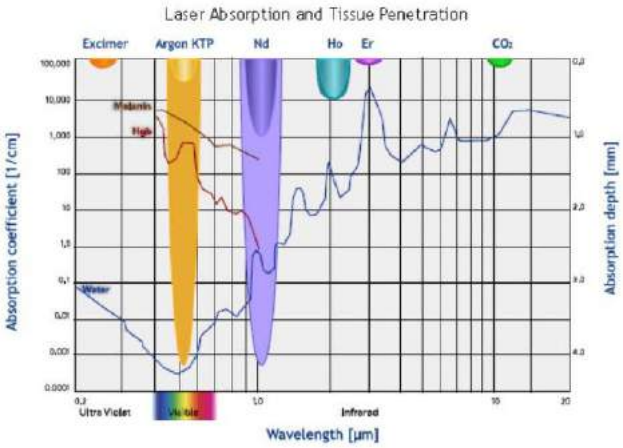
Istotną sprawą w przypadku mieszaczy jest to, gdzie w ich rzeczywistych charakterystykach mocowych (jak na rysunku) występuje tzw. punkt 1 dBCP (ang. dB compression point), zwany po polsku punktem



eprasa.pl 4d9608b833




1 dB kompresji (czytaj: decybelokompresji). Punkt ten to miejsce, w którym różnica między wspomnianymi charakterystykami a charakterystykami idealnymi (o liniowej postaci) wynosi dokładnie 1 dB. Jest o tyle ważny, że określa, gdzie kończy się zakres liniowy pracy mieszaczy, w obrębie których powinny one funkcjonować. Co więcej, tu też zaczyna się słabe lub żadne wzmacnianie sygnału na ich wyjściach, pomimo wzrostu mocy wejściowej (chodzi o kompresję sygnału, od której pochodzi nazwa punktu). Oczywiście chcemy, aby punkt ten znajdował się jak najdalej w prawo na charakterystykach, wówczas bowiem zakres liniowy obowiązuje dla szerszego zakresu mocy wejściowej.




## Lasery vs. ludzkie tkanki

Na pewno wiele pań poddawało się zabiegom z zastosowaniem laserów, aby poprawić wygląd skóry. Ale czy wiecie, jak głęboko światło lasera wnika w tkanki? Jeśli nie, to koniecznie spójrzcie na rysunek, który pokazuje współczynnik absorpcji lasera i głębokość jego wnikania w funkcji jego długości fali, przy danym jego rodzaju. Wszystko to przy dodatkowym porównaniu z wodą, melaniną i hemoglobiną (w skrócie HGB). Jak widać, laser laserowi nierówny i jeden czyni mniejsze szkody w skórze, a drugi większe.

## Śląski „cud" drogowy (wspomagany elektroniką)

Dzisiejsza elektronika ma wiele zastosowań – tego nikomu mówić nie trzeba. Jednak co, jeśli mowa o spektakularnym jej użyciu, jak w przypadku Gliwic, które jako pierwsze miasto w Polsce zbudowało zbliżony do Internetu Rzeczy inteligentny system sterowania ruchem?

REKLAMA

ICAPE GROUP
PRINTED CIRCUIT BOARDS

CENA
CZAS
JAKOŚĆ

NASZE KOMPLEKSOWE USŁUGI PCB SPEŁNIAJĄCE TWOJE WYMAGANIA

ICAPE GROUP

22 MILIONY PCB
dostarczane co miesiąc

10 TECHNOLOGII PCB
żeby zaspokoić wszystkie potrzeby

115 MLN PRZYCHODÓW
ze sprzedaży w 2018 roku

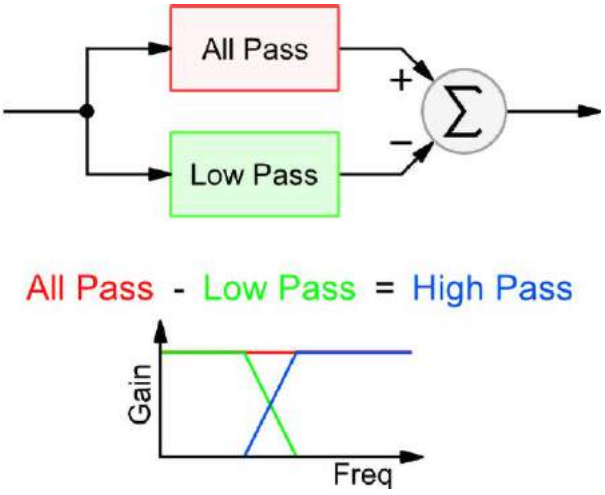
YOUR EXPERT SERVICES PROVIDER IN CHINA*

*TWÓJ DOŚWIADCZONY DOSTAWCA KOMPONENTÓW Z CHIN.

www.icape-group.com

eprasa.pl 4d9608b833

Jak się okazuje, nie jest to zwykły system – w porównaniu do tych w innych miastach bazuje na pobieranych w czasie rzeczywistym danych z dużej liczby czujników i uwzględnia zarówno opóźnienia autobusów, jak i zajętość miejsc parkingowych, wraz z bieżącymi przejazdami pojazdów uprzywilejowanych (coś, co w innych miastach nie jest czynione). Co więcej, obejmuje on wszystkie skrzyżowania, które można podejrzeć ze stosownego centrum monitoringu (inaczej niż w innych miastach, gdzie takim dozorem objętych jest tylko część skrzyżowań, choć bliska ideału (jako wyjątek) jest obecnie Łódź). Do tego możliwa jest również zdalna modyfikacja programów wszystkich sygnalizacji świetlnych (reakcja na rzeczywisty ruch na ulicach), która nie jest związana jedynie ze sterownikami zapewniającymi zielone fale na ulicach (jak na przykład Wisłostrada i system Siemensa, który dąży do bieżącego utrzymywania zielonej fali). Dodatkowo priorytetowo obsługiwane są relacje skrętne na skrzyżowaniach, gdy nadjeżdża pojazd uprzywilejowany, który chce skręcić, a także dostępnych jest łącznie 7 znaków o zmiennej treści w mieście, poprzez które kierowcy są na bieżąco informowani o utrudnieniach. Ponadto w niedalekiej przyszłości cały system ma być rozszerzony o drony (Gliwice są jak dotąd jedynym miastem w Polsce, które poważnie myśli o ich użyciu do kontroli ruchu). Jakkolwiek patrzeć, kontrola „na bogato", jak na XXI wiek przystało (źródła: ***http://bit.ly/2wR5Rid***, ***http://bit.ly/2I59gjT***, ***http://bit.ly/2ZdqssO***)

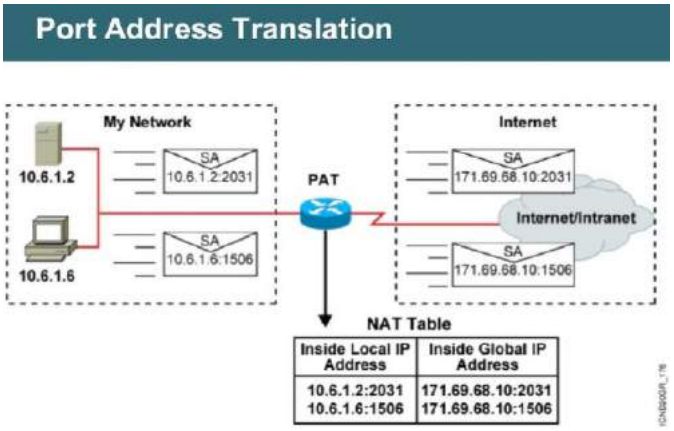



## Filtr górnoprzepustowy (alternatywnie)

Na filtr górnoprzepustowy można również patrzeć jak na różnicę filtra wszechpasmowego i filtra dolnoprzepustowego. Zatem jest to układ taki jak na rysunku. Nie jest stosowany w praktyce, chociaż teoretycznie jak najbardziej możliwy.

## Iście „energetyczny" telefon!

Niewątpliwie każdy zna amerykańską firmę Energizer, szczególnie z racji jej żywotnych baterii. Ale czy wiedzieliście, że nie tylko tym się ona zajmuje? Od niedawna firma ta produkuje również smartfony, które tak jak wspomniane baterie również są nastawione (jak na tę firmę przystało) na jak najdłuższe działanie. Sztandarowym jej modelem tutaj jest Power Max P18K, którego bateria o pojemności 18000 mAh wytrzymuje nawet do 50 dni bez ładowania (dorównując kultowej już Nokii 3310) – jednak za cenę dłuższego czasu ładowania, wynoszącego aż 9 godzin. Co więcej, jego wymiary są znacznie większe niż typowych smartfonów, przez co żartobliwie jest nazywany cegłą, tak jak dawniejsze przenośne telefony. Na tym jednak różnice się kończą – pod kątem funkcjonalności bowiem telefon ten nie ustępuje niczym reszcie typowych smartfonów – wyświetlacz o przekątnej 6,2 cala o rozdzielczości 1080×2280 pikseli, dwie kamery o rozdzielczościach 2 i 16 Mpix, ośmiordzeniowy procesor z rdzeniem ARM, możliwość korzystania z dwóch kart SIM, 6 GB pamięci RAM, 128 GB pamięci wbudowanej czy wreszcie system operacyjny Android 9.0 Pie – coś, co od dłuższego czasu w wielu telefonach jest już powszechnym standardem (źródła: ***http://bit.ly/2I1ZMWm***, ***http://bit.ly/2Wu8fdN***).




## PAT-owa (ale nie beznadziejna) translacja adresów IP

W praktyce dołączane do sieci domowych urządzenia odznaczają się prywatnymi adresami IP, które są zamieniane na publiczne dzięki mechanizmowi NAT (ang. Network Address Translation), będącemu tablicą, w ramach której konkretnym adresom prywatnym przypisane są określone adresy publiczne (również IP). Jednak jest on niepraktyczny, ponieważ każdy adres prywatny musi mieć swój unikalny adres publiczny, co przy wzrastającej liczbie urządzeń stanowi problem, ponieważ pula wolnych adresów szybko się wyczerpuje. Aby tego uniknąć, stosuje się alternatywny mechanizm translacji wspomnianych adresów, tj. PAT (*Port Address Translation*), w którym do każdego adresu prywatnego przypisywany jest jeden adres publiczny wraz z różnymi portami. Przypisanie to jest dokonywane w sposób przedstawiony na rysunku (jednak uwaga: często nieściśle PAT jest utożsamiany z NAT i obydwie nazwy są stosowane zamiennie, tak jak na załączonej na rysunku tablicy, co jest błędem!).



eprasa.pl 4d9608b833

# Raspberry Pi 4 Model B

*Na rynku pojawiła się właśnie nowa generacja Raspberry Pi. Wprowadzony model jest nie tylko bardziej wydajny, ale ma też lepsze interfejsy komunikacyjne. To bardzo dobra wiadomość dla całego szeregu inżynierów – elektroników, gdyż Raspberry Pi stanowi już nie tylko popularną platformę deweloperską lub niedrogi komputerek dla hobbystów, ale jest też używany w produkcyjnych wersjach różnorodnych urządzeń.*

Raspberry Pi 4 Model B to najpotężniejszy z modeli Raspberry Pi, jakie kiedykolwiek zbudowano. Cechuje się licznymi usprawnieniami w odniesieniu do szybkości procesora, wydajności multimedialnej, pojemności pamięci i interfejsów komunikacyjnych, dzięki czemu będzie atrakcyjny zarówno dla użytkowników komputerów stacjonarnych, hobbystów, twórców, jak i profesjonalnych inżynierów, pracujących z intensywnymi obliczeniowo aplikacjami wbudowanymi, takimi jak systemy wizyjne i sztuczna inteligencja (AI – *Artificial Intelligence*). Znajdzie też zastosowanie jako nieduży, domowy komputer stacjonarny.

## Zastosowania

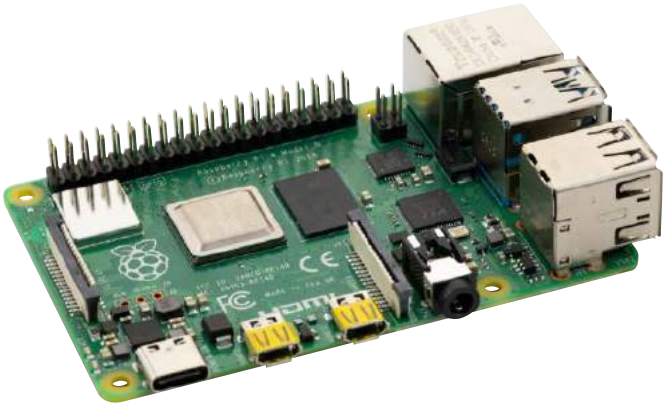
Od pewnego czasu Raspberry Pi jest powszechnie stosowane przez profesjonalnych inżynierów, zarówno podczas prototypowania, jak i w trakcie produkcji masowej. Dotyczy to szerokiego zakresu aplikacji, począwszy od IoT i sztucznej inteligencji, przez systemy sterowania i automatyki przemysłowej, a kończąc na konserwacji predykcyjnej. Mając więcej pamięci, prawdziwy, gigabitowy interfejs ethernetowy, porty USB 3.0 i większą wydajność procesora, a wszystko to dostępne w atrakcyjnych cenach, nowy Raspberry Pi 4 Model B startuje ze świetnej pozycji, dzięki której możemy się spodziewać, że szybko zostanie wdrożony w wielu aplikacjach przemysłowych.

Dodatkowa moc i wybór różnych opcji pojemności pamięci spełniają potrzeby profesjonalnych projektantów. Dzięki temu niektóre algorytmy sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego mogą być przetwarzane bezpośrednio na płytce, redukując tym samym ilość danych przesyłanych do chmury, a jednocześnie zmniejszając realne obawy o zachowanie prywatności użytkowników. A w przypadku zastosowania w roli komputera stacjonarnego, użytkowników ucieszy zapewne sprzętowa akceleracja dla multimediów i wsparcie dla pracy w konfiguracji z dwoma wyświetlaczami.

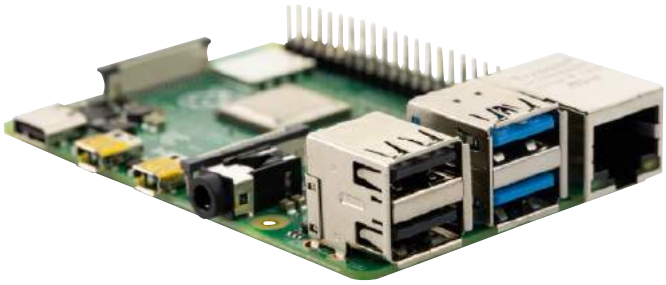
## Parametry

Komputer Raspberry Pi 4 Model B to pierwszy z modeli, w którym wykorzystano układ SoC wykonany w procesie technologicznym o wymiarze charakterystycznym 28 nm, co pozwoliło uzyskać znaczący wzrost wydajności i pozytywnie wpłynąć na energooszczędność. Nowy procesor ma cztery 64-bitowe rdzenie ARM Cortex-A72, taktowane zegarem 1,5 GHz. Do tego na pokładzie znalazły się dwa porty micro HDMI, które pozwalają na pracę w konfiguracjach z dwoma wyświetlaczami, przy rozdzielczościach do 4K. Duże znaczenie mają też wbudowane interfejsy komunikacyjne:

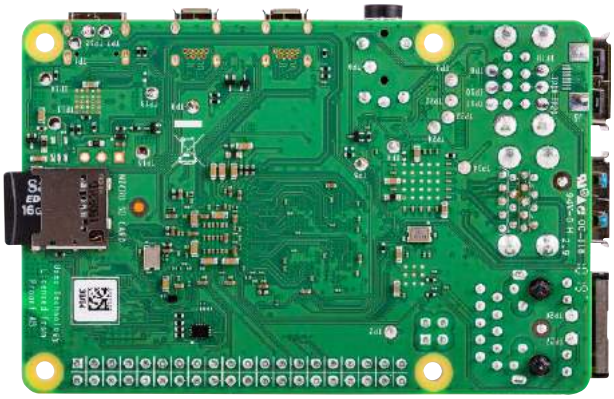
- nowy interfejs USB 3.0 SuperSpeed, pozwala na szybsze przesyłanie danych do pamięci masowych (do 5 Gb/s),
- prawdziwie gigabitowy interfejs ethernetowy pozwala osiągać szybkość transferu na poziomie do 1 Gb/s,



**Fotografia 1. Dwa złącza micro HDMI przydadzą się w zastosowaniach domowych i w aplikacjach typu Digital Signage. Warto też zwrócić uwagę na nowe złącze USB Typu C**



**Fotografia 2. Niebieskie kolory przy dwóch portach USB świadczą o zastosowaniu USB 3.0**

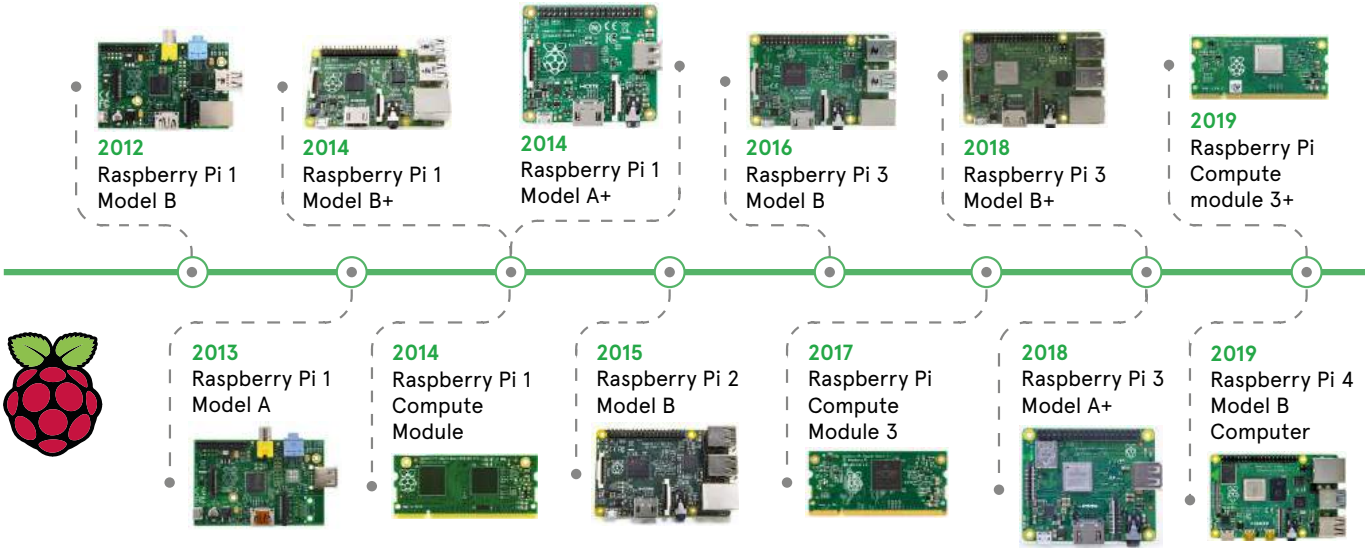


**Fotografia 3. Raspberry Pi 4 Model B od spodu**

**Rysunek 4. Jedno z nowych oficjalnych akcesoriów do Raspberry Pi 4 Model B to ładna obudowa**



eprasa.pl 4d9608b833




**Rysunek 5. Historia wprowadzania modeli Raspberry Pi**

- dwuzakresowa sieć bezprzewodowa Wi-Fi w pasmach 2,4 GHz i 5 GHz pozwala na uzyskiwanie rzeczywistych transferów na poziomie ponad 100 Mb/s. Płytka jest wstępnie certyfikowana, dzięki czemu korzystając z niej w finalnej wersji produktu można znacząco skrócić czas potrzebny na testowanie zgodności urządzenia z wymogami regionalnych norm, tym samym zmniejszając koszty i czas wprowadzenia aplikacji na rynek.

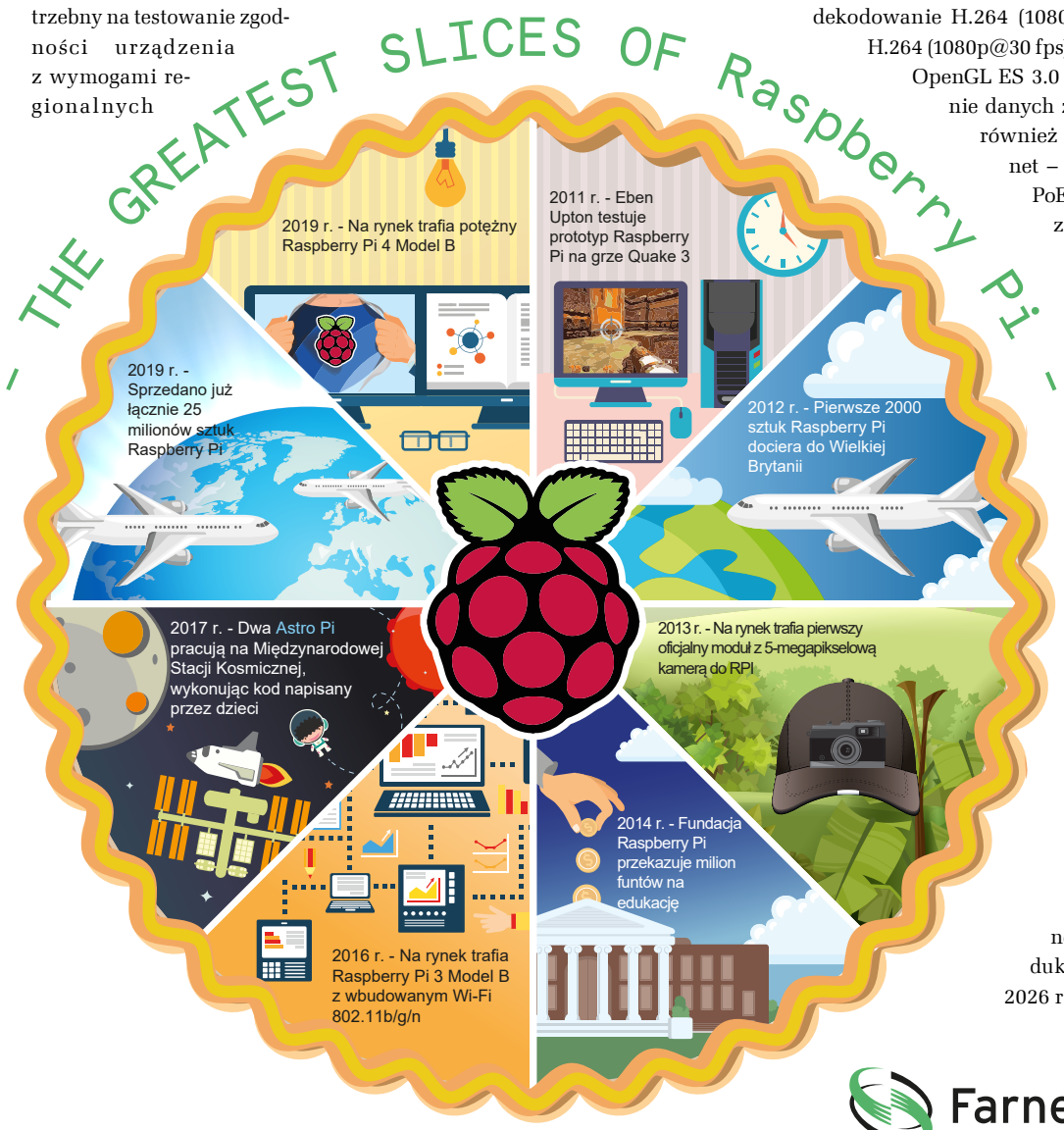
Komputer dostępny jest w trzech wersjach, różniących się ilością dostępnej pamięci. Są to opcje 1 GB, 2 GB i 4 GB pamięci LPDDR4. RPI 4 sprzętowo wspiera: dekodowanie H.265 (4k@p60 fps), dekodowanie H.264 (1080p@60 fps) i enkodowanie H.264 (1080p@30 fps). Ma też wsparcie dla grafiki OpenGL ES 3.0 oraz potokowe przetwarzanie danych z sensora obrazu. Obsługuje również standard Power over Ethernet – poprzez dodatkowy moduł PoE HAT. Podstawową metodą zasilania jest natomiast USB, z tym że w tym wypadku zastosowano złącze USB Typu C!

## Ceny i dostępność

Ceny nowego komputera zależą od wersji. Model z 1 GB pamięci RAM kosztuje 35 dolarów. Model z dwa razy większą pamięcią to koszt 45 USD, a model z 4 GB pamięci RAM kosztuje 55 dolarów.

Warto dodać, że – co ważne dla firm integrujących Raspberry Pi w urządzeniach przemysłowych, nowy komputer będzie w produkcji przynajmniej do stycznia 2026 roku.

**Marcin Karbowniczek, EP**




Farnell
AN AVNET COMPANY

**Rysunek 6. Kluczowe wydarzenia w świecie Raspberry Pi**

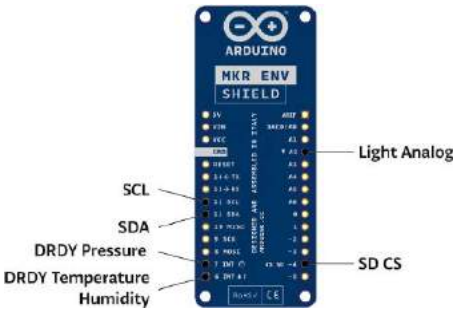


eprasa.pl 4d9608b833

# Nowe płytki rozszerzeń Arduino MKR

*W sprzedaży pojawiły się cztery nowe płytki rozszerzeń do Arduino serii MKR: Arduino MKR ENV Shield, Arduino MKR RGB Shield, Arduino MKR Motor Carrier i Arduino MKR Therm Shield.*

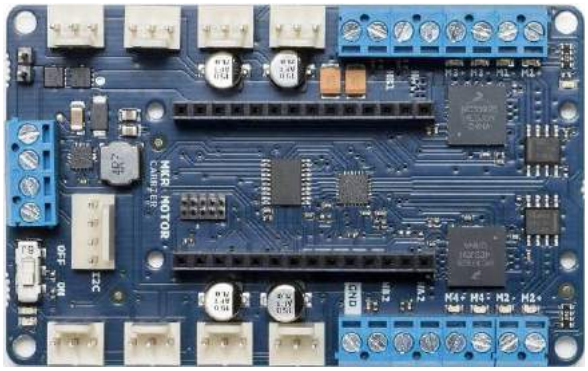
Płytka Arduino MKR ENV Shield ma wymiary 61 mm×25 mm i waży 32 g. Wymaga zasilania napięciem 3,3 V i pozwala łatwo zbierać oraz gromadzić dane środowiskowe, pozyskiwane za pomocą różnych czujników. Sensory monitorują ciśnienie atmosferyczne, temperaturę, wilgotność, natężenie oświetlenia a nawet natężenie promieniowania ultrafioletowego (UVA i UVB). Płytka została wyposażona w czytnik kart pamięci microSD oraz jest dostarczana z kompletną, gotową do użycia biblioteką, umożliwiającą odczytywanie wartości z różnych czujników. W efekcie bardzo łatwo jest tworzyć nowe rozwiązania i wprowadzać mechanizmy zbierania danych do projektów bazujących na Arduino.



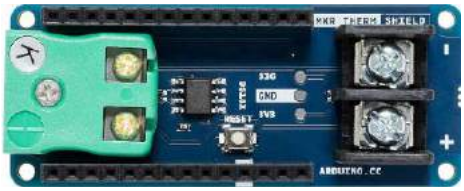

**Rysunek 1. Rozkład wyprowadzeń płytki Arduino MKR ENV Shield**

**Rysunek 2. Płytka Arduino MKR RGB Shield**

Płytka Arduino MKR RGB Shield pozwala użytkownikom wypisywać wiadomości oraz prezentować grafiki, za pomocą których będą pokazywać wartości zbierane z użyciem innych płytek MKR. Jest sterowana za pomocą chmury Arduino IoT cloud i zawiera 64 gęsto rozmieszczone oraz bardzo jasne diody LED RGB. Jest bardzo prosta w swojej konstrukcji i można ją z łatwością zamontować na innej płytce MKR, bez potrzeby lutowania czy stosowania jakichkolwiek dodatkowych przejściówek. Ma wymiary 61,5 mm×27 mm i wymaga napięcia zasilania równego 5 V. Maksymalny pobierany prąd wynosi 2,5 A. Masa płytki to 32 g.



**Rysunek 3. Płytka Arduino MKR Motor Carrier**



**Rysunek 4. Płytka Arduino MKR Therm Shield**

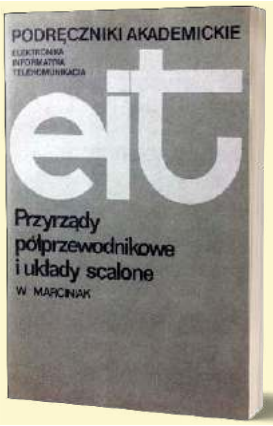
Tymczasem Arduino MKR Motor Carrier pozwala podłączyć kilka silników i czujników do dowolnego projektu mechatronicznego i sterować serwonapędami, silnikami stałoprądowymi lub krokowymi. Można ją również wykorzystać do podłączania innych elementów wykonawczych i sensorów za pomocą szeregu 3-pinowych wyprowadzeń typu męskiego.

Płytka Arduino MKR Therm Shield wymaga napięcia zasilania 3,3 V i pozwala na zbieranie precyzyjnych odczytów temperatury w bardzo szerokim zakresie (od 200°C do 700°C), a to za sprawą termopary typu K i cyfrowego czujnika DS18Bxx z interfejsem one-wire. Dwa złącza na płytce pozwalają na użycie termopary typu K z dodatkową przejściówką lub bez niej. Natomiast interfejsem pośredniczącym w odczytach jest układ cyfrowy MAX31855. Wymiary płytki MKR Therm Shield są takie same, jak w przypadku ENV Shield. Nowe płytki można nabyć w sklepie Farnell pod adresem: ***http://bit.ly/2Ws1p8M***.

**Marcin Karbowniczek, EP**

## Nauka elektroniki (ciekawostka bonus!)

Przygody z elektroniką człowiek rozpoczyna w różny sposób – jeden czyni to przez praktykę (a zwłaszcza lutowanie), a drugi przez literaturę, wliczając w to dostępne obecnie w Internecie źródła. Jednak nie wszystkie jej pozycje są dobre, a niektóre są wręcz napisane w trudnym do zrozumienia języku, który odstrasza osoby początkujące. Wyjątek stanowi książka pt.: „Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone", autorstwa redaktora naczelnego „Elektroniki Praktycznej", prof. Wiesława Marciniaka, przystępnie i na temat wprowadzająca w tematykę wspomnianej dziedziny. W ciekawy sposób porusza tematykę diod i tranzystorów, które stanowią podstawę współczesnej elektroniki. Książka ta, choć stara, jest do dzisiaj czytana przez studentów kierunku elektroniki i Wam również bardzo ją polecamy. Nieważne, że jej okładka nie jest ładna, a ostatnie wydanie pochodzi z 1986 roku, którego pojedyncze egzemplarze można znaleźć w wielu bibliotekach w naszym kraju. Ważne, że ma ona dużo do zaoferowania, zwłaszcza osobom dopiero zaczynającym przygodę z elektroniką. W końcu nie po okładce ocenia się całą książkę!






eprasa.pl 4d9608b833

# co było warto odwiedzić w 2019 roku?

*Tegoroczny, jubileuszowy Automaticon wzbudzał wśród wystawców i odwiedzających wyjątkowo dużo emocji – i pozytywnych, i negatywnych. Również i nasze zdanie zmieniało się z dnia na dzień, gdy obserwowaliśmy przebieg targów, codziennie aktywnie w nich uczestnicząc. Tymczasem Evertiq Expo zyskiwało znacznie bardziej jednoznaczne opinie. Redakcja „Elektroniki Praktycznej" uczestniczyła w obu tych wydarzeniach i prowadziła rozmowy zarówno z gośćmi, jak i wystawcami. Chcesz się dowiedzieć, które z tych wydarzeń odwiedzić w przyszłym roku? W artykule odpowiadamy na to pytanie.*

XXV Automaticon odbył się pod koniec marca, a Evertiq Expo niecałe dwa miesiące później, bo w połowie maja. Oba wydarzenia mogły być interesujące dla elektroników, ale bardzo się między sobą różnią i to prawie wszystkim. Bo o ile wiele firm bierze udział i w jednej, i w drugiej imprezie, klimat tych wydarzeń jest zupełnie inny. Różnią się też oczekiwania gości, wystawców oraz organizatorów. I naszym zdaniem zdecydowanie różna jest też przyszłość obu targów.

## Automaticon a Evertiq Expo

Tegoroczny Automaticon budził wśród gości i wystawców pewne oczekiwania, które nie zostały spełnione. W sumie nie było wiadomo, czego konkretnego się spodziewać, ale 25-lecie wydaje się znamienną chwilą, którą wypadałoby jakoś uświetnić. Zresztą dobrze to wiemy, bo taki sam jubileusz EP obchodziliśmy w minionym roku, a Automaticon jest tylko o rok młodszy od naszego czasopisma. Niestety w przypadku targów ćwierćwiecze nie zostało uczczone żadnymi specjalnymi wydarzeniami, a przynajmniej nie takimi, które nasi rozmówcy targowi uznaliby za wyjątkowe. To, wraz z frekwencją pierwszego dnia, kiedy to już około godziny 15 wystawcy z braku ruchu zaczęli opuszczać swoje stoiska, sprawiło, że 26 marca nastroje były zdecydowanie nie najlepsze. Na szczęście później było lepiej.

Zupełnie inaczej goście i wystawcy podchodzili do Evertiq Expo. Z małej, kameralnej imprezy organizowanej w uczelnianej sali, wydarzenie to przerodziło się w prawdziwe targi, choć również przeprowadzone w znacznie krótszej i bardziej kameralnej formie. Zamiast wielkich hal wystawienniczych Expo XXI, organizatorzy wybrali Stadion Narodowy. I choć mogłoby się wydawać, że to jeszcze większa przestrzeń, w praktyce teren wystawy obejmował jedynie fragment jednego piętra. Mniejsza przestrzeń sprawiała, że nawet przy niedużej liczbie gości nie byłoby widać pustek, a nisko podwieszony sufit potęgował wrażenie entuzjastycznych dyskusji. Zewsząd słychać było szum rozmów i bywały okresy, że właściwie przy każdym ze stoisk stało kilku gości. Zdecydowanie robiło to pozytywne wrażenie! Nieduże stoliki sprawiły, że przejście po wszystkich wystawcach nie stanowiło najmniejszego problemu, a do tego serwis kawowy i poczęstunek uprzyjemniały spędzanie czasu i zachęcały gości do pozostawania jak najdłużej.

## Automaticon – najciekawsze tematy

Jak co roku na Automaticonie rozdawane są nagrody. W tym roku organizatorzy targów wyróżnili 5 firm:

- ASKOM Sp. z o.o. za system wizualizacji ASIX.EVO w wersji 10,
- COROBOTICS Sp. z o.o. za robota współpracującego HCR-3/5/12,
- FINDER Polska Sp. z o.o. za system YESLY Comfort Living,

**Fotografia 1. Stoiska na Automaticonie są duże i wysokie**

**Fotografia 2. Stoiska na Evertiq Expo to tak naprawdę stoliki i rozwinięte bannery**



eprasa.pl 4d9608b833

**Fotografia 3. Samobieżne roboty Mobile Industrial Robots**

**Fotografia 4. System rozszerzonej rzeczywistości Apzumi Spatial**

- KUKA CEE GmbH Sp. z o.o. oddział w Polsce za robota KR QUANTEC – 2,
- TPL VISION UK LTD za rozwiązanie Modular Ringlight.

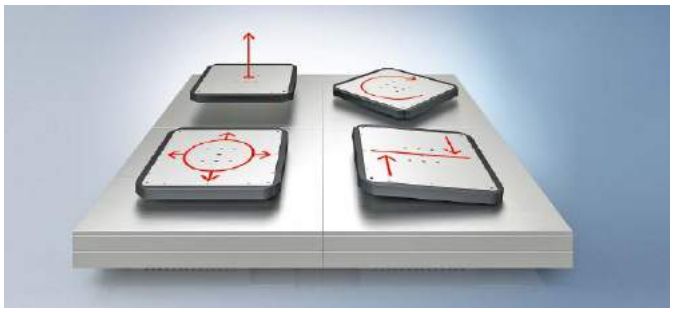
Natomiast naszą uwagę przykuły nieco inne rozwiązania:

Pierwszym z nich były roboty mobilne firmy Mobile Industrial Robots, choć nie tylko tej, bo i inni producenci mieli samobieżne roboty na stoiskach. Wszystkie z nich były imponujące, ale to rozwiązanie od Mobile Industrial Robots najbardziej zwracało swoją uwagę, gdyż ich maszyna sama jeździła po terenie targów, poruszając się pomiędzy gośćmi i stoiskami. Pokazywało to tym samym, jak bardzo ufa się obecnie takim rozwiązaniom i jak mocno zostały dopracowane. Mobilny robot w tłumie postronnych ludzi, nieprzeszkolonych do obcowania z nim – jeszcze kilka lat temu takie coś byłoby nie do pomyślenia. A tymczasem, dzięki zastosowaniu mnóstwa czujników i sztucznej inteligencji, robot ten nie tylko zachowuje bezpieczeństwo, ale i podejmuje sensowne reakcje, spowalniając swój ruch, gdy w jego otoczeniu jest tłok, zatrzymując się w odpowiedniej odległości, jeśli napotka przeszkodę oraz starając się już z daleka ominąć przeszkodę, którą widzi na swojej planowanej trasie. Niewątpliwie roboty tego typu będą coraz częściej widywane w fabrykach, ale i nie tylko, bo pewnie także i w centrach handlowych czy hotelach.

Drugim z produktów, który na nas zrobił duże wrażenie, był system rozszerzonej rzeczywistości Spatial, opracowany przez polską firmę Apzumi. Choć rozwiązanie to nie koncentruje się ani na automatyce, ani na czystej elektronice, uważamy, że warto o nim wspomnieć, bo takiego typu systemy spopularyzują się w przyszłości. Będąc na targach, można było samodzielnie przekonać się, na ile są wygodne i czy mogą być użyteczne. I o ile na stoisku producenta do testów wykorzystywana była pierwsza wersja gogli Microsoft HoloLens, i tak widać było, że nawet w takiej postaci prezentowane aplikacje mogą mieć realne zastosowanie. Jednym z przykładów użycia jest wsparcie specjalisty utrzymania ruchu w zakładzie produkcyjnym, który przechadzając się po zakładzie, ma prezentowane na żywo, pobierane z chmury odczyty, dotyczące poszczególnych maszyn znajdujących się w polu widzenia. Zbliżenie do maszyny lub zwrócenie wzroku na jej panel albo wykonanie odpowiedniego gestu pozwoli na wyświetlenie dodatkowych, szczegółowych informacji. A to tylko jedno z potencjalnych zastosowań. Obecnie gogle tego typu są stosowane m.in. w zakładach firmy Volkswagen, w Polsce i w Niemczech.

Wśród pozostałych wystawców zdecydowanie uwagę przyciągał Farnell. W odróżnieniu od większości innych firm, część stoiska Farnella robiła wrażenie zabałaganionej. A to za sprawą warsztatu, który został tam zorganizowany a który przyciągał wiele osób. I jak to w warsztacie bywa, na biurkach było dużo narzędzi, podzespołów i różnorodnej aparatury. Można powiedzieć, że Farnell trafił w tegoroczny trend Automaticonu, a więc zwiększoną liczbę studentów i uczniów, dla których możliwość pobawienia się prawdziwą elektroniką była bardzo dużą atrakcją.

Przy okazji bardzo żałujemy, że na stoisku firmy Beckhoff Automation nie było prezentacji na żywo jednego z najbardziej intrygujących rozwiązań – XPlanar. Pojechało na konkurencyjną imprezę, a nie jest jeszcze wdrożone do seryjnej produkcji. W skrócie mówiąc, XPlanar to lewitujący taśmociąg. Bezkontaktowy system płynnego



**Fotografia 5. System transportu Beckhoff XPlanar**

transportu, zdolny do osiągania prędkości do 4 m/s. Składa się z płytek podłoża, które generują pole magnetyczne za pomocą elektromagnesów oraz z płytek transportujących, które mają magnesy stałe. Płytki mają wymiary od 95×95 mm do 275×275 mm, przy czym te największe mogą unieść do 6 kg masy. Maksymalne przyspieszenie to 20 m/s$^2$, bez obciążenia. Kierunek poruszania płytek i ich obracania definiuje się programowo, co pozwala uzyskać dużą elastyczność konfiguracji. Do tego całość jest wysoce higieniczna, gdyż mycie takiego przenośnika jest bardzo łatwe i nie ma on żadnych zakamarków, w którym gromadzą się zabrudzenia. Sposób działania tego systemu można zobaczyć na filmiku pod adresem: ***http://bit.ly/2ZbbK5F***.

## Evertiq Expo – najciekawsi wystawcy

O ile na Automaticonie była przestrzeń, by można było zaprezentować na żywo jakieś imponujące rozwiązania, na Evertiq Expo znacznie trudniej o takie atrakcje. Natomiast to, na co warto zwrócić uwagę, to duża liczba firm zajmujących się dystrybucją podzespołów, które nie pochodzą z Polski a działają w Europie Centralnej. W związku z powyższym na Evertiq Expo warto przyjść nie tylko po to, by w bardziej kameralnej atmosferze dopytać o nowe podzespoły, ale też poznać oferty firm, które czasem nie mają nawet swoich polskich stron internetowych

**Fotografia 6. Targi Evertiq Expo robiły wrażenie pełnych gości**



eprasa.pl 4d9608b833

**Fotografia 7. Widowiskowe prezentacje na targach Automaticon**

**Fotografia 8. Na Evertiq Expo panuje inna atmosfera niż na wielkich targach**

i na które trudno trafić w inny sposób. Część z tych dostawców deklarowała, że jest w stanie zaoferować w atrakcyjnych cenach oryginalne podzespoły, które nabywają z alternatywnych źródeł. I choć takie zapewnienia mogą wydawać się podejrzane, o takich możliwościach informowały firmy mogące poszczycić się wieloletnim doświadczeniem.

Naturalnie podstawowa różnica pomiędzy Evertiq Expo a Automaticonem to także profil tematyczny targów. Evertiq skupia praktycznie wyłącznie firmy zajmujące się elektroniką, podczas gdy Automaticon koncentruje się na automatyce i firmy związane z elektroniką stanowią tam tylko uzupełnienie. Widać to też po firmach, które zostały głównymi sponsorami wydarzenia: były to Aspocomp, Farnell/Avnet, NCAB Group Polska, Phoenix Contact i WG Electronics/Creative Electron.

## Statystyki

Chyba największą różnicę pomiędzy jedną a drugą imprezą widać w statystykach. Ze swojej strony od kilkunastu lat uważnie śledzimy dane podawane przez organizatorów Automaticonu, notując za każdym razem powierzchnię wystawienniczą, liczbę stoisk, reprezentowanych firm oraz szacunkową liczbę odwiedzających. To bardzo ważne, by podkreślić, że w przypadku Automaticonu nigdy nie wprowadzono rejestracji gości, w związku z czym to, ile osób odwiedziło targi, jest jedynie domysłem. I to domysłem od lat podważanym przez wystawców. W tym roku organizatorzy zadeklarowali, że Automaticon odwiedziło 9500 osób, co stanowi istotny spadek względem podawanych 12 tysięcy w roku 2018. Daleko też do rekordu z 2008 roku, gdy na targi przyszło podobno nawet 16 tysięcy osób. Zmniejszyła się również powierzchnia wystawiennicza. Najmniejsza z hal została zupełnie zamknięta, a jedna z pozostałych nie była wypełniona w całości. Całość zajęła jedynie 9500 m², co również jest najmniejszą wartością przynajmniej od 2007 roku, odkąd monitorujemy dane Automaticonu. Liczba stoisk spadła z 301 w zeszłym doku do 276, a liczba reprezentowanych firm do 480. To bardzo duży spadek, gdyż jeszcze dwa lata temu niemal rok w rok liczba reprezentowanych firm przekraczała 700.

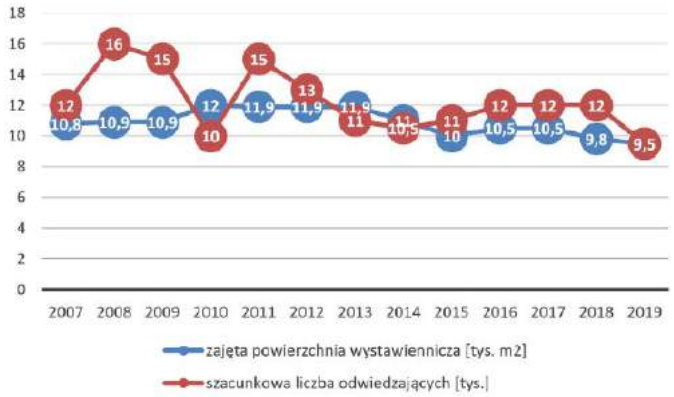
Znacznie bardziej rzetelne dane można uzyskać od organizatorów Evertiq Expo. Tu nie tylko goście, ale i personel wystawców jest rejestrowany co do osoby. Targi odwiedziło 834 gości, którzy zadeklarowali przynależność łącznie do 403 firm. Natomiast wystawców było 586, reprezentujących 165 firm. Same stoiska były na tyle nieduże, że zazwyczaj obsługiwały je dwie, a czasami jedna osoba. A że statystycznie na wystawcę przypadało 3,5 pracownika, to należy uznać, że przez dużą część wystawy ponad 300 osób, pracujących dla wystawców, przechadzało się po innych stoiskach i również zwiększało wrażenie tłumu na targach.

## Podsumowanie

Gdzie warto udać się w przyszłym roku? Jeśli chcecie zobaczyć widowiskowe maszyny, to ciągle podstawowym celem powinien być Automaticon, który – w naszym przekonaniu – nadal będzie się kurczył. Jeśli jednak chcecie porozmawiać z dostawcami podzespołów na temat konkretnych projektów elektronicznych, łatwiej będzie udać się na Evertiq Expo, które praktycznie na pewno będzie jeszcze większe w przyszłym roku. Przy czym jest duża różnica pomiędzy warszawską edycją wydarzenia a krakowską. Ta druga jest mniejsza i cieszy się mniej pochlebną opinią. Zresztą jeszcze w tym roku będzie można sobie samodzielnie wyrobić zdanie na ten temat, odwiedzając Evertiq Expo Cracov 2019, które odbędzie się 17 października.

**Marcin Karbowniczek, EP**

**Rysunek 9. Liczby stoisk wystawców i reprezentowanych przez nich firm na targach Automaticon w latach 2007-2019. W roku 2017 organizatorzy nie podali liczby stoisk**




**Rysunek 10. Zajęta powierzchnia wystawiennicza (w tysiącach metrów kwadratowych) i szacunkowe liczby gości odwiedzających targi Automaticon (w tysiącach) w latach 2007-2019**



eprasa.pl 4d9608b833

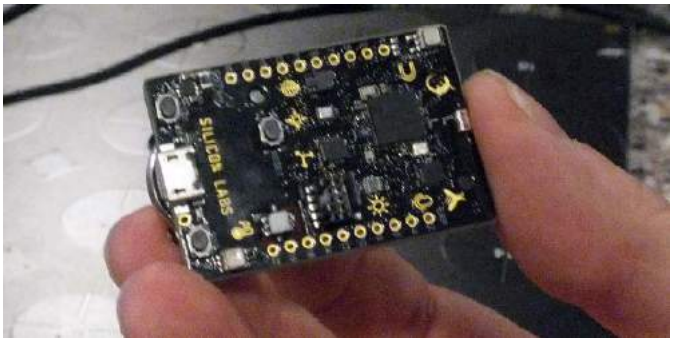
# dodaj do obserwowanych

**Przedstawiamy redakcyjny wybór najciekawszych projektów soft 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.**

## Lokalizator wykorzystujący Bluetooth 5.1 od Silicon Labs

Ostatnie postępy w zakresie precyzyjnego pozycjonowania w pomieszczeniach z wykorzystaniem nowych standardów – Bluetooth 5.1 i 802.15.4z – mają zapewnić możliwość odnajdywania namierzanych obiektów z dokładnoscią od 1 do 10 cm przy jedynie minimalnym opóźnieniu. Przy wykorzystaniu Bluetooth 5.1 tak dobre wyniki osiąga się dzięki pomiarom kąta przylotu (AoA) i kąta emisji (AoD) pakietów z macierzy anten.

Nowe funkcje nie są jeszcze zaimplementowane w gotowych urządzeniach, ale firma Silicon Labs niedawno zademonstrowała technologię lokalizacji z wykorzystaniem Bluetooth na targach Arrow IoT. System prezentacyjny składał się z urządzenia do śledzenia i podłączonej do niego lampy, sterowanej poprzez DMX-512, która śledziła osobę, która miała w danym momencie śledzony tag. Precyzja oświetlania noszącego tag jest całkiem imponująca, a opóźnienie pomijalne – w przypadku poprzednich iteracji tego rodzaju technologii śledzenie z pomocą Bluetooth także było możliwe, ale wiązało się z opóźnieniami rzędu 3…6 sekund.




Czego więc potrzeba, aby umożliwić wyszukiwanie lokalizacji z wykorzystaniem Bluetooth 5.1? Po pierwsze, potrzebna jest stacja bazowa z macierzą anten. Ta wykorzystana powyżej obejmuje szesnaście anten (macierz 4×4) używanych do obliczania kątów emisji i przylotu pakietów, a ostatecznie do położenia taga i kierunku nadejścia sygnałów. Stacja bazowa wykorzystuje mikrokontroler Silabs Blue Gecko i może być podłączona do komputera przez USB lub Ethernet w celu wizualizacji lokalizacji lub do sterowania, na przykład jak w tym układzie, światłem oświetlającym punkt z tagiem.

Po drugie, potrzebne jest też źródło sygnału nawigacyjnego Bluetooth 5.1 – przenośny moduł z własnym zasilaniem bateryjnym, który wysyła sygnały umożliwiające śledzenie go. Jest on popularnie określany tagiem. System może również działać w odwrotny sposób – kilka tagów nawigacyjnych może być nieruchomych, a stacja bazowa (stacje bazowe) poruszać się – w ten sposób tagi śledzić mogą jej położenie. Tego typu rozwiązanie może być stosowane na przykład w celu śledzenia ciężkich maszyn na budowach.

Śledzenie urządzeń z Bluetooth ma swoje szerokie zastosowania, ale jeśli technologia ta martwi Cię i nie czujesz się pewnie, to możesz być spokojny. Technologie takie jak BLE czy randomizacja MAC są popularnie stosowane, aby skutecznie utrudniać śledzenie naszych urządzeń.

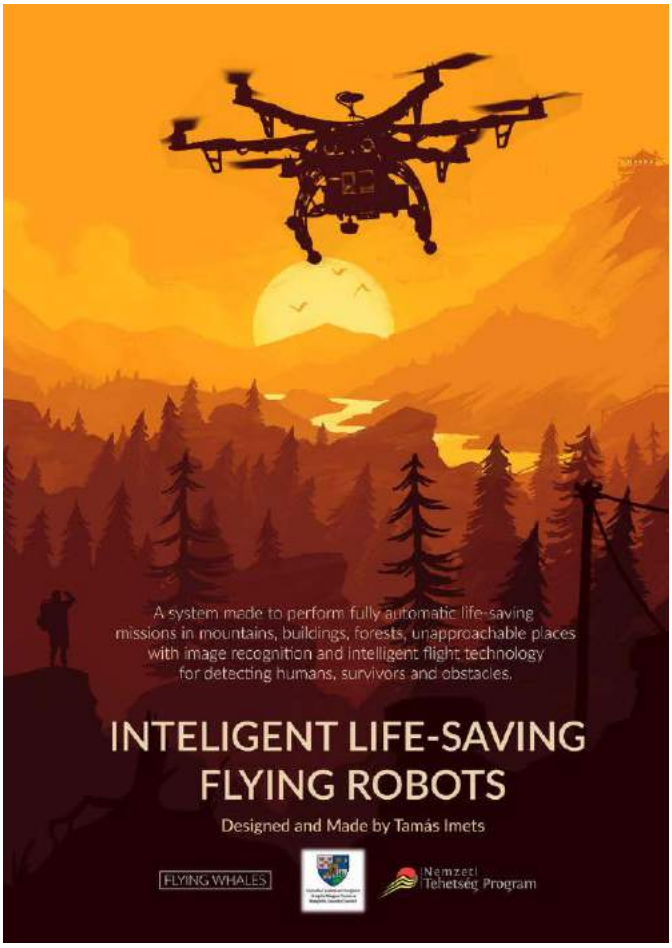
*http://bit.ly/2Zu2GZU*

## Inteligentny latający dron z Raspberry Pi i Arduino

Tamas Imets – 19-letni Węgier – jest autorem autonomicznego dronu latającego, który oparty jest na nowoczesnej, elektronicznej platformie, wykorzystującej m.in. komputer jednopłytkowy Raspberry Pi Zero W oraz kontroler lotu oparty na Arduino (APM Flight, stworzony w ramach projektu ArduPilot). Tamas modelarstwem zajmuje się od ponad dziesięciu lat. Od tego czasu do swojego hobby dołączył znajomość elektroniki i programowania. „Obiecałem (sobie), że tym razem zbuduję quadkopter... ale nie tylko prosty quadkopter. Zamierzam stworzyć inteligentny dron, który wykorzystuje najnowszy Raspberry Pi Zero W i moduł PiCamera, aby podążać za czerwoną piłką lub moją twarzą. Rok temu zrobiłem kolejny projekt dronu z kontrolerem lotu MultiWii, którego będziemy



eprasa.pl 4d9608b833




również używać, ponieważ jest tani i ma wielkie możliwości", pisze Tamas na portalu Instructables.

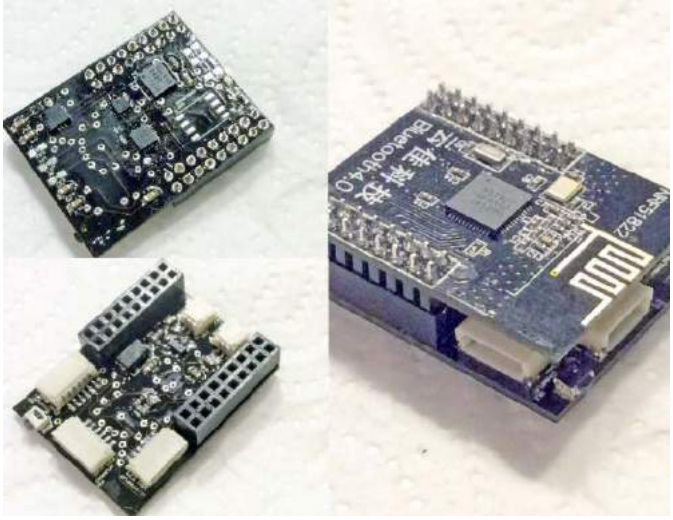
Ponieważ dron jest w pełni zautomatyzowany, nigdy już nie uderzysz w drzewo lub ścianę, twierdzi autor konstrukcji. Dodatkowo urządzenie oferuje funkcje, takie jak śledzenie twarzy lub czerwonej piłki. „Napisałem skrypt w Pythonie, na moim Raspberry Pi Zero W, który rozpoznaje różne kształty za pomocą modułu kamery i w zależności od tego, co widzi, wysyła polecenia do kontrolera lotu – 'leć naprzód', 'leć do tyłu', 'odwróć się' i tak dalej. (...) Aby zrealizować ten projekt, pracowałem od zera pięć miesięcy", podsumowuje młody Węgier.

„Chciałbym użyć tych dronów do realizacji automatycznych akcji ratunkowych w górach – bez ludzkiej pomocy. Może być również używany do wykrywania zwierząt, a nawet do łapania przestępców w dużym tłumie ludzi. Drony nawigują automatycznie za pomocą GPS i kamery", opisuje potencjalne aplikacje swojego projektu Tamas. Na portalu Instructables znajdziecie kompletny opis konstrukcji tego urządzenia, wraz ze schematami i kodami źródłowymi dla poszczególnych modułów. Znajdziemy tam także szersze tło, jakie skłoniło Tamasa do zajęcia się tą tematyką – dzieli się on dosyć straszną historią swojego wypadku w górach.

***http://bit.ly/2KW8bMP***

## Moduł nawigacji inercyjnej z wykorzystaniem transmisji Bluetooth

Marek i Łukasz przedstawili na Hackaday.io swój projekt modułu nawigacji inercyjnej z interfejsem Bluetooth. Układ ten wykorzystuje niedrogi moduł z mikrokontrolerem – NRF51822 od Nordic Semiconductor z Bluetooth 4.0 – do zbierania danych z akcelerometru, żyroskopu i magnetometru MEMS (układu ADXL362 oraz MPU-9250) oraz do przesyłania ich poprzez interfejs Bluetooth. Za pomocą aż dziewięciu stopniom swobody, moduł ten zapewnia bardzo precyzyjne pomiary inercyjne.

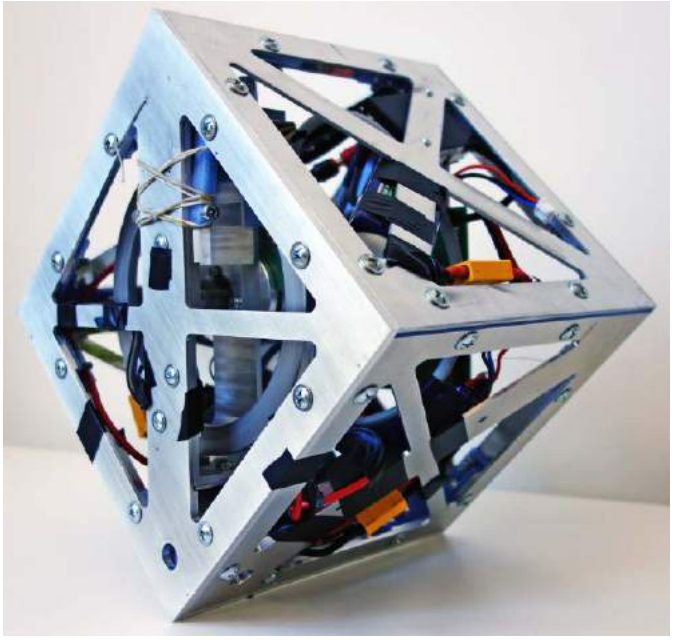


Autorzy konstrukcji rozwój projektu podzielili na 12 faz, w celu usprawnienia rozwoju systemu:

1. Analiza wymagań funkcjonalnych
2. Wybór komponentów
3. Projekt elektryczny urządzenia
4. Projekt PCB
5. Zakup elementów
6. Montaż prototypu
7. Projekt wodoodpornej obudowy i druk 3D
8. Walidacja projektu z software na NRF51822
9. Dodanie kompletnego autotestu podczas bootowania systemu
10. Logowanie danych
11. Pobieranie zapisanych danych na komputerze poprzez interfejs szeregowy
12. Napisanie aplikacji na telefon lub smartwatch

Pierwsze osiem faz jest już ukończone, jak możemy przeczytać na Hackaday. Warto zajrzeć na stronę projektu, aby śledzić postępy prac.

***http://bit.ly/2wXLTCe***



## Mechatroniczny nieliniowy sześcian

Celem tego projektu było opracowanie i skonstruowanie nieliniowej kostki mechatronicznej. Co kryje się pod tą nazwą? Jest to metalowy sześcian z mechanizmem inercyjnym wewnątrz. Znajdują się tam trzy koła zamachowe (dla każdej z osi – X,



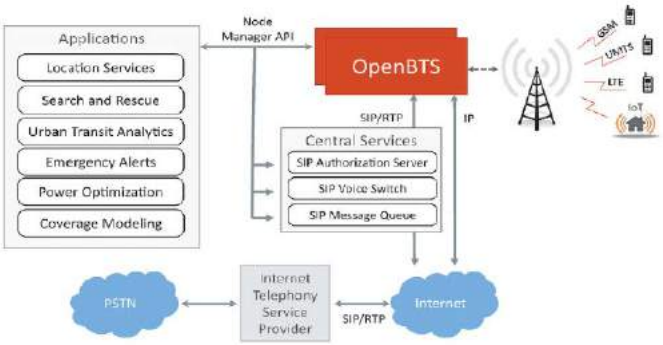
eprasa.pl 4d9608b833

Y oraz Z) wyposażone w silniki elektryczne do jego rozpędzania i serwomotor do nagłego hamowania, aby np. przechylać kostkę lub balansować na krawędzi sześcianu.

Modelowanie systemu zostało wykonane przy użyciu MATLAB-u i Simulinku w połączeniu z danymi z rysunków CAD stworzonych w CATIA. System został również zwizualizowany przez wykorzystanie Simmechanics. Dzięki użyciu zaawansowanych narzędzi do projektowania i modelowania, autorzy konstrukcji mogli ocenić kilka alternatywnych metod kontroli systemu czy umieszczenia czujników. Sześcian jest kontrolowany za pomocą kontrolera LQR z algorytmem PID i stablicowanymi danymi.

Za projekt odpowiedzialni są Erik Bjerke, Björn Pehrsson z Uniwersytetu Chalmersa. Mechatroniczny sześcian był ich pracą magisterską. Warto zajrzeć na stronę projektu, aby zobaczyć filmiki, na których pokazano działanie kostki – balansowanie na krawędzi, nawet na pochylonej powierzchni czy chodzenie.

*http://bit.ly/2RoTWRZ*




## OpenBTS – otwarty projekt stacji bazowej telefonii komórkowej

Oprogramowanie OpenBTS to aplikacja dla systemu operacyjnego Linux, która korzysta z definiowanego programowo radia (SDR), aby wygenerować kompletny, standardowy interfejs 3GPP dla urządzeń od strony sieci bezprzewodowej, jednocześnie prezentując w dalszej części tej sieci urządzenia te jako punkty końcowe SIP z dostępem do Internetu. Stanowi to podstawę nowego typu sieci bezprzewodowej, która pozwala na rozszerzenie zasięgu sieci GSM na nieobsługiwane i niedocenione obecnie rynki. Jednocześnie tego rodzaju rozwiązanie tworzy zupełnie nową platformę dla innowacji, w tym oferując wsparcie dla nowych technologii sieciowych, takich jak te przeznaczone dla Internetu Rzeczy.

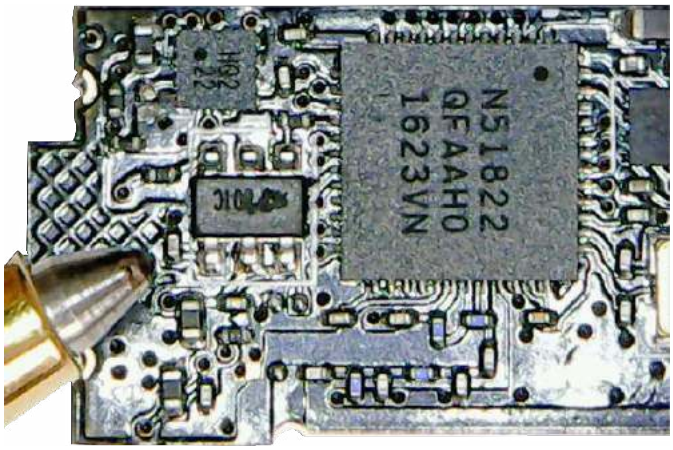
Pakietowi OpenBTS towarzyszy otwarty projekt hardware dla stacji bazowej telefonii komórkowej. Na stronie projektu pobrać można kompletną dokumentację dwóch modułów – SDR oraz front endu radiowego (RF). Jeśli montowanie tego rodzaju urządzeń nie jest Waszą mocną stroną, a sam projekt Was zainteresuje, to na rynku dostępnych jest wiele platform kompatybilnych z OpenBTS.

*http://openbts.org*

## Przeróbki popularnej opaski fitness

Raphael Baron zaprezentował na swoim blogu ciekawy artykuł poświęcony inżynierii wstecznej prostej i niedrogiej opaski fitness. Opaska sama w sobie jest niezwykle ciekawa pod względem technicznym. Wynika to z szeregu kwestii, między innymi naprawdę niewielki rozmiar (około 15 mm×40 mm) wbudowany interfejs Bluetooth Low Energy (BLE), energooszczędny wyświetlacz OLED o rozdzielczości 96×32 piksele, a także wbudowany akumulator z ładowarką USB. Opaska ma wiele zintegrowanych peryferiów, między innymi moduł z akcelerometrem oraz silniczek do wibracji.

Jedyne co identyfikuje urządzenie na obudowie to identyfikator FCC – FCC ID: 2AHFTID115. Na podstawie tego autor znalazł nazwę




urządzenia – ID115. Na zdjęciach, które znaleźć można w Internecie, widać układ N51822.

Jest to znany układ – 32-bitowy mikrokontroler nRF51822 firmy Nordic Semiconductors z rdzeniem ARM-M0, który ma wbudowane wsparcie dla BLE. Mikrokontroler ten zawiera standardowy interfejs SWD, który pozwala na jego programowanie. Na stronie Barona oraz w innych miejscach w sieci znaleźć można dużo informacji na temat programowania tych mikrokontrolerów.

*http://bit.ly/31D6NVp*

## Sprzętowy watchdog dla komputera PC z systemem operacyjnym Linux

Ten prosty projekt rozwiązuje jeden ze znanych od dawna problemów komputerów, zwłaszcza tych, które mają pracować bezobsługowo – zawieszanie się. Oczywiście układ nie sprawi, że komputer nie będzie się zawieszał, jednak za każdym razem, gdy do tego dojdzie zostanie zresetowany.

Watchdog to rodzaj układu elektronicznego, który przeznaczony jest do monitorowania i, najczęściej, resetowania systemu komputerowego w przypadku jego awarii. Na ogół algorytm jego działania jest prosty – ma on wbudowany timer, który pozwala odliczać interwały czasu. Co każdy ustalony interwał układ odpytuje system – procesor, mikrokontroler, komputer etc. – a ten potwierdza swoje działanie. W przypadku, gdy układ nie potwierdzi swojego poprawnego działania, watchdog resetuje go.

Nie inaczej jest w przypadku tego prostego urządzenia. Podłącza się je do komputera poprzez USB, a także podpina się linie od przycisków power i reset. Jest wiele tego rodzaju układów na rynku, niestety – jak zauważył autor projektu – polecane do nich oprogramowanie tworzone jest jedynie pod Windowsa.

Autor tego projektu, Oliver Rieder, zajmuje się m.in. koparkami kryptowalut. Urządzenia tego rodzaju często budowane są ze standardowych komputerów PC. Są one wyposażane m.in. w watchdogi, jednakże praca pod Linuksem skutecznie uniemożliwia zastosowanie tanich, komercyjnie dostępnych urządzeń. Problem rozwiązany został za pomocą odrobiny inżynierii wstecznej – Oliver podsłuchał komunikację z komputerem i dedykowanym programem, a następnie stworzył analogicznie działający software pod Linuksa.

*http://bit.ly/2XVM2Ss*



eprasa.pl 4d9608b833

# Noszony zestaw modułów inercyjnych DIY

*Digitalizacja ruchów ludzkiego ciała jest niezwykle ważna m.in. w systemach rzeczywistości wirtualnej czy rozszerzonej. Przeniesienie informacji o naturalnych ruchach np. dłoni do komputera, w czasie rzeczywistym, pozwala na zastosowanie tych informacji na przykład do sterowania oprogramowaniem. Pomysł ten nie jest nowy, a systemy pozwalające na śledzenie ruchów są już dostępne na rynku, jednakże daleko im do doskonałości. Większość z nich wykorzystuje ruchome, mechaniczne przetworniki do digitalizacji ruchów (np. czujniki potencjometryczne umieszczone w stawach) – stawiają one pewien mechaniczny opór podczas ruchu i działają na ogół tylko w jednej osi, a znakomita większość ludzkich stawów skręca się, przynajmniej w pewnym stopniu, w dwóch lub więcej osiach. Problem ten rozwiązują moduły inercyjne (IMU). Pozwalają one na śledzenie ruchu obiektu w trójwymiarowej przestrzeni i nie mają wad sensorów mechanicznych.*

W poniższym artykule przedstawimy ciekawy projekt modułu do śledzenia ruchów ciała z wykorzystaniem zestawu noszonych jednostek inercyjnych. Tego rodzaju system pozwala w łatwy sposób śledzić ruch całej postaci i przekazywać go do komputera. System taki w żaden sposób nie wpływa na sam ruch – przyczepione do kończyn sensory nie utrudniają ruchu ani nie ograniczają go do, na przykład, tylko jednego kierunku skrętu. Na **fotografii 1** widzimy zestaw dwóch modułów IMU umieszczonych w nadgarstkach.

Prezentowany w artykule zestaw stworzony został przez Michaela Stengla, doktoranta na politechnice w niemieckim Brunszwiku. Jest on od dawna zafascynowany rzeczywistością wirtualną i rozszerzoną, do której systemy digitalizacji ruchu – *motion capture* – są krytyczne. Inspiracją do stworzenia opisywanego poniżej systemu były analogiczne urządzenia, stosowane m. in. w kinematografii – są one dużo droższe niż przedstawiony poniżej system, jednakże, jak zaznacza sam autor konstrukcji, również o wiele precyzyjniejsze. Wynika to głównie z ogromnego nakładu sił i środków na zaawansowaną kalibrację tego systemu, co pozwala uzyskiwać o wiele więcej z porównywalnych sensorów IMU. Gorsze parametry opisywanego poniżej systemu nie sprawiają jednak, że nie jest on również użyteczny. Mimo mniejszej precyzji i np. braku aktywnej eliminacji dryfu modułów IMU, prezentowany projekt ma wiele ciekawych zastosowań.

## Aplikacje

**Motion Capture** Prezentowane noszone czujniki zapewniają kompletne dane o swojej orientacji, które mogą być rejestrowane i następnie wykorzystywane np. do animowania modelu ciała. Jednakże do pełnego przechwycenia ruchów ciała w przestrzeni 3D konieczne są także dane pozycyjne. Można je zapewnić za pomocą dodatkowego, skalibrowanego czujnika zewnętrznego, np. Microsoft Kinect lub korzystać



eprasa.pl 4d9608b833

z zewnętrznych kamer i znaczników umieszczonych na postaci.

**Animacja awatara dla VR w czasie rzeczywistym** W przypadku animacji awatara w czasie rzeczywistym w systemie rzeczywistości wirtualnej (VR) zestaw noszonych czujników zapewnia informację na temat orientacji ciała. W pozycji siedzącej nie są wymagane żadne inne dane, ponieważ w systemach VR zmiany pozycyjne nie są potrzebne. Jeżeli w danym systemie wymagane byłyby, z jakiegoś powodu, także dane pozycyjne, to wystarczy system noszonych IMU uzupełnić pojedynczym punktem, śledzącym pozycję ciała – na przykład kamerą, śledzącą ruch otoczenia.

**Urządzenie interakcji 3D: mapowanie orientacji i pozycji** Czujnik może być używany jako urządzenie do sterowania interakcją z komputerem. Orientację czujnika można zmapować z dłoni do na przykład menu w komputerze. Względna zmiana pozycji dłoni (uzyskiwana z dwukrotnego całkowania przyspieszenia) mogłaby pozwolić na intuicyjną kontrolę prostych i złożonych interfejsów. Dzięki swojej wielowymiarowości (IMU działa w trzech wymiarach) może pozwolić na zmianę wielu parametrów w aplikacjach takich jak systemy modelowania 3D czy stacje robocze audio.

**Proste gesty do obsługi komputera** Czujnik IMU może być również urządzeniem wskazującym (jak wskaźnik laserowy), można go użyć zamiast na przykład myszy lub klawiatury. Proste gesty wykonywane np. dłonią mogą wywoływać zaprogramowane funkcje, co pozwoli na intuicyjną obsługę komputera.

**Monitorowanie aktywności sportowej** Za pomocą prezentowanego czujnika można również monitorować ruchy ciała, aby poprawiać jakość treningów sportowych, wykonywać poprawnie ćwiczenia etc. Monitorowanie sposobu poruszania się ciała podczas wykonywania ćwiczeń pozwoli poprawić ich wydajność i uniknąć kontuzji. Dane z czujników mogą być rejestrowane, monitorowane i analizowane w czasie rzeczywistym. Autor samodzielnie zaimplementował na przykład symulator wioślarstwa, który wykorzystuje dane z IMU do animowania wioseł w łodzi. Prezentowany tutaj moduł nie jest wodoodporny, więc nie do końca nadaje się do monitorowania aktywności w ramach tej dziedziny sportu, jednakże doskonale oddaje możliwości tego systemu.

**Stabilizacja wideo i robienie zdjęć panoramicznych** Algorytmy stabilizacji filmów wideo bardzo często wykorzystują analizę obrazu do estymacji położenia kamery. W przypadku obrazów niewyraźnych lub z małą ilością szczegółów ocena ułożenia aparatu może się nie powieść. Dane na temat przyspieszenia i orientacji aparatu z sensora IMU mogą zapewnić wsparcie dla tego rodzaju algorytmów, zwiększając ich niezawodność i prędkość działania.

**Rysunek 1. Przykładowa aplikacja modułów IMU – zamontowane na nadgarstkach, pozwalają śledzić ruchy rąk**

Inną aplikacją, która wymaga estymacji położenia aparatu, jest robienie zdjęć panoramicznych. Istnieją już aplikacje korzystające z danych IMU ze smartfona. Większość nowoczesnych telefonów wyposażonych jest w funkcję zdjęć panoramicznych. Czujnik IMU i dowolny aparat mogą pozwolić na podobne działanie.

**Sztuka i performance** Rysowanie linii w przestrzeni 3D za pomocą własnych ruchów ciała jest bardzo ekspresyjną metodą malowania, która nie jest możliwa w przypadku tradycyjnych form sztuki. Czujniki IMU stanowią skuteczne, nowatorskie narzędzie do tworzenia fascynującej sztuki w przestrzeni i czasie. To zupełnie nowe wykorzystanie tego rodzaju technologii, które daje niemalże nieograniczone możliwości.

## Budowa sensorów

Aby zmontować samodzielnie taki sensor, najpierw zgromadzić trzeba potrzebne komponenty – moduły, które po połączeniu i oprogramowaniu przesyłać będą do komputera dane z czujnika IMU. Potrzebne są:

- moduł MPU-6050 z akcelerometrem i żyroskopem,
- moduł HC-05 z transceiverem Bluetooth,
- Arduino Pro Mini,
- ogniwo litowo-jonowe 3,7 V,
- przełącznik, gniazdko do podłączania ładowarki do ogniwa i (najlepiej kolorowe) kable do połączenia modułów ze sobą,
- gumka z rzepem do mocowania modułu,
- klej na ciepło i śrubki do montażu wszystkich elementów.

Montaż i oprogramowanie urządzenia podzielić można na kilka etapów:

1. Konfiguracja płytki z transceiverem Bluetooth
2. Programowanie Arduino Pro Mini
3. Przygotowanie obudowy – druk 3D i montaż pasków
4. Montaż elementów w obudowie i lutowanie połączeń między nimi.

## Konfiguracja transceivera Bluetooth HC-05

W pierwszej kolejności, przed podłączeniem modułu do systemu, musimy go skonfigurować i nadać mu zrozumiałą dla systemu nazwę. Dokonujemy tego, podłączając się do modułu poprzez interfejs UART. Możemy podłączyć do HC-05 konwerter USB-UART TTL albo wykorzystać inny moduł Arduino. Autor skorzystał z drugiej opcji i podłączył do modułu Arduino UNO z odpowiednim szkicem (programem).

Przed skonfigurowaniem HC-05 musimy poznać adres sprzętowy naszego modułu.

**Tabela 1. Lista połączeń Arduino UNO i HC-05 do programowania modułu Bluetooth**

| HC-05 | Arduino UNO |
|---|---|
| TXD | RX |
| RXD | TX |
| VCC | 5.05.2019 |
| GND | GND |
| WakeUp | 3,3 V |

**Tabela 2. Lista połączeń Arduino UNO i Mini Pro do programowania**

| Arduino Mini Pro | Arduino UNO |
|---|---|
| GND | RESET |
| VCC | 3,3 V |
| GND | GND |
| TXS | TX |
| RXI | RX |



eprasa.pl 4d9608b833

**Listing 1. Szkic (kod w Arduino IDE) Programu dla Arduino Pro Mini do obsługi IMU i modułu Bluetooth.**

```
// Biblioteka Arduino Wire jest wtnagana, jeżeli korzystamy z implementacji I2CDEV_ARDUINO_WIRE
// protkołu I2Cdev w I2Cdev.h
#include „Wire.h“

// Biblioteki I2Cdev oraz MPU6050 muszą być zainstalowane jak normalne biblioteki lub trzeba
// dostarczyć pliki .cpp/.h files dla obu klas w ścieżce path projektu
#include „I2Cdev.h“

#include „MPU6050_6Axis_MotionApps20.h“

// Domyślny adres I2C dla tej klasy to 0x68, inny adres podać można jako parametr
// AD0 niski  = 0x68 (domyślnie)
// AD0 wysoki = 0x69
MPU6050 mpu;

#define INT_PIN 2

// wartości do kontroli stanu MPU
bool dmpReady = false;        // Przyjmuje wartość true gdy inicjalizacja DMP zakończy się sukcesem
uint8_t mpuIntStatus;         // Przechowuje status przerwania z MPU
uint8_t devStatus;            // Status returna po każdej operacji (0 = sukces, !0 = błąd)
uint16_t packetSize;          // Spodziewana wielkość pakietu z DMP (domyślnie 42 bity)
uint16_t fifoCount;           // Liczba wszystkich bitów w FIFO
uint8_t fifoBuffer[64]; // Bufor FIFO

// Zmienne orientacji i ruchu
Quaternion q;

typedef union {
 float floatingPoint[4];
 byte binary[16];
} binaryFloat;

// Bufor dla danych wyjściowych
char dataOut[256];

// Funkcja detekcji przerwania
volatile bool mpuInterrupt = false;               // wskazuje gdy pin przerwania MPU ma wysoki stan
void dmpDataReady() {
          mpuInterrupt = true;
}

// Początkowa inicjalizacja
void setup() {
          // Uruchom interfejs I2C
          Wire.begin();

          // inicjalizacja komunikacji szeregowej
          // UWAGA: Zegar 8 MHz lub mniej nie pozwala na uzyskanie odpowiedniej prędkości
          // transmisji w sposób niezawodny, ponieważ taktowanie jej nie zgrywa się z zegarem.
          // W takim wypadku skorzystać trzeba z prędkości 38400 lub niższej, albo zastosować
          // zewnętrzny oscylator kwarcowy dla timera UARTa.
          Serial.begin(57600);
          while (!Serial);

          // Inicjalizacja urządzeń
          Serial.println(F(„Inicjalizacja urządzeń I2C...“));
          mpu.initialize();

          // Weryfikacja połączenia
          Serial.println(F(„Testowanie komunikacji z urządzeniem...“));
          Serial.println(mpu.testConnection() ? F(„Połączono z MPU6050“) : F(„Nie połączono z MPU6050“));

          // Załadowanie i konfiguracja DMP
          Serial.println(F(„Inicjalizacja DMP...“));
          devStatus = mpu.dmpInitialize();

          // upewnienie się, że zadziałało - jeśli działa poprawnie, to zwraca zero
          if (devStatus == 0) {

                    // Uruchom DMP gdy jest gotowe
                    Serial.println(F(„Uruchamianie DMP...“));
                    mpu.setDMPEnabled(true);

                    // Włącz przerwania w Arduino
                    Serial.println(F(„Uruchamianie wykrywania przerwań...“));
                    attachInterrupt(INT_PIN, dmpDataReady, RISING);
                    mpuIntStatus = mpu.getIntStatus();

                    // Ustaw flagę gotowości DMP aby główna pętla programu wiedziała, kiedy może go użyć
                    Serial.println(F(„DMP gotowe! Oczekiwanie na pierwsze przerwanie...“));
                    dmpReady = true;

                    //Ustaw przewidywaną wielkość pakietów DMP do porównywania w przyszłości
                    packetSize = mpu.dmpGetFIFOPacketSize();
          } else {
                    // Błąd:
                    // 1 = problem z odczytem pamięci
                    // 2 = niepowodzenie podczas aktualizacji konfiguracji DMP
                    Serial.print(F(„Inicjalizacja DMP zakończyła się niepowodzeniem (błąd „));
                    Serial.print(devStatus);
                    Serial.println(F(„)“));
          }
}

// Główna pętla programu
void loop() {
          // Jeżeli programowanie się nie powiodło, nic nie rób
          if (!dmpReady) return;

          if (mpuInterrupt || fifoCount >= packetSize)
          {
                    // Reset flagi przerwania i pobranie wartości bajtu INT_STATUS
                    mpuInterrupt = false;
                    mpuIntStatus = mpu.getIntStatus();

                    // Pobranie obecnej długościu kolejki FIFO
                    fifoCount = mpu.getFIFOCount();

                    // Sprawdzenie czy kolejka nie jest przepełniona (co nie powinno się zdarzyć)
```



eprasa.pl 4d9608b833

```
Listing 1. cd.
                    if ((mpuIntStatus & 0x10) || fifoCount == 1024) {
                              // Reset FIFO, abyśmy mogli kontynuować na czysto
                              mpu.resetFIFO();
                              Serial.println(F(„Przepełnienie FIFO!“));

                    // Jeśli kolejka FIFO nie jest przepełniona to sprawdzamy czy dane z DMP są gotowe
                    } else if (mpuIntStatus & 0x02) {
                              // Oczekiwanie na gotowe dane o poprawnej długości
                              while (fifoCount < packetSize) fifoCount = mpu.getFIFOCount();

                              // Odczytaj pakiet z kolejki FIFO
                              mpu.getFIFOBytes(fifoBuffer, packetSize);

                              // Śledzenie długości FIFO na wypadek gdyby dostępny był więcej niż jeden pakiet
                              // co pozwala czytać dane od razu, zamiast czekać na kolejne przerwanie.
                              fifoCount -= packetSize;

                              // Wyznaczenie kątów YPR z danych z bufora
                              mpu.dmpGetQuaternion(&q, fifoBuffer);

                         binaryFloat hi;

                         hi.floatingPoint[0] = q.x;
                         hi.floatingPoint[1] = q.y;
                         hi.floatingPoint[2] = q.z;
                         hi.floatingPoint[3] = q.w;
                         Serial.write(hi.binary,16);
                    }
          }
}
```

**Tabela 3. Lista połączeń modułu Arduino Mini Pro z HC-05 oraz MPU-6050**

| Arduino Mini Pro | HC-05 | MPU-6050 |
|---|---|---|
| Pin 10 | TXD | |
| Pin 11 | RXD | |
| 3,3 V | VCC | |
| GND | GND | |
| Pin 2 | | INT (przerwanie) |
| 3,3 V | | VCC |
| GND | | GND |
| A5 | | SCL |
| A4 | | SDA |
| RAW | Zasilanie z baterii (3,7 V) | |
| GND | Zasilanie z baterii (masa) | |

**Fotografia 2. Wydrukowana obudowa dla modułów**

Możemy w tym celu posłużyć się telefonem komórkowym lub laptopem z Bluetooth i we właściwościach widzianego przez urządzenie sprzętu odnaleźć moduł i sprawdzić adres sprzętowy. W przypadku modułu autora adres sprzętowy to 00:14:01:03:55:35. Musimy zapisać adres, a następnie skonfigurować Arduino.

Do modułu Arduino UNO ładujemy przykładowy szkic w Arduino IDE pod nazwą SoftwareSerialExample, ustawiamy w metodzie mySerial.begin() prędkość komunikacji na 38400 a następnie kompilujemy szkic w Arduino IDE i ładujemy go do pamięci Arduino UNO. Możemy teraz odłączyć Arduino od USB i podłączyć je do modułu Bluetooth zgodnie z połączeniami zapisanymi w **tabeli 1**.

Teraz podłączamy Arduino UNO do USB i w Arduino IDE otwieramy terminal monitora portu szeregowego (prędkość 9600 bodów), gdzie możemy wysyłać komendy poprzez port szeregowy do modułu Bluetooth. Aby przetestować komunikację, wysyłamy *„AT”*, na co odpowiedzią powinno być *„OK”*. Jeśli tak nie jest, upewnijmy się, że wszystko poprawnie skonfigurowaliśmy i połączyliśmy i spróbujmy ponownie. Następnie, musimy skonfigurować moduł – w pierwszej kolejności podać mu jego adres sprzętowy, uważając na format podawania adresu (uwaga na przecinki):

`AT+BIND=0014,01,035535`

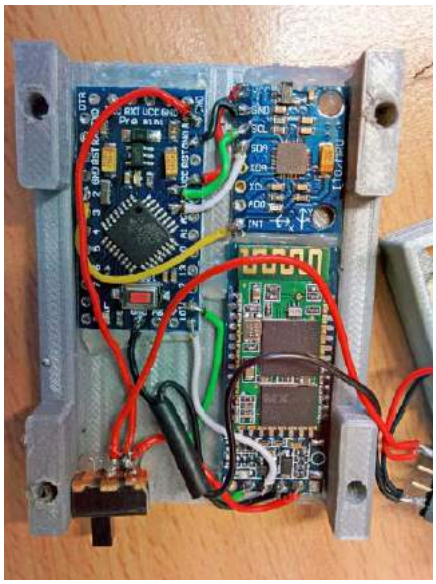
A potem podać nową nazwę urządzenia:

`AT+NowaNazwaModułu`

na co powinniśmy dostać odpowiedź *„OK-setname”*. Teraz możemy odłączyć Arduino od komputera, a następnie od modułu HC-05. Transceiver Bluetooth jest już gotowy.

## Konfiguracja modułu Arduino Mini Pro

Arduino Mini Pro nie jest wyposażone w konwerter USB-UART na płytce, więc aby je zaprogramować, potrzebny jest zewnętrzny moduł. W tym celu autor także wykorzystał Arduino UNO. Połączenia



**Fotografia 3. Elektronika modułu IMU zamontowana w obudowie**



eprasa.pl 4d9608b833

pomiędzy modułami Arduino opisano w **tabeli 2**. Pamiętajmy, aby łączyć ze sobą moduły niepodłączone do zasilania/USB i dopiero po połączeniu modułów podłączyć je do komputera.

W Arduino IDE wprowadzić musimy szkic, który kontrolować będzie działanie modułu. Szkic zaprezentowany jest na **listingu 1**. Po skompilowaniu i wgraniu programu moduł jest gotowy do działania. Możemy więc przystąpić do finalnego montażu całego urządzenia.

## Przygotowanie obudowy i montaż elementów

Pierwszym krokiem podczas montażu jest przygotowanie obudowy. Wykonana została ona techniką druku 3D. Pliki STL można pobrać na stronie autora lub z repozytorium na GitHubie. Gotowe wydruki pokazane są na **fotografii 2**. W górnej części obudowy wklejona zostaje elektronika (patrz **fotografia 3**), a przez dolną przewlekana jest gumka z doszytymi rzepami, która pozwoli na instalację urządzenia np. na ręce. Gumka jednocześnie mocuje baterie.

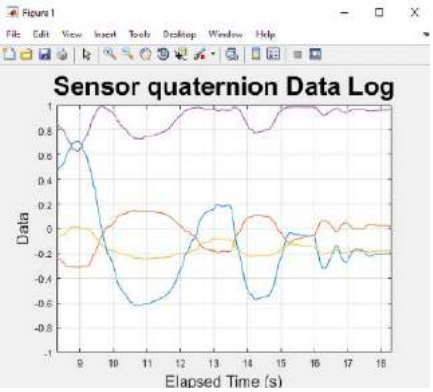
Po przygotowaniu obudowy w górną, pokazaną na rysunku 3 część wklejane

**Listing 2. Kod w MATLAB-ie do analizy danych z modułów IMU – obliczania kwaternionów i prezentacji ich w czasie**

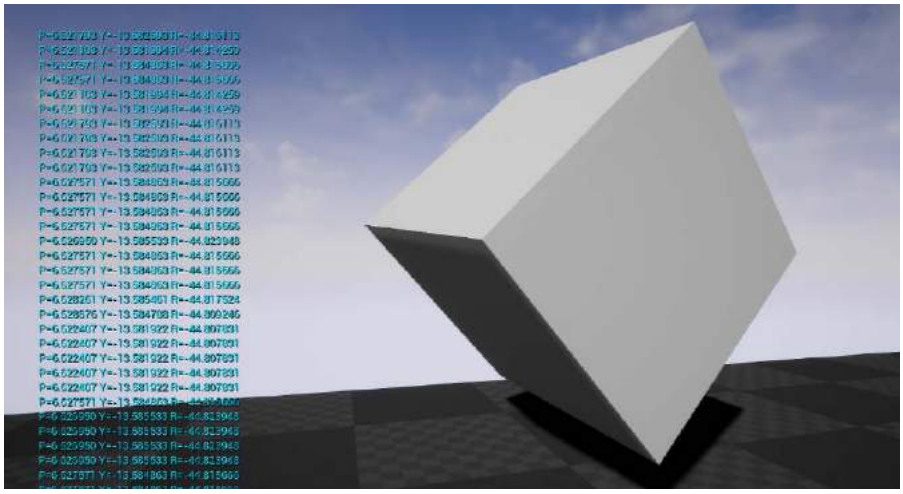
```
% wyczyść ekran
clear
clc

% konfiguracja portu szeregowego (tutaj wpisz odpowiednie wartości)
serialPort = ‚COM4‘;
s = serial(serialPort);
s.BaudRate = 57600;
s.FlowControl = ‚hardware‘;
s.Timeout = 1000;
s.OutputBufferSize = 1000;

%%

% inicjalizacja danych wejściowych
qx = single(0);
qy = single(0);
qz = single(0);
qw = single(0);

% konfiguracja wykresu
plotTitle = ‚Sensor quaternion data log‘;          % tytuł wykresu
xLabel = ‚Elapsed Time (s)‘;                       % etykieta osi X
yLabel = ‚Data‘;                                   % etykieta osi Y
plotGrid = ‚on‘;                                   % ‚off‘ by wyłączyć siatkę
min = -1.0;                                       % ustawienie minimum w osi Y
max = 1.0;                                        % ustawienie minimum w osi X
scrollWidth = 10;                                 % ustawienie okresu na wykresie, poniżej zera wykreśla wszystkie dane
delay = .01;                                      % upewnij się, że aby próbkować szybciej niż rozdzielczość ekranu

time = 0;
data = zeros(100,4);
count = 0;

plotGraph = plot(rand(4));
size(plotGraph)

title(plotTitle,‘FontSize‘,25);
xlabel(xLabel,‘FontSize‘,15);
ylabel(yLabel,‘FontSize‘,15);
axis([0 10 min max]);
grid(plotGrid);


%%

fopen(s);
disp(‚Zamknij wykres i zakończ sesję‘);

tic

while ishandle(plotGraph)                         % pętla, która działa gdy wykres jest aktywny

          % odczytaj wartości z portu szeregowego (wysłane poprzez Bluetooth) i wyznacz wartości kwaternionów
          while(s.BytesAvailable > 16)
                    X = fread(s,16,‘char‘);

                    qx = typecast(uint8(X(1:4)), ‚single‘);
                    qy = typecast(uint8(X(5:8)), ‚single‘);
                    qz = typecast(uint8(X(9:12)), ‚single‘);
                    qw = typecast(uint8(X(13:16)), ‚single‘);
          end

          % narysuj punkty na wykresie i wyświetl go
          if(~isempty(qx) && isfloat(qx))          % upewnij się, że dane mają odpowiedni typ
                    count = count + 1;
                    time(count) = toc;             % wyznacz czas, jaki minął

                    data(count,1) = qx;
                    data(count,2) = qy;
                    data(count,3) = qz;
                    data(count,4) = qw;

                    for k = 1:numel(plotGraph)
                              if(scrollWidth > 0)
                                        set(plotGraph(k), ‚XData‘, time(time > time(count)-scrollWidth), ‚YData‘, data(time >
                                        time(count)-scrollWidth,k))
                                        axis([time(count)-scrollWidth time(count) min max]);
                              end
                    end

                    % aktualiacja wykresów
                    pause(delay);
          end
end

% Zamknięcie portu szeregowego i skasowanie niepotrzebnych już zmiennych
fclose(s);

clear count dat delay max min plotGraph plotGrid plotTitle s ...
                    scrollWidth serialPort xLabel yLabel;

disp(‚Program zakończony...‘);
```



eprasa.pl 4d9608b833




**Rysunek 4. Wykres kwaternionów w funkcji czasu, zebranych z modułów IMU zaprezentowany w MATLAB-ie**



**Rysunek 5. Zrzut ekranu programu do testowania modułu IMU z wykorzystaniem Unreal Engine**

są poszczególne moduły. Następnie trzeba je ze sobą połączyć zgodnie z opisem w **tabeli 3**. Połączenia te najlepiej wykonać, lutując pomiędzy poszczególnymi polami w modułach krótkie odcinki kolorowych kabli. Kolory pomogą z czytelnością połączeń, na wypadek gdybyśmy chcieli coś później zmieniać bądź też debugowali później gotowy układ.

Po podłączeniu całości (baterię podpinamy jako ostatnią) system jest gotowy do działania. Dobrze jest podłączyć baterię poprzez przełącznik. Dzięki temu będziemy w stanie wygodnie włączać i wyłączać urządzenie podczas korzystania z niego.

## Podsumowanie

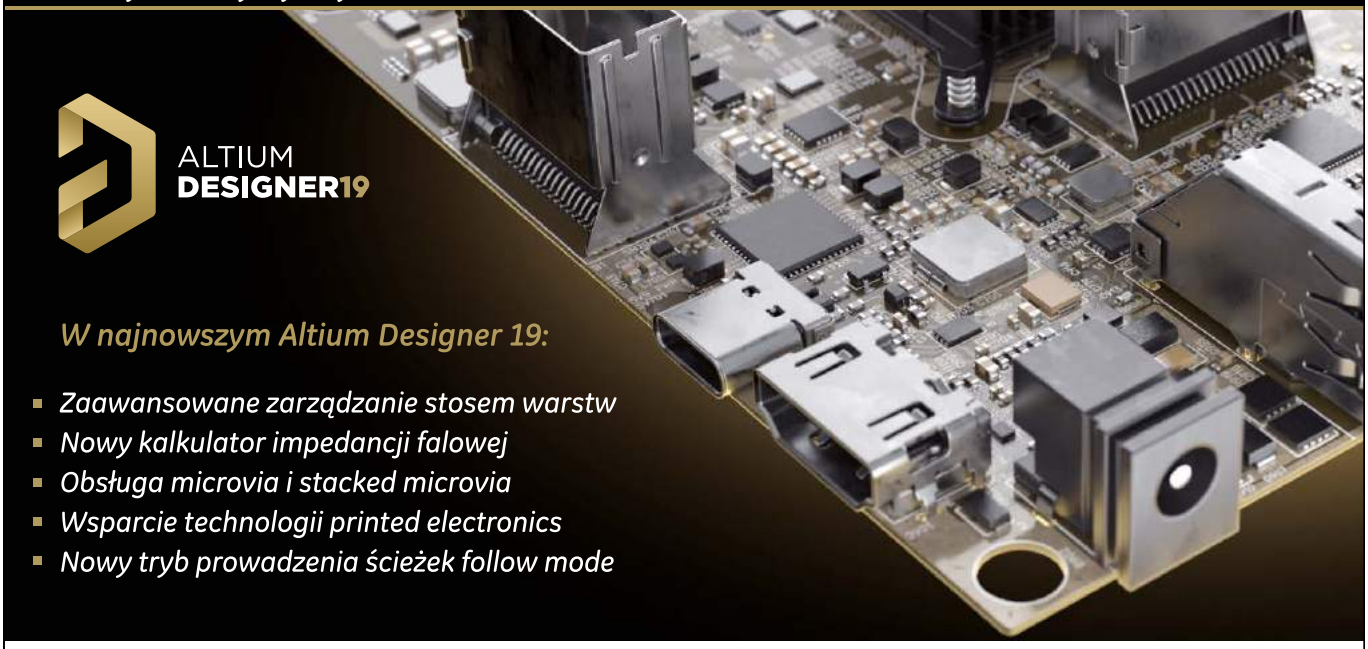
Po uruchomieniu układu i sparowaniu naszego nowego urządzenia z np. komputerem możemy rozpocząć odbieranie danych z modułu. Autor wykorzystał dwa narzędzia do przetestowania – MATLAB oraz program oparty na Unreal Engine. Prostszy do prześledzenia jest skrypt MATLAB-a, który pokazano na **listingu 2**, wyświetla on wykres prezentujący kwaterniony pozycji w czasie. Przykładowy wykres z MATLAB-a zamieszczono na **rysunku 4**. Z kolei na **rysunku 5** zaprezentowano zrzut ekranu z aplikacji napisanej z wykorzystaniem Unreal Engine, gdzie sześcian na ekranie śledzi ruchy modułu IMU w przestrzeni. Oba przykłady są do pobrania z repozytorium autora na Githubie.

**Nikodem Czechowski**
*http://bit.ly/2FkkOxM*
*http://bit.ly/2RnFMAy*

REKLAMA

COMPUTER CONTROLS

Autoryzowany dystrybutor Altium w Polsce




Computer Controls Sp. z o.o.
Bielsko-Biała, ul. Budowlanych 1
tel.: +48 (33) 485 94 90
e-mail: info@ccontrols.pl
www.ccontrols.pl



eprasa.pl 4d9608b833

# Agri-Stick

## urządzenie do monitorowania parametrów gleby w rolnictwie

*Agri-Stick to prosty zespół sensorów podstawowych parametrów gleby, które przydatne są w rolnictwie. Urządzenie to zostało opracowane przez Kavinkumara Nkl z Indii, jako sposób na proste i niedrogie zdalne monitorowanie upraw – w ten sposób rolnicy w Indiach nie muszą jeździć na pola, żeby sprawdzić, czy konieczne jest włączenie systemu nawadniającego czy nie. Rozwiązanie opisane w tym artykule może służyć jako inspiracja do opracowania dowolnego systemu akwizycji danych i monitorowania środowiska w oparciu o infrastrukturę chmurową.*

Rolnicy spędzają niekończące się godziny na jazdy, po swoich polach, aby sprawdzić stan swoich upraw i ręcznie obsługiwać systemy nawadniające. Jest to czas i praca wymagające znacznych nakładów. Wykorzystanie Internetu Rzeczy (IoT) do dostarczania łatwych w użyciu i wysoce niezawodnych sensorów do precyzyjnego monitorowania i kontroli nawadniania jest jednym z potencjalnych rozwiązań tego problemu.

W poniższym artykule prezentujemy konstrukcję Kavinkumara Nkl – Agri-Stick, która jest zespołem sensorów do pomiaru czterech podstawowych, ważnych dla rolników wartości – temperatury i wilgotności gleby oraz temperatury i wilgotności powietrza. Wartości te są przechowywane w chmurze na serwerach AWS (Amazon), gdzie przesyłane są poprzez interfejs LoRa. W systemie wykorzystano komputer jednopłytkowy Raspberry Pi jako jednokanałową bramkę. Wartości zapisane w chmurze mogą być monitorowane w czasie rzeczywistym zarówno z przeglądarki internetowej, jak i telefonu komórkowego. Umożliwia to rolnikom podejmowanie decyzji na podstawie danych zebranych w terenie. W ten sposób oszczędza się czas i pieniądze.

Wykorzystując czujniki w Agri-Stick i analizując zebrane dane, można uzyskać informacje m.in. na temat nawożenia gleby, wykrywać szkodniki i planować lepiej uprawy, opryski, irygację i zbiory. Zapobiega to nadmiernemu podlewaniu, ogranicza choroby upraw, potwierdza dostarczanie wody (działanie systemu irygacyjnego), a także oszczędza wodę i pracę ludzką.

### Jakie elementy są potrzebne do budowy systemu

Agri-Stick oparty jest na module Arduino Nano z mikrokontrolerem ATMega328P i wszystkimi podstawowymi peryferiami. Do modułu tego podłączone są następujące sensory:

- DS18B20 – termometr elektroniczny w wodoszczelnej obudowie; do pomiaru temperatury gleby,
- pojemnościowy czujnik wilgotności gleby,
- DHT22 – zintegrowany termometr i higrometr elektroniczny; do pomiaru temperatury i wilgotności powietrza.

Wszystkie te sensory podłączone są do Arduino. Do tegoż modułu podłączony jest także transceiver LoRa AI Thinker Ra-02, który umożliwia komunikację z bramką (opisaną w dalszej części artykułu).

### Elektroniczny termometr do pomiaru temperatury gruntu

Czujnik mierzący temperaturę gleby powinien być odporny na działanie wody i na korozję. Dlatego wykorzystana jest w tym projekcie specjalna sonda, wyposażona w szczelną, metalową obudowę, jak widać na **fotografii 1**. We wnętrzu sondy znajduje się cyfrowy termometr DS18B20 firmy Dallas Semiconductor. Jest to kompaktowy sensor temperatury, wyposażony w interfejs 1-Wire.

Sensor ma tylko trzy wyprowadzenia – zasilanie, masę oraz linię danych. Tylko jeden przewód potrzebny jest do komunikacji z tym układem (stąd nazwa interfejsu, jaki wykorzystuje). Podłączenie sondy do modułu Arduino jest niezwykle proste – zasilanie podłączamy do 5 V, a masę do masy. Linię danych termometru łączymy z pinem D5 w module Arduino.

### Pojemnościowy sensor wilgotności gleby

Czujniki wilgotności gleby mierzą objętość wody, jaka znajduje się w zadanej, stałej objętości gleby. Analogicznie jak w przypadku czujnika temperatury, sensor wilgotności gleby powinien być również wodoodporny i zabezpieczony przed korozją. Wszystkie te wymagania spełnia czujnik

**Fotografia 1. Elektroniczny sensor temperatury w wodoszczelnej obudowie**

**Fotografia 2. Pojemnościowy sensor do pomiaru wilgotności**



eprasa.pl 4d9608b833

pojemnościowy. Jest on o wiele wytrzymalszy i odporniejszy na warunki otoczenia niż czujnik rezystancyjny, jako że nie musi bezpośrednio stykać się z wilgotną glebą metalowymi elementami. Sensor tego rodzaju zaprezentowano na **fotografii 2**.

