MODUŁY WI-FI DLA IoT

www.ep.com.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA +FTP

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● Maj ● 5/2021 ●

EP W TOKU NA EP.COM.PL

tylko Prenumeratorzy

mają dostęp do artykułów przed ich publikacją w EP

OD PROJEKTU DO PRODUKTU

TEMAT NUMERU

inspirujące, użyteczne projekty

sUPDI – programator UPDI do mikrokontrolerów AVR • Cyfrowy stereofoniczny mikrofon z procesorem DSP • Przełącznik o regulowanej sile zadziałania • Minizasilacz do płytek stykowych • Płytka bazowa dla Raspberry Pi Pico • Multisensor THPI – czujnik parametrów otoczenia z interfejsem I²C • Rozpoznawanie głosu z użyciem Arduino • Skaner przezroczy na Raspberry Pi

podzespoły, sprzęt, aplikacje

Monitorowanie poziomu CO2 w pomieszczeniach. Najmniejsze na świecie selektywne czujniki stężenia CO_2 w powietrzu • Nowe podzespoły od Microchip • Wyświetlacze dla IoT • Moduły Wi-Fi dla IoT • Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE. Przegląd układów AFE do akwizycji sygnałów bioelektrycznych • Interfejsy REST-owe w hobbystycznych systemach wbudowanych. Arduino + REST API = Internet Rzeczy

tutoriale

Świadomość producenta. Co należy wiedzieć o wprowadzaniu urządzenia elektronicznego na rynek • Normy, czyli inżynierowie inżynierom • Obrazowanie termiczne może przerwać łańcuch infekcji • OpenSTLinux dla procesorów z rodziny STM32MP1 • Projektowanie interfejsów graficznych z użyciem TouchGFX • Symulacja i pomiar czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora. Analiza widmowa z zastosowaniem transformacji Fouriera

kursy

Systemy dla Internetu Rzeczy. Bluetooth LE Audio • Eksperymenty z FPGA. Monitor interfejsu VGA

18,90 zł (w tym 8% VAT) • PRICE: 8 EUR

ISSN 1230-3526 Indeks 357677

9 771230 352214 05 >

Zaprenumeruj Elektronikę Praktyczną, a zawsze dostaniesz najnowszy numer wprost do Twojej skrzynki!

na start do 6* wydań gratis

po 5 latach nieprzerwanej prenumeraty do 12* wydań gratis

* Cena prenumeraty rocznej **na start** wynosi 207,90 zł. Przy zamówieniu prenumeraty dwuletniej za 340,20 zł oszczędność wynosi równowartość sześciu wydań Elektroniki Praktycznej.
Przedłużasz prenumeratę? Aby otrzymać zniżkę lojalnościową, przedłuż prenumeratę po zalogowaniu się do swojego panelu na **www.avt.pl**, gdzie znajdziesz atrakcyjną ofertę prenumeraty, która uwzględnia przysługujące Ci zniżki za lojalność.
Po 5 latach nieprzerwanej prenumeraty otrzymasz **rabat 50%** na prenumeratę dwuletnią.
Oferta dotyczy prenumeraty drukowanej.

PREZENT
do każdej opłaconej prenumeraty

Każdorazowo opłacenie prenumeraty jest premiowane prezentem. W tym numerze do wyboru mamy: koszulkę z logo Elektroniki Praktycznej (rozmiary L, XL) lub płytę muzyczną.
Zgłoś się po prezent mailowo – prenumerata@avt.pl.

Wszystkie opcje prenumeraty i e-prenumeraty znajdziesz na stronie
www.UlubionyKiosk.pl

prenumerata@avt.pl
AVT-Korporacja sp. z o.o., ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, konto 18 1050 1012 1000 0024 3173 1013

eprasa.pl ad39d4d9f3

Pogoda i Wi-Fi

Prognozowanie pogody jest bardzo złożonym procesem, który łączy osiągnięcia wielu dziedzin techniki, a zwłaszcza elektroniki. W Polsce działa system 8 radarów meteorologicznych – POLRAD. Urządzenia te wykrywają i określają położenie obiektów meteorologicznych w troposferze przy użyciu fal radiowych. Dzięki uzyskanym danym możliwe jest wykrycie opadów, chmur, burz oraz innych zjawisk atmosferycznych. Ich ogromną zaletą jest to, że umożliwiają obserwację w sposób ciągły na bardzo dużym obszarze, zazwyczaj w promieniu ok. 200 km, z rozdzielczością wynoszącą ok. 1 km. Zlokalizowane są w Legionowie, Rzeszowie, Brzuchani (koło Miechowa), Ramży (koło Rybnika), Pastewniku (koło Bolkowa), Poznaniu, Świdwinie i Gdańsku. Podobne systemy znajdują się na całym świecie.

Zasada działania radaru jest łatwa do zrozumienia – w uproszczeniu polega na wysyłaniu fali elektromagnetycznej w określonym kierunku i odbiorze echa tej fali odbitego od obiektu, np. kropel wody czy płatków śniegu. Pomiar czasu, jaki upłynął od chwili nadania do chwili odbioru, pozwala obliczyć odległość, a siła echa pozwala oszacować intensywność danego zjawiska pogodowego. Dodatkowo radary dopplerowskie mierzą częstotliwość fali odbitej. Po uwzględnieniu efektu Dopplera i danych z kilku radarów możliwe jest określenie kierunku przemieszczania i szybkości poruszania obiektu.

Sieć POLRAD składa się z radarów dopplerowskich typu Meteor 360AC, 500C, 1500C i 1600C. Są to bardzo duże konstrukcje z antenami o średnicy ponad 4 m. Pracują przy częstotliwościach z zakresu ok. 5,4...5,8 GHz, z szerokością wiązki 1°, czasem impulsu z przedziału 0,8...3,3 μs i mocą ok. 250 kW! Jeden cykl pomiarowy dostarczający komplet danych meteorologicznych z całego obszaru zasięgu radaru trwa 10 min i jest powtarzany 144 razy dziennie.

Fotografia 1. Radar meteorologiczny w Wysogotowie (źródło: https://bit.ly/3tiWlPr)

Pasmo częstotliwości radarów pokrywa się z częścią pasma częstotliwości pracy sieci Wi-Fi. A jak wiemy – wszystkie usługi bezprzewodowe podlegają regułom, które mają na celu umożliwić ich działanie w sposób minimalizujący zakłócanie innych usług bezprzewodowych. Zagadnienia te są dokładniej omówione właśnie w tym wydaniu EP. Ze względu na współistnienie sieci radarowych i Wi-Fi w tym samym obszarze widma, standard Wi-Fi (IEEE 802.11) został zaprojektowany tak, aby uwzględnić mechanizm współdzielenia pasma 5 GHz. Jest on znany jako dynamiczny wybór częstotliwości DFS (*Dynamic Frequency Selection*) i został opracowany w celu złagodzenia wpływu zakłóceń radaru na sieci WLAN.

Działanie DFS polega na tym, że zanim punkt dostępowy użyje kanału, na którym może pracować radar, wykona sprawdzanie jego dostępności – będzie nasłuchiwał przez 60 sekund na obecność sygnałów radarowych. Jeśli żaden radar nie zostanie wykryty, kanał będzie dostępny. Dlatego podczas uruchamiania access pointa korzystającego z kanału DFS można zaobserwować, że pasmo 2,4 GHz staje się dostępne, gdy tylko AP zakończy sekwencję rozruchową, a pasmo 5 GHz może nie być dostępne jeszcze przez kolejną minutę.

Ponadto AP musi stale monitorować swój kanał pod kątem obecności sygnałów radarowych. Jeśli zostanie wykryty sygnał radarowy, AP musi przerwać transmisję i przejść na nowy kanał. W reakcji na zdarzenia tego typu realizowane są różne schematy. W niektórych rozwiązaniach komunikacja zostaje przeniesiona na jeden określony kanał, w innych przeniesienie następuje na dowolny, niezajęty kanał. W zależności od konfiguracji i możliwości klientów sieci, przejście na nowy kanał może wymagać ponownego uwierzytelnienia dostępu do sieci i mechanizmu DHCP – z pewnością będzie miało to wpływ na niektóre aplikacje. Dlatego szukając przyczyn problemów z Wi-Fi, warto rozpatrzeć tę wersję.

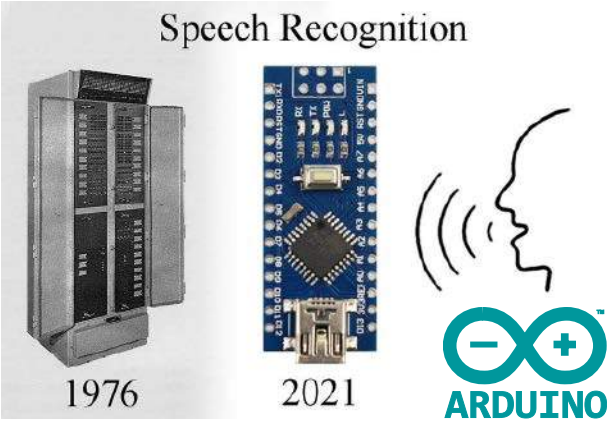
Damian Soskowski

Więcej informacji na ten temat znajduje się pod adresem:
https://bit.ly/3h5qZJI

eprasa.pl ad39d4d9f3

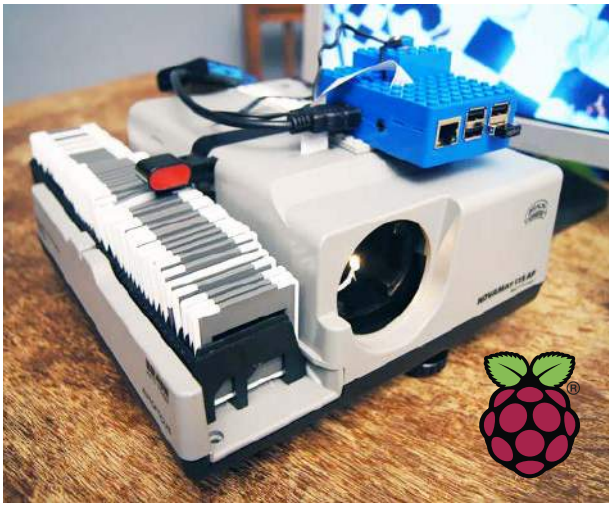
ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

Nr 5 (340) • Maj 2021



Rozpoznawanie głosu z użyciem Arduino

Kiedyś do rozpoznawania głosu konieczne były ogromne zasoby sprzętowe, niedawno można było realizować tego rodzaju algorytmy na zwykłych komputerach domowych, a obecnie można zmieścić algorytm inferencji na małym, kompaktowym mikrokontrolerze. Przyjrzyjmy się jak to jest możliwe.



Skaner przeźroczy na Raspberry Pi

Zanim fotografia cyfrowa weszła w nasze życie i stała się wszechobecna, ludzie drukowali swoje zdjęcia na papierze lub w postaci przeźroczy. Te ostatnie stały się szczególnie popularne, gdyż można było je łatwo prezentować znajomym czy rodzinie. To dobra zabawa, szczególnie w czasach, gdy nie było rozrywek takich jak Internet.

Nie przeocz

Nowe podzespoły 5
Dodaj do obserwowanych 11
Koktajl niusów 109

Projekty soft

Rozpoznawanie głosu z użyciem Arduino 47
Skaner przezroczy na Raspberry Pi 53

Projekty

sUPDI – programator UPDI do mikrokontrolerów AVR 18
Cyfrowy stereofoniczny mikrofon z procesorem DSP 21

Miniprojekty

Przełącznik o regulowanej sile zadziałania 26
Minizasilacz do płytek stykowych 28
Płytka bazowa dla Raspberry Pi Pico 30
Multisensor THPI
– czujnik parametrów otoczenia z interfejsem I²C 32

Temat numeru: Od projektu do produktu

Świadomość producenta. Co należy wiedzieć o wprowadzaniu urządzenia elektronicznego na rynek 34
Normy, czyli inżynierowie inżynierom 40

Poradnik implementacji

Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (3). Przegląd układów AFE do akwizycji sygnałów bioelektrycznych 99

Prezentacje

Obrazowanie termiczne może przerwać łańcuch infekcji 58
Monitorowanie poziomu CO2 w pomieszczeniach. Najmniejsze na świecie selektywne czujniki stężenia CO_2 w powietrzu 60
Nowe podzespoły od Microchipa 62
Wyświetlacze dla IoT 84

Wybór konstruktora:

Moduły Wi-Fi dla IoT 75

Notatnik konstruktora

OpenSTLinux dla procesorów z rodziny STM32MP1 (6) 66
Projektowanie interfejsów graficznych z użyciem TouchGFX (3) 71
Interfejsy REST-owe w hobbystycznych systemach wbudowanych. Arduino + REST API = Internet Rzeczy 86
Symulacja i pomiar czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora (22). Analiza widmowa z zastosowaniem transformacji Fouriera 90

Kursy

Systemy dla Internetu Rzeczy (48). Bluetooth LE Audio 111
Eksperymenty z FPGA (18). Monitor interfejsu VGA 118

Prenumerata 2
Od wydawcy 3
Konkurs 83
Kramik i rynek 122
Hity następnego numeru 123

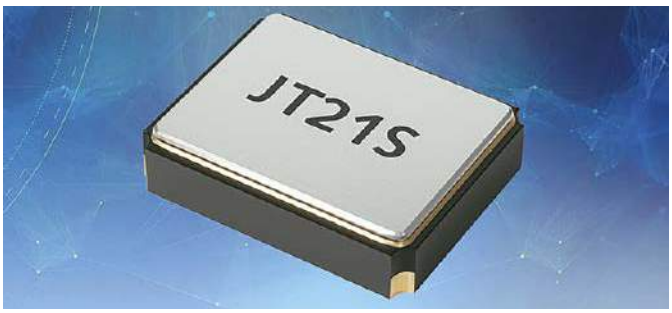
Aby pobrać materiały dodatkowe do artykułów, zarejestruj się na https://media.avt.pl

eprasa.pl ad39d4d9f3

Szczegóły na stronie 57

nowe podzespoły

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



Oscylatory TCXO o wysokiej stabilności do systemów komunikacji bezprzewodowej

Systemy komunikacji bezprzewodowej Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi czy SigFox pracują przy bardzo małej szerokości kanałów w.cz. W takich zastosowaniach szczególnie ważna jest stabilność wewnętrznego źródła częstotliwości, którą mogą zapewnić precyzyjne oscylatory TCXO nowej serii JT firmy Jauch Quartz. Nowo opracowany model JT21S charakteryzuje się wyjątkową stabilnością, zaczynającą się od ±0,5 ppm. Jest on oferowany również w wersji przestrajanej napięciem (VCTCXO), oznaczonej symbolem JT21SV. Zakres przestrajania wynosi tu co najmniej ±8 ppm.

Oba oscylatory są produkowane w wersjach o częstotliwości od 9,5 do 52 MHz. Pracują z napięciem zasilania od 1,8 do 3,3 V, pobierając mniej niż 1,5 mA prądu dla wersji do 26 MHz oraz <2,5 mA dla wersji do 52 MHz. Podobnie, jak w przypadku innych oscylatorów rodziny JT, zawierają wyjście z obciętą falą sinusoidalną 0,8 V_{pp}. Ich szumy fazowe wynoszą typowo –117 dBc/Hz @ 100 Hz i –149 dBc/Hz @ 10 kHz dla wersji o częstotliwości wyjściowej 26 MHz. Oba modele są zamykane w obudowach o wymiarach 2,6×1,6×0,7 mm. Mogą pracować w przemysłowym zakresie temperatury otoczenia od –40 do +85°C.

www.jauch.com

Najmniejszy na rynku układ pozyskiwania energii słonecznej

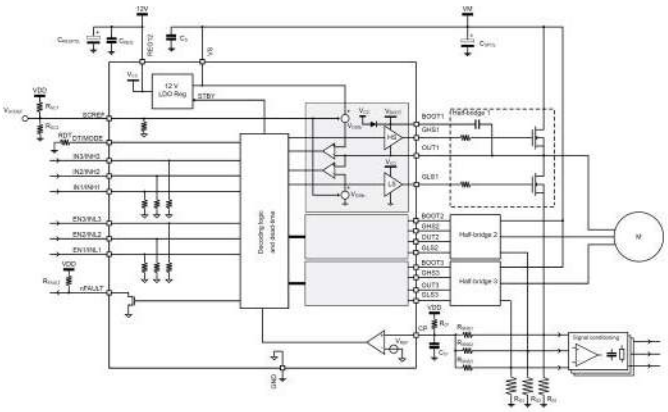
Układ MAX20361 jest zamykany w obudowie WLP-12 o powierzchni 1,63×1,23 mm, ponad dwukrotnie mniejszej od najbliższego odpowiednika. Może on znaleźć zastosowanie w układach zasilania urządzeń przenośnych i czujników bezprzewodowych, stanowiąc dodatkowe źródło energii doładowujące wewnętrzny akumulator z energii słonecznej.

Oprócz małych gabarytów, dodatkową zaletą układu jest większa nawet o 5% sprawność energetyczna od przetworników konkurencyjnych. Wewnętrzny konwerter DC-DC boost, akceptujący napięcie wejściowe już od 225 mV, charakteryzuje się bardzo małym prądem spoczynkowym, wynoszącym około 360 nA. Podobnie, jak inne tego typu konwertery, MAX20361 zawiera układ logiczny MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), zapewniający konwersję w punkcie maksymalnego transferu mocy przy współpracy z panelami solarnymi. Może on dostarczyć od 15 μW do ponad 300 mW mocy do doładowywania akumulatora.

Wewnętrzny układ ładowania jest zoptymalizowany do współpracy z akumulatorami litowo-jonowymi, ale może być też dostosowany do współpracy ze standardowymi kondensatorami, superkondensatorami i akumulatorami cienkowarstwowymi. Napięcie zakończenia cyklu ładowania jest programowane przez interfejs I²C.

Ceny hurtowe MAX20361 zaczynają się od 2,64 USD przy zamówieniach 1000 sztuk. W ofercie Maxim dostępny jest też zestaw ewaluacyjny MAX20361EVKIT# w cenie 57 USD.

www.maximintegrated.com



Kontroler do układów sterowania niskonapięciowych 3-fazowych silników BLDC

STMicroelectronics ułatwia projektowanie układów zasilania 3-fazowych silników BLDC, wprowadzając na rynek nowy kontroler STDRIVE101. Został on zaprojektowany do sterowania pracą silników o napięciu zasilania do 75 V stosowanych m.in. w pompach, wentylatorach, elektronarzędziach, rowerach elektrycznych i mniejszych maszynach przemysłowych. Zawiera 3 półmostkowe stopnie sterujące zewnętrznymi n-kanałowymi tranzystorami MOSFET, zapewniające wydajność prądową 600 mA. Wewnętrzne diody bootstrap

eprasa.pl ad39d4d9f3

i regulator LDO 50 mA/12 V pozwalają wyeliminować część elementów współpracujących.

Układ STDRIVE101 zawiera komparator do obwodu zabezpieczenia nadprądowego, współpracujący z zewnętrznymi rezystorami oraz układy monitorowania napięć V_{DS} poszczególnych tranzystorów MOSFET, realizujące zabezpieczenie zwarciowe. Ponadto, został wyposażony w zabezpieczenie termiczne, zabezpieczenie podnapięciowe sekcji high-side i low-side, chroniące tranzystory MOSFET przed pracą w niebezpiecznych warunkach oraz układ generacji czasu martwego, zabezpieczający przed możliwością równoczesnego włączenia obu tranzystorów w stopniu półmostkowym. Może być przełączany w tryb standby o ograniczonym poborze mocy. Jest zamykany w 24-wyprowadzeniowej obudowie VFQFN o powierzchni 4×4 mm. Jego ceny hurtowe zaczynają się od 0,71 USD przy zamówieniach 1000 sztuk.

www.st.com

Układ do autoryzacji komponentów samochodowych z interfejsem 1-Wire

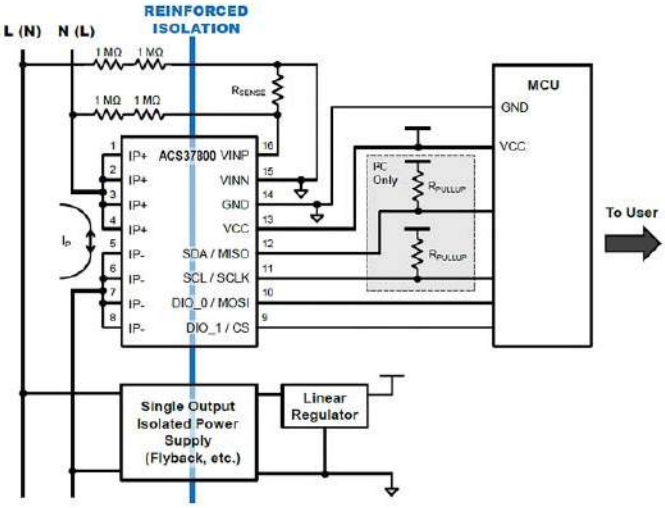
W przypadku krytycznych systemów samochodowych, np. ADAS i ładowania, stosowanie oryginalnych komponentów producenta zapewnia największe bezpieczeństwo i niezawodność. Projektanci mogą obecnie zapewnić bezpieczeństwo i integralność danych w układach elektronicznych pojazdu, jednocześnie zmniejszając złożoność projektu i skracając czas opracowywania kodu, poprzez uwierzytelnianie oryginalnych komponentów za pomocą opracowanego przez firmę Maxim miniaturowego układu DS28E40 DeepCover.

Ponieważ auta są stale wyposażane w coraz bardziej zaawansowane układy elektroniczne, rośnie również ryzyko związane z bezpieczeństwem i kontrolą dostępu. Producenci stosują autoryzację z dwóch powodów: aby zagwarantować, że zastosowane komponenty pochodzą wyłącznie od autoryzowanych producentów OEM oraz dla zmniejszenia ryzyka zagrożeń ze strony złośliwego oprogramowania. Jednak większość zaawansowanych, bezpiecznych mikrokontrolerów zajmuje stosunkowo dużo miejsca i wymaga od zespołów programistów rygorystycznego testowania i debugowania kodu. Im większy kod, tym większe ryzyko popełnienia błędów i zagrożenie ze strony złośliwego oprogramowania. Ponadto, dostępne na rynku układy zabezpieczenia elektronicznego z interfejsami I²C i SPI wymagają stosowania nawet 6-żyłowych kabli, co zwiększa koszty i zmniejsza niezawodność.

Układ DS28E40 DeepCover jest układem jednofunkcyjnym z prostym interfejsem 1-Wire do transmisji danych i zasilania, mogącym zastąpić rozwiązania oparte na mikrokontrolerach. Zapewnia wysoki poziom bezpieczeństwa, jednocześnie zmniejszając zarówno złożoność projektu, jak i wysiłek projektantów związany z opracowywaniem kodu. Jego asymetryczny klucz publiczny/prywatny ECDSA (ECC-P256) i inne algorytmy uwierzytelniania są przechowywane w nieulotnej pamięci OTP, uwalniając producentów OEM od konieczności opracowywania zastrzeżonego kodu. Zapewnia to skuteczną ochronę przed użyciem nieautoryzowanych komponentów, mogących zagrozić bezpieczeństwu i integralności danych.

Zastosowany interfejs 1-Wire wymaga jedynie dwóch linii do transmisji danych i zasilania, włączając w to linię masy. Mniejsza liczba styków ogranicza koszty, umożliwiając podłączenie sterownika ECU do zdalnego punktu końcowego za pomocą cieńszych wiązek przewodów. DS28E40 jest zamykany w obudowie TDFN o wymiarach 4×3 mm i został przystosowany do pracy w zakresie temperatury otoczenia od −40 do +125°C. Uzyskał kwalifikację AEC-Q100 Grade 1. Cena hurtowa DS28E40 wynosi 1,15 USD przy zamówieniach 1000 sztuk. W ofercie firmy Maxim jest też dostępny zestaw ewaluacyjny DS28E40EVKIT# w cenie 97,57 USD.

www.maximintegrated.com



Czujnik prądowy Halla o zakresie pomiarowym 180 A z równoczesnym pomiarem napięcia i mocy

Układ ACS37800 to najnowszy czujnik prądowy firmy Allegro MicroSystems, bazujący na efekcie Halla, zamykany w obudowie SOIC16W. Umożliwia jednokanałowy pomiar natężenia prądu AC i DC w zakresach konfigurowanych od ±30 A do ±180 A. Nowością wprowadzoną w ACS37800 jest zintegrowany chip pozwalający na równoczesne prowadzenie pomiaru mocy, napięcia i prądu AC/DC. Dzięki wbudowanemu regulatorowi, układ może być zasilany tym samym napięciem (3,3 V lub 5 V), co mikroprocesor systemowy.

Poza małymi gabarytami, do jego zalet należy też mała liczba elementów współpracujących, niezbędnych w przypadku układów konkurencyjnych o podobnych parametrach. Przykładowo, dzięki wzmocnionej izolacji do 517 Vrms, ACS37800 nie wymaga drogich izolatorów optycznych, cewek Rogowskiego, transformatorów prądowych, izolowanych wzmacniaczy operacyjnych ani rezystorów bocznikowych.

ACS37800 wyznacza takie parametry, jak moc czynna, bierna i pozorna, a także wartości chwilowe i RMS prądu, napięcia i mocy. Co więcej, jest w stanie uśredniać te parametry z wielu pomiarów chwilowych prowadzonych przez minutę, unikając niedokładności w przypadku, gdy przebiegi są asymetryczne. Cechy te pozwalają zmniejszyć obciążenie współpracującego mikrokontrolera.

Użytkownik ma możliwość wyboru rodzaju interfejsu (I²C lub SPI) oraz programowania w wewnętrznej pamięci EEPROM poziomów progowych zabezpieczenia pod-/nadnapięciowego, wzmocnienia i offsetu prądowego/napięciowego oraz temperatury progowej.

Najważniejsze parametry układu:

- zakresy pomiarowe: od ±30 A do ±180 A,
- pasmo: 1 kHz,

eprasa.pl ad39d4d9f3

- czas odpowiedzi: 5 µs,
- rezystancja przewodnika w obwodzie pierwotnym: 0,85 mΩ,
- napięcie pracy (wzmocniona izolacja): 517 Vrms,
- napięcie pracy (podstawowa izolacja): 1047 Vrms,
- wytrzymałość dielektryczna: 4800 Vrms,
- odstęp izolacyjny: 7,5 mm,
- droga upływu: 7,9 mm,
- odporność na wyładowania ESD: ±5 kV HBM,
- zakres temperatury pracy: –40…+125°C.

www.allegromicro.com

Tranzystory SiC MOSFET o napięciach przebicia 3300 V i 1700 V do systemów fotowoltaicznych

W niektórych aplikacjach, m.in. 1500-woltowych falownikach systemów fotowoltaicznych, tranzystory MOSFET w zasilaczu pomocniczym muszą wytrzymywać napięcia nawet do 2500 V w zależności od przekładni transformatora i napięcia wejściowego/wyjściowego. Tranzystory MOSFET o dużym napięciu przebicia eliminują potrzebę stosowania przełączników łączonych szeregowo w konwerterach flyback, boost i forward, co zmniejsza liczbę podzespołów i złożoność obwodu. Opracowane przez firmę GeneSiC nowe tranzystory SiC MOSFET o napięciu znamionowym 3300 V i 1700 V pozwalają projektantom na stosowanie prostszej topologii opartej na pojedynczym przełączniku, a równocześnie charakteryzują się dużą niezawodnością, małymi gabarytami i niską ceną.

Obecnie do oferty firmy GeneSiC wchodzi 5 nowych tranzystorów SiC MOSFET różniących się napięciem przebicia, rezystancją kanału i typem obudowy. Wszystkie one charakteryzują się małym współczynnikiem FOM ($R_{DS(on)} \times Q_G$), małą pojemnością wewnętrzną, małymi stratami w szerokim zakresie temperatury pracy, odpornością na zwarcie i szerokim zakresem dopuszczalnej temperatury pracy od –55 do +175°C.

Poza systemami energii odnawialnej, mogą też znaleźć zastosowanie m.in. w układach napędowych silników indukcyjnych i przemysłowych systemach oświetleniowych.

Parametry 5 nowych tranzystorów SiC MOSFET firmy GeneSiC

	G2R1000MT33J	G2R1000MT17D	G2R1000MT17J	G3R450MT17D	G3R450MT17J
V_{DS}	3300 V	1700 V	1700 V	1700 V	1700 V
$R_{DS(on)}$	1 Ω	1 Ω	1 Ω	0,45 Ω	0,45 Ω
I_D (100°C)	4 A	4 A	4 A	6 A	6 A
I_{DM} (<10 µs)	8 A	8 A	8 A	16 A	16 A
P_D (25°C)	74 W	53 W	54 W	88 W	91 W
Q_G	21 nC	27 nC	27 nC	18 nC	18 nC
Obudowa	TO-263-7	TO-247-3	TO-263-7	TO-247-3	TO-263-7

www.genesicsemi.com

REKLAMA

COMPUTER CONTROLS

TWÓJ WIODĄCY PARTNER W DYSTRYBUCJI
ROZWIĄZAŃ DLA ELEKTRONIKI

Zaufany dostawca oprogramowania **Altium**
do projektowania PCB i kompilatorów **Arm KEIL**
oraz dystrybutor komponentów elektronicznych

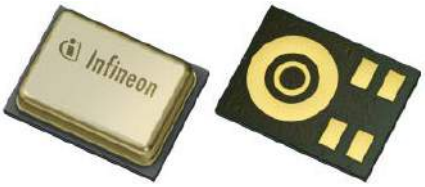
szczegóły dostępne na: www.ccontrols.pl

Altium arm KEIL maxim integrated SILICON LABS Neoway SILERGY

Computer Controls Sp. z o.o.
Bielsko-Biała, ul. Budowlanych 1
Warszawa, ul. Powązkowska 15
tel.: +48 (33) 485 94 90
tel.: + 48 (22) 718 31 90

eprasa.pl ad39d4d9f3

Mikrofon MEMS o małych szumach i małym poborze prądu



W przypadku mikrofonów do montażu SMT, projektanci często muszą decydować się na kompromisy, chcąc zapewnić np. duży stosunek sygnał/szum, zminimalizować wymiary płytki drukowanej, zapewnić duży współczynnik przeciążenia akustycznego lub mały pobór mocy. Z tego powodu w aplikacjach wymagających mikrofonów o najlepszych właściwościach, nadal stosuje się mikrofony ECM zamiast MEMS.

Najnowszy mikrofon MEMS firmy Infineon, XENSIV IM73A135, dorównuje pod względem parametrów audio mikrofonom ECM, równocześnie oferując zalety technologii MEMS. Może on znaleźć zastosowanie m.in. w słuchawkowych układach aktywnej redukcji szumu otoczenia, a także, ze względu na mały współczynnik szumu w kamerach i rejestratorach audio. Charakteryzuje się współczynnikiem SNR równym 73 dB i punktem przeciążenia akustycznego (SPL) 135 dB, zapewniając szeroki zakres dynamiczny.

Pobiera zaledwie 170 μA prądu, najmniej spośród innych tego typu mikrofonów dostępnych obecnie na rynku. Jest zamykany w obudowie SMD o wymiarach 4×3×1,2 mm.

www.infineon.com

Atomowy zegar rubidowy

Do oferty zminiaturyzowanych, rubidowych zegarów atomowych firmy IQD wchodzi czwarty już model rodziny IQRB, różniący się od wcześniejszych obniżonym do 5 V napięciem zasilania. IQRB-4 uzupełnia lukę pomiędzy wcześniejszymi wersjami IQRB-1, IQRB-2 i IQRB-3 zasilanymi napięciem 12 V oraz wprowadzonym niedawno na rynek 3,3-woltowym zegarem ICPT-1.

Model IQRB-4 to zegar przeznaczony do montażu na płytkach drukowanych, zamykany w obudowie o wymiarach 50,8×50,8×25 mm. Charakteryzuje się bardzo dobrą stabilnością krótko- i długoterminową oraz małymi szumami fazowymi. Zawiera wyjście CMOS o częstotliwości 10 MHz. Nadaje się idealnie do zastosowań jako autonomiczne źródło częstotliwości referencyjnej m.in. w telekomunikacji, nawigacji, sieciach komputerowych i innych aplikacjach wymagających precyzyjnej synchronizacji czasu i fazy. Umożliwia dostrajanie częstotliwości wyjściowej sygnałem 0…3,3 V w maksymalnym zakresie ±5 ppb. Pracuje w zakresie temperatury otoczenia od –10 do 60°C.

Na indywidualne zamówienia IQRB-4 jest też dostępny w wersji z wyjściem sinusoidalnym.

Podstawowe parametry:

- tolerancja: ±0,05 ppb @ +25°C,
- stabilność temperaturowa (–10…+60°C): typ. ±0,08 ppb, maks. ±0,8 ppb,
- stabilność krótkoterminowa: 4,5E-12,
- stabilność długoterminowa: 0,005 ppb/dzień;
- czułość na pole magnetyczne (±2 Gs): < ±0,04 ppb/Gs,
- czas nagrzewania: 7 min.,
- pobór mocy przy nagrzewaniu: 18 W,
- pobór mocy w stanie stabilnym: 6 W.

www.iqdfrequencyproducts.com

Precyzyjny moduł nawigacyjny z odbiornikiem RTK GNSS i systemem nawigacji inercyjnej

Firma Xsens, specjalizująca się w produkcji modułów śledzenia ruchu, wprowadziła na rynek nowy model MTi-680G stanowiący rozszerzenie serii MTi 600. Jest on kompatybilny ze standardem RTK (*Real-Time Kinematics*), umożliwiającym pozycjonowanie z centymetrową dokładnością.

Technologia RTK, wprowadzona do konwencjonalnych, satelitarnych systemów pomiarowych, pozwala zredukować błąd pozycjonowania z typowego ±1 m w standardowych, komercyjnych odbiornikach GNSS do zaledwie ±2 cm. Jest stosowana m.in. w pojazdach autonomicznych, przybrzeżnych instalacjach morskich i w rolnictwie, pozwalając opracowywać nowe aplikacje z bardziej zautomatyzowanymi funkcjami. Moduł MTi-680G, obejmujący system nawigacji inercyjnej (INS) oraz odbiornik RTK GNSS, zawiera zsynchronizowane wyjścia nawigacji przestrzennej (tilt, inclination) i kursu oraz zawiera zaktualizowane oprogramowanie układowe, znacznie przyspieszające przetwarzanie sygnału w porównaniu z modułami nieobsługującymi RTK. Synchronizując globalne współrzędne nawigacyjne z wyjściami położenia, kursu i prędkości, MTi-680G może dostarczać kompleksowych danych odnośnie pozycjonowania i nawigacji do dowolnych urządzeń, w tym dronów poruszających się z dużą prędkością, zapewniając maksymalną częstotliwość wyprowadzania danych wyjściowych równą 400 Hz. Inne cechy, wyróżniające go spośród konkurencyjnych modułów nawigacyjnych obejmują:

- precyzyjną kalibrację fabryczną każdego egzemplarza,
- dużą odporność na interferencje elektromagnetyczne,
- adaptacyjne oprogramowanie układowe do optymalizacji wydajności w różnych typach scenariuszy,
- łatwe w użyciu, bezpłatne narzędzia programistyczne MT Software Suite przyspieszające integrację z produktami końcowymi,
- możliwość współpracy z zestawami rozwojowymi MTi firmy Xsens.

www.xsens.com

Pierwszy na rynku 60-watowy odbiornik do systemów ładowania bezprzewodowego

Układ P9418 jest pierwszym na rynku odbiornikiem do systemów ładowania bezprzewodowego smartfonów i laptopów, pracującym z mocą znamionową 60 W. Charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami termicznymi, dużą dokładnością pomiaru natężenia prądu i dużą gęstością mocy. Podobnie, jak w przypadku wcześniejszych wersji, zaimplementowano w nim technologię WattShare, umożliwiającą zarówno ładowanie wbudowanego akumulatora w urządzeniu docelowym, jak również wykorzystanie go do ładowania bezprzewodowego maksymalną mocą 10 W współpracujących urządzeń peryferyjnych, np. smartwatchów lub słuchawek dousznych.

eprasa.pl ad39d4d9f3

Dzięki dużej dokładności pomiaru prądu wyjściowego, układ zapewnia niezawodne wykrywanie obiektów obcych znajdujących się w zasięgu pracy. Zawiera mikrokontroler sterujący ARM Cortex-M0, interfejs I²C i zestaw linii GPIO. Jest zgodny ze specyfikacją WPC 1.2.4. Stanowi udoskonaloną wersję wcześniejszego modelu P9415 o 3-krotnie zwiększonej mocy znamionowej. Wbudowana pamięć nieulotna MTP o pojemności 24 kB ułatwia aktualizację oprogramowania wbudowanego i zwiększanie funkcjonalności układu. P9418 jest produkowany w obudowie WLCSP-70 o wymiarach 4,22×2,82×0,5 mm.

www.renesas.com

Płaskie anteny Wi-Fi w wersjach jedno- i wielozakresowych

Firma AVX wprowadza na rynek trzy nowe serie płaskich anten embedded do aplikacji Wi-Fi, przeznaczonych do pracy w pasmach 2,4 GHz, 5 GHz i 6 GHz. Anteny serii W występują w wersjach jedno-, dwu- i trójpasmowych (ozn. odpowiednio W1, W2 i W3) produkowanych na podłożach sztywnych lub elastycznych o grubości od 0,1 mm do 0,8 mm. Zawierają powłokę piankową, minimalizującą ich rozstrojenie. Mogą być montowane przy użyciu różnych klejów w zależności od rodzaju powierzchni oraz występują w wersjach o różnych długościach kabla (50, 100 lub 150 mm), różnych średnicach kabla (0,81 mm, 1,13 mm i 1,37 mm) oraz z różnymi rodzajami złączy (U.FL, W.FL, MHF4). Wszystkie są dopasowane do impedancji 50 Ω. Mogą być też dostarczane w wersji bez złącza, bez kleju montażowego i z opcjonalnym koralikiem ferrytowym.

www.avx.com

Niskoprofilowe czujniki ciśnienia o dokładności ±1% FS i zakresach od 16 mb do 7 b

Do oferty TDK wchodzą niskoprofilowe czujniki ciśnienia nowej serii B58621Vx, przystosowane do montażu na płytkach drukowanych. Są one zamykane w obudowach o powierzchni 26×24 mm i grubości 6 mm z otworami na śruby montażowe i dwoma gniazdami ułatwiającymi montaż w konfiguracji łańcuchowej. Są to precyzyjne czujniki do pomiaru ciśnienia różnicowego, charakteryzujące się dokładnością od ±1% FS w zakresie temperatury

otoczenia od –20 do +70°C. Występują w wersjach o trzech zakresach pomiarowych: 16 mb, 100 mb i 7 b. Komunikują się z mikrokontrolerem przez interfejs SPI. Dzięki uzyskanej certyfikacji EN ISO 13485 mogą znaleźć zastosowanie w aparaturze medycznej.

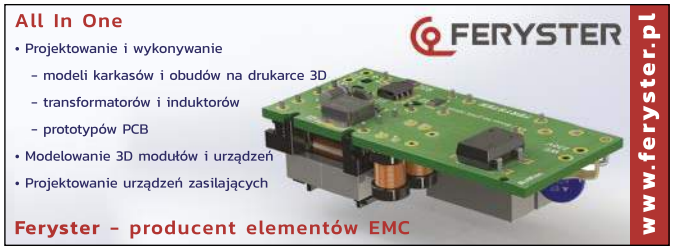
www.tdk-electronics.tdk.com

Najmniejszy na rynku 2-amperowy konwerter DC-DC buck do elektroniki samochodowej

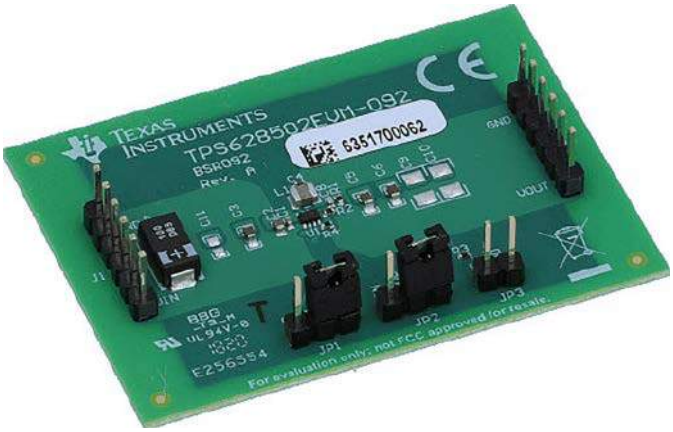
Moduł TPS628502-Q1 to najmniejszy na rynku 2-amperowy konwerter DC-DC buck do elektroniki samochodowej, zamykany w obudowie SOT583 (2,1×1,6 mm). Wymaga jedynie kilku elementów współpracujących, wraz z którymi pozwala zrealizować kompletny obwód na powierzchni około 30 mm². Akceptuje napięcie wejściowe z zakresu od 2,7 do 6 V, a jego napięcie wyjściowe może być programowane w zakresie od 0,6 do 5,5 V dzielnikiem rezystorowym. Częstotliwość taktowania układu może być regulowana w zakresie od 1,8 do 4 MHz lub synchronizowana z zewnętrznym zegarem referencyjnym.

REKLAMA

ZAJRZYJ NA TE STRONY



eprasa.pl ad39d4d9f3



TPS628502-Q1 jest konwerterem z kwalifikacją AEC-Q100, mogącym znaleźć zastosowanie w elektronice samochodowej. Zapewnia kluczowe cechy ważne w tego typu aplikacjach: szeroki zakres temperatury pracy złącza od –40 do +150°C, dużą dokładność napięcia wyjściowego (1%), modulację spread spectrum ograniczającą poziom emitowanych zaburzeń EMI oraz obudowę z wyprowadzeniami wettable flank, ułatwiającymi automatyczną inspekcję optyczną. Producent oferuje do konwertera TPS628502-Q1 płytkę ewaluacyjną (ozn. TPS628502EVM-092) w cenie 49 USD.

Podstawowe cechy modułów:

- pobór prądu w stanie spoczynkowym: typ. 15 μA,
- tryby pracy: PWM, mieszany PWM/PFM,
- konfigurowalne zabezpieczenie podnapięciowe,
- zabezpieczenie nadprądowe,
- funkcja automatycznego rozładowania pojemności wyjściowej,
- wyjście sygnalizacyjne Power Good.

www.ti.com

Podwójny, niskoprofilowy MOSFET do układów zabezpieczania akumulatorów litowo-jonowych

Układ SSM6N951L to niskoprofilowy, podwójny tranzystor MOSFET w układzie z połączonymi drenami, zaprojektowany do zastosowań w układach zabezpieczenia akumulatorów litowo-jonowych. Wyróżnia się przede wszystkim bardzo małą grubością, wynoszącą zaledwie 0,11 mm. Ponadto, jest tranzystorem małostratnym, którego rezystancja $R_{DS(on)}$ nie przekracza 4,6 mΩ @ V_{GS}=3,8 V, a prąd upływu bramka-źródło wynosi maksymalnie 1 μA @ V_{GS}=8 V. Charakteryzuje się napięciem V_{DS} równym 12 V. Może przewodzić prąd ciągły o natężeniu do 8 A oraz impulsowy do 80 A (t≤10 μs). Jest zamykany w obudowie TCSP6A-172101 o wymiarach 2,14×1,67×0,11 mm.

www.toshiba.semicon-storage.com

Wyświetlacz LCD o przekątnej 32 cala i poszerzonym zakresie temperatur pracy

Model P320HVN07.0 produkcji AUO to wyświetlacz LCD, który dzięki m.in. poszerzonemu zakresowi temperatur pracy (–20...60°C) może być z powodzeniem stosowany w aplikacjach zewnętrznych. Dzięki rozdzielczości 1920×1080 px. oraz za sprawą wyśrubowania takich parametrów jak jasność (2500 cd/m²), kontrast (4000:1) czy kąty obserwacji (89/89/89/89°), prezentowane na nim treści będą doskonale czytelne.

Zakres temperatur pracy dla tego modelu określono w przedziale od –20 do 60°C, co daje gwarancję jego sprawnego funkcjonowania w zmiennych warunkach atmosferycznych – zarówno upalnym latem, jak i mroźną zimą. W wyświetlaczu zaimplementowano również technologię hiTNI zapobiegającą czasowej utracie pierwotnych właściwości przez ciekłe kryształy pod wpływem intensywnego promieniowania słonecznego. Niweluje ona ryzyko występowania „czarnych plam" na ekranach urządzeń, które zlokalizowane są w nasłonecznionych punktach.

Warto podkreślić, że jest przystosowany do pracy w trybie ciągłym – 24/7. Czas życia diod LED, z których zbudowane jest jego podświetlenie określono na 70000 godz. Dzięki temu nadaje się do wielu wymagających zastosowań, np.:

- w handlu – do prezentowania reklam przy centach handlowych;
- w transporcie – jako nośniki informacji pasażerskiej zlokalizowane w otoczeniu dworców i lotnisk, a także na przystankach i stacjach;
- w różnego rodzaju punktach usługowych, np. do prezentowania oferty przy barach, restauracjach i kawiarniach;
- w kioskach i totemach informacyjnych.

To rozwiązania, które najczęściej obsługujemy za pomocą dotyku, niezbędne więc może okazać się połączenie wyświetlacza z sensorem dotykowym i szkłem ochronnym. To dodatkowe wyposażenie może wykonać firma Unisystem. W przypadku urządzeń zlokalizowanych w przestrzeni publicznej warto również rozważyć dodatkowe formy zabezpieczania modułów poprzez np. zastosowanie powłoki anti-shatter (AS) ograniczającej rozprzestrzenianie się odłamków szkła przy pęknięciu ekranu.

https://bit.ly/3eLjwwJ

sklep.avt.pl

eprasa.pl ad39d4d9f3

dodaj do obserwowanych

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

Moduł LED-owy RGB do króliczka Miffy

Mr. Miffy to popularna lampka nocna w kształcie króliczka. Zaprezentowany tutaj moduł LED RGB zastępuje domyślne białe lampy LED dostarczane z silikonową lampką Mr. Miffy. Moduł ten komunikuje się przez ZigBee poprzez ZigBee2MQTT i ładuje bezprzewodowo. „Kiedy urodził się mój syn, chciałem mu kupić miękką lampkę LED lub zabawkę, która zmieniałaby kolor, gdy wchodził z nią w interakcję, i którą mógłbym sterować zdalnie (najlepiej przez Home Assistant). Po godzinach poszukiwań nie mogłem znaleźć niczego, co by mi się podobało, więc zdecydowałem się na lampę Mr. Miffy", pisze o motywacji autor projektu, Andrew Byrley.

Moduł ten zawiera mikrokontroler pracujący z Arduino, który obsługuje moduł LED Neopixel, żyroskop i monitor stanu baterii, a także komunikuje się z modułem XBee3, który używa interfejsu bezprzewodowego ZigBee do komunikacji poprzez ZigBee2MQTT. Moduł z2m uruchomiony jest w Home Assistant autora, co pozwala na zdalne sterowanie lampką. Aby zachować bezprzewodowe cechy urządzenia, Byrley dodał do modułu bezprzewodową ładowarkę, pracującą w standardzie Qi.

„Duży procent czasu spędziłem na nauce protokołu ZigBee do komunikacji z z2m. Ponieważ moduł XBee nie jest natywnie obsługiwany jako urządzenie końcowe w z2m, musiałem dodać obsługę tego urządzenia do serwera, a także ręcznie zmienić bazę danych z2m, aby z2m wiedział, że łączy urządzenie z moim nowym programem obsługi urządzenia", opisuje rozwój układu autor.

Kiedy żyroskop wykryje ruch, Arduino nadpisuje aktualny stan LED Neopixel i wyświetla przez krótki czas kolorową, pulsującą pętlę, po czym powraca do poprzedniego stanu. Obudowa wydrukowana w 3D umożliwia dostęp do wszystkich wewnętrznych komponentów i pozwala na łatwy montaż. Idealnie pasuje do silikonowego Mr. Miffy.

Autor nie ustaje w swoich pracach. Skompletował sobie jeszcze listę rzeczy, jakie chciałby zaimplementować. Czytamy na niej:

- dodaj „odpowiedź urządzenia", aby moduł mógł potwierdzić, że otrzymał polecenie,
- dodaj raportowanie stanu baterii do z2m,
- poprawnie włącz moduł Xbee jako urządzenie końcowe w z2m,
- zmodyfikuj obudowę, aby prawidłowo trzymała odbiornik Qi i baterię,
- zmodyfikuj obudowę, aby utrzymywała pierścień Neopixel z wpasowaniem na wcisk.

https://bit.ly/2QPl00L

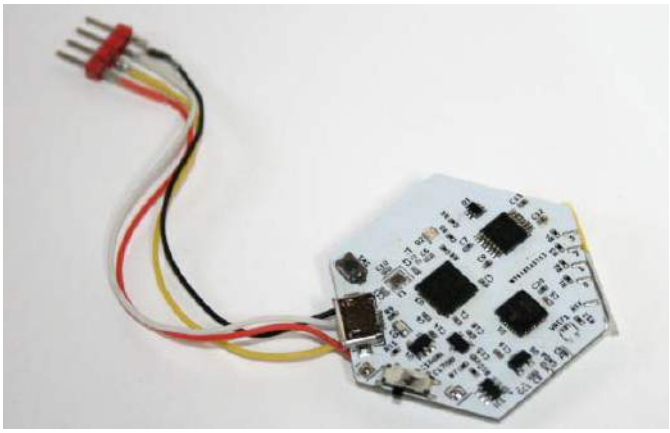
REKLAMA

moduły e-papierowe od polskiego producenta

seria USEM od Unisystemu
wyświetlacze e-papierowe
w obudowie open frame
13.3" i 31.2"
z wbudowanym kontrolerem
ochrona modułu przed uszkodzeniami
ochrona matrycy przed blaknięciem

UNI SYSTEM
PASSION FOR DISPLAYS

eprasa.pl ad39d4d9f3



uEMG – kompaktowy, czterokanałowy moduł do elektromiografii

Zaprezentowane urządzenie to 4-kanałowy moduł do elektromiografii, który może wykorzystywać mokre elektrody do pomiaru aktywności mięśni, przetwarzania sygnału i wysyłania danych do innych urządzeń. Sygnał można zaprezentować na telefonie komórkowym lub komputerze stacjonarnym (korzystając ze stacji bazowej RF, która również jest częścią komputera). Zespół z Ultimate Robotics chce zastosować system do praktycznych zadań, takich jak na przykład rozpoznawanie gestów.

„EMG to coś, od czego zaczęliśmy kilka lat temu. Jest to stosunkowo prosty sygnał, który można łatwo zmierzyć – nawet za pomocą urządzenia do pomiaru EKG z innym algorytmem. Jednak użycie kilku modułów uECG jest dosyć nieporęczne i aby usprawnić system, stworzyliśmy uEMG", mówią autorzy systemu. System jest podobny do innego projektu zespołu – Skulljack, bezkontaktowego urządzenia EEG i ma z nim wspólny kształt i niektóre komponenty. Jednak uEMG ma tylko cztery kanały zamiast 8 i działa z typowymi mokrymi elektrodami. Opiera się na układzie MCP3912 i wzmacniaczu operacyjnym AD8608 do pomiaru sygnału analogowego oraz SoC nRF52832 do przetwarzania sygnału oraz komunikacji RF i Bluetooth.

„Obecnie piszemy oprogramowanie układowe dla uEMG i mamy nadzieję przetestować je na MakerFaire Rome. Jednym z pomysłów było użycie go do rozpoznawania gestów, ale także zbadanie innych zastosowań podczas pracy nad nim", podsumowuje zespół.

https://bit.ly/3eRATf8

Pi Tablet Mk1

Pokazany projekt to bardzo prosty, bardzo łatwy do wykonania i relatywnie tani tablet, oparty na komputerze jednopłytkowym Raspberry Pi. Jest kompatybilny z każdym Raspberry PI model B (autor użył

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

Raspberry Pi 4 B). Jako ekran zastosowano dotykowy ekran Osoyoo Capacitive. Do zasilania służy moduł Pi Sugar Pro 2, który „wydawał się najłatwiejszym rozwiązaniem", jak pisze autor. Zintegrowany jest z akumulatorem o pojemności 5000 mAh.

Autor projektu, Jack Berendt, udostępnia na stronie z projektem pliki STL elementów do druku 3D, które pozwalają na montaż wszystkich elementów w całość. Na stronie projektu na portalu Hackaday.io znaleźć można również film instruktażowy z montażem tabletu. „Dziękuję wszystkim za wsparcie tego projektu!", pisze autor. „Oto moje przemyślenia po dwóch tygodniach używania".

5-calowy ekran jest świetny w użyciu. Chociaż jest mniejszy niż niektóre współczesne telefony, jego używanie można porównać do iPada. Jest bardzo responsywny, a Chromium ma wbudowaną obsługę dotyku wielopunktowego. Poza tym środowiskiem nie udało się uzyskać efektu kliknięcia prawym przyciskiem myszy;

Obecnie porty HDMI jeszcze nie działają poprawnie. To może być problem z konkretnym Raspberry Pi autora, a nie ogólne utrudnienie. Możliwe jest również to, że autorowi nie udało się poprawnie skonfigurować systemu do takiego zastosowania.

Do projektu nie dołączono żadnych głośników ani mikrofonu. Wynika to z założenia, że projekt miał być maksymalnie prosty. Gniazdo słuchawkowe będzie wszystkim, co w przyszłości chce dodać autor. Tablet, chociaż nie jest najlepszy, wykonuje swoją pracę. Druga wersja tabletu z pewnością będzie zawierała lepsze wejścia i wyjścia audio.

Wadą tego systemu jest obecne grubość tabletu. „Jednak nie czułem, że jest zbyt obszerny. Urządzenie stoi samodzielnie, pod kątem, który jest świetny do oglądania filmów", podsumowuje konstruktor.

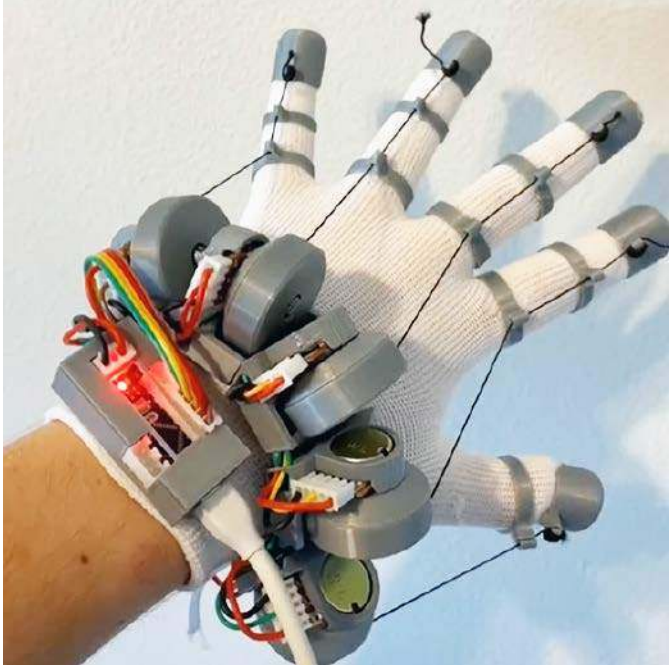
https://bit.ly/2SaZpQL

LucidVR – ekonomiczna rękawiczka VR ze sprzężeniem haptycznym

Jest to projekt, który ma na celu uczynienie technologii VR ze sprzęgiem haptycznym w rękawiczkach bardziej dostępną. Obecnie większość produktów VR z taką funkcjonalnością jest niezwykle droga i przeznaczona do użytku komercyjnego, a nie domowego. „Rozpoczynając ten projekt, chciałem stworzyć budżetową, ale nadal dobrze funkcjonującą rękawicę ze sprzężeniem haptycznym, która jest tania i łatwa do skonstruowania", pisze Luke, autor konstrukcji. Początkowo był to tylko zabawny projekt na czas kwarantanny, który miał zająć autora, ale wynik: 200 tysięcy obserwujących, pokazał, że ten projekt ma znacznie większy zasięg i rozmach. Obecnie podstawowym celem jest jak największe rozpowszechnienie projektu i popularyzacja systemów wirtualnej rzeczywistości.

Prototyp kosztował autora 21 dolarów w częściach, czyli mniej niż 11 na rękę. Obecnie projekt znajduje się na etapie trzeciego prototypu, który koncentruje się na śledzeniu ruchu, a nie na sprzęgu haptycznym, ale stale wprowadzane są innowacje, aby ulepszyć rękawice.

eprasa.pl ad39d4d9f3



Obecnie jest kompatybilna z PCVR poprzez SteamVR. Autor przetestował system już między innymi z Oculus Rift CV1 i niebawem z Oculus Quest 2. Dodanie pełnego sprzężenia haptycznego autor planuje się na etapie czwartego prototypu.

Na stronie projektu znaleźć można kompletną dokumentację tego prototypu i oprogramowanie układowe Arduino oraz pliki STL (do drukowania 3D). Wszystko znajduje się również w repozytorium autora na GitHubie. Są tam również sterowniki open source do używania rękawic w SteamVR opracowane przez innego użytkownika portalu Hackaday – Danwillm. Wkrótce mają się pojawić dalsze instrukcje i samouczki wideo dotyczące montażu rękawic. Projekt jest na bardzo wczesnym etapie rozwoju, więc można się spodziewać, że układ jest bardzo niedopracowany i nie ma wszystkich funkcjonalności. Prototyp 4, nad którym obecnie pracuje autor, ma mieć pełne wsparcie dla Force Feedback i sprzężenia haptycznego, jednakże nadal funkcjonować będzie jako dosyć nieporęczny demonstrator technologii. Autor przewiduje, że kolejny, piąty prototyp będzie mniejszy i wygodniejszy w użytkowaniu.

https://bit.ly/2QMkJvy

Cyfrowa kamera Super-8

Pomysł ponownego użycia kamery wideo formatu Super-8 wraz z optyką, do nagrywania cyfrowego wideo tkwił w głowie autora z Hackaday.io, który ukrywa się pod Nickiem Xabi Z, już od jakiegoś czasu. W końcu oczywiście doczekał się realizacji, co zaowocowało opisem na portalu. Projekt nie jest jeszcze ukończony, więc warto obserwować jego postępy.

REKLAMA

FAULHABER
Silniki krokowe FAULHABER
Wyzwania?
Zapraszamy
do Środka!
Wysoka wydajność silnika krokowego serii DM 66200H otwiera nowe możliwości integracji w wymagających zastosowaniach.
faulhaber.com/ringstepper/en
WE CREATE MOTION

eprasa.pl ad39d4d9f3

Bazą projektu jest moduł kamery dla Raspberry Pi (autor użył wersji 1.3). Moduł kamery jest szeroko obsługiwany przez wiele komputerów jednopłytkowych Raspberry Pi, a także przez RPi Zero, a jego instalacja i użytkowanie są proste. Istnieje wiele łatwo dostępnych samouczków na ten temat. Jest to bardzo tanie rozwiązanie, zwłaszcza gdy kompatybilne kamery znaleźć można w cenie zaczynającej się już od 2,5 dolara.

Domyślny obiektyw zamontowany na module kamery, pomijając jego słabą jakość, jest niekompatybilny z omawianym projektem. Wbudowany obiektyw zmienia ogniskową optyki kamery i nie można go używać w połączeniu z obiektywem kamery Super-8. Jest to najtrudniejsza część projektu: demontaż i regulacja obiektywu w module aparatu. Moduł ten ma na ogół przyklejony obiektyw czujnika. Obiektyw należy najpierw wykręcić, a następnie usunąć pozostałą część z modułu. Podczas tej procedury warto zwrócić uwagę na czerwonawy filtr podczerwieni osadzony w czujniku. Niektóre cyfrowe kamery zawierają taki filtr w obiektywie – powoduje on, że czujnik nie przechwytuje światła podczerwonego, a tym samym nie zniekształca kolorów.

Czujnik kamery musi być precyzyjnie zamontowany w płaszczyźnie ogniskowej aparatu. Będzie on obejmował tylko około jednej czwartej klatki filmu 8 mm. Autor użył żywicy epoksydowej, aby wyregulować położenie czujnika w polu klatki do przesyłania strumieniowego obrazu na żywo. Komora na kasetę z filmem 8 mm oferuje wystarczającą wielkość, aby teoretycznie zmieścić wszystkie wymagane komponenty. Jeśli zwróci się uwagę na okablowanie i pozycje, może pomieścić moduł kamery, Raspberry Pi Zero i power bank z jego elektroniką.

Można wykorzystać styk uruchamiający kamerę – wystarczy przylutować do niego przewód, który podłączony będzie do pinów GPIO Raspberry Pi. Obsługa oryginalnej kamery Super-8 (naciśnij i przytrzymaj przycisk, aby nagrywać) może być dzięki temu dokładnie odwzorowana.

System zasilany jest z powerbanku o pojemności 3500 mAh. Zapewnia on dostatecznie dużo energii, aby możliwe było używanie kamery przez podobny czas, jak oryginału na film 8 mm. Maksymalna długość filmu w kamerze Super-8 wynosiła około 15 minut.

https://bit.ly/3eMTTvn

RenixPI – diagnostyczny komputer pokładowy dla samochodów z interfejsem Renix

Renault Automotive i Bendix Aeronautics dostarczyły silnik, automatyczną skrzynię biegów i układy elektroniczne zapobiegające blokowaniu kół w pojazdach Jeep Cherokee (XJ), Comanche (MJ) i Wagoneer (SJ) w latach 1986...1991. Taki samochód ma właśnie autor opisywanego niżej projektu, PyDrew z portalu Hackaday.io.

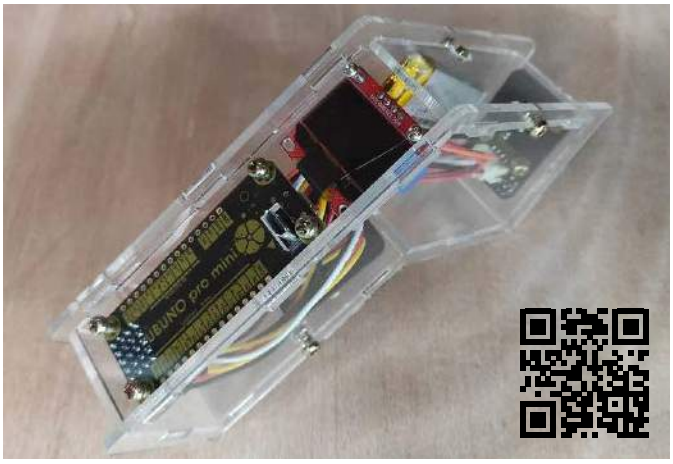
Interfejsy do samochodów są popularne i znane od dawna. Na czym polega więc problem w tym przypadku? Protokół danych szeregowych do diagnostyki systemu w tych autach nigdy nie został opublikowany. Jest on w pełni zamknięty, a specyfikacja jest zupełnie niedostępna dla hobbystów. Dopiero dzięki ciężkiej pracy Phila Andrewsa z forum RenixPower i Nicka Grisleya z NickInTimeDesign protokół został poddany inżynierii wstecznej.

Zaprezentowany projekt rozszerza ich pracę o system diagnostyki silnika i pojazdu dla samochodu autora – Jeepa Comanche z 1988 roku. Chociaż protokół diagnostyki pokładowej (OBD) został ustanowiony przez SAE już w 1979 roku, dopiero w 1994 r., kiedy kalifornijskie przepisy dotyczące emisji nakazały włączenie go do wszystkich pojazdów, stał się standardem branżowym, znanym obecnie jako OBD-II. W latach 1979...1994 większość firm korzystała z różnych części standardu OBD. Renix tego nie zrobił, wytyczając własną ścieżkę za pomocą swojego zastrzeżonego formatu komunikacji i raportowania stanu pojazdu.

Chociaż niektóre dostępne na rynku narzędzia diagnostyczne zostały przygotowane dla mechaników, sam protokół nigdy nie został opublikowany. W 2012 roku Phil Andrews z forum RenixPower pokazał na filmie swoją ciężką pracę nad dekodowaniem protokołu. Następnie Nick Grisley z NickInTimeDesign zaczął opracowywać Renix Engine Monitor w 2016 roku i był na tyle hojny, że udostępnił kod źródłowy jako projekt open source. Na jego stronie internetowej znajduje się kilka filmów, które pokazują, jak dużo pracy trzeba było włożyć w inżynierię wsteczną.

Ten projekt jest przedłużeniem ogromnych wysiłków Phila i Nicka i bez nich nie byłby możliwy. Implementuje on w komputerze jednopłytkowym oprogramowanie do komunikacji z interfejsem w samochodzie. Dodatkowo projekt zakłada instalację ekranu RPi w desce rozdzielczej auta w estetyczny sposób.

https://bit.ly/3gVMzjV



Cyfrowy termometr na podczerwień

Ostatnio pojawiło się wiele projektów termometrów na podczerwień DIY. Nie zniechęciło to jednak użytkowniczki portalu Hackaday.io RachelAnne do skonstruowania własnego. Niestety, okazuje się, że obecnie czujniki IR są dosyć trudne do znalezienia! Brak na stanie wszędzie. Po dłuższych poszukiwaniach autorce udało się znaleźć układ MLX90614. „Chociaż wolę 90615, to jest lepsze niż nic. Cóż, najpierw wyszukałam informacje o termometrze na podczerwień. Chcę tylko podziękować wszystkim stronom internetowym, które uznałam za inspirujące", komentuje autorka.

Główna płytka sterująca wykorzystuje Arduino Nano, dzięki czemu możliwe jest zmniejszenie wielkości całego systemu. W końcu nikt nie chce brać dużego pudełka do pomiaru temperatury! Możliwe jest również użycie Arduino Pro Mini, ale trzeba przygotować w tym celu dodatkowy konwerter USB do UART-TTL, więc Nano jest wygodniejsze. Układ uzupełnia ekran OLED, sterowany poprzez interfejs I^2C.

Zarówno MLX90614, jak i ekran OLED komunikują się po I^2C, więc do połączenia Nano potrzebna jest płytka prototypowa o odpowiednim

eprasa.pl ad39d4d9f3

rozmiarze. Zdarza się, że na spodzie płytki stykowej znajduje się klej, który można wykorzystać do mocowania Nano w systemie.

Ostatnia część to zasilacz. Aby układ był mobilny, autorka uzupełniła go o pojedynczą baterię litowo-polimerową o płaskim kształcie oraz układ jej ładowania i stabilizacji napięcia dla Arduino.

https://bit.ly/3vCIqWc

Gelatino Uno – Arduino spotyka się z Verilogiem i FPGA

Zaprezentowany projekt ma być niedrogą płytą programistyczną FPGA, skierowaną do użytkowników Verilog i FPGA oraz wykorzystującą wyłącznie oprogramowanie i sprzęt o otwartym kodzie źródłowym. Moduł oparty jest na układzie programowalnym iCE40LP384 firmy Lattice Semiconductor, zaimplementowanym w module razem z układem ATMega328, znanym z ekosystemu Arduino. Zarówno mikrokontroler, jak i FPGA mogą współpracować na płycie kompatybilnej z Arduino i powinny być programowane przy użyciu tradycyjnego Arduino IDE z odpowiednimi rozszerzeniami.

Programowanie FPGA jest realizowane przez sam mikrokontroler ATMega, z rozszerzeniem standardowego bootloadera Arduino – przesyłającym dane do pamięci szeregowej Flash, która jest współdzielona przez oba urządzenia.

Cały sprzęt jest zaprojektowany za pomocą programu KiCAD i jest publikowany jako open-source (na licencji GPL). Główne idee projektu to:

- niski koszt – system używa najtańszych możliwych komponentów,
- względna prostota produkcji, nawet ręcznej – unikanie skomplikowanych obudów układów scalonych (takich jak BGA),
- tylko oprogramowanie open-source – wykorzystano środowisko Arduino (avr-gcc, avrdude) i framework icestorm (yosys, icestorm, nextpnr).

https://bit.ly/33fjhEx

5-fazowy sterownik silnika krokowego

Autor projektu (Bharbour) wędrując po stronie internetowej w sklepie z resztkami i zapasami magazynowymi elektroniki itp., znalazł kilka małych silników krokowych NEMA 11. Silniki te oferują 500 kroków na obrót w trybie pełnego kroku lub 1000 kroków/obrót w trybie pół kroku. Czytając więcej o ich specyfikacji, okazało się, że są to tzw. Oriental Motor Vexta, czyli 5-fazowe silniki krokowe.

Większość silników krokowych wykorzystuje 2 fazy (bipolarne) lub 4 fazy (unipolarne) i istnieje wiele dostępnych chipów do ich sterowania. Wspomniany powyżej silnik i jego sposób sterowania nie jest tak rozpowszechniony, co oznacza, że na rynku nie znajdziemy scalonych sterowników do wysterowania 5-fazowego silnika krokowego. Autor uznał, że zaprojektowanie takowego rozwiązania może być bardzo ciekawym zadaniem, zważywszy na to, że wspomniane silniki są niezwykle tanie.

REKLAMA

KLUB AVT ELEKTRONIKA

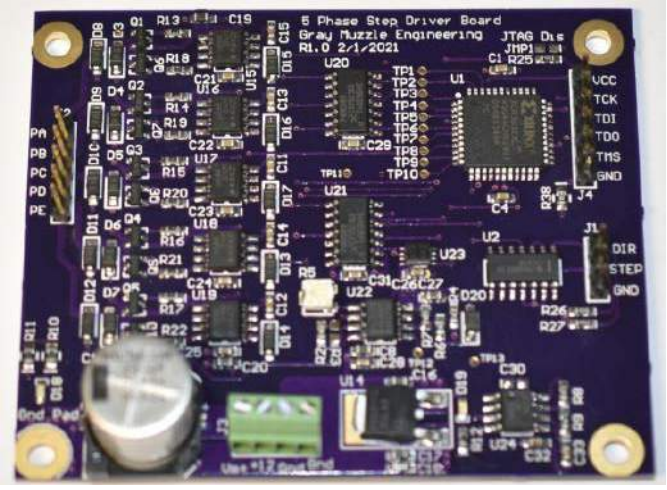
Wstąp do Klubu AVT Elektronika

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

eprasa.pl ad39d4d9f3



„W przeszłości zaprojektowałem już kilka sterowników silników krokowych, ale nie zadzierałem ze sterownikiem typu chopper. Wydawało się, że to dobra okazja, aby pobawić się współczesnym projektem sterownika tego rodzaju, więc zamówiłem kilka silników", podsumowuje inspirację i początek projektu autor.

Uproszczone obwody pokazane w starych książkach do sterowania tego rodzaju silnikami krokowymi działają dobrze, ale tylko przy bardzo niskich częstotliwościach. Kiedy prędkości kroków zaczynają rosnąć, wyjściowy moment obrotowy silnika spada bardzo szybko. Są ku temu dwa powody:

- generowanie EMF przez pole elektromagnetyczne silnika,
- indukcyjność uzwojenia silnika.

EMF to „funkcja" widoczna w większości silników prądu stałego i silników krokowych. Kiedy cewki poruszają się w polu magnetycznym, generują napięcie. W przypadku silników krokowych pole magnetyczne porusza się, a cewki są nieruchome. Biegunowość generowanego napięcia jest przeciwna do biegunowości, która byłaby wymagana do napędzania silnika w tym kierunku. Wynikiem tego jest fakt, że napięcie na cewkach jest napięciem wejściowym pomniejszonym o EMF. Im szybciej silnik się obraca, tym mniejsze napięcie jest realnie dostępne dla cewek. Podniesienie napięcia wejściowego pozwoli przezwyciężyć oba te problemy kosztem stworzenia jednego nowego problemu. Nowym problemem jest to, że gdy silnik jest zatrzymany lub porusza się wolno, wyższe napięcie na cewkach spowoduje zbyt duży prąd i silnik szybko się nagrzeje. Rozwiązaniem tego problemu jest regulacja prądu dopływającego do silnika.

Indukcyjność silnika sprawia, że stabilizacja prądu jest dość łatwa. Kiedy napięcie jest przyłożone do cewki indukcyjnej, prąd rośnie liniowo w czasie. Jeśli mierzony będzie przepływ prądu i wyłączone zostanie napięcie, gdy prąd wzrośnie do pożądanego poziomu, średni prąd jest dość dobrze kontrolowany. Reszta układu sterownika silnika krokowego obsługuje już szybkie włączanie i wyłączanie napięcia na każdej cewce, więc wszystko, co jest potrzebne do regulacji prądu, to zainstalowanie rezystora o niskiej wartości między tranzystorami po stronie niskonakładowej a masą oraz komparatora do wykrywania napięcia na tym rezystorze. Powstały obwód nazywany jest obwodem przerywanego drivera przerywacza ze względu na działanie mechanizmu stabilizacji prądu średniego poprzez włączanie i wyłączanie napięcia na cewkach.

„Żaden z układów sterownika silnika krokowego, które widziałem, nie obsługuje tej konfiguracji poza tymi sprzedawanymi przez Oriental Motor. (…) Na stronie internetowej MPJA znajduje się dobra dokumentacja dotycząca silników i sterowników, więc zaprojektowałem logikę generowania kroków w logice 74HC. Kiedy skończyłem, implementacja miałaby co najmniej 12 układów. Po dodaniu sterowników zasilania i bramek zaczęło to wyglądać jak średniej wielkości 4-warstwowa płyta, która byłaby droga w produkcji. Aby zmniejszyć obszar płytki, znalazłem kilka małych układów CPLD od Xilinxa, które byłyby wystarczająco duże dla logiki generowania kroków. Ten wybór uratował projekt, szczególnie że pozwolił na późniejsze poprawki w logice generowania kroków".

https://bit.ly/3tdHHc8

Radio SDR DIY oparte na Raspberry Pi z RTLSDR

Radio zdefiniowane programowo (SDR) to system do komunikacji radiowej, w którym komponenty, które były tradycyjnie realizowane sprzętowo (np. miksery, filtry, wzmacniacze, modulatory/demodulatory, detektory, itp.), są zamiast tego implementowane za pomocą oprogramowania na komputerze osobistym lub systemie wbudowanym.

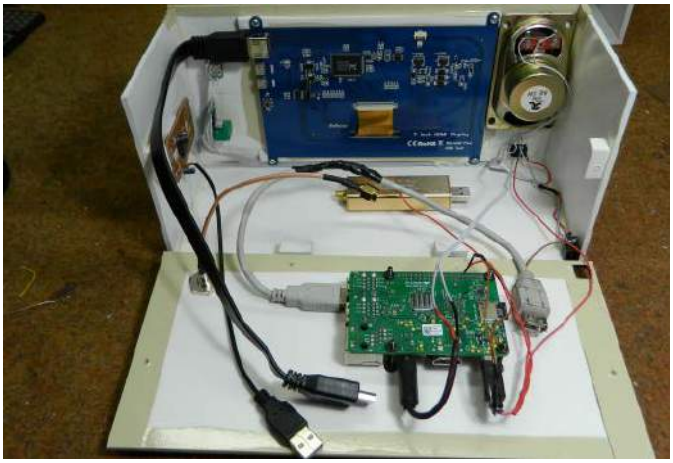
Zaprezentowany w tym projekcie odbiornik jest w stanie odbierać całe widmo, od 500 kHz do 2 MHz. Potrafi dekodować wszystkie cyfrowe i analogowe sygnały radiowe. System ma pokrętło strojenia do łatwiejszego wybierania odbieranej częstotliwości.

Urządzenie składa się z kilku części:

- sercem urządzenia jest płytka Raspberry Pi 3 model B+ oraz klucz sprzętowy RTL SDR,
- enkoder obrotowy z płytką sterującą (płytka to w rzeczywistości mysz USB, na której oryginalny enkoder obrotowy został zastąpiony większym),
- 7-calowy ekran dotykowy o rozdzielczości 1024 na 600 pikseli,
- mała płytka wzmacniacza audio klasy D,
- głośnik,
- mały wentylator do chłodzenia procesora Raspberry Pi,
- złącze zasilania,
- gniazdo anteny BNC.

Karta SD komputera jednopłytkowego zawiera oprogramowanie Ham Radio dla Raspberry Pi od W3DJS. W rzeczywistości jest to obraz systemu operacyjnego Raspbian Pi z preinstalowanymi wszystkimi niezbędnymi programami do odbioru sygnałów radiowych. Obraz tego systemu znaleźć można na stronie: https://bit.ly/3aWvp1K.

Pobór prądu przez RTLSDR to około 300 mA a dodatkowy pobór wyświetlacza to 1 A, więc zasilanie całego systemu bywa problematyczne.



eprasa.pl ad39d4d9f3

Autor rozwiązał to, podłączając zasilanie RTLSDR nie do USB, a bezpośrednio do linii 5 V, jak pokazano na zdjęciach w opisie. Wyjście audio Raspberry Pi jest podłączone do wejścia płytki wzmacniacza mocy, do którego podłączony jest następnie głośnik.

Zamiast RTLSDR możemy użyć innego, podobnego modułu: AirSpy, FUNcube, HackRF lub SDRPlay SDR. Autor używa oprogramowania GQRX, aby prezentować podstawowe funkcje radiowe tego urządzenia. Do dyspozycji jest także kilkanaście innych programów do przetwarzania sygnału.

Dużą zaletą jest zastosowanie ekranu dotykowego oraz enkodera obrotowego. Pozwala to na umieszczenie całości w kompaktowej obudowie i wygodne używanie systemu. W celu ułatwienia obsługi można zastosować również małą bezprzewodową klawiaturę czy mysz.

https://bit.ly/3eRuccW

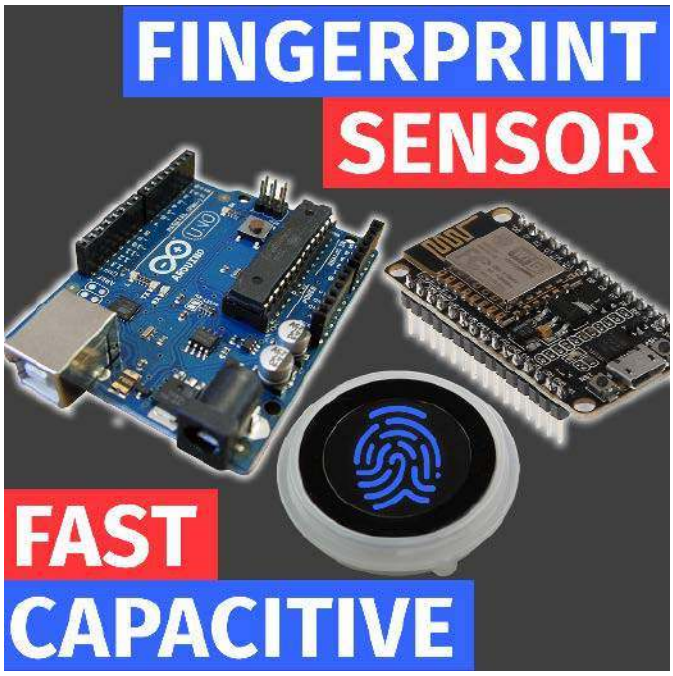
Backplane do komputerów jednopłytkowych z interfejsem STEbus (IEEE1000)

Backplane to istotna część systemu komputerowego, opartego na modułach w standardzie STEbus. Ta zapomniana szyna służyła kiedyś do konstrukcji komputerów PC i sterowników przemysłowych. Teraz wykorzystywana jest głównie przez hobbystów do samej zabawy z uruchamiania czegoś nietypowego. „Każdy głupiec może wymyślić interfejs i wielu już to zrobiło", pisze autor konstrukcji na wstępie do opisu swojego projektu. „Nie jest to takie proste, jak myśli większość ludzi, ponieważ wraz z wydłużaniem się przewodów zaczynają zachowywać się one jak linie długie. Sygnały potrzebują czasu na podróż i odbijają się od końców przewodów. Przewody działają także jak anteny, przenosząc promieniowanie i odbierając je". Sprawia to, że konstrukcja backplane dla tego rodzaju interfejsu może być nietrywialna.

„Zwróciłem na to uwagę ludziom, którzy używają stripboardu jako szyny, a ponieważ nie chcą komplikować systemu, mówią: „Jak na razie działa wystarczająco dobrze". Cóż – tak – będzie działać dobrze, aż do momentu, w którym przestanie. Wtedy pozostaje tylko marnowanie ogromnej ilości czasu, aby wykryć przyczynę usterki", pisze autor.

Dobrze zaprojektowane terminatory są niezbędne, aby zapobiec problemom, takim jak odbicia, oscylacje, przeregulowanie, przesłuchy elektromagnetyczne, odbieranie zakłóceń i tak dalej. W projekcie pokazano odpowiednio zaprojektowany backplane dla interfejsu STEBus.

https://bit.ly/3ee8Yap



Pojemnościowy sensor linii papilarnych z Arduino i ESP

Projekt pozwoli na dodanie funkcji zabezpieczających do konstrukcji z użyciem Arduino. Jest to estetyczny i kompaktowy czytnik linii papilarnych firmy DFRobot. W tym projekcie został połączony z Arduino UNO w celu rozpoznawania odcisków palca. System może nie tylko rozpoznawać odciski, ale także zapisywać nowe i usuwać istniejące z pamięci.

Czujnik wykorzystuje pojemnościowy pomiar linii papilarnych, dzięki czemu działa nawet w trudnych warunkach. Jest podobny do tego w smartfonach. Jest wyposażony w diody LED i ma prostą konstrukcję, mały rozmiar i delikatny wygląd. Zapewnia dużą prędkość rozpoznawania i wysokie bezpieczeństwo. Obsługuje rozpoznawanie palca pod dowolnym kątem w zakresie 360 stopni i funkcję głębokiego samouczenia oraz niskie zużycie energii. Wyposażony w wysokowydajny procesor ID809 i półprzewodnikowy czujnik odcisków palców, czujnik wykorzystuje wbudowany algorytm IDfinger6.0, który może niezależnie wykonać wszystkie prace związane z identyfikacją odcisków palców.

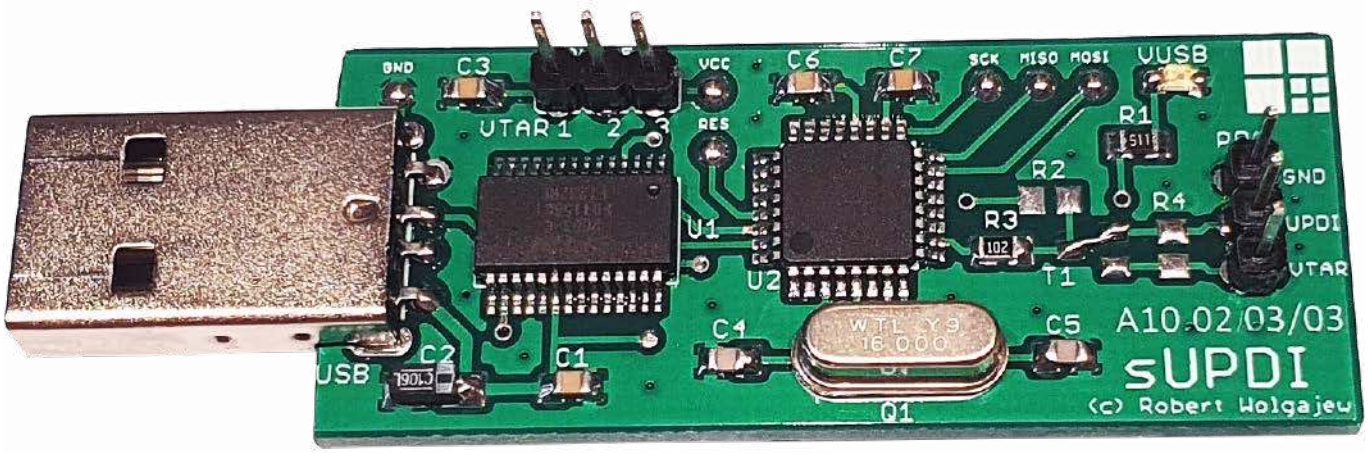
Obsługuje komunikację poprzez UART i podczas pracy z biblioteką Arduino może z łatwością realizować funkcje takie jak rejestracja odcisków palców, usuwanie odcisków z bazy itp. Jest to 6-pinowe urządzenie, które można łatwo podłączyć do dowolnego mikrokontrolera za pomocą dołączonego do niego złącza. Należy jednak pamiętać, że kodowanie kolorami przewodów dostarczonych z tym urządzeniem różni się od normalnego kodowania.

https://bit.ly/3nGAMHj

REKLAMA

DELOCK®
we move the world
PROFESJONALNE ROZWIĄZANIA
DLA PRODUCENTÓW I HOBBYSTÓW
www.delock.com

eprasa.pl ad39d4d9f3



sUPDI – programator UPDI do mikrokontrolerów AVR

Ciągły rozwój mikrokontrolerów powoduje, że całkiem skomplikowane zagadnienia jesteśmy dzisiaj w stanie zrealizować z użyciem coraz prostszych (z punktu widzenia użytkownika) i tańszych układów. Dobrze to widać na przykładzie popularnych mikrokontrolerów z rodziny AVR, które po przejęciu firmy Atmel przez firmę Microchip dostały niejako drugie życie i przechodzą w tej chwili kolejny upgrade typów i możliwości. To całe pozytywne zamieszanie ma jednak także swoją cenę, którą jest wprowadzenie zupełnie nowego interfejsu programowania i debugowania pod postacią sprzęgu UPDI.

Wystarczy wspomnieć o nowych mikrokontrolerach ATtiny serii 0 i serii 1, które integrują w sobie możliwości dotychczas zarezerwowane dla większych braci z serii Xmega, w tym system zdarzeń, przetworniki ADC i DAC oraz peryferia CIP niezależne od rdzenia (*Core Independent Peripherals*). Dodatkowo dysponują sporą ilością pamięci Flash, RAM oraz EEPROM i dostępne są w niewielkich obudowach. Podobnie wygląda sytuacja w przypadku rodziny Xmega i Mega, gdzie wprowadzono szereg udoskonaleń i rozszerzeń funkcjonalności oraz nieznane dotąd peryferia. Mowa o takich układach, jak MegaAVR serii 0 czy AVR-DA.

Nowy interfejs programowania i debugowania UPDI (*Unified Program and Debug Interface*) ma tę unikalną cechę, że angażuje wyłącznie jedno wyprowadzenie mikrokontrolera (UPDI/RESET) w celu przeprowadzenia procesu programowania i debugowania układu. Producent przewidział stosowne oprogramowanie i wsparcie sprzętowe dla nowego standardu. Oprogramowanie Atmel Studio (a co za tym idzie także nowe Microchip Studio) wspiera wszystkie nowe mikrokontrolery i obsługę nowego, niedrogiego programatora pod nazwą MPLAB SNAP, który jest wyposażony w interfejs UPDI.

Jednak sytuacja się komplikuje w przypadku używania innych środowisk IDE, jak np. Eclipse z pluginem AVR dającym możliwość programowania mikrokontrolerów z użyciem aplikacji AVRdude. Co prawda w przypadku AVRdude i nowego interfejsu UPDI możemy skorzystać z obsługiwanego przezeń programatora Atmel ICE (uprzednio zaktualizowanego), jednak dla wielu konstruktorów hobbystów jest to rozwiązanie bardzo drogie, a co za tym idzie, w zasadzie niedostępne.

Czy w takim razie jesteśmy zdani wyłącznie na oprogramowanie firmy Atmel? Czy musimy rezygnować z wygodnego środowiska programistycznego, jakim bez wątpienia jest Eclipse? Na szczęście nie. Z pomocą przychodzi nam społeczność serwisu GitHub, a dokładnie użytkownik o nicku ElTangas. Przygotował on specjalną wersję programu AVRdude (a w zasadzie nowy plik konfiguracyjny) dostępną pod adresem https://bit.ly/2RCw15P oraz nowy typ obsługiwanego programatora oznaczony jtag2updi. Dzięki temu i przy użyciu prostego programatora

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

W ofercie AVT* AVT5863

Podstawowe parametry:
- współpracuje z nowym interfejsem programowania i debugowania UPDI,
- pozwala programować większość nowych układów AVR z pomocą programu AVRdude i Eclipse,
- łatwa konfiguracja i obsługa

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

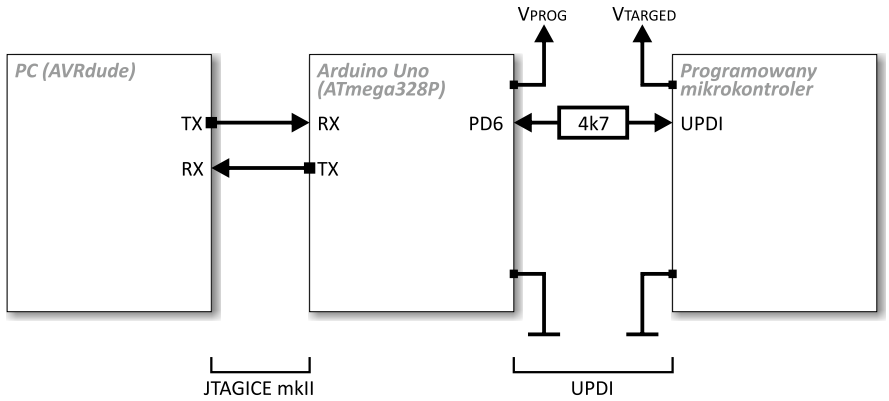
AVT-5848	Minimoduł z mikrokontrolerem LPC845 (EP 3/2021)
AVT-5829	Minimoduł z mikroprocesorem LPC802 (EP 12/2020)
AVT-5726	Rysino – płytka ewaluacyjna z FPGA Intel MAX10 (EP 11/2019)
AVT-5574	Płytka ewaluacyjna dla STM32F2/F4/F7 do celów SDR i nie tylko (EP 2/2017)

*** 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 ad39d4d9f3



Rysunek 1. Schemat blokowy programatora UPDI z użyciem płytki Arduino Uno

```
Wykaz elementów:
Rezystory: (SMD0805)
R1: 510 Ω
R2: 4,7 kΩ
Kondensatory:
C1, C3, C6, C7: 100 nF (SMD0805)
C2: tantalowy 10 µF/10 V (SMD A)
C4, C5: 22 pF (SMD0805)
Półprzewodniki:
U1: FT232RL (SSOP28)
U2: ATmega88 (TQFP32)
VUSB: dioda LED czerwona (SMD0805)
Pozostałe:
PRG, VTAR: goldpin 3×1
Q1: rezonator kwarcowy 16 MHz niski
USB: gniazdo męskie USB-A
```

```
Ustawienia Fusebitów:
CKSEL3...0: 1111
SUT1...0: 11
CKDIV8: 1
CKOUT: 1
DWEN: 1
EESAVE: 0
```

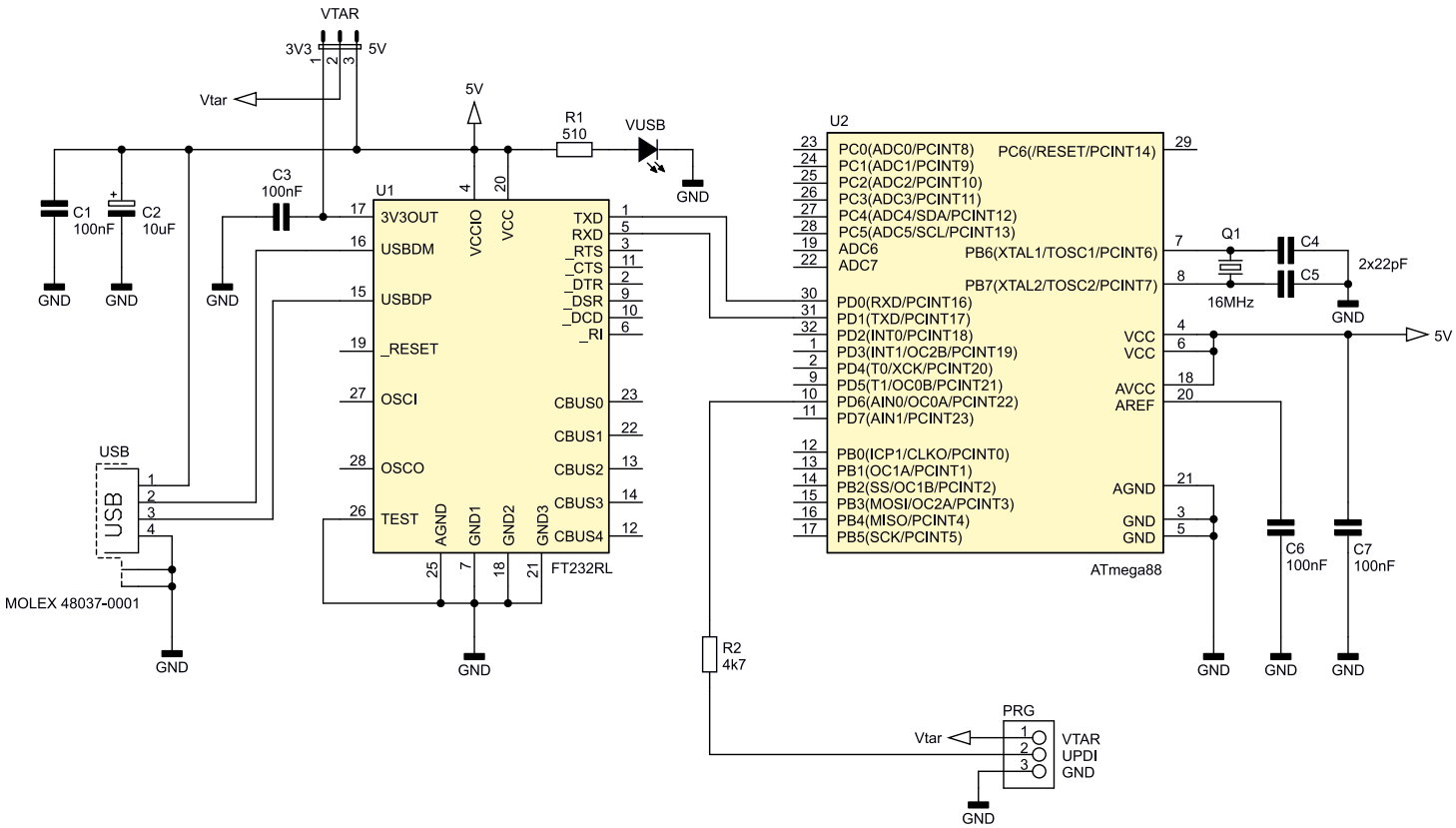
jesteśmy w stanie programować większość nowych układów AVR wyposażonych w interfejs UPDI za pomocą programu AVRdude.

Oprócz oprogramowania niezbędnego po stronie PC (AVRdude) potrzebny jest prosty układ, który protokół JTAGICE mkII stosowany po stronie PC transkoduje do nowego protokołu interfejsu UPDI. Autor oprogramowania postanowił wykonać konstrukcję na bazie popularnej płytki Arduino Uno/Nano i mikrokontrolera ATmega328P, jednak dla osób chcących poeksperymentować z innymi typami układów, przy udziale których można skonstruować wspomniany programator, autor udostępnił także całe oprogramowanie źródłowe w postaci repozytorium serwisu GitHub.

Budowa i działanie

Schemat blokowy i funkcjonalny całego toru pomiędzy oprogramowaniem na PC, programatorem zawierającym mikrokontroler ATmega328P i programowanym układem z interfejsem UPDI został pokazany na **rysunku 1**. Bazując na tym prostym, ale bardzo ciekawym schemacie blokowym, zaprojektowałem prosty programator o nazwie sUPDI, którego schemat został pokazany na **rysunku 2**. Powstał bardzo prosty system mikroprocesorowy zgodny w założeniach z projektem użytkownika ElTangas z pewnym rozszerzeniem funkcjonalności. Rozszerzenie, o którym mowa, to prosty sprzęg USB-Serial w postaci dobrze znanego układu FT232RL, który wraz ze standardowym sterownikiem VCP stanowi w systemach operacyjnych PC wirtualny port szeregowy.

Ponadto, podobnie jak w oryginalnym rozwiązaniu, zaimplementowano prosty translator napięć z użyciem rezystora R2, który pozwala na programowanie mikrokontrolera zasilanego innym napięciem, niż układ ATmega88, stanowiący element programatora. Ten ostatni, z uwagi na dość wysoką częstotliwość taktowania równą 16 MHz, zasilono napięciem 5 V dostępnym z gniazda USB. Dodatkowo, zastosowano JUMPER, za pomocą którego można ustawić poziom napięcia zasilania VTAR (3,3 V lub 5 V) na wyjściu interfejsu UPDI programatora (złącze PRG). Oczywiście sam interfejs składa się wyłącznie z jednego wyprowadzenia UPDI (i masy), jednak dodatkowy pin zasilania daje możliwość zasilania programowanego układu z naszego programatora. Należy jedynie pamiętać o małej wydajności prądowej tego źródła napięcia, wynoszącej jedynie



Rysunek 2. Schemat ideowy programatora sUPDI

eprasa.pl ad39d4d9f3

50 mA w przypadku napięcia 3,3 V i 100 mA w przypadku napięcia 5 V.

Wspomniany wcześniej rezystor R2 pełni w naszym układzie jeszcze jedną funkcję, a mianowicie służy zabezpieczeniu programatora, gdyby w tym samym czasie nastąpiła próba nadawania transmisji przez oba układy (nasz mikrokontroler ATmega88 oraz programowany układ z interfejsem UPDI). Już tylko dla porządku dodam, że wbudowana dioda LED VUSB służy do sygnalizacji napięcia interfejsu USB.

Montaż i uruchomienie

Schemat montażowy urządzenia sUPDI został pokazany na **rysunku 3**. Zaprojektowano bardzo zgrabną płytkę drukowaną ze zdecydowaną przewagą elementów SMD montowanych wyłącznie po stronie TOP obwodu drukowanego. Aplikację urządzenia rozpoczynamy od przylutowania układów scalonych. Proces ten najłatwiej wykonać przy użyciu stacji lutowniczej na gorące powietrze (Hot Air) i odpowiednich stopów lutowniczych.

Jeśli jednak nie dysponujemy tego rodzaju sprzętem, można również zastosować metodę z użyciem typowej stacji lutowniczej czy nawet zwykłej lutownicy. Najprostszym sposobem montażu elementów o tak dużym zagęszczeniu wyprowadzeń, niewymagającym jednocześnie stosowania specjalistycznego sprzętu, jest użycie stacji lutowniczej, dobrej jakości cyny z odpowiednią ilością topnika oraz dość cienkiej plecionki rozlutowniczej. Plecionka umożliwi usunięcie nadmiaru cyny spomiędzy wyprowadzeń układów. Należy przy tym uważać, by nie uszkodzić termicznie montowanych elementów.

W następnej kolejności lutujemy pozostałe elementy półprzewodnikowe, potem rezystory i kondensatory a na samym końcu rezonator kwarcowy, listwy goldpinów VTAR (wyposażone w jumper) i PRG oraz gniazdo USB. Z uwagi na zagęszczenie wyprowadzeń układów scalonych przed pierwszym podłączeniem układu do zasilania należy jeszcze raz sprawdzić jakość wykonanych połączeń, aby nie dopuścić do ewentualnych zwarć. Wspomniana kontrola będzie znacznie łatwiejsza, jeśli zmontowaną płytkę przemyjemy alkoholem izopropylowym w celu wypłukania nadmiaru kalafonii lutowniczej.

Na **fotografii tytułowej zostało** pokazane zmontowane urządzenie (od strony warstwy TOP) w wersji prototypowej różniącej się nieznacznie od projektu docelowego.

Obsługa

Na koniec kilka słów na temat obsługi urządzenia. Pierwszym krokiem, jaki musimy wykonać, jest podłączenie programatora sUPDI do dowolnego portu USB komputera PC. Pierwszemu podłączeniu powinno towarzyszyć zainstalowanie stosownego sterownika wirtualnego portu szeregowego VCP pod nazwą COMx (gdzie x jest liczbą) dostępną, dla przykładu, z panelu sterowania systemu Windows. Warto zapamiętać nazwę naszego wirtualnego portu szeregowego, gdyż będzie niezbędna do wykonania dalszych czynności.

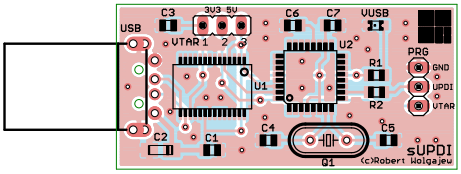
W przypadku, gdy używamy środowiska Eclipse i aplikacji AVRdude, wykorzystujemy:

- zaktualizowaną wersję aplikacji AVRdude (w tej chwili 6.3) oraz jej pliku konfiguracyjnego (*avrdude.conf*) obsługującą nowy typ programatora (jtag2updi) oraz definicje nowych typów mikrokontrolerów AVR,
- nową wersję toolchain'a z pakietu Atmel z obsługą nowych typów mikrokontrolerów, którą wskażemy w środowisku Eclipse.

Najprostszym sposobem pozyskania obu niezbędnych pakietów będzie ściągnięcie darmowej, najnowszej wersji aplikacji Arduino oraz oprogramowania Atmel Studio (lub Microchip Studio) w jego najnowszej kompilacji. Pierwsze ze środowisk da nam najnowszą wersję aplikacji AVRdude, zaś drugie, najnowszą wersję toolchaina, niezbędną do korzystania ze środowiska Eclipse. Mając wspomniane oprogramowanie, wystarczy wskazać stosowne ścieżki dostępu w środowisku Eclipse i już możemy cieszyć się możliwością tworzenia aplikacji na najnowsze mikrokontrolery AVR oraz ich programowania, za pomocą aplikacji AVRdude.

Warto zauważyć, że dostępna lista typów mikrokontrolerów, na jakie możemy przygotowywać oprogramowanie przy użyciu środowiska Eclipse, nie wyczerpuje wszystkich możliwości, jakie daje nam nowy toolchain i sam program AVRdude. Może to wynikać z nie najnowszej, i niestety nierozwijanej już, wersji pluginu AVR. No cóż, na tę chwilę nic więcej z tym nie zrobimy. Wróćmy zatem do zagadnienia programowania nowych mikrokontrolerów przy użyciu naszego programatora będącego najtańszą opcją sprzętową.

Samo programowanie przy udziale aplikacji AVRdude możemy wykonać z poziomu środowiska Eclipse, konfigurując stosowny programator (jtag2updi). Niemniej jednak lepiej wykonać tę operację ręcznie, w trybie konsoli, co szczególnie polecam. Nie powinno to stanowić jakiegokolwiek problemu, gdyż stosowne polecenia są bardzo proste i bez problemu możemy zapamiętać tych kilka szczegółów. Zacznijmy więc od przetestowania połączenia AVRdude z programowanym mikrokontrolerem przy użyciu programatora sUPDI. Stosowne polecenie (dla



Rysunek 3. Schemat płytki PCB z rozmieszczeniem elementów

przykładowego procesora ATtiny1614) wygląda następująco:

```
avrdude -c jtag2updi -P comx -p
t1614
```

gdzie *comx* to nazwa wirtualnego portu szeregowego naszego programatora sUPDI.

Jeśli wszystko przebiegnie poprawnie, powinniśmy otrzymać następujący (lub zbliżony) komunikat:

```
avrdude: AVR device initialized
and ready to accept instructions

Reading | ######################
############################## |
100% 0.03s

avrdude: Device signature =
0x1e9422 (probably t1614)

avrdude done.  Thank you.
```

Następnie wpisujemy polecenie pozwalające na zapis pliku *plik.hex* do pamięci Flash mikrokontrolera (w tym wypadku ATtiny1614), które wygląda następująco:

```
avrdude -c jtag2updi -P comx -p
t1614 -U flash:w:plik.hex
```

W tym miejscu pora na polecenie pozwalające na zapis fusebitu fuse6 mikrokontrolera (w tym wypadku ATtiny1614) na wartość 0x00:

```
avrdude.exe -c jtag2updi -P comx
-p t1614 -U fuse6:w:0x00:m
```

I podobne polecenie, ale służące do odczytu tego fusebitu i zapisanie jego wartości do pliku HEX:

```
avrdude.exe -c jtag2updi -P comx
-p t1614 -U fuse6:r:"fuse6.hex":i
```

Jest to pewna różnica w porównaniu do wcześniejszych mikrokontrolerów AVR, gdyż najnowsze modele konfigurację sprzętową przechowują w większej liczbie fusebitów, niż to miało miejsce w przypadku starszych konstrukcji.

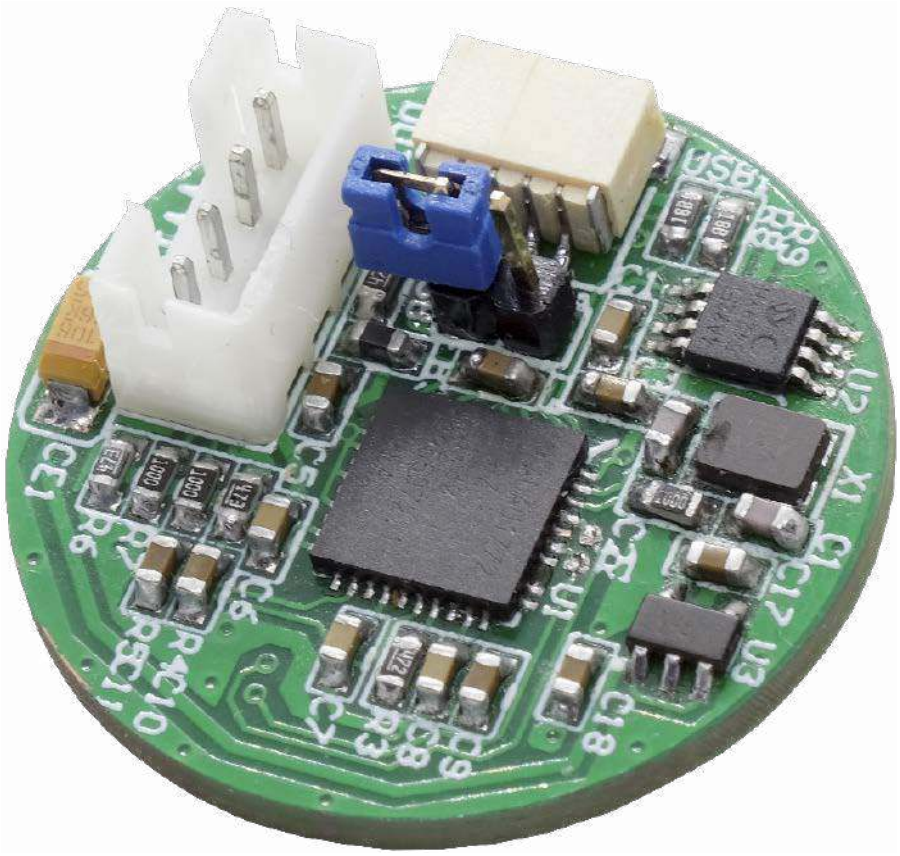
Tyle w kwestii podstawowych poleceń. Po szczegóły odsyłam do aplikacji AVRdude, której opis dostarcza szczegółowych informacji na temat wymaganej składni poleceń. Polecam również śledzenie repozytorium GitHub pod adresem https://bit.ly/2RCw15P, gdyż autor tej implementacji może umieszczać pod wskazanym adresem najnowsze oprogramowanie wspierające nowe funkcjonalności.

Robert Wołgajew, EP

eprasa.pl ad39d4d9f3

Cyfrowy stereofoniczny mikrofon z procesorem DSP

Jest to niewielki stereofoniczny mikrofon z całkowicie cyfrowym torem przetwarzania sygnału. Układ może znaleźć zastosowanie w radiokomunikacji, układach detekcji i rozpoznania mowy lub jako mikrofon używany podczasWebinariów, gdzie często jakość dźwięku mocno odstaje od jakości obrazu. Ze względu na funkcjonalność definiowaną programowo układ może być łatwo zoptymalizowany do innych zastosowań.



W module zastosowano cyfrowe mikrofony PDM typu MP34DT05 oraz procesor ADAU1772, znany Czytelnikom z projektu PicoDSP. Zastosowanie mikrofonów z cyfrowym interfejsem PDM umożliwia eliminację analogowych bloków wzmocnienia, znacząco upraszczając budowę układu. Układ ADAU1772 w swojej strukturze wewnętrznej, która została pokazana na **rysunku 1**, integruje nie tylko rdzeń DSP, ale także kodek audio z przedwzmacniaczami, bloki programowalnego wzmocnienia PGA oraz pomocnicze układy peryferyjne takie jak układ polaryzacji dla mikrofonów pojemnościowych, generatory transmisji szeregowej I²S/PDM umożliwiające realizację kompleksowego toru audio z obróbką DSP. Ze względu na przeznaczenie układu ADAU1772 do aplikacji mobilnych, cechuje się on niewielkim poborem mocy przy zachowaniu dużych możliwości kształtowania sygnału.

Podstawowe cechy procesora ADAU1772:

- obróbka sygnału z częstotliwością próbkowania do 192 kHz, z niską latencją,
- 4 przetworniki A/D 24-bitowe z programowanym PGA,
- 2 przetworniki D/A 24-bitowe,
- wbudowane obwody polaryzacji dla mikrofonów elektretowych,
- wbudowany driver dla słuchawek niskoomowych (do 30 mW na 16 Ω),
- interfejs dwukierunkowy I²S, TDM, PDM,
- 7 konfigurowalnych portów GPIO,
- tryb Selfboot, umożliwiający pracę bez zewnętrznego mikrokontrolera,
- napięcie zasilania 1,8...3,3 V, niski pobór mocy (<50 mW),
- łatwe programowanie w graficznym środowisku Sigma Studio (od wersji 3.14).

Budowa i działanie

Schemat urządzenia został pokazany na **rysunku 2**. Procesor U1 współpracuje z dwoma cyfrowymi mikrofonami MIC1 i MIC2 poprzez interfejs PDM. Mikrofony typu MP34DT05 wykonywane są jako moduły monofoniczne, ale oczywiście mogą pracować parami w trybie stereo. Wybór aktywnego

UWAGA: pamięć Eeprom i DSP pracują z zasilaniem 1,8 V, przed podłączeniem programatora USBi należy ustawić na nim zworę zasilania w położeniu „1,8 V". Podłączenie programatora USBi w starej lub alternatywnej wersji wspierającej tylko sygnały standardu 3,3 V uszkodzi procesor DSP.

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

W ofercie AVT* AVT5864

Podstawowe parametry:

- stereofoniczny mikrofon z cyfrowym torem przetwarzania sygnału,
- kształtowanie charakterystyki sygnału np. dla poprawienia wyrazistości mowy,
- poziom sygnału wyjściowego ograniczany cyfrowym limiterem,
- niewielki pobór prądu – przy zasilaniu 4,5 V wynosi ok. 5 mA.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

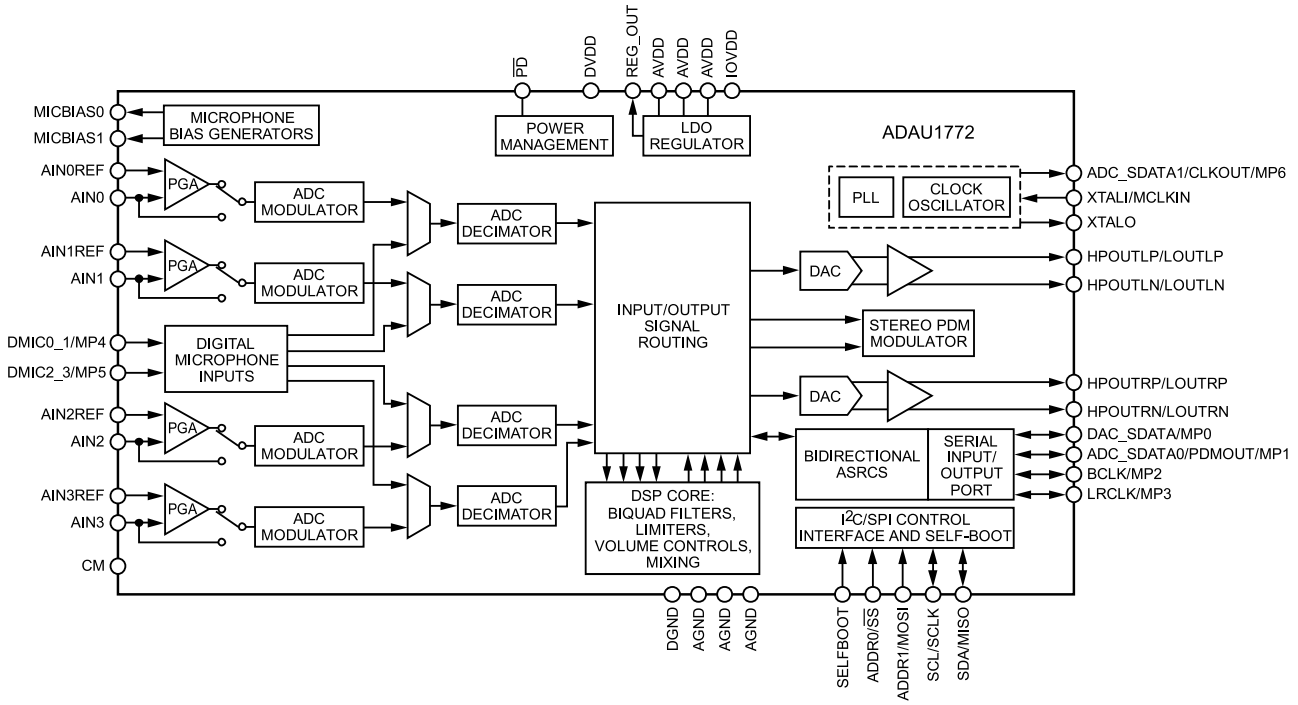
AVT-5758 Wielokanałowy mikrofon cyfrowy (EP 7/2020)
AVT-1968 Miniaturowy przedwzmacniacz mikrofonowy z układem SSM2167 (EP 9/2017)
AVT-5559 Przedwzmacniacz mikrofonowy o wysokiej jakości (EP 11/2016)
AVT-1837 Przedwzmacniacz do mikrofonu piezoelektrycznego (EP 12/2014)

*** 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.

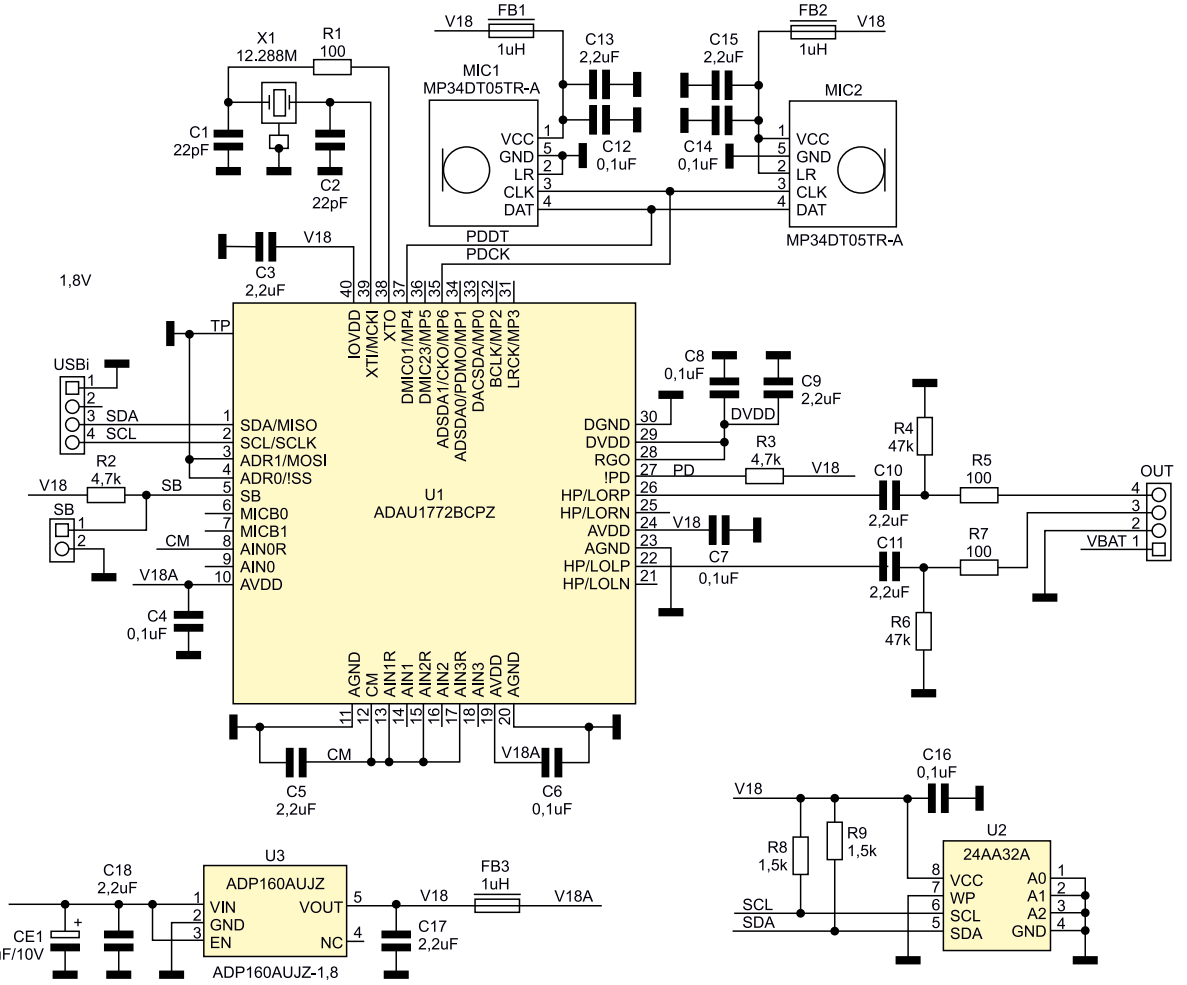
eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek1. Struktura wewnętrzna ADAU1772

kanału PDM, możliwy jest przez konfigurację sprzętową i odpowiednią polaryzację wyprowadzenia wyboru kanału LR. Zasilanie mikrofonów jest odsprzęgane filtrami z elementami FB1, FB2, C12...C15.

Oscylator X1 o częstotliwości 12,288 MHz zapewnia taktowanie procesora DSP. Analogowy sygnał wyjściowy i zasilanie układu wyprowadzone są na złącze OUT. Układ U3 typu ADP160-1.8 dostarcza napięcia zasilania 1,8 V. Układ zasilany jest z baterii 2...3×LR6 lub akumulatora LiPo 4,2 V. Zakres napięcia zasilania ograniczony parametrami stabilizatora U3, powinien zawierać się w przedziale 2,2...5,5 V. Wbudowany w DSP



Rysunek 2. Schemat ideowy urządzenia

eprasa.pl ad39d4d9f3

Wykaz elementów:
Rezystory: (SMD0603 1%)
R1, R5, R7: 100 Ω
R2, R3: 4,7 kΩ
R4, R6: 47 kΩ
R8, R9: 1,5 kΩ

Kondensatory:
C1, C2: 22 pF SMD0603
C3, C5, C9, C10, C11, C13, C15, C17, C18: 2,2 μF SMD0603
C4, C6, C7, C8, C12, C14, C16: 0,1 μF SMD0603
CE1: 10 μF/10 V tantalowy SMD A

Półprzewodniki:
MIC1, MIC2: mikrofon PDM typu MP34DT05TR-A HCLGA4
U1: ADAU1772BCPZ (LFCSP40)
U2: 24AA32A (MSOP8)
U3: ADP160AUJZ-1.8 (SOT-23-5)

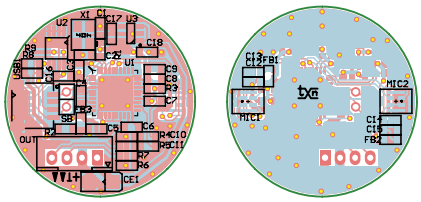
Pozostałe:
FB1, FB2, FB3: 1 μH koralik ferrrytowy 1000 Ω SMD603
OUT: złącze B4B 2 mm 4 piny proste
SB: listwa SIP2 2 mm + zwora
USBi: złącze JST 1 mm kątowe
X1: rezonator kwarcowy 12,288 MHz CFPX-180

pomocniczy stabilizator LDO dostarcza napięcia DVDD = 1,1 V dla zasilania rdzenia DSP. Całkowity pobór prądu przy zasilaniu 4,5 V wynosi ok. 5 mA.

Pamięć U2 typu 24AA32 służy do przechowywania aplikacji DSP. Zwora SB umożliwia wybór trybu pracy U1, stan wysoki wyprowadzenia SB wprowadza DSP w tryb pracy samodzielnej Selfboot, gdzie program pobierany jest każdorazowo podczas włączenia zasilania z pamięci EEPROM.

Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na niewielkiej okrągłej dwustronnej płytce drukowanej o średnicy 25,2 mm. Rozmieszczenie elementów zostało pokazane na **rysunku 3**. Podczas montażu należy zadbać o poprawne przylutowanie

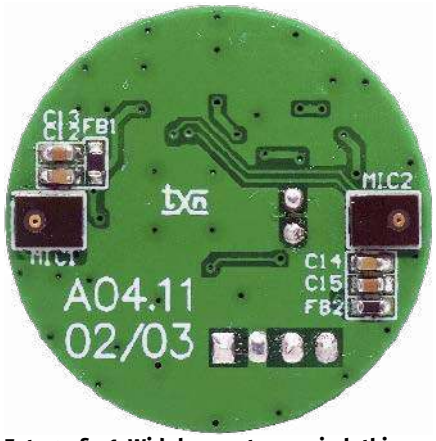


Rysunek 3. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów

pada termicznego układu DSP oraz zabezpieczenie mikrofonów zgodnie z nota katalogową. Zmontowany moduł został pokazany na fotografii tytułowej oraz na **fotografii 1**.

Jeżeli moduł jest poprawnie zmontowany, pozostaje przygotowanie aplikacji dla DSP. Do programowania, a raczej konfiguracji ADAU1772 służy SigmaStudio w wersji od 3.14 (aktualnie wersja 4.5). Niezmiennie jest udostępniane za darmo, wymaga jedynie rejestracji na stronie producenta *analog.com*. SigmaStudio to środowisko graficzne, w którym budujemy schemat z gotowych, parametryzowanych bloków funkcjonalnych oraz określamy konfigurację sprzętową procesora.

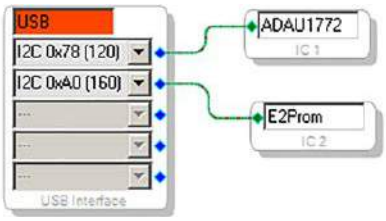
Układ jest programowany/konfigurowany tak, jak pozostałe procesory Sigma DSP – poprzez interfejs USBi. Ze względu na konieczność zachowania niewielkich



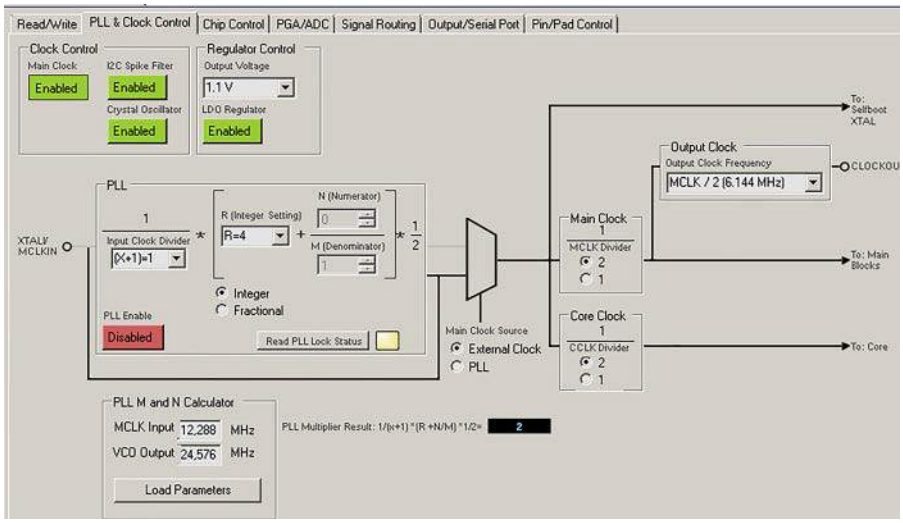
Fotografia 1. Widok zmontowanej płytki od strony mikrofonów

rozmiarów płytki zrezygnowano z typowego złącza USBI typu IDC10, na rzecz miniaturowego złącza JST 1 mm z odpowiednią przejściówką. Ze względu na napięcia zasilania 1,8 V podczas programowania konieczne jest ustawienie zwory w programatorze USBi w pozycji „1,8 V".

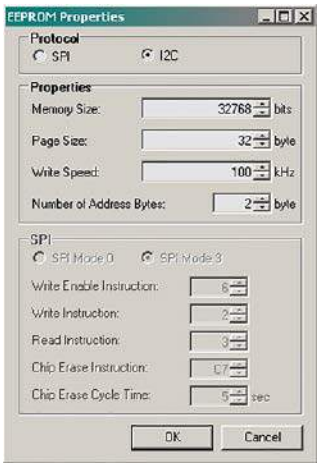
Po poprawnej instalacji oprogramowania, sterowników programatora USBi, podłączeniu magistrali I²C do złącza USBi płytki mikrofonu oraz doprowadzeniu zasilania i podłączeniu wzmacniacza



Rysunek 4. Konfiguracja układu ADAU1772



Rysunek 6. Konfiguracja toru taktowania ADAU1772



Rysunek 5. Konfiguracja pamięci EEPROM

Rysunek 7. Konfiguracja porótw GPIO

eprasa.pl ad39d4d9f3

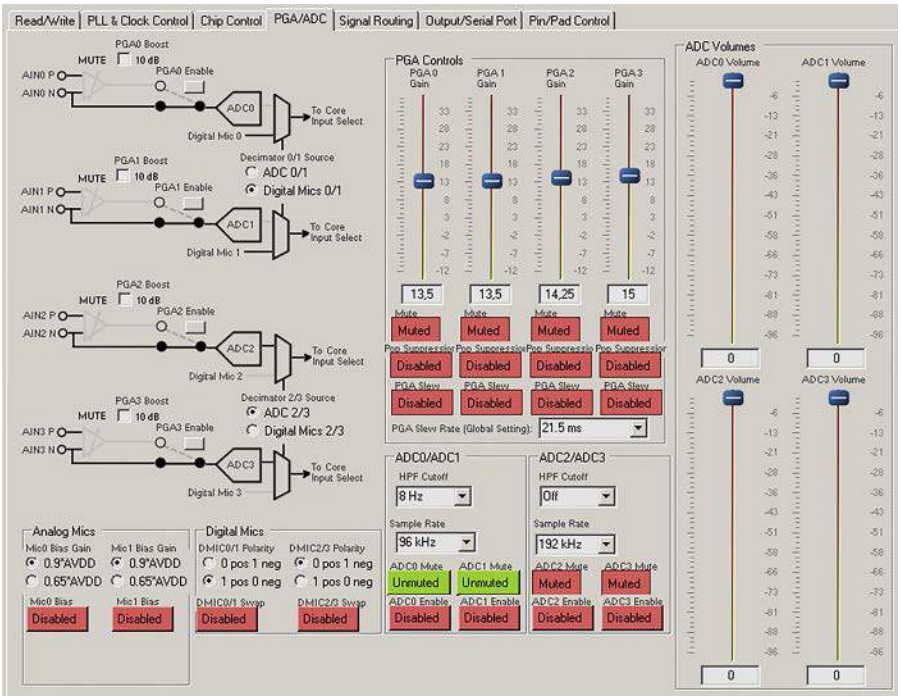
do złącza OUT, możliwe jest rozpoczęcie pracy z urządzeniem.

W pierwszej kolejności należy dokonać konfiguracji układu i pamięci zgodnie z **rysunkiem 4 i rysunkiem 5**. Teraz można przejść do konfiguracji sprzętowej i przygotowania aplikacji. Należy skonfigurować układ generacji sygnałów zegarowych i zasilanie rdzenia DSP zgodnie z **rysunkiem 6**. Częstotliwość oscylatora (External Clock) wynosi 12,288 MHz i taktuje procesor bezpośrednio z pominięciem bloku PLL. Dla poprawnej pracy interfejsu mikrofonów PDM, konieczne jest generowanie przebiegu zegarowego PDCK na wyprowadzeniu MP6 (CKO). Częstotliwość sygnału musi zawierać się w dopuszczalnym dla MP34DT05 przedziale 1,2...3,25 MHz, co można osiągnąć poprzez odpowiedni wybór podziału na wyjściu Output Clock. W wyniku podziału 12,288 MHz przez 2 (Main Clock) i 2 (Output Clock) daje spełniającą warunki częstotliwość 3,072 MHz (opis 6,144 MHz jest błędem w oprogramowaniu). Sygnał zegarowy dostępny jest wielofunkcyjnym wyprowadzeniu GPIO MP6, które należy skonfigurować do realizacji funkcji Clock Output zgodnie z **rysunkiem 7**.

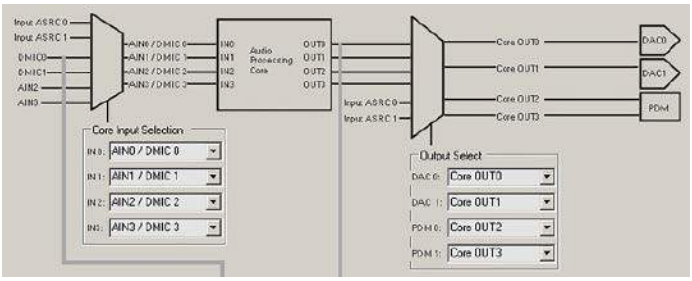
Następnie należy skonfigurować blok wejść zgodnie z **rysunkiem 8**, aktywując źródło sygnału dla rdzenia DSP na obsługę mikrofonów Digital Mic0/1 i wyłączyć wyciszanie kanałów ADC0,1 – Mute. W zakładce *Signal Routing* ustalamy przepływ sygnału przez ADAU1772 zgodnie z **rysunkiem 9**. Konfiguracji wymagają wyjścia DAC sygnału audio, tak jak to pokazuje **rysunek 10.** Należy ustawić typ Line Out oraz wyciszyć nieużywane bufory wyjść symetrycznych LN/PN W zakładce *Chip Control* wyłączamy nieużywane bloki DSP w celu minimalizacji poboru prądu (**rysunek 11**).

Po zakończeniu konfiguracji DSP można przejść do przygotowania aplikacji. W modelu sygnał z mikrofonów podlega obróbce w bloku korekcji charakterystyki częstotliwościowej i ograniczeniu poziomu limiterem. Schemat blokowy aplikacji został pokazany na **rysunku 12**. Sygnał wejściowy z mikrofonów, poprzez bloki Input1 i Mute1, które używane są tylko podczas uruchomienia, doprowadzony jest do bloku wzmocnienia Gain1, a stąd do bloku filtrów. Wskaźniki poziomu dBDisplay1...3 pozwalają dostroić optymalne wzmocnienie układu dostosowane do warunków pracy mikrofonu.

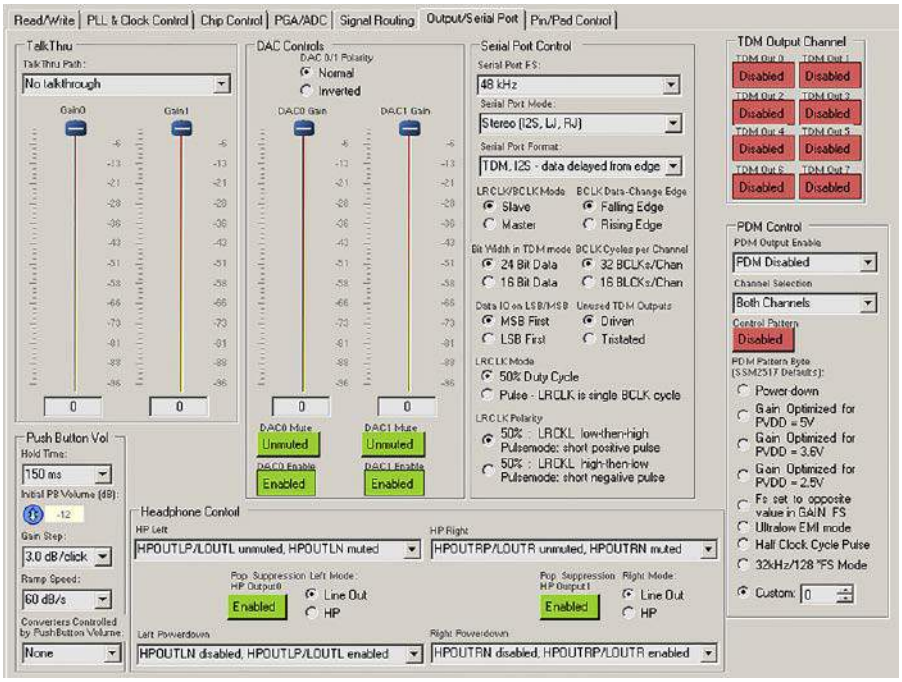
W bloku filtrów, których schemat pokazuje **rysunek 13**, kształtowana jest charakterystyka częstotliwościowa toru. W pierwszej kolejności z sygnału eliminowane są, poprzez filtr górnoprzepustowy GenFilter1, składowe poniżej 80 Hz, które w większości przypadków przenoszą więcej zakłóceń otoczenia niż sygnału użytecznego mowy. Kolejne trzy bloki GenFilter2...4 kształtują charakterystykę sygnału, najpierw w klasycznym regulatorze barwy tonu, a następnie w dwóch filtrach parametrycznych. Dobierając odpowiednio częstotliwości i dobroci filtrów możemy dopasować przebieg charakterystyki pod kątem aplikacji mikrofonu, poprawiając np. wyrazistość mowy. Ostatnim filtrem jest filtr dolnoprzepustowy eliminujący wysokie częstotliwości odpowiedzialne za nieprzyjemne głoski „syczące”.



Rysunek 8. Konfiguracja przetworników ADC

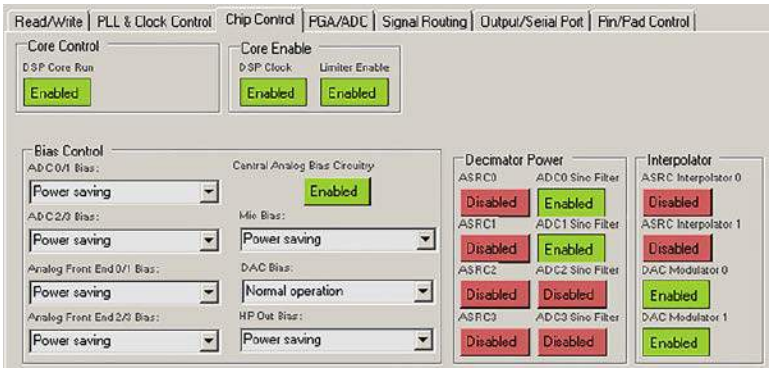


Rysunek 9. Konfiguracja przepływu sygnałów DSP

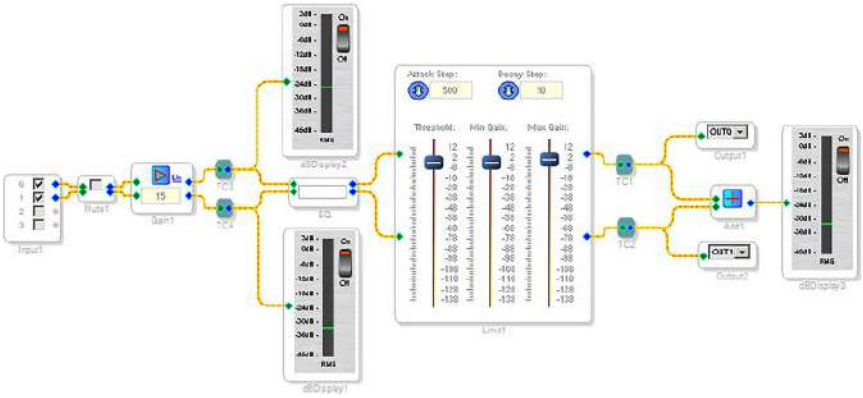


Rysunek 10. Konfiguracja przetwornika DAC

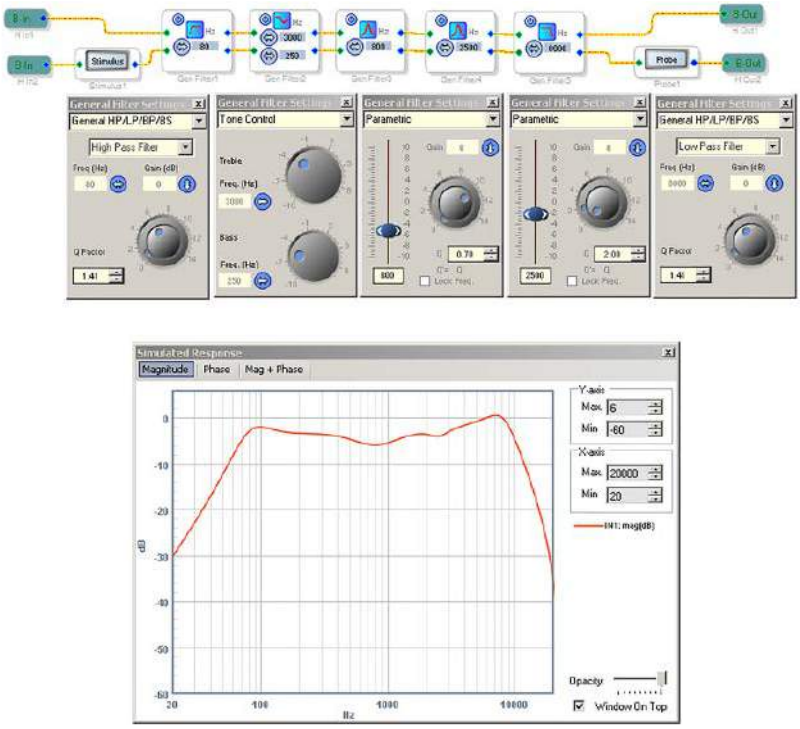
eprasa.pl ad39d4d9f3



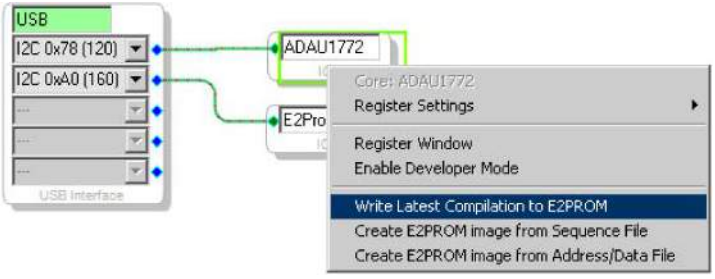
Rysunek 11. Konfiguracja zasilania DSP



Rysunek 12. Schemat blokowy aplikacji



Rysunek 13. Struktura bloku filtrów



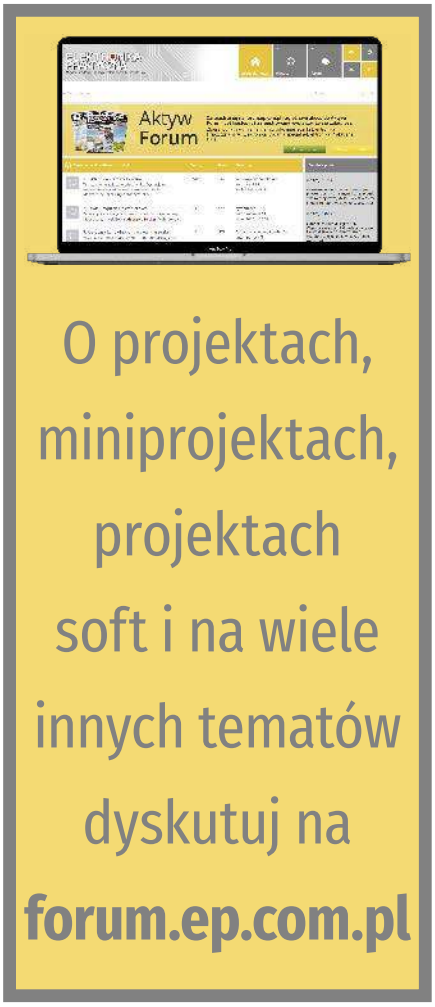
Rysunek 14. Programowanie pamięci EEPROM

Dobór filtrów i ich ustawień nie jest sprawą prostą, warto więc skorzystać z narzędzia Stimuls/Probe pozwalającego wyznaczyć charakterystyki częstotliwościowe korekcji przy zadanych ustawieniach.

Z bloku filtrów sygnał doprowadzony jest do limitera ograniczającego poziom wyjściowy, przy zbyt wysokim poziomie sygnału z mikrofonu. Blok limitera umożliwia ustawienie wzmocnienia układu poniżej i powyżej progu ograniczenia oraz stałych czasowych reakcji. Sygnał po obróbce doprowadzony jest do wyjść OUT0 i OUT1 oraz po zsumowaniu do wskaźnika poziomu wyjściowego. Po dostrojeniu parametrów aplikacji należy zaprogramować pamięć EEPROM (zwora SB zwarta) zgodnie z **rysunkiem 14**.

Po zaprogramowaniu, wyłączeniu zasilania, zdjęciu zwory SB i ponownym podaniu zasilania zewnętrznego procesor DSP realizuje funkcje już bez pomocy USBi i środowiska Sigma Studio. Przykładowy projekt *ADAU1772_DigMIC.dspproj* oraz zawartość EEPROM dostępna jest w materiałach dodatkowych. Aplikacja oczywiście nie wyczerpuje możliwości cyfrowego mikrofonu z DSP, a stanowi tylko szablon i zachętę do własnych eksperymentów z jednym z najprostszych procesorów rodziny Sigma DSP.

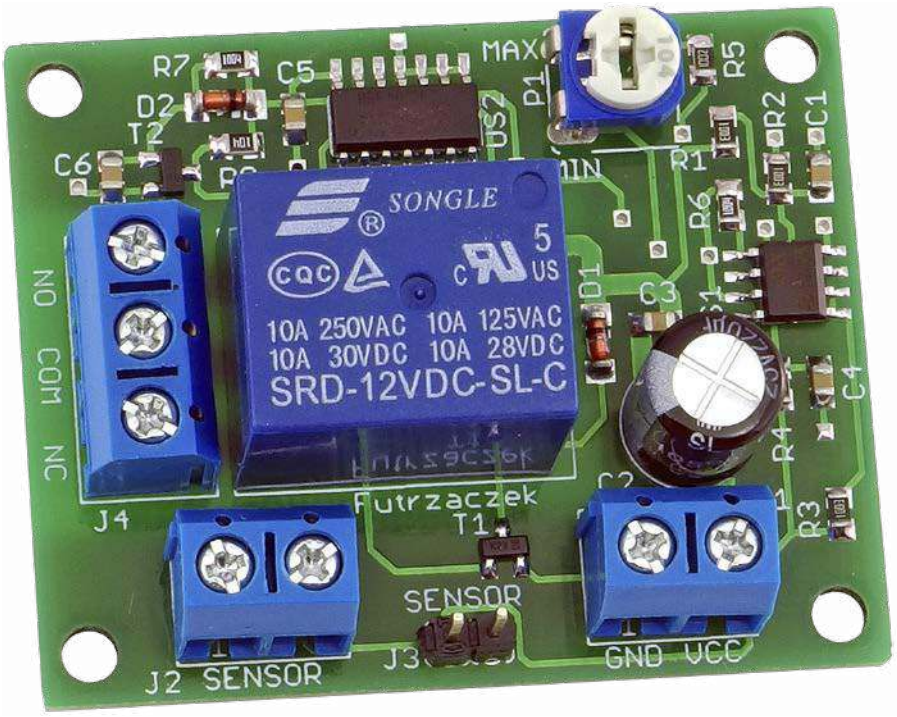
Adam Tatuś
adam.tatus@ep.com.pl



eprasa.pl ad39d4d9f3

Przełącznik o regulowanej sile zadziałania

Typowe przyciski monostabilne mają z góry określoną siłę nacisku, jaka powoduje zwarcie ich styków. W niektórych zastosowaniach warto byłoby mieć możliwość regulacji tego parametru. Na przykład kiedy chcemy wykonać włącznik światła, którego nie będą mogły przełączyć małe dzieci.



Kiedy chcemy uzyskać efekt przycisku bistabilnego (włącz-wyłącz) przy użyciu przełącznika monostabilnego, czyli wciskanego na chwilę, potrzebny jest przerzutnik. Może w tej roli wystąpić układ AVT3260, który przełączy przekaźnik po każdorazowym wciśnięciu podłączonego przycisku. Zaprezentowany teraz układ ma jeszcze jedną funkcję: możemy sami ustalić próg, przy którym naciśnięcie zostaje zinterpretowane jako dostatecznie silne. W ten sposób można wmontować czujnik np. pod wycieraczką, odpowiednio go skalibrować i wykrywać nadepnięcie przez człowieka, ale nie przez psa czy kota.

Budowa i działanie

Schemat ideowy przełącznika został pokazany na **rysunku 1**. Nie zawiera układów programowalnych ani złożonych struktur, więc jego analiza nie będzie skomplikowana.

Napięcie zasilające o wartości 12 V jest podawane na zaciski złącza J1. Za odsprzęganie odpowiadają kondensatory C2 i C3. Dodatkowo wytwarzane jest napięcie równe połowie napięcia zasilającego (zwane dalej napięciem referencyjnym), za co odpowiada dzielnik wykonany na rezystorach R1 i R2 oraz kondensator C2, który filtruje napięcie pochodzące z tego dzielnika. Wzmacniacz US1A pełni funkcję wtórnika napięciowego, zwiększając wydajność prądową takiego źródła napięcia.

Ponieważ zastosowany wzmacniacz typu TLC272 ma stopień wejściowy zbudowany z tranzystorów MOSFET, pobierany przez wejścia tego układu prąd jest niemal zerowy. Nie ma zatem potrzeby kompensacji wpływu prądów wejściowych, co wymagałoby dodania rezystora pomiędzy wyjściem a wejściem odwracającym. Maksymalne zalecane napięcie zasilające ten układ może wynosić 16 V, więc doskonale sprawdzi się w tym zastosowaniu.

Jako sensor wykrywający siłę nacisku zastosowano czujnik typu FSR402 firmy Pololu (**fotografia 1**). Okrągła część ma średnicę 18,3 mm, a samo pole czułe na nacisk 12,7 mm. Natomiast foliowa tasiemka z doprowadzeniami jest długa na 35,8 mm. Producent deklaruje jednocześnie, że grubość tego czujnika wynosi 0,46 mm, więc możliwości jego wkomponowania w urządzenie są naprawdę szerokie. Działanie tego elementu polega na zmniejszaniu rezystancji pod wpływem siły ściskającej okrągłe pole. **Rysunek 2** pokazuje wykres obrazujący zależność między rezystancją a naciskiem wyrażonym w gramach. Warto zwrócić uwagę, że obie jego osie są opisane w skali logarytmicznej, co oznacza, że na znacznej części ta zależność jest niemal liniowa – można tak przyjąć dla nacisku silniejszego od około 10 g.

Czujnik FSR402 został włączony jako dolna gałąź dzielnika rezystancyjnego, zaś górną jest rezystor R3. Zasilanie dzielnika odbywa się ze wspomnianego wcześniej napięcia referencyjnego, więc maksymalne napięcie wychodzące z tego obwodu nie przekroczy połowy napięcia zasilającego. To ważne, ponieważ wejścia układu TLC272 obsługują napięcie o wartości maksymalnej

Fotografia 1. Czujnik siły nacisku FSR402

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

W ofercie AVT* AVT5865

Podstawowe parametry:
- bistabilne przełączanie po naciśnięciu sensora,
- możliwość ustawienia progu zadziałania w zakresie od kilkunastu gramów do ok. 2 kg,
- niewielka grubość sensora nacisku: około 0,5 mm,
- wyjście w postaci styków NO i NC przekaźnika elektromagnetycznego,
- zasilanie napięciem 12 V DC.

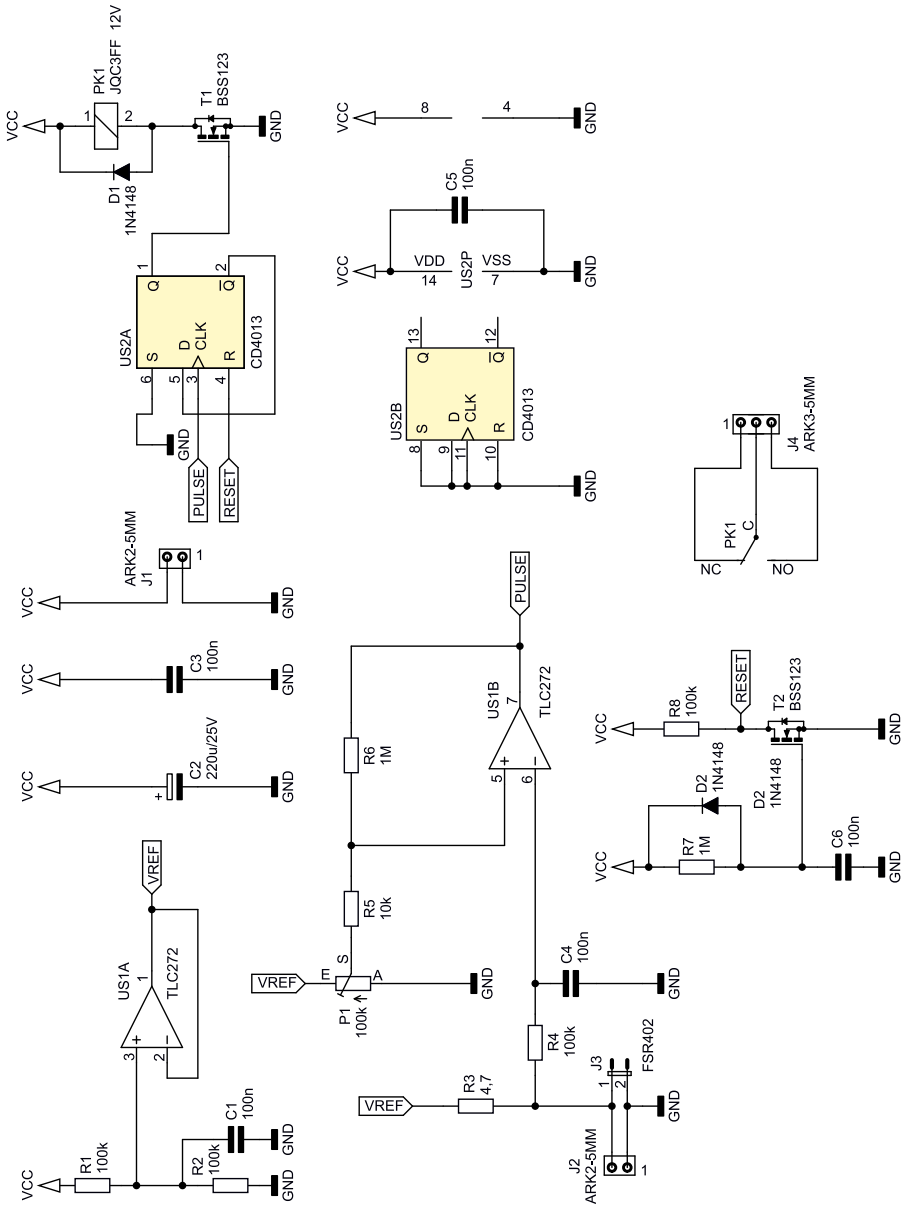
Wykaz elementów:
R1, R2, R4, R8: 100 kΩ SMD0805
R3: 4,7 kΩ SMD0805
R5: 10 kΩ SMD0805
R6, R7: 1 MΩ SMD0805
P1: 100 kΩ montażowy leżący
C1, C3…C6: 100 nF SMD0805
C2: 220 µF 25 V THT raster 3,5 mm
D1, D2: 1N4148 (MiniMELF)
T1, T2: BSS123 (SOT23)
US1: TLC272 (SO8)
US2: CD4013 (SO14)
J1, J2: ARK500/2
J3: goldpin 2 piny, męski 2,54 mm THT
J4: ARK500/3
Czujnik FSR402

*** 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 ad39d4d9f3

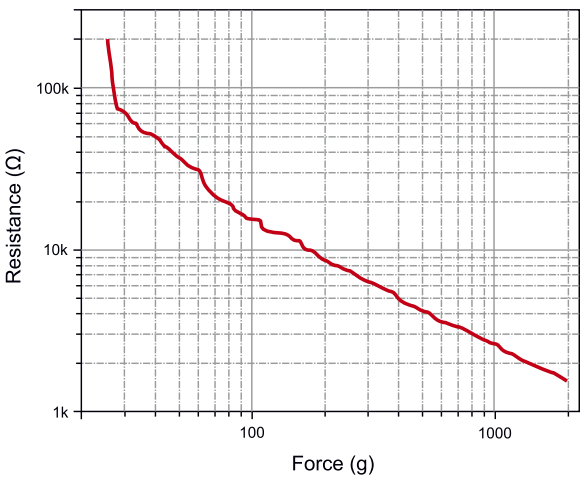


Rysunek 1. Schemat ideowy przełącznika

o 1,5 V mniejszej od ich napięcia zasilającego. Czyli przy zasilaniu układu napięciem 12 V na jego wejście zostanie podane nie więcej niż 6 V, więc z pewnością będzie działał prawidłowo.

Prosty filtr dolnoprzepustowy, na który składają się rezystor R4 i kondensator C4, filtruje uzyskane napięcie. Jego częstotliwość graniczna wynosi około 16 Hz, więc będzie blokował również składową pochodzącą z sieci energetycznej, która ma częstotliwość 50 Hz. Dodatkowo zabezpieczy delikatne wejście wzmacniacza operacyjnego przed ewentualnymi wyładowaniami elektrostatycznymi.

Sam wzmacniacz operacyjny US1B został podłączony w roli komparatora. Napięcie z dzielnika zawierającego czujnik nacisku jest porównywane z tym, które ustala potencjometr P1. Rezystory R5 i R6 tworzą pętlę dodatniego sprzężenia zwrotnego,



Rysunek 2. Zależność między rezystancją czujnika FSR402 a naciskiem, wyrażonym w gramach

REKLAMA

Najmniejszy czujnik CO_2 na rynku

SENSIRION
THE SENSOR COMPANY

Idealny do montażu SMD

Czy to w automatyce budynkowej, sygnalizatorach poziomu CO_2 lub branży HVAC: dzięki miniaturyzacji czujniki CO_2 SCD40 i SCD41 firmy SENSIRION wyznaczają nowe standardy.

- Wymiary 10.1 x 10.1 x 6.5 mm to mniej niż wymiary kostki cukru
- W pełni skalibrowane
- Zakres pomiarowy 0 - 40.000 ppm ±40 ppm
- Napięcie zasilania 2.4 – 5.5V
- Przeznaczone do lutowania rozpływowego

Zamów już dzisiaj zestaw startowy, a szybko wprowadzisz swój produkt na rynek!

www.glyn.pl | sales@glyn.pl

FIRST CLASS PREMIUM SUPPORT
GLYN
High-Tech Distribution

eprasa.pl ad39d4d9f3

wprowadzając do układu niewielką histerezę. Zapobiega to wielokrotnemu przełączaniu podczas powolnego wciskania czujnika.

Kiedy czujnik jest zwolniony, potencjał wejścia nieodwracającego we wzmacniaczu US1B jest niższy niż odwracającego, więc na jego wyjściu panuje napięcie odpowiadające logicznemu stanowi niskiemu. Wciśnięcie czujnika powoduje zmianę sytuacji i wyjście natychmiast przyjmuje stan wysoki. Oznacza to wygenerowanie narastającego zbocza napięcia w chwili dostatecznie silnego naciśnięcia czujnika. Przełączaniem przekaźnika zajmuje się układ CD4013, mający dwa przerzutniki synchroniczne typu D. Po zwarciu zanegowanego wyjścia Q z wejściem D powstaje asynchroniczny przerzutnik typu T, który zmienia swój stan po każdym zboczu narastającym podanym na jego wejście zegarowe.

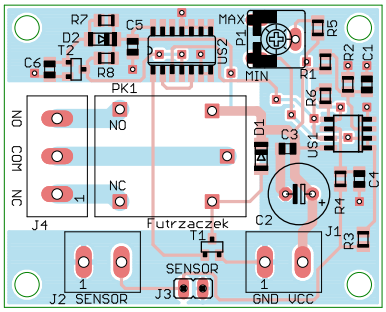
Aby mieć pewność, że w chwili włączenia zasilania przekaźnik nie załączy się samoczynnie, został dodany prosty obwód. Wejściem zerującym przerzutnika US2A steruje tranzystor T2 z obciążeniem w postaci rezystora R8. W chwili włączenia zasilania tranzystor ten jest zatkany, ponieważ kondensator C6, znajdujący się między jego bramką i źródłem, jest nienaładowany. Rezystor R8 wymusza wysoki stan logiczny na nóżce 4 układu US2, co ustala jego stan wewnętrzny. Po czasie krótszym od sekundy, za pomocą rezystora R7, kondensator C6 naładuje się i tranzystor T2 zacznie przewodzić. Wejście zerujące US2A będzie wówczas nieaktywne, a cały układ stanie się gotowy do działania. Dioda D2 przyspiesza rozładowanie C6 po wyłączeniu zasilania, przez co układ szybciej staje się gotowy na ponowne załączenie. Tranzystor T2 został dodany, aby skrócić czas narastania napięcia na wejściu zerującym przerzutnika. Nie ma ono bufora w postaci przerzutnika Schmitta, więc należało zadbać o skrócenie czasu trwania napięcia na nim w przedziale zabronionym.

Przekaźnik jest sterowany przez tranzystor T1, którego bramka jest wprost połączona z wyjściem przerzutnika. Natomiast nieużywany przerzutnik US2B został połączony wszystkimi wejściami z masą układu.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 50×40 mm. Jej wzór ścieżek oraz schemat montażowy zostały pokazane na **rysunku 3**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się otwory montażowe, każdy o średnicy 3,2 mm. Montaż proponuję rozpocząć od elementów lutowanych powierzchniowo, które znajdują się tylko na wierzchniej stronie płytki. Po ich przylutowaniu można przejść do potencjometru P1, kondensatora C2, złączy oraz przekaźnika, które są montowane techniką przewlekaną (THT).

Czujnik typu FSR402 należy podłączyć do złącza J2 lub J3 układu. Mają one tę samą funkcję, różnią się jedynie rastrem. Lutując czujnik bezpośrednio do płytki, lepiej skorzystać ze złącza J3, które ma ten sam raster, co wyprowadzenia czujnika. Z kolei używając przewodów do połączenia czujnika z płytką, można je wkręcić w zaciski złącza J2. Długość przewodów połączeniowych nie jest istotna. Rezystancja, jaką prezentuje sobą czujnik, wynosi ok. 1 kΩ (lub więcej – w przypadku słabszego nacisku). Jeżeli połączenie byłoby bardzo długie (np. powyżej 2 m) lub przebiegałoby w silnie zakłóconym środowisku, proponuję skorzystać z dwużyłowego przewodu



Rysunek 3. Schemat montażowy i wzór ścieżek płytki

ekranowanego. Wówczas jego ekran należy połączyć z masą układu jedynie przy płytce drukowanej (na przykład przy zacisku GND złącza J1), a wyprowadzenia czujnika poprowadzić żyłami.

Układ powinien być zasilany napięciem stałym o wartości około 12 V. Pobór prądu wynosi niecałe 2 mA przy wyłączonym przekaźniku PK1 i wzrasta do 33 mA po jego załączeniu.

Na zaciski złącza J4 zostały wyprowadzone odpowiednie styki przekaźnika. Jeżeli płynący przez nie prąd miałby przekraczać 5 A, polecam pogrubić ścieżki łączące przekaźnik ze złączem przy użyciu drutu miedzianego. Zostały odsłonięte spod maski lutowniczej, co ułatwia ten zabieg.

Jedyną czynnością uruchomieniową jest ustawienie potencjometru P1 w pozycji, która powoduje zadziałanie układu pod wpływem określonego nacisku na powierzchnię czujnika. Skręcając jego ślizgacz w stronę MAX, zwiększamy siłę, która przyłożona do czujnika spowoduje jego przełączenie. Odwrotnie, obracając go w stronę MIN, czynimy czujnik bardziej podatnym na załączenie.

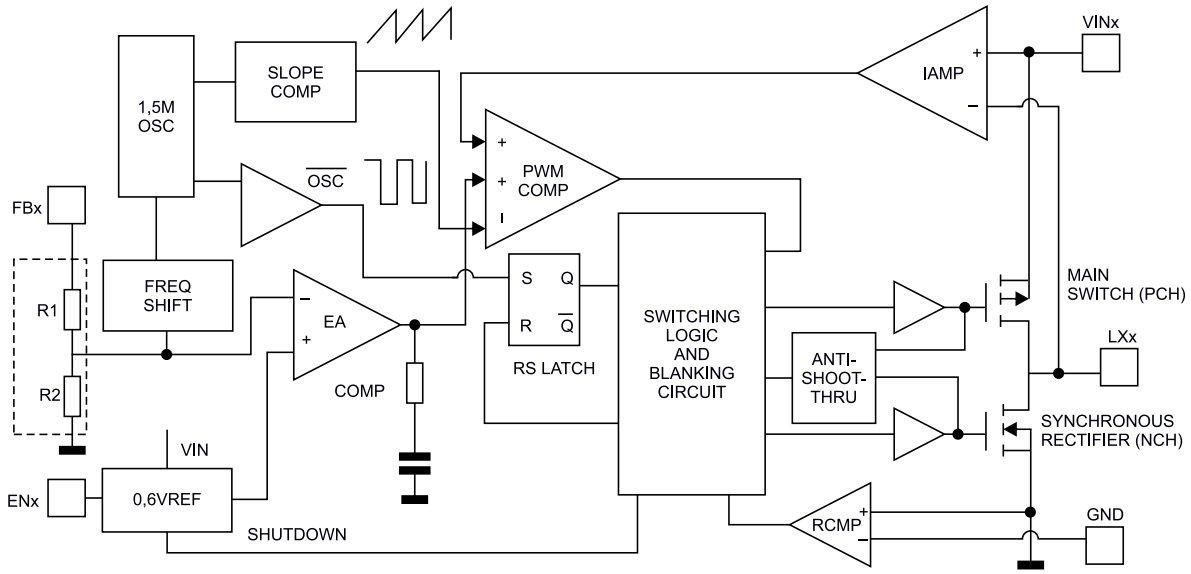
Michał Kurzela, EP

Minizasilacz do płytek stykowych

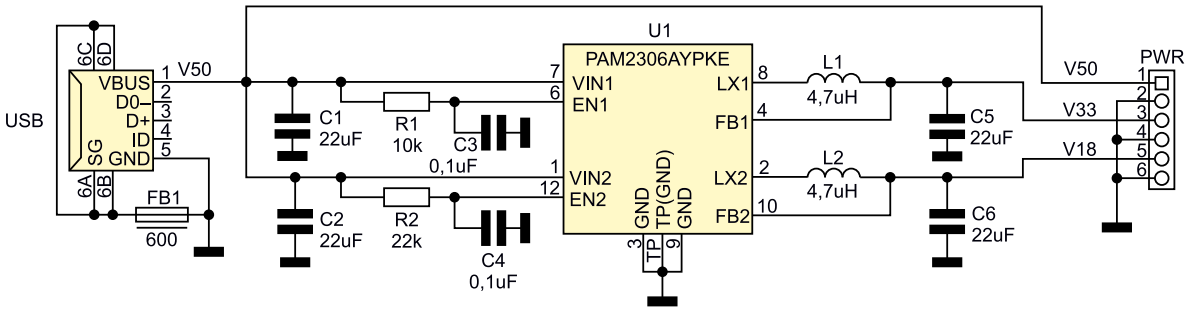
Zasilacz został zbudowany na bazie układu PAM2306AYPxx firmy Diodes Inc., który integruje podwójny sterownik PWM dla przetwornicy obniżającej wraz z elementami wykonawczymi i zabezpieczającymi. Ułatwia to skonstruowanie zasilacza dwunapięciowego o parametrach ustalanych doborem wersji układu przy zachowaniu niewielkich rozmiarów aplikacji.

Schemat wewnętrzny jednego z dwóch torów układu PAM2306AYPxx firmy Diodes Inc. został pokazany na **rysunku 1**. Jest to kompletna przetwornica obniżająca napięcie. Dodatkowo każdy z kanałów przetwornicy ma niezależne wejście aktywujące ENx, które

eprasa.pl ad39d4d9f3



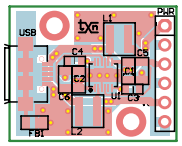
Rysunek 1. Schemat wewnętrzny układu PAM2306AYPxx (za notą Diodes)



Rysunek 2. Schemat minizasilacza

Tabela 1. Kodowanie wartości napięć xx układu PAM2306AYPxx

K	H	G	E	C	B	A
3,3 V	2,8 V	2,5 V	1,8 V	1,5 V	1,2 V	ADJ



Rysunek 3. Schemat płytki PCB z rozmieszczeniem elementów

oprócz załączenia przetwornicy może posłużyć do realizacji sekwencji pojawiania się napięć wyjściowych.

Budowa i działanie

Schemat zasilacza został pokazany na **rysunku 2**. Napięcie 5 V z ładowarki poprzez złącze USB typu micro doprowadzone jest do wejścia przetwornicy U1 typu PAM2306AYPKE o ustalonych napięciach wyjściowych na 3,3 V i 1,8 V (wersja KE). Napięcia wyjściowe oraz napięcie zasilania dostępne są na złączu PWR.

Elementy R1 i C3 oraz R2 i C4 ustalają opóźnienie pojawiania się napięć wyjściowych. Próg załączenia ENx ustalony jest na 1,5 V, wyłączenia na 0,3 V. Wartości elementów modelu ustalają sekwencję pojawiania się napięć od najwyższego do najniższego (5 V, 3,3 V, 1,8 V). Kondensatory C1, C2, C5, C6 odsprzęgają zasilanie.

Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, której schemat został pokazany na **rysunku 3**. Montaż nie wymaga opisu, należy tylko poprawnie przylutować pad termiczny U1.

Przetwornica nie wymaga uruchamiania, po podłączeniu do ładowarki należy tylko pod obciążeniem sprawdzić poprawność napięć wyjściowych. Jeżeli aplikacja wymaga innych napięć wyjściowych, należy zastosować odpowiedni podtyp układu PAM2306 zgodnie z **tabelą 1**. Wartość napięcia wyjściowego dla każdego z wyjść kodowana jest na dwóch ostatnich pozycjach oznaczenia PAM2306AYPxx. Przykładowo dla napięć 1,5 V/1,2 V należy zastosować układ PAM2306AYPCB. Układ w wersji z napięciem wyjściowym ustawianym dzielnikiem rezystorowym PAM2306AYPAA nie jest zgodny z płytką i nie może być zastosowany.

Adam Tatuś, EP

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

W ofercie AVT* AVT5862

Podstawowe parametry:
- zasilany z typowej ładowarki USB 5 V/1 A,
- dostarcza dwóch niezależnych napięć o wartościach ustalonych typem zastosowanego układu,
- napięcia wyjściowe z zakresu 1,2…3,3 V, przy obciążalności do 400 mA w każdym z kanałów,
- miniaturowa konstrukcja.

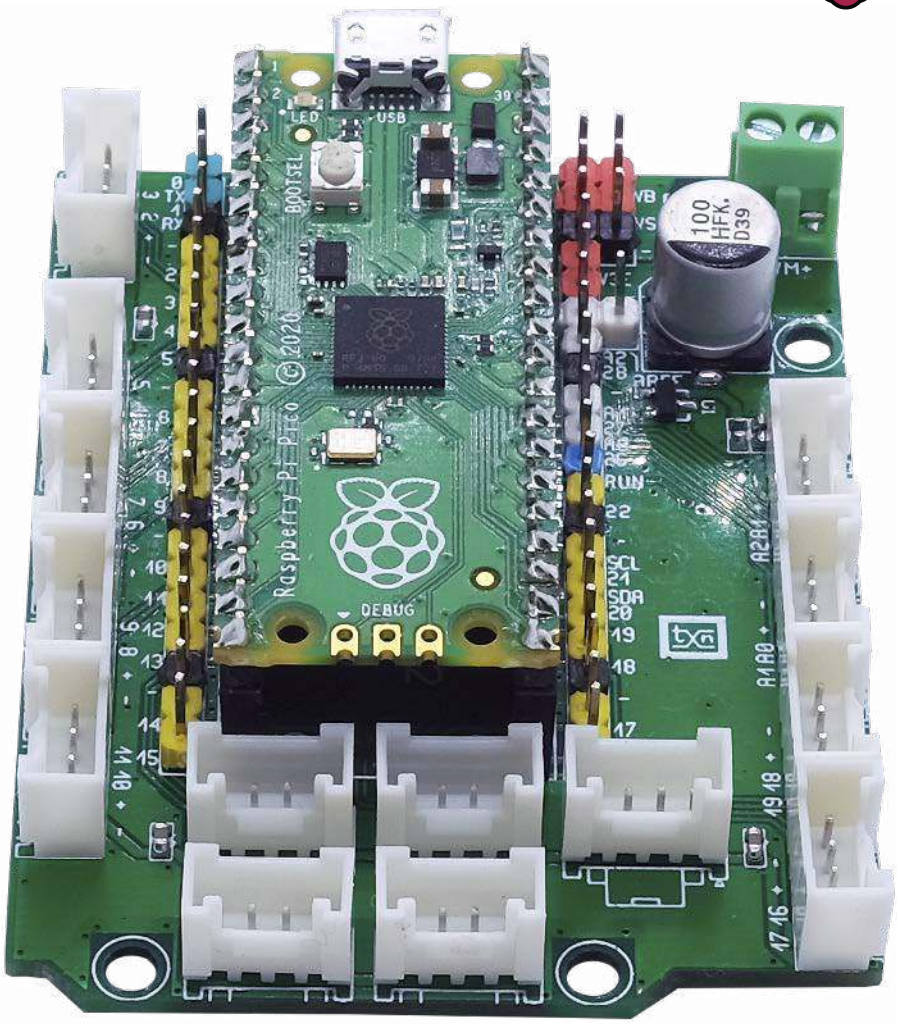
Wykaz elementów:
R1: 10 kΩ SMD0603 1%
R2: 22 kΩ SMD0603 1%
C1, C2, C5, C6: 22 µF/10 V SMD0805
C3, C4: 0,1 µF SMD0603
U1: PAM2306AYPKE (WFDN12L)
FB1: dławik ferrytowy 600 R/100 mA SMD0805
L1, L2: 4,7 µH WE-MAPI4020 (WE 74438356047, ew. DJNR4018)
PWR: złącze SIP6, 2,54 mm
USB: gniazdo USB Micro SMD

* 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 ad39d4d9f3

Płytka bazowa dla Raspberry Pi Pico

Rodzina Raspberry doczekała się płytki z własnym mikroprocesorem RP2040 wyposażonym w dwa rdzenie Cortex M0+ uzupełnione bogatymi peryferiami. Zaprezentowana płytka ułatwia szybkie połączenie Pi Pico z popularnymi czujnikami i różnymi elementami wykonawczymi.



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

W ofercie AVT* AVT5858

Podstawowe parametry:
- umożliwia bezpośrednie podłączenie czujników i elementów wykonawczych w standardzie Grove zgodnych z napięciem 3,3 V,
- zawiera zewnętrzne źródło napięcia odniesienia 3 V typu LM4040, umożliwiające zwiększenie dokładności przetwarzania wbudowanego przetwornika ADC,
- pozwala na zasilanie płytki Pico napięciem stałym z zakresu 6…30 V.

Wykaz elementów:
R5: 180 kΩ SMD0603 Razystor 1%
C1, C2, C5…C7: 0,1 µF/50 V SMD0603
C3, C4: 1 µF/25 V SMD0603
C8: 2,2 µF/100 V SMD1210
C9: 10 µF/10 V SMD0805
CE1: 100 µF/50 V elektrolityczny low ESR SMD
CE2, CE3: 100 µF/10 V tantalowy SMC
D1: STPS2L40U dioda Schottky'ego SMB
DZ1: SM6T39A transil SMB
U1: LM4040BIM3-3.0 (SOT-23)
U2: LTC3630EMSE (MSOP16)
L1: 33 µH/0,9 A dławik SMD DE0704-33
FB: dławik SMD0603 BLM18PG121SH1D
AREF: listwa SIP1 2,54 mm
A01, A12, D22, D23, D45, D67, D89, D1011, D1213, D1415, D1617, D1819, I2C, UART: złącze Grove proste
IO1, IO2: listwa SIP20 2,54 mm męska
M1: listwa SIP20 2,54 mm żeńska
PS: listwa SIP3 2,54 mm
RESET: rzycisk smd B3U-1000P
VM: złącze śrubowe DG381-3.5-2

*** 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.

Płytka Pi Pico wykonana jest w formie modułu z podstawowymi wyprowadzeniami na dwóch rzędach 20-pinowych szpilek o rozstawie 700 milsów. Funkcje poszczególnych wyprowadzeń modułu zostały pokazane na **rysunku 1**. Dzięki rastrowi 100 milsów, bez udziwnień znanych z Arduino, możliwe jest bezpośrednie zastosowanie Pico m.in. w płytkach stykowych. Jednak znacznie wygodniej jest użyć płytki bazowej, która oprócz powielenia wszystkich sygnałów Pico, umożliwia bezpośrednie podłączenie czujników i elementów wykonawczych w standardzie Grove zgodnych z napięciem 3,3 V. Dodatkowo na płytce znajduje się zasilacz o szerokim zakresie napięć wejściowych, umożliwiający zasilanie Pico napięciem stałym z zakresu 6...30 V.

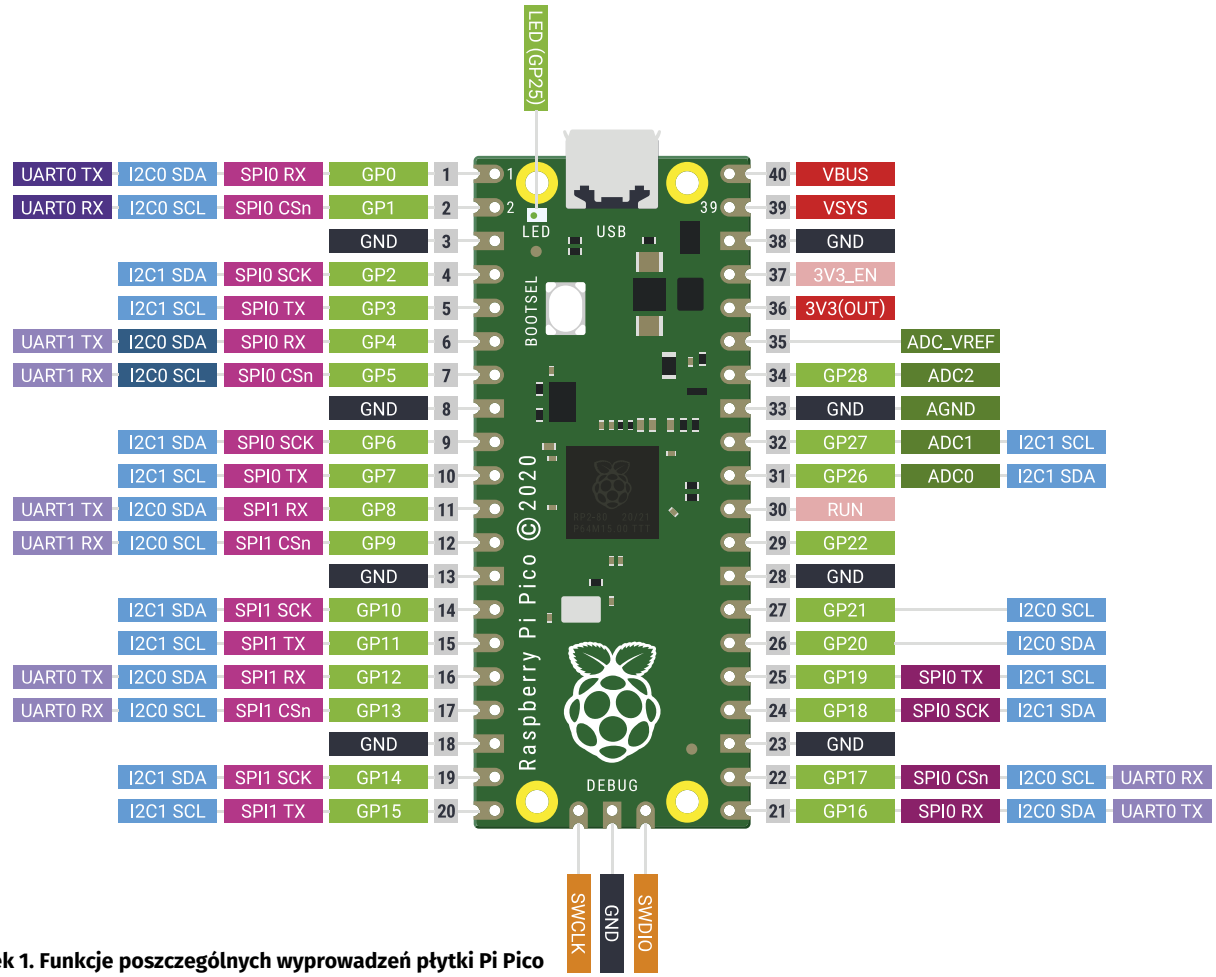
Budowa i działanie

Schemat płytki bazowej został pokazany na **rysunku 2**. Zasilanie może pochodzić z wbudowanego w płytkę Pico złącza USB lub może zostać podłączone poprzez złącze śrubowe VM (dopuszczalny zakres napięcia wynosi 6...30 V). Transil DZ1 zabezpiecza układ LTC3630 przed odwrotnym podłączeniem i przepięciami z linii zasilania. Napięcie wyjściowe przetwornicy U2 ustalone jest na 5 V, a obciążalność wynosi ok. 200 mA.

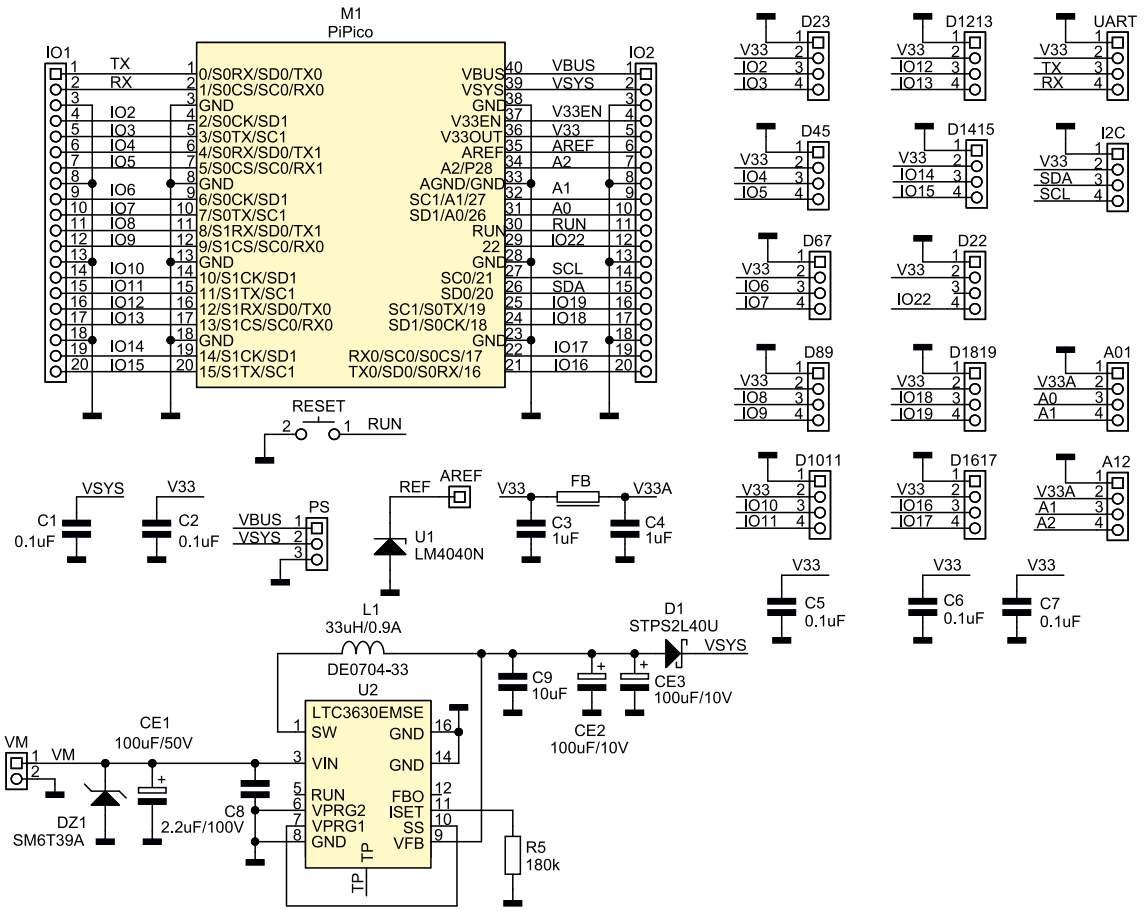
Na złącza szpilkowe IO1 i IO2 wyprowadzone są wszystkie sygnały z płytki Pico, złącze PS dubluje zasilania VBUS (bezpośrednio z gniazda USB), VSYS (z wbudowanych przetwornic). Dioda D1 STPS2L40 oraz D1 MBR120 z płytki Pico umożliwiają zasilanie niezależnie od źródła VM/USB, bez dodatkowych przełączników. Jeżeli używamy tylko i wyłącznie zasilania z USB, możliwe jest zwarcie wewnętrznej diody MBR120 poprzez założenie zwory na wyprowadzenia VBUS/VSYS złącza PS, co podniesie nieco sprawność układu zasilania Pico. Dopuszczalne jest także zasilanie bateryjne (1,8...5,5 V) po doprowadzeniu napięcia baterii do wyprowadzeń VSYS/GND złącza PS.

Do złączy czujników typu Grove doprowadzone są wszystkie sygnały GPIO pogrupowane parami wraz z zasilaniem V33 z wbudowanej w Pico przetwornicy. Przycisk RESET podłączony do wyprowadzenia RUN umożliwia restart mikroprocesora RP2040. Układ uzupełnia filtr zasilania V33A dla części analogowej na elementach C3, C4, FB oraz zewnętrzne źródło napięcia odniesienia 3 V typu LM4040 (U1), umożliwiające

eprasa.pl ad39d4d9f3

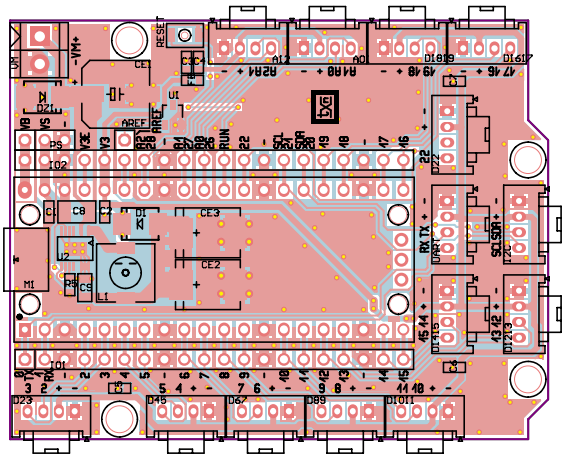


Rysunek 1. Funkcje poszczególnych wyprowadzeń płytki Pi Pico



Rysunek 2. Schemat płytki bazowej

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 3. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów

zwiększenie dokładności przetwarzania wbudowanego przetwornika ADC. Aby wykorzystać napięcie odniesienia z U1, należy połączyć zworą sygnały AREF złączy IO2 i AREF.

Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, której schemat wraz z rozmieszczeniem elementów został pokazany na **rysunku 3**. Montaż nie jest skomplikowany i nie wymaga szczegółowego opisu, a gotowa płytka wymaga tylko sprawdzenia poprawności napięć. Po podłączeniu źródła zasilania należy sprawdzić obecność napięcia 5 V z przetwornicy U2 na kondensatorze CE2. Po włożeniu modułu Pico do gniazda M1 należy sprawdzić napięcia zasilające czujniki, które powinno wynosić 3,3 V, ±5%.

Podczas montażu warto wyróżnić grupy sygnałów zasilania, wejść analogowych, cyfrowych oraz transmisji różnokolorowymi listwami kołkowymi. Ułatwia to szybkie i bezbłędne połączenia ze współpracującymi układami. Zamiennie ze złączami typu 110990030, zgodnymi ze standardem Grove, mogą być stosowane złącza JST PH 2.00 mm.

Adam Tatuś
adam.tatus@ep.com.pl

Multisensor THPI – czujnik parametrów otoczenia z interfejsem I²C

Minimoduł zawierający czujniki podstawowych czynników środowiskowych: temperatury, wilgotności, ciśnienia oraz natężenia oświetlenia, jest przydatny przy realizacji domowych systemów automatyki, monitoringu IoT czy budowie stacji meteo na bazie Arduino lub Raspberry Pi.

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

W ofercie AVT* AVT5861

Podstawowe parametry:
- zawiera czujniki podstawowych czynników środowiskowych: temperatury, wilgotności, ciśnienia oraz natężenia oświetlenia,
- jest wyposażony w interfejs I²C,
- zawiera stabilizator dostarczający napięcia 1,8 V do zasilania czujników,
- może współpracować z systemami o napięciach zasilania w zakresie 2,7…5,5 V.

Wykaz elementów:
R1: 10 kΩ SMD0603
R2: 200 kΩ SMD0603
RP1: drabinka rezystorowa 10 kΩ SMD
C1, C2: 4,7 μF/10 V SMD0603
C3, C4: 0,1 μF/10 V SMD0603
C5, C6: 1 μF/10 V SMD0603
U1: MCP1812AT-018 (SOT-23-5)
U2: PCA9306DCT (SSOP8_065)
U3: VEML6035
U4: BME280
I2C: złącze JST 1 mm

*** 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.

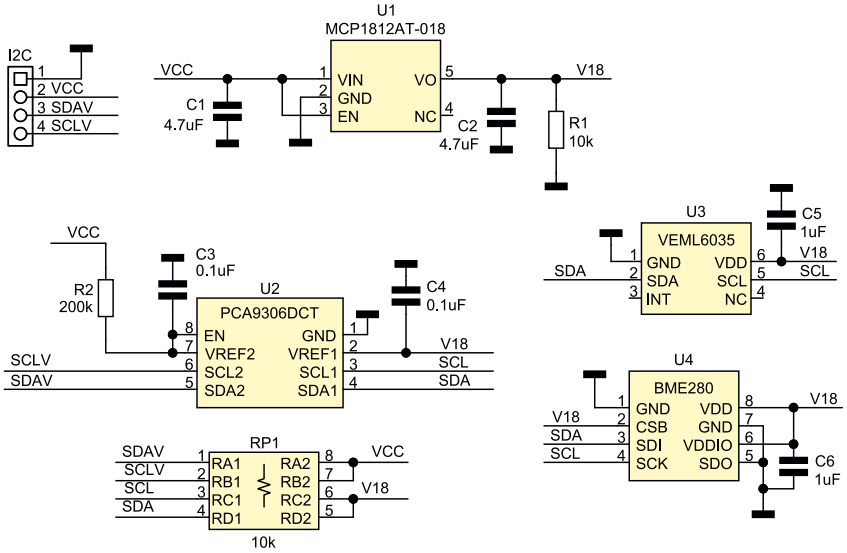
Oprócz czujników moduł zawiera stabilizator, dostarczający napięcia 1,8 V do ich zasilania oraz konwerter poziomów magistrali I²C typu PCA9603. Dzięki wbudowaniu stabilizatora i konwertera moduł może być stosowany przy współpracy z płytkami Arduino, Raspberry Pi itp. o napięciach zasilania w zakresie 2,7...5,5 V.

Budowa i działanie

Schemat ideowy modułu został pokazany na **rysunku 1**. Zastosowano w nim scalony czujnik Bosch BME280 służący do pomiaru temperatury, wilgotności i ciśnienia atmosferycznego oraz nowe opracowanie firmy Vishay – czujnik VEML6035 mierzący natężenie oświetlenia otoczenia.

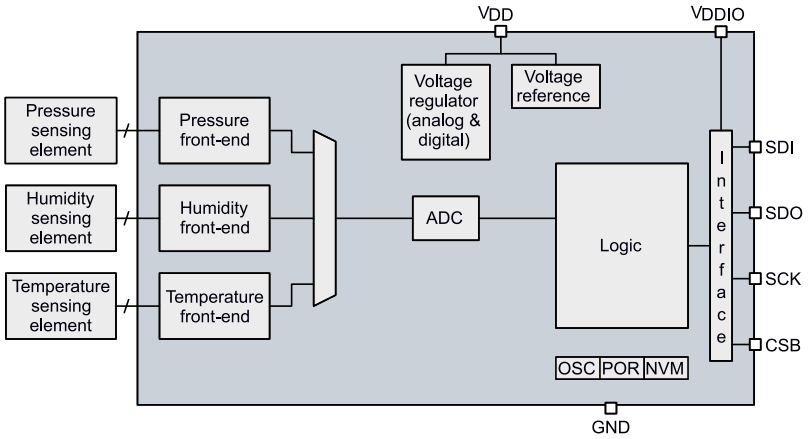
Sensor BME280 jest zamknięty w niewielkiej metalowej obudowie LGA (2,5×2,5 mm). Dzięki wstępnej obróbce sygnału pomiary

charakteryzują się dużą dokładnością, powtarzalnością, szybkością i niskim poziomem zakłóceń przy zachowaniu niewielkiego poboru mocy. Pomiar temperatury obarczony jest błędem ±1°C, dla pomiaru wilgotności błąd wynosi ±3% RH, a dla ciśnienia ±1 hPa,

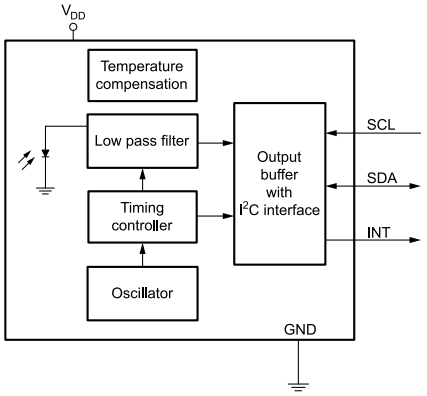


Rysunek 1. Schemat multisensora

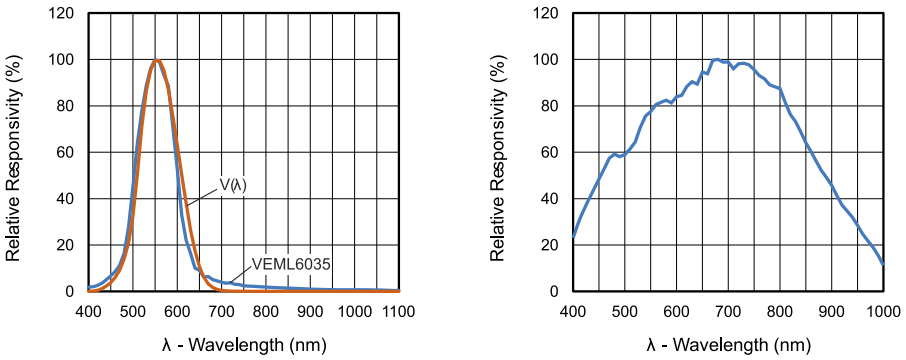
eprasa.pl ad39d4d9f3



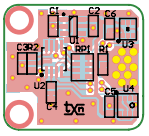
Rysunek 2. Budowa wewnętrzna czujnika BME280



Rysunek 3. Budowa wewnętrzna czujnika VEML6035



Rysunek 4. Charakterystyki pomiaru ALS/WHITE czujnika VEML6035



Rysunek 5. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów

w zakresie temperatur 0...60°C. Takie parametry należy uznać za przynajmniej dobre do większości typowych zastosowań. Maksymalne zakresy pomiarowe przetwornika to –40...+85°C, 0...100% RH, 300...1100 hPa. Układ ma konfigurowany interfejs komunikacyjny SPI lub I²C i pracuje poprawnie przy zasilaniu z zakresu 1,71...3,6 V. Budowę wewnętrzną czujnika BME280 pokazuje schemat blokowy na **rysunku 2**.

Sensor VEML6035 jest przetwornikiem natężenia oświetlenia otoczenia o wysokiej czułości. Maksymalny zakres pomiarowy wynosi 0...6710 lx, a maksymalna osiągana rozdzielczość to 0,0004 lx. W zależności od konfiguracji części przetwarzającej można programowo dopasować zakres i dokładność pomiaru do warunków otoczenia. Czujnik umożliwia pomiar natężenia oświetlenia otoczenia (ALS) zbliżony czułością do charakterystyki ludzkiego oka oraz pomiar natężenia światła białego (WHITE). Budowę czujnika VEML6035 pokazuje schemat blokowy na **rysunku 3**. Charakterystyki przetwarzania zostały zamieszczone na **rysunku 4**. Oba pomiary skompensowane są temperaturowo. Komunikacja z układem odbywa się poprzez magistralę I²C, napięcie zasilania powinno zawierać się w zakresie 1,7...3,6 V. VEML6035 nie wymaga stosowania zewnętrznych układów optycznych lub filtrów oraz zapewnia odporność na migotanie oświetlenia o częstotliwości 100/120 Hz.

Bardzo ważną funkcję pełni rezystor R1, obciąża on wstępnie stabilizator U1, nie dopuszczając do podniesienia napięcia zasilania przez prądy polaryzacji PCA9306. Zjawisko opisane w nocie układu (TI SCPS113M 8.1.7) jest specyficzną cechą układu i niestety nie zostanie usunięte w następnych wersjach struktury. Cecha ta dotyczy także układów 9306 innych producentów. Warto o tym pamiętać przy projektowaniu własnych modułów. Rezystor RP1 polaryzuje magistralę I²C. Miniaturowe złącze w standardzie JST 1 mm wyprowadza zasilanie i magistralę modułu.

Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na niewielkiej płytce drukowanej. Rozmieszczenie elementów zostało pokazane na **rysunku 5.** Pewnej uwagi wymaga montaż przetworników – należy je odpowiednio zabezpieczyć przed przegrzaniem i podczas lutowania oraz mycia należy zakleić kawałkiem taśmy kaptonowej okienka pomiarowe układów.

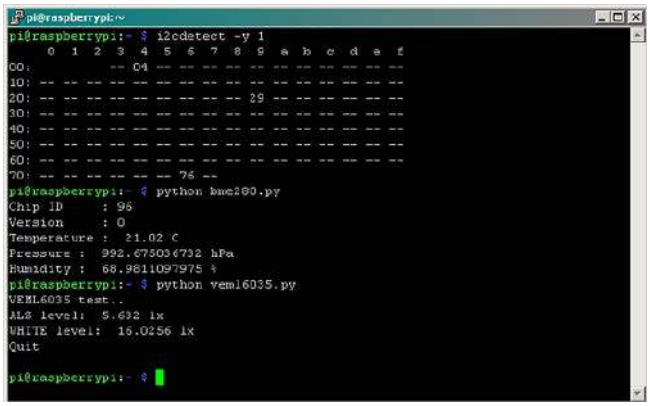
Czujnik BME280 ma niewielką czułość na oświetlenie zewnętrzne. Wystawienie go na bezpośrednie oświetlenie słoneczne może wpływać na dokładność pomiaru. W praktyce efekt ten nie jest specjalnie uciążliwy, ale gdy zależy nam na maksymalnej dokładności, warto przesłonić go nieprzepuszczalnym dla światła kawałkiem tworzywa, tak aby nie ograniczać cyrkulacji powietrza.