Czujnik taki składa się z pojedynczej sondy zawierającej oddzielne ścieżki miedziane (masa i zasilanie) pokryte izolującą maską lutowniczą. Element ten zachowuje się jak kondensator płaski. Warstwa dielektryczna zapobiega przepływowi prądu elektrycznego. Rolę dielektryka, pomiędzy okładkami kondensatora, odrywa w przypadku tego rodzaju sondy gleba. Zmienia się jej współczynnik przenikalności elektrycznej wraz ze zmianą poziomu jej wilgotności. W ten sposób zmiana wilgotności powoduje zmianę pojemności sensora, która może być mierzona przez moduł Arduino. Zaprezentowany na **fotografii 3** sensor wyposażony jest w układ elektroniczny konwertujący pojemność do napięcia, dzięki czemu na wyjściu z sensora obecne jest jedynie napięcie (o amplitudzie od 0 V do 3 V) proporcjonalne do wilgotności.

Podłączenie opisanego sensora do Arduino jest bardzo proste. Zasilanie i masę sensora łączy się, odpowiednio, z napięciem 5 V i masą modułu, a napięcie wyjściowe podawać będziemy na wejście A1 modułu.

## Scalony miernik wilgotności i temperatury powietrza

Do pomiaru temperatury i wilgotności powietrza w projekcie wykorzystany został sensor DHT22 (czasami opisywany jako AM2302) dostępny w postaci modułu. Zastosowano gotowy moduł z własną płytką drukowaną dla uproszczenia konstrukcji systemu.

DHT22 to zintegrowany cyfrowy termometr i higrometr. W jednej obudowie znajdują się dwa niezależne sensory, każdy o rozdzielczości 8 bit. Każdy z czujników w układzie ma własny model kompensacji i jest precyzyjnie skalibrowany. Parametry kalibracyjne zapisywane są w sensorze, więc wszystkie zbierane pomiary cechuje wysoki stopień dokładności – katalogowo poniżej 0,5°C i 2%RH.

**Fotografia 3. Sensor wilgotności i temperatury DHT22**

Moduł wyposażony jest w interfejs 1-Wire, co umożliwia proste podłączenie sensorów do modułu Arduino. Linie zasilania i masy podłączane są odpowiednio, do zasilania i masy, a linia danych podłączana jest do pinu D4 modułu Arduino.

## Łączność – dlaczego LoRa

Krytycznym składnikiem wszystkich systemów Internetu Rzeczy jest komunikacja. Zazwyczaj w systemach tego rodzaju implementuje się systemy łączności bezprzewodowej – komunikacja radiowa jest o wiele wygodniejsza w tego rodzaju implementacjach. Wykorzystuje się zazwyczaj interfejsy takie jak Bluetooth czy Wi-Fi. Ostatnio popularyzują się także interfejsy bezprzewodowe specjalnie dedykowane do systemów Internetu Rzeczy, takie jak LoRa, Sigfox czy NB-IoT.

Urządzenia takie jak Agri-Stick nie mają wielkich wymagań co do prędkości transmisji, za to wymagają często bardzo dużego zasięgu. Wymagania te spełnia system LoRa, oferując wielokilometrowy zasięg przy prędkości transmisji poniżej 50 kb/s. Dodatkowym wymaganiem jest niski pobór mocy – Agri-Stick zasilany jest z baterii, więc moduł transceivera, przesyłającego dane z sensorów do chmury, nie może konsumować zbyt wiele energii. Także to wymaganie spełniane jest przez interfejs LoRa.

LoRa (skrót od *Long Range*, daleki zasięg) to technika modulacji sygnału z widmem rozproszonym, wywodząca się z technologii CSS. Z technicznego punktu widzenia jest to rodzaj modulacji radiowej służący do kodowania informacji za pomocą sygnału świergotowego i wieloznakowego formatu danych. Nazwa LoRa odnosi się również do systemów, które obsługują tego rodzaju modulację, w tym układów, transceiverów i bramek.

LoRa jest w istocie sprytnym sposobem na uzyskanie bardzo dobrej czułości odbiornika i niskiej bitowej stopy błędów (BER) z wykorzystaniem relatywnie niedrogich układów. Oznacza to, że aplikacje o małej szybkości transmisji danych mogą uzyskać znacznie większy zasięg przy użyciu LoRa niż przy użyciu innych porównywalnych cenowo technologii radiowych. Dodatkowo, systemy tego rodzaju charakteryzują się niezwykle niskim poborem energii z uwagi na niewielką moc nadajników potrzebnych do zapewnienia transmisji danych na duże odległości.

Technologia LoRa może być wykorzystywana przez publiczne, prywatne i hybrydowe sieci. Sieci LoRa można z łatwością podłączyć do istniejącej infrastruktury i umożliwić tanie aplikacje IoT z zasilaniem bateryjnym.

## Transceiver LoRa

Do komunikacji Agir-Stick wykorzystuje interfejs LoRa. Wykorzystano transceiver

**Fotografia 4. Transceiver LoRa wykorzystany w urządzeniu**

oparty na układzie scalonym SX1278 – Ai Thinker Ra-02, pokazany na **fotografii 4**. Wykorzystuje on częstotliwość 433 MHz do komunikacji z innymi modułami i bramką. Komunikuje się z mikrokontrolerem w systemie za pomocą interfejsu SPI (Serial Peripheral Interface).

Do modułu należy dołączyć stosowną antenę, która dedykowana jest do pracy w pasmie 433 MHz. W zależności od wykorzystanej obudowy dobrać możemy odpowiednią antenę na to dosyć popularne pasmo.

## Zasilanie bateryjne i ładowarka

Zasilacz układu oparty jest na pojedynczym ogniwie jonowo-litowym do zapewnienia systemowi długiego czasu pracy przy kompaktowych rozmiarach. System zasilania w Agri-Stick składa się z:

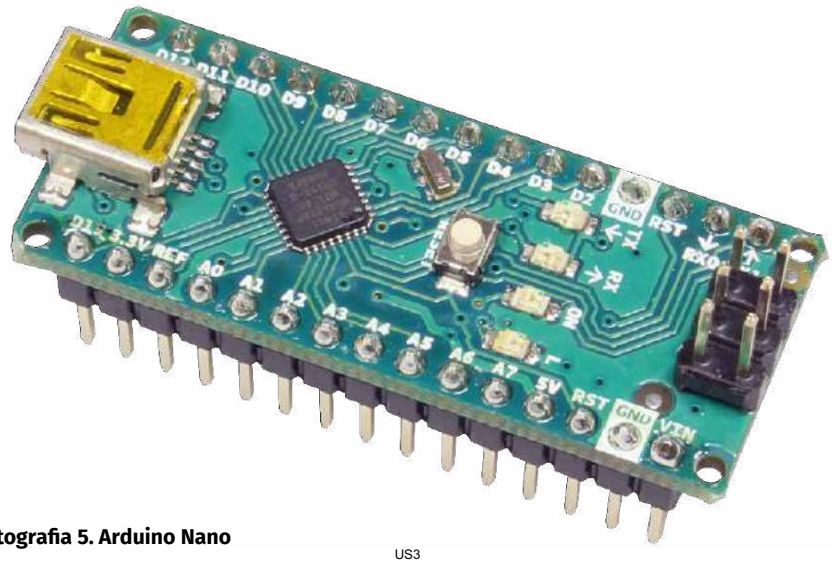
- Pojedynczego ogniwa litowo-jonowego w rozmiarze 18650 o pojemności 2200 mAh.
- Przetwornicy DC-DC typu boost, która generuje napięcie zasilania dla systemu.
- Ładowarki do ogniw litowo-jonowych, opartej na układzi scalonym TP4056.

Nominalne napięcie ogniwa litowo-jonowego wynosi 3,7 V, a maksymalne napięcie, do którego naładować można taki akumulator, wynosi 4,2 V. Z kolei minimalne napięcie, do jakiego rozładować można ogniwo wynosi 3,3 V. Nie powinno się przekraczać tych granicznych napięć z uwagi na negatywny wpływ takiego działania na ogniwo. Ładowarka i przetwornica dbają, aby ich nie przekroczyć podczas pracy.

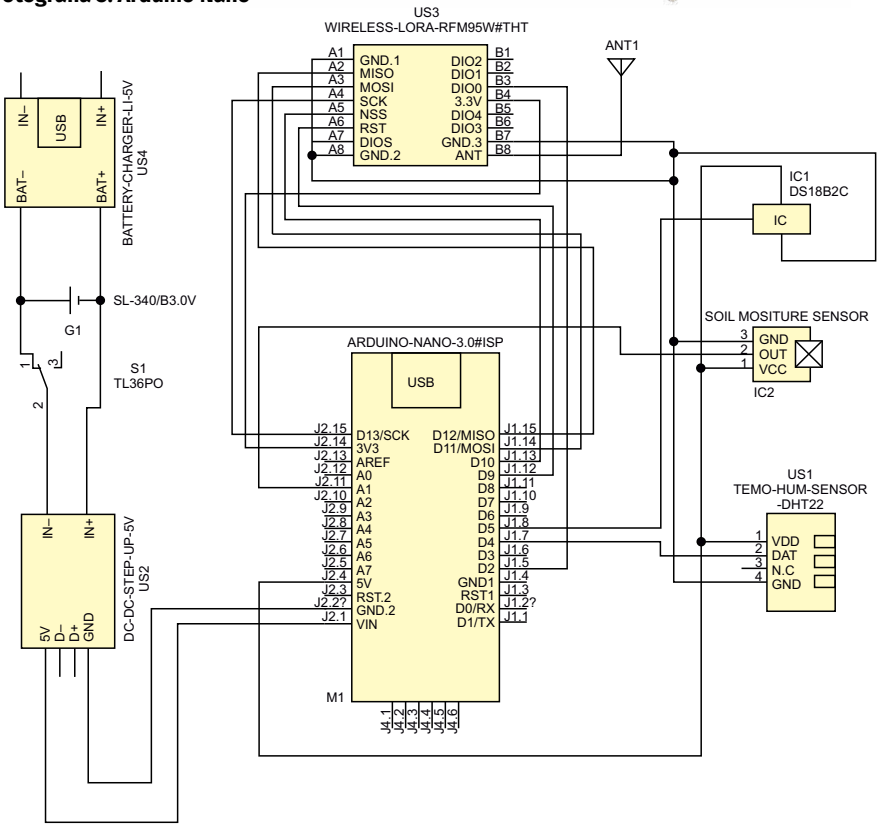
Przetwornica DC-DC stabilizuje napięcie 5 V na swoim wyjściu. Przetwornica może pracować z szerokim zakresem napięć wejściowych, dzięki czemu jest w stanie stabilizować napięcie zasilania systemu dla dowolnego napięcia ogniwa zasilającego system.



eprasa.pl 4d9608b833



Fotografia 5. Arduino Nano




Rysunek 6. Schemat połączenia poszczególnych modułów w Agri-Stick

Ładowarka TP4056 jest scalonym, kompletnym systemem ładowania pojedynczego ogniwa litowo-jonowego. Układ ten jest odpowiedzialny za kontrolę wszystkich napięć i prądów podczas ładowania ogniwa. Wejściem ładowarki jest port USB, z którego system pobiera zasilanie.

## Arduino – kontroler systemu

Do sterowania całym systemem – zbierania danych z poszczególnych sensorów i wysyłania ich poprzez interfejs LoRa do bramki – wykorzystany został moduł Arduino Nano. Przykładowy moduł tego rodzaju pokazano na **fotografii 5**. Podłączenie poszczególnych sensorów do tego modułu opisano powyżej. Transceiver LoRa, opisany powyżej, podłączany jest do Arduino Nano poprzez interfejs SPI.

## Połączenie systemu

Po skompletowaniu wszystkich elementów systemu można przystąpić do integracji wszystkich modułów ze sobą. Poszczególne moduły wyposażone są w miejsce na wlutowanie goldpinów lub bezpośrednio przewodów, do połączenia ze sobą poszczególnych elementów. Jak połączyć ze sobą poszczególne moduły, pokazano na **rysunku 6**.

Fotografia 7. Zdjęcie gotowej konstrukcji w obudowie

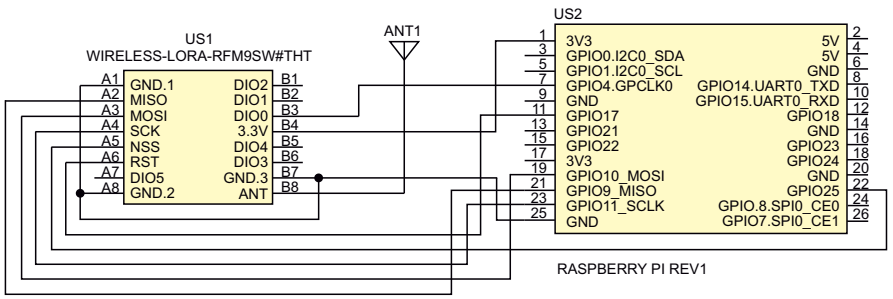
Po połączeniu wszystkich elementów ze sobą całość układu można zainstalować w obudowie. Autor konstrukcji, jak widać na **fotografii 7**, umieścił cały system w plastikowej rurze, co pozwala zachować szczelność, a jednocześnie jest wygodne w użyciu – wystarczy wkopać część rury w ziemię, tak aby termometr i higrometr mogły monitorować parametry gruntu. Po złożeniu systemu i przetestowaniu montażu przystąpić można do konfiguracji środowiska w chmurze i oprogramowania samego modułu Arduino.

## Bramka LoRa

Autor opisywanej konstrukcji wykorzystuje zbudowaną samodzielnie bramkę LoRa, opartą na komputerze jednopłytkowym Raspberry Pi i module z transceiverem LoRa. Na **rysuku 8** pokazano schemat połączeń tych elementów.

Na Raspberry Pi uruchomiony jest prosty skrypt, kontrolujący działanie bramki. Znajdziemy go na **listingu 1**.

Aby skrypt ten działał poprawnie, konieczne jest utworzenie odpowiedniej bazy




Rysunek 8. Schemat połączeń w bramce LoRa



eprasa.pl 4d9608b833

danych, do której mógłby on zapisywać zbierane pomiary. Aby wygenerować taką bazę danych, musimy skorzystać ze skryptu, umieszczonego w **listingu 2**.

## Oprogramowanie dla Arduino

Aby cały system mógł działać potrzebne jest oprogramowanie dla modułu Arduino. Zajmuje się ono zbieraniem i przetwarzaniem danych z sensorów, które mogą być następnie wysłane poprzez sieć LoRa do bramki. Kod programu, odpowiedzialnego za działanie modułu Arduino, znajduje się na **listingu 3**.

## Konfiguracja Amazon Web Service (AWS)

Amazon Web Services (AWS) to bezpieczna platforma usług w chmurze, oferująca moc obliczeniową, przechowywanie baz danych, dostarczanie treści i inne funkcje. Miliony klientów wykorzystują obecnie produkty i rozwiązania w chmurze AWS do tworzenia zaawansowanych aplikacji o zwiększonej elastyczności, skalowalności i niezawodności. Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) zapewnia serwery wirtualne – zwane instancjami – dla obliczeń. Usługa EC2 oferuje dziesiątki typów instancji o różnych możliwościach i rozmiarach, dostosowanych do konkretnych rodzajów obciążeń i aplikacji, takich jak zadania wymagające dużej

**Listing 1. Skrypt bramki LoRa na Raspberry Pi**

```
from time import sleep
from SX127x.LoRa import *
from SX127x.LoRaArgumentParser import LoRaArgumentParser
from SX127x.board_config import BOARD
import sqlite3
import datetime
import paho.mqtt.publish as publish
# Nazwa bazy danych SQLite
DB_Name =  „/home/pi/FYP/agristick.db”
BOARD.setup()
parser = LoRaArgumentParser(„Continous LoRa receiver.”)
# Klasa menedżera bazy danych
class DatabaseManager():
        def __init__(self):
                self.conn = sqlite3.connect(DB_Name)
                self.conn.execute(‘pragma foreign_keys = on’)
                #self.conn.execute(‘pragma journal_mode = wal;’)
                self.conn.commit()
                self.cur = self.conn.cursor()

        def add_del_update_db_record(self, sql_query, args=()):
                self.cur.execute(sql_query, args)
                self.conn.commit()
                return

        def __del__(self):
                self.cur.close()

class LoRaRcvCont(LoRa):
    def __init__(self, verbose=False):
        super(LoRaRcvCont, self).__init__(verbose)
        self.set_mode(MODE.SLEEP)
        self.set_dio_mapping([0] * 6)

    def on_rx_done(self):
        BOARD.led_on()
        self.clear_irq_flags(RxDone=1)
        payload = self.read_payload(nocheck=True)
        payload = payload[:-1]

        d = datetime.datetime.now()
        d = str(d)
        mystring = „”
        for char in payload:
                mystring = mystring + chr(char)
        #print (mystring)
        soil_temp = mystring[0:7]
        soil_moist = mystring[7:10]
        atmp_temp = mystring[10:17]
        atmp_hum = mystring[17:24]
        print(„datetime: „ + d)
        print(„Soil Temperature: „ + soil_temp)
        print(„Soil Moisture: „ + soil_moist)
        print(„Atmospheric Temperature: „ + atmp_temp)
        print(„Atmospheric Humidity: „ + atmp_hum)
        stringformqtt = d + ‘,’ + soil_temp + ‘,’ + soil_moist + ‘,’ + atmp_temp + ‘,’ + atmp_hum
        print(stringformqtt)
        dbObj = DatabaseManager()
        dbObj.add_del_update_db_record(„insert into sendata (date_time,soil_temp,soil_moist,atmp_temp,atmp_hum)
        values (?,?,?,?,?)”,[d,float(soil_temp),int(soil_moist)$
        del dbObj
        print („Inserted Data into SENSOR DATA Database.”)
        publish.single(„agristick1”, str(stringformqtt), hostname=”13.232.96.33”, auth = {‘username’:”ubuntu”,  ‘password’:”ceglaeee”})
        self.set_mode(MODE.SLEEP)
        self.reset_ptr_rx()
        BOARD.led_off()
        self.set_mode(MODE.RXCONT)

    def on_tx_done(self):
        print(„\nTxDone”)
        print(self.get_irq_flags())

    def on_cad_done(self):
        print(„\non_CadDone”)
        print(self.get_irq_flags())

    def on_rx_timeout(self):
        print(„\non_RxTimeout”)
        print(self.get_irq_flags())

    def on_valid_header(self):
        print(„\non_ValidHeader”)
        print(self.get_irq_flags())

    def on_payload_crc_error(self):
        print(„\non_PayloadCrcError”)
        print(self.get_irq_flags())

    def on_fhss_change_channel(self):
        print(„\non_FhssChangeChannel”)
        print(self.get_irq_flags())

    def start(self):
        self.reset_ptr_rx()
        self.set_mode(MODE.RXCONT)
        while True:
            sleep(.5)
            rssi_value = self.get_rssi_value()
            status = self.get_modem_status()
            sys.stdout.flush()
            sys.stdout.write(„\r%d %d %d\n” % (rssi_value, status[‘rx_ongoing’], status[‘modem_clear’]))

lora = LoRaRcvCont(verbose=False)
args = parser.parse_args(lora)
lora.set_mode(MODE.STDBY)
lora.set_pa_config(pa_select=1)
lora.set_freq(433)
lora.set_bw(BW.BW125)
lora.set_spreading_factor(7)
lora.set_rx_crc(True)
```

**Listing 1. cd**

```
lora.set_coding_rate(CODING_RATE.CR4_5)
assert(lora.get_agc_auto_on() == 1)

try:
    lora.start()
except KeyboardInterrupt:
    sys.stdout.flush()
    print(„”)
    sys.stderr.write(„KeyboardInterrupt\n”)
finally:
    sys.stdout.flush()
    print(„”)
    lora.set_mode(MODE.SLEEP)
    print(lora)
    BOARD.teardown()
```



eprasa.pl 4d9608b833

ilości pamięci czy przyspieszone przetwarzanie danych. AWS zapewnia także narzędzie do automatycznego skalowania, które umożliwia dynamiczne zwiększanie pojemności czy ilości instancji w celu utrzymania wysokiej wydajności systemu. Amazon oferuje roczny darmowy pakiet instancji z pewnymi ograniczeniami. Dlatego też autor opisywanej konstrukcji wybrał AWS do obsługi części przetwarzania, które realizowane jest w chmurze.

W opisywanym projekcie wykorzystano instancję Ubuntu Server 18.04 LTS (HVM), SSD Volume Type w instancji typu t2.micro. Zawiera ona jeden wirtualny procesor i jeden GB pamięci RAM. Konfiguracja ta objęta jest rocznym bezpłatnym pakietem od Amazon dla nowych użytkowników. Instancja jest skonfigurowana z zabezpieczeniami, które kontrolując ruch przychodzący do serwera. Wykorzystana konfiguracja używa SSH do zdalnego dostępu do instancji, protokołów HTTP i HTTPS dla ruchu internetowego TCP dla MQTT. Porty powiązane z tymi protokołami to odpowiednio 22, 80, 443 i 1884.

Do instancji dostęp uzyskać można np. przez putty wraz z parą kluczy SSH. Używane są one do łączenia się z instancją bezpiecznym, szyfrowanym kanałem. Uzyskuje się je podczas konfiguracji instancji w Amazonie. Jest to podstawowy mechanizm zapewniający bezpieczne uwierzytelnianie użytkownika instancji.

## Subskrypcja MQTT i webowa prezentacja danych

MQTT to lekki system publikowania i subskrybowania danych telemetrycznych. Można za jego pomocą publikować i odbierać wiadomości. MQTT to prosty protokół przesyłania komunikatów, zaprojektowany dla urządzeń o niskiej przepustowości danych. Dlatego jest to idealne rozwiązanie dla aplikacji systemów Internetu Rzeczy.

MQTT umożliwia wysyłanie poleceń do sterowania wyjściami, odczytywanie i publikowanie danych z sensorów i wiele innych. Do działania system ten potrzebuje brokera danych oraz klientów, którzy działają jako subskrybenci i publikatorzy danych.

W opisywanym systemie brama LoRa jest naszym publikatorem danych, a instancja AWS EC2 jest subskrybentem, a także działa jako broker MQTT. Brama Raspberry Pi publikuje wartości czujników do określonego tematu w sieci MQTT, takiego jak na przykład „agrstick1". Jeśli korzystamy z wielu bramek, możemy publikować na różne tematy w jednej sieci. Broker MQTT przechwytuje te wartości w danym temacie i czeka, aż jakiś subskrybent będzie chciał danych na ten sam temat. Jeśli jakikolwiek klient subskrybuje ten sam temat, broker wyśle do niego zapisane wartości. Dlatego klient subskrybenta w instancji EC2 otrzyma wartości za każdym razem, gdy wydawca opublikuje wiadomość – nowe pomiary.

Dane na instancji AWS EC2 przechowywane są w postaci bazy danych SQLite, takiej samej jak lokalnie, na Raspberry Pi. Aby uruchomić na tej instancji taką bazę, musimy, podobnie jak na Raspberry Pi, uruchomić prosty skrypt. Zapisany jest on na **listingu 4**.

Aby system działał, potrzebna jest na instancji w AWS subskrypcja do MQTT.

**Listing 2. Skrypt do tworzenia tabeli dla pomiarów z sensorów w bazie danych**

```
import sqlite3
# Nazwa bazy danych SQLite
DB_Name =  „agristick.db"
# Schematy tabel bazy danych SQLite
TableSchema_SD="""
drop table if exists sendata ;
create table sendata (
  id integer primary key autoincrement,
  date_time text,
  soil_temp float,
  soil_moist int,
  atmp_temp float,
  atmp_hum float
);
„""
# Musimy połączyć się z serwerem bazy, aby stworzyć tabele
conn = sqlite3.connect(DB_Name)
curs = conn.cursor()
# Tworzymy tabelę dla danych z sensorów
sqlite3.complete_statement(TableSchema_SD)
curs.executescript(TableSchema_SD)
# Zamykamy bazę danych
curs.close()
conn.close()
```

**Listing 3. Kod programu dla modułu Arduino**

```
#include <spi.h> // Do obsługi SPI
#include <lora.h> // Do obsługi modułu LoRa
#include <onewire.h> // Do obsługi DS18b20
#include <dallastemperature.h> Do obsługi DS18b20
#include <stdlib.h> // Dla funkcji floatToString (konwersja)
#include <dht.h>; // Do obsługi DHT22
#define DHTPIN 4     // Definicja pinu podłączenia DHT22
#define DHTTYPE DHT22   // Definicja typu układu DHT 22  (AM2302)
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // Inicjalizacja sensora DHT dla Arduini  16MHz
#define ONE_WIRE_BUS 5 // Definicja pinu podłączenia DS18b20
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
String data_string = „ „;
String data_string_p = „ „;
String temp_string = „ „;
String hum_string = „ „;
String airtemp_string = „ „;
String soilmois_string = „ „;
float soil_temp_float; // Przechowuje wartość temperatury gleby
float atm_hum;  // Przechowuje wartość wilgotności
float atm_temp; // Przechowuje wartość temperatury powietrza
int soil_mois; // Przechowuje wartość wilgotności gleby
// Funkcja do konwersji zmiennej typu float na string
String floatToString(float x, byte precision = 4) {
  char tmp[7];
  dtostrf(x, 0, precision, tmp);
  return String(tmp);
}

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println(„ Welcome to AgriStick Sensor Node „);
  Serial.println(„ It includes \n Soil temperature,\n Soil moisture,\n Atmospheric
  temperature,\n Atmospheric humidity \n");
  pinMode(A3, INPUT);
  pinMode(A4, INPUT);
  pinMode(A5, INPUT);
  dht.begin();
  sensors.begin();
  if (!LoRa.begin(433E6)) {
    Serial.println(„Starting LoRa failed!");
  while (1);
  }
  LoRa.enableCrc();
}
void loop() {
  sensors.requestTemperatures();
  soil_temp_float = sensors.getTempCByIndex(0);
  atm_hum = dht.readHumidity();
  atm_temp = dht.readTemperature();
  soil_mois = analogRead(A1);
  if (soil_temp_float <= 0 || atm_hum <= 0 || atm_temp <= 0 || soil_mois <= 0)
  {
    return;
  }
  temp_string = floatToString(soil_temp_float);
  hum_string = floatToString(atm_hum);
  airtemp_string = floatToString(atm_temp);
  soilmois_string = String(soil_mois);
  data_string = ( temp_string + soilmois_string + airtemp_string + hum_string );
  data_string_p = ( „Soil Temp: „ + temp_string + „ Soil Moist: „ + soilmois_string
  + „ Atmp Temp: „ + airtemp_string + „ Atmp Hum: „ + hum_string );
  Serial.println(data_string_p);
  LoRa.beginPacket();
  uint8_t data[(data_string.length() + 2)];
  data_string.toCharArray(data, (data_string.length() + 2));
  LoRa.write(data, sizeof(data));
  Serial.println(„Packet sent");
  LoRa.endPacket();
  delay(60000);
}
```



eprasa.pl 4d9608b833

Aby takową uruchomić, konieczny jest kolejny skrypt, zaprezentowany na **listingu 5**. Musimy go jedynie uzupełnić podstawowymi danymi, takimi jak nazwa bazy danych, z której korzystamy, tematy, jakie chcemy subskrybować w MQTT oraz numer IP serwera.

Trzecim, ostatnim skryptem, jaki trzeba uruchomić na instancji w chmurze Amazona, jest webowy panel, pozwalający na prezentację danych. Do stworzenia strony wykorzystano pythonowe biblioteki plotly oraz dash.

Dash to framework do budowania aplikacji internetowych do analizy danych. Jest to wydajne środowisko do budowania aplikacji internetowych. Napisany na podbudowie frameworku Flask oraz Plotly.js i React.js, Dash jest idealny do budowania aplikacji do wizualizacji danych z wysoce niestandardowymi interfejsami użytkownika w czystym Pythonie. Aplikacje Dash są renderowane w przeglądarce internetowej, co pozwala udostępniać aplikacje za pośrednictwem jedynie adresów URL. Ponieważ aplikacje Dash są wyświetlane w przeglądarce internetowej, Dash jest z natury kompatybilny z wieloma platformami i urządzeniami mobilnymi.

Strona renderowana na podstawie kodu w **listingu 6** pokazana jest na **rysunku 9**. Jest to prosty sposób prezentacji danych, bez wizualnych fajerwerków, ale w zupełności wystaczy dla opisywanego zastosowania.

**Listing 4. Skrypt inicjalizujący bazę danych na instancji AWS EC2**

```
import sqlite3
# Nazwa bazy danych SQLite
DB_Name =  „agristick.db”
# Schemat tabeli w bazie danych SQLite
TableSchema_SD=”””
drop table if exists DATASEN ;
create table DATASEN (
  id integer primary key autoincrement,
  date_time text,
  soil_temp float,
  soil_moist int,
  atmp_temp float,
  atmp_hum float
);
# Musimy połączyć się z serwerem bazy, aby stworzyć tabele
conn = sqlite3.connect(DB_Name)
curs = conn.cursor()
# Tworzymy tabelę dla danych z sensorów
sqlite3.complete_statement(TableSchema_SD)
curs.executescript(TableSchema_SD)
# Zamykamy bazę danych
curs.close()
conn.close()
```

**Listing 5. Skrypt subskrypcji do MQTT dla instancji AWS EC2**

```
import paho.mqtt.subscribe as subscribe
import sqlite3
# Nazwa bazy danych SQLite
DB_Name = „/home/ubuntu/flaskapp/agristick.db”
sqliteConnection = sqlite3.connect(DB_Name)
sqliteConnection.execute(‘pragma journal_mode=wal;’)
cursorObject = sqliteConnection.cursor()
def on_message(client, userdata, message):
    mqttmessage = str(message.payload)
    topic = str(message.topic)
    mqttmessage = mqttmessage[2:-1]
    print(mqttmessage)
    dt = mqttmessage[0:26]
    st = float(mqttmessage[27:34])
    sm = int(mqttmessage[35:38])
    at = float(mqttmessage[39:46])
    ah = float(mqttmessage[47:54])
    print(mqttmessage)
    print(dt)
    print(st)
    print(sm)
    print(at)
    print(ah)
    sqliteConnection = sqlite3.connect(DB_Name)
    cursorObject = sqliteConnection.cursor()
    sqliteConnection.execute(‘pragma journal_mode=wal;’)
    cursorObject.execute(„INSERT INTO DATASEN (date_time,soil_temp,soil_moist,atmp_temp,atmp_hum) VALUES(?,?,?,?,?)”,[dt,st,sm,at,ah])
    cursorObject.execute(„COMMIT”)
    cursorObject.close()
    print („Inserted Data into DATASEN Database.”)
topics = [„agristick1”,”agristick2”]
subscribe.callback(on_message, topics, hostname=”Ip address of the server”,auth = {‘username’:”ubuntu”, ‘password’:”password set for MQTT”})
```

**Listing 6. Kod odpowiadający za renderowanie strony www prezentującej dane z sensorów Agri-Stick**

```
import dash_core_components as dcc
import dash_html_components as html
import plotly
from dash.dependencies import Input, Output
import sqlite3
import datetime
from flask import Flask
import requests
server = Flask(__name__)
server.secret_key =’test’
external_stylesheets = [‘https://codepen.io/chriddyp/pen/bWLwgP.css’]
app = dash.Dash(__name__,server=server, external_stylesheets=external_stylesheets)
app.layout = html.Div(style={‘backgroundColor’: ‘#7CFC00’},children=[
    html.H1(
        children=’Agri-Stick’,
        style = {
                ‘textAlign’:’center’,
                ‘color’ : ‘#000000’
        }),
    html.H2(children= ‘A product for better farming’,
        style={
                ‘textAlign’:’center’,
                ‘color’: ‘#FFFFFF’
        }),
        dcc.Graph(id=’live-update-graph’),
        dcc.Interval(
            id=’interval-component’,
            interval=1*3000, # in milliseconds
            n_intervals=3000
        )
        ])
@app.callback(Output(‘live-update-graph’, ‘figure’),
              [Input(‘interval-component’, ‘n_intervals’)])
def update_graph_live(n_intervals):
    # Nazwa naszej bazy danych – taka sama jak w innych skryptach
    conn = sqlite3.connect(‘/home/ubuntu/flaskapp/agristick.db’,check_same_thread=False)
    conn.execute(‘pragma journal_mode=wal;’)
    c = conn.cursor()
    c.execute(‘SELECT * FROM DATASEN ORDER BY id DESC LIMIT 10 OFFSET 0’)
    conn.commit()
    data = c.fetchall()
    conn.close()
    dts0 = data[9][1]
    dts1 = data[8][1]
    dts2 = data[7][1]
    dts3 = data[6][1]
```

## Podsumowanie

Zaprezentowany system pozwala na implementację niemalże dowolnej



eprasa.pl 4d9608b833

liczby rozproszonych urządzeń z sensorami. Mogą one być wykorzystywane do monitorowania dużej wielkości pola uprawnego, sadu itp. Dodatkowo, poszerzyć można wachlarz sensorów, dostępnych w urządzeniu. Oprócz termometrów i higrometrów, system uzupełnić można o czujniki azotu, fosforu i potasu w glebie, pehametry, oksymetry, mierniki zawartości dwutlenku węgla, nasłonecznienia etc. Jedynie dostępność sensorów i ich kompatybilność z ekosystemem Arduino jest granicą. Przedstawione powyżej skrypty są doskonałym punktem wyjścia do opracowania własnego systemu monitorowania środowiska na bazie o infrastruktury chmurową, oferowaną przez Amazona oraz technologii takich jak LoRa i MQTT.

**Nikodem Czechowski**

Źródło: ***http://bit.ly/30BorbC***

**Listing 6. cd.**

```
    dts4 = data[5][1]
    dts5 = data[4][1]
    dts6 = data[3][1]
    dts7 = data[2][1]
    dts8 = data[1][1]
    dts9 = data[0][1]
    dt0 = datetime.datetime.strptime(dts0,'%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
    dt1 = datetime.datetime.strptime(dts1,'%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
    dt2 = datetime.datetime.strptime(dts2,'%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
    dt3 = datetime.datetime.strptime(dts3,'%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
    dt4 = datetime.datetime.strptime(dts4,'%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
    dt5 = datetime.datetime.strptime(dts5,'%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
    dt6 = datetime.datetime.strptime(dts6,'%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
    dt7 = datetime.datetime.strptime(dts7,'%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
    dt8 = datetime.datetime.strptime(dts8,'%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
    dt9 = datetime.datetime.strptime(dts9,'%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
    soil_temp0 = data[9][2]
    soil_temp1 = data[8][2]
    soil_temp2 = data[7][2]
    soil_temp3 = data[6][2]
    soil_temp4 = data[5][2]
    soil_temp5 = data[4][2]
    soil_temp6 = data[3][2]
    soil_temp7 = data[2][2]
    soil_temp8 = data[1][2]
    soil_temp9 = data[0][2]
    soil_moist0 = data[9][3]
    soil_moist1 = data[8][3]
    soil_moist2 = data[7][3]
    soil_moist3 = data[6][3]
    soil_moist4 = data[5][3]
    soil_moist5 = data[4][3]
    soil_moist6 = data[3][3]
    soil_moist7 = data[2][3]
    soil_moist8 = data[1][3]
    soil_moist9 = data[0][3]
    air_temp0 = data[9][4]
    air_temp1 = data[8][4]
    air_temp2 = data[7][4]
    air_temp3 = data[6][4]
    air_temp4 = data[5][4]
    air_temp5 = data[4][4]
    air_temp6 = data[3][4]
    air_temp7 = data[2][4]
    air_temp8 = data[1][4]
    air_temp9 = data[0][4]
    air_hum0 = data[9][5]
    air_hum1 = data[8][5]
    air_hum2 = data[7][5]
    air_hum3 = data[6][5]
    air_hum4 = data[5][5]
    air_hum5 = data[4][5]
    air_hum6 = data[3][5]
    air_hum7 = data[2][5]
    air_hum8 = data[1][5]
    air_hum9 = data[0][5]
    fig = plotly.tools.make_subplots(rows=2, cols=2,subplot_titles= ('Soil Temperature','Soil Moisture','Air Temperature','Air Humidity'),
    vertical_spacing=0.2)
    fig['layout']['margin'] = {
         'l':30 , 'r': 10, 'b': 20, 't': 20
     }
    fig['layout']['legend'] = {'x': 0.53, 'y': 1, 'xanchor': 'left'}    fig.append_trace({
        'x': [dt0,dt1,dt2,dt3,dt4,dt5,dt6,dt7,dt8,dt9],
        'y': [soil_temp0,soil_temp1,soil_temp2,soil_temp3,soil_temp4,soil_temp5,soil_temp6,soil_temp7,soil_temp8,soil_temp9],
        'name': 'Soil Temp',
        'mode': 'lines+markers',
        'type': 'scatter'
    }, 1, 1)
    fig.append_trace({
        'x': [dt0,dt1,dt2,dt3,dt4,dt5,dt6,dt7,dt8,dt9],
        'y': [soil_moist0,soil_moist1,soil_moist2,soil_moist3,soil_moist4,soil_moist5,soil_moist6,soil_moist7,soil_moist8,soil_moist9],
        'name': 'Soil Moist',
        'mode': 'lines+markers',
        'type': 'scatter'
    }, 1, 2)
    fig.append_trace({
        'x': [dt0,dt1,dt2,dt3,dt4,dt5,dt6,dt7,dt8,dt9],
        'y': [air_temp0,air_temp1,air_temp2,air_temp3,air_temp4,air_temp5,air_temp6,air_temp7,air_temp8,air_temp9],
        'name': 'Air Temp',
        'mode': 'lines+markers',
        'type': 'scatter'
    }, 2, 1)
    fig.append_trace({
        'x': [dt0,dt1,dt2,dt3,dt4,dt5,dt6,dt7,dt8,dt9],
        'y': [air_hum0,air_hum1,air_hum2,air_hum3,air_hum4,air_hum5,air_hum6,air_hum7,air_hum8,air_hum9],
        'name': 'Air Humid',
        'mode': 'lines+markers',
        'type': 'scatter'
    }, 2, 2)
    fig['layout']['yaxis1'].update(range=[28,34])
    fig['layout']['yaxis2'].update(range=[400,800])
    fig['layout']['yaxis3'].update(range=[28,34])
    fig['layout']['yaxis4'].update(range=[45,75])
    return fig
    if __name__ == '__main__':
    app.run_server(debug=True)
```

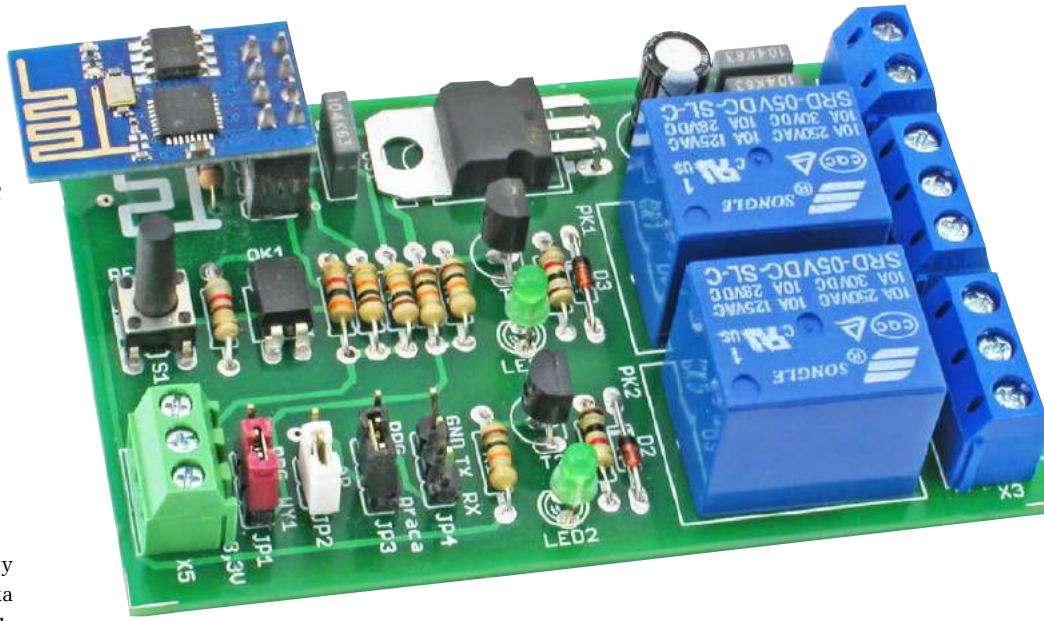
**Rysunek 9. Przykładowa strona www prezentująca dane zbierane przez Agri-Stick. Adres IP strony został zamazany dla ochrony prywatności autora projektu**



eprasa.pl 4d9608b833

# Mikrosterownik Wi-Fi

*Prezentowane urządzenie to niewielki dwukanałowy sterownik działający jak miniserwer www. Wyróżnia się przede wszystkim łatwym sposobem konfiguracji – nie wymaga modyfikowania kodu programu dla ustawienia dostępu do routera, obsługa i konfiguracja odbywa się poprzez stronę internetową. Ponadto wyposażony jest w wejście binarne, które może posłużyć do monitorowania sterowanego obwodu.*




## Budowa

Na **rysunku 1** pokazany jest schemat ideowy urządzenia. Wszystkie funkcje sterownika nadzoruje mikrokontroler modułu ESP01. Moduł montowany jest w ośmiostykowym złączu SV1, którego wyprowadzenia pełnią następujące funkcje:

- 2, 7 – doprowadzenia napięcia zasilania o poziomie 3,3 V i prądzie 100 mA
- 5 – wyjście GPIO2 wykorzystane do sterowania przekaźnikiem PK2
- 3 – wyprowadzenie GPIO0 o dwu funkcjach: wykorzystane do sterowania przekaźnikiem PK1 lub do wprowadzania modułu ESP01 w tryb programowania
- 1 – wyprowadzenie URXD o dwu funkcjach: jako wejście binarne do badania stanu napięcia wejściowego lub jako wejście RXD do transmisji danych podczas programowania modułu
- 8 – UTXD wyjście sygnału TXD do transmisji danych podczas normalnej pracy i w czasie programowania modułu
- 6 – CH_PD wejście wprowadzające moduł w tryb obniżonego poboru mocy, nieaktywne i na stałe podciągnięte poprzez opornik do poziomu wysokiego
- 4 – RST wejście zerowania podciągnięte poprzez opornik do poziomu wysokiego z podłączonym przyciskiem RESET.

Na schemacie znajdują się dodatkowe szpilki JP1...JP4, które pozwalają na takie skonfigurowanie połączeń na płytce, że możliwe jest programowanie modułu ESP01 zamontowanego na płytce sterownika. Oto dokładny opis:

JP1 – zwora w pozycji 1-2: normalna praca; zwora w pozycji 2-3: tryb programowania modułu.

JP3 – zwora w pozycji 1-2: tryb programowania modułu; zwora w pozycji 2-3: normalna praca.

JP4 – złącze, które służy do podłączenia zewnętrznego konwertera sygnału USB-UART.

Szpilki JP2 nie są związane z programowaniem modułu, założenie zwory powoduje wymuszenie pracy mikrosterownika jako punktu dostępowego AP

Do złącza JP4 można dołączyć konwerter o poziomach 0…3,3 V (**NIE 0…5 V!**). W trybie programowania modułu złączem przesyłane są dane z zewnętrznego komputera do zapisu w pamięci FLASH kontrolera modułu. Podczas normalnej pracy wyprowadzeniem JP4-2 (TXD out) transmitowane są komunikaty tekstowe o stanie sterownika, które można wyświetlić na ekranie komputera za pomocą dowolnego programu terminalowego.

Układy wykonawcze, sterujące dwoma przekaźnikami, są identyczne. Składają się ze sterującego przekaźnikiem tranzystora NPN, diody LED sygnalizującej świeceniem załączenie i diody tłumiącej przepięcia indukowane na cewce przekaźnika w czasie przełączania.

Transoptor OK1 zastosowano do separacji i zabezpieczenia wejścia binarnego, do którego doprowadzane jest badane napięcie. Opornik R7 ma tak dobraną wartość, żeby możliwa była detekcja napięcia wejściowego o poziomie 3,3…5 V. Ze względu na zastosowane przekaźniki o nominalnym napięciu pracy 5 VDC, zakres napięcia stałego użytego do zasilania mikrosterownika może się mieścić w przedziale od 4,5 do 6 V. Przy wyższym napięciu przekaźniki w czasie załączenia mogą się nadmiernie nagrzewać. Zasilanie dołączane jest do kostki zaciskowej X1. Dioda D1 zabezpiecza przed podaniem napięcia zasilającego o omyłkowej, odwrotnej polaryzacji.

## Zaprogramowanie modułu ESP01

Program sterownika napisany został w środowisku Arduino z API przystosowanym do procesora ESP8266 (zamontowanego na płytce modułu ESP01). Zapis programu do procesora można przeprowadzić z poziomu Arduino po doinstalowaniu dodatkowych narzędzi. Są to:

**Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl**

**W ofercie AVT* AVT-5685**

**Podstawowe parametry:**
- 2 wyjścia przekaźnikowe przełączne o obciążalności 10 A/250 VAC,
- 1 wejście binarne, optoizolowane, aktywowane napięciem 3,3…5 V,
- zasilanie napięciem stałym 4,5…6 V o wydajności min. 250 mA,
- możliwość pracy w sieci Wi-Fi lub jako samodzielny punkt dostępowy AP,
- sterowanie z poziomu przeglądarki internetowej

**Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:**

| | |
|---|---|
| AVT-5675 | Moduł przekaźników sterowanych przez Wi-Fi (EP 4/2019) |
| AVT-5662 | Kolorofon z Wi-Fi (EP 2/2019) |
| AVT-5530 | Regulator natężenia oświetlenia z Wi-Fi (EP 1/2016) |

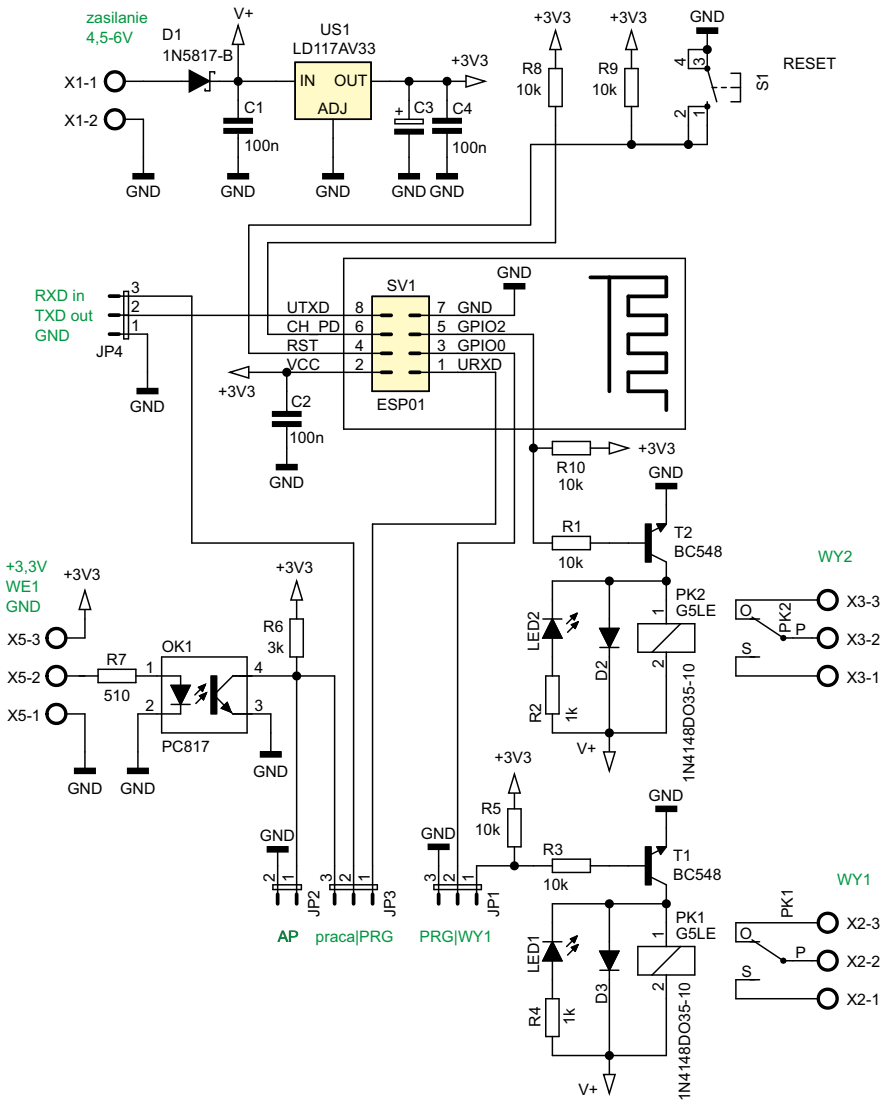
*** Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania!**
Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować 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 *http://sklep.avt.pl*, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



eprasa.pl 4d9608b833




**Rysunek 1. Schemat sterownika**

- dodatkowe biblioteki dla płytki ESP8266. Korzystając z menu *Plik* → *Preferencje*, w polu *Dodatkowe adresy URL do menadżera płytek:* trzeba wpisać ***http://bit.ly/2G476lA***.

W polach zakładki *Narzędzia* trzeba wybrać:

- *Płytka: „Generic ESP8266 Module”*
- *Flash Mode: „DIO”*
- *Flash Frequency „40MHz”*
- CPU Frequency: „80MHz”
- Flash Size „512K (64K SPIFFS)”

- narzędzie do zapisu plików w obszarze SPIFFS. Należy pobrać plik instalacyjny spod adresu ***http://bit.ly/2Pg80KM***. Należy rozpakować pobrany plik w katalogu Arduino IDE (*C:\Program Files(x86)\Arduino\tools*). Po otwarciu Arduino IDE w zakładce *Narzędzia* powinna się pojawić dodatkowa pozycja *ESP8266 Sketch Data Upload*.

Po przygotowaniu narzędzi należy w Arduino IDE otworzyć projekt mikrosterownika z plikami źródłowymi:

Formatowanie_SHTML.h
kontrola_SHTML.ino
miniARS3_IO2.ino
ObslugaEEPROM.h
ObslugaEEPROM.ino
ObslugaTagow_binarnychIO.ino

Dla sprawdzenia kompletności plików projektu można przeprowadzić kompilację wybierając z menu *Szkic* → *Weryfikuj/Kompiluj* lub Ctr+R. Gdy kompilacja przebiegnie bez błędu można przystąpić do zapisu oprogramowania do pamięci FLASH. Do gniazda SV1 płytki mikrosterownika wkładamy moduł ESP01 tak aby ścieżka anteny na module była skierowana w tę samą stronę co jej symbol umieszczony na płytce sterownika. Do złącza JP4 podłączamy wyprowadzenia konwertera USB-UART np. AVT1775 tak, aby wyprowadzenie sygnału Tx konwertera łączyło się z wejściem JP4-3 RXD in, wyprowadzenie sygnału Rx konwertera z JP4-2 TXD out, należy także połączyć wyprowadzenia masy GND. Następnie podłączamy gniazdo USB konwertera do wolnego portu USB komputera a na płytce sterownika ustawiamy zwory: JP1 2-3, JP3 1-2. Do złącza X1 płytki sterownika podłączamy napięcie zasilania, obie diody LED1, LED2 powinny się zaświecić.

W menu Arduino IDE wybieramy *Szkic* → *Wgraj* lub Ctr+U. Rozpocznie się ponowna kompilacja i proces zapisu. Jedna z diod zamontowanych na module ESP01 powinna zacząć migotać. Jeżeli wszystko pójdzie dobrze, dioda na module gaśnie a w polu komunikatów Arduino IDE nie powinny pojawić się żadne ostrzeżenia. Program został zapisany do pamięci FLASH.

Ostatnim krokiem jest zapis danych do pamięci SPIFFS kontrolera ESP8266. Dane są treścią generowanych stron, które mają być wyświetlane przez przeglądarkę internetową po połączeniu z mikrosterownikiem. Pliki do zapisu należy umieścić w katalogu plików projektu ale w wydzielonym podkatalogu o nazwie *data*. W przypadku tego projektu zawartość podkatalogu jest następująca:

```
/data
        index.shtml
        param_log_do_sieci.html
        switch_off.png
        switch_on.png
        test_in.shtml
```

Jak widać są to źródła 3 podstron w standardowym HTML-u (o nietypowym rozszerzeniu .shtml za chwilę) oraz pliki dwóch obrazków .png które będą wyświetlane na jednej ze stron. Cała zawartość podkatalogu *data* ma trafić do wydzielonego obszaru SPIFFS w pamięci FLASH kontrolera ESP8266. Zapis danych do obszaru SPIFFS nie niszczy programu wpisanego do FLASH tak więc dane do wyświetlania stron generowanych przez moduł mogą być wielokrotnie modyfikowane i wgrywane bez konieczności powtórnego zapisu programu.

Ustawienia zwór przed zapisem do obszaru SPIFFS są takie same jak podczas zapisu programu do FLASH-a. Przed rozpoczęciem zapisu należy nacisnąć przycisk RESET na płytce mikrosterownika, obie diody LED powinny być zaświecone. Z menu Arduino IDE należy wybrać *Narzędzia* → *ESP8266 Sketch Data Upload*. Powinien zostać wyświetlony komunikat: Uploading 65536 bytes from to flash at 0x0006B000 i rozpoczyna się zapis do obszaru SPIFFS. Tak jak poprzednio nie powinny pojawić się na koniec żadne komunikaty ani ostrzeżenia. Należy odłączyć zasilanie i przestawić zwory w pozycje: JP3 2-3, JP1 1-2. Mikrosterownik jest gotowy do pracy.

## Tryb AP i Stacji

Komunikacja z mikrosterownikiem poprzez sieć Wi-Fi może odbywać się w jednym z dwu trybów: jako Stacja lub jako samodzielny punkt dostępowy AP. W trybie Stacji sterownik automatycznie loguje się do wybranej sieci podając jej nazwę i hasło. Jeżeli są prawidłowe router nadzorujący sieć, w procesie DHCP, automatycznie przydzieli sterownikowi unikalny numer IP w obrębie sieci. Od tej chwili można się ze sterownikiem łączyć w standardowy



eprasa.pl 4d9608b833

sposób. Po wpisaniu adresu IP w obszarze paska przeglądarki, nastąpi połączenie i wyświetlenie wygenerowanej przez sterownik strony. Tryb Stacji zostaje wywołany po Resecie lub włączeniu urządzenia jeśli zwora JP2 będzie rozwarta. Tryb Stacji jest wygodny dla użytkownika ponieważ umożliwia szybki dostęp do innych urządzeń i usług np. dostęp do internetu, w ramach tej samej sieci. Gdy jednak brak dostępu do sieci bo np. sterownik znajdzie się poza zasięgiem domowego routera lub nie jest znany przydzielony w obrębie sieci adres IP, należy skorzystać z trybu samodzielnego punktu dostępowego AP.

Tryb AP zostaje wywołany po Resecie lub włączeniu urządzenia jeśli zwora JP2 będzie zwarta. W tym trybie żeby połączyć się z mikrosterownikiem trzeba wykonać 2 kroki:

1. Na komputerze lub telefonie komórkowym należy wyświetlić listę będących w zasięgu sieci Wi-Fi. W trybie AP mikrosterownik zgłasza się jako sieć o nazwie ***ARS3_miniAP*** z otwartym dostępem bez konieczności podawania hasła. Należy wybrać tą sieć.
2. W pasku przeglądarki trzeba wpisać adres IP: ***192.168.4.1*** w trybie AP sterownik przydzieli sobie zawsze ten właśnie aders.

Po wpisaniu adresu nastąpi połączenie i wyświetlenie wygenerowanej przez sterownik strony.

## Sterowanie pracą mikrosterownika

Użytkownik powinien mieć możliwość kontroli nad 3 stanami pracy sterownika:

- załączeniem i wyłączeniem przekaźników, których styki są wyprowadzone do złącz X2 WY1 i X3 WY2 oraz możliwością odczytu aktualnego stanu tych wyjść
- odczytem stanu wejścia binarnego
- ustawieniem nazwy i hasła dostępu do sieci gdy mikrosterownik pracuje w trybie Stacji.

Wszystko to dostępne z poziomu przeglądarki dla której treść stron HTML do wyświetlenia generuje sam mikrosterownik. Treść i forma stron mogą być zmieniane przez użytkownika. Teraz jednak opiszę jak działa sterownik ze stronami przygotowanymi dla tego projektu.

**Rysunek 3. Wygląd strony monitorującej stan wejścia**

Na **rysunku 2** widać wygląd strony *index.shtml,* która wyświetlana jest jako pierwsza po połączeniu przeglądarki z mikrosterownikiem. Poniżej nazwy urządzenia wyświetlany jest jego bieżący adres IP oraz informacja, że połączenie odbywa się w trybie AP. W trybie Stacji adres IP będzie adresem przydzielonym w obrębie sieci.

Poniżej umieszczone są dwa duże przyciski sterujące stanem wyjść WY1 i WY2. Kolor biały przycisku oznacza, że wyjście jest w stanie wyłączenia. Kolor niebieski i czerwony oznaczają, że odpowiednie wyjście jest załączone. Stan wyjścia zmienia się z kolejnym kliknięciem przycisku. Duży przycisk ODŚWIEŻ wymusza odświeżenie wyświetlanej strony HTML. Na samym dole z lewej strony znajdują się linki do kolejnych podstron pozwalających na odczyt stanu wejścia oraz na zaprogramowanie parametrów dostępu do sieci w trybie Stacji.

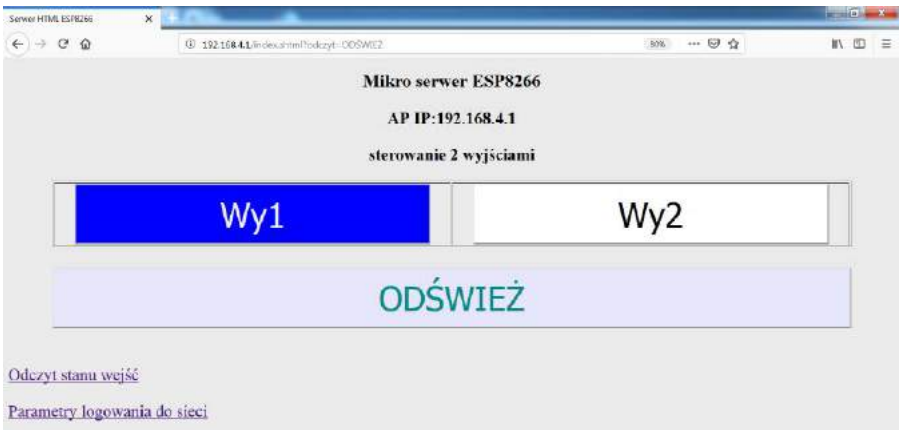
Na **rysunku 3** pokazany został wygląd strony na której wyświetli się stan wejścia. Jeżeli na złącze X5-2 podane zostanie napięcie o poziomie równym lub większym od 3,3 V, zadziała tranzystor w transoptorze OK1 a na stronie zostanie wyświetlony symbol zamkniętego przełącznika. Jeśli napięcie nie jest podawane wyświetli się symbol otwartego przełącznika.

W trybie AP trzeba pamiętać aby po włączeniu mikrosterownika zdjąć zworę JP2, w przeciwnym wypadku będzie na stałe wyświetlany symbol przełącznika zamkniętego.

Na **rysunku 4** pokazano wygląd strony HTML wygenerowanej przez mikrosterownik, służącej do podania nazwy i hasła logowania do sieci w trybie pracy Stacja. Po naciśnięciu klawisza ***PRZESŁANIE*** dane logowania zostają przesłane z przeglądarki do sterownika i tam zapisane w jego pamięci nieulotnej.

## Odczyt IP nadanego mikrosterownikowi w trybie pracy Stacja

Po pierwszym zalogowaniu się do nowej sieci, sterownikowi zostaje nadany nowy IP w ramach procesu DHCP. Użytkownik musi poznać ten numer, żeby w ogóle połączyć się ze sterownikiem pracującym w trybie Stacji. Jeżeli ma dostęp do routera kontrolującego lokalną sieć Wi-Fi, może przy pomocy narzędzi systemowych podejrzeć w routerze nowo dodany adres IP. Jeżeli istnieje możliwość podpięcia się do złącza szeregowego TXD out mikrosterownika, można je podłączyć do portu USB komputera i przy pomocy dowolnego programu terminalowego wyświetlić komunikaty które wysyła. Pracując w trybie Stacji, mikrosterownik po włączeniu zasilania lub Resecie prześle informacje o swoim statusie a także numer nadanego IP.




**Rysunek 2. Wygląd strony *index.shtml***

REKLAMA

eprasa.pl 4d9608b833

Istnieje także procedura zdalnego pobrania informacji o nadanym numerze IP. W tym celu należy:

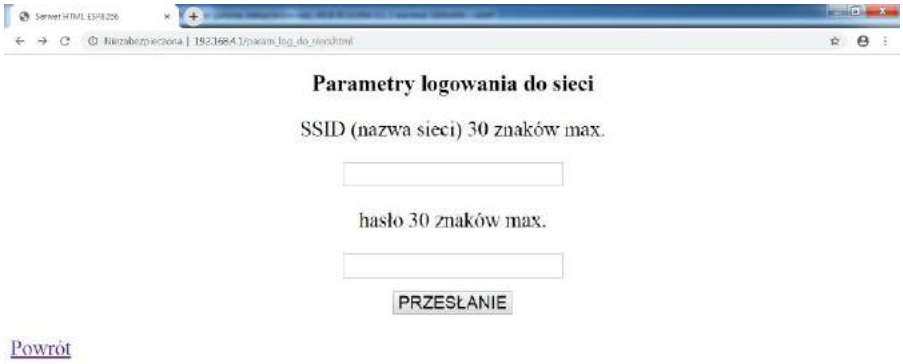
- włączyć mikrosterownik w trybie AP,
- na komputerze lub telefonie wybrać sieć ***ARS3_miniAP***, która jest nazwą punktu dostępowego mikrosterownika,
- w opisany wcześniej sposób przesłać do sterownika parametry logowania do wybranej sieci np. własnej sieci domowej,
- nie zmieniając ustawień sieci na komputerze lub telefonie, wyłączyć napięcie zasilające, zdjąć zworę JP2 sterownika i ponownie zasilić sterownik, który znajdzie się w trybie Stacji,
- na telefonie lub komputerze odświeżyć wyświetlaną stronę mikrosterownika. Na górze strony powinien pojawić się napis ***Stacja IP:*** i dalej nadany przez router numer w obrębie sieci,
- komputer lub telefon przełączyć na prace w obrębie sieci do której został dołączony mikrosterownik. Od tej chwili możliwa będzie komunikacja ze sterownikiem po wpisaniu odczytanego numeru IP.

## Modyfikowanie generowanych przez sterownik stron HTML

Źródła generowanych do wyświetlenia na przeglądarce stron HTML, arkusze stylów, obrazki – wszystko to umieszczone jest jako pliki w obrębie pamięci SPIFFS kontrolera modułu ESP01. Bez ingerencji w program sterujący można je zmieniać personalizując wyświetlane strony mikrosterownika. Zmieniając treść plików, włączając w to dodawanie nowych podstron, należy pamiętać o dwu sprawach: całkowita objętość treści do wyświetlenia musi się zmieścić w 64 kilobajtach, taki jest rozmiar pamięci SPIFFS. A drugą sprawą w przypadku stron interaktywnych czyli takich, których wygląd będzie się zmieniał w zależności od stanu wejścia i wyjść mikrosterownika, jest przestrzeganie kilku zasad prostego API.

Jako strony do wyświetlenia najlepiej się sprawdza czysty HTML. Ze względu na ograniczenia przepustowości toru Wi-Fi modułu ESP01, kod powinien mieć jak najmniejszą objętość w przeciwnym wypadku strony będą się długo ładowały. Poza tym ograniczeniem nie ma przeszkód by stworzyć dowolną, własną stronę mikrosterownika zawierającą np. skrypty JavaScript.

Sterownik będzie przesyłał do wyświetlenia do przeglądarki, dwa rodzaje stron: statyczne zawsze wyglądające tak samo i dynamiczne, których wygląd będzie się zmieniał w zależności od stanu mikrosterownika. Te pierwsze mają standardowe rozszerzenie .html natomiast pliki stron dynamicznych mają rozszerzenie .shtml. Jako przykład strony dynamicznej niech posłuży plik strony *index.shtml*, która wyświetla się




**Rysunek 4. Wygląd strony służącej do ustawienia nazwy i hasła logowania do sieci**

jako pierwsza po wpisaniu w pasku przeglądarki adresu sterownika. Strona o dokładnie takiej nazwie musi istnieć nawet jeżeli będzie jedyną stroną do wyświetlania. Strona jest dynamiczna ponieważ w dwu miejscach to co wyświetla zależy od aktualnego stanu mikrosterownika. Jest to określenie trybu pracy AP lub Stacji wraz z adresem IP, które będą się zmieniać zależnie od sytuacji. Drugim takim miejscem jest wygląd klawiszy sterujących wyjściami i zależny od ich aktualnego stanu. **Listing 1** zawiera cały kod strony *index.shtml*.

Oprogramowanie sterownika, przed wysłaniem do przeglądarki treści strony, sprawdza rozszerzenie nazwy pliku. Rozszerzenie .shtml oznacza, że zawartość pliku przed wysłaniem ma być zmodyfikowana, pliki o innym rozszerzeniu wysyłane są w takiej formie w jakiej zapisano je w pamięci SPIFS. Oprogramowanie mikrosterownika szuka w pliku .shtml miejsca wystąpienia takiej konstrukcji: `<!--  -->`. W normalnym pliku .html jest to oznaczenie komentarza nie wpływającego na wyświetlaną treść, w pliku .shtml oznacza miejsce potencjalnych zmian w treści strony. Jeżeli bezpośrednio za znakami otwierającymi komentarz znajdzie się obsługiwany tag (w tym przypadku `#tag_w_txt1_32z`), oprogramowanie sterownika wykona następujące działania:

- usunie w tekście modyfikowanej strony wszystkie znaki komentarza zastępując je spacjami,
- w to miejsce zostanie wpisany tekst będący opisem statusu pracy sterownika i odczytany numer IP.

Poniżej treść fragmentu strony przed ingerencją oprogramowania sterownika i po:

```
<p><b>
<!--#tag_w_txt1_32z
01234567890123456789012345678901-->
</b></p>
<p><b>                    Stacja
IP:192.168.0.185           </b>
</p>
```

Cyfry za tagiem *0123…* mają charakter pomocniczy do wyznaczenia przestrzeni 32 znaków.

Podobny mechanizm zastosowano do dynamicznej zmiany wyglądu klawiszy sterujących stanem wyjść WY1 i WY2. Klawisze są przyciskami typu *submit* dwu formularzy. Sytuacja jest trochę bardziej skomplikowana niż poprzednio ponieważ wygląd przycisków ma sygnalizować stan wyjść, a ich naciśnięcie w przeglądarce inicjuje zmianę stanu wybranego wyjścia na przeciwny. Z tego powodu w formularzu oprócz elementu typu *submit* wykorzystano także pole ukryte czyli element typu *hidden*. W tym przypadku algorytm działania oprogramowania mikrosterownika przed wysłaniem strony do przeglądarki jest następujący:

- za znakami otwierającymi komentarz wyszukiwany jest `tag #tag_w_out1` oznaczający, że odnosi się do stanu WY1. Następnie badana jest cyfra za znakiem '=' określająca stan WY1, 0 wyłączone 1 włączone. Jeżeli rzeczywisty stan WY1 jest zgodny z cyfrą za znakiem '=' usuwane są znaki komentarza, w przeciwnym wypadku nic się nie dzieje. W ten sposób kolor wyświetlanego w przeglądarce klawisza odpowiada aktualnemu stanowi wyjścia. Jeżeli w przeglądarce klawisz zostanie naciśnięty, wysyła ona komunikat do mikrosterownika z nowym stanem klawisza: *form_name_out1=0* co oznacza, że WY1 ma być wyłączone lub *form_name_out1=1* co oznacza, że WY1 ma być załączone. Taki sam mechanizm działa w przypadku klawisza sterującego WY2. Na podobnej zasadzie działa strona dynamiczna *test_in.shtml* służąca do wyświetlania stanu wejścia binarnego. Jej źródło zostało zamieszczone na **listingu 2**.

Ponieważ stan wejścia jest tylko odczytywany nie trzeba tej informacji wysyłać do przeglądarki jako formularza. Może to być zwykły tekst lub jak to widać na Listingu2 link do wyświetlanego odpowiedniego obrazka. Podobnie jak w przypadku stanu wyjść, badana jest zgodność cyfry za tagiem z aktualnym stanem WE1. Jeżeli #tag_w_in1=0 i stan napięcia na WE1 jest wysoki, zostaną usunięte znaki komentarza a przeglądarka

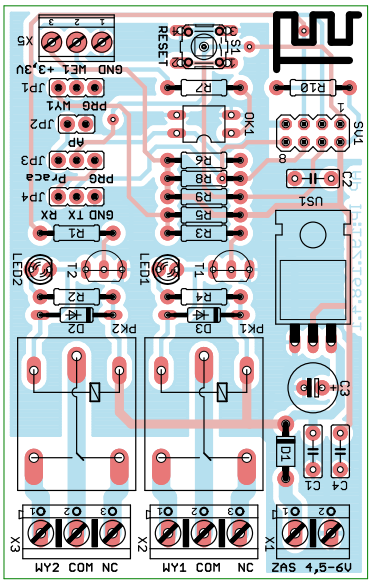


eprasa.pl 4d9608b833

**Listing 1. Kod strony *index.shtml***

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
        <title>Serwer HTML ESP8266</title>
        <meta name="description" content="Mikro serwer ESP8266">
        <meta http-equiv="content-type" content="text/html; charset=UTF-8">
        <meta http-equiv="content-type" content="application/xhtml+xml; charset=UTF-8">
        <meta http-equiv="content-style-type" content="text/css">
        <meta http-equiv="expires" content="0">

        <style>
                input {
                        width: 90%;
                        padding: 16px 32px;
                        font-size: 60px;
                }
                p {font-size: 30px;}
        </style>
</head>

<body style="background-color:#EAEAEA;">
        <div style="text-align: center"><h1>Mikro serwer ESP8266</h1>
                <p><b><!--#tag_w_txt1_32z 01234567890123456789012345678901--></b></p>
                <p><b>sterowanie 2 wyjściami</b></p>

                <div align=center>
                        <table border="1" width=90%>
                                <tr align=center>

                                <td width=50%>
                                <form method="get" action="index.shtml">
                                <!--#tag_w_out1=1 <input type="submit" value="Wy1" style="background-color:#0000ff;color:#f2f2f2">
                                <input type="hidden" name="form_name_out1" value="0"/>-->
                                <!--#tag_w_out1=0 <input type="submit" value="Wy1" style="background-color:white;color:black">
                                <input type="hidden" name="form_name_out1" value="1"/>-->
                                </form>
                                </td>

                                <td width=50%>
                                <form method="get" action="index.shtml">
                                <!--#tag_w_out2=1 <input type="submit" value="Wy2" style="background-color:#ff0000;color:#f2f2f2">
                                <input type="hidden" name="form_name_out2" value="0"/>-->
                                <!--#tag_w_out2=0 <input type="submit" value="Wy2" style="background-color:white;color:black">
                                <input type="hidden" name="form_name_out2" value="1"/>-->
                                </form>
                                </td>
                                </tr>
                        </table>
                </div>

                <form method="get" action="index.shtml">
                        <br><br>
                        <input type="submit" name="odczyt" value="ODŚWIEŻ"
                style="backgroundcolor:Lavender;color:DarkCyan">
                </form>
                <br />

        </div>
        <br />
        <a href="test_in.shtml"><p>Odczyt stanu wejść</p></a>
        <a href="param_log_do_sieci.html"><p>Parametry logowania do sieci</p></a>

</body>
</html>
```

wyświetli obrazek *switch_on.png*. W przeciwnym wypadku będzie wyświetlony obrazek *switch_off.png*. Uwaga wartość tagu odnosi się do rzeczywistego poziomu napięcia na wyprowadzeniu URXD pełniącego funkcję wejścia binarnego. Transoptor OK1 odwraca fazę i gdy napięcie na WE1 ma poziom wysoki na URXD podawany jest stan niski.




**Rysunek 5. Schemat płytki PCB**

Z kolei na **listingu 3** pokazane zostało źródło zwykłej strony *param_log_do_sieci.html* służącej do podawania nazwy sieci i hasła potrzebnych do logowania gdy sterownik pracuje w trybie Stacji.

Do przesłania wprowadzonej w przeglądarce nazwy sieci i hasła wykorzystano formularz, którego nazwy pól wejściowych muszą mieć nazwę *form_name_siec_nazwa* i *form_name_siec_haslo*. Ostatecznie przeglądarka wyśle do mikrosterownika transmisję w której znajdą się podane twoja nazwa się sieci i twoje hasło sieci:

```
form_name_siec_nazwa=twoja_
nazwa_sieci&form_name_siec_
haslo=twoje_haslo_sieci
```

Po odebraniu transmisji oprogramowanie mikrosterownika rozpozna zastrzeżone nazwy *form_name_siec_nazwa* i *form_name_siec_haslo* dzięki którym zidentyfikuje przesłaną nazwę sieci i hasło po czym zapamięta je w części pamięci pełniącej funkcję pamięci EEPROM.

## Tagi i nazwy zastrzeżone formularzy

Poniżej podaję wszystkie tagi i zastrzeżone nazwy formularzy na które reaguje oprogramowanie sterownika:

- `form_name_out1` przesyłanie żądania ustawienia poziomu wyjścia WY1,

**Wykaz elementów:**

**Rezystory:**
R1, R3, R5, R8…R10: 10 kΩ
R2, R4: 1 kΩ
R6: 3 kΩ
R7: 510 Ω

**Kondensatory:**
C1, C2, C4: 100 nF
C3: 220 µF/16 V

**Półprzewodniki:**
D1: 1N5817
D2, D3: 1N4148
LED1, LED2: dioda LED 3 mm
T1, T2: BC548
OK1: PC817
US1: LD1117-3.3V
SV1: ESP01

**Pozostałe:**
PK1, PK2: SRD-05VDC-SL-C
S1: mikroswitch
X1: DG301-5.0/2
X2, X3: DG301-5.0/3
X5: DG381-3.5/3
JP2: goldpin 1×2 + jumper
JP1, JP3, JP4: goldpin 1×3 + jumper



eprasa.pl 4d9608b833

**Listing 2. Kod strony wyświetlającej stan wejścia**

```
<!DOCTYPE html>
<html>
        <head>
                <title>Serwer HTML ESP8266 test wejść</title>
                <meta charset="utf-8" />
                <meta http-equiv="Refresh" content="5">

                <style>
                        input {
                        width: 90%;
                        padding: 16px 32px;
                        font-size: 60px;
                        }

                        p {font-size: 30px;}
                        table {font-size: 30px;}
                </style>
        </head>

        <body style="background-color:#EAEAEA;">
                <div style="text-align: center"><h1>Mikro serwer ESP8266</h1>
                        <p><b>odczyt stanu wejść (automatycznie i na żądanie)</b></p>

                        <div align=center>
                                <table>
                                        <tr>
                                        <td>WEJŚCIE 1</td>
                                        <td>
                                        <!--#tag_w_in1=0 <img src="switch_on.png" width="64" height="64" alt="">-->
                                        <!--#tag_w_in1=1 <img src="switch_off.png" width="64" height="64" alt="">-->
                                        </td>
                                        </tr>
                                </table>
                        </div>

                        <br />
                        <form action="test_in.shtml" method="get">
                                <input type="submit" value="ODŚWIEŻ">
                        </form>
                </div>

                <p><b><a href="index.shtml">POWRÓT</a></b></p>
        </body>
</html>
```

parametr value=0 wyłącz, value=1 załącz

- `form_name_out2` przesyłanie żądania ustawienia poziomu wyjścia WY2 parametr value=0 wyłącz, value=1 załącz,
- `form_name_siec_nazwa` przesyłanie do zapamiętania SSID nazwy sieci w trybie Stacja,
- `form_name_siec_haslo` przesyłanie do zapamiętania hasła sieci w trybie Stacja,
- `form_name_siec_param` sygnalizacja przesyłania nazwy i hasła sieci, niewykorzystywane,
- `tagi` – identyfikatory wyboru:
  - `tag_w_out1` identyfikator stanu wyjścia WY1 na stronie dynamicznej .shtml parametr =0 wyłączone lub =1 włączone
  - `tag_w_out2` identyfikator stanu wyjścia WY2 na stronie dynamicznej .shtml parametr =0 wyłączone lub =1 włączone
  - `tag_w_in1` identyfikator stanu wejścia IN1 na stronie dynamicznej .shtml parametr =0 stan niski lub =1 stan wysoki

    **UWAGA!** w mikrosterowniku zanegowane przez transoptor.
  - `tag_w_txt1_32z` identyfikator wyświetlenia 32 znaków tekstu wyświetlanie tekstu określającego tryb pracy i aktualny adres IP.

**Listing 3. Źródło strony służącej do podawania nazwy sieci i hasła**

```
<!DOCTYPE html>
<html>
        <head>
                <meta charset="utf-8" />
                <title>Serwer HTML ESP8266</title>

                <style>
                        input {
                        font-size: 25px;
                        }
                        p {font-size: 30px;}
                </style>

        </head>
        <body>
                <div style="text-align: center"><h1>Parametry logowania do sieci</h1>
                        <form action="param_log_do_sieci.html" method="get">
                                <p>SSID (nazwa sieci) 30 znaków max.</p>
                                <input type="text" name="form_name_siec_nazwa"/>
                                <p>hasło 30 znaków max.</p>
                                <input type="password" name="form_name_siec_haslo" /><br /><br />
                                <input type="submit" name="form_name_siec_param" value="PRZESŁANIE" />
                        </form>
                </div>
                <a href="index.shtml"><p>Powrót</p></a>
        </body>
</html>
```

## Montaż i uruchomienie

Schemat płytki PCB wraz z opisem rozmieszczenia elementów pokazuje **rysunek 5.** Urządzenie zbudowane jest z kilkunastu elementów montowanych w sposób przewlekany więc montaż nie sprawi problemu nawet osobom mniej doświadczonym. Urządzenie jest gotowe do pracy po zmontowaniu i zaprogramowaniu modułu ESP01.

**Ryszard Szymaniak**

REKLAMA

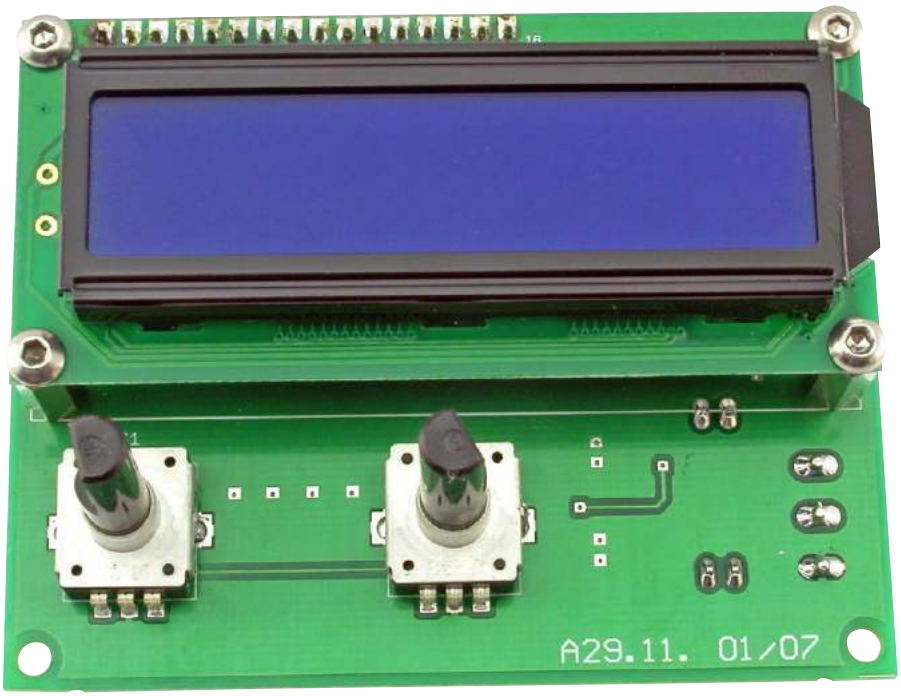
O projektach, mini i soft dyskutuj na https://forum.ep.com.pl



eprasa.pl 4d9608b833

# Cyfrowy generator sygnału prostokątnego 1 Hz...499 kHz

*Generator cyfrowy to jedno z podstawowych narzędzi w pracowni elektronika. Bywa niezastąpiony przy uruchamianiu układów cyfrowych oraz analogowych. Prezentowane urządzenie jest następcą układów AVT5418 i AVT3170. Najnowsza wersja pozwala na wytwarzanie sygnału o dziesięciokrotnie większej częstotliwości maksymalnej oraz ze znacznie płynniejszą regulacją wypełnienia. Zawiera wyjście proste i zanegowane, sterowany jest dwoma impulsatorami, a parametry pracy prezentuje na wyświetlaczu LCD.*




**Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl**

**W ofercie AVT* AVT-5684**

**Podstawowe parametry:**
- zakres generowanych częstotliwości 1 Hz…1 kHz,
- częstotliwość regulowana z precyzją trzech najstarszych cyfr
- regulacja wypełnienia w zakresie 1…99%,
- parametry pracy prezentowane na wyświetlaczu LCD,
- enkodery do ustawiania częstotliwości i wypełnienia,
- wyjścia sygnału proste oraz zanegowane w standardzie TTL,
- zasilanie napięciem stałym z zakresu 8…20 V.

**Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:**

| | |
|---|---|
| AVT-5665 | Generator cyfrowy (EP 3/2019) |
| AVT-1993 | Kieszonkowy generator funkcyjny (EP 8/2018) |
| AVT-3111 | Cyfrowy generator DDS z układem AD9850 – DDS wg SQ5RWQ (SR 9/2014) |
| AVT-5418 | Cyfrowy generator sygnału prostokątnego (EP 10/2013) |
| AVT-1728 | Generator HF z powielaniem częstotliwości (EP 3/2013) |
| AVT-1569 | Generator akustyczny 20 Hz...20 kHz (EP 5/2010) |
| AVT-5124 | Generator funkcyjny DDS (EP 2/2008) |

*** 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 *http://sklep.avt.pl*, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.

Nie zawsze potrzebny jest rozbudowany kosztowny generator. W codziennej pracy wygodniej jest mieć pod ręką nieskomplikowane urządzenie, łatwe w obsłudze, którego parametry wystarczą do większości zastosowań. Prezentowany układ powstał z myślą o takim właśnie zastosowaniu. Warto wiedzieć, że jeżeli generator dostarcza przebiegu cyfrowego, to nie znaczy, że jest skazany na pracę tylko z układami cyfrowymi Ze względu na bogactwo składowych harmonicznych przebiegi prostokątne idealnie nadają się do szybkiego badania wzmacniaczy, tłumików oraz filtrów.

## Zasada działania

Schemat ideowy prezentowanego generatora pokazuje **rysunek 1**. Generowanie sygnału odbywa się z użyciem mikrokontrolera STM32F051, który jest jednocześnie głównym układem zarządzającym. Źródłem sygnału taktującego rdzeń i peryferia jest wbudowany oscylator, który współpracuje z rezonatorem kwarcowym o częstotliwości 16 MHz. Wbudowany układ PLL powiela tę częstotliwość trzykrotnie, wobec czego uzyskiwany jest sygnał zegarowy o częstotliwości 48 MHz – jest to największa możliwa wartość dla tego układu. Kondensatory C5 i C6 ułatwiają wzbudzenie drgań rezonatora, a rezystor R4 utrudnia jego przypadkowe wzbudzenie na innej częstotliwości.

Do programowania mikrokontrolera przewidziano złącze J1, na które zostały wyprowadzone linie sygnałowe interfejsu SWD. Ponieważ nie są one wykorzystywane w czasie normalnej pracy układu, zostały

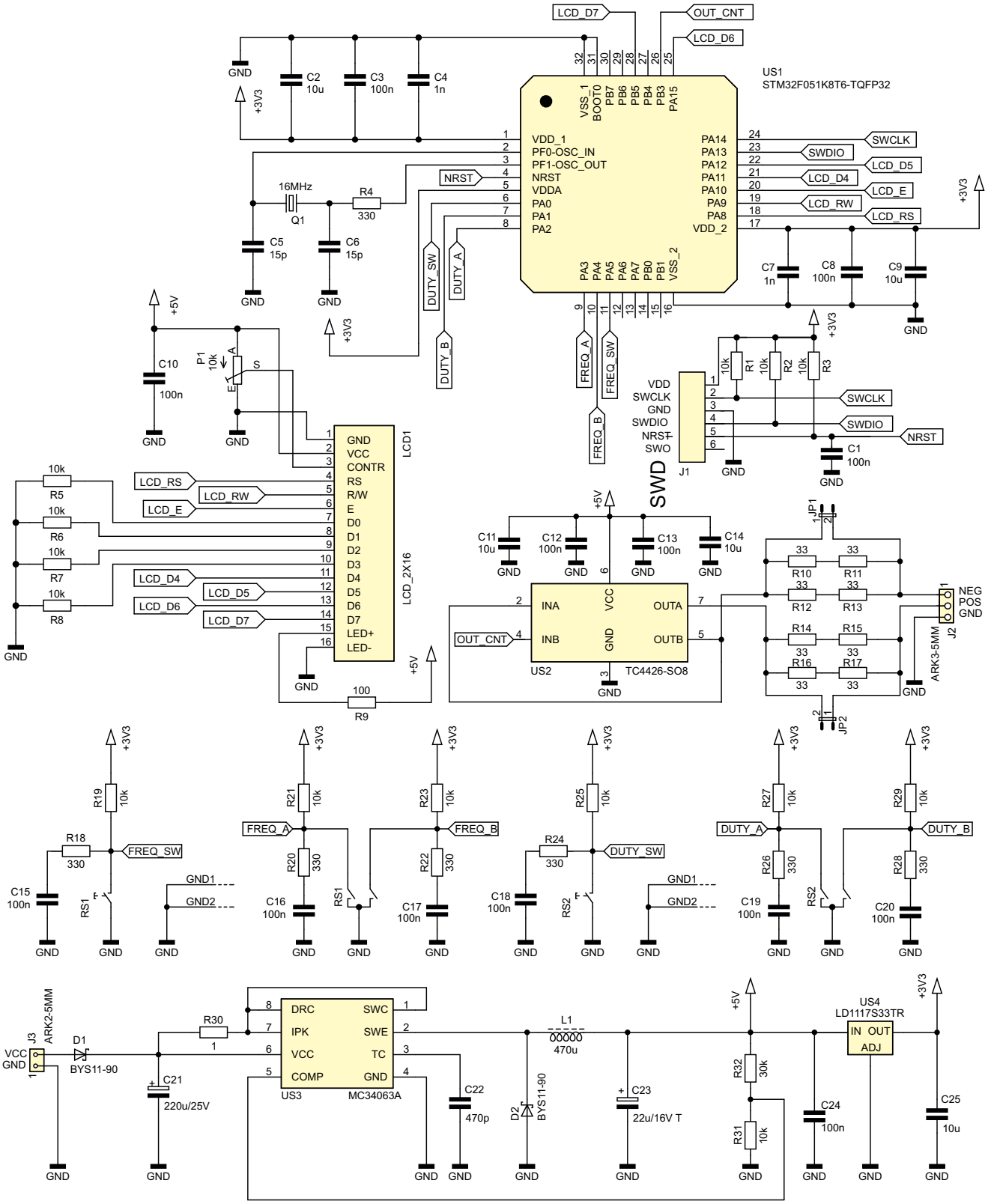
REKLAMA

eprasa.pl 4d9608b833

podciągnięte rezystorami do zasilania 3,3V. Dla linii NRST przewidziano również kondensator C1, który wymusza sprzętowe zerowanie po włączeniu zasilania – zalecane przez producenta w nocie katalogowej. Zaprogramowanie jest możliwe po właściwym połączeniu sygnałów czterech linii: SWCLK, SWDIO, NRST i GND z programatorem. Niektóre programatory umożliwiają sprawdzenie napięcia zasilającego mikrokontroler, dlatego wyprowadzono również jego napięcie zasilania o nominalnej wartości 3,3 V.

Do wyświetlania aktualnych nastaw częstotliwości i wypełnienia służy alfanumeryczny wyświetlacz LCD zawierający 2 wiersze, każdy po 16 znaków. Zawiera kontroler zgodny z HD44780. Z mikrokontrolerem komunikuje się w trybie 4-bitowym. Regulacja kontrastu jest możliwa poprzez kręcenie potencjometrem P1. Pomimo zasilania wyświetlacza napięciem 5 V, prawidłowo interpretuje on napięcie 3,3 V jako logiczne „1”, co jest powszechne w wielu współczesnych zamiennikach HD44780.

Sygnał cyfrowy wygenerowany z mikrokontrolera ma amplitudę 3,3 V oraz nikłą wydajność prądową. Najprostszym i najtańszym sposobem na zwiększenie amplitudy i wydajności jest użycie scalonego sterownika (drivera) do tranzystorów MOSFET. W tym




**Rysunek 1. Schemat elektryczny generatora**



eprasa.pl 4d9608b833

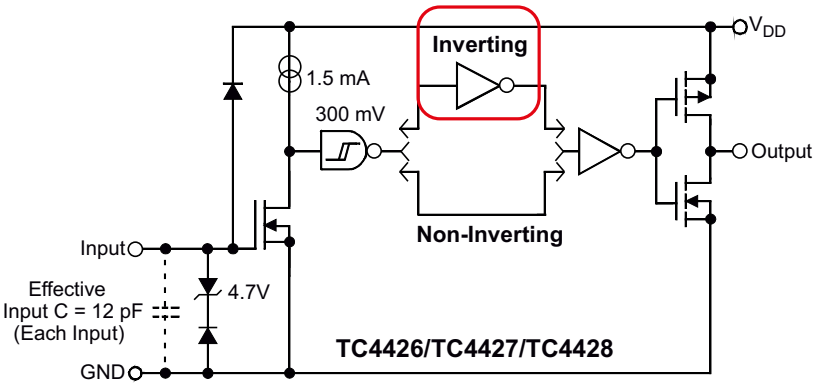
**Wykaz elementów:**

**Rezystory:**
R1…R3, R5…R8, R19, R21, R23, R25, R27, R29, R31: 10 kΩ SMD0805
R4, R18, R20, R22, R24, R26, R28: 330 Ω SMD0805
R9…R17: 33 Ω SMD0805
R30: 1 Ω SMD0805
R32: 30 kΩ SMD0805
P1: 10 kΩ montażowy leżący

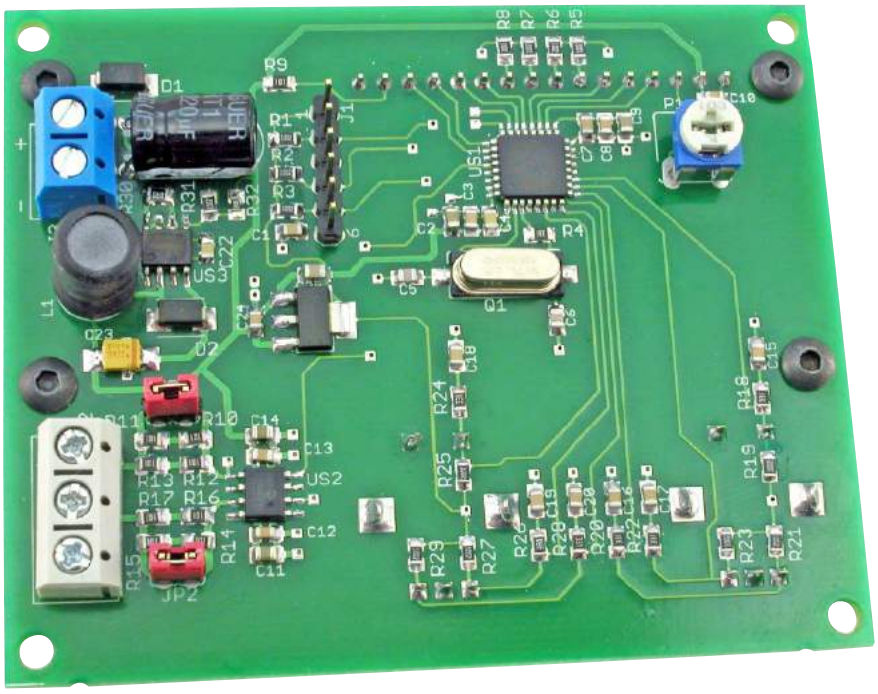
**Kondensatory:**
C1, C3, C8, C10, C12, C13, C15...C20, C24: 100 nF SMD0805
C4, C7: 1 nF SMD0805
C5, C6: 15 pF SMD0805
C9, C11, C14, C25: 10 µF SMD0805
C21: 220 µF/25 V
C22: 470 pF SMD0805
C23: 22 µF/16 V tantalowy SMD B

**Półprzewodniki:**
D1, D2: BYS11-90
LCD1: 2×16 znaków (opis w tekście)
US1: STM32F051K8T6 TQFP32
US2: TC4426 SO8
US3: MC34063A SO8
US4: LD1117S33TR SOT223

**Pozostałe:**
J1: goldpin 6 pin
J2: ARK3 5 mm
J3: ARK2 5 mm
JP1, JP2: goldpin 2 pin + zworki
L1: 470 µH pionowy THT
Q1: 16 MHz HC49 SMD
RS1, RS2: ED1212S-24C24-30F
Goldpin 16 pin + gniazdo do wyświetlacza
4× tuleja dystansowa 11 mm M3
8× śrubka M3 5 mm



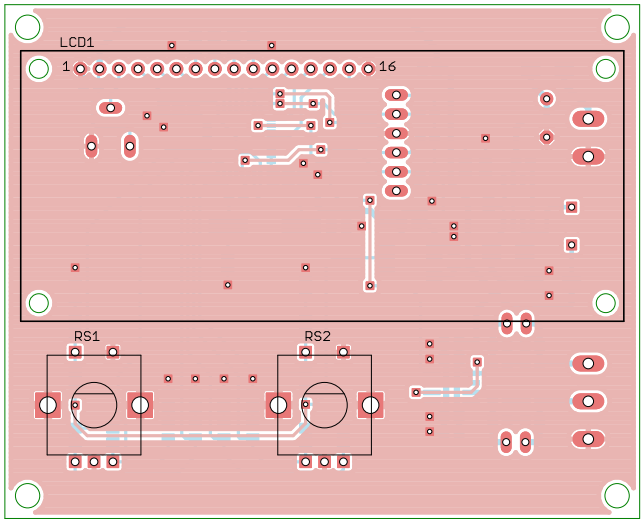

**Rysunek 2. Schemat wewnętrzny jednego kanału układu TC4426. Czerwoną otoczką zaznaczono negator.**



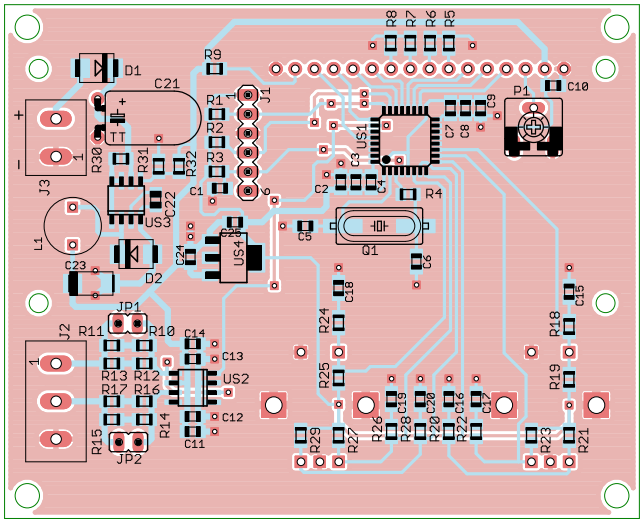
**Fotografia 1. Widok zmontowanej płytki**

układzie zastosowano układ TC4426, który zawiera dwa zanegowane kanały dla sygnałów sterujących – **rysunek 2**. Układ ma bardzo prostą konstrukcję: na wejściu znajduje się klucz na tranzystorze MOSFET, który służy dopasowaniu poziomu napięcia sterującego. Dalej są: przerzutnik Schmitta, bramka NOT i sterownik dla komplementarnych tranzystorów MOSFET w układzie Push-Pull. Tranzystory MOSFET nie ulegają nasyceniu w takim rozumieniu jak tranzystory bipolarne, wobec czego ich przełączanie może być znacząco szybsze.

Deklarowane przez producenta układu parametry są wręcz doskonałe do tego zastosowania. Głównie dzięki wyrównanym czasom narastania i opadania (max. 30 ns) napięcia wyjściowego. Przy zasilaniu napięciem 5 V rezystancja wyjściowa może wynosić 15 Ω – wydajność prądowa nie jest zatem wysoka, lecz wystarczająca do wielu zastosowań. TC4426 neguje sygnał, co zostało wykorzystane do stworzenia dwóch wyjść. Sygnał z mikrokontrolera, który wchodzi na wejście INB, zostaje wzmocniony, zanegowany i doprowadzony do zacisku 1 złącza J2. Jednocześnie ten sam sygnał trafia na drugie




**Rysunek 3. Schemat montażowy oraz schemat płytki PCB, strona TOP**



**Rysunek 4. Schemat montażowy oraz schemat płytki PCB, strona BOTTOM**



eprasa.pl 4d9608b833

wejście – INA. Po kolejnej negacji sygnał wraca do polaryzacji początkowej. Między uzyskanymi w ten sposób sygnałami istnieje pewne przesunięcie w czasie, lecz jest ono pomijalnie małe.

Na płytce zostały zamontowane rezystory, które umożliwiają dopasowanie impedancji źródła sygnału do kabla 50 Ω. Połączone równolegle dwa szeregi po 33 Ω dają wypadkową rezystancję równą 33 Ω, która w połączeniu z rezystancją wyjściową układu TC4426 daje wartość około 50 Ω. Połączenie czterech rezystorów, zamiast użycia jednego, zwiększa maksymalną moc, ponieważ rozkłada ją równomiernie pomiędzy cztery elementy. Jeżeli dopasowanie impedancyjne nie jest potrzebne, to wystarczy założyć zworkę JP1 i/lub JP2. Przy wyprowadzeniach zasilania układu TC4426 znajdują się aż cztery kondensatory odsprzęgające, po dwa 100 nF i 10 μF, po to, aby generowane impulsy nie były zniekształcone.

Na płytce znajdują się dwa enkodery obrotowe z przyciskami. Każdy z sześciu styków mechanicznych ma swój rezystor podciągający oraz prosty filtr RC. Taka konfiguracja ma kilka zalet, przede wszystkim wpływa na dużą szybkość reakcji układu, dzięki czemu nie gubi on impulsów przy szybkim kręceniu osią enkodera.

Na płytce znalazła się również niewielka przetwornica obniżająca. Dostarcza stabilizowanego napięcia +5 V z dowolnego napięcia stałego z zakresu 8…20 V doprowadzonego do zacisków złącza J3. Kondensator C22 ustala częstotliwość oscylacji na kilkadziesiąt kiloherców, przez co jej praca jest niesłyszalna. Stanowi również proste zabezpieczenie przeciwzwarciowe: rezystor R30 o wartości 1 Ω ogranicza prąd klucza przetwornicy do ok. 300 mA. Należy jednak pamiętać, że zwarcie na zaciskach wyjściowych (w złączu J2) może uszkodzić układ US2 z powodu przegrzania.

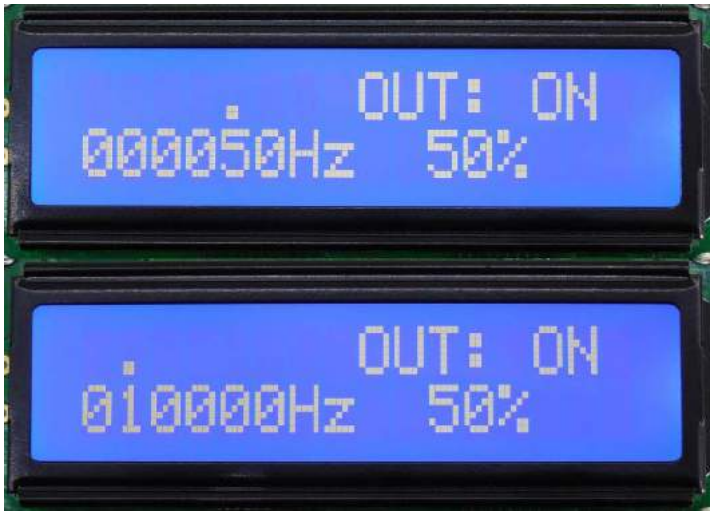
Napięcie 3,3 V dla mikrokontrolera pochodzi ze stabilizatora liniowego typu LDO. Zapotrzebowanie na prąd w tej gałęzi jest niewielkie, toteż ilość wydzielanego na nim ciepła nie uzasadnia konieczności budowy drugiej przetwornicy impulsowej, o niższym napięciu wyjściowym.

## Montaż i uruchomienie

Układ generatora został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 84×68 mm, której schemat montażowy oraz wzór ścieżek prezentują **rysunki 3** i **4**. Montaż należy rozpocząć od przylutowania elementów SMD, znajdujących się po spodniej (BOTTOM) stronie płytki. Zwracam uwagę na kondensator tantalowy, w którym kreska na obudowie oznacza jego plus. Następne w kolejności są elementy w obudowach przewlekanych, które znajdują się po tej samej stronie, czyli złącza J1-J3, kondensator C21 (można go położyć, aby płytka była niższa), zworki JP1 i JP2, dławik L1 i potencjometr P1. Szczegóły obrazuje **fotografia 1**.

**Fotografia 2. Ekran wyświetlacza generatora po włączeniu zasilania**

**Fotografia 3. Zmiana częstotliwości z 240 kHz na 50 Hz**




**Fotografia 4. Zmiana częstotliwości z 50 Hz na 10 kHz**

Na górnej stronie płytki (TOP) jest miejsce na enkodery i złącze do wyświetlacza LCD oraz sam wyświetlacz, który można przytwierdzić do laminatu przy użyciu czterech tulei dystansowych i śrub M3 (po uprzednim rozwierceniu otworów montażowych w wyświetlaczu).

Po zakończeniu montażu należy podłączyć źródło zasilania o ograniczonej wydajności prądowej i skontrolować wartości napięć 5 V oraz 3,3 V. Jeżeli wszystko jest w porządku, można zaprogramować pamięć Flash mikrokontrolera przy użyciu gotowego wsadu. Układ jest zaprojektowany do zasilania napięciem stałym, dobrze filtrowanym, lecz niekoniecznie stabilizowanym, o wartości z przedziału 8…20 V. Pobór prądu przy zasilaniu 12 V wynosi ok. 25 mA.

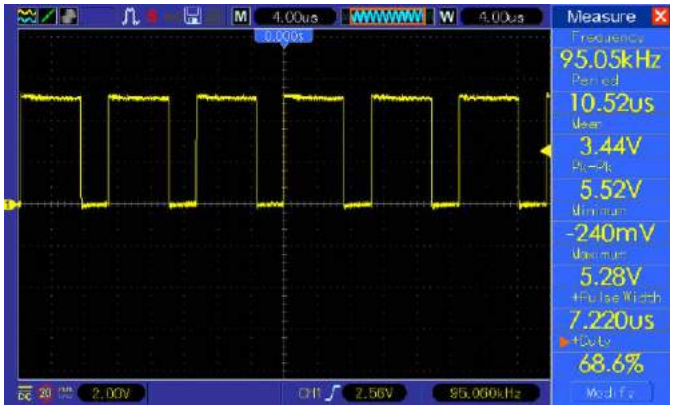
## Obsługa

Po włączeniu zasilania i prawidłowym ustawieniu kontrastu potencjometrem P1 na ekranie pokaże się treść taka jak na **fotografii 2**. Napis OFF oznacza, że generowanie jest wyłączone i wyjścia przyjmują swoje domyślne stany logiczne: proste – stan niski, a zanegowane – wysoki. Przełączanie stanu wyjścia odbywa się poprzez wciskanie osi enkodera wypełnienia. Domyślnie generowanie jest załączone, ponieważ początkowa częstotliwość i tak jest zerowa.

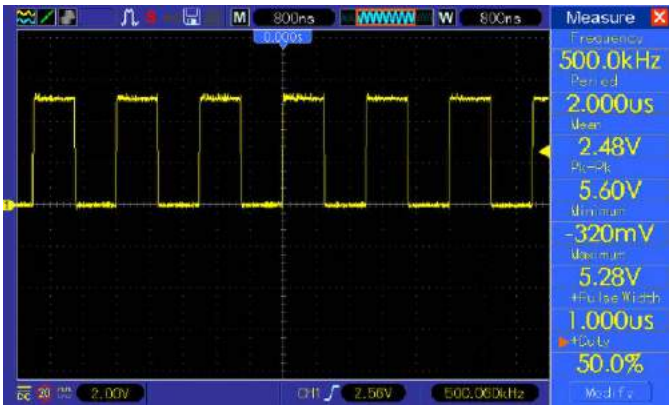


eprasa.pl 4d9608b833

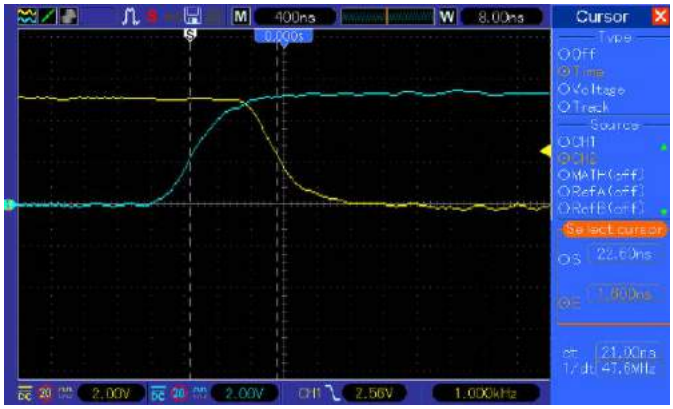
**Rysunek 5. Oscylogram przebiegu o częstotliwości 7,01 kHz i wypełnieniu 1%**




**Rysunek 6. Oscylogram przebiegu o częstotliwości 95 kHz i wypełnieniu 69%**




**Rysunek 7. Oscylogram przebiegu o częstotliwości 499 kHz i wypełnieniu 50%**




**Rysunek 8. Przesunięcie czasowe między sygnałem prostym a zanegowanym (zbocze narastające)**

Nad sześciocyfrowym wskaźnikiem częstotliwości znajduje się kropka, której położenie można zmieniać poprzez wciskanie osi enkodera częstotliwości. Tym samym wskazuje ona, która aktualnie cyfra częstotliwości jest regulowana tymże enkoderem.

Precyzja zadanej częstotliwości wynosi 3 cyfry znaczące. Oznacza to, że można ustawić wartość np. 121 Hz czy 36,7 kHz. W praktyce konieczność generowania sygnału o częstotliwości np. 231,493 kHz zachodzi niezwykle rzadko, a znacznie uprościło to obsługę. Dla przykładu: po ustawieniu pierwszej cyfry na 2, co daje 200 kHz, a potem drugiej na 4, czyli 240 kHz, ustawienie przedostatniej na 5 spowoduje automatyczne wyzerowanie dwóch najstarszych, a ustawiona częstotliwość wyniesie 50 Hz (**fotografia 3**). Ustawienie teraz trzeciej cyfry na 1 będzie wiązało się z wyzerowaniem poprzedniej piątki, czyli uzyskamy 10 kHz (**fotografia 4**). Dzięki temu nie trzeba ręcznie zerować wszystkich zbędnych cyfr przy znacznej zmianie częstotliwości.

Na **rysunkach 5**, **6** i **7** znalazły się oscylogramy sygnałów wygenerowanych za pomocą niniejszego przyrządu. Opcja automatycznego pomiaru częstotliwości i wypełnienia w oscyloskopie pozwala skonfrontować rezultaty z założeniami.

W **tabeli 1** znalazło się szersze zestawienie większej liczby wyników pomiarów. Największy zmierzony błąd względny częstotliwości wyniósł 0,4%, a wypełnienia 2,2%. Błędy rosną wraz ze wzrostem częstotliwości, ponieważ błędy zaokrągleń wartości funkcji (obliczającej wartości rejestrów licznika) do liczb całkowitych nabierają coraz większego znaczenia.

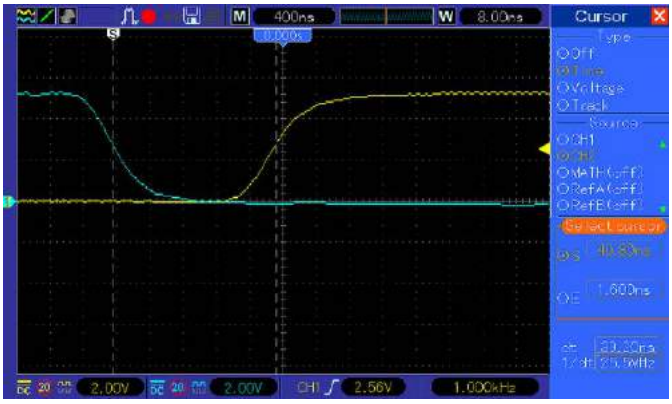
Kolejne oscylogramy z **rysunków 8** i **9** pokazują przesunięcie czasowe między sygnałem prostym (żółty) a zanegowanym (niebieski). Sygnał zanegowany wyprzedza prosty, ponieważ przechodzi przez układ TC4426 jako pierwszy. W przypadku zbocza narastającego sygnału prostego przesunięcie to wynosi ok. 40 ns, a dla opadającego ok. 21 ns. Co istotne, zaobserwowane zbocza nie mają oscylacji ani przerzutów. Czasy narastania i opadania wyniosły, odpowiednio, 9,7 ns i 9,1 ns.

**Tabela 1. Wyniki pomiarów częstotliwości i wypełnienia**

| Zadana częstotliwość | Zadane wypełnienie | Zmierzona częstotliwość | Zmierzone wypełnienie |
|---|---|---|---|
| 73 Hz | 72% | 72,99 Hz | 72,0% |
| 998 Hz | 41% | 998,0 Hz | 41,0% |
| 3,06 kHz | 27% | 3,060 kHz | 27,1% |
| 9,71 kHz | 78% | 9,711 kHz | 77,9% |
| 59,2 kHz | 92% | 59,244 kHz | 91,9% |
| 82,0 kHz | 51% | 82,060 kHz | 50,8% |
| 241 kHz | 19% | 241,234 kHz | 18,6% |
| 396 kHz | 11% | 396,740 kHz | 10,9% |
| 483 kHz | 38% | 484,905 kHz | 37,5% |

REKLAMA

eprasa.pl 4d9608b833




**Rysunek 9. Przesunięcie czasowe między sygnałem prostym a zanegowanym (zbocze opadające)**

Table 7. Timer feature comparison

| Timer type | Timer | Counter resolution | Counter type | Prescaler factor | DMA request generation | Capture/compare channels | Complementary outputs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Advanced control | TIM1 | 16-bit | Up, down, up/down | integer from 1 to 65536 | Yes | 4 | 3 |
| General purpose | TIM2 | 32-bit | Up, down, up/down | integer from 1 to 65536 | Yes | 4 | - |
| | TIM3 | 16-bit | Up, down, up/down | integer from 1 to 65536 | Yes | 4 | - |
| | TIM14 | 16-bit | Up | integer from 1 to 65536 | No | 1 | - |
| | TIM15 | 16-bit | Up | integer from 1 to 65536 | Yes | 2 | 1 |
| | TIM16 TIM17 | 16-bit | Up | integer from 1 to 65536 | Yes | 1 | 1 |
| Basic | TIM6 | 16-bit | Up | integer from 1 to 65536 | Yes | - | - |

**Rysunek 10. Porównanie parametrów liczników zawartych w STM32F051**

```
Listing 1. Fragment kodu odpowiedzialny za ustawienie częstotliwości
ARR = ((48000000 - freq) / freq);
TIM_SetAutoreload(TIM2, ARR);
```

## Dla ciekawskich

W pierwszej wersji tego układu (opublikowanej w EP 10/2013) generowanie sygnału o zadanym wypełnieniu i częstotliwości odbywało się poprzez wywoływanie przerwań od pracującego licznika i programowe porównywanie wartości zmiennych. Zastosowanie mikrokontrolera STM32F051 zwiększyło możliwości powstałego generatora, ponieważ generowanie odbywa się czysto sprzętowo, bez udziału głównej pętli programu. Jej jedynym zadaniem jest tylko obsługa wyświetlacza LCD.

Aby takie rozwiązanie było możliwe, konieczny jest licznik o jak największej rozdzielczości. Tylko wtedy możliwe będzie uzyskanie przebiegów o parametrach jak najbardziej zbliżonych do zadanych. Nota katalogowa układu STM32F051 pokazuje, że licznik TIM2, jako jedyny, ma rozdzielczość 32 bitów (**rysunek 10**). Nie zawiera, niestety, wyjścia komplementarnego, toteż bezpośrednie uzyskanie sygnału zanegowanego (bez przesunięcia wywołanego dodatkowym negatorem) nie jest możliwe.

Generowanie przebiegu o zadanej częstotliwości można uzyskać poprzez „skrócenie" licznika za pomocą wartości wpisanej do rejestru automatycznego przepełnienia (ARR – Auto Reload Register). Im mniejsza jest ta wartość, tym szybciej będzie przepełniał się licznik, co skutkuje krótszym okresem i – jednocześnie – większą częstotliwością. Można łatwo wyprowadzić wzór wyrażający zawartość rejestru ARR w funkcji żądanej częstotliwości:

$$ARR = \frac{f_{CLK} - f_{GEN} \cdot PRESC}{f_{GEN} \cdot PRESC}$$

Uwzględniając brak preskalera oraz wstawiając rzeczywistą częstotliwość taktowania tego licznika, otrzymujemy:

$$ARR = \frac{48MHz - f_{GEN}}{f_{GEN}}$$

Niestety, ta funkcja jest nieliniowa, co (zwłaszcza w zakresie dużych częstotliwości) skutkuje powstawaniem błędu w wartości uzyskanej częstotliwości, który wynika z zaokrąglenia. Licznik 32-bitowy jest potrzebny do uzyskania niskich częstotliwości, ponieważ wpisywana wtedy do niego wartość jest rzędu milionów. W kodzie programu są to jedynie dwie linijki, które znajdują się w przerwaniu obsługującym enkoder – **listing 1**. Po obliczeniu częstotliwości ze wszystkich ustawionych cyfr ustawiany jest rejestr ARR.

Wartość rejestru OC, determinująca wypełnienie sygnału, zależy od tego, czy wyjście jest załączone. Jeżeli nie, to wpisuje się do niego zero – układ porównujący wystawia wtedy stały niski stan logiczny. Jeżeli zaś użytkownik włączył generowanie, wartość wymaganą do wpisania oblicza się proporcjonalnie do zawartości rejestru ARR:

$$OC = \frac{ARR \cdot duty}{100}$$

Kod programu, który to realiuje, przedstawia **listing 2**.

Na koniec pewne objaśnienie – układ może generować sygnał o częstotliwości do 499 kHz, rozdzielczość regulacji wypełnienia wynosi 1%. To narzuca konieczność taktowania licznika zegarem o częstotliwości min. 49,9 MHz, jednak tutaj wynosi ona 48 MHz. Skutkuje to powstaniem pewnej rozbieżności pomiędzy wartościami zadanymi (częstotliwości i wypełnienia) a faktycznymi, jednak są one odczuwalne dopiero przy najwyższych częstotliwościach.

**Michał Kurzela, EP**

```
Listing 2. Fragment kodu odpowiedzialny za ustawienie wypełnienia
if(out)
{
        OC = (ARR * duty) / 100;
        TIM_SetCompare2(TIM2, OC);     //załącz wyjście
}
else
{
        TIM_SetCompare2(TIM2, 0);      //wyłącz wyjscie
}
```

REKLAMA

wieści ze świata elektroniki na stronie:
www.ep.com.pl



eprasa.pl 4d9608b833

# Uniwersalna ładowarka akumulatorów LiPo

*Ładowanie jednego akumulatorka LiPo nie stanowi dzisiaj problemu, ponieważ przeznaczonych do tego celu układów jest naprawdę wiele. Trudności zaczynają się, gdy potrzebujemy układu, który pozwala ładować akumulator prądem większym od 1 A. Sytuacja komplikuje się jeszcze bardziej w przypadku baterii akumulatorów. Prezentowane urządzenie doskonale sprawdzi się w takiej sytuacji, jest to uniwersalna ładowarka do szeregowej baterii LiPo 1…4 S o prądzie ładowania do 2 A.*

Prezentowany układ uniwersalnej ładowarki bazuje na specjalizowanym układzie MAX1737. Jest to sterownik obniżającej przetwornicy impulsowej przystosowanej do ładowania akumulatorów LiPo/Li-Ion. Budowę wewnętrzną układu pokazuje **rysunek 1**. Układ został wyposażony w wiele funkcji niezbędnych do prawidłowego ładowania akumulatora, takich jak: tryb ładowania wstępnego z obniżonym prądem, timery zapobiegające przeładowaniu, detekcja uszkodzonego ogniwa (na podstawie czasu ładowania) oraz zabezpieczenie termiczne w postaci termistora mierzącego temperaturę akumulatora lub pakietu. Dodatkowo w układzie MAX1737 jest wbudowany ogranicznik prądu pobieranego z zasilacza, przydatny gdy układ pracuje w trybie zarządzania zasilaniem. W naszym modelu ten blok jest pominięty i używana jest tylko funkcja ładowarki.

## Budowa i działanie

Schemat ładowarki widoczny jest na **rysunku 2**. Zasilanie doprowadzone jest do złącza DC i powinno zawierać się w zakresie 20…28 V. Wydajność prądowa źródła zasilania powinna być odpowiednia do ustawionego prądu ładowania. Doskonały do tego celu jest zasilacz impulsowy od laptopa. Dioda D1 zapobiega odwrotnemu podłączeniu zasilania oraz chroni akumulator przed rozładowaniem przy zaniku zasilania sieciowego. Elementy D2, C1 zabezpieczają i odsprzęgają zasilanie układu U1. Podwójny tranzystor Q1 stanowi parę elementów kluczujących przetwornicy, elementy C10, C11, D3 wchodzą w skład obwodu polaryzacji tranzystorów kluczujących.

Rezystor pomiarowy R13 ustala maksymalny prąd ładowania akumulatora. Elementy R14, R15, C12…14 odpowiadają za filtrowanie napięcia pomiarowego z rezystora R13. Napięcie dla pełnej skali przetwornika prądu wynosi 200 mV. Przy rezystorze R13=0,1 Ω odpowiada to maksymalnemu prądowi ładowania Imax=2 A. Aktualny prąd ładowania, jako proporcję w stosunku do prądu maksymalnego, określa napięcie na wyprowadzeniu ISETOUT (sygnał ISET).

**Wykaz elementów:**

**Rezystory:**
R1…R4, R16: 10 kΩ SMD0805
R5…R12: 47 kΩ SMD0805
R13: 0,1 Ω 1 W SMD2512
R14, R15: 4,7 Ω SMD0805

**Kondensatory:**
C1, C2, C4, C10, C11: 100 nF SMD0805
C3: 4,7 µF SMD0805
C5, C8, C9, C12, C13, C14: 1 nF SMD0805
C6, C7: 47 nF SMD0805
C15: 1 µF SMD0805
CE1, CE2: 22 µF/35 V
CE3, CE4: 47 µF/25 V

**Półprzewodniki:**
D1: MBRS540 SMD
D2, D3: 1N4148 SMD
FLL, FLT, FST, PWR: LED SMD0805
Q1: FDS7990A
U1: MAX1737

**Pozostałe:**
BAT, DC, TH: ARK2/500
CELL, VADJ, IADJ: Goldpin 2×4 + zwora
THS: termistor 10k B3977

**Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl**

**W ofercie AVT* AVT-5686**

**Podstawowe parametry:**
- do baterii LiPo 1…4 S,
- wieloetapowy proces ładowania,
- komplet zabezpieczeń (czasowe, termiczne itd.),
- prąd ładowania 2,0/1,5/1,0/0,5 A,
- możliwość korekty napięcia końcowego ±2,5% oraz -5%
- zasilanie 20…28 V DC

**Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:**

| | |
|---|---|
| AVT-1943 | Miniaturowa ładowarka akumulatorów LiFePo4 zasilana z USB (EP 1/2017) |
| AVT-1942 | Uniwersalna ładowarka akumulatorów LiFePo4 (EP 1/2017) |
| AVT-1929 | Miniaturowa ładowarka akumulatorów Li-Po typu 18650 (EP 8/2016) |
| AVT-1911 | Litowa dziewiątka (EP 7/2016) |
| AVT-1866 | Zabezpieczenie akumulatora Li-Ion lub Li-Po (EP 8/2015) |
| AVT-1803 | LiPo_833 – miniaturowa ładowarka Li-Po zasilana z USB (EP 6/2014) |
| AVT-1757 | Miniaturowa ładowarka akumulatorów Li-Po zasilana z USB (EP 8/2013) |
| AVT-3056 | Ładowarka Li-Ion z pomiarem pojemności (EdW 4/2013) |
| AVT-1732 | Ładowarka akumulatorów Li-Ion i Li-Poly (EP 3/2013) |

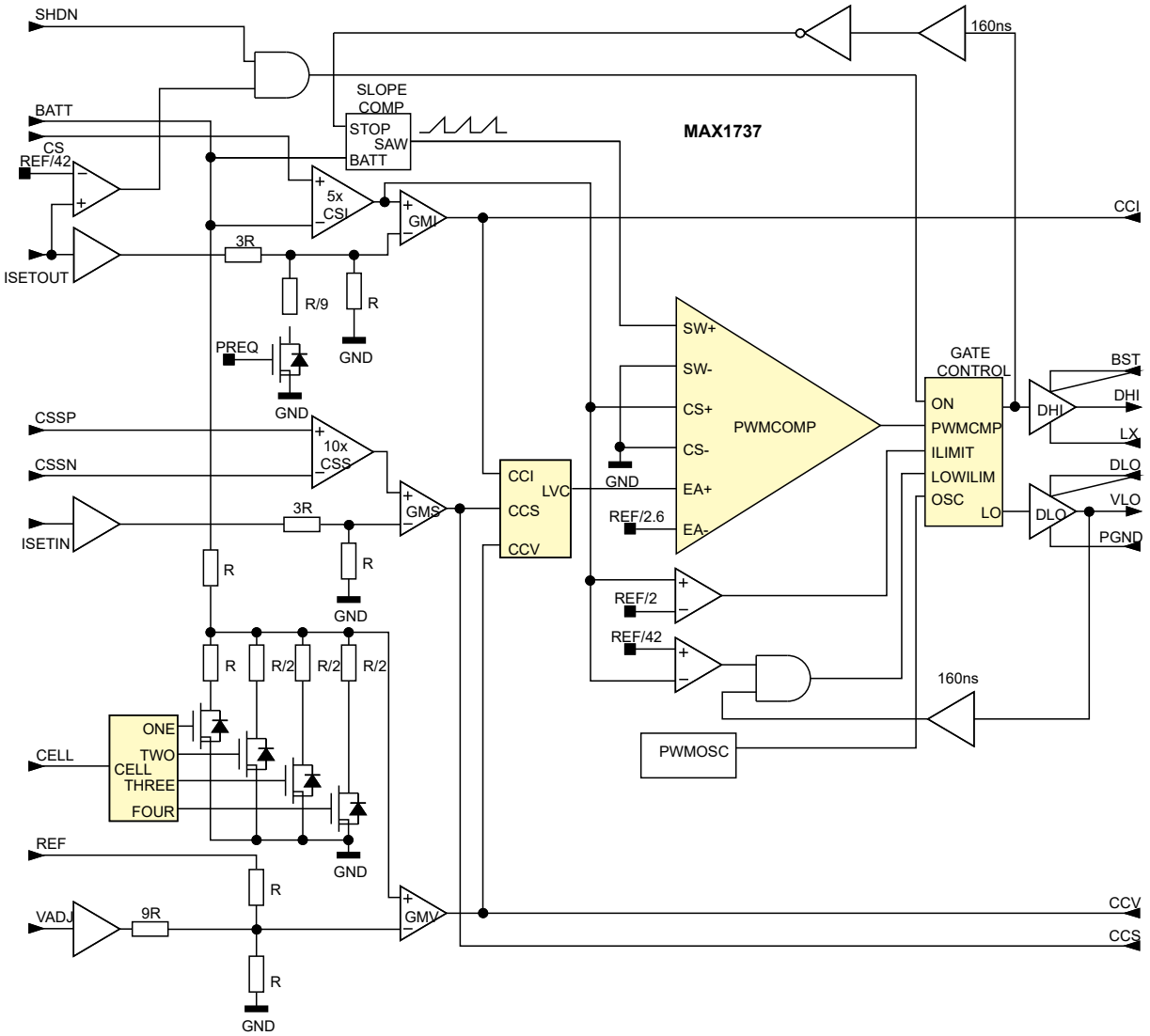
*** Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania!**
Podstawową wersją zestawu jest wersja [**B**] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [**B**] zawiera elementy elektroniczne (w tym [**UK**] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie 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 ***http://sklep.avt.pl***, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



eprasa.pl 4d9608b833




**Rysunek 1. Budowa wewnętrzna układu MAX1737**

Położenie zwory na szpilkach IADJ powoduje przełączenie dzielnika R9…12 i ustawienie prądu na 100/75/50/25% Imax (czyli 2,0/1,5/1,0/0,5 A).

Układ U1 jest stale aktywny, wyprowadzenie SHDN podłączone jest do wewnętrznego potencjału VL (stan wysoki). Wewnętrzne zabezpieczenie podnapięciowe blokuje pracę układu do momentu, w którym napięcie zasilania jest niższe od napięcia akumulatora, utrzymując układ w stanie RESET.

Ładowanie rozpoczyna się od pomiaru napięcia akumulatora poprzez wyprowadzenie BATT. Jeżeli napięcie jest niższe od 2,5 V/celę, prąd ustawiany jest na wartość Imax/20, akumulator ładowany jest wstępnie (Prequal) przez ok. 7,5 minuty oraz wysterowana zostaje dioda FST (Fast Charge). Jeżeli napięcie akumulatora w tym czasie nie wzrośnie, sygnalizowany jest błąd (dioda FLT), jeżeli wzrośnie powyżej 2,5 V/celę układ przechodzi do trybu Fast Charge. Fast Charge to tryb ładowania stałym określonym prądem Imax (uwzględniającym położenie zwory na szpilkach IADJ) przez czas 90 minut (dla wartości kondensatorów C8, C9 jak na schemacie). Po osiągnięciu napięcia celi 4,2 V (±VAdj) układ przechodzi w tryb Full Charge (sygnalizowany diodą FLL). Ten etap trwa kolejne 90 minut i polega na ładowaniu stałym napięciem do momentu przepełnienia timera (co sygnalizuje dioda FLT), lub do spadku prądu ładowania do poziomu 0,1*Imax. Spadek prądu ładowania poniżej 0,1*Imax wprowadza U1 w tryb podtrzymania Top Off na 45 min (wyłączone diody FST i FLL). Po kolejnych 45 minutach, jeżeli napięcie akumulatora nie spadnie poniżej 95% Vcell, układ kończy ładowanie. Jeżeli napięcie baterii obniży się poniżej 95% Vcell to ładowanie jest ponawiane. Pełny algorytm ładowania obrazuje **rysunek 3**.

Liczba połączonych szeregowo ogniw, a tym samym napięcie końcowe ładowania określa stan wyprowadzenia CELL. Zwora konfiguracyjna CELL umożliwia ustawienie napięcia odpowiadającego 1…4 połączonych szeregowo ogniw (4,2...16,8 V). Cechą wyróżniającą MAX1737 od pozostałych ładowarek, jest możliwość korekty napięcia ładowania w zakresie ±5% względem napięcia znamionowego. W modelu przyjęto progi korekcji ±2,5% oraz –5%. Umożliwia to ładowanie pakietów napięciem niższym od znamionowego 4,1/4,0 V wpływającym na wzrost trwałości lub napięciem 4,3 V dla nowszych typów

## Kilka ważnych uwag

**Układ przeznaczony jest do ładowania akumulatorów/pakietów z modułami zabezpieczenia PCB, dodatkowo w przypadku pakietów wymagany jest wbudowany balanser.**

**Wszystkie ustawienia muszą być wykonane przed podłączeniem akumulatora/pakietu, zgodnie z parametrami zalecanymi przez producenta.**

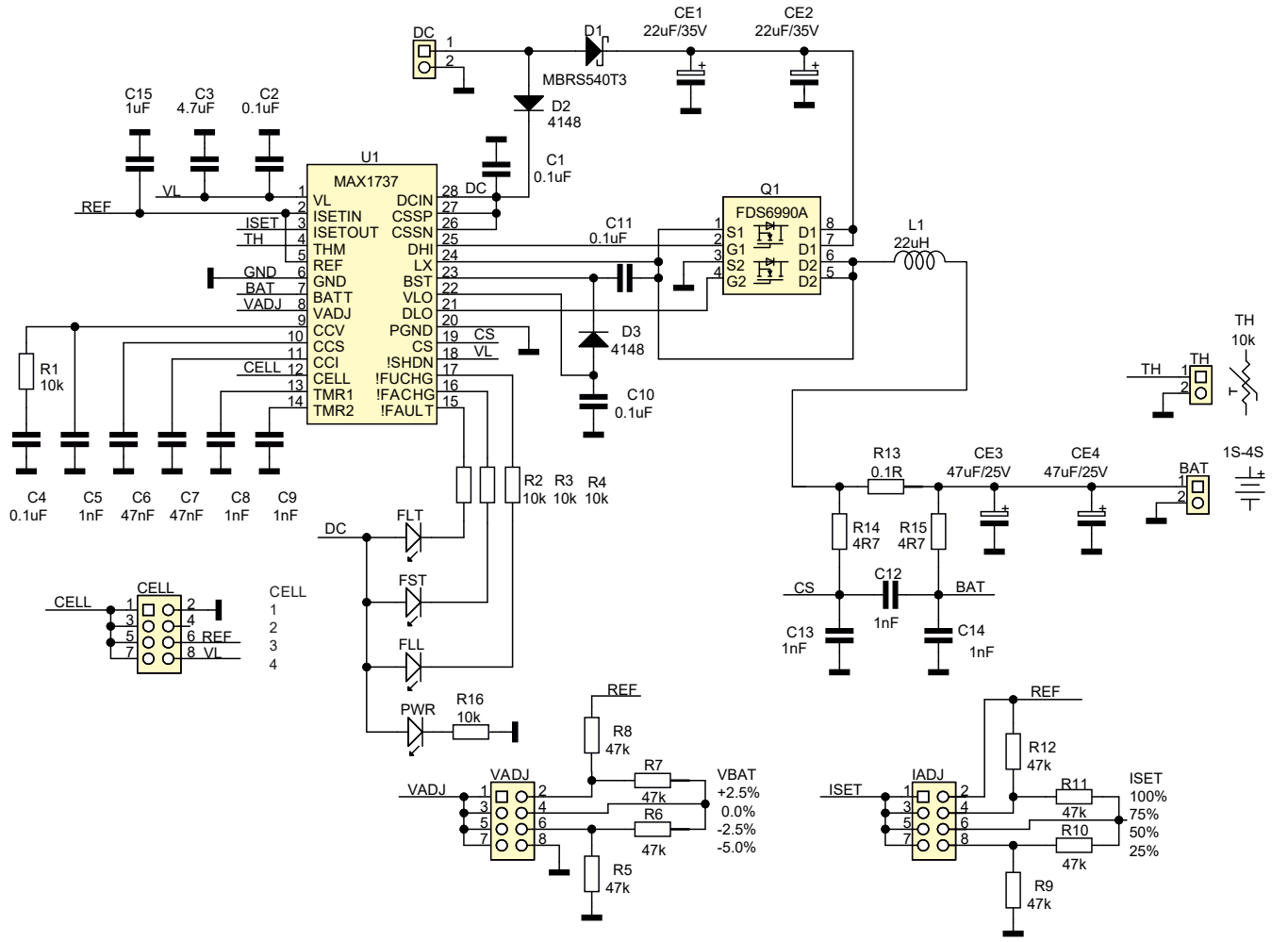
**Niedopuszczalna jest zmiana położenia zwór ustalających parametry ładowarki po podłączeniu akumulatora/pakietu, przy włączonym zasilaniu ładowarki.**

**Jakakolwiek pomyłka w ustawieniach napięć może zakończyć się przekroczeniem napięcia znamionowego i eksplozją akumulatora/pakietu.**

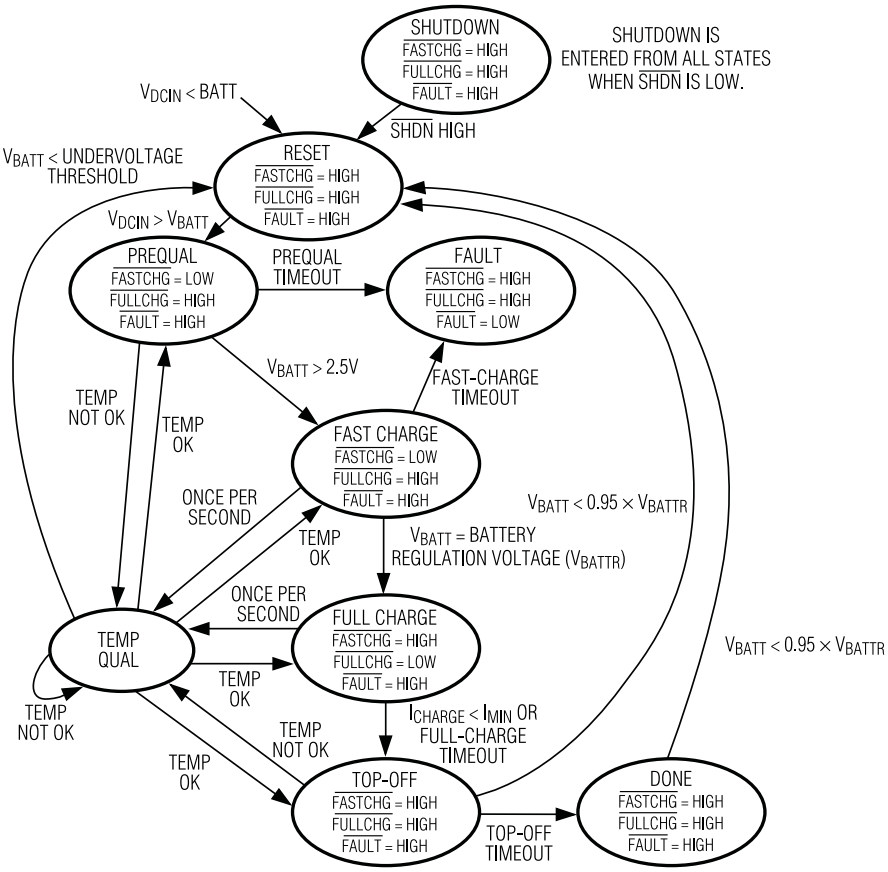
**Próby należy przeprowadzić z należytą ostrożnością, gdyż zwarcie akumulatora/pakietu może być niebezpieczne.**



eprasa.pl 4d9608b833




**Rysunek 2. Schemat ideowy ładowarki**



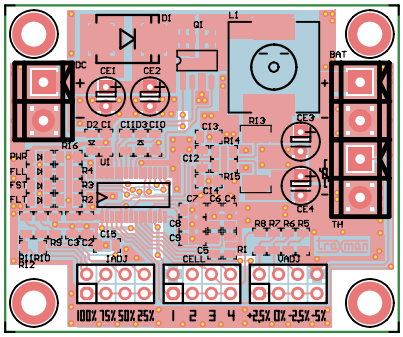

**Rysunek 3. Algorytm obrazujący cykl pracy ładowarki**

akumulatorów LiPo 4,35 V. Korekta odbywa się automatycznie i niezależnie od ustawionej liczby cell. Jeżeli napięcie na celi w pakiecie z jakiegoś powodu (np. uszkodzenie akumulatora) przekracza 4,55...4,8 V ładowanie zostaje przerwane przez układ zabezpieczenia nadnapięciowego.

Wyprowadzenia TMR1, TMR2 określają czasy poszczególnych faz ładowania, TMR1 (C8) określa czas Prequal, Full Charge, Top Off, a TMR2 czas Fast Charge. Dla pojemności 1 nF czasy wynoszą odpowiednio Pregual=7,5 min, Full Charge=90 min, Fast

REKLAMA

eprasa.pl 4d9608b833



**Rysunek 4. Schemat plytki PCB**

Charge=90 min, Top Off=45 min i są proporcjonalne do pojemności podłączonych do wyprowadzeń TMR1, TMR2.

Dla zabezpieczenia termicznego akumulatora w pakiecie powinien umieszczony być termistor NTC 10K B3977, wbudowany w U1 komparator blokuje ładowanie, gdy temperatura akumulatora wykracza poza zakres 2,5...47,5°C. Pomiar temperatury odbywa się co ok. 1 s.

## Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, jej schemat oraz rozmieszczenie elementów pokazuje **rysunek 4**. Montaż nie wymaga opisu wszystkie wątpliwości wyjaśnia fotografia zmontowanego układu. Jeżeli ładowarka będzie współpracowała tylko z jednym typem akumulatora warto dla podniesienia niezawodności zastąpić zwory IADJ, CELLl, VADJ bezpośrednimi połączeniami na płytce drukowanej.

Pierwsze uruchomienie ładowarki należy przeprowadzić z zasilacza laboratoryjnego z ograniczeniem i pomiarem prądu. W zaciski akumulatora należy wpiąć rezystor 10 kΩ/0,5 W oraz podłączyć termistor. Po włączeniu zasilania należy skontrolować wartości napięcia odpowiadające wszystkim położeniom zwór CELL/VADJ. Jeżeli napięcia odpowiadają wielokrotności 4,2 V +/– korekta VADJ można przejść do prób ładowania akumulatora. Należy wtedy ponownie sprawdzić zgodność napięć wyjściowych, prąd ładowania, działanie zabezpieczenia NTC oraz sygnalizację trybów w pełnym cyklu ładowania.

**Adam Tatuś**
**adam.tatus@ep.com.pl**

## Klub Aplikantów Próbek

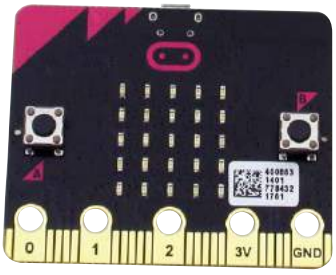
to inicjatywa redakcji „Elektroniki Praktycznej". W kontaktach z firmami redakcja często otrzymuje do przetestowania próbki podzespołów, modułów, a nawet całych urządzeń elektronicznych. Są to zwykle najnowsze typy/modele produktów na rynku. Z chęci podzielenia się z Czytelnikami tymi próbkami zrodziła się inicjatywa pod nazwą Klub Aplikantów Próbek. Członkiem KAP staje się każdy, kto zgłosi chęć przetestowania próbki. Wykaz i krótki opis próbek, którymi dysponuje redakcja EP, można znaleźć na stronie ***www.ep.com.pl/KAP***. Wystarczy wybrać rodzaj próbek i zwrócić się majlem (na adres: Szef Pracowni Konstrukcyjnej grzegorz.becker@ep.com.pl) z prośbą o przesłanie bezpłatnych próbek, podając ich nazwę i adres wysyłki. Warto dopisać jaki jest plan zastosowania tych próbek. Nie jest to konieczne, ale może mieć znaczenie przy podziale próbek w przypadku większej liczby zgłoszeń. Mile widziane, choć nieobowiązkowe, jest też przysłanie do redakcji EP opisu wykonanej aplikacji próbek, oczywiście po jej wykonaniu z zastosowaniem otrzymanej próbki. Autorom przysłanych opisów przyznamy punkty, które będą im dawały pierwszeństwo przy ubieganiu się o kolejne próbki. Najciekawsze opisy aplikacji opublikujemy na forum ep.com.pl lub na łamach „Elektroniki Praktycznej".

Dla pełnej jasności jeszcze raz podkreślamy, że próbki przekazujemy bezpłatnie i nie trzeba ich zwracać do redakcji. Z uwagi na ograniczoną liczbę dostępnych próbek i niemałe zainteresowanie nimi, prosimy o opisanie swojego pomysłu na projekt na naszym forum internetowym, w dziale poświęconym Klubowi Aplikantów Próbek ***https://forum.ep.com.pl/viewforum.php?f=80***. Ponadto, by zwiększyć swoje szanse na bycie wybranym do realizacji projektu w oparciu o nasze próbki, należy polubić fanpage Elektroniki Praktycznej na Facebooku (***https://web.facebook.com/ElektronikaPraktyczna***) oraz udostępnić post, w którym opisujemy rozdawane próbki. W przypadku podobnie interesujących pomysłów na projekty, będziemy uwzględniać to jako dodatkowe kryterium wyboru.

**www.ep.com.pl/kap**

## Micro:bit BBC – moduł edukacyjny, Cortex M0, akcelerometr, Bluetooth, LED 5×5

Dzięki uprzejmości firmy Farnell element14 mamy dla czytelników EP płytkę Micro:bit, której rozwój wspiera BBC.
Micro:bit to płytka nieco mniejsza od karty kredytowej (wymiary modułu to 52 mm×43 mm). Pomimo niewielkich wymiarów płytka jest bogato wyposażona. Zawiera 32-bitowy procesor z rdzeniem ARM Cortex-M0, ma zamontowane: akcelerometr, magnetometr, Bluetooth, wyświetlacz LED o rozdzielczości 5×5, złącze micro USB i jeszcze trochę. Może być zasilana przez USB lub za pomocą baterii (ma w tym celu specjalne złącze).
Programowanie płytki jest dziecinnie łatwe. Micro:bit może być programowany w edytorze webowym, edytorze microbit lub w edytorze Mu. Płytka dołączona do komputera PC działa jak pamięć masowa (pendrive), na który można wgrać opracowane skrypty. Dzięki obsłudze Bluetooth zestaw może łączyć się ze smartfonami, tabletami itp. Dostępne są aplikacje dla systemu Android oraz iOS.
Instrukcja do zestawu Micro:bit jest dostępna on-line na stronie ***http://bit.ly/2IZ3EbE***.






eprasa.pl 4d9608b833

# Smart Energy Sensor

*W dobie drożejącego prądu elektrycznego każda metoda na ograniczenie jego zużycia przynosi realne korzyści – od oszczędności w naszym portfelu zaczynając, na ochronie środowiska kończąc. Bardzo modne w ostatnich latach systemy automatyki domowej wspomagają użytkownika chociażby poprzez akwizycję i wizualizację zużycia prądu w gospodarstwie domowym. Jednak aby to było możliwe, należy zainstalować urządzenie do pomiaru ilości zużywanej energii elektrycznej. Prezentowany układ doskonale sprawdzi się w takim zastosowaniu.*

Pomiaru ilości zużywanej energii elektrycznej można dokonać na kilka sposobów – najprostszym wydaje się zamontowanie licznika elektrycznego z funkcją SMART, która pozwala skonfigurować licznik tak, aby wysyłał dane bezpośrednio na serwer. Jednak zgodnie z prawem licznik elektryczny nie jest naszą własnością i jakakolwiek ingerencja przy nim grozi surowymi konsekwencjami ze strony operatora. W tej sytuacji wydaje się, że jedynym sensownym rozwiązaniem jest zainstalowanie za licznikiem głównym drugiego pod-licznika z wyjściem na magistralę RS232 lub RS485, ostatecznie z wyjściem impulsowym SO+ – SO – co pozwoli na podłączenie urządzenia zliczającego generowane przez licznik impulsy. Na pewno warto rozważyć takie rozwiązanie, o ile posiadamy odpowiednio dużo miejsca w skrzynce bezpiecznikowej. Jednak taki trójfazowy licznik do tanich nie należy. Można również próbować własnymi siłami zbudować miernik zużywanej energii za pomocą gotowych modułów z przekładnikiem prądowym. Tak czy inaczej, rozwiązania gotowe są dość drogie, zaś samodzielne zbudowanie takiego modułu wymaga wiedzy i doświadczenia.

Jest jedno kompromisowe wyjście z tej sytuacji. Każdy nowoczesny licznik energii elektrycznej (czy to jednofazowy, czy trójfazowy) wyposażony jest w diodę LED sygnalizującą poprawną pracę urządzenia. Dioda ta spełnia również dodatkową funkcję – jej częstotliwość migania informuje o aktualnym zużyciu prądu elektrycznego. I z tej cechy korzysta poniższy projekt, który służy do odczytywania zużycia prądu elektrycznego **bez ingerencji w licznik i instalację elektryczną**. Projekt składa się z dwóch modułów: nadajnika i odbiornika. Zadaniem modułu nadajnika jest zliczanie błyśnięć diody LED z licznika elektrycznego w ciągu 1 h i przesłanie ich do modułu odbiornika. Zadaniem modułu odbiornika jest przetworzenie otrzymanych danych i wysłanie do serwera Domoticz lub innego, w zależności od potrzeb użytkownika. Główne założenia projektu to:

- zliczanie „mignięć" diody LED z odległości do 30cm od licznika (brak ingerencji w licznik elektryczny),
- pomiar poziomu naładowania baterii zasilającej,
- jak najdłuższy czas pracy nadajnika z baterii – min. 1 rok,
- jak najmniejsze wymiary urządzenia przy rozsądnym zasięgu radiowym,
- możliwość dołączenia dowolnej liczby nadajników przypisanych do jednego odbiornika,
- współpraca z systemem Domoticz,
- możliwość wysyłania danych na inny serwer np. Thingspeak,
- możliwość łatwej konfiguracji przez użytkownika (wpisanie liczby impulsów/kWh, dostępu do sieci Wi-Fi),
- niski koszt budowy, łatwo dostępne elementy.

**Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl**

**W ofercie AVT* AVT-5690**

**Podstawowe parametry:**
- bezinwazyjny odczyt zużycia energii elektrycznej w instalacjach jedno itrójfazowych
- możliwość zliczenia do 65535 impulsów/h
- moc nadajnika 13 dBm
- pobór prądu w trybie gotowości 4,5 µA, czas pracy z baterii 5…6 lat
- współpraca z systemem Domoticz, możliwość wysyłania danych na inny serwer np. Thingspeak
- łatwa konfiguracja przez użytkownika
- niski koszt budowy, łatwo dostępne elementy

*** 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

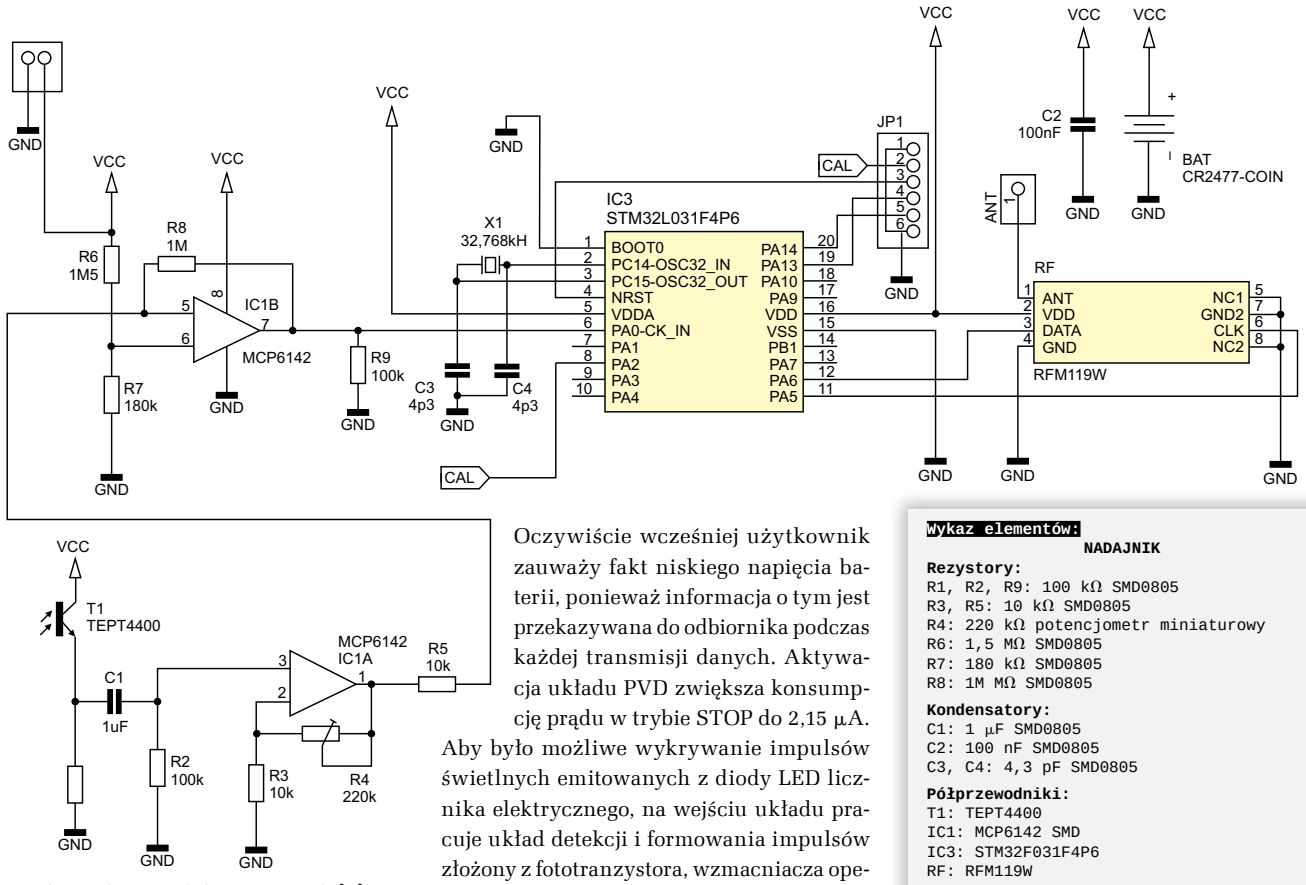
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! *http://sklep.avt.pl*. W przypadku braku dostępności na *http://sklep.avt.pl*, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.

## Moduł nadawczy

Głównym zadaniem modułu nadawczego jest zliczanie liczby mignięć diody LED wbudowanej w licznik energii elektrycznej i wysyłanie wyniku co godzinę do odbiornika. Medium transmisyjnym jest łącze radiowe w paśmie 433 MHz, zbudowane w oparciu o moduły HOPE-RF. Sercem modułu jest mikroprocesor STM32L031F4P6 z serii Low Power. Schemat



eprasa.pl 4d9608b833




**Rysunek 1. Schemat elektryczny nadajnika**

układu jest pokazany na **rysunku 1.** Aby uzyskać jak najniższy pobór prądu zdecydowano się na zastosowanie trybu STOP MODE, w którym to rdzeń procesora zostaje zatrzymany, pracuje jedynie oscylator LSE i układ RTC. Dzięki temu pobór prądu możemy ograniczyć do niecałego 1 μA. Zawartość pamięci RAM jest podtrzymywana i po wybudzeniu nie trzeba re-inicjalizować systemu. W trybie tym możliwa jest praca specjalnego układu timera – LPTIM (Low Power Timer) do zliczania impulsów. Jest to 16 bitowy timer, który może pracować bez wewnętrznego źródła zegara i może być użyty jako licznik impulsów podawanych z zewnątrz. W trybie zliczania impulsów zewnętrznych, źródło impulsów należy podać na wejście LPTIM external Input1. Ponieważ sygnał podawany na wejście zliczające jest również używany do sterowania zegarem logiki timera, istnieje pewne początkowe opóźnienie po włączeniu LPTIM, po którym zaczyna on poprawnie pracować. Wg dokumentacji pierwsze pięć impulsów po włączeniu LPTIM zostanie utraconych. Nie ma to praktycznie znaczenia w tym projekcie, ale warto taki fakt odnotować gdyby liczba zliczanych impulsów była parametrem krytycznym.

Niekontrolowaną pracę procesora przy zbyt niskim napięciu zasilania blokuje układ PVD (Programmable voltage detektor) z progiem reakcji ustawionym na 1,9 V. Jeśli napięcie baterii spadnie poniżej tego poziomu to układ nie podejmuje pracy, co jest równoznaczne z koniecznością jej wymiany. Oczywiście wcześniej użytkownik zauważy fakt niskiego napięcia baterii, ponieważ informacja o tym jest przekazywana do odbiornika podczas każdej transmisji danych. Aktywacja układu PVD zwiększa konsumpcję prądu w trybie STOP do 2,15 μA. Aby było możliwe wykrywanie impulsów świetlnych emitowanych z diody LED licznika elektrycznego, na wejściu układu pracuje układ detekcji i formowania impulsów złożony z fototranzystora, wzmacniacza operacyjnego i komparatora. Ponieważ czerwone diody LED emitują światło o długości fali około 610…650 nm, zdecydowano na zastosowanie fototranzystora wąskopasmowego i mającego największą czułość w tym przedziale widma. W układzie zastosowano fototranzystor firmy VISHAY typu TEPT4400. Wg dokumentacji w interesującym nas przedziale widmowym czułość wynosi nie mniej niż 90% maksymalnej (przypadającej na 570 nm).

Dla uzyskania jak najniższego poboru prądu, zastosowano podwójny wzmacniacz operacyjny MCP6142, który w stanie spoczynku pobiera tylko 600 nA/wzmacniacz. Pierwszy człon wzmacnia impulsy elektryczne z fototranzystora oraz daje możliwość regulacji wzmocnienia za pomocą potencjometru R4. Drugi człon pracuje w roli komparatora. Próg przełączania określa dzielnik złożony z rezystorów R6, R7 i wynosi około 320 mV z niewielką histerezą. Dzięki zastosowaniu wzmacniacza i komparatora uzyskano dobre efekty przy detekcji i zliczaniu impulsów świetlnych emitowanych z diody licznika elektrycznego. Układ ze wzmocnieniem ustawionym w położeniu środkowym R4 poprawnie rozpoznaje i zlicza impulsy świetlne z odległości do 20 cm. Z wyjścia komparatora impulsy trafiają na wejście zliczające LPTimera oznaczone jako PA0-CK_IN. Dodatkowo, przy każdym wybudzeniu procesor mierzy napięcie zasilające baterii.

Na podstawie danych o liczbie impulsów i napięciu zasilającym liczona jest suma kontrolna CRC16. Następnie formowana jest ramka danych (zawierająca liczbę impulsów, napięcie baterii, sumę kontrolną) i przekazywana bezpośrednio do modułu radiowego RFM119. Cały moduł nadajnika w trybie gotowości pobiera prąd 4,35 μA, co pokazuje **fotografia 1**. Na czas pracy urządzenia ma również wpływ liczba impulsów świetlnych nadawanych przez LED licznika elektrycznego przypadająca na kWh. W licznikach dostępnych na rynku może się ona wahać od 1000 do 10000 imp/kWh. Zmierzony pobór prądu przez układ podczas trwania impulsu świetlnego wyniósł ok. 28 μA w odległości 5 cm diody LED od fototranzystora.

W torze radiowym zastosowano moduły firmy HOPE-RF: RFM119 jako nadajnik i RFM219 w roli odbiornika. Zdecydowano

**Wykaz elementów:**

**NADAJNIK**

**Rezystory:**
R1, R2, R9: 100 kΩ SMD0805
R3, R5: 10 kΩ SMD0805
R4: 220 kΩ potencjometr miniaturowy
R6: 1,5 MΩ SMD0805
R7: 180 kΩ SMD0805
R8: 1M MΩ SMD0805

**Kondensatory:**
C1: 1 μF SMD0805
C2: 100 nF SMD0805
C3, C4: 4,3 pF SMD0805

**Półprzewodniki:**
T1: TEPT4400
IC1: MCP6142 SMD
IC3: STM32F031F4P6
RF: RFM119W

**Pozostałe:**
X1: kwarc zegarkowy 32,768 Hz
JP1, JP3: goldpin
BAT: koszyk CR2477 + bateria
Obudowa: Z94

**ODBIORNIK**

**Rezystory:**
R1, R3, R4, R7, R8: 10 kΩ SMD0805
R2: 4,7 kΩ SMD0805
R5, R6, R9: 1 kΩ SMD0805

**Kondensatory:**
C1, C4, C6: 100 μF/6,3 μV SMD
C2, C3, C5, C7: 100 nF SMD0805

**Półprzewodniki:**
PWR, Wi-Fi_CONN, ERROR: LED SMD0805
D1: SK14
IC1, IC2: Wroom02 lub ESP07
IC3: STM32F030F4P6
IC4: LM1117 3,3 V SMD
RF1: RFM219SW

**Pozostałe:**
USB: USB B micro
RST_ESP: microswitch
Goldpin: 1×20 + zworka
Obudowa: Z123



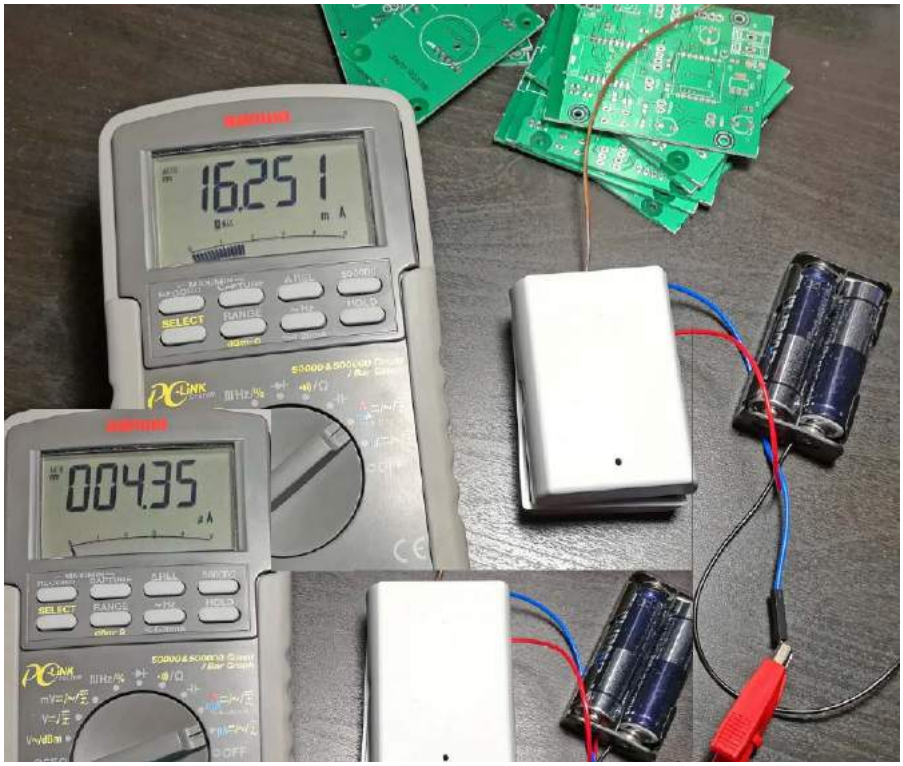
eprasa.pl 4d9608b833

się na te układy, ze względu na prostotę sterowania, dobre parametry techniczne i niską cenę zakupu. Ponieważ są one mało znane, sposób ich obsługi opisałem w osobnym artykule, poświęconym tylko tym modułom – zapraszam do lektury.

Do modułu została zaprojektowana płytka PCB widoczna na **rysunkach 2** i **3**, o rozmiarach 59×37 mm pasująca do obudowy Z94. Dzięki małym wymiarom, obudowę można łatwo umieścić naprzeciwko diody LED licznika, tak jak pokazano na **fotografii 2.**

Podsumowanie parametrów modułu nadawczego:

- bardzo mały pobór prądu,
- możliwość zliczenia do 65535 impulsów/h
- pomiar napięcia baterii zasilającej
- zabezpieczenie przed zbyt niskim napięciem zasilającym, dolna granica 1,9 V
- zasięg przy antenkach drutowych 1/4 λ – 2 piętra w bloku, w terenie otwartym ponad 100 m
- czas pracy z baterii (CR2477) ok. 5…6 lat (przy stałej licznika 6400 imp/kWh)
- wymiary obudowy W/S/D: 26,5/46,5/65,5 mm (obudowa Z94)




**Fotografia 1. Pobór prądu przez moduł nadajnika w stanie gotowości oraz w trakcie transmisji danych**

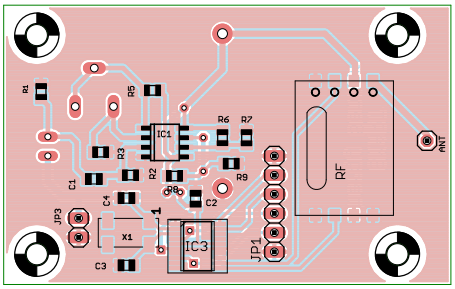
## Moduł odbiorczy

Schemat modułu odbiorczego pokazuje **rysunek 4**. Można wydzielić w nim cztery bloki:

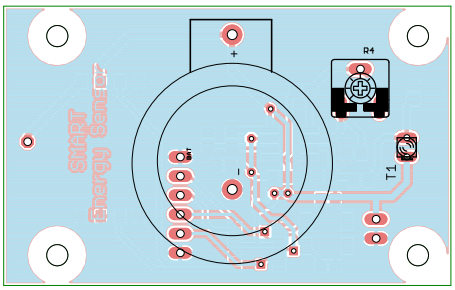
- zasilacz
- mikroprocesor sterujący STM32F030F4P6
- moduł komunikacji Wi-Fi – ESP8266 typu Wroom-02 lub ESP-07
- odbiornik radiowy 433 MHz – RFM219

Na schemacie widoczne są dwa moduły Wi-Fi, ponieważ w zależności od potrzeb można zamontować na PCB wersję Wroom-02 lub ESP-07/07s. Wersja ESP-07s wyposażona jest w gniazdo u.fl do podłączenia anteny zewnętrznej, dzięki czemu zapewnia duży zasięg z domową siecią Wi-Fi. Zasilacz to klasyczny LM1117 w wersji 3,3 V zasilany z gniazda micro USB. Do tego kondensatory filtrujące C1…C6, dioda PWR sygnalizująca obecność zasilania. Rezystory R1…R4 konfigurują moduły ESP do prawidłowej pracy. Pobór mocy przez moduł odbiorczy wynosi niecałe 0,4 W. W roli zasilacza można użyć ładowarkę do telefonu komórkowego. Odbiornik umieszczony jest w obudowie Z-123, pod którą została zaprojektowana płytka drukowana. Widok PCB modułu odbiorczego widoczny jest na **rysunkach 5** i **6**. Złącza o nazwie CONFIG i WORK służą do wyboru trybu pracy modułu. Wyboru dokonujemy zakładając zworkę na jedno z nich.

**Fotografia 2. Przykład zamocowania modułu nadajnika**




**Rysunek 2. Schemat płytki PCB nadajnika, strona TOP**




**Rysunek 3. Schemat płytki PCB nadajnika, strona BOTTOM**

## Oprogramowanie

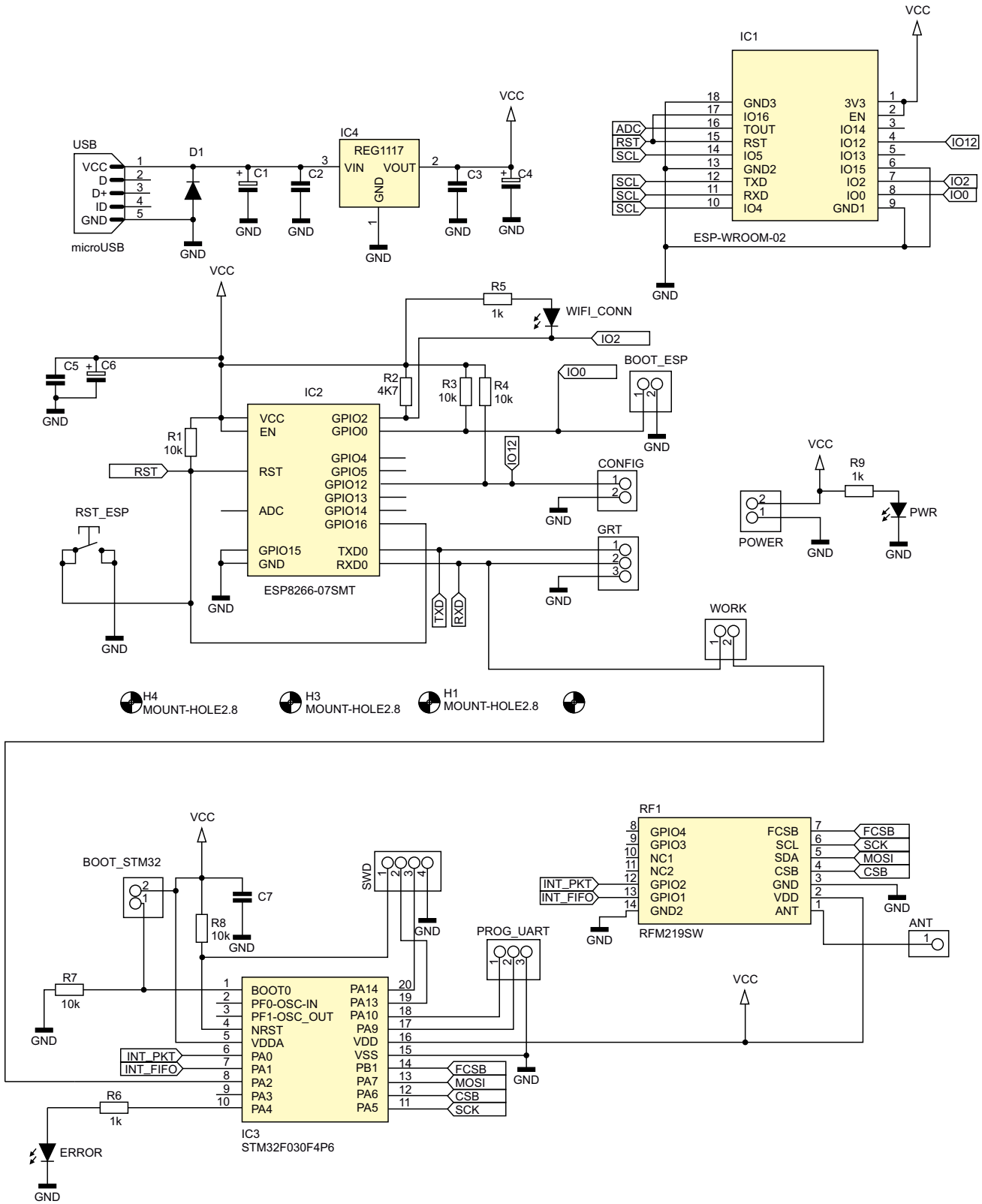
Oprogramowanie układów STM32L031 i STM32F030 napisano w środowisku Atollic TrueSTUDIO for STM32, przy czym dla pierwszego układu w oparciu o rejestry, dla drugiego – z użyciem bibliotek HAL i środowiska CubeMX do konfiguracji. Jak wspomniano na początku, przez większość czasu układ STM32L031 jest w trybie STOP, pracuje tylko zegar RTC odpowiedzialny za odliczanie czasu równego 3600 s, oraz LowPowerTimer. Po wybudzeniu procesor dokonuje pomiaru napięcia zasilającego. Ponieważ nie można tego dokonać „tradycyjnie" ze względu na zasilanie bateryjne, musimy uciec się do małego fortelu: procesor musi wykonać pomiar aktualnej wartości wewnętrznego napięcia referencyjnego oraz odczytać fabryczne dane kalibracyjne dla tego napięcia wykonane przy 3 V (dostępne pod adresem 0x1FF80078). Teraz z proporcji można obliczyć napięcie zasilające – czyli napięcie baterii:

```
VDDA = 3000 * vrefint_cal/
vrefint; // oblicz aktualne VDD
```

Aby przejść do trybu zatrzymania, musi być wyzerowany bit PDDS (Power Down DeepSleep) w rejestrze PWR_CR. Ponadto należy upewnić się, że bit WUF w rejestrze PWR_CSR jest wyczyszczony poprzez wpisanie „1" do bitu CWUF (Clear Wake-UP Flag) w rejestrze PWR_CR. Spowoduje to wyczyszczenie WUF po 2 cyklach zegara systemowego. Po spełnieniu tych warunków użytkownik musi jedynie wykonać instrukcję WFI, instrukcję WFE lub ustawić bit SLEEPONEXIT. Przykładowo, procedura przejścia w tryb STOP może wyglądać jak na **listingu 1**.



eprasa.pl 4d9608b833




**Rysunek 4. Schemat elektryczny odbiornika**

Układ licznika LPTimer skonfigurowany jest do zliczania impulsów zewnętrznych poprzez ustawienie bitu 0 i 23 w rejestrze konfiguracyjnym:

```
LPTIM1->CFGR |= LPTIM_CFGR_CKSEL
| LPTIM_CFGR_COUNTMODE; //clocked
by an external clock source
through the LPTIM external Input1
```

Liczba zliczonych impulsów przechowywana jest w rejestrze CNT licznika. Z danych o liczbie impulsów i napięciu zasilającym liczona jest suma kontrolna CRC16. Następnie formowana jest ramka danych (zawierająca liczbę impulsów, napięcie baterii, sumę kontrolną), która jest przekazywana bezpośrednio do modułu radiowego RFM119 i dalej wysyłana do odbiornika.

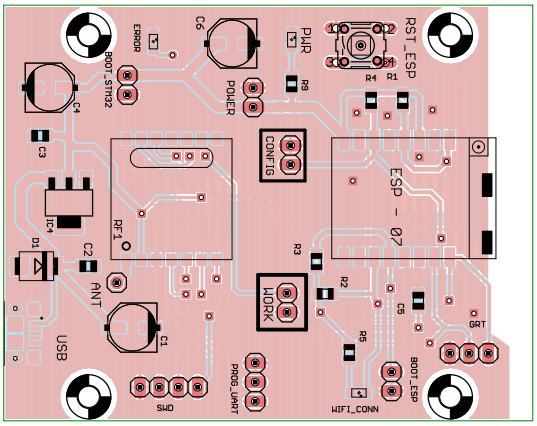
Układ STM32F030 w module odbiornika jest taktowany wewnętrznym zegarem HSI

**Listing 1. Procedura przejścia w tryb pracy STOP**

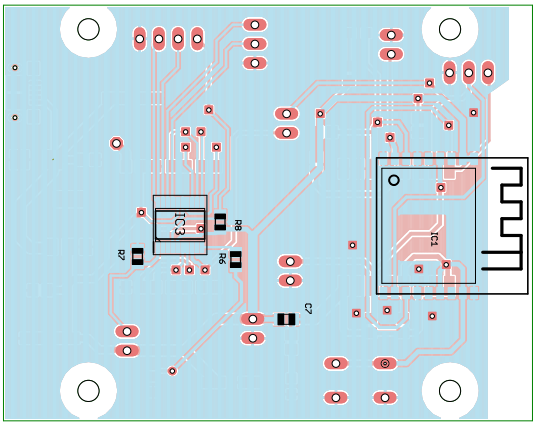
```
void Stop_mode( void ){
    RCC->APB1ENR |= RCC_APB1ENR_PWREN;  // Enable Clocks
    PWR->CR |= PWR_CR_CWUF;             // clear the WUF flag after 2 clock cycles
    PWR->CR &= ~( PWR_CR_PDDS );        // Enter stop mode when the CPU enters deepsleep
    SCB->SCR |= SCB_SCR_SLEEPDEEP_Msk;  // stop mode
    __WFI();                            // enter low-power mode
}
```



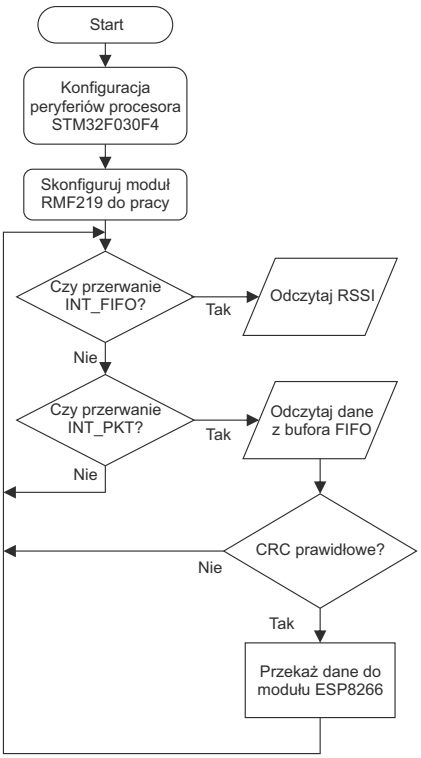
eprasa.pl 4d9608b833




Rysunek 5. Schemat płytki PCB odbiornika, strona TOP




Rysunek 6. Schemat płytki PCB odbiornika, strona BOTTOM




Rysunek 7. Algorytm działania modułu odbiorczego

8 MHz. Zadania programu sprowadzają się do inicjalizacji peryferiów i przetwarzania odebranych danych z odbiornika RFM219 i przekazywania ich do układu ESP8266 w celu wysłania na serwer. Komunikacja z odbiornikiem RFM219 odbywa się poprzez interfejs SPI pracujący w trybie half-duplex. Taki typ komunikacji „wymusił" zastosowanie układu F030 w roli układu pośredniczącego pomiędzy RFM219 a ESP8266, ponieważ układ ESP8266 nie wspiera tego trybu.

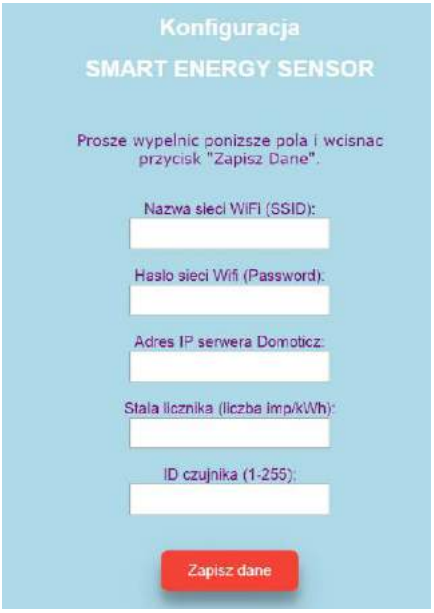
Algorytm działania modułu odbiorczego przedstawiony jest na **rysunku 7**. Start programu to konfiguracja zegarów i peryferiów procesora STM32 oraz konfiguracja odbiornika RFM219. Następnie w pętli głównej program oczekuje na dane z układu RFM219. Odbiór zrealizowany jest na dwóch przerwaniach nazwanych INT_FIFO i INT_PKT. Pierwsze z nich układ RFM219 wystawia każdorazowo, gdy do bufora FIFO zapisywana jest dana. Dzięki temu możliwe jest odczytanie siły odbieranego sygnału z modułu nadawczego - RSSI. Każdorazowy poprawny odczyt jest sygnalizowany mignięciem diody ERROR. Drugie przerwanie wystawiane jest przez moduł radiowy, gdy dane w buforze FIFO są gotowe do pobrania. Następnie program sprawdza poprawność odebranych danych poprzez porównanie sum kontrolnych. Jeśli sumy się nie zgadzają to zaświeca się na stałe dioda ERROR, co jest informacją dla użytkownika, że poziom sygnału z modułu nadawczego jest za słaby lub zakłócony i należy zmniejszyć odległość pomiędzy modułami nadawczym i odbiorczym. Jeśli sumy się zgadzają, procesor przekazuje paczkę danych przez UART do układu ESP8266. Znajdują się w niej informacje: RSSI, liczba impulsów zliczonych przez licznik elektryczny, poziom napięcia baterii modułu nadawczego.

Układ ESP8266 ma za zadanie przeliczyć odebraną liczbę impulsów na odpowiadające jej zużycie mocy elektrycznej i wysłać do serwera Domoticz. Dzieje się tak dlatego, ponieważ to ten moduł ma zawartą informację o stałej licznika (liczba imp/kWh) wprowadzoną przez użytkownika na etapie konfiguracji. Po wprowadzeniu danych, moduł ESP8266 przechowuje dane w swojej pamięci. Jest to też jedyna konfiguracja, którą użytkownik przeprowadza na etapie uruchamiania. Aby przejść w tryb normalnego działania, należy zdjąć zworkę ze złącza CONFIG i założyć ją na złącze WORK i zresetować moduł naciskając na chwilę przycisk RST_ESP.

Oprogramowanie układu ESP8266 napisano w środowisku ARDUINO i jest na tyle proste, że nie wymaga specjalnego komentarza. Jedyne co zasługuje na uwagę, to sposób na „składanie" stringa zgodnego ze standardem Domoticz, widoczny na **listingu 2**.

## Montaż i uruchomienie

Montaż nadajnika zaczynamy od wlutowania procesora, następnie pozostałe elementy; koszyk baterii lutując na samym końcu ze względu na dość duży gabaryt. Fototranzystor T1 montujemy tak, aby jego obudowa znajdowała się około 0,5 cm poniżej górnej pokrywki obudowy po jej zamknięciu. W obudowie zaś dokładnie nad fototranzystorem należy wywiercić otwór o średnicy 2 mm – przez niego będzie wpadać światło z diody LED licznika. Dzięki temu, że fototranzystor jest schowany w obudowie mamy dodatkowy filtr separujący dostęp światła dziennego. W roli anteny należy wlutować przewód o długości ok. 17 cm – odpowiednik 1/4 λ dla pasma 434 MHz. Ustawienie potencjometru R4 zostawiamy w pozycji środkowej. Do zaprogramowania



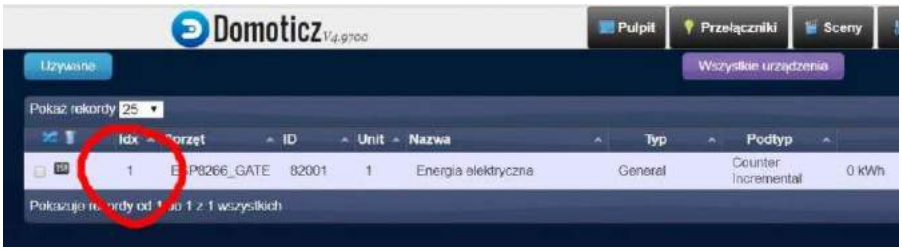

Rysunek 8. Formularz do wprowadzenia danych przez użytkownika

```
Listing 2. Sposób na przygotowanie ramki zgodnej ze standardem Domoticz
String url = „/json.htm?type=command&param=udevice&idx=”;
url += String(id_czujnika);
url +=”&nvalue=0&svalue=”;
url += String(liczba_Wh);
url += „&rssi=”;
url += String(rssi);
url += „&battery=”;
url += String(battery);
```



eprasa.pl 4d9608b833

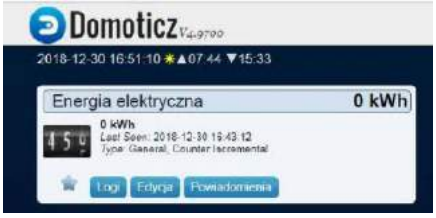
**Rysunek 9. Dodawanie czujnika do systemu Domoticz**




**Rysunek 10. Numer ID utworzonego czujnika**

modułu użyć należy programatora np. ST-LINK. Na złączu JP1 wyprowadzone są niezbędne piny: SWDIO, SWCLK oraz RESET – piny 3,4,5. Po zaprogramowaniu układ jest gotowy do pracy – należy go umocować jak najdokładniej naprzeciwko diody LED licznika elektrycznego. Gdyby odległość od licznika była większa niż 20 cm, a odczytane wskazania zużycia mocy znacząco różniły się od zużycia faktycznego – można

**Rysunek 12. Wizualizacja zgromadzonych danych**




**Rysunek 11. Dane czujnika w zakładce *Użytkowe***

zwiększyć czułość układu poprzez regulację R4. Należy jednak to robić po dłuższej obserwacji – mając na uwadze fakt, że odczyty wykonywane są co godzinę.

Montaż modułu odbiorczego zaczynamy od zasilacza. Po jego prawidłowym uruchomieniu przystępujemy do lutowania pozostałych elementów – zaczynając od najmniejszych SMD. Podobnie jak w przypadku nadajnika – jako antenę lutujemy 17 cm cienki przewód. Następnie należy zaprogramować procesor stm32 oraz układ ESP8266. Do zaprogramowania układu stm32 można użyć programatora np. ST-LINK lub przejściówki USB/UART. W pierwszym przypadku korzystamy ze złącza SWD, w drugim – PROG_UART wraz ze zworką BOOT_STM32. Wyprowadzone sygnały RX/TX dostępne są na złączu GRT(gnd/rx/tx), oraz dostępnego w sieci oprogramowania np. NODEMCU FIRMWARE PROGRAMMER. Aby wejść w tryb programowania należy założyć zworkę na piny złącza BOOT_ESP i zresetować moduł przyciskając na chwilę switch RST_ESP.

Po zaprogramowaniu układu ESP należy skonfigurować parametry do połączenia z domową siecią Wi-Fi. Brak takich danych jest sygnalizowany trzema krótkimi błyskami diody LED Wi-Fi_CONN. Wprowadzenie modułu ESP w tryb konfiguracji umożliwia zworka CONFIG. Po założeniu zworki na piny złącza i chwilowym naciśnięciu przycisku RST_ESP, układ ESP8266 przechodzi w tryb pracy AP o nazwie „Smart Energy Sensor" i pod adresem 192.168.4.1 generuje stronę HTML z formularzem do wprowadzenia danych przez użytkownika. Formularz przedstawiony jest na **rysunku 8**. Użytkownik wprowadza następujące dane:

- nazwę sieci Wi-Fi w której ma pracować układ
- hasło dostępu do sieci
- adres IP serwera Domoticz
- stała licznika (liczba impulsów/kWh)
- ID czujnika (numer wirtualnego czujnika w systemie Domoticz)

Numer ID czujnika odczytamy w systemie Domoticz w zakładce Konfiguracja/Urządzenia. Opisano to poniżej w instrukcji dodawania czujnika do systemu. Po zapisaniu danych w module, przekładamy zworkę na piny złącza WORK i resetujemy układ ESP. Układ jest gotowy do pracy. Po uruchomieniu moduł spróbuje zalogować się do naszej sieci Wi-Fi – w tym czasie będzie migać dioda



eprasa.pl 4d9608b833

CONN. Po kilkunastu sekundach po poprawnym zalogowaniu do sieci dioda zgaśnie. Gdyby tak się nie stało i dioda nie przestanie migać, oznacza to, że wprowadzone dane są nieprawidłowe i należy ponownie je wprowadzić (**UWAGA – spacja też jest traktowana jako znak!**). Złącze GRT (gnd/rx/tx) możemy potraktować jako diagnostyczne dla modułu ESP8266. Można podłączyć się jakimkolwiek terminalem z parametrami 115200B8N1 i podglądać informacje o połączeniu oraz dane jakie są przesyłane na serwer Domoticz. Po poprawnym zalogowaniu, możemy przystąpić do konfiguracji modułu w systemie DOMOTICZ.

## Dodawanie czujnika smart energy sensor do systemu domoticz

Opiszę teraz proces dodawania naszego czujnika do systemu Domoticz. Najpierw dodajemy w systemie DOMOTICZ wirtualny czujnik w zakładce *Konfiguracja/Sprzęt* (**rysunek 9**). Wpisujemy nazwę (dowolna np. ESP8266_GATE) oraz typ (ustawiamy Dummy) i klikamy *Dodaj*. Następnie klikamy na *Utwórz wirtualne czujniki*. Otworzy się okienko z parametrami czujnika. Wybieramy *licznik przyrostowy* i nadajemy nazwę np. Energia elektryczna i klikamy *OK*. Utworzony czujnik otrzyma z systemu nr ID, który musimy zanotować do konfiguracji odbiornika (**rysunek 10**). W zakładce *Użytkowe* mamy dostęp do danych czujnika (**rysunek 11**). Log jest aktualizowany co 1 h automatycznie przez system Domoticz. Po dłuższym okresie czasu będziemy dysponowali całkiem sporą ilością danych, która pozwoli na przeanalizowanie możliwych oszczędności energii elektrycznej (**rysunek 12**).

## Podsumowanie

Przedstawiony w artykule moduł pracuje nieprzerwanie od ponad roku. Do tej pory nie było jakichkolwiek problemów w działaniu, a otrzymane dane pozwoliły na zredukowanie zużycia prądu elektrycznego o prawie 20%. Jak zostało napisane na wstępie, istnieje możliwość wysyłania danych na inny serwer np. Thingspeak. W tym celu należy odpowiednio oprogramować moduł ESP8266. Dane jakie do modułu spływają z układu stm32f030 są łatwe w parsowaniu – jest to string z separatorami pomiędzy danymi. Dla przykładu string: 89%1D2980V5670# oznacza odpowiednio: siła odebranego sygnału z nadajnika RSSI: 89%, ID czujnika: 1, napięcie baterii nadajnika: 2890 mV, liczba zliczonych impulsów z licznika: 5670. Można je „podglądnąć" w dowolnym terminalu wpinając się linią odbiorczą przejściówki USB/UART w pin 2 złącza GRT podczas pracy modułu.

**Grzegorz Burzyński**
**sp5ein@gmail.com**

Bibliografia:
1. *http://bit.ly/31FAPYE*
2. *http://bit.ly/2MSbNCf*
3. *http://bit.ly/2IUQPxv*
4. *http://bit.ly/2XjYoa6*
5. *http://bit.ly/2x0CTwn*
6. esp8266-technical_reference_en
7. *http://bit.ly/2x2mM1e*
8. *http://bit.ly/2FgFfM0*

KLUB APLIKANTÓW PRÓBEK KAP www.ep.com.pl/KAP

## Nucleo-F091RC – zestaw startowy z mikrokontrolerem z rodziny STM32 (STM32F091)

Dzięki uprzejmości firmy Kamami, mamy dla czytelników EP zestaw startowy z serii Nucleo wyposażony w mikrokontroler STM32F091RCT6 (256 kB Flash), z wbudowanym programatorem-debugerem ST-Link/v2, wyposażony w złącza zgodne z Arduino.
Płytki Nucleo są jedną z najłatwiejszych, najtańszych i najbardziej przystępnych metod zapoznania się z mikrokontrolerami STM32. Stanowią bazę, którą można obudować układami zewnętrznymi wykonując w ten sposób prototyp dowolnego urządzenia z układem procesorowym.
Dzięki złączom płytki nadają się do wielokrotnego użytku. Wbudowany programator-debugger zwalnia ich użytkownika z konieczności zakupu drogiego wyposażenia, a szeroka gama dostępnych procesorów przy jednoczesnej kompatybilności płytek pin-to-pin pozwalają na łatwe dobranie odpowiedniego układu do aplikacji oraz jego zmianę w razie konieczności.
Dla płytek są dostępne kompilatory oferowane przez różnych producentów (w tym darmowe), biblioteka HAL, oprogramowanie ułatwiające konfigurację oraz wyczerpująca dokumentacja, przykłady programów oraz gotowych aplikacji.
Podstawowe parametry płytki oferowanej w ramach KAP:
- Mikrokontroler STM32 w obudowie LQFP64.
- Dostępność dwóch rodzajów płytek rozszerzeń: moduły Arduino Uno rev. 3 oraz STMicroelectronics Morpho.
- Wbudowany programator/debugger ST-Link/v2-1 z interfejsem SWD. Programator można wyłamać i używać do programowania innych procesorów STM32.
- Możliwość zasilania za pomocą USB lub zewnętrznego zasilacza o napięciu z zakresu 3,3...5 V lub 7...12 V.
- Trzy diody LED: sygnalizacja komunikacji USB LD1, do wykorzystania w aplikacji użytkownika LD2, sygnalizująca załączenie zasilania LD3.
- Dwa przyciski: USER oraz RESET.
- Trzy tryby pracy USB: Virtual COM, pamięć masowa, port programatora/debugera.

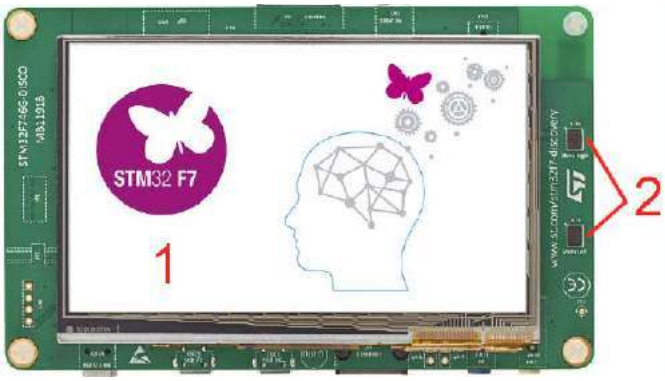


eprasa.pl 4d9608b833

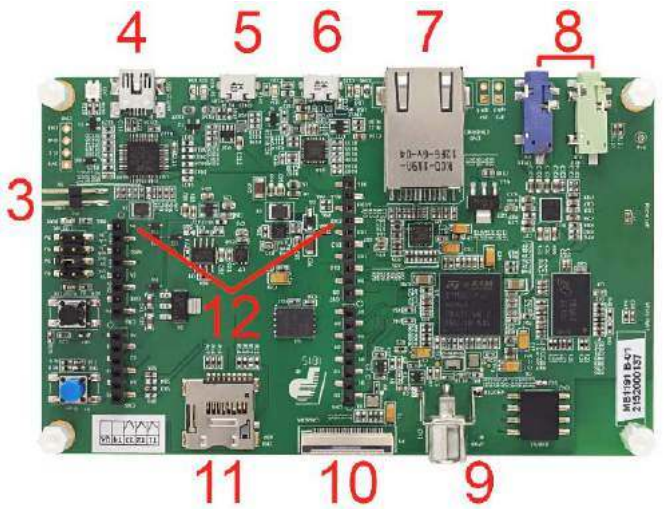
# Uruchomienie GUI na płytce STM32F746G-DISCO

Zestaw STM32F746G-DISCO został udostępniony przez firmę KAMAMI.

*Zestaw uruchomieniowy STM32F746G-DISCO jest jednym z bardziej rozbudowanych zestawów startowych firmy ST. Mocny procesor, duży wyświetlacz i spora liczba różnych interfejsów sprzętowych pozwalają wykorzystać tę płytę zarówno do testowania oprogramowania, jak i do budowy unikatowych, w pełni funkcjonalnych urządzeń. W artykule pokażę, jak uruchomić system grafiki i jak połączyć ten system z własnym oprogramowaniem.*




Fotografia 1. Płytka STM32F746G-DISCO, widok strony frontowej




Fotografia 2. Płytka STM32F746G-DISCO, widok strony tylnej

Na płycie STM32F746G-DISCO producent zamontował dużą liczbę interfejsów i dodatkowych układów rozszerzających jej możliwości. Najważniejsze z punktu widzenia użytkownika cechy oraz parametry to:

- mikrokontroler STM32F746NGH6 z 1 MB pamięci Flash, 320 kB pamięci RAM, z rdzeniem Cortex-M7 taktowanym zegarem o maksymalnej częstotliwości 216 MHz;
- ekran LCD-TFT 4,3 cala o rozdzielczości 480×272 px z pojemnościowym panelem dotykowym i maksymalną głębią koloru 24 bity na piksel;
- 128-Mbitowa pamięć Flash Quad-SPI;
- 128-Mbitowa pamięć SDRAM, z czego dla użytkownika dostępne 64 MB;
- 2 miniaturowe mikrofony typu MEMS;
- kodek audio ze wzmacniaczem mocy;
- interfejsy:
  - USB OTG HS,
  - USB OTG FS,
  - Ethernet,
  - karty microSD,
  - SPDIF RCA,
  - kamery;
- złącze zgodne z Arduino Rev. 3 (zasilanie i poziomy logiczne 3,3 V);
- zintegrowany z płytą programator ST-LINK/V2-1;
- zasilanie +5 V z 4 niezależnych wejść (z 2 USB, gniazda programatora, dodatkowego złącza zasilania) przełączanych ustawieniem zwory.

**Fotografie 1** i **2** prezentują płytkę a dodatkowo naniesione oznaczenia wskazują usytuowanie najważniejszych elementów: 1-wyświetlacz, 2-mikrofony MEMS, 3-złącze bezpośredniego zasilania +5 V, 4-gniazdo zintegrowanego z płytą programatora, 5-USB OTG FS, 6-USB OTG HS, 7-złącze ethernet, 8-wejście i wyjście sygnałów audio, 9-wejście SPDIF, 10-gniazdo do podłączenia kamery, 11-gniazdo karty microSD, 12-złącze zgodne z płytkami Arduino. Dokładny opis części sprzętowej płytki wraz ze schematami ideowymi można znaleźć w podręczniku użytkownika ***http://bit.ly/31wcS5N***.

## Dedykowane środowiska graficzne

Zamontowany na płycie wyświetlacz może posłużyć jako wygodny interfejs graficzny dla aplikacji użytkownika. Należy jednak zadbać o przeprowadzenie prawidłowej inicjacji wyświetlacza, obsłużyć wyświetlanie zaprojektowanych ekranów i zapewnić współpracę między tym, co będzie widać, a działaniem programu użytkownika. Z lektury dokumentu poświęconego opisowi wymagań niezbędnych do sprzęgnięcia ze sobą interfejsu kontrolera i dołączonego wyświetlacza wynika, że nie jest to zadanie łatwe ***http://bit.ly/2XHIZgF***.

Dostępne są dwie biblioteki graficzne, które bardzo ułatwiają pracę z wyświetlaczem. Są to TouchGFX i StemWin, rozpowszechniane bezpłatnie i w różnym stopniu zintegrowane z pozostałą infrastrukturą programistyczną dla kontrolerów STM.

## STemWin

Biblioteka ta daje:

- niskopoziomowy interfejs do komunikacji z wyświetlaczem, w tym procedury inicjacyjne i obsługę wymiany danych pomiędzy kontrolerem a wyświetlaczem i układem obsługującym funkcje dotyku;
- ułatwienia przy tworzeniu wyświetlanych obiektów graficznych takich jak przyciski, napisy, kursory itp., obsługę przezroczystości, wielu warstw;



eprasa.pl 4d9608b833

- standardowe procedury API do sterowania i komunikacji pomiędzy oprogramowaniem użytkownika a biblioteką

Biblioteka jest uniwersalna, przystosowana do kontrolerów i wyświetlaczy różnego typu. Dostępna nieodpłatnie do użycia z kontrolerami STM i dostarczana w formie plików nagłówkowych oraz wstępnie skompilowanych plików źródłowych, które trzeba dołączyć do swojego projektu. Jest też częściowo zintegrowana z flagowym narzędziem ST, czyli STM32CubeMX, graficznym narzędziem do konfiguracji i automatycznego generowania szkieletu kodu inicjującego. Dzięki temu większość pracy związanej z dołączaniem biblioteki do programu użytkownika może przeprowadzić STM32CubeMX.

## Wygenerowanie szkieletu programu z dołączoną biblioteką STemWin

Teraz opiszę kolejne kroki, które trzeba wykonać aby wygenerować szkielet kodu z dołączoną biblioteką STemWin. Projekt będzie przeznaczony dla płyty STM32F746G-DISCO z zamontowanym wyświetlaczem o rozdzielczości 480×272 px. Jako narzędzie posłuży STM32CubeMX w wersji 5.2.0 z firmware Package STM32Cube FW_F7 v.1.15.0. Przykładowy projekt zostanie wygenerowany dla IDE SW4STM32. Szkielet oprogramowania będzie przystosowany do pracy pod nadzorem FreeRtos: darmowego systemu operacyjnego czasu rzeczywistego dla urządzeń wbudowanych.

**1**. Inicjacja projektu, wybór typu płyty → Board Selector: STM32F746G-DISCO

**2**. Start Project → Initialize all peripherals with their default mode: YES

Powstanie projekt ze wstępnymi ustawieniami dla płyty STM32F746G-DISCO. Oznacza to, że udostępniona do konfiguracji zostaje spora liczba różnych interfejsów w tym i te, które nie będą używane. Niektóre więc można pozamykać, czyli ustawić opcję Disabled np. dla interfejsu

Pinout & Configuration → Connectivity → ETH → Mode: Disable

To przyśpieszy start płyty po każdym resecie. Innych nie należy ruszać, bo są istotne dla prawidłowego działania funkcji graficznych:

Categories → System Core
Categories → Computing
Categories → Connectivity → FMC
Categories → Connectivity → USART1
Categories → Connectivity → I2C3
Categories → Connectivity → QUADSPI
Categories → Multimedia
Categories → Middleware → FREERTOS

Ustawienia zegarów systemowych można pozostawić bez zmian.

**3.** Należy podać nazwę projektu, ścieżkę dostępu:

Project Manager → Project Name: *wpisz swoją nazwę projektu*
Project Manager → Project Location: *wpisz katalog docelowy projektu*
Project Manager → Application Structure: Advanced
Project Manager → Tolchain/IDE: SW4STM32, Generate under root: [v]
Project Manager → Firmware Package Name and Version: STM32Cube FW_F7 V1.15.0

**4**. Należy kliknąć → File → Save Project

**5**. Wybór środowiska graficznego:

Pinout & Configuration → Middleware → Graphics → Graphics Framework: StemWin, Display Interface: Display Parallel Interface using LTDC

Configuration → Parameter Settings → Physical Display Size X size: 480, Y size: 272

Configuration → Parameter Settings → Frame Buffer → Layer0 Color Conversion: GUICC_M565

Configuration → Parameter Settings → GUI Parameters → GUI RGB Ordering: ABGR

Configuration → Platform Settings → LCD Reset pin XRES: PI12

**6**. GENERATE CODE

Code Generation → Open Project

W tym momencie mamy wygenerowane pliki projektu dla środowiska SW4STM32. Do projektu zostały automatycznie dołączone pliki biblioteki STemWin. Po wczytaniu plików projektu do środowiska SW4STM32 można przystąpić do kompilacji. Klikamy kolejno:

**1**. Project → Clean
**2**. Project → Build All
**3**. Run → Run As…

Po zaprogramowaniu płytki STM32F746G-DISCO, na czarnym tle powinien wyświetlić się napis: *Hello world!* Automatycznie wygenerowany kod aplikacji graficznej umieszczony jest w pliku Project Explorer → *nazwa twojego projektu* → STemWin → App → GUI_App.c w funkcji: `GRAPHICS_MainTask(void)`.

## Funkcje interfejsu dotykowego

Teraz trzeba dodać do projektu pliki, które umożliwią kontrolowanie interfejsu dotykowego wyświetlacza. Posłużą do tego pliki BSP z firmware package, który trzeba ściągnąć ze strony firmy ST. Na potrzeby tego opisu posługiwałem się firmware oznaczonym jako STM32Cube_FW_F7_V1.15.0.

Należy dodać sterowniki funkcji interfejsu dotykowego:

**1**. W drzewie projektu IDE SW4STM32 należy utworzyć dodatkowe foldery

Project Explorer → *nazwa twojego projektu* → Drivers → prawy przycisk myszy → New → Folder: BSP

**2**. W podobny sposób w utworzonym folderze ***BSP*** należy utworzyć podfoldery ***inc*** i ***src***.

**3**. Należy przekopiować z plików firmware package do utworzonych podfolderów:

z ...*STM32Cube_FW_F7_V1.15.0**Drivers**BSP**STM32746G-Discovery*\
`stm32746g_discovery_sdram.c`
`stm32746g_discovery_ts.c`
`stm32746g_discovery.c`
do Project Explorer → *nazwa twojego projektu* → Drivers → BSP → src
z ...*STM32Cube_FW_F7_V1.15.0**Drivers**BSP**STM32746G-Discovery*\
`stm32746g_discovery_sdram.h`
`stm32746g_discovery_ts.h`
`stm32746g_discovery.h`
do Project Explorer → nazwa twojego projektu → Drivers → BSP → inc

**4**. W drzewie projektu IDE SW4STM32 należy utworzyć dodatkowy folder

Project Explorer → *nazwa twojego projektu* → Drivers → prawy przycisk myszy → New → Folder: Components

**5**. Przekopiować z plików firmware package do utworzonego podfolderu:

z ...*STM32Cube_FW_F7_V1.15.0**Drivers**BSP**Components*\ folder ft5336
do Project Explorer → *nazwa twojego projektu* → Drivers → Components

**6**. W drzewie projektu IDE SW4STM32 należy utworzyć dodatkowy folder

Project Explorer → *nazwa twojego projektu* → Drivers → Components, prawy przycisk myszy → New → Folder: Common

**7.** Należy przekopiować z plików firmware package do utworzonego podfolderu:

z ...*STM32Cube_FW_F7_V1.15.0**Drivers**BSP**Components**Common*\ts.h
do Project Explorer → *nazwa twojego projektu* → Drivers → Components\Common\

**8.** Ostatecznie w drzewie projektu IDE w folderze Drivers powinna powstać taka struktura z nowo dodanychmi folderami i plikami:

```
/Drivers
        /BSP
                /inc
                        stm32746g_discovery_sdram.h
                        stm32746g_discovery_ts.h
                        stm32746g_discovery.h
```



eprasa.pl 4d9608b833

```
        /src
                stm32746g_discovery_sdram.c
                stm32746g_discovery_ts.c
                stm32746g_discovery.c
/CMSIS
/Components
        /Common
                ts.h
        /ft5336
                ft5336.c
                ft5336.h
/STM32F7xxHAL_Driver
```

**9**. Na koniec należy dodać ścieżek dostępu do nowo utworzonych folderów:

File → Properties → C/C++ Build → Settings → MCU GCC Compiler → Includes: Add…

```
Drivers\BSP
Drivers\BSP\inc
Drivers\BSP\src
Drivers\Components
Drivers\Components\Common
Drivers\Components\ft5336
```

Jeżeli próbna kompilacja zakończy się bez błędów, oznacza to, że jak dotąd wszystko zostało zrobione prawidłowo.

## Dodanie własnego ekranu

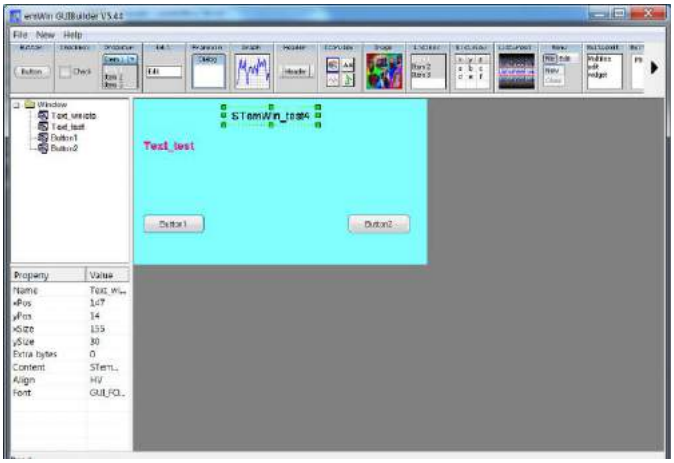
Teraz przechodzimy do zaprojektowania wyglądu ekranu, który będzie się pojawiał na wyświetlaczu. Najwygodniej uprościć sobie pracę i posłużyć się gotowym narzędziem, będzie to GUIBuilder.exe. Jest to graficzny program do projektowania treści wyświetlacza i generowania plików .c, które można łatwo dołączyć do projektu. GUIBuilder.exe znajduje się w firmware package w podkatalogu: ...\STM32Cube_FW_F7_V1.15.0\Middlewares\ST\STemWin\Software\

Na **rysunku 1** widać przykładowe okno z programu GUIBuilder. W górnej części okna umieszczona jest belka z dostępnymi do wyboru graficznymi elementami, które można wykorzystać w tworzonym projekcie własnego ekranu. Po wskazaniu kursorem elementu i kliknięciu prawym przyciskiem myszy element zostaje umieszczony na obszarze symulującym wyświetlacz. Jako pierwszy powinien zostać wybrany jeden z dwu elementów: Window albo FrameWin. To będą rodzice dla wszystkich pochodnych elementów wyświetlanych na wyświetlaczu. Pierwszy z nich Window, stanowi surowy podkład, dla którego można jedynie ustawić kolor. Drugi, czyli FrameWin, przypomina typowe okienko Windows z ramką, nagłówkiem i możliwością dodania bocznych suwaków przewijania.

Z lewej strony okna GUIBuildera znajdują się dodatkowe panele – z listą użytych w projekcie elementów i z ich właściwościami. Przez kliknięcie lewym przyciskiem myszy na element listy można go otworzyć do edycji – kliknięcie prawym przyciskiem na edytowany element otwiera listę dostępnych do zmiany ustawień.

Po wybraniu na belce programu opcji File → Save (Ctr+S) projekt zostanie przekonwertowany i zapisany jako zwykły plik .c, który bezpośrednio można dodać do projektu naszego programu. Plik w każdej chwili może być ponownie wczytany do GUIBuildera i wyświetlony jako projekt graficzny do edycji.

Po pierwszym uruchomieniu GUIBuildera tworzony jest w jego katalogu plik GUIBuilder.ini. Jest w nim podana ścieżka do katalogu, w którym będą zapisywane pliki wynikowe. Zawartość




**Rysunek 1. Okno programu GUIBuilder**

pliku .ini można poddać edycji i określić własną ścieżkę dostępu do wybranego katalogu:

```
[Settings]
ProjectPath="c:\ ścieżka dostępu do wybranego katalogu \".
```

Na rysunku 1 widać projekt prostego okna, które będzie użyte w przykładowym projekcie dla płyty STM32F746G-DISCO. Rodzicem

**Listing 1. Dołączenie plików nagłówkowych bibliotek w pliku main.c**

```
/* Private includes --------*/
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include „stm32746g_discovery_ts.h"
```

**Listing 2. Deklaracja zmiennych globalnych do obsługi ekranu dotykowego w pliku main.c**

```
/* USER CODE BEGIN PV */
GUI_PID_STATE TS_State;
TS_StateTypeDef ts;
```

**Listing 3. Uzupełnienie w pliku GUI_App.h**

```
#include „stm32746g_discovery_ts.h"
#include „stm32746g_discovery_sdram.h"
#include „WM.h"
#include „DIALOG.h"
WM_HWIN CreateWindow(void);

extern GUI_PID_STATE TS_State;
extern TS_StateTypeDef ts;
```

**Listing 4. Zmiany w pliku GUI_App.c**

```
/* USER CODE BEGIN GRAPHICS_MainTask */
/* User can implement his graphic application here */
/* Hello Word example */
//    GUI_Clear();
//    GUI_SetColor(GUI_WHITE);
//    GUI_SetFont(&GUI_Font32_1);
//    GUI_DispStringAt(„Hello world!", (LCD_GetXSize()-150)/2, (LCD_GetYSize()-20)/2);

GUI_Delay(100);

BSP_SDRAM_Init();
BSP_TS_Init(LCD_GetXSize(), LCD_GetYSize());

CreateWindow();                                  //wyświetlenie ekranu
GUI_Delay(500);

while(1)
{
        BSP_TS_GetState(&ts);                    //Pobranie stanu
        if (ts.touchDetected)                    //Wykrycie dotyku
        {
                TS_State.Pressed = ts.touchDetected;
                TS_State.y = ts.touchY[0];
                TS_State.x = ts.touchX[0];
                GUI_PID_StoreState(&TS_State);//Przekazanie stanu
        }
        else                                     //Brak dotknięcia
        {
                TS_State.Pressed = 0;
                TS_State.y = -1;
                TS_State.x = -1;
                GUI_PID_StoreState(&TS_State);//Przekazanie stanu
        }

        GUI_Delay(100);
}
/* USER CODE END GRAPHICS_MainTask */
```



eprasa.pl 4d9608b833

```
Listing 5. Zmiany w pliku WindowDLG.c
switch(Id) {

          case ID_BUTTON_0: // Notifications sent by 'Button1'
          switch(NCode) {
                    case WM_NOTIFICATION_CLICKED:
                    // USER START (Optionally insert code for reacting on notification message)
                    hItem = WM_GetDialogItem(pMsg->hWin, ID_TEXT_1);
                    TEXT_SetTextColor(hItem, GUI_MAKE_COLOR(0x008000FF));
                    TEXT_SetText(hItem, „nacisniety przycisk Button1”);
                    //reakcja na naciśnięcie BUTTON1
                    // USER END
                    break;
                    case WM_NOTIFICATION_RELEASED:
                    // USER START (Optionally insert code for reacting on notification message)
                    // USER END
                    break;
                    // USER START (Optionally insert additional code for further notification handling)
                    // USER END
          } break;

          case ID_BUTTON_1: // Notifications sent by 'Button2'
          switch(NCode) {
                    case WM_NOTIFICATION_CLICKED:
                    // USER START (Optionally insert code for reacting on notification message)
                    hItem = WM_GetDialogItem(pMsg->hWin, ID_TEXT_1);
                    TEXT_SetTextColor(hItem, GUI_MAKE_COLOR(0x00803000));
                    TEXT_SetText(hItem, „a teraz nacisniety Button2”);
                    //reakcja na naciśnięcie BUTTON2
                    // USER END
                    break;
                    case WM_NOTIFICATION_RELEASED:
                    // USER START (Optionally insert code for reacting on notification message)
                    // USER END
                    break;
                    // USER START (Optionally insert additional code for further notification handling)
                    // USER END
          } break;