Moduł nie wymaga uruchamiania. Do sprawdzenia działania można użyć Raspberry Pi. Po podłączeniu do magistrali I²C powinny być widoczne oba układy – pod adresem 0x29 VEML6035, a pod 0x76 BME280. W sieci dostępnych jest sporo przykładów dla BME280, ja polecam napisany przez Matta Hawkinsa *bme280.py*, który jest dostępny do pobrania z https://bit.ly/3xOUUMk lub bezpośrednio, poprzez polecenie:

```
wget https://bitbucket.org/
MattHawkinsUK/rpispy-misc/raw/
master/python/bme280.py
```

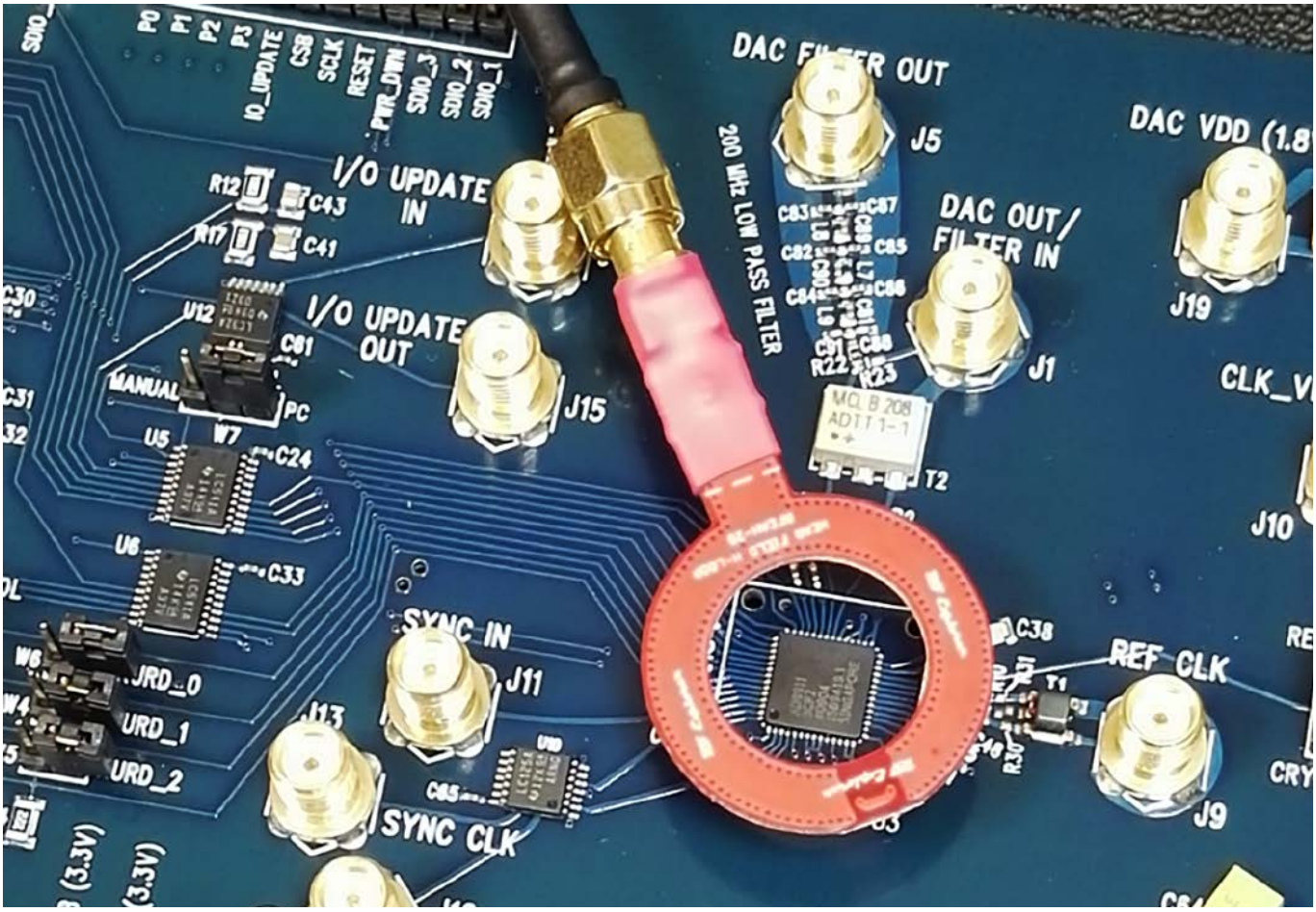
Dla VEML6035 przygotowałem krótki skrypt *veml6035.py*. Oba dostępne są w materiałach dodatkowych do projektu. Poprawną detekcję układów oraz wyniki działania skryptów pokazano na **rysunku 6**.

Adam Tatuś
adam.tatus@ep.com.pl



Rysunek 6. Sprawdzenie modułu multisensora przy użyciu Raspberry Pi

eprasa.pl ad39d4d9f3



Świadomość producenta

Co należy wiedzieć o wprowadzaniu urządzenia elektronicznego na rynek

Wprowadzenie na rynek samodzielnie opracowanego urządzenia jest celem wielu konstruktorów i małych przedsiębiorców. Jednak oprócz oczywistych korzyści, które się z tym wiążą, mamy świadomość tego, że bierzemy na siebie, także pełną odpowiedzialność za skutki wywołane działaniem i użytkowaniem naszego produktu. Dlatego takie przedsięwzięcie należy przeprowadzić z zachowaniem wszelkich wymagań funkcjonalnych i normatywnych. Pomimo tego, że ogólny schemat postępowania, dla legalnego wprowadzania urządzenia elektronicznego na rynek EU, jest znany, to konstruktorom często sprawia wiele trudności przebrnięcie przez wszystkie etapy. Artykuł ma na celu uporządkowanie informacji z tego zakresu oraz zaprezentowanie dostępnych możliwości.

Urządzenie elektroniczne, które ma stać się produktem dostępnym na rynku, musi spełniać trzy grupy wymagań: funkcjonalne, techniczne i prawne. Producent powinien wykonać możliwie wszechstronne sprawdzenie poprawności realizowania funkcji i spełnienia specyfikacji przez produkt. Następnie, producent jest odpowiedzialny za to, żeby produkt spełniał wymagania techniczne w zakresie jakości i pewności działania, bezpieczeństwa użytkowania oraz dotyczące możliwości bezkonfliktowego współistnienia z innym sprzętem. Ostatecznie producent musi zadbać o zgodność produktu z obowiązującymi dyrektywami i udokumentować spełnienie wymagań opisanych normami.

Kto i kiedy staje się producentem?

Producentem stajemy się wtedy, gdy dany produkt wprowadzamy na rynek UE. Jednak nie oznacza to, że musimy go wytwarzać czy produkować. Wystarczy, że importowany towar sprzedajemy pod własną marką i nie wskazujemy innego producenta. Natomiast jeśli zaprojektujemy jakiś komponent i nawet produkujemy go we własnej fabryce ale tylko na czyjeś zlecenie to jesteśmy podwykonawcą i możemy nie mieć obowiązków producenta. Wiele zależy, także od treści zawartej umowy.

Konstruktor elektronik, pomimo tego, że nie będzie producentem, w pewnych okolicznościach może stać się odpowiedzialny za wprowadzenie produktu do obrotu:

eprasa.pl ad39d4d9f3

- w rozumieniu unijnego prawa komponenty, części zamienne lub podzespoły mogą być uznawane za produkty gotowe, których zastosowaniem jest montaż lub dołączenie do innego gotowego produktu;
- połączenie podzespołów, komponentów lub części, z których każda spełnia wymogi odpowiednich przepisów prawa, nie gwarantuje, że gotowy produkt musi być zgodny z unijnym prawodawstwem harmonizacyjnym;
- produkt, w którym dokonano poważnych zmian lub napraw w celu zmodyfikowania jego oryginalnego działania czy zastosowania, może być uznany za nowy produkt. Osoba, która dokonuje zmian staje się wtedy producentem i ponosi związaną z tym odpowiedzialność.

Decydującą kwestią jest udostępnienie produktu na rynku. Ma ono miejsce wtedy, gdy produkt trafia do użytku zgodnie z określonym przez producenta przeznaczeniem. Udostępnianie produktu zakłada ofertę lub umowę (pisemną lub ustną) dotyczącą przeniesienia tytułu własności. Może odbyć się za opłatą lub bezpłatnie i może opierać się na dowolnym instrumencie prawnym, dlatego oprócz sprzedaży, dotyczy także wypożyczenia, wynajęcia, leasingu czy formy prezentu.

Od czego zacząć?

Producent na etapie przygotowania wyrobu do produkcji powinien wykonać badania wyrobu. Naturalnie powinny one dotyczyć sprawdzenia realizacji podstawowych funkcji i założeń projektowych ale, także bezpieczeństwa jego użytkowania przy uwzględnieniu określonych warunków środowiskowych – klimatycznych, mechanicznych czy elektromagnetycznych. Podstawowym dokumentem odnoszącym się do tych zagadnień, mającym zasadniczy wpływ na projektowanie elektroniki jest tzw. dyrektywa LVD (*Low voltage*): 2014/35/UE – Dyrektywa niskonapięciowa [1].

Jest jedną z najstarszych regulacji bezpieczeństwa wyrobu, ustanowioną jeszcze we Wspólnocie Europejskiej. Jej ostatnia wersja obowiązuje od 20 kwietnia 2016 roku i ma zastosowanie do sprzętu pracującego w zakresie napięć 50...1000 V AC i 75...1500 V DC. Istotną częścią tego dokumentu jest artykuł 6., który zawiera wykaz obowiązków producenta. Należą do nich:

- konstruowanie zgodnie z zasadami dobrej praktyki inżynierskiej i z zagwarantowaniem spełnienia zagadnień bezpieczeństwa,
- sporządzenie dokumentacji technicznej umożliwiającej ocenę zgodności sprzętu elektrycznego, w tym wykaz zastosowanych norm zharmonizowanych,
- przechowywanie dokumentacji przez okres 10 lat od momentu wprowadzenia produktu do obrotu,
- sporządzenie deklaracji zgodności UE i umieszczenie oznakowania CE,
- zapewnienie procedur mających na celu utrzymanie zgodności produkcji seryjnej z dyrektywą,
- opatrzenie produktu informacją umożliwiającą jego identyfikację oraz danymi producenta,
- dołączenie instrukcji i informacji dotyczących bezpieczeństwa użytkowania,
- podjęcie działań zaradczych w przypadku, gdy produkt okaże się niezgodny z dyrektywą,
- współpraca z organami państwowymi w uzasadnionym przypadku.

Ogólna treść dyrektywy wydaje się bardzo ogólna ale należy pamiętać, że cały ciężar spełnienia wymagań w tym obszarze jest w rzeczywistości skoncentrowany w normach zharmonizowanych z dyrektywą, których lista dostępna jest pod tym adresem [2] i zawiera niemal tysiąc pozycji.

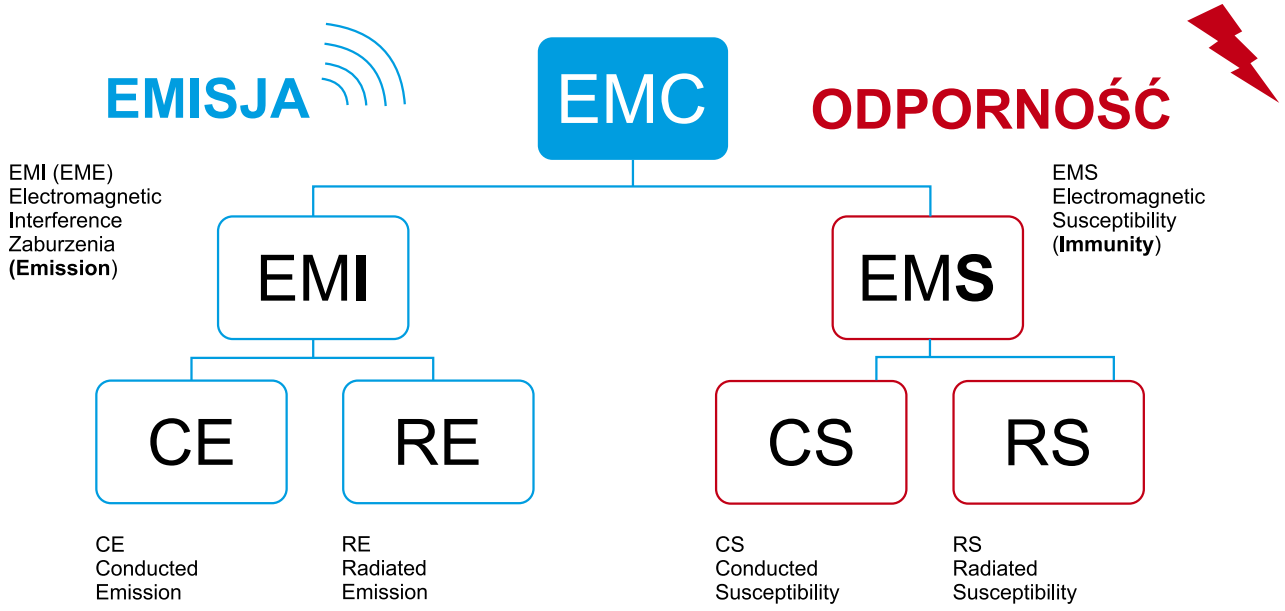
Ważna kwestia zawarta jest w 9. punkcie preambuły, który stwierdza, że to producent ma najdokładniejszą wiedzę o konstrukcji i procesie produkcji produktu i w związku z tym ocena zgodności powinna pozostać wyłącznie obowiązkiem producenta. Dyrektywa nie zawiera procedury oceny zgodności wymagającej interwencji jednostki notyfikowanej.

Co z kompatybilnością?

Zdecydowaną większość urządzeń elektrycznych i elektronicznych, bez względu na to, przy jakim napięciu są użytkowane obejmuje tzw. dyrektywa EMC (*Electromagnetic compatibility*): 2014/30/UE – Kompatybilność elektromagnetyczna [3]. Do bardzo wielu urządzeń, podlegających dyrektywie EMC ma jednoczesne zastosowanie dyrektywa LVD.

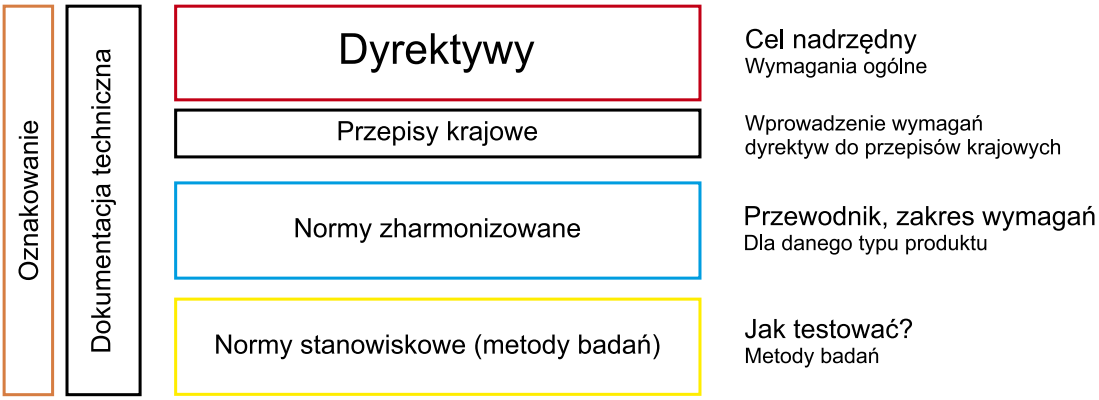
Zadania producenta określone w tej dyrektywie są niemal identyczne jak w poprzedniej, różnica dotyczy tylko pierwszego punktu. Wymagane jest zapewnienie możliwości współpracy różnych urządzeń i systemów tak, aby mogły działać jednocześnie w danym środowisku elektromagnetycznym nie zakłócając się wzajemnie. Spełnienie tego wymagania oznacza uważne rozpatrzenie dwóch ważnych aspektów – pierwszym jest emisja, a drugim odporność urządzeń elektronicznych (**rysunek 1**).

Emisja oznacza limit emisji, czyli dopuszczenie tylko pewnego natężenia pola, jakie może wygenerować urządzenie elektroniczne. Ma za zadanie zapewnić czysty odbiór systemów radiowych w pasmach do tego przeznaczonych, a w drugiej kolejności ograniczyć



Rysunek 1. Podstawowe aspekty dotyczące EMC

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 2. Dyrektywa jako cel nadrzędny

wpływ zakłóceń na inne urządzenia pracujące w pobliżu potencjalnego agresora. Zakres częstotliwości może zawierać się w przedziale nawet od 9 kHz do 6 GHz.

Odporność ma zapewnić niezawodne działanie urządzenia pod wpływem zjawisk, które mogą pojawić się w jego środowisku pracy. Będą to m.in. inne urządzenia, nadajniki radiowe, a także stany przejściowe, powstające zarówno w sieci zasilającej, jak i na przyłączach urządzenia.

Dyrektywa zawiera listę norm zharmonizowanych [4]. Dotyczą one albo danego środowiska, albo grupy produktów. Choć zasady są dość ogólne, to bardzo mocno różnią się wymagania odnośnie różnych branż.

Która dyrektywa dla urządzeń radiowych?

W erze komunikacji bezprzewodowej występują zjawiska, które nabierają istotnego wymiaru a nie zostały określone w wymienionych do tej pory normach. Dlatego urządzenia wyposażone w moduł radiowy, nawet jeśli ich główną funkcją nie jest komunikacja bezprzewodowa, podlegają pod osobną dyrektywę RED (*Radio equipment*): 2014/53/UE – Urządzenia radiowe [5].

Zgodnie z dokumentem urządzenia radiowe powinny być konstruowane w taki sposób, aby spełniały wymagania dotyczące bezpieczeństwa zawarte w dyrektywie 2014/35/UE (LVD), ale bez zastosowania limitu napięcia elektrycznego, oraz zapewniały odpowiedni poziom kompatybilności elektromagnetycznej zgodnie z dyrektywą 2014/30/UE (EMC). Ponadto, w dużym uproszczeniu, urządzenia radiowe powinny być skonstruowane w taki sposób, aby unikały emisji szkodliwych zakłóceń, skutecznie korzystały z pasm radiowych i wspierały ich efektywne użycie.

Do nowych obowiązków producenta należy podanie pasma radiowego (lub pasm) na którym pracuje urządzenie oraz maksymalnej mocy emitowanej dla tego pasma. Ponadto wymagane jest dołączenie do każdego urządzenia kopii deklaracji zgodności lub jej uproszczonej wersji. W przypadku konieczności uzyskania zezwolenia na używanie urządzenia informacje dotyczące państw lub obszarów objętych ograniczeniami również muszą znajdować się w instrukcji urządzenia.

Warto wiedzieć, że oprócz oczywistych urządzeń radiowych takich, jak telefony komórkowe czy urządzenia bluetooth, dyrektywie podlegają urządzenia takie, jak: immobilizery, wykrywacze kabli, czytniki RFID, radary czy systemy nawigacji satelitarnej. Natomiast nie podlegają jej m.in. amatorskie zestawy radiowe czy niestandardowe zestawy do użytku domowego wykorzystywane wyłącznie do celów badawczych lub dla działalności rozwojowej.

Tak, jak w poprzednich przypadkach, do dyrektywy RED również jest opublikowana lista norm zharmonizowanych [6], które pełnią rolę przewodnika po wymaganiach. Normy dotyczące dyrektywy radiowej są opracowywane przez Europejski Instytut Norm Telekomunikacyjnych ETSI i są darmowe. Można je znaleźć pod tym adresem [7].

Rysunek 3. Oznakowanie CE

Czy to konieczne?

Powyższe trzy dyrektywy będą najczęściej stosowanymi w przypadku urządzeń elektronicznych ale nie jedynymi. Z pewnością zetkniemy się z tzw. dyrektywą RoHS (*Restriction of the use of certain hazardous substances*): 2011/65/UE [8]. Dotyczy ona ograniczenia substancji niebezpiecznych w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym. Jednak wymagania tej dyrektywy muszą spełniać producenci i sprzedawcy elementów i podzespołów elektronicznych. Jeśli wszystkie komponenty urządzenia są zgodne z RoHS, to finalny produkt również będzie zgodny.

W zależności od zastosowania wytwarzanych produktów – urządzeń, mogą mieć zastosowanie inne specyficzne dyrektywy np. dotycząca bezpieczeństwa zabawek (2009/48/WE), przyrządów pomiarowych (MID: 2014/32/UE), wyrobów medycznych (MDD: 93/42/EWG) czy dotycząca maszyn (MD: 2006/42/WE). Informacje na temat dyrektyw znajdziemy pod tym adresem [9].

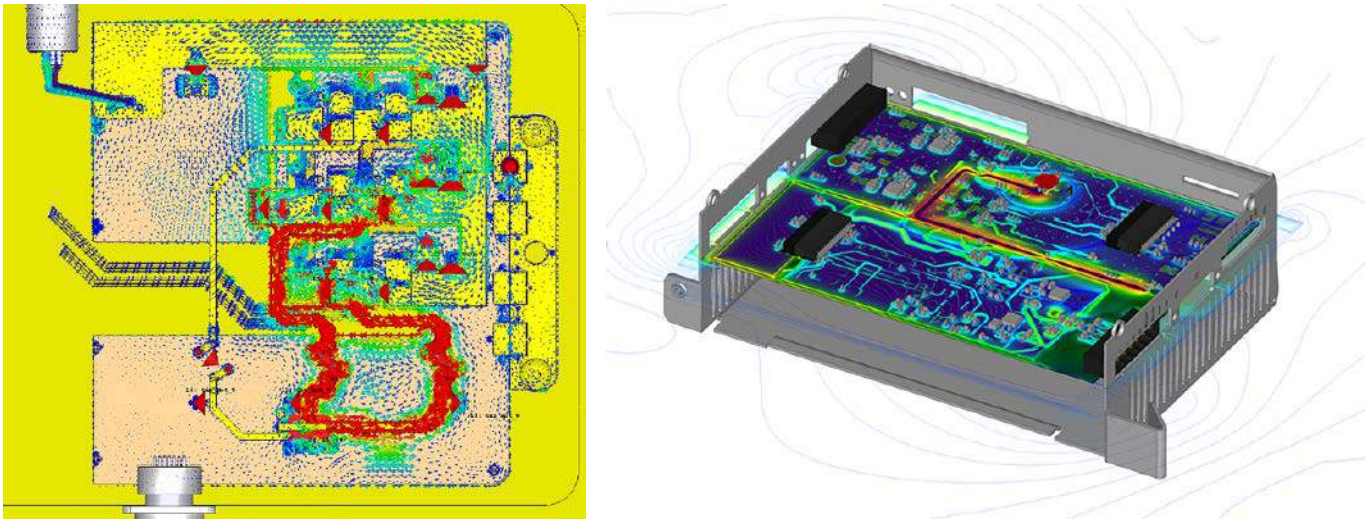
Dyrektywy są nadrzędnym celem, do którego dążymy (**rysunek 2**). Są ujednolicone dla wszystkich krajów członkowskich. Ich spełnienie pozwala na przygotowanie deklaracji zgodności UE, znakowanie produktu symbolem CE (**rysunek 3**) i swobodny przepływ produktu w obrębie UE. Dla łatwiejszego zrozumienia wewnątrzunijnych przepisów dotyczących produktów i swobodnego przepływu towarów powstał tzw. Niebieski Przewodnik (*Blue Guide*) [10] wydawany przez Komisję Europejską. Wyjaśnia wiele zawiłości definicji producenta, czy wprowadzenia na rynek unijny. Kompleksowo opisuje cały system funkcjonowania rynku unijnego – od obowiązków producentów, po system oceny zgodności produktów, zasady nowego podejścia, nadzór rynku, czy akredytacje. Jest to obowiązkowa lektura przyszłego producenta.

Jak dowieść zgodności z dyrektywami?

Do każdej normy dołączony jest wykaz norm zharmonizowanych. To właśnie one zawierają informacje o tym jakie aspekty należy uwzględnić i jakie parametry zachować aby spełnić nadrzędne wymagania dyrektywy. Są to standardy przyjęte przez Komisję Europejską na podstawie norm międzynarodowych i ustaleń poszczególnych komisji. Wyroby, które spełniają wymagania zawarte w normach zharmonizowanych, są uznawane za zgodne z wymaganiami zasadniczymi wynikającymi z dyrektyw.

Cechą istniejącego systemu oceny zgodności jest pozostawienie inicjatywy po stronie producenta. Ma on swobodę w określeniu specyfikacji technicznych zapewniających spełnienie wymagań z odpowiednich dyrektyw ale jednocześnie na nim spoczywa cała

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 4. Możliwości programów do symulacji parametrów EMC (źródło: https://bit.ly/32wBai6)

odpowiedzialność. Może on ocenić, które normy należy zastosować i samodzielnie wykonać badania. Może też wybrać inne rozwiązanie techniczne, potwierdzające zgodność z zasadniczymi wymaganiami dyrektyw. Jednak często okazuje się, że postępowanie zgodnie z normami zharmonizowanymi jest dużo łatwiejsze. Jeszcze inną możliwością jest zlecenie całej pracy wyspecjalizowanemu laboratorium badawczemu.

Częstym dylematem jest to, które normy wybrać? Przecież są ich setki. Aby wytypować właściwe należy kierować się dwoma aspektami: do czego służy nasz produkt, oraz w jakich warunkach będzie pracował. Bardzo często środowisko determinuje wymagania dla danego urządzenia. Wykazy norm są dostępne za darmo: [2], [4], [6]. Jednak same normy są zwykle płatne – np. te dotyczące dyrektyw LVD i EMC. Można je zamówić na stronie sklepu Polskiego Komitetu Normalizacyjnego [11]. Koszt jednego dokumentu waha się zwykle w przedziale 60...250 zł. Z kolei normy dotyczące dyrektywy RED są dostępne bezpłatnie na stronie Europejskiego Instytutu Norm Telekomunikacyjnych ETSI [7].

Dlaczego należy przeprowadzać badania urządzeń?

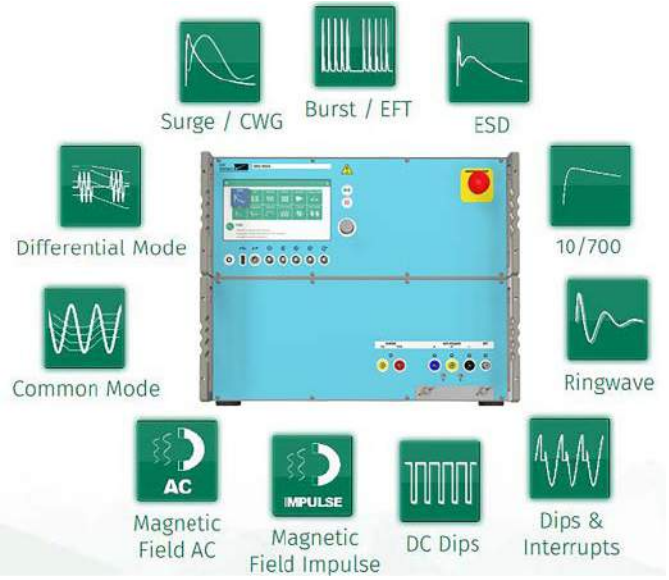
Wraz z rozwojem branży elektronicznej, zapotrzebowanie na badania elektroniki powinno rosnąć. Miniaturyzacja, wzrost szybkości taktowania układów, rozbudowane sposoby magazynowania i przetwarzania energii, rozwój komunikacji bezprzewodowej to funkcjonalności, które wymagają stosowania nowych rozwiązań, a te nierzadko niosą ze sobą, także nowe problemy techniczne. Walidacja nowych technologii oraz poszukiwanie najlepszych rozwiązań przekłada się na większe potrzeby badawcze.

Wiedza o własnym produkcie zdobyta np. w trakcie testów EMC skutkuje powstaniem unikalnych, zoptymalizowanych rozwiązań a nie dokładaniem kolejnych ferrytów, filtrów czy skomplikowanego ekranowania. Tego rodzaju komponenty, stosunkowo najdroższe w BOM-ie i przypadkowo dobrane, stosuje się w produktach, które poległy podczas testów i dla ratowania projektu zdecydowano się na takie rozwiązanie. Możliwość testowania kompatybilności już na wstępnych etapach projektu przyczynia się do uproszczenia jego finalnej konstrukcji i ograniczenia liczby wersji prototypowych.

Badania EMC mają wiele krzywdzących osądów, które wynikają z tego, że inżynierowie nie znają się na tym zagadnieniu i powtarzają zasłyszane od innych opinie lub niewłaściwie interpretowane przepisy. Tymczasem dzisiaj każda firma produkcyjna musi umieć zmierzyć się z kompatybilnością. Obecnie jest ona integralnym składnikiem jakości produktu a nie implikacją oznakowania CE. Im większa skala działania, tym waga tych zagadnień staje się większa.

Jak to wykonać?

Najnowsze metody to badań to symulacje komputerowe. Stają się coraz powszechniejsze dzięki lepszej dostępności nowoczesnego oprogramowania typu EDA, np. CST EMC Studio (**rysunek 4**). Wiele z najnowszych symulatorów układów elektronicznych daje możliwość weryfikacji projektu pod kątem elektromagnetycznym. Narzędzia te pozwalają wyłapać grube błędy i oczywiste pomyłki projektantów, dzięki czemu są w stanie pomóc konstruktorom na etapie tworzenia projektu lub też zwiększają szansę przejścia przez tradycyjne badania za pierwszym razem.



Rysunek 5. Wielofunkcyjny generator IMU3000 pozwalający na przeprowadzanie serii testów odporności (źródło: https://bit.ly/3gpA144)

Fotografia 1. Odbiornik do testów kompatybilności elektromagnetycznej o nazwie ESRP EMI firmy Rohde & Schwarz (źródło: https://bit.ly/32vPWFC)

eprasa.pl ad39d4d9f3

W zakresie bardziej klasycznego miernictwa warto warto zwrócić uwagę na kompaktowe urządzenia do testów EMC, które wyposażone są w biblioteki norm, mają zdefiniowane całe procedury pomiarowe oraz dają możliwość śledzenia parametrów urządzenia badanego w trakcie narażeń (**rysunek 5**, **fotografia 1**).

Zwykle we własnym zakresie daje się przeprowadzić tylko część pomiarów. Tylko niewielka część zakładów produkujących sprzęt elektroniczny wykonuje badania EMC u siebie, we własnych laboratoriach pomiarowych. Wymagają one precyzyjnej i drogiej aparatury pomiarowej oraz fachowego personelu. Najczęściej więc badania EMC są zlecane w specjalizowanych laboratoriach, posiadających oprócz specjalizowanej aparatury i przeszkolonego personelu, także odpowiedni status organizacyjny – akredytację.

Ważnym zjawiskiem sprzyjającym popytowi na usługi badawcze jest rynkowa eksplozja technologii bezprzewodowych. Ogromna liczba nadajników i odbiorników radiowych pracujących w tych samych pasmach częstotliwości i skomplikowane modulacje zapewniające dużą szybkość transmisji danych powodują, że wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej, a zwłaszcza odporności na silne sygnały zakłócające, staje się kluczowym czynnikiem powodzenia rynkowego produktów.

Badania w akredytowanych laboratoriach są kosztowne, zwłaszcza w przypadku urządzeń, dla których konieczne jest prowadzenie testów kontrolnych na każdym etapie projektowania i produkcji. Wówczas posiadanie przez producenta możliwości wstępnego sprawdzenia urządzeń we własnym laboratorium może znacznie obniżyć ogół nakładów ponoszonych na opracowanie prototypu produktu.

Pomimo wszystko badanie samodzielnie wyrobów również ma solidne uzasadnienie. Procedury pomiarowe i układy testujące są jednoznacznie opisane. Po nabyciu pewnego doświadczenia, na przykład w trakcie uczestnictwa przy badaniach w dużym laboratorium, wielu inżynierów może dojść do przekonania, że jest w stanie przebrnąć przez procedurę uzyskania zgodności z dyrektywami samodzielnie.

Laboratoria EMC

Badania w zakresie kompatybilności elektromagnetyczne wymagają kosztownej i skomplikowanej aparatury. Dodatkowo szybko rośnie zakres częstotliwości w jakim należy przeprowadzać badania przez co laboratoria muszą stale modernizować sprzęt pomiarowy. Wynikiem tego są znaczne koszty badań.

W większości przypadków wykonanie badań oznacza konieczność wyjścia poza obszar pracowni konstrukcyjnej, w końcowej, a więc także i najbardziej stresującej części pracy. Niepewność co do wyników badań w połączeniu z presją czasu powodują, że klienci laboratoriów badawczych oczekują nie tylko niskich cen usług.

Sama procedura oraz jej wynik mogą nie stanowić najważniejszego elementu badania. Producentom zależy na wiedzy o słabych punktach konstrukcji i metodach ograniczania emisji i poprawy odporności. Oczekiwana jest także ocena, czy ich rozwiązanie jest na podobnym poziomie technicznym jak u innych firm. Dlatego zdanie osoby, która widziała wiele podobnych urządzeń może być bardzo cenne.

W przypadku, gdy urządzenie nie spełnia wymogów norm i wymaga poprawy, oferowany zakres pomocy może być mocno ograniczony. Zwykle można skorzystać z dodatkowych konsultacji lub wykupić tzw. godziny inżynierskie. Jednak odnalezienie odpowiednich rozwiązań leży w kwestii producenta. Dla wielu z nich stanowi to poważne wyzwanie. Dlatego oprócz wyniku badania klienci oczekują wsparcia i pomocy tak, aby badania nie okazały się długotrwałym i kosztownym koszmarem. Zagadnienia związane z badaniami, normami i urzędowym językiem dla wielu inżynierów są istotną barierą. Doświadczona kadra laboratorium jest w stanie dużo pomóc i wskazać miejsca, które mogą stać się źródłem potencjalnych problemów. Do takiej diagnostyki często nie trzeba przyrządów, wystarczy obejrzenie projektu przez specjalistę.

Laboratoria badawcze, które są obecne na rynku polskim dzielą się na akredytowane i nieakredytowane. Akredytacją zajmuje się Polskie Centrum Akredytacji, które przeprowadza badanie kompetencji, weryfikuje procedury pomiarowe i sprawdza czy realizowane pomiary są dokładne i zgodne z normami. Akredytacja dotyczy wybranego zakresu działalności jednostki, zwykle pokrywającym obszar, w którym dana placówka stara się specjalizować. Niektóre wiodące placówki dysponują także dodatkowymi świadectwami uznania ze strony zagranicznych jednostek notyfikujących. Niewątpliwie posiadanie akredytacji jest ważnym rynkowym atutem dla laboratoriów. Jest to rodzaj gwarancji i uznania zarówno jakości aparatury pomiarowej jak też wiedzy i doświadczenia laboratorium. Ale ponieważ nie ma formalnego wymogu, aby badania przeprowadzały jedynie placówki akredytowane ani nawet takiego, który zmuszałby producenta urządzeń elektronicznych do zlecania badań firmom zewnętrznym, część jednostek badawczych działa bez akredytacji PCA. To komu zaufać jest już indywidualną decyzją klienta,

Lekceważenie badań

Kara za wprowadzenie na rynek niezgodnego sprzętu elektronicznego jest dość dotkliwa, gdyż oprócz grzywny konieczne jest wycofanie wadliwych urządzeń z rynku. Jednak takie przypadki zdarzały się bardzo rzadko. W sytuacji realnego braku zagrożenia karą, wielu producentów i importerów urządzeń elektronicznych woli zaufać swojej intuicji, symulacjom lub też ograniczonym w znacznym zakresie pomiarom własnym, niż płacić za usługi. Szacuje się, że tylko kilka procent firm będących producentami elektroniki w sposób rzetelny podchodzi do problematyki badań. Pozostali producenci i importerzy zlecają tylko niektóre, wybrane badania, a zapewne większość krajowych firm nie przeprowadza badań wcale.

Nadzór

Nadzór nad rynkiem sprawowany jest przez Urząd Ochrony Konkurencji i Konsumentów, za pośrednictwem wyspecjalizowanych urzędów. Jeżeli w wyniku kontroli zostanie stwierdzone, że wprowadzony wyrób nie spełnia wymagań, producentowi lub importerowi może zostać nakazane usunięcie niezgodności wyrobu z zasadniczymi wymaganiami, wycofanie z obrotu lub zakaz wprowadzania do obrotu danej partii wyrobów.

W Polsce karalne jest wprowadzanie do obrotu wyrobów niezgodnych z zasadniczymi wymaganiami albo specyfikacjami technicznymi, umieszczanie oznakowania CE na wyrobie, który nie spełnia zasadniczych wymagań albo dla którego producent lub jego upoważniony przedstawiciel nie wystawił deklaracji zgodności, a także umieszczanie na wyrobie znaku podobnego do oznakowania CE, mogącego wprowadzać w błąd nabywcę i użytkownika wyrobu.

Każde z tych działań podlega również grzywnie w wysokości do 100 tys. zł. Sankcje wydają się być groźne, jednak nie są one automatyczne i nałożenie kary musi poprzedzić dość długa procedura prawna, w ramach której przedsiębiorcy należy udowodnić, że jego wyrób nie spełnia wymagań. Firma może się też skutecznie bronić, przywołując wyniki badań, które świadczą na korzyść danego produktu.

Trzeba więc wyraźnie powiedzieć, że system badań wyrobów elektronicznych w oparciu o dyrektywy nowego podejścia w praktyce nie jest represyjny, bo też u jego podstaw leży domniemanie dobrej woli i uczciwości ze strony producentów.

Jak projektować, by poprawić EMC?

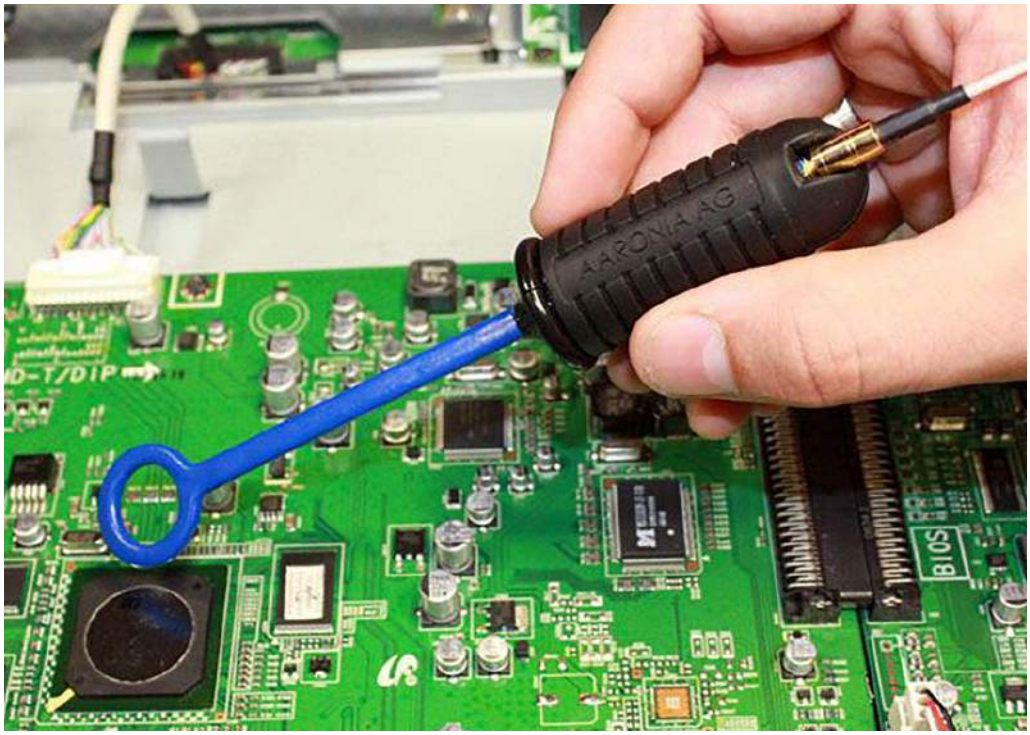
Wśród ogólnych przyczyn powstawania zaburzeń EM trzeba wymienić:

- okresowe i losowe zmiany napięć zasilających oraz szybkie zmiany napięć i prądów roboczych, zwłaszcza w obecności elementów pasożytniczych L i C,
- odbicia sygnałów spowodowane nieciągłościami w liniach transmisyjnych (przewody, kable, ścieżki na płytkach PCB) i niedopasowaniem impedancji na interfejsach,
- przesłuchy (przeniki) sygnałów w liniach wskutek sprzężeń pojemnościowych i indukcyjnych,

eprasa.pl ad39d4d9f3

- jednoczesne przełączanie wielu obwodów w synchronicznych układach cyfrowych (taktowanych wspólnym zegarem), zwłaszcza w systemach z widmem rozproszonym,
- drżenie fazy (jitter) w układach przełączających.

Aby spełnić podstawowe wymagania dotyczące EMC, przy projektowaniu i wykonawstwie urządzeń potrzebna jest szeroko rozumiana dobra praktyka inżynierska. Obejmuje ona ukierunkowane na EMC działania w zakresie prawidłowego doboru rozwiązania układowego, zaprojektowania i wykonania płytek PCB z właściwie rozplanowanymi i połączonymi elementami biernymi i układami scalonymi oraz zastosowanie odpowiednich zabezpieczeń np. przeciw skutkom wyładowań elektrostatycznych ESD. Jednak nawet przy przekonaniu o prawidłowym projekcie urządzenia, w którym uwzględniono znane z praktyki i zalecane sposoby rozwiązania problemów EMC, należy potwierdzić zgodność wynikami badań w ramach procedur oceny zgodności dyrektyw.



Fotografia 2. Sonda do wstępnych pomiarów EMC

Podstawowymi elementami redukującymi poziom zaburzeń przewodzonych i promieniowanych, są elementy takie jak filtry, dławiki, rdzenie ferrytowe, uszczelnienia, okna ekranujące. W dzisiejszych czasach praktycznie nie można już znaleźć elektronicznego urządzenia, w którym nie byłyby one użyte.

Pomocne mogą okazać się nowoczesne technologie produkcyjne umożliwiające uzyskanie np. szczelności elektromagnetycznej przy jednoczesnej ochronie przed wilgocią czy kurzem. Są obecnie realizowane całkowicie automatycznie z doskonałą dokładnością za pomocą urządzenia przypominającego ploter, gdzie automatycznie nanosi się przewodzące elektrycznie uszczelnienie według wcześniej zaprogramowanego kształtu.

Z zakresu nowych materiałów coraz bardziej znana jest technologia zastosowania przewodzącego elektrycznie tworzywa sztucznego do produkcji obudów urządzeń elektronicznych, które daje znaczne oszczędności w kosztach ekranowania.

Znaczenie dla rozwoju rynku ma też sam charakter produkcji w Polsce w dużej mierze bazujący na zastosowaniu modułów, układów SoC itp., które same w sobie stanowią pewien system. Przykładem mogą być systemy śledzenia floty pojazdów składające się z modułu GPS, GSM, zasilacza i sterownika mikroprocesorowego. Trzy z czterech bloków wchodzących w skład takiego urządzenia to produkty standardowe, kupowane jako gotowe i przebadane komponenty. Taka koncepcja konstrukcji produktu jest w dużej mierze zgodna z normami i rzadko sprawia kłopoty.

Podsumowanie

Wstępne badania na zgodność z wymaganiami EMC, przeprowadzane według dobrze przemyślanej procedury, nie tylko w ostatecznym wykonaniu nowo opracowywanego urządzenia, mogą zapewnić pozytywny wynik w formalnych pełnych badaniach w laboratorium EMC. Nie należy się przy tym zrażać ewentualną pierwszą porażką, bo zdobyte doświadczenie i kontakt z fachowym personelem laboratorium EMC będzie podstawą sukcesów w dalszych działaniach.

Damian Sosnowski, EP

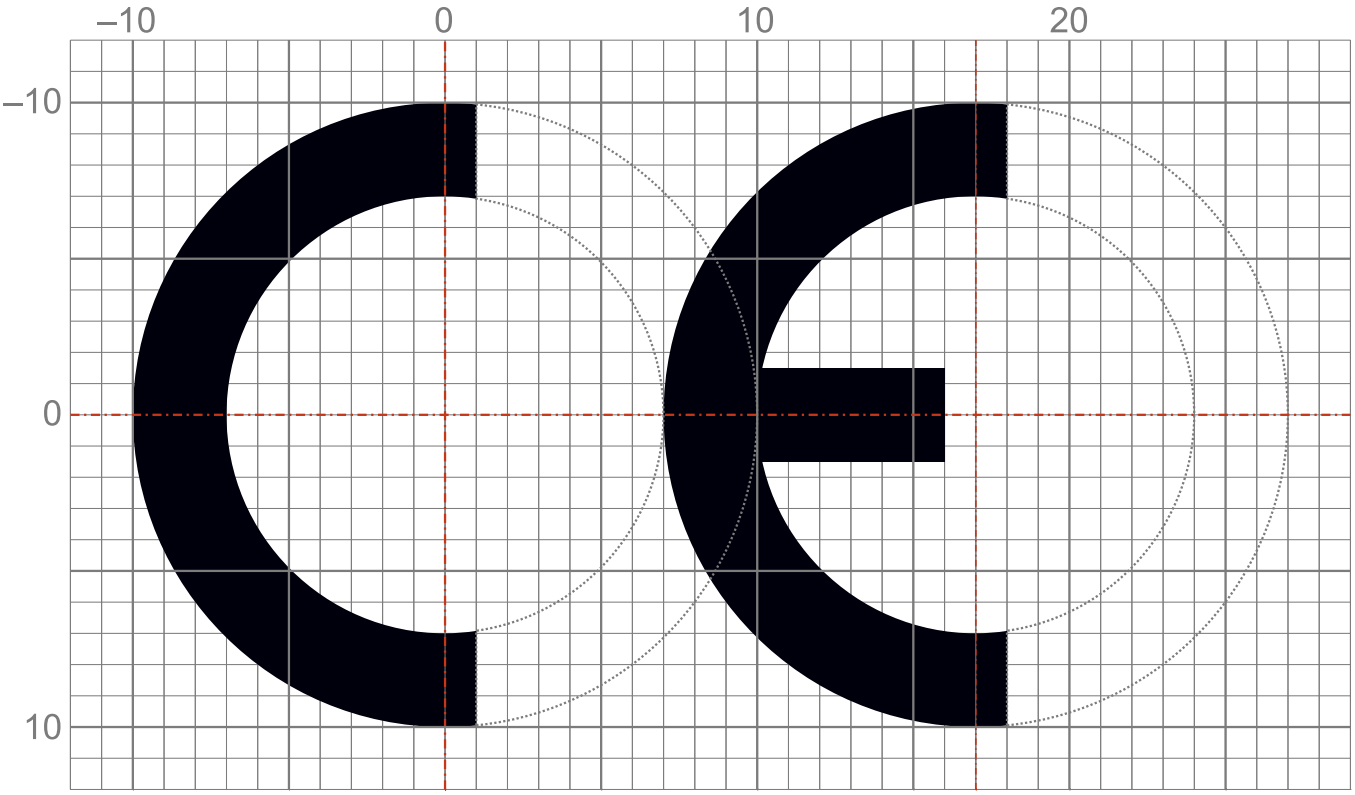
Odnośniki:

[1] Dyrektywa LVD, https://bit.ly/32vjhQM
[2] Wykaz norm zharmonizowanych dyrektywy LVD, https://bit.ly/3xiDZBB
[3] Dyrektywa EMC, https://bit.ly/3vaSrtv
[4] Wykaz norm zharmonizowanych dyrektywy EMC, https://bit.ly/3tuTFz8
[5] Dyrektywa RED, https://bit.ly/3xdmfrg
[6] Wykaz norm zharmonizowanych dyrektywy RED, https://bit.ly/3dusm2l
[7] Wyszukiwarka norm Europejskiego Instytutu Norm Telekomunikacyjnych ETSI, https://bit.ly/3szQ0Pa
[8] Dyrektywa RoHS, https://bit.ly/3tEnuNO
[9] Wykaz dyrektyw, https://bit.ly/32tdJpA
[10] Niebieski Przewodnik (*Blue Guide*), https://bit.ly/3dAiowB
[11] Sklep Polskiego Komitetu Normalizacyjnego, https://bit.ly/3anLEEw

Bibliografia:

1. Niebieski Przewodnik (*Blue Guide*), https://bit.ly/3dAiowB
2. „Jak odnaleźć wymagania EMC dla różnych typów urządzeń? Przykład: pulsometr z modułem Bluetooth", https://bit.ly/3dw7Z4M
3. „Badania typu pre-compliance", https://bit.ly/3sDuk4F
4. „Co powinien wiedzieć z zakresu EMC inżynier projektujący elektronikę?", https://bit.ly/3glFh8I
5. „Zasady projektowania elektroniki pod kątem spełnienia wymagań EMC – zrozumieć prądy i pola na przykładzie indukcyjności przelotki, czyli „VIA" na PCB", https://bit.ly/3xd1P1h
6. „Projektowanie płytek obwodów drukowanych zgodnie z wymaganiami EMC i ESD", https://bit.ly/3x8Lx9Q
7. „Wprowadzanie produktu elektronicznego na rynek UE, czyli przychodzi elektronik do inżyniera ds. zgodności produktu", https://bit.ly/2RPUPY8
8. „Uwaga zmiana: dyrektywa r&tte, została zastąpiona nową red. Co to oznacza dla ciebie?", https://bit.ly/3tFj8pS

eprasa.pl ad39d4d9f3



Normy, czyli inżynierowie inżynierom

Unifikacja norm i wymagań obowiązujących konstruktorów elektroniki, a w niektórych branżach – nawet programistów systemów wbudowanych (i nie tylko), wymusza stosowanie właściwego podejścia do procesu tworzenia produktu już na etapie wstępnych założeń. Historia zna wiele przypadków, w których nie do końca przemyślany projekt dostarczał twórcom i menedżerom produkcji niemałych problemów przed wprowadzeniem na rynek, a nierzadko nawet już po udostępnieniu wyrobu do sprzedaży.

Niejednemu elektronikowi normy branżowe kojarzą się wyłącznie negatywnie. Wielostronicowe, dość suche w swojej formie dokumenty wydają się przykrym obowiązkiem i źródłem dodatkowych, zdawałoby się niepotrzebnych, kosztów. Tymczasem doświadczeni producenci i projektanci doskonale zdają sobie sprawę z faktu, że opracowania (zarówno międzynarodowych, jak i lokalnych) komitetów normalizacyjnych są w istocie… niemałą pomocą dla osób zaangażowanych merytorycznie w tworzenie produktu.

W tym artykule posłużymy się aparaturą medyczną jako przykładem działu techniki, który szczególnie mocno opiera się na wymaganiach norm. Wybór ten jest nieprzypadkowy, gdyż niewłaściwie zaprojektowane wyroby medyczne mogą stanowić śmiertelne ryzyko dla pacjentów, a często także dla samego personelu jednostek ochrony zdrowia czy nawet… osób postronnych. Jaskrawość tego przykładu pozwoli nam właściwie zobrazować najważniejsze (z punktu widzenia projektanta hardware'u) aspekty, związane ze zdrowym podejściem do normalizacji. Intencjonalnie pominiemy tutaj obszerne wywody prawne, z jakimi zwykle mają kontakt osoby stykające się w swojej pracy zawodowej z tematyką certyfikacji. Omówimy jedynie najważniejsze pojęcia, które pozwolą lepiej zrozumieć istotę procesów oceny zgodności, wdrażania produktu na rynek, a nade wszystko „projektowania zorientowanego na certyfikację". Skupimy się przy tym na rynku europejskim, choć ogólne zasady dają się także zastosować do procesów przedwdrożeniowych wymaganych na innych kontynentach.

Najważniejsze pojęcia

Zdecydowana większość **wyrobów** elektronicznych (pomijając nieliczne przypadki) wymaga, w celu zgodnego z aktualnymi przepisami wdrożenia na rynek, oznakowania produktu **znakiem CE** (*Conformité Européenne*). Naniesienie (trwałe) znaku CE na dany wyrób oznacza, że jego producent (lub dystrybutor, który przejmuje na siebie obowiązki producenta – np. w przypadku produktów określanych jako *white label*) **deklaruje, że wyrób spełnia wymagania tzw. dyrektyw nowego podejścia**. Celem zastosowania dyrektyw jest zapewnienie niezbędnego poziomu bezpieczeństwa i to zarówno życia i zdrowia osób (użytkowników, operatorów, pacjentów czy też osób postronnych), jak też środowiska naturalnego czy nawet… infrastruktury technicznej. Przykładem tej ostatniej może być dyrektywa EMC, określająca nie tylko podatność urządzeń na zakłócenia zewnętrzne, ale także dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń elektromagnetycznych,

eprasa.pl ad39d4d9f3

które mogłyby zakłócać pracę innych produktów (nie wspominając rzecz jasna o kwestiach narażenia istot żywych na zbyt silne promieniowanie elektromagnetyczne).

Najważniejszymi aktami prawnymi wpływającymi (w sposób pośredni) na pracę zarówno projektantów, jak i producentów urządzeń elektronicznych, są **dyrektywy** i **rozporządzenia unijne**. O ile **rozporządzenie jest aktem wiążącym**, obowiązującym na całym obszarze Unii Europejskiej, o tyle **dyrektywa określa cel legislacyjny**, który osiągnąć muszą wszystkie państwa UE poprzez wprowadzenie lokalnych aktów prawnych. W codziennej praktyce projektanta elektronika najczęściej niezbędne są następujące akty:

- **2014/35/UE** – dyrektywa niskonapięciowa **LVD** obejmująca urządzenia pracujące w zakresie napięć 50…1000 V_{AC} lub 75…1500 V_{DC},
- **2014/30/UE** – dyrektywa kompatybilności elektromagnetycznej (**EMC**) obejmująca urządzenia zdolne do wytwarzania zaburzeń elektromagnetycznych lub potencjalnie podatne na zakłócenia EMI (czyli… niemal wszystkie urządzenia elektroniczne),
- **2011/65/UE** – dyrektywa **RoHS 2** obowiązująca obecnie (z wyjątkiem oryginalnego brzmienia załącznika II), a dotycząca ograniczenia stosowania niebezpiecznych substancji (w tym metali ciężkich) w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym,
- **2015/863** – tzw. dyrektywa **RoHS 3** zmieniająca (rozszerzająca) treść załącznika II poprzez dodanie ograniczeń dot. zawartości ftalanów,
- **2014/53/UE** – dyrektywa radiowa (**RED**) obejmująca urządzenia celowo emitujące i/lub odbierające fale radiowe (poniżej 3 THz).

Warto wspomnieć, że każda z dyrektyw możliwie ściśle określa zarówno zakres wyrobów jej podlegających, jak i zakres wyłączeń. Zdecydowana większość urządzeń elektronicznych (w tym sprzętów codziennego użytku) podlega wymogom dyrektyw LVD, EMC oraz RoHS, zaś w przypadku obecności funkcji radiowych ocena zgodności musi obejmować także zapisy dyrektywy RED (niezależnie od tego, czy urządzenie jest wyposażone w antenę, czy też dostosowane do użycia z anteną zewnętrzną).

Po klasyfikacji wyrobu w zakresie podlegania wymaganiom określonych dyrektyw (rozporządzeń) producent jest zobowiązany dołożyć wszelkich starań, aby przed wprowadzeniem urządzenia do obrotu poprawnie przeprowadzić proces **oceny zgodności wyrobu**. W efekcie tego etapu wytwórca wystawia **deklarację zgodności** i nanosi oznakowanie CE na produkt (lub – w niektórych przypadkach – opakowanie bądź dokumentację, o ile umieszczenie czytelnego znaku CE w widocznym miejscu samego wyrobu nie jest możliwe). W procesie oceny zgodności bierze udział nie tylko sam producent – w bardziej zaawansowanych przypadkach konieczny jest udział **jednostki notyfikowanej** (oznakowanej przez Komisję Europejską unikalnym numerem identyfikacyjnym i uprawnionej do wydawania tzw. certyfikatów zgodności) i **laboratoriów akredytowanych**, posiadających aktualny certyfikat akredytacji w określonym zakresie wykonywanych badań. Warto jednak pamiętać, że nawet wystawienie certyfikatów przez jednostki notyfikowane i laboratoria (np. EMC) nie jest jeszcze równoznaczne z zielonym światłem do wdrożenia produktu na rynek. Dopiero spełnienie **wszystkich wymagań** dyrektyw obejmujących swoim zakresem dany wyrób oraz wystawienie przez producenta deklaracji zgodności (poświadczającej, że producent z pełną odpowiedzialnością deklaruje spełnienie wymagań przez dany produkt lub grupę produktów) umożliwia (w większości przypadków) rozpoczęcie sprzedaży urządzeń. Jednym z wyjątków są właśnie urządzenia medyczne – w ich przypadku konieczne jest przeprowadzenie szeregu dodatkowych procesów, m.in. rejestracji produktu w bazie Urzędu Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych. W tym artykule nie będziemy jednak zajmować się takimi szczegółami prawnymi, pominiemy także pozostałe istotne aspekty formalne związane z aparaturą medyczną (np. zagadnienia przeprowadzenia tzw. oceny klinicznej, badań klinicznych czy też wdrożenia w przedsiębiorstwie specjalnego systemu kontroli jakości ISO 13485:2016 przeznaczonego dla wyrobów medycznych). Skupimy się natomiast na aspektach związanych z korzystaniem z norm branżowych przez samych konstruktorów, postaramy się także rozwiać kilka pokutujących wśród inżynierów mitów, które skutecznie utrudniają prace przedwdrożeniowe prowadzone przez przedsiębiorstwo i jednocześnie zwiększają ich koszty.

Normy – zmora czy pomocna dłoń?

Podstawowym błędem w rozumieniu istoty norm jest pojmowanie ich przez pryzmat sformalizowanych aktów prawnych, wymuszających na konstruktorach konieczność wykonania dodatkowej, często żmudnej pracy. Mimo że normy zharmonizowane są w rzeczywistości częścią prawa Unii Europejskiej, to jednak według obowiązujących wymagań stosowanie ich podczas opracowywania projektów urządzeń oraz przeprowadzania procesu oceny zgodności jest **dobrowolne**. Jaki zatem sens ma postępowanie zgodnie z wytycznymi opisanymi w normach? Spełnienie wytycznych normy przez dany produkt pozwala producentowi na zastosowanie tzw. **domniemania zgodności** z dyrektywami bądź rozporządzeniami. Możliwe jest korzystanie bezpośrednio z zapisów dyrektyw i rozporządzeń unijnych, ale wykorzystanie norm okazuje się w praktyce zdecydowanie łatwiejsze i bardziej przejrzyste.

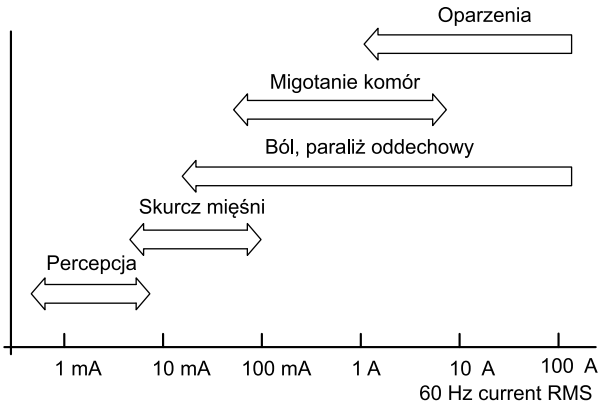
Nieco o genezie normalizacji

Najistotniejszym faktem z „życia" każdej normy wchodzącej na rynek (bądź aktualizowanej) jest ten, że jej opracowaniem zajmują się wysokiej klasy specjaliści z danej dziedziny, zaś sformułowanie określonych wymagań jest poparte zarówno szeroką wiedzą teoretyczną, jak i realnymi potrzebami rynku oraz, co jeszcze ważniejsze, bogatym doświadczeniem praktycznym. Każda norma stanowi bowiem swego rodzaju zbiór wskazówek, możliwych do bezpośredniego zastosowania w danym projekcie i/lub procesie oceny zgodności. Zaś bieżące aktualizacje oraz wprowadzanie nowych norm, pokrywających kolejne obszary techniki lub zastępujących dawne, wysłużone dokumenty sprawia, że efekty pracy organizacji normalizacyjnych (w Polsce opracowaniem norm zajmuje się Polski Komitet Normalizacyjny, w skrócie PKN) nadążają za rozwojem stanu techniki.

Najważniejszym wnioskiem płynącym z powyższego opisu jest stwierdzenie, że **zastosowanie norm już na etapie projektu urządzenia znacznie zwiększa szanse na poprawne, bezproblemowe przejście procesu oceny zgodności**. Przekłada się to zresztą na konkretne oszczędności dla przedsiębiorstwa, a doskonałym przykładem będzie tutaj przywołanie dyrektywy EMC. W celu stwierdzenia zgodności z normami zharmonizowanymi dotyczącymi kompatybilności elektromagnetycznej konieczne jest zwykle wykonanie złożonych badań laboratoryjnych i to zarówno w domenie radiowej (komory EMC), jak i w zakresie interferencji przewodzonych (w przypadku obwodów zasilania sieciowego) oraz interfejsów przewodowych (np. wejść pomiarowych czy też portów komunikacyjnych). Powrót urządzenia z laboratorium w przypadku uzyskania wyniku negatywnego (tj. niespełnienia choćby niewielkiej części wymagań) powoduje konieczność wprowadzenia niezbędnych poprawek w konstrukcji produktu, a następnie… ponownego zlecenia badań. Każda taka iteracja wiąże się ze sporymi kosztami, które można jednak zminimalizować na dwa sposoby:

1. Zaprojektowanie urządzenia zgodnie ze sztuką inżynierską i zwrócenie szczególnej uwagi na aspekty kompatybilności elektromagnetycznej na każdym etapie projektu (zastosowanie odpowiedniej architektury obwodów wejścia/wyjścia, użycie filtrów pasywnych i efektywnego ekranowania, właściwe poprowadzenie wewnętrznych wiązek przewodów, uważne zaprojektowanie PCB czy wreszcie zastosowanie zabiegów redukujących poziom emisji i/lub podatności na zakłócenia na etapie tworzenia oprogramowania wbudowanego);
2. Wykonanie (znacznie tańszych niż badania kończące się wydaniem raportu z testów laboratoryjnych) badań typu

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 1. Orientacyjne zakresy natężenia prądu dla określonych skutków biologicznych (na podstawie: https://bit.ly/3nOgBaK)

pre-compliance, pozwalających odpowiednio wcześnie namierzyć i zniwelować potencjalne źródła problemów EMI.

Znajomość norm przez konstruktorów pozwala zatem uniknąć wielu problemów – zarówno finansowych (koszty ponownych badań), jak i logistycznych (opóźnienia we wdrożeniu produktu na rynek), a nawet… wizerunkowych.

Właściwa identyfikacja wymagań

Określenie dyrektyw (rozporządzeń), a następnie norm, jakim podlega dany produkt, jest etapem kluczowym dla powodzenia przedsięwzięcia. Okazuje się bowiem, że niektóre dyrektywy wyłączają ze swojego zakresu obowiązywania pewne grupy urządzeń, choć pozornie powinny one podlegać tymże aktom prawnym (przynajmniej w podstawowym zakresie stosowalności). Przykładem są elektryczne (elektroniczne) urządzenia medyczne, które z uwagi na zakres napięć zasilania powinny podlegać dyrektywie LVD, to w istocie są wyłączone spod zakresu dyrektywy niskonapięciowej, podlegając ocenie zgodności opisanej przez Rozporządzenie 2017/745 w sprawie wyrobów medycznych (obowiązujące od 26 maja 2021 i zastępujące całkowicie dawną dyrektywę wyrobów medycznych 93/42/EWG) [1].

Także normy zharmonizowane dotyczące podstawowego zagadnienia, dla regulacji którego powstała dyrektywa LVD, czyli bezpieczeństwa elektrycznego, są opracowane osobno, specjalnie dla aparatury medycznej i, jak nietrudno się domyślić, operują one znacznie wyższymi wymaganiami niż w przypadku innych rodzajów urządzeń powszechnego użytku (np. sprzętu komputerowego lub RTV). Na **rysunku 1** pokazano orientacyjne zakresy wartości prądu przemiennego przepływającego przez ciało człowieka wraz ze wskazaniem wywieranych przez ów prąd skutków biologicznych. W przypadku aparatury medycznej absolutnie niedopuszczalne jest nie tylko wystąpienie umiarkowanie ciężkich lub ciężkich powikłań przepływu prądu przez ciało pacjenta – nawet odczuwanie jakichkolwiek nieprzyjemnych (choć nieszkodliwych z klinicznego punktu widzenia) doznań zdecydowanie nie byłoby pożądane w przypadku urządzeń terapeutycznych i diagnostycznych.

Istotnym aspektem jest też zakres zastosowań danego urządzenia, nierozerwalnie powiązany z potencjalnym ryzykiem stwarzanym przez aparaturę oraz z typem zastosowanej części aplikacyjnej (mającej kontakt z pacjentem). Najwyższa klasa części aplikacyjnej (CF) jest stosowana w odniesieniu do urządzeń mających bezpośredni kontakt z sercem pacjenta, a wymagania dot. prądów upływu są w jej przypadku nad wyraz rygorystyczne [2]. Niższe klasy B oraz BF są stosowane do większości typowych części aplikacyjnych, przy czym klasa BF (lub CF) powinna być wybierana w zastosowaniach do dostarczania energii elektrycznej do ciała pacjenta (np. stymulatory elektryczne) oraz akwizycji sygnałów elektrofizjologicznych (np. tory wejściowe EKG/EEG) – w pozostałych przypadkach możliwe jest zwykle zastosowanie najniższej klasy, tj. części aplikacyjnej typu B.

Warto pamiętać, że niektóre normy mają zastosowanie do danego produktu, nawet jeżeli dana funkcjonalność jest zaledwie jedną z wielu oferowanych przez wyrób. Za przykład złożoności procesu certyfikacji weźmy jedno z podstawowych urządzeń medycznych – monitor pacjenta (kardiomonitor), stosowany do wieloparametrowego monitorowania funkcji życiowych. Podstawowe normy, które mają zastosowanie do naszego przykładowego urządzenia (jak i zdecydowanej większości innych urządzeń medycznych), to:

- PN-EN 60601-1:2011 (Medyczne urządzenia elektryczne – Część 1: Wymagania ogólne dotyczące bezpieczeństwa podstawowego oraz funkcjonowania zasadniczego);
- PN-EN 60601-1-2:2015-11 (Medyczne urządzenia elektryczne – Część 1-2: Wymagania ogólne dotyczące bezpieczeństwa podstawowego oraz funkcjonowania zasadniczego – Norma uzupełniająca: Zakłócenia elektromagnetyczne – Wymagania i badania);
- PN-EN 60601-1-6:2010 (Medyczne urządzenia elektryczne – Część 1-6: Wymagania ogólne dotyczące bezpieczeństwa podstawowego oraz funkcjonowania zasadniczego – Norma uzupełniająca: Użyteczność);
- PN-EN 60601-1-8:2011 (Medyczne urządzenia elektryczne – Część 1-8: Wymagania ogólne dotyczące bezpieczeństwa podstawowego oraz funkcjonowania zasadniczego – Norma uzupełniająca: Wymagania ogólne, badania i wytyczne dotyczące systemów alarmowych w medycznych urządzeniach elektrycznych i medycznych systemach elektrycznych).

Wszystkie wspomniane normy należą do grupy oznakowanej wspólnym numerem 60601-1(-x) i obejmującej najbardziej fundamentalne wymogi dot. aparatury medycznej. Wymagania te są wspierane przez normy z grupy 60601-2-x, które odnoszą się z kolei do określonych podgrup urządzeń, podzielonych z uwagi na zakres zastosowań i funkcjonalności. W naszym przykładowym kardiomonitorze oferującym pomiary:

- EKG,
- ciśnienia krwi metodą nieinwazyjną,
- saturacji krwi (SpO_2) oraz
- temperatury ciała

będą to najczęściej normy:

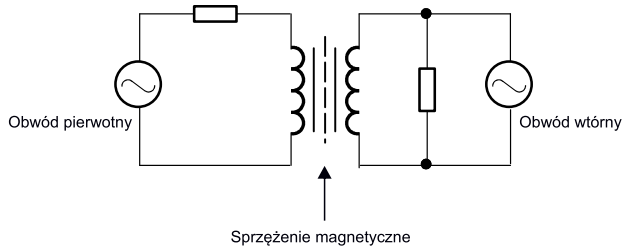
- PN-EN 60601-2-27:2014-11 (Medyczne urządzenia elektryczne – Część 2-27: Wymagania szczegółowe dotyczące bezpieczeństwa podstawowego oraz funkcjonowania zasadniczego elektrokardiograficznych urządzeń monitorujących);
- PN-EN IEC 80601-2-30:2019-07 (Medyczne urządzenia elektryczne – Część 2-30: Wymagania szczegółowe dotyczące bezpieczeństwa podstawowego oraz funkcjonowania zasadniczego automatycznych nieinwazyjnych sfigmomanometrów);
- PN-EN ISO 80601-2-61:2019-03 (Medyczne urządzenia elektryczne – Część 2-61: Szczegółowe wymagania dotyczące podstawowego bezpieczeństwa i zasadniczego działania wyposażenia pulsoksymetrów do medycznego stosowania);
- PN-EN ISO 80601-2-56:2017-10 (Medyczne urządzenia elektryczne – Część 2-56: Wymagania szczegółowe dotyczące podstawowego bezpieczeństwa i zasadniczego działania termometrów medycznych do pomiaru temperatury ciała).

Dodatkowo, urządzenie tego rodzaju podlegać będzie normie:

- PN-EN IEC 80601-2-49:2020-03 (Medyczne urządzenia elektryczne – Część 2-49: Wymagania szczegółowe dotyczące bezpieczeństwa podstawowego oraz funkcjonowania zasadniczego urządzeń do wielofunkcyjnego monitorowania pacjenta).

Powyższa lista nie jest oczywiście wyczerpująca, gdyż do wymienionych norm dochodzą jeszcze wymagania dotyczące zarządzania ryzykiem czy też cyklu życia oprogramowania. Nie wspominamy także o sporej liście norm EMC (i ew. radiowych) – do opisanych w nich procedur odnosi się bowiem bezpośrednio „medyczna norma EMC", czyli 60601-1-2.

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 2. Topologia izolatora ze sprzężeniem magnetycznym

Wpływ norm na BOM projektu

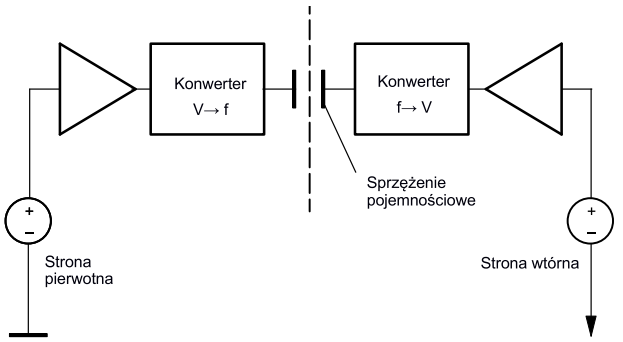
Zastosowanie właściwego podejścia do projektowania w oparciu na normach (już od najwcześniejszych etapów opracowywania konstrukcji urządzenia) w praktyce wiąże się nierozerwalnie z umiejętnym wyborem komponentów o znaczeniu kluczowym dla spełnienia konkretnych wymagań. Okazuje się bowiem, że dobór modułów i elementów elektronicznych posiadających własne certyfikaty może znacznie ułatwić opracowanie urządzenia. Zawsze należy mieć jednak na uwadze, że **użycie komponentów spełniających określone normy nie jest równoznaczne ze spełnieniem ich przez całe urządzenie**. Żelazną zasadą, stosowaną szeroko w analizie ryzyka, jest przyjęcie, że **o bezpieczeństwie systemu decyduje jego najsłabszy element**. Zastosowanie właściwych komponentów o znaczeniu krytycznym dla danej aplikacji może jednak znacząco uprościć proces oceny zgodności, gdyż w wielu przypadkach ocena taka opiera się na przeglądzie dokumentacji urządzenia i/lub oględzinach przekazanego do laboratorium egzemplarza testowego.

Kompontenty z „własną certyfikacją"

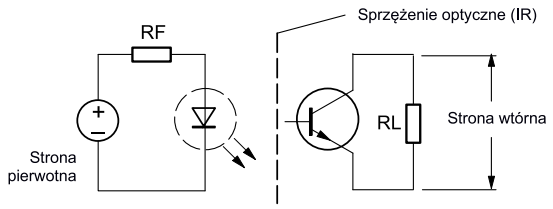
Aby lepiej zilustrować omawiane zagadnienie, posłużymy się przykładem separatorów galwanicznych stosowanych do zapewnienia niezbędnych środków ochrony pacjenta (MOPP) oraz środków ochrony operatora (MOOP), a szeroko opisanych przez przywołaną wcześniej normę 60601-1, która stanowi swoistą biblię wszystkich inżynierów elektroniki medycznej. Zastosowanie separatorów (transoptorów, izolatorów interfejsów szeregowych czy też wzmacniaczy izolacyjnych) umożliwia oddzielenie bezpiecznej części aplikacyjnej (mającej kontakt z ciałem pacjenta – np. front-endu EKG) od nie tak bezpiecznej części urządzenia, kontaktującej się galwanicznie ze światem zewnętrznym. I nie chodzi w tym przypadku tylko o część sieciową zasilacza – także wszelkie porty wejścia/wyjścia (USB, HDMI czy też RS232) mogłyby stanowić istotne zagrożenie dla pacjenta, gdyby poważnej awarii uległ sprzęt współpracujący z rozpatrywanym urządzeniem medycznym, a ścieżka prądu upływu prowadziłaby przez ciało osoby badanej lub poddawanej terapii.

Najczęściej stosowane separatory galwaniczne mają topologię magnetyczną (**rysunek 2**), pojemnościową (**rysunek 3**) bądź optyczną (**rysunek 4**). W przypadku zastosowania separatora scalonego pod uwagę należy wziąć nie tylko wytrzymałość i rezystancję użytego materiału izolacyjnego, ale także uwarunkowania geometryczne, wpływające bezpośrednio na implementację układu w ramach projektu PCB.

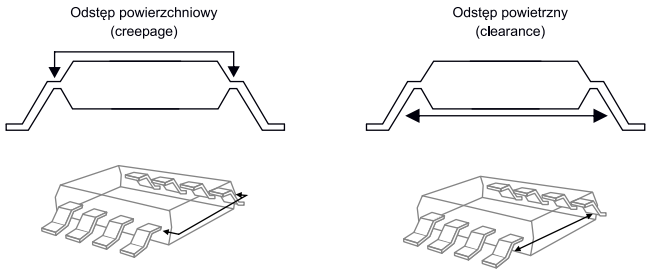
Przykładowo, przywołana wcześniej norma PN-EN 60601-1:2011 definiuje dokładne wymagania dot. minimalnych odstępów izolacyjnych, spełniających kryteria środków ochrony pacjenta (MOPP – **tabela 1**). Odstępy izolacyjne mogą być definiowane na dwa sposoby: w linii prostej, w powietrzu (*clearance*) bądź po powierzchni materiału izolacyjnego (z uwzględnieniem najkrótszej możliwej ścieżki pomiędzy dwoma elementami przewodzącymi – *creepage*) – oba opisane rodzaje odstępów zaprezentowano schematycznie na **rysunku 5**. Zastosowanie separatora w urządzeniu zasilanym sieciowo (250 V_{AC}) wymaga zatem wyboru układu, który umożliwi uzyskanie niezbędnych odstępów – w przypadku dwóch środków ochrony pacjenta, wymaganych w celu zabezpieczenia części aplikacyjnych i innych części dostępnych, odstęp powierzchniowy powinien wynosić co najmniej 8 mm, zaś (co także definiuje norma 60601-1) izolacja stała tworząca środek ochrony pacjenta powinna zapewniać wytrzymałość 4 kV (ochrona od części sieciowej zasilacza) lub 3 kV (ochrona od obwodów wtórnych, tj. odseparowanych od części sieciowej co najmniej jednym środkiem ochrony). W przypadku konieczności odseparowania pewnej części urządzenia (np. obwodów portu USB) od połączonego bezpośrednio z częścią aplikacyjną (np. front-endem EKG) procesora konieczne okazuje się zatem zastosowanie układu, który zapewni niezbędny poziom bezpieczeństwa elektrycznego. Wymagania takie spełnia izolator ADuM4160



Rysunek 3. Topologia izolatora ze sprzężeniem pojemnościowym



Rysunek 4. Najprostszy przykład separatora optycznego (transoptor)

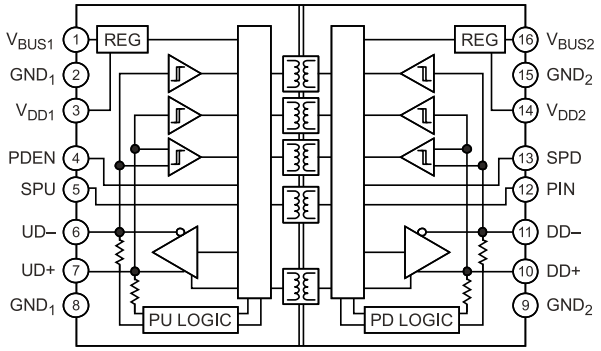


Rysunek 5. Definicja odstępów powierzchniowych i powietrznych w zastosowaniu do obudowy układu scalonego

Tabela 1. Odstępy izolacyjne, zapewniające jeden lub dwa środki ochrony pacjenta (według PN-EN 60601-1:2011 – fragment)

Napięcie robocze DC (maks.)	Napięcie robocze ACRMS (maks.)	1 × MOPP		2 × MOPP	
		Odstęp izolacyjny powierzchniowy [mm]	Odstęp izolacyjny powietrzny [mm]	Odstęp izolacyjny powierzchniowy [mm]	Odstęp izolacyjny powietrzny [mm]
17	12	1,7	0,8	3,4	1,6
43	30	2	1	4	2
85	60	2,3	1,2	4,6	2,4
177	125	3	1,6	6	3,2
354	250	4	2,5	8	5
566	400	6	3,5	12	7
707	500	8	4,5	16	9
934	660	10,5	6	21	12
1061	750	12	6,5	24	13

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 6. Schemat funkcjonalny separatora galwanicznego portu USB typu ADuM4160

Fotografia 1. Przetwornica TPP 15-J marki Traco Power, przeznaczona do aplikacji medycznych

marki Analog Devices (**rysunek 6**). Wytrzymała izolacja wewnętrzna oraz poszerzona obudowa (**rysunek 7**) umożliwiają dotrzymanie ww. wymogów, co manifestuje się zapisem w nocie katalogowej układu, wskazującym na spełnienie przezeń wymogów normy IEC 60601-1 dot. izolacji wzmocnionej dla napięcia roboczego równego 250 Vrms.

Warto w tym miejscu podkreślić, że samo użycie izolatora ADuM4160 w omówionym urządzeniu przykładowym nie wystarczy do zapewnienia bezpieczeństwa elektrycznego – konieczne jest bowiem zwrócenie bacznej uwagi na projekt PCB w rejonie izolatora (rozdzielenie pól masy, ścieżek sygnałowych, a także padów samego separatora galwanicznego na odległość >= 8 mm bądź zastosowanie wycięć izolacyjnych w newralgicznych punktach płyty drukowanej), nie wspominając o dopracowaniu całego obwodu zasilania urządzenia oraz wszelkich innych izolacji ochronnych.

Opisany przykład separatora galwanicznego dobrze ilustruje zagadnienie stosowania tzw. **podzespołów wysokiej niezawodności**, czyli elementów, których potencjalne uszkodzenie mogłoby spowodować nieakceptowalne ryzyko. Paradoksalnie, w takich właśnie przypadkach proces certyfikacji może zostać wydatnie uproszczony dzięki zastosowaniu podzespołów, dla których producent przedstawia dokumentację jednoznacznie stwierdzającą, że jego wyrób spełnia wymagania norm (czyli w praktyce – posiada certyfikat zgodności).

Innym przykładem grupy podzespołów spełniających wymogi określonych norm branżowych będą wszelkiego rodzaju zasilacze sieciowe oraz izolowane przetwornice DC/DC, przeznaczone do aplikacji medycznych. Oferty producentów zasilaczy medycznych – zarówno modułowych (w postaci otwartej, zamkniętej lub przeznaczonej do montażu na PCB), jak i zewnętrznych (wtyczkowych oraz typu desktop) są dziś na tyle szerokie, że zazwyczaj nie stanowi większego problemu dobór odpowiedniego rozwiązania do projektowanej aplikacji.

Parametry zasilaczy medycznych mające bezpośredni wpływ na zachowanie zgodności z normami pokażemy na przykładzie nowoczesnej, niewielkiej przetwornicy modułowej AC/DC z serii TPP 15-J marki Traco Power (**fotografia 1**). Producent deklaruje prąd upływu [3] poniżej 75 μA, co umożliwia zastosowanie zasilacza w urządzeniach z częścią aplikacyjną typu BF. Norma 60601-1 stawia bowiem dość rygorystyczne wymagania w zakresie dopuszczalnych prądów upływu pacjenta w urządzeniach z częściami aplikacyjnymi typu B i BF, które nie mogą przekraczać 100 μA w stanie normalnym (przy braku awarii) oraz 500 μA w tzw. stanie pojedynczego uszkodzenia. Urządzenie jest wyposażone w zabezpieczenia przeciwzwarciowe, przeciwprzeciążeniowe i przeciwprzepięciowe, zaś jego konstrukcja mechaniczna ułatwia instalację w obudowie docelowego urządzenia (izolująca obudowa modułu, ścianki oddzielające złącza strony wtórnej i sieciowej od otworów montażowych, chłodzenie konwekcyjne bez konieczności stosowania wentylatora).

Komponenty o parametrach ułatwiających spełnienie norm

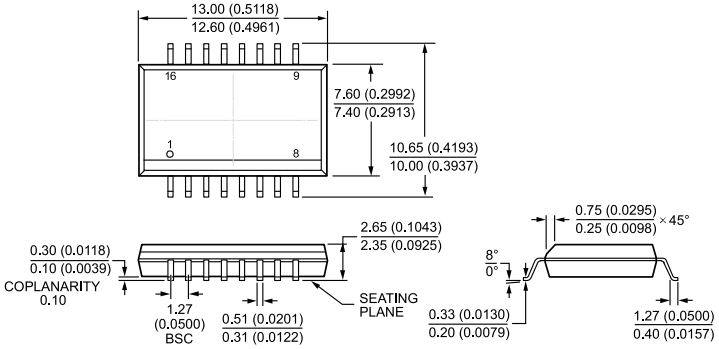
Nie wszystkie komponenty o kluczowym znaczeniu dla funkcjonowania urządzenia medycznego muszą posiadać określone certyfikaty. Okazuje się jednak, że odpowiedni dobór takich komponentów także może ułatwić certyfikację urządzenia końcowego, a to dzięki parametrom oferowanym (nawet jeśli niepotwierdzonym certyfikatami) przez podzespoły. Podamy dwa przykłady takich rozwiązań wraz z odniesieniem do zapisów konkretnych norm branżowych.

Pomiar temperatury ciała

W przypadku termometrów lekarskich oraz innych systemów pomiaru temperatury ciała pacjentów stosowane mogą być różne normy, z których wymienić warto:

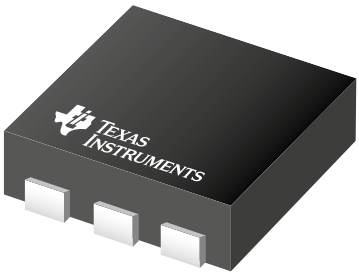
- PN-EN ISO 80601-2-56:2017-10 (Medyczne urządzenia elektryczne – Część 2-56: Wymagania szczegółowe dotyczące podstawowego bezpieczeństwa i zasadniczego działania termometrów medycznych do pomiaru temperatury ciała);
- PN-EN IEC 80601-2-59:2020-01 (Medyczne urządzenia elektryczne – Część 2-59: Wymagania szczegółowe dotyczące bezpieczeństwa podstawowego oraz funkcjonowania zasadniczego termografów do badań przesiewowych temperatury osób w stanie gorączki);
- ASTM E1112 - 00(2018) (Standard Specification for Electronic Thermometer for Intermittent Determination of Patient Temperature).

W przypadku pomiaru stykowego (kontaktowego) zastosowanie na obszarze UE ma pierwsza z wymienionych norm, definiująca podstawową dokładność (zwaną dokładnością laboratoryjną, *laboratory accuracy*) pomiaru na poziomie ±0,3°C i zakres pomiaru od 34,0 do 43,0°C, zaś w przypadku ASTM E1112 parametry te wynoszą odpowiednio: ±0,1°C oraz 35,8...41,0°C. Zastosowanie czujnika o dokładności ±0,1°C w zakresie (przynajmniej) 35,8...43°C umożliwia zatem spełnienie wymogów obu norm, rozszerzając tym samym potencjalny



Rysunek 7. Obudowa separatora galwanicznego ADuM4160 w wersji poszerzonej (RI-16-I)

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 8. Wygląd czujnika TMP117 firmy Texas Instruments

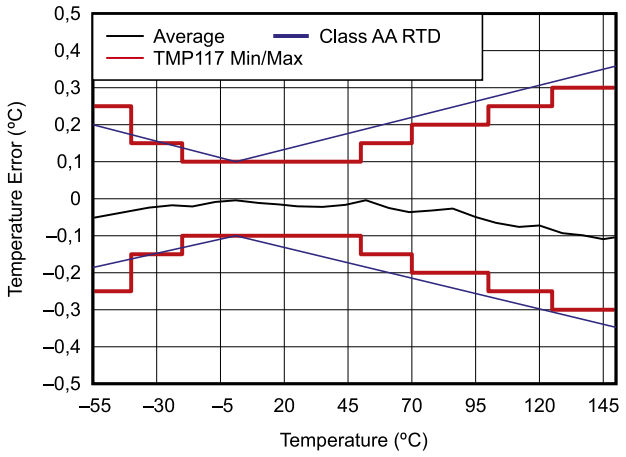
obszar sprzedaży opartego na sensorze termometru. Przykładem czujnika scalonego, który spełnia ww. wymogi, jest miniaturowy układ TMP117 firmy Texas Instruments (**rysunki 8 i 9**), oferujący dokładność ±0,1°C w zakresie od –20 do +50°C, bez konieczności dodatkowej kalibracji.

Elektrokardiografia

Wspomniana wcześniej norma PN-EN 60601-2-27:2014-11 opisuje szereg parametrów, które powinny spełniać elektrokardiografy – zarówno w zakresie stopnia wejściowego (front-endu analogowego), jak i przetwarzania sygnałów oraz automatycznej ich analizy. Przykładowe parametry określone wymogami normy to m.in.:

- wejściowy zakres dynamiki: urządzenia EKG powinny obsługiwać sygnały prezentujące offset DC ±300 mV i różnicowy sygnał zmienny na poziomie ±5 mV (wymagany *slew rate* to 320 mV/s);
- impedancja wejściowa: zalecana wartość wynosi co najmniej 2,5 MΩ;
- szum wejściowy: poziom szumu wprowadzanego przez kabel pacjenta oraz wzmacniacz EKG nie powinien przekraczać 30 μVpp (pomiar przez min. 10 sekund, przy włączonym pasmowozaporowym filtrze częstotliwości sieciowej, jeśli takowy istnieje);
- zakres wzmocnień: urządzenie powinno mieć przynajmniej jedno stałe ustawienie wzmocnienia na poziomie 10 mm/mV ±10%. W większości systemów EKG możliwa jest jednak zmiana wzmocnienia PGA, wtedy test powinien być wykonany dla każdego z nich. Ponadto dryf wzmocnienia nie powinien przekraczać 0,66%/min;
- zalecany minimalny zakres pasma przepustowego wynosi od 0,67 do 40 Hz.

Dostępne na rynku front-endy scalone, przeznaczone do aplikacji elektrokardiograficznych, nie tylko spełniają ww. wymagania, ale oferują parametry wielokrotnie lepsze, dając pewną swobodę projektantowi otoczenia (obwodów peryferyjnych) AFE. Znany front-end EKG marki Texas Instruments – ADS1298(R) oferuje bardzo szeroki zakres dynamiki, znacznie przekraczający parametry wskazane normą (i zależny od szeregu ustawień, w tym wzmocnienia PGA, napięcia zasilania czy też wybranej wartości napięcia odniesienia), a także poziom szumu rzędu 4 μVpp i dokładność oraz stabilność wzmocnienia na poziomie (odpowiednio) ±0,5% i 5 ppm/°C. Więcej szczegółowych informacji na temat front-endów elektrokardiograficznych można znaleźć w trzeciej części „Praktycznych aplikacji scalonych układów AFE" bieżącego wydania „Elektroniki Praktycznej".



Rysunek 9. Wykres dokładności czujnika TMP117 w obudowie typu WSON

Zastosowanie modułów radiowych w urządzeniach medycznych

Coraz większa liczba urządzeń medycznych jest wyposażona w fabrycznie zainstalowane moduły komunikacji radiowej. Rozwój telemedycyny wymusza na producentach podążanie za potrzebami rynku, co stawia ich przed koniecznością wyboru optymalnego rozwiązania w zakresie komunikacji RF. Podobnie jak w przypadku innych urządzeń elektronicznych, także aparatura medyczna podlega ocenie zgodności w świetle dyrektywy radiowej, o ile tylko jej funkcjonalność obejmuje odbiór i/lub emisję fal radiowych. Analogicznie do innych obszarów elektroniki, także w tym przypadku można sporo zaoszczędzić na kosztach badań laboratoryjnych, stosując moduły z certyfikatami zgodności dostarczonymi przez producenta. Co więcej, niektórzy wytwórcy modułów RF poczynili ukłon w stronę producentów aparatury medycznej, udostępniając na rynku moduły z obszernym zakresem certyfikacji, obejmującym nie tylko klasyczne normy zharmonizowane dla urządzeń radiowych, ale także część norm medycznych, które mają zastosowanie do modułów RF. Przykładem może być tutaj moduł Wi-Fi NINA-W13 marki u-blox, oferujący certyfikację nie tylko zgodnie z podstawowymi dyrektywami radiowymi dla obszarów Unii Europejskiej, USA, Kanady, Japonii, Tajwanu czy Australii, ale także… medyczną normą EMC 60601-1-2. Więcej informacji na temat modułów Wi-Fi zaprezentowaliśmy w artykule „Moduły Wi-Fi dla IoT" tego wydania EP.

Niezależnie od kwestii typowo elektronicznych nie należy zapominać o wpływie zastosowania komunikacji radiowej na niezawodność urządzenia i jego funkcjonowanie zasadnicze. Ważnymi zagadnieniami do opracowania są m.in. ochrona danych osobowych/medycznych, zabezpieczenia teleinformatyczne (szyfrowanie, uwierzytelnianie), itd.

Jak bezboleśnie przejść certyfikację wyrobu?

Uwzględnienie wymogów formalnych już na początku pracy nad projektem znakomicie ułatwia i przyspiesza proces wdrożenia rynkowego gotowego wyrobu. Zapewne niejeden spośród Czytelników zada sobie jednak w tym momencie pytanie – co zrobić, jeżeli produkt jest już w trakcie opracowania i nie ma możliwości zaprojektowania go od początku z myślą o normach branżowych? Zbierzmy zatem garść praktycznych porad dotyczących projektowania urządzeń elektronicznych – w tym celu posłużymy się znów przykładami z branży aparatury medycznej.

1. Określenie dyrektyw, rozporządzeń i konkretnych norm zharmonizowanych, obejmujących swoim zakresem opracowywany produkt, praktycznie nigdy nie oznacza konieczności spełnienia wszystkich ich zapisów. Należy zwrócić baczną uwagę na te podrozdziały i punkty, które rzeczywiście dotyczą danego wyrobu.

   Przykład – urządzenia medyczne mogą podlegać wymaganiom dotyczącym ochrony przed zagrożeniem wywołania zapłonu łatwopalnych substancji (mieszanin anestetycznych lub palnych środków do dezynfekcji, lub czyszczenia skóry), stosowanych m.in. na blokach operacyjnych. Wymagania te implikują ograniczenia dopuszczalnej energii gromadzonej w wewnętrznych komponentach pasywnych (kondensatory i elementy indukcyjne) oraz szereg dodatkowych obostrzeń. Ta część wymagań nie ma jednak zastosowania do urządzeń medycznych, które w żadnym przypadku nie będą pracowały w takim otoczeniu, co opisuje punkt G1.1 normy 60601-1;
2. Część testów można wykonać samodzielnie w ramach prototypowni – znacznym ułatwieniem jest dostęp do aparatury

eprasa.pl ad39d4d9f3

pomiarowej i wyposażenia, które umożliwi przeprowadzenie określonych typów badań, opisanych w normie. Na rynku polskim istnieją firmy, które w ramach kompleksowej działalności badawczo-rozwojowej są w stanie nie tylko opracować urządzenie koncepcyjnie i technicznie (do etapu prototypu, a nawet produkcji), ale także wykonać szereg badań we własnym zakresie. Często nawiązanie współpracy z tego typu przedsiębiorstwem daje wymierne korzyści zlecającemu, który nie musi inwestować w aparaturę pomiarową (często bardzo kosztowną). Najprostsze testy nie wymagają natomiast dostępu do skomplikowanych przyrządów laboratoryjnych i można je wykonać za pomocą prostych środków, dostępnych niemal od ręki.

Przykład – norma 60601-1 definiuje szereg testów dot. wytrzymałości mechanicznej urządzenia. Przyrządy ręczne należy testować poprzez upuszczenie ich na twarde podłoże z wysokości 1 metra, z kolei większe urządzenia przenośne, zależnie od masy, z wysokości od 2 do 5 cm. Testy takie można z powodzeniem wykonać bez ponoszenia większych kosztów, gdyż wystarczy do tego celu... 5-centymetrowa płyta z twardego drewna, umieszczona na podłodze betonowej (lub podobnej);

3. Badania typu pre-compliance – część testów warto wykonać w specjalistycznym laboratorium, które nie tylko udostępni wyniki wstępnych pomiarów, ale także posłuży wsparciem merytorycznym. Taka sytuacja ma miejsce przede wszystkim w przypadku badań EMC, gdyż stosunkowo niewiele firm projektowych i produkcyjnych może pozwolić sobie na wybudowanie i wyposażenie własnej komory EMC.

   Przykład – zamówienie badań pre-compliance w laboratorium EMC pozwala namierzyć i scharakteryzować źródła potencjalnych zakłóceń, które mogłyby spowodować uzyskanie negatywnego wyniku pełnych testów certyfikacyjnych. Ma to znaczenie zwłaszcza w przypadku bardziej złożonych urządzeń cyfrowych z szybkimi procesorami bądź układami FPGA (emisja zakłóceń RF od obwodów komunikacyjnych i taktowania), choć rzecz jasna testy EMC dotyczą w równym stopniu wszystkich urządzeń elektronicznych;

4. Na zaawansowanych etapach pracy nad projektem (np. po uruchomieniu prototypu) warto zwrócić się o pomoc do specjalisty, który wykona preaudyt opracowywanego urządzenia, zwracając uwagę na istniejące lub potencjalne źródła problemów z zachowaniem zgodności z normami. Doradzi on także możliwe rozwiązania, które mają na celu zwiększenie prawdopodobieństwa pomyślnego przejścia wszystkich testów laboratoryjnych już w ich pierwszej iteracji.

   Przykład – z doświadczenia własnego autora wynika, jak wiele mankamentów można wskazać obserwując jedynie samą obudowę urządzenia, sposób montażu wewnętrznego okablowania i złączy. Prostym przykładem jest punkt 8.6.2 normy 60601-1, zakazujący stosowania zacisków uziemienia ochronnego do mechanicznego mocowania elementów niezwiązanych z uziemieniem jako takim – we wspomnianym preaudycie autor znalazł we wnętrzu poddawanego oględzinom urządzenia... zacisk uziemienia, pełniący jednocześnie funkcję elementu przytwierdzającego obudowę sterownika do konstrukcji urządzenia.

5. Oprogramowanie (także wbudowane) jest częścią wyrobu medycznego i jako takie podlega certyfikacji, co więcej – z zastosowaniem dodatkowych norm, dotyczących m.in. cyklu życia oprogramowania. Użycie odpowiednich procedur już na początku prac software'owych ułatwia późniejsze opracowanie dokumentacji, niezbędnej m.in. do wdrożenia systemu kontroli jakości (w przypadku wyrobów medycznych jest to system ISO 13485:2016) oraz zarządzania ryzykiem wyrobów medycznych (PN-EN ISO 14971:2020-05).

   Przykład – zastosowanie oprogramowania gotowego lub wytworzonego przez osoby trzecie wymaga od producenta wyrobu medycznego ustalenia dokładnych wymagań dla takiego oprogramowania, ponadto – co opisuje kolejny punkt normy 60601-1 (H3.4), konieczne jest właściwe zarządzanie procesami integracji i testów, w tym także uwzględniających przypadki najbardziej niekorzystne. Zagadnienia te są szczególnie ważne już na początku tworzenia oprogramowania – w tym podczas wyboru systemu operacyjnego (np. RTOS) czy też wyboru zewnętrznych bibliotek programistycznych.

Podsumowanie

Przedstawione w artykule informacje mają za zadanie nakreślić ogólny obraz procesu projektowania z uwzględnieniem norm branżowych już od początkowych etapów pracy – wyboru funkcjonalności, architektury urządzenia i wreszcie – listy kluczowych komponentów. Każda branża rządzi się swoimi prawami i jako taka wymagałaby osobnego cyklu artykułów, by choć częściowo przybliżyć tę złożoną tematykę. Opisane tutaj zagadnienia, związane z wymogami stawianymi przed współczesną aparaturą medyczną, doskonale obrazują, jak wiele można zyskać, stosując odpowiednie podejście do projektu i do samych norm, które – wbrew pozorom mają za zadanie pomóc konstruktorom, a nie utrudnić im życie.

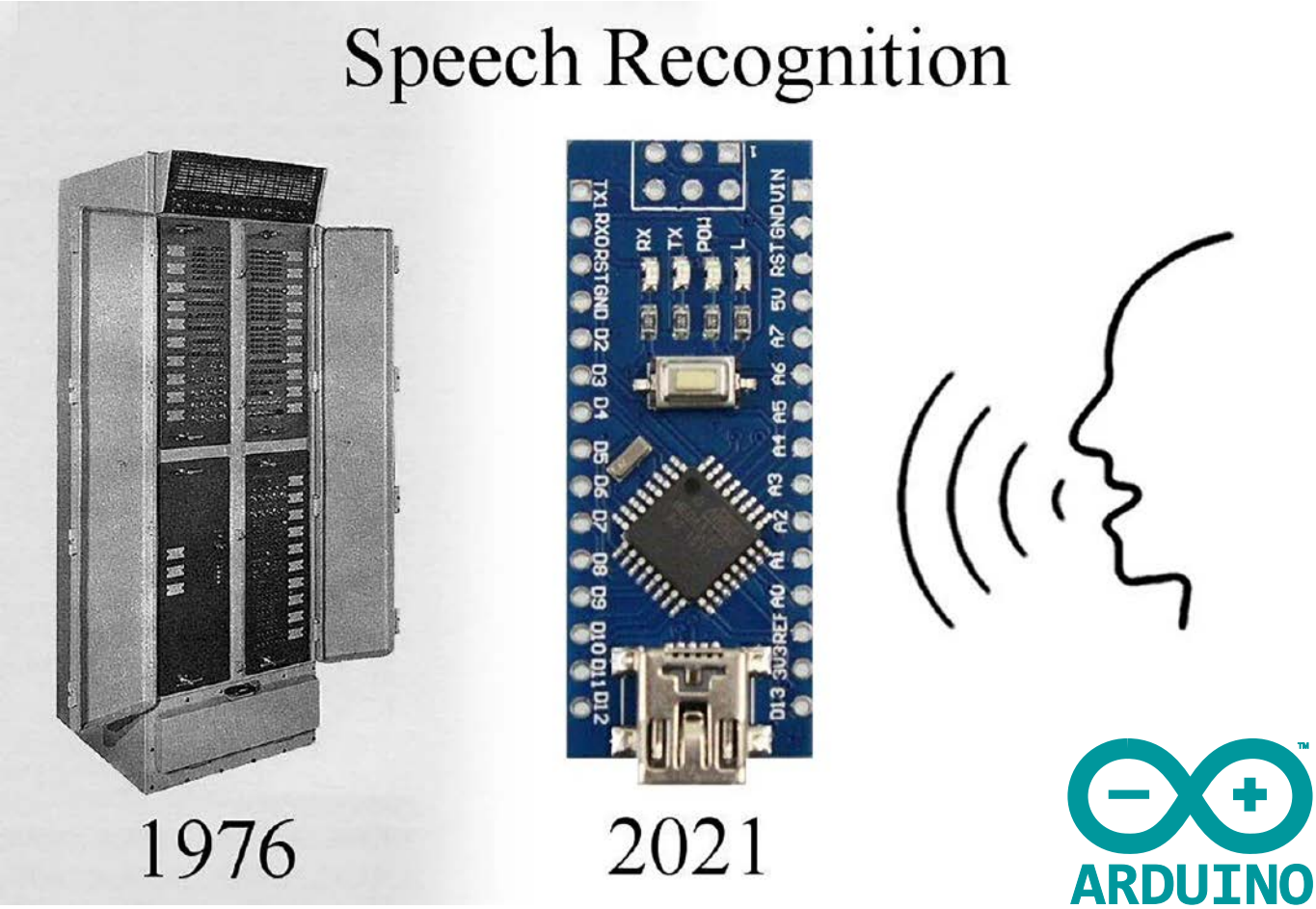
Zaprezentowane w niniejszym artykule informacje poglądowe należy traktować jako ogólne wskazówki i nakreślenie tematyki normalizacji w procesie projektowania oraz wdrażania urządzeń. Autor oraz Redakcja nie biorą odpowiedzialności za skutki zastosowania tych informacji w realnych aplikacjach (w tym w urządzeniach medycznych). Konstruktorzy producenci są każdorazowo zobowiązani do samodzielnej weryfikacji informacji z treścią odpowiednich norm, aktów prawnych oraz dokumentacji opisanych komponentów.

inż. Przemysław Musz, EP
przemyslaw.musz@ep.com.pl

[1] W rzeczywistości nie wszystkie urządzenia medyczne są objęte rozporządzeniem 2017/745. Wyjątkiem są aktywne implanty (dyrektywa 90/385/EWG) oraz aparatura i wyposażenie do diagnostyki in vitro (rozporządzenie 2017/746, które wejdzie w życie 26.05.2022 i zastąpi dyrektywę 98/79/WE).
[2] Litera F w oznaczeniu oznacza tzw. „pływającą" (izolowaną) część aplikacyjną – oznacza to, że blok urządzenia mający kontakt z ciałem pacjenta jest skutecznie odseparowany od reszty urządzenia w celu ograniczenia prądu upływu pacjenta do bezpiecznej wartości, określonej normą 60601-1.
[3] W przypadku omawianego zasilacza nie zdefiniowano prądu upływu uziomowego, gdyż moduł pracuje w II klasie ochronności.