          // USER START (Optionally insert additional code for further Ids)
          // USER END
} break;
// USER START (Optionally insert additional message handling)
// USER END
```

jest element typu Window, na którym umieszczono dwa pola tekstowe i dwa przyciski: Button1 i Button2. Po naciśnięciu każdego ma zmienić się tekst wyświetlany przez pole tekstowe Text_test. Na podstawie tego projektu program GUIBuilder generuje plik WindowDLG.c. Plik należy dodać do projektu, w tym celu klikamy:

Project Explorer → nazwa twojego projektu → STemWin → App:WindowDLG.c.

## Uzupełnianie kodu

Na koniec trzeba wszystko razem połączyć. Wymaga to dopisania własnego kodu, zatem przechodzimy do projektu w IDE SW4STM32 i w pliku main.c. wykonujemy:

1. Dołączenie plików nagłówkowych bibliotek – **listing 1**.
2. Deklarację zmiennych globalnych do obsługi ekranu dotykowego – **listing 2**.

Następnie uzupełniamy kod w plikach związanych z GUI (wyświetlanym ekranem). Pliki znajdujące się w katalogu projektu Project Explorer → nazwa twojego projektu → STemWin → App

1. Uzupełniamy kod w GUI_App.h zawartością z **listingu 3**:

W tym miejscu potrzebna jest mała uwaga. Uzupełnienie w ten sposób pliku GUI_App.h jest jak najbardziej dopuszczalne i będzie działać. Jednak w momencie uruchomienia STM32CubeMX i powtórnego wygenerowania szkieletu kodu, plik GUI_App.h zostanie wygenerowany ponownie a wprowadzone zmiany nie zostaną zachowane. Są dwa rozwiązania: albo każdorazowo po generowaniu kodu przez STM32CubeMX będziemy dopisywać podane wyżej zmiany w pliku GUI_App.h, albo umieścimy je na początku sekcji `/* USER CODE BEGIN GRAPHICS_MainTask */` w pliku GUI_App.c. Drugie rozwiązanie jest mniej eleganckie, ale będzie działało.

2. Teraz należy dopisać fragment kodu powodujący wyświetlenie zaprojektowanego ekranu i włączenie opcji dotyku dla klawiszy Button1 i Button2. Należy wprowadzić zmiany w GUI_App.c, jak na **listingu 4**.
3. Na koniec należy dodać kod wykonywany po naciśnięciu któregoś z klawiszy. W tym przykładzie będzie zmieniana treść pola tekstowego Text_test. Zmiany w pliku WindowDLG.c jak na **listingu 5**.

To już wszystko. Po kompilacji i wgraniu programu do mikrokontrolera na płycie STM32F746G-DISCO po chwili na wyświetlaczu powinien pojawić się ekran taki jaki zaprojektowaliśmy w GUIBuilderze. Przyciskanie obydwu klawiszy powinno wpływać na treść wyświetlanego napisu.

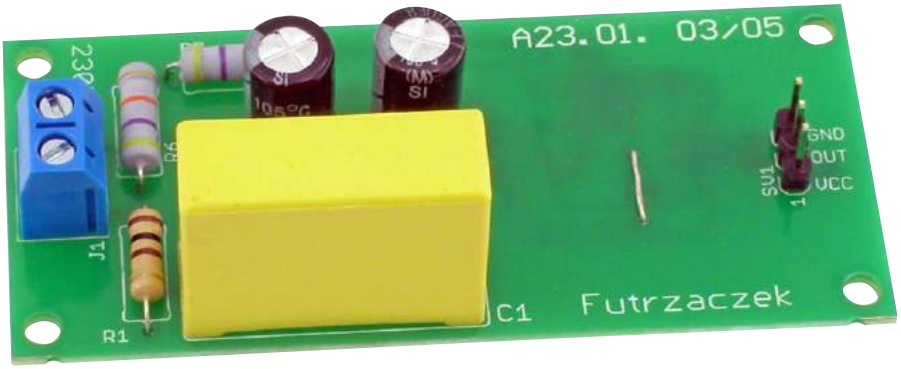
**Ryszard Szymaniak**

REKLAMA

eprasa.pl 4d9608b833

# Precyzyjny detektor przejścia napięcia przez zero

*Przy budowie układu regulacji fazowej niezbędna jest informacja o momentach przejścia napięcia sieciowego przez zero. Prezentowane urządzenie potrafi zrobić to bardzo dokładnie, dodatkowo wskazując kierunek przejścia.*




Najprostsze rozwiązania tego typu składają się z zaledwie kilku elementów – wystarczą dwa rezystory i dwa transoptory. Niestety, dokładność wskazania przejścia przez zero jest bardzo niska. Powód tkwi w samej zasadzie działania: światło diody LED, zawartej w strukturze transoptora, nasyca fototranzystor dopiero przy wartości chwilowej napięcia sieciowego rzędu kilkunastu woltów. W większości zastosowań jest to rozwiązanie wystarczające, ale bardziej wymagające systemy potrzebują dokładniejszej informacji – na przykład po to, by prawidłowo działać przy ustawieniu 98% nominalnej mocy. Wtedy wyzwolenie elementu wykonawczego musi nastąpić tuż po przejściu napięcia przez zero. Przedstawiony układ zawiera aktywny tor detekcji zerowej wartości napięcia, dlatego działa znacznie dokładniej.

## Budowa

Schemat ideowy detektora pokazuje **rysunek 1**. Wzmacniacz operacyjny US1A działa w układzie idealnego prostownika półokresowego.

**Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl**

**W ofercie AVT* AVT-5688**

**Wykaz elementów:**

**Rezystory:**
R1: 100 Ω/1 W
R2, R3, R9: 1 MΩ SMD0805
R4: 330 kΩ SMD0805
R5, R8, R10, R11: 4,7 kΩ SMD0805
R6, R7: 47 kΩ/1 W

**Kondensatory:**
C1: 470 nF/310 VAC
C2, C3: 220 µF/25 V
C4, C5: 100 nF SMD0805

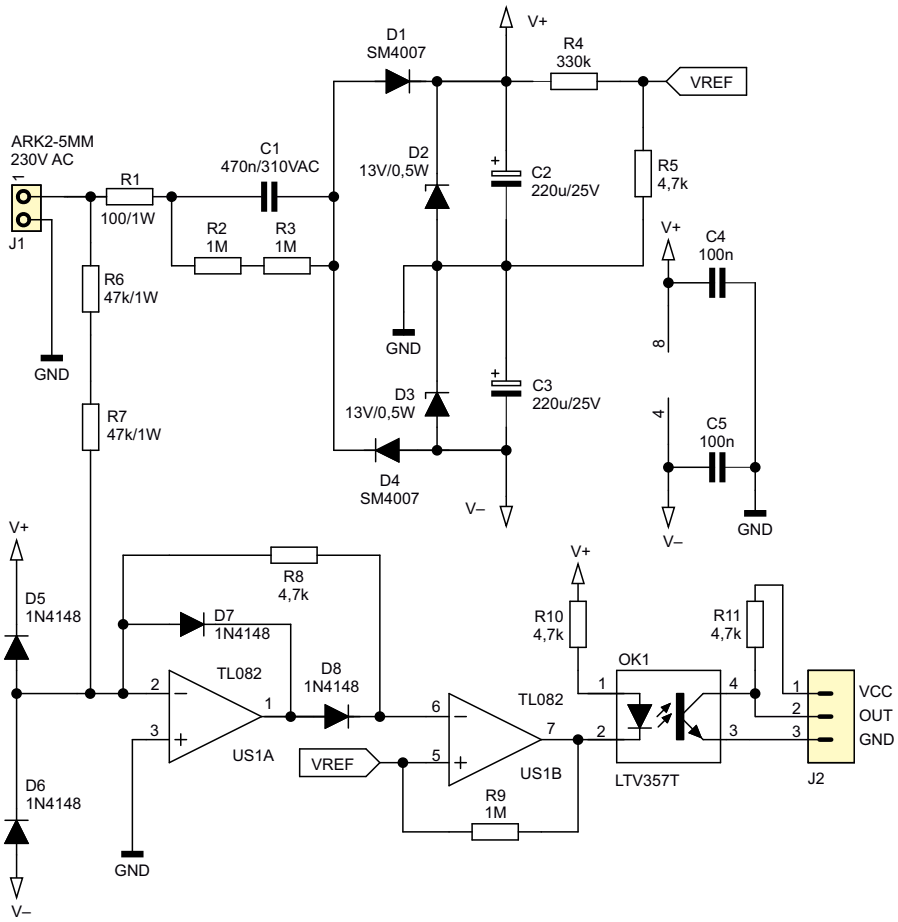
**Półprzewodniki:**
D1, D4: SM4007
D2, D3: Zenera 13 V/0,5 W
D5…D8: 1N4148 SMD
OK1: LT357T
US1: TL082 SO8

**Inne:**
J1: ARK2 5 mm
J2: goldpin 3 pin

*** 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

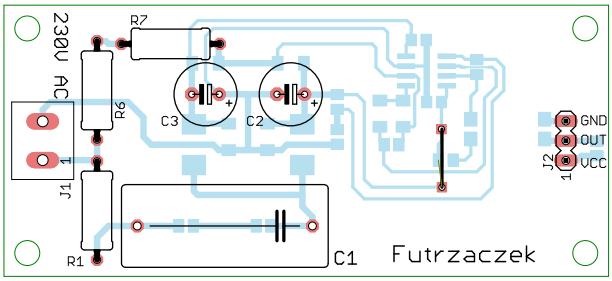
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! *http://sklep.avt.pl*. W przypadku braku dostępności na *http://sklep.avt.pl*, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



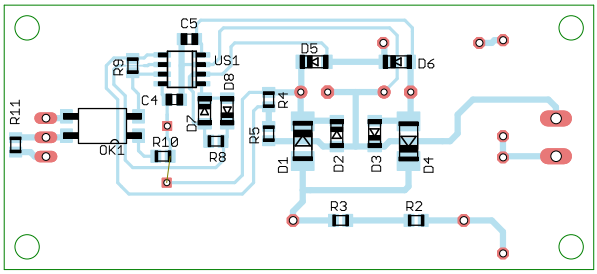

**Rysunek 1. Schemat ideowy detektora**



eprasa.pl 4d9608b833




Rysunek 2. Schemat płytki detektora, strona TOP




Rysunek 3. Schemat płytki detektora, strona BOTTOM

Kiedy napięcie z sieci (podawane na wyprowadzenie 2) jest większe od zera, to wyjście wzmacniacza dąży do ujemnego potencjału zasilania. Dioda D8 nie przewodzi, a D7 przewodzi. Prąd płynący przez diodę D7 pochodzi z obwodu rezystora R8 oraz z obwodu rezystorów wejściowych R6 i R7. W efekcie napięcie na wyjściu prostownika (za rezystorem R8) jest zerowe.

Przy ujemnym półokresie na wejściu tego obwodu napięcie wyjścia US1A wzrasta powyżej zera. Dioda D7 zatyka się, a D8 otwiera. Prąd z wyjścia przepływa przez D8 i R8 i kompensuje spadek potencjału wejścia odwracającego. Napięcie za prostownikiem jest dodatnie, a jego amplituda jest stłumiona dwudziestokrotnie w odniesieniu do napięcia sieciowego. Wynika to ze stosunku R8/(R6+R7). Wartość szczytowa napięcia za tym prostownikiem powinna wynosić 16 V, ale napięcie zasilania jest zbyt niskie, zatem napięcie wyjściowe dojdzie do ok. 10 V. Na wejściu prostownika znajduje się również ogranicznik amplitudy (D5 i D6), który chroni układ przed uszkodzeniem. Amplituda napięcia sieciowego ograniczana jest do wartości ok. 13,7 V.

Za prostownikiem znajduje się prosty przerzutnik Schmitta, który formuje sygnał prostokątny z doprowadzonego, prostowanego jednopołówkowo sygnału sinusoidalnego. Napięcie referencyjne dla tego przerzutnika pochodzi z dzielnika R4, R5 i wynosi ok. 180 mV. Musi ono być nieznacznie większe od zera, aby:

- offset napięciowy obu wzmacniaczy operacyjnych nie spowodował błędnego zadziałania układu (brak reakcji przerzutnika);
- możliwe było zarówno wyłączenie przerzutnika (wzrost napięcia wejściowego powyżej potencjału referencyjnego), jak i jego załączenie (spadek poniżej tego potencjału).

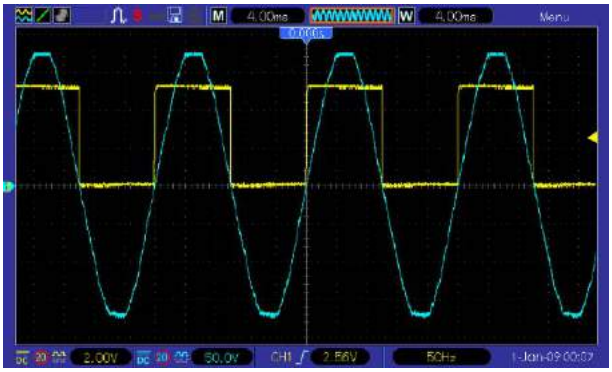
Histerezę, o niewielkiej szerokości, wprowadza rezystor R9. Dzięki takiemu rozwiązaniu nie występują oscylacje przy przełączeniu wyjścia przerzutnika na stan przeciwny.

Napięcie przesuwające punkt reakcji przerzutnika Schmitta powoduje, że układ reaguje na przejście napięcia sieciowego przez wartość ok. 3,6 V. Wywołane tym przesunięcie czasowe wynosi ok. 35 µs, czyli tylko 0,2% całego okresu. W porównaniu z prostymi układami detekcji zera, wynik ten jest nieporównywalnie lepszy i, co ważne – powtarzalny. Można spróbować zwiększyć wartość R4 i tym samym jeszcze bardziej przybliżyć punkt detekcji w kierunku zera.

Jako wzmacniacz operacyjny nie bez powodu został wybrany TL082. Przede wszystkim wejście na tranzystorach JFET powoduje, że nie trzeba przejmować się kompensacją prądów polaryzujących stopień wejściowy. Ponadto cechuje się relatywnie wysoką szybkością narastania napięcia wyjściowego, rzędu 13 V/µs, co ma niebagatelne znaczenie przy pracy w roli przerzutnika.

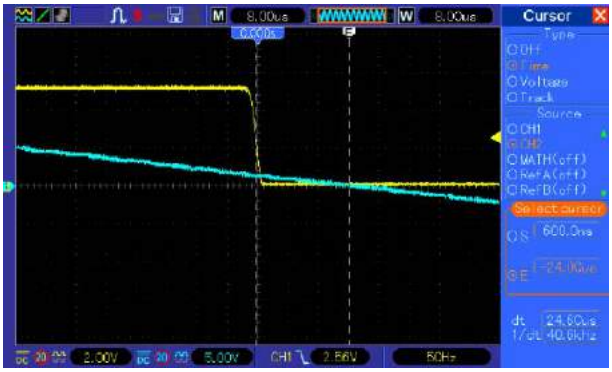
Wyjście wzmacniacza US1B daje gotową informację o momentach przejścia przez zero, ale sygnał wyjściowy powinien być odseparowany galwanicznie. Ponieważ przenoszona informacja jest wyłącznie zero-jedynkowa, zastosowano do tego transoptor. W układzie znalazło się miejsce na rezystor kolektorowy R11, dzięki czemu do zacisków złącza J2 wystarczy podłączyć napięcie o wartości ok. 5 V, a na środkowym wyprowadzeniu pojawią się impulsy prostokątne. Zwiększenie wartości R11 umożliwia pracę przy wyższym napięciu, lecz wpłynie to niekorzystnie na parametry układu.

Do prawidłowej pracy układu konieczne jest zapewnienie symetrycznego napięcia zasilającego o niewielkiej wydajności prądowej. Ponieważ cały układ i tak jest połączony z siecią, stosowanie transformatora mijałoby się z celem. Zastosowano układ zasilacza beztransformatorowego z dwiema diodami Zenera. W czasie dodatniego półokresu napięcia sieciowego otwiera się dioda D1, doładowując tym kondensator C2. Analogicznie, ujemny

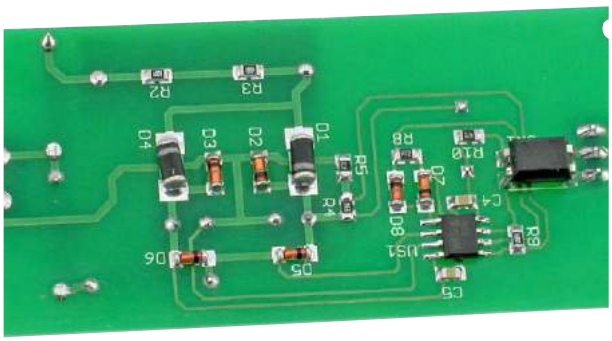


Rysunek 4. Przebieg napięcia wyjściowego na tle napięcia sieci

Rysunek 5. Moment przejścia przez zero przy narastaniu napięcia



Rysunek 6. Moment przejścia przez zero przy opadaniu napięcia



Fotografia 1. Widok zamontowanych elementów SMD



eprasa.pl 4d9608b833

półokres otwiera diodę D4, ładując kondensator C3. Odłączenie układu od sieci zasilającej może nastąpić w dowolnym momencie, więc kondensator C1 może być naładowany do potencjalnie wysokiego napięcia. Rezystory R2 i R3 służą jego rozładowaniu. Rezystor R1 ogranicza prąd ładowania „pustego" C1 w sytuacji, kiedy załączenie następuje w chwili wysokiej wartości napięcia sieciowego.

## Montaż i uruchomienie

Układ precyzyjnego detektora został zmontowany na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 78×53 mm, której schemat montażowy oraz wzór ścieżek przedstawiają **rysunki 2** i **3**. Na płytce znajduje się jedna zwora z drutu, o której nie wolno zapomnieć. Rezystory przewlekane wydzielają nieco ciepła, zwłaszcza R6 i R7, więc warto przylutować je na wydłużonych nóżkach, w niewielkiej odległości od powierzchni laminatu. Zmontowany układ (od strony ścieżek) przedstawia **fotografia 1**. Prawidłowo zmontowany układ jest gotowy do działania i nie wymaga żadnych czynności uruchomieniowych. Jest przystosowany do współpracy z napięciem sinusoidalnym o wartości skutecznej 230 V i częstotliwości 50 Hz. Pobór prądu z sieci wynosi ok. 35 mA (wartość skuteczna), lecz znaczna część wydzielanej mocy to moc bierna pojemnościowa.

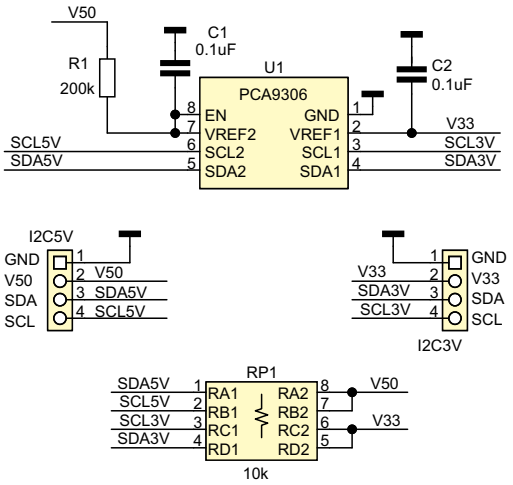
## Uwagi końcowe

Przebieg napięcia wyjściowego (żółty) na tle napięcia sieciowego (niebieski) pokazuje **rysunek 4**. Widać na nim, że przejściu przez zero z dodatnią pochodną odpowiada zbocze narastające sygnału prostokątnego, a z ujemną – opadające. Momenty przejścia przez zero dokładnie pokazują **rysunki 5** i **6**. Za pomocą kursorów oscyloskopu zmierzono odstęp czasowy pomiędzy zadziałaniem detektora a faktycznym momentem przejścia przez zero. W przypadku zbocza narastającego różnica ta wyniosła ok. 40 µs, a dla opadającego ok. 25 µs.

**Michał Kurzela, EP**

# Konwerter poziomów magistrali I²C

*Minimoduł umożliwia konwersję napięć z przedziału 1,2…5 V dla dwóch urządzeń współpracujących przy różnych poziomach napięcia zasilania magistral I²C. Będzie przydatny przy podłączaniu starszych układów współpracujących z magistralą 5 V do Raspberry PI, Arduino MKR lub Launchpadów oraz przy podłączaniu Arduino Uno/Leonardo do układów I²C zasilanych 1,2…3,3 V.*

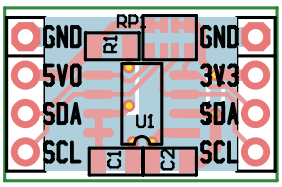



**Rysunek 1. Schemat ideowy układu**

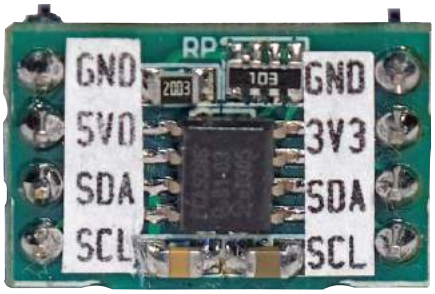
Moduł został zbudowany na bazie specjalizowanego układu PCA9306. Schemat elektryczny pokazany jest na **rysunku 1**. Wyprowadzenia modułu są zgodne ze standardem wyprowadzeń Arduino I²C, sygnały magistral i zasilania doprowadzone są do złączy typu SIP4.

Najczęściej moduł zasilany będzie napięciem 5 V i 3,3 V, ale bez problemu może konwertować napięcia z zakresu 1,2…5 V. Należy tylko zwrócić uwagę, aby napięcie zasilające po stronie magistrali 5 V zawsze było wyższe od napięcia strony 3,3 V w przypadku innych poziomów zasilania modułu. Kondensatory C1 i C2 odsprzęgają zasilania, rezystor RP1 podciąga magistralę I²C do odpowiednich poziomów napięć.

Moduł konwertera zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej. Rozmieszczenie elementów przedstawia **rysunek 2**. Montaż jest typowy i nie wymaga opisu – fotografia pokazuje szczegóły montażu.




**Rysunek 2. Schemat płytki i rozmieszczenie elementów (skala 2:1)**




Poprawnie zmontowany moduł nie wymaga uruchamiania i jest gotowy do pracy po podłączeniu zasilania.

**Adam Tatuś**
**adam.tatus@ep.com.pl**

**Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl**

**W ofercie AVT* AVT-5687**

**Podstawowe parametry:**
- konwerter do magistrali I²C,
- konwersja napięć z przedziału 1,2…5 V,
- zasilanie napięciem 5 V i 3,3 V.

**Wykaz elementów:**
R1: 200 kΩ SMD0805
RP1: 4×10 kΩ RPACK SMD
C1, C2: 100 nF SMD0805
U1: PCA9306D SO8

*** 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

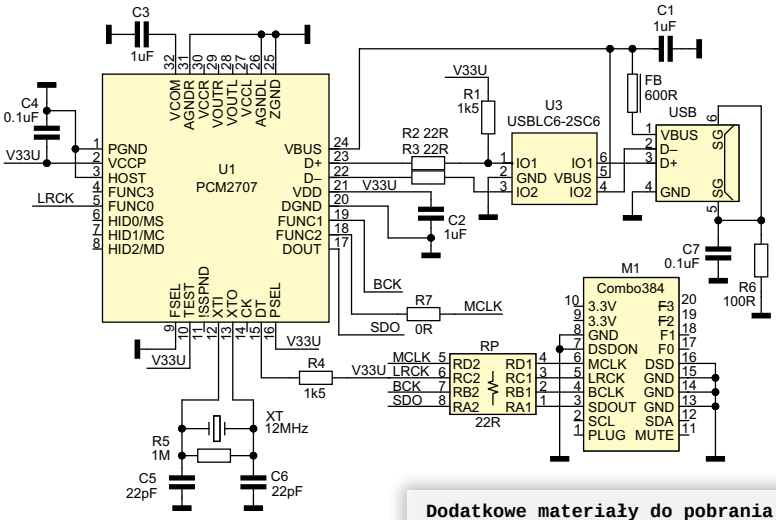
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!
*http://sklep.avt.pl*. W przypadku braku dostępności na *http://sklep.avt.pl*, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



eprasa.pl 4d9608b833

# Budżetowy interfejs USB↔I²S

*W opracowanych przeze mnie przetwornikach audio z interfejsem USB wykorzystywany był moduł Amanero. Jest to doskonałe rozwiązanie do szybkiej aplikacji interfejsu USB ↔I²S, niestety ma jedną wadę ograniczającą jego zastosowanie – cenę. Na prośbę czytelników opracowałem budżetową wersję interfejsu świetnie sprawdzającą się w standardowych aplikacjach z częstotliwościami próbkowania 32…48 kHz. Interfejs może służyć do współpracy z komputerkami SBC lub do rozbudowy własnych konstrukcji. Zostanie także użyty podczas kursu AudioDSP.*




**Rysunek 1. Schemat konwertera USB↔I²S**

## Budowa konwertera

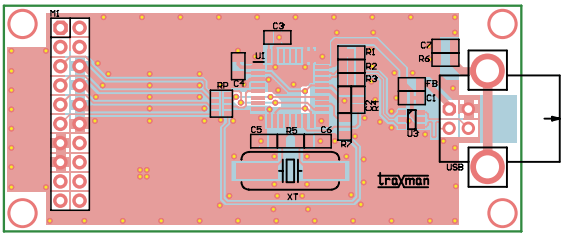
Na **rysunku 1** przedstawiony jest schemat konwertera USB↔I²S. Układ PCM2707 pracuje w typowej aplikacji i zasilany jest z portu USB. Sygnał ze złącza USB po zabezpieczeniu przepięciowym przez U3 typu USBLC6-2SC6, poprzez rezystory dopasowujące R2 i R3, doprowadzony jest do układu U1, gdzie strumień danych zostaje przekodowany do standardu I²S. Sygnał wyjściowy I²S i zegar systemowy MCLK doprowadzone są do złącza M1, zgodnego z wyprowadzeniami z Amanero. Podczas aplikacji modułu wymagane jest sprawdzenie wykorzystania funkcji F0...3 i MUTE, które nie są podłączone w opisywanym module. Dla zapewnienia poprawnej pracy z przetwornikiem DAC konieczne jest ustawienie odpowiednich poziomów logicznych na ww. wyprowadzeniach. Sygnał zegarowy MCLK poprowadzony jest przez zworę w postaci rezystora R7. Jeżeli aplikacja pracuje z własnym generatorem, należy zworę wylutować, aby niepotrzebnie nie propagować sygnałów w.cz. Wszystkie sygnały wyjściowe zgodne są z napięciem 3,3 V.

## Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany został na dwustronnej płytce. Schemat płytki wraz z rozmieszczeniem elementów przedstawia **rysunek 2** a szczegóły montażu pokazuje fotografia gotowego układu. Moduł nie wymaga uruchamiania. Po skonfigurowaniu współpracującego przetwornika DAC (sygnały MUTE oraz F0...3) i podłączeniu do PC zostanie wykryty automatycznie i zainstalowane zostaną najnowsze drivery. Po tych zabiegach układ jest gotowy do pracy.

W przypadku podłączenia do Raspberry Pi interfejs wykrywany jest automatycznie i jest dostępny jako DAC [USB Audio DAC], co można sprawdzić poleceniem *sudo aplay -l*. Jeżeli wszystko przebiegło pomyślnie, pozostaje tylko cieszyć się muzyką…

**Adam Tatuś**
**adam.tatus@ep.com.pl**



**Rysunek 2. Schemat płytki i rozmieszczenie elementów**

**Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl**

**W ofercie AVT* AVT-5689**

**Podstawowe parametry:**
- konwerter USB↔I²S,
- częstotliwości próbkowania 32…48 kHz,
- sygnały wyjściowe SDATA, SCLK, LRCK oraz MCLK, poziom 3,3 V
- zasilanie z USB.

**Wykaz elementów:**
R1, R4: 1,5 kΩ SMD0805
R2, R3: 22 Ω SMD0805
R5: 1 MΩ SMD0805
R6: 100 Ω SMD0805
R7: 0 Ω SMD0805
RP: 4×22 Ω RPACK SMD
C1…C3: 1 µF SMD0805
C4, C7: 100 nF SMD0805
C5, C6: 22 pF SMD0805
U1: PCM2707 TQFP32
U3: USBLC6-2SC6
FB: Koralik ferrytowy 600 Ω SMD0805
XT: Rezonator 12 MHz
M1: Złącze IDC20F
USB: Gniazdo USB B

*** 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 *http://sklep.avt.pl*, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



eprasa.pl 4d9608b833

# Sieci komórkowe w 2019 roku

*W dobie Internetu Rzeczy komunikacja bezprzewodowa jest podstawą większości nowoczesnych urządzeń elektronicznych, tak w przemyśle, jak i w elektronice konsumenckiej. Sposobów realizacji tej komunikacji jest wiele, ale w ostatnim czasie na ustach wszystkich, bo nie tylko elektroników, pojawia się hasło „5G". I choć jak to często bywa, szum w tym temacie jest nieco na wyrost, to technologie komórkowe, jakie już teraz trafiają do rąk elektroników, pozwalają na realizowanie zadań, które jeszcze do niedawna były nierealne lub nieopłacalne. W artykule opisujemy aktualnie stosowane technologie sieci komórkowych i prezentujemy stan ich wdrażania na świecie.*

W czerwcowym numerze „Elektroniki Praktycznej" opisaliśmy większość technologii komunikacji radiowej, jakie można stosować w nowych urządzeniach. Pominęliśmy jednak jedną grupę rozwiązań, która istotnie różni się od pozostałych, choć różnice te nieco się już zacierają – sieci komórkowe.

Wśród obecnie popularnych sposobów komunikacji bezprzewodowej dla urządzeń IoT dominuje wykorzystanie dwóch rodzajów pasm radiowych: sieci komórkowej oraz nielicencjonowanych pasm ISM (Industrial, Scientific, Medical). Pierwsza z opcji wymaga dostosowania aplikacji do standardów sieci obowiązujących w kraju, w którym urządzenie ma być użytkowane. Druga również podlega pewnym regionalnym ograniczeniom, ale większe znaczenie ma w tym przypadku wybór samego protokołu radiowego, z których poszczególne istotnie się od siebie różnią i które opisaliśmy miesiąc temu. Dawniej rozróżnienie polegało jeszcze na konieczności postawienia własnej infrastruktury (w przypadku komunikacji ISM na większą odległość) lub korzystania z gotowej (w sieciach komórkowych), ale wraz z pojawieniem się takich firm czy organizacji, jak Sigfox lub The Things Network, dostępność infrastruktury dostawcy sieci nie jest już oczywistym wyróżnikiem rozwiązań komórkowych. Tak czy inaczej, w tym miesiącu opowiadamy o technologiach komórkowych.

## Kolejne generacje

Technologie związane z komunikacją bezprzewodową za pośrednictwem sieci komórkowych to bardzo szybko rozwijająca się dziedzina techniki. Oprócz nowych sposobów modulacji i metod koordynacji przesyłu pakietów danych lub komutowania połączeń głosowych, to właśnie osiągnięcia w dziedzinie elektroniki są motorem napędzającym ten segment telekomunikacji. Rezultaty tego postępu widzimy na co dzień w ofertach operatorów komórkowych, którzy



eprasa.pl 4d9608b833

wprowadzają coraz nowsze, szybsze standardy przesyłu danych. Ten marketingowy pęd sprawił, że z technologiami komunikacji w sieciach komórkowych wiąże się szereg nieścisłości w nazewnictwie, które mogą być przyczyną nieporozumień. Szybki rozwój tych technik komunikacyjnych, powiązany ze złożonością rozwiązań stosowanych w sieciach komórkowych i różnorodnością standardów to główne przyczyny problemów z nomenklaturą. Podstawowy podział technologii wykorzystywanych do przesyłu danych w sieciach komórkowych opiera się na generacjach. Obecnie w Polsce funkcjonują jednocześnie sieci 2G, 3G i 4G, przy czym sieci drugiej i trzeciej generacji są stopniowo wycofywane.

Sama idea generacji sieci komórkowych nie odnosi się dokładnie do technik stosowanych do przesyłu danych lub dźwięku. Zamiast tego kolejne oznaczenia określają jedynie parametry użytkowe tych sieci. Parametry te można uzyskać za pomocą różnych standardów komunikacji, w efekcie czego, w różnych rejonach świata wybrano różne standardy jako podstawowe metody komunikacji w sieciach komórkowych. Przykładowo, o ile w Polsce jako standard trzeciej generacji implementowano UMTS, w USA był to CDMA2000. Różnice obejmują też pasma częstotliwości, w których prowadzona jest komunikacja w poszczególnych rejonach świata. W efekcie, pomimo że standard LTE zdominował komunikację sieci czwartej generacji na całym świecie, w poszczególnych regionach stosowane są różne częstotliwości pracy. Oznacza to, że aby zapewnić pełną przenośność projektowanego sprzętu, trzeba skorzystać z wielopasmowych modułów sieci komórkowych.

Początkowo problemem było też, że niektóre firmy nadużywają oznaczeń w celu wypromowania swoich produktów. Jeszcze kilka lat temu hasłem 4G określano sieci, które wcale wymogów 4G nie spełniały, ale dawało się w ten sposób przyciągnąć klientów. Teraz zaczynamy obserwować podobny trend w odniesieniu do hasła 5G. Co ciekawe, dotyczy to zarówno operatorów sieci, jak i producentów podzespołów. Poniżej opisujemy poszczególne generacje.

## 2G

Jeśli poszukujemy naprawdę taniego rozwiązania, a ilość przesyłanych przez nas danych nie będzie duża, możemy sięgnąć po modem 2G. Do technologii 2G należą m.in. GSM, standard przesyłu danych przez sieć komórkową – GPRS oraz EDGE (nazywane też EGPRS). Niekiedy GPRS i EDGE nazywane są technologiami 2,5G (a bywa, że EDGE nazywane jest też 2,75G), gdyż znacząco zwiększają szybkość transmisji danych w sieci, w porównaniu do klasycznego 2G. Technologia EDGE jest bardzo pomocna w sytuacji, gdy zasięg sieci 3G nie jest dostępny, a konieczny jest nieco szybszy przesył. Na szczęście, sieć 2G Edge jest dosyć powszechnie dostępna nawet w słabo zurbanizowanych regionach świata. Co ciekawe, jest ona wycofywana wolniej niż 3G, gdyż wcześnie wprowadzone technologie czwartej generacji są pod niemal każdym względem lepsze niż 3G. Natomiast jeśli zależy nam przede wszystkim na niskim poborze prądu i małej

**2FF – Mini SIM**
wysokość: 25 mm
szerokość: 15 mm
grubość: 0,76 mm

**3FF – Micro SIM**
wysokość: 15 mm
szerokość: 12 mm
grubość: 0,76 mm

**4FF – Nano SIM**
wysokość: 12,3 mm
szerokość: 8,8 mm
grubość: 0,67 mm

**MFFw – M2M Form Factor (eSIM)**
wysokość: 6 mm
szerokość: 5 mm
grubość: 0,67 mm

przepustowości na dużą odległość przy jak najmniejszych kosztach, to 2G wypada lepiej niż 3G i konkurencją dla drugiej generacji mogą być dopiero nowsze standardy 4G, takie jak Kat M i NB-IoT, które zaczęły być wdrażane jakieś 2 lata temu.

Czy to oznacza, że w rejonie, gdzie 4G nie jest jeszcze dostępne, a potrzebujemy tanich, niekoniecznie szybkich modułów, jesteśmy skazani na stare rozwiązania? Wcale nie! Producenci modułów rozumieją tę sytuację i co jakiś czas wprowadzają nowe produkty, które wciąż pracują jedynie z 2G, ale korzystają z nowych rdzeni, technologii wytwarzania i technik oszczędzania energii oraz wspierają bogatszy zestaw systemów pozycjonowania satelitarnego. Dzięki temu sięgnięcie po moduły do sieci komórkowych drugiej generacji wcale nie musi sprawiać, że tworzony projekt już na starcie będzie przestarzały.

## 3G

W porównaniu do 2G, rodzina technologii zaliczanych do 3G jest bardzo duża – obejmuje wiele wariantów poszczególnych standardów. Podstawą w Europie jest UMTS, ale ten w wersji klasycznej dopuszczał transfer danych w kierunku do użytkownika na poziomie nieprzekraczającym 128 kb/s. Nieco później wartość tę zwiększono do 384 kb/s. HSDPA, czyli High-Speed Download Packet Access, rozwija standard UMTS o dodatkowy kanał warstwy transportowej, obsługiwany przez trzy nowe kanały w warstwie fizycznej. Ich działanie polega na informowaniu sieci z niewielkim wyprzedzeniem na temat zapotrzebowania na pasmo do przesyłu pakietów w najbliższym czasie. Węzeł sieci komórkowej, do której podłączone jest dane urządzenie, przypisuje następnie odpowiedni kanał do transmisji, co pozwala na zwiększenie jej szybkości w stosunku do klasycznego UMTS.

Technologia HSDPA implementuje też automatyczny system ponawiania żądań, szybkie harmonogramowanie pakietów oraz adaptacyjne modulowanie i kodowanie. Ważny jest też fakt, że HSPDA występuje w wielu wariantach, określanych mianem kategorii i wprowadzanych grupami w kolejnych odsłonach standardu UMTS. Poszczególne kategorie różnią się sposobem zastosowanej modulacji (16QAM, QPSK, 64QAM), liczbą obsługiwanych jednocześnie strumieni, kodowaniem itd. Wskutek tego uzyskuje się różną przepustowość maksymalną w kierunku do użytkownika. Wśród kategorii HSDPA najbardziej efektywną pod względem wykorzystania dostępnego pasma przy zastosowaniu jednego strumienia i jednej nośnej jest wprowadzona w UMTS Release 7 kategoria 14. Umożliwia ona transmisję z przepustowością do 21,1 Mb/s. Wyższe kategorie wymagają już użycia dwóch lub czterech strumieni oraz/lub agregacji komunikacji na dwóch, trzech, czterech, sześciu lub nawet ośmiu nośnych. Jedenasta odsłona UMTS teoretycznie pozwala już na uzyskanie transmisji w kierunku do użytkownika, z szybkością nawet 337,5 Mb/s (kategorie 36. i 38.). Trzeba jednak zaznaczyć, że są to wartości czysto teoretyczne, które nie uwzględniają narzutów związanych z nagłówkami pakietów i zakładają idealne warunki radiowe. W rzeczywistych warunkach uzyskiwane szybkości są zdecydowanie niższe, przede wszystkim ze względu na odległość pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem i ze względu na innych użytkowników, znajdujących się w tej samej komórce.

Niedługo po pierwszym HSDPA opracowano też usprawnienie HSUPA, o analogicznej nazwie High-Speed Uplink Packet Access,



eprasa.pl 4d9608b833

noszące też nazwę EUL – Enhanced Uplink. Jego celem było przyspieszenie transmisji w kierunku od użytkownika do sieci komórkowej. HSUPA zostało włączone do standardu UMTS w jego 6. odsłonie i również występuje w różnych kategoriach – początkowo o przepustowości do 5,76 Mb/s (kategoria 6.). Zasada działania usprawnienia HSUPA jest podobna do HSDPA – też opiera się przede wszystkim na harmonogramowaniu przesyłu pakietów, z tym że w przypadku HSUPA urządzenie klienckie zgłasza zapotrzebowanie na przesył pakietów, a kontroler sieci przydziela odpowiednie zasoby do transmisji lub nie.

Kolejne kategorie HSUPA były wprowadzane przez organizację 3GPP w kolejnych odsłonach standardu UMTS wraz z nowymi kategoriami HSDPA. W UMTS Release 11 wprowadzono m.in. 12. kategorię HSUPA, która teoretycznie pozwala na transfer z szybkością do 34,5 Mb/s. Kategorie od 8. wzwyż zostały ponadto zaprojektowane tak, by skrócić opóźnienia w komunikacji.

Warto zauważyć, że w nazewnictwie stosowanym przez producentów podzespołów do komunikacji w sieciach komórkowych stosowane są też określenia HSPA i HSPA+. Pierwsze z nich obejmuje przypadek, gdy urządzenie lub sieć obsługuje zarówno HSDPA i HSUPA, choć nie definiuje ono, które kategorie muszą być obsługiwane. Przyjmuje się jednak, że mianem HSPA można już określać system obsługujący technologie HSDPA i HSUPA, wprowadzone w 6. odsłonie standardu UMTS.

Natomiast nazwa HSPA+ (oficjalnie Evolved HSPA) przysługuje urządzeniom obsługującym kategorie HSDPA i HSUPA, wprowadzone w UMTS Release 7 i/lub UMTS Release 8. Można też się spotkać z nazwą Dual-carrier HSPA, która obejmuje zastosowanie wprowadzonych w 9. odsłonie UMTS-u standardów DC-HSDPA i DC-HSUPA. Od wersji UMTS Release 11 pojawia się natomiast nazwa MC-HSPA, która obejmuje zastosowanie więcej niż dwóch nośnych do zwiększenia transmisji w sieciach komórkowych. HSPA+ zakłada również możliwość zastosowania uproszczonej architektury sieci po stronie operatora, w której kontrolery sieci komórkowej bezpośrednio korzystają z protokołu IP. Zmniejsza to koszt wdrożenia i obsługi takiej sieci. Duży wzrost szybkości, oferowany przez techniki HSPA+, sprawił, że niektórzy operatorzy zaczęli stosować miano 4G do promowania tego typu sieci komórkowych. Jednakże standard UMTS, nawet ze swoimi najnowszymi usprawnieniami, nie jest prawowitym standardem czwartej generacji.

## 4G

Czwarta generacja stawiała przed sieciami komórkowymi bardzo duże wyzwania – na tyle duże, że początkowo LTE również nie było zaliczane do standardu 4G, gdyż ich nie spełniało. Dopiero po pewnym czasie uznano, że odmienność LTE od UMTS oraz rosnąca popularność tego standardu są czynnikami, które uzasadniają potoczne użycie nazwy 4G w odniesieniu do sieci LTE.

Standard Long Term Evolution jest aktualnie powszechnie stosowany na całym świecie, częściowo w wersji kwalifikującej się jako

**Tabela 1. Pasma radiowe, stosowane w LTE w różnych regionach świata**

| Region świata | [MHz] |
|---|---|
| Europa | 450, 700, 800, 900, 1500, 1800, 2100, 2300, 2600, 3500, 3700 |
| Ameryka Północna | 600, 700, 750, 800 850, 1900, 2100, 2300, 2500, 2600 |
| Ameryka Łacińska | 750, 850, 900, 1700, 1800, 1900, 2100, 2600 |
| Azja | 450, 700, 800, 850, 900, 1500, 1800, 1900, 2100, 2300, 2500, 2600, 3500 |
| Afryka | 700, 800, 850, 900, 1800, 2100, 2500, 2600 |
| Australia i Oceania | 700, 800, 850, 1800, 2100, 2300, 2600 |

rozwiązanie klasy 3,9G, a częściowo w postaci LTE Advanced (począwszy od 10. wydania specyfikacji 3GPP) lub LTE Advanced Pro (kategorie wprowadzone od 13. wydania 3GPP). Dzięki wprowadzeniu licznych kategorii LTE zasięg tego rodzaju sieci przestał być tak dużym problemem, jak było to na początku. Obecnie około 75% powierzchni naszego kraju jest pokrytych przez LTE, a ponad 80 państw na świecie ma pokrytą przez LTE przynajmniej połowę swojego obszaru. Warto zauważyć, że dotyczy to także tak wielkich państw jak Chiny, USA, Rosja czy Kanada.

LTE funkcjonuje w różnych pasmach radiowych. Lista używanych pasm w poszczególnych regionach świata została zebrana w **tabeli 1**.

Teoretyczna szybkość transmisji, możliwa do osiągnięcia w standardzie LTE, również zależy od kategorii sprzętu, z którego się korzysta. W pierwotnej wersji standardu, którą ogłoszono w 2008 roku, zdefiniowano 5 kategorii o przepustowości od 10,3 Mb/s do 299,6 Mb/s w kierunku do użytkownika i o przepustowości od 5,2 Mb/s do 75,4 Mb/s w przeciwną stronę. Kategorie te zostały zebrane w **tabelach 2**, **3** i **4**. Wybierając moduł lub modem do sieci komórkowej LTE, należy przede wszystkim zwrócić uwagę na obsługiwane przez niego kategorie. Ma to o tyle duże znaczenie, że po stronie operatora może leżeć decyzja, że dana (stara) kategoria urządzenia nie będzie dopuszczana do sieci ze względu na zbyt niską efektywność wykorzystania pasma radiowego.

Warto też rozumieć, skąd wynikają różnice pomiędzy szybkościami uzyskiwanymi w poszczególnych kategoriach LTE oraz na czym polega odmienność tej sieci od UMTS. Warstwa radiowa interfejsu sieci LTE nosi miano E-UTRA (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access lub Evolved Universal Terrestrial Radio Access). Natomiast nadajniki/odbiorniki i urządzenia klienckie korzystające z E-UTRA tworzą sieć nazywaną EUTRAN (ostatnia literka pochodzi od słowa Network). W sieci tej komunikacja odbywa się w pasmach o szerokości 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 15 MHz lub 20 MHz. Przykładowo, niemal 300-megabitowa szybkość transmisji może być teoretycznie uzyskana przy zastosowaniu 20-megahercowego pasma i czterotorowej transmisji, która wymaga czterech anten odbiorczych w urządzeniu klienckim. W odróżnieniu od UMTS-u, LTE posługuje się wielodostępem OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) w kierunku do użytkownika i SC-FDMA (Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access) w kierunku przeciwnym. Użycie dwóch różnych sposobów wielodostępu modulacji jest uzasadnione tym, że pierwszy z nich narzuca zbyt duże wymagania odnośnie do liniowości zastosowanych wzmacniaczy radiowych, co pociąga za sobą zwiększone zużycie energii. Ponieważ urządzenia klienckie są zazwyczaj przenośne, a więc zasilane bateryjnie, w celu nadawania korzystają z bardziej energooszczędnej metody.

Twórcy LTE postarali się też skrócić opóźnienia



eprasa.pl 4d9608b833

**Tabela 2. Kategorie łączone urządzeń LTE i Advanced LTE oraz Advanced LTE Pro**

| Kategoria | | Numer wydania 3GPP, w którym została zaprezentowana maksymalna przepustowość [Mb/s] | Transfer do urządzenia | | | Transfer z urządzenia | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Maksymalna liczba strumieni multipleksowania przestrzennego (MIMO) | Wsparcie modulacji 256QAM | Maksymalna przepustowość [Mb/s] | Wsparcie dla modulacji 64QAM | |
| 0 | | 12 | 1 | 1 | Nie | 1 | Nie |
| 1 | | 8 | 10 | 1 | Nie | 5 | Nie |
| 1bis | | 14 | 10 | 1 | Nie | 5 | Nie |
| 2 | | 8 | 51 | 2 | Nie | 25 | Nie |
| 3 | | 8 | 102 | 2 | Nie | 51 | Nie |
| 4 | | 8 | 150 | 2 | Nie | 51 | Nie |
| 5 | | 8 | 299 | 4 | Nie | 75 | Tak |
| 6 | 4 | 10 | 301 | 2 lub 4 | Nie | 51 | Nie |
| 7 | 4 | 10 | 301 | 2 lub 4 | Nie | 102 | Nie |
| 8 | 5 | 10 | 2998 | 8 | Nie | 1497 | Tak |
| 9 | 6,4 | 11 | 452 | 2 lub 4 | Nie | 51 | Nie |
| 10 | 7,4 | 11 | 452 | 2 lub 4 | Nie | 102 | Nie |
| 11 | 9,6,4 | 11 | 603 | 2 lub 4 | Opcjonalne | 51 | Nie |
| 12 | 10,7,4 | 11 | 603 | 2 lub 4 | Opcjonalne | 102 | Nie |
| NB1 | | 13 | 0,68 | n.d. | n.d. | 1 | n.d. |
| NB2 | | 14 | 2,536 | n.d. | n.d. | 2,536 | n.d. |

w komunikacji w sieciach komórkowych. W tym celu uproszczono strukturę sieci i zoptymalizowano ją pod kątem przesyłu danych pakietowych, a nie pod kątem komutacji polegającej na nawiązywaniu i utrzymywaniu połączeń. Odpowiedniki stacji bazowych, występujące w UMTS i nazywane nodeB, zostały zastąpione jednostkami enodeB, które stanowią zintegrowany nodeB z kontrolerem sieci.

**Tabela 3. Kategorie osobno ustalane dla urządzeń pobierających dane w sieciach LTE, Advanced LTE i Advanced LTE Pro**

| Kategoria | Numer wydania 3GPP, w którym została zaprezentowana | Maksymalna przepustowość [Mb/s] | Maksymalna liczba strumieni multipleksowania przestrzennego (MIMO) | Wsparcie modulacji 256QAM |
|---|---|---|---|---|
| M1 | 13 | 1 | 1 | Nie |
| M2 | 14 | 4 | 1 | Nie |
| 0 | 12 | 1 | 1 | Nie |
| 1bis | 14 | 10 | 1 | Nie |
| 4 | 14 | 150 | 2 | Nie |
| 6 | 12 | 301 | 2 lub 4 | Nie |
| 7 | 12 | 301 | 2 lub 4 | Nie |
| 9 | 12 | 452 | 2 lub 4 | Nie |
| 10 | 12 | 452 | 2 lub 4 | Nie |
| 11 | 12 | 603 | 2 lub 4 | Opcjonalne |
| 12 | 12 | 603 | 2 lub 4 | Opcjonalne |
| 13 | 12 | 391 | 2 lub 4 | Obowiązkowe |
| 14 | 12 | 3916 | 8 | Obowiązkowe |
| 15 | 12 | 749 - 798 | 2 lub 4 | Opcjonalne |
| 16 | 12 | 978 - 1051 | 2 lub 4 | Opcjonalne |
| 17 | 13 | 25065 | 8 | Obowiązkowe |
| 18 | 13 | 1174 - 1206 | 2, 4 lub 8 | Opcjonalne |
| 19 | 13 | 1566 - 1658 | 2, 4 lub 8 | Opcjonalne |
| 20 | 14 | 1948 - 2019 | 2, 4 lub 8 | Opcjonalne |
| 21 | 14 | 1348 - 1413 | 2 lub 4 | Opcjonalne |
| 22 | 15 | 2349 - 2562 | 2, 4 lub 8 | Opcjonalne |
| 23 | 15 | 2695 - 2869 | 2, 4 lub 8 | Opcjonalne |
| 24 | 15 | 2936 - 3028 | 2, 4 lub 8 | Opcjonalne |
| 25 | 15 | 3132 - 3316 | 2, 4 lub 8 | Opcjonalne |
| 26 | 15 | 3422 - 3531 | 2, 4 lub 8 | Opcjonalne |



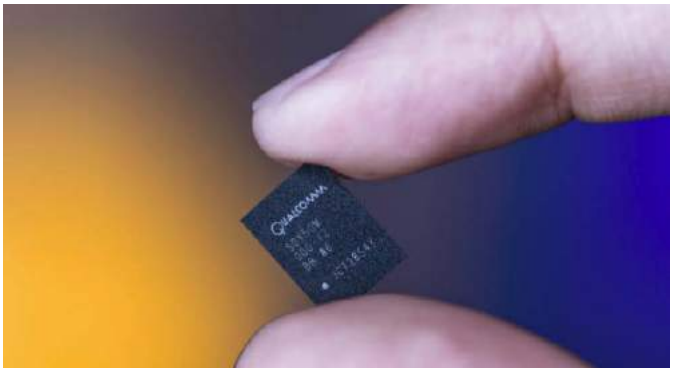
eprasa.pl 4d9608b833

**Tabela 4. Kategorie osobno ustalane dla urządzeń wysyłających dane w sieciach LTE, Advanced LTE i Advanced LTE Pro**

| Kategoria | Numer wydania 3GPP, w którym została zaprezentowana | Maksymalna przepustowość [Mb/s] | Wsparcie modulacji 64QAM | Wsparcie modulacji 256QAM |
|---|---|---|---|---|
| M1 | 13 | 1 | Nie | Nie |
| M2 | 14 | 6 | Nie | Nie |
| 0 | 12 | 1 | Nie | Nie |
| 1bis | 14 | 5 | Nie | Nie |
| 3 | 12 | 51 | Nie | Nie |
| 5 | 12 | 75 | Tak | Nie |
| 7 | 12 | 102 | Nie | Nie |
| 8 | 12 | 1497 | Tak | Nie |
| 13 | 12 | 150 | Tak | Nie |
| 14 | 13 | 9585 | Tak | Nie |
| 15 | 13 | 226 | Tak | Nie |
| 16 | 14 | 105 | Tak | Tak |
| 17 | 14 | 2119 | Tak | Tak |
| 18 | 14 | 211 | Tak | Tak |
| 19 | 14 | 13563 | Tak | Tak |
| 20 | 14 | 316 | Tak | Tak |
| 21 | 14 | 301 | Tak | Nie |
| 22 | 15 | 422 | Tak | Tak |
| 23 | 15 | 527 | Tak | Tak |
| 24 | 15 | 633 | Tak | Tak |
| 25 | 15 | 738 | Tak | Tak |
| 26 | 15 | 844 | Tak | Tak |

Zmniejsza to koszt instalacji stacji oraz skraca opóźnienia. Co więcej, jednostka enodeB komunikuje się w z otoczeniem bezpośrednio z użyciem protokołu IP, co również upraszcza jej wdrożenie i obsługę. Sieć LTE została też usprawniona względem UMTS pod kątem obsługi komunikacji z urządzeniami szybko się poruszającymi oraz w celu obsługi bardzo małych komórek sieciowych, choćby o średnicy około 100 m. Oczywiście, zapewniono mechanizmy przekazywania połączeń pomiędzy sieciami LTE i starszych generacji, zwiększono pojemność pojedynczych komórek oraz zoptymalizowano je dla rozmiarów o promieniu 5 km.

O aplikacjach typu IoT organizacja 3GPP pomyślała już w trakcie wydawania 8. wersji swojej specyfikacji, tworząc kategorię 1. Niestety,



nie spełnia ona oczekiwań wielu projektów IoT, oferując niepotrzebnie dużą przepustowość przy jednoczesnym wcale nie tak małym poborze mocy. Dlatego w wydaniu 12. specyfikacji wprowadzono kategorię 0, która cechowała się już 10-krotnie mniejszą przepustowością do urządzenia, równą przepustowości w kierunku do stacji bazowej i wynoszącą 1 Mb/s. Ale największe zmiany pojawiły się w wydaniu 13., w którym dodano kategorie M1 i NB-IoT1 oraz EC-GSM-IoT. Natomiast w kolejnym, 14. już wydaniu, dodano jeszcze kategorię M2 i NB-IoT2. Bardziej szczegółowe parametry transmisji w urządzeniach zgodnych z kategoriami LTE pomyślanymi o IoT zebraliśmy w **tabeli 5**.

Wspomnieliśmy już, że LTE pokrywa ogromną część obszaru wielu państw, ale przecież poszczególne kategorie LTE bardzo się od siebie różnią. Na ile można więc polegać na modemie pracującym w którejś z kategorii pomyślanych pod kątek IoT? Na to pytanie odpowiada organizacja GSA (Global Mobile Suppliers Association), stowarzyszenie, które promuje i monitoruje wdrażanie technologii 3G, 4G i 5G. Najnowszy raport na temat dostępności sieci komórkowych pod kątem IoT został opracowany w kwietniu tego roku i podaje stan na marzec 2019. Cytując za raportem, w ciągu 12 miesięcy go poprzedzających, zaobserwowano ogromny wzrost liczby sieci wspierających LTE NB-IoT i LTE kat. M. Przybyło też modułów gotowych do pracy z tymi kategoriami, a w ostatnich kilku miesiącach zaczęły pojawiać się moduły zgodne z NB-IoT2. Podano też konkretne liczby.

Na świecie działają 124 sieci NB-IoT lub LTE-M, obsługiwane przez 104 różnych operatorów. Aktualnie w technologie NB-IoT inwestuje 141 operatorów, podczas gdy rok wcześniej było to 116 firm. 90 spośród nich uruchomiło sieci NB-IoT (wzrost z 59 rok temu). 30 operatorów planuje lub zaczyna wdrażać sieci NB-IoT. 21 firm dopiero testuje technologie z nimi związane. Natomiast w technologie LTE-M inwestuje 60 operatorów (przed rokiem było ich 47). 34 już wdrożyło komercyjnie sieci LTE-M, 14 planuje lub aktualnie wdraża, a 12 testuje. Zgodnie z danymi organizacji GSA na rynku dostępnych jest 29 różnych układów scalonych, które obsługują NB-IoT lub LTE kategorii M1.

Warto też wspomnieć o tym, co organizacja GSA mówi na temat stopnia wdrożenia innych kategorii LTE. Ma ona dane o 734 aktualnych operatorach LTE na świecie i 112 kolejnych, którzy mają licencję na LTE, starają się wdrożyć takie sieci lub planują to zrobić w przyszłości. Spośród tych wszystkich firm, 298 wdrożyło już sieci zgodne z LTE-Advanced lub LTE Advanced Pro. 174 firmy inwestują w rozwój którejś z technologii zaliczanych do LTE Advanced Pro.

Wśród firm działających z LTE, 136 operatorów inwestuje, a w tym 75 już komercyjnie wdrożyło sieci korzystające z technologii 4×4 MIMO. 57 poszło dalej i zaimplementowało technologię 8T8R MIMO lub Massive MIMO, a 63 z 109 inwestujących skutecznie wdrożyło modulację 256 QAM w kierunku do urządzeń klienckich.

## 5G

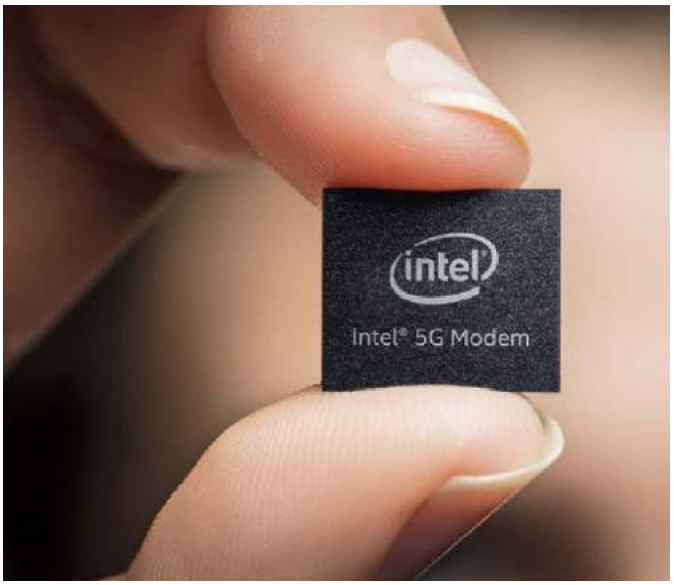
Skoro tak wiele firm na świecie wdraża dopiero 4G, to kiedy możemy spodziewać się pojawienia sieci piątej generacji? Temat wcale nie jest łatwy, bo o ile w przypadku 4G



eprasa.pl 4d9608b833

**Tabela 5. Parametry kategorii LTE, dostosowanych do potrzeb Internetu Rzeczy**

| Parametr/Kategoria LTE | LTE Cat. 1 | LTE Cat. 0 | LTE Cat. M1 | LTE Cat. M2 | LTE Cat. NB1 | LTE Cat. NB2 | EC-GSM-IoT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Wydanie 3GPP | 8 | 12 | 13 | 14 | 13 | 14 | 13 |
| Maksymalna przepustowość do urządzenia | 10 Mb/s | 1 Mb/s | 1 Mb/s | 4 Mb/s | 680 kb/s | 2536 kb/s | 474 kb/s (EDGE) 2 Mb/s (EGPRS2B) |
| Maksymalna przepustowość z urządzenia | 5 Mb/s | 1 Mb/s | 1 Mb/s | 6 Mb/s | 1000 kb/s | 2536 kb/s | 474 kb/s (EDGE) 2 Mb/s (EGPRS2B) |
| Opóźnienia | 50...100 ms | b.d. | 10...15 ms | b.d. | 1,6...10 s | b.d. | 700...2 s |
| Liczba anten | 2 | 1 | 1 | b.d. | 1 | b.d. | 1...2 |
| Dopuszczalny tryb duplex | Full Duplex | Full lub Half Duplex | Full lub Half Duplex | b.d. | Half Duplex | b.d. | Half Duplex |
| Pasmo transmisji | 1,4...20 MHz | 1,4...20 MHz | 1,4 MHz | b.d. | 180 kHz | b.d. | 200 kHz |
| Liczba strumieni danych | 2 (MIMO) | 1 (SISO) | 1 (SISO) | b.d. | 1 (SISO) | b.d. | 1...2 |
| Moc transmisji, używana przez urządzenie | 23 dBm | 23 dBm | 20/23 dBm | b.d. | 20/23 dBm | b.d. | 23/33 dBm |




sprowadzał się głównie do technologii i opłat licencyjnych, o tyle 5G interesują się też dodatkowo agencje wywiadowcze oraz osoby zajmujące się ochroną zdrowia. Hasło 5G zrobiło się na tyle głośne, że przyciąga różne zainteresowane strony. Potencjał możliwości, jakie obiecuje się w ramach wdrożenia sieci komórkowych piątej generacji, sugeruje totalną rewolucję, poniekąd za sprawą IoT. Do tego, jednym z bardzo ważnych graczy na rynku technologii do sieci 5G jest Huawei, który w ostatnim czasie podpadł zachodnim rządom i został wyeliminowany z wielu przetargów. Nie zmienia to faktu, że prace nad technologiami 5G i ich wdrażanie trwa. Nawet pomimo, że GSM Association szacuje, że wyeliminowanie firmy Huawei z przetargów zwiększy koszty wdrożenia 5G w Europie o 55 mld euro i opóźni efekty o półtora roku.

Czym różnią się sieci 5G od sieci 4G? Przede wszystkim oczekiwaną przepustowością i liczbą jednocześnie obsługiwanych użytkowników w małej przestrzeni. Ale biorąc pod uwagę, jak różne są możliwości poszczególnych kategorii sieci czwartej generacji, postawienie wyraźnej kreski pomiędzy jedną a drugą grupą technologii nie jest takie oczywiste, szczególnie jeśli odniesiemy się do LTE Kat. M i NB-IoT, które już teraz niektórzy zaliczają do 5G. Dlaczego? Zapewne dlatego, że należy się spodziewać, że sieci te będą w przyszłości bardzo istotnymi elementami infrastruktury operatorów.

Wróćmy jednak do rdzenia sieci 5G, czyli technologii określanej mianem 5G NR (New Radio). Obecnie najczęściej przyjmuje się, że definicja technologii sieci komórkowej, która spełnia wymogi specyfikacji 5G, została podana przez organizację 3GPP w 15. wydaniu swojej dokumentacji, upublicznionym nieco ponad rok temu. Określa się ją też mianem pierwszej fazy standaryzacji, a druga ma pojawić się w 16. wydaniu, jakie planowane jest na koniec bieżącego roku.

Przed technologią 5G postawiono bardzo ambitne cele. Podstawowym jest prędkość transmisji do 20 Gb/s oraz tysiąckrotny wzrost pojemności sieci. Co więcej, ta technologia musi również zapewnić wsparcie dla nowych usług, w tym tych już znanych pod wspólną nazwą IoT oraz krytycznej czasowo komunikacji maszyna-maszyna i człowiek-maszyna, zapewniając przy tym jak najkrótszy czas latencji i jak najwyższy poziom niezawodności. To wszystko ma być bazą do rozwoju nowych technologii monitorowania urządzeń, ich zdalnej kontroli oraz nowych usług transportowych, a także Przemysłu 4.0. Całość ma spowodować rewolucję na skalę, jakiej zachodnie społeczeństwo nie widziało w XX ani XXI wieku.

Główne spektrum częstotliwości radiowych wykorzystywanych w sieciach 5G mieści się w zakresie od 3,3 GHz do 4,9 GHz. Mniejsze częstotliwości, leżące poniżej 1 GHz, pozostawiono do wykorzystania urządzeniom mającym zapewnić pokrycie obszaru oraz penetrowanie pomieszczeń. Fale milimetrowe, z zakresu częstotliwości od 24 GHz do 28 GHz oraz 39 GHz, są używane przez lokalne hotspoty oraz aplikacje zapewniające łączność na zewnątrz i wewnątrz pomieszczeń. Interfejs radiowy sieci 5G opracowano w taki sposób, aby zapewniał maksymalną elastyczność, pozwalając na łączne użycie fal z różnych zakresów częstotliwości. Stosowane są także techniki MIMO i Massive MIMO, które pozwalają na odpowiednie kształtowanie charakterystyki promieniowania i dzięki temu pokrycia obszaru, a także skierowania wiązki radiowej

eprasa.pl 4d9608b833

w stronę przeciwną do użytkownika. Dzięki antenom MIMO będzie też możliwe współistnienie na tym samym obszarze technologii LTE i 5G. Będzie to miało znaczenie szczególnie na początku, gdy sieci 5G będą wdrażane w oparciu na warstwie kontrolnej, pracującej na sieciach czwartej generacji.

O ile sieci LTE wspierają schematy modulacji QPSK, 16QAM, 64QAM i 256QAM, o tyle sieci 5G dodatkowo pracują z modulacją n/2-BPSK. Można się spodziewać, że w przyszłości do standardu 5G dojdzie jeszcze wsparcie modulacji 1024 QAM.

W 5G inaczej zbudowane są też ramki transmisyjne. Przygotowano je m.in. pod kątem minimalizacji opóźnień i w celu uzyskiwania szybkiego potwierdzania. Docelowy czas latencji dla sieci 5G ma wynosić około 1 ms. By było to możliwe, niezbędne staje się stosowania technologii MEC (Multi-Access Edge Computing), polegającej na przesunięciu obliczeń wykonywanych z centrum sieci do jej krawędzi, bliżej odbiorcy usług. Korzystając z MEC, zamiast przesyłać wszystkie dane do analizy do punktu centralnego, urządzenia znajdujące się na krawędzi sieci analizują, przetwarzają i zapamiętują dane. Wymagania odnośnie do bardzo krótkiego czasu latencji są zwykle łączone z wymaganiami odnośnie do niezawodności w wypadku nowych aplikacji, takich jak na przykład sterowanie robotami lub pojazdami autonomicznymi.

Co ciekawe, technologię 5G opracowywano z myślą o działaniu w bardzo dużym zakresie częstotliwości radiowych, tj. od 400 MHz nawet do 90 GHz. Wynika to z konieczności zapewnienia ogromnej pojemności i przepustowości sieci.

Jak w praktyce wygląda teraz stan wdrażania sieci 5G i możliwość korzystania z nich? Na to pytanie ponownie odpowiada organizacja GSA. Aktualnie w 91 krajach świata 231 operatorów testuje, wdraża lub planuje wdrażać instalacje 5G. W połowie maja tego roku 41 operatorów twierdziło, że już wdrożyło w swoich sieciach jakieś technologie 5G, z czego 12 faktycznie przygotowało sieci zgodne ze specyfiką organizacji 3GPP.

GSA monitoruje też postępy w powstawaniu urządzeń do korzystania z sieci 5G. W maju mieliśmy 33 producentów, którzy już

## Skróty zastosowane w artykule

Poniżej wyjaśniamy skróty, jakie pojawiły się w artykule

**3GPP** – 3rd Generation Partnership Project – organizacja pracująca nad technologiami komunikacji radiowej

**5G NR** – New Radio – nazwa technologii sieci piątej generacji

**CDMA2000 (IMT-CDMA)** – Multi-Carrier Code Division Multiple Access – stosowany w USA standard telefonii komórkowej trzeciej generacji

**DC-HSDPA** – Dual-Carrier High-Speed Downlink Packet Access – szybsza technika zwiększająca przesył danych w kierunku do urządzenia klienckiego, w sieciach komórkowych

**DC-HSPA** – Dual-Carrier High-Speed Packet Access – szybsza technika zwiększająca przesył danych, w sieciach komórkowych, łącząca techniki HSDPA i HSUPA

**DC-HSUPA** – Dual-Carrier High-Speed Uplink Packet Access – szybsza technika zwiększająca przesył danych w kierunku od urządzenia klienckiego, w sieciach komórkowych

**EC-GSM-IoT** – Extended Coverage GSM Internet of Things – standard bazujący na eGPRS, pozwalający na komunikacje bardzo dużej liczby urządzeń, korzystających z małej przepustowości

**EDGE** – Enhanced Data Rates for GSM Evolution – technika zwiększenia szybkości transmisji w sieciach drugiej generacji

**eSIM** – electronic Subscriber Identity Module – karta SIM w postaci układu scalonego do wlutowania na płytkę drukowaną

**E-UTRA** – Evolved UMTS Terrestrial Radio Access lub Evolved Universal Terrestrial Radio Access – interfejs radiowy w technologii LTE

**EUTRAN** – Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network lub Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network – architektura sieci LTE

**GPRS** – General Packet Radio Service – technika pakietowego przesyłania danych w sieciach GSM

**GSA** – Global Mobile Suppliers Association – organizacja monitorująca rozwój sieci komórkowych

**GSM** – Global System for Mobile Communications – europejski standard komunikacji komórkowej drugiej generacji

**HSDPA** – High-Speed Downlink Packet Access – technika zwiększająca przesył danych w kierunku do urządzenia klienckiego, w sieciach komórkowych

**HSPA** – High-Speed Packet Access – technika zwiększająca przesył danych, w sieciach komórkowych, łącząca techniki HSDPA i HSUPA

**HSUPA** – High-Speed Uplink Packet Access – technika zwiększająca przesył danych w kierunku od urządzenia klienckiego, w sieciach komórkowych

**ISM** – Industrial, Scientific, Medical – nielicencjonowane pasmo radiowe

**LTE** – Long Term Evolution – standard telefonii komórkowej niemal czwartej generacji

**MEC** – Multi-Access Edge Computing – bazująca na chmurze usługa obliczeniowa, działająca na krawędzi sieci

**MIMO** – Multiple Input, Multiple Output – technika odbierania i nadawania fal radiowych za pomocą wielu anten

**NB-IoT** – Narrow Band IoT – komunikacja komórkowa z wykorzystaniem fal w wąskim paśmie radiowym

**OFDM** – Orthogonal Frequency-Division Multiplexing – metoda kodowania danych na wielu częstotliwościach nośnych

**SC-FDMA** – Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access – metoda wielodostępu, będąca rozbudowaną wersją metody OFDM

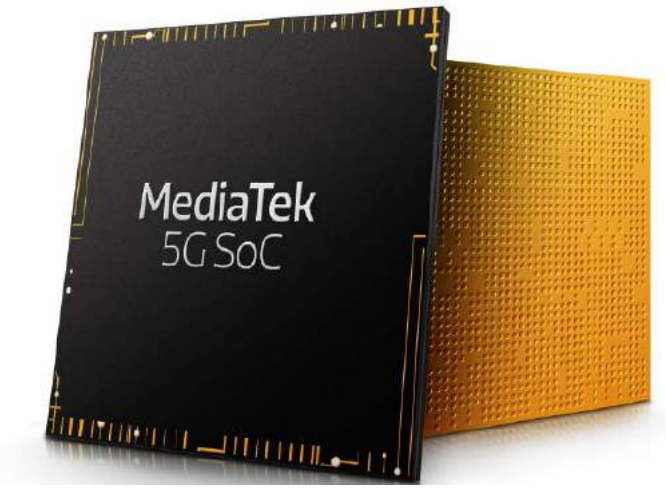
**SIM** – Subscriber Identity Module – kart pozwalająca zidentyfikować abonenta

**UMTS** – Universal Mobile Telecommunications System – popularny standard telefonii komórkowej trzeciej generacji



eprasa.pl 4d9608b833

udostępnili lub ogłosili łącznie 64 produkty do sieci 5G. Składa się na nie m.in. 17 telefonów, 6 hostpostów, 16 modułów, 2 routery IoT oraz 1 laptop. Układy scalone do obsługi sieci 5G produkuje obecnie 5 firm: Huawei, Intel, Mediatek, Qualcomm i Samsung, przy czym Intel ogłosił, że wycofuje się z produkcji modemów 5G.




## Podsumowanie

Czym w takim razie, w kontekście przedstawionych informacji, powinien się kierować inżynier, poszukujący technologii bezprzewodowej transmisji danych? Jeśli ustali, że musi sięgnąć po sieć komórkową, w pierwszej kolejności powinien określić, jakiej oczekuje przepustowości i jakiego poboru mocy. Następnie powinien zdecydować, w jakich rejonach świata będzie pracować tworzone urządzenie, czy będzie się poruszać i czy może liczyć na dobre pokrycie siecią komórkową. Biorąc pod uwagę te dane, konstruktor powinien zajrzeć do tabel, najlepiej tych odnoszących się do technologii 4G i wskazać kategorie standardów, które najbardziej spełniają jego oczekiwania. Jeśli projekt ma trafić do produkcji dopiero po dłuższym czasie, można już też zainteresować się specyfikacjami poszczególnych odmian sieci 5G.

Mając określone oczekiwania i technologie, należy poszukać dobrego dostawcy. Aktualnie rynek modemów do komunikacji w sieciach komórkowych jest ogromny – funkcjonują na nim nie tylko znane marki, ale i dalekowschodni producenci, dopiero co wkraczający do Europy. Decydując się na moduł, warto zwrócić uwagę na dotychczasowy sposób prowadzenia biznesu przez producenta. Patrząc na to, jak nieprzewidywalnie zmienia się rozwój sieci komórkowych, dobrze jest wybrać takiego dostawcę, u którego można liczyć na pojawienie się nowszych wersji modułów, zgodnych pod względem wyprowadzeń ze starszymi generacjami. W ten sposób bardzo łatwo będzie zmodernizować przygotowany projekt, by był zgodny z innym standardem, niż przyjęto w pierwotnych założeniach.

Na koniec warto też pomyśleć o wyborze operatora, zapoznać się z jego ofertą oraz dowiedzieć, czy można zastosować rozwiązanie klasy eSIM zamiast klasycznej karty. Koszt i rozmiar gniazda na kartę SIM często stanowią dodatkowe ograniczenie, szczególnie w niewielkich urządzeniach przenośnych. A sama oferta i pokrycie sieci operatora mogą spowodować, że wybrana technologia okaże się nieopłacalna i na potrzeby niektórych wdrożeń warto będzie wyposażyć tworzone urządzenie w tani moduł, zgodny jedynie ze starym, dobrym 2G.

**Marcin Karbowniczek, EP**


## tinyTILE – zestaw rozwojowy firmy Intel

Dzięki uprzejmości Farnell element14 mamy dla czytelników EP płytkę tinyTILE z modułem Intel Curie. Jest to miniaturowa odmiana płytki Arduino/Genuino 101, o wymiarach ok. 35 mm×26 mm. Moduł może być programowany z wykorzystaniem IDE Arduino lub oprogramowania firmy Intel – zestawu rozwojowego Intel Curie Open Developer Kit (CODK). Spodnia strona płytki tinyTILE jest płaska, z dużą liczbą punktów testowych, które zapewniają dostęp do prawie wszystkich wejść/wyjść.
Moduł Curie to moduł Compute niskiej mocy, który jest dostarczany z czujnikami ruchu, BLE, ładowarką akumulatora i możliwościami dopasowywania wzorów do zoptymalizowanej analizy danych czujnika. Pozwala na szybką i łatwą identyfikację czynności oraz ruchów. Jest to kompletne rozwiązanie o bardzo małym poborze prądu, zaprojektowane do użytku w urządzeniach noszonych i produktach konsumenckich. Moduł Intel Curie ma cechy, które predysponują go do zastosowań typu „always-on":

- 32-bitowy mikrokontroler Intel Quark o małym poborze prądu.
- Pamięć Flash 384 kB, 80 kB SRAM.
- Zintegrowany układ procesora DSP i możliwością rozpoznawania wzorów.
- Interfejs bezprzewodowy Bluetooth Low Energy (BLE).
- 6-osiowy czujnik kombinowany z przyspieszeniomierzem i żyroskopem

KLUB APLIKANTÓW PRÓBEK KAP www.ep.com.pl/KAP

**więcej informacji o KAP na stronie 52**




eprasa.pl 4d9608b833

# Terminal GSM CT63 E

*Człowiek nieustannie dąży do tworzenia coraz bardziej inteligentnych robotów. Tu jest jeszcze sporo do zrobienia. Roboty muszą się też ze sobą komunikować, a to już potrafią. Internet rzeczy, M2M to na razie być może tylko zalążki komunikacji maszyn bez udziału człowieka, ale to już działa i to z roku na rok coraz lepiej.*

**Produkt dostępny na *www.conrad.pl***

Jednym z podstawowych składników systemów komunikacji między maszynami są terminale. Zbierają one dane z otoczenia i przesyłają za pośrednictwem medium, do którego są przystosowane. Takim medium w rozwiązaniach IoT jest jak sama nazwa wskazuje Internet, w przypadku rozwiązań M2M medium stanowi sieć GSM. W artykule opisano terminal CT63 E przeznaczony do niewymagających aplikacji M2M, produkowany przez CEP Terminals. Jest to urządzenie stosunkowo proste, lecz korzystające z najnowszych technologii. Terminal jest przystosowany do komunikacji GSM w pasmach 900 i 1800 MHz, w tym do pakietowej transmisji danych GPRS. Może być więc używany w całej Europie i w innych krajach, w których pasma te są dostępne. Urządzenie mieści się w małym pudełku o wymiarach: 66×77×26 mm. Dostęp do karty SIM zapewnia wysuwane wieczko umiejscowione w górnej części obudowy (**fotografia 1**). Tuż nad nim znajdują się trzy diody świecące sygnalizujące stan pracy urządzenia. Sygnalizowane jest wyłączenie terminala, poszukiwanie sieci, zalogowanie do sieci oraz realizacja połączenia. Od góry dostępne są ponadto dwa otwory montażowe. Z kolei na jednej z bocznych ścianek dostępne jest gniazdo anteny RF i gniazdo portu RS232, a na drugiej gniazdo mini USB i 6-przewodowe gniazdo RJ11, poprzez które doprowadzane jest zasilanie terminala. Nie jest możliwe zasilanie urządzenia przez gniazdo mini USB. Wbrew temu, co mogłaby sugerować nazwa nie służy ono transmisji danych cyfrowych, a pełni funkcję interfejsu audio z liniami MIC–, MIC+, EAR– i EAR+. Do poprawnej pracy modemu wymagane jest napięcie zasilające od 5 do 32 V. Jako dość nietypową można uznać metodę włączania terminala. Polega ona na podaniu aktywnego stanu wysokiego na dedykowanej linii TO_IN przez czas dłuższy niż 1 sekunda. Ponieważ nie są to standardowe rozwiązania, zastosowano specjalne zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją linii zasilających.

Do gniazda typu FME powinna być dołączona 50-omowa antena RF o zysku 3 dBi, ale uwaga, anteny nie ma w zestawie. Dokonując wyboru należy zadbać, aby była ona przystosowana do pracy w zakresie częstotliwości GSM 900/1800 MHz z pasmem 80 MHz. Zastosowanie zewnętrznej anteny ma na celu zapewnienie wystarczająco silnego sygnału umożliwiającego realizację połączeń GSM. Czasami konieczne jest odpowiednie umiejscowienie terminala. Do sprawdzania czy siła sygnału jest wystarczająca w danym miejscu można wykorzystać telefon komórkowy. Jakość sygnału jest też kontrolowana komendą AT+CSQ. Zadbanie o jakość odbieranego sygnału nie jest jedynym obowiązkiem instalatora. Musi zadbać również o to, by terminal nie zakłócał pracy innych urządzeń znajdujących się w pobliżu. Zalecane jest zachowanie minimum 50-centymetrowej odległości od anten innych urządzeń. Z tego względu można rozważać stosowanie oddalonych anten dołączanych do terminala kablem. W przypadkach krytycznych może się nawet okazać konieczne stosowanie anten kierunkowych wycelowanych w stację bazową.

Niezbędnym elementem dla poprawnej pracy terminala GSM jest oczywiście karta SIM. Czytnik zainstalowany w modelu CT63 E obsługuje wersje zasilane napięciem 1,8 V oraz 3 V. Karta jest umieszczana w czytniku od góry po wcześniejszym dosunięciu zatrzasku w kierunku pozycji „Open" (**fotografie 2a** i **2b**). Umożliwia to podniesienie górnego elementu zatrzasku i wsunięcie do niego karty tak, aby były widoczne wszystkie styki (fotografia 2d). Teraz ruchomą część gniazda można wrócić do położenia poziomego i zatrzasnąć zasuwkę (fotografia 2f).

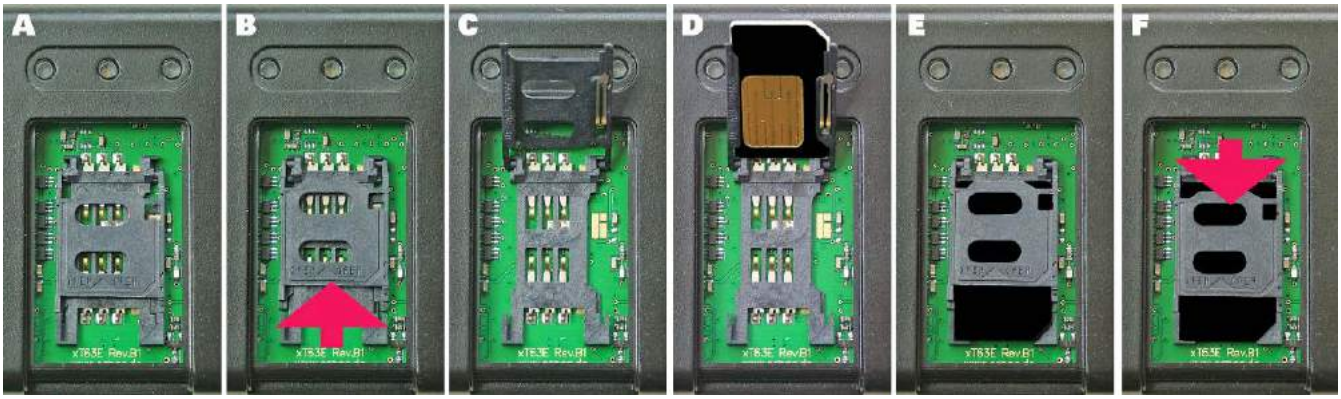
## Port RS232

Stary, wysłużony interfejs komunikacyjny RS232 nadal jest stosowany w podobnych do CT63 E terminalach. W tym przypadku jest to pełna wersja z liniami RI, DTR, DCD, DSR, RTS i CTS. Nie jest to jednak pełny standard. Większość linii ma napięcia progowe powyżej +4 V i poniżej –4 V. Linia TD ma progi powyżej 2,4 V i poniżej 0,8 V (jak w standardzie TTL). Pewne różnice występują też w liniach DTR i RTS. Szczegółów należy szukać w instrukcji. Gniazdo portu RS232 to typowy 9-pinowy Sub-D. Terminal powinien być traktowany jako urządzenie komunikacyjne do transmisji danych (DCE – Data Communication Equipment), a w aplikacjach

**Fotografia 1. Pokrywa obudowy terminala z widoczną klapką osłaniającą kartę SIM**



eprasa.pl 4d9608b833




**Fotografia 2. Umieszczanie karty SIM w gnieździe**

zewnętrznych jako urządzenie końcowe DTE (Data Terminal Equipment). Transmisja danych przez port RS232 terminala CT63 E może być realizowana z szybkością do 230400 kb/s. Szybkość transmisji jest ustalana programowo w zakresie od 300 do 230400 b/s, ale możliwa jest też praca z automatycznym wykrywaniem w zakresie od 1200 do 230400 b/s.

W łączności za pośrednictwem interfejsu RS232 stosowane jest sprzętowe lub programowe sterowanie przepływem. W terminalu CT63 E domyślna jest wersja sprzętowa. Komunikacja rozpoczyna się pod warunkiem wystawienia przez aplikację niskiego poziomu na linii RTS. Terminal odpowiada wówczas ustawieniem linii CTS w stan niski, co oznacza gotowość do wymiany danych przez urządzenie DCE. Interfejs RS232 nie wymaga stosowania linii zegarowych, realizuje transmisję asynchroniczną. Dane są wysyłane linią TD, a odbierane linią RD. Sterowanie modemem odbywa się za pośrednictwem komend AT.

## Włączenie i wyłączenie terminala

Terminal CT63 E jest w pełni zdalnie sterowany. Nie ma nawet wyłącznika zasilania. Jak już było powiedziane włączenie odbywa się przez podanie stanu wysokiego na linię TO_IN i przytrzymanie go przez co najmniej 1 sekundę. Należy zadbać, aby stan aktywny TO_IN nigdy nie wyprzedzał napięcia zasilającego VCC. Można te linie łączyć ze sobą, czasami pomaga również dołączenie kondensatora o dużej pojemności. Producent zaleca też stosowanie firmowego zasilacza.

Linia TO_IN powoduje tylko włączenie urządzenia. Po zainicjowaniu pracy nie jest już monitorowana, co trochę komplikuje wyłączenie terminala. Jest to możliwe tylko przez odłączenie napięcia zasilającego podawanego przez gniazdo. Można natomiast wprowadzić urządzenie w tryb obniżonego poboru prądu, co odbywa się przez wysłanie odpowiedniej komendy AT („AT+CFUN=9"). Funkcja ta może być jednak zablokowana, jak można się domyślać, również komendą AT. W trybie „Idle" terminal pobiera prąd o natężeniu mniejszym od 20 mA przy zasilaniu 12 V oraz mniej niż 2 mA w trybie obniżonego poboru (low power mode).

## Użytkowanie

Terminal CT63 E jest przystosowany wyłącznie do pracy w pomieszczeniach zamkniętych. Obudowa nie jest wodoszczelna, nie chroni też elektroniki przed innymi czynnikami atmosferycznymi i środowiskowymi (zapyleniem, zadymieniem itp.). Zalecane jest stosowanie wszelkich połączeń o długości nie przekraczającej 3 metrów. W urządzeniu dostarczającym napięcia zasilającego powinien być zastosowany szybki bezpiecznik 1,25 A chroniący linię zasilającą.

Przykładowe zastosowania terminala CT63 E to zdalny monitoring, aplikacje Smart Metering (inteligentne systemy pomiarowe wykorzystywane np. w nowoczesnych licznikach energii, umożliwiających np. zdalny odczyt zużycia energii), automaty sprzedające z komunikatami głosowymi, urządzenia medyczne itp. Terminale mogą być przydatne wszędzie tam, gdzie konieczne są dane dostarczane do systemów nadrzędnych praktycznie w czasie rzeczywistym bądź z minimalnymi opóźnieniami. Przykładem może być choćby sterowanie i diagnostyka urządzeń. CT63 E jest elementem rozwiązań M2M (machine to machine) o niemal nieograniczonym zasięgu. Białe plamy pokrycia danego obszaru sygnałem GSM z roku na rok są coraz mniejsze.

**Jarosław Doliński, EP**

### Najważniejsze dane techniczne terminala CT63 E

**Cechy ogólne**
- podwójne pasmo EGSM 900/1800 MHz
- GSM 900 Power class 4 (2 W)
- GSM 1800 Power class 1 (1 W)
- Sterowanie komendami AT wg specyfikacji Hayes 3GPP TS 27.007, 27.005 zastrzeżonej przez Cinterion
- Serial Port Multiplexer GSM 7.10
- usługa SIM Access Profile
- napięcie zasilania 5...32 V DC
- dostęp do stosu TCP/IP za pomocą komend AT
- Czułość (typowo): –107 dBm przy 900 MHz, –106 dBm przy 1800 MHz
- wymiary (bez gniazd): 66 mm×77 mm×26 mm
- masa: ok. 100 g
- zgodność z RoHS
- zakres temperatury pracy: –40°C...+80°C

**Protokół internetowy**
- wbudowany stos TCP/IP zawierający protokoły TCP/IP, UDP, SMTP i FTP

**Zatwierdzenia**
- Pełna zgodność z dyrektywą R&TTE
- zgodność z CE

**Dane GPRS**
- GPRS Class 10
- Mobile station class B
- GPRS Coding Scheme 1 – 4

**Interfejsy**
- gniazdo Sub-D żeńskie 9-pin dla RS232
- gniazdo RJ11: zasilanie 5...32 Vdc
- antena: 50 Ω (FME żeńskie)
- czytnik kart SIM: interfejs 3 V
- interfejs mini USB audio

**Cechy dodatkowe**
- książka telefoniczna SIM
- stały numer wybierania (FDN)
- zegar czasu rzeczywistego
- sygnalizacja LED
- zestaw znaków IRA (International Reference Alphabet)
- wykrywanie i raportowanie zagłuszania



eprasa.pl 4d9608b833

# Poznaj swoją pozycję

## czyli jak korzystać z systemów satelitarnego pozycjonowania

*Używając nawigacji satelitarnej, większość użytkowników wcale nie wie, ile operacji wykonuje się w tle, by dokładnie określić położenie urządzenia. Aplikacje korzystające z pozycjonowania na tyle się spopularyzowały, że oczekujemy od nich po prostu sprawnego działania, a dzięki zmianom na orbicie naszej planety oraz postępowi w technologiach elektronicznych błędy w określaniu pozycji za pomocą satelitów zdarzają się już bardzo rzadko. W artykule opisujemy stosowane techniki pozycjonowania oraz funkcjonujące obecnie systemy satelitarne tego typu.*

Pomimo upływu lat i zmian na rynku, większość użytkowników wciąż myli pojęcia GPS i GNSS, stosując pierwsze z nich, gdy odwołują się do drugiego. GPS, a dokładniej GPS Navstar (Global Positioning System – NAVigation Signal Timing And Ranging), to nazwa własna systemu nawigacji opracowanego i nadzorowanego przez Stany Zjednoczone. O ile jeszcze dziesięć lat temu był to w praktyce jedyny użyteczny system tego typu, o tyle obecnie sytuacja jest zupełnie inna i nadal podlega zmianom. Dlatego określanie modułów do pozycjonowania skrótem GPS jest błędne – powinniśmy korzystać ze skrótu GNSS – Global Navigation Satellite System. Niemniej, podczas szukania produktów w sklepach, nierzadko więcej modułów znajdzie się pod hasłem GPS niż GNSS.

### Dostępne systemy

Wystrzelenie w kosmos kompletu satelitów do świadczenia usług pozycjonowania oraz utrzymanie infrastruktury naziemnej, która kontroluje działanie systemu i wprowadza poprawki, to bardzo kosztowna inwestycja. Dlatego stać na nią tylko rządy najbogatszych państw. W efekcie mamy obecnie jedynie lub aż sześć systemów GNSS. Są to:

- amerykański GPS,
- europejski Galileo,
- rosyjski Glonass,
- chiński Beidou,
- japoński QZSS,
- indyjski Navic.

Największym z nich jest wciąż GPS, który działa obecnie na 31 satelitach, zamiast pierwotnych 24. W 2020 roku pokonać ma go chiński Beidou, w którym docelowo ma wtedy działać już 35 satelitów. Zbliżone rozmiary do amerykańskiego i chińskiego systemu mają Galileo (aktualnie 26 satelitów na orbicie, a niebawem kolejne 6) i Glonass (24 satelity). Pozostałe dwa są jedynie regionalne: 7 satelitów nad Indiami i docelowo 7 satelitów nad Japonią.

**Tabela 1. Porównanie systemów GNSS**

| System GNSS | Beidou | Galileo | Glonass | GPS | Navic | QZSS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Właściciel/ twórca | Chiny | Unia Europejska | Rosja | Stany Zjednoczone Ameryki | Indie | Japonia |
| Zasięg | globalny | globalny | globalny | globalny | Indie i Ocean Indyjski | Japonia, Australia i Oceania |
| Kodowanie | CDMA | CDMA | FDMA | CDMA | CDMA | CDMA |
| Wysokość orbity [km] | 21150 | 23222 | 19130 | 20180 | 36000 | 32600...39000 |
| Okres obrotu | 12 godzin i 38 minut | 14 godzin i 5 minut | 11 godzin i 16 minut | 11 godzin i 58 minut | 23 godziny i 56 minut | 23 godziny i 56 minut |
| Liczba obrotów na dzień | 1,888 | 1,7 | 2,125 | 2 | 1 | 1 |
| Liczba satelitów | niebawem 35 | niebawem 32 | niebawem 26 | 31 | 8 | docelowo 7 |



eprasa.pl 4d9608b833

**Tabela 2. Parametry GPS**

| Pasmo | Częstotliwość [MHz] | Faza | Początkowe zastosowanie | Zastosowanie w nowszych satelitach |
|---|---|---|---|---|
| L1 | 1575,42 | I | Szyfrowany precyzyjny kod P(Y) | |
| | | Q | Kod C/A | Kod C/A, cywilny L1C i wojskowy kod M |
| L2 | 1227,6 | I | Szyfrowany kod precyzyjny P(Y) | |
| | | Q | Niezmodulowana nośna | Cywilny kod L2C i wojskowy kod M |
| L3 | 1381,05 | | Wykrywanie detonacji nuklearnych | Brak |
| L4 | 1379,9133 | | Brak | Dodatkowa korekcja wpływu jonosfery |
| L5 | 1176,45 | I | Brak | Sygnał danych dla systemów ratujących życie |
| | | Q | Brak | Sygnał pilotujący dla systemów ratujących życie |

Z użytkowego punktu widzenia bardzo ważna jest precyzja działania. Ta będzie różnić się nie tylko pomiędzy systemami, ale też w zależności od dostępu do dodatkowych danych, pochodzących z nadajników naziemnych i zazwyczaj przekazywanych przez sieć komórkową. Warto też dodać, że precyzję obliczonej pozycji można zwiększyć, korzystając z kilku systemów jednocześnie i uśredniając podane pozycje.

## GPS

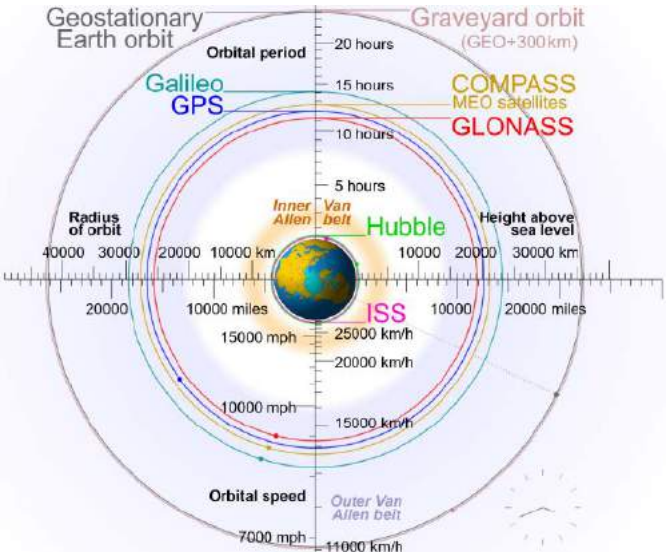
Najstarszy z systemów to GPS. Od czasu powstania podlegał różnego rodzaju zmianom. Jego użyteczność w zastosowaniach cywilnych znacząco wzrosła w 2000 roku, kiedy to ostatecznie zniesiono kod zakłócający (Selective Availability), który ograniczał precyzję pozycjonowania za pomocą zwykłych odbiorników do około 100 m. Wtedy to, bez zewnętrznego wspomagania, można było za pomocą dobrych odbiorników GPS określić pozycję z dokładnością do dok. 5 m. Obecnie, dzięki obsłudze częstotliwości L5, można już uzyskać dokładność na poziomie ok. 30 cm. Kolejne usprawnienia wprowadzane są wraz z zastępowaniem starych satelitów nowymi. Czynność ta jest konieczna, gdyż orbitujące nadajniki mają ograniczony czas życia i muszą być wymieniane. Wprowadzane zmiany obejmują nowe kody, częstotliwości oraz dostosowanie mocy nadawczej do aktualnych warunków panujących na Ziemi.

Podstawowo, system GPS działa na częstotliwości L1 (1575,42 MHz), na której nadawane są dwa zakodowane sygnały: C/A (Coarse/Acquisition), konieczny do identyfikacji satelitów oraz zgrubnego oszacowania pozycji i szyfrowany P(Y), który umożliwia precyzyjne wskazanie pozycji, ale jedynie odbiornikom wojskowym dysponującym odpowiednim kluczem deszyfrującym. Ponieważ głównym problemem, który ogranicza precyzję wskazania pozycji jest wpływ jonosfery na przesyłany sygnał, satelity GPS nadają też kod P(Y) na drugiej częstotliwości: L2 (1227,60 MHz), co pozwala odbiornikowi porównać odebrane sygnały i uwzględnić wpływ jonosfery w obliczeniach.

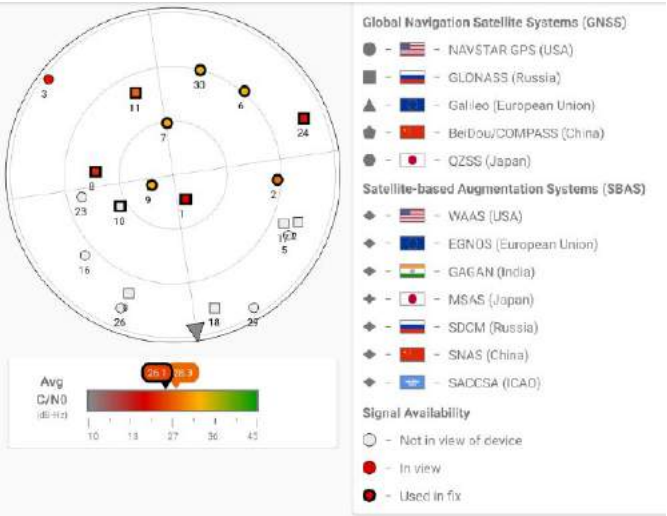
Pomiędzy 2005 a 2009 roku wystrzelono 8 nowych satelitów zaliczanych do bloku IIR-M, które wysyłają nowy kod wojskowy na częstotliwościach L1 i L2. Pozwala on odbiornikom militarnym na pozycjonowanie bez potrzeby korzystania z sygnału C/A koniecznego dotąd do namierzenia satelitów. Ponadto kod „M" jest nadawany przez dwie anteny z każdego satelity: jedną obejmującą zasięgiem całą ziemię i jedną kierunkowa, obejmującą obszar kilkuset kilometrów. Znacznie zwiększa to moc dostępnego sygnału wojskowego tam, gdzie jest to aktualnie potrzebne.

Dla użytkowników cywilnych niemałe zmiany przyniósł kolejny blok satelitów: IIF. Wystrzeliwanie tych 12 satelitów rozpoczęto w 2010 roku i zakończono w 2016. Oprócz wcześniej wymienionych sygnałów nadają one również kod L2C na częstotliwości L2. Umożliwia on zwykłym odbiornikom dokonywanie korekcji wpływu jonosfery bez konieczności korzystania z systemów takich jak SBAS. Kod L2C jest nadawany z mocą o 2,3 dB mniejszą niż L1 C/A, ale zawiera więcej danych kontrolnych, co pozwala polepszyć sprawność korekcji błędów. Ze względu na większą podatność na wpływ jonosfery korzystanie jedynie z L2C do pozycjonowania spowodowałoby zwiększenie niepewności pomiaru o ok. 65%.

Satelity bloku IIF mają też dodatkowe zastosowanie w zadaniach związanych z ochroną życia. Nadają bowiem dodatkowy sygnał na częstotliwości L5 (1176,45 MHz) z dwukrotnie większą mocą niż L1. Wybrana częstotliwość znajduje się w paśmie, które na całym świecie jest zarezerwowane dla usług radionawigacji aeronautycznej, dzięki




**Rysunek 1. Orbity poszczególnych systemów GNSS**




**Rysunek 2. Przykładowy układ satelitów nad Warszawą. Na szaro zaznaczone są satelity, które powinny być widoczne z danego miejsca, ale nie są ze względu na przesłonięcie ich ścianą budynku**



eprasa.pl 4d9608b833

**Tabela 3. Sygnały nadawane przez satelity Galileo**

| Parametry\Sygnał | E1-I | E1-Q | E5a | E5b | E6-I | E6-Q |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Częstotliwość nośna [MHz] | 1575,42 | 1575,42 | 1176,45 | 1207,14 | 1278,75 | 1278,75 |
| Modulacja | CBOC | BOCcos | AltBOC | AltBOC | BPSK | BOCcos |

czemu jej odbiorniki (pierwsze pojawiły się na rynku w 2018 roku) są znacznie mniej narażone na zakłócenia.

Trzecia generacja satelitów (IIIA) miała być wprowadzana na orbitę od 2014 roku, ale jak dotąd, z planowanych 10 sztuk, zbudowano tylko 3 i wystrzelono 1 – pod koniec grudnia 2018 roku. Aktualnie szacuje się, że ostatni z satelitów tej grupy trafi na orbitę w 2023 roku.

W ramach serii IIIA dostępne będą: nowy cywilny sygnał L2C, nowy, bardziej odporny na zakłócenia sygnał wojskowy M, rozbudowa wsparcia dla sygnału L5 i nowy sygnał L1C, bardziej dostosowany do warunków radiowych, panujących obecnie na naszej planecie.

Warto dodać, że za 6 lat planowane jest wystrzelenie 22 satelitów kolejnej serii: IIIF.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Lat: | [illegible] | Time: | 01:28:52 |
| Long: | [illegible] | TTFF: | 2 sec |
| Alt: | 140.6 m | E H/V Acc: | 5.4/12.0 m |
| Alt (MSL): | 104.5 m | # Sats: | 13/34 |
| Speed: | 0.0 m/s | Bearing: | |
| S. Acc: | 0.2 m/s | B. Acc: | |
| PDOP: | 1.2 | H/V DOP: | 0.9/0.7 |

| ID | GNSS | CF | C/N0 | Flags | Elev | Azim |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | | | 26.7 | AEU | 32.0° | 281.0° |
| 3 | | | 16.1 | AE | 3.0° | 136.0° |
| 4 | | | 26.7 | | | |
| 5 | | | 19.5 | AEU | 18.0° | 306.0° |
| 6 | | | 26.7 | AEU | 29.0° | 229.0° |
| 7 | | | 27.4 | AEU | 61.0° | 182.0° |
| 9 | | | 31.7 | AEU | 77.0° | 73.0° |
| 16 | | | | AE | 24.0° | 56.0° |
| 23 | | | | AE | 38.0° | 85.0° |
| 26 | | | | AE | 11.0° | 30.0° |
| 29 | | | | AE | 4.0° | 337.0° |
| 30 | | | 29.3 | AEU | 30.0° | 203.0° |
| 1 | | | 23.5 | AEU | 75.0° | 341.0° |
| 2 | | | | AE | 16.0° | 299.0° |
| 7 | | | 16.2 | AE | | |
| 8 | | | 21.1 | AEU | 47.0° | 101.0° |
| 9 | | | | AE | 20.0° | 29.0° |
| 10 | | | 14.1 | AEU | 56.0° | 68.0° |
| 11 | | | 29.1 | AEU | 40.0° | 164.0° |
| 17 | | | 14.1 | AEU | 23.0° | 302.0° |
| 18 | | | | AE | 13.0° | 351.0° |
| 24 | | | 23.6 | AEU | 11.0° | 255.0° |
| 7 | | | 15.4 | A | 80.0° | 292.0° |
| 26 | | | 17.7 | A U | 17.0° | 244.0° |
| 30 | | | 18.0 | A U | 37.0° | 143.0° |
| 2 | | | 21.5 | A | 5.0° | 112.0° |
| 5 | | | | A | 18.0° | 135.0° |
| 7 | | | | A | 29.0° | 54.0° |
| 9 | | | | A | 9.0° | 87.0° |
| 10 | | | | A | 39.0° | 88.0° |
| 14 | | | 19.6 | A U | 71.0° | 285.0° |
| 21 | | | 25.7 | A | 53.0° | 127.0° |
| 22 | | | 15.9 | A | 3.0° | 122.0° |
| 24 | | | | A | 2.0° | 201.0° |
| 26 | | | 28.5 | A | 44.0° | 175.0° |
| 27 | | | | A | 2.0° | 355.0° |
| 28 | | | | A | 10.0° | 307.0° |

**Rysunek 3. Dane sygnałów z satelitów nad Warszawą na urządzeniu obsługującym 4 główne systemy GNSS**

## Galileo

Europejski system GNSS budowano bardzo długo – przez wiele lat prace stały w miejscu. Dopiero od niedawna system faktycznie zaczął funkcjonować i być obsługiwany przez różne urządzenia elektroniczne.

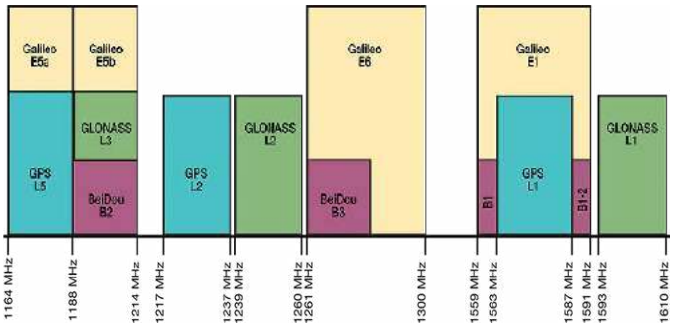
Na kompletny system mają się składać 24 satelity, z czego obecnie nad Ziemią aktywnie działają 22. Satelity Galileo orbitują nieco wyżej niż GPS. Nadają 3 podwójne sygnały, zgodnie z **tabelką 3**.

Galileo realizuje 5 usług. Podstawowa to bezpłatne pozycjonowanie z dokładnością do 1 metra oraz prosta synchronizacja czasowa. Druga z funkcji to komercyjne, szyfrowane pozycjonowanie z dokładnością do 1 centymetra i z gwarantowaną dostępnością tej usługi. Za dostęp do niej pobierana będzie opłata. Trzecie to otwarta usługa związana z bezpieczeństwem społecznym, pozwalająca na precyzyjne pozycjonowanie. Czwarta ma być dostępna dla instytucji państwowych i być podtrzymywana nawet w sytuacjach kryzysowych. Piąta wiąże się z dwukierunkową komunikacją, w ramach której system wykrywa sygnały alarmowe i jest w stanie potwierdzić fakt wezwania pomocy.

## Glonass

Glonass (ГЛОНАСС, ГЛОБАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА; Globalnaja Nawigacionnaja Sputnikowaja Sistiema) to dawny, główny konkurent GPS. System ten został utworzony z powodów militarnych, ale począwszy od 2007 roku, satelity Glonass zaczęły oferować swoje sygnały cywilom.

Satelity Glonass orbitują nieco poniżej nadajników GPS. Ich ułożenie sprawia, że pozycjonowanie z ich użyciem jest nieco mniej dokładne niż w przypadku GPS, z wyjątkiem obszaru przy kołach podbiegunowych, gdzie system GPS jest zdecydowanie mniej precyzyjny. Podstawowy sygnał Glonass jest nadawany w paśmie L1, tj. na 15 kanałach w pobliżu częstotliwości 1602 MHz. Są one ułożone tak, by nigdy w zasięgu odbiornika nie znajdywały się dwa satelity nadające na tym samym kanale. O ile w paśmie L1 nadawany jest sygnał standardowy (SP), o tyle w paśmie L2 (częstotliwość środkowa równa 1246 MHz) nadawany jest sygnał wysokiej precyzji (HP). W praktyce sygnał SP pozwala na pozycjonowanie z dokładnością nie lepszą niż 5…10 metrów w poziomie i 15 metrów w pionie. Obliczenia prędkości ograniczone są do dokładności około 10 cm/s, a synchronizacja czasu do 200 ns. Nowsze satelity serii Glonass-M i trzeciej generacji Glonass-K zwiększają tę precyzję.




**Rysunek 4. Nakładanie się częstotliwości sygnałów z poszczególnych systemów GNSS. Co ciekawe, problematyczne jest nakładanie się sygnałów Galileo i Beidou, a zgodnie z ustaleniami Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego (ITU – International Telecommunication Union) prawo do zajęcia danego pasma ma kraj, który jako pierwszy zaczął z niego korzystać – w tym przypadku są to Chiny**



eprasa.pl 4d9608b833

**Tabela 4. Satelity systemu Glonass**

| Seria | Lata wprowadzania na orbitę | Obecny stan | Niedokładność zegara | Sygnały FDMA | | | | Sygnały CDMA | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1602 + n×0,5625 MHz | 1246 + n×0,4375 MHz | 1600,995 MHz | 1248,06 MHz | 1202,025 MHz |
| Glonass | 1982–2005 | Wycofane | $5\times10^{-13}$ | L1OF, L1SF | L2SF | | | |
| Glonass-M | 2003– | Działające | $1\times10^{-13}$ | L1OF, L1SF | L2OF, L2SF | - | - | L3OC |
| Glonass-K1 | 2011– | Działające | $5\times10^{-14}$...$1\times10^{-13}$ | L1OF, L1SF | L2OF, L2SF | - | - | L3OC |
| Glonass-K2 | 2019– | Produkcja testowa | $5\times10^{-15}$...$5\times10^{-14}$ | L1OF, L1SF | L2OF, L2SF | L1OC, L1SC | L2OC, L2SC | L3OC |
| Glonass-V | 2023–2025 | Projektowanie | | - | - | L1OC, L1SC | L2OC, L2SC | L3OC |
| Glonass-KM | 2030– | Prace badawcze | | L1OF, L1SF | L2OF, L2SF | L1OC, L1SC | L2OC, L2SC | L3OC, L3SC |

**Tabela 5. Sygnały nadawane przez Beidou**

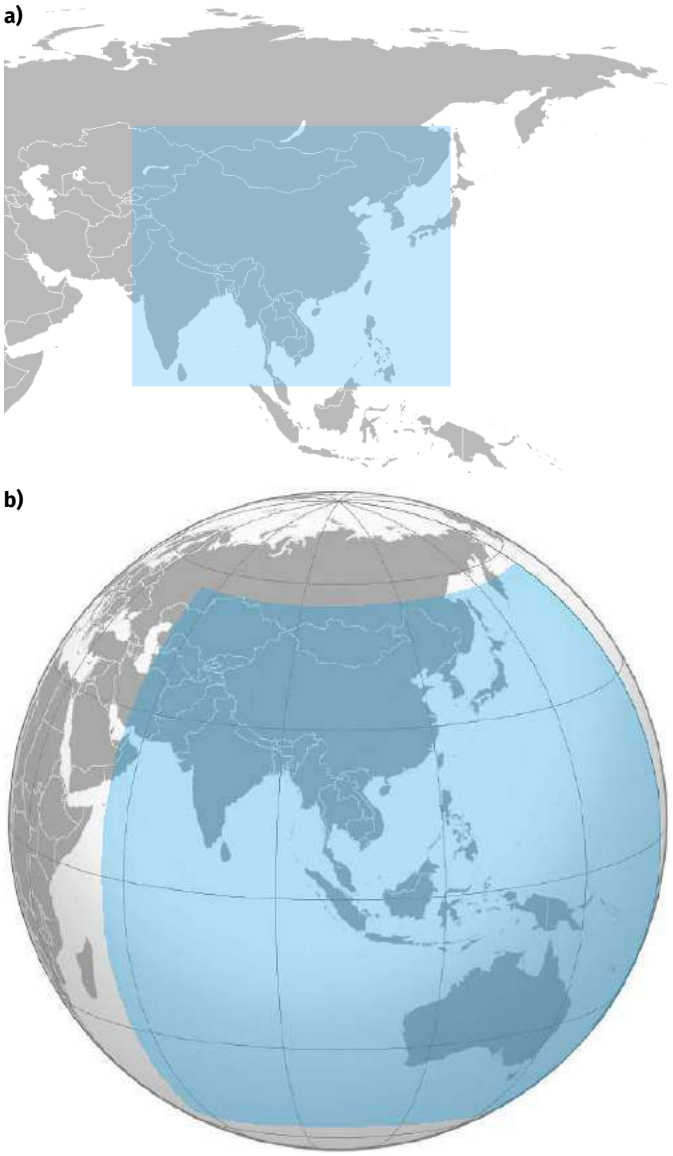
| Parametry\ Sygnał | B1I | B1Q | B1C | B1A | B2I | B2Q | B2a | B2b | B3I | B3Q | B3A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | E2-I | E2-Q | E1-I | E1-Q | E5B-I | E5B-Q | E5a | E5b | E6-I | E6-Q | - |
| Dostępność | Otwarta | Ograniczona | Otwarta | Ograniczona | Otwarta | Ograniczona | Otwarta | Otwarta | Otwarta | Ograniczona | Ograniczona |
| Modulacja | BPSK | BPSK | MBOC | BOC | BPSK | BPSK | AltBOC | AltBOC | BPSK | BPSK | BOC |
| Częstotliwość nośna [MHz] | 1561,098 | 1561,098 | 1575,42 | 1575,42 | 1207,14 | 1207,14 | 1176,45 | 1207,14 | 1268,52 | 1268,52 | 1268,52 |

Glonass-K emitują sygnał L3 (około 1207,14 MHz), który jest odpowiednikiem sygnału na częstotliwości L5 w systemie GPS. Od tego roku mają być wprowadzane satelity Glonass-K2, które będą nadawać jeszcze inne sygnały, a na dalszą przyszłość planuje się wprowadzenie satelitów Glonass-V i GLOASS-KM, nad którymi aktualnie trwają prace projektowe i badawczo-rozwojowe (tabela 4.)

## Beidou

Chiński system, dawniej znany jako Compass, to najszybciej rozwijająca się konstelacja GNSS. Początkowo Chiny dołączyły się do prac nad Galileo, ale nie były zadowolone z przebiegu prac i wycofały się z niego. Jeszcze kilka lat temu trudno było dobrze przewidzieć przyszłość i użyteczność Beidou – chiński rząd wybiórczo udzielał informacji na temat swojego projektu. Obecnie system stosowany jest już komercyjnie, więc i zakres dostępnych informacji jest bogatszy.

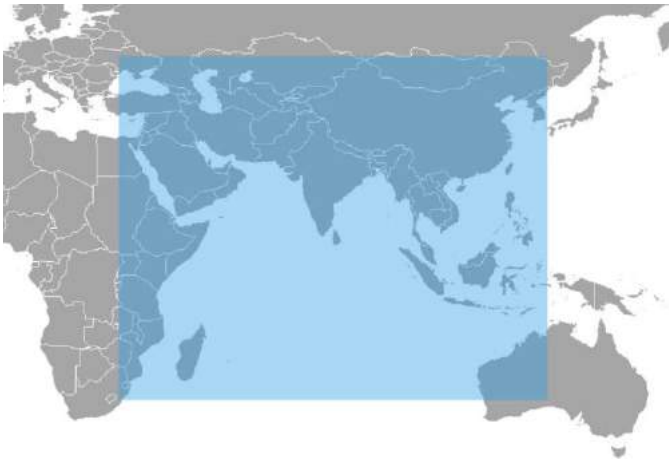
Beidou opiera się na satelitach trzech generacji, z czego pierwsza została już wyłączona z użytku, a obejmowała jedynie teren Chin i okolic. Druga generacja zastąpiła pierwszą i pozwala na pozycjonowanie na terenie Azji i Pacyfiku. Trzecia, której wprowadzanie na orbitę zaczęto w 2015 roku, obejmuje system globalny, który docelowo,




**Rysunek 5. a) pokrycie systemu Beidou pierwszej generacji, b) pokrycie systemu Beidou drugiej generacji; trzecia generacja pokrywa już cały glob**



eprasa.pl 4d9608b833



Rysunek 6. Pokrycie systemu Navic

za rok, ma obejmować 35 satelitów, a który pod koniec ubiegłego roku zaczął już działać na skalę globalną.

Beidou działa w oparciu na wielodostępie CDMA i świadczy usługi publiczne oraz dla wojska. Ogólnodostępne są bezpłatne i cechują się dokładnością pozycjonowania na poziomie do 10 m, możliwością synchronizacji zegara do 10 ns oraz funkcją mierzenia prędkości z dokładnością do 0,2 m/s. Tymczasem sygnał dostępny jedynie dla wojska pozwoli pozycjonować z dokładnością do 10 centymetrów.

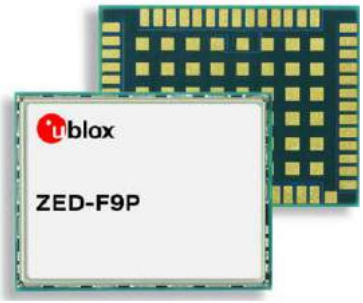
## Navic i QZSS

Dwa pozostałe systemy pozycjonowania satelitarnego działają tylko regionalnie, choć powstały z nieco innych powodów. Indyjski Navic powstał, by uniezależnić działania wojskowe od amerykańskiego GPS. Pierwszy satelita został wystrzelony w 2013 roku, a ostatni w połowie 2018. Razem na orbicie pracuje 7 satelitów, udostępniających sygnały standardowe i precyzyjne, oba na częstotliwościach L5 (1176,45 MHz) i w paśmie S (2492,028 MHz). Standardowy (SPS – Standard Positioning Service) korzysta z modulacji BPSK. Precyzyjny (PS – Precision Signal) korzysta z modulacji BOC. Dodatkowo do odbiorników możliwe jest przesyłanie powiadomień z centrali – np. ostrzeżeń o zbliżającym się sztormie. Dokładność pozycjonowania Navic to 10 m na Półwyspie Indyjskim i 20 m na Oceanie Indyjskim. Z czasem precyzja powinna być zwiększona do ok. 5 m.

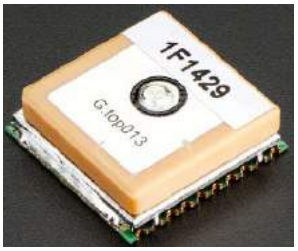
QZSS powstał z uwagi na gęste zaludnienie i zabudowę Japonii. Pierwszego satelitę wystrzelono w 2010 roku, czwartego w 2017, a od jesieni 2018 roku, choć jeszcze niepełny (brakuje 3 satelitów), system uważa się już za działający. Co ciekawe, QZSS jest kompatybilny z GPS i tak naprawdę stanowi jego lokalne rozszerzenie. Zwiększa widoczność nadajników w miastach pełnych wieżowców. Nadawane sygnały są zgodne z sygnałami GPS L1C/A, L1C, L2C i L5. Dzięki temu nie trzeba wielu zmian, by odbiornik GPS mógł działać z systemem QZSS.

## Wspomaganie GNSS

Precyzję pozycjonowania można też zwiększyć za pomocą dodatkowych danych, pochodzących z systemów naziemnych. Pozwalają one nie tylko na uzyskanie dokładniejszych odczytów, ale też skracają czas potrzebny na określenie położenia. Wynika to z faktu, że satelity, takie jak np. w systemie GPS, stale nadają informacje o swoim realnym położeniu, a więc o tym, na ile odbiega ono od tego, czego można byłoby się spodziewać. Niestety, szybkość tej transmisji jest bardzo niska – pobranie tzw. almanachu GPS i efemeryd wymaga ok. 12,5 minuty ciągłego dostępu do sygnału, pomimo że ma on długość jedynie 15 000 bitów. Obecnie te same dane można błyskawicznie pobrać przez sieci komórkowe lub inne interfejsy. To właśnie w oparciu na tym założeniu działa A-GPS (Assisted GPS) – technika, którą obsługuje większość dostępnych na rynku modułów.




Rysunek 7. Moduł u-blox ZED-F9P




Rysunek 8. Moduł na bazie układu MediaTek MT3339

Oprócz podstawowego segmentu kosmicznego, do systemów GNSS należy też segment naziemny wraz z uzupełniającym kosmicznym. Większość nowoczesnych modułów obsługuje pozycjonowanie różnicowe, tj. DGPS (Differential GPS) i realizowane z użyciem satelitów (SBAS – Satellite-Based Augumentation System). Pozwala ona na zwiększenie precyzji pozycjonowania, która w przypadku klasycznego GPS i pojedynczej częstotliwości transmisji sygnału ograniczona jest przez wpływ jonosfery. Problem polega na tym, że czas przechodzenia sygnału przez jonosferę różni się w zależności

### WGS-84, GCJ-02 i BD-09 – niekompatybilne systemy koordynatów

Projektując urządzenie elektroniczne, które ma za pomocą satelitów określać położenie i działać na terytorium Chin lub korzystać z systemu Beidou, należy wziąć pod uwagę tamtejsze ograniczenia prawne. Ze względów bezpieczeństwa narodowego chiński rząd (od 2002 roku) wymaga posiadania specjalnego pozwolenia na korzystanie z systemów GNSS na terytorium kraju. Jest to jeden z powodów, dla których wiele z urządzeń elektronicznych wiodących dostawców wyłącza możliwość np. geotagowania zdjęć, jeśli system wykryje, że urządzenie pracuje w Chinach.

Co więcej, przepisy z 2006 nakazują stosowanie dodatkowego przetwarzania danych za pomocą algorytmu GCJ-02, który zniekształca podaną pozycję, przesuwając ją (w wydawałoby się, że losowy sposób) o ok. 100-700 metrów. To dlatego, oglądając mapy Chin w serwisie ***maps.google.com***, widzimy, że położenie ulic nie pokrywa się ze zdjęciami satelitarnymi. Zdjęcia satelitarne są bowiem prezentowane bez ich przetworzenia i bazują na koordynatach jak w GPS – w końcu zostały wykonane z orbity, a nie z terytorium kraju. Natomiast ulice były mapowane już z terenu Chin, więc zgodnie z obowiązującym prawem korzystają z koordynatów GCJ-02. Widać to na załączonym zdjęciu, gdzie w okolicach Zakazanego Miasta w Pekinie ulice zaznaczone są na terenie jezior. Jeśli jednak wejdzie się w serwis ***maps.google.cn***, a więc w chińską wersję usługi, tam zdjęcia satelitarne też są, na potrzeby chińskich użytkowników, przekształcone do koordynatów GCJ-02, dlatego pokrywają się ze zmapowanym układem ulic. Konwerter pomiędzy koordynatami GPS (WGS-84), GCJ-02 oraz BD-09, używany przez Baidu Maps, dostępny jest w postaci API, oferowanego przez Baidu.



eprasa.pl 4d9608b833

**Rysunek 9. Zewnętrzna antena do odbiorników GNSS**

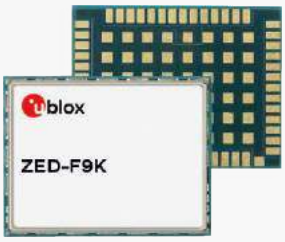
od naturalnych zjawisk w niej zachodzących i trudno go dokładnie określić bez sygnału porównawczego. O ile w przypadku skorzystania z dodatkowych częstotliwości, innych niż L1, wpływ jonosfery można oszacować, porównując czasy docierania sygnału na dwóch nośnych, o tyle w tanich odbiornikach, bazujących tylko na GPS, nie jest to możliwe. System SBAS rozwiązuje ten problem, przesyłając do odbiorników aktualne informacje na temat jonosfery, co pozwala zwiększyć precyzję pozycjonowania. Co ciekawe, choć system SBAS dotyczy tylko i wyłącznie satelitów systemu GPS, jest obsługiwany przez różne, niezależne organizacje, działające lokalnie. Badają one stan nieba w swoim regionie i nadają informacje na ten temat do utrzymywanych przez siebie satelitów geostacjonarnych. Systemy te to europejski: EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), amerykański: WAAS (Wide Area Augmentation System), indyjski GAGAN (GPS Aided Geo Augmented Navigation) i japoński MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System). Z techniki tej korzysta też QZSS.

## Jedno urządzenie – wiele systemów

W celu określenia czasu i pozycji w trójwymiarowej przestrzeni, konieczny jest jednoczesny odbiór sygnałów z przynajmniej czterech satelitów. Odbiornik oblicza trzy pseudoodległości do satelitów oraz odchyłki czasu, a więc różnice pomiędzy mało dokładnym źródłem sygnału zegarowego z odbiornika a precyzyjnym zegarem atomowym w satelicie. Satelita transmituje w depeszy nawigacyjnej m.in. czas, almanach (stan konstelacji satelitów) oraz efemerydy (parametry lotu satelity). Dzięki tym danym odbiornik GNSS jest w stanie obliczyć dokładne współrzędne satelity, w momencie nadania sygnału, co z kolei, przy użyciu pseudoodległości, umożliwia obliczenie własnej pozycji. W przypadku możliwości odbioru tylko z trzech satelitów niektóre odbiorniki mogą pracować w trybie 2D z ustawioną przez użytkownika wysokością elipsoidalną. Problem w tym, że choć w samym systemie GPS pracuje nawet ponad 30 satelitów, w danej chwili, z odbiornika „widoczne" jest najczęściej jedynie 5…10 z nich. I mowa tu o sytuacji, gdy nic poza samą Ziemią nie przesłania odbiornika, co nie ma zastosowania w kotlinach, dolinach, kanionach, a co gorsza – w gęsto zabudowanych miastach. Ściany betonowego budynku potrafią bardzo skutecznie wytłumić sygnał, co oznacza że urządzenia działające jedynie na jednym z systemów GNSS często w miastach tracą informacje o aktualnym położeniu.

Jeszcze 10 lat temu stanowiło to duży problem, ale od tamtego czasu na rynku zaczęły pojawiać się odbiorniki zdolne do korzystania z więcej niż jednego systemu GNSS. Co prawda były to układy zrobione na wyrost – dostosowane do wstępnych specyfikacji młodych systemów, których liczba satelitów była tak mała, że rzadko faktycznie

REKLAMA




Wielopasmowy GNSS (L2OF, L2C, E1B/C, B2I, E5b, L1C/A, L1OF, B1I)
+
Czujniki IMU
Akcelerometr
Żyroskop
+
Odczyt impulsów prędkości
+
Autorski model dynamiki ruchu
+
Poprawki RTK

**Wielopasmowy moduł GNSS z Dead Reckoning - pewność pozycji również w trudnych warunkach**

- **decymetrowa** dokładność (dzięki wielopasmowości)
- częstotliwość pozycji do 30Hz
- niski pobór energii
- małe wymiary 17 mm x 22 mm
- wielopasmowa antena magnetyczna GNSS w atrakcyjnej cenie
- poprawki RTK w czasie rzeczywistym
- krótki czas konwergencji
- **pewność pozycji i bezpieczeństwo również w trudnych warunkach dzięki fuzji z sensorami Dead Reckoning**

u-blox - szwajcarski producent modułów już od ponad 20 lat dostarcza odbiorniki GNSS do zastosowań przemysłowych. Oparte na autorskich chipsetach i własnym oprogramowaniu oferują niezrównane parametry przy zachowaniu konkurencyjnych cen.

Microdis - 30 lat doświadczenia w obsłudze klientów przemysłowych i doradztwie technicznym.

Nowe moduły będą wrótce dostępne.

MICRODIS
COMPETENCE & RELIABILITY
www.microdis.net

**Rysunek 10. Repeater sygnału GPS**

pomagały one w odczytach pozycji, ale z czasem sytuacja się poprawiała. Świetnie widać to na przykładzie ostatnich pięciu lat, kiedy liczba satelitów na niebie zwiększyła się kilkakrotnie i zaczęto z tego korzystać w nowych odbiornikach. Dzięki zgodności z wieloma systemami odbiorniki nie tylko są bardziej niezawodne, ale też cechują się większą precyzją – każdy dodatkowy satelita, z którego pobierany jest sygnał, może posłużyć do zwiększenia dokładności odczytu poprzez zastosowanie prostej interpolacji.

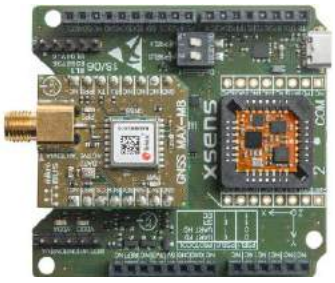
Implementacja obsługi wielu systemów GNSS też wcale nie jest trudna. W ogólności nadają one na bardzo zbliżonych częstotliwościach. Dzięki temu nie trzeba stosować różnych anten ani wielu torów sygnału i zazwyczaj wystarcza użycie jednego, wielosystemowego modułu.

## Jak wdrożyć GNSS

Obecnie na rynku GNSS działa bardzo wielu producentów, w tym wiele firm dalekowschodnich. Większość wytwarzanych modułów jest do siebie bardzo podobna i różnią się jedynie szczegółami, które wcale nie przekładają się na istotne różnice użytkowe. Urządzenia te budowane są w oparciu na tylko kilku chipsetach – odbiornikach, które mają kluczowe znaczenie dla większości parametrów modułu. Największe różnice pomiędzy modułami dotyczą obsługi poszczególnych systemów nawigacji. Moduły z identycznymi chipsetami różnią się między sobą czułością, wymiarami, poborem mocy, wyjściami i np. wbudowaną anteną. Różnice dostrzeżemy także w dodatkowych funkcjach oraz w firmware, choć tu będą one dotyczyć głównie stabilności i niezawodności, które trudno opisać, bazując na kartach katalogowych. Dopiero praktyka inżynierska pokazuje, które z firm dołożyły odpowiednich starań, tworząc własne oprogramowanie wbudowane, a te, którym się to nie udało, są skutecznie, aczkolwiek stopniowo, wypierane z rynku. Objawia się to najczęściej brakiem nowości produktowych opartych na chipsetach kolejnych generacji i wycofywaniem się dystrybutorów z oferowania ich produktów.

Wśród cech wspólnych należy wymienić zakres temperatur pracy, który prawie w każdym przypadku wynosi od –40°C do +85°C. Większość modułów obsługuje ten sam podstawowy tekstowy format danych: NMEA, ale niekiedy różnią się jego wersją, z którą są zgodne. Niektóre z produktów obsługują też własne formaty, najczęściej binarne.

Podstawowym elementem każdego modułu GNSS jest odbiornik, określany też mianem chipsetu. Na rynku dominuje kilku producentów: Qualcomm (dawniej CSR, a jeszcze wcześniej znany jako SiRF), u-blox, MediaTek, Trimble, STMicroelectronics, SkyTraq, Texas Instruments. Chipsety zaliczane są do różnych generacji, których numeracja zgadza się z numeracją odbiorników Qualcomma. Najnowsze układy tej firmy, SiRFStar V dostępne są w wersji 5e oraz 5ea. Z punktu widzenia gotowych modułów, pewnego rodzaju standard, z którym poszczególni producenci nierzadko starają się zachować zgodność wyprowadzeń, stanowią produkty firmy u-blox. Produkuje ona bowiem nie tylko chipsety, ale i całe moduły w nie wyposażone. Najnowszymi chipsetami tej firmy są układy serii u-blox 9.



**Rysunek 11. Zestaw deweloperski GNSS MTI-7-DK, zgodny z Arduino**

Czym się wyróżniają nowoczesne chipsety GNSS? Omówimy to na przykładzie produktów Qualcomma, u-bloxa i MediaTeku.

W przypadku Qualcomma dobrym pokazem możliwości jest układ Sirfstar V 5e. Wspiera systemy GPS, Glonass, Beidou, Galileo, QZSS i SBAS. Ma 16 MB pamięci Flash i 16 MB pamięci RAM. Może przez długi czas przechowywać efemerydy w swojej pamięci: do 31 dni dla GPS i 14 dni dla Glonass. Obsługuje interfejsy I²C, SPI i UART. Ma dwa analogowe wejścia/wyjścia i 12 uniwersalnych wejść i wyjść cyfrowych. Dostępny jest w obudowach BGA i WLCSP, z rozstawem wyprowadzeń co 0,4 mm (WLCSP) lub 0,5 mm (BGA). Układ jest pomyślany tak, by mógł być zasilany bezpośrednio z akumulatora litowo-jonowego, bez potrzeby stosowania dodatkowych obwodów.

W przypadku u-bloxa warto zwrócić uwagę na gotowy moduł, zaliczany do serii układów precyzyjnych, do zastosowań profesjonalnych. Mowa o ZED-F9P, bazującym na platformie F9. Pracuje on z systemami GPS, QZSS, Beidou, Galileo i Glonass, jednocześnie odbierając dane ze wszystkich z nich. Ma dwa interfejsy UART, 1 USB, 1 SPI i 1 DDC, zgodny z I²C. Jego wymiary to 17×22×2,4 mm.

MediaTek, w ramach swojej marki AIROHA, oferuje układ MT3339, który bazuje na rdzeniu ARM7EJ-S i jest przeznaczony do rozwiązań konsumenckich. Obsługuje system GPS i QZSS oraz wspiera AGPS, DGPS i SBAS. Dostępny jest w obudowach BGA57 o wymiarach 4,3×4,3 mm.

## Anteny, repetery i narzędzia

Sam moduł to nie wszystko – konieczna jest jeszcze antena. Część modułów ma co prawda wbudowane anteny, ale nie zawsze możliwe jest takie umieszczenie tego elementu w urządzeniu, by odbiór sygnału nie był utrudniony. Dlatego nierzadko stosuje się anteny zewnętrzne.

Większość modułów GPS ma wbudowany niskoszumowy wzmacniacz, co pozwala na stosowanie anten pasywnych. Nic nie stoi jednak na przeszkodzie, by instalować anteny aktywne, które wymagają dodatkowego zasilania.

Anteny do nawigacji satelitarnej mają charakterystykę mało kierunkową. Istnieje kilka różnych rodzajów, przystosowanych do konkretnych rodzajów odbiorników. W przypadku małych anten często w praktyce różnią się one od siebie głównie rodzajem zastosowanego złącza. Te natomiast są bardzo różnorodne, choć część z nich używana jest tylko w niektórych rodzajach aplikacji. Bardzo często wtyczki są pozłacane. Anteny zewnętrzne nierzadko oferowane są w obudowach z magnetycznymi podstawami, które umożliwiają przyczepienie ich do powierzchni metalowych, np. w samochodzie. Podłączenie anteny łączonej przewodem do modułu wymaga zazwyczaj instalacji złącza na PCB. Wyprowadzenia RF modułu

**Rysunek 13. Płytka GNSS 5, CLICK, zgodna z formatem Mikroelektronika click**



eprasa.pl 4d9608b833

**Rysunek 12. Zestaw deweloperski GNSS X-NUCLEO-GNSS1A1 jako rozszerzenie dla płytek STMicroelectronics NUCLEO**

są bowiem przystosowane do bezpośredniego przylutowania ich do ścieżek płytki drukowanej. Warto dodać, że wiele modułów zawiera zabezpieczenie przed zwarciem na linii anteny.

Oprócz samych modułów, anten i przewodów, poszczególni producenci oferują także dodatkowe narzędzia. Ciekawym przykładem są repeatery GNSS, które retransmitują sygnał z satelitów do wnętrza budynku, tam gdzie w normalnej sytuacji sygnał satelitarny by nie sięgał. Pozwala to na korzystanie z systemu nawigacji np. w dużych centrach handlowych, a przykładowym zastosowaniem może być kierowanie klientów do wybranych sklepów.

Oczywiście w ofercie dostawców podzespołów do systemów GNSS znajdują się także narzędzia ułatwiające prototypowanie tworzonej aplikacji. Przykładem są zestawy deweloperskie zawierające moduł GPS, moduł GSM oraz mikrokontroler, dodatkową pamięć, zestaw wejść i wyjść oraz diody LED i przełączniki. Pozwala to wykonać część oprogramowania obejmującą korzystanie z nawigacji satelitarnej, zanim jeszcze właściwa platforma sprzętowa urządzenia zostanie przygotowana.

Do zaawansowanego testowania modułów GNSS posłużyć może natomiast aparatura laboratoryjna. Odpowiednie wielokanałowe generatory sygnałów umożliwiają przeprowadzanie złożonych testów układu nawigacji we w pełni kontrolowanych warunkach. Symulacje definiowane są programowo, tak by odzwierciedlały idealne lub rzeczywiste warunki, z jakimi będzie musiało się zmierzyć gotowe urządzenie. Dostępne opcje, w zależności od producenta, obsługują różne systemy GNSS i m.in. takie scenariusze, jak przejazd z odbiornikiem w gęsto zabudowanym mieście, w którym sygnał satelitarny przysłaniany jest przez drapacze chmur.

## Podsumowanie

Zmiany, jakie obserwujemy na rynku nawigacji satelitarnej, spowodowały możliwość wprowadzenia nowych produktów i rozwiązań, które dawniej nie były dostępne lub były zbyt zawodne, by można było je sensownie stosować. Wiele z nich związanych jest z motoryzacją i śledzeniem zasobów i wydaje się, że wciąż to właśnie te dwie dziedziny będą napędzać rynek. O ile jeszcze niedawno na terenie Europy mogliśmy korzystać jedynie z systemu GPS, o tyle już teraz użyteczne są także Glonass, Galileo i Beidou, których obsługa jest implementowana w dużej części nowych urządzeń elektronicznych, wyposażonych w mechanizm nawigacji.

Korzystne jest także, że bardzo często funkcje odbiorników GNSS są zintegrowane w modułach komunikacji w sieciach komórkowych, które integruje się w coraz większej liczbie urządzeń. Dzięki temu wzbogacenie urządzenia o pozycjonowanie satelitarne kosztuje teraz bardzo mało, a bogata liczba bibliotek programowych do obsługi systemów tego typu skraca czas implementacji.

**Marcin Karbowniczek, EP**

REKLAMA

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA MEDIA

Aby skorzystać z materiałów dodatkowych dołączonych do numeru, należy:

1. Wejść na stronę **www.media.avt.pl**
2. Zarejestrować się lub zalogować
3. Wybrać wydanie „Elektroniki Praktycznej", które ma trafić do biblioteki osobistej
4. Odpowiedzieć na proste pytanie dotyczące bieżącego numeru
5. Pobrać pliki

eprasa.pl 4d9608b833

# Gotowy na 5G

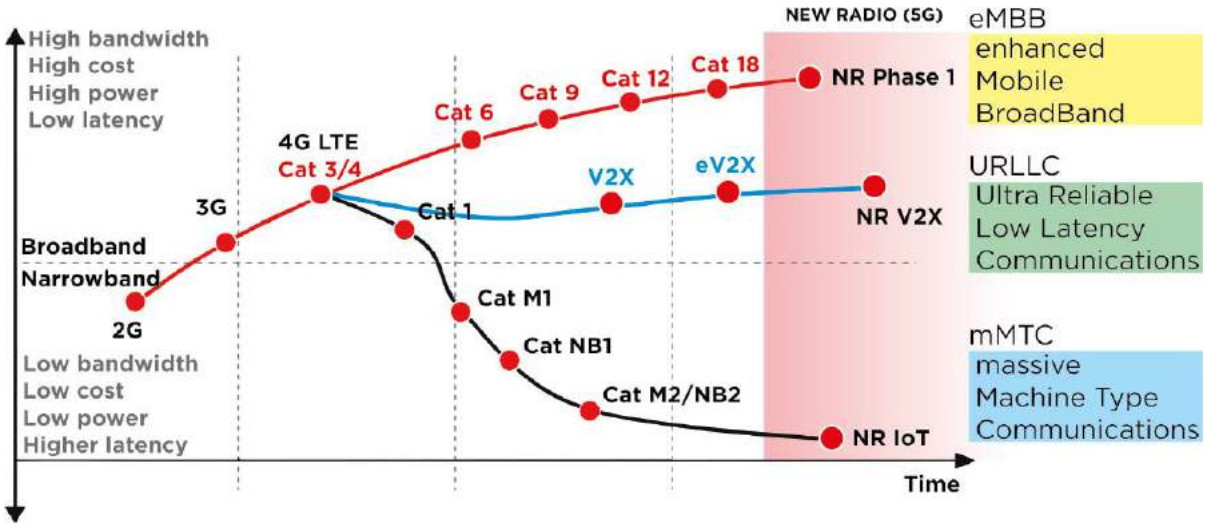
*u-blox – szwajcarski producent modułów radiowych – w czerwcu 2019 roku zapowiedział produkcję autorskiego chipsetu do komunikacji komórkowej, pracującego w technologii LTE Cat. M oraz Cat. NB.*

## Moduły na swoim

Większość artykułów dostępnych obecnie na rynku oparta jest na kluczowych komponentach kilku producentów. Stwierdzenie to dotyczy wszystkich gałęzi gospodarki, ale jako przykład można podać telefony komórkowe i moduły komunikacyjne. Mózgiem zawsze jest MCU – chipset – odpowiedzialny za bezpieczeństwo, komunikację, przetwarzanie danych i funkcje specjalne.

Patrząc na telefony – tylko jeden producent posiada własny chipset, a pozostali opierają swoje urządzenia na komponentach dostępnych na rynku. Tańszych lub droższych, ale współdzielących te same ograniczenia. Nie bez powodu producent wykorzystujący własny chipset jest chwalony za ergonomię, żywotność (czas wspierania produktu aktualizacjami), bezpieczeństwo i optymalizację.

**Więcej informacji:**
Microdis Electronics Sp. z o.o.
55-010 Żerniki Wrocławskie, ul. Strzelińska 17
tel. +48 71 3010400, wroclaw@microdis.net
***www.microdis.net***






eprasa.pl 4d9608b833

| | SARA-R510M | SARA-R511M |
|---|---|---|
| **Access Technology** | | |
| LTE bands | * | * |
| Data rate | M1/NB2 | M1/NB2 |
| LTE Power class | 23 dBm | 23 dBm |
| **Positioning** | | |
| Integrated GNSS receiver | | • |
| Dedicated GNSS antenna interface | | • |
| Position via modem | • | |
| AssistNow Software | • | • |
| CellLocate® | • | • |
| **Features** | | |
| Security Services: uCSP Ver 1.1 | • | • |
| Root of Trust: secure element | • | • |
| Antenna dynamic tuning | • | • |
| CellTime | • | • |
| Energy consumption reporting | • | • |
| Deep sleep mode | • | |
| Embedded TCP/UDP stack | • | • |
| Embedded HTTPS, FTPS, TLS | • | • |
| FW update via serial | • | • |
| uFOTA | • | • |
| LWM2M Device Management | • | • |
| MQTT, MQTT-SN | • | • |
| CoAP/DTLS | • | • |
| Last gasp | • | • |
| Jamming detection | • | • |
| Antenna and SIM detection | • | • |

* = LTE-M/NB-IoT bands: 1, 2, 3, 4, 5, 8, 12, 13, 18, 19, 20, 26, 28
LTE-M only bands: 14, 25
NB-IoT only bands: 66, 71, 85

□ = Available in future FW version
NB2 = Cat NB2 (125 kbit/s DL, 140 kbit/s UL)
M1 = LTE Cat M1 (375 kbit/s DL, 1200 kbit/s UL)

## A jak to wygląda z modułami komunikacyjnymi?

Jak dotąd wszystkie, które są dostępne w masowej produkcji, są oparte na właściwie kilku chipsetach. Oznacza to ni mniej, ni więcej tylko współdzielenie wszelkich podstawowych funkcjonalności, ale też ograniczeń, błędów i niestety również czasu życia produktu. Jeśli producent chipsetu ogłosi EoL (End Of Life) oznacza to, że każdy oparty na nim moduł wkrótce podzieli ten los. Sytuacja całkowicie dopuszczalna na rynku konsumenckim, gdzie 3-letnie urządzenie po prostu wymienia się na nowsze, lecz niewyobrażalna na rynku przemysłowym, lub automotive, gdzie dostępności liczy się nawet w dekadach. Wśród producentów znalazł się jednak taki, który postawił na swój chipset.

## Skąd ten pomysł?

u-blox jest producentem modułów – odbiorników satelitarnych do zastosowań przemysłowych – od 1998 roku, natomiast już cztery lata później, w 2002 roku, wypuścił na rynek własny chipset GPS, który szybko zdeklasował konkurencję parametrami i możliwościami konfiguracji. Blisko 20 lat później najnowsze ich generacje są de facto benchmarkiem na rynku, klienci doceniają zaawansowane funkcje bezpieczeństwa (anti-jamming i anti-spoofing), nadal możliwy jest zakup pięcioletnich produktów, a u-blox wprowadza moduły dwupasmowe (L1,L2/E5) pozwalające na decymetrową dokładność pozycji, lub centymetrową z wykorzystaniem poprawek RTK. Pełna kontrola nad projektem, działaniem i produkcją najważniejszego komponentu pozwoliła na zaoferowanie klientom towaru zoptymalizowanego pod każdym względem i była to droga do sukcesu.

W przeciągu 20 lat od założenia firmy portfolio rozrosło się o moduły komórkowe (2G, 3G, 4G) i krótkiego zasięgu (Bluetooth, Wi-Fi, V2X), głównie oparte na najpopularniejszych komponentach, jednak już w 2016 roku u-blox zaprezentował własny chipset LTE Cat.1., a doświadczenie zebrane przez trzy lata pozwoliło na stworzenie całkiem nowej platformy – UBX-R5.

## UBX-R5

Wynikiem kilku lat pracy i dwóch dekad doświadczenia jest chipset, który został przygotowany do zastosowań przemysłowych, teraz oraz w niedalekiej przyszłości, gdy nadejdzie era 5G. Podczas gdy rynek konsumencki idzie w kierunku eMBB (enhanced Mobile Broadband) – szybszych transmisji i małych latencji, to właśnie komunikacja między maszynami mMTC (massive Machine Type Communications) będzie istotniejsza z punktu widzenia tzw. Internet of Things. Do eMTC już zalicza się LTE Cat. NB1 (NB-IoT) oraz LTE Cat.M1. W momencie wejścia na rynek chipset będzie wspierał M1/NB2 zgodnie z 3GPP rel. 14. – czyli nadal 4G. Natomiast warta uwagi jest możliwość wgrania w przyszłości oprogramowania do już wyprodukowanych urządzeń nowego oprogramowania poprzez uFOTA (u-blox Firmware Over The Air), i używanie go w sieci 5G, gdyż chipset jest kompatybilny w przód (5G ready).

W czasach, gdy bezpieczeństwo danych i punktów dostępu jest coraz istotniejsze, u-blox zaimplementował sprzętowy Root of Trust wewnątrz zintegrowanego Secure Element zgodnego z EAL5+ (Evaluation Assurance Level). Wygenerowane klucze np. do bezpiecznej transmisji oparte są na danych niejawnych, co znacząco zwiększa odporność na ataki. Taki poziom pozwala na szyfrowanie danych, zero touch provisioning (w kontekście eSIM), ochronę przed klonowaniem oraz pewną komunikację chip-chip.

Pierwszymi modułami opartymi na platformie UBR-R5 będą SARA-R510M oraz SARA-R511M. Różnica między nimi to zintegrowany odbiornik GNSS (u-blox M8) ze zoptymalizowanym dla najlepszych parametrów torem radiowym i dedykowanym interfejsem antenowym (tor nie jest współdzielony z częścią komórkową, więc mogą one działać równocześnie). Klienci już używający produktów u-bloxa zauważą, że obudowa i wyprowadzenia modułu są zgodne z wcześniejszymi o nazwie SARA, więc możliwe jest wymienienie starszych technologii 2G, 3G na najnowszą, przy względnie niskim nakładzie pracy. Moduły SARA-R5 będą modułami globalnymi, jak poprzednia generacja SARA-R4. Oznacza to, że będzie możliwy programowy wybór pasm, w których ma odbywać się transmisja. Oczywiście muszą one być dostępne w kraju, w którym zainstalowano urządzenie. Moduł obsłuży również dynamiczny tuning anteny – aby możliwe było globalne zastosowanie tylko jednej.

Nowa rodzina SARA posiada oczywiście wszelkie funkcjonalności jakie u-blox zaimplementował w poprzednich generacjach, zaczynając od usługi CellLocate (pozycjonowanie po stacjach bazowych), Last Gasp („ostatnie tchnienie" – wysyłanie komunikatu o utracie zasilania i zakończeniu działania), obsługę protokołów do IoT (MQTT, MQTT-SN, CoAP, LWM2M) oraz update oprogramowania za pomocą uFOTA.

## Co dalej?

Celem firmy u-blox jest zapewnienie klientom najlepszych możliwych produktów do aplikacji, które mają być bezpieczne, działać niezawodnie wiele lat i pozwalać na wykorzystanie jak najwięcej możliwości dostępnych obecnie technologii. To właśnie ta szwajcarska firma jako pierwsza przedstawiła moduł Narrowband IoT (NB-IoT) w 2015 roku, ogłosiła chipset do V2X – komunikacji pojazdów i aktywnie rozwija swoje portfolio modułów GNSS.

Moduły będą dostępne na początku 2020 roku. Możemy się spodziewać, że UBX-R5 i SARA-R5 to nie ostatnie słowo Helwetów.

**Microdis Electronics Sp. z o.o.**



eprasa.pl 4d9608b833

# Inteligentne monitorowanie agregatów hydraulicznych

*Nie od dziś wiadomo, że efektywne maszyny zwiększają wydajność produkcji. Stąd też niezwykle istotne jest zapewnienie im idealnie działającej hydrauliki. Aby było to możliwe, konieczne jest zastosowanie odpowiednich czujników.*

**Więcej informacji:**
IFM Electronic sp. z o.o.
40-105 Katowice, ul. Węglowa 7
tel. +48 32 70 56 400, info@ifm.com.pl
***www.ifm.com.pl***

Centralnym elementem układu hydraulicznego jest agregat hydrauliczny. Dostarcza on energię niezbędną do pracy siłowników hydraulicznych, czyli najważniejszych elementów napędowych w hydraulice siłowej. Stosuje się je w mobilnych maszynach roboczych, np. koparkach, ładowarkach i żurawiach oraz maszynach rolniczych i leśniczych. Natomiast w przemyśle znajdują zastosowanie wszędzie, gdzie konieczne jest poruszanie ciężkich elementów maszyn, np. w prasach hydraulicznych, urządzeniach walcowniczych i wtryskarkach.

## Niezbędny monitoring

Jednym z najważniejszych działań mających na celu zapewnienie sprawnego funkcjonowania agregatów hydraulicznych jest ich inteligentne monitorowanie. Istotne jest m.in. bieżące kontrolowanie poziomu i temperatury oleju hydraulicznego. Parametry te mierzą czujniki serii LR i TR. Pozwalają natychmiast wykryć ewentualne odchylenia od wartości zadanych. Poprzez wyjścia przełączające można wysyłać sygnały alarmowe lub sterować funkcjami maszyny. Informacje o urządzeniu można wczytywać i odczytywać poprzez IO-Link. Pozwala to na uniknięcie błędów przy wpisywaniu danych podczas programowania nowych czujników i umożliwia przesłanie aktualnych wartości nastawy.

Do tego typu urządzeń należy m.in. LR7000 – czujnik do ciągłego pomiaru poziomu, radar z falowodem. Służy do niezawodnej kontroli poziomu w zbiornikach i pojemnikach. Jest odpowiedni zarówno do wody, jak i olejów oraz chłodziw. Ma system modułowy obejmujący jednostkę oceniającą i sondę. Bez problemu



eprasa.pl 4d9608b833

można go przystosować do różnych wysokości pojemników przez jej skrócenie. Wyposażony jest także w wyraźnie widoczny, 4-cyfrowy wyświetlacz LED.

Monitorowanie parametrów agregatu hydraulicznego usprawnia również TR7439 – jednostka przetwarzająca z wyświetlaczem do sond temperatury PT100/PT1000. Posiada dwa wyjścia przełączające, w tym jedno z interfejsem komunikacyjnym IO-Link. Umożliwia bardzo duży zakres oceny temperatury, jest intuicyjne i wygodne w obsłudze, a dzięki czerwono-zielonemu wyświetlaczowi pozwala na jasne wskazywanie dopuszczalnego zakresu. Automatycznie rozpoznaje też typ podłączonego czujnika.

## Czujniki dedykowane olejom

Do kontrolowania temperatury oleju służą również czujniki prętowe typu TT z wbudowanym elementem sensorycznym Pt100 o klasie dokładności A, które pozwalają na bardzo precyzyjny pomiar temperatury. Sygnały są przetwarzane przez monitor kontrolny temperatury typu TR. Urządzenie sygnalizuje aktualną temperaturę oleju w zbiorniku agregatu hydraulicznego bezpośrednio na 4-cyfrowym wyświetlaczu LED. Natomiast wyjście przełączające umożliwia dodatkowo bezpośrednie monitorowanie stanów krytycznych, np. przekroczenia minimalnej lub maksymalnej temperatury granicznej.

Dla sprawnego funkcjonowania agregatu hydraulicznego istotne jest również monitorowanie poziomu oleju w jego zbiorniku. W sposób ciągły mierzy go **c**zujnik poziomu ifm serii LK10. Robocze wyjście przełączające umożliwia sterowanie poziomem w zakresie ustawionych wartości granicznych. Dodatkowo za pomocą wydzielonego punktu granicznego można monitorować stany krytyczne, np. przepełnienie zbiornika. Dzięki wyświetlaczowi LED aktualny poziom można odczytać bezpośrednio na urządzeniu.

Natomiast do monitorowania ciśnienia systemowego w układzie hydraulicznym stosuje się czujniki ciśnienia ifm typu PN. To urządzenia nowej generacji, które wyróżniają się wysokim komfortem obsługi oraz ulepszoną wizualizacją. Mają programowany czerwono-zielony wyświetlacz umożliwiający jednoznaczne oznaczenie prawidłowych zakresów. Z kolei obrotowe złącze procesowe gwarantuje ich optymalne ustawienie.

Jednak różne media wymagają różnych charakterystyk czujnika. Dzięki nowym mechatronicznym czujnikom przepływu, zaprojektowanym specjalnie do olejów, ifm zapewnia kombinację dokładności, szybkości i adaptowalności do zastosowania. Zwiększa to również wydajność ekonomiczną. Dzięki złożonej regulacji, wykonywanej podczas produkcji, a także zastosowaniu części mechanicznych właściwych dla olejów tego typu czujnik nie tylko zapewnia precyzyjne wartości mierzone dla wybranej krzywej oleju. Wyróżnia się on także zintegrowaną kompensacją temperatury. Możliwe jest również indywidualne projektowanie urządzeń specjalnie do określonych lepkości oleju, np. w przemyśle lotniczym.

Jakość komponentów to podstawa niezawodnej pracy agregatu hydraulicznego. Dlatego bardzo ważne jest, aby oprócz pompy, zaworów i siłowników, sprawnie działała przede wszystkim technologia pomiarowa.

REKLAMA

eprasa.pl 4d9608b833

# Sigma DSP – EVAL_ADAU1787

## Dwurdzeniowe DSP – miniaturowy gigant

*Analog Devices sukcesywnie rozszerza rodzinę Sigma DSP, tym razem do rodziny dołączył układ polecany do aplikacji mobilnych ADAU1787. Jest to pierwszy dwurdzeniowy procesor z rodziny Sigma DSP. Dla szybkiego sprawdzenia jego własności użytkowych wraz z układem pojawił się zestaw rozwojowy EVAL--ADAU1787, który miałem przyjemność przetestować.*

ADAU1787 jest w zasadzie systemem audio typu SoC, w swojej strukturze wewnętrznej, którą przedstawia **rysunek 1**, integruje nie tylko dwa rdzenie DSP, ale także kodek audio oraz pomocnicze układy peryferyjne. Można powiedzieć, że jest połączeniem udoskonalonego ADAU1701 z wbudowanymi przetwornikami AD/DA audio i obsługą sterowania przez GPIO oraz funkcjonalności ADAU1772, jaką jest obróbka sygnału z wysokimi fs, niską latencją, wbudowanym konwerterem częstotliwości próbkowania ASRC, bezpośrednią obsługą mikrofonów analogowych i cyfrowych PDM. To ciekawe połączenie zostało uzupełnione o dodatkowy rdzeń FastDSP dedykowany aplikacjom aktywnego tłumienia hałasu ANC.

ADAU1787 jest przeznaczony do aplikacji mobilnych, gdzie niezbędna jest obróbka sygnału audio, taka jak korekcja pasma przenoszenia, filtracja oraz ograniczanie poziomu, redukcja poziomu hałasu otoczenia z zachowaniem możliwości kontroli DSP przez GPIO. Znajdzie on zastosowanie w głośnikach bezprzewodowych, kamerach, słuchawkach Bluetooth, telefonach lub odtwarzaczach przenośnych, spełniając szczególnie ważny wymóg niewielkiej zajmowanej powierzchni, minimalnego poboru energii i niskiego kosztu aplikacji – nieosiągalnych dla „klasycznych" aplikacji analogowych.

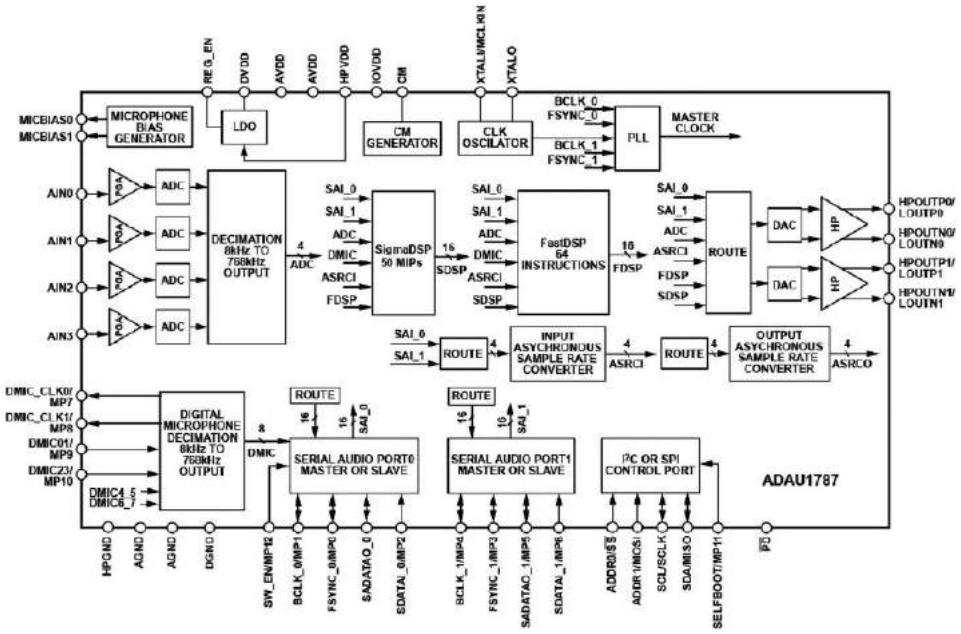
Podstawowe cechy procesora ADAU1787:

- obróbka sygnału z fs do 768 kHz,
- 4 przetworniki A/D 24 bit, konfigurowane jako mikrofonowe lub liniowe,
- 2 przetworniki D/A 24 bit, konfigurowane jako wyjścia liniowe lub słuchawkowe,
- tor audio o niskiej latencji,
- 8 wejść sygnałów z mikrofonów cyfrowych,
- dwukierunkowy, czterokanałowy ASRC,
- 16-kanałowy port szeregowy, obsługujący I²S, TDM16, LJ,
- wbudowany konfigurowany interfejs komunikacyjny I²S, SPI,
- tryb selfboot, umożliwiający pracę bez zewnętrznego mikrokontrolera,
- napięcie zasilania 1,8 V dla części analogowej, 0,9 V dla rdzeni DSP,
- niski pobór mocy typowo 11 mW,
- łatwe programowanie w graficznym środowisku Sigma Studio od wersji 4.3,
- obudowa WLCSP42 o wymiarach 2,695×2,32 mm.

Wygląd zestawu ADAU1787EVAL przedstawia **fotografia 2**. W skład zestawu wchodzi płytka DSP oraz znany z wcześniejszych zestawów programator USBi w nowej wersji 1.4. Koszt zestawu w sklepie producenta to 399 USD.

Płytka zawiera oprócz procesora ADAU1787 i pamięci programu EEPROM typu 24C256 (po konfiguracji w trybie Selfboot, DSP może pracować samodzielnie bez procesora nadzorującego) układ zasilania umożliwiający zasilanie z zewnętrznego źródła 3,8…5 V poprzez złącze J2 lub zaciski laboratoryjne J31/J38 oraz z programatora USBi. Zestaw ma trzy gniazda wejściowe i wyjściowe w standardzie jack 3,5 mm stereo. Dwa złącza J18/J20 umożliwiają bezpośrednie podłączenie mikrofonów do wejść AIN0/1 ADAU1787. Zwory J11, J14 pozwalają doprowadzić lub odłączyć napięcie polaryzacji MICBIAS. Szeregowe interfejsy audio I²S wyprowadzone są na złącza J4/40. Zestaw zawiera złącza przeznaczone dla mikrofonów MEMS PDM. Dostęp do pozostałych wyprowadzeń MPx DSP zapewniają złącza J9/27. DSP taktowany jest wbudowanym kwarcem 24,576 MHz lub sygnałem zewnętrznym. Przełącznik S3 umożliwia wybór magistrali komunikacyjnej SPI/I²C pomiędzy DSP a programatorem USBi.

Zestaw ma odłączalne mikroprzełączniki chwilowe oraz dwupozycyjne DIPSWITCH, które można za pomocą zwór podłączyć




**Rysunek 1. Struktura wewnętrzna ADAU1787 (za notą producenta)**



eprasa.pl 4d9608b833

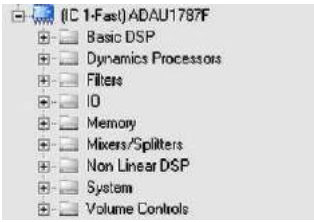
**Fotografia 2. Wygląd zestawu ADAU1787EVAL**

do GPIO DSP. W odróżnieniu od np. ADAU1701 wszystkie linie GPIO pracują tylko w trybie cyfrowym, ADAU1787 nie ma wbudowanego w sekcji GPIO przetwornika AD.

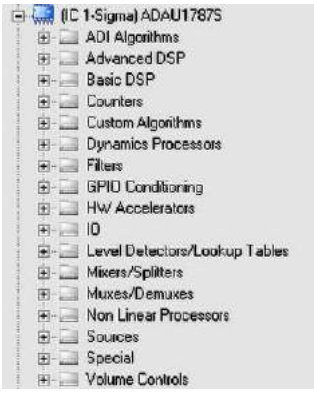
Konfiguracja zestawu EVAL ADAU1787 odbywa się sprzętowo poprzez ustawienie odpowiednich zwór, a do programowania służy SigmaStudio w wersji od 4.3. Oprogramowanie niezmiennie jest udostępnione darmowo, wymaga jedynie rejestracji na stronie producenta. Jest to środowisko graficzne, w którym „rysujemy" schemat z gotowych, parametryzowanych bloków funkcjonalnych oraz określamy konfigurację sprzętową procesora. Sposób obsługi SigmaDSP został szczegółowo opisany w kursie AudioDSP. Po poprawnej instalacji oprogramowania i sterowników USBi możliwe jest rozpoczęcie pracy z zestawem startowym. Należy zwrócić uwagę na programator w wersji 1.4, ze względu na współpracę VIO DSP ze standardem 1,8 V. Starsze wersje USBi wymagają przełączenia zwory VIO z 3,3 V na 1,8 V, ale bezpieczniej jest używać nowej, dostarczonej z zestawem wersji 1.4, nie ryzykując uszkodzenia kosztownego zestawu.

Ze względu na dwa rdzenie i bogate wyposażenie otaczające DSP rozrosła się też zakładka konfiguracji sprzętowej układu – **rysunek 3**.

Modyfikacji uległy biblioteki dostępnych bloków funkcjonalnych. Nowością jest rozdzielenie bloków funkcjonalnych zoptymalizowanych dla rdzenia szybkiego (**rysunek 4**) i standardowego (**rysunek 5**). Pojawiła się też biblioteka akceleratorów sprzętowych *HW Accelerators* ułatwiająca realizacje przekształceń i obliczeń trygonometrycznych, np.: cos/sin, atan itp.




**Rysunek 4. Biblioteki rdzenia szybkiego**

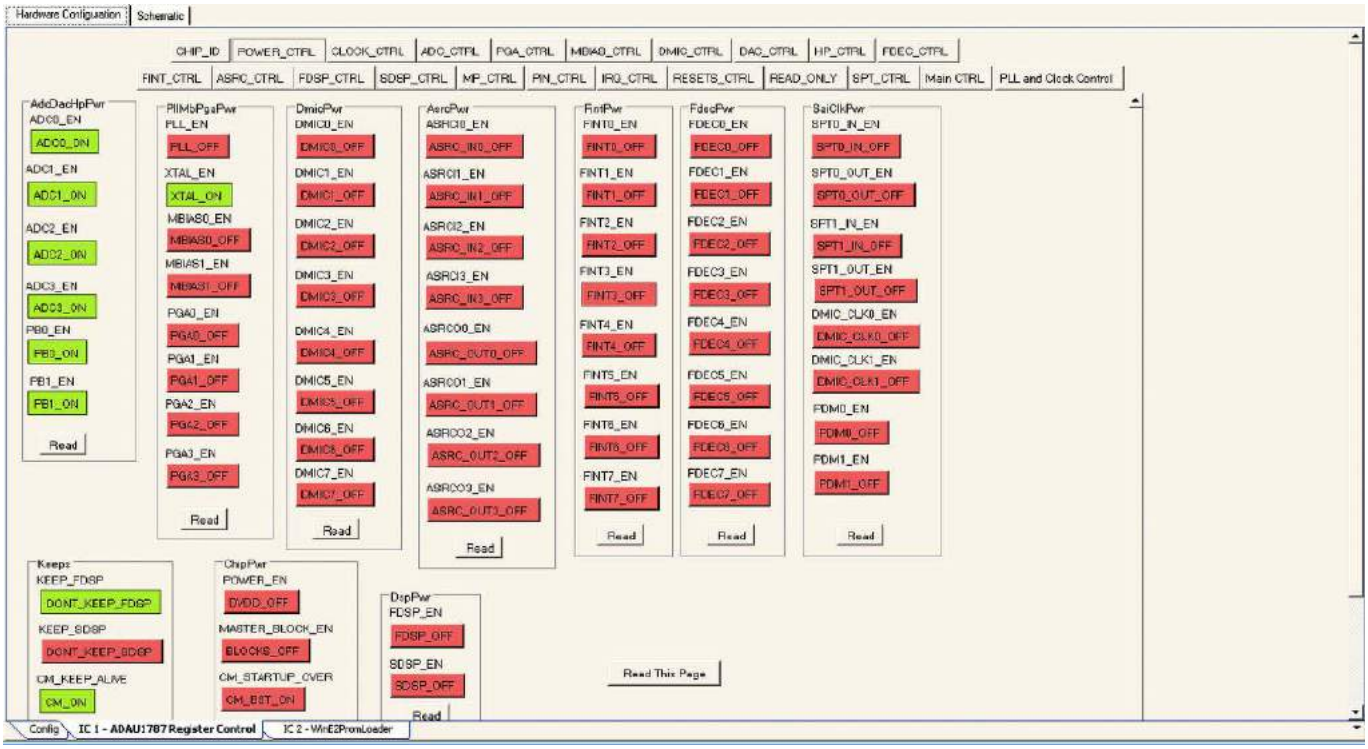



**Rysunek 5. Biblioteki rdzenia standardowego**

Przyjazne dla użytkownika oprogramowanie nie zwalnia od zapoznania się ze szczegółową dokumentacją ADAU1787, gdyż pomimo mniejszej złożoności niż np. ADAU1466, dwurdzeniowe DSP odbiega nieco konfiguracją od pozostałych układów rodziny SigmaDSP. Większa liczba opcji konfiguracji sprzętowej jest definiowana programowo, np. ustawienia bloków PLL, PGA, układu polaryzacji mikrofonów, poziomów sygnału AD/DA. Pojawia się też blok ASRC, którego tak brakuje w ADAU1701, rozbudowany jest układ zarządzania zasilaniem poszczególnych bloków funkcjonalnych DSP. Zapowiadają się więc kolejne noce zarwane na studiowanie dokumentacji i testowanie nowych rozwiązań, tym bardziej że niestety jak zwykle producent nie udostępnił jakiegokolwiek projektu przykładowego – no cóż, im trudniej przychodzi przyswojenie wiedzy, tym na dłużej ona pozostanie...

Dokumentacja zestawu jest dostępna na stronie producenta oraz na stronie wsparcia technicznego ***ez.analog.com***. Warto sprawdzać nowe wersje SigmaStudio, gdzie poprawiane jest wsparcie i usuwane błędy, szczególnie w nowych procesorach.

**Adam Tatuś**
**adam.tatus@ep.com.pl**




**Rysunek 3. Konfiguracja sprzętowa ADAU1787**



eprasa.pl 4d9608b833

# Jak zaprojektować zasilacz ze scaloną przetwornicą impulsową

*Przetwornice impulsowe w postaci układów scalonych są popularnymi elementami elektronicznymi, często zastępującymi stabilizatory liniowe w układach zasilania. Jednakże ich implementacja w układzie nie jest aż tak prosta jak klasycznych stabilizatorów. Wystarczy jednak postępować zgodnie z informacjami zawartymi w dokumentacji, aby zaprojektowanie tego rodzaju układu nie było dla nas żadnym problemem.*

Implementacja nowoczesnych układów scalonych nie zawsze jest tak prosta, jak może się wstępnie wydawać. Odpowiedni dobór elementów towarzyszących tym układom jest kluczowy dla poprawnego działania danego urządzenia. W cyklu **poradnik implementacji** przedstawimy przykładowe implementacje różnych układów scalonych w różnych funkcjach wraz ze szczegółowym opisem, w jaki sposób dobrać parametry poszczególnych, towarzyszących elementów elektronicznych. Jednak z uwagi na różnice pomiędzy poszczególnymi układami nie są to poradniki uniwersalne, ogólna metodologia postępowania, która jest taka sama w całej klasie elementów.

Pierwszym elementem elektronicznym, jaki bierzemy na warsztat jest scalony, impulsowy stabilizator napięcia – przetwornica *step-down*. Omówimy implementację tego rodzaju układów na przykładzie układu *TPS54331* firmy Texas Instruments. Jest to scalona przetwornica napięcia DC-DC o szerokim zastosowaniu. Układ pracuje z napięciem wejściowym w zakresie od 3,5 V do 28 V; napięcie wyjściowe regulowane jest od 0,8 V do ok. poziomu napięcia wejściowego (minus oczywiście pewne straty na elementach układu). Maksymalny prąd wyjściowy układu wynosi 3 A. Dostarczany jest w kompaktowej obudowie SOIC8 z opcjonalnym polem *PowerPAD* dla lepszego odprowadzania ciepła z układu.

## Projektowanie zasilacza stabilizowanego w oparciu na układzie TPS54331

Przetwornica napięcia to układ elektroniczny, który konwertuje jedno napięcie na inne. Obecnie szeroko stosowane są przetwornice impulsowe, zapewniające dobre parametry stabilizowanego napięcia wyjściowego – niskie tętnienia, dużą precyzję napięcia wyjściowego przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej lub bardzo wysokiej sprawności. W odróżnieniu od stabilizatorów liniowych, układy impulsowe, w przypadku zmniejszania napięcia wyjściowego, nie marnują nadmiaru energii, wytracając napięcie na elemencie oporowym. Zatem nie produkują niepotrzebnie dużej ilości ciepła. Układy tego typu są bardziej skomplikowane niż stabilizatory liniowe, ale jeżeli uważnie śledzić będziemy zalecenia z ich dokumentacji i podążać opisanym dalej torem postępowania, to z pewnością projektowany przez nas układ ruszy od ręki w każdym prototypie.

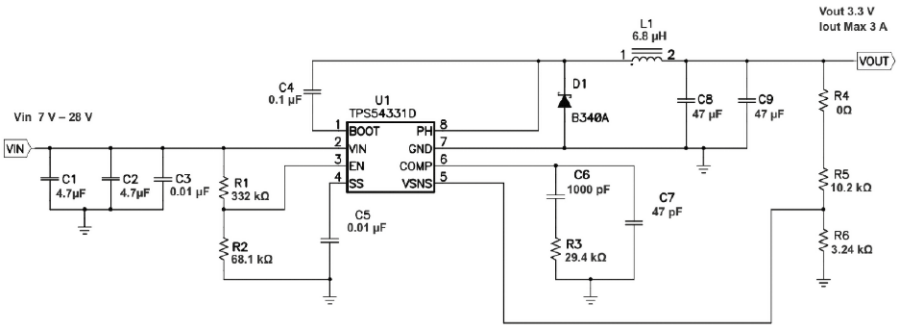
**Tabela 1. Proponowane wartości elementów (według [1]).**

| $V_{OUT}$ (V) | $L_1$ (μH) | $C_{OUT}$ (C8 i C9) | $R_5$ (kΩ) | $R_6$ (kΩ) | $C_7$ (pF) | $C_6$ (pF) | $R_3$ (kΩ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 6,8 | 2× ceramiczny 33 μF | 10 | 1,91 | 39 | 4700 | 49,9 |
| 3,3 | 6,8 | 2× ceramiczny 47 μF | 10 | 3,24 | 47 | 1000 | 29,4 |
| 1,8 | 4,7 | Ceramiczny 100 μF | 10 | 8,06 | 68 | 5600 | 29,4 |
| 0,9 | 3,3 | 2× Ceramiczny 100 μF | 10 | 80,6 | 56 | 5600 | 29,4 |
| 5 | 6,8 | Aluminiowy 330 μF, 160 mΩ | 10 | 1,91 | 68 | 120 | 29,4 |
| 3,3 | 6,8 | Aluminiowy 470 μF, 160 mΩ | 10 | 3,24 | 82 | 220 | 10 |
| 1,8 | 4,7 | Polimerowo-aluminiowy 100 μF, 15 mΩ | 10 | 8,06 | 68 | 5600 | 29,4 |
| 0,9 | 3,3 | Polimerowo-aluminiowy 330 μF, 12 mΩ | 10 | 80,6 | 100 | 1200 | 49,9 |

W karcie katalogowej omawianej przetwornicy znaleźć można tabelkę, która specyfikuje wartości elementów dla typowych wartości napięcia wyjściowego (**tabelka 1**), jednakże pokazuje ona jedynie, jak skonfigurować przetwornicę dla czterech popularnych napięć zasilających – 5 V, 3,3 V, 1,8 V oraz 0,9 V. Co zrobić, jeżeli w naszym systemie wymagane jest inne napięcie? Na szczęście w karcie katalogowej tego układu dokładnie opisano także postępowanie przy implementacji opisywanego układu. W dalszej części artykułu skupimy się na prześledzeniu toku projektowania przetwornicy dla zadanego zestawu przykładowych parametrów projektowych.

Na **rysunku 1** pokazano typową aplikację omawianego układu. Poniższy opis będzie się odnosić do oznaczeń elementów użytych na tym schemacie. Parametry projektowe przetwornicy, wykorzystane w poniższym przykładzie, znajdują się w **tabeli 2**.

Przejdźmy zatem do projektowania układu. Przedstawione na rysunku 1 wartości elementów pasywnych pozwalają na budowę przetwornicy o napięciu wyjściowym 3,3 V, tak jak w parametrach




**Rysunek 1. Schemat typowej aplikacji scalonej przetwornicy TPS54331 [1]**



eprasa.pl 4d9608b833

**Tabela 2. Przykładowe parametry projektowe do obliczenia przetwornicy**

| Parametr | Wartość |
|---|---|
| Zakres napięć wejściowych | 7...28 V |
| Napięcie wyjściowe | 3,3 V |
| Maksymalne tętnienie napięcia wejściowego | 300 mV |
| Maksymalne tętnienie napięcia wyjściowego | 30 mV |
| Maksymalny prąd wyjściowy | 3 A |
| Częstotliwość pracy | 570 kHz |

projektowych układu. Przyjrzyjmy się, krok po kroku, jak poszczególne wartości zostały uzyskane.

## Częstotliwość pracy

W TPS54331 częstotliwość przełączania kluczy ustawiona jest na sztywno na 570 kHz. Nie ma możliwości zewnętrznego sterowania tym parametrem w opisywanym układzie, aczkolwiek w wielu scalonych stabilizatorach impulsowych istnieje taka opcja. Zazwyczaj częstotliwość ta konfigurowana jest za pomocą jednego opornika lub dzielnika rezystancyjnego. Stosowne wzory zawarte są w karcie katalogowej danego elementu. Proces dobierania elementów warto rozpocząć od doboru częstotliwości pracy przetwornicy, jako że ma ona istotny wpływ na wiele innych wartości w systemie, jak zobaczymy w dalszej części artykułu. Na wybór częstotliwości pracy przetwornicy impulsowej w danym urządzeniu mogą mieć wpływ m. in. wymagania EMI czy EMC oraz inne układy w systemie – dobrze jest dobrać częstotliwość pracy zasilacza tak, aby nie interferowała z innymi systemami.

## Napięcie wyjściowe

Napięcie stabilizowane przez układ TPS54331 jest ustawiane zewnętrznie za pomocą dzielnika oporowego, złożonego z rezystorów R5 i R6. Elementy te formują pętlę sprzężenia zwrotnego, łączącą wyjście z zasilacza i kontroler przetwornicy. Ich wartości określają **równania 1a i 1b**:

$$R_6 = \frac{R_5 \times V_{ref}}{V_{OUT} - V_{ref}}$$

$$V_{OUT} = V_{ref} \times \left(\frac{R_5}{R_6} + 1\right) \quad (1)$$

gdzie napięcie odniesienia $V_{ref}$ równe jest 800 mV ±2% (±3,5%, jeśli uwzględnimy także wahania temperatury w całym zakresie działania przetwornicy).

Opornik $R_5$, zgodnie z kartą katalogową, powinien mieć wartość zbliżoną do 10 kΩ. Można nią delikatnie manipulować, aby uzyskać napięcie wyjściowe bliższe wymaganemu, przy wykorzystaniu standardowych oporników z typowych szeregów. W tym przypadku wykorzystano oporniki: $R_5$=10,2 kΩ oraz $R_6$=3,24 kΩ, uzyskując na wyjściu napięcie równe 3,31 V. Jest to wartość dostatecznie bliska docelowej, aby zadowolić nawet wymagające układy cyfrowe.

Przy szacowaniu napięcia wyjściowego, szczególnie w aplikacji wymagającej precyzji, można dodatkowo oszacować błąd tego napięcia, wynikający z dokładności stabilizacji napięcia odniesienia oraz tolerancji i współczynników temperaturowych wykorzystanych oporników $R_5$ i $R_6$. Wykorzystane wartości rezystancji pochodzą z szeregu E96 (o tolerancji 1%); dla takich oporników, przy pominięciu efektów termicznych, błąd napięcia wyjściowego wyniesie **±0,12 V**, a jeśli uwzględnimy wpływ wahania temperatury (dla 100 ppm/°C i zakres 190°C – tak jak w przypadku $V_{ref}$), to błąd napięcia wyjściowego wzrośnie do poziomu aż **± 0,26 V**, to jest aż **8%** wartości napięcia wyjściowego. Więcej na temat analizy błędów i odchyleń znajdziemy w [2].

Opornik $R_4$ (0 Ω) dodany jest do układu jako wygodne miejsce do przerwania pętli sprzężenia zwrotnego celem badania stabilności pętli sprzężenia zwrotnego przetwornicy. W finalnym układzie taki element nie jest potrzebny – przydatny jest tylko na etapie prototypowania i testowania układu.

## Kondensatory wejściowe

Układ TPS54331 wymaga kondensatora wejściowego do filtracji zasilania. Typowa, zalecana wartość kondensatora odsprzęgającego wejście wynosi 10 µF. Zalecany jest kondensator ceramiczny z dielektrykiem X5R lub X7R (tematowi doboru kondensatorów – wartości, dielektryka etc. poświęcimy jeden z najbliższych artykułów). Dodatkowo może być wymagana pewna pojemność magazynująca, zwłaszcza jeśli obwód z TPS54331 znajduje się dalej niż 5 cm od źródła zasilania. Wartość tej pojemności nie jest krytyczna, ale kondensator powinien być przystosowany do napięcia tętnienia na wejściu i skutecznie je filtrować.

W opisywanym układzie zastosowano dwa, równolegle połączone ze sobą kondensatory o pojemności 4,7 µF z dielektrykiem X7R. Równoważna rezystancja szeregowa (ESR) tego układu wynosi około 2 mΩ. Do układu dodatkowo równolegle dołączono kondensator 10 nF do poprawy charakterystyki dla wysokich częstotliwości. Na podstawie tych parametrów można obliczyć napięcie i prąd tętnień na wejściu. Aby sprawdzić, czy parametry te mieszczą się w specyfikowanym zakresie, możemy skorzystać ze **wzoru 2**, który opisuje napięcie tętnień wejściowych przetwornicy.

$$\Delta V_{IN} = \frac{I_{O(MAX)} \times 0,25}{C_{BULK} \times f_{SW}} + I_{O(MAX)} \times ESR_{MAX} \quad (2)$$

gdzie $I_{OUT(MAX)}$ to maksymalny prąd, $f_{SW}$ to częstotliwość przełączania (570 kHz), $C_{BULK}$ to łączna pojemność kondensatorów wejściowych, a $ESR_{MAX}$ to ich maksymalna szeregowa rezystancja zastępcza (wypadkowa, przy połączeniu więcej niż jednego kondensatora).

Maksymalny prąd tętnień jest opisany z kolei **wzorem 3**. Konieczne jest jego wyznaczenie, by dobrać taki kondensator, który może pracować z takim prądem (lub większym). Niespełnienie tego warunku doprowadzić może do katastrofalnej awarii tego elementu lub jego przyspieszonego starzenia.

$$I_{CIN(MAX)} = \frac{I_{O(MAX)}}{2} \quad (3)$$

W analizowanym wypadku tętnienia napięcia wejściowego wyniosą 143 mV, a tętnienia prądu RMS równe będą 1,5 A. Są to wartości teoretyczne, szczególnie tętnienia napięcia. Rzeczywiste parametry zależą również mocno od projektu PCB i pasożytniczych indukcyjności oraz impedancji wyjściowej źródła prądu, podłączonego na wejściu przetwornicy i impedancji ścieżek łączących je ze sobą.

Maksymalna różnica potencjałów na okładkach kondensatorów wejściowych równa jest $V_{IN(MAX)} + \Delta V_{IN}/2$. Wartość ta jest istotna, gdyż definiuje napięcie na jakie – co najmniej – dobrany powinien być kondensator wejściowy. Dodatkowo, prąd pracy tych elementów powinien być nie mniejszy niż wyliczony powyżej prąd tętnień. W tym wypadku wybrano element o maksymalnym napięciu pracy równym 50 V i prądzie do 3 A, aby mieć pewność, że parametry te nie zostaną nigdy przekroczone.

## Komponenty filtra wyjściowego

Filtr wyjściowy przetwornicy składa się z dwóch podstawowych elementów – cewki $L_1$ oraz kondensatora (u nas kondensatorów $C_8$, $C_9$). Ponieważ TPS54331 to układ z kompensacją zewnętrzną, można wykorzystywać go z szeroką gamą elementów filtrów i wartości. Do obliczenia minimalnej wartości indukcyjności $L_1$ wykorzystujemy **wzór 4**:

$$L_{MIN} = \frac{V_{OUT(MAX)} \times (V_{IN(MAX)} - V_{OUT})}{V_{IN(MAX)} \times K_{IND} \times I_{OUT} \times f_{SW}} \quad (4)$$

gdzie $K_{IND}$ to współczynnik reprezentujący stosunek prądu tętnień w indukcyjności do maksymalnego prądu wyjściowego. W ogólności, wartość ta ustalana jest arbitralnie przez inżyniera-projektanta. Przyjmuje się, że jeżeli wykorzystujemy w filtrze wyjściowym



eprasa.pl 4d9608b833

kondensatory ceramiczne o niskim ESR, to $K_{IND}$=0,3, a jeżeli gorsze elementy, o wyższej szeregowej rezystancji zastępczej, to $K_{IND}$=0,2 da nam lepsze rezultaty.

W tym przypadku, dla $K_{IND}$=0,3 uzyskano $L_{min}$=5,7 µH. Jest to oczywiście jedynie minimalna wartość indukcyjności tego elementu, dlatego też bez problemu zastosować można większą. W tym projekcie zastosowano kolejną najbliższą wartość w szeregu – 6,8 µH. Karta katalogowa tego elementu wskazuje, że maksymalna indukcyjność cewki wyjściowej wynosi 47 µH.

Jeśli chodzi o prąd cewki, wyliczyć trzeba prąd tętnień $I_{LPP}$, aby z kolei wyznaczyć z niego prąd RMS cewki, na podstawie którego dobierzemy konkretny, fizyczny element. Wartość $I_{LPP}$ obliczamy, korzystając z **wzoru 5**. Natomiast prąd cewki RMS jest określony **wzorem 6**. Warto jeszcze obliczyć maksymalny prąd w impulsie, jaki płynąć będzie przez cewkę. Jest on określony **wzorem 7**.

$$I_{LPP} = \frac{V_{OUT} \times (V_{IN(MAX)} - V_{OUT})}{V_{IN(MAX)} \times L_{OUT} \times f_{SW} \times 0.8} \quad (5)$$

$$I_{Lrms} = \sqrt{I_{OUT(MAX)}^2 + \frac{1}{12} \times I_{LPP}^2} \quad (6)$$

$$I_{Lpk} = I_{OUT(MAX)} + \frac{I_{LPP}}{2} \quad (7)$$

Z powyższych wyliczeń wynika, że prąd RMS cewki wyniesie 3,01 A, a szczytowy prąd w impulsie 3,47 A. Na podstawie tych parametrów do zastosowania w projektowanym układzie wybrano cewkę Sumida CDRH103-6R8 o indukcyjności 6,8 µH, prądzie nasycenia 3,84 A i maksymalnym prądzie RMS 3,6 A. W pełni satysfakcjonuje to powyższe wymagania.

Za pomocą wartości indukcyjności cewki można zmieniać parametry takie jak prąd tętnień na wyjściu układu. Jest to istotne, ponieważ parametr ten ma istotny wpływ na dobór kondensatorów wyjściowych. Ma to głównie znaczenie ekonomiczne, gdyż indukcyjność cewki i parametry kondensatorów wyjściowych mają wpływ na ich cenę. Zręcznie dobierając te elementy wspólnie, można uzyskać możliwie najtańszą ich kombinację, zapewniającą poprawne działanie systemu.

Drugim elementem filtra wyjściowego jest kondensator (kondensatory) filtrujący zasilanie ($C_8$ i $C_9$ na **rysunku 1**). W przypadku tego elementu istotne jest wyznaczenie wartości pojemności oraz maksymalnego napięcia DC tego kondensatora. Wyznaczyć trzeba także maksymalny prąd tętnień i maksymalną, dopuszczalną zastępczą rezystancję szeregową (ESR) kondensatora. Maksymalne napięcie DC i prąd tętnień wybranego kondensatora są parametrami, jakich nie możemy przekroczyć w systemie, inaczej ryzykujemy uszkodzenie kondensatora. W związku z tym dobrać musimy takie kondensatory, które mają te parametry nie mniejsze niż wyliczone dla danego układu, a jednocześnie spełniają pozostałe wymagania.

Parametr ESR kondensatora jest istotny, ponieważ ma wpływ na tętnienia w napięciu wyjściowym. Parametrem, który ma tutaj najmniejsze znaczenie, jest – o dziwo – wypadkowa pojemność filtrująca, aczkolwiek są pewne granice dla niej, wynikające z granicznych częstotliwości filtra LC formującego się na wyjściu. Zasadniczo graniczna częstotliwość pętli sprzężenia zwrotnego powinna być mniejsza niż 1/5 częstotliwości przełączania klucza przetwornicy. Przy częstotliwości pracy przetwornicy równej 570 kHz dobrą częstotliwością graniczną pętli jest 25 kHz (taka wartość rekomendowana jest przez producenta układu w karcie katalogowej). Zacznijmy od wyznaczenia minimalnej pojemności kondensatora(ów) wyjściowych. Jest ona określona **wzorem 8**.

$$C_{O(MIN)} = \frac{1}{2 \times \pi \times R_O \times F_{CO(MAX)}} \quad (8)$$

gdzie $R_O$ to impedancja obciążenia ($V_O/I_O$), a $F_{CO(max)}$ to założona powyżej częstotliwość graniczna. Dla założonej wartości 25 kHz pojemność ta wynosi 5,8 µF. Może to być zbyt mało, by zadowolić nasze wymagania co do napięcia tętnień. Określa je **równanie 9**.

$$V_{OPP} = I_{LPP} \times \left[ \frac{D - 0.5}{4 \times f_{SW} \times C_O} + R_{ESR} \right] \quad (9)$$

gdzie D to maksymalne wypełnienie przebiegu PWM, sterującego kluczem przetwornicy. W przypadku tego układu maksymalne wypełnienie impulsów wynosi 91%.

Po przekształceniu **wzoru 9** możemy uzyskać wyrażenie na maksymalne, dopuszczalne ESR dla kondensatorów wyjściowych dla założonej pojemności wyjściowej i maksymalnego dopuszczalnego napięcia tętnień na wyjściu stabilizatora. Wartość ta określona jest **wzorem 10**.

$$ESR_{MAX} = \frac{V_{OPP}}{I_{LPP}} - \frac{D - 0.5}{4 \times f_{SW} \times C_O} \quad (10)$$

Parametry te – minimalne $C_O$ i maksymalne ESR kondensatorów – są ze sobą immanentnie związane **równaniami 9 i 10**, więc trzeba umiejętnie dobrać taki zestaw elementów filtrujących napięcie wyjściowe, aby spełnione były wymagania układu co do minimalnej wartości $C_O$ i jednocześnie aby napięcie tętnień na wyjściu nie przekroczyło maksymalnego dopuszczalnego progu z naszych parametrów projektowych z tabeli 2.

Możemy ostatecznie wyznaczyć maksymalny prąd tętnień w układzie – wybrany przez nas kondensator filtrujący musi pozwalać na pracę z co najmniej takim prądem. Prąd ten określa **wzór 11**.

$$I_{COUT(RMS)} = \frac{1}{\sqrt{12}} \times \frac{V_{OUT} \times (V_{IN(MAX)} - V_{OUT})}{V_{IN(MAX)} \times L_{OUT} \times f_{SW} \times N_C} \quad (11)$$

gdzie $N_C$ to liczba połączonych ze sobą równolegle kondensatorów w układzie filtrującym.

W tym przykładzie wybrano dwa połączone ze sobą równolegle kondensatory TDK C3216X5R0J476MT. Mają one pojemność 47 µF i dzięki ceramicznemu dielektrykowi bardzo niską rezystancję szeregową – zaledwie 2 mΩ. Daje to wypadkową pojemność wyjściową $C_O$=94 µF i zastępczą rezystancję szeregową takiego układu równą 1 mΩ (przy pominięciu rezystancji ścieżek, lutów i nóżek elementów). Kondensatory te pracować mogą z napięciem do 6,3 V i prądem tętnień ponad 3 A. W naszym układzie maksymalny prąd tętnień dla tych parametrów wynosi zaledwie 161 mA (na oba kondensatory łącznie) a maksymalny dopuszczalny ESR wynosi 43 mΩ. Zatem dobrane kondensatory z zapasem spełniają wymagania projektu (co nie jest bez znaczenia, jeśli uwzględnimy krzywe starzenia elementów etc.).

## Elementy pętli kompensacyjnej

Kompensacja zewnętrzna zastosowana w układzie TPS54331 pozwala na elastyczną konfigurację filtra wyjściowego. Obsługiwany jest szeroki zakres wszystkich parametrów cewek i kondensatorów. Przykładowy projekt wykorzystuje ceramikę typu X5R w kondensatorach wyjściowych, ale możliwe są również inne elementy, np. o wyższym ESR. Aby układ poprawnie działał z tak różnymi elementami, stosuje się odpowiednią kompensację pętli sprzężenia zwrotnego układu.

Dla przetwornicy TPS54331 zalecany jest schemat kompensacji typu II. Komponenty kompensacyjne są wybrane tak, aby ustawić częstotliwość podziału i margines fazy dla zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego dla filtrów wyjściowych. W kompensacji tego rodzaju dobiera się trzy parametry: **wzmocnienie stałoprądowe (DC)**, **biegun niskiej częstotliwości** i parę **biegun-miejsce zerowe przy wyższej częstotliwości**.

Aby wyznaczyć wzmocnienie stałoprądowe, korzystamy ze **wzoru 12**.

$$G_{DC} = \frac{V_{ggm} \times V_{ref}}{V_O} \quad (12)$$

gdzie $V_{ggm}$ = 800, a $V_{ref}$ = 0,8 V.



eprasa.pl 4d9608b833

Biegun dla niskiej częstotliwości określony jest **równaniem 13**. Dalej, **równanie 14** oraz **15** określają odpowiednio miejsce zerowe charakterystyki oraz jej biegun.

$$F_{P0} = \frac{1}{2 \times \pi \times R_O \times C_Z} \quad (13)$$

$$F_{Z1} = \frac{1}{2 \times \pi \times R_Z \times C_Z} \quad (14)$$

$$F_{P1} = \frac{1}{2 \times \pi \times R_Z \times C_P} \quad (15)$$

gdzie, $R_Z$, $C_Z$ oraz $C_P$ to elementy filtra kompensacyjnego, odpowiednio $R_3$, $C_6$ i $C_7$ na schemacie. $R_o$ to impedancja obciążenia (definiowana jako stosunek napięcia wyjściowego do prądu wyjściowego – $V_O/I_O$).

Pierwszym krokiem podczas doboru elementów tego obwodu jest wybór częstotliwości granicznej zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego. Ogólnie częstotliwość ta powinna być mniejsza niż ~1/8 minimalnej częstotliwości pracy układu przetwornicy (w tym wypadku to częstotliwość 570 kHz). Oznacza to, że częstotliwość graniczna pętli – $F_{CO}$ – powinna być nie większa niż ok 70 kHz, jednak dla układu TPS54331 producent rekomenduje nieprzekraczanie częstotliwości granicznej 25 kHz.

Drugim krokiem jest obliczenie wymaganego wzmocnienia i przesunięcia fazy dla filtra. Z definicji wzmocnienie w obwodzie kompensacyjnym musi być odwrotnością wzmocnienia modulatora i filtra wyjściowego. W tym przykładzie, gdzie zero w funkcji ESR kondensatorów jest ulokowane znacznie wyżej w pasmie niż częstotliwość graniczna pętli, wzmocnienie modulatora i filtra wyjściowego może być określone **równaniem 16**.

$$G = -20 \times log(2 \times \pi \times R_{SENSE} \times F_{CO} \times C_O) \quad (16)$$

gdzie $R_{SENSE}$=1/12 Ω, $F_{CO}$ to częstotliwość graniczna pętli (w tym przypadku 25 kHz), a $C_O$ to pojemność kondensatorów wyjściowych, użytych w układzie.

Musimy także obliczyć przesunięcie fazy (PL) w filtrze wyjściowym, aby sprawdzić, czy pozostaje nam odpowiedni margines fazy, aby układ był stabilny. Przesunięcie fazy jest określone **wzorem 17**.

$$PL = arctan(2 \times \pi \times F_{CO} \times R_{ESR} \times C_O) - arctan(2 \times \pi \times F_{CO} \times R_O \times C_O) \quad (17)$$

gdzie $R_{ESR}$ to wypadkowa rezystancja szeregowa kondensatorów wyjściowych, a $R_O$ (=$V_O/I_O$) to impedancja obciążenia układu.

Po obliczeniu tej wartości widzimy, że dla projektowanego systemu mamy zapas fazy wynoszący ponad 60°, a częstotliwość graniczną powyżej zakładanych 25 kHz. Oznacza to, że nasz układ ma dostatecznie duży zapas fazy do stabilnego działania. Możemy teraz przystąpić do obliczenia wartości elementów oznaczonych na rysunku 1 jako $R_3$, $C_6$ i $C_7$.

Wiedząc, jakie jest przesunięcie fazy PL, możemy wyznaczyć wymagane od filtra kompensacyjnego przesunięcie fazy (PB) mające kompensować PL. PB jest określone **wzorem 18**.

$$PB = (PM - 90°) - PL \quad (18)$$

gdzie PM to założony w systemie margines fazy.

Para miejsce zerowe-biegun w charakterystyce układu kompensacyjnego umiejscowiona jest symetrycznie wokół częstotliwości granicznej pętli sprzężenia zwrotnego. Parametr k, określający separację tych częstotliwości, jest określony **równaniem 19**. W **równaniach 20** oraz **21** zawarto natomiast częstotliwości, odpowiednio, miejsca zerowego oraz bieguna.

$$k = tan(\frac{PB}{2} + 45°) \quad (19)$$

$$F_{Z1} = \frac{F_{CO}}{k} \quad (20)$$

$$F_{P1} = F_{CO} \times k \quad (21)$$

Z kolei biegun dla niskich częstotliwości dobrany jest tak, aby wzmocnienie przy częstotliwości granicznej pętli było odwrotnością wzmocnienia modulatora i filtra wyjściowego. Z uwagi na narzucone już przez biegun i miejsce zerowe (**równania 20** i **21**) związki pozostaje nam tylko obliczyć wartość rezystancji $R_Z$. Jest ona określona **wzorem 22**.

$$R_Z = \frac{2 \times \pi \times F_{CO} \times V_O \times C_O \times R_{OA}}{GM_{COMP} \times V_{ggm} \times V_{REF}} \quad (22)$$