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

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rozpoznawanie głosu z użyciem Arduino

Kiedyś do rozpoznawania głosu konieczne były ogromne zasoby sprzętowe, niedawno można było realizować tego rodzaju algorytmy na zwykłych komputerach domowych, a obecnie można zmieścić algorytm inferencji na małym kompaktowym mikrokontrolerze. Przyjrzyjmy się, jak to jest możliwe.

Algorytmy uczenia maszynowego są coraz wydajniejsze, co pozwala na uruchamianie ich na coraz bardziej kompaktowych systemach. Autor zaprezentowanego systemu – Peter Balch, nudząc się w czasie epidemii, odnalazł w swojej biblioteczce raport IEEE na temat rozpoznawania mowy. Dokument pochodził z późnych lat siedemdziesiątych. „Czy Arduino Nano może zrobić to samo, co komputer z tamtej epoki?" było oczywistym pytaniem, jakie pojawiło się w jego głowie po przeczytaniu tego opracowania.

Jak wypada Nano w porównaniu z maszyną z lat 70. XX wieku? Arduino Nano ma 2 kB RAM, 32 kB pamięci programu i działa z prędkością około 10 MIPS (w zależności od kombinacji instrukcji). Wtedy w użyciu były minikomputery, które działały z szybkością od 0,5 do 8 MIPS i miały od 2 kB do 32 kB pamięci podzielonej pomiędzy pamięć programu i danych. Większość grup badawczych, z opisanych w raporcie IEEE, posiadała maszyny typu PDP-8 lub PDP-11. Jedna z grup miała do dyspozycji ogromny IBM-360 z 128 kB, ale osiągający poniżej 1 MIPS. Inna grupa z kolei zmieniła przeznaczenie systemu kierowania ogniem rakietowym Univac, który pracował z prędkością ok. 1 MIPS. Nano jest więc na właściwym miejscu do zbudowania prostego systemu rozpoznawania mowy, skoro 50 lat temu komputery o podobnej wydajności były w stanie to robić. Oczywiście, istnieją pewne projekty rozpoznawania mowy działające np. na Arduino Nano, ale wymagają one połączenia internetowego i wysyłania wszystkich rozmów np. do Amazona lub Google albo też wymagają mocniejszej platformy niż mały mikrokontroler (najczęściej stosuje się Raspberry Pi). Oczywiście moduł Arduino Nano nie będzie tak wydajny jak większe platformy, ale „czy może w ogóle zrobić coś pożytecznego?" pyta retorycznie autor.

Jednym z istotniejszych problemów związanych z rozpoznawaniem mowy jest ciągłość mowy z użyciem bogatego słownictwa. Na drugim końcu skali tego zagadnienia mamy wykrywanie pojedynczego słowa z ubogiego słownika. Opisywany w tym artykule projekt skupi się na tym drugim zagadnieniu. Jaki jest pożytek z tego rodzaju systemu? Może znaleźć wiele zastosowań – może sterować pracą niewielkiego, przenośnego multimetru czy komunikatora, który nie ma ekranu ani klawiatury. Każdy system,

eprasa.pl ad39d4d9f3

Tabela 1. Wyprowadzenia modułu z układem MAX9814

Wyprowadzenie modułu	Funkcja
GND	Masa
VDD	Zasilanie (5 V)
GAIN	Wzmocnienie
OUT	Wyjście sygnału analogowego
A/R	Attack/Release – regulacja AGC

jaki ma być kontrolowany bez użycia rąk, mógłby skorzystać ze sterowania używającego prostych poleceń głosowych. Przykładów takiego sprzętu jest wiele – zdalnie sterowany robot, odtwarzacz MP3 do joggingu itp. Istnieje wiele miejsc, w których może się przydać kilkanaście poleceń słownych. Jeśli przyjrzymy się typowym projektom korzystającym z Amazon Alexa czy Apple Siri, to okaże się, że wiele z nich może wykorzystać niewielkie systemy bez połączenia z Internetem do rozpoznawania prostych komend. Finalnie tego rodzaju system można uzupełnić wyjściem głosowym, na przykład za pomocą biblioteki Talkie, aby układ mógł nie tylko słuchać, ale i mówić.

Sprzęt

Do tego projektu wybrano Arduino Nano (ale będzie działał również z Arduino Uno lub Mini lub podobnym, o ile używa mikrokontrolera ATmega328 z zegarem 16 MHz). Układ ten uzupełniony jest mikrofonem ze wzmacniaczem. Autor wybrał wzmacniacz mikrofonowy MAX9814, ponieważ wyposażony jest on w automatyczną kontrolę wzmocnienia. Oprócz tego będzie potrzebna podstawowa wiedza o tym, jak należy programować Arduino. W Internecie dostępnych jest wiele samouczków dotyczących tego ekosystemu.

Moduł ze wzmacniaczem mikrofonowym to koszt około 10 zł. Układ MAX9814 zawiera w sobie wzmacniacz mikrofonowy z blokiem AGC (układ automatycznej kontroli wzmocnienia). Moduł ma 5 wyprowadzeń, do których podłączamy poszczególne sygnały, zgodnie z opisem z **tabeli 1**. Wejście A/R określa parametry pracy algorytmu AGC. Jest to stosunek czasu narastania do opadania podczas regulacji wzmocnienia. Jeśli pin ten podłączymy do masy, to wyniesie on 1:500, jeśli do napięcia zasilania (VDD), to 1:2000, a jeśli pozostawimy niepodłączony, to równy będzie 1:4000. Czas ten jest zależny od pojemności kondensatora, dołączanego do jednej z nóżek układu i wynosi 2,4×C (w milisekundach, gdzie C jest wyrażony w mikrofaradach). Wyprowadzenie Gain steruje poziomem wzmocnienia. Jeśli pin ten zostanie podłączony do masy, to wzmocnienie układu AGC równe będzie 50 dB, a jeśli do plusa, to wyniesie 40 dB. Jeśli pin Gain pozostanie niepodłączony, to wzmocnienie AGC osiągnie 60 dB.

W obwodzie pokazanym na **rysunku 1** pin A/R jest intencjonalnie niepodłączony, a Gain jest połączone z VDD, co daje najniższe możliwe w układzie wzmocnienie. Piny te można podłączyć do wyprowadzeń cyfrowych Arduino i sterować nimi z poziomu oprogramowania. Aby uzyskać stan taki, jak dla wejścia niepodłączonego, należy linię GPIO Arduino ustawić jako wejście. Mikrofon podłączony z układem MAX9814 jest połączony za pomocą ekranowanego kabla do wejścia Arduino. Aby uzyskać najlepszą jakość dźwięku, mikrofon powinien być umieszczony u boku ust, aby uniknąć trzasków przy tzw. głoskach wybuchowych (p, t, k itp.) czy odgłosach oddychania. Wzmocnienie na poziomie 40 dB daje najlepszy stosunek sygnału do szumu dla mikrofonu na wysięgniku blisko ust. Przy większych poziomach wzmocnienia szum tła jest zbyt silny. Układ AGC redukuje sygnał mowy do rozsądnego poziomu, ale kiedy nie mówimy, szum powoli powraca do sygnału.

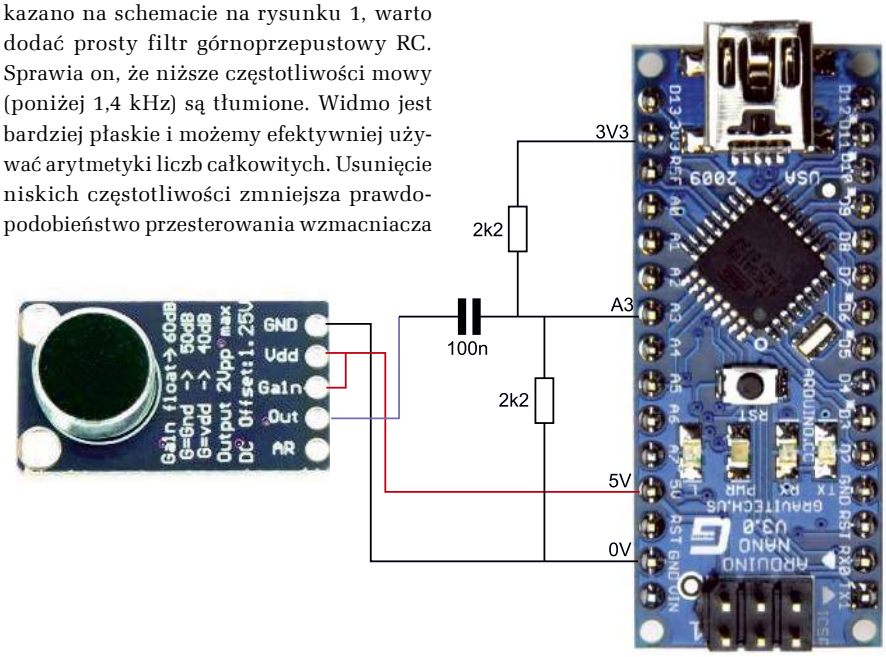
Sygnał dźwiękowy z modułu jest wyśrodkowany na poziomie około 1,25 V i zmienia się w zakresie od 0 do 2,5 V. Przetwornik ADC w module Arduino ma rozdzielczość równą 10 bitów, więc wartość liczbowa mieści się w zakresie od 0 do 1023. Jeśli jako napięcie odniesienia zastosujemy 3,3 V, to pojedynczy najmniejszy bit odpowiada około 3,223 mV, co oznacza, że zakres pracy mikrofonu pokrywają wartości od 0 do 775. Moduł można podłączyć bezpośrednio do wejścia ADC, jednakże jak pokazano na schemacie na rysunku 1, warto dodać prosty filtr górnoprzepustowy RC. Sprawia on, że niższe częstotliwości mowy (poniżej 1,4 kHz) są tłumione. Widmo jest bardziej płaskie i możemy efektywniej używać arytmetyki liczb całkowitych. Usunięcie niskich częstotliwości zmniejsza prawdopodobieństwo przesterowania wzmacniacza i przetwornika ADC. W literaturze specjalistycznej znaleźć można szersze omówienie zasadności stosowania filtrów górnoprzepustowych w przedwzmacniaczach audio do systemów rozpoznawania mowy. Dwa rezystory są używane do wyśrodkowania wejścia ADC wokół napięcia połowy zasilania, czyli 1,65 V.

Finalnie należy zapamiętać, gdzie podłączony jest sygnał analogowy. Konieczne jest to, aby w odpowiedni sposób zdefiniować wejście w programie. Dla układu jak na schemacie na rysunku 1 wystarczy umieścić w szkicu Arduino linijkę:

```
const int AUDIO_IN = A7;
```

Jeśli nie możecie zdobyć modułu z MAX9814, ale macie pod ręką elementy takie, jak mikrofon elektretowy i wzmacniacz operacyjny (np. LM358), to można zamiast tego skonstruować prosty przedwzmacniacz mikrofonowy. Układ LM358 to dość kiepski wzmacniacz operacyjny – charakteryzuje się dużym szumem, a amplituda sygnału wyjściowego nie będzie większa niż około 1,5 V. Jednakże układ będzie bez problemu działał z zasilaniem 5 V i zapewnia dostatecznie dobrą jakość do tego systemu. Obwód, którego użył autor konstrukcji, pokazano na **rysunku 2**. To nic specjalnego – typowy wzmacniacz mikrofonowy, który można zmontować na płytce stykowej. Całkowite wzmocnienie wynosi około 200. To sprowadza sygnał wyjściowy do odpowiedniego zakresu, jeśli mikrofon znajduje się blisko ust. Elementy C1 i R4 działają jak filtr górnoprzepustowy z delikatnym spadkiem poniżej 1,5 kHz. Wejście nieodwracające wzmacniaczy operacyjnych jest dołączone do połowy potencjału pomiędzy masą a 3,3 V.

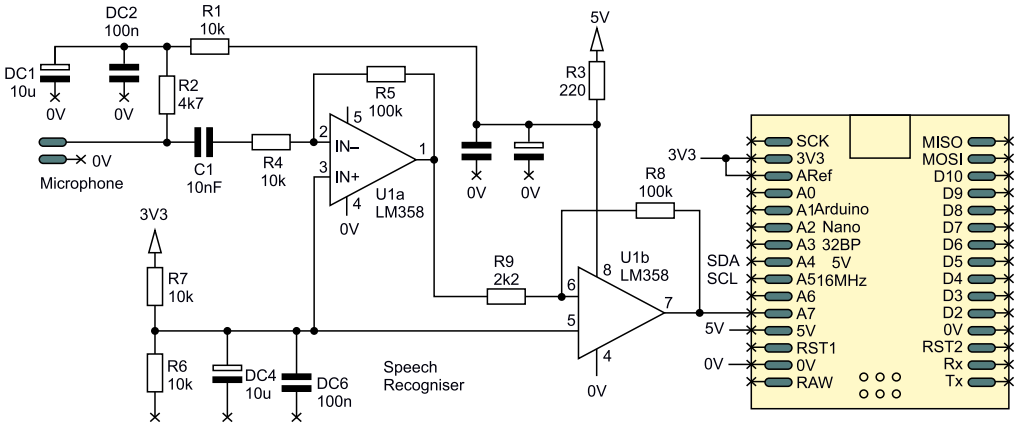
System wykorzystuje przetwornik ADC z napięciem odniesienia równym 3,3 V, więc wyjście LM358 będzie miało odpowiednią



Rysunek 1. Schemat ideowy układu z modułem mikrofonu podłączonym do modułu Arduino

eprasa.pl ad39d4d9f3

amplitudę. Zasilanie 3,3 V ze stabilizatora jest dość zaszumione, więc układ zawiera kondensatory DC4 i DC6 do filtrowania zasilania. Sam LM358 jest zasilany z wyjścia 5 V z płytki Nano. Wyprowadzenie 5 V jest filtrowane przez elementy R3, DC3 i DC5. Napięcie 5 V jest jeszcze filtrowane dalej przez R1, DC1, DC2 i działa jako źródło zasilania dla mikrofonu poprzez R2.



Rysunek 2. Schemat wzmacniacza do mikrofonu

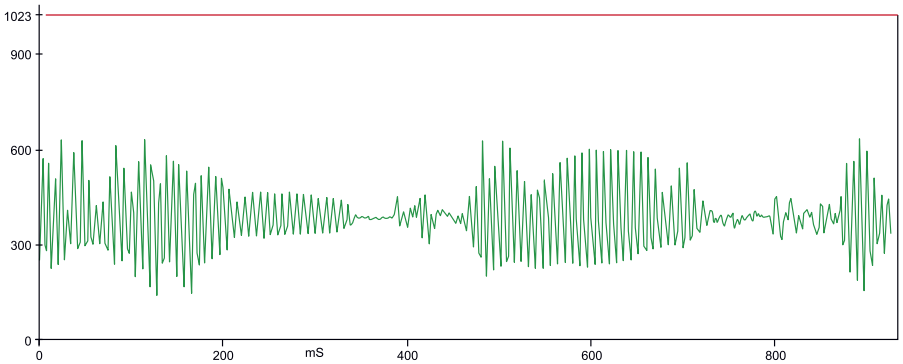
Zbieranie danych

Standardowym sposobem korzystania z ADC w Arduino Nano jest wywołanie funkcji *analogRead()*, ale funkcja ta jest raczej powolna. Inicjalizuje ADC i wybiera właściwy pin wejściowy. Następnie rozpoczyna konwersję i czeka, aż konwersja zostanie zakończona. Wszystko to zajmuje około 100 mikrosekund. Lepiej jest uruchomić konwersję i robić coś innego, czekając na jej wynik. Dlatego też zbieranie danych w omawianym systemie zrealizowano inaczej, niż typowo realizuje się na Arduino. W sekcji *Setup()* zastosowana jest standardowa biblioteka Arduino do inicjalizacji ADC:

```
analogReference(EXTERNAL);
analogRead(AUDIO_IN);
```

Napięcie odniesienia dla ADC jest podawane na pin ARef, który jest podłączony do 3,3 V. Aby skonfigurować wejście analogowe, wystarczy raz wywołać *analogRead()*. Następne odczyty możemy realizować w inny, szybszy sposób.

W głównej pętli programu ustawiamy bit ADSC (*ADC Start Conversion*), aby rozpocząć konwersję. Biblioteka Arduino skonfigurowała ADC w trybie pojedynczej konwersji, więc trzeba ustawić bit ADSC, aby rozpoczynał każdą konwersję. Bit ADIF (flaga przerwania ADC) jest ustawiana po zakończeniu konwersji. Oznacza to, że można robić coś innego, gdy ADC jest zajęty. Skasowanie ADIF (ustawienie go na 1) powoduje, że bit ADIE (*ADC Interrupt Enable*) zostaje wyczyszczony przez bibliotekę Arduino, więc żadne przerwanie nie występuje, a flaga jest sprawdzana, aby wykryć, kiedy konwersja ADC jest zakończona. Wynik konwersji ADC jest 10-bitowy i odczytywany poprzez odczytanie 8-bitowego rejestru ADCL, a następnie rejestru ADCH. Kiedy czytasz ADCL, wartość w ADCH jest zamrożona, dopóki też nie zostanie odczytana.



Rysunek 3. Przykładowy przebieg zebrany za pomocą urządzenia

Dzięki temu mamy pewność, że nie zostaną pomieszane wartości kolejnych ramek – różnych próbek. Rejestry ADCL i ADCH trzeba odczytywać we właściwej kolejności. Kompletny kod skryptu jest bardzo prosty i został pokazany na **listingu 1**.

Kod przetwarzania próbki jest wykonywany, podczas gdy ADC realizuje następną konwersję ADC. Napięcie ze wzmacniacza jest wycentrowane wokół 512. Do dalszego przetwarzania sygnału dobrze jest, aby było wyśrodkowane wokół 0. Więc odejmujemy średnią bieżącą przychodzącej wartości od zmiennej wartość, jak pokazano na **listingu 2**.

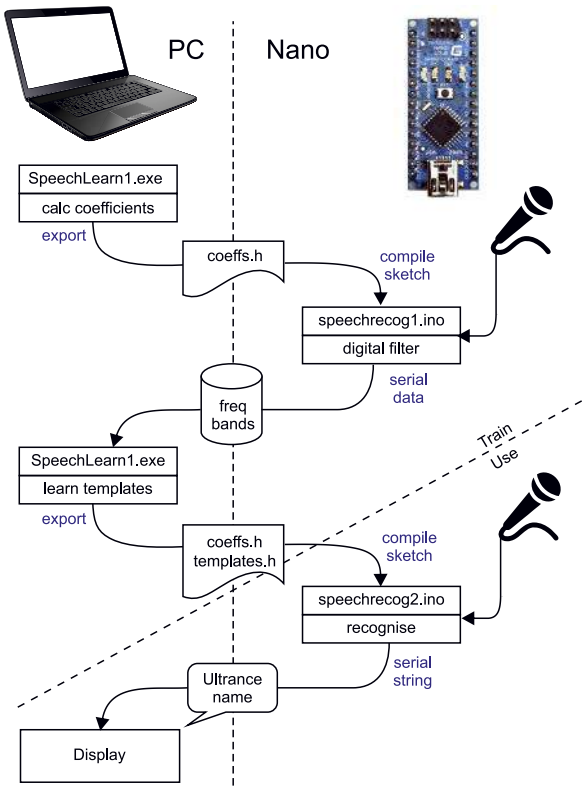
Kompletny szkic Arduino, który przetwarza wyniki ADC, można pobrać ze strony projektu. Pobiera on próbki z prędkością około 9 ksps. Może

Listing 1. Kod odpowiedzialny za odczyt wartości z przetwornika ADC

```
while (true) {
  while (!getBit (ADCSRA, ADIF)); // czekaj na ADC
  byte wart1 = ADCL;
  byte wart2 = ADCH;
  bitSet(ADCSRA, ADIF); // wyczyść flagę
  bitSet(ADCSRA, ADSC); // rozpocznij konwersję ADC
  int wartosc = wart1;
  wartosc += wart2 << 8;
  // tutaj wstawić należy przetwarzanie próbki
}
```

Listing 2. Przetwarzanie wyników z przetwornika ADC

```
static int zero = 512;
jeśli (wartość <zero)
  zero--;
else
  zero ++;
wartosc = wartość - zero;
```



Rysunek 4. Ogólna architektura powstawania oprogramowania dla systemu

eprasa.pl ad39d4d9f3

przesyłać wartości do komputera przez łącze szeregowe, ale transmisja szeregowa spowalnia je do około 1100 sps (przy 57600 baud). Korzystając z narzędzia Serial Plotter w Arduino IDE, można uzyskać wyświetlenie przebiegu sygnału tak, jak pokazano na **rysunku 3**.

Architektura oprogramowania

Cały system zastosowany do nauki sieci i do prowadzenia inferencji na mikrokontrolerze jest nieco skomplikowany... Szkolenie sieci neuronowych odbywa się na komputerze PC, ale przeszkolony system działa już w całości na Arduino. Schemat konstrukcji tego systemu i sposób postępowania z danymi zostały pokazane w uproszczeniu na **rysunku 4**. Arduino wysyła przykładowe wypowiedzi do komputera, a komputer generuje szablony wypowiedzi. Komputer eksportuje szablony jako plik ****.h*, który jest kompilowany w szkicu. Szkic uruchomiony na mikrokontrolerze może wtedy rozpoznawać wypowiedzi bez połączenia z komputerem.

Program *SpeechRecog1.exe* dla systemu Windows oblicza współczynniki dla filtra cyfrowego, opisanego w dalszej części artykułu. Współczynniki filtra cyfrowego są eksportowane jako plik *Coeffs.h*. Szkic *speechrecog1.ino* jest następnie kompilowany przy użyciu wygenerowanych współczynników.

Program Speechrecog1.ino nagrywa przykładowe wypowiedzi i wysyła je do komputera. Na komputerze program SpeechRecog1 oblicza na ich podstawie szablony, które służą do rozpoznawania tych wypowiedzi. Opcjonalnie *SpeechRecog1* zbiera więcej wypowiedzi do testowania. Testuje szablony przy użyciu zebranych danych. Szablony są eksportowane jako plik *Templates.h*. Kolejny szkic Arduino – *speechrecog2.ino,* jest kompilowany przy użyciu plików *Templates.h* i *Coeffs.h*. Szkic *speechrecog2.ino* wykorzystuje szablony do rozpoznawania wypowiedzi. W dalszej części artykułu przyjrzymy się bliżej każdej z części systemu.

Filtry pasmowe

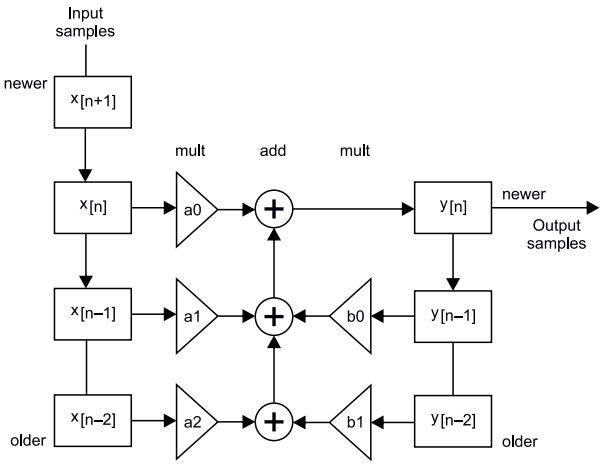
Typowe słowo może trwać ok. sekundy. Arduino Nano ma tylko 2 kB pamięci RAM, więc nie możemy przechowywać wszystkich próbek dźwięku do analizy. Konieczne jest wykonanie większości analiz w czasie rzeczywistym, gdy przybywają próbki. Rozpoznawanie mowy zwykle rozpoczyna się od pomiaru „energii" w różnych pasmach częstotliwości – amplitudy sygnału. Pierwszym etapem jest przepuszczenie sygnału wejściowego przez różne filtry pasmowoprzepustowe, aby wyznaczyć spektrum.

Najpopularniejszym sposobem filtrowania danych jest wykonanie transformaty Fouriera na sygnale w celu uzyskania jego widma. Arduino Nano nie ma wystarczającej mocy obliczeniowej, aby obliczyć taką transformatę w czasie przychodzenia próbek. Bardziej odpowiednim sposobem analizy tych danych jest użycie filtrów cyfrowych. Filtr cyfrowy wykonuje proste obliczenia na poprzednich N próbkach itp., aby obliczyć następną wartość wyjściową filtra. Schemat na **rysunku 5** pokazuje typowy filtr. Obliczenia można zapisać np. w następujący sposób:

$y[n] = a0 \cdot x[n] + a1 \cdot x[n-1] + a2 \cdot x[n-2] + + b1 \cdot y[n-1] + b2 \cdot y[n-2]$

gdzie x[n] jest wejściową wartością próbki, a y[n] jest wartością wyjściową; x[n-1], y[n-2] itd. to poprzednie wartości.

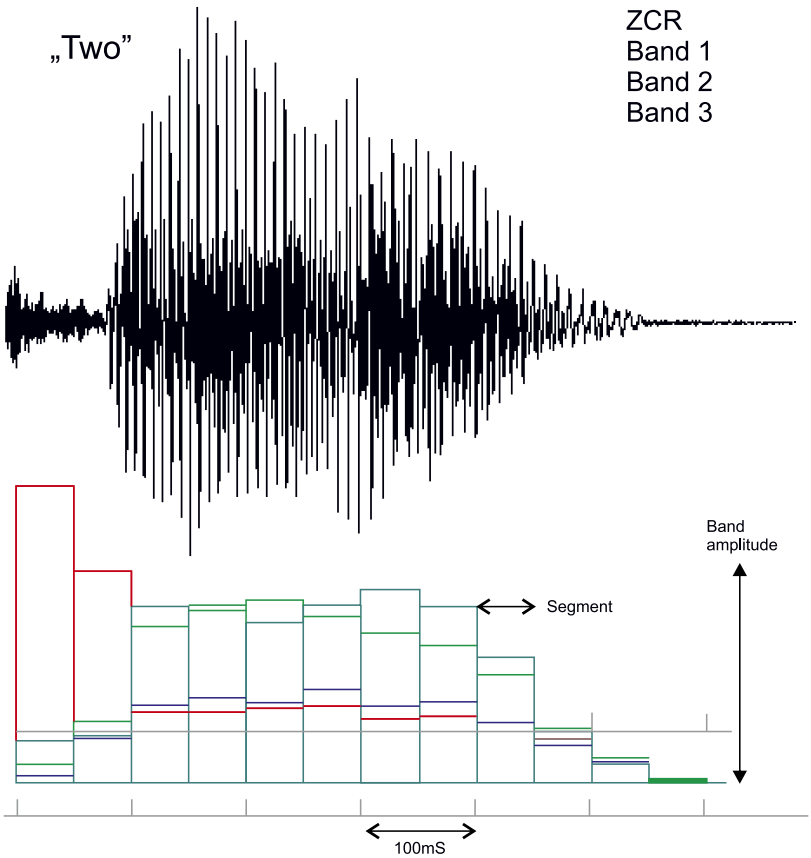
Program zachowuje dwie poprzednie wartości wejściowe i dwie poprzednie wartości wyjściowe. Ponieważ przechowuje 2 z każdej wartości, jest znany jako filtr drugiego rzędu. Jeżeli wyjście zależy tylko od poprzednich wartości wejścia, to nazywa się je filtrem o skończonej odpowiedzi impulsowej (FIR). Jeżeli wyjście zależy tylko od poprzednich wartości wyjściowych, jest to filtr o nieskończonej odpowiedzi impulsowej (IIR). (FIR jest czasami nazywany filtrem nierekurencyjnym, a IIR filtrem rekurencyjnym). W przypadku filtra pasmowoprzepustowego rząd filtra określa, jak strome jest pasmo filtra.



Rysunek 5. Schemat blokowy filtrów pasmowych układu

Im wyższy rząd, tym większą mamy kontrolę nad krzywą odpowiedzi filtra. Oczywiście im wyższy rząd, tym więcej potrzebnych jest współczynników i tym więcej obliczeń matematycznych trzeba wykonać. Filtr FIR wymaga większej liczby współczynników i większej liczby obliczeń matematycznych, aby uzyskać taką samą krzywą odpowiedzi jak filtr IIR. Ale filtr IIR jest mniej stabilny. Filtr IIR jest mniej odporny na zakłócenia i błędy. Jest to szczególnie znamienne, gdy używa się arytmetyki liczb całkowitych, tak jak robione jest to w Arduino Nano.

Trudno jest oszacować wartość prędkości tego, jak Nano może dodawać i mnożyć. Zależy to m.in. od sposobu pobierania i przechowywania wartości. Dodawanie 8-bitowe zajmuje od 0,4 do 0,9 μs. Mnożenie trwa



Rysunek 6. Przykładowy szablon

eprasa.pl ad39d4d9f3

około 50% dłużej. 16-bitowe dodawanie lub mnożenie zajmuje dwa razy więcej, a 32-bitowe dodawanie lub mnożenie zajmuje około 5 razy więcej czasu niż jeden bajt. Arytmetyka zmiennoprzecinkowa z dzieleniem zajmuje znacznie więcej czasu, dlatego też nie jest stosowana w tym systemie.

Jeśli chcemy uzyskać częstotliwość próbkowania równą 8000 sps, czyli 125 μs na próbkę, z 4 pasmami częstotliwości, to mamy 31 μS na próbkę na pasmo. W tym czasie trzeba jeszcze zebrać dane z ADC, obliczyć amplitudę pasm i zapisać wyniki w tablicy. W rezultacie system ograniczony jest do kilkunastu operacji arytmetycznych na próbkę. Nie można sobie pozwolić na więcej niż filtr IIR drugiego rzędu. W artykule źródłowym (link na końcu artykułu) znajduje się dokładniejszy opis, jak wyznaczane są współczynniki dla filtrów cyfrowych i jak są one implementowane i testowane.

Szablony

Arduino dzieli całą wypowiedź na segmenty o długości 50 ms każdy (w niektórych dokumentach nazywane są one ramkami). W każdym segmencie system mierzy amplitudę każdego z pięciu pasm. Zakłada się, że wypowiedź ma 13 segmentów, czyli w sumie zapisana jest jako 65 16-bitowych liczb całkowitych obejmujących 0,65 s. Oczywiście niektóre wypowiedzi są krótsze, więc kilka ostatnich segmentów będzie bliskich zeru, a niektóre wypowiedzi są dłuższe, więc ostatnie ich części zostaną utracone.

Zakłada się, że wypowiedź rozpoczyna się, gdy całkowita energia w pasmach przekroczy pewien zadany próg. Po zapisaniu wszystkich 13 segmentów system musi wybrać, które z zapisanych, znanych słów najbardziej przypomina wygenerowane 65 liczb. Załóżmy, że wypowiedzi, które próbujemy rozpoznać, to cyfry od zera do dziewięciu. Pierwszym krokiem jest normalizacja danych. Ma to na celu sprawienie, że wszystkie wypowiedzi będą miały taką samą głośność. Dane dla każdego pasma każdego segmentu są mnożone przez stałą, dzięki czemu mają stałą średnią energię (np. równą 100).

Analizując książkę IEEE z lat 70., autor napotkał wiele opisów technik, które stosowano do analizy wypowiadanych słów, jednakże jak w przypadku wielu prac badawczych autorzy i tutaj nie chcieli zdradzać wszystkich swoich tajemnic, więc zamieścili jedynie niejasny zarys tego, jak rozpoznają wypowiadane cyfry. Większość z nich wydawała się całkiem zadowolona z samego wykonania kilku nagrań, dokonania transformacji Fouriera i narysowania kilku wykresów. To jednak nie satysfakcjonuje autora projektu, więc oczywiście chciał pójść krok dalej.

Pierwszą myślą było zastosowanie technik statystycznych, takich jak analiza składowych głównych, analiza czynnikowa, analiza skupień itp. Najbardziej oczywista byłaby liniowa analiza dyskryminacyjna (LDA). Po kilku próbach okazało się jednak, że taki algorytm kiepsko radzi sobie z odróżnianiem jednego rodzaju wypowiedzi od drugiego. Inną alternatywą jest śledzenia formantów – maksimów w widmie, zazwyczaj co najmniej dwóch największych. Algorytm ten śledzi amplitudy i częstotliwości tych maksimów, jednak ma sens jedynie w przypadku ciągłego widma, a nie, gdy do dyspozycji mamy zaledwie 4 pasma częstotliwości. Z tych powodów wykorzystanie prostych szablonów, takich jak pokazany na **rysunku 6**, jest najprostsze i pozwala na najlepsze rozróżnianie różnych cyfr. Szablon jest przykładem typowej wypowiedzi danego rodzaju. Każdy z nich zawiera 65 wartości. Każda wartość jest porównywana z odpowiadającą jej w analizowanej wypowiedzi. Różnica obliczana jest w sposób pokazany na **listingu 3**.

Listing 3. Obliczanie różnicy pomiędzy szablonem a analizowaną wypowiedzią

```
for t = each template
    difference[t] = 0
    for seg = each segment
       for band = each band
          difference[t] = difference[t] + abs(template[t,seg,band] - incoming[seg,band])
```

Jednak niektóre zespoły są ważniejsze niż inne, a niektóre segmenty są ważniejsze niż inne. Na przykład dla cyfry 3 (*three* po angielsku) pierwsza część słowa jest znacznie bardziej istotna do rozpoznania słowa niż ostatnie dwie litery e. Dlatego też każda liczba w szablonie ma przypisane wagi:
difference[t] = difference[t] + importance[t,seg,band] * abs(template[t,seg,band] - incoming[seg,band])

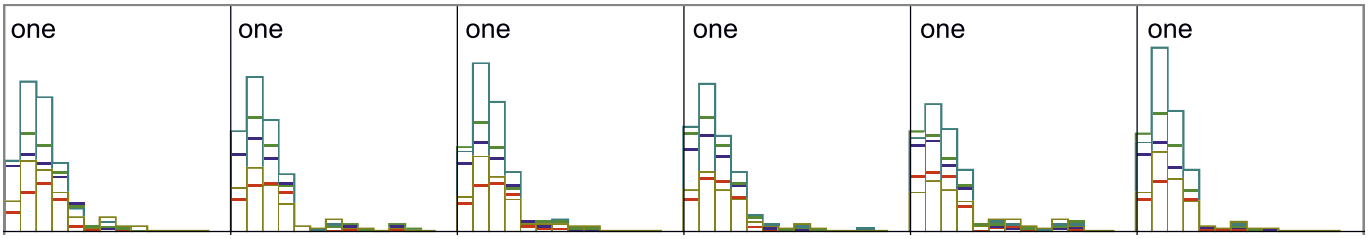
Jak ocenia się znaczenie danego pasma czy segmentu? Jeśli wartości a(t, seg, band) różnią się znacznie dla tej klasy wypowiedzi, wartość szablonu jest mniej istotna niż wtedy, gdy wartości są prawie zawsze takie same. Waga definiowana jest zatem jako 1/(50 + odchylenie standardowe).

Szkolenie algorytmu

Program *SpeechRecog1.exe*, użyty do obliczenia współczynników, może być również użyty do wyznaczania szablonów. Wystarczy podłączyć Arduino do komputera i wybrać odpowiedni port COM. Do Arduino ładujemy szkic *speechrecog1.ino*. Wykorzystuje on ADC do próbkowania mowy z prędkością około 8000 sps. Filtruje próbki do czterech pasm częstotliwości oraz wyznacza ZCR i przechowuje 13 segmentów danych o długości 50 ms każdy. Wypowiedź zaczyna się, gdy całkowita energia w paśmie przekroczy zdefiniowany próg. Po zapisaniu 13 segmentów danych otrzymywanych jest 65 liczb, które przesyłane są do komputera.

W programie należy kliknąć zakładkę Szablony, a następnie zakładkę Trenuj szablony, aby wyświetlić wypowiedzi, które posłużą do obliczenia szablonów. W programie klikamy na menu plik i otwieramy plik *Train2raw.txt* (przykładowe nagrania są dostępne na stronie z projektem, ale można oczywiście nagrać i podstawić własne nagrania). W programie można kliknąć dowolną komórkę, a zostaną wyświetlone segmenty dla tego przykładu. Po wybraniu kilku komórek wszystkie zostaną wyświetlone, aby można było je ze sobą porównać (**rysunek 7**). Po kliknięciu na dowolną komórkę w siatce wyświetlona zostanie na wykresie wypowiedź – oś pozioma to czas, a pionowa to amplituda każdego pasma (**rysunek 8**). Czerwony pasek to ZCR. Po kliknięciu lewym przyciskiem kolumny siatki program wyświetli średnią oraz odchylenie standardowe. Program oblicza średnią i odchylenie standardowe dla każdego segmentu i pasma dla każdego szablonu. Innymi słowy, 10 szablonów zawiera teraz średnią z zebranych wcześniej danych.

Na tym etapie można porównywać wszystkie przykłady z szablonem. Który z nich jest najbardziej podobny do szablonu? Można je przesuwać w prawo i w lewo, aby uzyskać najlepsze dopasowanie. Następnie program porównuje próbkę z szablonem dla wszystkich wierszy, a wyniki wyświetlane są po prawej stronie. Pokazywana liczba jest różnicą między wypowiedzią a tym szablonem. Najkrótsza odległość jest najlepsza i ta jest wyświetlana w siatce, jako najlepsze dopasowanie.



Rysunek 7. Szablony uzyskane dla różnych słów

eprasa.pl ad39d4d9f3

Następnie można przystąpić do nauki algorytmu. Przekazuje się do niego słowa, nagrywane poprzez Arduino. Po nauczeniu systemu można go przetestować zestawem treningowych słów. Lista wypowiedzi nie musi pasować do zestawu uczącego – można dodać kilka niepoprawnych słów.

Gdy mamy już zestaw szablonów, które dają zadowalające efekty, należy je wyeksportować do Arduino jako plik *Templates.h*, gotowy do dołączenia do szkicu w Arduino C. Należy skopiować plik *Templates.h* do tego samego katalogu, co szkic *speechrecog2.ino*. Powinieneś także skopiować plik *Coeffs.h* do katalogu szkicu. Można teraz skompilować go i wgrać do pamięci modułu Arduino.

Gotowe rozpoznawanie głosu

Szkic *speechrecog2.ino* wykonuje rozpoznawanie mowy na Arduino Nano, Uno, Mini itp., po skopiowaniu plików *Templates.h* i *Coeffs.h* do tego samego katalogu, w którym znajduje się szkic *speechrecog2.ino*, który należy ponownie skompilować i przesłać do modułu Arduino.

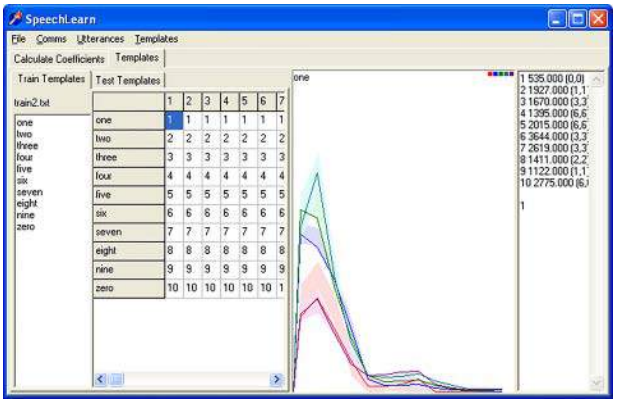
Działanie systemu obrazuje **rysunek 9**. Przetornik ADC w Arduino służy do digitalizacji przychodzącego sygnału audio. Wynikiem jest 16-bitowa zmienna int wyśrodkowana na 0. Kilka cyfrowych filtrów pasmowoprzepustowych IIR dzieli sygnał na pasma częstotliwości. Czas dzielony jest na odcinki po 50 ms. Mierzona jest amplituda każdego pasma w każdym segmencie. Ustalona liczba segmentów (w obecnej implementacji 13) stanowi wypowiedź. Wypowiedź zaczyna się, gdy amplituda przekracza ustalony próg. System mierzy średnią amplitudę całej wypowiedzi, aby można było znormalizować dane wejściowe. Następnie obliczana jest szybkość przejścia przez zero (ZCR) sygnału.

Wartości amplitud w poszczególnych pasmach są porównywane z wartościami z szablonu. Segmenty można przesuwać w lewo lub w prawo, aby poprawić dopasowanie. Zgłaszane jest najlepsze dopasowanie. Szkic *speechrecog2.ino* wysyła tekst rozpoznanego słowa do komputera przez łącze szeregowe, ale można użyć go w dowolnym projekcie do kontrolowania działania innych urządzeń.

Podsumowanie

Jak donosi autor, w idealnych warunkach system uzyskuje od 90% do 95% poprawnego rozpoznawania, czyli mniej więcej tyle, ile uzyskiwały systemy w latach 70. Cel został osiągnięty. Z pewnością możliwe jest ulepszenie tego kodu, aby uzyskiwał lepsze wykrywanie i rozpoznawanie słów. „To projekt „eksperymentalny. To coś, nad czym możesz popracować i ulepszać. To nie jest coś, co możesz po prostu zbudować i zadziała za pierwszym razem" – podsumowuje autor.

Jak zatem poprawić system? Autor zachęca wszystkich zainteresowanych do rozbudowy i poprawiania projektu. Ma nawet kilka propozycji, o których pisze. Można użyć innego algorytmu rozpoznawania. Być może będzie to wymagało zbudowania własnego oprogramowania do szkolenia algorytmu na komputerze PC, ale Arduino jest gotowe do dostarczania wszystkich wymaganych danych. Do systemu można dodać bibliotekę Talkie, aby przekazać informację zwrotną o rozpoznanym słowie w postaci mówionej.



Rysunek 8. Program do szkolenia sieci

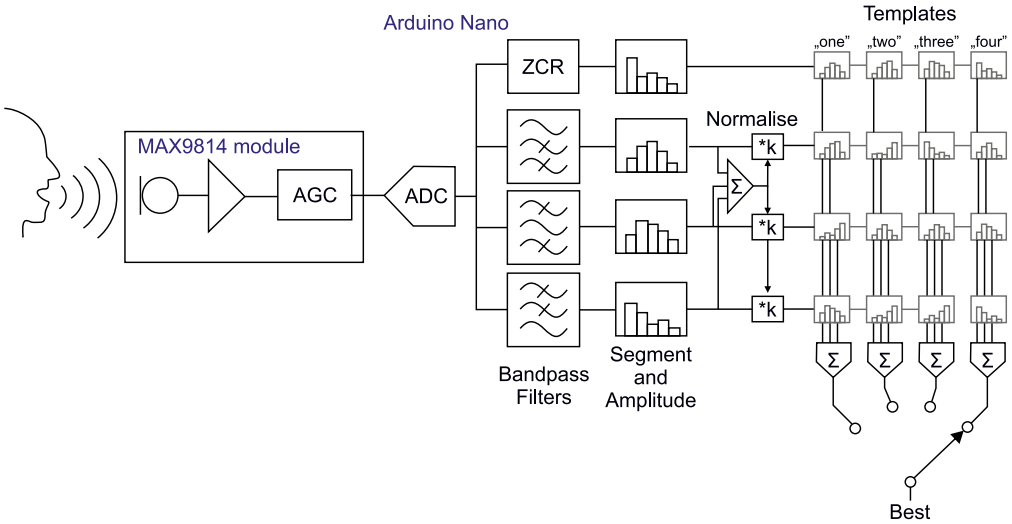
Wszystkie współczesne systemy rozpoznawania mowy rozpoczynają od transformaty Fouriera, po której może następować np. analiza spektrum lub wykorzystująca współczynniki LPC. Arduino z ATmega328 nie jest wystarczająco szybkie, aby to zrobić, gdy przychodzi dźwięk i nie ma wystarczająco dużej pamięci, aby pomieścić próbki kompletnej wypowiedzi do późniejszej analizy (ATmega328 może wykorzystywać istniejące współczynniki LPC do generowania mowy w czasie rzeczywistym, ale nie może obliczyć współczynników). Z uwagi na te ograniczenia Arduino skazane jest na użycie filtrów cyfrowych. Punktem wyjścia dla każdego algorytmu rozpoznawania mowy będą pasma i segmenty, opisane powyżej. To, jak analizowane są te pasma i segmenty oraz jak wykrywane są poszczególne słowa, zależne jest już od implementacji konkretnego algorytmu, który (po przeszkoleniu) można uruchomić na Arduino.

W opisanym systemie wykorzystano „algorytm K najbliższych sąsiadów", ale jest wiele innych, które można wypróbować w tym zastosowaniu. Autor testował część z nich, takie jak np. liniową analizę dyskryminacyjną LDA (nie zadziałała ona, być może dlatego, że wypowiedzi nie można rozdzielić liniowo). Maszyna wektorów nośnych (SVM) powinna być w stanie obejść ten problem, ale jak przyznaje się autor – nie ma on w tym zakresie doświadczenia. Podobnie kwadratowa analiza dyskryminacyjna (QDA) powinna działać z danymi nieliniowymi, które można rozdzielić, ale to także dla autora jest mało znanym zagadnieniem, podobnie jak i inne algorytmy, takie jak np. wielomianowa regresja logistyczna.

Inne algorytmy, które są popularne w rozpoznawaniu mowy, to np. ukryte modele Markowa (HMM), być może dlatego, że stanowią lepszą alternatywę dla dynamicznego dopasowania w czasie, co jest jednakże bardziej istotne dla dłuższych wypowiedzi. Najlepiej sprawdziłaby się tutaj sieć neuronowa. Wielowarstwowe sieci neuronowe mogą rozpoznawać wzorce, których nie można rozdzielić liniowo, ale wymagają one ogromnych ilości danych szkoleniowych. Dostępnych jest wiele bezpłatnych programów treningowych sieci neuronowych, na przykład w Pythonie lub R. Można też używać algorytmów genetycznych do stworzenia klasyfikatora, który będzie klasyfikował słowa.

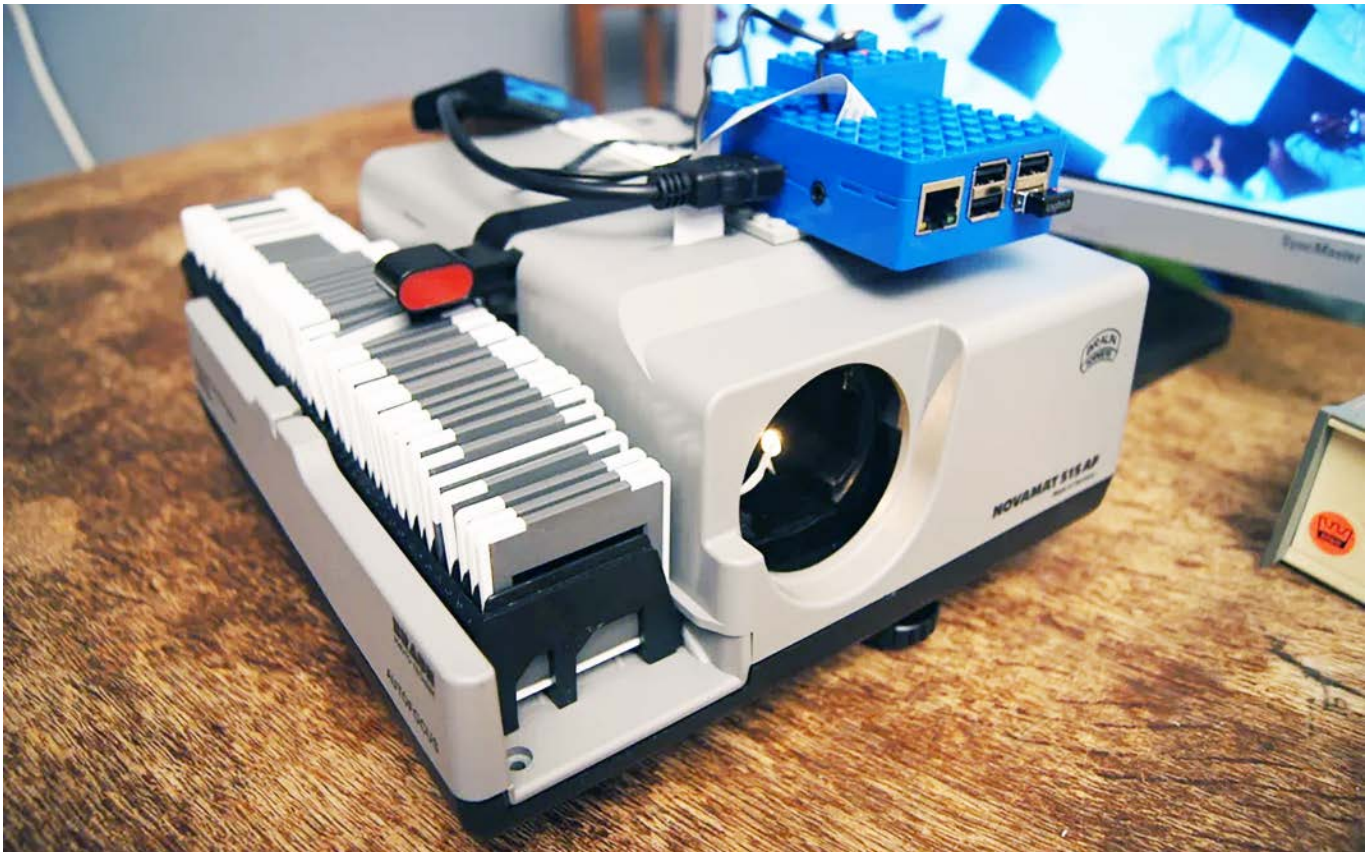
Nikodem Czechowski, EP

Źródło: https://bit.ly/3tfch56



Rysunek 9. Uproszczony schemat systemu rozpoznawania głosu

eprasa.pl ad39d4d9f3



Skaner przezroczy na Raspberry Pi

Zanim fotografia cyfrowa weszła w nasze życie i stała się wszechobecna, ludzie drukowali swoje zdjęcia na papierze lub w postaci przezroczy. Te ostatnie stały się szczególnie popularne, gdyż można było je łatwo prezentować znajomym czy rodzinie. To dobra zabawa, szczególnie w czasach, gdy nie było rozrywek takich jak Internet.

Przezrocza znane są chyba każdemu z nas, a przynajmniej wszystkim czytelnikom powyżej 30. roku życia. Na tym medium utrwalano zdjęcia rodzinne, wycieczki, ale także prezentacje w szkołach, na uczelniach czy bajki. Obecnie do prezentowania tego rodzaju treści wykorzystuje się komputery – prezentacje powstają w PowerPoincie, a zdjęcia umieszczamy na Facebooku czy Instagramie.

Co jednak, jeśli chcemy pochwalić się starymi zdjęciami rodzinnymi? Nie ma prostych metod na przeniesienie zdjęć z przezroczy do komputera w domu. Dlatego też autor tej konstrukcji – Jaap Meijers, zdecydował się na samodzielną budowę automatycznego skanera przezroczy w oparciu na Raspberry Pi. System taki będzie potrzebny, dopóki przeźrocza wciąż znajdują się na strychach ludzi i pozostają pudełka pełne 35-milimetrowych slajdów, które nadal nie zostały zdigitalizowane.

Ogromną zaletą zaprezentowanej konstrukcji jest automatyzacja. Dostępne są manualne skanery slajdów tego rodzaju, na przykład w postaci przystawek do zwykłych skanerów. Jednakże ludzie kupują skaner do slajdów i dowiadują się wtedy, że skanowanie dużej kolekcji to dużo pracy. Jest tak głównie dlatego, że trzeba ręcznie wkładać slajdy i skanować je jeden po drugim. Jak podaje Meijers, przetworzenie kolekcji 2000 przeźroczy, które zostawił mu teść, zajmie mu co najmniej 50 godzin ciężkiej pracy. Nikt nie porwie się na takie zadanie. Oczywiście są firmy, które oferują digitalizację wszystkich tych pudełek z przeźroczami, ale ich usługi nie są tanie – kosztów nikt nie chce, dlatego też konieczne było inne rozwiązanie.

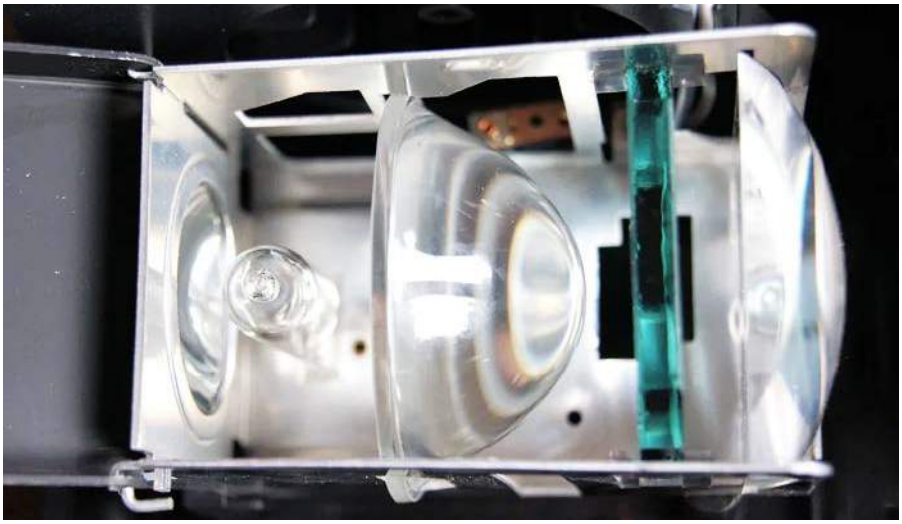
Prostym rozwiązaniem tego problemu jest modyfikacja starego projektora do przeźroczy i wykorzystanie np. Raspberry Pi z modułem kamery, aby stworzyć superszybki skaner slajdów Pi może automatycznie przełączać slajdy i przechowywać obrazy na dysku lub online, a także obsługiwać moduł kamery. Kamery dostępne dla Raspberry Pi łączą się z komputerem jednopłytkowym za pomocą szybkiego interfejsu, dzięki czemu cały system może pracować z dosyć dużą wydajnością. Dodatkowo wykorzystanie komputera do skanowania daje duże możliwości dalszej obróbki skanów przeźroczy.

Materiały

Do zestawienia urządzenia potrzebne będą następujące podzespoły i materiały:

- stary projektor do przeźroczy,
- komputer jednopłytkowy Raspberry Pi wraz z kartą SD odpowiedniej pojemności i zasilaczem 5 V o wydajności prądowej co najmniej 2 A,
- moduł kamery Raspberry Pi Camera Module v2,

eprasa.pl ad39d4d9f3



Fotografia 1. Optyka projektora do przezroczy

- tranzystor TIP120 oraz opornik 1 kΩ,
- płytka uniwersalna, taśma izolacyjna, kable itp.,
- żelowy filtr szary (filtr ND, filtr neutralny).

Przydatne będą umiejętności lutowania, ale nie ma co do tego wielkich wymagań. Przyda się także multimetr i dostęp do drukarki 3D, aby wydrukować kilka elementów mechanicznych.

Potrzebny będzie raczej starszy projektor przeźroczy. Wymaganych jest kilka opcji i funkcji, które powinien posiadać, aby urządzenie pozwoliło na sprawną pracę. Autor nabył w tym celu dosyć stary model – Voigtländer Spezial PM 35 A, za 17 euro w sklepie z używanymi rzeczami. Dobierając projektor, należy upewnić się, że ma on następujące funkcje:

- autofokus,
- przycisk do przełączania slajdów (na urządzeniu lub na pilocie),
- automatyczny mechanizm do przekładania slajdów,
- łatwa do zdjęcia obudowa,
- możliwość wykorzystywania uniwersalnych zasobników na przeźrocza.

Użycie starego projektora

Projektory do slajdów mają całkiem ciekawy zestaw elementów optycznych (**fotografia 1**). Idąc od tyłu do przodu systemu, znajduje się tam wklęsłe lustro paraboliczne, lampa halogenowa i dwie soczewki kondensorowe, które skupiają światło i równomiernie je rozprowadzają. Pomiędzy nimi znajduje się tzw. filtr ciepła – szklany kwadrat, który blokuje promieniowanie podczerwone z lampy halogenowej, przepuszczając dalej tylko światło widzialne. Za soczewką znajduje się ramka, która trzyma slajdy i soczewki projektora.

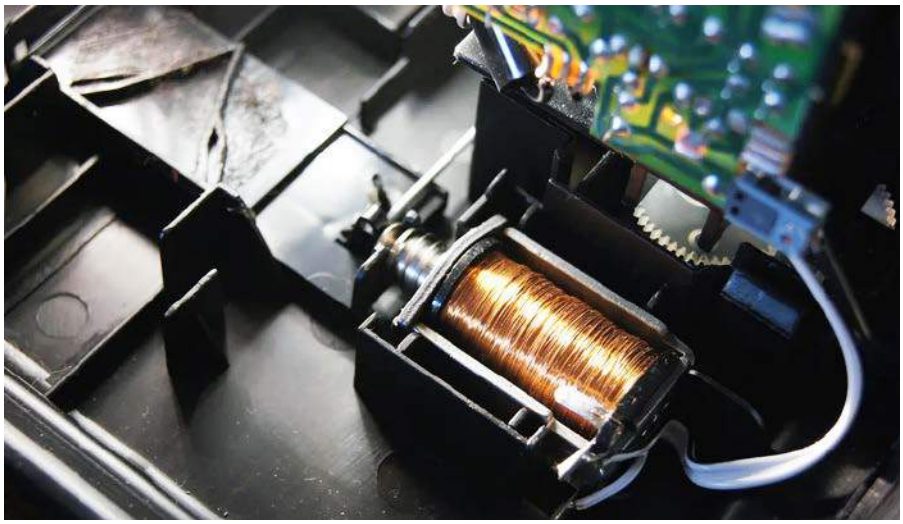
Autor wyjął z systemu obiektyw projektora, po prostu odkręcając go tak długo, aż udało się wykręcić cały detal. Żarówka wolframowa (zasilana 24 V o mocy 150 W) jest niesamowicie jasna, ale wytwarza też dużo ciepła. Kamera dla Raspberry Pi powinna być w stanie obsłużyć jasne światło na swoim chipie, ale ciepło nie jest zbyt dobre dla tego rodzaju wrażliwych komponentów. Wyjęcie płasko-wypukłego obiektywu znacznie zmniejsza ilość światła i ciepła docierającego do aparatu. W rzeczywistości kamera nie potrzebuje aż tyle światła, ponieważ obraz nie musi być wyświetlany na dużym ekranie po drugiej stronie pokoju, a jedynie na sensorze aparatu.

Jednak nawet bez wymienionego elementu toru optycznego światło nadal jest tak jasne, że zdjęcia robione kamerą dołączoną do RPi będą przeważnie prześwietlone, zwłaszcza jaśniejsze części obrazu. Aby zablokować trochę więcej światła, autor użył arkusza filtra szarego. Jest to filtr, którego używają fotografowie, aby blokować część światła w aparatach, aby tworzyć zdjęcia z długim czasem naświetlania, nawet przy jasnym świetle dziennym. Zanim autor zaczął korzystać z tego rodzaju filtra, próbował przykleić biały arkusz plastiku, akrylu, a nawet papier do uchwytu slajdów, jednakże materiały te nie redukowały dostatecznie natężenia światła i nie poprawiały jakości obrazów. Niebezpieczne było też nagrzanie plastiku – temperatura zwiększała się do tego stopnia, że zachodziło ryzyko emisji niezdrowych gazów z użytego tworzywa sztucznego.

Innym możliwym podejściem do digitalizacji slajdów czy negatywów jest wykorzystanie panelu superjasnych diod LED. Podstawową zaletą zachowania oryginalnej konfiguracji jest jednak to, że można użyć mechanizmu projektora do transportu slajdów, aby szybko zeskanować wiele z nich.

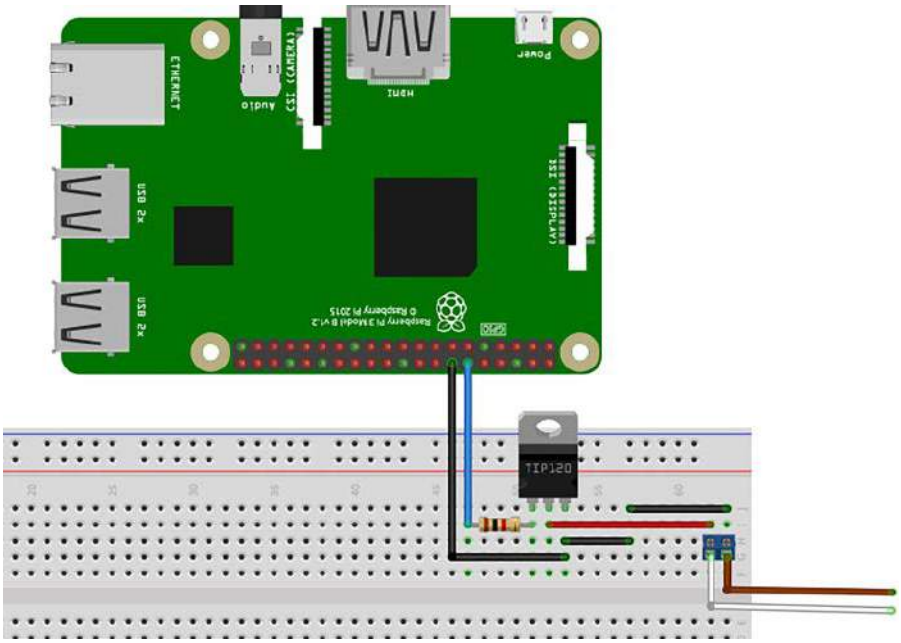
Naciskanie przycisku

Rzutnik do slajdów, który autor zakupił do projektu, miał pilota, z przewodem, dzięki czemu mógł być obsługiwany np. z kanapy. Układ automatycznie przesuwał kolejne slajdy w zasobniku, uruchamiając mechanizm sterowany elektromagnesem (**fotografia 2**). Aby system działał sprawnie, trzeba podłączyć go do Raspberry Pi. Przewody pilota są idealnym sposobem na realizację tego zadania. Po przecięciu przewodu możliwe było zmierzenie napięcia – projektor wysyła na przełącznik napięcie 31 V. Raspberry Pi samo z siebie nie poradzi sobie z tak wysokim napięciem, więc potrzebuje trochę pomocy w postaci tranzystora w układzie Darlingtona – np. TIP120. Tranzystory MOSFET są bardziej wydajne niż tranzystory Darlingtona i nie nagrzewają się tak szybko, ale wiele z nich może przełączać napięcia najwyżej do 30 V. TIP120 może wytrzymać do 60 V i wystarczy, aby zamknąć obwód na krótką chwilę, więc w tym zastosowaniu doskonale się sprawdzi. Lewy pin tranzystora został podłączony do pinu 24 GPIO na płytce Raspberry Pi. Aby ograniczyć prąd płynący przez tranzystor, należy dodać do układu rezystor 1 kΩ (**rysunek 1**). Środkowy pin tranzystora łączymy z przewodem z przełącznika projektora, a prawy pin łączymy z pinem masy Raspberry Pi i masą projektora. Po przetestowaniu obwodu na płytce uniwersalnej, aby sprawdzić, czy działa poprawnie, komponenty można polutować na stałe i umieścić np. w obudowie rzutnika do przeźroczy.



Fotografia 2. Solenoid, który sterowany jest przyciskiem

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 1. Schemat podłączenia cewki solenoidu do Raspberry Pi

Fotografia 3. Moduł kamery w wydrukowanej w 3D obudowie

Kamera

Konieczne jest znalezienie sposobu na trwałe i stabilne umieszczenie kamery w projektorze, ale najlepiej w taki sposób, aby możliwe było jej delikatne przesuwanie celem precyzyjnego ustawienia względem toru optycznego. Autor w tym celu zastosował wydrukowaną w 3D obudowę. Jakość druku była bardzo dobra, a obudowa ma ładną i błyszczącą powierzchnię, jak widać na **fotografii 3**. Normalnie nie byłoby to żadnym problemem, a nawet byłoby zaletą, jednakże w systemie optycznym błyszcząca powierzchnia to ryzyko powstawania niepożądanych odblasków. Aby temu zapobiec, należy trochę przeszlifować obudowę modułu kamery.

Umieszczenie kamery wewnątrz projektora w odpowiedniej odległości i zogniskowanie na niej obrazu przeźrocza jest nie lada wyzwaniem. Autor użył gumki do owinięcia obudowy aparatu i pustej teraz obudowy obiektywu projektora. Ułatwia to obracanie kamery, gdy jest nachylona względem slajdów, ale prawdopodobnie lepiej byłoby ją tak zbudować, aby nie ruszała się ponownie z pozycji, gdy projektor jest np. przenoszony.

W górnej części projektora należy wyciąć mały otwór, którym można wyprowadzić płaski kabel z kamery. Raspberry Pi jest wyposażone w złącze CSI, które jest przeznaczone specjalnie dla kamery. Kabel umieszczamy w złączu, po jego otwarciu, niebieskim paskiem taśmy w kierunku portu USB. Po zaciśnięciu złącza kabel jest pewnie podłączony. Prowadząc okablowanie, należy upewnić się, że płaski kabel nie opiera się o nic przewodzącego (np. port Ethernet), ponieważ może to powodować zakłócenia w transmisji danych. Teraz można podłączyć Raspberry Pi do prądu oraz dołączyć do niego wszystkie elementy.

Robienie zdjęć z zastosowaniem Pythona

Możemy zacząć robić zdjęcia. Autor używa Raspbiana na Raspberry Pi 2 z podłączonym monitorem, myszą i klawiaturą. W pierwszej kolejności w konfiguracji Raspberry Pi (polecenie `sudo raspi-config`) konieczne jest włączenie interfejsu kamery. W środowisku graficznym można to zrobić poprzez menu Preferencje → konfiguracja Raspberry Pi → Interfejsy. Niezależnie, w jaki sposób zmieniliśmy konfigurację, na tym etapie należy uruchomić system ponownie.

Nowa instalacja Raspbian ma już najaktualniejszą wersję oprogramowania kamery, ale w innych systemach operacyjnych można (i warto) ją aktualizować za pomocą terminalu poleceniem:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get install python-
picamera python3-picamera
```

Aby zrobić zdjęcie, wystarczy w terminalu wpisać polecenie:

```
raspistill -o foto.jpg
```

Jednak najpierw potrzebne jest uruchomienie wideo, które pomoże nam ustawić ostrość aparatu i przetestować działanie systemu. W tym celu tworzymy nowy plik w języku Python, korzystając z terminalu lub używając środowiska IDE języka Python, za pomocą menu aplikacji → Programowanie → Python 3 (IDLE). W pliku tym umieszczamy następujący kod:

```
from picamera import PiCamera
from time import sleep
camera = PiCamera()
camera.start_preview()
sleep(60) # wyłącz kamerę
po upływie 60 sekund
camera.stop_preview()
```

Skrypt zapisujemy jako *camera.py*, a następnie uruchamiamy. Efektem powinien być obraz wideo z kamery.

Modyfikacja kamery Raspberry Pi – obiektyw makro

Teraz, gdy możliwe jest zobaczenie tego, co rejestruje kamera, można ustawić ostrość i pozycję kamery we właściwy sposób. Kamera Pi niestety nie ma autofocusa. Jest to ten sam przetwornik obrazu, który jest używany w milionach telefonów komórkowych (Sony IMX219). Fabrycznie jest ustawiona nieskończona głębia ostrości i zapewnia wspaniałe, ostre zdjęcia... ale tylko z minimalnej odległości od 50 do 75 centymetrów. W omawianym skanerze slajdów to nie zadziała, ponieważ z tej odległości slajdy byłyby o wiele za małe, co oznacza, że nie wykorzystalibyśmy całej 8-megapikselowej rozdzielczości aparatu do ich uchwycenia. Ponadto moduł kamery musiałby znajdować się pół metra od projektora, co jest bardzo niepraktyczne.

Jednym ze sposobów rozwiązania tego problemu byłoby kupienie obiektywu makro, takiego jak te przeznaczone do telefonów komórkowych, ale prawdopodobnie nie dałoby to optymalnych rezultatów, jeśli chodzi o jakość obrazu. Na szczęście, przy odrobinie wysiłku, można trochę odkręcić obiektyw, żeby zmienić miejsce płaszczyzny ostrości kamery Raspberry Pi. Do zestawu z kamerą Raspberry Pi do tego celu dołączono specjalną plastikową gałkę. Można jej użyć do obrócenia obiektywu o dwa obroty w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Trochę to dziwne i niekoniecznie intuicyjne, ale wynik jest imponujący: naprawdę ostre obrazy uzyskiwane są w odległości już około 4 centymetrów przy takiej konfiguracji. Teraz kamera może być wystarczająco blisko, aby slajd był prawie w całości widoczny. Im krótsza jest odległość ostrości, tym głębia ostrości jest mniejsza. Oznacza to, że konieczne jest precyzyjne ustawienie

eprasa.pl ad39d4d9f3

Listing 1. Kod, który należy umieścić w pliku diascanner.py, realizujący skanowanie przeźroczy

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import os
from picamera import PiCamera
import sys

script, aantal = sys.argv # argumenty przekazane do skryptu
NumberOfSlidesLeftToDo = int(aantal)
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setup(24, GPIO.OUT)

camera = PiCamera()
camera.led = False # Wyłącz LED kamery
camera.resolution = (3280, 2464) # Rozdzielczość pierwszej wersji Pi Camera to 2592 x 1944
camera.framerate = 15 # Konieczne, aby wykorztystać maksymalną rozdzielczość

f = open('/home/pi/serialnumber_slides.txt', 'r')
serialnumber = int(f.readline())
f.close()

while NumberOfSlidesLeftToDo > 0:
    GPIO.output(24,1)
    print ('Button pressed')
    time.sleep(0.05)
    GPIO.output(24,0)
    print('Button not pressed')
    time.sleep(2) # Oczekiwanie na załadowanie slajdów
    camera.start_preview() # Czas uruchamiania kamery
    serialnumber += 1
    print ('Slide ' + str(serialnumber) + '...')
    camera.awb_mode = 'auto'
    camera.brightness = 50
    # Tutaj wykonane jest zdjęcie
    camera.capture('/home/pi/scanned_slides/dia_' + str(format(serialnumber, "05d")) + '.jpg', format='jpeg', quality=100)
    time.sleep(0.6)
    print (' saved.\n')
    fw = open('/home/pi/serialnumber_slides.txt', 'w') # Zapisanie informacji o zdjęciu
    fw.write(str(serialnumber))
    fw.close()
    NumberOfSlidesLeftToDo = NumberOfSlidesLeftToDo - 1
```

wszystkich elementów względem siebie, aby skanowany slajd był w pełni ostry.

Jeśli w Twoim zestawie nie ma narzędzia do ustawiania ostrości w aparacie, to pamiętaj, aby nie obracać obiektywu szczypcami czy kombinerkami. Łatwo można w ten sposób uszkodzić obiektyw. Na portalu Thingiverse.com dostępnych jest kilka projektów narzędzia do obracania obiektywu kamery Raspberry Pi, nadających się do drukowania w 3D. Przed obróceniem obiektywu można narysować małą kreskę ołówkiem obok soczewki i jej uchwytu, aby w razie potrzeby można było obrócić soczewkę z powrotem do jej pierwotnego położenia.

Skanowanie dużej liczby przeźroczy

Teraz utworzymy folder na Raspberry Pi: */home/pi/scanned_sllides/*. Umieszczamy w nim plik tekstowy */home/pi/serialnumber_slides.txt* zawierający tylko „0". Następnie tworzymy plik *diascanner.py* (**listing 1**). Skrypt ten powoduje naciskanie przycisku projektora, wysyłając sygnał przez port GPIO do tranzystora sterującego solenoidem. Robi to przez 0,05 sekundy (50 milisekund), czyli mniej więcej tyle, ile minimalnie zajmuje człowiekowi naciśnięcie przycisku. Następnie system wykona zdjęcie i zapisze je na dysku. Cały cykl powtórzy się zdefiniowaną wcześniej liczbę razy.

Teraz należy tylko uruchomić skrypt w wierszu poleceń za pomocą prostej komendy:

```
python diascanner.py 1
```

jeśli chcemy powtórzyć cykl tylko raz (zeskanować jedno przeźrocze). Zamiast jedynki wpisać możemy dowolną inną liczbę, zależnie od tego ile przygotowaliśmy slajdów do skanowania.

Przyspieszenie działania systemu

Otrzymywane skany nie są niestety tak dobre, jak pochodzące z profesjonalnego skanera. Aby uzyskać zdjęcia zbliżone do ich jakości, trzeba poświęcić sporo czasu na idealne ogniskowanie i pomiar światła, a nawet wtedy wyniki mogą nie być satysfakcjonujące. Profesjonalne skanery do slajdów wykorzystują prawdziwy skan zamiast robienia zdjęć slajdów. Skutkuje to cyfrowymi zdjęciami o znacznie większym zakresie dynamiki – i za to się płaci. Jednak uzyskany wynik jest tak dobry, jak pochodzący z większości domowych skanerów do slajdów.

Zmodyfikowany projektor do slajdów ma jedną dużą przewagę nad skanerami do slajdów: jest niesamowicie szybki! Można za jego pomocą szybko zeskanować tysiące slajdów. Nawet jeśli jakość nie jest najlepsza, to można wybrane przeźrocza zeskanować profesjonalnie. Brak konieczności skanowania każdego zabytkowego zdjęcia z wakacji lub nieostrego zdjęcia kwiatów pozwala zaoszczędzić dużo czasu i pieniędzy. Ile czasu może nam więc zaoszczędzić automatyczny skaner slajdów? Aby uzyskać punkt odniesienia, autor konstrukcji zapytał członka swojej rodziny o jego wysiłki w zakresie skanowania przeźroczy. Miał on kolekcję ponad dwóch tysięcy slajdów. Korzystając ze skanera slajdów, który kupił, a który mieści tylko cztery slajdy, stara się zdigitalizować swoją kolekcję. Musi ręcznie wyjąć cztery slajdy z tacy slajdów, włożyć je do tacy małego skanera, a następnie nacisnąć przycisk w oprogramowaniu skanera na swoim komputerze.

W ten sposób skanowanie i zapisywanie zajmuje około 1,5 minuty na slajd. Zeskanowanie 2000 slajdów zajęłoby mu zatem 50 godzin. Nawet gdyby chciał spędzać w każdy weekend dwie godziny z swoim powolnym skanerem slajdów, digitalizacja wszystkich starych zdjęć zajęłaby mu sześć miesięcy. Właśnie dlatego wszystkie slajdy są nadal nietknięte w pudełkach…

Szybkość opisywanego skanera zależy głównie od tego, jak szybko projektor może zmieniać slajdy: w tym przypadku jest to około 2,4 sekundy. Oznacza to, że całą tacę, zawierającą pięćdziesiąt slajdów (**fotografia 4**), można zdigitalizować w ciągu dwóch minut. Dwa tysiące slajdów można sfotografować w ciągu 1,5 godziny, zamiast spędzać pięćdziesiąt godzin przy skanerze kupionym w sklepie. Urządzenie może działać nawet szybciej, jeśli użyje się parametru *camera.exposure_mode = 'off'*, aby pominąć automatyczny pomiar światła. To wymaga dokładnego ustawienia poziomu ekspozycji, ale jeśli ma się do dyspozycji podobnego rodzaju zdjęcia, to może się ono sprawdzać. Wszystkie ustawienia dla Pi Cam można znaleźć w dokumentacji, dostępnej pod adresem http://picamera.readthedocs.io. Wyświetlanie podglądu na monitorze można wyłączyć. Teoretycznie skanowanie można skrócić do zaledwie 1,8 sekundy na slajd, co oznacza, że całą kolekcję dwóch tysięcy przeźroczy zeskanować można w czasie niespełna godziny.

eprasa.pl ad39d4d9f3

Fotografia 4. Skaner gotowy do pracy i załadowany przeźroczami

Dalsze plany

Nawet ten niesamowity skaner slajdów można ulepszyć. Przydatne byłoby dodanie np. przenośnika taśmowego, który wsuwa tace do projektora jedna po drugiej – czy nie byłoby to fajne? W takim przypadku potrzebuje również czujników do wykrywania, kiedy zaczyna się nowa taca (do numerowania zdjęć) i wykrywania, kiedy wszystkie tace są gotowe, a zdjęcia zeskanowane, aby system mógł się zatrzymać.

Autor chciałby wykorzystać dodatkowo OpenCV do rozpoznawania obrazów, tak aby system mógł automatycznie dodać opis do każdego zdjęcia, kategoryzować je (bardzo przydatne w przypadku dużej kolekcji zdjęć), a może nawet automatycznie je obracać do pionu.

Jeśli chodzi o inne plany, to autor chciałby także ułatwić ustawianie ostrości i obracanie aparatu. Jedną z opcji jest wycięcie długiej szczeliny w górnej części projektora i użyciu nakrętki i śruby przymocowanej do obudowy kamery, aby móc przesuwać moduł kamery w czasie jej justowania. Najważniejsze jednak, co można by obecnie poprawić, to oświetlenie. Autor eksperymentował z 3-watową diodą LED, ale rozproszenie tak jasnego światła i uzyskanie odpowiedniego balansu ustawieniami aparatu jest dość trudne. Konieczne wydaje się połączenie wielu różnych czasów ekspozycji w celu uzyskania zdjęcia o najwyższym zakresie dynamicznym.

Nikodem Czechowski, EP

Źródło: https://bit.ly/3u8RMIK

REKLAMA

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA MATERIAŁY DODATKOWE 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 ad39d4d9f3

Obrazowanie termiczne może przerwać łańcuch infekcji

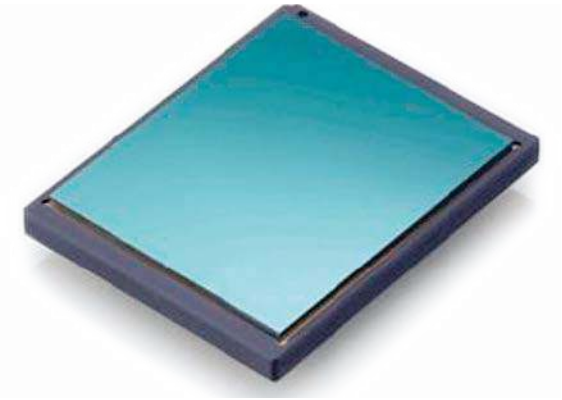
Pandemia koronawirusa wyraźnie pokazała całemu światu, ile szkód może uczynić wysoce zaraźliwy wirus. Turyści i podróżni niechcący przyczynili się do rozprzestrzeniania choroby. Wykrywanie osób zarażonych po dotarciu na lotnisko jest kluczowe w przerwaniu potencjalnego łańcucha infekcji. W tym aspekcie kamery do obrazowania termicznego mogą mieć duże znaczenie. Silniki FAULHABER pomagają takim kamerom dostarczać precyzyjne obrazy i pomiary w ciągu ułamków sekund.

Pomysł masowego monitorowania temperatury nie jest nowy. Jego wdrożenie i zwiększone wykorzystanie zostało wymuszone przez lokalne epidemie powodowane przez wirusy SARS, MERS i Eboli. W obliczu poważnych zagrożeń dla zdrowia, powodowanych przez te wirusy, niektóre kraje zaczęły stosować skanowanie termiczne na lotniskach i w innych punktach wjazdu do kraju wiele lat temu, aby przynajmniej spowolnić rozprzestrzenianie się chorób. W wyniku pandemii COVID-19 ta metoda jest wdrażana na całym świecie. Gorączka jest typowym objawem choroby zakaźnej. Nawet jeśli podwyższona temperatura nie jest spowodowana przez koronawirusa, wskazuje, że konieczne jest dokładniejsze badanie. Jeśli podróżny ma wysoką temperaturę, możliwe jest przeprowadzenie dokładnych testów i zastosowanie natychmiastowych środków ostrożności.

Więcej informacji:
FAULHABER Polska sp. z o.o.
60-204 Poznań, ul. Górki 7
tel. +48 61 278 72 53
info@faulhaber.pl, www.faulhaber.com

Szybkie i bezkontaktowe

Główną zaletą pomiaru temperatury przy użyciu obrazowania termicznego jest możliwość monitorowania masowego. Procedura jest bezkontaktowa, zajmuje kilka sekund i może być zautomatyzowana. Oznacza to, że może być stosowana na lotniskach, granicach lub innych miejscach będących „śluzami" bez znaczącego ograniczania swobody przemieszczania się lub wymuszania niewygodnych procedur dla wielu osób.



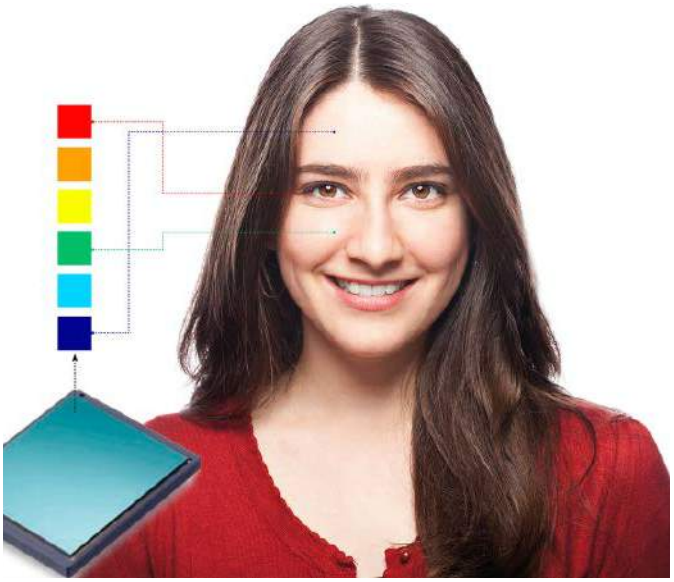
Rysunek 1. Wygląd czujnika (matrycy) do obrazowania termicznego jest podobny do matrycy światłoczułej aparatu czy kamery

Taką metodę zastosowano, na przykład w Korei Południowej podczas wyborów parlamentarnych odbywających się 15 kwietnia 2020 roku. Temperatura ciała każdego z głosujących była mierzona przed wejściem do komisji wyborczej. Może to być jeden z powodów, dlaczego ten kraj zdołał opanować pandemię w sposób wyraźnie lepszy od reszty świata.

Wewnętrzny kącik oka jest najlepszym miejscem na twarzy człowieka do szybkiego i względnie niezawodnego pomiaru temperatury. W przeciwieństwie do czoła, które może znacząco się ochłodzić pod wpływem pocenia, temperatura w kąciku oka jest wyjątkowo stabilna. Można ją określić, używając promieniowania podczerwonego emitowanego przez powierzchnię ciała.

Większość kamer do obrazowania termicznego przechwytuje to promieniowanie w podobny sposób jak zwykłe kamery cyfrowe używające czujnika obrazu o rozdzielczości do miliona pikseli (**rysunek 1**). Każdy piksel jest niewielkim bolometrem, odbiornikiem termicznym mierzącym kilka mikrometrów kwadratowych. Promieniowanie termiczne potrzebuje mniej niż 10 milisekund do nagrzania bolometru o grubości 150 nanometrów o jedną piątą wartości różnicy temperatury pomiędzy temperaturą obiektu a temperaturą bolometru. Suma tych wartości używana jest do obliczenia profilu temperatury przechwyconej powierzchni. Po zaprezentowaniu w formie wizualnej powstaje obraz termiczny o znajomych odcieniach – im jaśniejszy kolor, tym wyższa temperatura (**rysunek 2**).

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 2. Obrazowanie termiczne polega na nadaniu odpowiednich barw obiektom o różnych temperaturach

Piksele termiczne i studnia kwantowa

Poza bolometrem istnieją inne metody bezkontaktowego i optycznego pomiaru temperatury. Na przykład niektóre rodzaje czujników wykrywają długość fali promieniowania podczerwonego i używają tej wartości do określenia temperatury. Bolometry i czujniki wykrywające długość fali są stosowane nie tylko do klinicznego pomiaru temperatury ludzkiego ciała. Innym znanym zastosowaniem jest wyszukiwanie wycieków temperatury w izolacji budynków. Kolorowy obraz termiczny natychmiast wskazuje miejsce, gdzie dochodzi do utraty ciepła – lub zimna w przypadku budynków klimatyzowanych (**rysunek 3**).

Mniej znanym, lecz szeroko używanym zastosowaniem termografii jest kontrola jakości. Niezależnie od tego, czy materiałem jest metal, tworzywo sztuczne, czy szkło – precyzyjnie określona temperatura podczas obróbki termicznej często jest decydującym czynnikiem w określaniu jakości produktu. Dlatego procesy takie, jak walcowanie na gorąco, laminowanie lub hartowanie szkła są często monitorowane przy użyciu kamer do obrazowania termicznego. W przypadku ogniw słonecznych termografia ujawnia strukturę uszkodzeń, wskazując „gorące punkty" o niskiej wydajności. Termografia odgrywa kluczową rolę w technologii bezpieczeństwa. Skan termiczny może np. umożliwić wykrycie przegrzanych elementów na długo przed osiągnięciem stanu krytycznego.

Rysunek 3. Obrazowanie termiczne jest też stosowane do kontroli izolacji termicznej budynków

W badaniach atmosfery i przestrzeni kosmicznej stosowana jest całkowicie inna metoda: fotodetektor podczerwieni w studni kwantowej (QWIP). Składa się z naprzemiennych warstw ekstremalnie cienkich półprzewodników i wykorzystuje efekt kwantowy. Warstwy ograniczają stany kwantowo-mechaniczne, które cząstka może tam przyjąć. Napływające fale podczerwieni wpływają na stany, co pozwala na uzyskanie przydatnych obrazów. Obrazy charakteryzują się ekstremalnie wysoką rozdzielczością kolorów.

Istnieją też urządzenia, które nie wymagają dostępnego promieniowania termicznego, lecz zamiast tego używają aktywnego oświetlenia. Źródło światła podczerwonego oświetla obserwowaną scenę w taki sam sposób, jak standardowa lampa fotograficzna – kamera do obrazowania termicznego staje się noktowizorem. Ta metoda jest używana jest np. podczas akcji antyterrorystycznych w ciemnych pomieszczeniach. Światło podczerwone pozostaje niewidoczne dla celów.

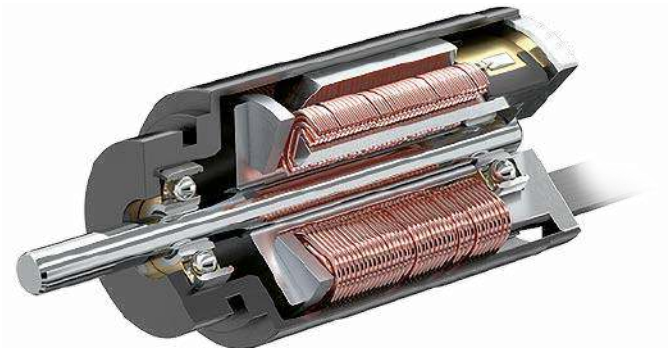
Optyka w ruchu napędzanym

Niezależnie od stosowanej metody, fale elektromagnetyczne muszą zostać zgrupowane i doprowadzone do czujnika w celu pomiaru i obrazowania. Działa to tak samo jak tradycyjna fotografia w świetle widzialnym. Używane są te same elementy optyczne: soczewki są przesuwane w celu ustawienia ostrości i powiększania, przysłony są regulowane, filtry są ustawiane, a migawki uruchamiane.

W przypadku szeroko stosowanego bolometru piksele termiczne muszą być ponownie kalibrowane w krótkich interwałach, aby punkty o tej samej temperaturze miały taką samą jasność na obrazie. W tym celu większość urządzeń ma czarne migawki, które są automatycznie ustawiane przed czujnikiem w celu kalibracji wszystkich pikseli do tej samej wartości. Im szybsza migawka, tym krótszy czas, w którym niemożliwe jest wykonanie pomiaru.

Aby umożliwić zmianę ostrości i powiększanie, urządzenia optyczne często wyposażone są w miniaturowe silniki DC z komutacją z metali szlachetnych z serii 1524 ... SR. Osiągają one ekstremalnie wysokie wartości wydajności przy minimalnych wymogach dotyczących przestrzeni. Silniki o średnicy 8...10 mm używane są w sytuacjach, gdy silnik musi zmieścić się w minisoczewkach. Na przykład silniki krokowe typu DM0620 (**rysunek 4**) w połączeniu z wbudowaną śrubą pociągową są idealne do przesuwania filtrów i migawek.

FAULHABER oferuje też szeroką ofertę silników oraz pasujących do nich przekładni, enkoderów i innych akcesoriów. Zapewniają one optymalne rozwiązanie dla niemal każdego zastosowania. Elementy napędu można znaleźć w wielu tradycyjnych urządzeniach optycznych, gdzie sprawdzają się od wielu lat. Dotyczy to również automatycznego, napędzanego wyrównywania aparatów na stabilizatorach. Kompaktowe silniki krokowe FAULHABER o niskich wibracjach nadają się szczególnie dobrze do takich zastosowań.



Rysunek 4. Miniaturowe silniki umożliwiają budowę kompaktowych i funkcjonalnych urządzeń do obrazowania termicznego

eprasa.pl ad39d4d9f3

Monitorowanie poziomu CO_2 w pomieszczeniach

Najmniejsze na świecie selektywne czujniki stężenia CO_2 w powietrzu

Dzięki nowym standardom energetycznym i lepszej izolacji domy i budynki biurowe stają się coraz bardziej energooszczędne i jednocześnie szczelne. Aktywna wentylacja staje się obowiązkowa, ponieważ pozwala na utrzymanie właściwego klimatu w pomieszczeniu. Od tego zależy nasze dobre samopoczucie i produktywność. Najistotniejszym wskaźnikiem jakości powietrza w pomieszczeniach jest zawartość CO_2.

Czujniki stężenia CO_2 są standardowo wykorzystywane w wymiennikach powietrza i inteligentnych systemach wentylacji, zarówno w rozwiązaniach przemysłowych, jak i domowych. Odgrywają istotną rolę w monitorowaniu jakości powietrza w pomieszczeniach i dlatego są integrowane w miernikach parametrów powietrza, oczyszczaczach powietrza, inteligentnych termostatach i systemach sterujących ogrzewaniem.

Miniaturowe czujniki od SENSIRION

Firma SENSIRION opracowała czujniki CO_2 SCD40 i SCD41, które są obecnie najmniejszymi tego typu komponentami na świecie. Mając wymiary 10,1×10,1×6,5 mm, elementy te są mniejsze niż kostka cukru i łatwe do zastosowania w kompaktowych aplikacjach. Ich wygląd oraz sposób montażu prezentuje **fotografia 1**. Pomimo niewielkich rozmiarów oba czujniki mają zintegrowany czujnik temperatury i wilgotności. Szeroki zakres napięcia roboczego, wynoszący od 2,4 do 5,5 V, pozwala zaoszczędzić na dodatkowych komponentach zewnętrznych, takich jak konwerter poziomów napięć. Konstrukcja czujników jest kompatybilna z urządzeniami pick-and-place i gotowa do lutowania rozpływowego (reflow), co oszczędza czas i koszt produkcji.

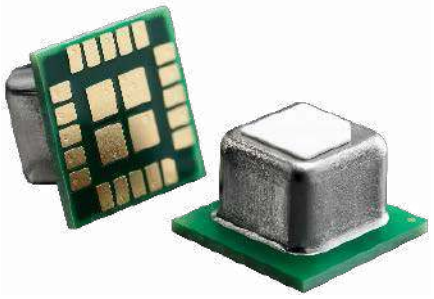
Więcej informacji:
GLYN Jones GmbH & Co KG
Wrocław, Krupnicza 13
tel. 71 782 87 58
biuro@glyn.pl, www.glyn.pl

Parametry czujników SCD40 i SCD41

Podstawowe parametry obu sensorów zostały zestawione w **tabeli 1**. Mniejsza dokładność czujnika SCD40, wynosząca ±50 ppm, pozwala na zastosowanie go np. w aplikacjach sygnalizujących poziom stężenia CO_2. Model SCD41 działa z lepszą dokładnością ±40 ppm, w szerszym zakresie stężeń i oferuje dodatkowy tryb niskiego poboru mocy. Jest idealnym komponentem do systemów wentylacyjnych dużej dokładności oraz bezprzewodowych czujników systemów IoT zasilanych bateryjnie. Czujniki komunikują się z układem nadrzędnym poprzez interfejs I^2C, gdzie przyjmują adres 0x62.

Sposób pomiaru

Ekstremalną miniaturyzację czujników osiągnięto dzięki unikalnej technologii PASens, która opiera się na detekcji wykorzystującej efekt fotoakustyczny. Jest on znany od dawna, ale to firma Sensirion wykorzystała go jako pierwsza

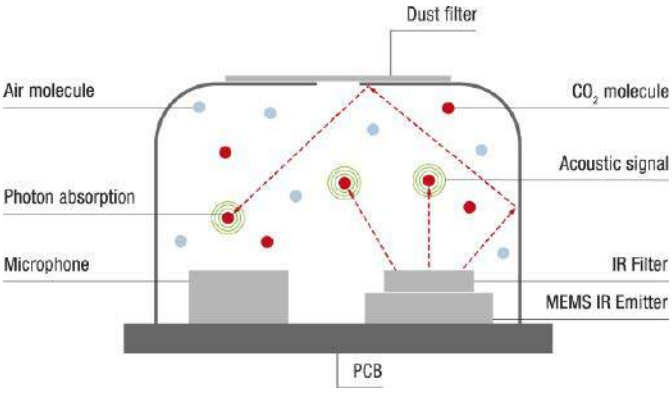


Fotografia 1. Wygląd i sposób montażu czujników typu SCD40 i SCD41

eprasa.pl ad39d4d9f3

Tabela 1. Zestawienie parametrów czujników SCD40 i SCD41

Typ czujnika	SCD40	SCD41
Wymiary	10,1×10,1×6,5 mm	
Zakres pomiarowy	0...40000 ppm	
Dokładność	±(50 ppm +5%) @400...2000 ppm	±(40 ppm +5%) @400...5000 ppm
Zakres temperatury	–10...60°C	
Zakres wilgotności	0...100%	
Napięcie robocze	2,4...5,5 V	
Pobór energii	12 mA (pomiar co 5 s) 2,5 mA (pomiar co 30 s)	12 mA (pomiar co 5 s) 2,5 mA (pomiar co 30 s) 0,4 mA (pomiar co 5 min)

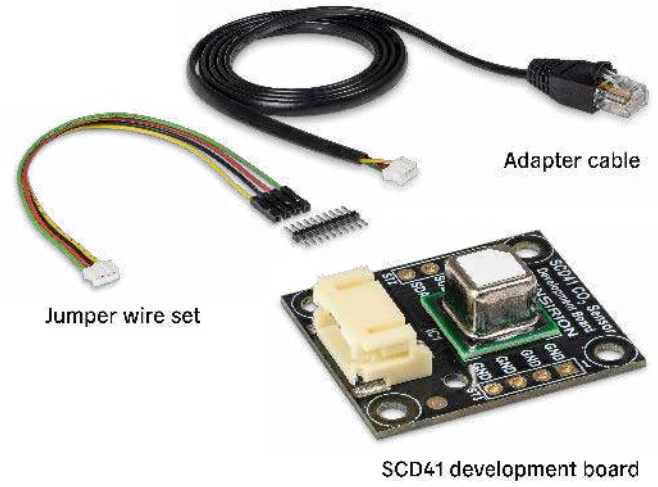


Rysunek 1. Zobrazowanie sposobu realizacji pomiarów

Fotografia 4. Adapter USB typu SEK-SensorBridge

w tak małym formacie. Wąskopasmowe światło pasujące do pasm absorpcji cząsteczek CO_2 jest emitowane do zamkniętej celi pomiarowej. Cząsteczki CO_2 znajdujące się w celi pomiarowej pochłaniają część emitowanego światła. Im więcej cząsteczek, tym pochłaniana jest większa energia. Inne cząsteczki nie pochłaniają emitowanego światła. Zaabsorbowana energia pobudza cząsteczki do oscylacji, co powoduje wzrost ciśnienia w zamkniętej celi pomiarowej (**rysunek 1**). Modulacja źródła światła powoduje okresową zmianę ciśnienia w celi pomiarowej, którą mierzy mikrofon. Sygnał z mikrofonu służy jako miara liczby cząsteczek CO_2 obecnych w celi pomiarowej. Po odpowiedniej obróbce uwzględniającej temperaturę i wilgotność otrzymywany jest gotowy wynik. Cyrkulacja powietrza w celi pomiarowej odbywa się poprzez specjalny filtr antypyłowy umieszczony na górnej ściance czujnika (**fotografia 2**).

Fotografia 2. Specjalny filtr antypyłowy umieszczony na górnej ściance czujnika



Fotografia 3. Płytka uruchomieniowa SEK-SCD4 z zamontowanym czujnikiem

Zestaw uruchomieniowy

Producent przygotował zestaw uruchomieniowy umożliwiający szybkie rozpoczęcie pomiarów. Czujnik SCD41 zamontowany jest na płytce wyposażonej w standardowe złącza, oznaczonej SEK-SCD41 (**fotografia 3**). W połączeniu z adapterem USB typu SEK-SensorBridge (**fotografia 4**) powstaje kompletne rozwiązanie typu plug-and-play. Dzięki powiązanemu oprogramowaniu udostępnianemu nieodpłatnie przez producenta – dobrze znanego Control Center, można w łatwy sposób rejestrować zmierzone wartości i wyświetlić je bezpośrednio na komputerze.

Czujnik SEK-SCD41 można alternatywnie podłączyć do Arduino lub Raspberry Pi za pomocą dołączonych kabli połączeniowych. Odpowiednie oprogramowanie jest dostępne bezpłatnie na stronie SENSIRION. Trzecią opcją jest przylutowanie płytki rozwojowej SEK-SCD41 do własnej aplikacji i przetestowanie działania czujnika w ten sposób.

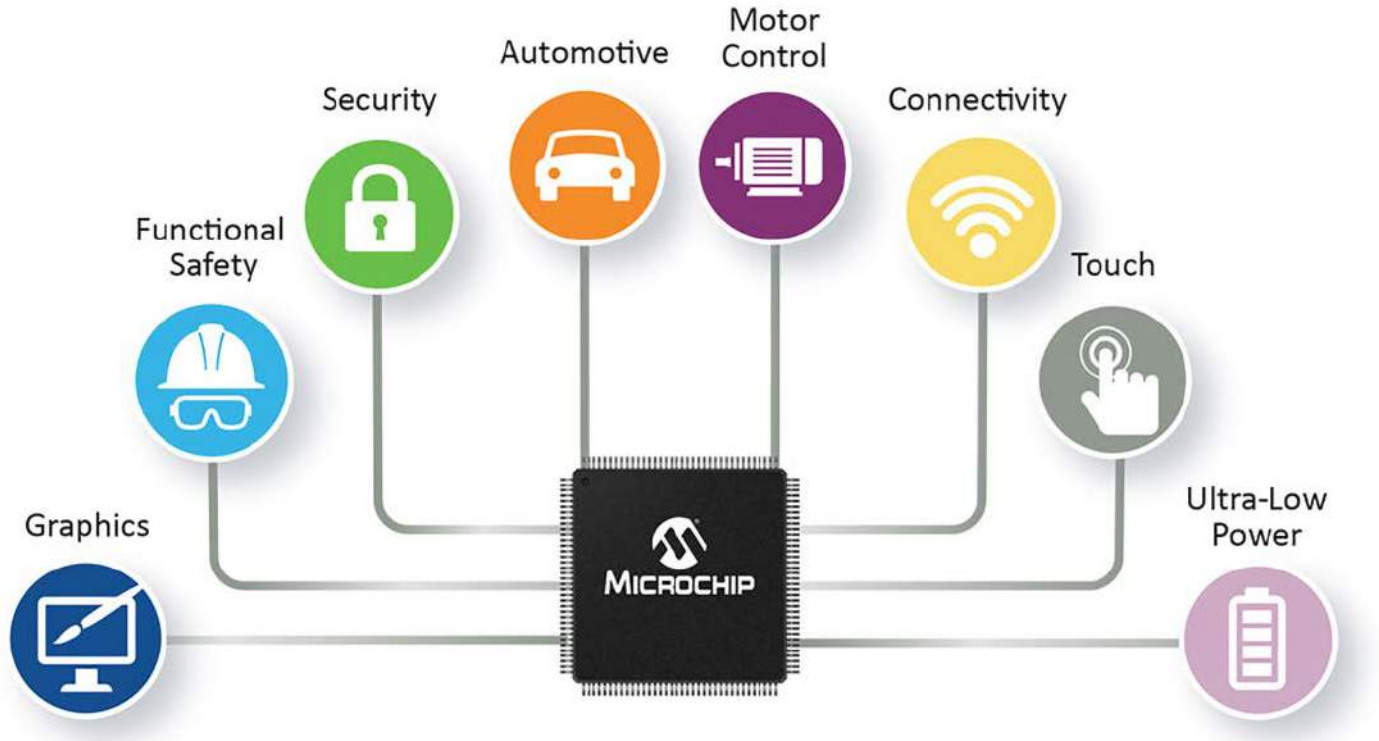
Zaopatrzenie i wsparcie

Pierwsze próbki czujników SCD40 i SCD41 są dostępne z magazynu GLYN od początku kwietnia 2021 roku. Dzięki 20-letniemu doświadczeniu w zakresie czujników dystrybutor realizuje program GLYN-SUPPORT. Chętnie odpowie na wszelkie pytania telefonicznie lub mailowo: biuro@glyn.pl.

Dokumentacja czujników dostępna jest pod adresem: https://www.glyn.com/data/media/doc/SCD4x.pdf.

Strona dystrybutora poświęcona omawianym czujnikom dostępna jest pod adresem: https://www.glyn.com/News-Events/Newsletter.

eprasa.pl ad39d4d9f3



Nowe podzespoły od Microchipa

Stosowanie wydajnych i rozbudowanych mikrokontrolerów pozwala na budowanie zaawansowanych aplikacji przy zachowaniu prostych projektów części sprzętowej. Im więcej rozwiązań oferuje główny układ sterujący, tym bardziej uproszczona staje się cała konstrukcja. Jednak korzyści są realnie odczuwalne tylko wtedy, gdy zastosowany nowy mikrokontroler jest kompatybilny ze stosowanymi dotychczas układami i narzędziami. Właśnie takie podejście gwarantuje Microchip.

Wymagania nowoczesnej elektroniki skupiają się na układach 32-bitowych. To sprawiło, że dostępna jest szeroka oferta komponentów z taką architekturą, o różnych parametrach. Przydatność danego typu do konkretnej aplikacji już nie zależy od wydajności samego procesora czy pojemność pamięci. Czynnikami decydującymi są:

- układy peryferyjne zintegrowane w mikrokontrolerze,
- oraz narzędzia programistyczne – środowisko, biblioteki i przykłady.

Microchip jest dostawcą półprzewodników stale wprowadzającym innowacje zarówno w zakresie układów 32-bitowych, ale także 8- i 16- bitowych. Dzięki temu zapewnia najlepszy wybór skalowalnej wydajności. Wyraźną zaletą układów jest duży asortyment elastycznych bloków peryferyjnych i funkcjonalnych, które ułatwiają tworzenie zróżnicowanych aplikacji. Implementacja nowych rozwiązań jest bardzo ułatwiona dzięki intuicyjnym środowiskom projektowym i wizualnym narzędziom konfiguracyjnym. Szybkie rozpoczęcie projektów umożliwiają sprawdzone projekty referencyjne i przetestowane biblioteki oprogramowania.

Więcej informacji:
Arrow Electronics Poland
Warszawa, ul. W. Rzymowskiego 53
tel. 22 558 82 82, www.arroweurope.com
salesoffice.warsaw@arroweurope.com

Twórcy oprogramowania sterującego docenią fakt, że nowe układy działają w ramach ekosystemu programistycznego Microchip (**rysunek 1**), który obejmuje zintegrowane środowisko programistyczne MPLAB X (IDE), kompilator MPLAB XC32 oraz bezpłatną platformę programistyczną wbudowanego oprogramowania MPLAB Harmony (zapewnia elastyczne i interoperacyjne moduły oprogramowania oraz łatwe w użyciu interfejsy API). Dlatego można użyć typowych narzędzi z wcześniejszych projektów. Pozwala to na rozwój kodu poprzez ponowne wykorzystanie oprogramowania układowego aplikacji, nawet gdy zmienią się wymagania projektowe.

Układy serii *Motor Control*

Pierwszym mikrokontrolerom, którym warto się dokładnie przyjrzeć, jest seria PIC32CM MC (*Motor Control*), która łączy wydajność i energooszczędność układu opartego na rdzeniu ARM Cortex-M0+ z wieloma urządzeniami peryferyjnymi i zaawansowanymi funkcjami analogowymi. Jest to ekonomiczny następca rodziny SAM C2x, idealnie dostosowany do sterowania różnymi rodzajami silników elektrycznych stosowanych m.in. w urządzeniach AGD czy sterownikach przemysłowych. Układy wyróżniają się szerokim zakresem napięcia roboczego wynoszącym od 2,7 V, aż do 5,5 V. Praca przy napięciu 5 V zapewnia najlepszy możliwy stosunek sygnału do szumu i wysoką odporność na zakłócenia, EMC, ESD i typu *latch-up*. Schemat

eprasa.pl ad39d4d9f3

Rysunek 1. Ekosystem programistyczny Microchip

blokowy tej serii układów został pokazany na **rysunku 2,** a ich kluczowe parametry i cechy to:

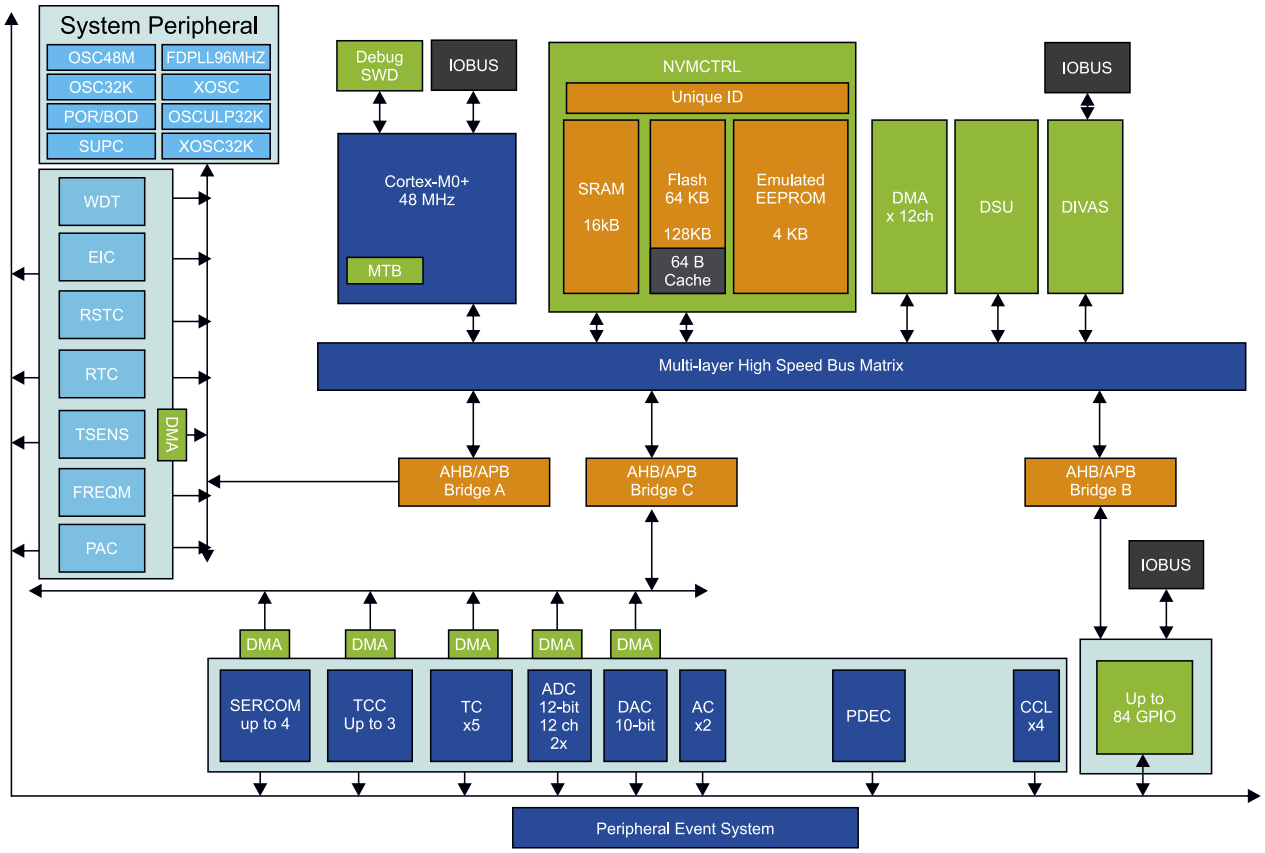
- częstotliwość taktowania procesora: do 48 MHz,
- wbudowana pamięć: do 128 kB Flash i 16 kB SRAM,
- zróżnicowane peryferia analogowe: podwójny 12-bitowy przetwornik ADC z jednoczesnym próbkowaniem o szybkości 1 Msps i wielokanałowym wejściem; 16-bitowy przetwornik ADC Sigma-Delta z wejściami różnicowymi; 10-bitowy przetwornik DAC o szybkości 350 ksps; 2 analogowe komparatory,
- dekoder pozycyjny PDEC (*Positional Decoder*), który zapewnia solidne, szybkie i niezależne od rdzenia pomiary położenia kątowego, obrotów i prędkości np. wirnika silnika, do zastosowań związanych z precyzyjnym sterowaniem silnikiem,
- rozbudowane 24-bitowe liczniki TCC (Timer/Counter for Control) z ustawianiem czasu martwego (*Dead Time*), oferujące precyzyjne wyjścia PWM przeznaczone do sterowania silnikami,
- moduły do komunikacji szeregowej SERCOM, które można skonfigurować tak, aby działały jako interfejs magistrali USART, UART, SPI, I²C, RS485 lub LIN,
- 12-kanałowy kontroler DMA (*Direct Memory Access*) z modułem CRC (*Cyclic Redundancey Check*),
- moduł DIVAS, który umożliwia szybsze obliczenia matematyczne (dzielenie, pierwiastek kwadratowy), niezbędne w wielu aplikacjach sterujących,
- funkcjonalna kompatybilność pinów z obecnymi układami SAM C20 w obudowach 32- i 48-pinowych.

Podstawowe korzyści wynikające ze stosowania układów serii PIC32CM MC to przede wszystkim precyzja analogowa i wydajność cyfrowa, przy niewielkim stopniu złożoności całego systemu, w stosunku do konkurencyjnych rozwiązań. Docelowe aplikacje to niedrogie kontrolery sterujące silnikami (BLDC, FOC, PMSM, ACIM i krokowe) stosowne w przemyśle i automatyce przemysłowej oraz różne specyficzne rozwiązania samochodowe.

Witryna internetowa producenta: https://bit.ly/3vhxhd8
Dokumentacja układu: https://bit.ly/3eCMOgT

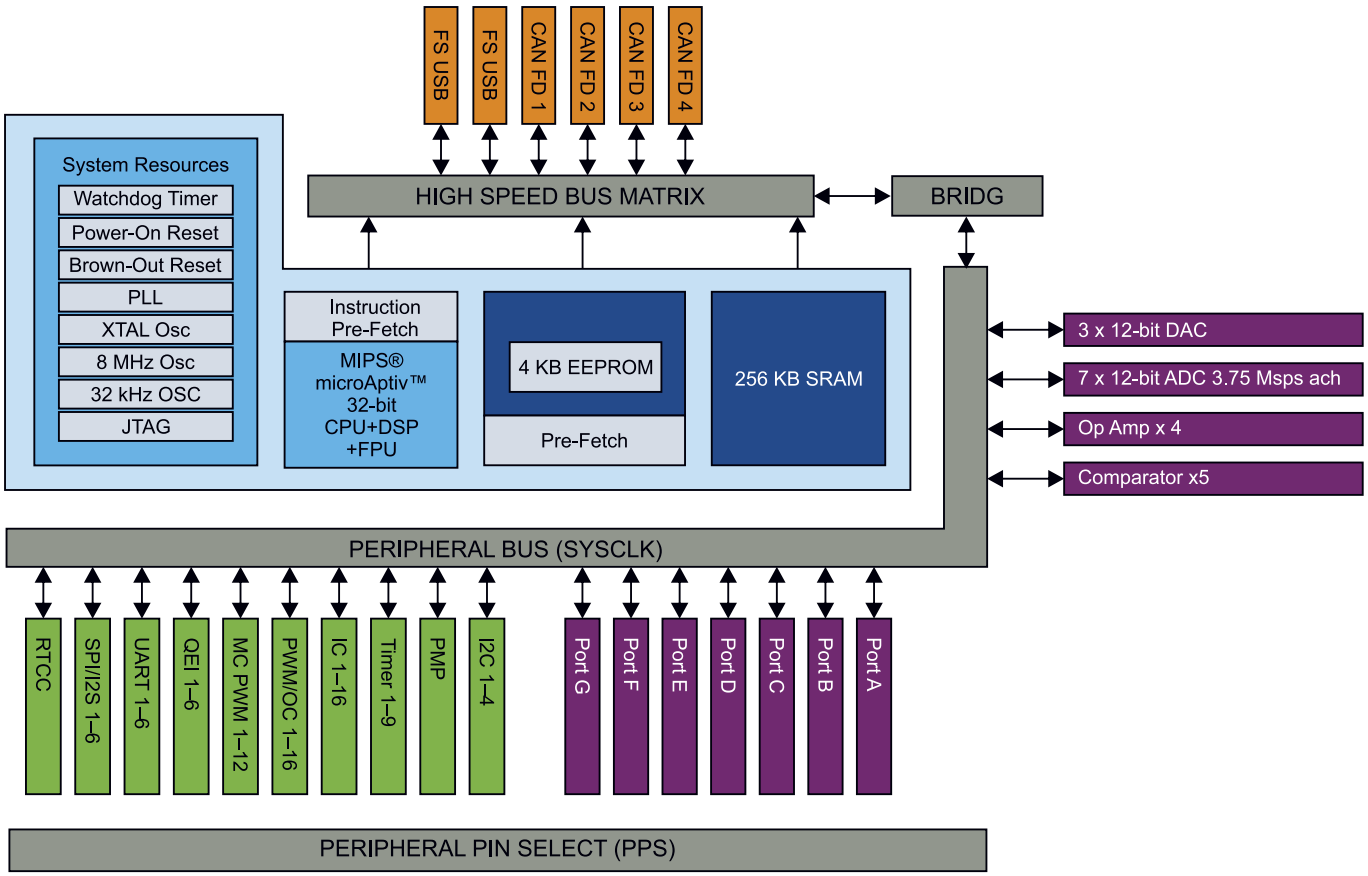
Układy o dużej szybkości i wysokiej precyzji

Rodzina 32-bitowych mikrokontrolerów PIC32MK bazuje na rdzeniu MIPS32 działającym z częstotliwością 120 MHz (198 DMIPS). Dzięki czemu układy są odpowiednie do szybkiego wykonywania pętli sterowania w aplikacjach przeznaczonych do sterowania silnikiem. Dodatkowym wyposażeniem jest sprzętowa jednostka zmiennoprzecinkowa



Rysunek 2. Wewnętrzny schemat blokowy rodziny układów PIC32CM

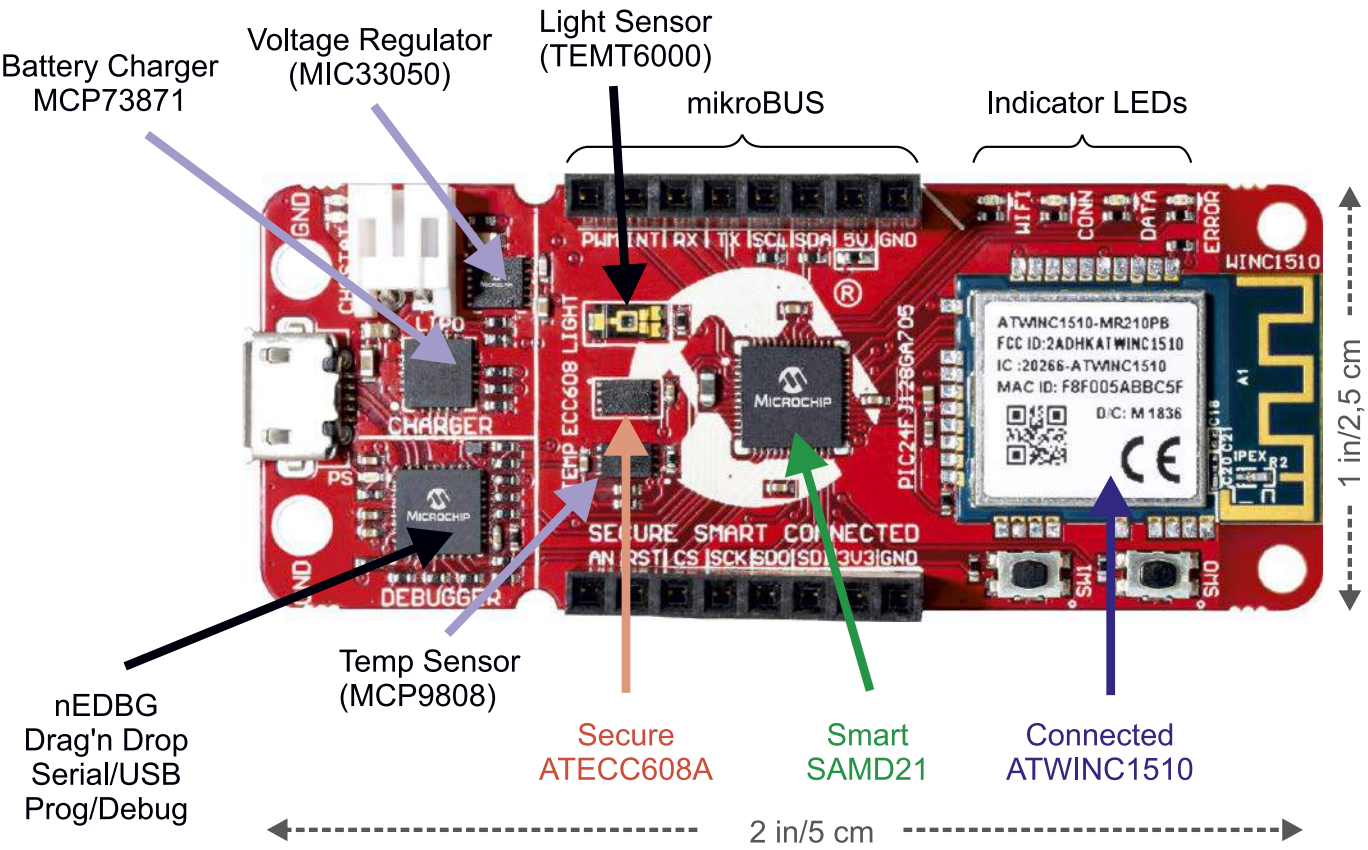
eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 3. Wewnętrzny schemat blokowy rodziny układów PIC32MK

(FPU) do wydajnego i precyzyjnego wykonywania skomplikowanych obliczeń.

Układy rodziny PIC32MK zawierają zaawansowane peryferia analogowe, które obejmują, m.in. do 7 przetworników ADC o rozdzielczości 12-bitów i szybkości do 25 Msps; szybkie komparatory/wzmacniacze operacyjne o pasmie zwiększonym do 90 MHz i szybkości narastania do 40 V/μs; oraz 12-bitowe moduły przetworników DAC.



Rysunek 4. Budowa płytki rozwojowej SAM-IoT WG Development Board

eprasa.pl ad39d4d9f3

Rozbudowane układy licznikowe z wyjściami PWM oraz sprzętowe interfejsy enkoderów kwadraturowych z filtrem szumów QEI, umożliwiają realizację systemów ze sterowaniem silnikami. Dobrze sprawdzą się do opracowywania różnych aplikacji sterowania silnikiem, w tym 6-stopniowego sterowania skalarnego bezszczotkowego DC (BLDC), zaawansowanego bezczujnikowego sterowania zorientowanego na pole (FOC) i czułego FOC do zastosowań związanych z precyzyjnym pozycjonowaniem.

Różnorodne interfejsy komunikacyjne, w tym USB, CAN FD, SPI, I^2C i UART, zapewniają elastyczne opcje łączności, natomiast blok zarządzania kodami korekcji błędów (ECC) zwiększa wydajność i niezawodność pamięci FLASH.

Duże znaczenie, ma także rozbudowane środowisko programistyczne. Bezpłatna platforma oprogramowania wbudowanego MPLAB Harmony, działa w zintegrowanym środowisku programistycznym MPLAB X (IDE). Narzędzia do projektowania oparte na modelach, takie jak MATLAB i Simulink lub Scilab i X2C, mogą generować wydajny kod, który można niemal bezpośrednio przenieść do pamięci układu w celu szybkiego prototypowania projektów. MPLAB Mindi Analog Simulator umożliwia symulacje odpowiedzi szerokopasmowych wzmacniaczy operacyjnych i komparatorów.

Wewnętrzny schemat blokowy tej rodziny układów został pokazany na **rysunku 3**. Układy PIC32MK serii MCM i MCJ są dostępne w różnych konfiguracjach bloków peryferyjnych i różnych obudowach.

Witryna internetowa producenta: https://bit.ly/3vqKZdH

Dokumentacja układów: https://bit.ly/3u1PhI9, https://bit.ly/3xqk4Rf

Rozwiązania przeznaczone dla IoT

Płytka rozwojowa SAM-IoT WG Development Board EV75S95A (**rysunek 4**) zawiera 32-bitowy mikrokontroler typu SAMD21G18 z rdzeniem Cortex-M0+, kontroler odpowiedzialny za funkcje bezpieczeństwa ATECC608A CryptoAuthentication, w pełni certyfikowany kontroler sieciowy ATWINC1510 Wi-Fi oraz wbudowane czujniki. Taki zestaw komponentów pozwala szybko i łatwo połączyć wbudowaną aplikację z podstawową platformą Google Cloud IoT.

Zintegrowany debugger umożliwia programowanie i debugowanie bez dodatkowego sprzętu, a gniazda mikroBUS pozwalają rozszerzyć projekt o wybrane komponenty. Dzięki temu płytka rozwojowa SAM-IoT WG jest małą i łatwo rozszerzalną platformą demonstracyjną i programistyczną dla rozwiązań IoT.

Mikrokontroler jest fabrycznie wyposażony w oprogramowanie, które umożliwia szybkie łączenie i wysyłanie danych do Google Cloud Platform za pomocą wbudowanych czujników temperatury i światła. Zbudowanie własnego, niestandardowego projektu, można łatwo wykonać za pomocą bibliotek bezpłatnego oprogramowania w MPLAB Harmony v3 i środowiska MPLAB X IDE. Docelowym zastosowaniem dla płytki są węzły czujników, rozwiązania brzegowe (edge solutions), przemysłowe i konsumenckie projekty IoT oraz aplikacje sterowane w czasie rzeczywistym zarówno przemysłowe, jak i konsumenckie czy motoryzacyjne.

Witryna internetowa producenta: https://bit.ly/3dWCaSR

Dokumentacja płytki: https://bit.ly/32UAweh

REKLAMA

MICROCHIP

TA100 (TrustAnchor100)

Układ kryptograficzny dedykowany do systemów samochodowych dla producentów OEM

Ważniejsze cechy:
• secure boot,
• uwierzytelnianie wiadomości i aktualizacji oprogramowania,
• kontroler CAN.

Standardy bezpieczeństwa:
• AEC-Q100 Automotive Grade-1,
• FIPS 140-2 CMVP Security Level 2,
• Physical Key Protection Level 3.

ARROW

www.arrow.com

Dla zamawiających, firma Arrow przewidziała 10% rabatu. Wystarczy podać kod: MPLAB10

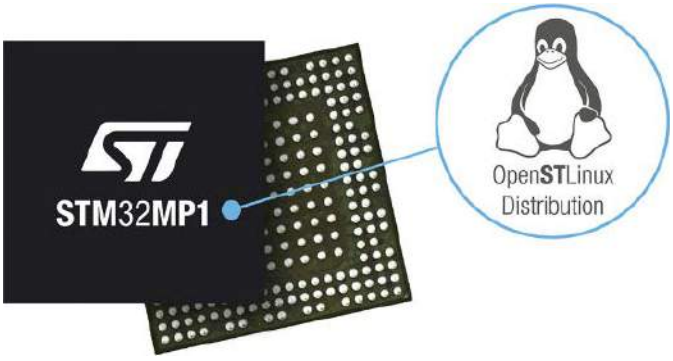
eprasa.pl ad39d4d9f3

OpenSTLinux

dla procesorów z rodziny STM32MP1 (6)

FTP
WSZYSTKIE POPRZEDNIE ODCINKI KURSU SĄ DOSTĘPNE NA STRONIE WWW.MEDIA.AVT.PL

W ostatnim odcinku kursu poświęconego procesorom STM32MP1 zajmiemy się opracowaniem aplikacji z graficznym interfejsem użytkownika. Przygotujemy przycisk i suwak do sterowania diodami oraz wygenerujemy wykres na bazie liczb pseudolosowych. Wykorzystamy do tego biblioteki Qt, które zbudujemy razem z obrazem systemu OpenSTLinux oraz SDK.



Kompilacja bibliotek Qt i SDK

Do implementacji aplikacji będziemy potrzebowali odpowiednio zmodyfikowanego SDK oraz obrazu systemu, na którym będziemy mogli ją uruchomić. Bazowe biblioteki Qt są domyślnie dodane w warstwie meta-somlabs, w pliku *recipes-st/images/st-image-weston.bbappend*, jednak dodatkowo będziemy potrzebować obsługi wykresów. W Qt wykresy zostały zaimplementowane w module *Qt Charts*, który możemy dodać do naszego obrazu dopisując `qtcharts` do listy instalowanych pakietów w pliku *st-image-weston.bbappend*, tak jak na **listingu 1**.

Musimy teraz przebudować zarówno system, jak i SDK, tak jak to już omawialiśmy w poprzednich odcinkach kursu. W dalszej części tekstu przyjmujemy założenie, że SDK zostało zainstalowane w systemie bazowym w domyślnym katalogu */opt/st/stm32mp157a-visionsom-rgb-sd-mx/3.1-snapshot*.

Qt Creator IDE

Do wykonania projektu użyjemy środowiska Qt Creator, które będziemy musieli najpierw odpowiednio skonfigurować, aby do kompilacji wykorzystane zostały biblioteki i narzędzia z SDK. Zaprezentowany opis dotyczy środowiska Qt Creator w wersji 4.5.2 zainstalowanego w systemie Ubuntu 18.04 za pomocą polecenia `sudo apt-get install qtcreator`.

Aby uruchomić IDE musimy otworzyć najpierw terminal i wywołać w nim polecenie ustawiające zmienne środowiskowe dla SDK. Następnie w tym samym terminalu uruchamiamy Qt Creatora:

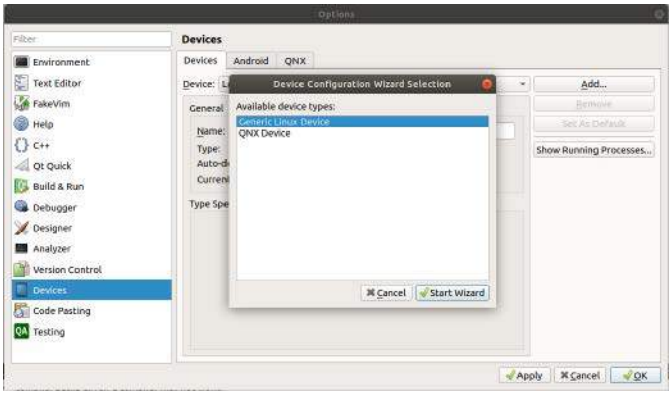
```
. /opt/st/stm32mp157a-visionsom-rgb-sd-mx/3.1-snapshot/environment-setup-cortexa7t2hf-neon-vfpv4-ostl-linux-gnueabi
qtcreator
```

Konfigurację Qt Creatora zaczynamy od dodania urządzenia wybierając menu Tools → Options i przechodząc do Devices. W oknie dialogowym klikamy Add i wybieramy Generic Linux Device (**rysunek 1**). Po uruchomieniu kreatora przyciskiem Start Wizard musimy uzupełnić dane urządzenia – nazwę oraz adres IP, dzięki któremu Qt Creator będzie mógł się z nim połączyć (**rysunek 2**). Do tego celu możemy wybrać dowolny dostępny interfejs, łącznie z usb0, który omawialiśmy w poprzednim odcinku kursu. Po zakończeniu konfiguracji urządzenia jest automatycznie przeprowadzany test komunikacji, dzięki któremu dowiemy się, czy poprawnie wprowadziliśmy dane (**rysunek 3**).

Następnym krokiem jest dodanie ścieżek kompilatorów C/C++ w opcji Build & Run → Compilers. Należy je dodać ręcznie wybierając przycisk Add → GCC → C i Add → GCC → C++. Każdemu z nich powinniśmy nadać nazwę i podać ścieżkę do zainstalowanego SDK: */opt/st/stm32mp157a-visionsom-rgb-sd-mx/3.1-snapshot/*

Listing 1. Lista pakietów w pliku *st-image-weston.bbappend*, z dodanym wpisem *qtcharts*

```
inherit populate_sdk_qt5

IMAGE_INSTALL += " \
    qtbase-dev \
    qtbase-mkspecs \
    qtbase-tools \
    qtdeclarative-qmlplugins \
    qtquickcontrols2-qmlplugins \
    qtwayland \
    gstreamer1.0 \
    gstreamer1.0-plugins-good \
    qtcharts \
"
```

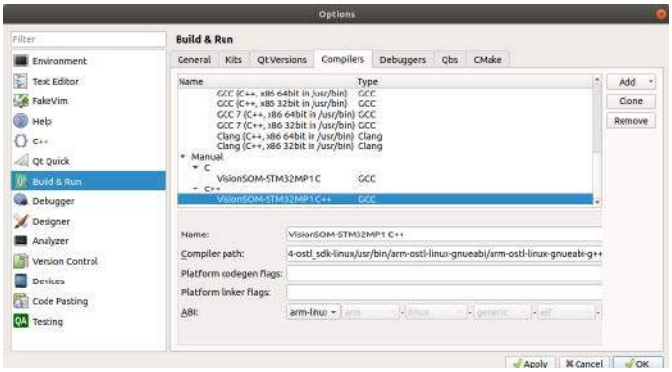


Rysunek 1. Dodawanie nowego urządzenia

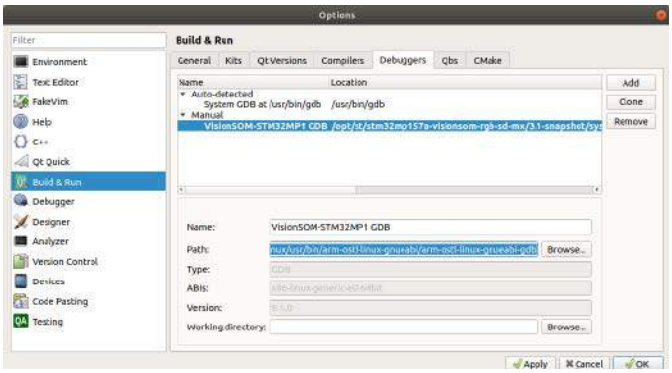
Rysunek 2. Nazwa i adres podłączonego urządzenia

Rysunek 3. Test komunikacji zakończony sukcesem

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 4. Dodanie kompilatorów C i C++ z SDK



Rysunek 5. Dodanie GDB z SDK

sysroots/x86_64-ostl_sdk-linux/usr/bin/arm-ostl-linux-gnueabi/arm-ostl-linux-gnueabi-gcc
oraz
/opt/st/stm32mp157a-visionsom-rgb-sd-mx/3.1-snapshot/sysroots/x86_64-ostl_sdk-linux/usr/bin/arm-ostl-linux-gnueabi/arm-ostl-linux-gnueabi-g++.

W polu ABI należy wybrać *arm-linux-generic-elf-32bit*. Dodane kompilatory pokazane są na **rysunku 4**. Opcjonalnie możemy dodać także GDB w zakładce Debuggers podając ścieżkę: */opt/st/stm32mp157a-visionsom-rgb-sd-mx/3.1-snapshot/sysroots/x86_64-ostl_sdk-linux/usr/bin/arm-ostl-linux-gnueabi/arm-ostl-linux-gnueabi-gdb*, tak jak to pokazano na **rysunku 5**.

Biblioteki Qt z SDK powinny zostać wykryte automatycznie, co możemy zweryfikować w zakładce Qt Versions. Wersją właściwą dla użytego SDK jest 5.14.2. Jeżeli Qt nie zostanie wykryte automatycznie możemy ręcznie dodać ścieżkę do pliku qmake: */opt/st/stm32mp157a-visionsom-rgb-sd-mx/3.1-snapshot/sysroots/x86_64-ostl_sdk-linux/usr/bin/qmake*.

Ostatnim krokiem konfiguracji jest utworzenie Kitu w zakładce Kits. Po kliknięciu Add uzupełniamy nazwę, typ urządzenia (Generic Linux Device), nazwę urządzenia, które dodaliśmy wcześniej, ścieżkę do sysroot (*/opt/st/stm32mp157a-visionsom-rgb-sd-mx/3.1-snapshot/sysroots/cortexa7t2hf-neon-vfpv4-ostl-linux-gnueabi*), kompilatory C/C++, debugger i wersję Qt. Wypełniony formularz został pokazany na **rysunku 6**.

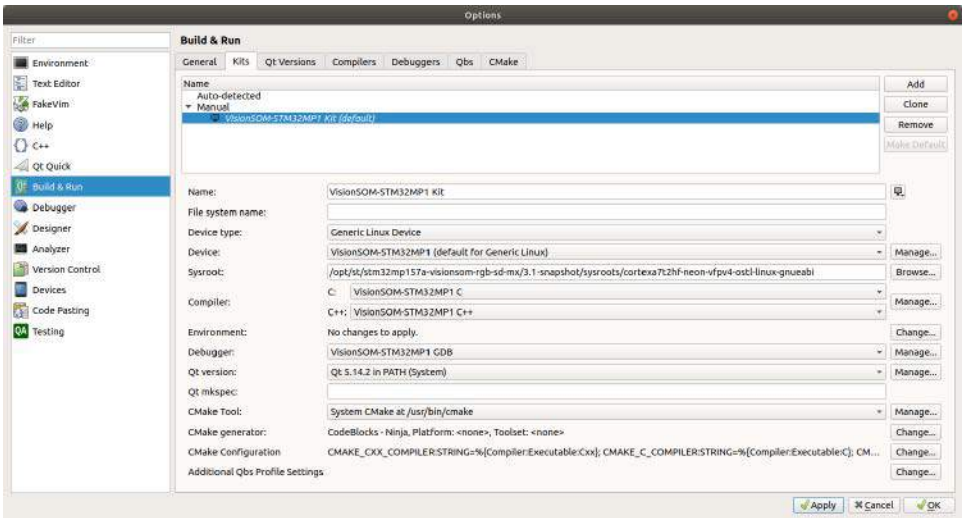
Tworzenie nowego projektu

Mając skonfigurowane środowisko możemy rozpocząć tworzenie przykładowej aplikacji na bazie gotowego przykładu z biblioteki.

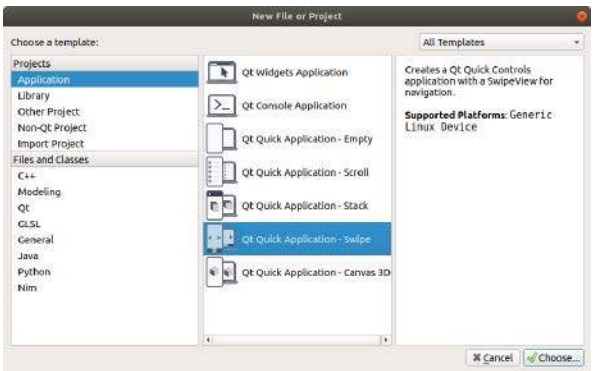
Listing 2. Opis pierwszej strony aplikacji

```
import QtQuick 2.9
import QtQuick.Controls 2.2

Page {
    property alias button: button
    property alias slider: slider

    header: Label {
        text: qsTr("Page 1")
        font.pixelSize: Qt.application.font.pixelSize * 2
        padding: 10
    }

    Button {
        id: button
        y: 110
        width: 120
        height: 60
        text: qsTr("LED")
        anchors.left: parent.left
        anchors.leftMargin: 100
        anchors.verticalCenter: parent.verticalCenter
        checkable: true
    }

    Slider {
        id: slider
        x: 260
        y: 110
        width: 300
        anchors.right: parent.right
        anchors.rightMargin: 100
        anchors.verticalCenterOffset: 0
        anchors.verticalCenter: parent.verticalCenter
        from: 0
        to: 100
        stepSize: 10
        value: 0
    }
}
```

Z menu File wybieramy New File or Project, a w wyświetlonym oknie dialogowym opcję Qt Quick Application – Swipe (**rysunek 7**). Następnie nadajemy projektowi nazwę – w naszym przykładzie jest to SwipeDemo, oraz lokalizację na dysku. Kolejne opcje możemy zostawić bez zmiany, zwracając uwagę na to, żeby do projektu został przydzielony Kit, który konfigurowaliśmy w poprzednim punkcie. Po zakończeniu



Rysunek 6. Konfiguracja Kitu dla VisionSOM-STM32MP1



Rysunek 7. Tworzenie nowego projektu z szablonu *Swipe*

eprasa.pl ad39d4d9f3

Listing 3. Opis drugiej strony aplikacji

```
import QtQuick 2.9
import QtQuick.Controls 2.2
import QtCharts 2.0

ChartView {
    antialiasing: true
    animationOptions: ChartView.NoAnimation

    property int numberOfPoints: 0
    property int maxNumberOfPoints: 100
    property alias dataSeries: dataSeries

    LineSeries {
        id: dataSeries
        name: "Values"
        useOpenGL: true

        property alias xAxis: xAxis

        axisX: ValueAxis {
            id: xAxis
            min: -1 * maxNumberOfPoints
            max: 0
            visible: false
        }
        axisY: ValueAxis {
            min: 0
            max: 100
        }
    }
}
```

działania kreatora zostaje utworzony nowy projekt zawierający okno główne z dwiema stronami które możemy przesuwać za pomocą myszy, lub panelu dotykowego. W projekcie znajdziemy kilka plików, które będziemy mogli zmodyfikować:

- *main.cpp* – kod C++ aplikacji,
- *main.qml* – opis wyglądu głównego okna zapisany w języku QML,
- *Page1Form.ui.qml* – opis wyglądu pierwszej strony aplikacji,
- *Page2Form.ui.qml* – opis wyglądu drugiej strony aplikacji,
- *qtquickcontrols2.conf* – opis stylu komponentów graficznych,
- *SwipeDemo.pro* – konfiguracja projektu.

Rysunek 8. Dodanie klasy *LedHandler* do projektu

Interfejs graficzny możemy definiować na dwa sposoby. Pierwszy z nich to edytor graficzny (przycisk Design po lewej stronie okna głównego IDE) dla plików *ui.qml*, a drugi to opis w języku QML. Obie metody się uzupełniają, ponieważ możemy ręcznie modyfikować zmiany wprowadzone przez edytor graficzny i na odwrót. W naszym przykładzie wszystkie zmiany wprowadzimy ręcznie. Na początku modyfikujemy plik *Page1Form.ui.qml*, tak jak pokazano na **listingu 2**. W kodzie QML dodajemy przycisk oraz suwak, a także definiujemy ich rozmiary i rozmieszczenie na stronie. Na początku struktury Page dodajemy także aliasy dla utworzonych komponentów, tak aby można było się do nich odwołać w pliku *main.qml*. W ten sposób odizolujemy definicję wyglądu aplikacji od jej funkcjonalności.

Druga strona aplikacji została pokazana na **listingu 3**. W pliku *Page2Form.ui.qml* importujemy moduł *QtCharts* i dodajemy strukturę *ChartView*, w której definiujemy wykres liniowy zawierający sto punktów. W strukturze *LineSeries* dodajemy dwie osie danych. Oś Y będzie zawierała losowo generowane wartości od 0 do 100, natomiast na osi X, której wartości są ukryte będziemy dodawać kolejne numery punktów. Początkowa minimalna wartość na osi X jest ustawiona na –100, dzięki czemu punkty na wykresie będą pojawiały się od prawej strony okna. Na tej stronie również dodajemy aliasy właściwości, do których będziemy odwoływać się w pliku *main.qml*.

Opis głównego okna aplikacji dodajemy w pliku *main.qml*, tak jak na **listingu 4**. Zamiast definiowania szerokości i wysokości okna definiujemy widok pełnoekranowy, a następnie dodajemy funkcje do kontrolek oraz wykresu. Do przycisku i suwaka dodajemy wywołania funkcji obiektu *ledHandler*, który dodamy za chwilę do projektu, a który będzie odpowiedzialny za włączanie i ustawianie jasności diod. W kodzie drugiej strony dodajemy powiązanie metody *onDoAddSample* obiektu *pointGenerator*, który również dodamy za chwilę do projektu, z funkcją *addPoint* zdefiniowaną poniżej. Funkcja ta dodaje punkt do wykresu pilnując jednocześnie, aby liczba punktów nie przekroczyła wartości *maxNumberOfPoints*. Na końcu pliku znajdują się pozostawione bez zmian definicje przycisków umożliwiających przełączanie się pomiędzy stronami.

Teraz przejdziemy do implementacji klas *LedHandler* i *PointGenerator* odpowiedzialnych odpowiednio za obsługę diod oraz generację punktów dla wykresu. Nową klasę dodajemy klikając prawym przyciskiem myszy na nazwę projektu po lewej stronie

Listing 4. Opis głównego okna aplikacji

```
import QtQuick 2.9
import QtQuick.Controls 2.2

ApplicationWindow {
    visible: true
    visibility: "FullScreen"
    title: qsTr("Tabs")

    SwipeView {
        id: swipeView
        anchors.fill: parent
        currentIndex: tabBar.currentIndex

        Page1Form {
            button.onCheckedChanged: ledHandler.setEnabled(button.checked)
            slider.onValueChanged: ledHandler.setBrightness(slider.value)
        }

        Page2Form {
            id: chartPage
            Connections {
                target: pointGenerator
                onDoAddSample: {
                    chartPage.addPoint(value)
                }
            }

            function addPoint(value) {
                dataSeries.append(numberOfPoints, value)

                if (dataSeries.count > maxNumberOfPoints) {
                    dataSeries.remove(0)
                }

                dataSeries.xAxis.min += 1
                dataSeries.xAxis.max += 1
                numberOfPoints += 1
            }
        }
    }

    footer: TabBar {
        id: tabBar
        currentIndex: swipeView.currentIndex

        TabButton {
            text: qsTr("Page 1")
        }
        TabButton {
            text: qsTr("Page 2")
        }
    }
}
```


eprasa.pl ad39d4d9f3

Listing 5. Plik nagłówkowy klasy *LedHandler*

```
#ifndef LEDHANDLER_H
#define LEDHANDLER_H

#include <QObject>
#include <QFile>

class LedHandler : public QObject{
    Q_OBJECT
    public:
        explicit LedHandler(QObject *parent = nullptr);

    signals:

    public slots:
        void setEnabled(bool enabled);
        void setBrightness(unsigned int brightness);

    private:
        QFile* gpioLedFile;
        QFile* pwmLedFile;
};

#endif // LEDHANDLER_H
```

Listing 7. Plik nagłówkowy klasy *PointGenerator*

```
#ifndef POINTGENERATOR_H
#define POINTGENERATOR_H

#include <QObject>
#include <QTimer>

class PointGenerator : public QObject{
    Q_OBJECT
    public:
        explicit PointGenerator(QObject *parent = nullptr);

    signals:
        void doAddSample(int value);

    public slots:
        void timeout();

    private:
        QTimer* timer;
};

#endif // POINTGENERATOR_H
```

Listing 6. Plik źródłowy klasy *LedHandler*

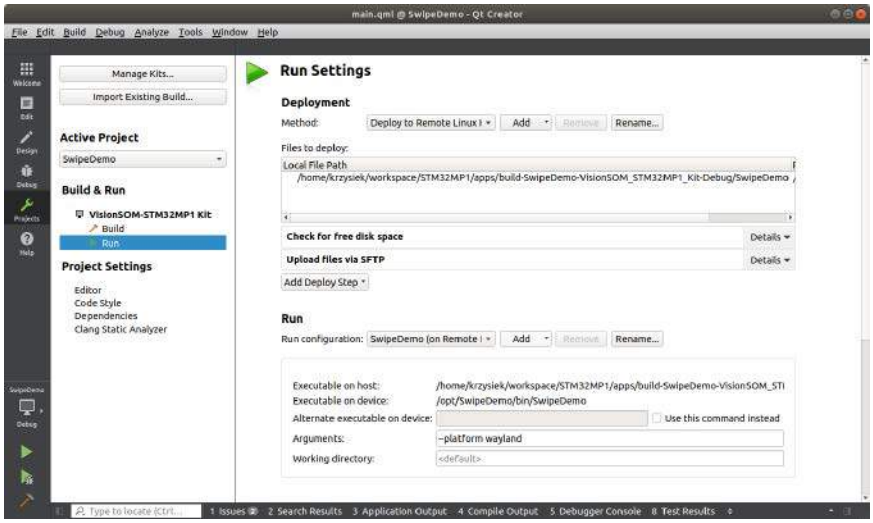
```
#include "ledhandler.h"
#include <QDebug>

LedHandler::LedHandler(QObject *parent) : QObject(parent){
    this->gpioLedFile = new QFile("/sys/class/leds/led3/brightness");
    this->gpioLedFile->open(QIODevice::WriteOnly);
    this->pwmLedFile = new QFile("/sys/class/leds/led2/brightness");
    this->pwmLedFile->open(QIODevice::WriteOnly);
}

void LedHandler::setEnabled(bool enabled){
    qDebug() << "Enabled" << enabled;

    if (enabled)
        this->gpioLedFile->write("1");
    else
        this->gpioLedFile->write("0");

    this->gpioLedFile->flush();
}

void LedHandler::setBrightness(unsigned int brightness){
    qDebug() << "Brightness" << brightness;
    this->pwmLedFile->write(QString::number(brightness).toLatin1());
    this->pwmLedFile->flush();
}
```

głównego okna IDE, a z dostępnych szablonów wybieramy C++ Class. Następnie w kreatorze podajemy nazwę klasy i klasę bazową, którą powinna być klasa QObject, tak jak na **rysunku 8.**

Po zakończeniu kreatora do projektu zostaną dodane dwa pliki nowej klasy: nagłówkowy i źródłowy. Uzupełniamy je zgodnie z kodem podanym na **listingu 5 i listingu 6.** Obsługa diod będzie wykonywana za pośrednictwem plików znajdujących się w katalogu systemowym */sys/class/leds*, dlatego do pliku nagłówkowego dodajemy dwa pola typu *QFile** reprezentujące dwie diody obsługiwane przez przycisk (*gpioLedFile*) i suwak (*pwmLedFile*). Dodajemy także dwie metody wywoływane w efekcie zmiany stanu komponentów graficznych. Wykorzystują one mechanizm Signals & Slots biblioteki Qt, dzięki czemu możemy powiązać metody deklarowane jako slots, z sygnałami wysyłanymi przez inne obiekty. Więcej na ten temat można przeczytać w oficjalnej dokumentacji Qt.

W pliku źródłowym dodajemy implementację konstruktora klasy, w którym tworzymy obiekty plików diod i otwieramy je do zapisu. Dodajemy także metody *setEnabled*, która zapisuje do pliku "1" lub "0", w zależności od nowego stanu przycisku, oraz *setBrightness*, która wpisuje do pliku wartość reprezentującą jasność diody. W obu przypadkach wywołujemy funkcję *flush*, która ma za zadanie opróżnić bufor, dzięki czemu zapis do plików następuje od razu po wywołaniu wspomnianych metod. W kodzie źródłowym możemy także użyć klasy *qDebug*, która pozwala nam na wysyłanie komunikatów diagnostycznych na standardowe wyjście aplikacji.

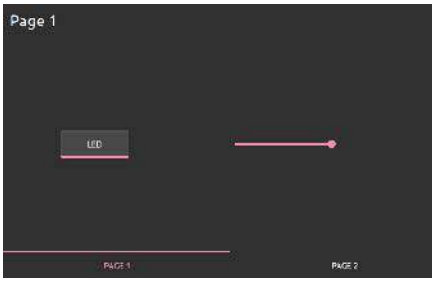
W ten sam sposób dodajemy klasę *PointGenerator*, której nagłówek i plik źródłowy znajdują się na **listingu 7** i **listingu 8**. W pliku nagłówkowym dodajemy timer pozwalający nam na cykliczne dodawanie punktów do wykresu. Wymaga on implementacji metody wywoływanej po ustalonym czasie – w naszym przykładzie jest to *timeout*. Deklarujemy tu również sygnał *doAddSample*, który powiązaliśmy z dodawaniem punktów wykresu w pliku *main.qml*. W pliku *cpp* dodajemy implementację konstruktora, gdzie używając funkcji *connect* tworzymy i uruchamiamy timer łącząc jednocześnie jego sygnał *timeout* z metodą naszej klasy o tej samej



Rysunek 9. Dodanie parametru *platform* do konfiguracji projektu

Rysunek 10. Strona aplikacji zawierająca wykres

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 11. Pierwsza strona aplikacji z ustawionym stylem *Material Dark*

Listing 8. Plik źródłowy klasy *PointGenerator*

```
#include "pointgenerator.h"
#include <QDateTime>

PointGenerator::PointGenerator(QObject *parent) : QObject(parent){
    this->timer = new QTimer();
    this->timer->setSingleShot(false);
    this->timer->start(1000);
    connect(this->timer, SIGNAL(timeout()), this, SLOT(timeout()));
    qsrand(QDateTime::currentMSecsSinceEpoch() / 1000);
}

void PointGenerator::timeout(){
    emit this->doAddSample(qrand() % 100);
}
```

Listing 9. Plik *main.cpp*

```
#include <QApplication>
#include <QQmlApplicationEngine>
#include <QQmlContext>
#include "ledhandler.h"
#include "pointgenerator.h"

int main(int argc, char *argv[]){
    QCoreApplication::setAttribute(Qt::AA_EnableHighDpiScaling);
    QApplication app(argc, argv);

    LedHandler ledHandler;
    ledHandler.setBrightness(0);
    ledHandler.setEnabled(false);

    PointGenerator pointGenerator;
    QQmlApplicationEngine engine;

    engine.rootContext()->setContextProperty("ledHandler", &ledHandler);
    engine.rootContext()->setContextProperty("chartBackend", &pointGenerator);

    engine.load(QUrl(QStringLiteral("qrc:/main.qml")));
    if (engine.rootObjects().isEmpty())
        return -1;

    return app.exec();
}
```

nazwie. Na końcu kodu konstruktora inicjalizujemy generator liczb pseudolosowych za pomocą aktualnego czasu. W metodzie *timeout* wysyłamy jedynie sygnał *doAddSample*, którego argumentem jest wygenerowana liczba pseudolosowa.

Mając gotowe wszystkie komponenty możemy zmodyfikować plik *main.cpp* pokazany na **listingu 9**. Ze względu na użycie modułu *QtCharts* musimy zmienić typ aplikacji z QGuiApplication na QApplication dodając również odpowiedni nagłówek. Następnie tworzymy obiekty dodanych przez nas klas – *ledHandler* oraz *pointGenerator* oraz ustawiamy jasność obu diod na 0. Utworzone obiekty łączymy z kodem QML za pomocą metody *setContextProperty*, w której podajemy nazwę używaną w plikach qml oraz referencję do odpowiedniego obiektu implementującego wymaganą logikę.

Pozostało nam jeszcze dodanie odpowiednich modułów w pliku projektu *SwipeDemo.pro*. Do zmiennej QT dodajemy moduły *qml* i *charts*:

```
QT += quick qml charts
```

Nasza aplikacja jest już gotowa do uruchomienia na platformie docelowej. Do poprawnego działania musimy jednak podać odpowiedni parametr *--platform*, dzięki któremu zostaną załadowane dostępne na urządzeniu moduły. Klikamy więc na przycisk Projects po lewej stronie okna głównego IDE i w oknie Run Settings wpisujemy do pola Arguments: `--platform wayland`. Zostało to pokazane na **rysunku 9**. Po kliknięciu na zieloną strzałkę w lewym dolnym rogu okna aplikacja zostanie skopiowana na urządzenie i uruchomiona. Na **rysunku 10** został pokazany widok strony z wykresem.

Styl aplikacji

Biblioteka Qt umożliwia nam w bardzo łatwy sposób zmianę wyglądu aplikacji na jeden z predefiniowanych styli. Służy do tego plik *qtquickcontrols2.conf*, w którym domyślny wygląd możemy zmienić, np. na *Material Dark* tak jak na **listingu 10**. Po tej zmianie otrzymamy efekt, taki jak na **rysunku 11**.

Listing 10. Styl aplikacji zmieniony na *Material Dark*

```
[Controls]
Style=Material

[Material]
Theme=Dark
```

Skrót do aplikacji

Na koniec zobaczymy w jaki sposób dodać skrót aplikacji do paska znajdującego się na pulpicie domyślnego systemu graficznego OpenSTLinuxa, czyli *Wayland/Weston*. Będziemy do tego potrzebować pliku binarnego aplikacji i pliku graficznego ikony. Jeżeli wcześniej uruchomiliśmy aplikację z poziomu Qt Creatora, to plik binarny znajdziemy w katalogu */opt/SwipeDemo/bin/*. Jako ikony użyjemy z kolei pliku */usr/share/weston/icon_window.png* znajdującego się w systemie plików domyślnego obrazu systemu. Teraz możemy otworzyć plik */etc/xdg/weston/weston.ini* za pomocą dowolnego edytora tekstu znajdującego się na urządzeniu, np. vi, i dodać sekcję pokazaną na **listingu 11**. Po ponownym uruchomieniu systemu, na pasku na pulpicie pojawi się nowa ikona, a po jej wciśnięciu zostanie uruchomiona nasza aplikacja.

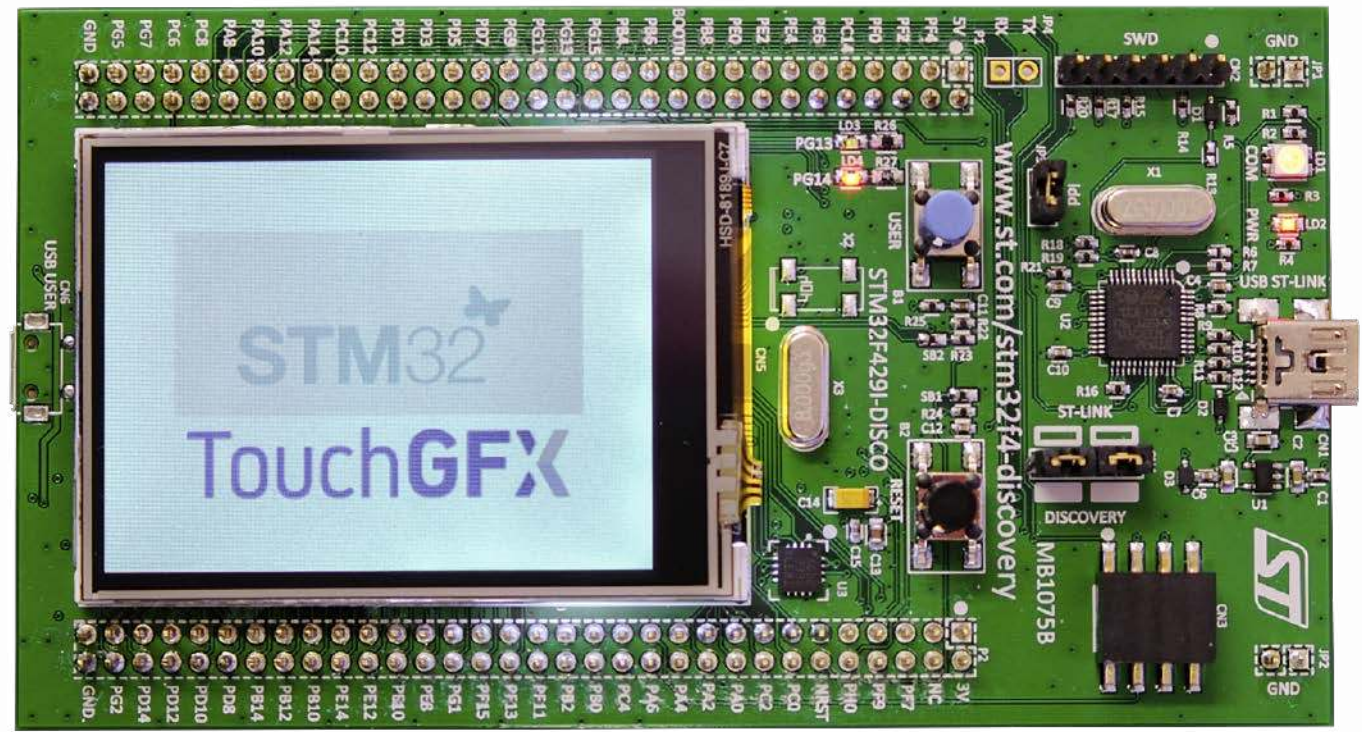
Listing 11. Sekcja w pliku *weston.ini* dodająca skrót do aplikacji na pasku pulpitu

```
[launcher]
icon=/usr/share/weston/icon_window.png
path=/opt/SwipeDemo/bin/SwipeDemo --platform wayland
```

Krzysztof Chojnowski

Chcesz czytać nasze najnowsze artykuły jeszcze przed wydrukowaniem w EP?
Zajrzyj na
www.ep.com.pl/EPwtoku

eprasa.pl ad39d4d9f3



FTP
WSZYSTKIE POPRZEDNIE ODCINKI KURSU SĄ DOSTĘPNE NA STRONIE WWW.MEDIA.AVT.PL

Projektowanie interfejsów graficznych z użyciem TouchGFX (3)

W poprzedniej części udowodniliśmy, że jeżeli mamy moduł ewaluacyjny całkowicie wspierany przez TouchGFX Designer, to w relatywnie krótkim czasie jesteśmy w stanie zaprojektować i wykonać prosty interfejs z ekranem dotykowym. Chociaż TouchGFX wykonuje za nas olbrzymią pracę, to programista musi uzupełniać wygenerowany kod o swoje procedury. Zaprezentujemy narzędzia ułatwiające tę pracę.

Pokazany wcześniej przykład jest świetną zachętą do dalszych eksperymentów. Jednak trzeba sobie zdawać sprawę, że zastosowany moduł ma zbyt małe zasoby, głównie pamięć Flash i pamięć RAM do poważniejszych zastosowań. Ponadto przyjęty sposób edycji plików w zewnętrznym edytorze nadaje się do bardzo prostych testów. Chociaż TouhGFX znaczną pracę wykonuje za nas to komplet narzędzi powinien zawierać:

- TouchGFX – do kreowania graficznego interfejsu i projektowania podstawowych interakcji wyzwalanych przez elementy graficzne ekranów interfejsów. Przykładową interakcją może być naciskanie przycisków i modyfikacja licznika opisywana w przykładzie powyżej. Kod wynikowy TouchGFX ma postać projektu dla IDE EWARM firmy IAR, MDK-ARM firmy Keil i STM32CubeIDE;
- Środowisko programistyczne IDE – w którym otworzymy wygenerowany projekt i będziemy mogli go modyfikować, kompilować i programować pamięci modułu ewaluacyjnego. Ja używałem firmowego, bezpłatnego STM32CubeIDE.
- Konfigurator STM32CubeMX – służy do konfigurowania układów peryferyjnych i middleware (na przykład FreeRTOS).

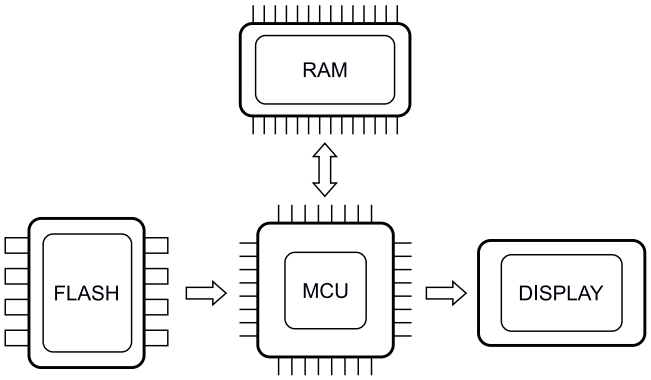
Kolejną kwestią wartą rozważenia jest podział zadań między usługami wykonywanymi przez panel operatorski HMI, a właściwymi usługami wykonywanymi przez układ wbudowany. Moduły ewaluacyjne przeznaczone do roli HMI mają stosunkowo duże zasoby: szybki mikrokontroler z dużą pamięcią wbudowaną Flash i RAM, oraz zewnętrzną pamięć Flash i RAM połączoną przez interfejs równoległy lub szybki interfejs szeregowy, z mikrokontrolerem. Wydawałoby się, że takie konfiguracje sprzętowe bez problemu poradzą sobie z większością różnych zadań. O tym czy tak jest będą decydowały z jednej strony wymagania algorytmów HMI, a z drugiej strony wymagania algorytmów układu wbudowanego.

Realizacja atrakcyjnego HMI ma duże wymagania sprzętowe. Wiadomo o tym chociażby ze świata komputerów PC. Jeżeli chcemy na nich uruchamiać skomplikowane zadania graficzne to niezbędny jest bardzo wydajny specjalizowany układ nazywany potocznie kartą graficzną. Karta graficzna musi mieć bardzo szybki wielordzeniowy procesor współpracujący z bardzo szybką, dużą pamięcią RAM. Szczególnie wymagające gry komputerowe z grafiką 3D nie będą działały płynnie bez odpowiedniej karty graficznej, ale też szybkiego wielordzeniowego procesora komputera. Taka sama sytuacja jest w smartfonach. Bardzo szybkie wielordzeniowe procesory są tam wspomagane

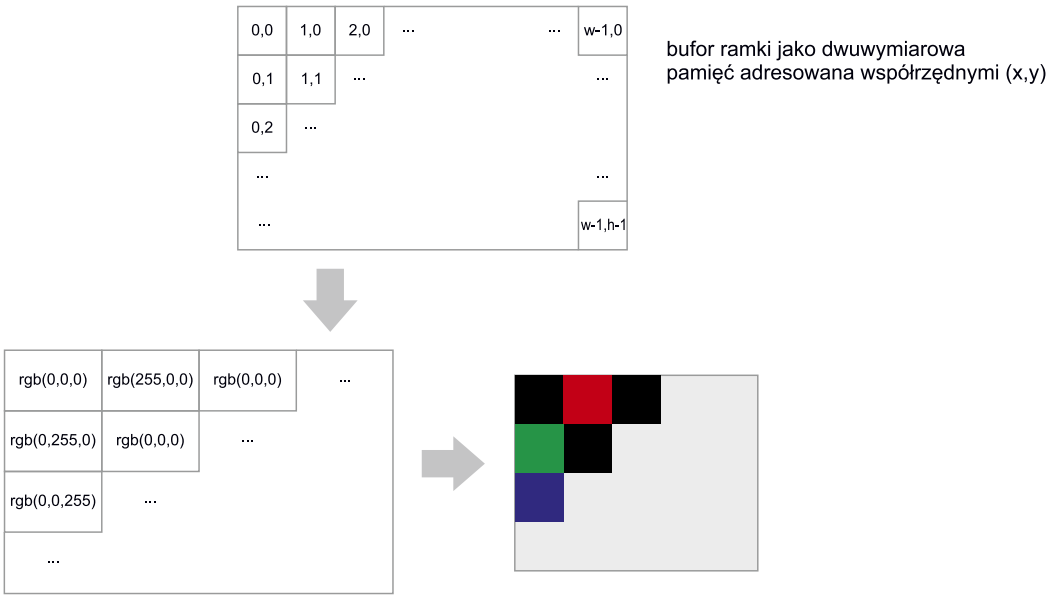
eprasa.pl ad39d4d9f3

przez specjalizowane układy graficzne. Dzięki temu, przynajmniej w telefonach z wyższej półki, działanie interfejsów graficznych HMI jest płynne mimo zaawansowanych funkcji graficznych.

Podobnie, w odpowiedniej skali będzie w naszym przypadku. Elementy animacji, zmiany dużej ilości elementów graficznych w krótkim czasie powodują, że program będzie zajmował większość czasu procesora, a w skrajnych przypadkach zajmie go całkowicie. Musimy pamiętać, że mikrokontrolery z rdzeniami Cortex lub podobnymi używane do układów wbudowanych mimo ciągłego postępu i związanej z tym coraz większej wydajności nie mogą się równać pod tym względem do mikroprocesorów wspieranych przez układy graficzne stosowanych w smartfonach. Z drugiej strony graficzne interfejsy HMI oparte o coraz bardziej rozbudowane elementy graficzne stają się powoli standardem w wielu aplikacjach wbudowanych. Dlatego w mikrokontrolery wyposażone w szybkie rdzenie i duże pamięci zaczęto wbudowywać sprzętowe akceleratory grafiki będące specjalizowanymi kanałami DMA wspomagającymi szybki transfer danych z pamięci do wyświetlacza bez zajmowania czasu procesora.



Rysunek 1. Główne elementy grafiki HMI



Rysunek 2. Idea bufora ramki

Silnik TouchGFX

Żeby można było określić jakie obciążenie procesora stanowią operacje graficzne interfejsu HMI i w konsekwencji mieć podstawę do jego prawidłowego zaprojektowania trzeba wiedzieć, przynajmniej ogólnie, jak działa silnik grafiki TouchGFX. Na **rysunku 1** zostały pokazane główne elementy potrzebne do zaimplementowania graficznego interfejsu HMI. Jednostka MCU spełnia podstawową rolę: odczytuje obrazy zapisane w pamięci Flash i po koniecznych modyfikacjach przesyła je do pamięci RAM. Musi wykonywać wiele czasochłonnych obliczeń na przykład potrzebne do wyliczania wynikowego koloru w łączeniu półprzeźroczystym dwu kolorów, czy renderowania pikseli. MCU wykonuje tez transfer danych z pamięci RAM do wyświetlacza, o ile nie ma wbudowanego akceleratora grafiki. W mikrokontrolery rodziny STM32 mogą być wbudowane układy peryferyjne znacząco wspomagające implementację interfejsów graficznych:

- LTDC – układ peryferyjny pozwalający na bezpośrednie sterownie wyświetlaczy wysokiej rozdzielczości bez udziału procesora. Może uzyskiwać autonomiczny niezależny dostęp do pamięci wewnętrznej lub zewnętrznej w celu uzyskiwania danych opisujących piksele wyświetlacza;
- Chrom ART – wyspecjalizowany układ DMA przeznaczony do obróbki obrazu. Realizuje kilka prostych, ale czasochłonnych operacji graficznych: wypełnianie bufora kolorem, kopiowanie i mieszanie obrazów, konwersja formatu pikseli itp.;
- Chrom GRC – graficzny moduł zarządzania pamięcią w celu optymalizacji użycia pamięci zgodnie z wyświetlanym kształtem. Zmniejsza użycie pamięci, bo powoduje, że są w niej przechowywane tylko widoczne piksele (w widocznej warstwie).

Pamięć RAM przechowuje bufor ramki (jeden lub więcej) zawierający wyliczony wynikowy obraz do wyświetlenia. W cyklach odświeżania bufor ramki jest przesyłany do wyświetlacza i ponownie wyliczany i zapisywany. Bufor ramki może być zależnie od potrzeb i możliwości zapisany w wewnętrznej lub zewnętrznej pamięci RAM. Zewnętrzne pamięci RAM wyposaża się w interfejsy równoległe FMC/FSMC lub szeregowe: SPI, QuadSPI, Dual QuadSPI, OctoSPI/Hyper Bus itp.

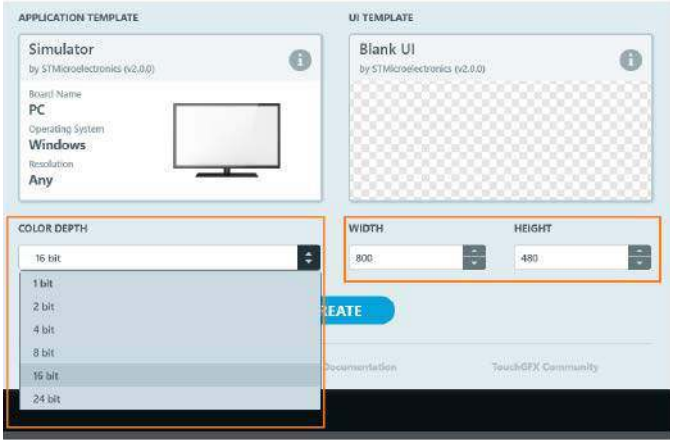
W pamięci Flash umieszczane są obrazy (bitmapy), czcionki teksty itp. Te elementy zajmują sporo miejsca i dlatego w konfiguracjach sprzętowych przeznaczonych dla aplikacji graficznych stosuje się zewnętrzne pamięci Flash. Żeby znacząco przyspieszyć działanie mapuje się pamięć Flash w pamięci RAM. Jeżeli nie jest to możliwe, to silnik grafiki może przenieść potrzebne elementy statyczne do pamięci RAM i stamtąd je odczytać.

Bufor ramki

Bufor ramki to część pamięci zawierająca kolejny obraz, który ma być pokazany na wyświetlaczu. Jego zawartość jest aktualizowana przez silnik graficzny. Zawartość bufora ramki jest po przesłaniu ostatecznie widoczna na ekranie wyświetlacza. Dlatego wygodnie jest jego zawartość adresować współrzędnymi (x, y). Na **rysunku 2** został pokazany bufor ramki adresowany współrzędnymi x, y.

Rozmiar bufora jest najczęściej identyczny z rozmiarem wyświetlacza podawanym w pikselach. Każdy z pikseli na rysunku 2 jest opisywany 24 bitową liczbą (głębią kolorów): każda składowa koloru RGB jest zakodowana na 8 bitach. W systemach graficznych istnieje ograniczona liczba możliwych kolorów, które mogą być reprezentowane, używane i wyświetlane. Dotyczy to również aplikacji TouchGFX. Liczba możliwych kolorów pikseli aplikacji ma wpływ na wyglądu

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 3. Wybór głębi bitowej i rozmiaru wyświetlacza

tego, co widać na wyświetlaczu, ale też na zużycie pamięci narzucone przez bufor ramki i ogólną wydajność interfejsu graficznego. Im większa głębia koloru tym lepiej wygląda to co wyświetlamy na ekranie pod warunkiem, że wyświetlacz potrafi to wyświetlić. Jednak większa głębia to z drugiej strony wymagana większa pojemność bufora ramki i większe obciążenie procesora w czasie obliczeń wykonywanych przez silnik grafiki.

TouchGFX ma wbudowaną obsługę następujących głębi kolorów (podawanych w bpp czyli bitów na piksel):

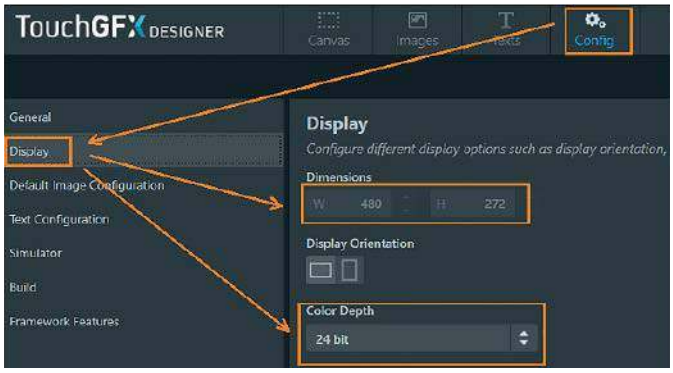
- 32 bpp – 16777216 kolorów i odpowiadające im wartości krycia
- 24 bpp – 16777216 kolorów
- 16 bpp – 65536 kolorów
- 6 bpp – 32 kolory
- 4 bpp – 16 kolorów w skali szarości
- 2 bpp – 4 kolory w skali szarości
- 1 bpp – 2 kolory w skali szarości

Głębia 32 bpp ma dodatkowy 8 bitowy składnik alfa opisujący krycie koloru. Kolory z kryciem nazywane są kolorami RGBA. Całkowicie nieprzezroczysty czarny kolor to (0,0,0,255), nieco przezroczysty czerwony to (255,0,0,128) i tak dalej.

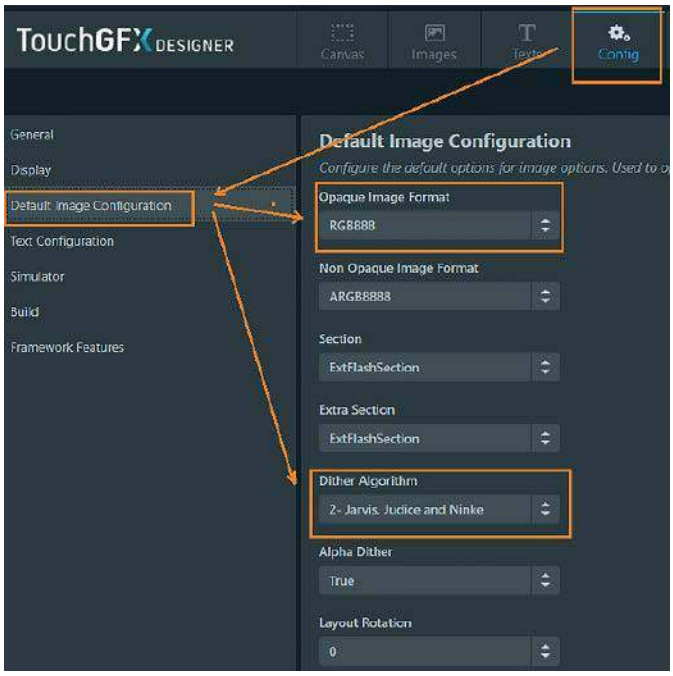
Formalnie zamiast głębi kolorów posługujemy się formatami kolorów. Format koloru oprócz całkowitej ilości bitów opisujących piksel określa też, ile bitów przypada na każdą ze składowych koloru. W TouchGFX kolor o głębi 24 bpp będzie miał format RGB888. Oznacza to, że dla każdego składnika koloru czerwonego, zielonego i niebieskiego używanych jest 8 bitów. W przypadku kolorów 16 bpp TouchGFX używa formatu kolorów RGB565. To znaczy 5 bitów dla czerwonego, 6 bitów dla zielonego, 5 bitów dla niebieskiego. Wybierając głębie koloru powinniśmy się kierować zachowaniem równowagi pomiędzy jakością wyświetlanych informacji a zużyciem pamięci. Najlepsze efekty osiągniemy przy 24 bpp (RGB888), ale być może stosując 16 bpp (RGB565) różnica w wyglądzie będzie niezauważalna a zajętość pamięci dużo mniejsza.

TouchGFX wykorzystuje tzw. *Dithering*, który jest dobrze znaną techniką powodującą, że obrazy wydają się mieć więcej kolorów niż to, co jest w rzeczywistości. Odbywa się to poprzez dodanie odrobiny szumu do kolorów obrazu. Na przykład w czasie konwersji obrazu RGB888 na obraz RGB565, zamiast usuwać najmłodsze bity każdego składnika koloru, proces konwersji dodaje trochę szumu do każdego z wynikowych kolorów. Taka operacja powoduje, że przekonwertowany obraz wygląda jak bogatszy w kolory i podobny do oryginału RGB888.

Zobaczmy teraz jak będzie wyglądało zajęcie pamięci przez bufor ramki wyświetlacza o wymiarach 480×272 pikseli przy głębi bitowej 24 bpp. Każdy piksel jest zapisany w trzech bajtach (RGB888), czyli mamy 480·272·3=391680 bajtów. Dla głębi bitowej 16 bpp, kiedy każdy piksel jest zapisany w bajtach (RGB565) będzie to 480·272·2=261120 bajtów. W bardzo wielu systemach w tym



Rysunek 4. Zakładka Display panelu Config TouchGFX Designer



Rysunek 5. Kodowanie koloru i algorytm dihteringu

w TouchGFX stosuje się 2 ramki i wtedy zajętość pamięci RAM jest dwukrotnie większa.

Na **rysunku 3** pokazano wybór głębi bitowej i rozmiaru wyświetlacza w trakcie tworzenia szablonu projektu w programie TouchGFX Designer, natomiast na **rysunku 4** została pokazana zakładka Display z wybranymi ustawieniami rozmiaru wyświetlacza i głębi koloru. Kodowanie koloru i algorytm dihteringu można ustawić w zakładce Default Image Configuration panelu Config projektu (**rysunek 5**).

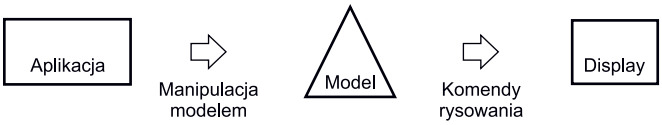
Silnik grafiki TouchGFX

Podstawowym zadaniem silnika grafiki TouchGFX jest rysowanie elementów graficznych na wyświetlaczu urządzenia wbudowanego. Silniki grafiki można podzielić na dwie główne kategorie:

- Silniki graficzne trybu natychmiastowego (*Immediate mode graphics engines*) zapewniają interfejs API, który umożliwia aplikacji bezpośrednie rysowanie elementów na wyświetlaczu. Obowiązkiem aplikacji jest zapewnienie wywołania prawidłowych operacji rysowania we właściwym czasie;
- Silniki graficzne w trybie zachowanym nazywanym też opóźnionym (*Retained mode graphics engines*) pozwalają użytkownikowi manipulować abstrakcyjnym modelem wyświetlanych komponentów. Silnik dba o przełożenie tego modelu komponentu na prawidłowe operacje rysowania grafiki we właściwych momentach.

Silnik grafiki TouchGFX działa w trybie zachowanym (**rysunek 6**). W skrócie oznacza to, że TouchGFX dostarcza model, którym użytkownik może manipulować. Wywołania klienta nie powodują bezpośrednio rzeczywistego renderowania, ale zamiast tego aktualizują

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 6. Ogólna koncepcja działania silnika grafiki w trybie zachowanym

wspomniany abstrakcyjny model wewnętrzny (zazwyczaj listę obiektów). Silnik grafiki TouchGFX następnie przejmuje translację z tego modelu na zoptymalizowany zestaw wywołań metod (komend) renderowania.

Działanie na abstrakcyjnym modelu zwalnia programistę z myślenia w kategoriach czasowo – sprzętowych i może się on wyłącznie skupić na implementacji obiektów graficznych. Zalet korzystania z trybu zachowanego jest wiele:

- Łatwość użytkowania: silnik graficzny jest łatwy w użyciu. Użytkownik adresuje konfigurację komponentów na ekranie, wywołując metody na modelu wewnętrznym i nie myśli w kategoriach rzeczywistych operacji rysowania;
- Wydajność: TouchGFX analizuje model sceny i optymalizuje wywołania rysowania potrzebne do zrealizowania modelu na ekranie. Obejmuje to celowe nie rysowanie ukrytych komponentów, rysowanie i przenoszenie tylko zmienionych części komponentów, zarządzanie buforami ramki i wiele więcej;
- Zarządzanie stanami: TouchGFX śledzi, która część modelu sceny jest aktywna. To z kolei ułatwia użytkownikowi optymalizację zawartości modelu sceny.

Wadą tego rozwiązania jest zużycie pamięci większe niż w trybie natychmiastowym.

Manipulacja modelem

Model składa się z komponentów. Każdy z komponentów w modelu ma dokładnie jeden powiązany komponent macierzysty. Sam komponent macierzysty jest również częścią modelu. Tego typu model jest powszechnie nazywany drzewem (**rysunek 7**). Komponent w tym drzewie jest nazywany jako komponent interfejsu użytkownika lub widżet. Z punktu widzenia aplikacji wyświetlane grafiki są aktualizowane poprzez konfigurowanie i manipulowanie widżetami w modelu scen.

Na **listingu 1** pokazano przykład manipulacji widżetem przycisku myButton dodawanego do modelu sceny. W trakcie tych czynności nie określamy, kiedy i w jaki sposób przycisk ma być wyświetlany. Podajemy tylko położenie i identyfikację bitmap skojarzonych ze stanem przyciśnięcia i stanem zwolnienia przycisku. Do rysowania na ekranie silnik TouchGFX wykorzystuje zestaw swoich „rysunkowych" komend API zawierający metody rysowania prymitywów graficznych, takich jak ramki, obrazy, teksty, linie, wielokąty, trójkąty teksturowane itp. Do fizycznego rysowania bitmap i prymitywów wykorzystuje się akceleratory grafiki, na przykład ChromART (jeżeli jest dostępny w mikrokontrolerze). Implementacja metod API rysowania jest specyficzna dla platformy i wysoce zoptymalizowana dla każdego konkretnego MCU.

Silnik grafiki TouchGFX – pętla główna

Działanie wielu silników gier, silników graficznych, w tym również TouchGFX, można traktować jako nieskończoną pętlę wykonującą cykle składające się z trzech podstawowych czynności:

- zbieranie zdarzeń – zbiera zdarzenia z ekranu dotykowego, naciśnięcia fizycznych przycisków, wiadomości/sygnały z systemów podrzędnych na przykład z interfejsów szeregowych,
- aktualizowanie modelu sceny – reaguje na zebrane zdarzenia, aktualizuje pozycje, animacje, kolory, obrazy,
- renderowanie modelu sceny – przerysowuje części modelu, który został zaktualizowany i wyświetla je na ekranie.

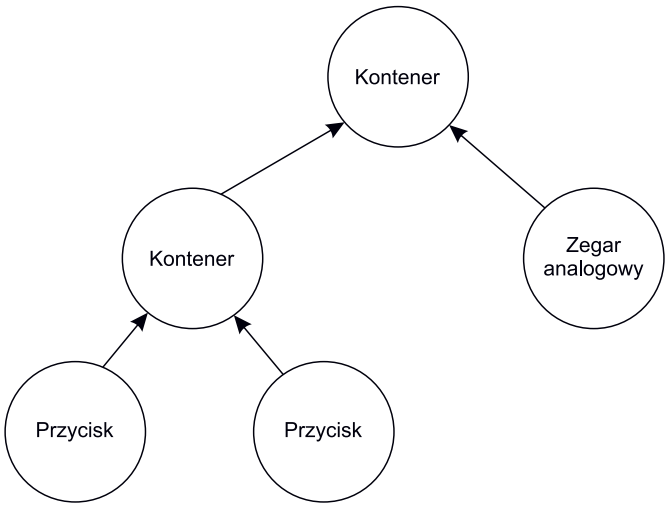
Na **rysunku 8** pokazano ogólny schemat działania silnika grafiki TouchGFX. Każda z czynności silnika jest obsługiwana przez osobną warstwę:

- Zbiór wydarzeń jest obsługiwany przez dedykowaną warstwę abstrakcji TouchGFX AL, którą musimy w potrzebnym zakresie zmodyfikować do własnych potrzeb;
- Aktualizacja modelu zależy całkowicie od warstwy aplikacji tworzonej przez programistę;
- Renderowanie grafiki do bufora ramki jest obsługiwane przez TouchGFX i generalnie nie trzeba go dostosowywać.

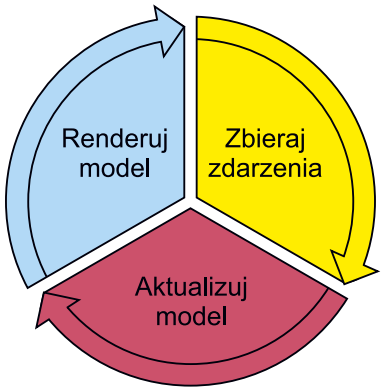
Po renderowaniu ramki zawartość bufora ramki jest przesyłana do wyświetlacza. Transfer danych musi być zsynchronizowany z układem wyświetlacza, po to by uniknąć wyświetlania zakłóceń na ekranie. Zależnie od rozwiązania wyświetlacza transfery danych muszą być wykonywane sekwencyjnie co określony minimalny interwał lub alternatywnie po otrzymaniu z układu wyświetlacza sygnału wyzwalającego możliwość transferu danych. Silniki TouchGFX czeka na taki sygnał przesyłany z warstwy abstrakcji sprzętu.

Działanie silnika TouchGFX omówimy dokładniej w kolejnej części tego cyklu.

Tomasz Jabłoński, EP



Rysunek 7. Drzewo komponentów sceny



Rysunek 8. Schemat działania silnika TouchGFX

Listing 1. Przykład manipulacji widżetem

```
myButton . setXY ( 100 , 50 );
myButton . setBitmaps ( Bitmap ( BITMAP_BUTTON_RELEASED_ID ) , Bitmap ( BITMAP_BUTTON_PRESSED_ID ) );
add ( myButton );
```


eprasa.pl ad39d4d9f3

Moduły Wi-Fi dla IoT

Internet Rzeczy (Internet of Things, IoT) przestał już być mrzonką przyszłości i narzędziem kreowania wizji nowoczesności, stosowanym przez futurystów. Dziś IoT stanowi mocno rozwinięty obszar elektroniki, obejmujący zarówno konkretne urządzenia końcowe (np. sprzęt AGD i RTV, urządzenia mobilne i ubieralne, czy też niektóre przenośne urządzenia medyczne), jak i dedykowane standardy komunikacji bezprzewodowej (takie jak coraz popularniejsze łącza LoRA oraz SigFox). W czasach zdominowanych przez urządzenia oferujące funkcjonalność opartą na transmisji danych do/z Internetu, naturalną konsekwencją rozwoju jest udostępnianie użytkownikom coraz szerszej oferty gotowych modułów radiowych. W tym artykule przyjrzymy się ofertom największych producentów modułów Wi-Fi, zaprezentujemy też interesujące przykłady wyjątkowo ciekawych rozwiązań.

Wi-Fi – schyłek czy rozkwit?

Trafnym przykładem grupy urządzeń wpisujących się doskonale w nurt IoT są wszelkiego rodzaju rozproszone sieci sensoryczne i telemetryczne. Przykładową, praktyczną realizacją takiej idei okazują się zdalnie odczytywane liczniki mediów, instalowane w domach wielorodzinnych – ta sama zasada dotyczy jednak, także wszelkich innych urządzeń telemetrycznych. Upowszechnienie systemów rozproszonych i idący w ślad za nim gwałtowny wzrost liczby punktów pomiarowych dobitnie pokazał, jak wiele przeszkód logistycznych, technologicznych i finansowych muszą pokonać twórcy takich infrastruktur – podstawowym problemem do rozwiązania był wybór standardu, w jakim liczniki mają komunikować się z bazą. Zastosowanie łącza GSM wymaga ponoszenia stałych nakładów finansowych, związanych z utrzymaniem abonamentu na karty SIM stosowane w każdym urządzeniu. Użycie autorskich połączeń bezprzewodowych w paśmie ISM, także wiązałoby się z koniecznością inwestowania w rozbudowaną infrastrukturę, co nie sprawdziłoby się w przypadku dużej liczby punktów pomiarowych. Duże nadzieje wiąże się obecnie ze wspomnianymi wcześniej łączami LoRA i SigFox, w ich przypadku konieczny jest jednak dostęp (płatny) do istniejącej infrastruktury sieciowej.

Czy w świetle zdobywających popularność, nowych standardów niskomocowej komunikacji bezprzewodowej dalekiego zasięgu można uznać, że poczciwe Wi-Fi odchodzi do lamusa? Zdecydowana większość urządzeń IoT nie wymaga przecież wysokiej przepustowości, przesyłając jedynie niewielkie ilości danych pomiarowych lub sterujących. Okazuje się, że klasyczne połączenia Wi-Fi nie tylko nie tracą na znaczeniu, ale wręcz przeciwnie, są nadal intensywnie rozwijane i, co ważne, wcale nie pozostają domeną komputerów oraz „dużych" urządzeń mobilnych. Można bez większej przesady stwierdzić, że niemal wszystkie urządzenia IoT do zastosowań konsumenckich,

eprasa.pl ad39d4d9f3

a także liczne urządzenia przemysłowe i medyczne, jeszcze przez wiele lat będą opierały swoje funkcje komunikacyjne na łączach Wi-Fi. Co zatem przemawia za stosowaniem sieci WLAN w urządzeniach „niekomputerowych"?

1. **Kompatybilność** – urządzenia IoT wyposażone w moduły Wi-Fi mogą bez przeszkód komunikować się z istniejącymi sieciami, dostępnymi zarówno w domach prywatnych, jak i hotelach, miejscach użyteczności publicznej oraz przedsiębiorstwach;
2. **Duża szybkość transmisji** – wszystkie moduły Wi-Fi oferują znacznie wyższe prędkości transferu danych, niż ma to miejsce w przypadku nowoczesnych standardów dedykowanych dla IoT (np. LoRA). Co więcej, rośnie liczba modułów obsługujących superszybkie łącza Wi-Fi dual-band, które oprócz „klasycznej" częstotliwości nośnej 2,4 GHz mogą z powodzeniem pracować także w znacznie szybszym standardzie 5 GHz;
3. **Brak dodatkowych opłat licencyjnych/abonamentowych** – dostęp do dowolnej sieci Wi-Fi pozwala na łączenie z zewnętrznymi serwerami aplikacyjnymi bez konieczności ponoszenia dodatkowych kosztów, jak ma to miejsce w przypadku infrastruktur utrzymywanych przez operatorów – dotyczy to zarówno sieci GSM, jak i LoRA czy SigFox;
4. **Wysoki poziom bezpieczeństwa** – niemal wszystkie dostępne obecnie na rynku moduły Wi-Fi obsługują zaawansowane protokoły transmisji i funkcje zabezpieczeń, co zapewnia możliwość bezpiecznej transmisji danych przy minimalizacji ryzyka uzyskania dostępu do danych przez osoby niepowołane;
5. **Łatwość implementacji na poziomie hardware/firmware** – moduły Wi-Fi są projektowane w sposób maksymalnie ułatwiający konstruktorom urządzeń końcowych implementację produktu zarówno na poziomie projektu PCB, jak i oprogramowania wbudowanego;
6. **Szeroka oferta modułów** – gotowe transceivery radiowe kompatybilne z międzynarodowymi standardami Wi-Fi oferowane są przez wielu producentów, którzy nierzadko posiadają wieloletnie doświadczenie i zaplecze badawczo-rozwojowe oraz produkcyjne w zakresie produkcji elementarnych komponentów pasywnych (tak, jak w przypadku firmy Murata) bądź układów scalonych (Silicon Laboratories, Espressif, Intel czy też Microchip), co zwiększa ich konkurencyjność i stabilność produkcji, w pewnym stopniu uniezależnia też od zewnętrznych dostaw. Sytuacja taka jest korzystna dla końcowych odbiorców, którzy mogą polegać na dostawach modułów w znacznie większym stopniu, niż ma to miejsce w przypadku niektórych niskobudżetowych linii produktów, znikających z rynku w niedługim czasie od premiery.

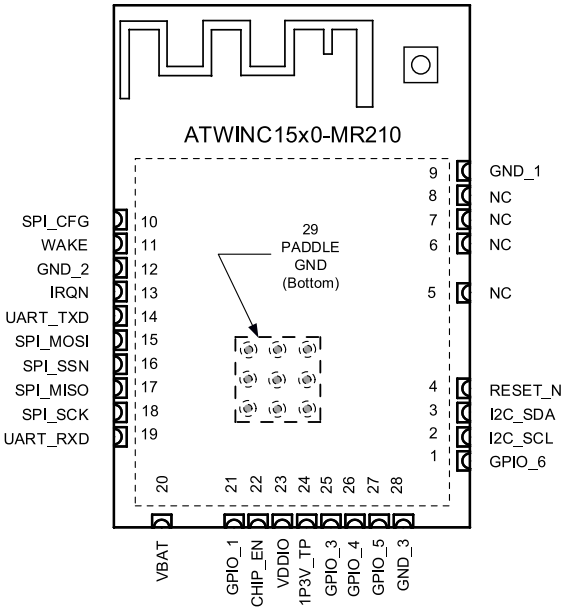
Moduły Wi-Fi – technologie montażu

Wśród obecnych na rynku modułów Wi-Fi można wyodrębnić cztery grupy, różniące się rodzajem konstrukcji i sposobem montażu na płycie drukowanej docelowego urządzenia (w artykule celowo pomijamy moduły Wi-Fi w postaci gotowych urządzeń, stosowane powszechnie m.in. w automatyce przemysłowej i telemetrii).

Moduły płytkowe z padami krawędziowymi

Najobszerniejsza grupa rozwiązań, zapewniająca najlepszy możliwy balans pomiędzy rozmiarami i ceną modułu a łatwością montażu na płytach PCB o małej i średniej gęstości upakowania elementów. Pady lutownicze są wykonane w postaci półokrągłych, metalizowanych otworów, co zapewnia dobre warunki adhezji dla cyny i jednocześnie ułatwia montaż ręczny (na marginesie warto dodać, że wiele modułów tego typu posiada też dodatkowe pady masy, umieszczone na spodniej stronie i możliwe do wlutowania jedynie w procesie rozpływowym). Przykładem tego typu modułu jest ATWINC15x-0-MR210xB firmy Microchip (**fotografia 1**, **rysunek 1**), dostępny w czterech wersjach różniących się rozmiarem pamięci Flash,

Fotografia 1. Wyglad modułu z serii ATWINC15x0-MR210xB (https://bit.ly/3dPPLeP)



Rysunek 1. Rozmieszczenie padów montażowych modułu ATWINC15x0-MR210xB

sposobem wyprowadzenia linii antenowej (złącze u.FL bądź antena mikropaskowa) oraz zakresem zapewnianej przez producenta certyfikacji. Większość wyższej klasy modułów posiada fabrycznie wbudowaną, niskoprofilową pokrywę ekranującą, zapewniającą niezbędne ekranowanie części cyfrowej (mikrokontroler, pamięć, układy taktowania) oraz radiowej.

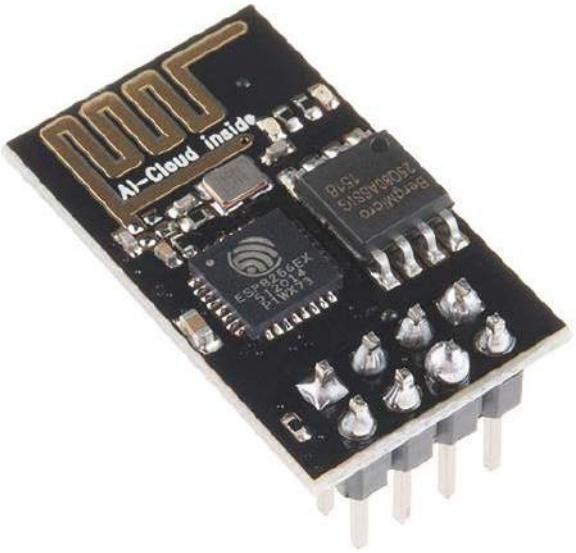
Moduły płytkowe z padami i złączami THT

Ta klasa modułów jest najczęściej wybierana przez amatorów oraz inżynierów pracujących nad prototypem urządzenia, a to z uwagi na niebywałą wprost łatwość podłączenia za pomocą standardowych złącz goldpin i przewodów z wtykami typu BLS. Pierwszymi modułami tego typu, które zdobyły niesłabnącą do dziś popularność w szerokich kręgach elektroników, były niedrogie płytki oparte na układzie ESP8266 firmy Espressif – proste podłączenie w postaci złącza goldpin 2×4 (raster 2,54 mm), zapewniającego dostęp do linii zasilania, RESET oraz TX i RX interfejsu UART, doczekało się nawet slotów zaprojektowanych specjalnie dla ESP8266 w konwerterach USB-UART oraz modułach rozszerzeń. Przykładowy moduł z opisywanej serii został pokazany na **fotografii 2**.