gdzie $V_O$ to napięcie wyjściowe, $C_O$ to pojemność wyjściowa, a $F_{CO}$ to założona częstotliwość graniczna. $GM_{COMP}$ wynosi dla tego układu 12 A/V, $R_{OA}$=8 MΩ, $V_{ggm}$=800, a $V_{REF}$ 0,8 V.

Znając już wartość $R_Z$, można z kolei obliczyć wartość pojemności $C_Z$ oraz $C_P$ w układzie kompensacji. Pojemności te określone są odpowiednio **równaniami 23** oraz **24**.

$$C_Z = \frac{1}{2 \times \pi \times F_{Z1} \times R_Z} \quad (23)$$

$$C_P = \frac{1}{2 \times \pi \times F_{P1} \times R_Z} \quad (24)$$

W tym układzie stosujemy dwa, równolegle ze sobą połączone kondensatory 47 µF jako pojemność wyjściową. Realna pojemność tego filtra jest niższa – musimy tutaj uwzględnić minimalną wartość pojemności, jaka widziana będzie w filtrze wyjściowym. Z uwagi na przyłożone napięcie stałe do tych kondensatorów, wypadkowa pojemność wyjściowa spada do około 54 µF. Wypadkowa szeregowa rezystancja zastępcza tych kondensatorów wynosi około 1 mΩ. Wykorzystując powyższe parametry i **równania 16** oraz **17**, wyznaczamy odpowiednio wzmocnienie G oraz przesunięcie fazy PL. Wynoszą one odpowiednio –2,26 dB oraz –83,25°. Przy założonym marginesie fazy równym 70° przesunięcie fazy jakie musimy uzyskać na filtrze (PB), wynosi 63,52°. Ze **wzorów 19-21** wyznaczamy wartości częstotliwości i otrzymujemy $F_{Z1}$=5883 Hz oraz $F_{P1}$=106200 Hz. Podstawiając te wartości do **równań 22-24** otrzymujemy teoretyczne wartości dla poszczególnych elementów. Następnie dobieramy standardowe, dostępne w sklepach wartości z szeregów dla elementów $R_3$, $C_6$ oraz $C_7$.

$R_Z$=29,2 kΩ; $R_3$=29,4 kΩ
$C_Z$=928 pF; $C_6$=1000 pF
$C_P$=51 pF; $C_7$=47 pF

## Kondensator bootstrap

Układ bootstrap to dodatkowy zasilacz podbijający napięcie do zasilania górnego kondensatora w układzie wyjściowym push-pull, złożonym z dwóch tranzystorów MOSFET z kanałem typu N. Zasilacz ten jest prostą pompą ładunku, więc potrzebuje do poprawnej pracy kondensatora. Kondensator ten powinien mieć pojemność pozwalającą na przełączenie wyjściowego tranzystora FET w przetwornicy bez utraty więcej niż 10% zgromadzonego ładunku. Oznacza to, że minimalna pojemność tego elementu jest dziesięciokrotnością pojemności bramki klucza MOSFET [3].

Karta katalogowa omawianego układu wskazuje, że kondensator bootstrap, oznaczony na rysunku 1 jako $C_4$, musi mieć pojemność 100 nF. Dokumentacja wskazuje, że powinien być to kondensator ceramiczny z dielektrykiem X7R lub X5R, który będzie się charakteryzować wysoką stabilnością temperaturową i czasową. Napięcie na okładkach tego kondensatora jest nie większe niż 8 V w dowolnym momencie w czasie pracy układu. Napięcie pracy tego kondensatora musi być zatem nie mniejsze niż 8 V.

## Dioda rozładowawcza (upustowa)

Przetwornica TPS54331 jest zaprojektowana do pracy z zewnętrzną diodą upustową, włączoną pomiędzy pin PH układu a masę systemu. Dioda taka musi spełniać szereg minimalnych parametrów elektrycznych, aby poprawnie działać w opisywanym układzie.

Maksymalne napięcie wsteczne musi być wyższe niż maksymalne napięcie, jakie pojawia się na pinie PH, czyli $V_{IN(MAX)}$ + 0,5 V, czyli



eprasa.pl 4d9608b833

w naszym przypadku musi wynosić ono nie mniej niż 28,5 V. Prąd płynący przez diodę w kierunku zaporowym musi być większy niż maksymalny prąd wyjściowy z przetwornicy $I_{OUT(MAX)}$ plus połowa wartości międzyszczytowej prądu cewki wyjściowej.

Spadek napięcia na diodzie w kierunku przewodzenia powinien być możliwie mały, aby zapewnić zasilaczowi wysoką sprawność. Na sprawność działania układu wpływ ma też czas przewodzenia diody. Jest on zazwyczaj dłuższy niż czas włączenia tranzystora FET po wysokiej stronie w układzie wyjściowym przetwornicy, więc dobranie szybkiej diody także pozwoli poprawić sprawność układu.

Ostatecznie należy się upewnić, że wybrana dioda (głównie chodzi o jej maksymalną moc strat) będzie poprawnie pracowała w układzie i nie będzie się przegrzewała.

Do układu dobrano diodę B340 [4]. Jest to szybka dioda Schottky'e, charakteryzująca się maksymalnym napięciem w kierunku wstecznym równym 40 V, prądem w kierunku przewodzenia równym 3 A i spadkiem napięcia na diodzie (w kierunku przewodzenia) równym 0,5 V. Średnia moc tracona na diodzie jest proporcjonalna do 1-d, gdzie d to wypełnienie impulsów układu. Jako że przy wysokim prądzie wyjściowym wypełnienie impulsów przetwornicy jest wysokie, to nawet w takiej sytuacji straty te będą relatywnie niskie [5,6].

## Obliczenia rozpraszania mocy

Końcowym etapem analizy projektu jest oszacowanie całkowitego rozpraszania mocy na układzie scalonym przetwornicy. Całkowita moc ($P_{TOT}$), jaka się tutaj wydzieli, jest sumą różnych strat określonych **wzorami 25-28**:

**1.** Strat oporowych na kluczu (tranzystorze MOSFET) w przetwornicy:

$$P_{CON} = I_{OUT}^2 \times R_{DS(ON)} \times \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \quad (25)$$

gdzie $R_{RDS(ON)}$ to rezystancja kanału w pełni załączonego tranzystora MOSFET i równa maksymalnie 200 mΩ dla tego układu.

**2.** Strat przełączania na kluczu:

$$P_{SW} = 0,5 \times 10^{-9} \times V_{IN}^2 \times I_{OUT} \times f_{SW} \quad (26)$$

**3.** Ładunku bramki, potrzebnego do jej przełączania:

$$P_{GC} = 22,8 \times 10^{-9} \times f_{SW} \quad (27)$$

**4.** Poboru prądu przez sam układ do zasilania jego działania:

$$P_Q = 0,11 \times 10^{-3} \times V_{IN} \quad (28)$$

Moc całkowita ($P_{TOT}$) jest sumą wyrażeń z **równań 25-28**. W opisywanym układzie poszczególne wyrażenia wynoszą:

$P_{CON}$=212,143 mW
$P_{SW}$=670,320 mW
$P_{GC}$=12,996 mW
$P_Q$=3,080 mW

co łącznie daje sumaryczne straty w wysokości $P_{TOT}$=899 mW.

Następnie, znając $P_{tot}$, możemy obliczyć, o ile rozgrzeje się struktura krzemowa ($T_J$) w układzie. Jest to określone **wzorem 29**.

$$T_J = T_A + R_{th} \times P_{TOT} \quad (29)$$

gdzie $R_{th}$ to rezystancja cieplna złącze–otoczenie układu, a $T_a$ temperatura otoczenia. Wiedząc, że temperatura złącza ($T_J$) w przypadku tego układu nie może przekroczyć 150°C, można obliczyć największą dopuszczalną temperaturę otoczenia – maksymalną temperaturę pracy urządzenia – dla zadanych parametrów projektowych. Zdefiniuje to maksymalną temperaturę, w której pracować może urządzenie, w którym znajduje się ten układ. W tym celu korzystamy z **wzoru 30**.

$$T_{A(MAX)} = 150°C - R_{th} \times P_{TOT} \quad (30)$$

co daje nam wartość $T_{A(MAX)}$=45°C dla obudowy bez pada termicznego i $T_{A(MAX)}$=106°C dla obudowy z padem termicznym przylutowanym do pola masy o odpowiedniej wielkości, by rozproszyć całą wydzielaną moc cieplną. Oczywiście można postąpić także w drugą stronę i wyjść od temperatury otoczenia, aby ewentualnie zmodyfikować parametry projektowe, by dostosować układ stabilizatora impulsowego do wymaganej temperatury otoczenia, w której pracować ma urządzenie.

Pamiętać oczywiście należy, iż tego rodzaju obliczenia termiczne korzystają z bardzo wyidealizowanego modelu przepływu ciepła przez strukturę i PCB, a także uproszczony model wytwarzania tegoż ciepła w strukturze układu (np. zakłada się ciągłą pracę przetwornicy z maksymalnymi parametrami). Dodatkowo, nie są uwzględnione też inne źródła ciepła w otoczeniu samej przetwornicy – moc tracona będzie także między innymi na cewce wyjściowej i diodzie upustowej przetwornicy. Obliczenia te traktować zatem należy szacunkowo – nic nie zastąpi poprawnie przetestowanego prototypu.

## Dodatkowe funkcje

Projektując omawianą przetwornicę, możemy jeszcze wyliczyć parametry kondensatora układu programowalnego, powolnego startu przetwornicy (co ma za zadanie ograniczyć prędkość narastania prądu wejściowego przy starcie) oraz układ zabezpieczenia przed zbyt niskim napięciem wejściowym. Z uwagi na ogromną różnorodność implementacji tego rodzaju obwodów w różnych układach przetwornic, omawianie tego zagadnienia nie ma większego sensu dydaktycznego.

## Podsumowanie

W pierwszym artykule tego cyklu skupiliśmy się na opisie implementacji typowej przetwornicy impulsowej step-down. Układ ten stabilizuje napięcie wyjściowe na zadanym poziomie. Omówiliśmy podstawowe obliczenia dla wszystkich elementów dyskretnych, dobieranych w tego rodzaju układach – kondensatorach wejściowych, pojemności i cewce wyjściowej oraz elementach filtra kompensacyjnego.

W kolejnym artykule z tego cyklu przyjrzymy się, jak zaprojektować płytkę drukowaną dla przetwornicy impulsowej, aby zminimalizować poziom zakłóceń elektromagnetycznych generowanych przez układ, co jest jednym z najczęstszych problemów związanych z certyfikacją i wprowadzaniem na rynek układów z przetwornicami impulsowymi.

**Nikodem Czechowski**


[1] ***http://bit.ly/31sfvFX***
[2] Andrzej Bielski, Roman Ciuryło, „Podstawy metod opracowania pomiarów", UMK 2001
[3] ***http://bit.ly/2RbZnDz***
[4] ***http://bit.ly/2MIDlKp***
[5] ***http://bit.ly/2IzXqNp***
[6] ***http://bit.ly/2R7DLbI***



REKLAMA

http://www.sklep.avt.pl




eprasa.pl 4d9608b833

TYLKO DLA PRENUMERATORÓW

# niezbędnik elektronika

## 1. ADI-LTSPICE
LTspice to program do projektowania i testowania analogowych i mieszanych układów elektronicznych. Zaletą programu jest szybkość, ogromna biblioteka elementów oraz prostota tworzenia układów. Przy projektowaniu układu można korzystać z dostarczonych z programem elementów, pobierać dodatkowe elementy z Internetu, wprowadzać parametry ręcznie lub samemu projektować moduły.

## 2. ADI-SigmaStudio
Graficzne narzędzie programistyczne dla procesorów SigmaDSP. Narzędzie to pozwala inżynierom bez doświadczenia w pisaniu kodu DSP na łatwe wdrożenie DSP do swoich projektów, a jednocześnie jest wystarczająco potężne, aby zaspokoić wymagania doświadczonych projektantów. SigmaStudio łączy się z płytami ewaluacyjnymi Analog Devices.

## 3. CodeWarrior for QorIQ LS Series ARMv8 ISA
Środowisko programistyczne (IDE) opracowane przez Freescale dla procesorów serii QorIQ LS. Układy te oferują wyjątkową wydajność obliczeniową i energetyczną, dedykowane są do aplikacji sieciowych.

## 4. Infineon-ModusToolbox
Nowy pakiet narzędzi programistycznych opracowanych przez Cypress, który ma usprawnić projektowanie produktów dla Internetu Rzeczy. Określany mianem ModusToolbox, zapewnia bogate zasoby projektowe z bibliotek WICED IoT firmy Cypress, a także biblioteki analogowych i cyfrowych urządzeń peryferyjnych mikrokontrolerów PSoC w ramach znanego, szeroko rozpowszechnionego środowiska projektowania zintegrowanego Eclipse.

## 5. Infineon-PSoC-Software
Pakiet narzędzi programistycznych opracowanych przez Cypress, który ma pomóc w pełnym wykorzystaniu możliwości układów PsoC. Dzięki PSoC Creator, PSoC Designer i PSoC Programmer można szybko skonfigurować urządzenie, opracować kod aplikacji, a następnie debugować i wdrażać projekt.

## 6. SiliconLabs-SimplicityStudio4
Simplicity Studio to zintegrowane środowisko programistyczne (IDE) oparte na Eclipse. Zawiera zestaw narzędzi do profilowania energii, konfiguracji i analizy sieci bezprzewodowej, a także demonstracje, przykłady oprogramowania i pełną dokumentację. Wszystko po to aby zapewnić jak najszybszą realizację projektów.

## 7. TI-Code Composer Studio Version 9
Code Composer Studio to zintegrowane środowisko programistyczne (IDE), które obsługuje portfolio mikrokontrolerów TI i procesorów wbudowanych. Zawiera zestaw narzędzi używanych do tworzenia i debugowania aplikacji wbudowanych. Zawiera zoptymalizowany kompilator C/C++, edytor kodu źródłowego, środowisko tworzenia projektu, debugger, profiler i wiele innych funkcji.

**EP 6/2019**
**1. Labcenter-Proteus**
Pakiet oprogramowania EDA, zawiera aplikacje wspomagające tworzenie schematów, projektowanie płytek i narzędzia do symulacji.

**2. NXP-MCUXpresso-Config-Tools**
Oprogramowanie służące do konfigurowania mikrokontrolerów zamontowanych na płytkach MCUXpresso.

**3. NXP-MCUxpresso-IDE**
Środowisko IDE MCUXpresso oparte na Eclipse dla mikrokontrolerów NXP w tym mikrokontrolerów LPC.

**4. ST-STM32CubeIDE**
Konfigurator graficzny wspomagający programowanie mikrokontrolerów STM32.

**5. ST-TouchGFXDesigner**
Oprogramowanie ułatwiające tworzenie interfejsu graficznego w systemach z STM32.

**6. ST-TrueSTUDIO-9.2.0**
Elastyczne i rozszerzalne środowisko, z funkcjami edycji, kompilacji i debugowania dla mikrokontrolerów STM32.

**EP 05/2019**
**1. FlexGUI Mixed Signal Audio Software**
Oprogramowanie firmy Cirrus Logic przeznaczone do obsługi płytek ewaluacyjnych do budowania zaawansowanych torów obróbki sygnałów audio.

**2. WISCE Development Tools Suite**
Narzędzie programowe firmy Cirrus Logic służące do wspierania procesów konstrukcji oraz produkcji urządzeń.

**3. Intel Quartus Prime Pro Edition 19.1.0.240**
Bezpłatny pakiet oprogramowania, środowisko projektowe dla układów FPGA.

**4. EasyEDA version 3.0.11**
Program do projektowania i symulowania obwodów oraz projektowania płytek drukowanych.

**EP4/2019**
**1. Atollic TrueSTUDIO for STM32**
Znany pakiet IDE do tworzenia programów dla mikrokontrolerów STM32. Zawiera kompilator, debugger, linker. Nowa wersja mimo sporych zmian w organizacji i przeznaczeniu samego oprogramowania dodaje też istotną nowość, jaką jest dostęp z poziomu menu budowania do opcji dezasemblacji pliku oraz listowania symboli w plikach binarnych i obiektowych.

**2. Siemens LOGO! Web Editor**
Najnowsza wersja edytora stron internetowych dla sterownika LOGO! v8

**3. Analog Devices LTspice XVII**
Najnowsza wersja popularnego symulatora układów elektronicznych, teraz rozwijana przez firmę Analog Devices.

**4. Siemens LOGO!Soft Comfort v8.1**
Najnowsza wersja środowiska projektowego przeznaczonego dla sterowników LOGO! firmy Siemens.

**5. WaveDrom Editor v1.6.3**
WaveDrom tworzy wykres czasowy lub przebieg na podstawie opisu tekstowego. Środowisko zawiera język opisu, silnik renderujący i edytor. Działa w przeglądarce lub może być zainstalowany lokalnie.

**6. Tina 9 TI**
Symulator układów elektronicznych wspierany i rozwijany przez firmę Texas Instruments.

**7. TI Code Composer Studio 8.3 for Windows**
Pakietu programów przeznaczonych do tworzenia aplikacji dla procesorów firmy Texas Instruments.

**8. NXP Pins Tool for i.MX Processors**
Konfigurator graficzny przeznaczony dla procesorów iMX.

**9. NXP MCUXpresso IDE**
Środowisko IDE MCUXpresso oparte na Eclipse z wbudowanymi funkcjami edycji, kompilacji i debugowania kodu.

**EP 03/2019**
**1. Atollic TrueSTUDIO for STM32**
Pakiet IDE do tworzenia programów dla mikrokontrolerów STM32.

**2. Siemens LOGO! Web Editor**
Edytor stron internetowych dla sterownika LOGO! v8

**3. Analog Devices LTspice XVII**
Popularny symulator układów elektronicznych, teraz rozwijana przez firmę Analog Devices.

**4. Siemens LOGO!Soft Comfort v8.1**
Środowisko projektowe przeznaczone dla sterowników LOGO! firmy Siemens.

**5. WaveDrom Editor v1.6.3**
WaveDrom tworzy wykres czasowy lub przebieg na podstawie opisu tekstowego.

**6. Tina 9 TI**
Symulator układów elektronicznych wspierany i rozwijany przez firmę Texas Instruments.

**7. TI Code Composer Studio 8.3 for Windows**
Pakietu programów przeznaczonych do tworzenia aplikacji dla procesorów firmy Texas Instruments.

**8. NXP Pins Tool for i.MX Processors**
Konfigurator graficzny przeznaczony dla procesorów iMX.

**9. NXP MCUXpresso IDE**
Środowisko IDE MCUXpresso oparte na Eclipse z wbudowanymi funkcjami edycji, kompilacji i debugowania kodu.

**EP 02/2019**
**1. SiFive Freedom Studio**
Zintegrowane środowisko programistyczne przeznaczone do tworzenia programów dla mikrokomputerów SiFive RISC-V.

**2. SiFive RISC V OpenOCD GCC**
Wtyczka dla popularnego edytora Eclipse umożliwiająca tworzenie programów dla mikrokomputerów SiFive RISC-V.

**3. SiFive Segger RISC V Embedded Studio**
**Środowisko programistyczne firmy** Segger pozwalające na tworzenie i uruchamianie programów dla mikrokomputerów SiFive RISC-V.

**4. NXP Pins Tool for i.MX Application Processors**
Konfigurator graficzny przeznaczony dla procesorów i.MX.

**5. ST TouchGFX Designer 4.10**
Oprogramowanie ułatwiające tworzenie interfejsu graficznego w systemach embedded wykorzystujących mikrokontrolery STM32.

**EP 1/2019**
**1. Analog Devices – ADALM2000**
Oprogramowanie typu „przenośne laboratorium" dla modułu ADALM2000 firmy Analog Devices.

**2. ST STM32CubeMX release 5.0.0**
Konfigurator graficzny mikrokontrolerów STM32.

**3. ST TouchGFX**
Zaawansowane rozwiązanie graficznego interfejsu użytkownika dla mikrokontrolerów. Uruchamiany na 32-bitowych mikrokontrolerach, TouchGFX zapewnia wysokiej klasy grafikę.

**4. SEGGER Embedded Studio for ARM Version 4.12**
IDE przeznaczone do tworzenia programów dla mikrokontrolerów z rdzeniem ARM zawierające nowy linker i bibliotekę LTO.

**5. ST Atollic TrueSTUDIO for STM32 9.2**
Znany pakiet IDE do tworzenia programów dla mikrokontrolerów STM32.

**6. NXP MCUXpresso IDE**
Środowisko IDE MCUXpresso oparte na Eclipse z wbudowanymi funkcjami edycji, kompilacji i debugowania kodu.

**7. NXP MCUXpresso Config Tools**
Oprogramowanie służące do konfigurowania mikrokontrolerów zamontowanych na płytkach MCUXpresso. Generuje kod w języku C, który może być wykorzystany w tworzonej aplikacji.

**8. Espressif Systems ESP32 IDF**
Najnowsza wersja środowiska programistycznego dla układów ESP32 firmy Espressif.

**9. FTDI EVE Tools**
Pakiet programów narzędziowych przeznaczonych dla układu graficznego FT800.

**10. FTDI FT9XX Tools**
Pakiet programów narzędziowych przeznaczonych do tworzenia aplikacji dla układów z rodziny FT9XX, serii mikrokontrolerów z 32-bitowym rdzeniem RISC FT32 oraz układów Vinculum.

**EP 12/2018**
**1. Analog Devices SigmaStudio 4.2**
Program firmy Analog Devices przeznaczona do graficznego tworzenia aplikacji dla procesorów DSP tego producenta.

**2. Silicon Labs Simplicity Studio v4**
Pakietu programów wspomagających tworzenia aplikacji dla mikrokontrolerów firmy Silicon Labs.

**3. Cypress PSoC Creator 4.2**
Środowisko programistyczne firmy Cypress przeznaczona do tworzenia aplikacji dla mikrokontrolerów PSoC.

**4. ST Atollic TrueSTUDIO 9.1.0**
Zintegrowane środowisko programistyczne dla mikrokontrolerów z rdzeniem ARM.

**5. Cypress WICED Studio 6.2.1**
Platforma do tworzenia oprogramowania dla urządzeń IoT.

**6. TI TINA 9**
Symulator układów elektronicznych wspierany i rozwijany przez firmę Texas Instruments.

**7. TI Code Composer Studio 8**
Pakietu programów przeznaczonych do tworzenia aplikacji dla procesorów firmy Texas Instruments.

**EP 11/2018**
**1. Microchip MPLAB X IDE v5.05**
Środowisko programistyczne firmy Microchip wspierająca programowanie mikrokontrolerów z rdzeniami dsPIC, PIC i AVR.

**2. Analog Devices LTspice XVII**
Popularny symulator układów elektronicznych rozwijany przez firmę Analog Devices.

**3. ST AlgoBuilder**
Aplikacja pozwalająca na graficzne projektowanie rozwiązań w oparciu o różne algorytmy sterowania i kontroli.

**4. Intel Quartus Prime Pro Edition 18.1.0.222**
Bezpłatny pakiet oprogramowania przeznaczonego do projektowania FPGA.

**5. Infineon DAVE v4.4.2**
Pakiet programistyczny DAvE firmy Infineon, w wersjach dla Win32 i Win64, z bibliotekami Peripheral Library.

**6. ST X-CUBE-MEMS-XT1**
Biblioteka przeznaczona dla mikrokontrolerów STM32. Umożliwia współpracę z układami: A3G4250D, AIS328DQ, AIS36240Q, H3LIS331DL, HTS221, IIS2DLPC, IIS2MDC, ISM303DAC, ISM330DLC, LIS2DH12, LIS2DW12, LIS2MDL, LIS3MDL, LPS22HB, LPS22HH, LPS25HB, LPS33HW, LSM303AGR, LSM6DSa0, LSM6DS3, LSM6DSL, LSM6DSO, LSM6DSR oraz LSM6DSL.

**7. ST Unicleo-GUI**
Interfejs graficzny dla rozszerzeń programowych X-CUBE-MEMS1 i X-CUBE-MEMS-XT1 oraz płytki STM32 Nucleo (X-NUCLEO-IKS01A1 i X-NUCLEO-IKS01A2).

**EP10/2018**
**1. NXP Pins Tool for i.MX Processors**
Intuicyjny interfejs graficzny przyśpieszający i ułatwiający konfigurowanie peryferiów oraz wyprowadzeń procesorów z rodziny i.MX, generujący kod źródłowy z konfiguracją dla kompilatorów C/C++.

**2. Microchip MPLAB Harmony Integrated Software Framework v2.06**
Najnowsza wersja środowiska programistycznego firmy Microchip wspierająca programowanie mikrokontrolerów z rdzeniem PIC32 tej firmy.

**3. Microchip MPLAB X IDE v5.05**
Najnowsza wersja środowiska programistycznego firmy Microchip wspierająca programowanie mikrokontrolerów z rdzeniami dsPIC, PIC i AVR.

**EP9/2018**
**1. Lattice Semiconductor Diamond 3.10**
IDE dla układów FPGA firmy Lattice.

**2. Lattice Semiconductor LMS for Diamond 3.10**
Środowisko programistyczne, zawierające dwa narzędzia. Jedno generuje plik HDL z opisem sprzętu, a drugie umożliwia tworzenia uruchamianego na nim oprogramowania.

**3. Lattice Radiant Software 1.0**
IDE wspierające tworzenie oprogramowania dla układów FPGA iCE40 UltraPlus.

**4. ST Atollic TrueSTUDIO for STM32 9.0.1**
Bezpłatne, zintegrowane środowisko programistyczne dla mikrokontrolerów STM32.

**5. SEGGER Embedded Studio for ARM 3.40**
IDE firmy Segger służącego do tworzenia oprogramowania dla mikrokontrolerów z rdzeniem ARM.

**EP 7/2018**
**1. AutotraxDEX-2018.619**
Pakiet do projektowania płytek drukowanych. Program w wersji demonstracyjnej, która pomimo pełnej funkcjonalności nie tworzy plików produkcyjnych w formacie Gerber.

**2. CADSTAR-Express-2018**
Pakiet programów firmy Zuken do projektowania płytek drukowanych. Wersja demonstracyjna, ograniczona do 300 pinów i 50 komponentów.

**3. ST-MCU-FINDER-PC**
Wyszukiwarka mikroprocesorów z rodzin STM8 i STM32 oraz przeznaczonych dla nich narzędzi deweloperskich.

**4. ST-STM32Cube-4.26.0**
Konfigurator graficzny wspomagający programowanie urządzeń zbudowanych z użyciem mikrokontrolerów STM32.

**5. ST-STM32Studio**
Debugger dla procesorów STM32. Ułatwia uruchamianie i optymalizację programów, pozwala na monitorowanie zmiennych w czasie rzeczywistym.

**EP 6/2018**
**1. FT9xx Toolchain V.2.3.2**
Pakiet przeznaczony do tworzenia programów dla układów FT9xx firmy FTDI.

**2. EVE Screen Designer 4.0**

**3. EVE Screen Editor**
Zintegrowane środowisko projektowe (IDE), które usprawnia proces tworzenia interfejsów użytkownika (HMI) opartych na EVE.

**4. Intel-Quartus-Prime-Lite-18.0**
Bezpłatny pakiet oprogramowania przeznaczonego do projektowania FPGA.

**5. Lattice-Radiant**
Środowisko wspierającemu tworzenie oprogramowania dla układów FPGA iCE40 UltraPlus.

**6. NXP-LPCXpresso IDE v8.2.2**
Kompletne środowisko projektowe LPCXpresso firmy NXP/Qualcomm dla mikrokontrolerów LPC.

**EP 5/2018**
**1. Siemens LOGO! Soft Comfort 8.2**
IDE do tworzenia programów dla sterowników LOGO!

**2. STMicroelectronics STMStudio**
Oprogramowanie wspomagającego debugowanie aplikacji pisanych na mikrokontrolery z rodzin STM8 i STM32.

**3. STMicroelectronics STM8CubeMX**
Graficzny konfigurator dla mikrokontrolerów STM8.

**4. Segger J-Link 6.30k**
Oprogramowanie dla programatora firmy Segger.

**5. Silicon Labs Simplicity Studio 4**
Pakiet wspomagający programowanie mikrokontrolerów firmy Silicon Labs.

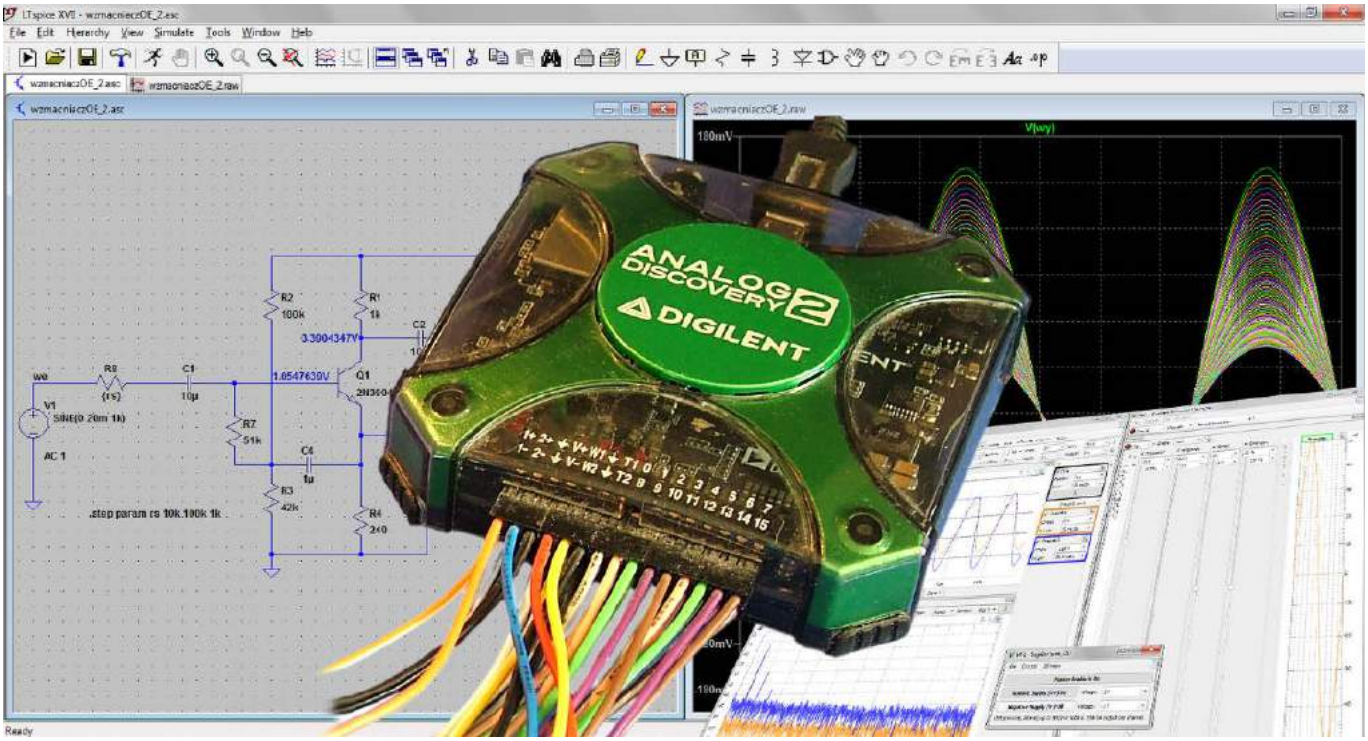
**6. Atollic TrueStudio for STM32**
Bezpłatne, zintegrowane środowisko programistyczne dla mikrokontrolerów STM32.

**7. Bridgetek EVE Screen Designer**
Zintegrowane środowisko projektowe (IDE), które usprawnia proces tworzenia interfejsów użytkownika (HMI) opartych na EVE.

**8. Infineon DAVE 4.4.2**
Pakiet programistyczny DAvE firmy Infineon, w wersjach dla Win32 i Win64, z bibliotekami Peripheral Library.



eprasa.pl 4d9608b833




# Symulacja i pomiar, czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora

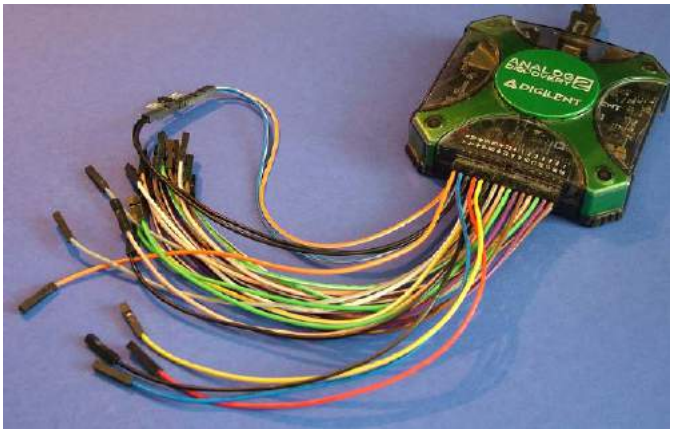
## Zapowiedź cyklu

*Czytelnicy „Elektroniki Praktycznej" doskonale znają opracowany w firmie Digilent niewielki przyrząd pomiarowy Analog Discovery 2. Urządzenie zadebiutowało na naszym rynku i na łamach naszego pisma w roku 2016, zastępując nie mniej udaną wcześniejszą wersję Analog Discovery. Ze względu na swoje cechy funkcjonalne i edukacyjne przyrząd ten doskonale nadaje się do rozwiązywania wielu problemów zarówno teoretycznych, jak i praktycznych. W kolejnych odcinkach cyklu przedstawimy różne pomiary i eksperymenty z użyciem AD2 oraz symulatora LTspice.*

W skład Analog Discovery 2 wchodzi szereg bardzo przydatnych w praktyce elektronika-konstruktora urządzeń laboratoryjnych. Jednym z najważniejszych jest cyfrowy oscyloskop 2-kanałowy, nie mniej przydatne są też: 2-kanałowy generator arbitralny, regulowany zasilacz napięcia dodatniego i ujemnego, logger (rejestrator przebiegów wolnozmiennych), 16-kanałowy analizator stanów logicznych, 16-kanałowy generator wzorcowych przebiegów cyfrowych, 16 programowalnych wejść/wyjść cyfrowych (statyczne przełączniki stabilne i astabilne z wyjściami push-pull lub HZ, wirtualne diody LED, wskaźnik 7-segmentowy), analizator widma (rozwinięcie funkcji FFT oscyloskopu), przyrząd do badania charakterystyk częstotliwościowych czwórników, analizator impedancji i analizator protokołów komunikacyjnych. Dostępny jest ponadto edytor skryptów użytkownika umożliwiający wykonywanie złożonych pomiarów. Analog Discovery 2 jest wykonany jako przystawka USB do komputera (**fotografia 1**). Nie należy jednak w związku z tym *a priori* odrzucać tego przyrządu, gdyż parametry techniczne, chociaż nie dorównują przyrządom profesjonalnym, w wielu przypadkach są wystarczające do rozwiązywania podstawowych zagadnień. Biorąc pod uwagę zarówno funkcjonalność, jak i parametry techniczne Analog Discovery 2, trudno by było znaleźć wyrób dla niego konkurencyjny. Aby jednak nie popadać w nadmierny optymizm, tam, gdzie będzie to konieczne, Czytelnicy będą powiadamiani o ewentualnych ograniczeniach lub niedokładnościach pomiarów. Dotyczyć



eprasa.pl 4d9608b833




**Fotografia 1. Przyrząd Analog Discovery 2**

to będzie również symulatora. Jak się zapewne okaże, różnice między wynikami symulacji i pomiarów nie będą czymś wyjątkowym i nie powinny dziwić. Są one konsekwencją niedoskonałości modeli stosowanych w programie LTspice, tolerancji wartości elementów, z których jest montowany układ rzeczywisty, z ograniczeń częstotliwościowych i zakłóceń wynikających czasami z dość poplątanych połączeń na breadboardzie itd.

## Założenia cyklu

Założeniem niniejszego cyklu artykułów jest pokazanie przykładowych metod rozwiązywania pewnych problemów występujących podczas projektowania urządzeń elektronicznych. Omówione będą zasady działania wybranych układów elektronicznych w formie ułatwiającej zrozumienie niektórych występujących w nich zjawisk. Duży nacisk położymy na praktykę. Do każdego omawianego zagadnienia teoretycznego zostanie zaprezentowany eksperyment potwierdzający (miejmy nadzieję) teorię. Jak już powiedziano, bazą sprzętową jest wielofunkcyjny przyrząd Analog Discovery 2 oraz symulator LTspice. Będę się starał pokazywać pewne triki pomiarowe pozwalające wyjaśnić wyniki niektórych pomiarów, zwłaszcza wtedy, gdy nie będą one oczywiste. Pozwala na to duża uniwersalność Analog Discovery 2 i współpracującego z nim oprogramowania (Waveforms).

Powszechna dostępność programów symulacyjnych takich jak LTspice wraz z coraz doskonalszymi modelami elementów sprawiają, że zmieniają się nieco metody projektowania. Można na przykład wyobrazić sobie proces projektowania jakiegoś układu elektronicznego bez wykonywania obliczeń z kalkulatorem w ręku. Nie brzmi to wiarygodnie, ale w przypadku prostych aplikacji jest możliwe. Dobór elementów układu zostaje wówczas przerzucony na symulator, który metodą iteracyjną oblicza (jednak) poszczególne wartości, a projektant wybiera tylko jeden z kilku ewentualnych wariantów wyników. Mimo wszystko będę się starał zamieszczać takie ręczne obliczenia, nawet gdy będą one wręcz trywialne. Nie należy jednak wykluczyć, że pojawią się w nich też różniczki i całki. Takie przedstawienie problemów pozwoli przypomnieć sobie związane z nimi zagadnienia teoretyczne, a czasami wręcz je zrozumieć. Czytelnicy niezainteresowani obliczeniami spokojnie mogą pomijać stosowne akapity.

Przykładowy przebieg działań związanych z projektowaniem urządzenia elektronicznego przebiega mniej więcej następująco:

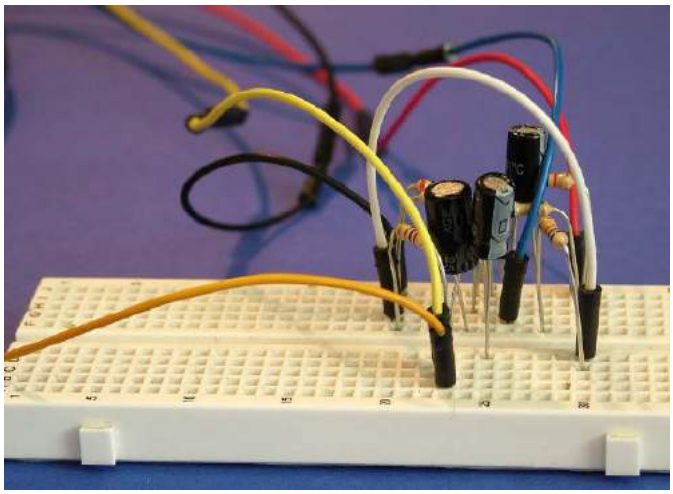
1. Pomysł. To dość oczywisty punkt. Czasami sami wpadamy na genialny pomysł zrobienia czegoś, czego jeszcze nikt wcześniej nie zbudował. Chyba częściej kopiujemy pomysły innych projektantów i nie ma w tym nic złego, gdyż przy okazji zwykle ulepszamy lub rozwijamy konstrukcję. Zdarza się też, że opracowujemy urządzenie na czyjeś zlecenie, wykorzystując pomysł zamawiającego i konstruując jedynie fizyczne urządzenie.
2. Założenia wstępne. Opracowujemy je pod kątem wymagań, jakie powinno spełniać konstruowane urządzenie. Uwzględniamy możliwości technicznej realizacji tych wymagań. Oceniamy koszty.
3. Opracowanie schematu.
4. Obliczenia elementów.
5. Symulacja. W wyniku tej operacji mogą okazać się konieczne zmiany schematu, a nawet korekta założeń.
6. Ewentualne naniesienie poprawek na schemacie i przeliczenie układu. Czynności 3...6 wykonujemy cyklicznie dotąd, aż uzyskany wynik będzie satysfakcjonujący.
7. Montaż prototypu. Najwygodniej wykorzystać do tego płytkę prototypową. Jeśli układ nie jest bardzo skomplikowany, można stosować popularny breadbard pozwalający uniknąć połączeń lutowanych i wykonać wszystkie czynności w bardzo krótkim czasie (**fotografia 2**). Połączenia za pomocą przewodów wciskanych w otworki z kontaktami nie zawsze są jednak dobrej jakości, wówczas konieczne może okazać się jednak lutowanie elementów na płytce prototypowej. Do wykonania połączeń w tej wersji wykorzystywane są najczęściej przewody typu Kynar, a różne modele płytek prototypowych można znaleźć w każdym sklepie oferującym podzespoły elektroniczne.
8. Pomiary i weryfikacja założeń konstrukcyjnych. Do pomiarów będziemy używać wspomnianego już przyrządu Analog Discovery 2, który powinien spełnić większość naszych oczekiwań. Zakładamy, że nie będziemy budować radarów ani superszybkich układów cyfrowych wykorzystujących najpotężniejsze procesory i pamięci DDR4.

Skoro już jesteśmy przy podziale urządzeń elektronicznych na analogowe i cyfrowe, to choć Analog Discovery 2 ma wewnętrzne przyrządy przeznaczone do pomiarów w technice cyfrowej, naszą uwagę skoncentrujemy raczej na urządzeniach analogowych.

Na tym etapie kończymy rozważania dotyczące procesu projektowania urządzenia elektronicznego. W praktyce dochodzą etapy związane z projektem i produkcją PCB, montażem końcowym urządzenia i ponownymi jego pomiarami i oczywiście badaniami certyfikacyjnymi, które... mogą cofnąć nas do kroku 3.

## Wymagania dla Czytelników

Artykuły niniejszego cyklu stanowią zaproszenie do powtarzania opisanych w nich pomiarów i eksperymentów przez Czytelników. Założeniem jest wprawdzie posiadanie Analog Discovery 2, ale wprawny elektronik powinien poradzić sobie, korzystając z innych podobnych zestawów wirtualnych laboratoriów pomiarowych, a nawet pojedynczych przyrządów. Niezbędne w takim przypadku będą: regulowany zasilacz napięcia dodatniego i ujemnego (co najmniej 5 V), multimetr, oscyloskop 2-kanałowy i 2-kanałowy generator arbitralny. Multimetr będzie przydatny niezależnie od tego, czy Czytelnik będzie używał Analog Discovery 2, czy innych przyrządów.



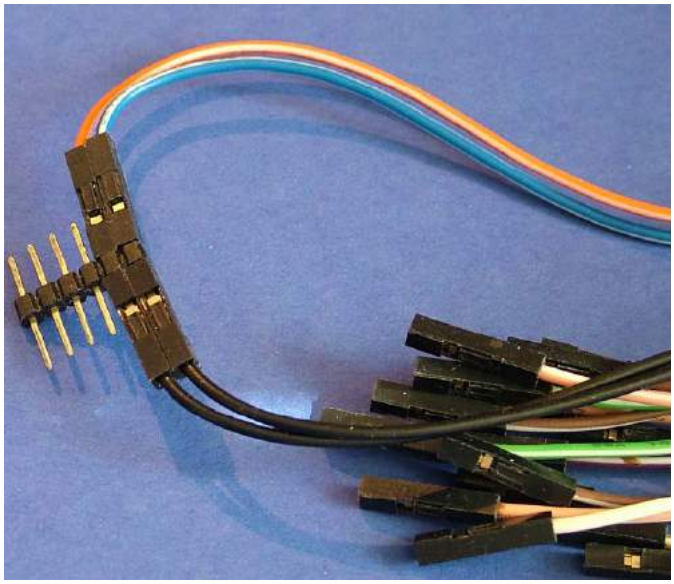
**Fotografia 2. Prosty układ zbudowany na płytce stykowej**



eprasa.pl 4d9608b833

Od Czytelnika wymagana jest co najmniej elementarna wiedza z zakresu elektroniki, podstawowa znajomość symulatora LTspice, umiejętność obsługi przyrządu Analog Discovery 2 za pomocą dedykowanego oprogramowania Waveforms oraz Excela. Wymienione programy powinny być zainstalowane na komputerach Czytelników. Opis LTspice i Analog Discovery 2 zamieszczaliśmy w EP 2...4/2019, zachęcam do zapoznania się z nimi. Prezentowane w niniejszym cyklu zagadnienia nie będą wyjaśniane od podstaw, przynajmniej nie wszystkie. Po prostu nie będzie na to miejsca w ograniczonej objętości artykułu.

Czytelnicy zamierzający powtarzać pomiary powinni dysponować uniwersalną płytką montażową. Najwygodniejszy będzie jakiś breadboard, czy mówiąc poprawniej po polsku, płytka stykowa. Płytki takie są dostępne na rynku w różnych wersjach, warto zadbać o dobrą jakość tego elementu. W eksperymentach, w których będzie wykonywana duża liczba połączeń, breadboard słabej jakości może być źródłem niepotrzebnych, często również trudnych do zlokalizowania problemów. Konieczny będzie też zestaw czynnych i biernych elementów elektronicznych zastosowanych w ćwiczeniach. Dopuszczalne są pewne odstępstwa w odniesieniu do elementów uytych w przykładach, ale w takich przypadkach należy liczyć się z uzyskiwaniem nieco innych wyników. Różnice takie mogą zresztą powstawać nie tylko z powodu zastosowania innych typów tranzystorów czy wzmacniaczy operacyjnych, ale też być konsekwencją tolerancji elementów (rezystancji, pojemności, indukcyjności, współczynników β tranzystorów itp.). Połączenia będą wykonywane kabelkami do płytek stykowych. Warto mieć po kilkanaście sztuk każdego rodzaju, tj.: męsko-męskich, męsko-żeńskich i żeńsko-żeńskich. Mogą być też przydatne specjalne złączki do płytek stykowych, a także podwójna listwa z długimi szpilkami gold-pin (**fotografia 3**). Szpilki takie przydadzą się np. do łączenia wejść „1-" i „2-" z masą.



**Fotografia 3. Stałe połączenie wejść „1-" i „2-" oscyloskopu z masą**

## W następnym odcinku

To tyle uwag ogólnych. Od następnego odcinka zabieramy się już ostro do pracy. Zaczynamy od zaprojektowania prostego wzmacniacza w układzie ze wspólnym emiterem (OE). Przeprowadzimy jego symulację, zmontujemy na płytce prototypowej, a następnie zmierzymy za pomocą Analog Discovery 2. Sprawdzimy, czy wyniki obliczeń pokryją się z symulacjami, a co najważniejsze z pomiarami układu rzeczywistego. Postaramy się odpowiedzieć na pytanie, czy zastosowane metody pomiarowe są prawidłowe.

**Jarosław Doliński, EP**

REKLAMA

eprasa.pl 4d9608b833

# Oferta prenumeraty Elektroniki Praktycznej

| Prenumerata wersji drukowanej | roczna | dwuletnia |
|---|---|---|
| | **176,00 zł** | **256,00 zł** |
| | (rabat 8%) | (rabat 33%) |

**DO 50% ZNIŻKI NA PRENUMERATĘ!**

**Prenumerata ze zniżką lojalnościową za nieprzerwany staż prenumeraty (opcja dostępna po zalogowaniu na www.avt.pl):**
**roczna (staż 1 rok) – 160,00 zł (rabat 16%)**
**roczna (staż 2 lata) – 144,00 zł (rabat 25%)**
**roczna (staż 3 lata) – 128,00 zł (rabat 33%)**
**dwuletnia (staż 3 lata) – 224,00 zł (rabat 41%)**
**dwuletnia (staż 5 lat) – 192,00 zł (rabat 50%)**

**Prenumerata e-wydań**
- roczna – 91,80 zł (rabat 15%)
- dwuletnia – 151,20 zł (rabat 30%)

Prenumeratorzy wersji drukowanej za równoległe e-wydania płacą 20% ceny: opłata za e-prenumeratę równoległą wynosi 21,60 zł/rok i 43,20 zł/2 lata.

**Każdorazowo opłacenie prenumeraty jest premiowane prezentem.**
W tym numerze są to do wyboru:
- koszulka z logo EP (rozm. L, XL)
- płyta Gregory'ego Portera „Nat King Cole & Me"

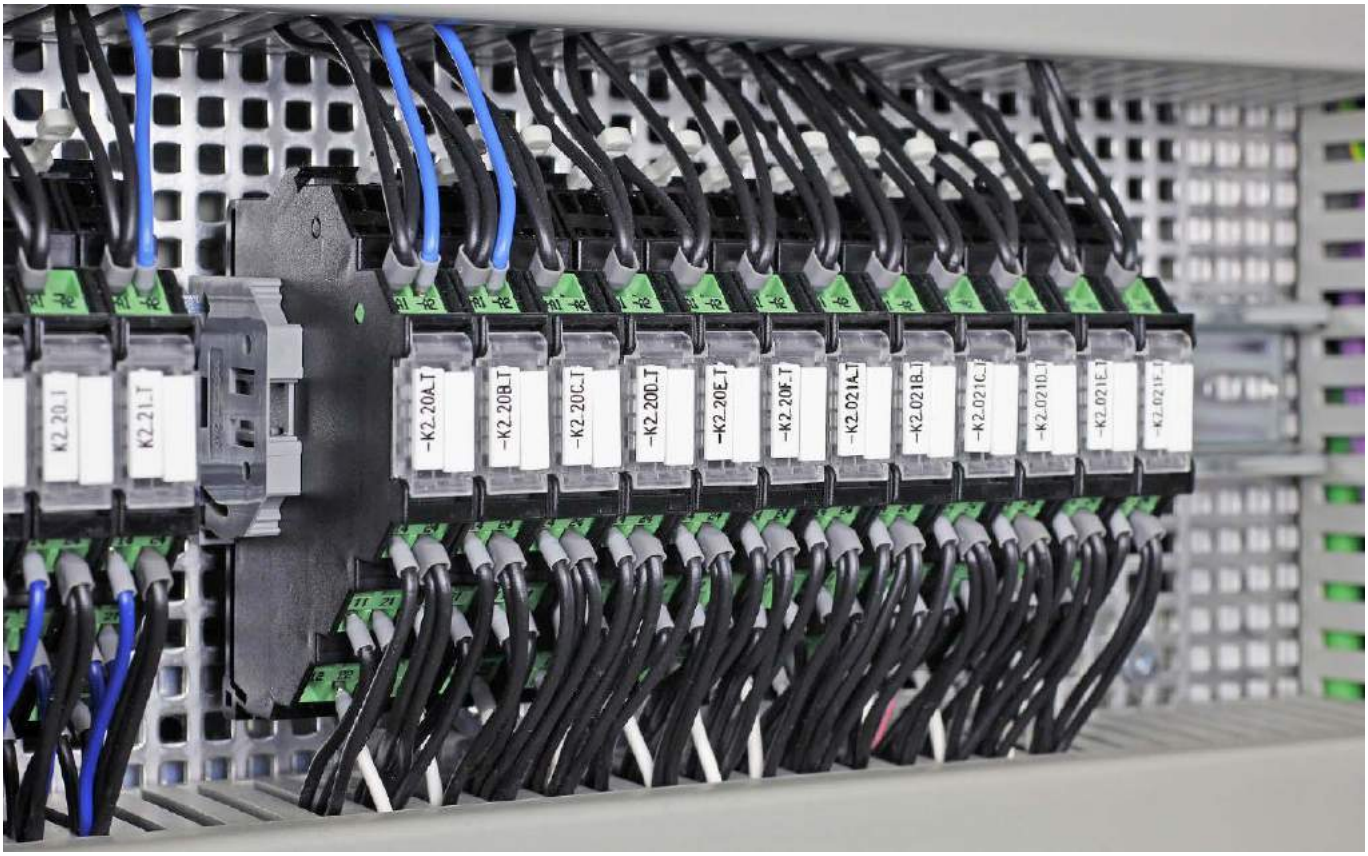
Zamów swój prezent mailowo – prenumerata@avt.pl.

**Przywileje Prenumeratorów**
- masz prawo do rabatu od 30 do 50% na www.UlubionyKiosk.pl (wystarczy podczas zamówienia podać numer swojej prenumeraty)
- masz prawo do rabatu na www.sklep.avt.pl
- z każdym numerem swojej prenumeraty otrzymasz DVD Niezbędnik Elektronika

**Zamów prenumeratę EP w dogodny dla siebie sposób:**
- mailowo – prenumerata@avt.pl
- przelewem na konto: AVT-Korporacja sp. z o.o., ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, ING Bank Śląski 18 1050 1012 1000 0024 3173 1013
- a najlepiej na **WWW.AVT.PL** – jeśli zamawiasz po raz pierwszy na www.avt.pl lub przedłużysz ją po zalogowaniu do swojego Panelu Prenumeratora, otrzymasz dodatkowo kody rabatowe na bezpłatne pobranie dowolnych czasopism w wersji elektronicznej ze strony www.UlubionyKiosk.pl

Szanowny Kliencie, od 25 maja 2018 roku w krajach Unii Europejskiej obowiązuje Ogólne rozporządzenie o ochronie danych osobowych (RODO). Zachęcamy do zapoznania się z poniższą klauzulą informacyjną.
Administratorem Twoich danych jest AVT-Korporacja sp. z o.o. z siedzibą ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, e-mail: prenumerata@avt.pl. Chodzi o dane osobowe, które zbieramy, aby móc wysłać Ci nasze czasopisma w formie drukowanej lub elektronicznej oraz inne towary (np. prezenty), a także w innych prawnie usprawiedliwionych celach, w tym marketingu bezpośredniego naszych produktów i usług (tzw. uzasadniony interes administratora). Podanie danych jest dobrowolne, ale niezbędne do zrealizowania zamówienia na prenumeratę. Twoje dane osobowe mogą być przekazane Poczcie Polskiej, która będzie dostarczać do Ciebie przesyłki. Bez Twojej zgody nie przekażemy i nie będziemy dokonywać obrotu (nie użyczymy, nie sprzedamy) Twoich danych osobowych innym osobom lub instytucjom. Twoje dane osobowe możemy przekazać jedynie podmiotom uprawnionym do ich uzyskania na podstawie obowiązującego prawa (np. sądy lub organy ścigania) – ale tylko na ich żądanie w oparciu o stosowną podstawę prawną. Będziemy przetwarzać Twoje dane osobowe przez 5 lat od zakończenia roku obrachunkowego, w którym wystąpiła ostatnia płatność. Dane osobowe do celów marketingowych będziemy przetwarzać do czasu wycofania przez Ciebie zgody na przetwarzanie lub do czasu usunięcia danych. Informujemy, że masz prawo do żądania od administratora dostępu do Twoich danych, ich sprostowania, usunięcia, ograniczenia ich przetwarzania, wniesienia sprzeciwu wobec przetwarzania Twoich danych lub ich przenoszenia. W każdej chwili możesz odwołać zgodę na przetwarzanie Twoich danych osobowych oraz możesz zażądać, by Twoje wszystkie dane zostały przez nas usunięte.

eprasa.pl 4d9608b833



# Jak dobrać przekaźnik do aplikacji?

*Jeśli budujemy urządzenie, którego zadaniem jest włączenie/wyłączenie jakiegoś odbiornika energii elektrycznej, to naturalnym wyborem dla stopnia mocy jest przekaźnik elektromechaniczny. Ma on szereg zalet, wśród których najbardziej cenione są separacja galwaniczna obwodów (sterującego i załączanego) oraz łatwość aplikacji. Ponadto, można wybierać spośród modeli mających różne zestyki, pracujące w różnych konfiguracjach, wykonane z różnych materiałów. Przegląd oferty dystrybutorów i producentów przekaźników może przyprawić o zawrót głowy. Przecież przekaźnik to nieskomplikowane, dobrze znane od lat urządzenie, wytwarzane przez wiele firm. Czy naprawdę jest potrzebne aż tyle ich typów? Czy nie da się wykonać jednego, na może trzech uniwersalnych przekaźników i jedynie powielać ich w różnych zakładach? Co powoduje, że oferta przekaźników musi być tak zróżnicowana. I ważniejsze – czym ma się kierować konstruktor urządzenia dobierając do niego przekaźnik?*

Użycie przekaźnika w aplikacji ma szereg zalet. Jak wspomniano we wstępie, do najważniejszych należy galwaniczne rozdzielenie obwodów sterującego i sterowanego. W ten sposób zyskuje się łatwe do wykonania, niedrogie zabezpieczenie przed gwałtownymi zmianami prądu i napięcia powodowanymi przez obciążenie, zaburzeniami i innymi zjawiskami, które mogą uszkodzić mikrokontroler lub inny układ sterujący. Przekaźnik może też mieć więcej niż jedną parę zestyków, co pozwala na dołączenie i jednoczesne sterowanie dodatkowych obwodów, które również mogą być odseparowane galwanicznie, pracować z innym napięciem zasilającym i służyć do sygnalizowania pracy przekaźnika.

Pomimo podwyższonej odporności przekaźnika elektromechanicznego na uszkodzenia (bo zepsucie zestyków wcale nie jest takie łatwe), również i one ulegają uszkodzeniu. Zwykle w takiej sytuacji „wypaleniu" ulegają zestyki i przekaźnik lub jego część mogą wymagać wymiany. W szczególnie narażonych na to obwodach można używać podstawek pod przekaźniki lub przekaźników z wymiennymi zestykami, dzięki którym wymiana uszkodzonego komponentu jest łatwa, szybka i nie wymaga lutowania. A w innej sytuacji – podstawowy sprzęt i narzędzia do lutowania pozwolą na rozwiązanie problemu w przysłowiowe 5 minut. Sama diagnostyka i naprawa też nie wymagają jakichś szczególnych umiejętności.

Można znaleźć więcej argumentów, które przemawiają za użyciem przekaźnika w aplikacji, jednak mimo wymienionych zalet i tego, że autor jest entuzjastą przekaźników, trzeba też mieć świadomość ich wad wynikających z budowy i właściwości fizycznych. Pierwszą, z którą natychmiast przyjdzie się nam zmierzyć jest przepięcie powstające w momencie wyłączenia zasilania cewki. Kolejną, mogącą mieć wpływ na sterowane obciążenie, są drgania zestyków, generowane przy tym przepięcia. Jako kolejne należy wymienić długi czas propagacji pomiędzy załączeniem zasilania cewki a zwarciem lub rozwarciem zestyków. Będzie o tym mowa w dalszej części artykułu, gdzie w kolejnych akapitach dokładniej omówimy tę tematykę po to, aby świadomie wybrać właściwy przekaźnik do projektowanego urządzenia.

Przekaźniki ze względu na nieskomplikowaną budowę często są lekceważone przez konstruktorów urządzeń elektronicznych. Zwykle skupiają się oni na różnych aspektach sterowania przekaźnikiem, natomiast



eprasa.pl 4d9608b833

sam dobór elementu wykonawczego jest dokonywany na zasadzie „aby się zmieścił", „aby pasowało napięcie" i „jakiś się wybierze". Takie podejście owocuje szeregiem kłopotów, ponieważ właściwy dobór parametrów przekaźnika do aplikacji jest równie istotny, jak prawidłowy dobór parametrów tranzystorów lub innych elementów półprzewodnikowych.

## Bezpieczeństwo

Przekaźnik realizuje trzy podstawowe zadania:

- Odseparowuje galwanicznie obwód sterowania od obwodu zasilania obciążenia. Napięcie przebicia nawet najmniejszych przekaźników sięga kilowoltów, co umożliwia zapewnienie bezpieczeństwa użytkownika.
- Dokonuje konwersji poziomów napięcia, na przykład, zwykle niewielkiego, panującego w obwodzie sterującym na znacznie wyższe, występujące w obwodzie obciążenia.
- Pozwala na przełączanie sporego obciążenia za pomocą niewielkiej mocy wymaganej do zasilania cewki przekaźnika.

Aby spełnić surowe wymagania odnośnie do bezpieczeństwa użytkownika oraz urządzenia, producenci przekaźników muszą je wytwarzać zgodnie z normami obowiązującymi dla tych produktów. Dodatkowo, parametry przekaźników również powinny być znormalizowane, aby można było dobierać je do aplikacji w podobny sposób, jak dobiera się tranzystory.

Typowo, jeśli karta katalogowa danego przekaźnika nie informuje inaczej, został on skonstruowany oraz wyprodukowany zgodnie z następującymi standardami europejskimi oraz międzynarodowymi:

- EN 61810-1 ed.2, IED 61810-7, EN 60255-23 dla przekaźników NO, NC, CO.
- EN 61812-1 dla przekaźników czasowych.
- EN 60669-1 i EN 60669-2-2 dla elektromechanicznych przekaźników schodowych (do sterowania oświetleniem na klatkach schodowych).
- EN 60669-1, EN 60669-2-1 i EN 60669-2-3 dla elektronicznych przekaźników schodowych, wyłączników schodowych i przekaźników sterowanych światłem.

W warunkach europejskich, inne standardy, używane jako odniesienie dla zagadnień związanych z podwójną izolacją, to:

- VDE 0106 jako podstawowy.
- EN 60335 (VDE 0700) dla aplikacji domowych, zalecający dystans 8 mm pomiędzy doprowadzeniami cewki i styków.
- EN 50178 (VDE 0160) dla aplikacji przemysłowych, zalecający odstęp 5,5 mm oraz od 6,4 do 8 mm pomiędzy doprowadzeniami cewki oraz styków.

Zgodnie z normą EN 61810-1 wszystkie parametry są podawane w standardowych warunkach otoczenia, to jest w temperaturze 23°C, przy ciśnieniu atmosferycznymi 96 kPa, wilgotności 50%, w warunkach czystego powietrza i dla częstotliwości prądu przemiennego 50 Hz. Typowo, tolerancja rezystancji cewki, rozpraszanej przez nią oraz pobieranej mocy wynosi ±10%. Jeśli warunki panujące w otoczeniu będą inne, to parametry przekaźnika również mogą ulec zmianie. Dotyczy to zwłaszcza mocy strat występującej na cewce elektromagnesu oraz napięcia termoelektrycznego na zestykach przekaźnika.

## Obciążenie zestyków przekaźnika

Obciążeniem zestyków przekaźnika – co naturalne – jest obwód elektryczny. Taki obwód zwykle ma charakter rezystancyjny, pojemnościowy lub indukcyjny, ale prawda jest taka, że w realnej sytuacji trzeba założyć, iż mamy do czynienia z obwodem mieszanym. Dla przykładu, każdy wie, że żarówka ma charakter rezystancyjny, jednak jej rezystancja jest nieliniowa i gwałtownie rośnie wraz ze wzrostem temperatury. Prąd płynący przez żarówkę jest bardzo duży po załączeniu (około 20 razy większy niż nominalny), gdy jest ona jeszcze zimna i stabilizuje się po rozgrzaniu włókna, co do złudzenia przypomina ładowanie kondensatora włączonego na wejściu zasilacza. Co prawda, na tym podobieństwo się kończy, ponieważ żarówka nie sprawi nam niespodzianki, którą może sprawić kondensator przy wyłączeniu napięcia. Na przykład, żarówka o mocy 75 W pobiera ze źródła napięcia 230 V prąd nominalny 0,625 A po ustabilizowaniu się temperatury włókna, jednak po załączeniu zasilania, gdy włókno jest zimne płynie prąd o natężeniu około 13 A, co musi uwzględnić konstruktor aplikacji. W związku z tym, że zestyki przekaźnika mogą przez krótki czas przewodzić prąd o natężeniu większym niż znamionowy, to taka żarówka zestyki może być bezpiecznie załączana przez przekaźnik o zestykach 230 V/10 A AC.

Obciążenie pojemnościowe „chce" stałego napięcia i przeciwdziała jego zmianom. W związku z tym, po zwarciu zestyków płynie bardzo duży prąd, który może spowodować ich zgrzanie. Obciążenie indukcyjne „chce" stałego prądu i tłumi jego zmiany. Otwarcie zestyków i przerwanie obwodu prądu powoduje generowanie przepięcia, co może spowodować powstanie łuku elektrycznego pomiędzy zestykami i ich uszkodzenie (wypalenie).

Specyficznym rodzajem obciążenia, które może być załączane przez przekaźnik, jest silnik prądu przemiennego (po otwarciu obwodu silnik może stać się generatorem napięcia). Dlatego często w danych technicznych przekaźnika często odrębnie podaje się parametry silnika, który może być sterowany przez przekaźnik, a przede wszystkim nominalną wartość mocy silnika zasilanego prądem, którą styki przekaźnika mogą załączać zgodnie z normami EN 60947-1, UL 508 i CSA 22.2 n.14. Typowo, moc silnika jest podawana w kW. Jeśli w aplikacji docelowej jest zmieniany kierunek obrotów silnika, to zawsze jest dozwolona pośrednicząca przerwa o czasie trwania powyżej 300 ms. Pomimo tego może występować impuls prądowy o bardzo dużym natężeniu spowodowany zmianą polaryzacji silnika, który może spowodować zgrzanie się zestyków przekaźnika.

Innym rodzajem odbiorników, z którym muszą „poradzić" sobie przekaźniki są lampy oświetleniowe. Maksymalne obciążenie jest podawane dla lamp żarowych i fluorescencyjnych zasilanych napięciem 230 V AC. Domyślnie zakłada się, że lampy fluorescencyjne są odpowiednio skompensowane dla uzyskania wartości współczynnika cos $\varphi \geq 0{,}9$.

Konstruktor urządzenia musi wiedzieć, jaki charakter będą miały zasilane obwody elektryczne. Wydaje się, że w najtrudniejszej sytuacji mogą być konstruktorzy sterowników PLC, którzy nie są w stanie przewidzieć, jakiego rodzaju obciążenie będzie sterowane za pomocą z założenia uniwersalnych PLC w warunkach przemysłowych.

Nie zawsze przekaźniki są używane do sterowania obciążeniem. Niekiedy stosuje się je do przełączania sygnałów lub obwodów wejściowych, chociaż w miarę rozwoju przyrządów półprzewodnikowych liczba aplikacji tego typu jakby maleje. Z punktu widzenia przełączania sygnałów, zwłaszcza w dobie maksymalnego ograniczania poboru mocy, istotnym parametrem charakteryzującym przekaźnik jest **minimalne obciążenie zestyków**. Konstruktor elektronik musi wiedzieć, że nie każdy przekaźnik nadaje się na przełącznik źródeł sygnału audio, do załączania termopary, wejść pomiarowych itp. W danych katalogowych można znaleźć minimalną wartość mocy, napięcia i prądu, które zestyki mogą pewnie przełączać. Na przykład, jeśli podano minimalną wartość 300 mW, 5 V/5 mA, to:

- dla napięcia 5 V prąd musi mieć wartość co najmniej 60 mA,
- dla napięcia 24 V prąd musi mieć wartość co najmniej 12,5 mA.
- dla 5 mA napięcie musi wynosić co najmniej 60 V.

Dla kontaktów złoconych jest sugerowane obciążenie 50 mW, 5 V/2 mA. Gdy konieczne jest uzyskanie mniejszych wartości przełączanej mocy prądu, zestyki można łączyć równolegle. Uwaga! Styki przekaźnika mogą być złocone w różnych celach. Na przykład, jeśli warstwa złota ma grubość 3…5 μm, to nałożono ją dla ochrony styków podczas przechowywania przekaźnika, a nie dla poprawy jego parametrów elektrycznych.

Rezystancja zwartych kontaktów jest mierzona na zewnętrznych doprowadzeniach przekaźnika i jest ona związana z kategorią zestyków (**tabela 1**). Jest ona wartością statystyczną, chwilową i niereprodukowalną. Dla większości aplikacji nie ma ona wpływu na odpowiedniość przekaźnika. Typowo wartość rezystancji styków, mierzona przy 24 V/100 mA to 50 mΩ.



eprasa.pl 4d9608b833

Efektywność, z którą zestyki przekaźnika mogą załączać obwód elektryczny jest zależna od: materiału używanego na kontakty, jego narażenia na działanie czynników zewnętrznych, budowy zestyków i innych. Dla poprawnej pracy zestyków oraz ułatwienia ich doboru w zależności od rodzaju aplikacji, konieczna jest specyfikacja kategorii aplikacji. Jest ona jednym z czynników definiujących zdolność do przełączania przez styki przekaźnika w warunkach minimalnych i maksymalnych wartości napięcia i prądu przewodzonego przez zestyki. Odpowiednia kategoria aplikacji definiuje również wartości napięcia i prądu używane przy pomiarze rezystancji kontaktu. W **tabeli 2** wymieniono rodzaje materiałów używanych do wykonywania styków przekaźników wraz z ich krótką charakterystyką.

## Konfiguracja zestyków przekaźnika

Zwykle stosuje się przekaźniki o zestykach normalnie otwartych (NO) lub normalnie zamkniętych (NC), jednak w niektórych zastosowaniach mogą być wymagane zestyki przełączane (CO). Oznaczenia konfiguracji zestyków umieszczono w **tabeli 3**. Stosowany powszechnie w Europie standard EN50005 zaleca stosowanie następującej numeracji dla doprowadzeń przekaźników:

- .1 dla doprowadzeń wspólnych (np. 11, 21, 31, ...),
- .2 dla normalnie zwartych doprowadzeń (np. 12, 22, 32, ...),
- .4 dla normalnie otwartych doprowadzeń (np. 14, 24, 34, ...),
- A1 i A2 dla doprowadzeń cewki.

W przekaźnikach czasowych dla kontaktów działających z opóźnieniem stosuje się następującą numerację:

- .5 dla doprowadzeń wspólnych (np. 15, 25, ...),
- .6 dla normalnie zwartych doprowadzeń (np. 16, 26, ...),
- .8 dla normalnie otwartych doprowadzeń (np. 18, 28, ...),

Norma IEC67 i standardy amerykańskie zalecają:

- postępującą numerację doprowadzeń kontaktów (1, 2, 3, ... 13, 14 itd.),
- niekiedy oznaczenie A i B dla doprowadzeń cewki.

## Warunki panujące w otoczeniu

Dla aplikacji przekaźnika niezmiernie istotne są warunki jego eksploatacji panujące w bezpośrednim otoczeniu przekaźnika. Co oczywiste, będą one różne w zależności od miejsca, w którym będzie zamontowane urządzenie. Inne warunki panują na pokładzie samolotu, inne na pokładzie okrętu, w stacji pomp, a jeszcze inne w pojeździe lub na hali fabrycznej. Od wpływu środowiska można się odizolować stosując obudowę hermetyczną, ale nie zawsze jest to wskazane, możliwe lub uzasadnione. Aby poprawnie dobrać przekaźnik konstruktor musi wiedzieć, w jakich warunkach będzie eksploatowane urządzenie wyposażone w przekaźnik lub przekaźniki.

**Tabela 1. Kategoria zestyków zgodnie z normą EN60255-23**

| Kategoria aplikacji | Napięcie [V] | Prąd [A] | Warunki pomiaru rezystancji kontaktów (IEC 61810-7) | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | U < 0,03 | I < 0,01 | > 30 mV | 10 mA |
| 1 | 0,03 < U < 60 | 0,01 < I < 0,1 | 100 mV | 10 mA |
| 2 | 5 < U < 250 | 0,1 < I < 1 | 24 V | 100 mA |
| 3 | 5 < U < 600 | 0,1 < I < 100 | 24 V | 1000 mA |

Typowo, jeśli w karcie katalogowej nie podano inaczej, przekaźnik jest przeznaczony do pracy przy współczynniku wypełnienia napięcia zasilającego cewkę wynoszącym 100%. W warunkach europejskich, cewki przekaźników zasilane prądem przemiennym, są przystosowane są do zasilania napięciem o częstotliwości 50 Hz lub 60 Hz. Dla zwykłego przekaźnika niedopuszczalna jest praca w warunkach, które powodują kondensację pary wodnej lub tworzenie się lub osadzanie lodu na przekaźniku.

Aby nie doprowadzić do uszkodzenia lub zakłócenia pracy układu sterującego pracą przekaźnika, zaleca się stosowanie zabezpieczeń nadnapięciowych (np. warystorów dla prądu przemiennego, diod dla prądu stałego) włączonych równolegle z cewką przekaźnika. Jeśli napięcie zasilające cewkę przekaźnika jest załączane przez czujnik zbliżeniowy, a długość kabli połączeniowych jest większa od 10 metrów, zaleca się dołączenie równolegle do doprowadzeń cewki dodatkowego obwodu służącego do tłumienia prądu szczątkowego (residual current bypass).

## Trwałość przekaźnika

W celu określenia trwałości elektrycznej przekaźnika, zmiennoprądowe obciążenie testowe, rezystancyjne, kategorii AC1 (patrz parametry przekaźnika w ramce) jest dołączane do jego kontaktów. Kontakty są załączane przez cewkę przekaźnika zasilaną napięciem nominalnym. Obciążenie jest włączone pomiędzy wszystkie ruchome zestyki NO. Dla typowych przekaźników częstotliwość przełączania wynosi: cewka 900 cykli na godzinę, zestyki 900 cykli na godzinę (2 sekundy załączony, 2 sekundy wyłączony lub 1 sekunda załączony, 3 sekundy wyłączony dla ograniczonego prądu > 16 A). Dla przekaźników tzw. klatkowych (schodowych) – cewka 900 cykli na godzinę, kontakty 450 cykli na godzinę (4 sekundy załączony, 4 sekundy wyłączony).

**Tabela 2. Charakterystyka materiałów na zestyki**

| Materiał | Właściwości | Typowa aplikacja* |
|---|---|---|
| AgNi+Au (srebro – nikiel pokrywany złotem) | Srebro – nikiel jako baza pokryty galwanicznie warstwą złota o grubości 5 μm. Złoto nie jest podatne na działanie czynników przemysłowych. Dla niewielkiego obciążenia rezystancja zestyków jest mniejsza w porównaniu z innymi materiałami. Uwaga: znaczenie 5 μm warstwy złota jest inne, niż warstwy 0,2 μm, która to zapewnia ochronę podczas przechowywania, ale nie zmniejsza rezystancji zestyków. | Szeroki zakres aplikacji: Zakres małych obciążeń (gdzie erozja warstwy złota jest bardzo mała) od 1,5 W/24 V (obciążenia rezystancyjne). Zakres średnich obciążeń gdzie warstwa złota eroduje po pewnej liczbie załączeń i dominujący staje się stop AgNi. Dla bardzo małych obciążeń, typowo 1 mW (0,1 V...1 mA, dla przykładu w przyrządach pomiarowych), zalecane jest równoległe połączenie 2 kontaktów. |
| AgNi (srebro – nikiel) | Standardowy materiał kontaktowy dla większości aplikacji przekaźników. Duża odporność na zużycie. Średnia odporność na zgrzewanie. | Obciążenia rezystancyjne i o niewielkiej indukcyjności. Prąd nominalny do 12 A. Prąd impulsowy do 25 A. |
| AgCdO (srebro – kadm – tlenek) | Duża odporność na zużycie przy dużym obciążeniu AC. Dobra odporność na zgrzewanie. | Obciążenia indukcyjne, silniki. Prąd nominalny do 30 A. Prąd impulsowy do 50 A. |
| $AgSnO_2$ (srebro – cynk – tlenek) | Doskonała odporność na zgrzewanie. Mała dyfuzja materiału dla obciążenia stałoprądowego. | Źródła światła i obciążenia pojemnościowe. Bardzo duży prąd impulsowy obciążenia (do 120 A). |



eprasa.pl 4d9608b833

**Tabela 3 Konfiguracja zestyków**

| Nazwa konfiguracji zestyków | EU | D | GB | USA |
|---|---|---|---|---|
| Normalnie otwarty | NO | S | A | SPST-NO<br>DPST-NO<br>NPST-NO |
| Normalnie zwarty (zamknięty) | NC | Ö | B | SPST-NC<br>DPST-NC<br>NPST-NC |
| Styki przełączane | CO | W | C | SPDT<br>DPDT<br>NPDT |

Poprawnie dobrany przekaźnika bardzo rzadko ulega uszkodzeniu z innego powodu, niż przeciążenie zestyków. Przekaźnik ma ruchome części, które ewentualnie mogą ulec uszkodzeniu, jednak raczej to nie one zmuszą nas do zastąpienia przekaźnika nowym. Trwałość przekaźnika podaje się w liczbie cykli włączony/wyłączony. Jak wspomniano wyżej, producent bada ją pod obciążeniem nominalnym, ale w rzeczywistej aplikacji często zdarza się, że zestyki przekaźnika przewodzą prąd o wiele mniejszy od nominalnego lub pracują bez obciążenia. Jak łatwo spodziewać się, w takich warunkach trwałość przekaźnika jest większa od nominalnej. W niektórych opracowaniach technicznych napotkałem stwierdzenia, że jeśli prąd obciążenia zestyków wynosi 70% wartości nominalnej, to trwałość jest o 30% większa, jednak trudno zweryfikować ich prawdziwość. Oczywiście, że taki przekaźnik będzie pracował dłużej, ale czy faktycznie tak łatwo obliczyć nową trwałość?

W praktyce najczęściej używa się dwóch typów przekaźników: elektromechanicznych oraz kontaktronów. Zwykle to kontaktron ma większą trwałość ze względu na mniejszą liczbę ruchomych części. Przypomnijmy, że jest on zbudowany z dwóch zestyków zwieranych za pomocą zewnętrznego pola magnetycznego, zatopionych w szklanej rurce. Rurka jest hermetyczna, co zabezpiecza miejsce kontaktu przed wpływam zanieczyszczeń. Może też zawierać próżnię, co zapobiega iskrzeniu. Mimo zalet kontaktron ma dość delikatną budowę oraz niewielką przerwę pomiędzy zestykami, co predysponuje go raczej do przełączania obciążenia zasilanego stosunkowo niedużym napięciem i prądem o małym natężeniu.

## Parametry cewki przekaźnika

Wybierając przekaźnik do aplikacji typowo zwracamy uwagę na napięcie znamionowe cewki oraz ewentualnie prąd jej zasilania. Warto wiedzieć, że cewkę przekaźnika charakteryzuje też szereg innych parametrów, na które warto zwrócić uwagę.

Pierwszym, już wspomnianym jest napięcie nominalne cewki. Producent podając ten parametr przytacza nominalną wartość napięcia cewki, dla której przekaźnik został opracowany. Do tego napięcia odnoszą się pozostałe parametry przekaźnika związane z prędkością jego pracy, mocą strat itp. Moc nominalna cewki jest podawana w W lub VA. Jest to wartość chwilowa mocy pobierana przez cewkę w temperaturze otoczenia 23°C przy zasilaniu napięciem nominalnym. Z mocą i temperaturą otoczenia jest związane maksymalne napięcie cewki, to jest największa, bezpieczna dla przekaźnika wartość napięcia powodująca jego zadziałanie.

Na napięcie nominalne będą miały wpływ nie tylko parametry samej cewki, ale również siły sprężystości występujące w przekaźniku. Jak łatwo spodziewać się, im są one większe, tym większe napięcie trzeba będzie przyłożyć do cewki. W karcie katalogowej można oprócz tego znaleźć jeszcze:

- napięcie niezadziałania, to jest maksymalne napięcie, przy którym styki przekaźnika jeszcze nie zostaną przyciągnięte (przekaźniki NO) lub rozwarte (przekaźniki NC),
- napięcie przyciągnięcia, to jest napięcie minimalne, które spowoduje przyciągnięcie styków (ich zwarcie – NO lub rozwarcie – NC),

REKLAMA

eprasa.pl 4d9608b833

**Tabela 4. Szacowanie wytrzymałości napięciowej**

| Nominalne napięcie systemu zasilania zgodnie z IEC60664-1 | | Napięcie w odniesieniu do linii neutralnej | Wytrzymałość na impuls napięciowy | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3-fazy | 1-faza | | I | II | III | IV |
| – | 120 do 240 | 150 | 800 | 1500 | 2500 | 4000 |
| 230/400* | | 250* | 1200* | 2200* | 3600* | 5500* |
| 230/400 | 277/480 | 300 | 1500 | 2500 | 4000 | 6000 |

* – zastosowanie mają wartości przybliżone (interpolowane)

- napięcie podtrzymania, to jest najniższa wartość napięcia przyłożonego do cewki, przy którym przekaźnik (poprzednio zasilony napięciem o wartości nominalnej) nie zwalnia styków,
- napięcie zwolnienia, to jest wartość napięcia cewki, przy której przekaźnik (poprzednio zasilony napięciem o wartości nominalnej) definitywnie zwalnia styki.

Rezystancja cewki zależy od liczby zwojów drutu oraz jego przekroju. Średnia wartość rezystancji cewki jest podawana w standardowych warunkach i temperaturze otoczenia 23°C. Nominalny pobór prądu to średnia wartość prądu cewki przy zasilaniu napięciem nominalnym. Dla przekaźników półprzewodnikowych podaje się prąd kontrolny, to jest nominalne natężenie prądu płynącego przez układ wejściowy, gdy jest on zasilany napięciem nominalnym.

## Parametry izolacji

Jak pamiętamy z wcześniejszej lektury, jedną z ważniejszych funkcji przekaźnika jest rozdzielenie obwodów – sterującego i załączanego. Z tego punktu widzenia dużego znaczenia nabiera kolejny parametr nazywany koordynacją izolacji (EN 61810-1 ed.2 oraz 60664-1). Charakterystyczne parametry izolacji przekaźnika mogą być opisane przez nominalne napięcie szczytowe (Rated Impulse Voltage) oraz stopień zanieczyszczenia (Degree of Pollution).

Aby upewnić się, co do właściwej koordynacji izolacji pomiędzy przekaźnikiem a aplikacją, projektant urządzenia (użytkownik przekaźnika) powinien określić nominalną impulsową wartość napięcia odpowiednio dla swojej aplikacji oraz stopień zanieczyszczenia dla otaczającego mikro-środowiska, w którym pracuje przekaźnik. Na tej podstawie musi on dobrać odpowiedni dla aplikacji przekaźnik, zgodnie z parametrami określonym w karcie katalogowej danego typu przekaźnika.

Aby ustalić odpowiedni stopień zanieczyszczenia oraz wytrzymałość na impuls napięciowy należy odnieść się do właściwego standardu lub rozważyć dane podane w **tabelach 4** i **5**. Wybierając odpowiednią wytrzymałość napięciową należy kierować się wiedzą o nominalnej wartości zasilania i na temat kategorii napięciowej (jak podano w normie IEC 60664-1).

Jeśli podany jest tylko impuls napięciowy, jego wartość odnosi się do wszystkich obwodów elektrycznych: każde doprowadzenie do każdego i każde doprowadzenie do dostępnych powierzchni. Jeśli podawane są dwie wartości impulsu napięciowego, to pierwsza z nich odnosi się do kontaktów: każdy do każdego i każdy do dostępnych powierzchni oraz i do innych obwodów elektrycznych. Druga wartość podawana jest dla cewki w stosunku do dostępnych powierzchni oraz innych obwodów elektrycznych.

Istotnym parametrem z punktu widzenia aplikacji będzie też wytrzymałość dielektryczna. Tu producenci przekaźników podają dwa parametry. Jeden jest związany z koordynacją izolacji i określa izolację pomiędzy dowolnymi elementami przewodzącymi przekaźnika, a obwodem sterującym – cewką. Upraszczając można powiedzieć, że jest to maksymalne napięcie, przy którym obwód sterujący jest jeszcze bezpieczny. Wytrzymałość dielektryczną podaje się dla napięcia przemiennego lub dla impulsu 1,2/50 μs.

Innym parametrem jest wytrzymałość dielektryczna pomiędzy otwartymi kontaktami. Zwykle wartość tego napięcia znacznie przekracza maksymalne napięcie przełączane. Typowo, jako rezultat przerwy o szerokości 0,3...0,5 mm pomiędzy stykami jest uzyskiwana wytrzymałość dielektryczna około 1,3...1,5 kV (impuls 1,2/50 μs), ale dla konkretnej aplikacji zawsze należy odnieść się do danych katalogowych.

Ostatni sposób specyfikacji właściwości izolacji nawiązujący do koordynacji izolacji, zastępuje klasyfikację grupy izolacji, tak jak C250, nawiązującą do starego standardu VDE 0110. Dla aplikacji wysokiego ryzyka wymagane są specjalne rodzaje izolacji o podwyższonym stopniu izolacji i integralności pomiędzy obwodami. Zapewniana są one przez bezpieczną separację oraz podwójną izolację:

- Niskie napięcie musi być odseparowane od sieci zasilającej 230 V AC przez podwójną lub wzmocnioną izolację. Oznacza to, że pomiędzy dwoma obwodami elektrycznymi musi być zapewniona wytrzymałość dielektryczna 6 kV (1,2/50 μs). Można to osiągnąć na przykład przez izolację powietrzną w postaci szczeliny od szerokości 5,5 mm. Należy jednak pamiętać, że wytrzymałość takiego dielektryka zależy od stopnia zanieczyszczenia mikrośrodowiska pracy oraz materiału bazowego, jeśli przekaźnik umieszczony jest na płytce drukowanej.
- Obwody elektryczne w przekaźniku muszą być chronione przed jakąkolwiek możliwością zwarcia do siebie napięcia niskiego i napięcia sieci 230 V AC, na przykład przez luźne części metalowe znajdujące się wewnątrz przekaźnika. Osiągane jest to przez fizyczną separację obwodów dzięki umieszczeniu styków w izolowanych od siebie komorach wewnątrz przekaźnika.
- Przewody dołączone do przekaźnika muszą być fizycznie odseparowane każdy od każdego. Normalnie jest to osiągane przez używanie odseparowanych kanałów kablowych.
- Dla przekaźników montowanych na płytkach drukowanych musi być zapewniona właściwa odległość pomiędzy ścieżkami dołączonymi do niskiego napięcia i ścieżkami dołączonymi do innych napięć.

Niektóre przekaźniki oferowane są z opcją izolacji SELV. Mimo, iż aplikacje tego typu wydają się być bardzo złożone, stosując je użytkownik musi odnieść się tylko do dwóch ostatnich punktów. Dzięki wyprowadzeniom cewki i kontaktów umieszczonymi po przeciwnych stronach przekaźnika czy gniazda, ułatwiona jest separacja połączeń w różnych kanałach kablowych. Podobnie z układem ścieżek na płytce drukowanej.

## Parametry techniczne

Praca przekaźnika jest charakteryzowana przez cykl, w którego trakcie następuje zadziałanie i wyłączenie przekaźnika. Podczas cyklu do cewki jest dołączone i odłączone napięcie nominalne, a zestyki przemieszczają się łącząc lub rozłączając obwód.

Trwałość mechaniczna przekaźnika określa jego odporność mechaniczną. Jest on podawany niezależnie od obciążenia, które przenoszą zestyki. Maksymalna trwałość elektryczna może być zbliżona do trwałości mechanicznej, gdy obciążenie elektryczne kontaktów jest bardzo małe.

Czas zadziałania upływa pomiędzy przyłożeniem nominalnego zasilania do doprowadzeń cewki, a momentem, gdy kontakt typu NO (normalnie otwarty) zostanie zwarty. Czas zadziałania nie uwzględnia czasu drgań styków.



eprasa.pl 4d9608b833

**Tabela 5. Określanie stopnia zanieczyszczenia**

| Stopień zanieczyszczenia | Przybliżone warunki panujące w otoczeniu |
|---|---|
| 1 | Bez zanieczyszczeń lub tylko suche zanieczyszczenia nieprzewodzące (bez wpływu na pracę). |
| 2 | Tylko zanieczyszczenia nieprzewodzące. Wyjątkowo okazjonalnie lub czasowo spodziewane są przewodzące, spowodowane przez kondensację. |
| 3 | Występują przewodzące zanieczyszczenia lub suche nieprzewodzące, które stają się przewodzącymi na skutek spodziewanej kondensacji. |
| 4 | Zanieczyszczenia powodują stałe przewodnictwo spowodowane przez nagromadzony pył lub deszcz czy śnieg. |

Czas zwolnienia (rozłączenia) to typowa wartość czasu pomiędzy odłączeniem zasilania od cewki przekaźnika, a zwarciem kontaktów typu NC lub rozwarciem NO. Nie uwzględnia czasu drgań styków.

Czas zadziałania i czas zwolnienia mogą różnić się od podanych w katalogu, jeśli równolegle do styków przekaźnika dołączono obwody tłumiące przepięcie na cewce.

Podczas załączania przekaźnika na skutek sprężystości materiału i właściwości mechanicznych występuje drganie styków. Czas drgania styków określa typową wartość czasu trwania drgań styków, dla kontaktów typu NO lub NC.

Podsumowując, w danych katalogowych przekaźnika można znaleźć następujące czasy:

- $T_A$ – czas załączenia,
- $T_B$ – czas trwania drgań styków dla kontaktów typu NO,
- $T_C$ – czas zwolnienia (przekaźniki NC),
- $T_D$ – czas zwolnienia (przekaźniki CO),
- $T_E$ – czas trwania drgań styków NC.

Zakres temperatury otoczenia informuje o temperaturze, w której jest umieszczony jest przekaźnik i dla których gwarantowana jest poprawna praca przekaźnika.

Odporność na warunki środowiskowe jest określana zgodnie z normą IEC 61810-7. Stopień uszczelnienia obudowy przekaźnika opisuje kategoria technologii – wymieniono je w **tabeli 6**.

Kategoria ochrony obudowy jest określana zgodnie z normą EN 60529. Pierwsza cyfra odnosi się do ochrony przed wchodzeniem stałych, obcych obiektów do wnętrza urządzenia jak również do dostępu do części stwarzających zagrożenie. Druga cyfra odnosi się do ochrony przed wtargnięciem wody. Dla przekaźników stopień IP jest określany dla normalnego użytkowania przekaźnika umieszczonego w gnieździe lub na płytce drukowanej. Dla złącz IP20 oznacza, że złącze jest zabezpieczone przed dotykiem (VDE0106).

Przykłady określenia stopnia ochrony:

- IP 00 – brak ochrony (obudowa otwarta),
- IP 20 – chronione przed obiektami stałymi o średnicy 12,5 mm i większej. Brak ochrony przed dostępem wody.
- IP 40 – chronione przed obiektami stałymi o średnicy 1 mm i większej. Brak ochrony przed dostępem wody.
- IP 50 – chronione przed pyłem (wchodzenie pyłu nie jest całkowicie chronione, ale pył nie będzie penetrował wnętrza w ilości umożliwiającej pogorszenie parametrów przekaźnika). Brak ochrony przed dostępem wody.
- IP 67 – całkowicie chronione przed pyłem i chronione przed czasowym działaniem wody.

Warto pamiętać, że hermetyczna obudowa przekaźnika nie zawsze jest jego atutem. W pewnych warunkach pomiędzy zestykami przekaźnika może wystąpić łuk elektryczny. Jeśli przestrzeń pomiędzy zestykami nie będzie wentylowana, to zjonizowany gaz może podtrzymywać łuk nawet pomimo spadku napięcia na doprowadzeniach przekaźnika.

W aplikacjach poddanych wibracjom duże znaczenie ma siła przyciągania zestyków oraz ich bezwładność mechaniczna. Składają się one na parametr nazywany odpornością na wibracje. Jest to maksymalna wartość przyspieszenia (mierzona w g=9,81 m/s$^2$) dla zakresu częstotliwości od 10 do 55 Hz, która może być zastosowana do przekaźnika w 3 osiach, bez otwarcia kontaktów typu NO na czas dłuższy niż 10 us (cewka przekaźnika jest zasilona) lub kontaktów typu NC (cewka nie jest zasilana). W stanie zasilenia, odporność na wibra-cje jest zazwyczaj większa, niż w stanie odłączenia napięcia zasila-jącego. Ten parametr będzie miał szczególne znaczenie dla urządzeń stosowanych w pojazdach oraz w maszynach przemysłowych zawierających ciężkie, ruchome komponenty.

## Przekaźniki półprzewodnikowe

Przekaźnik półprzewodnikowy ma szereg zalet, wśród do najważniejszych należy brak zużywających się elementów mechanicznych oraz odporność na wibracje. Trzeba jednak pamiętać, że ze względu na charakter półprzewodnikowy te przekaźniki są wykonywane w wariantach przeznaczonych do załączania napięcia stałego lub przemiennego. Współcześnie wewnątrz ich obudowy przeważniej znajdziemy tranzystory MOS, więc taki przekaźnik będzie miał pewną charakterystyczną rezystancję „zestyków", na której wystąpią straty mocy. Konstruktor powinien zdawać sobie sprawę z tego, że przekaźnik półprzewodnikowy w stanie załączenia rozgrzewa się i może wymagać montażu na radiatorze.

Przekaźniki półprzewodnikowe są wykonywane na szeroki zakres napięcia sterującego. Często mają też wbudowane złożone obwody sterujące, wyposażone w interfejs cyfrowy, umożliwiające warunkowe załączenie, konfigurowanie sposobu pracy „zestyków", ustawienie kąta załączenia i wyłączenie przy zerowym prądzie obciążenia. Separacja galwaniczna jest realizowana za pomocą transoptora. Dzięki małemu natężeniu prądu wzbudzenia (3 mA/3 V DC) najczęściej są używane do bezpiecznej separacji obwodów niskonapięciowych od obwodów wykonawczych przenoszących znaczne obciążenia, w których mogą wystąpić przepięcie, zwarcie lub przeciążenie.

Aby zapewnić prawidłową pracę przekaźnika półprzewodnikowego należy zwrócić uwagę na kilka istotnych czynników decydujących o jego doborze. Komponenty pracujące w aplikacjach przemysłowych wymagają zabezpieczenia przed zaburzeniami pochodzącymi z sieci lub generowanymi przez zasilany odbiornik. Zabezpieczenia

**Tabela 6. Stopień szczelności obudowy przekaźnika**

| Stopień szczelności | Warunki eksploatacji |
|---|---|
| **RT 0** – Przekaźnik otwarty | Przekaźnik nie jest dostarczany z obudową ochronną |
| **RT I** – Przekaźnik chroniony przed pyłem | Przekaźnik jest dostarczany z obudową, która chroni mechanizm przed pyłem |
| **RT II** – Przekaźnik odporny na działanie topnika | Przekaźnik może być automatycznie lutowany bez zezwolenia na migrację topnika lutowniczego pomiędzy zamierzonymi obszarami |
| **RT III** – Przekaźnik odporny na mycie | Przekaźnik może być automatycznie lutowany i następnie może przejść proces mycia, aby usunąć nagromadzony topnik bez zezwolenia na wchodzenie topnika lub związków myjących |
| **RT IV** – Przekaźnik w obudowie szczelnej | Przekaźnik dostarczany w obudowie, która nie posiada otworów wentylacyjnych |
| **RT V** – Przekaźnik zamknięty hermetycznie | Przekaźnik w obudowie o podwyższonym stopniu szczelności |



eprasa.pl 4d9608b833

przed przepięciem są realizowane za pomocą warystora włączonego równolegle na wyjściu. Specjalnego, fachowego podejścia wymaga zabezpieczenie przed przetężeniem. Dla zabezpieczenia „zestyków" przekaźnika należy stosować bardzo szybkie bezpieczniki. Taki bezpiecznik powinien być dobrany tym staranniej, im większą moc przełącza przekaźnik – te przeznaczone do komutowania dużego prądu są bardzo kosztowne. Właściwy dobór elementów zabezpieczających gwarantuje długą żywotność przekaźnika półprzewodnikowego w trudnych aplikacjach przemysłowych.

## Na koniec

Zaglądając do oferty dystrybutorów można doznać zawrotu głowy. Współcześnie istnieje nie tylko problem dostępności, ile wyboru i doboru odpowiedniego komponentu. Jakimi kryteriami należy kierować się dokonując selekcji? Próbowałem na koniec w jakiś sposób zebrać kryteria i porady dotyczące sposobu doboru przekaźnika do aplikacji, jednak ich zastosowania są tak odmienne, że zawsze należy rozpatrywać konkretny przypadek. Podajmy więc na koniec garść porad ułatwiających określenie jakichś własnych kryteriów oraz poprawne dobranie przekaźnika:

1. Parametry mechaniczne, wśród których są: wymiary przestrzeni dostępnej dla przekaźnika, sposób jego montażu (wlutowany w płytkę, montowany w podstawce, na szynie TH, przykręcany do podłoża lub wspornika), sposób dołączenia wyprowadzeń (lutowane, złącze, pojedyncze konektory, złącza śrubowe). Jeśli używany będzie przekaźnik półprzewodnikowy, to trzeba również zatroszczyć się o jego odpowiednie chłodzenie.
2. Warunki montażu i funkcjonowania aplikacji docelowej: czy przekaźnik po zamontowaniu lub w trakcie pracy będzie myty, czy jest narażony na zanieczyszczenie zestyków, oblodzenie, kondensację pary wodnej, czy jest narażony na wibracje, czy wymaga dodatkowego mocowania do płytki lub zabezpieczenia za pomocą uchwytu lub sprężyny, czy będzie wlutowany w płytkę drukowaną. Jak często jest narażony na uszkodzenie i jak często może wymagać wymiany.
3. Parametry elektryczne: napięcie i prąd przełączane przez zestyki, liczba zestyków, rodzaj (NO, NC, przełączane) minimalne i maksymalne napięcie przełączane, minimalny i maksymalny prąd przełączany, występowanie przepięcia i/lub przetężenia (co ma wpływ na dobór materiału, z którego są wykonane zestyki), koordynacja izolacji (wytrzymałość dielektryczna), napięcie i prąd pobierane przez cewkę elektromagnesu.
4. Specjalne wymagania aplikacji, na przykład: czy aplikacja należy do kategorii tzw. bezpiecznych, czy będzie pracowała w pojeździe, na pokładzie samolotu lub statku, na jakiej wysokości nad poziomem morza będzie użytkowana i inne. Czy przekaźniki mają być oznakowane kolorami, czy mają mieć kontrolki sygnalizujące załączenie, czy jest wymagany obwód gaszący przepięcie, czy też jest on zamontowany w urządzeniu sterującym itp.

Dla mnie istotnym parametrem przekaźnika jest również nazwa producenta. W przeszłości spotkałem się z niedrogimi, dalekowschodnimi przekaźnikami, ale za to bardzo kiepskiej jakości. Dlatego, zwłaszcza do urządzeń opracowywanych do eksploatacji w warunkach przemysłowych, wybieram pewne i sprawdzone produkty, przeważnie firm europejskich, co do których jestem pewien, że wytwarzają swoje produkty zgodnie z przytoczonymi wcześniej normami.

Wśród przekaźników można również napotkać ich szczególne rodzaje, takie jak przekaźnik bistabilny, łączący/rozłączający zestyki po doprowadzeniu napięcia cewki i pozostający w jednym z dwóch stanów również po wyłączeniu napięcia zasilającego. Powszechnie stosowane są również przekaźniki czasowe, realizujące szereg programów wybieranych za pomocą przełącznika, o regulowanym lub predefiniowanym czasie zadziałania.

Przedstawiony wyżej skrót wiedzy pozwoli na poprawne interpretowanie chociaż części danych zawartych w kartach katalogowych przekaźników. Każdy konstruktor powinien pamiętać, że niezawodność urządzenia w dużej mierzy zależy od niezawodności wszystkich części składowych, bo jeśli chociaż jedna z nich zawiedzie, to awarii ulega cały sterownik, maszyna, sprzęt AGD itp. Z tego punktu widzenia na niezawodność całości ogromny wpływ ma właściwy, poprawny dobór komponentów, zgodnie z ich funkcjonalnością i późniejszym przeznaczeniem. Dlatego jeśli karta katalogowa przekaźnika jest niedostępna lub niewiarygodna, to może lepiej nie używać przekaźnika, nawet pomimo jego niskiej ceny? Pomimo pozornych oszczędności, późniejsze koszty mogą być ogromne: naprawy gwarancyjne, utrata wizerunku, konieczność ponownego zakupu komponentów jako części zamiennych.

**Jacek Bogusz, EP**

REKLAMA

100% ELEKTRONIKI NA AVT.PL/PRENUMERATA

Prenumerujesz Elektronikę Praktyczną + Elektronikę dla Wszystkich?
Skorzystaj z promocji 1+1=3 i zamów bezpłatną prenumeratę Elektronika



eprasa.pl 4d9608b833

## Dylemat konstruktora

Specjalizacją naszego biura konstrukcyjnego są projekty z zakresu elektroniki użytkowej i automatyki domowej. W naszych rozwiązaniach stosujemy głównie przekaźnikowe stopnie wykonawcze, ponieważ przekłada się to na wysoką niezawodność naszych produktów. Ukończone zlecenia są finalizowane mała i średnioseryjną produkcją. Interesuje nas oferta przekaźników o wysokiej niezawodności, ale także dużej i bezproblemowej dostępności.

## Polecane rozwiązanie

Dobrym wyborem będzie polski producent przekaźników, firma Relpol. Specjalizuje się w produkcji przekaźników miniaturowych, przemysłowych, czasowych, instalacyjnych interfejsowych i programowalnych. Produkty te stosowane są powszechnie w automatyce, energoelektronice, elektronice przemysłowej i użytkowej, telekomunikacji oraz sprzęcie AGD. Oferta firmy zawiera wszystkie podstawowe typy przekaźników. Dodatkowo wiele z nich ma wersje specjalizowane np. o podwyższonym napięciu czy odporne na prądy udarowe. Produkty są stale udoskonalane. Nowością są wersje o obniżonym poborze mocy przez cewkę elektromagnesu. Jest to bardzo istotna cecha, ponieważ współczesne układy elektroniczne pobierają tak niewiele energii, że jeżeli w układzie znajduje się przekaźnik, to właśnie on decyduje o zapotrzebowaniu energetycznym całego układu.

## Więcej informacji

Relpol to producent znany na całym rynku europejskim z produkcji wysokiej jakości przekaźników. Firma działa w branży od 1958 roku, dzięki czemu miała okazję doprowadzić produkcję swoich akcesoriów do najwyższego poziomu. Przekaźniki Relpol to urządzenia wytrzymałe i innowacyjne pod względem technologicznym, co potwierdza wiele uznań i certyfikatów wystawionych przez renomowane instytucje badawcze, m.in. VDE, UL, CSA International. Dla przekaźników elektromagnetycznych potwierdzona została zgodność wyrobów z następującymi normami: EN 60255-1 oraz EN 61810-1 – VDE, BBJ-SEP, UL508 – Underwriters Laboratories, C22.2 – CSA International, GB14048.5 – China Quality Certification Centre.

**Publikacje:**
- www.elektronikab2b.pl – Relpol – przegląd, nowości
- IRE 2019 str. 218

**Kontakt:**
RELPOL S.A.
ul. 11 Listopada 37, 68-200 Żary
tel. 68 47 90 850
www.relpol.pl, sprzedaz@relpol.com.pl





eprasa.pl 4d9608b833

## Dylemat konstruktora

Projektuję i wykonuję sterowniki do bezdotykowych myjni samochodowych. Poszukuję przekaźników przeznaczonych do montażu na PCB, do obciążeń o niewielkiej mocy, ale charakteryzujących się wysoką niezawodnością. Warunkiem prawidłowej pracy sterownika jest niezawodna praca wszystkich sterowanych obwodów.

## Polecane rozwiązanie

Dobrym rozwiązaniem będzie zastosowanie przekaźników ze stykami z wymuszonym prowadzeniem styków. Przekaźniki tego typu były pierwszymi urządzeniami do bezpiecznego monitorowania urządzeń wykonawczych. Ich zastosowanie jest optymalne, kiedy maszyna albo instalacja musi zachować zwartą konstrukcję a jednocześnie musi osiągnąć wysoki stopień bezpieczeństwa poprzez wykrywanie awarii i błędów, np. zapieczenia styków. W ofercie firmy FINDER znajdują się przekaźniki serii 50.14 oraz 50.16 do bezpiecznego monitorowania funkcji maszyn i instalacji oparte na technologii przekaźnikowej ze stykami z wymuszonym prowadzeniem zgodnie z normą EN 61810-3 (dawniej EN 50205). Dostępne są modele o 4 lub 6 stykach, znamionowe obciążenie styków wynosi 8 A.

## Więcej informacji

Finder to najbogatsza oferta przekaźników przemysłowych, czasowych, nadzorczych oraz elektroinstalacyjnych. To również firma z długoletnią tradycją i doświadczeniami. Codziennie w czterech europejskich fabrykach produkowanych jest ponad 300 tys. przekaźników. Kontrola ich jakości prowadzona jest w czasie procesu produkcji oraz po jej zakończeniu, co zapewnia stałą wysoką jakość oferowanych wyrobów. Zakłady pracują zgodnie z normami ISO 9001 oraz ISO14001. Oferta firmy jest nieustannie poszerzana, unowocześniana i pełna nowatorskiech rozwiązań. Jest to odpowiedź na coraz większe wymagania wykonawców, którzy szukają jeszcze bardziej wydajnych i niezawodnych rozwiązań. Oficjalnym dystrybutorem produktów marki Finder w Polsce jest ASTAT.

**Publikacje:**
- www.elektronikab2b.pl – Finder – komponenty w automatyce
- IRE 2019 str. 175

**Kontakt:**
Finder Polska Sp. z o.o.
ul. Malwowa 126, 60-175 Poznań
tel. 61 865 94 07
findernet.com, finder.pl@findernet.com



eprasa.pl 4d9608b833

## Dylemat konstruktora

Wykonuję naprawy modułów elektronicznych i instalacji w maszynach mobilnych. Stosowane tam elementy są nietypowe i trudno osiągalne. Poszukuje producenta przekaźników z bogatą ofertą różnorodnych modeli. Szczególnie interesują mnie przekaźniki dedykowane do zastosowań w motoryzacji pracujące w obwodach napięcia stałego 12 V i 24 V.

## Polecane rozwiązanie

Producentem, który posiada bardzo bogatą ofertę przekaźników, jest Hongfa. Przekaźniki dostępne są w zauważalnie większej liczbie modeli o zróżnicowanej konfiguracji styków i w wielu wersjach napięciowych i prądowych. Są to w większości wersje specjalizowane, ukierunkowane do konkretnych zadań, jak przełączanie słabych sygnałów, praca w obwodach z napięciem stałym czy wersje odporne na chwilowe przeciążenia. Oferta zawiera osobny dział przekaźników dedykowanych do zastosowań w motoryzacji. Są tam modele polecane do konkretnych funkcji jak: przekaźniki do obwodów oświetleniowych, do wentylatorów, do silników elektrycznych, do głównych obwodów zasilających. Oprócz przekaźników klasycznych są także półprzewodnikowe oraz realizujące proste funkcje, np.: przekaźniki czasowe, sterujące wycieraczkami czy działające jak generatory.

## Więcej informacji

Xiamen Hongfa Electroacoustic to wywodzący się z Chin producent przekaźników. Powstała w 1984 roku firma co roku produkuje 1,5 mld sztuk przekaźników, które dystrybuuje do ponad 100 krajów i regionów. Wieloletnie doświadczenie w produkcji oraz konstruowaniu przekaźników zaowocowało wieloma specjalizowanymi produktami. Dostosowanie do konkretnych zastosowań przekłada się na wysoką niezawodność i wyjątkową żywotność wytwarzanych podzespołów. Polecanym krajowym dystrybutorem produktów Hongfa jest firma Micros.

**Publikacje:**

- www.elektronikab2b.pl – przekaźniki Hongfa, wersje, na które koniecznie trzeba zwrócić uwagę

**Kontakt:**

Micros sp.j. W. Kędra i J. Lic
ul. E. Godlewskiego 38
30-198 Kraków, tel. 12 636 95 66
micros.com.pl, biuro@micros.com.pl





eprasa.pl 4d9608b833

## Dylemat konstruktora

Specjalizacją naszej firmy są instalacje fotowoltaiczne. Wykonujemy instalacje do magazynowania i przetwarzania energii elektrycznej, a także produkujemy własne kontrolery systemów zasilania. Aby sprostać wysokim wymaganiom stawianym produktom tej branży, w naszych rozwiązaniach stosujemy głównie przekaźniki półprzewodnikowe. Interesuje nas oferta przekaźników SSR o wysokiej niezawodności, ale także bezproblemowej dostępności.

## Polecane rozwiązanie

Przekaźniki półprzewodnikowe mają wiele zalet. Brak mechanicznych części oznacza brak efektu sklejania i wypalania styków oraz wszystkich niekorzystnych zjawisk z tym związanych, a to przekłada się przede wszystkim na trwałość tych elementów. Dodatkowo technika półprzewodnikowa niemal całkowicie niweluje problem zakłóceń kumutacyjnych, ponieważ w większości przypadków przekaźniki przełączne są w „zerze" napięcia roboczego oraz ograniczają problemy dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej. Ponadto sterowanie wymaga wielokrotnie mniej energii niż w przypadku elementów elektro-magnetycznych. Firma Crydom specjalizuje się w produkcji przekaźników półprzewodnikowych. Posiada w ofercie wiele modeli dedykowanych do różnych zastosowań oraz cały zestaw akcesorów. Produkty Crydom to elementy wytrzymałe i innowacyjne pod względem technologicznym, co potwierdza wiele certyfikatów wystawionych przez renomowane instytucje badawcze, m.in. VDE, UL, CSA.

## Więcej informacji

Autoryzowanym dystrybutorem produktów marki Crydom jest firma Dacpol. W ofercie posiada przekaźniki SSR na napięcie przemienne (AC) i stałe (DC), jednofazowe i trójfazowe, montowane na szynie, przykręcane i montowane na PCB oraz modułowe regulatory fazowe marki Crydom. Oprócz działalności handlowej, firma zajmuje się także działalnością produkcyjną, usługową i doradczą. Reprezentuje ponad 160 czołowych producentów podzespołów elektronicznych.

DACPOL

**Kontakt:**
Dacpol Sp. z o.o.,
ul. Puławska 34, 05-500 Piaseczno
tel. 22 703 51 00
www.dacpol.eu, dacpol@dacpol.eu



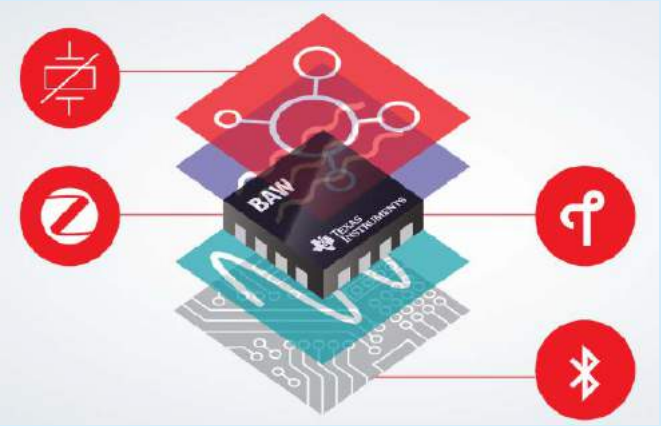
eprasa.pl 4d9603b833

# Systemy dla Internetu Rzeczy (28)

## Technologia Bulk Acoustic Wave (BAW)

FTP
WSZYSTKIE POPRZEDNIE ODCINKI KURSU SĄ DOSTĘPNE NA STRONIE WWW.MEDIA.AVT.PL

**Technologia BAW (typu MEMS) znalazła istotne zastosowanie w konstrukcji filtrów w.cz. do smartfonów. Jednak występuje problem z ich integracją ze strukturami układów scalonych. Teraz firma Texas Instruments opracowała innowacyjną technologię TI BAW z użyciem standardowych technologii wytwarzania krzemowych układów scalonych. Główną korzyścią jej użycia jest wyeliminowanie konieczności stosowania zewnętrznego kwarcu do generowania zegara procesora i układu radiowego. Ta przełomowa technologia będzie miała globalny wpływ na procesory i urządzenia, które potrzebują generatora zegara.**



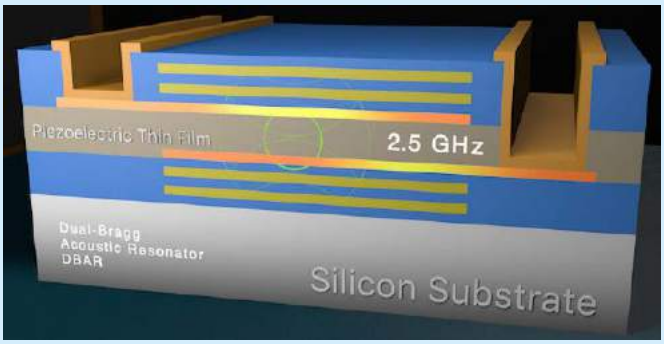

### Co to jest technologia Bulk Acoustic Wave (BAW)?

Technologia BAW istnieje już od jakiegoś czasu i zwykle jest używana w bardzo zaawansowanych, precyzyjnych systemach, takich jak radar, telekomunikacja, sprzęt sieciowy i aplikacje wojskowe. Nie rozpowszechniła się ze względu na stosunkowo wysoki koszt i spory rozmiar układów [2]. Obecnie technologia rezonatora BAW jest również wykorzystywana do filtrowania sygnałów w technologiach komunikacyjnych, takich jak smartfony.

### Jak działa technologia TI BAW?

Technologia TI BAW została opracowana przez firmę Texas Instruments. Jest ona podstawą działania zintegrowanych rezonatorów MEMS (microelectromechanical) typu BAW Dual-Bragg Acoustic Resonator.

Materiał piezoelektryczny (aluminum nitride thin film) umieszczony jest pomiędzy dwiema metalowymi elektrodami, służącymi jako lustra akustyczne (**rysunek 1**). Struktura (sandwiche), po podaniu napięcia, rezonuje z częstotliwością 2,5 GHz, podobnie jak kwarc. Typowa dobroć rezonatora wynosi 1200 dla tej częstotliwości [13]. Rezonansowe drgania mechaniczno-akustyczne są następnie przekształcane w stabilny, niskoszumny sygnał elektryczny o bardzo niskim jitterze.




**Rysunek 1. Schemat budowy rezonatora w technologii TI BAW, Texas Instruments [2]**

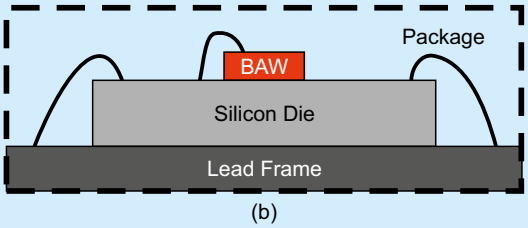
Struktura fizyczna rezonatora w technologii TI BAW jest znacznie mniejsza od kryształu kwarcu. Jej szerokość wynosi 100 mikronów, mniej niż średnica ludzkiego włosa [6]. Konfiguracja rezonatora może być wykonana na krzemowym chipie, co nie jest możliwe w przypadku kryształu kwarcu.

Schemat umieszczenia rezonatora TI BAW na strukturze scalonej został pokazany na **rysunku 2**. Jego małe rozmiary umożliwiają dodanie go do istniejącego układu scalonego (w postaci modułu SiP) bez konieczności powiększenia rozmiaru jego obudowy [14]. TI nie zamierza sprzedawać osobnych układów oscylatorów kwarcowych opartych na technologii TI BAW, ale raczej wykorzystuje rezonatory w układach scalonych rozszerzających istniejące linie produktów.

### Jakie są zalety technologii TI BAW?

Technologia BAW jako pierwsza została wykorzystana przez firmę Texas Instruments do generowania sygnału zegarowego. Zalety technologii TI BAW:

- Rezonatory są wykonywane w standardowym procesie półprzewodnikowym CMOS [1].
- Umożliwia generowanie ultraczystego sygnału zegarowego, co jest niezbędne do przesyłania danych z szybkością setek gigabitów na sekundę. Układ synchronizatora sieciowego z technologią TI BAW zapewnia lepszy jitter niż najlepsze obecnie urządzenie na rynku.
- Może być zintegrowana z dowolnym typem układów scalonych, które wymagają sygnału zegarowego. Może to znacznie zmniejszyć rozmiary, złożoność i koszt projektowanego układu.




**Rysunek 2. Rezonator TI BAW na strukturze scalonej [3]**

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl

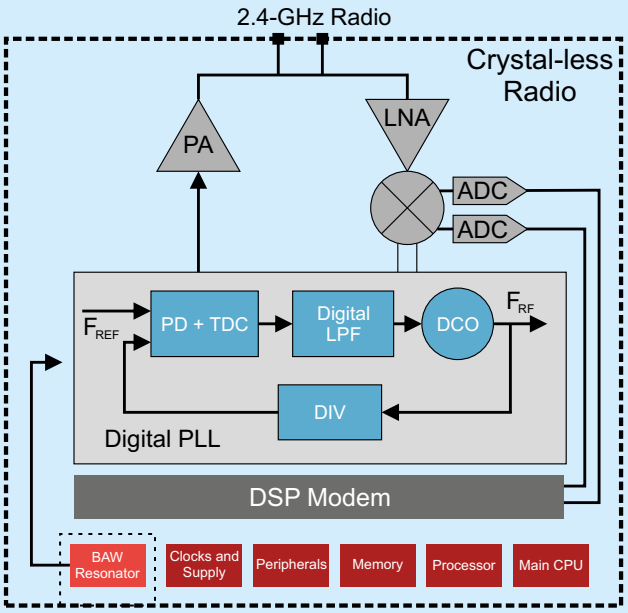


eprasa.pl 4d9608b833

- Rezonator oparty na TI BAW budzi się 100 razy szybciej niż zegar z zastosowaniem kwarcu. Wiele aplikacji Internetu Rzeczy działa aktywnie tylko przez bardzo krótki czas i przechodzi w uśpienie. Po wybudzeniu z trybu niskiego poboru mocy wymagane jest szybkie włączenie systemów zegarowych. Zapewnia to istotną korzyść energetyczną.
- Odporność rezonatora TI BAW na wstrząsy i wibracje rezonatora BAW jest wyższa niż dla kwarcu. Testy zgodne ze standardem MIL-STD-883.
- Aktywna kompensacja pozwala na uzyskanie stabilnej pracy w bardzo szerokim zakresie temperatur oraz napięć zasilania. Pozwala też na kompensację zmian starzeniowych.

## Procesor komunikacyjny SimpleLink CC2652RB

Układ scalony SimpleLink CC2652RB firmy Texas Instruments jest pierwszym procesorem, który nie wymaga kwarcu [9]. Układ CC2652RB ma własności i budowę taką samą jak układ CC2652R [S20]. Umożliwia on komunikację w pasmie 2,4 GHz z obsługą wielu protokołów: Bluetooth 5 Low Energy, IEEE 802.15.4g, 6LoWPAN, Thread, ZigBee, Wi-SUN oraz autorskiego protokołu EasyLink [5].




**Rysunek 3. Procesor komunikacyjny SimpleLink CC2652RB [7]**

Układ CC2652RB zawiera wysokiej jakości wewnętrzny układ ciągłego monitowania napięcia zasilania i temperatury. Zawiera dodatkowo wewnętrzny generator BAW wysokiej precyzji, co pozwala na rezygnację z zewnętrznego kwarcu 48 MHz (**rysunek 3**). Cyfrowy układ PLL dostarcza stabilnego sygnału zegarowego 48 MHz (HF). System sygnałów zegarowych układu został pokazany na **rysunku 4**. Pozwala on na wybór źródła systemowego sygnału zegarowego 48 MHz z generatora BAW lub z generatora z zewnętrznym kwarcem.

W układzie CC2652RB została zastosowana aktywna metoda kompensacji:

- zmian napięcia zasilania w zakresie od 1,8 V do 3,6 V
- zmian temperatury w zakresie od –40°C do 85°C

W trakcie testowania układu po produkcji tworzona jest tablica kompensacji układu. Rdzeń radiowy ARM Cortex-M0 (DSP Modem) przy każdym włączeniu rezonatora BAW lub zmianie parametrów PLL odczytuje dane kalibracyjne i wykonuje kompensację [9]. Nie obciąża to głównego rdzenia aplikacyjnego Cortex-M4F. Częstotliwość radiowa jest utrzymywana z dokładnością ±40 ppm, co spełnia wymagania obsługiwanych protokołów komunikacyjnych. Gwarantowane jest zachowanie dokładności w 10-etnim teście wygrzewania układu w temperaturze 30°C. Także kalibrowane są inne parametry czasowe, jak odstępy czasu protokołu komunikacyjnego oraz zegar RTC. Aktywne kalibrowanie jest zintegrowane ze stosem komunikacyjnym BLE. Planowane jest zintegrowanie nowej technologii ze stosami protokołów Thread, ZigBee oraz transmisji wieloprotokołowej.

Czas budzenia układu z zastosowaniem wewnętrznego generatora BAW wynosi 8 µs w porównaniu do 250 µs przy zastosowaniu zewnętrznego kwarcu. Użycie wewnętrznego generatora BAW w układzie CC2652RB spowodowało nieznaczny wzrost poboru mocy rzędu 500 µA. Jednak oprogramowanie potrafi inteligentnie włączać

**Tabela 1. Wzrost mocy dla transmisji BLE [7]**

| Praca | CC2652RB | CC2652R | Wzrost mocy |
|---|---|---|---|
| Czas transmisji: 328 µs<br>Odstęp transmisji: 7,5 ms | 771 µA | 727 µA | 7% |
| Czas transmisji: 328 µs<br>Odstęp transmisji: 4 s | 2,44 µA | 2,36 µA | 4,4% |

AKTUALIZACJE

### Systemy dla Internetu Rzeczy (25): EP4/2019

**„Dokładna lokalizacja w pomieszczeniach w standardzie Bluetooth v5.1"**

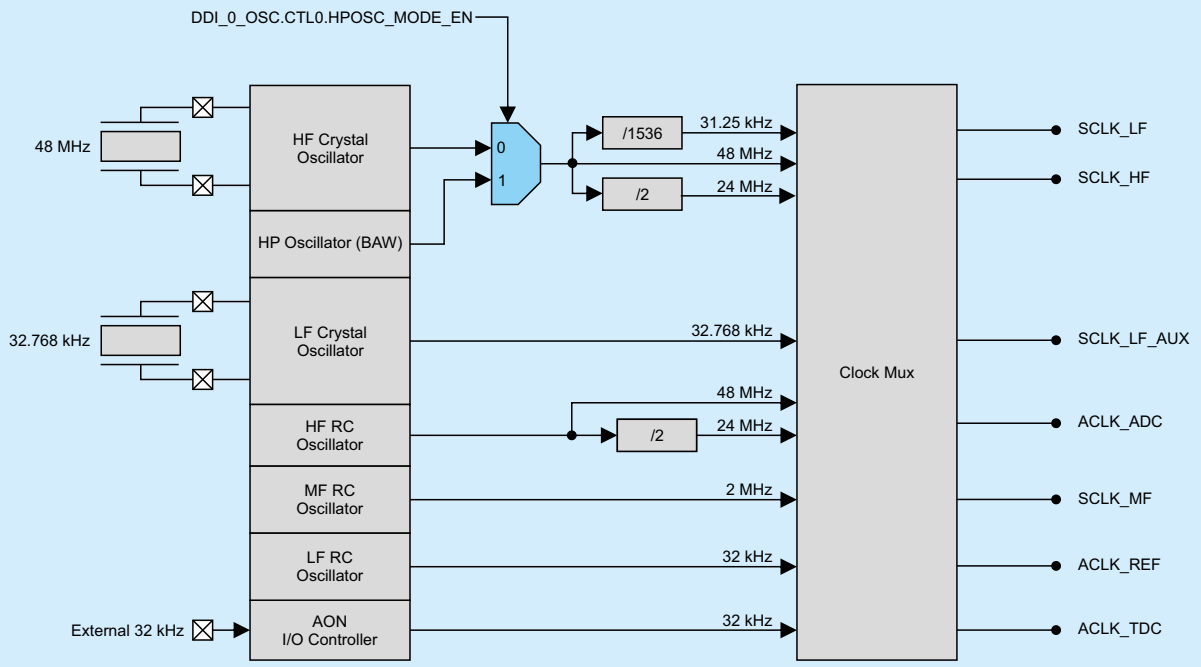
Potwierdziło się moje największe odkrycie podczas poszukiwań działających rozwiązań lokalizacji, czyli fińska firma Quuppa. Firma Nordic Semiconductor ogłosiła wzmocnienie partnerstwa projektowego z firmą Quuppa, zajmującą się rozwiązaniami do lokalizacji w czasie rzeczywistym (RTLS). Zwiększona współpraca opiera się na opracowaniu przez Quuppę inteligentnego systemu lokalizacji przy pracy na układach scalonych (SoC) serii bRF52, w tym z najnowszym układem nRF52811. Quuppa's Intelligent Locating System to sprawdzona platforma dla nowatorskich usług i aplikacji opartych na lokalizacji. Firma współpracuje z Nordic od 2016 r. Ostatnia wersja oprogramowania układowego, która działa na nRF52832, korzysta z protokołu Bluetooth LE do przesyłania pakietów AoA, które z kolei określają pozycję w przestrzeni transceivera Bluetooth LE. Wprowadzenie technologii Bluetooth 5.1 Direction Finding usprawnia tę technikę, zapewniając uproszczony dostęp do danych IQ protokołu Bluetooth LE (kluczowego elementu techniki AoA) dla modułu pozycjonującego Quuppa. Ta technologia została wykorzystana przez głównych producentów znaczników (beacon) Bluetooth i producentów tagów, w tym przez Kontakt.io, BlueUp, Tatwah i ELA Innovation.
Firma Nordic szybko wprowadziła układ nRF52811 SoC kompatybilny z Bluetooth5.1. Zawiera on procesor Arm Cortex-M4 (64 MHz) oraz układy do wspomagania pozycjonowania. Układ jest dostarczany w najmniejszej obudowie o rozmiarach 2,48×2,46 mm. Dotychczasowe wieloletnie doświadczenie firmy Quuppa we współpracy z architekturą nRF52 z serii Nordic pozwoli firmie wykorzystać wsparcie Nordic 5.1 Direction Finding, aby znacząco rozszerzyć ekosystem dostawców rozwiązań RTLS i aplikacji opartych na tej technologii. Dalsza ekspansja będzie wspierana przez współdziałanie Bluetooth 5.1 Direction Finding między produktami różnych producentów i smartfonami nowej generacji. Kluczowe sektory zastosowań obejmują śledzenie zasobów i wewnętrzne systemy pozycjonowania we wnętrzach (IPS). Układ nRF52811 SoC doskonale pasuje do ekosystemu Quuppa, łącząc bardzo niskie zużycie energii z wysoce zaawansowanym radiem oraz architekturę, co doskonale uzupełnia oprogramowanie sprzętowe Quuppy.
Wprowadzenie technologii Bluetooth 5.1 szybko rozszerzy rynek usług lokalizacyjnych znacznie wykraczających poza nadajniki i tagi, które widzimy dzisiaj.

Nordic Semiconductor and Quuppa strengthen design partnership to expand Bluetooth location services ecosystem, 23 May 2019, Oslo, Nordic Semiconductor
***http://bit.ly/31F9shn***

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833




**Rysunek 4. Sygnały zegarowe układu CC2652RB [9]**

generator BAW na czas wykonywania transmisji i wyłączać poza tym czasem. W **tabeli 1** jest pokazany wpływ odstępu czasu pracy na wzrost poboru mocy. Dla typowych warunków pracy Internetu Rzeczy wzrost jest nieznaczny.

Dla aplikacji, które wymagają sygnału niskiej częstotliwości (LF), można ją uzyskać przez zastosowanie wewnętrznego oscylatora LF, poprzez dzielnik z sygnału HF lub z użyciem zewnętrznego kwarcu typu zegarkowego [8]. Protokół BLE wymaga stabilności zegara RTC rzędu ±500 ppm. Użycie generatora BAW daje stabilności zegara RTC rzędu ±40 ppm.

Układ CC2652RB ma taką samą obudowę QFN i rozmieszczenie sygnałów jak układ CC2652R. Dlatego może zostać zastosowany w dotychczasowych projektach bez zmian. Jednak usunięcie zewnętrznych kwarców daje spore oszczędności powierzchni rzędu 12% (**rysunek 5**) oraz zmniejszenie liczby elementów. Dodatkowo łatwiej jest poprowadzić ścieżki wokół układu scalonego.

Układ CC2652RB jest w fazie przedprodukcyjnej i dostępny za 3,55 USD [10]. Dostępny jest też zestaw startowy *SimpleLink crystal-less BAW CC2652RB multiprotocol 2.4GHz wireless MCU LaunchPad development kit (LP-CC2652RB)* za 39,99 USD [11]. Do programowania układu udostępniony jest darmowy pakiet programowy SimpleLink CC2652RB SDK v.3.10. Obsługuje on stos transmisji BLE 5 dla układu CC2652RB oraz zestawu LP-CC2652RB.

**Wybrane pozostałe artykuły kursu „Systemy dla Internetu Rzeczy”**

[S20] Sieć z protokołem Thread, EP 5/2019

**Literatura**


[1] Are BAW Resonators Replacing Crystals in High-Frequency Equipment? Lou Frenzel, Electronic Design, Apr 30, 2019, ***http://bit.ly/2wXveyO***

[2] The End of the Crystal? Baker Lawley, All About Circuits, February 28, 2019, ***http://bit.ly/2XiN5yN***

[3] Going crystal-less is easy with the world's first crystal-less, wireless SimpleLink MCU, Erling, Texas Instruments, Mar 29, 2019, ***http://bit.ly/2Fk4E7v***

[4] Introducing TI bulk acoustic wave (BAW) resonator technology, Texas Instruments, ***www.ti.com/baw***

[5] Top 5 things to know about TI BAW resonator technology, Priya Thanigai, Feb 27, 2019, ***http://bit.ly/2IV1hVL***

[6] Tiny technology, global impact: TI BAW resonator breakthrough creates new electronic heartbeat, Ahmad Bahai, Feb 27, 2019, ***http://bit.ly/2WO94cT***

[7] SimpleLink Crystal-Less Wireless MCU based on TI BAW technology – at the heart of IoT evolution, SWAY027, James N. Murdock, Habeeb Ur Rahman Mohammed. Priya Thanigai, 18 Feb 2019, Texas Instruments, SWAY27, ***http://bit.ly/2KXRz7r***

[8] Getting started with CC2652RB for Crystal-less BAW operation, Application Report, 20 Feb 2019, Texas Instruments, ***http://bit.ly/2x4aaXa***

[9] CC2652RB SimpleLink crystal-less BAW multiprotocol 2.4-GHz wireless MCU, Datasheet (Rev. A), SWRS232A, 13 Mar 2019, ***http://bit.ly/2XgtGid***

[10] CC2652RB, SimpleLink crystal-less BAW wireless MCU, Product Page, ***http://bit.ly/2KsxRBo***

[11] SimpleLink crystal-less BAW CC2652RB multiprotocol 2.4GHz wireless MCU LaunchPad development kit, LP-CC2652RB, Product Page, ***http://bit.ly/2IUpYkU***

[12] LMK05318, Ultra-low jitter single channel network synchronizer clock with BAW, Product Page, ***http://bit.ly/2ZzvW1d***

[13] TI BAW technology enables ultra-low jitter clocks for highspeed networks, White Paper, SNOAA34, Texas Instruments, February 2019, ***http://bit.ly/2KY8vuM***

[14] How to use the LMK05318 as a jitter cleaner, Madhu Balasubramanian, Application Report, SNAA326, Texas Instruments, January 2019, ***http://bit.ly/2IVdvNN***

[15] 2.9 Connect: TI bulk acoustic wave (BAW) resonator technology, Video 5:54, Texas Instruments, February 20, 2019, ***http://bit.ly/2XT0n1X***

[16] TI's Bulk Acoustic Wave Clocking Technology, Video 3:02, Date: February 25, 2019, ***http://bit.ly/2WRxB5o***

[17] 3.14 Connect: BAW (crystal-less) out-of-box demo, Video 5:50, April 26, 2019, ***http://bit.ly/2FizX2F***

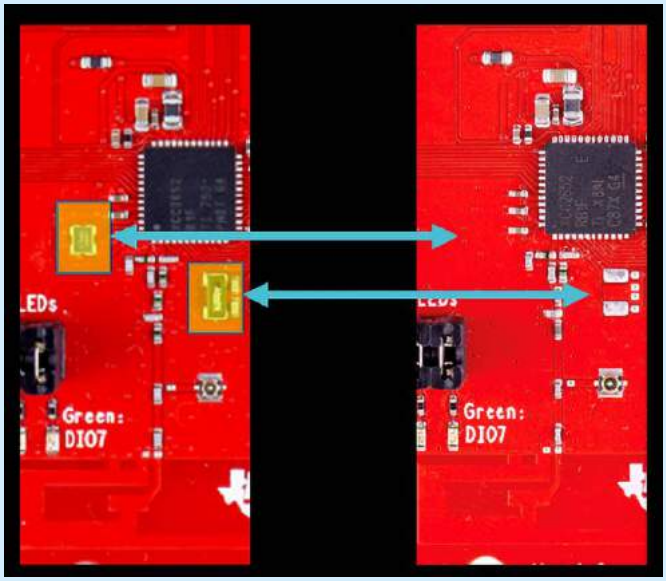
[18] 3.16 Connect: BAW demo featuring Bluetooth 5, Video 4:46, May 21, 2019, ***http://bit.ly/2WO9MH5***

[19] Bluetooth Low Energy Point of Sale Using Ti CC2652rb Simplelink Crystal-Less Baw Wireless MCU, Markel T. Robregado, MARCH 21, 2019, ***http://bit.ly/2XVlnFx***


Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie **www.media.avt.pl**



eprasa.pl 4d9608b833




**Rysunek 5. Zmniejszenie rozmiaru płytki drukowanej [3]**

## Synchronizator zegara LMK05318

Układ LMK05318 firmy Texas Instruments jest pierwszym przemysłowym synchronizatorem sygnału zegarowego z zastosowaniem rezonatora BAW w postaci niskoszumnego Voltage Controlled BAW Oscillator (VCBO). Układ może pracować jako generator sygnału zegarowego, synchronizator sygnału zegarowego oraz „jiiter cleaner". Układ jest zamknięty w standardowej obudowie QFN48 o rozmiarach 7×7 mm. Synchronizator zawiera analogowy PLL, który razem z nowatorskim opracowaniem rezonatora BAW daje jitter 50 fs dla 312,5 MHz. Spełnia on normy jitteru i szumu ITU-T G.8262 wymagane przez planowane sieci 400 Gb/s. Układ nie potrzebuje stabilnych, lecz bardzo kosztownych oscylatorów TCXO lub OCXO. Nadaje się do routerów i przełączników sieci komunikacyjnej wymaganych do obsługi sieci 5G.

Układ LMK05318 jest już w fazie produkcyjnej i dostępny za 11,44 USD [12]. Dostępny jest też moduł rozwojowy *Network synchronizer clock evaluation module (LMK05318EVM)* za 399 USD.

## Zasoby sieciowe

Podstawowe informacje o technologii TI BAW dostarcza strona firmowa „Introducing TI bulk acoustic wave (BAW) resonator technology" [4]. Tam też znajdują się odnośniki do firmowego bloga, not aplikacyjnych oraz innych dokumentów. Dostępnych jest także kilka firmowych prezentacji wideo. W prezentacji „TI's Bulk Acoustic Wave Clocking Technology" omówione są podstawy technologii TI BAW [16]. W prezentacji „TI bulk acoustic wave (BAW) resonator technology" pokazane jest zastosowanie technologii BAW w układzie CC2652RB [15]. W prezentacji „Connect: BAW (crystal-less) out-of-box demo" pokazana jest praca z zestawem startowym LP-CC2652RB [17]. Za to w prezentacji „Connect: BAW demo featuring Bluetooth 5" jest pokazana ciekawostka – malutki moduł bez baterii z układem CC2652RB [18].

Jest również firmowa lista dyskusyjna e2e obsługiwana przez pracowników Texas Instruments. Tam można znaleźć odpowiedzi na ciekawe pytania techniczne oraz informacje o stanie i dalszym rozwoju produktów. Na przykład: Jaka jest odporność na czyszczenie ultradźwiękowe? Chyba jest (odpowiedź jest wymijająca).

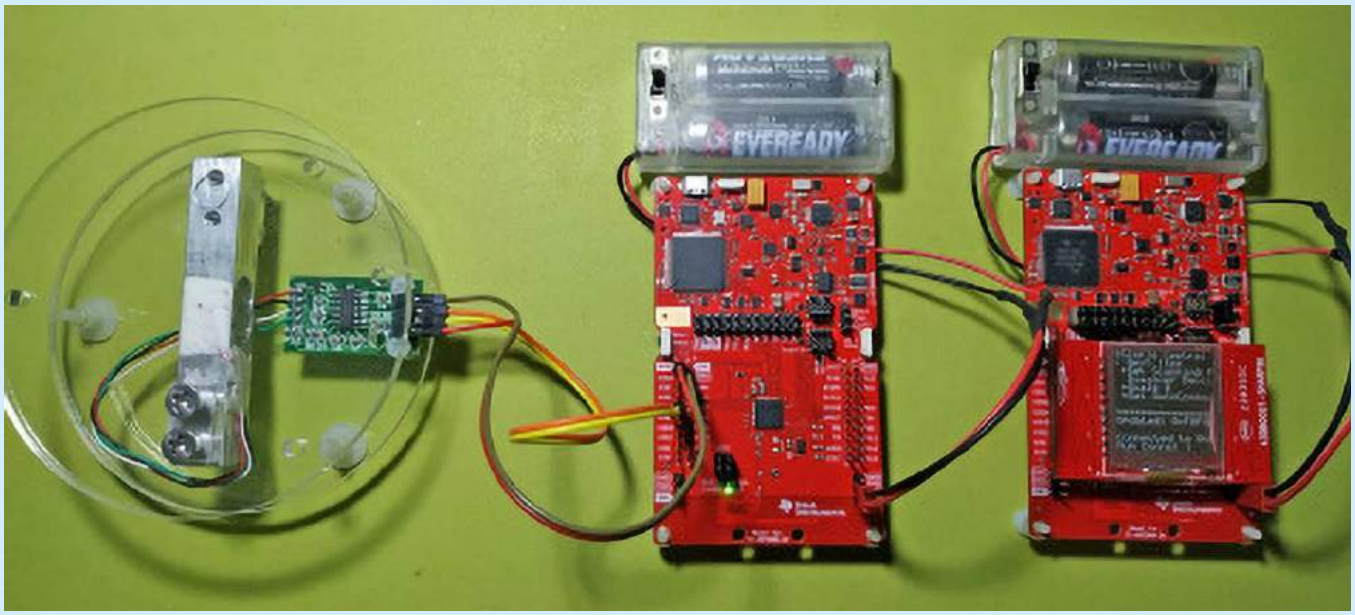
### Systemy dla Internetu Rzeczy (26): EP5/2019

**„Układy scalone z obsługą protokołu Thread"**

AKTUALIZACJE

W poprzednim odcinku serii przewidywałem: „Obecnie nie ma oferowanych układów scalonych SoC z nowym rdzeniem ARM Cortex-M3x z technologią Arm TrustZone oraz Arm CryptoCell. Pojawienie się ich wydaje się tylko kwestią czasu".
I szybko się to sprawdziło. Pojawiła się nowa seria znanych układów rodziny Mighty Gecko firmy Silicon Laboratories. W jej ramach oferowane są układy EFR32BG21 Mighty Gecko Series 2 z obsługą protokołu BLE 5 oraz EFR32MG21 z obsługą ZigBee i Thread. Układy mają obudowę QFN32 o rozmiarach 4×4 mm. Redzeniem podstawowym jest Arm Cortex-M33 (80 MHz) z technologią TrustZone. Do programowania układów stosowane jest to samo środowisko programowe i sprzętowe jak dla układów EFR32 Wireless Gecko Series 1.
Układ EFR32BG21A010F1024IM32-BR jest dostępny za cenę 6,71 USD. Podobnie, układ EFR32MG21A010F1024IM32-BR jest dostępny za cenę 8,72 USD. Zestaw startowy dla obu układów *EFR32xG21 Wireless Gecko Starter Kit (SLWSTK6006A)* jest dostępny za 459,84 USD.

Wireless Gecko Series 2, Silicon Laboratories
***http://bit.ly/2MUKwPs***




**Rysunek 6. Projekt wagi elektronicznej z zestawem startowym LP-CC2652RB [19]**

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl

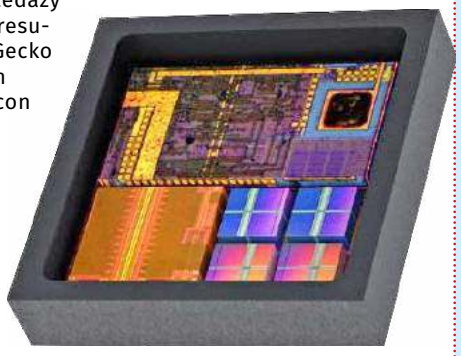


eprasa.pl 4d9608b833

## Systemy dla Internetu Rzeczy (27): EP6/2019

**„Wgląd w układy SoC (System on Chip), moduły SiP (System in Package) oraz elastyczne układy SoP (Silicon-on-Polymer)"**

AKTUALIZACJE



W ostatnim odcinku serii były pokazane moduły SiP przeznaczone dla Internetu Rzeczy. A już pojawił się w sprzedaży nowy bardzo interesujący moduł Blue Gecko BGM13S Bluetooth Module firmy Silicon Semiconductor w obudowie 6,5×6,5×1,4 mm. Integruje on układ EFR32BG13 Blue Gecko SoC z rdzeniem Arm Cortex-M4. Układ ma unikaną własność „Wake on Radio". Moduł obsługuje protokół BLE 5.0, Bluetooth Mesh oraz Bluetooth 5.1 Angle of Arrival (AoA). Moduł jest oferowany z wbudowaną anteną chipową lub wyjściem sygnałowym. Obsługa nowego protokołu AoA umożliwia lokalizowanie w pomieszczeniach z dokładnością do 1 metra. Moduł BGM13S22F512GA-V2 jest dostępny za cenę 8,76 USD. Zestaw startowy dla tego modułu *Bluetooth Kit for EFR32 Blue Gecko Modules (SLWSTK6101C)* jest dostępny za cenę 99 USD.

Blue Gecko BGM13S Bluetooth Module – SiP, Product Page, Silicon Laboratories, Silicon Laboratories
***http://bit.ly/2EHvQNp***

Już teraz pojawił się w sieci pierwszy projekt z wykorzystaniem układu CC2652RB „Bluetooth Low Energy Point of Sale Using Ti CC2652RB Simplelink Crystal-Less Baw Wireless MCU" [19]. W projekcie został zastosowany zestaw czujnika mostkowego wagi elektronicznej ze wzmacniaczem HX711 (**rysunek 6** – po lewej). Jest on dołączony do zestawu startowego MSP430FR5969 Launchpad (rysunek 6 – w środku). Program obsługi wzmacniacza przeznaczony dla Arduino jest uruchamiany w środowisku Energia (darmowe środowisko firmy Texas Instruments). Generuje on kod wynikowy dla zestawu MSP430FR5969 Launchpad. Ostatnim elementem jest zestaw startowy LP-CC2652RB uzupełniony o płytkę rozszerzeń Sharp96 LCD BoosterPack z ekranem LCD (**rysunek 6** – po prawej). Kod dla procesora CC2652RB (aplikacja + stos) jest dostępny do pobrania ze strony projektu. Na stronie projektu jest też zamieszczona prezentacja wideo.

## Podsumowanie

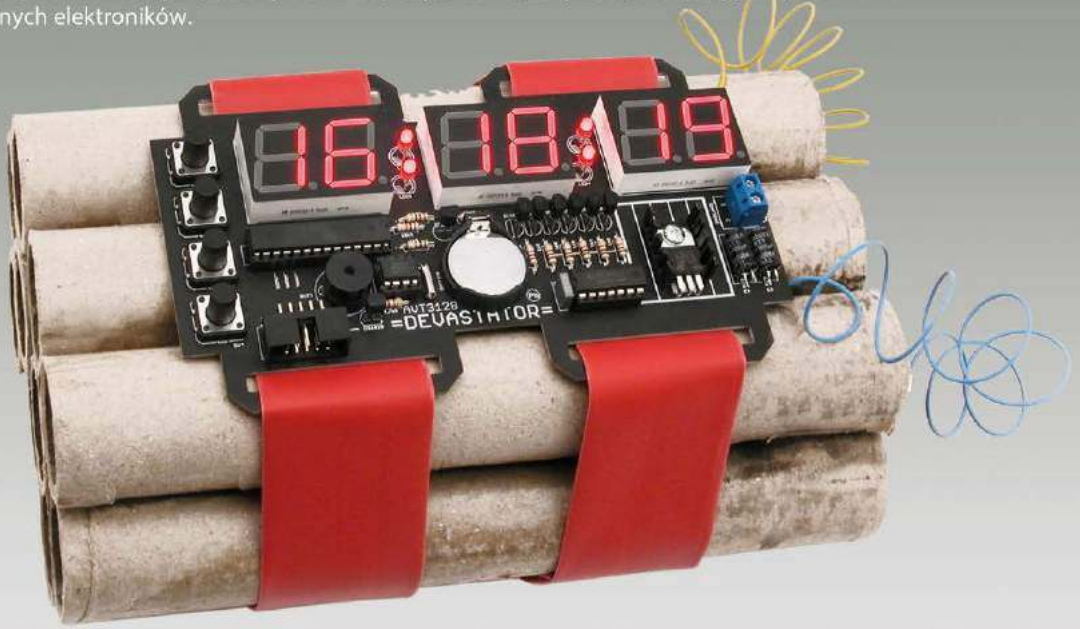
Czy koniec kwarców jest blisko? Prawdopodobnie nie. Jednak dzięki dostępności nowych zintegrowanych układów scalonych z technologią BAW kwarce zostaną zastąpione w wielu układach zegarowych i synchronizacyjnych. Zintegrowanie elementu taktującego wewnątrz układu scalonego da trochę oszczędności miejsca, ale za cenę zmniejszenia elastyczności projektu. Wydaje się, że nowa technologia rezonatora TI BAW utoruje drogę następnej generacji aplikacji przemysłowych i telekomunikacyjnych, zmieniając podejście do projektów systemów.

**Henryk A. Kowalski**
**Instytut Informatyki**
**Politechnika Warszawska**

REKLAMA

AVT 3128 DEVASTATOR, czyli bombowy zegarek

Estetyczny, praktyczny, efektowny, niezwykle pomysłowy zegar bomba, który zawsze wywołuje efekt WOW wśród rodziny i znajomych. Ponadto DEVASTATOR to pierwszy naprawdę uniwersalny projekt DIY. Jest odbierany równie entuzjastycznie przez osoby zupełnie niezwiązane z techniką, jaki przez doświadczonych elektroników.




AVT sklep
sklep.avt.pl
AVT-Korporacja Sp. z o.o. 03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Dział Handlowy tel.: 222 578 450 e-mail: handlowy@avt.pl

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833

# AudioDSP zestaw z procesorem Sigma DSP ADAU1701 (5)

## Obróbka sygnału cyfrowego

FTP Wszystkie poprzednie odcinki kursu są dostępne na stronie www.media.avt.pl

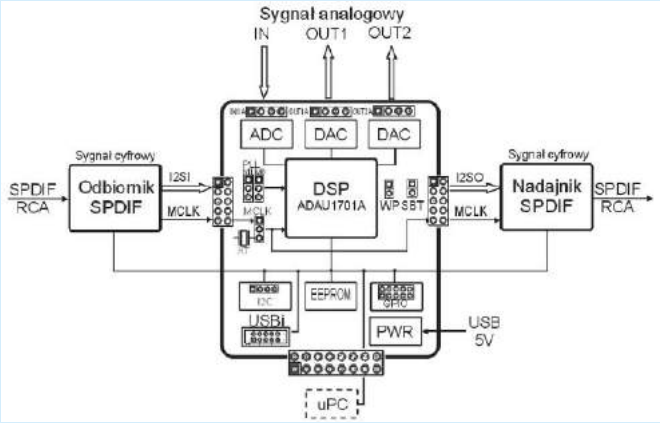
**W piątej części kursu przedstawione zostaną projekty wykorzystujące AudioDSP do obróbki sygnału ze źródeł cyfrowych. Do przeprowadzenia testów, oprócz zapoznania się z poprzednimi odcinkami kursu konieczne będzie przygotowanie kompletu elementów zestawu AudioDSP tj.: płytki bazowej AudioDSP, płytek interfejsu cyfrowego audio ADAU1701A_SPDIF, interfejsu użytkownika ADAU1701A_GPIO, programatora USBi, źródła sygnału cyfrowego z wyjściem SPDIF RCA, przetwornika DAC z wejściem SPDIF RCA, wzmacniacza z głośnikami oraz okablowania jack stereo 3,5 mm/RCA SPDIF. Przydatne będą też cyfrowe minimoduły audio i kabel żeński 4 pin 1×1 2,54 do połączenia minimodułów. Warto zapoznać się z dokumentacją WM8804, ułatwi to samodzielną konfigurację interfejsu SPDIF.**

Na wstępie piątej części kursu, warto przypomnieć pełną konfigurację sprzętową zestawu AudioDSP, jaka będzie wykorzystywana w przykładowych aplikacjach – **rysunek 1**.

Procesor DSP ADAU1701, wykorzystany w zestawie AudioDSP oprócz wbudowanych przetworników ADC/DAC, posiada wbudowane interfejsy szeregowe audio, jeden ośmiokanałowy (4 kanały stereo) interfejs odbiorczy i jeden ośmiokanałowy (także 4 kanały stereo) interfejs nadawczy. Oba mogą pracować w trybie multipleksowanym czasowo TDM (ośmiokanałowym). Interfejsy szeregowe, służą do podłączenia zewnętrznych układów wykorzystujących standardową magistralę trzyprzewodową audio zawierającą linię danych SDx, linię zegara bitów BLCK i synchronizacji kanałów LRCK. Interfejs jest wykorzystany, gdy wbudowane zasoby AD/DAC nie wystarczają w aplikacji, np.: podczas realizacji układów wielokanałowych 5.1/7.1 lub gdy DSP nie posiada potrzebnych bloków funkcjonalnych, jak np.: odbiornik/nadajnik SPDIF, odbiornik Bluetooth Audio, interfejs USB, konwerter częstotliwości próbkowania. Odpowiednie wyprowadzenia portów szeregowych współdzielone są z funkcjami GPIO zgodnie z **tabelą 1**. Sygnały interfejsów cyfrowych muszą być synchroniczne z taktowaniem DSP.

Szeregowy port wejściowy zawsze pracuje w trybie slave, tj. sygnały INPUT_BCLK, INPUT_LRCK muszą być generowane przez współpracujące z DSP urządzenie (przetwornik ADC, odbiornik SPDIF itp). Wyprowadzenia INPUT_BCLK, INPUT_LRCK są wejściami i nie ma możliwości zmiany ich funkcji i trybu pracy. Sygnał danych musi być doprowadzony do jednego z wyprowadzeń SDATA_IN0..3. Elastycznej konfiguracji pozostawiono tryby w jaki sposób przesyłane są dane wejściowe, co poszerza zakres współpracujących układów. Podczas konfiguracji procesora mamy możliwość wyboru trybu:

- I²S (Inter IC Sound), standardowy interfejs audio zgodny z specyfikacją magistrali Philipsa (**rysunek 2**), pracuje w nim większość przetworników ADC/DAC (AD1955, AD1852) interfejsów SPDIF (WM8804, CS8416), USB (Amanero, XMOS) oraz




**Rysunek 1. Pełna konfiguracja sprzętowa AudioDSP.**

**Tabela 1. Zestawienie funkcjonalności GPIO**

| Tryb GPIO | | | Złącze I2SI | | Złącze I2SO | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| GPIO | Serial (I²S,LJ,RJ) | TDM | PIN | Funkcja | PIN | Funkcja |
| MP0 | SDATA_IN0 | TDM_IN | | | | |
| MP1 | SDATA_IN1 | | 8 | SDI | | |
| MP2 | SDATA_IN2 | | | | | |
| MP3 | SDATA_IN3 | | | | | |
| MP4 | INPUT_LRCLK slave | | 6 | LRCKI | | |
| MP5 | INPUT_BCLK slave | | 5 | BCLKI | | |
| MP6 | SDATA_OUT0 | TDM_OUT | | | 7 | SDO |
| MP7 | SDATA_OUT1 | | | | | |
| MP8 | SDATA_OUT2 | | | | | |
| MP9 | SDATA_OUT3 | | | | | |
| MP10 | OUT-PUT_LRCLK master/slave | | | | 5 | LRCKO |
| MP11 | OUTPUT_BCLK master/slave | | | | 6 | BCLKO |

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833

konwerterów częstotliwości próbkowania (AD1896, CS8421),
- LJ (Left Justified), sygnały danych wyrównane są do lewej strony ramki audio (CS4345, CS5344),
- RJ (Right Justified), sygnały danych wyrównane są do prawej strony ramki audio (CS4348),

Tryby I²S, LJ, akceptują ramki z 16/18/20/24 bitami, powyżej 24 bitów sygnał zostanie ograniczony do 24 bitów. Tryb RJ wymaga pełnej ramki 64 bitowej i określenia rozdzielczości przy konfiguracji DSP. Ja preferuję w projektach tryb I²S, jako standardowy dla połączeń cyfrowych audio. Dodatkowo przy konfiguracji można określić aktywny stan sygnału LRCK (szybka zamiana kanałów L/R) i aktywne zbocze sygnału BCLK.

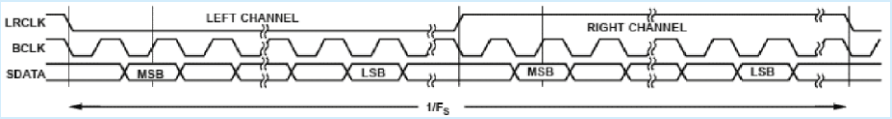
- TDM, tryb multipleksowania czasowego, stosowany często, gdy konieczne jest ograniczenie ilości zajmowanych przez interfejs cyfrowy wyprowadzeń GPIO. W trybie tym, wszystkie osiem kanałów przesyłane jest jedną linią danych, (sygnały zegarowe BCLK, LRCK pozostają bez zmian) każdy w osobnym slocie czasowym o długości 32×BCLK, którego położenie w ramce jest ściśle określone (**rysunek 5**). Dane w trybie TDM mogą być synchronizowane poziomem sygnału LRCK lub impulsem. Pinem GPIO obsługującym tryb TDM jest SDATA_IN0 (MP0).

Tryb TDM wykorzystywany jest przy współpracy z wielokanałowymi przetwornikami ADC/DAC (ADAU1966, ADAU1979) stosowanymi w systemach 5.1, 7.1, studyjnych oraz Car Audio. Oprócz zmniejszenia liczby zajmowanych GPIO, tryb ułatwia zaprojektowanie płytki z mniejszą liczbą połączeń sygnałowych i łatwiejsze spełnienie wymogów EMC/EMI, zawsze to 3 zamiast 6 linii promieniujących zakłócenia. W aplikacjach w których istotny jest koszt, TDM zwalnia dodatkowo piny GPIO co może być istotną zachętą do jego stosowania. Sygnał TDM musi być doprowadzony do MP0 (SDATAIN0) i nie ma możliwości jego przemapowania.

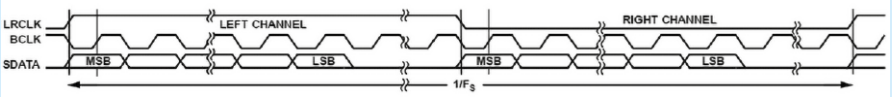
Szeregowy port wyjściowy pracuje zarówno w trybie slave jak i master tj. sygnały OUTPUT_BCLK, OUTPUT_LRCK mogą być generowane także przez DSP. Urządzenie (przetwornik ADC, odbiornik SPDIF itp.) może pracować w trybie slave. Jedynym odstępstwem jest TDM 192 kHz, gdzie dopuszczalny w DSP jest tylko tryb slave. Wyprowadzenia OUTPUT_BCLK, OUTPUT_LRCK są konfigurowane jako wejścia (slave), wyjścia (master). Sygnał wyjściowy dostępny jest na wyprowadzeniach SDATA_OUT0..3, a w trybie TDM na SDATA_OUT0 (MP6). Podobnie jak w porcie wejściowym, elastycznej konfiguracji pozostawiono tryby w jaki sposób przesyłane są dane wyjściowe. W konfiguracji procesora mamy możliwość wyboru trybu I²S, LJ, RJ, TDM (synchronizacja poziomem lub impulsem).

Ograniczenie trybu pracy portu wejściowego do slave nieco komplikuje wykorzystanie tańszych przetworników ADC lub współpracę z mikrofonami I²S lub interfejsami PDM. Można oczywiście zbudować na prostej logice układ taktujący sygnały INPUT_LRCK/BCLK synchroniczny z zegarem, ale można też do generacji sygnałów użyć szeregowego portu wyjściowego. W tym przypadku tracimy dostęp do kolejnych GPIO, ale nie ma potrzeby wykorzystywania układów zewnętrznych. Łącząc wyprowadzenia OUTPUT_LRCK z INPUT_LRCK oraz OUTPUT_BLCK z INPUT_BCLK, zapewniamy synchroniczne z MCLK taktowanie portu wejściowego. Jest to najprostsza metoda podłączenia mikrofonu I²S lub konwertera PDM/I²S. Obie metody omówione zostaną w następnej części kursu.

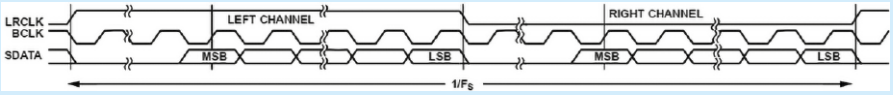
Zestaw AudioDSP (**rysunek 6**), posiada dedykowane portom szeregowym złącza I2SI (wejście SDATA_INPUT1, SDI-MP1), I2SO (wyjście, SDATA_OUTPUT0, SDO-MP6). Na złącza wyprowadzone



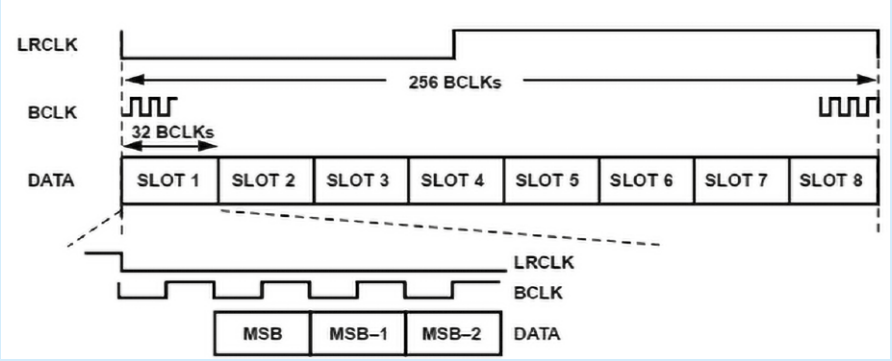

**Rysunek 2. Tryb I²S (za notą ADAU1701 Analog Devices).**



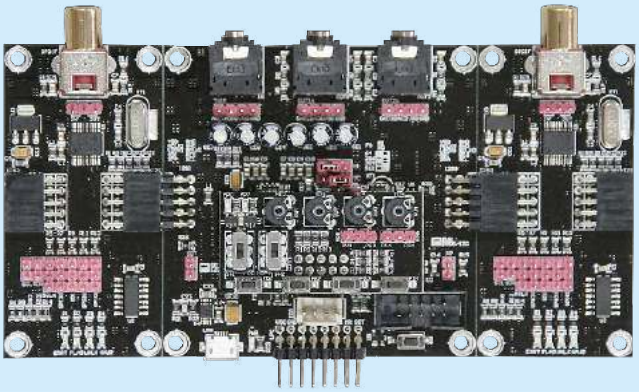

**Rysunek 3. Tryb LJ (za notą ADAU1701 Analog Devices).**



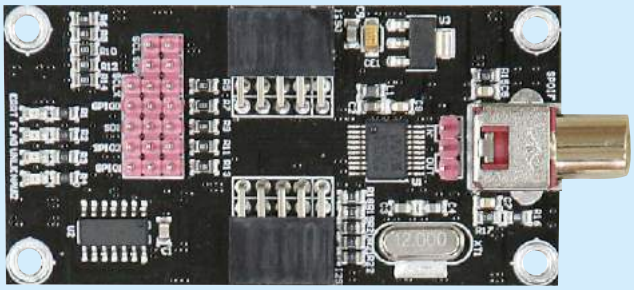

**Rysunek 4. Tryb RJ (za notą ADAU1701 Analog Devices).**




**Rysunek 5. Tryb TDM (za notą ADAU1701 Analog Devices).**



**Rysunek 6. AudioDSP z płytkami interfejsów SPDIF i GPIO.**



**Rysunek 7. Płytka ADAU1701A_SPDIF.**

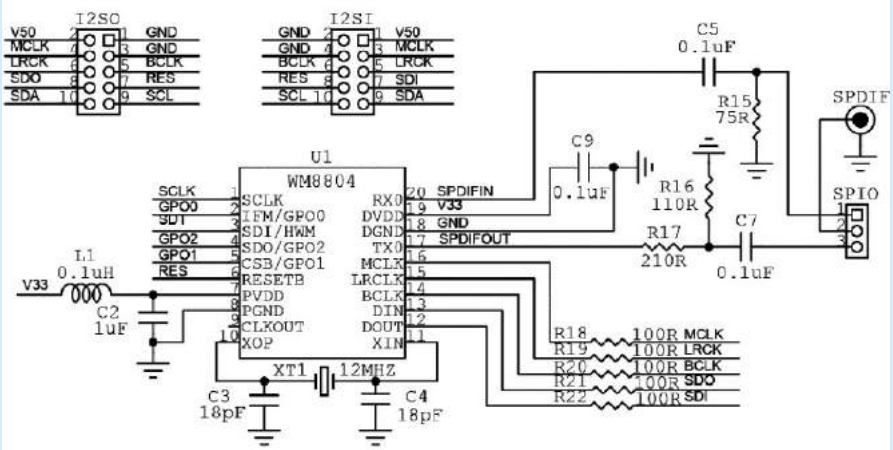
Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833

są także zegar MCLK taktujący DSP i zasilanie 5 V ułatwiające budowę i podłączanie własnych modułów (**należy pamiętać, o maksymalnym napięciu na GPIO = 3,3 V**). Pozostałe wejścia/wyjścia dostępne są na złączu GPIO i gdy nie wykorzystujemy płytki GPIO, mogą zostać przeznaczone na interfejs cyfrowy.

W pierwszej aplikacji przykładowej, jaką będzie przetwornik DAC ***DAC_Stereo.dspproj***, konieczne jest wykorzystanie interfejsu ADAU1701_SPDIF (1 szt.), którego wygląd przedstawia **rysunek 7** oraz źródła sygnału cyfrowego np.: odtwarzacza CD.




**Rysunek 8. Uproszczony schemat modułu ADAU1701A_SPDIF.**

Płytka ADAU1701A_SPDIF została zaprojektowana, aby umożliwić bezpośrednią obróbkę sygnału cyfrowego w standardzie SPDIF, pochodzącego ze złącza Coax, ponieważ ADAU1701A, nie posiada wbudowanego interfejsu SPDIF. Moduł jest konfigurowalny i realizuje funkcje odbiornika/nadajnika. Jako odbiornik/nadajnik SPDIF wykorzystany jest układ WM8804, uproszczony schemat połączeń przedstawia rysunek 7.

Sygnał wejściowy z gniazda SPDIF poprzez zworę SPIO (zwarte 12), doprowadzony jest do wejścia RX0 w trybie odbiornika (zwarte 12) lub do wyjścia TX0 w trybie nadajnika (zwarte 23). Wyprowadzenia GPO0/1/2, SCLK, SDI określają konfigurację WM8804. Diody LED sygnalizują aktualny status WM8804. Po konfiguracji modułu SPDIF w funkcji odbiornika podłączamy go z lewej strony DSP (gniazda we/wy na górnej krawędzi) do złącza I2SI płytki DSP. Pełni on w tym przypadku także funkcję generatora sygnału zegara MCLK, pracując jako urządzenie master. Brak sygnału SPDIF zatrzyma pracę DSP, należy o tym pamiętać.

Przed podłączeniem i oprogramowaniem zestawu, konieczna jest konfiguracja modułu SPDIF w trybie „sprzętowym", z interfejsem I²S master, co odpowiada położeniu zwór:

- SPIO= IN, (położenie lewe), połączenia gniazda SPDIF z wejściem WM8804,
- SDA/SCL=OFF, odłączenie magistrali I²C od WM8804,
- SDI zwarte 2...3, (położenie dolne) stan niski na SDI/HWM, konfiguracja sprzętowa „hardware" mode,
- SCLK zwarte 1...2 (położenie górne), stan wysoki na SCLK, tryb master,
- GPIO1 zwarte 2...3 (położenie dolne) stan niski na CSB/GPO1, odbiornik podłączony do wejścia SPDIF Rx,
- GPIO0, GPIO2, zwarte 2...3 (położenie dolne) stan niski na IFM/GPO0 i SDO/GPO2, tryb pracy I²S 16-bit. Możliwa jest też konfiguracja trybów:
- GPIO0, zwarte 2...3, GPIO2 zwarte 1...2, tryb I²S, 24bit,
- GPIO0, zwarte 1...2, GPIO2 zwarte 2...3, tryb LJ, 24bit,
- GPIO0, zwarte 1...2, GPIO2 zwarte 1...2, tryb RJ, 16bit.

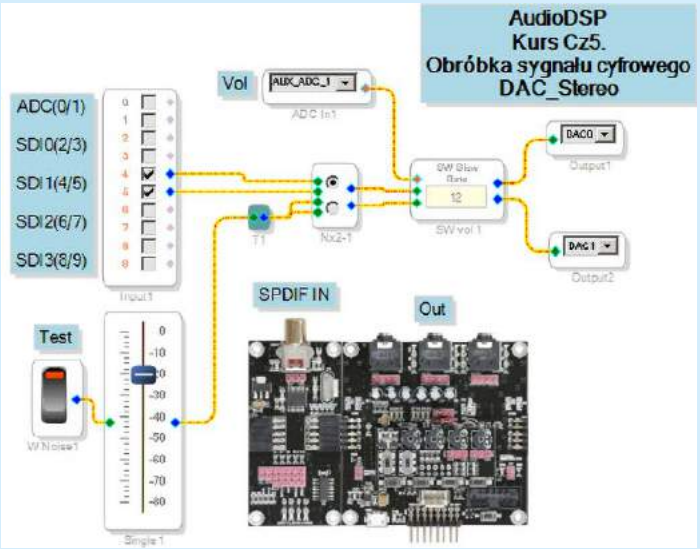
Led sygnalizują stan odbiornika WM8804, znaczenie ich jest następujące, EERT – błąd transmisji, FLAG – zbiorcza flaga błędu, UNLK – synchronizacja i poprawny odbiór SPDIF, NAUD – dane nie zawierające sygnału audio. Sygnalizacja stanów jest zanegowana, ustawieniu flagi odpowiada zgaszenie LED, wszystkie zgaszone LED sygnalizują poprawny odbiór ramki audio. Szczegółowy opis działania i konfiguracji zawiera nota katalogowa WM8804. Po konfiguracji odbiornika i zwór płytki DSP:

- **OSC** – zwora w położeniu MCLK (zwarte „dolne" piny 1...2),
- **M0** – zwora w położeniu 256 (zwarte „lewe" piny 2...3),
- **M1** – zwora w położeniu 256 (zwarte „prawe" piny 1...2),

można wrócić do projektu.

Aplikacja wykorzystuje następujące bloki funkcjonalne:

z biblioteki ***Sources\White Noise\Simple***:




**Rysunek 9. Aplikacja *DAC_Stereo.dspproj*.**

– źródło białego szumu ***White Noise***,

z biblioteki ***Volume Controls\AdjustableGain\SharedSlider\Clickless SW Slew (RC)*** regulator poziomu:

– ***Single SW slew vol (adjustable)***,

z biblioteki ***Volume Controls\AdjustableGain\Ext Control\Clickless SW Slew*** regulator poziomu:

– ***Single slew ext vol***,

z biblioteki ***Muxes/Demuxes\Switch\Clickless SW Slew\1Ch*** multiplekser:

– ***Mono Switch Nx1***,

z biblioteki ***IO\GPIO\Input*** wejscie przetwornika ADC:

– ***Auxaliary ADC Input***,

z biblioteki ***IO\Input*** wejścia sygnału:

– ***Input***,

z biblioteki ***IO\Output*** wyjścia sygnału:

– ***Output***.

Sygnał z bloku wejściowego podawany jest na multiplekser, w którym można wybrać źródło testowe białego szumu o regulowanym suwakiem poziomie lub sygnał audio z wejścia cyfrowego SDI1 (4/5). Kolejno sygnał podawany jest na regulator poziomu sterowany potencjometrem RV1, a stąd na wyjście analogowe DAC0/1. Blok wejściowy Input jest uniwersalny, zawiera wejścia sygnału z przetwornika ADC oraz interfejsów cyfrowych SDIx. Kanały ADC mapowane są na wyprowadzenia 0/1, kanały cyfrowe SDI0..3 w kolejności par na 2/3, 4/5, 6/7, 8/9. Dotyczy to także trybu TDM. Po narysowaniu aplikacji, konieczna jest konfiguracja sprzętowa DSP, w tym celu przechodzimy do zakładki ***Hardware Configuration***,



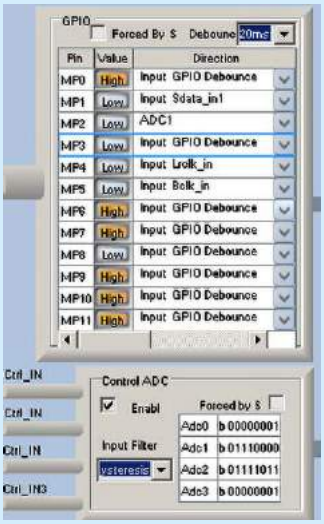
Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl



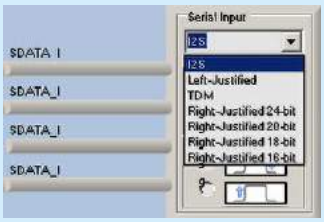
eprasa.pl 4d9608b833

konfigurujemy system z programatorem USBi i procesorem ADAU1701 i w zakładce ***IC1-1701x/1401x Register Control***, ustalamy konfigurację DSP:

- wyciszamy i wyłączamy nieużywane wejścia ADC0/1,
- wyłączamy nieużywane wyjścia DAC2/3,
- załączamy obsługę Control ADC,
- konfigurujemy wejścia GPIO, aktywując port szeregowy, **rysunek 10**,
- ustawiamy tryb portu szeregowego na I²S, zgodnie z ustawieniem zwór modułu ADAU1701A_SPDIF, **rysunek 11**,
- ustalamy polaryzację sygnałów LRCK, BLCK, **rysunek 12**.



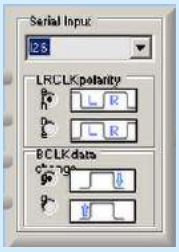

**Rysunek 10. Konfiguracja GPIO.**




**Rysunek 11. Wybór trybu I²S.**

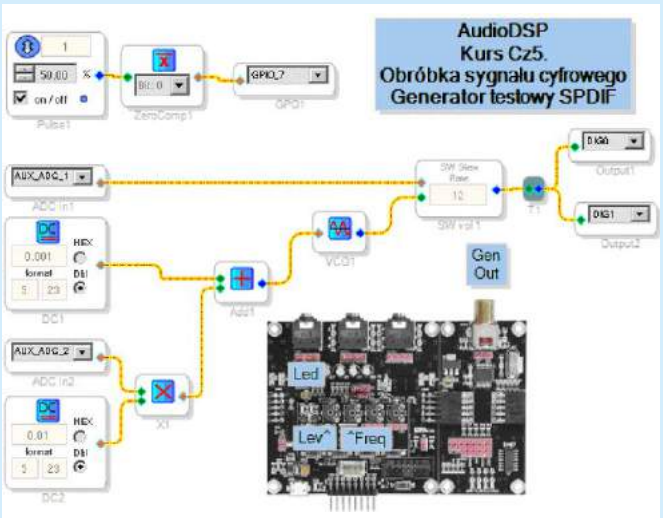
Po konfiguracji procesora, kompilujemy i wgrywamy aplikację. Po podłączeniu wzmacniacza do wyjścia OUT1, odtwarzacza CD do wejścia SPDIF, możemy przetestować działanie aplikacji.

**Ze względu to, ze ADAU1701 jest procesorem synchronicznym nie posiadającym konwertera częstotliwości próbkowania ASRC, częstotliwość próbkowania sygnału źródłowego musi odpowiadać częstotliwości fs DSP.**




**Rysunek 12. Konfiguracja LRCK, BCLK**

W przypadku prostej aplikacji DAC, procesor będzie działał „w miarę" poprawnie w szerszym zakresie fs, co związane jest z cechą WM8804, który zwiększa w zależności od fs częstotliwość sygnału MCLK, zachowując stały stosunek fs/MCLK=256 konieczny dla poprawnego działania DSP, dla fs z zakresu 44,1...96 kHz. Powyżej 96 kHz generowany stosunek fs/MCLK zmniejsza się i procesor przestaje działać poprawnie. Praca w szerszym zakresie fs jest raczej w tym przypadku zbiegiem korzystnych okoliczności niż celowym zabiegiem inżynierskim. Jeżeli w układzie będą bloki silnie zależne od fs, np. filtry może spowodować ich niepoprawne działanie. Jak poradzić sobie z pracą w szerszym zakresie fs wejściowego opiszę w dodatku do kursu. Wracając do aplikacji testowej, warto sprawdzić różnie tryby pracy interfejsu szeregowego, zmieniając ustawienia zgodnie z rysunkami 11, 12 i ustawiając odpowiednio zwory w module ADAU1701A_SPDIF. Po zmianach wymagana jest wyłączenie DSP i ponowne wgranie aplikacji, gdyż konfiguracja WM8804 odbywa się tylko podczas włączenia zasilania (resetu) układu.




**Rysunek 13. Aplikacja *GenSPDIF.dspproj*.**

Wiemy już jak wprowadzić cyfrowy sygnał do DSP, warto więc sprawdzić jak taki sygnał z DSP wyprowadzić...

Do tego celu posłuży aplikacja ***GenSPDIF.dspproj*** **rysunek 13**, która jest przestrajanym w niskim zakresie częstotliwości (~20...250 Hz) generatorem sygnału cyfrowego SPDIF o regulowanym poziomie. Regulacja poziomu i częstotliwości odbywa się za pomocą potencjometrów podłączonych do GPIO. Po podłączeniu do DAC lub amplitunera, umożliwia sprawdzenie np. rezonansów pomieszczenia odsłuchowego.

Płytkę ADAU1701A_SPDIF w trybie wyjścia SPDIF podłączamy do Audio_DSP z prawej strony (złącze I2SO). Przed podłączeniem i oprogramowaniem zestawu, konieczna jest konfiguracja modułu SPDIF w trybie „sprzętowym", z interfejsem I²S w trybie slave, co odpowiada położeniu zwór:

- SPIO=OUT, (położenie prawe), połączenia gniazda SPDIF z wyjściem WM8804,
- SDA/SCL=OFF, odłączenie magistrali I²C od WM8804,
- SDI zwarte 2...3, (położenie dolne) stan niski na SDI/HWM, konfiguracja sprzętowa „hardware" mode,
- SCLK zwarte 2...3 (położenie dolne), stan niski na SCLK, tryb slave,
- GPIO1 zwarte 1...2 (położenie górne) stan wysoki na CSB/GPO1, nadajnik podłączony do wejścia AIF (dane z magistrali),
- GPIO0, GPIO2, zwarte 2...3 (położenie dolne) stan niski na IFM/GPO0 i SDO/GPO2, tryb pracy I²S 16-bit.

Możliwa jest też konfiguracja trybów:

GPIO0, zwarte 2...3, GPIO2 zwarte 1...2, tryb I²S, 24bit,
GPIO0, zwarte 1...2, GPIO2 zwarte 2...3, tryb LJ, 24bit,
GPIO0, zwarte 1...2, GPIO2 zwarte 1...2, tryb RJ, 16bit.

Na płytce bazowej AudioDSP należy ustawić zwory oscylatora i PLL:

- **OSC** – zwora w położeniu OSC (zwarte „górne" piny 2...3),
- **M0** – zwora w położeniu 256 (zwarte „lewe" piny 2...3),
- **M1** – zwora w położeniu 256 (zwarte „prawe" piny 1...2),

DSP jest w projekcie urządzeniem master na magistrali szeregowej i generuje sygnały zegarowe BLCK/LRCK oraz buforowany MCLK.

Aplikacja ***GenSPDIF.dspproj*** wykorzystuje następujące bloki funkcjonalne:

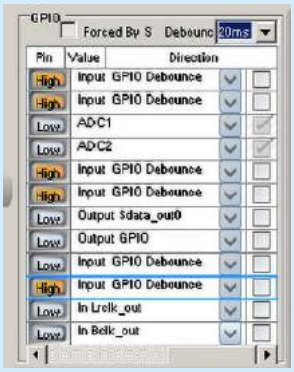
z biblioteki ***Sources\DC***:
– stałą ***DC Input Entry***,
z biblioteki ***Sources\Oscillators***:
– generator impulsów ***Pulse with dynamic duty cycle***,
z biblioteki ***Sources\Voltage Controled***:
– generator przestrajany „napięciem" ***VCO***,
z biblioteki ***Volume Controls\AdjustableGain\Ext Control\Clickless SW Slew*** regulator poziomu:
– ***Single slew ext vol***,
z biblioteki ***IO\GPIO\Input***:
– wejście przetwornika ADC GPIO ***Auxaliary ADC Input***,
z biblioteki ***IO\Output*** wyjścia sygnału:
– ***Output***.
z biblioteki ***Basic DSP\Arithmetics Operations***:
– sumator ***Signal Add***.,
– mnożarkę ***Multiply***,
z biblioteki ***Basic DSP\Logic\Invert***:
– komparator zera ***Zero Comparator***.

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl

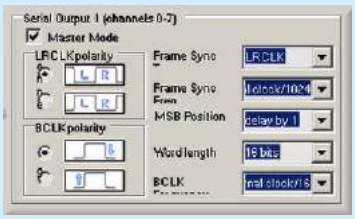


eprasa.pl 4d9608b833

Aplikacja składa się z generatora przestrajanego VCO, „napięcie” przestrajające jest wartością liczbową 5,23 z zakresu 0...1, co odpowiada liniowemu przestrajaniu generatora w zakresie 0...fs/2 (w projekcie fs=44,1 kHz). Aby ograniczyć zakres przestrajania od „góry” napięcie z ADC2 (RV2) jest wymnażane jest przez stałą DC2, a dla ograniczenia od „dołu” dodawana jest stała DC1. Sygnał wyjściowe z VCO podawany jest na blok regulacji poziomu, sterowany napięciem z ADC1 (RV1), a stąd na wyjścia. Blok ***Output*** odpowiadający z wyprowadzenie sygnału na interfejs cyfrowy wymaga konfiguracji aktywnego numeru wyjścia, jest on wspólny dla wyjść analogowych DAC0..3 jak i cyfrowych DIG0..7. Nie ma „offsetu” numeracji jaki jest nieco mylący w bloku ***Input***. Poszczególnym kanałom, połączonym w pary odpowiadają wyjścia interfejsu cyfrowego SDO0 (0/1), SDO1 (2/3) itd, także dla trybu multipleksowanego TDM. Generator Pulse steruje LED sygnalizującą poprawne działanie generatora.




**Rysunek 14. Konfiguracja GPIO.**

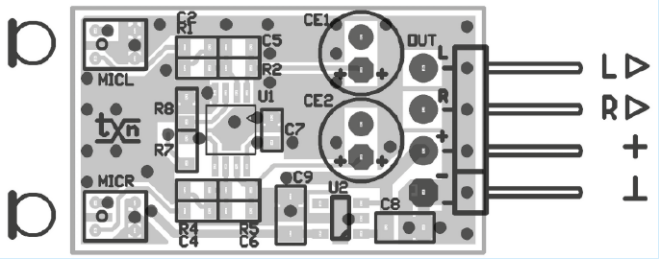



**Rysunek 15. Konfiguracja interfejsu szeregowego.**

Po narysowaniu aplikacji, konieczna jest konfiguracja sprzętowa DSP, w tym celu przechodzimy do zakładki ***Hardware Configuration***, konfigurujemy system z programatorem USBi i procesorem ADAU1701 i w zakładce ***IC1-1701x/1401x Register Control***, ustalamy konfigurację DSP:

- wyciszamy i wyłączamy nieużywane wejścia ADC0/1,
- wyłączamy nieużywane wyjścia Audio DAC,
- załączamy obsługę Control ADC,
- konfigurujemy wejścia GPIO, aktywując wyjściowy port szeregowy, sygnały Sdata_Out0, Lrck_Out, Bclk_Out, **rysunek 14**. Nieco mylący opis „In” nie zmienia się zależnie od trybu pracy master/slave interfejsu, jest to jakieś niedopatrzenie w wyświetlaniu stanu, port DSP na całe szczęście działa poprawnie w każdym trybie, rysunek 14,
- ustawiamy tryb portu szeregowego na master I²S, zgodnie z ustawieniem zwór modułu ADAU1701A_SPDIF oraz ustalamy polaryzację sygnałów LRCK, BLCK, **rysunek 15**.

Po konfiguracji procesora, kompilujemy i wgrywamy aplikację. Po podłączeniu DAC'a lub amplitunera do wyjścia SPDIF możemy przetestować działanie aplikacji, pamiętając o możliwie niskim poziomie sygnału podczas testów, aby nie uszkodzić głośników. Zmiana poziomu sygnału odbywa się potencjometrem RV1, częstotliwości RV2.

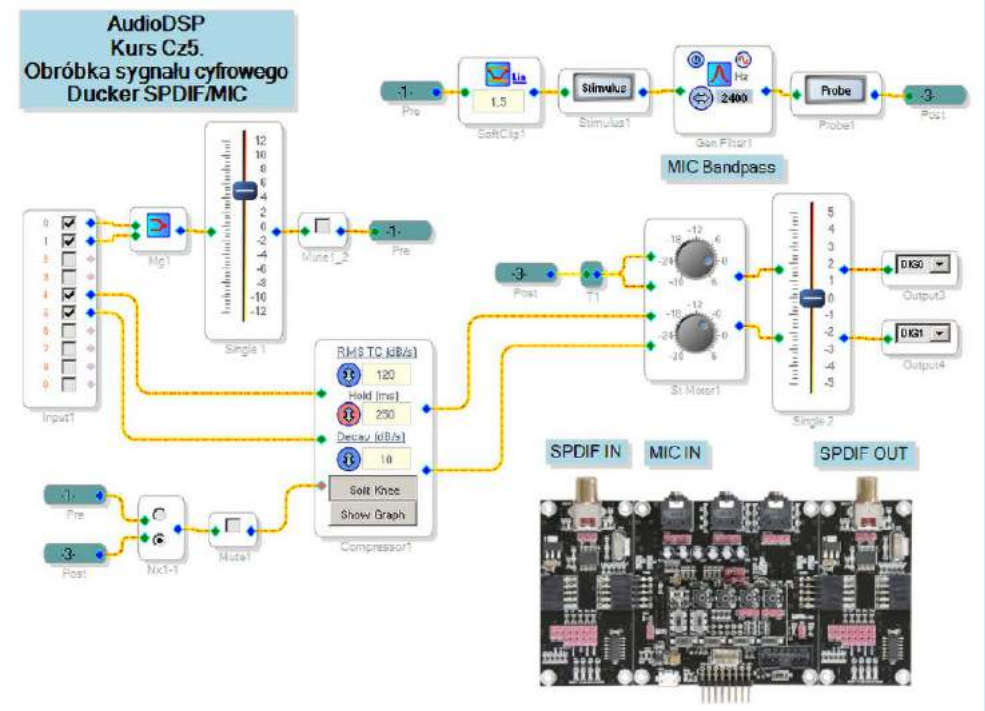



**Rysunek 16. Minimoduł stereofonicznego mikrofonu MEMS dedykowany dla AudioDSP.**

Trzeci przedstawionym projektem będzie ***DuckerSPDIF.dspproj***. Ducker jest to efekt audio, który wycisza automatycznie jeden z sygnałów, podczas pojawienia się sygnału drugiego. Jest często wykorzystywany w systemach rozgłoszeniowych, gdy na sygnał podkładu muzycznego zostaje nałożona ścieżka mowy lub w studio podczas np. udźwiękowiania filmów. Sygnał podkładu zostaje automatycznie przyciszony, aby zapewnić zrozumiałość komunikatu i nie przekroczyć ustawionego poziomu sygnału. Po zakończeniu komunikatu, poziom podkładu powraca do poprzedniej wartości. W projekcie zostaną wykorzystane oba moduły ADAU1701A_SPDIF, jeden w funkcji odbiornika, drugi nadajnika. Konfiguracja interfejsów we/wy jest identyczna jak w poprzednich projektach, na płytce bazowej należy ustawić zworę:

- **OSC** – zwora w położeniu MCLK (zwarte „górne” piny 1...2).

Podkład muzyczny w projekcie będzie pochodził z odtwarzacza CD podłączonego do wejścia SPDIF IN, sygnał komunikatu pochodzi z wejścia IN1A, do którego podłączony jest dedykowany dla AudioDSP




**Rysunek 17. Schemat DuckerSPDFI.dspproj.**

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833

przedwzmacniacz mikrofonowy **rysunek 16**. Obrobiony sygnał wyjściowy wyprowadzony na złącze SPDIF OUT. Schemat aplikacji przedstawia **rysunek 17**.

Aplikacja ***DuckerSPDIF*** wykorzystuje następujące bloki funkcjonalne:

z biblioteki ***IO\Output***:
– wejścia sygnału ***Input,***
– wyjścia sygnału ***Output,***
z biblioteki ***Muxes/Demuxes\Switch\Clickless SW Slew\1Ch***:
– multiplekser ***Mono Switch Nx1***,
z biblioteki ***Volume Controls\Mute***:
– blok wyciszania ***Mute***,
z biblioteki ***Mixers/Splitters\Mixers\Single Control\No Slew***:
– mikser ***Signal Merger***,
z biblioteki ***Mixers/Splitters\Mixers\Stereo Mixer\Clickless SW Slew***:
– mikser ***Stereo Mixer***,
z biblioteki ***Non Linear Processors\Clippers\Soft Clip***:
– ogranicznik ***Standard Cubic***,
z biblioteki ***Filters\Second Order\Double Precision\1 Ch***:
– filtr ***General (2nd order)***,
z biblioteki ***Volume Controls\AdjustableGain\SharedSlider\Clickless SW Slew (RC)***:
– regulator poziomu ***Single SW slew vol (adjustable)***,
biblioteki ***Dynamics Procesor\RMS\Standard resolution\Full Range\No Post Gain\Stereo\Ext Detector Input:***
– kompresor ***RMS (no gain)***,
oraz z zakładki Schematic Design, bloki ***Simulation Probe*** i ***Simulation Stimuli***.

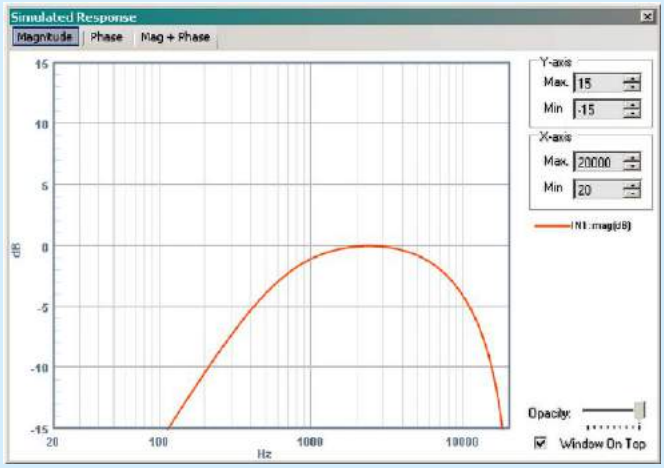
Schemat aplikacji przedstawia **rysunek 17**.

Układ zawiera dwa tory. Pierwszy to tor obróbki komunikatu z mikrofonu, w którym sygnał z wejścia analogowego (0/1) jest sumowany do mono w bloku Merger, podlega korekcie i ograniczeniu poziomu i następnie podawany jest na blok filtru pasmowego ograniczającego niskie i wysokie częstotliwości w torze mikrofonu. Konfigurację filtru przedstawia **rysunek 18**, a symulowaną charakterystykę **rysunek 19**.

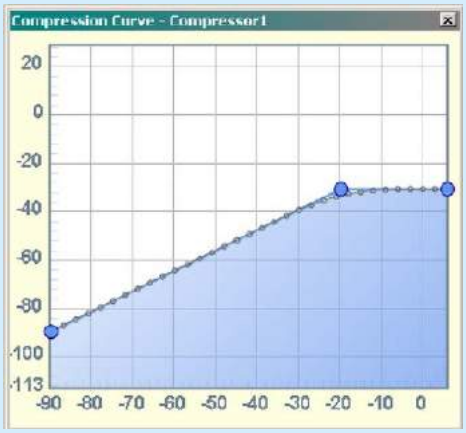
Z filtru sygnał podawany jest na dwukanałowy mikser gdzie łączony jest z sygnałem podkładu i wyprowadzony na wyjście cyfrowe interfejsu SPDIF Out.

Drugi tor obrabia podkład muzyczny. Z wejść cyfrowych interfejsu SPDIF In (4/5), podawany jest na blok kompresora. Sterowanie kompresorem nie odbywa się jego własnym sygnałem wejściowym, a za pomocą zewnętrznego sygnału sterującego (Side-Chain). Gdy sygnał sterujący jest niższy od ustalonego poziomu, kompresor nie ma wpływu na podkład, gdy przekracza ustalony poziom, kompresor

**Rysunek 18. Konfiguracja filtru.**




**Rysunek 19. Symulowana charakterystyka filtru.**




**Rysunek 20. Charakterystyka przejściowa kompresora.**

zachowuje się jak limiter o charakterystyce z **rysunku 20**, ograniczając poziom sygnału doprowadzonego do miksera.

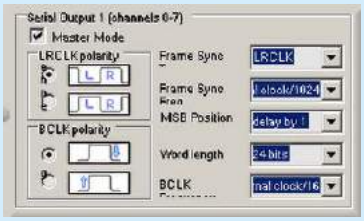
Wejście sterujące kompresora z dodatkowym multiplekserem umożliwia wybór sygnału z toru mikrofonowego przed lub po filtracji pasmowej. Bloki wyciszania przydatne są podczas uruchamiania układu i regulacji poziomów.

**Rysunek 21. Konfiguracja GPIO.**

Przed załadowaniem aplikacji konieczna jest konfiguracja sprzętowa DSP, w tym celu przechodzimy do zakładki ***Hardware Configuration***, konfigurujemy system z programatorem USBi i procesorem ADAU1701 i w zakładce ***IC1-1701x/1401x Register Control***, ustalamy konfigurację DSP:

- wyłączamy nieużywane wyjścia DAC0..4,
- wyłączamy obsługę Control ADC,
- konfigurujemy wejścia GPIO, aktywując oba porty szeregowy, **rysunek 21**,
- ustawiamy tryb wejściowego portu szeregowego na I²S, **rysunek 22**, zgodnie z ustawieniem zwór modułu ADAU1701A_SPDIF IN, tak jak w projekcie ***DAC_Stereo***
- ustawiamy tryb wyjściowego portu szeregowego na master I²S **rysunek 23**, zgodnie z ustawieniem zwór modułu ADAU1701A_SPDIF OUT jak w projekcie ***GenSPDIF***
- ustalamy polaryzację sygnałów LRCK, BLCK,

**Rysunek 22. Konfiguracja wejściowego portu szeregowego.**




**Rysunek 23. Konfiguracja wyjściowego portu szeregowego.**

Po załadowaniu aplikacji, przed ostatecznym zapisaniem do pamięci nieulotnej, konieczne jest przeprowadzenie kilku testów i zestrojenie ustawień miksera, kompresora oraz filtru. Tutaj DSP nie różni się od toru z elementów dyskretnych, no może – nie wymaga stroika i lutownicy...

W następnym odcinku, bliższym części sprzętowej, przestawię sposób na rozszerzenie funkcjonalności AudioDSP o współpracę z zewnętrznymi przetwornikami ADC/DAC, interfejsem USB, współpracę z mikrofonami cyfrowymi I²S/PDM oraz „cyfrowymi" końcówkami mocy.

**Adam Tatuś**
**adam.tatus@ep.com.pl**

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie **www.media.avt.pl**



eprasa.pl 4d9608b833

# ISIX-RTOS v3 – system operacyjny dla mikrokontrolerów rodziny Cortex-M0/M3/M4/M7 (4)

FTP
Wszystkie poprzednie odcinki kursu są dostępne na stronie www.media.avt.pl

## Sterowniki blokowe – SPI

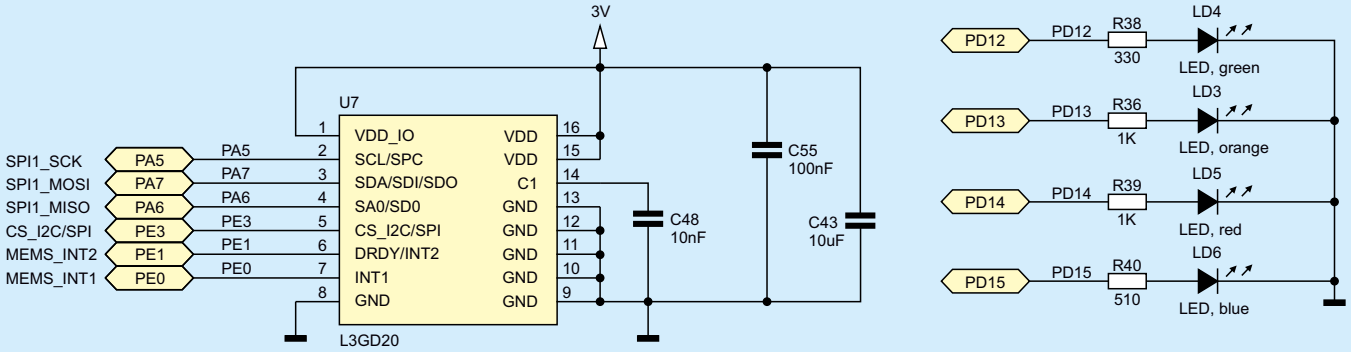
**System ISIX został zaprojektowany w taki sposób, aby poszczególne części mogły być wykorzystywane w sposób niezależny. W poprzedniej wersji nie było dedykowanej biblioteki realizującej interfejs sterowników urządzeń, zatem konieczne było wykorzystanie dodatkowych bibliotek, np. dostarczonych przez producenta mikrokontrolera. Aktualnie wprowadzono dedykowaną bibliotekę libperiph, która zapewnia nową warstwę abstrakcji uniezależniającą sterowniki urządzeń od danego typu mikrokontrolera. W architekturze ARM-V7M, zarówno system, jak i aplikacje pracują we wspólnej przestrzeni adresowej, zatem wprowadzona biblioteka nie wymusza konieczności jej użycia, a jest jedynie warstwą abstrakcji ułatwiającą pisanie programów niezależnych od sprzętu.**

W bieżącym odcinku skupimy się na sterownikach urządzeń blokowych na przykładzie sterownika magistrali SPI. W celach demonstracyjnych zastosujemy zestaw STM32F411E-DISCO, gdzie korzystając z wbudowanego żyroskopu L30GD20, napiszemy prostą aplikację, która w momencie wychylenia płytki w określoną stronę spowoduje chwilowe włączenie diod LD4-LD6, sygnalizując kierunek wychylenia. Fragmenty schematu, przedstawiające wykorzystane części zestawu, przedstawiono na **rysunku 1.**

Układ L3GD20 jest trzyosiowym żyroskopem MEMS wyposażonym w interfejs SPI oraz I²C. W przypadku naszego zestawu został on domyślnie skonfigurowany w trybie SPI i dołączony do magistrali **SPI1**. Układ ma rozbudowane możliwości, takie jak zgłaszanie przerwań po przekroczeniu parametrów położenia kątowego czy zintegrowaną kolejkę FIFO zapobiegającą utracie danych. W celach demonstracyjnych zastosujemy jedynie podstawowy tryb, gdzie z trzech 16-bitowych rejestrów będziemy odczytywać aktualne położenie kątowe. Do sygnalizacji wychylenia płytki wykorzystamy 4 diody LED, które zostały dołączone bezpośrednio do portów GPIO. Za pomocą magistrali SPI odczytywać będziemy wskazania żyroskopu, a następnie w wyniku odpowiedniego wychylenia będziemy zapalać diodę LED stosownie do kierunku.

### Interfejs blokowy biblioteki libperiph

Biblioteka **libperiph** została w całości napisana w języku *C++17* i od strony interfejsu użytkownika zapewnia jednolite API umożliwiające użytkowanie urządzeń blokowych w postaci niezależnej od sprzętu. Od strony sterowników urządzeń zapewnia również warstwę abstrakcji umożliwiającą konfigurowanie sterowników urządzeń na podstawie danych konfiguracyjnych (*dts.hpp*) oraz warstwę abstrakcji dla układu DMA (*dma.hpp*) czy pamięci cache. Na **rysunku 2** przedstawiono hierarchię klas interfejsu blokowego biblioteki **libperiph**:

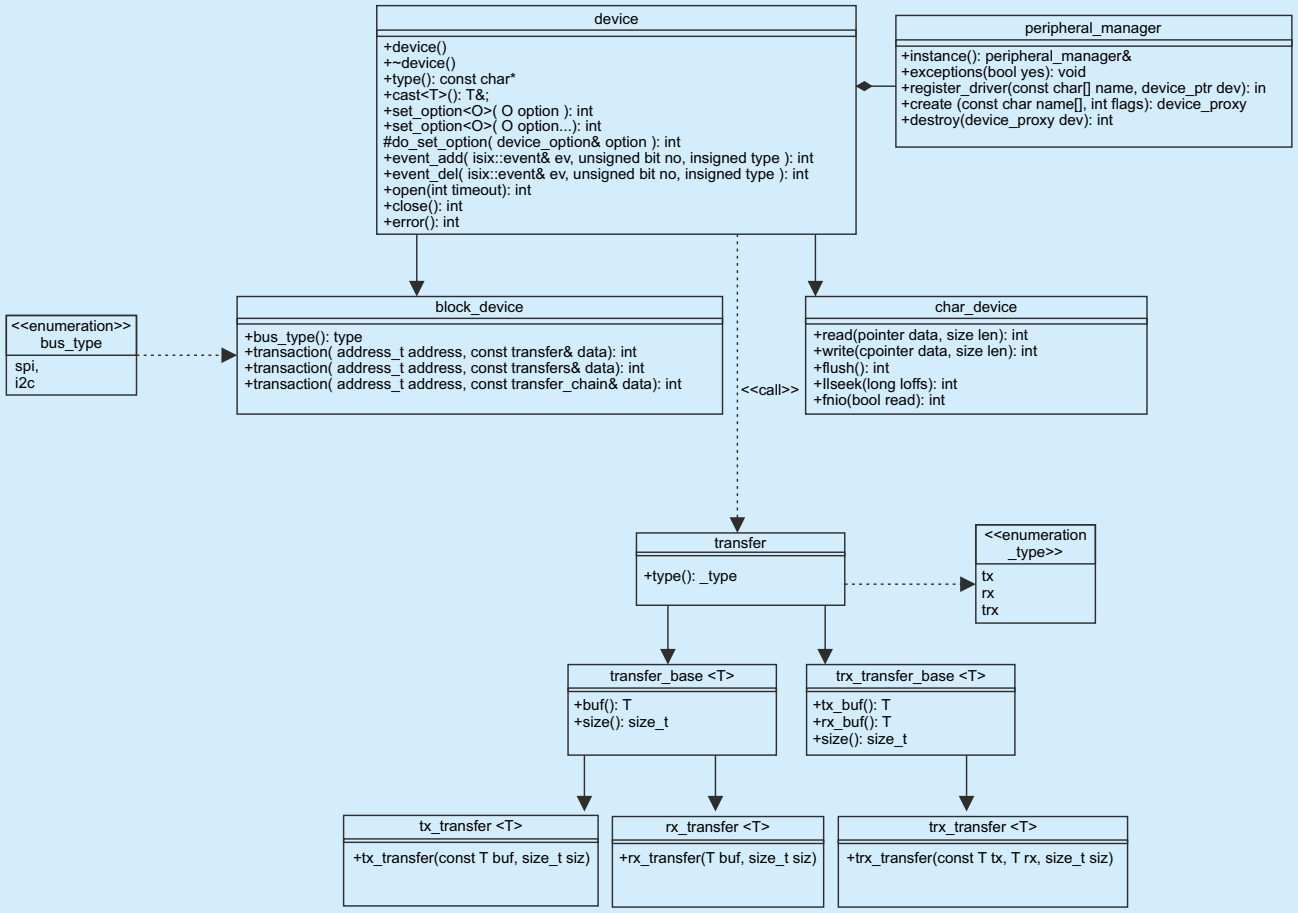



**Rysunek 1. Fragmenty schematu, przedstawiające wykorzystane części zestawu**

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833




**Rysunek 2. Hierarchia klas interfejsu blokowego biblioteki libperiph**

Klasa **periph_manager** odpowiedzialna jest za rejestrację oraz przechowywanie wszystkich sterowników urządzeń obecnych w systemie. Sterowniki urządzeń możemy rejestrować w systemie za pomocą metody **register_driver()**. Klasę bazową dla wszystkich urządzeń stanowi klasa **device**, zapewniając interfejs podstawowych metod, takich jak otwieranie, zamykanie urządzenia oraz możliwość ustawiania parametrów sterownika (odpowiednik *ioctl*). Klasa **block_device** realizuje interfejs dla urządzeń blokowych, gdzie najważniejsza jest metoda **transaction** umożliwiająca transfer w obu kierunkach zarówno ciągłych, jak i nieciągłych bloków danych. Transfer w kierunku hosta, w kierunku urządzenia oraz dwukierunkowy tworzymy odpowiednio z wykorzystaniem klasy **rx_transfer**, **tx_transfer** oraz **trx_transfer,** podając bufor oraz jego wielkość w parametrach konstruktora. Transfery również mogą być realizowane z wykorzystaniem nieciągłych bloków pamięci, wówczas należy przekazać je w postaci listy **transfer_chain**. Każda operacja związana z obsługą urządzeń zwraca kod błędu, chyba że ustawiona jest opcja zgłaszania wyjątków za pomocą metody **exceptions(bool yes),** wtedy w przypadku wystąpienia błędu zostanie zgłoszony wyjątek.

Implementując sterownik urządzenia blokowego (w tym przypadku SPI), należy stworzyć klasę **spi_device**, której klasę bazową stanowić będzie **block_device**, a następnie zaimplementować wszystkie metody czysto wirtualne. Biblioteka **libperiph** zapewnia również niskopoziomowe API ułatwiające pisanie driverów, gdzie jako najważniejsze części możemy wskazać:

- API umożliwiające pobieranie konfiguracji sprzętowej, takie jak: konfiguracja wybranych portów GPIO związanych z danym układem peryferyjnym, przypisania sygnału zegarowego czy opcję konfiguracji DMA.
- API DMA, umożliwiające wykonywanie operacji bezpośredniego dostępu do pamięci niezależnie od rodzaju kontrolera DMA zintegrowanego z urządzeniem.

## Sterownik blokowy magistrali SPI

Sterownik blokowy zaimplementowany został w klasie **spi_master** (*spi_master.hpp, spi_master.cpp*) i implementuje obsługę interfejsu SPI wbudowanego w mikrokontrolery STM32 dla wszystkich popularnych linii: F1/F2/F4/F7. Sterownik został napisany z wykorzystaniem niskopoziomowego API LL biblioteki STM32Cube. Metoda *do_open()* wywoływana jest w momencie otwarcia urządzenia przez warstwę nadrzędną managera urządzeń (**listing 1**).

Na początku z ustawień konfiguracyjnych z bazy pobierana jest informacja o tym, do jakiej magistrali przypisany jest kontroler SPI oraz z jaką częstotliwością pracuje. W kolejnym kroku odczytujemy z bazy informację o konfiguracji sygnałów zegarowych kontrolera SPI, a następnie je włączamy. Następnie pobieramy z bazy danych informację o tym, do jakich pinów GPIO przypisany jest kontroler SPI oraz konfigurujemy wybrane linie GPIO tak, aby doprowadzić do nich sygnały z kontrolera SPI. Po wstępnej konfiguracji sygnałów zegarowych oraz portów GPIO konfigurujemy sterownik SPI tak, by pracował w trybie master oraz z parametrów konfiguracyjnych odczytujemy, czy sterownik powinien korzystać z kontrolera DMA, czy jedynie z systemu przerwań. W przypadku, gdy wybrano opcję DMA, alokujemy wirtualny kanał kontrolera DMA, korzystając z warstwy abstrakcji dedykowanej układowi bezpośredniego dostępu do pamięci oraz rejestrujemy funkcje zwrotne, które będą wywoływane po zakończeniu transferu. W przypadku braku flagi użycia kanału DMA zostanie wybrana opcja obsługi urządzenia przez procesor w trybie obsługi przerwań. W takim wypadku rejestrujemy handler obsługi przerwań, konfigurujemy priorytet kontrolera przerwań, a następnie go włączamy.

Metoda *do_close()* wywoływana jest przez manager urządzeń w przypadku zamknięcia urządzenia kontrolera SPI i jest wykorzystywana do zwolnienia zajmowanych zasobów (**listing 2**). Na początku wyłączane są przerwania kontrolera SPI oraz sam kontroler

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833

**Listing 1. Kod metody do_open()**