Moduły płytkowe z padami powierzchniowymi

Kolejna grupa modułów o konstrukcji opartej na niewielkiej PCB. Od pierwszej z opisanych grup różni się rodzajem padów – w tym

eprasa.pl ad39d4d9f3



Fotografia 2. Moduł Wi-Fi z układem ESP8266EX – przykład modułu płytkowego ze złączem goldpin 2,54 mm (https://bit.ly/3eqrWcC)

przypadku wszystkie pola lutownicze znajdują się na spodniej stronie płytki, nie zaś na jej krawędziach. Z tego względu nie jest możliwy ręczny montaż za pomocą kolby lutowniczej, zalecane jest zastosowanie procesu lutowania rozpływowego, najlepiej z użyciem automatycznie sterowanego pieca z odpowiednio ustawionym profilem termicznym (choć przy odpowiednim poziomie wprawy możliwe jest użycie ręcznej stacji typu hot-air lub IR). Niewielki rozstaw padów wymusza stosowanie wyższej klasy obwodu drukowanego, zwykle minimum 4-warstwowego, co odpłaca się znaczną (zwykle 2..3-krotną) redukcją powierzchni PCB, zajmowanej przez moduł (w porównaniu do płytek z padami krawędziowymi). Do klasycznych przykładów tego typu rozwiązań należą produkty znanej marki u-blox, np. moduły Wi-Fi z rodziny NINA-W13 (**fotografia 3**).

Moduły w obudowach typu SiP

Najbardziej wymagające pod względem zastosowanego procesu technologicznego moduły Wi-Fi dostępne obecnie na rynku umieszczone są w obudowach nie odróżniających się na pierwszy rzut oka od monolitycznych układów SMD. Ta klasa produktów należy do rozwiązań typu SiP (System-in-Package). Wewnątrz niewielkiej puszki z wysokotemperaturowego tworzywa znajdują się jednak, oprócz układu ASIC, pełniącego rolę kontrolera cyfrowego oraz front-endu RF, także niezbędne elementy pasywne toru radiowego, a nawet… mikroskopijna antena i oscylator kwarcowy. Przykładem może być subminiaturowy (zaledwie 6,5×6,5×1,3 mm!) moduł Wi-Fi marki Silicon Labs o oznaczeniu WFM200S. Jego wielkość dobrze obrazuje **fotografia 4**, pokazująca płytkę uruchomieniową z zamontowanym modułem.

Fotografia 3. Moduł Wi-Fi z serii NINA-W13 w obudowie do montażu SMT z padami powierzchniowymi (https://bit.ly/2QuqApj)

Fotografia 4. Widok modułu Wi-Fi klasy SiP typu WFM200S zamontowany na płytce uruchomieniowej (https://bit.ly/3nlhWW5)

Technologie antenowe w modułach Wi-Fi

Podobnie, jak w przypadku ogólnej konstrukcji i sposobu montażu modułów radiowych przeznaczonych do aplikacji IoT, także w przypadku samej anteny, elementu kluczowego dla bilansu łącza, dostępne są bardzo zróżnicowane rozwiązania:

- **Anteny mikropaskowe** to zdecydowanie najpopularniejsza odmiana anten we współczesnej technice mikrofalowej. Konstrukcja anteny mikropaskowej – jakkolwiek niebanalna pod względem projektowym – sprawia, że element ten jest niezwykle prosty i tani w produkcji, a także (co również ważne) efektywny pod względem zysku i kierunkowości. Antena typu *microstrip* to nic innego, jak odpowiednio uformowana ścieżka na odsłoniętym z miedzi brzegu płytki drukowanej. Jak to zwykle bywa, diabeł tkwi w szczegółach – kluczowe znaczenie mają nie tylko kształt i wymiary zastosowanego meandra, ale także rodzaj, jakość i grubość podłoża. Odpowiednio zaprojektowana antena mikropaskowa to klucz do sukcesu, ale wiele zależy także od implementacji w docelowym urządzeniu – moduł powinien być zamontowany zgodnie z wytycznymi producenta pod względem zachowania niezbędnych odstępów i/lub wycięć w laminacie PCB, na której zamontowany jest moduł. Spełnienie wymogów noty aplikacyjnej pozwala nie tylko maksymalnie wykorzystać możliwości modułu Wi-Fi, ale także zapewnić zgodność z warunkami testów, jakim poddany był moduł podczas procesu uzyskiwania przez producenta certyfikatów zgodności z normami radiowymi/EMC. Przykłady modułów z antenami mikropaskowymi zostały pokazane już wcześniej na fotografiach 1 i 2.
- **Anteny SMD** takie, jak zastosowana w module z **fotografii 5**, stanowią alternatywę dla wersji mikropaskowych. Różnią się od swoich „ścieżkowych" odmian zarówno zyskiem, jak i charakterystyką kierunkowości, choć w większości przypadków pozwalają także nieco zmniejszyć wymiary zewnętrzne płytki

Fotografia 5. Moduł ESP-07 jako przykład produktu wyposażonego w antenę SMD oraz gniazdo u.FL (widoczne dwufunkcyjne pady lutownicze, zarówno wspierające montaż SMT, jak i zapewniające możliwość wlutowania goldpinów w rastrze 2 mm)

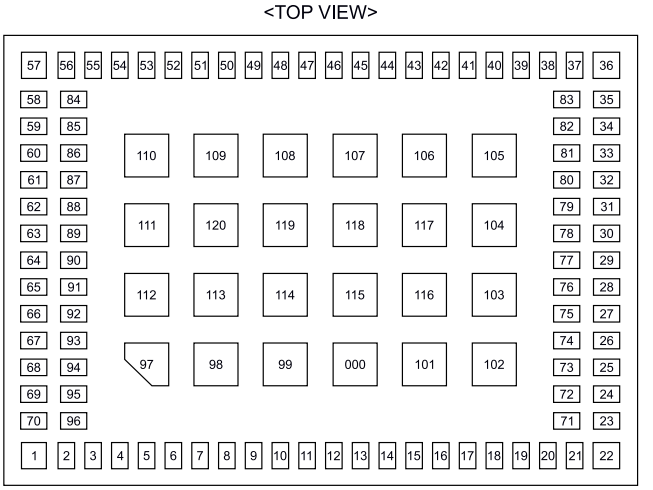
eprasa.pl ad39d4d9f3

Fotografia 6. Moduł Wi-Fi z serii NINA-W13 w wersji z anteną blaszkową typu PIFA (https://bit.ly/2QuqApj)

samego modułu (w porównaniu do wersji tego samego produktu, wyposażonych w anteny mikropaskowe).

- **Anteny blaszkowe typu PIFA** (planar inverted-F antenna) są znane przede wszystkim z markowych modułów firmy u-blox, w tym wspomnianej wcześniej serii NINA-W13 (a dokładniej modelu NINA-W132 – **fotografia 6**). Zaletą anteny PIFA są niewielkie wymiary, co przekłada się na kompaktową formę całego modułu.
- **Gniazda antenowe** – wiele modułów występuje w wersjach bez wbudowanej anteny, za to z zamontowanym fabrycznie, miniaturowym gniazdem koncentrycznym typu u.FL. Rozwiązanie takie jest stosowane wszędzie tam, gdzie wymagania aplikacji uniemożliwiają lub wysoce utrudniają użycie wewnętrznej anteny – najlepszym przykładem mogą być urządzenia montowane w metalowych obudowach. Szeroka oferta dostępnych na rynku anten zewnętrznych z przewodem zakończonym wtykiem u.FL umożliwia niemal swobodny dobór odpowiedniego komponentu. W wielu przypadkach konstrukcja modułu Wi-Fi umożliwia skorzystanie z anteny wbudowanej lub zewnętrznej, podłączonej przewodem koncentrycznym – przykładem takiego hybrydowego rozwiązania jest pokazany na fotografii 5 moduł ESP-07.
- **Linie antenowe wyprowadzone na pady lutownicze** – liczne moduły Wi-Fi (i nie tylko) występują w wersji, umożliwiającej podłączenie zewnętrznej anteny za pośrednictwem jednego z padów lutowniczych. Rozwiązanie takie znakomicie ułatwia wygodne wyprowadzenie dowolnego złącza (zwykle u.FL lub SMA) w dogodnym miejscu PCB (np. na krawędzi, współpracującej mechanicznie z tylnym panelem urządzenia). Podczas prowadzenia ścieżki RF w projekcie PCB należy jednak pamiętać o wszystkich podstawowych zasadach projektowania, stosowanych do obwodów dla szybkich sygnałów – konieczna jest ścisła kontrola impedancji na całym przebiegu ścieżki, zapewnienie odpowiedniego ekranowania, sposobu zmiany kierunku biegu ścieżki, itd.

Fotografia 7. Wygląd zewnętrzy modułu Murata 1YM



Rysunek 2. Rozmieszczenie padów lutowniczych modułu 1YM produkcji Murata z zaznaczonymi wyprowadzeniami 59 i 69 służącymi do podłączenia dwóch zewnętrznych anten wspieranych przez system 2×2 MIMO

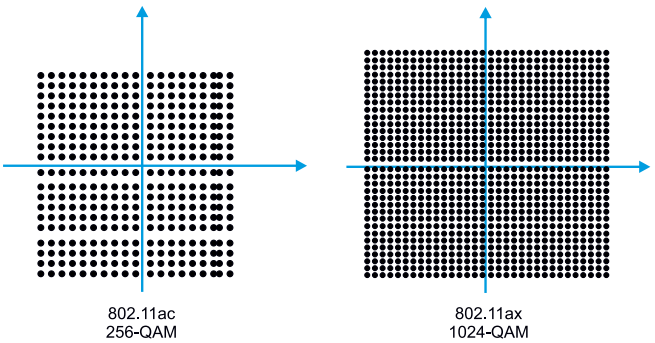
Przykładem może być pokazany na **fotografii 7** moduł z serii 1YM marki Murata. Dwa wyprowadzenia o numerach 59 i 69 (**rysunek 2**) pozwalają na podłączenie zewnętrznych anten, obsługiwanych jednocześnie dzięki funkcjonalności 2×2 MIMO (multi input, multi output).

802.11n/ac/ax, czyli o standardach sieci WLAN

Przeglądając oferty producentów nowoczesnych modułów Wi-Fi można natknąć się na istne morze oznaczeń i standardów. Warto wiedzieć, że wprowadzane sukcesywnie generacje Wi-Fi oferują nie tylko coraz szersze pasmo częstotliwości, ale także korzystają z coraz bardziej zaawansowanych trybów transmisji danych, już na poziomie samej modulacji. W **tabeli 1** pokazano zestawienie trzech wiodących generacji Wi-Fi, wraz ze wskazaniem zakresów osiągalnych (teoretycznie) przepustowości. Zastosowanie coraz to bardziej rozbudowanych schematów kwadraturowej modulacji amplitudowo-fazowej QAM (**rysunek 3**) umożliwia znacznie gęstsze upakowanie danych poprzez podział na symbole o wyższej liczbie reprezentowanych

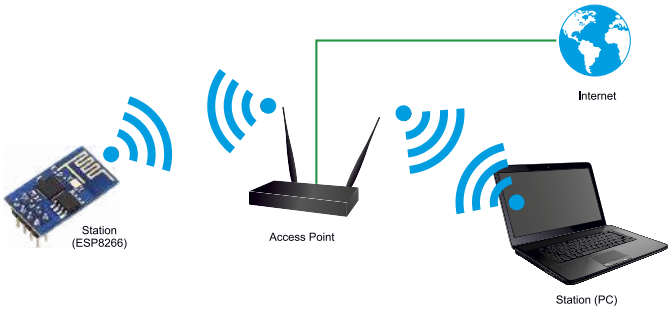
Tabela 1. Porównanie nowszych standardów IEEE w zakresie komunikacji Wi-Fi

Standard IEEE	Częstotliwość nośna	Maksymalna przepustowość danych [Mbps]	Modulacja	Rok wprowadzenia standardu
Wi-Fi 6 (802.11ax)	2,4/5 GHz	600...9608	1024-QAM	2019
Wi-Fi 5 (802.11ac)	5 GHz	433...6933	256-QAM	2014
Wi-Fi 4 (802.11n)	2,4/5 GHz	72...600	64-QAM	2009

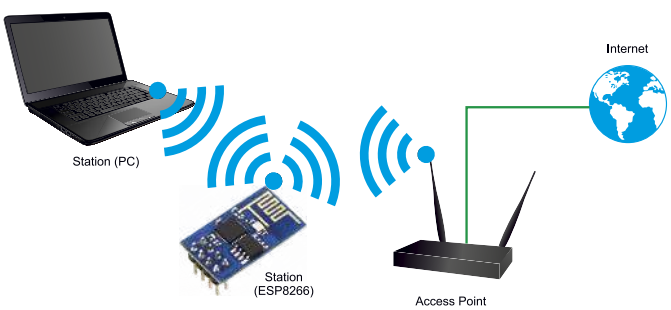


Rysunek 3. Porównanie diagramów konstelacji dla modulacji 256-QAM I 1024-QAM

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 4. Schemat przykładowej aplikacji modułu Wi-Fi w trybie STA



Rysunek 6. Schemat przykładowej aplikacji modułu Wi-Fi w trybie STA+AP

przez nie bitów – w ciągu zaledwie 10 lat pojedynczy symbol z 6 bitów (dla modulacji QAM-64) przeszedł do 10 bitów (QAM-1024), co samo w sobie oznacza aż 16-krotny wzrost gęstości danych w strumieniu, a należy pamiętać, że zmiana rodzaju modulacji to niejedyna droga do zwiększania prędkości przepływu danych w sieci Wi-Fi.

W zdecydowanej większości popularnych modułów Wi-Fi dostępne będą jednak nie najnowsze, superszybkie wersje standardu 802.11 (ac/ax), ale starsze, wolniejsze protokoły IEEE 802.11b/g, oferujące transfer maksymalny na poziomie (odpowiednio) 11 Mbps oraz 54 Mbps. Często spotykaną kombinacją jest 802.11b/g/n, zapewniająca w zupełności wystarczającą szybkość transferu danych dla niemal wszystkich klasycznych zastosowań IoT.

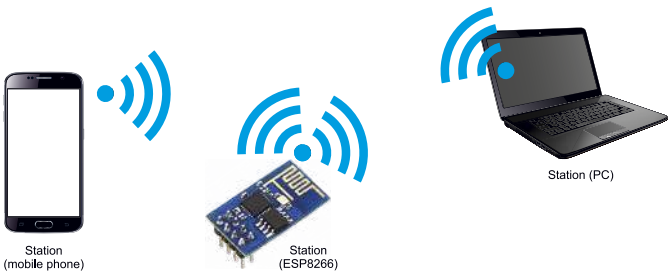
Tryby pracy modułów Wi-Fi

Kolejnym istotnym aspektem, na jaki należy zwrócić uwagę podczas wyboru modułu Wi-Fi dla aplikacji IoT, jest dostępność podstawowych trybów pracy:

- STA,
- AP (SoftAP),
- STA + AP.

W trybie STA (station) moduł może łączyć się z istniejącą siecią Wi-Fi, tworzoną przez router bądź inny punkt dostępowy (**rysunek 4**). Moduł jest widziany przez sieć jako jedno z urządzeń końcowych, po włączeniu zasilania konieczne okazuje się zatem programowe skonfigurowanie parametrów dostępu (SSID, hasło sieci zewnętrznej) oraz odczekanie na przydzielenie adresu IP (moduły obsługują protokół DHCP, jednak zwykle możliwe jest też ustawienie stałego adresu). Ten tryb pracy jest zdecydowanie najczęściej wykorzystywany w klasycznych aplikacjach IoT, w których raz skonfigurowany moduł może dowolnie często łączyć się z serwerem aplikacyjnym w celu transmisji danych pomiarowych i odbioru komend sterujących lub informacji zwrotnych.

Tryb AP (często nazywany też SoftAP) pozwala na utworzenie przez moduł nowej sieci o zadanym SSID i haśle dostępowym (**rysunek 5**). Moduł pełni zatem rolę pełnoprawnego punktu dostępowego, do którego mogą być podłączone zewnętrzne urządzenia (stacje) – np. komputery i urządzenia mobilne. Oczywistym ograniczeniem jest liczba stacji podłączonych jednocześnie do access pointa – przykładowo, dla popularnych modułów z serii ESP32 liczba ta nie przekracza 8 urządzeń. Do cennych zastosowań trybu AP należy wstępna konfiguracja



Rysunek 5. Schemat przykładowej aplikacji modułu Wi-Fi w trybie AP

fabrycznie nowego urządzenia w miejscu instalacji, gdy prosty, sprzętowy interfejs użytkownika nie pozwala na wygodne wpisanie danych dostępowych do zewnętrznej sieci.

Tryb STA+AP umożliwia pracę modułu w sieciach typu mesh, w których każde urządzenie (węzeł) jest jednocześnie stacją i punktem dostępowym dla kolejnych urządzeń (**rysunek 6**). Tryb ten stosuje się rzadziej, daje on jednak sporą elastyczność w bardziej zaawansowanych aplikacjach, np. rozproszonych sieciach czujników czy też automatyce budynkowej.

Protokoły sieciowe

Kolejnym aspektem o pierwszorzędnym znaczeniu dla projektantów i programistów urządzeń IoT jest wsparcie, jakie moduły Wi-Fi zapewniają dla najważniejszych protokołów sieciowych. Sama transmisja danych do/z Internetu to jeszcze zbyt mało – dopiero opakowanie danych aplikacyjnych odpowiednimi nagłówkami i ramkami pozwala na pełne wykorzystanie możliwości tych niewielkich płytek.

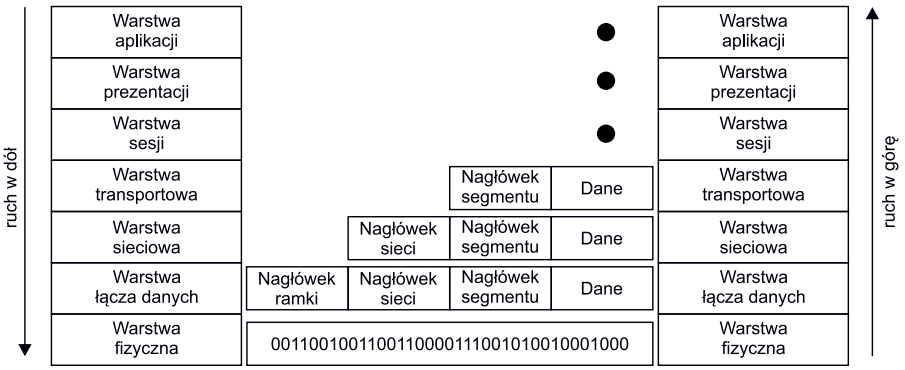
Protokoły warstwy aplikacyjnej

Istotną zaletą praktycznie wszystkich dostępnych na rynku modułów Wi-Fi jest silne wsparcie dla protokołów najwyższej warstwy modelu OSI – warstwy aplikacyjnej (**rysunek 7**). Oznacza to, że użytkownik nie musi martwić się o samodzielną implementację niuansów protokołu w oprogramowaniu wbudowanym, bowiem może ograniczyć się do użycia gotowych funkcji, za pomocą których przekaże tylko potrzebne dane (np. wyniki pomiarów, komunikaty bądź komendy sterujące, oczywiście wraz z nazwą domeny, adresem IP czy numerem portu) do modułu i odbierze z niego informacje zwrotne, otrzymane od serwera (bądź klienta, w zależności od aktualnego trybu pracy modułu).

- **HTTP** – podstawowy, choć niezabezpieczony w swojej podstawowej postaci, protokół transmisji plików hipertekstowych (głównie HTML), stosowany przede wszystkim (choć nie tylko) do obsługi ruchu pomiędzy klientami, a serwerami stron WWW.
- **HTTPS** – rozszerzenie protokołu HTTP, wykorzystujące szyfrowanie protokołem TLS (wcześniej SSL) w celu zabezpieczenia prywatności i integralności danych, przesyłanych dwukierunkowo pomiędzy serwerem, a klientem. Istotną zaletą wykorzystania TLS jest też możliwość uwierzytelnienia serwera, co ma ogromne znacznie w aplikacjach wymagających wysokiego poziomu bezpieczeństwa. Niektóre serwery WWW domyślnie wykorzystują protokół HTTPS do obsługi całego ruchu sieciowego kierowanego do/z serwera, nawet w przypadkach, które nie wymagają tego z punktu widzenia bezpieczeństwa danych.
- **FTP** – protokół dwukierunkowej transmisji plików pomiędzy serwerem plików, a klientem; w zastosowaniach IoT wykorzystywany m.in. do szybkiego składowania danych multimedialnych (obrazów i nagrań wideo) z kamer IP. Transfer plików jest też możliwy z użyciem protokołu SFTP, tj. poprzez połączenie SSH, wykorzystywane powszechnie w systemach linuksowych jako kanał dostępu administracyjnego (nie należy mylić SFTP z protokołem FTPS, będącym zabezpieczoną za pomocą TLS/SSL wersją klasycznego FTP).

eprasa.pl ad39d4d9f3

- **POP3** – protokół wykorzystywany do odbioru wiadomości e-mail z serwerów pocztowych. Ograniczeniem, które skłoniło wielu dostawców usług pocztowych do odejścia od POP3, jest m.in. możliwość podłączenia tylko jednego klienta w danym momencie.
- **IMAP** – nowszy, elastyczniejszy, ale także bardziej złożony technologicznie protokół odbioru wiadomości e-mail, stosowany powszechnie m.in. przez serwery poczty Gmail. Eliminuje wiele niedogodności, z jakimi zmagali się twórcy aplikacji opartych na POP3.
- **SMTP** – protokół stosowany do wysyłania wiadomości e-mail, a dokładniej rzecz ujmując – komunikacji z zewnętrznym serwerem poczty wychodzącej. SMTP jest chętnie stosowany przez twórców urządzeń IoT do wysyłania automatycznych powiadomień e-mail o zdarzeniach alarmowych (np. w systemach zabezpieczeń) czy też okresowych raportów z pracy urządzenia.
- **DHCP** – protokół umożliwiający dynamiczne przydzielanie adresów IP nowym klientom, przyłączającym się do sieci lokalnej; jest to podstawowe narzędzie zarządzania połączeniami lokalnymi, wspierane przez niemal każde współczesne urządzenie sieciowe.
- **DNS** – zdecentralizowany (rozproszony) system nazw sieciowych, pozwalający na uzyskiwanie adresów IP według zapytań domenowych. Zastosowanie DNS jest jednak koniecznie nie tylko w przypadku uzyskiwania dostępu do serwerów WWW poprzez adresy wpisywane przez użytkowników Internetu w przeglądarkach sieciowych. W powiązaniu z dynamicznymi systemami nazw domenowych (DDNS), użycie domen umożliwia odszukiwanie hostów, do których nie zostały przydzielone stałe adresy globalne (publiczne), co ma duże znaczenie dla wielu systemów IoT.



Rysunek 7. Schemat modelu OSI

Protokoły niższych warstw OSI

Wiedząc, że nowoczesne moduły Wi-Fi obsługują protokoły najwyższej warstwy modelu OSI, nietrudno dojść do wniosku, że powinny doskonale radzić sobie z protokołami położonymi niżej w hierarchii modelu warstwowego. Choć w większości aplikacji przydatne okażą się tak zaawansowane funkcje, jak wysyłka zapytań czy generowanie odpowiedzi HTTP(S) bądź FTP, warto pamiętać, że bezpośrednia obsługa niskopoziomowych protokołów może oddać nieocenione zasługi w wielu bardziej złożonych zastosowaniach. Co ważne, moduły Wi-Fi dostępne obecnie na rynku posiadają osobne komendy do obsługi tych protokołów.

- **TCP** (*Transmission Control Protocol*) – najpowszechniejszy w Internecie protokół warstwy transportowej, na którym opiera się większość implementacji HTTP i innych protokołów najwyższego poziomu. Stąd też najczęściej mówi się o TCP/IP w celu podkreślenia niemal nieodłącznego powiązania TCP z protokołem internetowym (IP), należącym już jednak do warstwy sieciowej. Ogromną zaletą TCP jest wysoka niezawodność, wynikająca z m. in. konieczności potwierdzeń odbioru przesyłanych pakietów oraz pełnego wsparcia dla ponawiania uszkodzonych/zagubionych pakietów (detekcja błędów).
- **UDP** (*User Datagram Protocol*) – znacznie prostszy i w związku z tym, także bardziej zawodny protokół, którego konstrukcja nie gwarantuje prawidłowego dostarczenia pakietów danych do odbiorcy. Za cenę niższej odporności na błędy użytkownik zyskuje jednak znacznie wyższą przepustowość, związaną z mniejszym narzutem transmisyjnym niż w przypadku TCP. Stąd też protokół UDP dobrze sprawdza się w strumieniowaniu danych, które – jeśli dotrą do odbiorcy z okazjonalnymi uszkodzeniami – nie będą stanowiły istotnej przeszkody funkcjonalnej (np. strumieniowanie dźwięku).

Moduły Wi-Fi w ofercie czołowych producentów na rynku IoT

Uzbrojeni w podstawowe informacje o stosowanych w modułach Wi-Fi technologiach możemy przejść do skrótowego zaprezentowania oferty największych producentów modułów radiowych dla IoT. Zwracamy przy tym uwagę Czytelników na fakt, że w żadnym wypadku nie jest to lista wyczerpująca, wszak w dobie rozwoju IoT stale pojawiają się na rynku nowi gracze, którzy oferują kolejne wersje modułów o zróżnicowanych parametrach i funkcjonalnościach.

Espressif

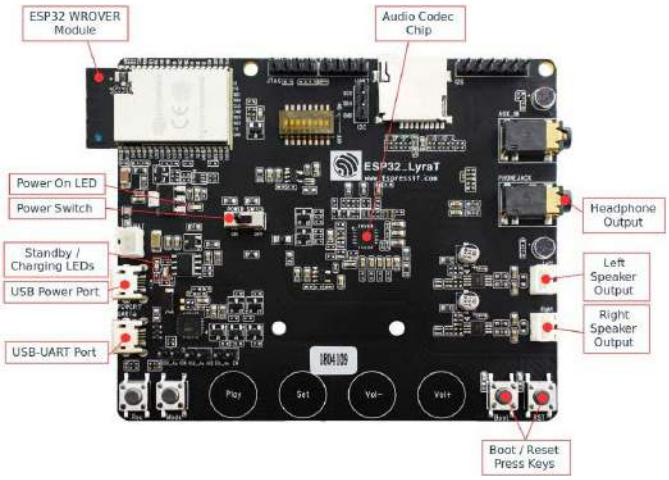
Marka założona w 2008 roku w Szanghaju, obecnie posiadająca swoje przedstawicielstwa także w Singapurze, Indiach, Brazylii i Czechach. Ogromna popularność firmy wynika z komercyjnego sukcesu na niespotykaną wcześniej skalę, jaki osiągnął opracowany przez firmę układ ESP8266. Na bazie układu ASIC, łączącego AFE radiowe obsługujące protokoły 802.11 b/g/n i wyposażonego w 32-bitowy procesor Tensilica L106 o taktowaniu maksymalnym 160 MHz, powstała obszerna seria modułów, produkowanych zarówno przez samego producenta, jak i markę AI-Thinker. Obecnie producent oferuje dwa moduły w wersjach różniących się rodzajem anteny: ESP-WROOM-02D (**rysunek 8**) z anteną mikropaskową oraz ESP-WROOM-02U z gniazdem u.FL – obydwa bazują na nowej wersji układu, oznaczonej ESP8266EX.

Rysunek 8. Wygląd modułu Espressif ESP-WROOM-02D

Najbardziej rozwiniętą serią produktów Espressif jest linia ESP32, korzystająca z pojedynczego lub podwójnego, 32-bitowego procesora Xtensa LX6 o taktowaniu od 80 do 240 MHz. Sztandarowy produkt z tej serii, moduł ESP32-WROVER-E oferuje nie tylko łączność Wi-Fi 802.11b/g/n (do 150 Mbps), ale także Bluetooth 4.2 i BLE. Płytka zawiera 4 MB pamięci Flash i 8 MB pamięci PSRAM, a co ciekawe, na pokładzie modułu znalazł się nawet... czujnik Halla. Podobnie, jak wiele innych współczesnych modułów Wi-Fi, także ten produkt oferuje dostęp do programowalnych linii GPIO, interfejsów UART, SPI, I²C, SDIO oraz I²S i TWAI, a nawet przetworników ADC/DAC, wyjść PWM oraz kanałów pojemnościowego kontrolera dotykowego. Co ważne, moduł silnie wspiera obsługę cyfrowego audio, co jest manifestowane w dostępności specjalnie do tego celu przeznaczonych zestawów ewaluacyjnych z serii LyraT (**fotografia 8**).

Do aplikacji IoT doskonale nadają się także moduły z serii ESP32-S2, zoptymalizowane pod kątem aplikacji niskomocowych i oferujące

eprasa.pl ad39d4d9f3



Fotografia 8. Wygląd zestawu ewaluacyjnego audio LyraT V4.3, bazującego na module ESP32 WROVER (https://bit.ly/3aBPtWM)

szereg funkcji bezpieczeństwa (eFUSE, szyfrowanie pamięci Flash, secure boot czy też wsparcie dla algorytmów AES, SHA i RSA). Zdecydowanie najciekawszym członkiem tej linii produktów jest moduł ESP32-S2-MINI-1U o wymiarach zaledwie 15,4×15,4×2,4 mm (**rysunek 9**). Najnowsza rodzina modułów marki Espressif – ESP32-C3, wspiera (oprócz Wi-Fi 2,4 GHz) także Bluetooth w wersji LE 5.0. Ponadto oferuje zaawansowane funkcje bezpieczeństwa, w tym secure boot bazujący na kluczu RSA-3072 oraz szyfrowanie blokowe pamięci Flash algorytmem AES-128-XTS. W momencie publikacji niniejszego artykułu na rynku dostępne są dwa produkty z serii C3: 53-pinowy moduł RSP32-C3-MINI-1 oraz 19-pinowy ESP32-C3-WROOM-02.

Rysunek 9. Moduł ESP32-S2-MINI-1U marki Espressif

u-blox

Marka powstała w 1997 roku jako spin-off Swiss Federal Institute of Technology w Zurychu i rozpoczęła swoją działalność od projektowania modułów GPS. Intensywny rozwój doprowadził firmę na szczyty popularności, a to za sprawą wysokiej klasy, miniaturowych i niezawodnych modułów IoT, w tym geolokalizacyjnych odbiorników GNSS (GPS, Galileo, GLONASS i BeiDou), modułów LTE/NB-IoT, Wi-Fi oraz Bluetooth. Obecnie marka oferuje następujące linie produktowe:

- **MAYA-W1** – Wi-Fi 4 + Bluetooth 5,
- **JODY W1** – dual-band Wi-Fi w trybie 2×2 MIMO 802.11a/b/g/n/ac + Bluetooth v4.2 /BLE,
- **JODY-W2** – dual-band Wi-Fi 2.4 GHz/5 GHz 802.11a/b/g/n/ac + Bluetooth 5 BR /BLE, temperatura pracy do 105°C,
- **JODY-W3** – dual-band Wi-Fi 2,4 GHz/5 GHz, 802.11ac/ax, tryb 2×2 MIMO, Bluetooth/BLE 5.1, tryby AP, STA, Wi-Fi Direct P2P,
- **NINA-W10** – miniaturowe – 10×10,6×2,2 mm, Wi-Fi 802.11b/g/n, dual-mode Bluetooth v4.2, bazujące na otwartym procesorze dostępnym dla użytkownika,
- **NINA-W13** – Wi-Fi 802.11b/g/n, wsparcie oprogramowania narzędziowego u-connect, funkcja secure boot, wymiary 10×10,6×2,2 mm, wersja dedykowana dla przemysłu,
- **NINA-W15** – jednoczesna obsługa Wi-Fi 802.11b/g/n i Bluetooth dual-mode, secure boot, trzy wersje różniące się rodzajem anteny: zewnętrzna, wbudowana PIFA lub mikropaskowa,

Fotografia 9. Miniaturowy moduł Wi-Fi 1LD-Ayla marki Murata (https://bit.ly/2R0GXtt)

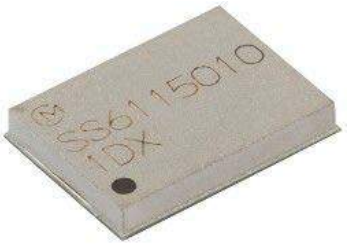
- **LILY-W1** – Wi-Fi 802.11b/g/n, wbudowany filtr LTE, tryb AP do 8 klientów, Wi-Fi P2P,
- **EMMY-W1** – przeznaczony do aplikacji przemysłowych i motoryzacyjnych, dual band Wi-Fi 802.11ac, dual-mode Bluetooth v4.2 z obsługą BR/EDR i BLE, AP do 10 klientów, filtr LTE,
- **ODIN-W2** – dual-band Wi-Fi + dual-mode Bluetooth, tryb STA/AP, wsparcie u-connect, interfejs RMII, zaawansowane funkcje bezpieczeństwa, dostępne dwie wersje: z anteną PIFA lub dwoma gniazdami u.FL).

Nie sposób na łamach niniejszego artykułu dokładniej zaprezentować bogatej oferty firmy u-blox, warto jednak dodać, że spora część produktów jest przeznaczona do wysokiej klasy zastosowań profesjonalnych – w tym odpornych na trudne warunki pracy aplikacji przemysłowych, samochodowych, a także medycznych. Firma u-blox jest też jednym z tych producentów, którzy szczególną uwagę poświęcają certyfikacji swoich produktów według różnych standardów międzynarodowych i lokalnych.

Murata

Kolejnym producentem należącym do ścisłej czołówki wytwórców modułów Wi-Fi dla IoT jest znana z rynku komponentów pasywnych firma Murata. Jej portfolio jest szerokie i obejmuje zarówno produkty jednofunkcyjne (Wi-Fi 2,4 GHz lub dual-band), jak i moduły oferujące łącze Wi-Fi oraz Bluetooth. Do wyjątkowo interesujących propozycji należy miniaturowy moduł 1LD-Ayla (**fotografia 9**) o wymiarach zaledwie 8,9×7,8×1,2 mm, oparty na mikrokontrolerze STM32 ze zmiennoprzecinkowym rdzeniem ARM Cortex-M4F oraz front-endzie RF CYW43438 marki Cypress. Moduł wspiera usługi chmurowe Ayla Networks, dzięki fabrycznie załadowanemu oprogramowaniu Ayla Cloud Agent.

Osiągnięciem technologicznym na miarę rozpoczętej niedawno trzeciej dekady XXI wieku jest moduł 1DX (**fotografia 10**), który w obudowie o niebywale małych wymiarach 6,95×5,15×1,1 mm łączy technologie Wi-Fi 802.11b/g/n oraz Bluetooth 5.1. Mamy też dobrą informację dla fanów STM32 – powstający w chwili pisania niniejszego artykułu moduł w wersji z interfejsem SPI (oryginalna wersja obsługiwana jest przez SDIO) będzie wspierał platformę szybkiego rozwoju oprogramowania wbudowanego STM32Cube. Murata współpracuje ponadto z firmami NXP i Texas Instruments, oferując moduły oparte na układach scalonych tych czołowych graczy rynku półprzewodników.

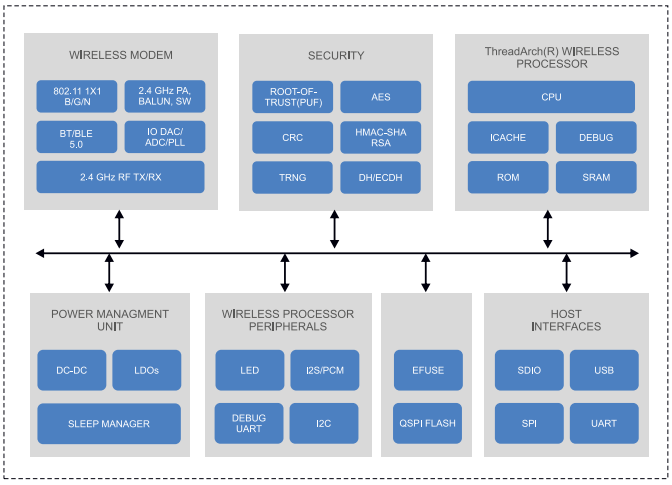


Fotografia 10. Subminiaturowy moduł WiFi + Bluetooth 5.1 typu 1DX marki Murata (https://bit.ly/3ewXrlg)

Silicon Labs

Kolejnym liczącym się graczem na szybko rozwijającym się rynku IoT jest Silicon Labs (Silicon Laboratories). Firma oferuje kilkanaście modułów i transceiverów Wi-Fi, z czego

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 10. Schemat blokowy modułu RS9116 marki Silicon Labs

część obsługuje dwupasmowe łącze 2,4 GHz/5 GHz, niektóre są ponadto wyposażone we wbudowane interfejsy Ethernet, USB czy SDIO. Firma przykłada wagę do kompatybilności swoich produktów z czołowymi systemami operacyjnymi i platformami SBC, czego przejawem jest dostępność gotowych driverów linuksowych, w tym dla popularnych minikomputerów jednopłytkowych Raspberry Pi, dla których na stronie producenta można znaleźć noty aplikacyjne. Reprezentatywnym przykładem produktu z portfolio Silicon Labs jest rozbudowany moduł RS9116, obsługujący Wi-Fi 802.11a/b/g/n 2,4 GHz i 5 GHz oraz Bluetooth 5 w trybie dual mode (**rysunek 10**).

Lantronix

Marka Lantronix chwali się na swojej stronie trzema grupami transceiverów Wi-Fi, przeznaczonych do aplikacji IoT. Portfolio podzielone zostało na grupy modułów, wspierające standardy:

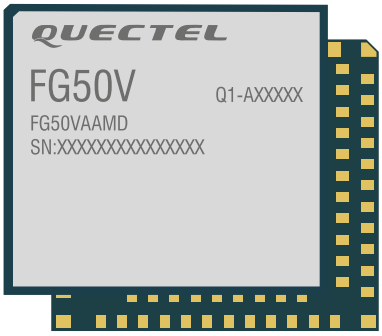
- 802.11 b/g/n,
- 802.11 a/b/g/n,
- 802.11 a/b/g/n/ac.

Do najbardziej zaawansowanych produktów firmy należą rozwiązania z rodziny PremierWave 2050 (**fotografia 11**). Są to wysokiej klasy moduły, przeznaczone do wydajnych i niezawodnych aplikacji przemysłowych, wspierające dwupasmowy protokół IEEE 802.11ac z prędkością do 433 Mbps i znany z najnowocześniejszych routerów Wi-Fi tryb formowania wiązki (*transmit beamforming*), wykorzystujący do tego celu dwie anteny zewnętrzne, dla których producent przewidział fabrycznie zainstalowane złącza u.FL. Moduł wspiera także Ethernet 10BaseT/100BaseT, zaawansowane funkcje bezpieczeństwa, a nawet zarządzenie poprzez SSH lub interfejsWebowy (HTTP/HTTPS). W trybie AP ten rozbudowany moduł obsługuje aż do 14 klientów jednocześnie. Wymiary modułu to 45,66×45,07×3,5 mm.

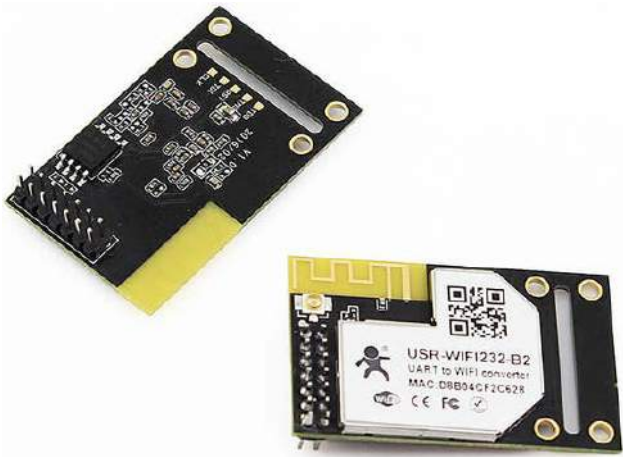
Fotografia 11. Moduł Lantronix z serii PremierWave 2050 (https://bit.ly/3vmcyVl)

Quectel

Marka znana głównie z modułów GSM pracujących



Rysunek 11. Moduł FG50V firmy Quectel



Fotografia 12. Moduł USR-WIFI232-B2 marki USR IOT (https://bit.ly/3dPNT5E)

w technologiach niemal wszystkich generacji (od 2G aż do najnowocześniejszego 5G), dobrze radzi sobie także w świecie modułów Wi-Fi. Oferta obejmuje produkty kompatybilne ze standardami Wi-Fi 5 i 6. Do tej drugiej kategorii należy godny uwagi moduł FG50V (**rysunek 11**) o wymiarach 19,5×21,5×2,1 mm, obsługujący ponadto Bluetooth 5.1 i osiągający zawrotną prędkość transmisji aż do 1774,5 Mbps (!). Moduł wspiera tryb 2×2 MIMO, zaś w roli interfejsu lokalnego występuje (z konieczności) szyna danych PCIe 2.0.

USR IOT

Ciekawe rozwiązanie wprowadziła do swojej oferty marka USR IOT. Moduł USR-WIFI232-B2 (**fotografia 12**) pełni rolę konwertera UART 3,3 V – Wi-Fi 802.11 b/g/n /Ethernet. Produkt wspiera także protokół Modbus RTU/TCP, a w trybie Soft AP może komunikować jednocześnie nawet z 32 klientami (!).

Wiznet

Znana marka Wiznet oferuje obecnie sześć modeli modułów Wi-Fi dla IoT, oznaczonych WizFi360, 310, 250, 210, 630S oraz 630A. Duże zróżnicowanie parametrów i funkcjonalności umożliwia wybór rozwiązania odpowiedniego do niemal każdego rodzaju aplikacji. Różnorodność dotyczy zarówno obsługiwanych trybów konfiguracji (komendy AT, interfejs WWW, SSH lub konsola szeregowa), jak i sposobu montażu oraz połączenia z hostem (obudowy z padami krawędziowymi SMT, złącza krawędziowe typu Mini PCIe, a nawet listwy typu goldpin) czy też zakresu certyfikacji. Co ważne, do każdego produktu dostępny jest zestaw ewaluacyjny. W większości modułów czas startu wynosi zaledwie 100 ms, powolnymi wyjątkami są tutaj dwa modele wyposażone w złącze Mini PCIe (WizFi630S i WizFi630A).

Fotografia 13. Moduł SoM z serii 60 marki Larid (https://bit.ly/32KSIH4)

eprasa.pl ad39d4d9f3

Larid

Marka Larid oferuje swoim odbiorcom szeroki asortyment modułów Wi-Fi, przeznaczonych zarówno do aplikacji konsumenckich, jak i rozwiązań profesjonalnych oraz klasy Enterprise. Obok prostszych modułów Wi-Fi/Bluetooth, w ofercie znajdują się też zaawansowane moduły SoM z serii 60, obsługujące Wi-Fi 2,4 GHz/5 GHz, Bluetooth 5.1 (classic + BLE) i wyposażone w procesor aplikacyjny firmy Atmel ATSAMA5D36, pracujący pod kontrolą autorskiej dystrybucji linuksowej – Laird Linux (**fotografia 13**).

Inni producenci

W pojedynczym artykule nie sposób zaprezentować wszystkich liczących się producentów modułów Wi-Fi dla rynku IoT. Umyślnie pominęliśmy asortyment najbardziej oczywistych i znanych producentów, takich jak Intel, Microchip, Realtek czy też PyCom – zainteresowanych Czytelników odsyłamy zatem do oficjalnych stron internetowych tych firm, zachęcamy także do dalszych poszukiwań interesujących rozwiązań na własną rękę.

Podsumowanie

Tematyka implementacji modułów Wi-Fi dla aplikacji IoT jest niezwykle szerokim zagadnieniem, zarówno od strony technologicznej (projekt PCB i obudowy, kompatybilność elektromagnetyczna czy też certyfikacja), jak i użytkowej (zakres funkcjonalności, wsparcie dla platform chmurowych IoT, możliwości łączenia za pośrednictwem innych rodzajów protokołów, np. Bluetooth lub Ethernet), czy też wreszcie programowej (implementacja komunikacji z procesorem nadrzędnym bądź programowanie wbudowanego mikrokontrolera i użycie go jako głównego procesora projektowanego urządzenia). Omówione w artykule zagadnienia ogólne – sposoby montażu, rozwiązania w zakresie podłączenia anteny czy też rodzaje wspieranych protokołów na różnych warstwach modelu OSI, pozwolą Czytelnikom sprawniej i łatwiej wejść w świat modułów Wi-Fi i ułatwią wybór właściwego modułu do konkretnej aplikacji. Mamy także nadzieję, że znajdująca się w drugiej części tekstu krótka prezentacja oferty wybranych producentów nakieruje zainteresowanych Czytelników na właściwy wybór modułu do kolejnej aplikacji IoT.

inż. Przemysław Musz, EP

KONKURS

Wygraj płytkę ewaluacyjną Microchip z układem MCP19114

Firma Microchip organizuje konkurs dla czytelników Elektroniki Praktycznej, w ramach którego można wygrać płytkę ewaluacyjną ADM00578 z samodzielnym kontrolerem impulsowej przetwornicy zasilania MCP19114 w konfiguracji Flyback (Microchip MCP19114 Flyback Standalone Evaluation Board).

Układ MCP19114 to wysoce zintegrowany kontroler PWM zawierający wszystkie niezbędne obwody kontroli napięcia i prądu umożliwiające realizację impulsowej przetwornicy zasilania, ze zintegrowanym 8-bitowym mikrokontrolerem PIC. To wyjątkowe rozwiązanie łączy rozbudowany, szybki tor analogowy, z możliwościami konfiguracyjnymi i komunikacyjnymi rozwiązania cyfrowego. Połączenie tych typów technologii tworzy nową rodzinę układów, która maksymalizuje mocne strony każdej z nich i pozwala uzyskać bardziej opłacalne, konfigurowalne i wydajne rozwiązanie do konwersji energii.
Kontroler jest wstępnie zaprogramowany tak, aby współpracował z interfejsem GUI, oprogramowania MPLABX IDE firmy Microchip. Dzięki temu może być łatwo dostosowany do dowolnej aplikacji, ale pozwala też na opracowanie oprogramowania układowego zdefiniowanego przez użytkownika. Płytka ewaluacyjna zawiera złącza do komunikacji ICSPTM (In-Circuit Serial Programming) oraz do komunikacji poprzez intefejs I²C. Ponadto zawiera kilka istotnych punktów testowych dla łatwego dostępu i celów rozwojowych.
Płytka ewaluacyjna została zoptymalizowana w taki sposób, aby zminimalizować pasożytniczą indukcyjność, jednocześnie zwiększając wydajność i gęstość mocy. Ma to ogromne znaczenie w impulsowych przetwornicach zasilania i jest niezbędne dla uzyskania optymalnych parametrów pracy kontrolera MCP19114, w tym jego wysokiej wydajności i minimalizacji hałasu.
Część analogowa układu zawiera typowe obwody do budowy przetwornicy z regulacją prądu lub napięcia wyjściowego. Rdzeń mikrokontrolera służy do pełnego dostosowania parametrów pracy urządzenia, takich jak: poziomy zabezpieczeń, programowanie offsetów, czasów martwych, procedury kompensacji zboczy i obsługi usterek. Układ MCP19114 ma wewnętrzne stabilizatory LDO z wejściem zasilanym szerokim zakresem napięć (4,5...42 V) zapewniające zasilanie dla wszystkich obwodów cyfrowych i analogowych oraz zintegrowane sterowniki po stronie low-side dla bezpośredniego sterowania kluczami tranzystorowymi. Wszystko to w oszczędzającej miejsce 24-pinowej obudowie 4×4 mm QFN.

Aby mieć szansę na wygranie płyty rozwojowej Microchip MCP19114 Flyback Standalone Evaluation Board lub aby otrzymać kupon rabatowy 20% i bezpłatną wysyłkę, należy wypełnić formularz zgłoszeniowy na stronie https://bit.ly/3tRyKGB

Szczegółowe informacje na temat płytki ewaluacyjnej oraz kontrolera MCP19114 można znaleźć pod adresem: https://bit.ly/3tXZmpK

eprasa.pl ad39d4d9f3

Wyświetlacze dla IoT

Nie można mieć wątpliwości, że jesteśmy otoczeni urządzeniami IoT. Doświadczenie podpowiada, że w wypadku niektórych aplikacji powstały pewne standardy, np. powszechne stosowanie OLED-ów w tzw. wearables, czyli urządzeniach noszonych. Na przykładzie trzech wybranych aplikacji wskazujemy, z jakich technologii wizualizacji danych najchętniej korzystają klienci Unisystemu.

Więcej informacji:
UNISYSTEM Sp. z o.o.
80-299 Gdańsk, ul. Nowy Świat 36
tel. +48 58 761 54 20, biuro@unisystem.pl
www.unisystem.pl

Czym jest IoT? W raporcie „IoT w polskiej gospodarce" przygotowanym przez Grupę roboczą ds. Internetu Rzeczy przy Ministerstwie Cyfryzacji zaproponowano trzy warianty definicji IoT. Na potrzeby niniejszego artykułu posłużymy się ujęciem technologicznym: „IoT to sieć łącząca przewodowo lub bezprzewodowo urządzenia charakteryzujące się autonomicznym (niewymagającym zaangażowania człowieka) działaniem w zakresie pozyskiwania, udostępniania i przetwarzania danych lub wchodzenia w interakcje z otoczeniem pod wpływem tych danych (...)". Zastosowanie urządzeń IoT możliwe jest w niemal każdym obszarze życia. Obecnie znajdziemy je m.in. w medycynie, przemyśle, transporcie, rolnictwie oraz w ich typowych aplikacjach – systemach inteligentnych budynków.

Prognozy dla rynku IoT

Według przewidywań International Data Corporation w najbliższych latach czeka nas przyspieszone tempo rozwoju rynku IoT w Polsce. W 2023 r. może osiągnąć ono poziom niemal 24%. Wydaje się, że pandemia COVID-19 nie zdusiła rozwoju IoT. IDC podaje, że w 2020 r. na świecie nabyto 444,7 mln sztuk urządzeń noszonych, co przekłada się na wzrost o 28,4%. Wśród nich są m.in. smartwatche, które obecnie stosujemy nie tylko do śledzenia aktywności, lecz również do coraz popularniejszych płatności bezgotówkowych itp. W ostatnich miesiącach przekonaliśmy się także, jak ogromny potencjał tkwi w telemedycynie. Konieczność ciągłego monitorowania stanu zdrowia pacjenta stwarza zapotrzebowanie np. na pulsoksymetry, które alarmują w przypadku wykrycia zaburzeń funkcji życiowych.

Problematyczna staje się kwestia dostępności urządzeń IoT. Wciąż odczuwamy skutki zeszłorocznych i tegorocznych przestojów produkcyjnych m.in. w postaci wydłużającego się czasu oczekiwania na dostawy niektórych komponentów, w tym również wyświetlaczy. Według analityków taka sytuacja może utrzymywać się do końca 2021 roku.

Wyświetlacze dla IoT

Inteligentne budynki. Stawiając na wygodę, coraz częściej umieszczamy urządzenia IoT w przestrzeni np. naszych domów. Należą do nich m.in. dość popularne roboty odkurzające i/lub mopujące. Wartymi uwagi rozwiązaniami są również systemy do zarządzania ogrzewaniem, które umożliwiają regulowanie poziomu temperatury w poszczególnych pomieszczeniach. Do ustawiania odpowiednich parametrów często stosuje się panele, od których oczekuje się nie tylko ergonomii, lecz również estetyki. To sprawia, że popularnym rodzajem wyświetlaczy implementowanych w tego typu

Fotografia 1. Wyświetlacz 5-calowy LCD-TFT RVT50AQEFWC00 od Riverdi

eprasa.pl ad39d4d9f3

Fotografia 2. Wyświetlacz OLED serii WEO012864G od Winstara o przekątnej 2,42 cala

Fotografia 3. Wyświetlacz do zastosowań przemysłowych WF40ESWAA6MNN0# produkcji firmy Winstar

aplikacjach są LCD-TFT. Warto dodać, że na rynku dostępne są moduły niemal gotowe do użycia, w tym również rozwiązania fabrycznie łączone z panelami dotykowymi. Należy do nich m.in. 5-calowy RVT50AQEFWC00 od Riverdi (**fotografia 1**), który możemy samodzielnie zaprogramować w języku Python.

Przemysł. Przykładem sprzętu IoT stosowanego w przemyśle są m. in. przenośne urządzenia pomiarowe. Zbierane przez nie informacje mogą być na bieżąco przesyłane do centralnych baz danych. Są to aplikacje, zaliczane do kategorii wymagających – jeśli przeznaczone są do pracy np. w halach produkcyjnych, mogą być narażone na działanie niepożądanych czynników m.in. zakłóceń, wstrząsów i wibracji, niskich i wysokich temperatur, a także ryzyka zapylenia czy zalania.

W systemach tego typu sprawdzą się m.in. jednobarwne wyświetlacze OLED, które zapewniają doskonałą czytelność prezentowanych treści, zarówno w świetle, jak i w mroku, bez względu na kierunek obserwacji. Dodatkowo mogą pracować w skrajnych temperaturach, których zakres sięga od –40 do 80°C. Wartymi uwagi są modele OLED z serii WEO012864G od Winstara (**fotografia 2**). Mają przekątną 2,42 i dostępne są w czterech wariantach kolorystycznych: białym, żółtym, niebieskim i zielonym.

W wypadku, gdy na ekranie urządzenia będą prezentowane, np. diagramy czy wykresy, wyświetlacze OLED można zastąpić wyświetlaczami LCD-TFT o odpowiednio dobranych parametrach, zwracając

Fotografia 4. Wyświetlacz EPD o przekątnej 2,9 cala EL029TR1 od E Ink

Fotografia 5. Wyświetlacz EPD o przekątnej 5,65 cala, ED057TC6 od E Ink

uwagę przede wszystkim na jasność (powinna wynosić co najmniej 1000 cd/m²), kąty obserwacji (pełne) i zakres temperatur pracy (co najmniej –20...70°C). W tę charakterystykę wpisuje się m.in. 4-calowy model WF40ESWAA6MNN0# (**fotografia 3**) produkcji Winstar (1000 cd/m², 80°/80°/80°/80°, –30~80°C, obsługiwany za pomocą interfejsu MIPI).

Aby zapewnić dodatkową ochronę przed pyłem czy wodą, warto rozważyć umieszczenie modułu w odpowiednio szczelnej obudowie, np. oznaczonej jako IP 65, która według normy PN-EN 60529 (odpowiednik międzynarodowej normy IEC 60 529) zapewnia całkowitą pyłoszczelność, a także częściową wodoszczelność.

Handel. Jednym z najczęściej spotykanych rozwiązań IoT w handlu są systemy monitorujące. Dziś służą do obserwowania nie tylko przestrzeni, lecz również zachowań klientów, umożliwiając optymalizację np. ułożenia poszczególnych produktów. Innym rozwiązaniem z obszaru IoT, z którego coraz częściej korzystamy w sklepach, są elektroniczne etykiety. Najczęściej jako „cenówki" używane są wyświetlacze EPD, np. o przekątnej 2,9 cala EL029TR1 (**fotografia 4**) czy o przekątnej 5,65 cala, ED057TC6 (**fotografia 5**). Producentem obu wyświetlaczy jest E Ink. Rozwiązania e-papierowe sprawdzają się w intensywnie oświetlonych przestrzeniach handlowych – prezentowane na nich treści są doskonale czytelne bez względu na kierunek patrzenia. Co więcej, są energooszczędne – pobierają niewielką ilość prądu tylko w momencie zmiany obrazu, więc mogą być zasilane bateryjnie. Warto dodać, że wszelkie elektroniczne nośniki służące do wizualizacji informacji pozwalają na automatyzację procesu zmiany prezentowanych na nich treści – ceny widoczne na etykietach można w każdej chwili aktualizować w systemie, bez konieczności angażowania zespołu pracowników.

Podsumowanie

Zaprezentowane rozwiązania to jedynie przykładowe *case studies*. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby w wypadku wybranych aplikacji poeksperymentować. Wyobraźmy sobie sytuację, w której klient poszukuje wyświetlacza do panelu przeznaczonego do implementacji we w pełni ekologicznym domu. W takim wypadku, o ile pozwala na to budżet, warto rozważyć wykorzystanie rozwiązania EPD, które dodatkowo podkreśli „zielony" charakter budynku.

Jacek Marcinkowski
Project Manager

eprasa.pl ad39d4d9f3

Interfejsy REST-owe w hobbystycznych systemach wbudowanych

Arduino + REST API = Internet Rzeczy

Obecne systemy elektroniczne, zwłaszcza urządzenia Internetu Rzeczy, korzystają ze standardowych interfejsów do komunikacji z systemami w sieciWeb. Dzięki standaryzacji systemy wbudowane mogą z łatwością łączyć się z dowolnymi usługami w Internecie, ułatwiając integrację systemów współczesnego świata.

Standardowe interfejsy używane są w elektronicznych systemach cyfrowych niemalże od zawsze. Każdy elektronik, który kiedyś miał do czynienia z mikrokontrolerami, wie, czym jest UART, SPI czy I²C. Dzięki standaryzacji w przemyśle elektronicznym układy różnych producentów mogą, bez zbytnich komplikacji, komunikować się ze sobą.

Obecnie coraz większe znaczenie w świecie elektroniki mają urządzenia komunikujące się z Internetem czy działające w sieci lokalnej. Do niedawna Internet był zarezerwowany dla komputerów, ale wprowadzenie koncepcji Internetu Rzeczy (IoT – *Internet of Things*) podłączyło do sieci szerokie spektrum innych urządzeń. Rzeczy ewoluowały w wyniku konwergencji wielu technologii: analizy danych w czasie rzeczywistym (zwłaszcza na niewielkich systemach wbudowanych), uczenia maszynowego, rozwoju czujników towarów i ewolucji samych systemów wbudowanych.

Tradycyjne dziedziny systemów wbudowanych – bezprzewodowe sieci czujników, systemy sterowania, automatyka (szczególnie automatyka domowa i budynkowa) i inne, przyczyniają się do rozwoju Internetu Rzeczy. Na rynku konsumenckim technologia IoT jest obecnie synonimem produktów związanych z koncepcją inteligentnego domu, w tym urządzeń takich jak inteligentne oprawy oświetleniowe, termostaty, systemy i kamery bezpieczeństwa do domu oraz inne urządzenia automatyki domowej, które obsługują jeden wspólny ekosystem wymiany danych i można nimi sterować za pomocą innych urządzeń, mogących komunikować się z tym ekosystemem, takich jak smartfony czy inteligentne głośniki. Podstawą do konstrukcji tego rodzaju standardowych interfejsów komunikacyjnych są właśnie REST API. Ich rozpowszechnienie w elektronice sprawiło, że podłączenie nawet niewielkiego mikrokontrolera do sieci Web jest trywialnie proste.

Co to jest REST?

REST API (znany również jako RESTful API lub API REST-owe) to interfejs programowania aplikacji (API lub internetowy interfejs API), który jest zgodny z ograniczeniami stylu architektonicznego REST i umożliwia interakcję z usługami sieciowymi, które również są RESTful.

API to zbiór ścisłych reguł, które opisują sposób komunikacji programów i podprogramów ze sobą. Jest to przede wszystkim zestaw wytycznych, dotyczących przebiegu interakcji pomiędzy komponentami w programie lub programach. Sama implementacja API to zestaw funkcji i protokołów, które wykorzystywane są do komunikacji pomiędzy tymi systemami. Dobre API ułatwia budowę niezawodnego i prostego oprogramowania. Dzięki użyciu gotowych, predefiniowanych API programista musi jedynie łączyć ze sobą bloki w ustalonej konwencji. Ułatwia to łączenie ze sobą wielu subsystemów, często tworzonych przez różnych programistów czy nawet różne firmy.

API to zestaw definicji i protokołów służących do tworzenia i integracji oprogramowania. Czasami nazywa się to „umową" między dostawcą informacji a jej użytkownikiem. Umowa taka określa treść wymaganą od konsumenta (treść wezwania) i treść wymaganą przez producenta/dostawcę informacji (treść odpowiedź). Na przykład ideowy projekt API dla usługi pogodowej może określać, że użytkownik podaje kod pocztowy, a dostawca informacji odpowiada dwuczęściową odpowiedzią, z których pierwsza to górny zakres temperatur, a drugi to jej dolny zakres. Innymi słowy, jeśli chcemy współdziałać z komputerem lub innym systemem w celu pobrania z niego informacji lub wykonania jakiejś funkcji, interfejs API pomaga przekazać w standardowy sposób polecenie lub informacje, które pozwalają w pełni zrozumieć i spełnić nasze żądanie.

Można myśleć o API jako o pośredniku między użytkownikami lub klientami a zasobami lub usługami internetowymi, do których

eprasa.pl ad39d4d9f3

dostęp chcą uzyskać. Jest to również sposób, w jaki organizacja może udostępniać swoje zasoby i informacje przy zachowaniu bezpieczeństwa, kontroli i uwierzytelniania – określając, kto ma do czego dostęp. Kolejną zaletą wykorzystania interfejsu API jest to, że tworząc program, który korzysta z jego zasobów, nie trzeba znać specyfiki ich buforowania – w jaki sposób dany zasób jest pobierany lub skąd pochodzi.

Listing 1. Przykładowy komunikat w formacie JSON

```
{
    „Czasopismo”:„Elektronika Praktyczna”
    „Numer”:5,
    „Spis Treści”:[
        {„Autor”:„Jan Kowalski”, „Tytuł”:”Przykładowy artykuł”},
        {„Autor”:”Nikodem Czechowski”, ”Tytuł”:”Interfejsy RESTowe”},
        {„Autor”:”Lorem Ipsum”, „Tytuł”:”Dolor sit amet, consectetur adipiscing elit”}
    ]
}
```

REST oznacza reprezentacyjny transfer stanu. Został opracowany przez informatyka Roya Fieldinga. REST to zestaw ograniczeń architektonicznych, a nie protokół czy standard. Programiści API mogą implementować REST na różne sposoby.

Gdy żądanie klienta jest wysyłane za pośrednictwem RESTful API, przekazuje reprezentację stanu zasobu do klienta lub punktu końcowego. Te informacje lub reprezentacje są dostarczane w jednym z kilku formatów za pośrednictwem protokołu HTTP: JSON (*JavaScript Object Notation*), HTML, XLT, Python, PHP lub jako zwykły tekst. Format JSON jest najpopularniejszym używanym formatem reprezentacji stanu, ponieważ pomimo swojej nazwy jest niezależny od języka i jest czytelny zarówno dla ludzi, jak i maszyn.

System Notacji JavaScript JSON to lekki format do przechowywania i transportu danych. Tak jak opisano powyżej, format JSON jest często używany, gdy dane są wysyłane z serwera na stronę internetową lub ogólnie w sieci. Wynika to między innymi z jego ogromnej czytelności, co ułatwia debugging przy przesyłaniu JSON-ów w formacie tekstowym do sieci Web. JSON jest samoopisujący, co oznacza, że w samej paczce danych znajdują się informacje na temat zawartości poszczególnych jej części. Wszystko stanie się jasne, jeśli spojrzymy na **listing 1**, gdzie pokazano przykładowy komunikat JSON. Komunikat ten w dosyć skrajnie uproszczony i ideowy sposób opisuje ten numer czasopisma „Elektronika Praktyczna”. JSON jest zasadniczo tablicą asocjacyjną (słownikiem, czyli zestawem par klucz-wartość). Kluczami są zmienne typu String, znajdujące się w cudzysłowie, a wartościami mogą być zmienne typu String, liczby (typu Double, czyli zmiennoprzecinkowe liczby 64-bitowe) lub stałe *true*, *false* lub *null*. Elementami takiej tablicy mogą być także kolejne, zagnieżdżone tablice, złożone z takiego samego formatu elementów. Daje to ogromne możliwości przechowywania i przesyłania niemalże dowolnych danych.

Kolejnym aspektem, o którym trzeba wiedzieć, tworząc system RESTful, są nagłówki i parametry w metodach obsługujących metody HTTP w REST-owym API. Zawierają ważne informacje o identyfikatorach dotyczących metadanych żądania, autoryzacji, jednolitego identyfikatora zasobu (URI), pamięci podręcznej, plikach cookie i innych. Istnieją nagłówki żądań i nagłówki odpowiedzi, każdy z własnymi zestawami informacji o połączeniu HTTP i kodami stanu.

Aby API zostało uznane za REST-owe, musi spełniać następujące kryteria:

- Architektura klient-serwer składająca się z klientów, serwerów i zasobów z żądaniami zarządzanymi poprzez HTTP;
- Bezstanowa komunikacja klient-serwer, co oznacza, że żadne informacje o kliencie nie są przechowywane między żądaniami, a każde żądanie jest oddzielne i niepołączone z poprzednimi/kolejnymi;
- Dane przesyłane są z możliwością buforowania, która usprawnia interakcje klient-serwer.
- Jednolity interfejs między komponentami, dzięki czemu informacje są przesyłane w standardowej formie. Wymaga to:
  - żądane zasoby są możliwe do zidentyfikowania i oddzielone od reprezentacji przesłanych klientowi,
  - klient może manipulować zasobami za pośrednictwem otrzymanej reprezentacji, ponieważ reprezentacja zawiera wystarczającą ilość informacji, aby to zrobić,
  - komunikaty są samoopisane – zwracane do klienta elementy zawierają wystarczającą ilość informacji, aby opisać, jak klient powinien je przetwarzać,
  - dostępne są hiperteksty/hipermedia, co oznacza, że po uzyskaniu dostępu do zasobu klient powinien mieć możliwość korzystania z hiperłączy, aby znaleźć wszystkie inne aktualnie dostępne działania, które może wykonać;
- System warstwowy, który organizuje każdy typ serwera (odpowiedzialny za bezpieczeństwo, równoważenie obciążenia itp.), obejmuje pobieranie żądanych informacji w hierarchii, niewidocznej dla klienta;
- Kod na żądanie (opcjonalnie): możliwość wysyłania wykonywalnego kodu z serwera do klienta (na żądanie), rozszerzająca jego funkcjonalność.

Chociaż interfejs REST-owy spełnia te kryteria, nadal jest uważany za łatwiejszy w użyciu niż protokoły takie jak np. SOAP (*Simple Object Access Protocol*), który ma określone wymagania, takie jak obsługa wiadomości XML oraz wbudowane zabezpieczenia i zgodność transakcji, które sprawiają, że jest wolniejszy i cięższy obliczeniowo po stronie klienta i serwera, co utrudnia jego stosowanie na kompaktowych i energooszczędnych mikrokontrolerach. Natomiast REST to zestaw wskazówek, które można zaimplementować w razie potrzeby, dzięki czemu interfejsy RESTful są szybsze i lżejsze, a także charakteryzują się zwiększoną skalowalnością – są idealne do tworzenia aplikacji Internetu Rzeczy (IoT) i aplikacji mobilnych.

Dlaczego API REST-owe jest tak ważne w systemach webowych?

REST to styl projektowania i radzenia sobie z komunikacją, który jest bardzo rozpowszechniony w systemach webowych. Stał się on obecnie standardem dla aplikacji działających w Internecie. Opisaliśmy już jego charakterystyki, wynika z nich wiele zalet. W dużej mierze sprowadza się to do optymalizacji – wykorzystanie REST jest faworyzowane w stosunku do SOAP, ponieważ REST potrzebuje mniejszej przepustowości i pozwala na ograniczenie transferu w sieci. Kolejną zaletą REST API jest to, że jest ono przyjazne dla użytkownika i łatwe do zrozumienia dla programistów. Tworzenie tego rodzaju API jest łatwiejsze niż np. SOAP, gdyż podejście REST-owe koncentruje się na danych.

Ponieważ REST używa standardowych zapytań HTTP, interfejsy API do weryfikacji danych i weryfikacji adresu są łatwe do zrozumienia i oprogramowania dla projektantów aplikacji. Co więcej, architektury RESTful ułatwiają generowanie danych wyjściowych w bardziej elastycznych formatach danych, takich jak JSON, zamiast np. formatu XML, którego wymaga SOAP. Kluczowe założenia REST obejmują wyodrębnienie interfejsu API na prawidłowe zasoby. Te zasoby są kontrolowane za pomocą zapytań HTTP, w takim przypadku, gdy rodzaj zapytania (GET, POST, PUT, PATCH i DELETE) ma określone znaczenie.

Stopień sprzężenia między serwerem a klientem SOAP jest bardzo duży. W REST jest inaczej. Klient tego rodzaju bardziej przypomina przeglądarkę. Jest to typowy klient, który wie, jak używać protokołu HTTP i standardowych metod, a aplikacja musi mieścić się w ramach, które to narzuca. Dodatkowo klient RESTful może korzystać z usługi REST bez znajomości danego API, z wyjątkiem punktu wejścia i typu interfejsu. W przypadku SOAP klient potrzebuje wcześniejszej wiedzy

eprasa.pl ad39d4d9f3

na temat wszystkiego, z czego będzie korzystał, inaczej nawet nie rozpocznie interakcji.

W REST każde żądanie klienta skierowane do serwera wymaga pełnej reprezentacji jego stanu. Serwer musi być w stanie w pełni zrozumieć żądanie klienta bez korzystania z jakiegokolwiek kontekstu lub stanu sesji. Cały stan musi być zachowany na kliencie. W SOAP nie jest to wymagane, a serwer może przechowywać zmienne sesji.

Finalnie – ogromną zaletą podejścia REST-owego jest łatwość testowania API. Istnieją dwie podstawowe sytuacje, w których testuje się REST API online. Po pierwsze po opracowaniu API trzeba uzyskać usługę sieci Web zgodną z REST i upewnić się, że działa zgodnie z założeniami. Po drugie, podczas opracowywania aplikacji, która ma korzystać z usługi w sieci Web, konieczne jest zbadanie dostępu do tej usługi. Ogromną zaletą REST jest to, ż łatwo znaleźć błędy logiczne w kodzie, ponieważ komunikaty JSON są bez problemu zrozumiałe dla człowieka i na żadnym etapie komunikacji z API nie mają one sztywnego formatu.

Implementacje REST – podstawowe zasady

Istnieje kilka sprawdzonych zasad, które mogą pomóc w zaprojektowaniu odpowiedniego RESTful API. Są one niezależne od tego, czy programujemy usługę w sieci Web, program na komputerze PC, czy też firmware dla systemu wbudowanego.

1. W nazwach należy używać rzeczowników zamiast czasowników. Używaj rzeczowników dla każdego zapytania, np. GET, POST, PUT, DELETE. Rekomenduje się używanie tylko rzeczowników w liczbie mnogiej;
2. Nie używaj metody GET do zmiany stanu. Generalnie metoda ta powinna być używana do uzyskania stanu (informacji);
3. Metoda POST powinna być używana do tworzenia. Nie należy jej używać do aktualizowania ani pobierania zasobów. Jeśli identyfikator URI nigdy wcześniej nie istniał, a zamierzasz go utworzyć i sprawić, by zawierał jakieś dane, użyj POST;
4. Do aktualizacji stanu należy używać metody HTTP PUT. Aktualizacja to zastąpienie istniejącego już zbioru danych innym, nowym. Identyfikator URI powinien już istnieć wcześniej;
5. Do usuwania należy używać protokołu DELETE;
6. Użycie GET nie powinno nic tworzyć ani mieć innych efektów, jak tylko uzyskanie informacji;
7. Metody POST nie należy używać do masowej aktualizacji danych;
8. Jeśli na jakieś URI da się wykonać POST, to należy także umożliwić wykorzystanie metody GET, która może zwrócić zapisane dane. Jeśli dane są zbiorem, to koniecznie trzeba stworzyć możliwość zwrócenia pojedynczej wartości z kolekcji, indeksując ją. Tak samo powinna działać metoda DELETE – umożliwiać skasowanie całej kolekcji lub tylko jednego jej elementu;
9. Należy korzystać z kodów HTTP, zwracanych przez interfejs, oto niektóre z nich:
   - **200**: Zapytanie poprawne – jest to kod, którego na ogół się spodziewamy;
   - **201**: Zapytanie poprawne, utworzono obiekt – kod, który potwierdza wykonanie zapytania POST;
   - **204**: Zapytanie poprawne, nie ma obiektu – kod potwierdzający wykonanie DELETE;
   - **400**: Serwer nie zrozumiał otrzymanego zapytania;
   - **401**: Błąd autoryzacji, należy najpierw się uwierzytelnić (np. zalogować);
   - **403**: Brak uprawnień – zalogowano się, ale nie daje to uprawnień do danego obiektu;
   - **404**: Nie ma obiektu – nie można znaleźć go na serwerze;
   - **410**: Zasób oznaczony, jako skasowany;
   - **418**: Serwer jest czajniczkiem i nie może parzyć kawy (tak! To realnie zdefiniowany w dokumentacji błąd – pokłosie żartu na prima aprilis twórców http);
   - **451**: Niedostępne z powodów prawnych.

Jak zaimplementować REST API w systemach wbudowanych?

Istnieje wiele sposobów na zastosowanie REST-owego interfejsu aplikacji w systemie opartym na mikrokontrolerze. W zależności od czasu, jaki chcemy poświęcić na implementację, można skorzystać z gotowych, kompletnych bibliotek oferujących kompletne REST-owe API w chmurze (jak na przykład aREST, którą można znaleźć na repozytorium autora (Marco Schwartz) na portalu GitHub – https://bit.ly/3t9LqYt), jak i bibliotek, które pozwalają na zestawienie tego rodzaju API z poszczególnych elementów, tzn. serwowania JSON-ów, obsługi zapytań http itd.

Najprostszym sposobem na implementację interfejsu REST-owego w systemie wbudowanym, jest użycie Arduino wraz z odpowiednią biblioteką dla serwera HTTP. Jeśli serwer uzupełnimy biblioteką zdolną do formatowana danych w postać JSON, uzyskamy kompletne API RESTful. Jeśli chodzi o platformę sprzętową dobrym wyborem są układy ESP8266 lub ESP32 – te SoM mają wbudowane interfejsy bezprzewodowe (Wi-Fi oraz Bluetooth), co istotnie upraszcza łączenie ich z siecią Web.

Implementacja RESTful API na układach Espressif

W poniższym przykładzie zaprezentujemy krok po kroku, jak można uruchomić REST-owe API na module z układem ES8266, korzystając z prostych bibliotek.

Serwer http

W pierwszej kolejności konieczne jest uruchomienie serwera webowego. W tym celu należy zaimportować odpowiednią bibliotekę:

```
#include <ESP8266WebServer.h>
```

Następnie należy ją skonfigurować. Kluczowym parametrem jest port, na którym uruchomi się serwer http. Aby ustawić port 8080 i przygotować serwer, musimy dodać dwie linie kodu. Port 8080 to domyślny port serwera www, dzięki czemu umożliwia korzystanie z przeglądarki:

```
#define HTTP_REST_PORT 8080
ESP8266WebServer httpRestServer(HTTP_REST_PORT);
```

W bloku *setup()* kodu Arduino wykonujemy dwie funkcje, które uruchomią routing (dzięki czemu każde zapytanie trafi w odpowiednie miejsce w programie) oraz uruchomi sam serwer:

```
restServerRouting();
httpRestServer.begin();
```

Finalnie w pętli programu (w sekcji *loop()*) należy umieścić funkcję, która obsługuje zapytania klientów, przesyłane do serwera http:

```
httpRestServer.handleClient();
```

Teraz pozostaje nam tylko stworzyć funkcje, które obsługują poszczególne zapytania i zwracają dane w formacie JSON.

Obsługa zapytania GET

Obsługa zapytań http jest bardzo prosta. W specjalnej funkcji *restServerRouting()* definiujemy, na jakie zapytania, pod jakimi ścieżkami serwer odpowiada (**listing 2**). Kluczowym obiektem jest *server*. Metoda *server.on* ustala odpowiedź na zapytanie. Weźmy na przykład linię:

```
server.on(F("/helloWorld"), HTTP_GET, getHelloWord);
```

Jako parametry podaje się tak zwany endpoint, czyli ścieżkę, pod jaką wysłane musi być zapytanie (w tym wypadku jest to */helloWorld*), rodzaj zapytania (HTTP_GET) oraz odpowiedź – funkcja *getHelloWord*, którą trzeba osobno zdefiniować. Funkcja ta na ogół zwraca

Listing 2. W specjalnej funkcji restServerRouting() jest definiowane to, na jakie zapytania, pod jakimi ścieżkami serwer odpowiada

```
void restServerRouting() {
    server.on("/", HTTP_GET, []() {
        server.send(200, F("text/html"),
        F("Welcome to the REST Web Server"));
    });
    server.on(F("/helloWorld"), HTTP_GET, getHelloWord);
}
```


eprasa.pl ad39d4d9f3

odpowiedź w formacie JSON, korzystając z metody *server.send()*:

```
server.send(200, “text/json”,
“{\”name\”: \”Hello world\”}”);
```

Argumenty podawane do zapytania

Zapytanie GET używane jest zwykle do pobierania danych, takich jak np. lista elementów lub element, aby uszczegółowić, jakie elementy są konkretnie potrzebne. Możliwe jest dodanie argumentów do zapytania w postaci par klucz-wartość w adresie URL. Parametry te przekazywane są w adresie po znaku „?” i oddzielone są znakiem „&”. Na przykład URL zapytania wygląda tak:

```
/settings?SignalStrength=true&chipInfo=true&
freeHeap=true.
```

Tego rodzaju zapytanie obsługiwane jest w następujący sposób. W pierwszej kolejności metoda *server.on():*

```
server.on(F(“/settings”), HTTP_GET, getSettings);
```

korzysta z funkcji getSettings(), której kod został pokazany na **listingu 3**. W ramach tej funkcji uruchamiana jest metoda *server.arg()*, która jako parametr przyjmuje nazwę klucza, którego wartość chcemy poznać (z podanych na endpoint wartości). Funkcja zwraca wartość dla danego klucza lub *False*, jeśli pośród podanych parametrów nie ma takiej wartości.

Listing 3. Kod funkcji getSettings(), z której w pierwszej kolejności korzysta metoda server.on()

```
void getSettings() {
    String response = "{";
    response+= "\"ip\": \""+WiFi.localIP().toString()+"\"";
    response+= ",\"gw\": \""+WiFi.gatewayIP().toString()+"\"";
    response+= ",\"nm\": \""+WiFi.subnetMask().toString()+"\"";
    if (server.arg("signalStrength")== "true"){
        response+= ",\"signalStrengh\": \""+String(WiFi.RSSI())+"\"";
    }
    if (server.arg("chipInfo")== "true"){
        response+= ",\"chipId\": \""+String(ESP.getChipId())+"\"";
        response+=",\"flashChipId\":\""+String(ESP.getFlashChipId())+"\"";
        response+= ",\"flashChipSize\": \""+String(ESP.getFlashChipSize())+"\"";
        response+= ",\"flashChipRealSize\": \""+String(ESP.getFlashChipRealSize())+"\"";
    }
    if (server.arg("freeHeap")== "true"){
        response+= ",\"freeHeap\":\""+String(ESP.getFreeHeap())+"\"";
    }
    response+="}";
    server.send(200, "text/json", response);
}
```

Formatowanie JSON

Większość informacji zwracanych przez serwer klientom REST-owego API jest podawana w omawianym powyżej formacie JSON. Nic nie stoi oczywiście na przeszkodzie, aby generować go na piechotę. Można jednak skorzystać z odpowiednich bibliotek, żeby uprościć sobie generowanie komunikatów w formacie JSON.

Aby skorzystać z biblioteki w środowisku Arduino, musimy, w pierwszej kolejności, zaimportować ją do kodu:

```
#include <ArduinoJson.h>
```

Następnie korzystamy z funkcji *serializeJson()*, która konwertuje zmienną typu *DynamicJsonDocument* do typu String, który można wysłać przez *server.send()*, jak w pokazanym przypadku funkcji *getHelloWord()*, która zwraca wartość dla klucza *name*. (**listing 4**).

Listing 4. Funkcja serializeJson() konwertuje zmienną typu DynamicJsonDocument do typu String, który można wysłać przez server.send()

```
void getHelloWord() {
      DynamicJsonDocument doc(512);
      doc["name"] = "Hello world";
      String buf;
      serializeJson(doc, buf);
      server.send(200, "application/json", buf);
}
```

Listing 5. Funkcja setRoom, która zwróci nam zawartość danych, wysłanych do serwera

```
void setRoom() {
    String postBody = server.arg("plain");
    DynamicJsonDocument doc(512);
    DeserializationError error = deserializeJson(doc, postBody);
    if (error) {
        String msg = error.c_str();
        server.send(400, F("text/html"),
                "Error in parsin json body! <br>" + msg);
    } else {
        JsonObject postObj = doc.as<JsonObject>();
        if (server.method() == HTTP_POST) {
            if (postObj.containsKey("name") && postObj.containsKey("type")) {
                // Tutaj magazynujemy bądź analizujemy dane
                DynamicJsonDocument doc(512);
                doc["status"] = "OK";
                String buf;
                serializeJson(doc, buf);
                server.send(201, F("application/json"), buf);
            }else {
                DynamicJsonDocument doc(512);
                doc["status"] = "KO";
                doc["message"] = F("No data found, or incorrect!");
                String buf;
                serializeJson(doc, buf);
                server.send(400, F("application/json"), buf);
            }
        }
    }
}
```

Obsługa pozostałych zapytań

Oprócz zapytania GET do serwera REST może dotrzeć wiele innych zapytań. Szczególnie istotnym z nich jest POST – pozwala ono klientowi wysłać dane do serwera (na ogół w formacie JSON). Zdefiniujmy sobie funkcję do obsługi zapytania:

```
server.on(F("/setRoom"), HTTP_POST, setRoom);
```

Następnie w funkcji *setRoom*, która je obsłuży, zawrzyjmy odpowiednią funkcję *server.arg(„plain”)*, która zwróci nam zawartość danych, wysłanych do serwera. Następnie, korzystając z funkcji z biblioteki ArduinoJson.h, odczytajmy zawarte tam informacje (**listing 5**).

Podsumowanie

API RESTful jest podstawowym narzędziem do tworzenia usług w sieci Web. Pozwala na wymianę danych w czytelny i łatwy sposób. Dzięki zastosowaniu prostych do zrozumienia dla programisty słów cały interfejs jest czytelny, bez nadmiernej dokumentacji. Warto pamiętać, aby nazwami endpointów były rzeczowniki. Na przykład, w powyżej prezentowanym kodzie endpoint nazwano *setRoom*, co jest technicznie poprawne, ale błędne logicznie. Jeśli nazwiemy endpoint po prostu *room*, to wtedy wykorzystać możemy różne zapytania do konstrukcji logicznych systemów, na przykład:

- POST, aby dodać nowy pokój;
- GET, aby uzyskać informacje na temat pokoju;
- DELETE, aby usunąć pokój;
- I tak dalej...

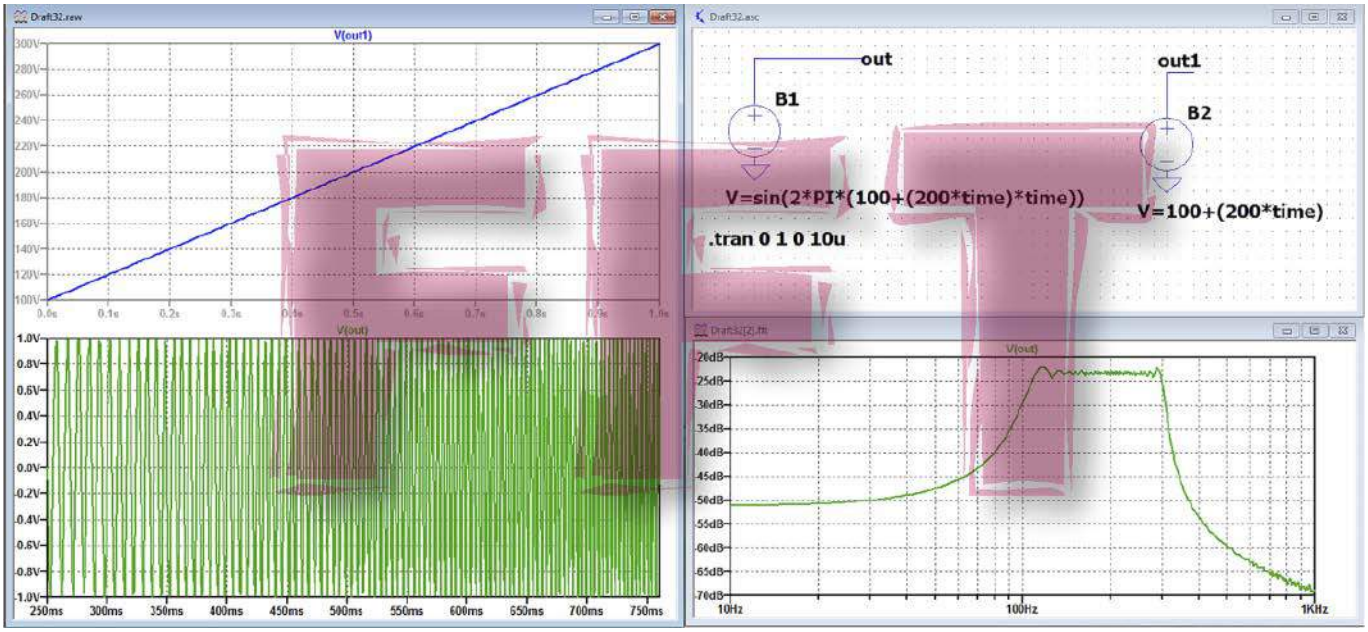
Zachowując wszystkie opisane w artykule podstawowe rekomendacje, można zbudować łatwy w implementacji interfejs do wymiany danych w dowolnej sieci. Idealnie nadaje się to do tworzenia webowych API dla systemów Internetu Rzeczy, korzystających z modułów ekosystemu Arduino.

Nikodem Czechowski, EP

Bibliografia:

- https://bit.ly/3eegl1x
- https://bit.ly/33aIJLv
- https://bit.ly/3gYN7VW
- https://red.ht/3uf6nT5
- https://bit.ly/3xLSs95
- https://bit.ly/3gXGgML
- https://bit.ly/2QTWHPg
- https://mzl.la/2QPo5y0
- https://bit.ly/3t9LqYt
- http://arest.io/
- https://bit.ly/2QJxNSG/
- https://bit.ly/3gZJxuS
- https://bit.ly/3ug28qp

eprasa.pl ad39d4d9f3



Symulacja i pomiar czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora (22)

Analiza widmowa z zastosowaniem transformacji Fouriera

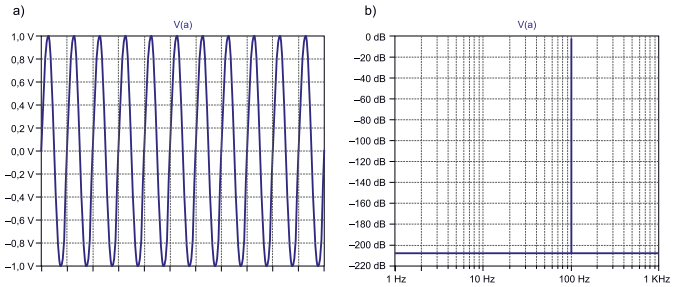
FTP
WSZYSTKIE POPRZEDNIE ODCINKI KURSU SĄ DOSTĘPNE NA STRONIE WWW.MEDIA.AVT.PL

Jeszcze w czasach użytkowania oscyloskopów analogowych, dokładnie w roku 1965, dwaj matematycy amerykańscy: James William Cooley i John Tukey opublikowali dokument „An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series", w którym podali algorytm szybkiego obliczania dyskretnej transformacji Fouriera. Algorytm, znany dzisiaj jako Fast Fourier Transform (FFT) jest obecnie szeroko stosowany do analizy widmowej sygnałów.

Niemal 150 lat musiało upłynąć zanim opracowana przez Jeana Baptiste Josepha Fouriera teoria doczekała się praktycznego zastosowania. Dopiero gdy technika cyfrowa pozwoliła na próbkowanie sygnałów analogowych, a tym samym na gromadzenie dyskretnych próbek tego sygnału, możliwe stało się opracowanie metod dyskretnego przekształcenia Fouriera – DFT (*Discrete Fourier Transform*). Problem polega na tym, że operacja ta wymaga bardzo dużej liczby obliczeń, co początkowo praktycznie eliminowało tę metodę do zastosowań w aplikacjach czasu rzeczywistego. Nawet analiza wykonywana już po zakończeniu gromadzenia próbek była przy dostępnych mocach obliczeniowych pierwszych komputerów dość złożona i długotrwała. Zaproponowany przez Cooley'a i Tukey'a algorytm FFT na tyle zmniejszył liczbę operacji matematycznych, że obliczenie transformacji Fouriera nawet w układach czasu rzeczywistego stało się realne.

Problem był właściwie jeden, za to bardzo poważny – nie istniały jeszcze praktycznie oscyloskopy cyfrowe, w których FFT mogłaby być implementowana. Przełom nastąpił na przełomie lat 80. i 90. XX. wieku, właściwie bliżej początku ostatniej dekady minionego stulecia. Od tego momentu oscyloskopy cyfrowe zaczęły wypierać oscyloskopy analogowe, ale to też jeszcze nie był czas, w którym FFT była masowo implementowana. W pierwszych oscyloskopach cyfrowych funkcja ta nie była jeszcze dostępna. Na szczęście postęp w tym zakresie był bardzo szybki, i wkrótce oscyloskopy bez FFT znajdowały coraz mniej nabywców. Dziś funkcję FFT znajdujemy we wszystkich rodzajach oscyloskopów, czy to typu desktop czy przystawek USB. Analiza FFT jest także dostępna w programach matematycznych (Mathcad, Excel), a także symulatorach, m.in. w LTspice.

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 1. Czysty przebieg sinusoidalny a) w dziedzinie czasu, b) w dziedzinie częstotliwości

Implementacja FFT w symulatorze LTspice

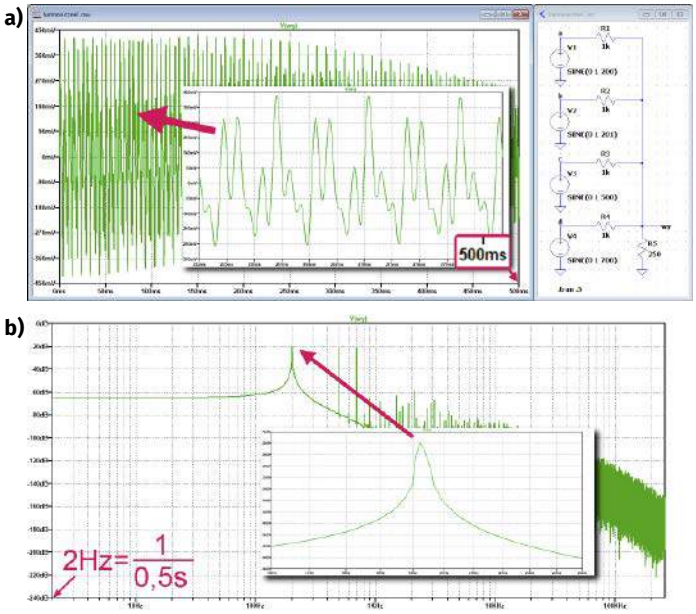
Przekształcenie Fouriera i algorytmu DFT i FFT jest dość złożonym zagadnieniem matematycznym, na tyle że nie będziemy go omawiać w artykule. Zajmiemy się praktycznym zastosowaniem analizy FFT w symulatorze LTspice. Rozpatrzymy, jaki wpływ na wyniki analizy mają parametry akwizycji danych i funkcji FFT.

Do przeprowadzenia analizy widmowej z użyciem FFT konieczne jest zgromadzenie określonej liczby próbek sygnału analogowego. Zasadniczo algorytm wymaga, aby liczba ta była równa 2^k, gdzie k jest liczbą naturalną. Inaczej mówiąc, liczba próbek musi być potęgą liczby 2. Intuicyjnie spodziewamy się, że wraz ze wzrostem liczby k będzie zwiększała się liczba próbek, którą będziemy dysponować, a zatem obliczenia będą dokładniejsze. Czy jest to jedyny parametr decydujący o dokładności obliczeń? Postaramy się to sprawdzić.

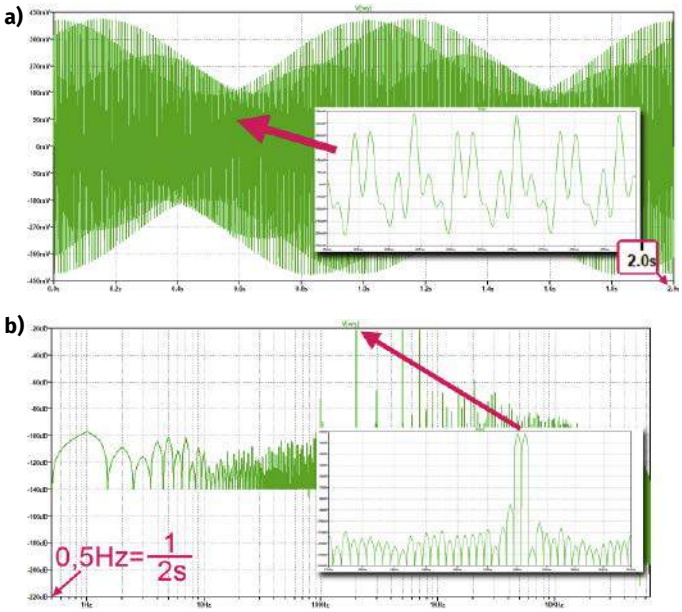
Zrozumienie związku między interpretacją jakiegoś zjawiska przedstawionego w dziedzinie czasu i w dziedzinie częstotliwości prawdopodobnie stwarza przeciętnemu człowiekowi podobny problem jak zrozumienie związku między szybkością a przyspieszeniem. Dla przykładu proponuję mały test polegający na narysowaniu wykresu przyspieszenia dla obiektu ruszającego z miejsca, poruszającego się przez chwilę ze stałą prędkością, a następnie hamującego do zera. Rozwiązanie na końcu artykułu.

Wracamy jednak do zagadnień związanych z analizą widmową. Rozpatrzmy czysty sygnał sinusoidalny. Jego interpretacja w dziedzinie czasu jest funkcją ciągłą (**rysunek 1a**), zaś w dziedzinie częstotliwości będzie to pojedynczy prążek odpowiadający częstotliwości sinusoidy (**rysunek 1b**). Teraz przeanalizujmy pewien odkształcony przebieg okresowy, który zostanie poddany próbkowaniu. Przebieg odkształcony składa się w naszym przykładzie z określonej liczby składowych, które na wykresie widmowym wystąpią jako odrębne prążki. Załóżmy, że w rozpatrywanym przypadku mamy składowe: 200 Hz, 201 Hz, 500 Hz i 700 Hz, wszystkie o jednakowych amplitudach. Analiza przebiega w dwóch etapach. Pierwszy obejmuje gromadzenie N próbek w rekordzie akwizycji. Wiemy już, że potrzebny jest do tego czas T. Z transformacji Fouriera wynikają ważne wnioski: po pierwsze – obliczone widmo nie będzie ciągłe, po drugie – jeśli w rekordzie akwizycji znajdzie się N próbek, to całe widmo będzie się składało z N dyskretnych częstotliwości. Kolejnym ważnym wnioskiem jest to, że odstęp między dyskretnymi wartościami częstotliwości widma, czyli rozdzielczość, jest równa odwrotności czasu akwizycji (czasu pełnego zapełnienia bufora). Na wykresach widma, które są domyślnie rysowane w skali logarytmicznej, jest to najmniejsza widoczna na wykresie częstotliwość. Oznaczmy ją jako f1 lub r. W analizatorach widma parametr ten jest oznaczany zwykle jako RBW (*Resolution Bandwidth*).

Przeprowadźmy teraz eksperyment, w którym wyświetlimy półsekundowy fragment naszego sygnału odkształconego. Zgodnie z powyższymi wnioskami uzyskamy rozdzielczość widmową R=1/0,5=2 Hz. Prawdopodobnie więc przy takich parametrach akwizycji danych nie będziemy w stanie rozróżnić składowych 200 Hz i 201 Hz badanego sygnału. Na **rysunku 2a** pokazano półsekundowy wykres czasowy przebiegu odkształconego, a na **rysunku 2b** jego widmo wyznaczone



Rysunek 2. Półsekundowy przebieg odkształcony a) w dziedzinie czasu, b) w dziedzinie częstotliwości

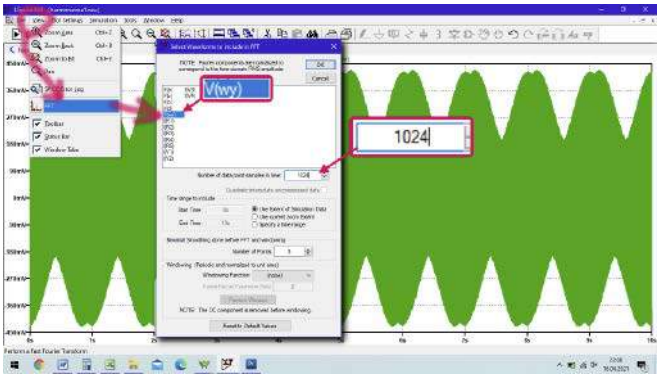


Rysunek 3. Dwusekundowy przebieg odkształcony a) w dziedzinie czasu, b) w dziedzinie częstotliwości

przez symulator LTspice. Dodatkowo na rysunku tym możemy przyjrzeć się powiększonemu fragmentowi widma w okolicach 200 Hz. Rzeczywiście prążka 201 Hz nie widzimy na tym wykresie. Wydłużmy więc czas akwizycji do 2 sekund. Pozwoli to uzyskać rozdzielczość widma równą 0,5 Hz, a więc prążki 200 Hz i 201 Hz powinny być już widoczne. Wykresy ilustrujące ten przypadek zostały pokazane na **rysunku 3**. Jak widać, rzeczywiście można na nich rozróżnić składowe widma o częstotliwościach 200 Hz i 201 Hz, chociaż ze względu na niewielką rozdzielczość są one wyraźnie rozmyte.