```
//Open device
int spi_master::do_open(int timeout)
{
	int ret {};
	do {
		if(!io<void>()) {
			ret = error::init; break;
		}
		if(!m_transfer_size) {
			ret = error::init; break

			dt::clk_periph pclk;
			ret = dt::get_periph_clock(io<void>(), pclk); if(ret) break;
			ret = clk_conf(true); if(ret) break;
			ret = gpio_conf(true); if(ret) break;
			{
				//Configure interrupt
				dt::device_conf cnf;
				if((ret=dt::get_periph_devconf(io<void>(),cnf))<0) break;

				if(!m_dma) {
					isix::set_irq_priority(cnf.irqnum, {uint8_t(cnf.irqfh), uint8_t(cnf.irqfl)});
					isix::request_irq(cnf.irqnum); error::expose<error::bus_exception>(ret);
				}

				//Rest of the config
				LL_SPI_SetTransferDirection(io<SPI_TypeDef>(),LL_SPI_FULL_DUPLEX);
				LL_SPI_SetNSSMode(io<SPI_TypeDef>(), LL_SPI_NSS_SOFT);
				#ifdef LL_SPI_RX_FIFO_TH_QUARTER
				LL_SPI_SetRxFIFOThreshold(io<SPI_TypeDef>(), LL_SPI_RX_FIFO_TH_QUARTER);
				#endif
				LL_SPI_SetMode(io<SPI_TypeDef>(), LL_SPI_MODE_MASTER);
				m_timeout = timeout;
				m_dma = (cnf.flags&dt::device_conf::fl_dma)?(true):(false);

				if(m_dma) {
					namespace fl = periph::dma;
					auto& ctrl = periph::dma::controller::instance();

					m_dma_rx = ctrl.alloc_channel(spi2rxchn(io<SPI_TypeDef>()),
						fl::mode_dst_inc|fl::mode_src_ninc|
						(m_transfer_size>8?fl::mode_dst_size_halfword:fl::mode_dst_size_byte)|
						(m_transfer_size>8?fl::mode_src_size_halfword:fl::mode_src_size_byte),
						cnf.irqfh, cnf.irqfl);

					m_dma_tx = ctrl.alloc_channel(spi2txchn(io<SPI_TypeDef>()),
						fl::mode_dst_ninc|fl::mode_src_inc|
						(m_transfer_size>8?fl::mode_dst_size_halfword:fl::mode_dst_size_byte)|
						(m_transfer_size>8?fl::mode_src_size_halfword:fl::mode_src_size_byte),
						cnf.irqfh, cnf.irqfl);

					m_dma_tx->callback( std::bind(&spi_master::dma_interrupt_handler,
						this, std::placeholders::_1, true) );

					m_dma_rx->callback( std::bind(&spi_master::dma_interrupt_handler,
						this, std::placeholders::_1, false) );
				}
			}
		} while(0);
	return ret;
}
```

przerwań. W kolejnym kroku pobierana jest konfiguracja z bazy konfiguracyjnej, odłączane są sygnały zegarowe od kontrolera SPI oraz przywracany jest pierwotny stan linii GPIO. Następnie zwalniane są przerwania w kontrolerze przerwań oraz ewentualnie, jeśli był wykorzystywany kontroler DMA, zwalniany jest również wirtualny kanał kontrolera DMA.

**Listing 2. Kod metody do_close()**

```
//Close device
int spi_master::do_close()
{
	int ret {};
	LL_SPI_DisableIT_RXNE(io<SPI_TypeDef>());
	LL_SPI_DisableIT_TXE(io<SPI_TypeDef>());
	LL_SPI_DisableIT_ERR(io<SPI_TypeDef>());
	LL_SPI_Disable(io<SPI_TypeDef>());
	do {
		if(!io<void>()) {
			ret = error::init; break;
		}
		dt::clk_periph pclk;
		ret = dt::get_periph_clock(io<void>(), pclk); if(ret) break;
		ret = clk_conf(false); if(ret) break;
		ret = gpio_conf(false); if(ret) break;
		{
			//Configure interrupt
			dt::device_conf cnf;
			if((ret=dt::get_periph_devconf(io<void>(),cnf))<0) break;
			isix::free_irq(cnf.irqnum);
		}
		{
			auto& ctrl = periph::dma::controller::instance();
			if(m_dma_tx) {
				ret=ctrl.release_channel(m_dma_tx);
			}
			int ret2 {};
			if(m_dma_rx) {
				ret2=ctrl.release_channel(m_dma_rx);
			}
			if(ret==error::success) ret=ret2;
		}
	} while(0);
	return ret;
}
```

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833

Najważniejszą metodą realizującą główny transfer danych pomiędzy hostem a kontrolerem SPI jest metoda transaction (**listing 3**). Metoda jako pierwszy argument przyjmuje adres, gdzie w przypadku magistrali SPI będzie to numer linii CS zarejestrowanej w bazie danych (o czym w dalszej części artykułu) oraz referencję do klasy bazowej **transfer**, która opakowuje bufory danych w odpowiedni rodzaj transferu. W pierwszym kroku sprawdzana jest poprawność danych wejściowych, np. adres CS oraz wywoływana jest metoda **start_transfer**, która w zależności od typu transferu przypisuje wskaźniki do buforów do pól w klasie oraz czyści zawartość pamięci cache. Po przygotowaniu klasy do transferu wywoływana jest metoda **periphint_config**, która w zależności od wybranego trybu aktywuje transfer i uruchamia przerwania lub aktywuje kanał DMA, co spowoduje rozpoczęcie transferu danych z wykorzystaniem magistrali SPI. W kolejnym kroku wykonywana jest metoda czekania na semaforze **m_wait**, co powoduje uśpienie wątku rozpoczynającego transfer do momentu jego zakończenia, co jest sygnalizowane podniesieniem semafora przez procedurę obsługi przerwania lub metodę zwrotną wywoływaną po zakończeniu transferu DMA. Ponieważ zakończenie transferu DMA lub przerwania nie gwarantuje tego, iż kontroler DMA zakończył pracę, czekamy na zakończenie transmisji i dopiero po tym podnoszona jest linia CS, wyłączany jest kontroler SPI, w efekcie czego następuje zakończenie transmisji.

**Listing 3. Kod metody transaction()**

```
//Make transaction
int spi_master::transaction(int addr, const blk::transfer& data)
{
        int ret {};
        int tret {};
        if(addr<0 || addr>=int(sizeof(m_cs)/sizeof(m_cs[0]))) {
                dbg_err(„Invalid address”);
                return error::invaddr;
        }
        isix::mutex_locker _lock(m_mtx);
        ret = start_transfer(std::ref(data),std::ref(tret));
        if( ret ) {
                dbg_info(„Invalid arguments”);
                return ret;
        }
        cs(false,addr);
        ret = periphint_config();
        if(ret) {
                dbg_info(„Periph config error %i”,ret);
                cs(true,addr);
                return ret;
        }
        ret = m_wait.wait(m_timeout);
        if(!ret) ret = tret;
        //Now finalize transfer
        constexpr auto duration = 50U;
        {
                const auto tb=isix::get_jiffies();
                while(!isix::timer_elapsed(tb,duration)) {
                        if(!LL_SPI_IsActiveFlag_BSY(io<SPI_TypeDef>())) {
                                break;
                        }
                }
                if(isix::timer_elapsed(tb,duration)) {
                        dbg_info(„timeout”);
                        return error::bus_timeout;
                }
        }
        LL_SPI_Disable(io<SPI_TypeDef>());
        cs(true,addr);
        return ret;
}
```

**Listing 4. Kod metody enable(bool en)**

```
//! Enable to default state
int l3gd20::enable(bool en)
{
        int ret {};
        do {
                if( en ) {
                        if((ret=probe())<0) break;
                        if((ret=write_reg(L3GD20_CTRL_REG1,0x0f))<0) break;
                        if((ret=write_reg(L3GD20_CTRL_REG2,0x00))<0) break;
                        if((ret=write_reg(L3GD20_CTRL_REG3,0b00001000))<0) break;
                        if((ret=write_reg(L3GD20_CTRL_REG4,0b00110000))<0) break;
                        if((ret=write_reg(L3GD20_CTRL_REG5,0x00))<0) break;
                } else {
                        if((ret=write_reg(L3GD20_CTRL_REG1,0x00))<0) break;
                }
        } while(0);
        return ret;
}
```

## Sterownik żyroskopu L3GD20

Aby zaprezentować w praktyce użycie interfejsów blokowych biblioteki libperiph, przygotowano prosty sterownik dla żyroskopu L3GD20, który w zestawie STM32F411E-DISCO jest dołączony bezpośrednio do magistrali SPI1 mikrokontrolera. Pomimo że omówiony kod sterownika może się wydawać stosunkowo skomplikowany, jego wykorzystanie jest bardzo proste i sprowadza się do wywołania kilku metod. Pokażemy to na przykładzie sterownika żyroskopu, z którego będziemy odczytywać pozycję położenia kątowego z rejestrów konfiguracyjnych. Diagram klas sterownika L3GD20 przedstawiono na **rysunku 3**.

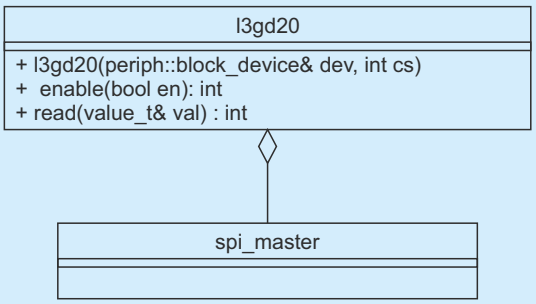
Klasa sterownik żyroskopu składa się z dwóch metod: **enable()**, której zadaniem

**Listing 5. Metoda write_reg() odpowiedzialna za zapis pojedynczego rejestru**

```
//! Write into the register
int l3gd20::write_reg(unsigned addr, uint8_t value)
{
        const uint8_t cmd[2] {uint8_t(addr|DIR_WRITE),value};
        periph::blk::tx_transfer tran(cmd,sizeof cmd);
        return m_dev.transaction(m_cs, tran);
}
```

**Listing 6. Metoda read_reg() odpowiedzialna za zapis pojedynczego rejestru**

```
//! Read data from the register
int l3gd20::read_reg(unsigned addr, uint8_t& value)
{
        const uint8_t inbuf[2] {uint8_t(addr|DIR_READ),0};
        uint8_t outbuf[2] {};
        static_assert(sizeof outbuf==sizeof inbuf);
        periph::blk::trx_transfer tran(inbuf,outbuf,sizeof outbuf);
        int ret =  m_dev.transaction(m_cs, tran);
        if(ret<0) return ret;
        value = outbuf[1];
        return ret;
}
```




**Rysunek 3. Diagram klas sterownika L3GD20**

**Listing 7. Metoda probe() odpowiedzialna za zapis pojedynczego rejestru**

```
//! Check and initialize if it is connected
int l3gd20::probe()
{
        uint8_t val;
        int ret;
        do {
                ret = read_reg(ADDR_WHO_AM_I,val);
                if(ret<0) break;
                ret = read_reg(ADDR_WHO_AM_I,val);
                if(ret<0) break;
                if(val==WHO_I_AM) break;
                if(val==WHO_I_AM_H) break;
                if(val==WHO_I_AM_L3G4200D) break;
        } while(0);
        return ret;
}
```

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833

jest wykonanie wstępnej konfiguracji żyroskopu oraz **read()**, której zadaniem jest odczytanie rejestrów położenia kątowego żyroskopu X, Y, Z. Podczas tworzenia obiektu jako argumenty konstruktora należy przekazać referencję do obiektu urządzenia blokowego oraz adres urządzenia na magistrali. Jedynym zadaniem konstruktora klasy jest przepisanie przekazanej referencji oraz adresu do pól składowych klasy, dlatego został on zdefiniowany jako konstruktor inline:

```
l3gd20(periph::block_device& dev, int addr)
                : m_dev(dev), m_cs(addr)
{}
```

Przed użyciem klasy akcelerometru należy dokonać jego włączenia, co realizowane jest za pomocą metody *enable(bool en)* – **listing 4**. Przekazanie jako argumentu **true** powoduje włączenie i konfigurację żyroskopu, natomiast przekazanie **false** powoduje jego wyłączenie. W pierwszym kroku wywoływana jest metoda probe, której zadaniem jest sprawdzenie, czy do magistrali dołączony jest żyroskop. W przypadku wykrycia dołączenia układu do magistrali, do rejestrów kontrolnych wpisywany jest szereg parametrów konfiguracyjnych, umożliwiających pracę w podstawowym trybie. Metoda **write_reg** odpowiedzialna jest za zapis pojedynczego rejestru układu (**listing 5**). Pierwszą czynnością jest utworzenie bufora z danymi przeznaczonymi do zapisania, w którym przekazujemy adres rejestru oraz zawartość rejestru. Następnie tworzymy obiekt klasy **tx_transfer**, przekazując do konstruktora adres bufora z danymi oraz wielkość bufora. Na koniec wywołujemy metodę **transaction** z klasy **block_device**, która rozpocznie transfer danych na magistrali.

Metoda read_reg odpowiedzialna jest za odczyt pojedynczego rejestru z żyroskopu (**listing 6**). W pierwszym kroku tworzymy bufor z danymi w kierunku wyjściowym, przekazując adres rejestru do odczytu oraz pusty bufor, do którego zostaną przekazane dane odczytane z magistrali. Następnie tworzymy obiekt **trx_transfer** odpowiedzialny za wykonanie transferu dwukierunkowego. W konstruktorze przekazujemy adres bufora do wysyłania, adres bufora, do którego zostaną odczytane dane oraz wielkość obu buforów. Następnie wywołujemy metodę **transaction**, która rozpocznie transfer danych. W przypadku pomyślnego zakończenia transmisji zwracamy drugi bajt bufora odbiorczego zawierającego odczytany rejestr lub w przypadku niepowodzenia zwracamy kod błędu. Wspomniana wcześniej metoda probe odpowiedzialna jest za wykrywanie obecności układu na magistrali (**listing 7**). Jej działanie jest bardzo proste i sprowadza się do odczytania rejestru układu, który powinien zawierać stałą wartość specyficzną dla tego rodzaju żyroskopu. Gdy wartość odczytana będzie równa wartości wzorcowej, wówczas mamy pewność, że dany układ działa poprawnie i jest podłączony do magistrali, natomiast w przeciwnym przypadku zwracamy kod błędu informujący o braku podłączenia układu.

Metoda **read()** umożliwia odczytanie położenia kątowego żyroskopu w osiach XYZ (**listing 8**). Została napisana w taki sposób, aby z wykorzystaniem pojedynczej transakcji odczytać wszystkie 6 rejestrów związanych położeniem kątowym. W tym celu w buforze **inbuf** przekazujemy komendę służącą do odczytania młodszego bajtu położenia X wraz z bitem pozwalającym na zwiększanie licznika adresowego z każdym kolejnym odczytanym bajtem, co spowoduje, że do bufora **outbuf** zostanie przekazana zawartość rejestrów X, Y, Z. Po przygotowaniu buforów tworzymy obiekt **trx_transfer** realizujący transfer dwukierunkowy, a następnie realizujemy proces transferu, wywołując metodę **transaction** klasy **block_device**, co spowoduje wykonanie fizycznego transferu. Po pomyślnym wykonaniu transferu, w buforze **OUTBUF** otrzymujemy młodsze i starsze bajty rejestrów **X, Y, Z**, które następnie przekształcamy w liczbę 16-bitową i zwracamy za pomocą struktury **value_t**, zawierającej oczekiwane wartości.

## Program główny

Aby zademonstrować przykład użycia magistrali SPI oraz żyroskopu, napisano prosty program, którego zadaniem jest wskazywanie za pomocą wbudowanych 4 diod LED kierunku odchylania płytki ewaluacyjnej. Głównymi plikami aplikacji są pliki *gyro_main.cpp* realizujące wyżej wskazane zadanie oraz plik dts.cpp zawierający profil konfiguracyjny aktualnego programu, wykorzystywany przez API konfiguracyjne DTS.

Aby uruchomić wspomniany przykład, należy go pobrać z repozytorium kodu GIT za pomocą polecenia:

```
git clone -b pub/ep0419 --recursive
https://www.boff.pl/cgit/public/isixsamples
```

Następnie należy skonfigurować, skompilować program oraz zaprogramować płytkę ewaluacyjną za pomocą następujących poleceń:

```
        waf configure --board=stm32f411e_disco --crystal-hz=8000000 --debug
        waf
        waf program
```

Konfiguracja kontrolera SPI zawarta jest w pliku *dts.cpp*. Tablica **devices** (**listing 9**) zawiera konfigurację portu szeregowego o nazwie **serial0** oraz kontrolera SPI o nazwie **spi1**, do którego przypisujemy magistralę APB2, wybieramy konfigurację alternatywną GPIO AF5 oraz przekazujemy numer bitu odpowiedzialny za włączenie

**Listing 8. Metoda read(), która umożliwia odczytanie położenia kątowego żyroskopu**

```
//! Read gyro
int l3gd20::read(value_t& val) const
{
        constexpr uint8_t inbuf[7] = { L3GD20_OUT_X_L | DIR_READ |ADDR_INCREMENT };
        uint8_t outbuf[7] {};
        enum {na,xla,xha,yla,yha,zla,zha};
        static_assert( sizeof outbuf == sizeof inbuf );
        periph::blk::trx_transfer tran(inbuf,outbuf,sizeof outbuf);
        int ret = m_dev.transaction(m_cs, tran);
        if(ret<0) return ret;
        val.x = (int16_t(outbuf[xha])<<8)|int16_t(outbuf[xla]);
        val.y = (int16_t(outbuf[yha])<<8)|int16_t(outbuf[yla]);
        val.z = (int16_t(outbuf[zha])<<8)|int16_t(outbuf[zla]);
        return ret;
}
```

**Listing 9. Metoda read(), która umożliwia odczytanie położenia kątowego żyroskopu**

```
// Devices array configuration
constexpr device devices[]
{
        {
                „serial0”, reinterpret_cast<uintptr_t>(USART2),
                bus::apb1, LL_GPIO_AF_7,
                unsigned(std::log2(LL_APB1_GRP1_PERIPH_USART2)),
                ser0_pins,
                nullptr
        },
        {
                „spi1”, reinterpret_cast<uintptr_t>(SPI1),
                bus::apb2, LL_GPIO_AF_5,
                unsigned(std::log2(LL_APB2_GRP1_PERIPH_SPI1)),
                spi1_pins,
                &spi1_conf
        },
        {}
};
```

**Listing 10. Struktura spi1_pins przekazuje konfigurację pinów, do których dołączona jest magistrala SPI**

```
//SPI controller
constexpr pin spi1_pins[] {
        { pinfunc::miso, gpio::num::PA6 },      //MISO config
        { pinfunc::mosi, gpio::num::PA7 },      //MOSI config
        { pinfunc::sck, gpio::num::PA5 },       //SCK config
        { pinfunc::cs0, gpio::num::PE3 },       //DI_Mems (Display)
        {}
};
```

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833

sygnału zegarowego. Następnie przekazujemy strukturę konfiguracyjną **spi1_pins**, odpowiedzialną za konfigurację linii GPIO oraz **spi_conf** zawierającą konfigurację kontrolera SPI. W strukturze **spi1_pins** (**listing 10**) przekazujemy konfigurację pinów, do których dołączona jest magistrala SPI. Struktura wiąże funkcję kontrolera SPI z numerami pinów, na które dana funkcja zostaje przypisana. W strukturze **spi1_conf** (**listing 11**) przekazujemy opcje konfiguracyjne dla sterownika urządzenia. W naszym przypadku będzie to numer przerwania dla kontrolera SPI, priorytet przerwania oraz informacja, czy sterownik powinien korzystać z trybu DMA, czy nie.

Główny algorytm przykładu zawarty jest w pliku *gyro_main.cpp*, a dokładnie w funkcji **watch_sensor** (**listing 12**), która będzie jedynym wątkiem systemu w naszym przykładzie. Zadaniem tej funkcji jest odczytywanie w cyklu 0,1 s danych z akcelerometru i w przypadku wykrycia określonego poziomu zapalanie wybranych diod LED sygnalizujących kierunek wychylenia.

Pierwszą czynnością jest utworzenie obiektu **spi**, który stanowi kod sterownika kontrolera. W konstruktorze przekazujemy nazwę urządzenia **spi1**, ponieważ tak został nazwany nasz jedyny sterownik w systemie (plik *dts.cpp*). Następnie tworzymy obiekt sensor klasy **l3gd20**, gdzie jako argumenty konstruktora przekazujemy referencję do wcześniej utworzonego kontrolera SPI oraz adres urządzenia 0 (adres na magistrali). Następnie wykonujemy szereg czynności konfiguracyjnych, takich jak ustawienie prędkości, liczby bitów danych, kolejności bitów oraz otwieramy dostęp do urządzenia za pomocą metody open klasy **spi_master**. W kolejnym kroku wywołujemy metodę **enable**, dokonującą inicjalizacji żyroskopu. W tym momencie mamy zainicjalizowany układ, a program przechodzi do pętli nieskończonej, w której cyklicznie odczytuje stan akcelerometru i w zależności od poziomu odczytanych wartości równocześnie zapala odpowiednie diody LED. Równocześnie rejestry położenia kątowego żyroskopu wyświetlane są za pomocą portu diagnostycznego na konsoli szeregowej. W przypadku, gdyby odczyt danych z układu przebiegł niepoprawnie, pętla jest natychmiast przerywana i wątek kończy działanie ze stosownym komunikatem.

**Listing 11. Struktura spi1_conf przekazuje opcje konfiguracyjne dla sterownika urządzenia**

```
constexpr device_conf spi1_conf {
        {},
        SPI1_IRQn,
        1,7,                        //! IRQ prio subprio
        device_conf::fl_dma         //! Use DMA transfer
};
```

**Listing 12. Główny algorytm zawarty w pliku gyro_main.cpp - funkcja watch_sensor**

```
//Task for the led blinking
auto watch_sensor() -> void {
        namespace opt = periph::option;
        int ret {};
        periph::drivers::spi_master spi(„spi1”);
        app::l3gd20 sensor(spi,0);
        leds_vis leds;
        do {
                if((ret=spi.set_option(opt::speed(10E6)))<0) {
                        break;
                }
                if((ret=spi.set_option(opt::polarity(opt::polarity::low)))<0) {
                        break;
                }
                if((ret=spi.set_option(opt::phase(opt::phase::_1_edge)))<0) {
                        break;
                }
                if((ret=spi.set_option(opt::dwidth(8)))<0) {
                        break;
                }
                if((ret=spi.set_option(opt::bitorder(opt::bitorder::msb)))<0) {
                        break;
                }
                if((ret=spi.open(ISIX_TIME_INFINITE))<0) {
                        break;
                }
                app::l3gd20::value_t val;
                if((ret=sensor.enable(true))!=0) {
                        dbg_info(„Sensor en fail %i”,ret);
                        return;
                }
                for(;;) {
                        val = {};
                        if((ret=sensor.read(val))<0) break;
                        if( val.x > 500 ) {
                                leds(leds_vis::c1fwd);
                        } else if( val.x < -500 ) {
                                leds(leds_vis::c1bk);
                        } else if( val.y > 500 ) {
                                leds(leds_vis::c2fwd);
                        } else if( val.y < -500 ) {
                                leds(leds_vis::c2bk);
                        } else {
                                leds(leds_vis::none);
                        }
                        dbg_info(„Gyro x: %i y: %i z: %i”,val.x,val.y,val.z);
                        isix::wait_ms(100);
                }
        } while(0);
        dbg_info(„Task failed finished with code %i”, ret);
}
```

**Lucjan Bryndza, EP**
**lucjan.bryndza@boff.pl**

REKLAMA

**Wstąp do Klubu AVT Elektronika**

**będziesz miał prawo do korzystania z szeregu przywilejów:**

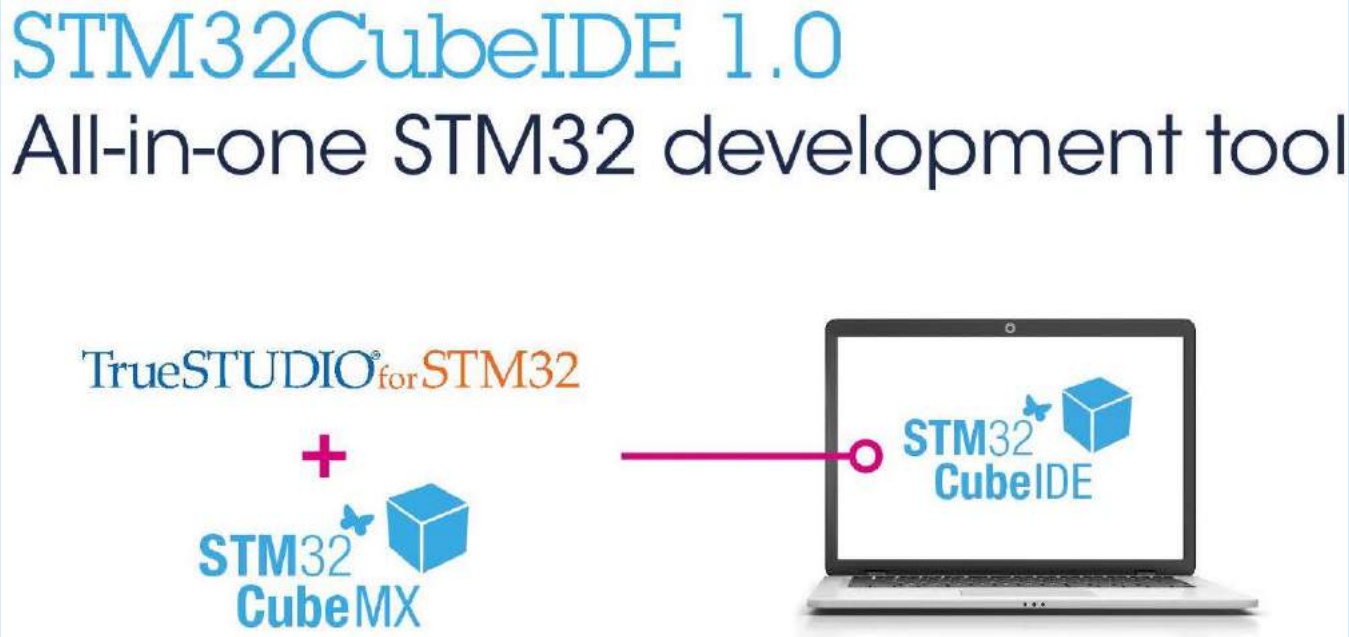
- do 50% zniżki w Sklepie AVT
- darmowe prenumeraty Wydawnictwa AVT
- do 50% zniżki w Ulubionym Kiosku
- Zapraszamy do zapoznania się z zasadami Klubu!

http://bit.ly/2GaDwtQ

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833




# Środowisko programistyczne STM32CubeIDE (1)

## Wprowadzenie

**25 kwietnia firma STMicroelectronics zaprezentowała środowisko programistyczne dla mikrokontrolerów STM32 o nazwie STM32CubeIDE. W ramach krótkiego cyklu artykułów przyjrzymy się szczegółowo temu nowemu narzędziu. W pierwszym artykule umiejscawiamy STM32CubeIDE w ekosystemie narzędzi dla STM32, przedstawiamy jego główne cechy oraz opisujemy proces instalacji.**

### Ekosystem narzędzi – dlaczego jest ważny?

Proces tworzenia urządzenia elektronicznego obejmuje kilka różnych etapów, takich jak projektowanie schematu elektrycznego i obwodu PCB, pisanie oprogramowania czy testowanie działania aplikacji. Zanim jednak inżynier pracujący w roli hardware designera poprowadzi pierwszą ścieżkę w programie CAD do projektowania PCB, zanim programista napisze pierwszą linię kodu, a ich kolega od testowania zacznie analizować działanie elementów systemu, mają miejsce inne, równie istotne etapy w cyklu tworzenia produktu. Są to: etap definiowania funkcjonalności urządzenia oraz etap wyboru podzespołów elektronicznych. Zatrzymajmy się na chwilę przy etapie wyboru podzespołów. W przypadku większości podzespołów decyzja o wybraniu danego komponentu zapada w oparciu na kryteriach takie jak parametry techniczne oraz cena. Nieco inaczej sytuacja wygląda w przypadku szczególnego podzespołu, jakim jest mikrokontroler. W ostatnich latach na znaczeniu zyskuje tu trzecie kryterium, jakim jest ekosystem narzędzi. Czemu ekosystem narzędzi jest ważny w kontekście wyboru mikrokontrolera? Jest on istotny, ponieważ potrafi znacząco skrócić czas tworzenia urządzenia. Chcąc posłużyć się przykładem, warto wrócić do wspomnianych wcześniej inżynierów. Otóż inżynier sprzętowiec, zamiast od zera rysować schemat elektryczny i projektować PCB, wykorzysta gotowy projekt referencyjny. Programista, zamiast pisać kod do konfiguracji i użycia peryferiów, użyje gotowych bibliotek. Z kolei tester, zamiast czekać na wyprodukowanie płytek docelowych, użyje zestawu ewaluacyjnego jako platformy sprzętowej do testowania aplikacji. Te wybrane przykłady pokazują w sposób obrazowy, jak ekosystem narzędzi efektywnie potrafi przyspieszyć proces tworzenia urządzenia elektronicznego i skraca w ten sposób tak zwany *time to market*, a więc czas potrzebny na wprowadzenie urządzenia na rynek.

### Podejście firmy STMicroelectronics do ekosystemu narzędzi dla STM32

Firma STMicroelectronics rozumie, jak ważne piętno odciska ekosystem narzędzi na tworzeniu urządzenia elektronicznego opartego na mikrokontrolerze. Z tego powodu włosko-francuski producent

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833

mikrokontrolerów konsekwentnie realizuje szereg działań, które mają na celu sprawić, że ekosystem narzędzi dla układów STM32 jest na najwyższym poziomie.

Działania te można podzielić na kilka kategorii. Pierwszą jest współpraca STMicroelectronics z partnerami, przez co rozumieć należy wspieranie firm chcących tworzyć narzędzia dla STM32. Za lokalny przykład może posłużyć tu firma BTC, która w ramach działalności wydawniczej oferuje książki koncentrujące się na mikrokontrolerach STM32 oraz udostępnia specjalne zestawy sprzętowe, za pomocą których realizować można aplikacje opisane w książkach.

Inną kategorią działań związanych z ekosystemem narzędzi jest pozyskiwanie przez STMicroelectronics firm oferujących swoje rozwiązania dla układów STM32. W ostatnich miesiącach miały miejsce dwa takie przejęcia. Są to firmy Draupner Graphics oraz Atollic. Pierwsza firma jest producentem programu TouchGFX będącego narzędziem do tworzenia interfejsu graficznego na wyświetlaczu sterowanym za pomocą układu STM32. Druga firma jest producentem programu TrueSTUDIO będącego środowiskiem programistycznym dla mikrokontrolerów STM32. Z pozyskiwania przez STMicroelectronics firm tworzących narzędzia wynikają dla użytkowników układów STM32 dwie zasadnicze korzyści. Po pierwsze ekosystem narzędzi staje się bardziej spójny (jest on bardziej ze sobą zintegrowany oraz dostępny w jednym miejscu). Po drugie narzędzia dostępne są bezpłatnie i bez limitu czasu użytkowania (używanie TouchGFX oraz TrueSTUDIO bez ograniczeń wymagało wcześniej zakupienia licencji).

Jeszcze inną kategorią działań firmy STMicroelectronics jest tworzenie i rozwijanie własnych narzędzi dla mikrokontrolerów STM32. Już w roku 2008, a więc w czasie gdy pierwsze układy z rodziny STM32 (seria STM32F1) zostały wprowadzone do użytku, użytkownicy mogli korzystać z ekosystemu narzędzi w postaci przystępnej cenowo platformy sprzętowej (płytka STM32VLDISCOVERY) oraz bibliotek do peryferiów (SPL – *Standard Peripheral Library*). Entuzjastyczne przyjęcie tych rozwiązań przez rynek skłoniło firmę STMicroelectronics do dalszego inwestowania w ekosystem narzędzi, co konsekwentnie trwa do dzisiaj i przynosi efekty choćby w postaci nowego środowiska programistycznego, które jest przedmiotem tego artykułu.

## Ekosystem narzędzi dla STM32

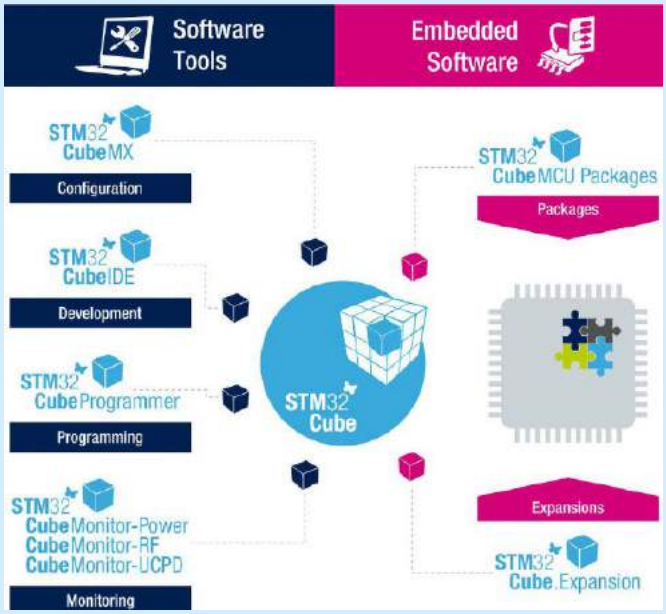
Ekosystem narzędzi firmy STMicroelectronics dla mikrokontrolerów STM32 można podzielić na dwie grupy: narzędzia sprzętowe oraz programowe. Oferta narzędzi sprzętowych składa się z trzech rodzajów produktów: STM32 Nucleo, STM32 Discovery oraz STM32 Eval Board.

**STM32 Nucleo** to płytki wyposażone jedynie w niezbędne minimum podzespołów: głównie mikrokontroler oraz programator/debugger ST-LINK. Z uwagi na przystępną cenę płytki STM32 Nucleo doskonale sprawdzają się jako podstawowe narzędzie do poznawania mikrokontrolera. Z kolei dostęp do wszystkich wyprowadzeń układu sprawia, że płytki te świetnie nadają się do budowania prototypów.

**STM32 Discovery** to płytki wyposażone nie tylko w mikrokontroler i programator/debugger ST-LINK, ale również dodatkowe podzespoły, np. układ pamięci, czujniki, wyświetlacz, interfejs USB użytkownika itp. Dzięki wybranemu w sposób przemyślany wyposażeniu oraz ciągle niewygórowanej cenie płytki STM32 Discovery stanowią niedrogą i kompletną platformę sprzętową dla szerokiej gamy aplikacji.

W końcu **STM32 Eval Board** to zaprojektowane w sposób bezkompromisowy płyty ewaluacyjne, wyposażone w mikrokontroler, programator/debugger ST-LINK i szereg podzespołów dających możliwość interakcji z każdym zasobem mikrokontrolera.

Narzędzia programowe to z kolei zestaw rozwiązań oferowanych pod nazwą STM32Cube. Składa się on z pakietów oprogramowania




**Rysunek 1. Ekosystem narzędzi programowych dla mikrokontrolerów STM32**

STM32Cube, programu STM32CubeMX, środowiska programistycznego STM32CubeIDE, pakietów rozszerzeniowych X-Cube oraz programów dodatkowych. Listę elementów tworzących STM32Cube zaprezentowano na **rysunku 1**.

**STM32Cube** to pakiety oprogramowania, dostępne osobno dla każdej z serii STM32 (przykładowo dla serii STM32F1 pakiet nosi nazwę STM32CubeF1). Głównym elementem każdego pakietu jest zestaw napisanych w języku C bibliotek, które za pomocą funkcji, makrodefinicji i struktur tworzą dla użytkownika interfejs programistyczny do sterowania zasobami mikrokontrolera (peryferiami analogowymi, cyfrowymi, interfejsami komunikacyjnymi, pamięcią itp.). Użytkownik może wybrać spośród dwóch rodzajów bibliotek: Cube HAL oraz Cube LL (*Low Layer*). Cube HAL to biblioteki o wysokim poziomie abstrakcji, których główną zaletą jest intuicyjność i prostota użycia. Cube LL to biblioteki niskopoziomowe, których największym atutem jest z kolei niskie zużycie pamięci. Oprócz bibliotek każdy pakiet STM32Cube dysponuje liczną grupą przykładów oraz aplikacjami demo.

Kolejnym narzędziem programowym jest **STM32CubeMX**. W programie tym użytkownik wskazuje układ, którego chce używać, a następnie za pomocą graficznego interfejsu użytkownika wybiera potrzebne w kontekście aplikacji peryferia i ustawia parametry ich pracy, jak również przypisuje ich wyjścia i wejścia do pinów. Następnie STM32CubeMX używany jest do wygenerowania projektu programistycznego wraz z dodatkowymi bibliotekami Cube HAL lub Cube LL. W pliku main.c projektu generator automatycznie wstawia kod, który realizuje konfigurację zasobów mikrokontrolera wskazaną uprzednio przez użytkownika.

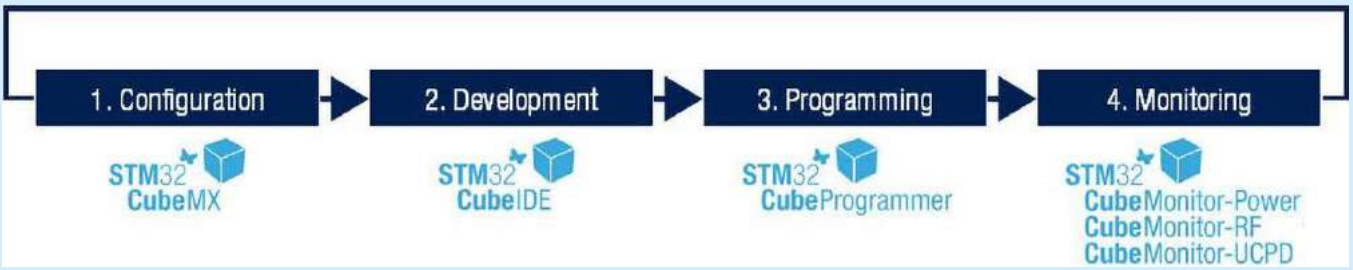
Następnym narzędziem jest **STM32CubeIDE** będące przedmiotem tego artykułu. Jest to środowisko programistyczne, które pozwala na pracę z projektami STM32CubeMX i projektami programistycznymi. Bardziej szczegółowe informacje o tym narzędziu znajdują się w dalszej części artykułu.

Uzupełnieniem bibliotek dla zasobów mikrokontrolerów STM32 są biblioteki **X-Cube**. Implementują one interfejs programistyczny pozwalający skomunikować się układom STM32 z innymi podzespołami z oferty STMicroelectronics. Są to między innymi czujniki, sterowniki silnika czy układy/moduły komunikacji radiowej. Ponadto dostępne są też pakiety X-Cube polecane dla sztucznej inteligencji oraz kryptografii. Co istotne, wszystkie biblioteki X-Cube oparte są na bibliotekach Cube HAL i Cube LL, co zapewnia spójność

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833




**Rysunek 2. Cztery etapy procesu tworzenia aplikacji za pomocą ekosystemu narzędzi programowych STM32Cube**

i kompatybilność kodu z projektu wygenerowanego przez STM32CubeMX i kodu dodanego do projektu z bibliotek X-Cube.

Ostatnim elementem ekosystemu narzędzi programowych są programy komputerowe. **Cube Programmer** to program pozwalający na wgrywanie do pamięci układów STM32 wskazanego pliku z aplikacją. Program ten pozwala również na edycję obszaru pamięci mikrokontrolera o nazwie *Option Bytes*. Cube Monitor to z kolei grupa programów, których, jak sama nazwa wskazuje celem jest monitorowanie określonych wielkości. **CubeMonitor-Power** pozwala monitorować pobór prądu mikrokontrolera. **CubeMonitor-RF** oraz **CubeMonitor-UCPD** to odpowiednio programy monitorujące komunikację radiową oraz komunikację USB (typ C oraz *Power Delivery*).

Proces tworzenia aplikacji za pomocą opisanych narzędzi programowych STM32Cube pokazano na **rysunku 2**. Składa się on z czterech kroków:

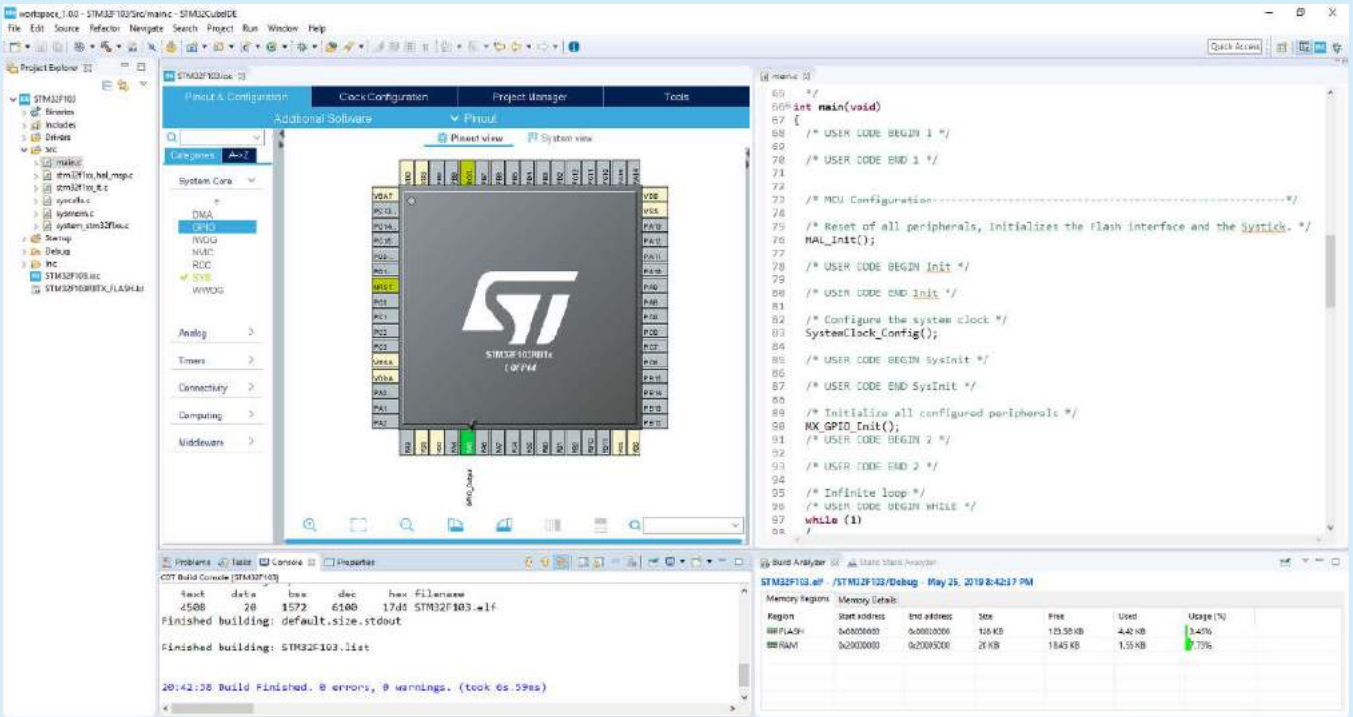
- konfiguracji mikrokontrolera za pomocą STM32CubeMX i wygenerowania projektu programistycznego
- tworzenia kodu aplikacji, kompilowania i debugowania w STM32CubeIDE
- zapisania pliku wynikowego w pamięci mikrokontrolera za pomocą STM32Cube Programmer
- monitorowania wybranych parametrów aplikacji (pobór prądu, komunikacja) za pomocą programów STM32Cube Monitor

## Główne cechy STM32CubeIDE

W ostatnich latach zauważyć można kierunek, w którym podąża rozwój środowisk programistycznych dla mikrokontrolerów. Rozwiązaniami, które stały się standardami, są platforma Eclipse/CDT (*C/C++ Development Tooling*), zestaw kompilatorów GCC (*GNU Compiler Collection*) oraz debugger GDB (*GNU Debugger*). W ten nurt wpisuje się również firma STMicroelectronics. Aby ukazać nieco kontekst historyczny, warto cofnąć się w czasie do roku 2015. Wtedy właśnie francusko-włoski producent mikrokontrolerów STM32 rozpoczął bliską współpracę z firmą AC6. Efektem tej współpracy było środowisko programistyczne SW4STM32 (System Workbench for STM32). Kolejnym kamieniem milowym stało się kupienie w roku 2018 przez STMicroelectronics firmy Atollic, producenta środowiska programistycznego TrueSTUDIO. Finalnym krokiem jest wykorzystanie nabytych doświadczeń i stworzenie w roku 2019 środowiska programistycznego STM32CubeIDE, które jest połączeniem najlepszych cech SW4STM32 i TrueSTUDIO.

Tak więc Eclipse/CDT, GCC i GDB stanowią podstawę dla STM32CubeIDE. Na tej bazie oparte zostały wszystkie bloki środowiska programistycznego. Użytkownik ma do dyspozycji typowe dla każdego IDE elementy: menedżer projektów, edytor (Assembler, C, C++), kompilator, linker oraz debugger.

Co zatem jest nowego? Najistotniejszą nowością w STM32CubeIDE w porównaniu do SW4STM32 i TrueSTUDIO jest integracja programu STM32CubeMX. Już wcześniej program ten dostępny był jako plugin, który użytkownik mógł zainstalować w środowiskach opartych na Eclipse. Teraz jednak STM32CubeMX jest domyślnie wbudowany w STM32CubeIDE. Oznacza to, że w środowisku STM32CubeIDE można stworzyć nowy projekt STM32CubeMX i wygenerować na jego bazie projekt programistyczny. Oba projekty



**Rysunek 3. Widok środowiska STM32CubeIDE**

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833

(STM32CubeMX i programistyczny) stanowią integralną całość, z którą pracuje użytkownik środowiska STM32CubeIDE.

STM32CubeIDE jest kompatybilny pod kątem projektów z SW4STM32 lub TrueSTUDIO. Oznacza to, że projekt programistyczny, który użytkownik stworzył w SW4STM32 lub TrueSTUDIO można zaimportować do STM32CubeIDE.

STM32CubeIDE zostało wyposażone w zaawansowane funkcje, które wcześniej dostępne były w środowisku TrueSTUDIO. Są to: Build Analyzer, Stack Analyzer, SWV Event Data Tracing, ITM Software Tracing, SFR Viewer, Fault Analyzer oraz Live Variable Watch.

Środowisko STM32CubeIDE może współpracować z dwoma sprzętowymi programatorami/debuggerami. Pierwszym jest ST-LINK firmy STMicroelectronics. Drugi to J-Link firmy SEGGER.

Bez zmian pozostał bezpłatny charakter środowiska programistycznego. Podobnie jak miało to miejsce w przypadku SW4STM32 lub TrueSTUDIO, STM32CubeIDE jest całkowicie darmowym narzędziem. Nie występuje tu zatem konieczność zakupienia licencji. Środowisko dostępne jest bez ograniczenia wielkości kodu aplikacji oraz bez ograniczenia czasu użytkowania.

Nowe środowisko programistyczne może działać na trzech najpopularniejszych systemach operacyjnych. Dostępna jest wersja dla systemu Windows, Linux oraz macOS.

Na **rysunku 3** pokazano zrzut ekranu środowiska programistycznego STM32CubeIDE. Przyjrzyjmy się mu bliżej. Na samej górze ekranu znajduje się menu główne z typowymi dla tego bloku rozwijanymi elementami (*File*, *Edit*, *Search*, *Project*, *Run* itp.). Poniżej menu umiejscowione są ikony do najczęściej używanych funkcji, w tym charakterystyczne dla Eclipse ikony młotka (do kompilacji projektu) oraz robaka (do debugowania). W prawym górnym rogu ekranu znaleźć można ikony do zmiany tak zwanej perspektywy, a więc zestawu widocznych okien, które pomocne są programiście w danym etapie pracy nad aplikacją. Do wyboru jest perspektywa *C/C++* dla pisania kodu, perspektywa *Debug* do debugowania oraz perspektywa *Device Configuration Tool* do pracy z STM32CubeMX. Użytkownik może też edytować perspektywy i dostosowywać je do własnych preferencji.

Po lewej stronie ekranu umiejscowiony jest menedżer projektów. W przestrzeni roboczej może znajdować się wiele projektów, spośród których w danym momencie tylko jeden jest aktywny. Każdy projekt reprezentowany jest przez widoczną w menedżerze nazwę, która po kliknięciu rozwija się w drzewo projektu zawierające listę katalogów i plików. Dwa bardzo istotne pliki to plik main.c z głównym kodem aplikacji oraz plik z rozszerzeniem .ioc będący projektem STM32CubeMX.

Dużą część ekranu zajmuje okno edytora. Może on w jednym momencie udostępniać jeden lub więcej otwartych do edycji plików, między którymi programista nawiguje przy użyciu zakładek. Edytor jest narzędziem przewidzianym głównie do pracy z plikami tekstowymi. Takimi plikami są właśnie znajdujące się w projekcie programistycznym pliki z kodem źródłowym. Są to przede wszystkim pliki z kodem w języku C, np. wspomniany już main.c oraz również inne istotne pliki bibliotek do peryferiów z pakietu STM32Cube (HAL i LL). Edytor wyposażony jest w wiele pomocnych funkcji, np. kolorowanie składni, podpowiedzi do uzupełnienia kodu, zwijanie/rozwijanie bloków kodu i wsparcie pracy z debuggerem. Ponadto edytor daje możliwość edycji plików z graficznym interfejsem użytkownika – w tym przypadku plików programu STM32CubeMX z rozszerzeniem .ioc.

W dolnej części ekranu umieszczone zostały dodatkowe okna i zakładki, z których korzystać może programista. Najważniejszą z nich wydaje się zakładka *Console*. Udostępnia ona komunikaty informujące o kompilacji poszczególnych plików oraz całego projektu programistycznego. W przypadku powodzenia kompilacji finalny komunikat informuje o pomyślnym zakończeniu tego procesu. W przypadku niepowodzenia kompilacji wyświetlane są zidentyfikowane błędy, co pomaga programiście w usunięciu problemów. Dodatkową funkcją konsoli jest możliwość pracy w trybie terminalu dla portu szeregowego. Dzięki temu użytkownik może wysyłać/odbierać wiadomości do/z aplikacji mikrokontrolera przez interfejs UART.

Innym przydatnym oknem w dolnej części ekranu jest *Build Analyzer*. Okno to udostępnia informacje na temat pamięci Flash i SRAM mikrokontrolera: całkowitą pojemność oraz zajętą i wolną aktualnie pojemność.

## STM32CubeIDE – pobranie i instalacja

Środowisko programistyczne STM32CubeIDE ma swoją stronę internetową na portalu firmy STMicroelectronics. Adres jest następujący: ***http://bit.ly/2XsPWlH***.

**Rysunek 4. Kolejne kroki procesu instalacji środowiska programistycznego STM32CubeIDE**

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833

Strona ta udostępnia szereg materiałów, wśród których uwagę zwraca bogata dokumentacja techniczna, na którą składa się spora liczba dokumentów typu *User Manual*. Podzielić je można na dwie grupy. Pierwsza grupa to dokumenty skierowane do użytkowników o małym doświadczeniu lub zaczynających po raz pierwszy pracę ze środowiskiem opartym na platformie Eclipse/CDT. Dokumenty te pokazują, jak zainstalować środowisko programistyczne STM32CubeIDE, jak rozpocząć z nim pracę oraz jak dokonać migracji projektów z SW4STM32 i TrueSTUDIO do STM32CubeIDE. Druga grupa to szczegółowe, techniczne dokumenty adresowane do doświadczonych użytkowników. Opisują one osobno poszczególne elementy GNU środowiska STM32CubeIDE: kompilator GCC, debuggera GDB, Assembler, preprocesor języka C, linker itp.

Oprócz dokumentacji na stronie internetowej naturalnie dostępne są też pliki instalacyjne środowiska STM32CubeIDE. Osobny pakiet dostępny jest dla każdego z systemów operacyjnych. Przykładowo dla systemu Windows nosi on nazwę STM32CubeIDE-Win. W celu pobrania pakietu instalacyjnego użytkownik musi kliknąć na przycisk *Get Software*. W wyniku tej czynności w pierwszej kolejności wyświetlona zostanie treść licencji związanej ze środowiskiem programistycznym. Po akceptacji tej licencji wyświetlone zostanie okno logowania do portalu STMicroelectronics (alternatywnie można ominąć logowanie i wpisać swoje dane osobowe wraz z adresem e-mail). Po przejściu tego kroku rozpocznie się pobieranie pakietu instalacyjnego, który w rezultacie zapisany zostanie na dysku twardym komputera.

Aplikację instalatora użytkownik uruchamia, dwukrotnie klikając na ikonę pobranego programu. W pierwszym kroku wyświetlone zostanie okno powitalne informujące o rozpoczęciu procesu instalacji. Po naciśnięciu przycisku *Next* instalator przejdzie do drugiego kroku, który polega na akceptacji umowy pozwalającej na użytkowanie oprogramowania. Wyrażenie zgody użytkownik potwierdza za pomocą przycisku *I Agree*. W trzecim kroku należy wskazać ścieżkę na dysku, gdzie środowisko STM32CubeIDE ma zostać zainstalowane (zalecane jest wybranie krótkiej ścieżki). Naciśnięcie przycisku *Next* spowoduje przejście do czwartego kroku, w ramach którego użytkownik wybiera komponenty instalacji (wybór sprowadza się tu do wskazania sterowników dla programatora/debuggera). Naciśnięcie przycisku *Install* rozpoczyna instalację, o której postępie informuje poziom wypełnienia paska. Po zakończeniu instalacji ponownie należy wcisnąć przycisk *Next*, po czym aplikacja instalatora wyświetli komunikat o zakończeniu pracy. Na samym końcu użytkownik wybiera, czy chce utworzyć skrót do STM32CubeIDE na pulpicie i wciska przycisk *Finish*. W tym momencie środowisko programistyczne jest zainstalowane i gotowe do pracy.

## Podsumowanie

STM32CubeIDE jest kolejnym elementem bogatego ekosystemu narzędzi programowych dla mikrokontrolerów STM32. Firma STMicroelectronics stworzyła to środowisko programistyczne, korzystając z doświadczeń nabytych przy okazji poprzednich środowisk: SW4STM32 i TrueSTUDIO. Poza połączeniem najlepszych cech obu platform STM32CubeIDE wprowadza kilka nowości, z których główną jest zintegrowany program STM32CubeMX.

Integracja jest jednym z kierunków, w którego stronę zmierzał będzie rozwój STM32CubeIDE. W przyszłości spodziewać się można, że elementami tego środowiska staną się programy Cube Programmer oraz Cube Monitor.

W kolejnym artykule z tego cyklu pokażemy, jak rozpocząć pracę z STM322CubeIDE i jak zrealizować za pomocą tego środowiska prostą aplikację: od stworzenia nowego projektu, poprzez użytkowanie STM32CubeMX, wygenerowanie kodu i uzupełnianie pliku main.c, skończywszy na kompilowaniu kodu, zapisaniu go w pamięci mikrokontrolera i debugowaniu aplikacji.

**Szymon Panecki**
**STMicroelectronics**
**szymon.panecki@st.com**

REKLAMA

# E-prenumerata to:

- najszybszy dostęp do nowego wydania magazynu
- wygodne archiwum na www.avt.pl
- hipertekstowy spis treści i wyszukiwarka
- wbudowane linki – klikasz i jesteś na odpowiedniej stronie WWW

Chcesz otrzymywać dodatek Niezbędnik Elektronika? Zamów prenumeratę drukowaną na www.avt.pl/prenumerata

**Zamów e-prenumeratę (.pdf) na**
www.avt.pl/prenumerata/elektroniczne

**e-prenumerata** roczna z rabatem
**15% – 91,80 zł**

**e-prenumerata** dwuletnia z rabatem
**30% – 151,20 zł**

Prenumeratorzy wersji drukowanej za równoległe e-wydania płacą tylko 20% ceny: 21,60 zł/rok i 43,20 zł/2 lata

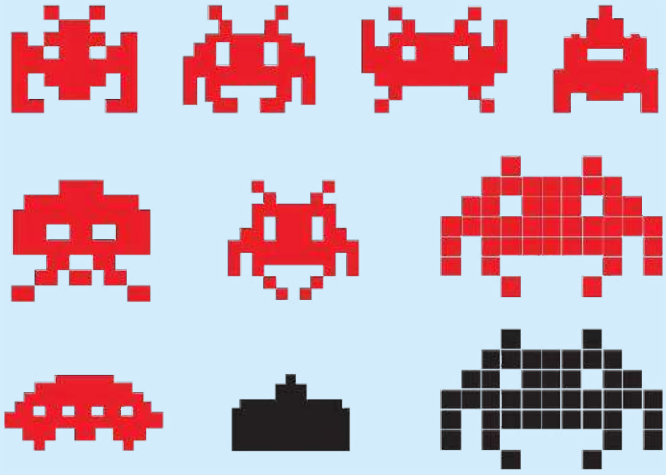
Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833

# Jak to się robi w FPGA: gra typu Space Shooter na maXimatorze (1)

*W artykule przedstawiamy sposób implementacji gry typu Space Shooter na platformie sprzętowo-programowej z układem FPGA. Implementacja wymagała zastosowania technologii tzw. procesorów programowych (ang. soft processor) oraz wyboru standardu wyjścia wideo: VGA bądź HDMI. Wybór padł na platformę maXimator oraz standard HDMI.*



Artykuł powstał na bazie pracy dyplomowej przygotowanej na AGH pod kierunkiem i opieką dr. inż. Jerzego Kasperka

Przed rozpoczęciem prac projektowych przyjęto następujące założenia projektowe:

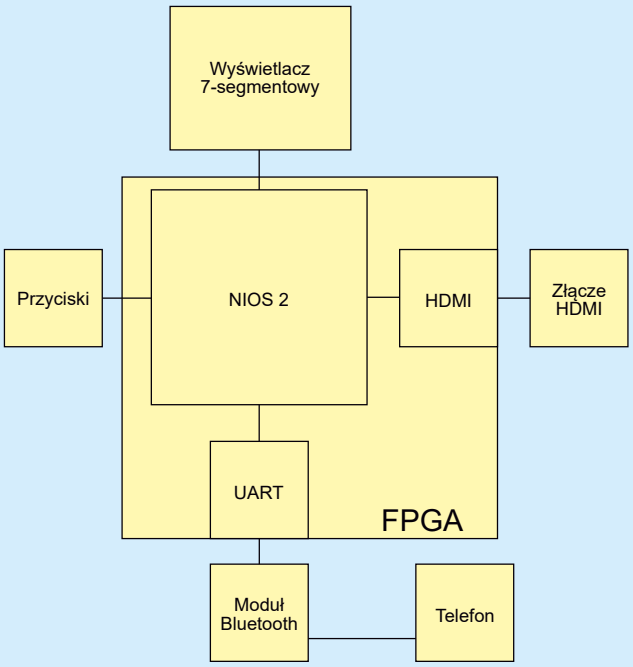
1. Użytym procesorem będzie Nios II, który jest udostępniany przez producenta układu FPGA.
2. Program dla procesora zostanie napisany w języku C.
3. Sterowanie będzie bazować na przyciskach dostępnych na module rozszerzeń.
4. Będzie możliwy dodatkowy sposób sterowania, tj. poprzez aplikację na telefonie z systemem Android, który będzie komunikować się z układem przez Bluetooth (wprowadza to konieczność napisania stosownej aplikacji),
5. Wynik gry będzie wyświetlany na wyświetlaczu siedmiosegmentowym dostępnym na module rozszerzeń.

Wygląd ekranu gry jak i rozgrywka będzie inspirowany grą *Space Invaders*, której zrzut ekranu przedstawiono na **rysunku 1**. Celem gracza będzie eliminacja wszystkich przeciwników, którzy będą utrudniać mu realizację tego zadania poprzez ostrzał jego statku.

**Rysunek 1. Zrzut ekranu z gry Space Invaders**

Zarówno statek gracza, jak i jakiegokolwiek przeciwnika będzie niszczony w przypadku trafienia przez drugą stronę, przy czym zniszczenie statku gracza oznacza przegraną.

Na podstawie wstępnych założeń został stworzony schemat blokowy realizowanego systemu przedstawiony na **rysunku 2**. Poniżej

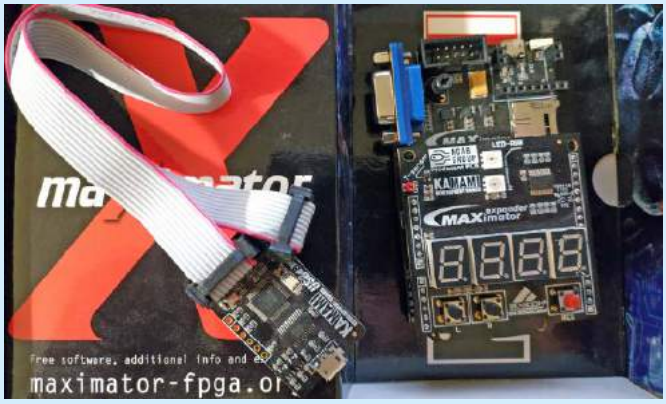



**Rysunek 2. Uogólniony schemat blokowy systemu**

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833




**Fotografia 3. Wygląd zestawu maXimator**

wyszczególniono kluczowe, z punktu widzenia założeń, elementy układu, takie jak:

- procesor Nios II, który będzie odpowiedzialny za działanie gry i generowanie danych wideo,
- moduł HDMI, który będzie pobierać dane od procesora i wyświetlać je na ekranie monitora,
- moduł UART (ang. *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*), który będzie przekazywać dane między procesorem a modułem Bluetooth zgodnie ze standardem UART,
- złącze HDMI, umieszczone na płytce i połączone bezpośrednio z układem FPGA,
- przyciski sterujące przebiegiem gry, dołączone do układu przez moduł rozszerzeń,
- wyświetlacz siedmiosegmentowy do wyświetlania wyniku gry,
- moduł Bluetooth do komunikacji z telefonem zawierającym aplikację do sterowania grą,
- telefon z systemem Android z aplikacją do sterowania grą.

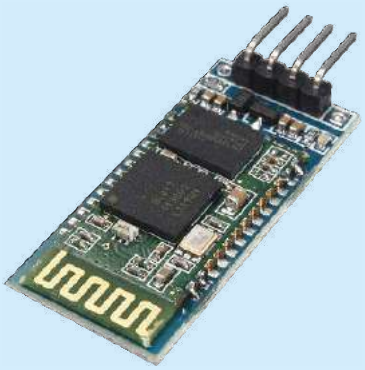
## Układ FPGA

Płytka uruchomieniowa z zestawu maXimator (**fotografia 3**) zawiera układ FPGA 10M08DAF256C8GES z rodziny MAX10, taktowany zewnętrznym oscylatorem 10 MHz. Natomiast sam układ FPGA jest w stanie operować na częstotliwościach zegarowych do 450 MHz i składa się z:

- 8000 komórek LE (ang. Logic Element), które stanowią najmniejszy fragment logiki układu 10M08DAF256C8GES.
- 2 pętli synchronizacji fazy, stosowanych do syntezy częstotliwości.
- 378 kb wbudowanej pamięci typu RAM, warto tutaj wspomnieć, że pamięć RAM jest zorganizowana w 42 bloki po 8192 bity danych (9216 bitów, jeżeli uwzględnić bit parzystości). Sposób budowy tych bloków powoduje, że jeżeli zostanie zastosowana szyna danych o szerokości innej niż 9 lub 36 bitów, to komórki odpowiedzialne za przechowywanie bitów parzystości nie są używane.
- 1376 kb wbudowanej pamięci typu Flash dostępnej dla użytkownika.

## Procesor Nios II

Procesor Nios II jest 32-bitowym procesorem programowym, tzn. jest tworzony z logiki programowalnej układu FPGA na etapie syntezy, którego architekturę można sklasyfikować jako harwardzką, tj. wspiera on separację pamięci danych od pamięci rozkazów poprzez zapewnienie oddzielnych magistral dla każdej z nich (z punktu widzenia projektu jest to bardzo ważna cecha). Ponadto architektura tego procesora pozwala na mapowanie peryferiów procesora, m.in. portów wejścia/wyjścia, timerów, modułu UART, do przestrzeni adresowej pamięci danych. Nios II ma także wbudowany kontroler przerwań obsługujący do 32 przerwań wewnętrznych, pozwalając równocześnie na ich zagnieżdżanie.



**Fotografia 4. Moduł Bluetooth HC-06**

## Moduł Bluetooth

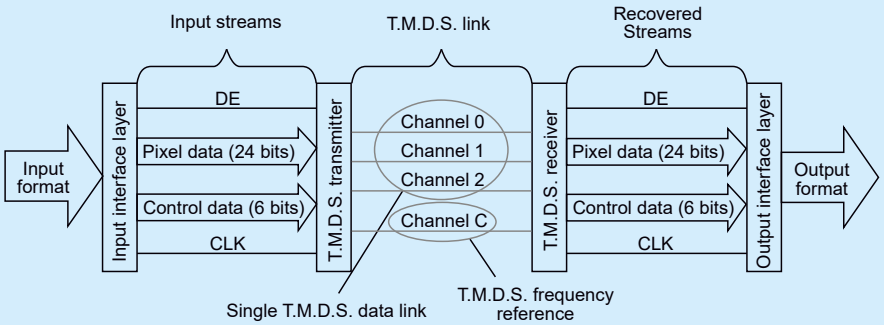
Moduł Bluetooth wybrany do projektu to układ HC-06 przedstawiony na **fotografii 4**. Głównym powodem wyboru tego modułu był wspierany przez niego rodzaj komunikacji, tj. UART pracujący z napięciem 3,3 V i tolerancją do 5 V, umożliwiający komunikację z układem FPGA. W domyślnym ustawieniu układ jest w stanie transmitować dane z prędkością 9600 bodów, bez bitów parzystości i z jednym bitem stopu. Od strony radiowej natomiast układ wspiera Bluetooth w standardzie 2.0 *Enhanced Data Rate,* co bez problemu pozwoli połączyć się z każdym współczesnym telefonem.

## Interfejs HDMI

HDMI, czyli *High Definition Multimedia Interface*, jest to standard audio/wideo, pozwalający łączyć m.in. takie urządzenia, jak konsole gier, kamery, tablety, komputery osobiste i telewizory cyfrowe.

Standard HDMI wspiera przesyłanie zarówno dźwięku, jak i obrazu, jednakże projekt nie zakłada generowania dźwięków w grze. Z tego powodu analiza standardu HDMI pominęła całkowicie sposób przesyłania danych audio, ponadto zdecydowano się na użycie standardu DVI, który jest w pełni kompatybilny z HDMI, ponieważ generowanie sygnałów sterujących do nadajnika DVI jest znacznie uproszczone w stosunku do HDMI. W standardzie DVI występują dwa typy przesyłanych danych: dane kontrolne i dane wideo, podczas gdy w HDMI są to: dane kontrolne, dane wideo i dane audio. Różnica w generowaniu sygnałów sterujących opiera się na tym, że HDMI wymaga, aby dane wideo i dane audio były poprzedzane odpowiednimi preambułami oraz okresami ochronnymi, podczas gdy DVI tego nie wymaga. Transmisja danych poprzez łącze DVI opiera się na przesyłaniu 24-bitowych danych, składających się na każdy piksel, poprzez łącze TMDS (ang. *Transition Minimized Differential Signaling*). Transfer danych wizualnych można podzielić na następujące kroki:

1. Podział 24-bitowych danych na trzy 8-bitowe części odpowiadające kolorom składowym piksela, tj. niebieski, zielony i czerwony.
2. Zakodowanie 8-bitowych składowych zgodnie z algorytmem kodowania TMDS (**rysunek 5**), które polega na zakodowaniu 8-bitowych danych w 10-bitowych symbolach

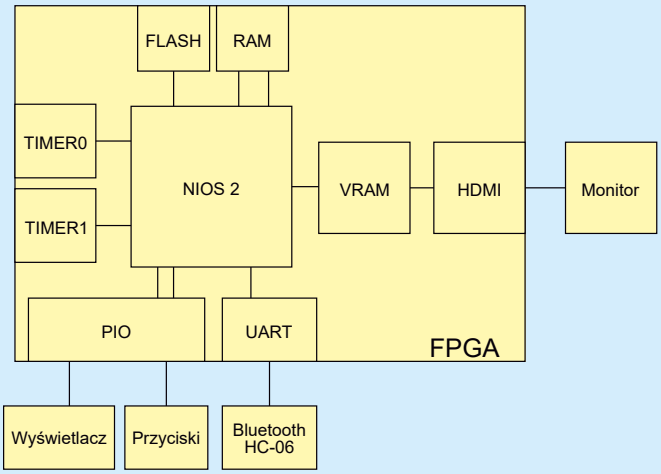



**Rysunek 5. Schemat łącza DVI**

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833




**Rysunek 6. Szczegółowa wersja schematu blokowego systemu**

ze zminimalizowaną liczbą przejść, z 0 na 1 i odwrotnie, między kolejnymi bitami symbolu. Dodatkowo kodowanie TMDS zapewnia w pewnym stopniu eliminację składowej stałej z łącza.

3. Wysłanie zakodowanych danych przez oddzielne kanały szeregowo w sposób różnicowy. Każdy kolor jest przesyłany przez jeden kanał, czwartym kanałem (oznaczonym jako Channel C) przesyłany jest sygnał zegarowy, którego częstotliwość odpowiada częstotliwości, z jaką przesyłane są kolejne piksele.

## Aplikacja na telefon z systemem Android

Na potrzeby projektu zdecydowano się na napisanie aplikacji na telefon z systemem Android, pozwalającej na sterowanie grą z wykorzystaniem akcelerometru. Aplikacja została napisana w języku Java, bazując równocześnie na bibliotece i przykładzie aplikacji przygotowanej przez Macro Yau, który udostępnia w Internecie przykładową aplikację, na licencji MIT, umożliwiającą nawiązanie połączenia z modułem Bluetooth HC-06 i wysyłanie danych. Konieczne więc było dodanie obsługi przycisków oraz akcelerometru, aby zrealizować założony sposób sterowania.

## Implementacja w układzie FPGA

Przed przystąpieniem do implementacji gry przeanalizowano zasoby układu FPGA pod kątem wymagań stawianych w pracy i wysnuto następujące wnioski:

1. W projekcie zostanie wykorzystany procesor Nios II w wersji ekonomicznej, ponieważ został on zaprojektowany w sposób pozwalający maksymalnie zredukować zasoby użyte do jego implementacji.
2. Procesor będzie oddzielony od modułu obsługującego wyjście HDMI dwuportową pamięcią RAM, pełniącą funkcję bufora, ponieważ procesor nie byłby w stanie generować danych do wyświetlania z prędkością wymaganą przez HDMI.
3. Ze względu na małą pojemność wewnętrznej pamięci RAM zdecydowano się na wyświetlanie obrazu w rozdzielczości 640×480 i czarno-białych barwach, przez co bufor zajmie zaledwie 307,2 kb.
4. Pozostała pamięć RAM zostanie przeznaczona na pamięć danych, a pamięć programu zostanie ulokowana w pamięci Flash.
5. Obsługą wyświetlacza siedmiosegmentowego zajmie się procesor. Obsługa programowa wyświetlacza będzie dużo prostsza w implementacji niż obsługa sprzętowa, zrealizowana w logice układu.

Na podstawie powyższych wniosków stworzono schemat blokowy implementowanego układu, przedstawiony na **rysunku 6**. Układ ten realizuje założone funkcjonalności takie jak obsługa przycisków i wyświetlacza (moduł oznaczony PIO z ang. *Parallel Input/Output*), komunikacja przez UART z modułem HC-06, przekazywanie danych do wyświetlenia poprzez bufor oznaczony VRAM (ang. *Video RAM*).

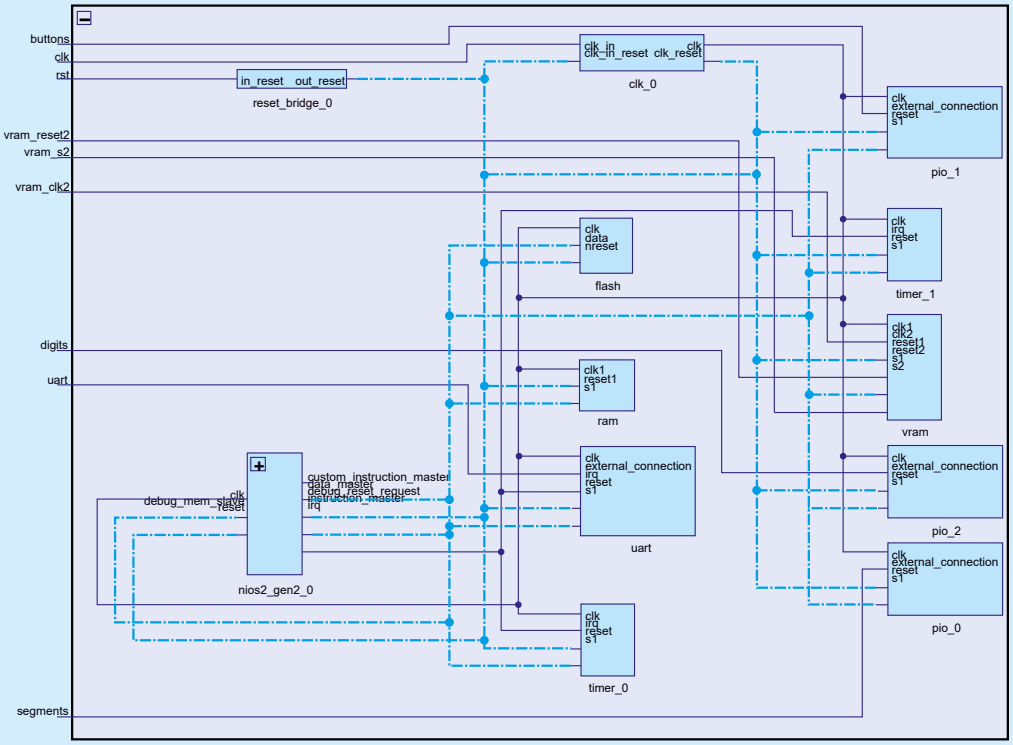
Ponadto pamięć programu została umieszczona w pamięci Flash, a pamięć danych w pamięci RAM. Dodatkowo zostały dodane dwa liczniki (oznaczone jako timer0 i timer1). Pierwszy licznik jest odpowiedzialnych za generowanie przerwań, o okresie 1 ms, służących do mierzenia upływu czasu. Drugi licznik generuje przerwania odpowiedzialne za sterowanie wyświetlaczem.

Realizacja układu przebiegała w kilku etapach:

1. Pierwszy etap polegał na implementacji procesora Nios II oraz jego peryferiów z gotowych modułów udostępnionych przez firmę Intel.
2. Drugi etap skupiał się na stworzeniu modułu obsługującego wyjście HDMI za pomocą języku opisu sprzętu VHDL.
3. W ostatnim etapie miało miejsce połączenie wspomnianych wcześniej modułów i przetestowanie ich działania.

## Implementacja procesora i peryferiów

Implementację procesora i peryferiów wykonano za pomocą narzędzia Qsys Integration Tool dostępnego w oprogramowaniu Quartus




**Rysunek 7. Schemat procesora i peryferiów**

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833

**Tabela 1. Opis portów serializatora**

| Nazwa portu | Kierunek | Szerokość [bit] | Funkcja |
|---|---|---|---|
| rst | wejście | 1 | Sygnał reset |
| clk | wejście | 1 | Sygnał zegarowy |
| ce | wejście | 1 | Sygnał bramkujący zegar |
| data_in | wejście | 10 | Magistrala danych wejściowych |
| data_out_p | wyjście | 1 | Wyjście danych niezanegowane |
| data_out_n | wyjście | 1 | Wyjście danych zanegowane |

Prime. Narzędzie to pozwala na budowę systemu wbudowanego, bez konieczności znajomości języków opisu sprzętu, wystarczy jedynie wiedza z zakresu elektroniki cyfrowej oraz doświadczenie w pracy z mikrokontrolerami. W oparciu o gotowe bloki, tzw. IP-core (ang. *Intellectual Property core*), które są dość elastyczne pod względem konfiguracji, można zbudować dowolny system ograniczony ich funkcjonalnością i zasobami układu FPGA.

Podczas realizacji układu z wykorzystaniem narzędzia Qsys napotkano problem, który polegał na tym, że gotowych modułów pamięci RAM, współpracujących z procesorem, nie dało się skonfigurować tak, aby magistrala danych miała szerokość 9 bądź 36 bitów. Powodowało to, że nie były wykorzystywane całe bloki pamięci, lecz ich część. Problem ten spowodował, że zdecydowano się na 32-bitową magistralę danych oraz redukcję ilości pamięci przeznaczonej na bufor obrazu do 294,4 kb.

Zaproponowana pojemność pamięci jest w stanie obsłużyć rozdzielczość 640×460. Brakujące 20 linii wymagane do rozdzielczości 640×480 będzie reprezentowane jako czarny pas u dołu ekranu, generowany bezpośrednio przez moduł HDMI.

Ponadto należało zredukować także ilość pamięci danych programu do 2 kB. Tak zmodyfikowany układ poprawnie się syntezował i zużywał 41 z 42 bloków pamięci oraz 2196 elementów logicznych. Rezultat tego zadania przedstawiono na **rysunku 7**. Względem schematu blokowego dodano blok *reset_bridge_0* odpowiedzialny za wprowadzenie zewnętrznego sygnału reset do układu oraz blok *clk_0*, którego funkcją jest zapewnienie sygnału zegarowego.

Występuje także różnica w liczbie modułów PIO. Na planowanym schemacie był jeden obsługujący zarówno wyświetlacz, jak i przyciski, w implementacji zdecydowano się jednak wykorzystać trzy moduły:

- pio_1 obsługuje tylko wejścia, tj. przyciski,
- pio_0 obsługuje wyjścia odpowiedzialne za sterowanie segmentami wyświetlacza,
- pio_2 obsługuje wyjścia odpowiedzialne za sterowanie katodami cyfr wyświetlacza.

## Implementacja modułu HDMI

Realizacja modułu HDMI opierała się w całości na wykorzystaniu języka VHDL, bazując na dokumentacji standardu HDMI i DVI. Na podstawie dokumentacji zrealizowano schemat blokowy z **rysunku 8**.

Przedstawiony schemat jest uproszczony, ma on jedynie zobrazować ideę działania modułu, która opiera się na tym, że 32-bitowe dane są pobierane z pamięci VRAM i podawane do multipleksera, który z kolei wyciąga z nich pojedynczy bit w zależności od adresu. Następnie wybrany bit jest podawany do filtra adresów, którego zadaniem jest sprawdzenie, czy adres tego bitu należy do piksela znajdującego się w 20 dolnych liniach ekranu. Jeżeli piksel znajduje się w 20 dolnych liniach ekranu, to filtr przekazuje na swoje wyjście wartość 0, ponieważ wtedy bit wejściowy na pewno jest niepoprawny, gdyż pamięć VRAM obsługuje 460 górnych linii ekranu. W pozostałych przypadkach filtr przekazuje bit wejściowy na wyjście.

W kolejnym kroku bit danych z filtru jest przekazywany do enkoderów TMDS jako cała magistrala przyjmująca wartość `00000000` lub `11111111`, a następnie kodowany i podawany do serializatorów. Zadaniem serializatorów jest pobieranie danych w sposób równoległy, a następnie ich przesłanie w sposób szeregowy, z zastosowaniem wyższej częstotliwości zegarowej. Dodatkowo wyjście serializatorów jest sterowane w sposób różnicowy.

## Serializator

Zadaniem serializatora jest pobieranie 10-bitowych symboli wysyłanych przez enkoder TMDS i przesłanie ich w sposób szeregowy, zaczynając od najmłodszego bitu, wyjściem różnicowym.

Moduł został zrealizowany jako układ synchroniczny z resetem asynchronicznym i wyjściem różnicowym. Działanie układu opiera się na wewnętrznym liczniku modulo 10, dzięki któremu co 10 taktów zegara 10-bitowe dane wejściowe są pobierane, a następnie wysyłane bit po bicie, zaczynając od najmłodszego. W związku z tym, że układ pobiera dane co 10 taktów, ważne jest, by zapewnić mu sygnał zegarowy o częstotliwości 10 razy większej niż ta, z którą pracuje enkoder TMDS. W **tabeli 1** opisano pokrótce wszystkie porty serializatora, gdzie *data_out_p* oraz *data_out_n* stanowią parę różnicową.

## Enkoder TMDS

Zadaniem enkodera TMDS jest kodowanie danych wejściowych w 10-bitowych symbolach, które w zależności od tego, czy są zakodowanymi danymi kontrolnymi czy wideo, mają odpowiednio zmaksymalizowaną bądź zminimalizowaną liczbę przejść między kolejnymi bitami.

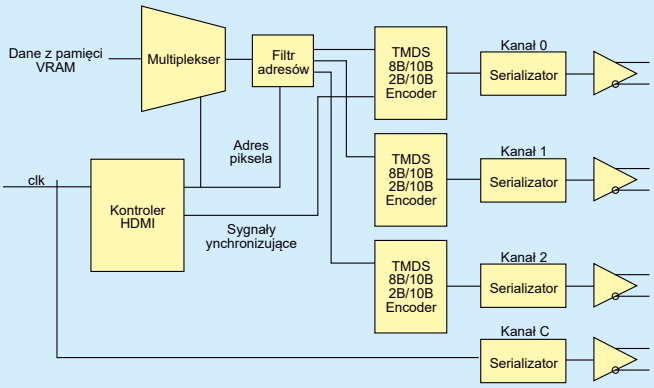
Działanie układu opiera się w całości na informacjach zawartych w dokumentacji, tj. jeżeli sygnał *de* (ang. *data enable*) jest aktywny, moduł koduje dane wideo podane na wejście *data_in*, a jeżeli jest nieaktywny, moduł wystawia na wyjście sygnał kontrolny zależny od stanu 2-bitowego wejścia c1c0.

Kodowanie danych wideo opiera się na odpowiednim wykonaniu operacji bitowej XOR lub XNOR na danych wideo, w zależności od liczby „1" w tych danych. Następnie do tak zakodowanych danych dodawany jest 9 bit zależny od wybranej operacji bitowej oraz bit 10, oznaczający, czy dane zostały dodatkowo zanegowane. Zanegowanie danych zależy od wyliczonej przez układ parzystości zapewniającej eliminację składowej stałej w łączu.

W **tabeli 2** przedstawiono opis portów zrealizowanego na podstawie dokumentacji modułu.

## Kontroler HDMI

Zadaniem kontrolera HDMI jest sterowanie pobieraniem danych z pamięci VRAM oraz generowanie sygnałów sterujących enkoderami TMDS, tak aby wysyłały one dane zgodnie ze standardem,




**Rysunek 8. Schemat blokowy modułu HDMI**

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl

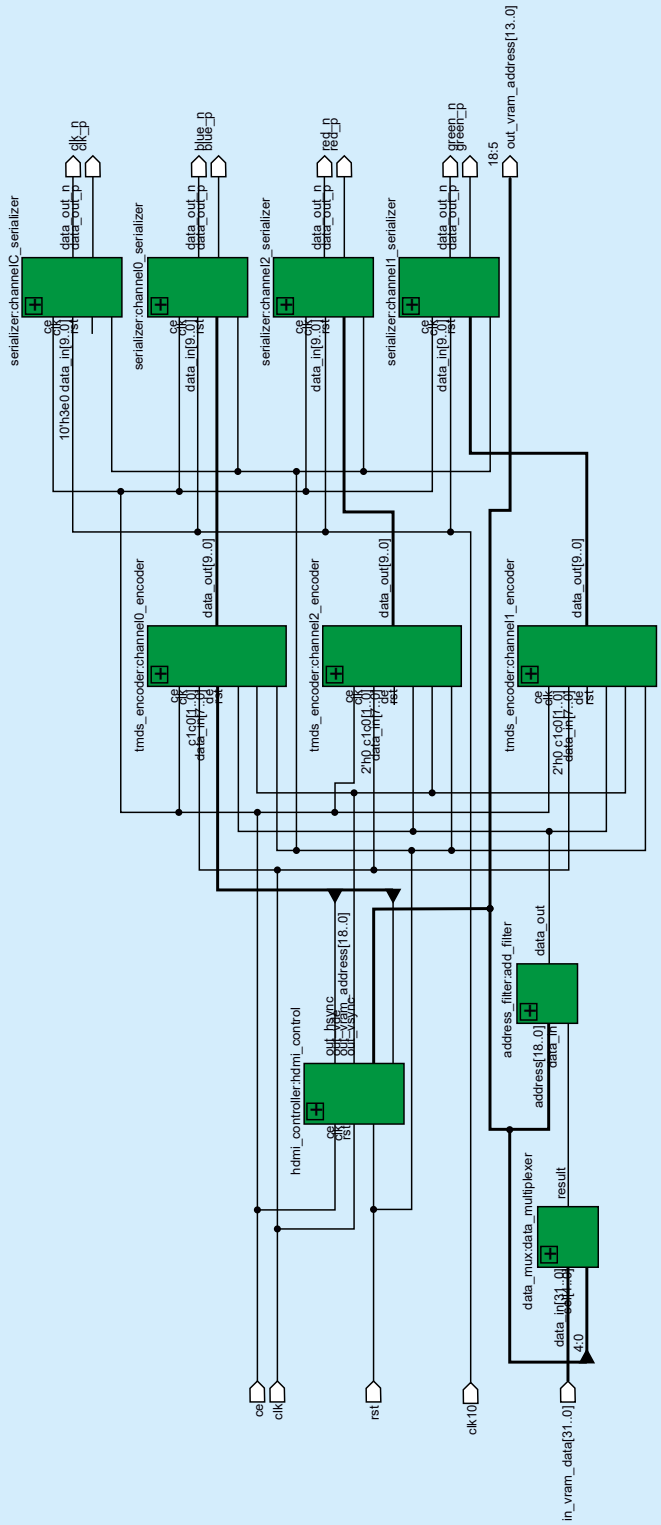


eprasa.pl 4d9608b833

dzięki czemu odbiornik HDMI w postaci monitora będzie w stanie je poprawnie odebrać.

Działanie kontrolera opiera się na dwóch wewnętrznych licznikach, z których jeden odpowiada za liczenie pikseli w linii, a drugi za liczenie linii. Na podstawie dokumentacji standardu CEA-861-E dla odpowiednich wartości liczników są generowane sygnały synchronizacji pionowej i poziomej oraz sygnał *vde* (ang. *Video Data Enable*). Dodatkowo układ na podstawie wartości liczników generuje adres, który odpowiada za pobranie danych dotyczących aktualnie wyświetlanego piksela.

W **tabeli 3** przedstawiono opis portów zrealizowanego układu.




**Rysunek 9. Złożony moduł HDMI**

## Multiplekser i filtr danych

Zadaniem multipleksera i filtru danych jest przetworzenie danych odebranych z pamięci VRAM w zależności od aktualnego adresu generowanego przez kontroler HDMI.

Działanie multipleksera polega na przekazaniu na wyjście jednego z 32 bitów, przekazanych przez pamięć VRAM, w zależności od sygnału sterującego, którym jest 5 najmłodszych bitów z magistrali adresowej wychodzącej z kontrolera HDMI. W **tabeli 4** przedstawiono opis portów zrealizowanego układu.

Działanie filtru danych polega na filtracji danych otrzymanych z multipleksera poprzez porównanie adresu otrzymanego na wejściu

**Tabela 2. Opis portów enkodera TMDS**

| Nazwa portu | Kierunek | Szerokość [bit] | Funkcja |
|---|---|---|---|
| rst | wejście | 1 | Sygnał reset |
| clk | wejście | 1 | Sygnał zegarowy |
| ce | wejście | 1 | Sygnał bramkujący zegar |
| de | wejście | 1 | Sygnał sterujący typem wysyłanych danych |
| c1c0 | wejście | 2 | Magistrala danych kontrolnych |
| data_in | wejście | 8 | Magistrala danych wideo |
| data_out | wyjście | 10 | Magistrala zakodowanych danych wyjściowych |

**Tabela 3. Opis portów kontrolera HDMI**

| Nazwa portu | Kierunek | Szerokość [bit] | Funkcja |
|---|---|---|---|
| rst | wejście | 1 | Sygnał reset |
| clk | wejście | 1 | Sygnał zegarowy |
| ce | wejście | 1 | Sygnał bramkujący zegar |
| out_vde | wyjście | 1 | Sygnał sterujący typem wysyłanych danych |
| out_hsync | wyjście | 1 | Sygnał synchronizacji poziomej |
| out_vsyns | wyjście | 1 | Sygnał synchronizacji pionowej |
| out_vram_address | wyjście | 19 | Magistrala adresowa dla pamięci VRAM |

**Tabela 4. Opis portów multipleksera**

| Nazwa portu | Kierunek | Szerokość [bit] | Funkcja |
|---|---|---|---|
| data_in | wejście | 32 | Wejściowa magistrala danych |
| sel | wejście | 5 | Sygnał sterujący wyborem bitu |
| result | wyjście | 1 | Wybrany bit |

**Tabela 5. Opis portów multipleksera**

| Nazwa portu | Kierunek | Szerokość [bit] | Funkcja |
|---|---|---|---|
| data_in | wejście | 1 | Dane aktualnego piksela |
| addres | wejście | 19 | Adres aktualnego piksela |
| data_out | wyjście | 1 | Dane wyjśćiowe |

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833

**Tabela 6. Opis portów modułu HDMI**

| Nazwa portu | Kierunek | Szerokość [bit] | Funkcja |
|---|---|---|---|
| rst | wejście | 1 | Sygnał reset |
| clk | wejście | 1 | Sygnał zegarowy dla kontrolera i enkoderów |
| clk10 | wejście | 1 | Sygnał zegarowy dla serializatorów |
| in_vram_data | wejście | 32 | Magistrala danych z pamięci VRAM |
| out_vram_address | wyjście | 14 | Magistrala adresowa podłączona do pamięci VRAM |
| clk_n clk_p | wyjście | 1 | Wyjście różnicowe sygnału zegarowego |
| blue_n blue_p | wyjście | 1 | Wyjście różnicowe kanału koloru niebieskiego |
| green_n green_p | wyjście | 1 | Wyjście różnicowe kanału koloru zielonego |
| red_n red_p | wyjście | 1 | Wyjście różnicowe kanału koloru czerwonego |

piksela z adresem ostatniego piksela w linii 460. Jeżeli wejściowy adres jest mniejszy, to na wyjście przekazywane są dane wejściowe, jeżeli nie, to na wyjście wystawiane jest 0.

W **tabeli 5** przedstawiono opis portów zrealizowanego układu.

## Połączenie wszystkich elementów HDMI

Przedostatnim krokiem przed złożeniem całego układu było połączenie wszystkich elementów składających się na nadajnik HDMI. Na **rysunku 9** przedstawiono efekt końcowy tego zadania. Zgodnie z założeniami układ składa się z trzech kanałów przesyłających dane oraz kanału z sygnałem zegarowym.

Wszystkie cztery serializatory są taktowane wspólnym sygnałem zegarowym o częstotliwości 10 razy większej niż częstotliwość enkoderów. Dodatkowo mają wspólne sygnały *rst* i *ce*, aby zapewnić synchronizację wysyłanych przez nie danych. Serializator z kanału zegarowego w odróżnieniu od pozostałych nie pobiera danych z enkodera, zamiast tego na jego wejście danych podana jest stała wartość 1111100000, dzięki czemu wyjściowy sygnał zegarowy jest zsynchronizowany z danymi wyjściowymi oraz ma częstotliwość równą częstotliwości wysyłania pikseli.

Ponieważ wyświetlany obraz jest czarno-biały, wszystkie enkodery otrzymują takie same wejściowe dane wideo, jednakże w przypadku sygnałów kontrolnych kanał niebieski otrzymuje na wejście sygnały synchronizacji pionowej i poziomej, pozostałe natomiast otrzymują stałą wartość 00.

W **tabeli 6** zawarto opis funkcji portów wykonanego modułu.

**Wojciech Caputa**

REKLAMA

AVTZASILACZ Regulowany zasilacz uniwersalny 1,2...13,5 V/1 A

AVTZASILACZ to rozszerzona aplikacja układu LM338. Zasilany bezpiecznym napięciem z przeznaczeniem do wszelkich prac w warsztacie, szkole, czy domowym laboratorium.
Zasilanie: 15 V, napięcie wyjściowe regulowane: 1,2...13,5 V, maksymalny prąd wyjściowy 1,2 A.
Wyposażony został w dwa podświetlane mierniki: prądu (CURRENT) i napięcia (VOLTAGE).
Dostarczany w komplecie z zasilaczem wtyczkowym, obudową oraz panelem frontowym.

AVT sklep
sklep.avt.pl
AVT-Korporacja Sp. z o.o. 03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Dział Handlowy tel.: 222 578 450 e-mail: handlowy@avt.pl

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl



eprasa.pl 4d9608b833

Ogłoszenia i reklamy hurtowni, sklepów, importerów, producentów, dealerów, itp. są płatne. Cena podstawowego modułu (35×20 mm) wynosi 66 zł + VAT. Koszt minimalnej ramki dla ogłoszeń o wielkości 3 modułów wynosi 198 zł + VAT. Moduły można łączyć zarówno w pionie jak i w poziomie. Maksymalna szerokość ogłoszenia to 5 modułów, wysokość 12 modułów. Rabaty stosujemy wyłącznie dla reklam powyżej 8 modułów: 4-6 emisji 10%, 7-11 emisji 15% i od 12 emisji 25%.

**Oferta specjalna:**

• publikacja fragmentów cennika w ramce o wielkości: 8 modułów w pionie cena 264 zł + VAT, 9 modułów w poziomie 305 zł + VAT

• rabat specjalny dla firm poszukujących pracowników wynosi 25% (wyłącznie dla dużych reklam).

Wszelkich informacji udziela **Grzegorz Krzykawski**, **tel. 22 257 84 60**, e-mail: **grzegorz.krzykawski@ep.com.pl**.

Reklamy do tej rubryki mogą być przygotowane przez Zamawiającego w CMYK, w formacie CDR (wersja do 2018), AI, EPS (tekst zmieniony na krzywe), PSD, PDF (programy Adobe w wersji do CC 2019 włącznie PC/Mac) z próbnym wydrukiem. Małe reklamy mogą być przygotowane w redakcji (gratis) na podstawie odręcznego szkicu. Opracowania te nie będą jednak wówczas uzgadniane z Zamawiającym przed oddaniem do druku.

Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczonych w Elektronice Praktycznej


Hurtownia elementów elektronicznych "AKSOTRONIK" zaprasza do swojego sklepu internetowego
Zaloguj się i kupuj ON-LINE na naszej stronie:
WWW.AKSOTRONIK.COM.PL
Woltomierze LED AC oraz DC Cena od 7,50 PLN
Przetwornica Step-Down LM2596 3,40 PLN
Moduł WIFI do Arduino 16,60 PLN
Elektromagnesy 6V oraz 12V Cena od 15,90 PLN
Kable do płytek stykowych Cena od 1,30 PLN
Czujniki indukcyjne Cena od 7 PLN
Aksotronik
ELEMENTY ELEKTRONICZNE
WWW.AKSOTRONIK.COM.PL
Anteny WIFI oraz GSM Cena od 2,80 PLN
Silniki krokowe 200 oraz 400 kroków Cena od 30 PLN
Moduł bluetooth HC05 do Arduino Cena 20 PLN
Moduły z przekaźnikiem Cena od 3,60 PLN
Żarówki LED do samochodu Cena od 1,60 PLN
Uwaga!!! Powyższe ceny dotyczą zakupów minimalnych ilości hurtowych, poprzez nasz sklep internetowy.
W swojej ofercie posiadamy m.in: półprzewodniki (diody, układy scalone, tranzystory, triaki, elementy optoelektroniczne), elementy dystansowe, złącza, przełączniki, elementy akustyczne, rezystory, kondensatory, kwarce, podstawki, moduły Arduino.
Zapraszamy do kontaktu: INFO@aksotronik.com.pl, tel: (22) 783-20-51

www.delta.poznan.pl

Wielkość matrycy: 2,1 Mpx (Sony IMX290)
Obiektyw: 2,8 - 12 mm (kąt widzenia 85° - 23°)
Rozdzielczość: 1920 x 1080 (1080p)
Zasięg oświetlacza IR: 60 m
Protokoły sieciowe: TCP/IP, NTP, HTTP, ONVIF 2.4
PoE 802.3af, Klasa szczelności IP66
3D-DNR, WDR, detekcja ruchu, H.265 / H265+
Aplikacje dla: Android, iOS
Bardzo dobra jakość w jeszcze lepszej cenie
➤APTI-250C61-2812WP

Wielkość matrycy: 2,1 Mpx (przetwornik 1/2.9")
Obiektyw: 3.6 mm (kąt widzenia 69°)
Rozdzielczość: 1920 x 1080 (1080p)
Przepływność (bitrate): 64 ... 12000 kbit/s
Protokoły sieciowe: TCP/IP, NTP, HTTP, ONVIF 2.4
PoE 802.3af, Klasa szczelności IP66
3D-DNR, WDR, detekcja ruchu, H.265 / H265+
Aplikacje dla: Android, iOS
Bardzo dobry stosunek jakości do ceny
➤APTI-201D2-36WP

Wielkość matrycy: 4.0 Mpx (przetwornik 1/2.5")
Obiektyw: 2,8 - 12 mm (kąt widzenia 81° - 23°)
Rozdzielczość: 2560 x 1440
Obsługa audio - zewnętrzny mikrofon
Protokoły sieciowe: TCP/IP, NTP, HTTP, ONVIF 2.4
PoE 802.3af, Klasa szczelności IP66, H.265
3D-DNR, F-DNR (Defog), WDR, detekcja ruchu,
Aplikacje dla: Android, iOS
Wysoka rozdzielczość dostępna w atrakcyjnej cenie
➤APTI-41VA3-2812WP
Największy wybór w Polsce

Frezarka cnc
Do prac mechanicznych w elektronice
Zrób sam Podzespoły: Zrób sam
mechaniczne, elektroniczne, oprogramowanie
www.pyffel.com.pl
Tel.(075)732-47-00

RACK i Eurocarta 19" Wyposażenie szaf 19"
www.obudowa.pl
Producent obudów dla elektroniki tel. 032-230-2301

KITy AVT

http://bit.ly/2FNvrIN

www.ep.com.pl

ELMAX 1988
OBWODY DRUKOWANE
Produkcja, Projektowanie, Montaż
Certyfikat Underwriters Laboratories
94V-0 E48014 TYPE 1
Płytki jednostronne
Płytki dwustronne
Płytki na podłożu aluminium
Płyty czołowe FR4
Serie dowolne
Prototypy
Maksymalny wymiar płytek 1w 630 mm
Zakład produkcyjny:
05-260 Marki
ul. Duża 1
tel. 22 781 63 95
22 761 95 80
fax. 22 781 63 95 w 23
www.elmax.waw.pl
elmax@elmax.waw.pl
Dokumentacja technologiczna
Dokumentacja konstrukcyjna
Trawione szablony SMD
Montaż elektroniki
Krótkie terminy
Wykonania super expresowe
Aktywny kalkulator prototypów na stronie internetowej
Pokrycie Sn lub SnPb inne na życzenie
Maski, opisy montażowe w różnych kolorach


NINIEJSZE OGŁOSZENIA SĄ INFORMACJĄ HANDLOWĄ I NIE STANOWIĄ OFERTY W MYŚL ART. 66 § 1 KODEKSU CYWILNEGO. EWENTUALNIE PODANE CENY MOGĄ ULEC ZMIANIE.
eprasa.pl 4039608833

# Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 8/2019

Kolejne gigabajty narzędzi niezbędnych do pracy konstruktora, czyli NIEZBĘDNIK ELEKTRONIKA na DVD. **Tylko dla prenumeratorów EP**

W sierpniowym numerze tradycyjnie mnóstwo fantastycznych

# MINIPROJEKTÓW

a poza tym:

**Warsztat konstruktora robotów i modeli – TEMAT NUMERU**
Przegląd zestawów do budowy domowych maszyn CNC.

**Obudowy i klawiatury – WYBÓR KONSTRUKTORA**
Rodzaje obudów, obudowy indywidualizowane, obudowy na zamówienie, klawiatury i fronty, współpraca z dostawcą obudów.

**Kamera termiczna na bazie Raspberry Pi**
Obrazowanie rozkładu temperatury – termografia – znajduje zastosowanie w różnych dziedzinach przemysłu, nauki czy medycyny. Urządzenia do obrazowania w podczerwieni są zazwyczaj bardzo drogie. Pokażemy jak zbudować urządzenie tego typu i skorzystać z tej technologii.

**Przełącznik zasilania dla komputerów jednopłytkowych**
Jedno źródło zasilania nie gwarantuje nieprzerwanej pracy urządzeń. Zanik zasilania nie tylko unieruchomi urządzenie ale może też przyczynić się do awarii. Problem taki dotyczy komputerów jednopłytkowych, pracujących pod kontrolą systemów operacyjnych, gdzie zanik zasilania może uszkodzić system plików. Warto zaopatrzyć się w układ, który oprócz automatycznego przełączenia źródła zasilania, zapewni także zabezpieczenia pod i nad napięciowe oraz poinformuje o aktywnym źródle zasilania.

**Przedwzmacniacz liniowy dla wkładki MC**
Dla każdego posiadacza gramofonu naturalnym kierunkiem rozwoju no i oczywiście zaspokojenia ciekawości w drodze do lepszego dźwięku, jest przejście z wkładki MM (ruchomy magnes) na wkładkę MC (ruchoma cewka). Układ przedwzmacniacza pozwala wzmocnić sygnał oraz dopasować obciążenie do nowej wkładki.

**Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze Elektroniki Praktycznej**

**Reklamy stron internetowych na str. 8**


AKSOTRONIK ..... 141
ARMEL ..... 141
BORNICO ..... 6
COMPUTER CONTROLS ..... 29
CONRAD ELECTRONIC ..... 2, 76
DACPOL ..... 112
DELTA-OPTI ..... 141
ELMAX ..... 141
FARNELL ..... 144
FERYSTER ..... 8
FINDER ..... 110
GAMMA ..... 8
HAMMOND ..... 11
ICAPE ..... 13
IFM ELCETRONIC ..... 88, 89
MICROCHIP ..... 7
MICRODIS ..... 83, 86
MICROS ..... 111
PIEKARZ ..... 8
PYFFEL ..... 141
RELPOL ..... 105, 109
RENEX ..... 8
ST MICROELECTRONICS ..... 5, 39, 43, 47, 51




eprasa.pl 4d9608b833

# AVT 5599 Zdalnie sterowany włącznik 4-kanałowy

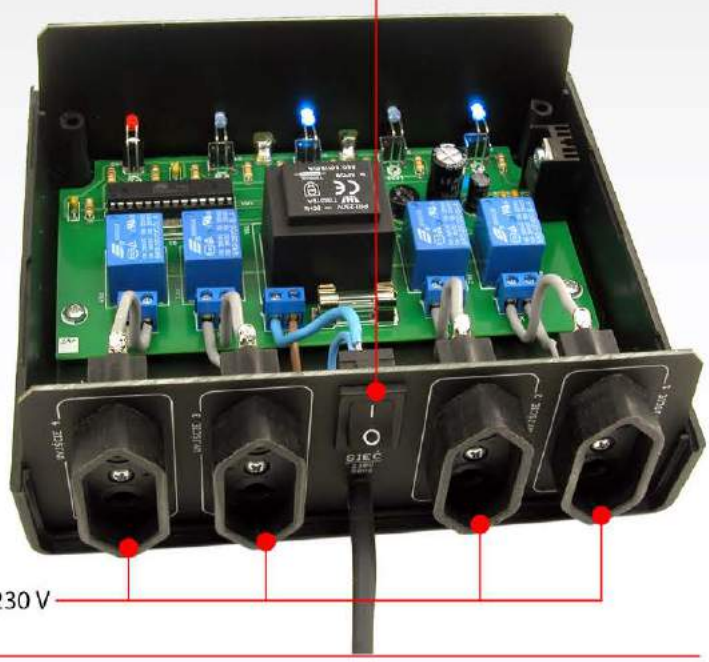
Urządzenie umożliwia zdalne włączanie/wyłączanie czterech urządzeń przy pomocy typowych pilotów na podczerwień do sprzętu powszechnego użytku. Jego niewątpliwym atutem jest możliwość współpracy praktycznie z dowolnym pilotem na podczerwień, a procedura nauki kodów pilota sprowadza się do kilku łatwych czynności.

przyciski bezpośredniego przełączania wyjść

odbiornik podczerwieni

wymiary obudowy: 149×130×50 mm

włącznik zasilania



wyjścia 230 V

Kod handlowy:
AVT5599

sklep.avt.pl

AVT-Korporacja Sp. z o.o. 03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Dział Handlowy tel.: 222 578 450 e-mail: handlowy@avt.pl

eprasa.pl 4d9608b833

Farnell®
AN AVNET COMPANY

# Letni konkurs od Farnell

## Zagraj w łatwą grę
## Atrakcyjne nagrody do wygrania!

NAGRODA GŁÓWNA
**Hulajnoga elektryczna Xiaomi**

NAGRODA MIESIĄCA
Amazon Kindle Paperwhite 4 32GB IPX20

DODATKOWE NAGRODY
4 x DECATHLON voucher 100 PLN

*Konkurs trwa od 01.07.2019 do 28.07.2019

Wejdź na:
**extra.farnell.com**

TE connectivity AUTHORIZED DISTRIBUTOR · XILINX ALL PROGRAMMABLE. · ROHM SEMICONDUCTOR · TRINAMIC · NXP · maxim integrated · PHOENIX CONTACT · HAMMOND MANUFACTURING · CAMDENBOSS CONNECT. ENCLOSE. INNOVATE. · BROADCOM · Schneider Electric · FLUKE · KEYSIGHT TECHNOLOGIES · TENMA · pico Technology · OMRON · AlphaWire Cables you trust. Service you deserve. · Tektronix · ROHDE&SCHWARZ

**Nie trać czasu, konkurs trwa tylko do 28 Lipca!**

eprasa.pl 4d9608b833