Spróbujmy teraz zbadać jak na wynik analizy FFT wpływa liczba próbek. W przypadku symulacji parametr ten ma znaczenie nieco abstrakcyjne, ponieważ tak naprawdę nie wiemy jak wygląda proces próbkowania realizowany przez symulator. W pomiarach oscyloskopowych zwykle wiemy jak duży jest rekord akwizycji, znana jest też szybkość pracy układu akwizycji. Są to parametry podawane w specyfikacji technicznej urządzeń. W programie LTspice argument określający liczbę próbek nosi nazwę „*Number of data point samples in time*". Domyślnie jest on równy 262144, i taka właśnie wartość jest przyjmowana przy każdym uruchomieniu analizy FFT.

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 4. Okno uruchamiania obliczeń FFT z polem określającym liczbę elementów analizy

Sprawdźmy na przykładzie przebiegu rozpatrywanego wcześniej, jak liczba próbek użyta do analizy FFT w symulatorze LTspice wpływa na wynik. Załóżmy, że chcemy uzyskać rozdzielczość widma równą 0,1 Hz, konieczny do tego czas pomiaru jest więc równy 1/0,1=10 s. Wykonamy pomiary dla liczby próbek równych 2048, 4096, 8192, 16384, 32768 i 65536.

Do rozpoczęcia symulacji FFT aktywne musi być okno wykresu czasowego. Wybieramy polecenie „View → FFT", wskazujemy interesujący nas węzeł i wprowadzamy ewentualnie odpowiednią wartość w polu „*Number of data point samples in time*" (**rysunek 4**). Ciekawostką może wydawać się fakt, że wprowadzana liczba próbek nie musi być w symulatorze LTspice potęgą liczby 2. Wyjaśnienia, jak ten problem rozwiązano w programie LTspice raczej nigdzie nie znajdziemy, gdyż jest to tajemnica handlowa Linear Technologies. Prawdopodobnie brakujące próbki do najbliższej liczby spełniającej warunek $N=2^k$, są dodawane sztucznie na podstawie interpolowanych wartości przebiegu czasowego, albo uzupełniane wartościami stałymi. Wyniki symulacji zostały pokazane na **rysunkach 5a...5f**.

Od liczby próbek zależy maksymalna częstotliwość widoczna na wykresie obliczonego widma. Można więc tym parametrem regulować pośrednio zakres analizy. Wiemy już, że minimalna częstotliwość jest równa odwrotności czasu symulacji, górna zaś jest równa:

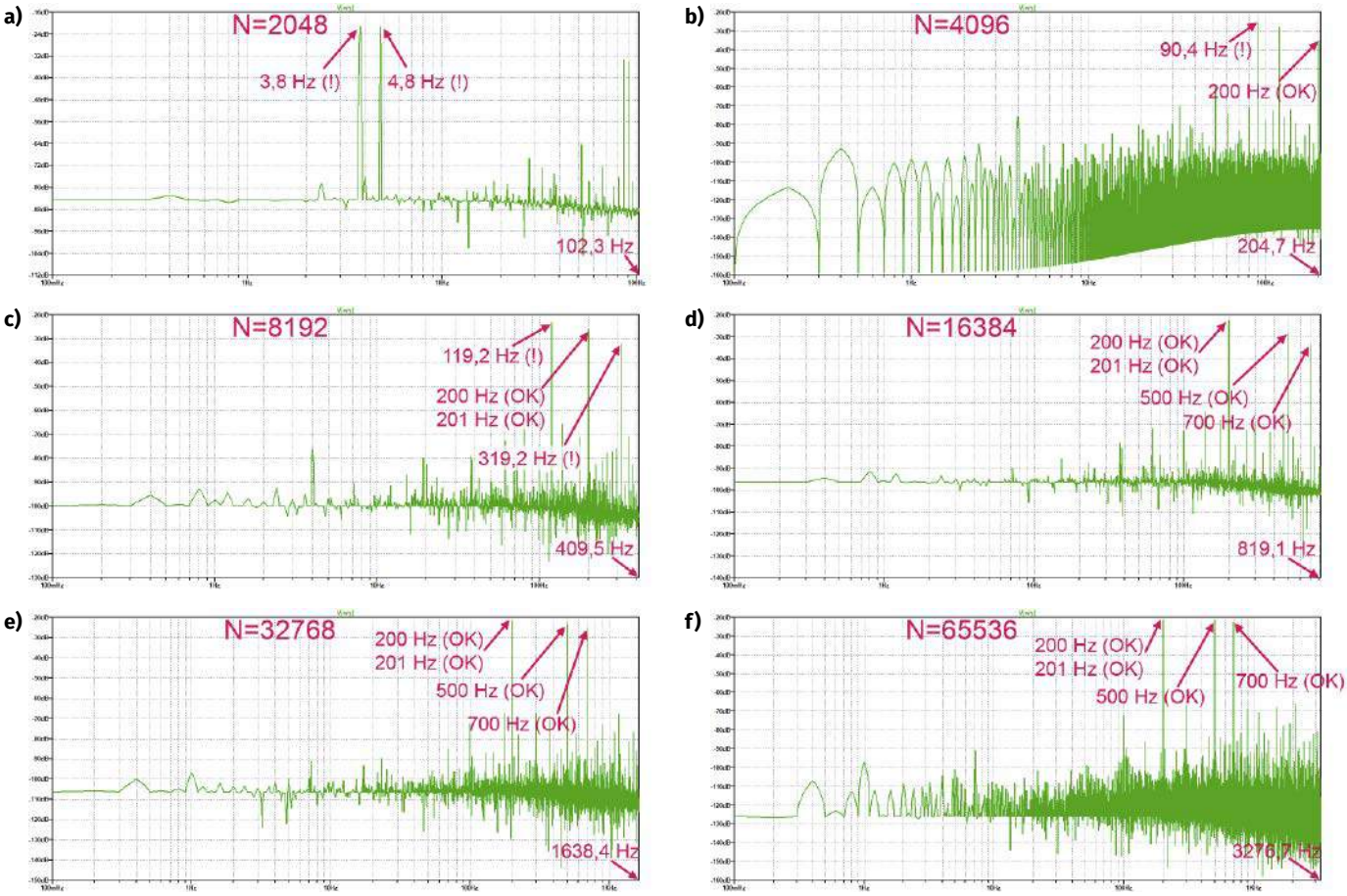
$$f_2 = \frac{N}{2}\cdot\frac{1}{T} - f_1 = \frac{N}{2}\cdot\frac{1}{T} - \frac{1}{T} = \frac{N-2}{2T}$$

gdzie:
N – liczba próbek (*Number of data point samples in time*),
T – czas symulacji,
f_1 – częstotliwość początkowa widma,
f_2 – częstotliwość końcowa.

Jak wiadomo w procesie próbkowania sygnału analogowego może wystąpić zjawisko aliasingu. Będzie tak, jeśli nie zostanie spełniony warunek określony w twierdzeniu o próbkowaniu Nyquista-Shannona. Mówi on, że częstotliwość próbkowania musi być co najmniej 2 razy większa od maksymalnej częstotliwości występującej w sygnale, Warto wiec tę częstotliwość znać. W symulatorze jest to parametr wirtualny, ale jego znaczenie jest dokładnie takie samo jak w przypadku próbkowania rzeczywistych sygnałów na przykład w oscyloskopie. Wirtualną częstotliwość próbkowania w programie LTspice można wyznaczyć ze wzoru:

$$f_p = \frac{N}{T}$$

Wróćmy jeszcze raz do przykładu omawianego wcześniej. Początkowo ustalaliśmy liczbę próbek równą 2048. Przy czasie symulacji równym 10 s dawało to częstotliwość próbkowania równą 204,8 Hz. Takie parametry nie mogą dać prawidłowego wyniku analizy FFT, gdyż nie jest spełniony warunek określony w twierdzeniu o próbkowaniu. Maksymalna częstotliwość musiałaby być 2-krotnie mniejsza od częstotliwości próbkowania, tymczasem składowe rozpatrywanego przebiegu zaczynają się od 200 Hz. Choć na wykresie występują blisko siebie dwa prążki (rysunek 5a), to są one wynikiem aliasingu i mają częstotliwości 3,8 Hz (204,8–201=3,8) i 4,8 Hz (204,8–200=4,8)

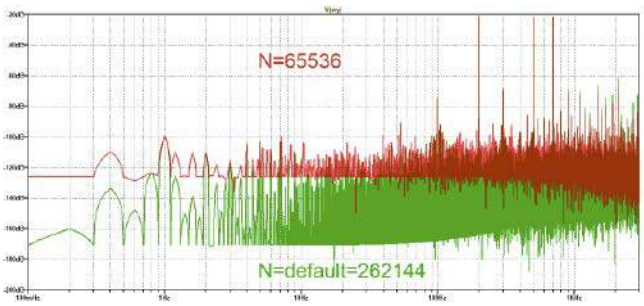


Rysunek 5. Wyniki symulacji przebiegu odkształconego a) N=2048, b) N=4096, c) N=8192, d) N=16384, e) N=32768, f) N=65536

eprasa.pl ad39d4d9f3

Tabela 1. Zestawienie obejmujące częstotliwość początkową f_1 i końcową f_2 wykresu FFT oraz wirtualną częstotliwość próbkowania f_p w zależności od liczby próbek N użytych do obliczeń przy stałym czasie akwizycji T=10 s, f_{max} – maksymalna częstotliwość, która może wystąpić w sygnale

N	f_1=R	f_2	f_p	f_{max}
16	0,1	0,7	1,6	0,8
32	0,1	1,5	3,2	1,6
64	0,1	3,1	6,4	3,2
128	0,1	6,3	12,8	6,4
256	0,1	12,7	25,6	12,8
512	0,1	25,5	51,2	25,6
1024	0,1	51,1	102,4	51,2
2048	0,1	102,3	204,8	102,4
4096	0,1	204,7	409,6	204,8
8192	0,1	409,5	819,2	409,6
16384	0,1	819,1	1638,4	819,2
32768	0,1	1638,3	3276,8	1638,4
65536	0,1	3276,7	6553,6	3276,8
131072	0,1	6553,5	13107,2	6553,6
262144	0,1	13107,1	26214,4	13107,2
524288	0,1	26214,3	52428,8	26214,4



Rysunek 6. Porównanie szumu w obliczeniach FFT dla N=65536 i N=262144

zamiast 200 Hz i 201 Hz. W analizie naszego przebiegu pozbywamy się aliasingu dopiero przy liczbie próbek równej 16384 (trzymając się jednak zasady, że liczba próbek jest potęgą liczby 2). Wobec tego „odkrycia" przestaje więc dziwić domyślna, wydawać by się mogło, bardzo duża liczba próbek programu LTspice. W **tabeli 1** zestawiono częstotliwość początkową f_1 i końcową f_2 wykresu FFT oraz wirtualną częstotliwość próbkowania f_p w zależności od liczby próbek N użytych do obliczeń. Przyjęto stały czas akwizycji T=10 s. W zestawieniu uwzględniono ponadto teoretycznie maksymalną częstotliwość f_{max}, która może wystąpić w sygnale. Parametr *„Number of data point samples in time"* wpływa ponadto na poziom szumów wyświetlanych na wykresie widma. Zwiększenie liczby próbek zmniejsza poziom szumów, co zilustrowano na **rysunku 6**. W pokazanym na nim eksperymencie pomiar widma był uruchomiony z domyślną liczbą próbek (N=262144 – wykres zielony), a następnie z ręcznie wprowadzoną wartością N=65536 (wykres czerwony). W celu łatwiejszego porównywania wykresów wprowadzono następnie takie same zakresy na obu osiach.

Wpływ kompresji danych i precyzji obliczeń na symulację FFT

Program LTspice w trakcie wykonywania obliczeń, m.in. FFT, tworzy pliki dyskowe takie jak **.log*, **.net*, **.raw*. W plikach **.raw* są zapisywane dane związane z wykresem czasowym. Dane te są następnie uzywane do obliczeń FFT. W zależności od stopnia złożoności układu symulowanego i parametrów symulacji, w szczególności czasu symulacji i liczby przebiegów, pliki te mogą osiągać bardzo duże wielkości. Zwykle po zakończeniu pracy z programem nie są one potrzebne i w zależności od opcji *„Save .raw, .plt and .log data file in a specific direktory"* mogą być kasowane lub nie. Warto tę opcję wyłączyć, aby nie zaśmiecać dysku zbędnymi plikami. Nie jest jednak możliwa praca symulatora bez tworzenia tych plików. Łatwo domyślić się, że obsługa dużych plików będzie wpływała niekorzystnie na szybkość działania programu. Autorzy zastosowali więc domyślną ich kompresję, niestety stratną. Może to skutkować pewnymi niedokładnościami podczas obliczeń FFT, ponieważ funkcja ta korzysta z danych zapisanych w plikach *.raw*. Jeśli więc planujemy obliczanie widma, warto kompresję wyłączyć umieszczając na pulpicie symulatora opcję:

```
.options plotwinsize=0
```

Spowolni ona działanie symulatora, ale może poprawić efekt obliczeń. Zwykle zastosowanie tej opcji skutkuje obniżeniem poziomu szumów. Efekt ten może być wzmocniony zwiększeniem precyzji obliczeń np. po zastosowaniu opcji:

```
.options numdgt=7
```

Parametr `numdgt>6` powoduje włączenie podwójnej precyzji obliczeń, co oczywiście skutkuje dalszym zwiększeniem wielkości plików *.raw*.

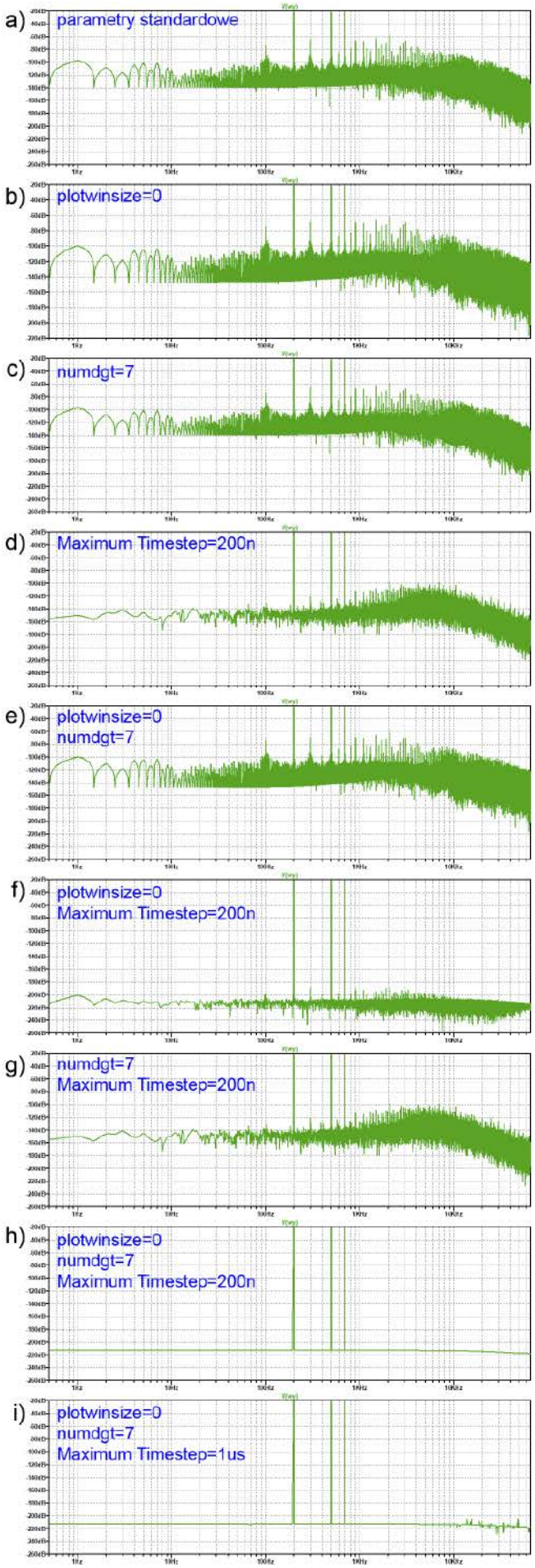
Należy pamiętać, że ustawianie w oknie *„Control panel"* (ikonka z młotkiem) parametrów związanych z kompresją nie daje stałego efektu. Wprowadzone wartości są ważne tylko w danej sesji pracy z LTspice. Wyjście z programu i jego ponowne uruchomienie przywraca parametry domyślne. Jeśli zależy nam na trwałym wyłączeniu kompresji, to jest to możliwe tylko dla konkretnej symulacji zapisanej w pliku *.asc* po wcześniejszym umieszczeniu na schemacie wymienionych wcześniej opcji.

Maximum timestep

Wymienione środki optymalizacji analizy FFT nie są jedynymi. Co więcej nie są najbardziej skuteczne. Jak już było wcześniej powiedziane nie wiemy dokładnie jak działa algorytm obliczania FFT zastosowany w symulatorze LTspice. Wiadomo, że wynik analizy widmowej zależy od liczby próbek, ale musimy pamiętać, że program nie dysponuje fizycznym przebiegiem, który może próbkować w zależności od parametrów jakie się temu procesowi zada. Wejściowy przebieg poddawany analizie w symulatorze jest tworzony cyfrowo, a dodatkowo standardowo jest jeszcze kompresowany. Istnieje podejrzenie, że przy zadanej określonej liczbie próbek analizy FFT w przypadku, gdy ich zabraknie podstawowy bufor danych jest rozszerzany poprzez interpolację. Istnieje jednak możliwość fizycznego zwiększenia zasobu danych przez ustalenie maksymalnego kroku czasowego na etapie generowania wszystkich przebiegów w symulacji TRANSIENT. Jest to opcja *„Maximum Timestep"* komendy `.TRAN`. Musimy jednak zgodzić się na drastyczne wydłużenie czasu obliczeń po zastosowaniu wszystkich opcji. Może jednak w określonych sytuacjach warto je stosować. Z pewnością ciekawe będzie porównanie możliwych kombinacji opcji stosowanych do obliczeń FFT. Wykonajmy takie porównanie. Zbadamy przebieg zastosowany w pierwszej symulacji. Wiemy, że występują w nim dwie składowe oddalone od siebie i 1 Hz (200 Hz i 201 Hz), przyjmijmy więc minimalną rozdzielczość pozwalającą rozróżnić obie składowe. Niech to będzie 0,5 Hz. Wynikający z tego założenia czas symulacji jest równy 1/0,5 s=2 s.

Gdybyśmy niezależnie badali znaczenie takich parametrów jak: liczba próbek (standardowa lub ustalona), precyzja (standardowa lub podwójna), kompresja (włączona lub wyłączona) i maksymalny krok czasowy (standardowy lub ustalony), otrzymalibyśmy 16 wyników. Zachęcam Czytelników do przeprowadzenia własnych analiz, w artykule zostaną zaprezentowane tylko wybrane. Zrezygnujemy z badania wpływu liczby próbek na wynik analizy FFT, co ograniczy liczbę kombinacji do 8. We wszystkich pokazanych wykresach

eprasa.pl ad39d4d9f3



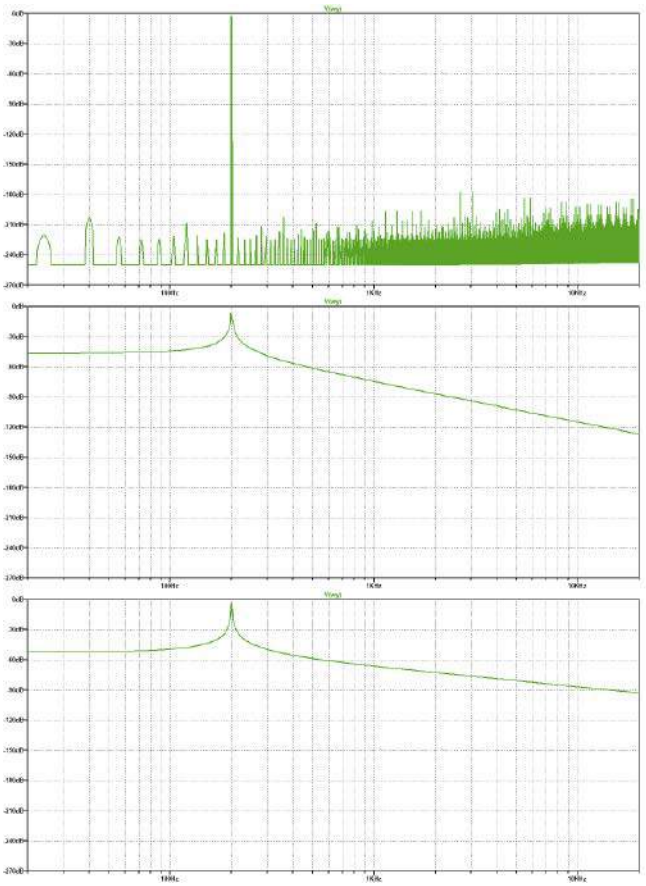
Rysunek 7. Porównanie wpływu parametrów plotwinsize, numdgt i Maximum Timestep na wyniki obliczeń FFT

zapewniono jednolity zakres na osi pionowej. Punktem odniesienia jest analiza ze standardowymi parametrami. Jak widać, wyłączenie kompresji i zwiększenie precyzji obliczeń wpływa zwykle korzystnie w mniejszym lub większym stopniu na jakość wyniku analizy FFT, ale największe znaczenie ma jednak parametr Max Timestep polecenia .TRANSIENT. Decyduje on o gęstości kroku czasowego podczas obliczania zależności czasowych, a zatem również o ich dokładności. Parametry domyślne zoptymalizowano tak, aby uzyskać kompromis między czasem wykonywania obliczeń a ich dokładnością. Jeśli bardzo nam zależy na czystości analizy FFT warto poeksperymentować z tym parametrem. Trudno jednak udzielić uniwersalnej porady w tym względzie. Przykładowo, w naszym eksperymencie drobne artefakty na wykresie FFT zaczynają się pojawiać dla maksymalnego kroku czasowego ok. 1 μs (**rysunek 7i**).

Wyciek widma

Transformacja Fouriera daje w wyniku ciągłe widmo od minus nieskończoności do plus nieskończoności, zakłada też, że przebieg jest okresowy. Obliczenia transformacji dyskretnej ograniczają się do ściśle określonego czasu – okna. Jeśli w tym czasie zmieści się pełna krotność okresu badanego sygnału, obliczenia można uznać za poprawne (z pominięciem efektów wynikających z dyskretyzacji procesu). Jeśli jednak czas obliczeń obejmuje pewną liczbę pełnych okresów plus „wiszący" fragment kolejnego okresu, dochodzi do tzw. wycieku widma. Na wykresie widma zobaczymy oczywiście prążek odpowiadający częstotliwości sygnału, ale będzie on rozmyty i jakby rozciągnięty na sąsiednie częstotliwości. Sprawdźmy ten efekt praktyce.

Tym razem rozpatrujemy czysty sygnał sinusoidalny o amplitudzie 1 V i częstotliwości np. 200 Hz. Okres tego sygnału jest równy 5 ms. Załóżmy, że analiza FFT powinna objąć dokładnie 100 okresów,



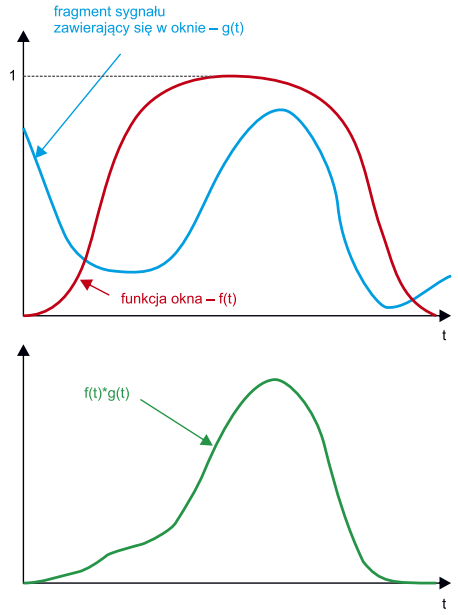
Rysunek 8. Wykresy FFT dla przypadków bez i z wyciekiem widma – częstotliwość sygnału 200 Hz a) czas symulacji T=500 ms (obejmuje pełną liczbę okresów przebiegu) – brak wycieku widma, b) czas symulacji T=502,5 ms dodana połowa okresu – wyciek widma, c) czas symulacji T=501,25 ms dodane ćwierć okresu – wyciek widma

eprasa.pl ad39d4d9f3

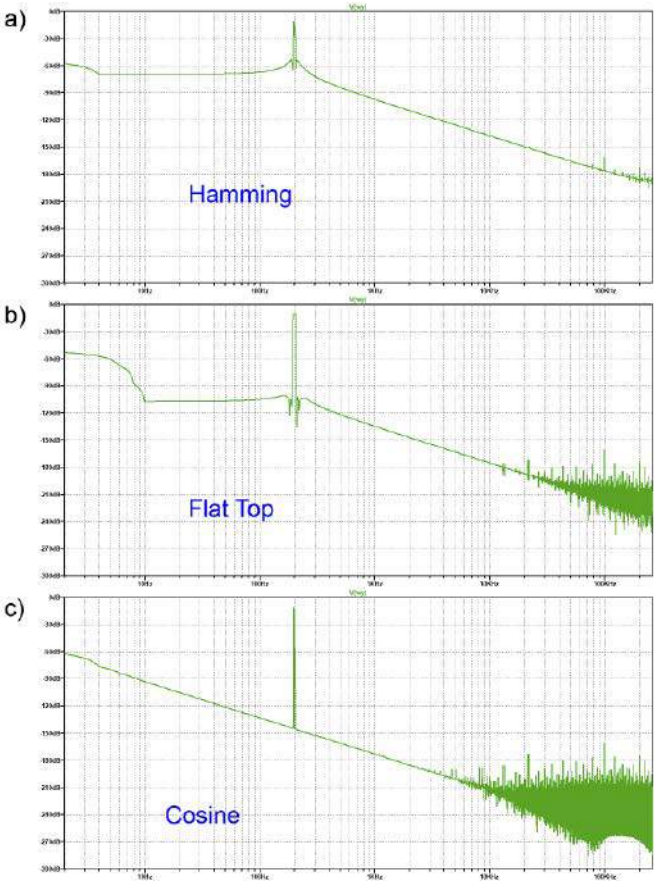
powinniśmy zatem uruchomić symulację TRANSIENT z czasem 500 ms. Dla zwiększenia dokładności obliczeń przyjmiemy ponadto maksymalny krok czasowy 10 µs, włączymy podwójną precyzję obliczeń i wyłączymy kompresję danych. Analizę FFT prowadzimy ze standardową liczbą próbek (262144). Wynik obliczeń został pokazany na **rysunku 8a**. Ograniczamy zakres wyświetlanych częstotliwości do 20 Hz...20 kHz, Teraz do okna czasowego dodajemy pół okresu przebiegu, czas symulacji wydłużamy zatem do 502,5 ms i tak jak w poprzednim przypadku ograniczamy zakres wyświetlania widma do takiego samego zakresu (**rysunek 8b**). Warto jeszcze sprawdzić, jak będzie wyglądał wykres widma dla przypadku, w którym czasowe okno analizy zostanie rozszerzone o ćwierć okresu. Czas symulacji jest więc równy 501,25 ms. Skutki wycieku widma są nadal widoczne, chociaż rozmycie jest o kilka decybeli niższe.

Nietrudno wyobrazić sobie, że w świecie rzeczywistym spełnienie warunku, aby w oknie czasowym mieścił się pełny okres przebiegu jest praktycznie niemożliwe. Najczęściej w ogóle nie mierzymy przebiegu okresowego, tylko złożenie wielu przebiegów zupełnie nieskorelowanych ze sobą. Praktycznie więc zawsze stosując analizę FFT będziemy mieć do czynienia z wyciekiem widma. Jak więc poradzić sobie z minimalizacją skutków tego efektu?

Rozwiązanie oczywiście istnieje, chociaż siłą rzeczy musi wprowadzać pewną deformację cyfrowej postaci przebiegu oryginalnego. Jeśli transformacja Fouriera zakłada okresowość sygnału, metoda eliminacji wycieku widma powinna w jakiś sposób tak przekształcić sygnał oryginalny, aby algorytm obliczający FFT „myślał", że ma do czynienia z sygnałem okresowym. Cechą funkcji okresowej jest to, że wartości tej funkcji na początku okresu i na końcu są takie same (przy założeniu, że punkt końcowy okresu jest jednocześnie punktem początkowym kolejnego). Jeśli sygnał przed poddaniem go analizie FFT wymnożymy przez jakąś funkcję, która na krańcach okna będzie równa zero, to uzyskamy efekt, o którym była mowa. Na **rysunku 9** zilustrowaną ten pomysł. Niestety, ta operacja zniekształca przebieg oryginalny, ale zwykle poprawia skutki wycieku danych z okna czasowego analizy FFT. Funkcje okna mogą być różne. W praktyce istnieje kilka najczęściej używanych, które powinny być dobierane w zależności od potrzeb. Często oknom tym nadawane są nazwy pochodzące od nazwisk ludzi, którzy je zdefiniowali. Poszczególne typy okien różnie wpływają na pomiar amplitudy i częstotliwości. Przykładowo, okno Hamminga zapewnia dobrą rozdzielczość częstotliwościową, ale gorszy pomiar amplitudy. W przeciwieństwie do niego okno Flat Top zapewnia dobry pomiar amplitudy przy słabszym określaniu



Rysunek 9. Ilustracja zasady działania okna czasowego w obliczeniach FFT



Rysunek 10. Wynik analizy FFT z zastosowaniem różnych okien czasowych a) okno Hamminga, b) okno Flat Top, c) okno Cosine

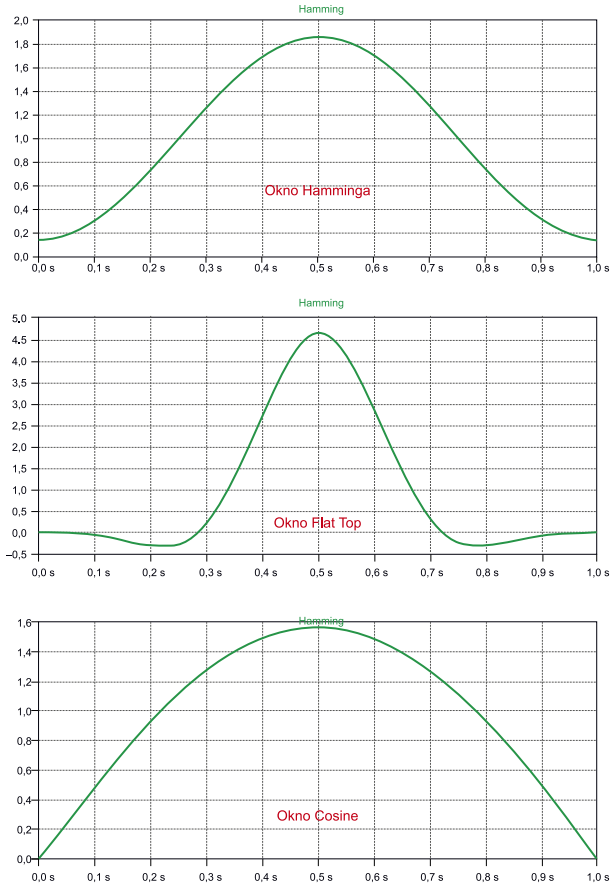
częstotliwości. Zobaczmy, czy i jak poprawią się wykresy widma z rysunku 8 po zastosowaniu kilku najczęściej stosowanych okien. Zachowamy parametry symulacji z wyciekiem połowy okresu w oknie czasowym. Uruchamiamy więc symulację `.tran 0 502.5m 0 10u`, a po wykreśleniu przebiegu czasowego uruchamiamy 3-krotnie analizę FFT, za każdym razem zmieniając typ okna (*Windowing Function*). Na **rysunku 10** pokazano działanie okna Hamminga, Flat Top i Cosine, a na **rysunku 11** pokazano każde z tych okien.

Pomiar sygnału rzeczywistego

Do tej pory rozpatrywaliśmy symulację całego toru pomiarowego włącznie ze źródłem sygnału. Spróbujmy teraz włączyć do symulacji element świata rzeczywistego. W tym celu korzystając z programu Audacity nagramy dźwięki generowane przez wentylator i porównamy widmo obliczone w tym programie z widmem obliczonym w symulatorze LTspice. Nagrany sygnał eksportujemy w formacie WAV do pliku *warkot.wav*, a następnie opisywanymi już we wcześniejszych odcinkach cyklu metodami importujemy w symulatorze. Nagranie trwa 4 sekundy. Schemat pomiarowy, wykres czasowy i analizę FFT pokazano na **rysunku 12a**. Widmo obliczono bez żadnego okna czasowego. Na rysunku 12b widzimy natomiast widmo tego samego sygnału obliczone w programie Audacity. Można odnotować dużą zgodność obu wykresów.

Pozostaje jeszcze wyciągnięcie jakichś wniosków z tej obserwacji. Można stwierdzić, że dość ewidentne maksimum sygnału występuje dla zakresu częstotliwości ok. 44...46 Hz, co odpowiadałoby obrotom 2640...2760 rpm. To bardzo dużo. Należałoby się spodziewać maksymalnych obrotów rzędu 1400...1600 rpm. Wentylator był jednak zamknięty w urządzeniu, być może rezonowała obudowa, możliwe również, że wyższa wysokość dźwięku wynika z tego, że dźwięk jest generowany nie tylko na skutek drgań wirnika, ale również przez obracające się skrzydełka, których jest kilka. Mamy więc pewien problem interpretacyjny. Aby jakoś go rozwiązać wykonałem dodatkowy pomiar innym narzędziem z zastosowaniem akcelerometru.

eprasa.pl ad39d4d9f3

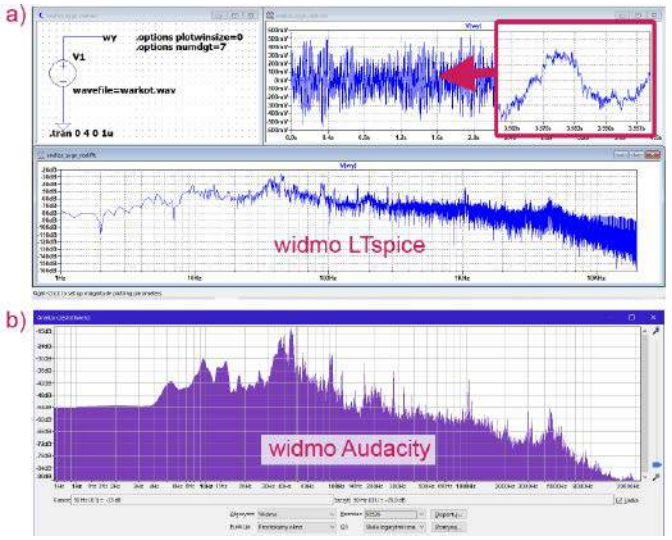


Rysunek 11. Przykładowe okna czasowe analizy FFT

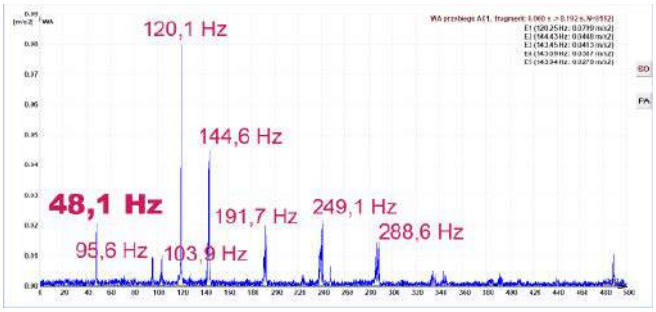
Hmmm... zamiast rozstrzygnąć wątpliwości pojawiły się kolejne. Owszem na wykresie widoczny jest wyraźny prążek w okolicach 48 Hz (**rysunek 13**), ale maksimum widma wypada na ok. 120 Hz. Odpowiedź może być tylko jedna, Nie mierzymy tylko prędkości obrotowej wentylatora, lecz również bicie jego łożyska, co do kiepskiej jakości którego faktycznie nie mam wątpliwości.

A co by było gdyby...

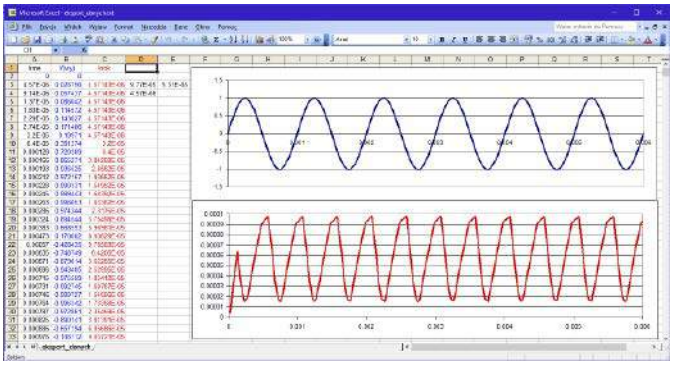
Zapewne uważni Czytelnicy zadali sobie pytanie: a co by się stało, gdyby wynik analizy FFT poddać analizie FFT? Nawet nie wnikając w zawiłości matematyczne można sądzić, że przeprowadzimy w ten



Rysunek 12. Pomiar i analiza sygnału akustycznego zarejestrowanego mikrofonem, a) układ pomiarowy zastosowany w symulatorze wraz z wykresem czasowym przebiegu badanego, b) analiza FFT w programie LTspice, c) analiza FFT w programie Audacity



Rysunek 13. Analiza widmowa zjawiska pokazanego na rysunku 12 z zastosowaniem akcelerometru

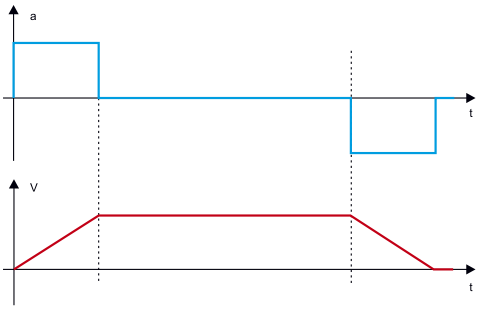


Rysunek 14. Wykres zmienności kroku w analizie czasowej LTspice

sposób odwrotną transformację Fouriera, czyli przejście z dziedziny częstotliwości na dziedzinę czasu. Nie jest to operacja wykonywana często, gdyż zwykle nie dysponujemy narzędziem, które dostarczałoby widmo wprost, bez wcześniejszego obliczenia go z przebiegu czasowego. Nie ma więc potrzeby przeprowadzania operacji odwrotnej, gdyż i tak odpowiednimi danymi dysponujemy. Jest jednak pewna dość nieoczywista sytuacja, w której odwrotna transformacja może być bardzo przydatna.

LTspice ma jedną, być może dość zaskakującą wielu użytkowników cechę ujawniającą się podczas tworzenia przebiegów czasowych. Załóżmy, że chcielibyśmy zastosować wygenerowany w symulatorze przebieg czasowy do obliczeń w jakimś zewnętrznym programie, np. w Excelu. Rysujemy schemat, uruchamiamy symulację TRANS i uzyskujemy wykres czasowy. Teraz eksportujemy dane tego wykresu do pliku tekstowego. Uaktywniamy okno wykresu i wybieramy polecenie: *„File → Export data as text”*. W oknie tego polecenia wybieramy lokalizację i nazwę pliku, np. *sinus.txt*. Otwieramy Excel i z menedżera plików przeciągamy plik *sinus.txt* do pustego obszaru roboczego Excela. Można dla wygody zamienić wykładniczą postać danych na normalną. Dane wprowadzone do arkusza nadają się do wszelkiego rodzaju obliczeń. Można na przykład wykonać wykres czasowy przebiegu. Gdybyśmy jednak chcieli analizować dane próbka po próbce, moglibyśmy napotkać na pewien niewygodny problem. Przeanalizujmy krok próbkowania zastosowany przez LTspice. W tym celu w polu C3 zapisujemy formułę: A3–A2 i kopiujemy tę komórkę w całej kolumnie C aż do końca danych. Patrzymy na dane... i okazuje się, że przy dłuższych czasach symulacji symulator nie używa przy tworzeniu wykresu czasowego stałego kroku próbkowania. Krok ten zmienia się cyklicznie, co zilustrowano na **rysunku 14.** Gdy przebieg wypłaszcza się (pochodna zbliża się do zera), symulator zwiększa krok czasowy. Niestety, taki niestały krok obliczeń noże utrudniać pewne operacje matematyczne. Metodą poprawienia tej niewygodnej własności symulatora jest dwukrotne przeprowadzenie transformacji Fouriera, czyli FFT na przebiegu czasowym i FFT na widmie. W rezultacie otrzymujemy ponownie przebieg czasowy, ale jeśli wykonamy eksport danych tak otrzymanego wykresu czasowego do Excela, tak jak to robiliśmy wcześniej, to okaże się, że tym razem krok czasowy jest już stały.

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 15. Rozwiązanie zagadki

Inne opcje analizy FFT

Dla porządku należy jeszcze wspomnieć o innych opcjach obliczeń FFT w symulatorze LTspice. Do tej pory była mowa o tym, że do obliczania FFT jest wymagana liczba próbek będąca potęgą liczby 2. Algorytm zastosowany w programie LTspice omija jednak ten problem. Nie wiemy jednak jak, gdyż Lineał Technologies tego nie ujawnia. Sądzimy, że brakujące dane są dodawane metodą interpolacji. Cechy te umożliwiają dość dowolne definiowanie zakresu obliczania transformaty FFT. Można więc liczyć ją z całego zakresu czasowego symulacji, można wskazać konkretny przedział czasowy wprowadzając numeryczne dane „Start time" i „Stop time", można też obliczać FFT z fragmentu widocznego na ekranie po zastosowaniu lupki powiększającej (zoom).

Ostatni trik, jakiego można używać podczas obliczeń FFT to uśrednianie dwumianowe („*Binomial Smoothing done before FFT and windowing*"). Opcja ta jest domyślnie włączona i operuje na trzech próbkach, ale zakres uśredniania można zmieniać. Zabieg teoretycznie powinien minimalizować szum, ale jego działanie jest bardzo subtelne.

Podsumowanie

Analiza FFT jest doskonałym narzędziem pozwalającym na diagnozowanie wielu nieprawidłowości działania różnych układów i urządzeń. Nieumiejętne jej stosowanie może jednak prowadzić do wyciągania mylnych wniosków. Największym wrogiem tego narzędzia jest kompresja danych i dodawanie brakujących danych przez interpolację. Prowadzi to do rozmywania się widma i dodawania składników, które nie wystąpiłyby w równoważnym sygnale rzeczywistym. Doświadczony elektronik powinien wyłapywać większość niepożądanych artefaktów, ale nie zawsze jest to oczywiste. Jednym z lepszych środków zaradczych jest ograniczenie kroku czasowego, co jednak bardzo niekorzystnie wpływa na szybkość obliczeń.

Jarosław Doliński, EP

REKLAMA

KOMPUTERY RASPBERRY PI
I MODUŁY ARDUINO

ARDUINO

AVT SPV Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Sklep stacjonarny czynny jest od poniedziałku do piątku w godzinach: 8:00–16:00, tel. 22 257 84 66
e-mail: handlowy@avt.pl, tel. 22 257 84 51 (w godzinach: 9:00–15:00)

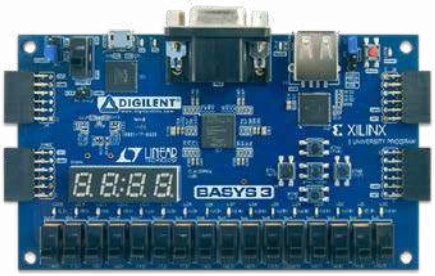
http://sklep.avt.pl

eprasa.pl ad39d4d9f3

Zestawy uruchomieniowe FPGA

Zestaw Basys 3 Artix-7 FPGA Trainer Board

http://bit.ly/2MW1wFS



Kod handlowy: FPGA0001
Producent: Digilent

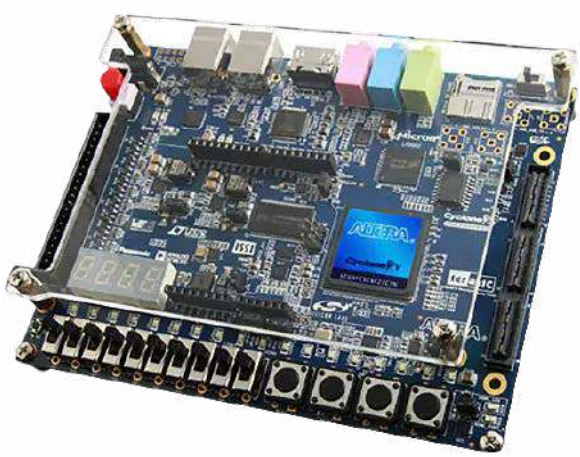
Zestaw Basys 3 jest w szczególności polecany hobbystom i organizatorom kursów poświęconych układom programowalnym, oraz uczestnikom tych kursów.

Oryginalny Basys 3 to zestaw do projektowania układów/systemów cyfrowych w środowisku Vivado Design Suite, z układem FPGA w wersji 35-T rodziny Artix 7 firmy Xilinx pozwalającym je praktycznie wdrożyć.

Zestaw ten to najnowsza odsłona linii produktów Basys powstała specjalnie z myślą o osobach początkujących i studentach kierunków elektronicznych. W ich ręce producent oddaje gotowy do użycia produkt o dużej liczby peryferii zawierający niezbędne obwody. Tym samym nie ma potrzeby dołączania odrębnych komponentów, by stworzyć określone rozwiązanie. Ostatnie może być przy tym proste (np. bramki logiczne) lub bardziej złożone (np. namiastka domu inteligentnego). Zatem to sprzęt do zastosowań domowych oraz profesjonalnych, w tym do układów czasu rzeczywistego (RTOS).

Zestaw Terasic Cyclone V GX Starter Kit

http://bit.ly/3t05sVE



Kod handlowy: FPGA0007
Producent: Terasic

Oyginalny Cyclone V GX Starter Kit to funkcjonalny zestaw do projektowania układów/systemów cyfrowych, szczególnie tych absorbujących mnóstwo zasobów logicznych. Zawiera on układ FPGA z rodziny Cyclone V GX firmy Intel, którego pojemność wynosi 77 tysięcy programowalnych bloków logicznych. W oparciu o ten układ możliwe jest tworzenie m.in. złożonych kontrolerów, prostych bramek logicznych, jak również rozwiązań korzystających z szybkiej wymiany danych, dzięki 6 transceiverom o przepustowości 3,125 Gb/s. Sterowanie silnikami, przetwarzanie strumieni video, urządzenia przenośne – to tylko niektóre zastosowania zestawu. Architektura przytoczonego układu wręcz do nich zachęca – wszak jest wiodąca w przemyśle. Ich wydajności, pobory mocy i inne parametry są przy tym zgodne z oczekiwaniami projektanta. Do tego sporo peryferii zestawu wzbogacające te zastosowania: przyciski, przełączniki, diody LED (o kolorze czerwonym i zielonym), a także wyjście HDMI i 24-bitowy kodek audio, pamięci LPDDR2 i SRAM, gniazdo kart MicroSD i aż 4 złącza do modułów rozszerzających i innych zestawów niekoniecznie z układami FPGA. Złącza te to: HSMC, SMA, GPIO 40 pinów i Arduino, przy czym ostatnie jest pod moduły typu shield. Dodatkowo płyta pleksiglasowa chroni zestaw przed upadkami.

Zestaw Altera MAX 10 FPGA Evaluation Kit

http://bit.ly/3qB5EsV

Kod handlowy: FPGA0014
Producent: Digilent

Oryginalny zestaw Altera MAX 10 – minimalistyczny do projektowania prostych układów/systemów cyfrowych, idealny dla osób początkujących, zwłaszcza tych, którym nauka elektroniki cyfrowej sprawia wiele problemów.

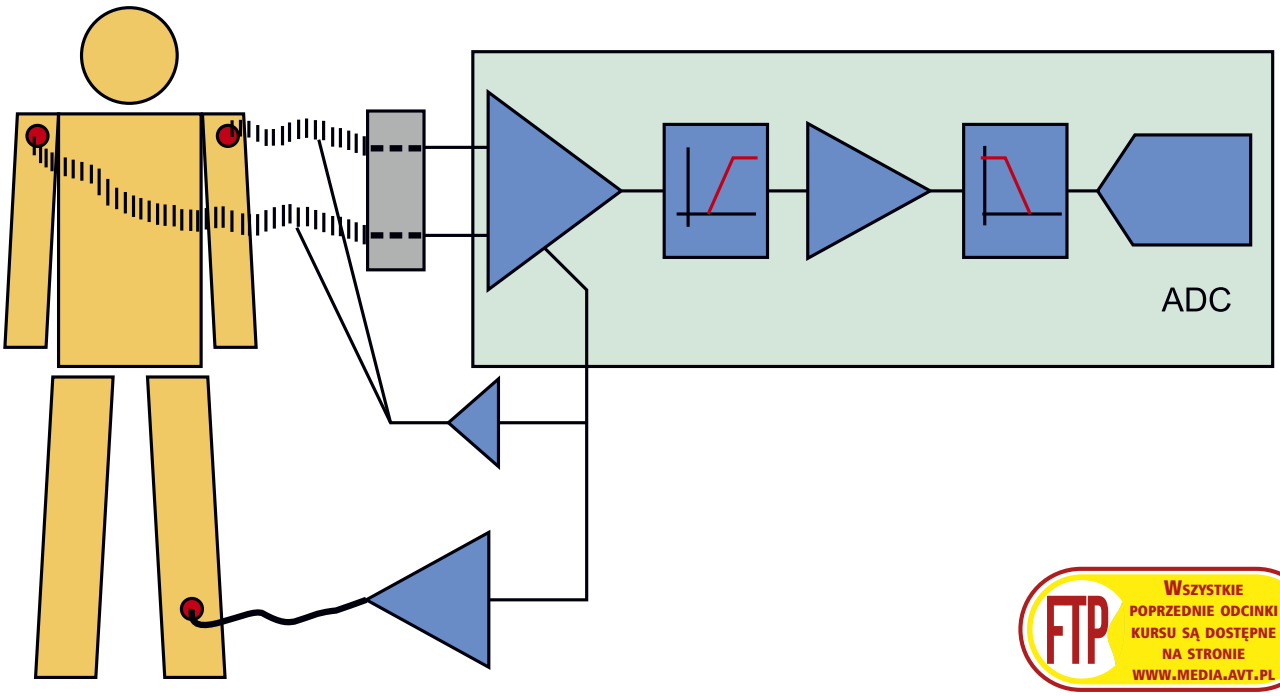
Zestaw zawiera układ FPGA z rodziny Max 10 firmy Intel, którego pojemność wynosi 8 tysięcy programowalnych bloków logicznych. Jest w nim obecny tylko nieskomplikowany przetwornik analogowo-cyfrowy z 8 kanałami oraz złącze Arduino Uno R3 do dołączania modułów typu shield, w tym pod platformę Arduino. Oprócz tego MAX 10 zawiera 2 złącza GPIO 40 pinów i jedno odrębne, których wyprowadzenia są dołączone do układu FPGA. W ten sposób możliwe jest dołączanie innych komponentów i zestawów, w tym bez układów FPGA. Istnieje możliwość pomiaru napięć i prądów zestawu oraz mocy przez niego pobieranej w punktach do których należy przyłożyć końcówki multimetru. W rezultacie użytkownik, poza światem układów programowalnych, zapoznaje się również z diagnostyką dostępnych na rynku płytek PCB.

Zestaw dla opornych.

AVT SPV Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Sklep stacjonarny czynny jest od poniedziałku do piątku w godzinach: 8:00–16:00, tel. 22 257 84 66
e-mail: handlowy@avt.pl, tel. 22 257 84 51 (w godzinach: 9:00–15:00)

http://sklep.avt.pl

eprasa.pl ad39d4d9f3



FTP
WSZYSTKIE POPRZEDNIE ODCINKI KURSU SĄ DOSTĘPNE NA STRONIE WWW.MEDIA.AVT.PL

Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (3)

Przegląd układów AFE do akwizycji sygnałów bioelektrycznych

W poprzednim odcinku Poradnika Implementacji opisaliśmy podział funkcjonalny układów AFE oraz zaprezentowaliśmy fizyczne i techniczne podstawy pomiaru sygnałów bioelektrycznych, generowanych przez ludzkie ciało. Tym razem przyjrzymy się konkretnym układom z oferty potentatów rynku półprzewodnikowego, przeznaczonym do zastosowań w stopniach wejściowych elektrokardiografów, elektroencefalografów i innych urządzeń medycznych tego typu.

ECG, czyli krótka historia rozwoju medycznych AFE

Bez zbędnej przesady można stwierdzić, że drogę do rozwoju układów AFE do zastosowań bioelektrycznych utorowały dwie firmy – Texas Instruments i Analog Devices. Przed wprowadzeniem na rynek pierwszego medycznego AFE noty aplikacyjne i projekty referencyjne, jakie można do dziś znaleźć w repozytoriach TI i ADI dotyczące układów wejściowych EKG, opierały się na bardziej dyskretnych rozwiązaniach – dobrym przykładem będzie doskonały artykuł pt. „ECG Front-End Design is Simplified with MicroConverter", opublikowany w periodyku „Analog Dialogue" nr 37/11 z listopada 2003 roku. Projekt bazował na analogowym mikrokontrolerze ADuC842 i wykorzystywał stopień wejściowy z kultowym wzmacniaczem pomiarowym AD620A.

Dopiero układy ADS129x i ADAS1000, wprowadzone na rynek odpowiednio 11 i 9 lat temu, zapoczątkowały wyścig technologiczny na polu układów przeznaczonych do akwizycji biosygnałów. Co ciekawe, choć firma Analog Devices wprowadziła jeszcze dwa inne front-endy biosygnałowe oraz kilka nowych wersji układu ADAS1000, to w pewien sposób i tak wypadła nieco z obiegu, dając się wyprzedzić (pod względem szerokości oferty układów biosygnałowych) swojemu największemu konkurentowi, czyli marce Texas Instruments.

O tym, jak skomplikowany i wymagający jest obszar układów AFE do zastosowań medycznych, mogły się niejednokrotnie przekonać inne firmy, które próbowały wdrożyć własne rozwiązania – jako przykład można wskazać front-end HM301D, opracowany przez ST-Microelectronics. Układ ten, jakkolwiek bardzo ciekawy pod względem technologicznym i funkcjonalnym (3 kanały biosygnałowe, opcja pomiaru bioimpedancji w trybie 2- i 4-przewodowym, wbudowany demodulator IQ i układy detekcji impulsów rozrusznika), został zaprezentowany 1 kwietnia 2014 i (jak na złość – czyżby klątwa prima-aprilisowa?) doczekał się zaledwie czterech kolejnych rewizji noty katalogowej, po czym zniknął z rynku szybciej, niż się pojawił. Zyskał status obsolete i od 2015 nie jest już dalej rozwijany w swojej pierwotnej formie. Także inny niskomocowy front-end EKG, układ LMP90507 produkcji Texas Instruments, nie odniósł sukcesu rynkowego, a o jego istnieniu można dowiedzieć się jedynie dzięki materiałom zaindeksowanym w przepastnych archiwach Internetu. Przykłady konstrukcji, które nie utrzymały się na rynku, można mnożyć, ale zamiast tego

eprasa.pl ad39d4d9f3

Tabela 1. Przegląd parametrów układów AFE z rodziny ADAS1000(-x)

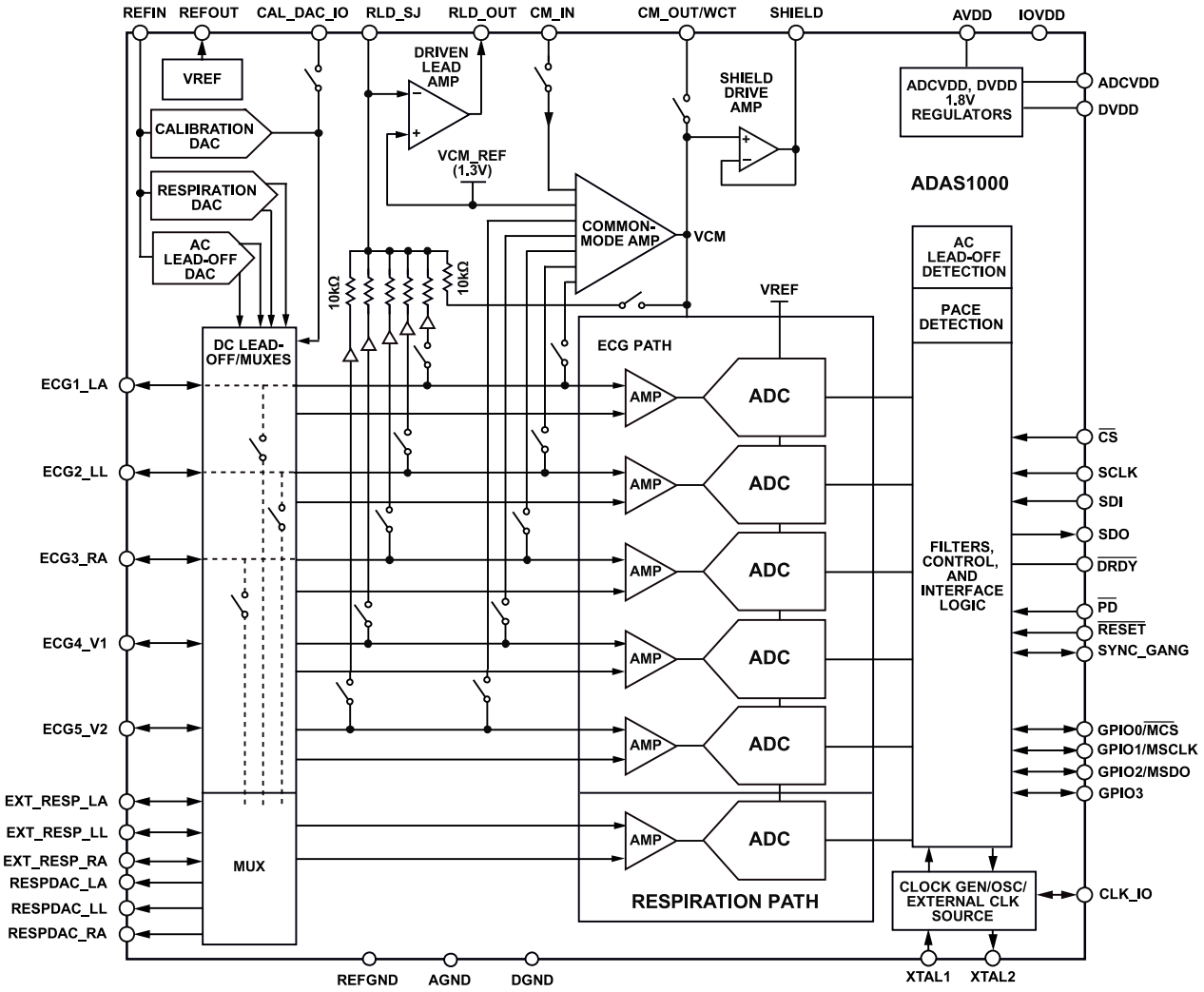
Model AFE	Tryb pracy	Liczba kanałów (elektrod)	Rozdzielczość		Liczba kanałów DAC	Pomiar akcji oddechowej	Detekcja impulsów rozrusznika	RLD/ aktywny ekran	Dostępne obudowy
			ADC	DAC					
ADAS1000-1	Master/ slave	5	18	10	2	-	-	x	LFCSP56
ADAS1000-2	Slave	5	18	10	2	-	-	-	LFCSP56 LQFP64
ADAS1000-3	Master/ slave	3	18	10	1	-	-	x	LFCSP56 LQFP64
ADAS1000-4	Master/ slave	3	18	10	1	x	x	x	LFCSP56 LQFP64
ADAS1000	Master/ slave	5	18	10	2	x	x	x	LFCSP56 LQFP64

zajmiemy się przedstawieniem tych modeli układów, które mają się dobrze i nieprzerwanie służą konstruktorom aparatury medycznej. Na początek przedstawimy rodzinę ADAS1000-x.

ADAS1000 – podstawowa funkcjonalność

Układ ADAS1000 w ciągu 9 lat od swojej rynkowej premiery doczekał się czterech remiksów o oznaczeniach zakończonych przyrostkami -1, -2, -3 i -4 i… funkcjonalności ograniczonej względem pierwotnej wersji (**tabela 1**). Dokładniej omówimy zatem najbardziej rozwiniętą edycję, na której bazują wszystkie nowsze układy z tej rodziny.

Na **rysunku 1** został pokazany uproszczony schemat funkcjonalny front-endu ADAS1000. Układ zawiera 5 identycznych bloków, złożonych ze wzmacniaczy instrumentalnych typu PGA (o wzmocnieniu regulowanym w dość nietypowej sekwencji 1,4; 2,1; 2,8; 4,2 V/V) oraz 18-bitowych przetworników ADC typu SAR. Warto zaznaczyć, że w rzeczywistości są to 14-bitowe przetworniki o częstotliwości próbkowania 2 MHz, ale nadpróbkowanie umożliwia dojście do 18, a nawet 19 bitów (przy znacznym obniżeniu prędkości akwizycji). Wejścia wzmacniaczy są połączone ze złożonym multiplekserem, pozwalającym na uzyskanie z pojedynczego układu ADAS1000 lub ADAS1000-1 aż 8 odprowadzeń EKG – oprócz kończynowych w układzie Einthovena I, II i III, multiplekser pozwala też na uzyskanie pomiaru dwóch unipolarnych odprowadzeń przedsercowych. Wszystko to dzięki sprzętowemu wsparciu generowania potencjału zerowego Wilsona (WCT). Należy wiedzieć, że układ ADAS1000 nie obsługuje sprzętowego wyznaczania sygnałów odprowadzeń wzmocnionych Goldbergera (aVR, aVL, aVF). Nie ma jednak problemu z wyliczeniem ich cyfrowo, już na etapie postprocessingu w oprogramowaniu nadrzędnego procesora.



Rysunek 1. Schemat blokowy układu ADAS1000

eprasa.pl ad39d4d9f3

Tabela 2. Sposób wyznaczenia sygnałów poszczególnych odprowadzeń EKG

Odprowadzenie EKG	Kombinacja potencjałów elektrod	Alternatywna wersja
I	LA – RA	
II	LL – RA	
III	LL – LA	
aVR2	RA – 0,5 × (LA + LL)	−0,5 × (I + II)
aVL2	LA – 0,5 × (LL + RA)	0,5 × (I – III)
aVF2	LL – 0,5 × (LA + RA)	0,5 × (II + III)
V1	V1 – 0,333 × (LA + RA + LL)	
V2	V2 – 0,333 × (LA + RA + LL)	

W **tabeli 2** zostały pokazane ogólne wzory na wyznaczenie poszczególnych odprowadzeń na podstawie sygnału z elektrod kończynowych (których potencjały oznaczono w tabeli jako LA – lewa k. górna, RA – prawa k. górna, LL – lewa k. dolna) i przedsercowych (V1, V2). Wbudowany rdzeń obliczeniowy pozwala na wykonanie cyfrowej kalkulacji sygnałów kilku podstawowych odprowadzeń, niejako zamiast klasycznego przetwarzania analogowego z użyciem odpowiednich ustawień multipleksera wejściowego i odejmowania bezpośrednio na wzmacniaczu instrumentalnym. Lista trybów pracy układu ADAS1000 jest wprost imponująca, co bez wątpienia czyni go jednym z najlepiej przemyślanych front-endów.

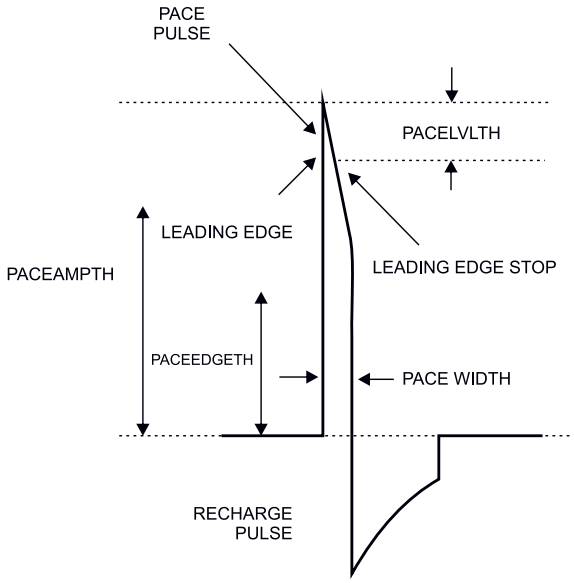
Rozbudowa systemu w trybie master-slave na bazie układów ADAS1000

O ile sam układ ADS1000 (-1) nie umożliwia pomiaru kompletnego, 12-odprowadzeniowego (klinicznego) EKG, to producent przewidział możliwość rozszerzenia systemu poprzez dodanie drugiego układu w konfiguracji master-slave (za pośrednictwem wspólnej szyny SPI). Co więcej, powstała w tym celu nawet specjalna wersja – układ ADAS1000-2 jest okrojoną edycją, zdolną do pracy wyłącznie w trybie podrzędnym (slave) i w połączeniu z dowolną spośród pozostałych wersji ADAS1000(-x) tworzy kompletny układ wejściowy klasycznego elektrokardiografu. ADAS1000-2 nie zawiera zatem części bloków funkcjonalnych, które występują w całym systemie, tylko pojedynczo – np. układu sterowania na prawą nogę (RLD), obwodów pomiaru akcji oddechowej czy też detekcji impulsów implantowalnego rozrusznika.

Funkcje specjalne EKG zaimplementowane w układzie ADAS1000

Układ ADAS1000 zawiera w swojej strukturze szereg bloków peryferyjnych znakomicie upraszczających konstrukcję urządzeń EKG, redukujących jej koszty i ograniczających rozmiary PCB. Jednym z najważniejszych jest wzmacniacz sygnału wspólnego (common-mode amplifier), z którego korzysta nie tylko funkcja wyznaczania sygnałów poszczególnych odprowadzeń (przypominamy, że na sumowaniu sygnałów z elektrod bazuje wyznaczanie centralnego potencjału Wilsona dla odprowadzeń unipolarnych), ale także obwody tzw. aktywnego ekranu (shield drive amp). Układ ten umożliwia „wpuszczenie z powrotem do ekranu" (znajdującego się w przewodzie pacjenta) sygnału wspólnego – jest to efektywna metoda redukcji zakłóceń przenoszonych drogą pojemnościową, co ma duże znaczenie przy sporej długości przewodów stosowanych w klinicznych elektrokardiografach. Warto zwrócić uwagę, że od strony metodologicznej funkcja ta jest nieco zbliżona do RLD, przy czym driver ekranu aktywnego nie wymaga odwracania sygnału (bufor ekranu jest w rzeczywistości wtórnikiem), a ponadto RLD wykorzystuje bezpośrednie galwaniczne połączenie z ciałem pacjenta, podczas gdy ekran pozostaje rzecz jasna niepołączony z ochranianymi przez niego żyłami przewodu sygnałowego.

Kolejnym niezwykle użytecznym blokiem funkcjonalnym jest 10-bitowy przetwornik kalibracyjny DAC. Oprócz wytwarzania napięcia stałego o zadanym poziomie (w zakresie od 0,3 do 2,7 V) może



Rysunek 2. Kształt typowego impulsu sztucznego rozrusznika serca

on także generować przebiegi prostokątne (1 mVpp) i sinusoidalne (1 mV), niezbędne do testowania dynamiki toru analogowego AFE. ADAS1000 oferuje ponadto nieulotne rejestry konfiguracyjne przechowujące stałe do kalibracji wzmocnień PGA.

Detekcja odłączenia elektrod została zaimplementowana w układzie ADAS1000 na dwa sposoby. Tryb stałoprądowy (DC lead-off detection), którego zasadę działania opisaliśmy w poprzedniej części Poradnika Implementacji, wykorzystuje nanoprądowe źródła ustawiane cyfrowo w zakresie od 0 nA (funkcja wyłączona) do 70 nA (z krokiem co 10 nA). Tryb AC może pracować z sygnałami przemiennymi o wartości RMS równej 12,5 nA, 25 nA, 50 nA lub 100 nA.

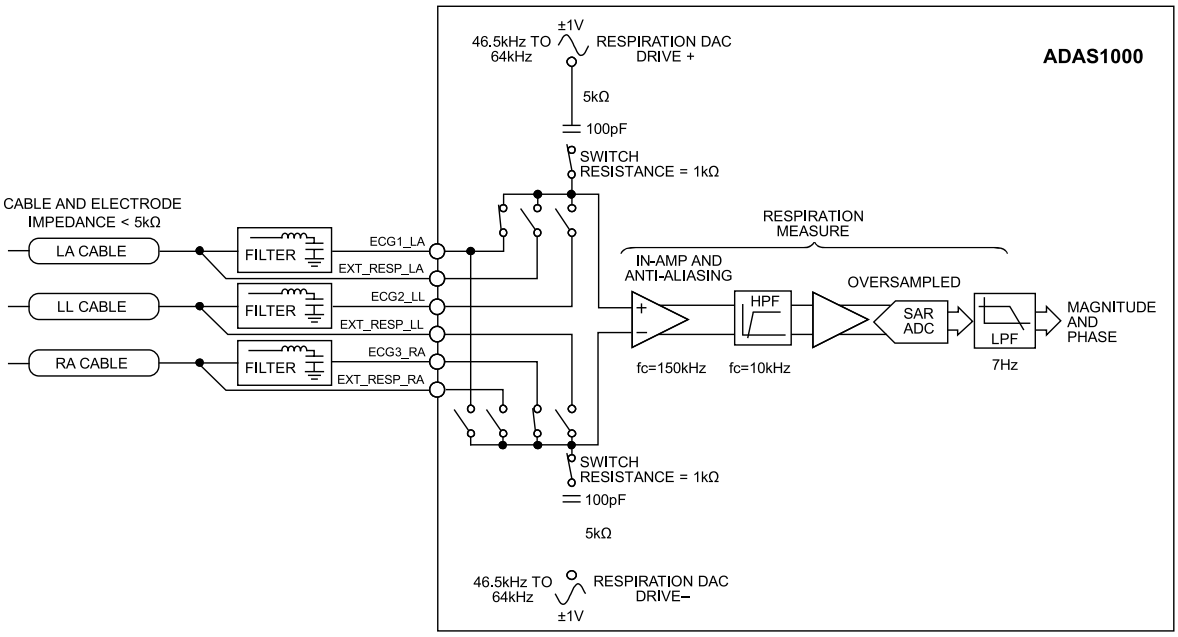
Obwody detekcji artefaktów impulsowych, wynikających z pracy implantowanych rozruszników serca, działają w oparciu na sprzętowej, 16-bitowej maszynie stanów pracującej z częstotliwością 128 kHz. Dzięki wysokiej częstotliwości próbkowania, front-end może wykrywać impulsy o długości od 100 µs do 2 ms. W strukturze układu znajdują się trzy osobne maszyny, które mogą pracować równocześnie z dowolnie wybranymi spośród następujących odprowadzeń: I, II, III lub aVF. Przebieg typowego, bifazowego impulsu rozrusznika przedstawiono schematycznie na **rysunku 2**.

Rejestry konfiguracyjne układu ADAS1000 zostały opracowane w sposób niebywale ułatwiający realizację zadań stawianych przed konstruktorami urządzeń biosygnałowych. Warto zwrócić uwagę choćby na implementację filtrów dolnoprzepustowych, które za pomocą zaledwie dwóch bitów rejestru FILTCTL można ustawić na najczęściej spotykane wartości: 40 lub 150 Hz (rejestratory holterowskie, monitorowanie parametrów życiowych), a nawet 250 Hz lub wreszcie 450 Hz (diagnostyka spoczynkowa i zastosowania laboratoryjne).

Blok detektora akcji oddechowej w układzie ADAS1000

Rozbudowany układ pomiaru akcji oddechowej (**rysunek 3**) opiera swoje działanie na zmianach impedancji bioelektrycznej klatki piersiowej, wynikających z rytmicznego rozprężania płuc i okolicznych tkanek (ścian klatki piersiowej, opłucnej). Programowalna częstotliwość sygnału testowego (sondującego) może wynosić od 46,5 kHz do 64 kHz, a za jej generowanie odpowiada dedykowany przetwornik DAC. Sygnał, zmodulowany amplitudowo przez zmiany bioimpedancji klp., jest następnie wzmacniany w specjalnym, szybkim wzmacniaczu pomiarowym, filtrowany górnoprzepustowo i demodulowany synchronicznie, a na końcu filtrowany dolnopasmowo przez wbudowane obwody front-endu. Wynikiem działania układu są dane o amplitudzie i fazie sygnału, zapisane w dwóch 24-bitowych rejestrach o nazwach – odpowiednio – RESPMAG i RESPPH.

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 3. Schemat blokowy obwodów detektora akcji oddechowej zastosowanych w układzie ADAS1000

Konieczność zastosowania sprzężenia zmiennoprądowego oraz rozdzielenia sygnałów EKG i bioimpedancyjnych w domenie częstotliwości wymusza użycie zewnętrznych obwodów RC, co jest zresztą typowe także dla front-endów EKG innych producentów. Jako elektrody testowe mogą być użyte dwie spośród elektrod kończynowych (RA, LA, LL), choć możliwe jest też użycie dedykowanych wejść EXT_RESP_RA, EXT_RESP_LA i/lub EXT_RESP_LL. Sygnały przemienne są generowane w sposób różnicowy, osobno (w przeciwfazie) dla każdej z elektrod wykorzystanych do podłączenia ścieżki sygnałowej układu RESP do ciała pacjenta.

Texas Instruments – najbogatsza oferta biosygnałowych AFE do zastosowań klinicznych

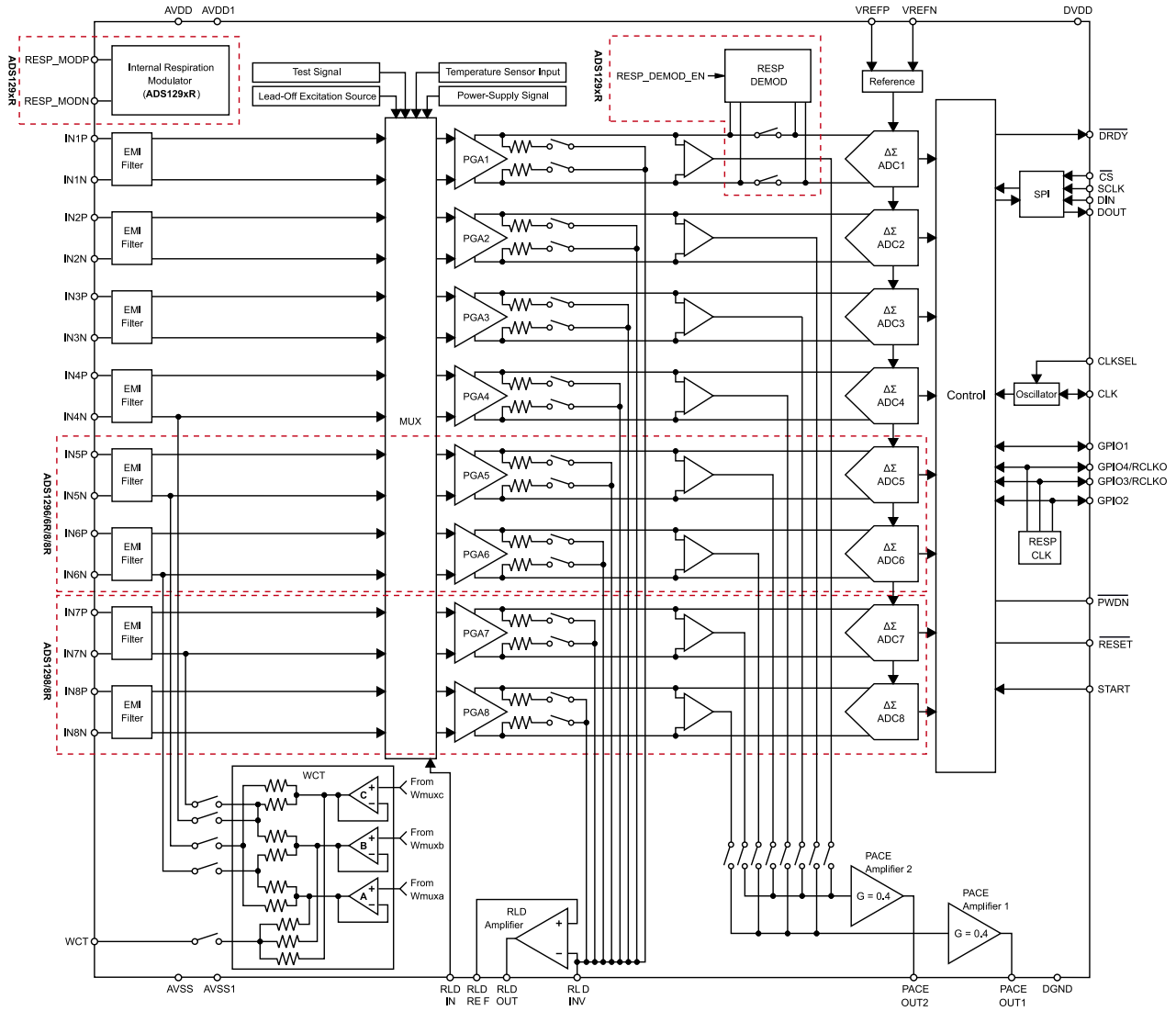
Firma Texas Instruments szturmem wkroczyła na rynek medycznych układów AFE, wprowadzając dwie serie produktów przeznaczonych do aplikacji EKG: ADS119x oraz ADS129x. Różnice pomiędzy poszczególnymi układami to przede wszystkim liczba kanałów pomiarowych (od 1 do 8), rozdzielczość przetworników ADC (16 lub 24 bit) oraz obecność bloku bioimpedancyjnego detektora oddechu. Schemat nazewniczy jest przejrzysty – druga cyfra oznaczenia liczbowego oznacza rozdzielczość ADC (1 – 16 bitów, 2 – 24 bity), czwarta – liczbę kanałów, zaś dodatkowa litera R na końcu nazwy modelu układu wskazuje obecność funkcji monitorowania oddechu.

Wyjątkiem, który omówimy w dalszej części artykułu, jest rodzina układów ADS1299(-x), które wyróżniają się na tle wszystkich innych front-endów biosygnałowych doskonałymi parametrami szumowymi, predestynującymi je do zastosowań w elektroencefalografii oraz innych badaniach biomedycznych (i nie tylko), które wymagają wysokiej rozdzielczości i sporego zakresu wzmocnienia. Przekrój portfolio front-endów bioelektrycznych z oferty TI został pokazany w **tabeli 3**, zaś dla lepszego obrazu omówimy tutaj dokładniej trzy spośród nich: najbardziej rozbudowany front-end EKG, czyli ADS1298R

Tabela 3. Lista front-endów EKG/EEG do zastosowań medycznych w ofercie Texas Instruments

Układ	Aplikacje	Klasyfikacja	Liczba kanałów	Rozdzielczość ADC	Monitorowanie oddechu	Zakres temperatur pracy [°C]	Obudowy
ADS1191	EKG	Niskomocowy	1	16	–	–40...85	TQFP32, VQFN32
ADS1192	EKG	Niskomocowy	2	16	–	–40...85	TQFP32, VQFN32
ADS1194	EKG	Niskomocowy	4	16	–	0...70	NFBGA64, TQFP64
ADS1196	EKG	Niskomocowy	6	16	–	0...70	NFBGA64, TQFP64
ADS1198	EKG	Niskomocowy	8	16	–	0...70	NFBGA64, TQFP64
ADS1291	EKG	Niskomocowy	1	24	–	–40...85	TQFP32, VQFN32
ADS1292	EKG	Niskomocowy	2	24	–	–40...85	TQFP32, VQFN32
ADS1292R	EKG	Niskomocowy	2	24	x	–40...85	TQFP32, VQFN32
ADS1293	EKG	Niskomocowy	3	24	–	–20...85	WQFN28
ADS1294	EKG	Niskomocowy	4	24	–	0...70	NFBGA64, TQFP64
ADS1294R	EKG	Niskomocowy	4	24	x	–40...85	NFBGA64
ADS1296	EKG	Niskomocowy	6	24	–	0...70	NFBGA64, TQFP64
ADS1296R	EKG	Niskomocowy	6	24	x	–40...85	NFBGA64
ADS1298	EKG	Niskomocowy	8	24	–	0...70	NFBGA64, TQFP64
ADS1298R	EKG	Niskomocowy	8	24	x	–40...85	NFBGA64
ADS1299	EEG	Niskoszumny	8	24	–	–40...85	TQFP64
ADS1299-4	EEG	Niskoszumny	4	24	–	–40...85	TQFP64
ADS1299-6	EEG	Niskoszumny	6	24	–	–40...85	TQFP64

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 4. Schemat funkcjonalny rodziny układów ADS1294(R), ADS1296(R) i ADS1298(R)

(porównywany najczęściej z konkurencyjnym ADAS1000), a także najprostszy jego odpowiednik (ADS1191) i flagowca – czyli wspomniany już wcześniej układ AFE o oznaczeniu ADS1299.

ADS1298R – sztandarowy front-end elektrokardiograficzny TI

Układ ADS1298(R) został wprowadzony na rynek jeszcze w 2010 roku i od tamtej pory cały czas doskonale radzi sobie na rynku jako jeden z najpopularniejszych front-endów biosygnałowych. Uznawany często za bezpośredniego konkurenta ADAS1000, oferuje niemal 2,5-krotnie niższy poziom szumu wejściowego (jedynie 4 μVpp w paśmie 150 Hz w porównaniu do około 10 μV @ 130 Hz w przypadku konkurenta od ADI), więcej kanałów pomiarowych (8 zamiast 5) i niższy pobór mocy (około 4,3...6,2 mW w porównaniu do około 21...31 mW, w obu przypadkach mowa o trybie low-power i zasilaniu domeny analogowej napięciem na poziomie 3...3,3 V, przy włączonym wzmacniaczu RLD i detektorach impulsów rozrusznika). Różnice jakościowe są też widoczne na poziomie wewnętrznego źródła napięcia odniesienia – o ile układ Texas Instruments oferuje nieco gorszą stabilność temperaturową (35 ppm/°C w porównaniu do 10 ppm/°C dla ADI), to jego bazowa tolerancja wynosi 0,2% (przy analogicznym parametrze dla ADAS1000 równym 0,8%).

Zasadnicza funkcjonalność układu ADS1298R, którego schemat funkcjonalny został pokazany na **rysunku 4**, jest mocno zbliżona do omówionego wcześniej ADAS1000, jednak w żadnym wypadku nie należy traktować obu układów jako funkcjonalnych zamienników. Do różnic należy fakt, że produkt TI nie oferuje wbudowanego drivera aktywnego ekranu, ma za to wewnętrzny czujnik temperatury. Układy ADS129x nie zawierają też sprzętowych rozwiązań wspierających detekcję impulsów rozrusznika; zamiast tego w strukturze front-endów zaimplementowano dedykowane wzmacniacze, pozwalające na podłączenie zewnętrznych układów detekcji, choć producent sugeruje też możliwość wykorzystania wysokich częstotliwości próbkowania (od 8 kSps w górę) i detekcji cyfrowej w oprogramowaniu procesora nadrzędnego. Konstruktorzy z firmy TI zdecydowali się ponadto na użycie przetworników w topologii delta-sigma, zamiast użytych przez ADI układów typu SAR.

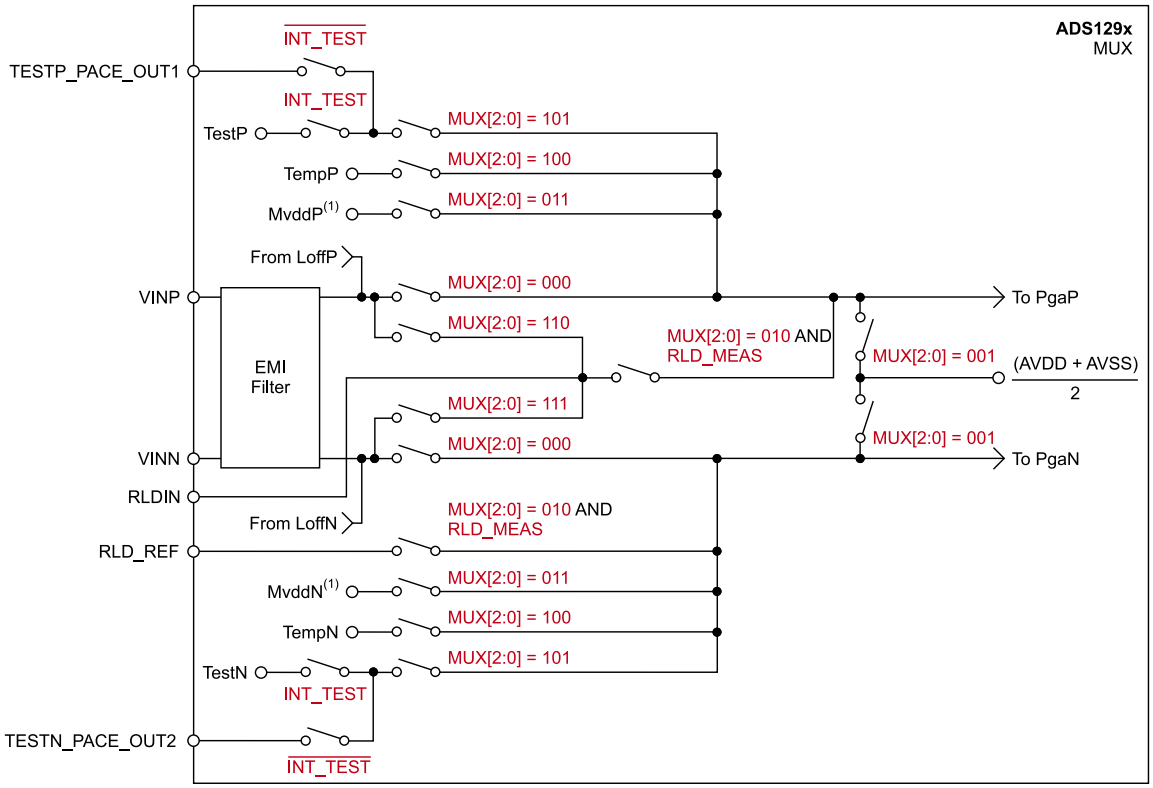
Takie rozwiązanie wiąże się jednak z nieuchronnym kompromisem pomiędzy prędkością akwizycji a poziomem szumów i rozdzielczością efektywną – wzrost prędkości próbkowania skutkuje spadkiem jakości sygnału, co w aplikacjach klinicznych może stanowić istotny problem. Przykładowo, o ile przy prędkości próbkowania rzędu 1 kSps (w zupełności wystarczającej w większości zastosowań klinicznych) i wzmocnieniu PGA równym 1 V/V poziom szumu międzyszczytowego wynosi 19 μV, o tyle dla częstotliwości 8 kSps wartość tego parametru rośnie już do 111 μV (prawie 6-krotnie – **tabela 4**). Ma to duże znacznie dla funkcjonowania elektrokardiografu, zważywszy na fakt, że załamek P – tak istotny w analizie elektrokardiogramów zarówno w zastosowaniach ratunkowych, jak i diagnostycznych – zwykle nie przekracza amplitudy 250 μV. Przykład ten doskonale ilustruje, jak silnie parametry front-endu wpływają na diagnostyczną wartość urządzenia jako całości.

Skomplikowany multiplekser stosowany w układach z rodziny ADS129x umożliwia zestawianie wszystkich połączeń niezbędnych zarówno do pomiarów poszczególnych odprowadzeń, jak i realizacji

eprasa.pl ad39d4d9f3

Tabela 4. Poziom szumu odniesiony do wejść ADS129x w trybie wysokiej rozdzielczości (AVCC = 3 V, VREF=2,4 V). Podano wartości według schematu μV_{rms} (μV_{pp})

Prędkość próbkowania [Sps]	Pasmo –3 dB [Hz]	Wzmocnienie PGA [V/V]						
		1	2	3	4	6	8	12
32000	8398	335 (3553)	168 (1701)	112 (1100)	85 (823)	58 (529)	42,5 (378)	28,6 (248)
16000	4193	56 (613)	28 (295)	18,8 (188)	14,3 (143)	9,7 (94)	7,4 (69)	5,2 (44,3)
8000	2096	12,4 (111)	6,5 (54)	4,5 (37,9)	3,5 (29,7)	2,6 (21,7)	2,2 (17,8)	1,8 (13,8)
4000	1048	6,1 (44,8)	3,2 (23,3)	2,4 (17,1)	1,9 (14)	1,5 (11,1)	1,3 (9,7)	1,2 (8,5)
2000	524	4,1 (27,8)	2,2 (15,4)	1,6 (11)	1,3 (9,1)	1,1 (7,3)	1 (6,5)	0,9 (6)
1000	262	2,9 (19)	1,6 (10,1)	1,2 (7,5)	1 (6,2)	0,8 (5)	0,7 (4,6)	0,6 (4,1)
500	131	2,1 (12,5)	1,1 (6,8)	0,9 (5,1)	0,7 (4,3)	0,6 (3,5)	0,5 (3,1)	0,5 (2,9)



Rysunek 5. Schemat multipleksera pojedynczego kanału w układach z rodziny ADS129x(R)

wszelkich dodatkowych funkcji (w tym kalibracyjnych) oferowanych przez front-end. Schemat blokowy multipleksera dla pojedynczego kanału (PGA + ADC) został pokazany na **rysunku 5**. Co ciekawe, firma Texas Instruments zaimplementowała nawet tak zaawansowane funkcje, jak pomiar sygnału RLD (za pomocą dowolnego z kanałów wejściowych). Choć w normalnych warunkach pracy funkcja taka nie jest konieczna, to producent przewidział ją do celów rozwojowych (ale może być wykorzystana także w ramach zaawansowanej autodiagnostyki urządzenia). System generowania napięcia wejściowego dla wzmacniacza RLD jest zresztą sam w sobie dość złożony – sekcję przełączników i wzmacniaczy różnicowych, umożliwiających podłączanie sygnałów z poszczególnych kanałów (zarówno z ich wejść odwracających, jak i nieodwracających), pokazano na **rysunku 6**. Konstruktorzy omawianych układów AFE przewidzieli nawet… możliwość dynamicznego przełączenia sygnału RLD na jedną z elektrod wejściowych w przypadku, gdyby np. właściwy przewód RLD odłączył się od ciała pacjenta – przykładowa konfiguracja tego typu dla wejścia IN8N została pokazana na **rysunku 7**.

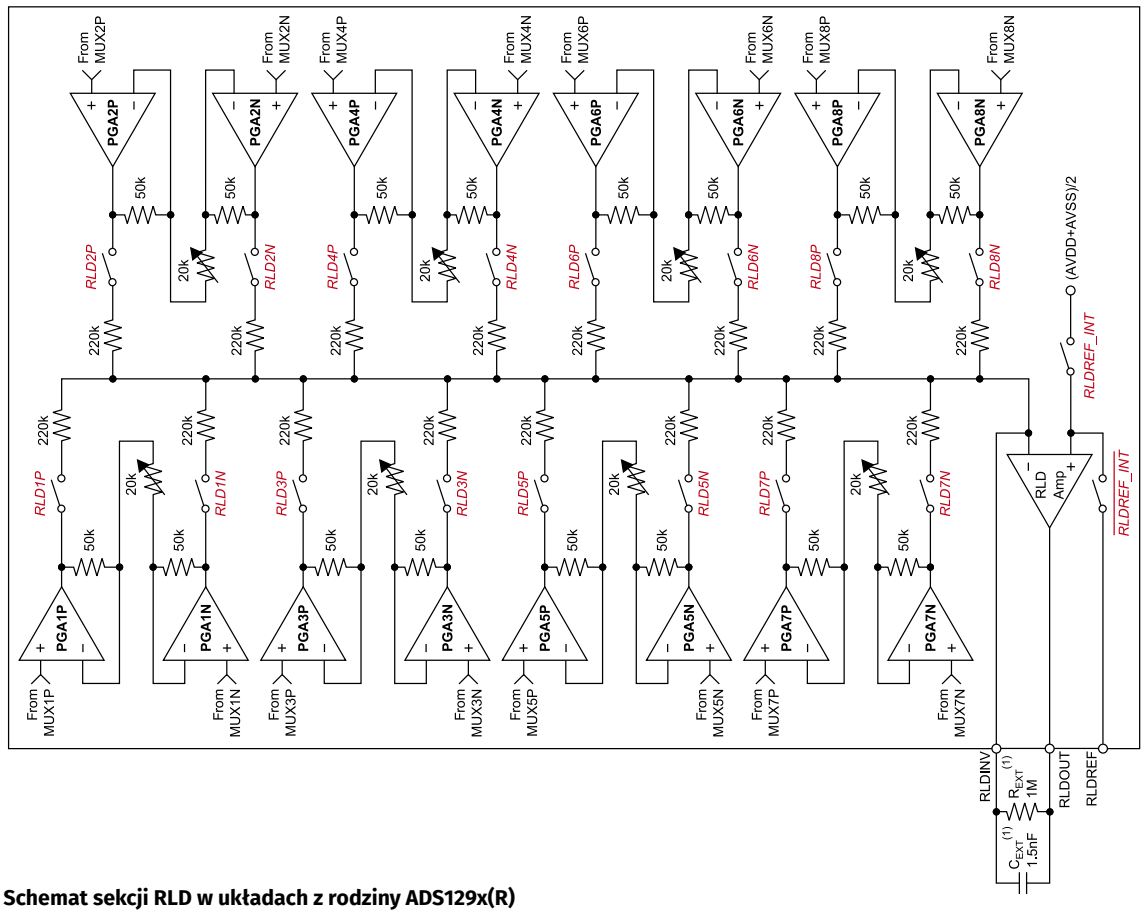
Rozbudowany układ multiplekserów zastosowano także do wyznaczania centralnego potencjału Wilsona (WCT). Trzy analogowe selektory 8:1 współpracujące z niezależnymi wtórnikami napięciowymi umożliwiają niemal dowolną konfigurację podłączenia elektrod kończynowych w zakresie od wejścia IN1 do IN4 (łącznie 8 linii, z uwzględnieniem różnicowego charakteru wejść kanałów pomiarowych). Wyjścia wtórników zostały zsumowane pasywnie za pomocą wewnętrznych rezystorów, zaś sygnał WCT jest dostępny na zewnętrznym wyprowadzeniu układu (pin nr 64 w obudowie TQFP lub 3D w obudowie NFBGA).

Warto dodać, że w układach ADS1298(R) przewidziano sprzętowe wsparcie do wyznaczania sygnału odprowadzeń wzmocnionych Goldbergera. Co ciekawe, aby wykonać taką operację w domenie analogowej (nie zaś poprzez obliczenie cyfrowe na podstawie odprowadzeń kończynowych), można z powodzeniem wykorzystać te same wtórniki, które wykorzystywane są do wyznaczenia sygnału WCT – konfigurację taką zaprezentowano na **rysunku 8**.

Układy ADS1191 i ADS1192(R)

Front-endy z rodziny ADS119x można z powodzeniem traktować jako odchudzone odpowiedniki ADS129x o nieco gorszych parametrach metrologicznych. Oprócz niższej rozdzielczości (16 bitów zamiast 24 bity) układy te charakteryzują się także wyższym poziomem szumu (24 µVpp w porównaniu do 4 µVpp dla ADS1298(R) w tych samych warunkach pomiaru, tj. G=6 V/V, BW=150 Hz) – stąd też inny zakres aplikacji, do jakich dedykowane są opisywane układy. W przypadku rodziny ADS119x głównym obszarem zastosowań będą aplikacje fitnessowe/sportowe, a także (pod pewnymi względami) mniej wymagające urządzenia medyczne – monitory holterowskie, event holtery, urządzenia telemedyczne czy defibrylatory

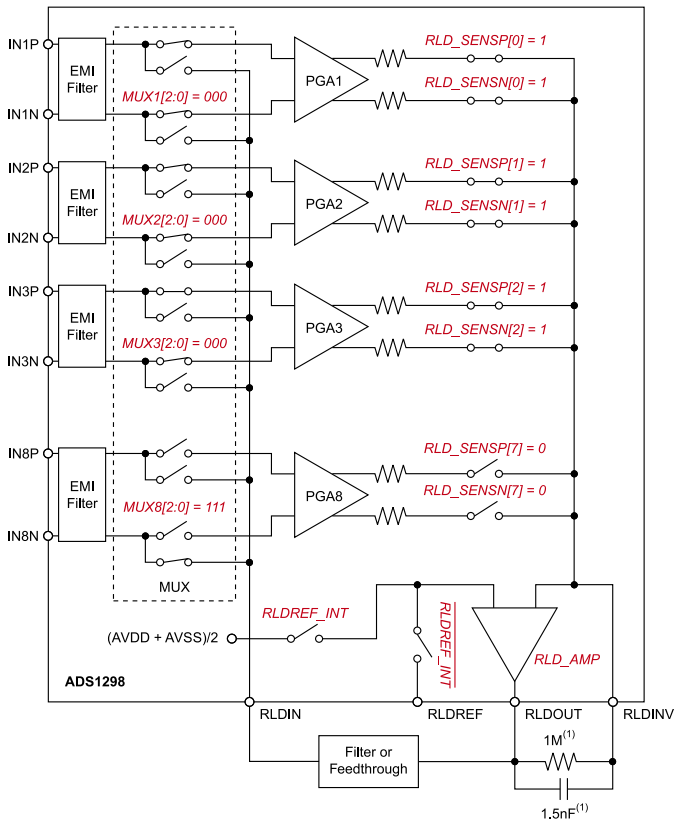
eprasa.pl ad39d4d9f3



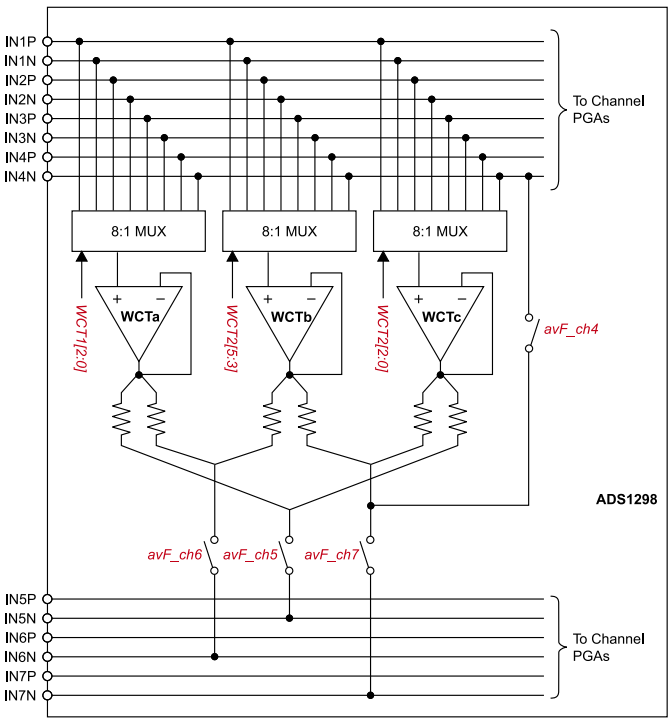
Rysunek 6. Schemat sekcji RLD w układach z rodziny ADS129x(R)

AED [1]. Schemat blokowy układów ADS1191/ADS1192(R) został pokazany na **rysunku 9**. Pod względem koncepcyjnym front-endy te mocno zbliżają się do serii ADS129x, umożliwiają zresztą połączenia typu daisy-chain (podobnie jak ich większe odpowiedniki) w celu zwiększenia liczby kanałów (wątpliwe jednak pozostaje, czy w przypadku tej serii produktów połączenie takie miałoby jakikolwiek sens, zważywszy na fakt, że dostępne są, również 16-bitowe, wersje ADS1194/6/8).

Wersja ADS1192R umożliwia pomiar akcji oddechowej, co wymaga podłączenia zewnętrznej sieci elementów pasywnych (RC) według

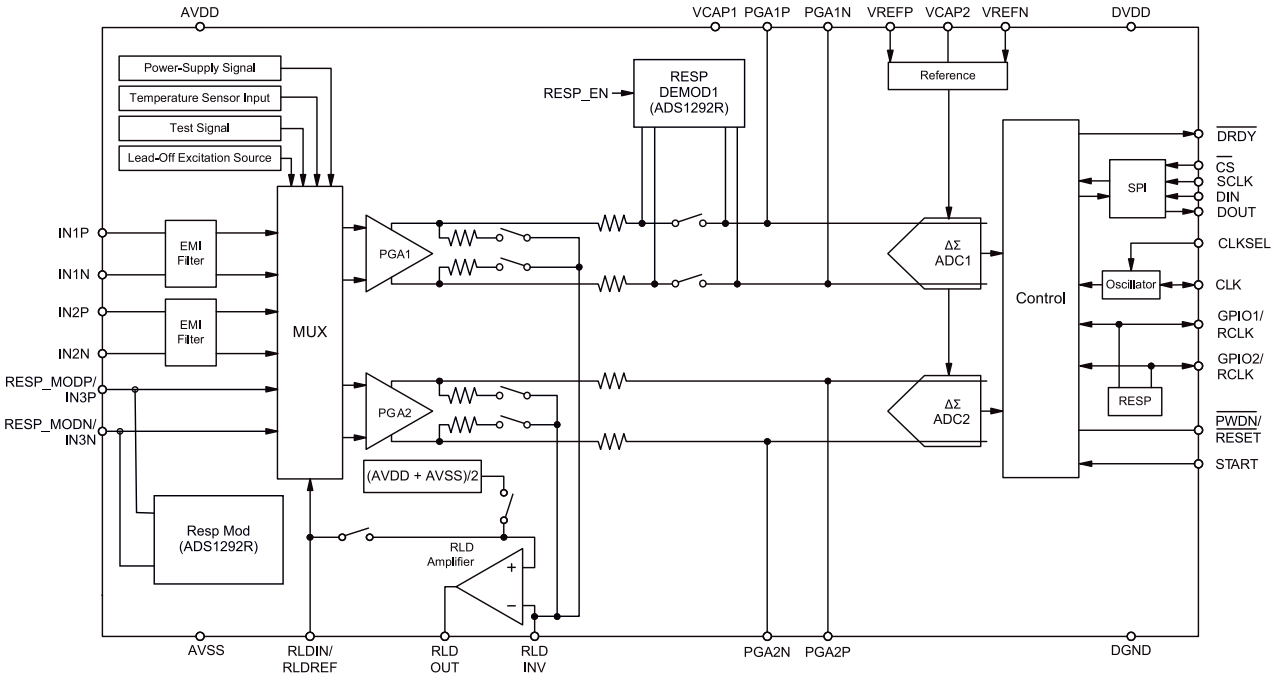


Rysunek 7. Awaryjne przełączenie wyjścia RLD na wejście nr IN8N w układzie ADS1298(R)

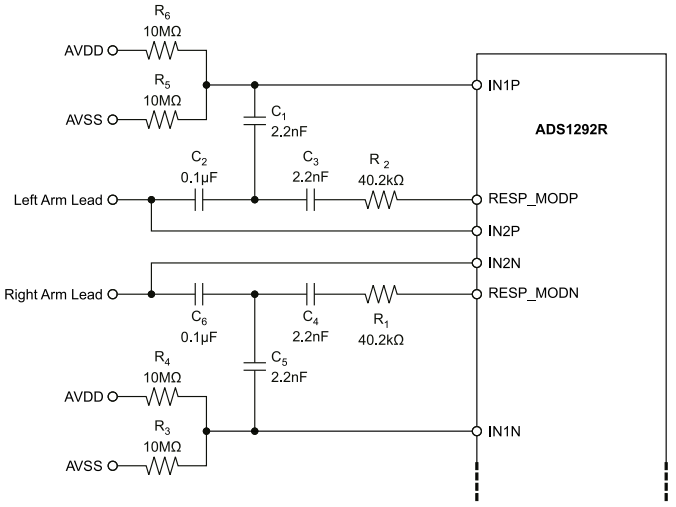


Rysunek 8. Analogowe obliczenie odprowadzeń wzmocnionych Goldbergera za pomocą wtórników podsystemu WCT w układzie ADS1298(R)

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 9. Schemat funkcjonalny układów z rodziny ADS1191/2(R)



Rysunek 10. Zewnętrzna sieć elementów pasywnych współpracująca z obwodami detekcji fali oddechowej

schematu pokazanego na **rysunku 10**. Zmiennoprądowe sprzężenie za pomocą kondensatorów C2/C6 pozwala na podawanie wysokoczęstotliwościowego przebiegu wewnętrznego modulatora za pomocą tej samej pary elektrod, która wykorzystywana jest do akwizycji sygnałów EKG. Co ważne, uruchomienie funkcji RESP uniemożliwia użycie kanału IN1 jako standardowego wejścia EKG.

Układy AFE przeznaczone do aplikacji EEG/Hi-res ECG

Wspomniana wcześniej rodzina układów AFE przeznaczonych do aplikacji EEG – ADS1299(-x) firmy Texas Instruments, oferuje wielokrotnie lepsze parametry pomiarowe niż najwyższe modele front-endów EKG tego samego producenta. Wyprzedza także wiele innych układów (jeśli nie wszystkie obecne na rynku) znajdujących się w ofertach konkurentów TI. Jak wspomnieliśmy w poprzedniej części cyklu, podstawowa struktura bloków wejściowych jest identyczna w urządzeniach EKG, EEG i aparaturze do akwizycji innych sygnałów elektrofizjologicznych. Taka sama pozostaje także zasada działania wzmacniacza RLD, stąd w serii ADS1299 nie powinna dziwić obecność tego właśnie bloku peryferyjnego, który (zapewne dla nomenklaturowej poprawności) zyskał nazwę bias drive [2].

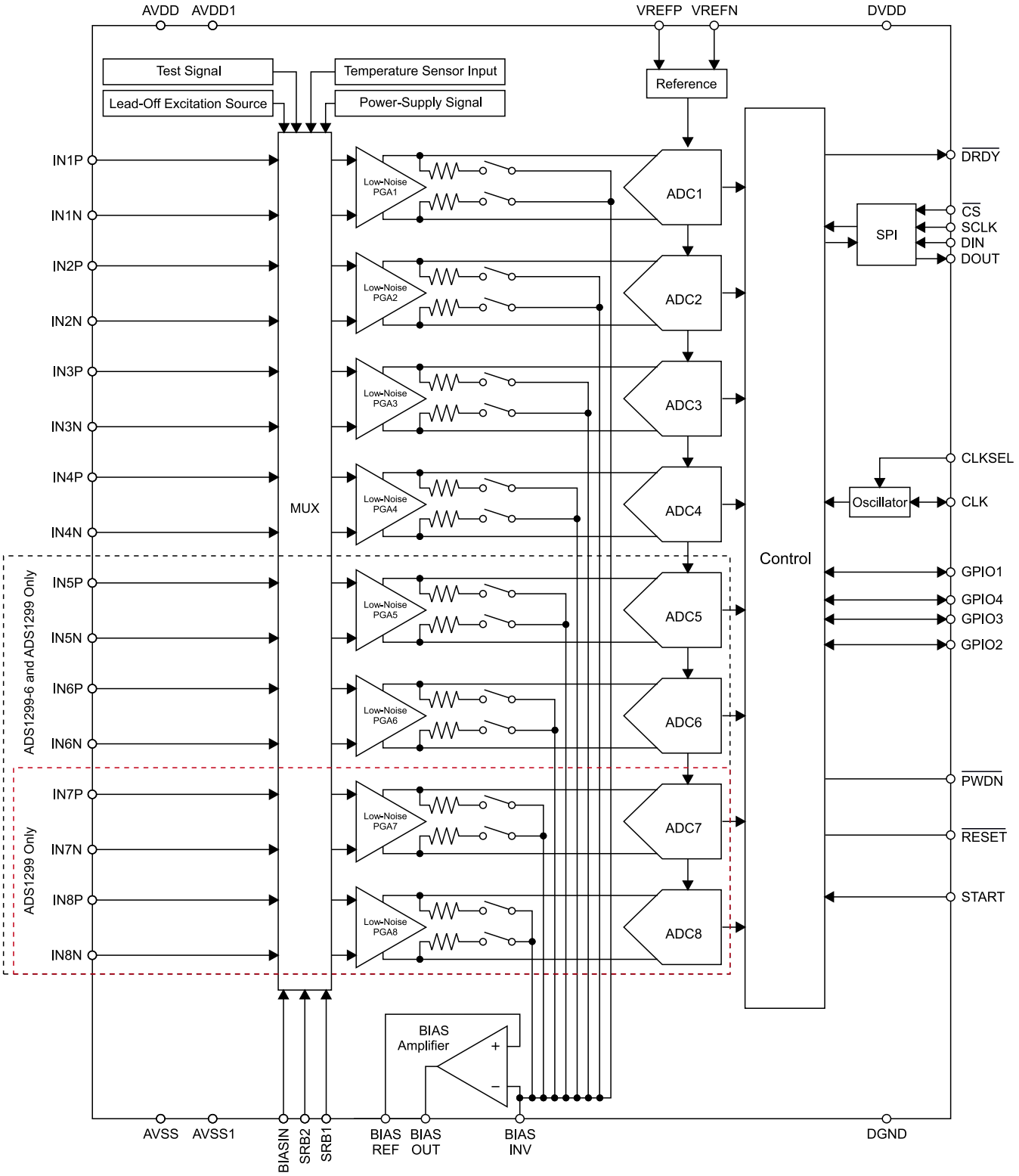
Schemat funkcjonalny rodziny układów ADS1299(-x) został pokazany na **rysunku 11**. Wersje ADS1299-4 i ADS1299-6 różnią się od wersji podstawowej liczbą kanałów, zakodowaną w postaci jednocyfrowego przyrostka -x. Układy są wyposażone w wewnętrzne generatory sygnałów testowych (kalibracyjnych), czujniki temperatury oraz detektory odłączenia elektrod. Nie zabrakło precyzyjnego źródła napięcia odniesienia (±0,2%, 35 ppm/°C) oraz wbudowanego oscylatora taktującego część cyfrową i przetworniki ADC typu delta-sigma. Zakres ustawianych (za pomocą rejestrów konfiguracyjnych) częstotliwości próbkowania rozciąga się od 250 Sps do 16 kSps, zaś poziom szumu odniesiony do wejścia i mierzony w paśmie od 0,01 Hz do 70 Hz wynosi zaledwie 1...1,6 μVpp. Współczynnik tłumienia sygnału wspólnego (CMRR) to aż 110...120 dB dla częstotliwości sieciowych 50 i 60 Hz. Nawet wzmacniacz RLD (bias drive) został dopracowany do granic możliwości (jak na scalony front-end o tak bogatej funkcjonalności), oferuje bowiem poziom szumów zaledwie 2 μVrms. Wysoka jakość rejestracji jest okupiona wzrostem poboru mocy względem układu ADS1298, jednak przy tak niskim poziomie szumów wzrost ten nie jest drastyczny – w normalnym trybie pracy nie przekracza 42 mW, dzięki czemu układy ADS1299 mogą być stosowane nawet w aplikacjach z własnym źródłem zasilania (np. rejestratory przenośne).

Prąd wejściowy układu wynosi zaledwie 300 pA, co w połączeniu z wysoką wartością CMRR daje możliwość silnej redukcji artefaktów, powstających na styku elektroda-skóra oraz zakłóceń pochodzenia zewnętrznego (w tym przede wszystkim przydźwięku sieciowego). Możliwe do ustawienia wartości wzmocnienia PGA to: 1, 2, 4, 6, 8, 12 oraz 24 V/V. Co ciekawe i ważne, układy ADS1299 są kompatybilne pod względem pinoutu z elektrokardiograficzną rodziną ADS129x, dzięki czemu konstruktorzy urządzeń medycznych mogą dość swobodnie eksperymentować z obiema podgrupami front-endów.

Podsumowanie

W tej części cyklu poświęconego front-endom analogowym przedstawiliśmy przykłady układów AFE przeznaczonych do aplikacji elektrokardiograficznych i elektroencefalograficznych, obecnych w ofertach czołowych producentów – firm Texas Instruments oraz Analog Devices. Nie oznacza to jednak, że temat został wyczerpany – w Internecie można bowiem trafić na opisy układów innych marek, które jednak są zdecydowanie mniej znane, trudniej dostępne, a zwykle także wielokrotnie droższe. Celowo pominęliśmy też układy

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 11. Schemat funkcjonalny rodziny układów ADS1299(-x)

EKG przeznaczone do mniej wymagających aplikacji typu wearable, a także złożone, wielofunkcyjne front-endy, umożliwiające pomiary innego typu (np. PPG) – tymi układami zajmiemy się bowiem w kolejnych odcinkach Poradnika Implementacji.

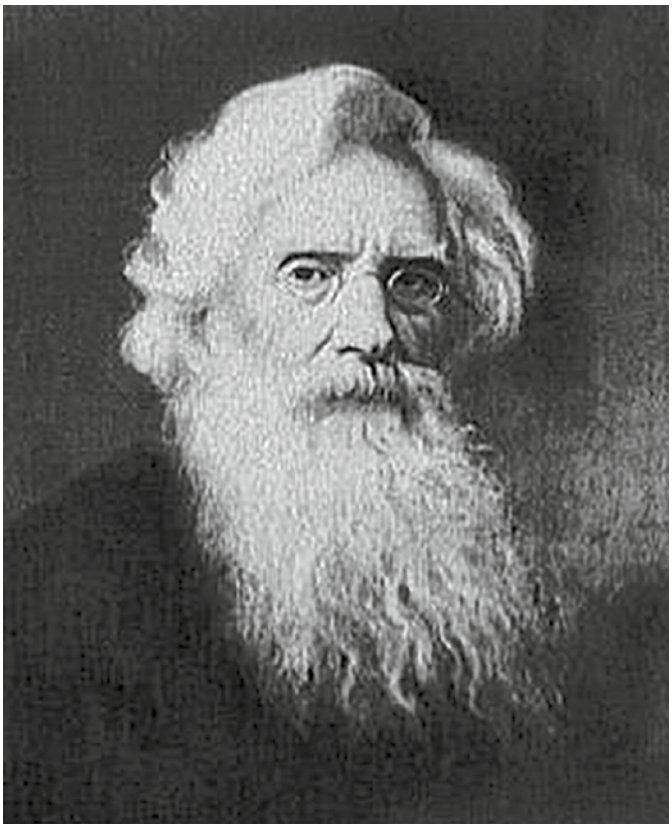
inż. Przemysław Musz
przemyslaw.musz@ep.com.pl

[1] Określenie „mniej wymagające" dotyczy w tych przypadkach liczby kanałów i wymagań dot. rozdzielczości oraz poziomu szumów. Przykładowo, monitory holterowskie czy rejestratory zdarzeń (event holtery) mogą pracować z silniejszą filtracją dolnoprzepustową niż stacjonarne aparaty 12-odprowadzeniowe, od których zwykle oczekuje się wyższej szczegółowości rejestrowanych sygnałów. Podobna sytuacja jest w przypadku automatycznych defibrylatorów AED – o ile od strony bezpieczeństwa funkcjonalnego urządzenia te są niezwykle wymagające, o tyle do poprawnej pracy nie potrzebują one wielokanałowej rejestracji EKG w wysokiej rozdzielczości; akwizycja jest bowiem prowadzona tylko w jednym odprowadzeniu, a cel rejestracji to wykrycie i klasyfikacja ciężkich zaburzeń rytmu nadających się (lub nie) do defibrylacji, nie zaś szczegółowa diagnostyka biosygnałowych niuansów.

[2] Uważny Czytelnik zauważy, że w nocie katalogowej ADS1299, w sekcji Application Information, przykładowy pseudokod w sekcji 10.1.2.2 zatytułowanej Bias Drive korzysta z nazw rejestrów RLD_SENSP i RLD_SENSN, znanych z front-endów elektrokardiograficznych. Jest to jednoznaczny dowód, że układ ADS1299 jest w rzeczywistości zaadaptowaną wersją ADS1298, pozbawioną typowo elektrokardiograficznych funkcji i „podkręconą" pod względem parametrów szumowych oraz zakresu dostępnych wzmocnień PGA. Sam blok bias drive jest jednak niczym innym, jak inaczej nazwanym RLD – w przypadku urządzeń EEG elektroda pełniąca funkcję sterowania na prawą nogę jest bowiem zwykle podłączana na czole pacjenta, stąd określenie right leg drive wydaje się nieco tracić swój językowy sens.

eprasa.pl ad39d4d9f3

koktajl niusów



Pierwsza wiadomość telegraficzna

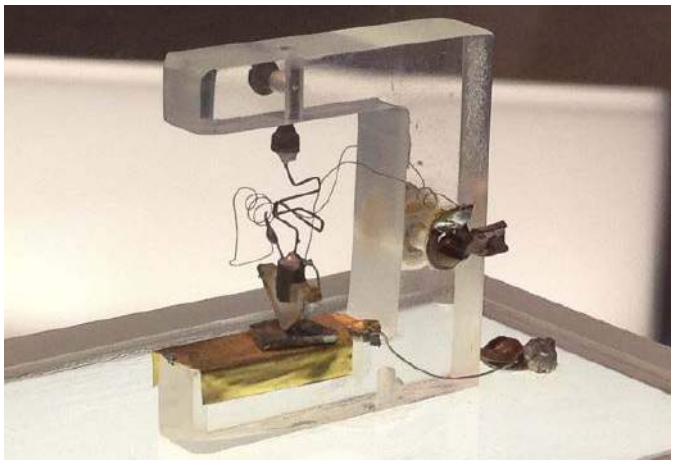
Została wysłana we wtorek 24 maja 1844 roku w Stanach Zjednoczonych z Waszyngtonu do Baltimore w stanie Maryland po eksperymentalnej linii telekomunikacyjnej łączącej oba miasta. Nadawcą był pokazany na fotografii pierwszy ze współtwórców (nie twórca, jak się uważa) klasycznego kodu „kropkowego", Samuel Morse (Samuel Finely Breese Morse – Samuel F.B. Morse). Zastosował kod po raz pierwszy i zaadresował wiadomość do Alfreda Vaila (Alfred Lewis Vail – Alfred L. Vail) – drugiego ze współtwórców tego kodu. Ten pomyślnie odebrał wiadomość na skrawku papierowej taśmy, który można zobaczyć pod adresem: https://bit.ly/3dmTEYB. Są na nim trzy ostatnie słowa wersetu 23 rozdziału 23 Księgi Liczb „Co Bóg uczyni". (*What hath God wrought*) zaproponowane przez Annie Ellsworth – córkę przyjaciela Morse'a.

Ten dziewiętnastowieczny „ping" (choć jednostronny) potwierdził użyteczność pewnego wynalazku – telegrafu, opracowanego jeszcze w 1837 roku. Stał się on zalążkiem, trwającej do dziś, elektronicznej wymiany informacji na świecie, obecnie realizowanej przez sieci telefoniczne i internet. W tym roku przypada 177. rocznica opisanego zdarzenia.

(źródło fotografii: https://bit.ly/3tnJdcD)

Świąteczne cuda elektroniki

Trzej inżynierowie amerykańskich laboratoriów Bella: John Bardeen, Walter Brattain i William Shockley (szef wspomnianych przed nim panów)3 23 grudnia 1947 r. zaprezentowali pierwszy na świecie tranzystor bipolarny, który był zdolny do wzmacniania sygnału



elektrycznego co najmniej kilka razy. Jego replikę, pokazaną na fotografii, wykonała firma Lucent Technologies dla uczczenia pięćdziesiątej rocznicy prezentacji wynalazku.

Wynalazek jest dziełem przypadku, który wydarzył się miesiąc wcześniej i polegał na przyłożeniu dwóch elektrod ze złota do germanowego polikryształu, co wytworzyło strukturę ostrzową tranzystora. Należało ją jeszcze udoskonalić dla pożądanego efektu. Z tym uporano się na tydzień przed datą ze wstępu. Pozwoliło to zaskoczyć wszystkich w najmniej spodziewanym momencie – w Boże Narodzenie.

Dalsza historia to czysta komercja – nakręcanie sprzedaży tranzystora (najpierw Western Electric, a potem pozostałe firmy) oraz jego użycie w układach scalonych i procesorach (firma Intel), które ostatecznie go upowszechniły w milionach domów na świecie. Później został wyparty przez tranzystor polowy, ale mimo to jest wciąż stosowany.

Nazwę dla nowego elementu zaproponował amerykański inżynier John Pierce (John Robinson Pierce) i pochodzi ona od słów: transconductance (transkonduktancja) i vasistor (warystor). Została wybrana w drodze plebiscytu przez pracowników laboratoriów (była to jedna z proponowanych nazw wynalazku).

(źródło fotografii: https://bit.ly/3simXj3)

Twórca kasety magnetofonowej

Na fotografii został pokazany holenderski inżynier Lou Ottens (Lodewijk Frederik Ottens), który 6 marca br. zmarł w swoim domu w Duizel (Królestwo Niderlandów, prowincja Brabancja Północna) w wieku 94 lat. Był związany z firmą Philips, w której piastował m.in. stanowisko szefa działu rozwoju jej produktów, którym stał się w 1960

eprasa.pl ad39d4d9f3

roku. Wcześniej przez osiem lat pracował jako inżynier w jej fabrykach – najpierw w holenderskim Eindhoven przez pięć lat, a potem w belgijskim Hasselt przez trzy lata.

Rozpoczął prace nad przenośnym magnetofonem mającym zastąpić duże szpulowe urządzenia, za którymi nie przepadał. Jego budowa zajęła mu rok i był nim model EL 3585, który sprzedano w liczbie miliona egzemplarzy. To zachęciło Ottensa do dalszych działań, dla których jednak potrzebny był poręczniejszy nośnik – tani, mieszczący się w kieszeni ubrania, niewyczerpujący przy tym szybko baterii, oferujący nie gorszą jakość dźwięku. Odpowiednie były kasety amerykańskiej firmy RCA, choć nie w pełni zadowalające – trochę za duże i oferowały zbyt małą prędkość przesuwu taśmy. Za to forma kasety była OK. Zawiedziony konstruktor postanowił opracować coś własnego i w ten sposób ulepszył wskazane kasety. Zajęło mu to dwa lata, które poświęcił na format *Compact Cassette* (CC) po raz pierwszy zaprezentowany 30 sierpnia 1963 roku na Niemieckiej Wystawie Radiowej w Berlinie (zorganizowane przez Radio Berlin). Datę tę uznaje się za narodziny tytułowej kasety, która w ciągu niespełna 60 lat rozeszła się w ponad stu miliardach egzemplarzy na całym świecie.

Przemysł muzyczny od razu pokochał nowy nośnik, tak samo jak miliony osób na świecie. Był to wspaniały sukces, o którym jednak nie chciał słyszeć sam twórca. Uważał, że tak naprawdę nie zrobił nic wielkiego. Przyczynił się także do opracowania płyty kompaktowej – CD (*Compact Disk*), którą uznał nawet za lepszą od kasety, Stwierdził, że nic nie może przebić jej dźwięku i że to ona, a nie kaseta, definitywnie kończy erę gramofonu. Takie nastawienie przejawiał do końca życia, nawet na emeryturze, na którą przeszedł w 1986 roku (po 4 latach od pierwszej publicznej prezentacji płyty). Skromny wynalazca, który w pewien sposób przewidział klęskę swojego pomysłu. Racjonalny umysł, który żałował jedynie tego, że nie opracował walkmana.

(źródło fotografii: https://bit.ly/3ge0aTo)

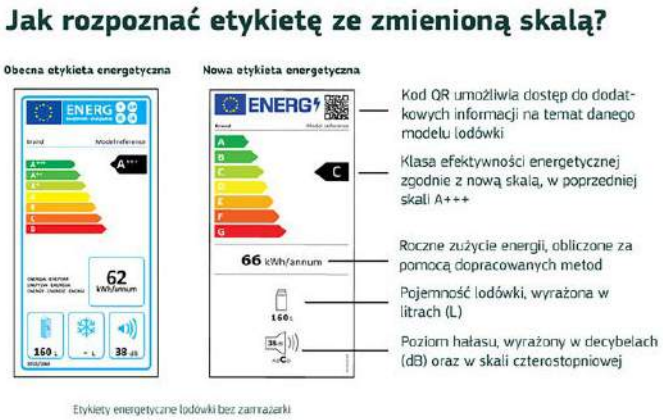
Usługi teleksowe (dalekopisowe) w Polsce

Zaprzestano ich 9 lutego 2007 roku, podobnie jak inne państwa w tym czasie. Przykładowo Finlandia – 31 grudnia 2005 roku. Niemcy – 31 grudnia 2007 roku. Wielka Brytania – marzec 2008 roku. Stany Zjednoczone – również 2008 rok. Teleks (dalekopis) został wyparty przez sieć internet. Ale są nieliczni, którzy jeszcze obsługują zapomnianą technikę i są to hobbyści, m.in.: Philip Hachtmann i Henning Treutmann, którzy na tę potrzebę zbudowali sieć i-Telex. Mają wielu odbiorców na świecie, w tym w Stanach Zjednoczonych. Więcej informacji o niej można znaleźć na stronie: https://bit.ly/3di7zz4, wliczając to, jak stać się jej abonentem. Co prawda to nie klasyczna sieć teleksowa, a e-mailowa (oparta na specjalizowanych urządzenia), lecz ostatecznie wiadomość jest papierowa – drukuje ją teleks.

Jest jeszcze brytyjska firma NetworkTelex działająca podobnie do i-Telex, z tą jednak różnicą, że zasięg jest światowy, a za wiadomość jest pobierana opłata. Więcej informacji znajduje się pod adresem: https://bit.ly/3tmk7uO.

Na fotografii zostało pokazane urządzenie przeznaczone to takich sieci – dalekopis T-100 firmy Siemens.

(źródło fotografii: https://bit.ly/2PWTLBh)



Nowe etykiety energetyczne urządzeń AGD i RTV

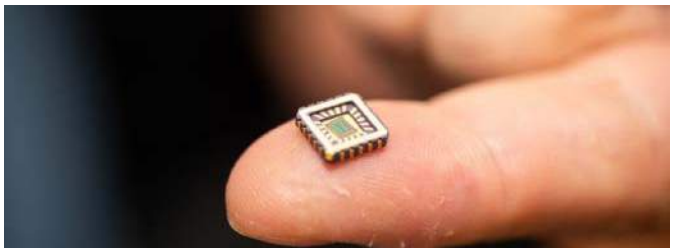
Nie ma już klas z plusami, tzn. A+, A++ i A+++, a zamiast nich są klasy E, D i C. Powyżej są jeszcze „lepsze" klasy A i B przeznaczone dla bardziej energooszczędnych urządzeń, których nie ma jeszcze na rynku. Są też „gorsze" klasy F i G odpowiadające wcześniejszym klasom A i B. Klasy C i D pominięto, ponieważ nie ma już urządzeń, które byłyby do nich przypisane.

Ponadto usunięto wielojęzyczną adnotację o rocznym zużyciu energii i pozostawiono tylko wartość tego zużycia ale bardziej ją wyeksponowano niż dotychczas, i zastosowano dla niej dokładniejsze metody obliczania. Dodatkowo odświeżono symbole pozostałych informacji odnośnie do urządzenia i usunięto niektóre z nich.

Zastosowano kod QR w prawym górnym rogu. Po jego zeskanowaniu otrzymujemy pełną informację na temat urządzenia. Plus inne, pomniejsze poprawki w zależności od jego rodzaju. Więcej informacji znajduje się pod adresem: https://bit.ly/3agmx6O.

Bardziej uporządkowany design jest dostosowany do obecnych czasów. Na rysunku zostało pokazane przykładowe porównanie obu wersji dla lodówki bez zamrażarki. Warto zwrócić uwagę na nową skalę poziomu hałasu (A...D), pozwalającą łatwo określić poziom bez liczb – A to hałas najniższy, a D to hałas najwyższy.

(źródło rysunku: https://bit.ly/3gdpPeU)



Krzemowe neurony

Opracowali je naukowcy z uniwersytetu w Bath w Wielkiej Brytanii przy współpracy z badaczami z Bristolu, Zurychu i Auckland, opierając je na układach odwzorowujących biologiczne kanały jonowe. Dzięki nim odtworzono pełną dynamikę neuronów hipokampu oraz neuronów odpowiedzialnych za kontrolę procesu oddychania, ważnych z punktu widzenia podstawowych funkcji życiowych człowieka. Wszystko przy zaledwie 140 nanowatach mocy przypadającej

eprasa.pl ad39d4d9f3

na jeden układ. Konstrukcja jest kompatybilna z ludzkim układem nerwowym i może z nim współpracować (przynajmniej teoretycznie).

Już teraz spekuluje się nad zastosowaniem wynalazku do naprawy przerwanych rdzeni kręgowych czy leczenia choroby Alzheimera i niewydolności serca. Niewielka moc tylko to ułatwia – jest dostosowana do implantów medycznych (jedna milionowa mocy przeciętnego procesora w komputerze). Wcześniej jednak trzeba dopracować chipy i przeprowadzić badania kliniczne, które mogą zająć wiele lat. Niemniej jest to realna nadzieja dla wielu chorych.

(źródło fotografii: https://bit.ly/2QmXAPU)

Najwyższa temperatura w nadprzewodnikach

Jest to temperatura pokojowa: 20 stopni Celsjusza, o czym od dawna marzono. Osiągnęli ją w marcu br. amerykańscy badacze z uniwersytetów: Rochester, Stanowego Nowy Jork i Nevada w Las Vegas dla warstwy itru i wodoru przedzielonych palladem, poddanej ciśnieniu 182 GPa w komorze diamentowej, takiej jak na fotografii. Więcej informacji można znaleźć na stronie: https://bit.ly/3gcpWHn. Cel został osiągnięty ale trzeba jeszcze popracować nad ciśnieniem.

Obecna w przewodach miedź niebawem odejdzie do lamusa. W szczególności czeka na to energetyka, której coraz trudniej dostarczać moc w coraz większych ilościach.

(źródło fotografii: https://bit.ly/3eb5hB8)

Biedny energetycznie jak... Litwa

Dlaczego nie Korea Północna czy kraje Afryki, w których braki prądu są permanentne? Przecież w tym niewielkim kraju nikt nie narzeka na dostęp do dobrodziejstwa w jakim jest energia elektryczna. Kluczową kwestią jest elektrownia atomowa w Ignalinie, która powstała jeszcze za czasów radzieckich (kiedy to Litwa z przymusu była republiką związkową ZSRR). Jej reaktory były tego samego typu co te z Czarnobyla (czytaj: RBMK) z tą jednak różnicą, że mogły generować więcej mocy (cieplnej i elektrycznej). Docelowo miało być ich cztery, lecz powstały tylko dwa (pokazane na fotografii). Razem dostarczały maksymalnie 3 GW mocy elektrycznej – w sam raz na tak mały kraj. W latach dziewięćdziesiątych XX wieku wartość ta pozwalała pokryć 70% ogólnokrajowego zapotrzebowania.

Byłoby tak dalej, ale Unia Europejska postawiła wymóg wygaszenia wspomnianej elektrowni jako jeden z warunków akcesji (jeszcze w 1999 roku). Od 31 grudnia 2009 roku wspomniana elektrownia nie funkcjonuje, stanowiąc pomnik komunistycznego dziedzictwa. Od tamtego czasu Litwa jest podłączona do europejskiej sieci energetycznej obejmującej m.in. Polskę (jak stan Teksas w Ameryce) i importuje energię z innych krajów, w tym z Białorusi i Szwecji, od których pobiera najwięcej, płacąc miliony euro.

(źródło fotografii: https://bit.ly/3x8gJWO)

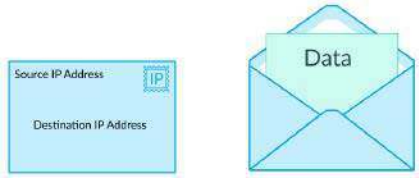
Nie wyprowadzaj sygnałów na niepodłączone piny na płytce

Zakłócenia radiowe w postaci harmonicznych sygnału, obecnych w jego widmie, mogą nałożyć się na sygnały okolicznych radiostacji (z racji identycznych częstotliwości). Najlepiej widać to w przypadku sygnału PWM opisanego współczynnikiem wypełnienia d (*duty cycle*). Jego odwrotność (1/d) warunkuje wspomniane harmoniczne. Dokładniej – chodzi o brak co którejś z nich. Przykładowo dla d=1/4 (odwrotność równa 4) jest to co czwarta harmoniczna. Dla d=1/7 (odwrotność równa 7) co siódma. Natomiast dla d=1/50 (odwrotność równa 50) co pięćdziesiąta.

Wystarczy użyć dowolnego zestawu z mikroprocesorem, mikrokontrolerem lub układem programowalnym. Jednak tylko z analizatorem widma, a nie radioodbiornikiem, nawet jeśli moc odbieranych harmonicznych jest mała. Zgodnie z dwoma pierwszymi ustępami Działu XI Prawa Telekomunikacyjnego („Przepisy karne i kary pieniężne"): „Kto bez wymaganego pozwolenia używa urządzenia radiowego nadawczego lub nadawczo-odbiorczego, podlega karze grzywny w wysokości do 1000 złotych" oraz „Jeżeli sprawca czynu określonego w ust. 1 działa w sposób uporczywy, podlega grzywnie, karze ograniczenia wolności albo pozbawienia wolności do lat 2".

Nie warto ryzykować, lepiej upewnić się, że na nieużywanych wyprowadzeniach występuje stały stan logiczny. Po to stosuje się podciąganie tych wyprowadzeń do zasilania (*pull-up*) lub do masy (*pull-down*).

(źródło rysunku: https://bit.ly/3di4A9N)



Otyłe informacje w sieci, czyli jumbogram

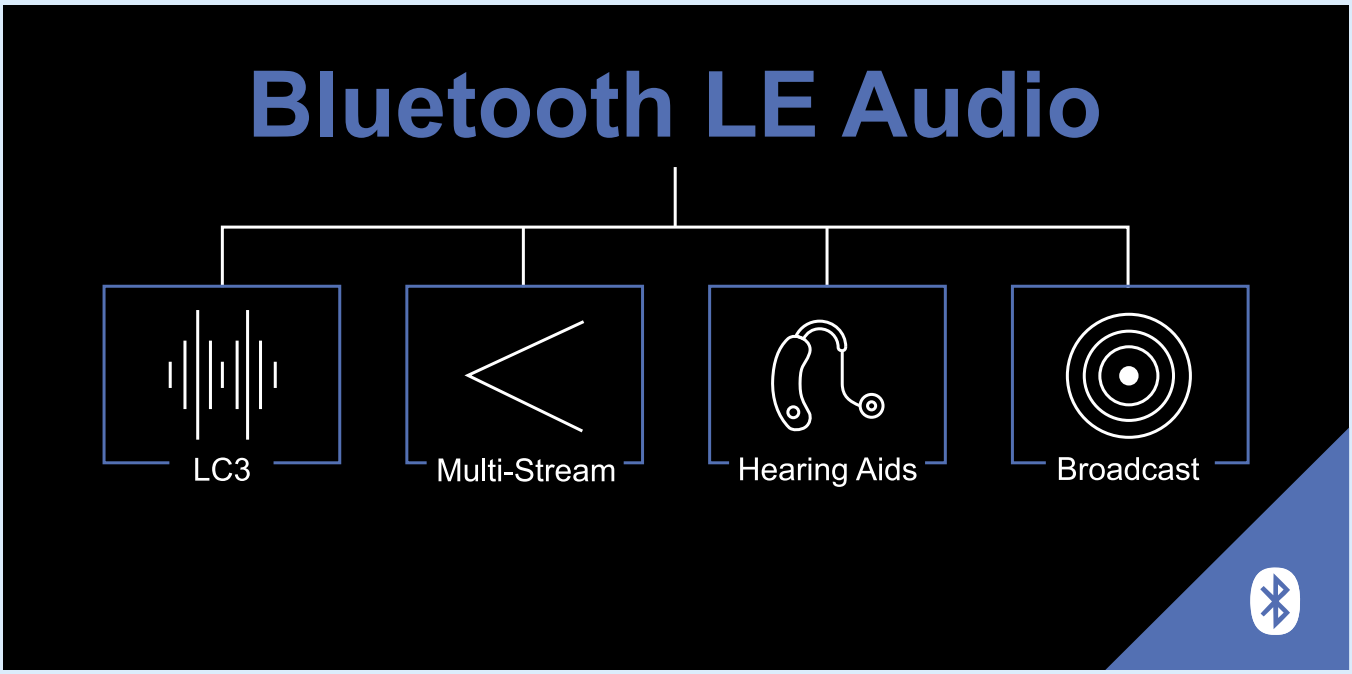
Jumbo oznacza wielki, potężny, ogromny, wręcz przeładowany (by nie powiedzieć gigantyczny), jak Jumbo Jet (Boeing 747) lub dziewiętnastowieczny sudański słoń Jumbo (największe znane wtedy zwierzę). W przypadku sieci to określenie odnosi się do pakietu warstwy sieciowej, którego rozmiar jest większy od przyjmowanego za domyślnie największy MTU (Maximum Transmission Unit). Jakich protokołów on dotyczy? Tylko IP w wersji 6 (IPv6), w którym MTU wynosi 65 536 oktetów. W efekcie jest to pakiet tego protokołu o rozmiarze większym od wspomnianych oktetów. Tym samym są dwie definicje jumbogramu: pierwsza ogólna (wcześniejsza) i druga szczegółowa (właśnie opisana). Obydwie są równoważne.

Dla porównania, w warstwie łącza występują jumbo frames (wielkie ramki) będące dużymi ramkami Ethernet mieszczącymi więcej niż 1500 oktetów (typowo do 9000). Także i dla nich obowiązuje definicja ogólna (warstwa łącza) oraz szczegółowa (technologia Ethernet). Niezależnie od nich jumbogramy (jak również jumbo frames) nie są domyślnie obsługiwane – należy uaktywnić ich serwis w urządzeniach sieciowych, szczególnie routerach. Dzięki dużym pakietom można przyspieszyć wysyłkę danych (mniej potwierdzeń ze strony protokołu TCP).

(źródło rysunku: https://bit.ly/3gdZYUa)

Jakub Tyburski
jakub.tyburski@wat.edu.pl

eprasa.pl ad39d4d9f3



Systemy dla Internetu Rzeczy (48)

Bluetooth LE Audio

FTP Wszystkie poprzednie odcinki kursu są dostępne na stronie www.media.avt.pl

W zeszłym roku Bluetooth SIG zaprezentował najnowszą wersję protokołu Bluetooth 5.2 z nową generacją transmisji dźwięku o nazwie LE Audio. Główną wprowadzoną zmianą jest nowa funkcja o nazwie kanały izochroniczne. Stanowią one podstawę implementacji LE Audio w urządzeniach BLE, obsługujących Bluetooth 5.2 lub nowszy. Nowy standard nie tylko poprawia jakość transmisji audio, ale również umożliwia obsługę aparatów słuchowych, a także udostępnia funkcję Audio Sharing. Umożliwia ona nadawanie jednego lub więcej strumieni audio przez urządzenie Bluetooth do nieograniczonej liczby odbiorników (broadcast). Już w najbliższej przyszłości Bluetooth audio będzie obsługiwać dwa tryby: LE Audio pracujące w standardzie Bluetooth Low Energy oraz Classic Audio pracujące w klasycznym standardzie Bluetooth (BR/EDR).

Dotychczasowy rozwój aplikacji audio wyższej klasy z komunikacją Bluetooth utknął w martwym punkcie, ponieważ maksymalna przepustowość surowych danych technologii Bluetooth 1 Mb/s (która w praktyce zmniejsza się do około 721 kb/s ze względu na celowe opóźnienia transmisji podczas pracy, wbudowane w protokół) okazała się niewystarczająca do przesyłania strumieni audio. Sytuacja zmieniła się, gdy technologia Bluetooth szybko trafiła do praktycznie każdego smartfona na świecie, a konsumpcja muzyki przeszła równoległą rewolucję wraz z wynalezieniem i rozwojem formatu kompresji MPEG Audio Layer 3 („MP3") [9]. W odpowiedzi na zapotrzebowanie konsumentów, Bluetooth SIG wprowadził *Advanced Audio Distribution Profile* (A2DP), któremu towarzyszył kodek obsługujący strumieniowe przesyłanie dźwięku stereo. Wkrótce potem kilka komercyjnych kodeków przyniosło dalsze ulepszenia dźwięku.

Wczesne odtwarzacze MP3 były wyposażone w słuchawki przewodowe, ale nawet wtedy konsumenci pragnęli wygody połączenia bezprzewodowego. Później, gdy konsumenci przenosili swoje biblioteki MP3 na smartfony wyposażone w Bluetooth, grupa Bluetooth SIG dostrzegła tę okazję i rozszerzyła A2DP. Profil określa, jak jednokierunkowo przesyłać dwukanałowy strumień audio, do lub z hosta Bluetooth. Ten profil z kolei opiera się na ogólnym profilu dystrybucji audio/wideo (GAVDP).

Jednak nawet przy kompresji MP3 i A2DP przesyłanie strumieniowe dźwięku przez łącze Bluetooth jest zawodne. Wymagana jest dodatkowa kompresja danych przez kodek, aby można je było dostosować do ograniczonej przepustowości łącza. Kodek następnie dekompresuje dane po drugiej stronie łącza, aby pobrać informacje audio zapisane w oryginalnym pliku MP3. W tym celu Bluetooth SIG włączył w ramach A2DP obowiązkową obsługę dla kodeka podpasmowego o niskiej złożoności (SBC) zaprojektowanego w celu zapewnienia rozsądnej jakości dźwięku przy niskich i średnich szybkościach transmisji przy niewielkiej mocy przetwarzania. Podczas gdy A2DP teoretycznie może obsługiwać do maksymalnej szybkości Bluetooth Classic 721 kb/s, SBC jest ograniczone do nominalnego maksimum 345 kb/s. W praktyce szybkości transmisji przy użyciu kodeka wynoszą zwykle około 256 kb/s, co ogranicza jakość dźwięku.

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl

eprasa.pl ad39d4d9f3

Profil A2DP obejmuje opcjonalną obsługę kodeków, w tym *Advanced Audio Coding* (AAC), *High-Efficiency AAC* (HEAAC) i *Adaptive Transform Acoustic Coding* (ATRAC). Profil można również rozszerzyć, aby obsługiwał kodeki zdefiniowane przez producenta, takie jak aptX i aptX-HD firmy Qualcomm, które są dostępne dla producentów słuchawek bezprzewodowych na podstawie licencji i oferują szybkości transmisji odpowiednio 384 kb/s (16-bitów/48 kHz) i 576 kb/s (24-bity/48 kHz). Jednak występuje konieczność obsługi aptX/aptX HD zarówno przez nadajnik, jak i odbiornik sygnału. Niedawno wprowadzony kodek LDAC firmy Sony oferuje szybkość 990 kb/s, ale wymaga (opcjonalnego i stosunkowo rzadkiego) radia Bluetooth *Enhanced Data Rate* (EDR) na obu końcach łącza.

Jakość dźwięku słuchawek bezprzewodowych korzystających z komercyjnych kodeków o wyższej przepływności jest lepsza w porównaniu z SBC, ale zdaniem audiofilów nadal brakuje zakresu dynamicznego, głębi, barwy i realistycznej jakości słuchawek przewodowych.

Wprowadzenie teraz przez Bluetooth SIG „LE Audio" ma zaradzić tym słabościom. Przełączając się z radia Bluetooth Classic na wersję Bluetooth LE, wprowadzając nowy zoptymalizowany kodek i dodając nowe funkcje do stosu protokołów Bluetooth, SIG obiecuje „następną generację dźwięku Bluetooth". Czy ten optymizm jest uzasadniony?

Bluetooth 5.2

Konsorcjum Bluetooth SIG opublikowało specyfikację nowej wersji protokołu Bluetooth 5.2 [1]. Wprowadza ona trzy główne zmiany: rozszerzony protokół atrybutów EATT (*Enhanced Attribute Protocol*) – jest to ulepszona wersja oryginalnego ATT (*Attribute Protocol*), nowe zarządzanie mocą LEPC (*LE Power Control*) oraz kanały izochroniczne (*LE Isochronous Channels*) [2]. Ta ostatnia nowość jest przeznaczona głównie dla nowej generacji transmisji audio, o nazwie LE Audio.

Transmisja izochroniczna to sposób komunikacji zapewniający stałą szybkość transmisji, niezależnie od wielkości ruchu generowanego w otaczającym go środowisku. Dostarcza mechanizm, który powoduje, że wiele urządzeń odbierających dane z tego samego źródła odtwarza je jednocześnie. Bluetooth Low Energy (BLE) używa do rozgłaszania dwóch zbiorów kanałów: trzy kanały podstawowe (*primary*) oraz 37 kanałów dodatkowych (*secondary*). Specjalny tryb rozgłaszania *Periodic Advertising* umożliwia rozgłaszanie z deterministycznym odstępem czasu, co pozwala odbiorcom na synchronizację odbioru z nadawcą.

W klasycznym protokole Bluetooth (BR/EDR) do transmisji audio używany jest profil *Advanced Audio Distribution Profile* (A2DP). Służy on do przesyłania strumienia pomiędzy pojedynczym nadawcą i odbiorcą. Komunikacja izochroniczna udostępnia dwa rodzaje kanałów: zorientowany na połączenie (*connection-oriented*) oraz bezpołączeniowy (*connectionless*) – używany do rozgłaszania (broadcast). Oba rodzaje wykorzystują izochroniczne kanały fizyczne (*LE Isochronous Physical Channel*). Termin „kanał fizyczny" nie jest kanałem RF, ale raczej zestawem reguł, według których dwa urządzenia są w połączeniu. Obejmują warstwę PHY, mapę kanału, sekwencję przeskoków, interwał połączenia, adres dostępu, oraz specyfikują parametry czasowe dla pierwszego pakietu transmisji, który określa sposób taktowania następnych pakietów. Dzięki zastosowaniu techniki slotów: częstotliwości – *Frequency Division Multiple Access* (FDMA) oraz czasu – *Time Division Multiple Access* (TDMA) możliwa jest jednoczesna obsługa dużej liczby urządzeń.

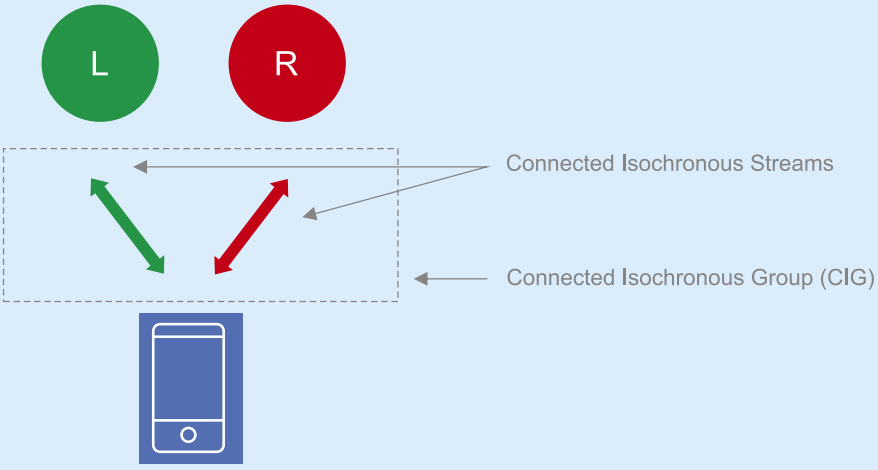
Strumienie CIS (*Connected Isochronous Stream*) obsługują transmisję dwukierunkową (**rysunek 1**). Są członkami grup nazywanych CIG (*Connected Isochronous Groups*). Maksymalna liczba CIS w CIG wynosi 31.

CIS ma zdefiniowany jest okres odrzucania (*flushing period*) – jeśli pakiet nie zostanie przetransmitowany w tym czasie to zostanie odrzucony. CIS może być podzielony na co najmniej jedno lub więcej zdarzeń podrzędnych, a te zdarzenia podrzędne są szczeliną czasową dla urządzenia nadrzędnego i podrzędnego do wymiany pakietów danych.

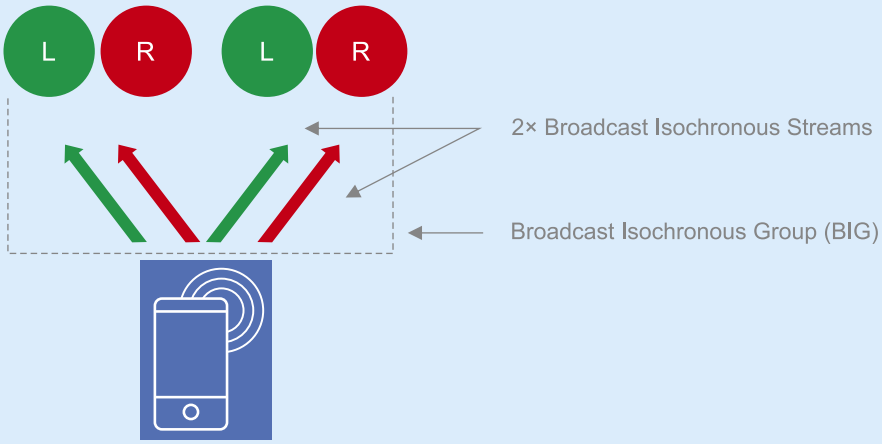
Strumienie BIS (*Broadcast Isochronous Streams*) obsługują tylko transmisję jednokierunkową (**rysunek 2**). Są członkami grup nazywanych BIG (*Broadcast Isochronous Group*). Urządzenie, które zostało zsynchronizowane z BIG, nazywa się zsynchronizowanym odbiornikiem. Gdy to urządzenie rozpocznie synchronizację BIG, należy skonfigurować parametr limitu czasu synchronizacji BIG, który określa maksymalny dozwolony czas pomiędzy udanymi transmisjami. Każdy BIS przesyła identyczną kopię danych (lub sterowań) do urządzeń odbiorczych. W ramach grupy kanały CIS (lub BIS) mają takie same parametry czasowe użyte do synchronizacji izochronicznego przetwarzania danych (typowo dźwięku) przez wszystkie odbiorniki w grupie. Urządzenie centralne (master) może tworzyć wiele grup CIG (lub BIG).

LE Audio

Jest to kolejna generacja dźwięku Bluetooth i działa z użyciem standardu Bluetooth Low Energy (LE) w porównaniu z Classic Audio,



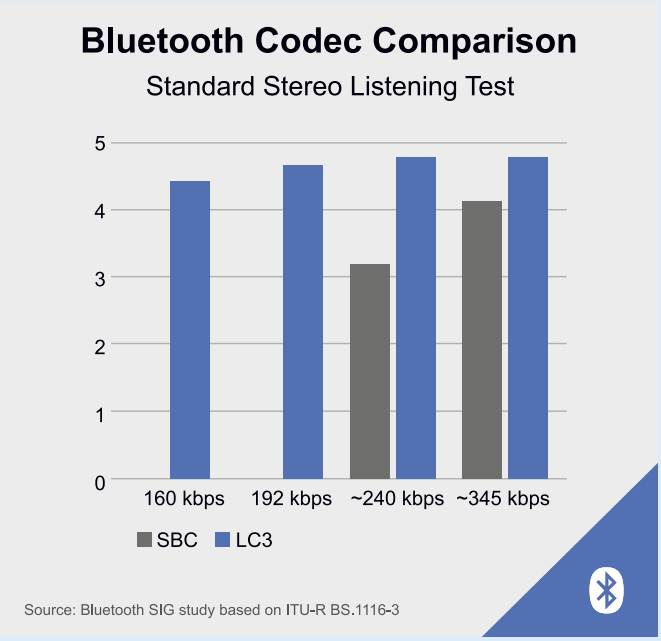
Rysunek 1. Strumienie CIS obsługujące, w ramach grupy CIG, kanał lewy i prawy słuchawek stereo [2]



Rysunek 2. Strumienie BIS w ramach grupy BIG [2]

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 3. Testy odsłuchu dźwięku z kodowaniem SBC oraz LC3 [3]

które działa na radiu Bluetooth Classic, znanym również jako radio Bluetooth BR/EDR [3]. Kanały izochroniczne LE są jedną z kluczowych funkcji wprowadzonych w specyfikacji Bluetooth Core 5.2. Kanały izochroniczne LE, wraz z profilami Bluetooth, które są obecnie opracowywane, pomogą włączyć dźwięk wielostrumieniowy i transmisję audio do udostępniania dźwięku. Są cztery sposoby w jaki LE Audio zmieni bezprzewodowe audio: nowy kodek LC3, dźwięk wielostrumieniowy, obsługa aparatów słuchowych oraz udostępnianie dźwięku.

LE Audio to LC3

Standard LE Audio będzie zawierał nowy, wysokiej jakości kodek audio, o niskim poborze mocy LC3 (*Low Complexity Communications Codec*). Zapewni wysoką jakość nawet przy niskich szybkościach transmisji danych, LC3 przyniesie ogromną elastyczność programistom, umożliwiając im lepsze kompromisy projektowe między kluczowymi atrybutami produktu, takimi jak jakość dźwięku i zużycie energii. LC3 może kodować mowę i muzykę z różnymi szybkościami transmisji bitów, obsługując częstotliwości próbkowania 8, 16, 24, 32, 44,1 i 48 kHz oraz rozdzielczości próbkowania 16, 24 i 32-bitowe. Elastyczność szybkości transmisji pozwala programistom na dokonanie kompromisu między jakością dźwięku a zużyciem energii, co z kolei pozwala wydłużyć żywotność baterii lub zmniejszyć jej rozmiar.

Obsługa LC3 poprawia jakość dźwięku, zapewniając jednocześnie lepszą obsługę odsłuchu w środowiskach o niskiej przepustowości. Rozległe testy odsłuchowe wykazały, że ogólna jakość odsłuchu przy użyciu LC3 jest lepsza niż istniejącego kodeka SBC (Classic Audio) – nawet przy przepustowości pasma niższej o 50% niż obsługiwana przez Classic Audio (**rysunek 3**). W skali gdzie 5 to najlepsza jakość, LE Audio wypada dobrze nawet dla małej przepustowości.

LE Audio – dźwięk wielostrumieniowy

Dźwięk wielostrumieniowy to jedna z głównych nowych funkcji LE Audio. Umożliwia transmisję wielu niezależnych, zsynchronizowanych strumieni audio między urządzeniem źródłowym dźwięku, takim jak smartfon, a jednym lub kilkoma urządzeniami odbierającymi dźwięk, takimi jak wkładki douszne lub słuchawki.

Udostępnianie dźwięku to ważny przypadek użycia LE Audio. Umożliwia urządzeniu źródłowemu audio nadawanie jednego lub więcej strumieni audio do nieograniczonej liczby urządzeń odbiorczych audio. Aby wspierać współdzielenie dźwięku, wprowadzono BIS i BIG. Istnieją dwa typy urządzeń: *Isochronous Broadcaster* i *Synchronized Receiver*. BIG jest tworzony przez *Isochronous Broadcaster* i może zawierać jeden lub więcej BIS. BIS to strumień przesyłania danych typu jeden do wielu. Realizuje mechanizm przesyłania pakietów rozgłoszeniowych bez potwierdzenia. Ponadto BIS można również podzielić na jedno lub więcej wydarzeń podrzędnych. Te podzdarzenia to szczeliny do nadawania określonych izochronicznych transmisji, które mogą być odbierane i przetwarzane przez nieograniczoną liczbę zsynchronizowanych odbiorników.

Aparaty słuchowe Bluetooth

LE Audio dodaje obsługę aparatów słuchowych zapewniając małą moc, wysoką jakość i przesyłanie wielostrumieniowe. Przesyłanie dźwięku przez Bluetooth przyniosło znaczące korzyści wielu ludziom. Bezprzewodowe rozmowy i słuchanie np. muzyki, sprawia, że ludzie są bezpieczniejsi, wydajniejsi i „bardziej rozrywkowi". LE Audio umożliwi rozwój aparatów słuchowych Bluetooth, które zapewnią wszystkie zalety dźwięku Bluetooth rosnącej liczbie osób z ubytkiem słuchu. LE Audio będzie jednym z najważniejszych osiągnięć dla użytkowników aparatów słuchowych i implantów słuchowych. W rezultacie za kilka lat większość nowych telefonów i telewizorów będzie równie dostępna dla użytkowników z ubytkiem słuchu.

Wielu producentów zaprojektowało aparaty słuchowe tak, aby były niewidoczne, pasowały za uchem, a nie były idealnym miejscem na mikrofon. LE Audio nie tylko zapewnia większą elastyczność w projektowaniu, ale także aparat słuchowy może uzyskać dostęp do mikrofonu w smartfonie, aby odebrać dźwięk i przesłać go do ucha, dzięki czemu będzie działał bardziej niezawodnie.

Aparaty słuchowe są jednym z przykładów, w których LC3 przyniesie duże korzyści. Wyobraź sobie, że używasz aparatu słuchowego do słuchania dźwięku z telewizora. Bez wydajnego kodeka możesz doświadczyć znacznego opóźnienia dźwięku przez łącze bezprzewodowe, które może wytworzyć zauważalne echo między tym, co słyszysz z aparatu słuchowego, a dźwiękami otoczenia z telewizora. Dzięki zastosowaniu nowych kodeków LC3 przyszłe aparaty słuchowe będą transmitować dźwięk, który dociera w tym samym czasie, co dźwięk wydobywający się z głośnika telewizora, co jest szczególnie ważne podczas oglądania telewizji z innymi osobami.

AUDIO SHARING

Transmisja to udostępnianie dźwięku

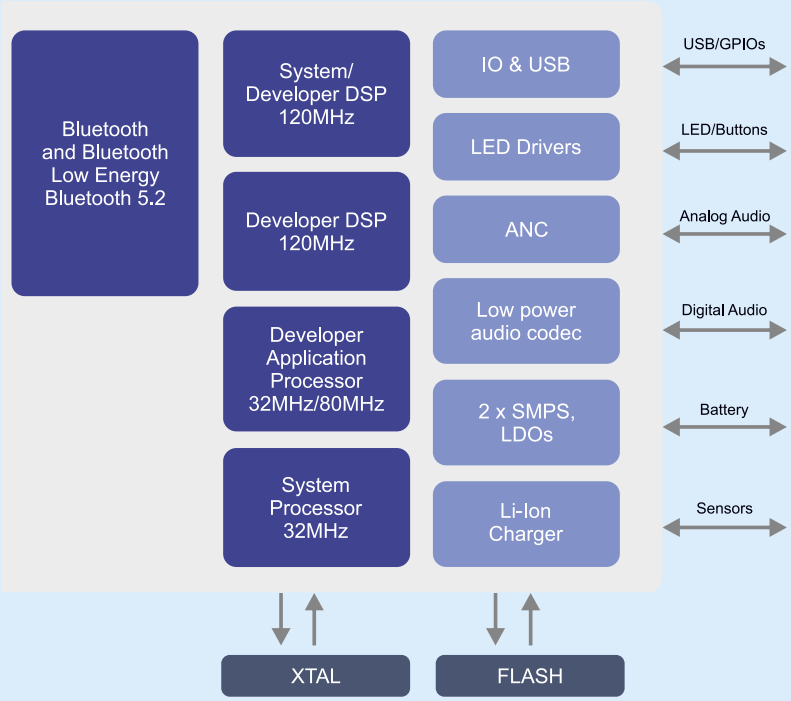
Udostępnianie dźwięku (*Audio Sharing*) jest nową kluczową funkcją LE Audio. Udostępnianie przez Bluetooth może być osobiste lub oparte na lokalizacji.

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl

eprasa.pl ad39d4d9f3

Osobiste udostępnianie dźwięku pozwoli udostępniać swoje wrażenia dźwiękowe Bluetooth innym osobom w pobliżu; na przykład udostępnianie muzyki ze smartfona rodzinie i znajomym.

Udostępnianie dźwięku w oparciu o lokalizację może zmienić sposób, w jaki doświadczamy otaczającego nas świata. Na przykład ludzie będą mogli wybierać dźwięk nadawany przez ciche telewizory w miejscach publicznych, a miejsca takie jak teatry i sale wykładowe będą mogły udostępniać dźwięk, aby pomóc odwiedzającym z ubytkiem słuchu, a także zapewnić dźwięk w wielu językach. Miejsca publiczne, takie jak lotniska, bary, siłownie, kina i centra konferencyjne, będą mogły udostępniać dźwięk Bluetooth. Udostępnianie dźwięku w oparciu o lokalizację pozwoli na udostępnianie dźwięku poprzez Bluetooth grupom odwiedzających w takich jak muzea czy galerie sztuki, aby poprawić ich wspólne wrażenia. Centrum konferencyjne może też zapewnić uczestnikom konferencji dźwięk w wielu językach [10]. W innym przykładzie kina mogłyby udostępniać dźwięk z filmu w języku ojczystym gości niedosłyszących (poprzez przesłanie filmowego dźwięku bezpośrednio do aparatu słuchowego), a także udostępniać dźwięk w wielu językach innym osobom. Korzystając z LE Audio, nawet przystanki autobusowe mogą nadawać dźwięk informujący o przyjeździe autobusów dla osób z ograniczonym słuchem lub wzrokiem. Będą to przełomowe zmiany przekształcające wiele obiektów na przyjazne osobom niepełnosprawnym. LE Audio umożliwi wiele nowych doświadczeń związanych z udostępnianiem, pomagając konsumentom korzystać z ich urządzeń w nowy sposób.



Rysunek 4. Schemat blokowy QCC514x [8]

Stos programowy Bluetooth dla LE Audio

Firma Packetcraft Inc. ogłosiła 10 marca 2020 r., że jej oprogramowanie stosu hostów i warstwy łącza uzyskało od konsorcjum Bluetooth SIG kwalifikację Bluetooth Core Specification w wersji 5.2 [5]. Jest to pierwsza kwalifikacja stosu hostów i warstwy łącza wdrażająca nowe funkcje wykorzystywane przez LE Audio: kanały izochroniczne LE, ulepszony protokół atrybutów i sterowanie zasilaniem LE. Specjalne rozwiązanie firmy Packetcraft z kwalifikowanym stosem hostów i warstwą łącza obsługującą LE Audio jest już dostępna dla klientów korporacyjnych. Packetcraft planuje również kontynuować opracowywanie i wydawanie oprogramowania obsługującego nowe specyfikacje Bluetooth definiujące LE Audio.

Packetcraft 13 maja 2020 r. ogłosił wydanie w wersji open source swoich stosów protokołów Bluetooth 5.2: Packetcraft Host i Packetcraft Controller. Produkty te, pierwszy kwalifikowany stos hostów i warstwa łącza, są teraz publicznie dostępne w postaci kodu źródłowego na stronie gihub [6]. Oprogramowanie protokołu Packetcraft to zbiór wbudowanych stosów wdrażających specyfikację warstwy łącza Bluetooth Low Energy, hosta, profilu i siatki. Repozytorium zawiera wersję open source oprogramowania Packetcraft. Jest to wersja kwalifikowana i może być używana w produktach. Oprogramowanie zostało przetestowane zastosowaniem płytek rozwojowych firmy Nordic Semiconductor (dla procesorów nRF52840 oraz nRF52832).

Pierwsze SoC gotowe na standard Bluetooth 5.2 LE Audio

Seria QCC5100 firmy Qualcomm została zaprojektowana, aby pomóc producentom w opracowaniu nowej generacji kompaktowych, bogatych w funkcje bezprzewodowych słuchawek dousznych, zestawów słuchawkowych i głośników. Aby sprostać wymaganiom konsumentów dotyczącym jakości dźwięku, a także wydłużonej żywotności baterii i czasu odtwarzania w bezprzewodowych urządzeniach audio, przełomowa seria została zaprojektowana tak, aby zmniejszyć zużycie energii nawet o 65 procent w przypadku połączeń głosowych i strumieniowego przesyłania muzyki w porównaniu z poprzednią jednoukładową technologią audio.

Architektura SoC obsługuje bardzo niskie zużycie energii i obejmuje podwójny tryb radiowy Bluetooth 5, energooszczędny dźwięk i podsystemy aplikacji. Zaprojektowana do obsługi różnych zastosowań konsumenckich „w ruchu" wymagających solidnych, prawdziwie bezprzewodowych doświadczeń o wysokiej jakości, platforma obsługuje takie funkcje, jak *Qualcomm TrueWireless Stereo*, dźwięk *Qualcomm aptX HD*, *Integrated Hybrid Active Noise Cancellation* (ANC), głosowe sterowanie interfejsem użytkownika i obsługa asystenta głosowego za pośrednictwem usług w chmurze [7].

Podstawowe układy serii QCC5100 (**rysunek 4**) mają dwa rdzenie procesorowe aplikacyjne 32-bitowe (do 80 MHz) oraz dwa rdzenie DSP (2...120 MHz).

Układ QCC5141

Jest to niezwykle energooszczędny układ Bluetooth Audio SoC, zaprojektowany do użytku w kompaktowych, prawdziwie bezprzewodowych słuchawkach dousznych z obsługą głosu. Układ QCC5141, oprócz czterech rdzeni podstawowych, posiada dodatkowo konfigurowalny procesor DSP [8]. Obsługuje transmisję Bluetooth 5.2 (BR, EDR, Bluetooth Low Energy, Bluetooth Dual-mode) z prędkością 2 Mb/s oraz 3 Mb/s. Jest określany przez producenta jako gotowy do obsługi standardu LE Audio [8]. Ponieważ zapotrzebowanie konsumentów na mniejsze urządzenia nadal rośnie, układ został zaprojektowany w obudowie WLCSP 94 (4×4 mm) , aby pomóc producentom w opracowaniu bardzo małych wkładek dousznych, które będą wystarczająco wygodne, aby można je było nosić przez cały dzień.

Pobór mocy został zredukowany do 73% w porównaniu do wcześniejszych układów firmy (5 mA dla pracy A2DP). Wkładka douszna może działać podczas odsłuchu muzyki (A2DP) do 10 godzin z baterią 65 mAh [8].

Układ posiada niezwykle bogate firmowe wsparcie programowe. Wersja QCC5151 dodatkowo obsługuje adaptacyjne usuwanie szumu [7].

Układ QCC3056

Jest jednoukładowym rozwiązaniem firmy Qualcomm o bardzo niskim poborze mocy, zoptymalizowanym do użytku

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl

eprasa.pl ad39d4d9f3

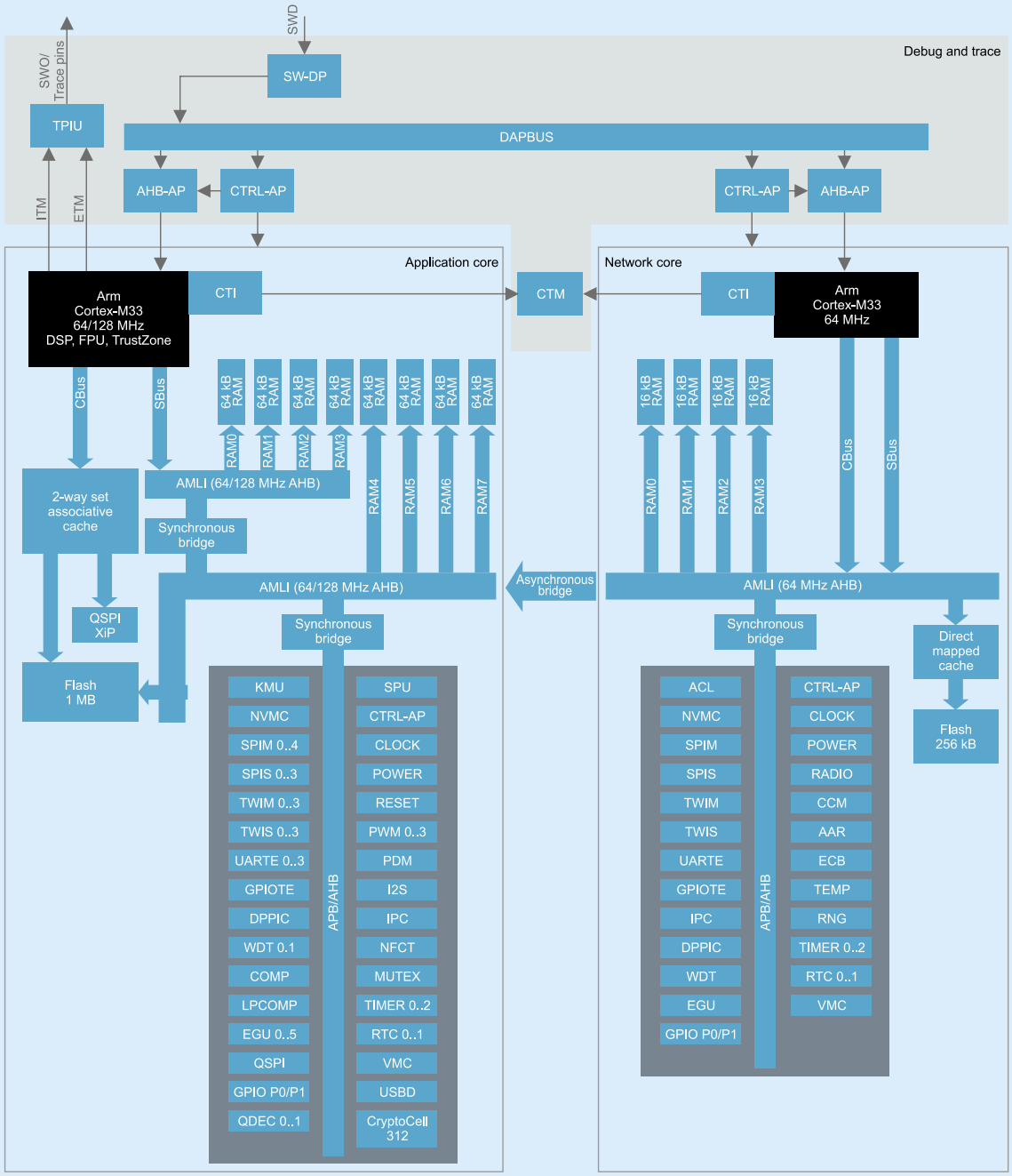
Fotografia 5. LE Audio Evaluation Platform firmy Nordic Semiconductor [4]

w bezprzewodowych słuchawkach dousznych i słuchawkach [14]. QCC3056 ma organizację podobną jak QCC5141 z ograniczoną funkcjonalnością. Dostępna jest wersja QCC3046 z jednym rdzeniem DSP. Układy są określane przez producenta jako gotowe do obsługi standardu LE Audio.

Platforma oceny dźwięku LE Audio

Urządzenia Bluetooth LE Audio nie są jeszcze powszechnie dostępne, ale chipsety i narzędzia programistyczne zaczynają być dostępne już teraz. Bluetooth SIG ogłosił nowy standard, jednak profile nadal wymagają ratyfikacji, co jest spodziewane jeszcze w tym roku [12]. Czy to oznacza, że musimy czekać przez rok? Niekoniecznie!

Nordic Semiconductor we współpracy z firmą Packetcraft, deweloperem stosu Bluetooth Low Energy, uruchomił platformę oceny dźwięku LE Audio [4] (**fotografia 5**). Rozwiązanie Nordic LE Audio składa się z referencyjnego projektu sprzętowego opartego na firmowym układzie nRF52832 (kwalifikacja Bluetooth 5.2), układzie scalonym inteligentnego kodeka CS47L35 firmy Cirrus Logic



Rysunek 6. Schemat blokowy procesora nRF5340 [11]

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl

eprasa.pl ad39d4d9f3

ze zintegrowanym procesorem DSP audio o niskim poborze mocy, stosem Packetcraft Bluetooth LE i obsługą warstwy łącza LE Audio oraz LE Audio Software Development Kit (SDK). Platforma umożliwia programistom rozpoczęcie oceny technologii dla takich produktów Bluetooth LE Audio, jak głośniki bezprzewodowe, słuchawki nauszne i prawdziwie bezprzewodowe „wkładki douszne".

Platforma ewaluacyjna zawiera złącze akustyczne, do którego można dołączyć do sześciu mikrofonów lub dwa głośniki, gniazdo słuchawkowe 3,5 mm, gniazdo źródła 3,5 mm oraz złącze USB do ładowania i debugowania (przy użyciu narzędzi programistycznych firmy Nordic Semiconductor) a także strojenia akustycznego (za pomocą platformy Cirrus Logic WISCE). Platforma ewaluacyjna pozwala na wydłużenie czasu pracy baterii o 40% w porównaniu do rozwiązania z klasyczną transmisją Bluetooth.

Platforma ewaluacyjna jest tylko rozwiązaniem typu „proof of concept". Firma Nordic Semiconductor przygotowuje zestaw Audio oparty na nRF5340, który będzie zgodny z LE Audio.

Pierwszy procesor komunikacyjny SOC z dwoma rdzeniami Arm Cortex-M33

Unikalną cechą układu nRF5340 jest zastosowanie jako rdzenia aplikacyjnego i komunikacyjnego dwóch rdzeni Arm Cortex-M33 [11]. Architektura układu nRF5340 oraz wydajność energooszczędnego rdzenia aplikacyjnego dają dobre podstawy do realizacji komunikacji ze standardem LE Audio [S34]. Dzięki stosowi oprogramowania obsługującemu LE Audio, radio nRF5340 obsługuje kanały izochroniczne LE, a LC3 działa wydajnie na układzie SoC. nRF5340 ma również wbudowany układ audio PLL do synchronizacji dźwięku w celu zapewnienia prawdziwego bezprzewodowego odtwarzania stereo.

Schemat blokowy procesora nRF5340 został pokazany na **rysunku 6**. Rdzeń aplikacyjny ARM Cortex-M33 zapewnia energooszczędną arytmetykę (DSP), obliczenia zmiennoprzecinkowe (FPU), kontroler przerwań (NVIC) oraz moduł ochrony pamięci (MPU). Może pracować z obniżoną częstotliwością zegara ze 128 MHz do 64 MHz (przy użyciu skalowania napięcia i częstotliwości) co pozwala na zmniejszenie mocy zasilania (510/255 CoreMark, 65/76 CoreMark/mA). Ma dołączoną pamięć Flash (1 MB), RAM (512 kB) oraz 8 kB 2-drożnej asocjacyjnej pamięci podręcznej.

Wybrane pozostałe artykuły kursu Systemy dla Internetu Rzeczy

[S34] nRF5340 – pierwszy procesor komunikacyjny SOC z dwoma rdzeniami Arm Cortex-M33, EP 2/2020

Literatura

[1] Core Specifications, Core Specification 5.2, 3 April 2021, Bluetooth SIG, https://bit.ly/3apNbKy
[2] Bluetooth Core Specification Version 5.2 Feature Overview, S Bluetooth IG, Martin Woolley, Version: 1.0.1, 9 December 2020, https://bit.ly/2P0jRme
[3] LE Audio, Bluetooth SIG, https://bit.ly/3an2OlS
[4] Nordic Semiconductor launches a Bluetooth LE Audio Evaluation Platform ahead of Bluetooth SIG LE Audio specification release during H1 2020, 06 Jan 2020, Oslo, Nordic Semiconductor, https://bit.ly/3aoSuK5
[5] Bluetooth Solutions, Open Sourced, Packetcraft, https://bit.ly/32oMTiu
[6] Packetcraft Protocol Software, 11 Nov 2020, Packetcraft, https://bit.ly/3x4ZANv
[7] QCC5100 Series, Ultra-low power, premium-tier SoCs, Qualcomm, https://bit.ly/3gl8bG3
[8] QCC5141, Qualcomm, https://bit.ly/3150BH9
[9] Unwired for Sound, 08.2020, Nordic Semiconductor, https://bit.ly/3dxgH2Z
[10] LE Audio: A new age of Bluetooth audio sharing, JAN 27, 2020, Qualcomm, https://bit.ly/3gh7NbA
[11] nRF5340, System on Chip, Product Page, Nordic Semiconductor, http://bit.ly/2v3VMAI
[12] SPECIFICATIONS Specifications List, SIG, https://bit.ly/3uZodcI
[13] BL5340 Series, Multi-Core / Protocol – Bluetooth® + 802.15.4 + NFC Modules, Laird, https://bit.ly/32rfZhh
[14] QCC3056, Qualcomm, https://bit.ly/3gqnjBU

Rdzeń aplikacyjny na zastosowaną technologię Arm TrustZone oraz Arm CryptoCell 312. Technologia Arm TrustZone oznacza, że moduł posiada obszary zabezpieczone oraz nie zabezpieczone. Aspekty krytyczne, jak obsługa kryptograficzna i klucze, mogą być umieszczone w obszarze zabezpieczonym, do którego nie ma bezpośredniego dostępu. Zapewnia to najwyższy poziom szyfrowania i zabezpieczeń aplikacyjnych na rynku. Obie technologie zapewniają również bardzo energooszczędną pracę.

Rdzeń komunikacyjny (*network*) ARM Cortex-M33 jest przeznaczony do obsługi komunikacji radiowej. Jest taktowany z częstotliwością 64 MHz i jest zoptymalizowany pod kątem niskiej mocy i wydajności (238 CoreMark, 101 CoreMark/mA) Układ ma 256 kB pamięci Flash oraz 64 kB pamięci RAM i jest w pełni programowalny. Rdzeń komunikacyjny ma dołączony koprocesor kryptograficzny do wykonywania w locie operacji zgodnych z 128-bit AES/ECB/CCM/AAR.

Każdy rdzeń posiada własny układ *Inter-processor communication* (IPC) służący do wysyłania i odbioru zdarzeń pomiędzy nimi. Komunikacja zachodzi poprzez wiele kanałów. Pamięć dołączona do rdzenia aplikacyjnego jest mapowana w przestrzeni adresowej rdzenia komunikacyjnego. Oznacza to, że rdzeń komunikacyjny może ją wykorzystywać jako pamięć współdzieloną do komunikacji. Procesor nRF5340 posiada też układ *Mutually exclusive peripheral* (MUTEX), dostępny z obu rdzeni, służący do zablokowania zasobu współdzielonego przez oba rdzenie. Dzielony zasób może być użyty tylko przez jeden rdzeń i przez ten czas jest zablokowany. Do blokowania i odblokowania służą bity w specjalnych rejestrach Mutex.

Każdy rdzeń procesora posiada zestaw własnych modułów peryferyjnych. Dodatkowo rdzeń komunikacyjny ma dostęp do układów peryferyjnych dołączonych do rdzenia aplikacyjnego. Układ udostępnia 48 wyprowadzeń GPIO (w obudowie 7×7 mm aQFN94), cztery zegary RTC (24-bitowe), 6 timerów (32-bitowe), przetwornik ADC (12-bitowy, 200 ksps), interfejs mikrofonu cyfrowego (PDM), cztery wyjścia PWM, port I^2S, cztery porty UART, trzy porty I^2C oraz cztery porty SPI. Port QSPI (96 MHz) umożliwia wykonywanie kodu z dołączonej zewnętrznej pamięci Flash.

Układ umożliwia jednoczesną (*concurrent*) pracę w jednej sieci z protokołem Bluetooth LE oraz w drugiej sieci typu Mesh z protokołem Bluetooth Mesh, Thread lub Zigbee. Oprogramowanie układu scalonego nRF5340 jest wspierane przez pakiet programowy nRF Connect SDK.

Moduły serii BL5340 firmy Laird Connectivity

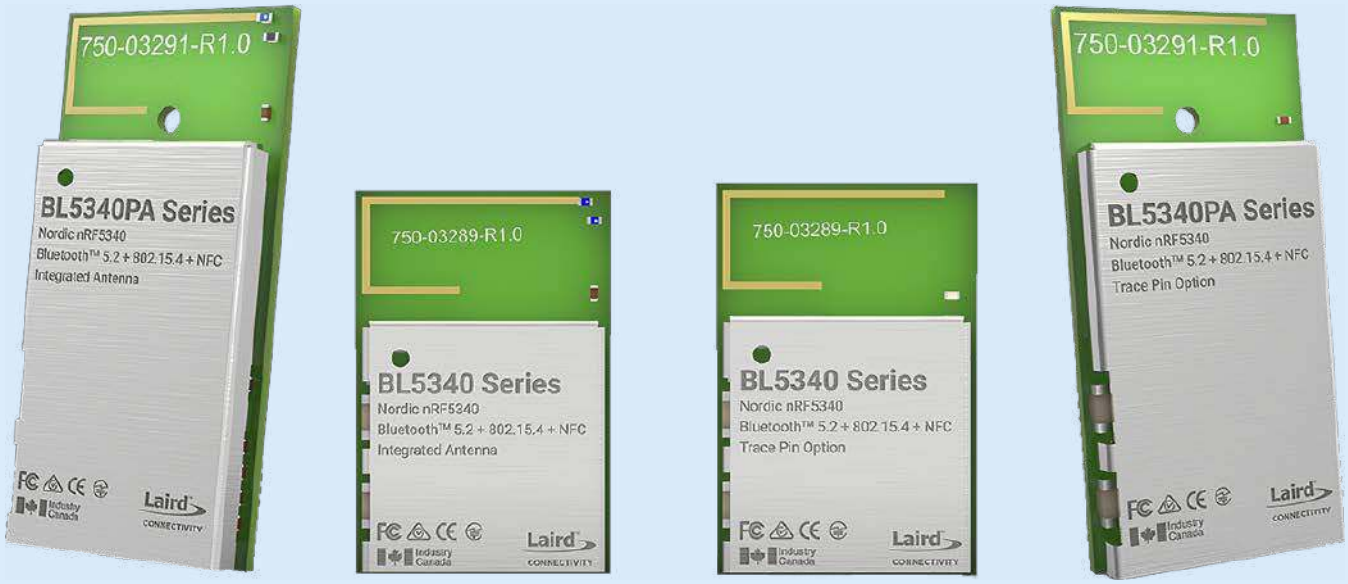
Najnowsza seria modułów BL5340 firmy Laird Connectivity (w opracowaniu) wyposażona w układ scalony nRF5340 firmy Nordic Semiconductor jest ukierunkowana na najwyższą wydajność przy najniższym budżecie mocy [13]. Moduł BL5340 charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami poboru mocy: 5,3 mA (+3 dBm TX), 4,1 mA (0 dBm TX), 1,3 μA (system włączony) oraz 0,9 μA (system wyłączony).

Jest to bardzo dobry przykład jakie możliwości szybkiego rozpoczęcia rozwoju technologii Bluetooth LE daje zastosowanie gotowego bloku radiowego z całym bogactwem firmowych pakietów programowych. Dostarczane oprogramowanie obejmuje system operacyjny czasu rzeczywistego Zephyr RTOS oraz pakiet programowy Nordic nRF Connect SDK. Umożliwia to natychmiastowe użycie wielu możliwości komunikacji standardu Bluetooth LE 5.2: urządzenie peryferyjne/centralne, 2 Mb/s (wysoka przepustowość), kodowane LE (daleki zasięg), lokalizacja w czasie rzeczywistym AoA/AoD, LE Audio/kanały izochroniczne, sieć BLE Mesh oraz bezprzewodowa aktualizacja oprogramowania Firmware Over the Air (FOTA).

Płytka drukowana o bardzo małych wymiarach 15×10×2,2 mm jest wstępnie certyfikowana. Dostępne są wersje modułów z anteną

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl

eprasa.pl ad39d4d9f3



Fotografia 7. Moduły Bluetooth 5.2 serii BL5340 firmy Laird Connectivity [13]

wbudowaną lub dołączeniem zewnętrznej oraz warianty ze zintegrowanym wzmacniaczem nRF21540 PA/LNA (**fotografia 7**) do zastosowań o wyższej mocy TX (+10 dBm).

Podsumowanie

LE Audio rozszerza możliwości klasycznego dźwięku Bluetooth. Będzie obsługiwał zarówno połączenia głosowe, jak i aplikacje do strumieniowego przesyłania muzyki. Dźwięk Bluetooth umożliwia konsumentom słuchanie muzyki i rozrywkę bez kabli. Wprowadzenie LE Audio pomoże jeszcze bardziej przyspieszyć wzrost rynku dzięki prawie 2 miliardom urządzeń audio i rozrywkowych, które mają być dostarczone do 2024 r. Wsteczna kompatybilność z istniejącymi produktami Bluetooth będzie nadal niezbędna, a urządzenia działające w dwóch trybach obsługujące funkcje LE Audio i klasyczny dźwięk Bluetooth będą miały fundamentalne znaczenie dla użytkownika. LE Audio to technologia uzupełniająca, a nie zastępcza.

Wprowadzona ostatnio dla telefonów komórkowych platforma Snapdragon 888 firmy Qualcomm zawiera system łączności Qualcomm FastConnect 6900 ze zintegrowanymi funkcjami audio Bluetooth 5.2 i Qualcomm aptX, a także obsługę urządzeń mobilnych LE Audio. Umożliwia to obsługę udostępniania dźwięku wielu odbiorcom (*Audio Sharing*). Już teraz platforma została zastosowana w 86 telefonach różnych producentów.

Pomimo spowolnienia ratyfikacji profili LE Audio spowodowanego epidemią COVID-19 standard LE Audio i tak zaczyna się szybko upowszechniać.

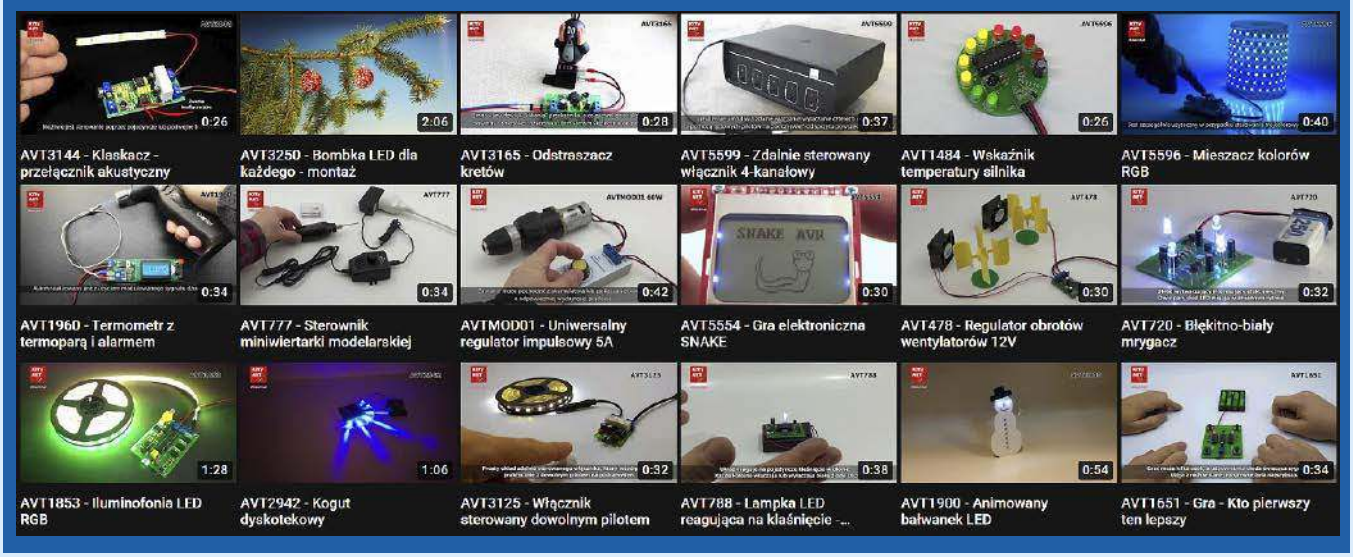
Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

REKLAMA

KITy AVT

KITy AVT na wideo: HTTP://BIT.LY/2SCLZTY

O KIT-ach AVT przeczytasz również na Facebooku: HTTP://BIT.LY/2BJVMN7



Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl

eprasa.pl ad39d4d9f3

Eksperymenty z FPGA (18)

Monitor interfejsu VGA

W poprzednim odcinku uruchomiliśmy wyświetlanie obrazu poprzez interfejs VGA. Uzyskane wyniki możemy sobie przypomnieć z filmu [1]. Jednak jedynym sposobem weryfikacji było uruchomienie kodu w sprzęcie i podłączenie wyświetlacza. Dzisiaj rozwiążemy tę niedogodność, tworząc monitor interfejsu VGA. Będzie on odczytywał generowany obraz i zapisywał w postaci plików graficznych. Tak jak poprzednio przed przystąpieniem do wykonywania eksperymentów zachęcam do aktualizacji repozytorium z przykładami (na przykład poprzez wywołanie polecenia git pull).

FTP WSZYSTKIE POPRZEDNIE ODCINKI KURSU SĄ DOSTĘPNE NA STRONIE WWW.MEDIA.AVT.PL

Najpierw musimy poznać sposób tworzenia plików graficznych. Użyjemy najprostszego formatu, czyli BMP [1]. Korzystając z programu MS Paint, utworzyłem testowy rysunek (*16_PONG/test.bmp*). W powiększeniu został pokazany na **rysunku 1**. W oryginale jest on bardzo mały – ma wymiary 4 na 2 piksele, ponieważ ułatwi nam to analizę jego zawartości.

Format BMP

Utworzony rysunek to plik binarny, więc możemy go otworzyć za pomocą dowolnego edytora tego typu danych (na przykład w konsoli rozkazem hexdump). Ponieważ jednak docelowo chcemy tworzyć pliki graficzne w języku System Verilog, skorzystamy od razu z niego. Na **listingu 1** został pokazany krótki kod, którego zadaniem jest otworzenie pliku i wypisanie kolejnych bajtów jego zawartości. Możemy go uruchomić w symulatorze ModelSim poleceniem:

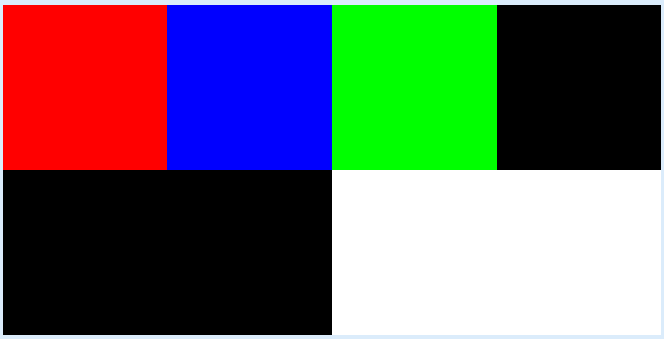
```
do ./read_hex.do
```

Jego wykonanie spowoduje wyświetlenie odczytanych bajtów, po jednym w wierszu.

Uzyskany wynik (już ręcznie sformatowany do trochę innej postaci) został pokazany na **listingu 2**. Zaraz dowiemy się, dlaczego bajty zostały pogrupowane w taki sposób. Pierwsze 14 bajtów stanowi nagłówek pliku. Ich znaczenie zostało opisane w **tabeli 1**. Pierwsze dwa z nich to tak zwany magiczny numer (*magic number*). Pozwalają one rozpoznać rodzaj pliku. Dla bitmapy są to 0x42 i 0x4d, co w kodzie ASCII oznacza litery BM.

Listing 1. Odczytywanie pliku binarnego (16_PONG/read_hex.sv)

```
10 module read_hex;
11   initial begin
12     int f, r;
13     logic [7:0]b;
14     f = $fopen("test.bmp", "rb");
15     while ($fread(b, f))
16       $display("%x", b);
17     $fclose(f);
18   end
19 endmodule
```



Rysunek 1. Testowy plik 16_PONG/test.bmp

Kolejne cztery to rozmiar pliku. Jednak jak widzimy w tabeli, czeka tu na nas mała pułapka. Kolejność bajtów to: od najmniej znaczącego do najbardziej znaczącego. Oznacza to, że musimy czytać je od końca (bajty nie bity). Z tego powodu rozmiar to nie 0x4e000000, co dałoby 1308622848, ale 0x4e, czyli 78. Zasada ta dotyczy wszystkich wielobajtowych pól w naszym pliku.

Następne cztery bajty są zarezerwowane (niektóre programy mogą ich używać). U nas są one równe 0. Pozostałe bajty to odstęp pomiędzy początkiem pliku a początkiem tablicy pikseli – u nas jest to 54. To oznacza, że pomiędzy nagłówkiem a danymi jest jeszcze 40 bajtów. Zajmiemy się nimi za chwilę. Na razie spójrzmy na **listing 3**, gdzie znajdziemy strukturę opisującą nagłówek. Użyjemy jej później podczas odczytywania i zapisywania plików. Aby móc jej używać w różnych projektach, została ona umieszczona w pakiecie (*package*) bmpPkg.

Wróćmy do analizowania zawartości pliku. Kolejne 40 bajtów to tak zwany nagłówek DIB. Przechowuje on dodatkowe informacje o danych. Istnieje wiele jego wersji. W naszym przypadku jest to BITMAPINFOHEADER. Listę wszystkich jego pól znajdziemy w **tabeli 2**. Dla nas najważniejsze to biWidth i biHeight, które opisują szerokość i wysokość obrazu. Kolejnym polem, które będziemy modyfikować, jest biSizeImage, czyli rozmiar danych. Dla pozostałych zastosujemy te same wartości, które znaleźliśmy w pliku testowym.

Listing 2. Zawartość pliku 16_PONG/test.bmp

```
42 4d 4e 00 00 00 00 00 00 00 36 00 00 00

28 00 00 00 04 00 00 00 02 00 00 00 01 00 18 00 00 00 00 00
18 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00

00 00 00 00 00 00 ff ff ff ff ff ff
05 0a ff ff 05 0a 0a ff 05 00 00 00
```

Tabela 1. Elementy nagłówka pliku

Element	Rozmiar	W danych	Znaczenie
„Magic number”	2 bajty	42 4d	BM
Rozmiar pliku	4 bajty	4e 00 00 00	0x4e = 78
Zarezerwowane	4 bajty	00 00 00 00	
Przesunięcie do tablicy pikseli	4 bajty	36 00 00 00	0x36 = 54

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl

eprasa.pl ad39d4d9f3

Tak jak wcześniej, dla drugiego nagłówka także tworzymy odpowiadającą mu strukturę. Znajdziemy ją na **listingu 4**.

Zostało nam jeszcze ostatnie 24 bajty. Jak łatwo się domyślić to muszą w końcu być nasze dane. Trzy kolejne bajty opisują kolor jednego piksela: pierwszy z nich oddaje kolor niebieski, drugi zielony, a trzeci czerwony. Pierwsza trójka odpowiada pikselowi z lewego dolnego rogu obrazu. Następnie znajdziemy kolejne piksele z dolnego wiersza, aby później przejść do początku wiersza, który znajduje się nad nim. Opis mógł wyjść zawiły, ale wszelkie wątpliwości powinien rozwiać **rysunek 2**.

Tabela 2. Nagłówek bitmap info header

Nazwa	Funkcja	Rozmiar [bajty]	W danych	Znaczenie
biSize	Wilekość nagłówka	4	28 00 00 00	0x28 = 40
biWidth	Szerokość obrazu, px	4	04 00 00 00	0x04 = 4
biHeight	Wysokość obrazu, px	4	02 00 00 00	0x02 = 2
biPlanes	Liczba warstw kolorów	2	01 00	0x01 = 1
biBitCount	Liczba bitów na px	2	18 00	0x18 = 24
biCompression	Kompresja	4	00 00 00 00	Brak
biSizeImage	Rozmiar rysunku	4	18 00 00 00	24
biXPelsPerMeter	Rozdzielczość pozioma	4	00 00 00 00	Brak
biYPelsPerMeter	Rozdzielczość pionowa	4	00 00 00 00	Brak
biClrUsed	Liczba kolorów w palecie	4	00 00 00 00	Brak
biClrImportant	Ważne kolory w palecie, stosowane przy animacji	1	00	Brak
biClrRotation	Rotacja pakiety, stosowane przy animacji	1	00	Brak
biReserved	Zarezerwowane	2	00 00	

Listing 3. Struktura opisująca nagłówek pliku BMP (16_PONG/bmp_pkg.sv)

```
15 typedef struct packed {
16   logic [15:0]mn;
17   logic [31:0]size;
18   logic [31:0]res;
19   logic [31:0]offset;
20 } bmp_header;
```

Listing 4. Struktura opisująca nagłówek pliku bitmap info header (16_PONG/bmp_pkg.sv)

```
22 typedef struct packed {
23   logic [31:0] biSize;
24   logic [31:0] biWidth;
25   logic [31:0] biHeight;
26   logic [15:0] biPlanes;
27   logic [15:0] biBitCount;
28   logic [31:0] biCompression;
29   logic [31:0] biSizeImage;
30   logic [31:0] biXPelsPerMeter;
31   logic [31:0] biYPelsPerMeter;
32   logic [31:0] biClrUsed;
33   logic [ 7:0] biClrImportant;
34   logic [ 7:0] biClrRotation;
35   logic [15:0] biReserved;
36 } bmp_info_header;
```

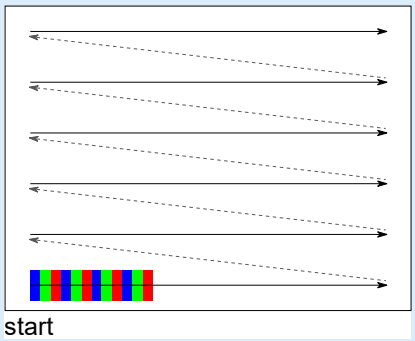
Odczytywanie pliku BMP

Rozłożyliśmy już bitmapę na części pierwsze. Teraz możemy pokusić się o utworzenie zadania (*task* – można rozumieć jako funkcję, która nie zwraca wartości), które załaduje i zinterpretuje plik BMP. Jej fragment został pokazany na **listingu 5**. Przyjmuje on jeden argument: fname, czyli ścieżkę do pliku, który ma zostać załadowany. Następnie w liniach 39...43 definiujemy zmienne. Najciekawsze z nich to nasze struktury reprezentujące nagłówki bh oraz bih. Trzybajtowa tablica c posłuży do odczytywania pojedynczego piksela.

W wierszu 46 odczytujemy nagłówek i zapisujemy go w zmiennej bh. Następnie w kolejnych pięciu liniach wyświetlamy jego kolejne pola. Do zmiany kolejności bajtów w słowach używamy operatora strumieniowego {<<8{}}. Niestety nie jest on jeszcze wspierany w używanej przeze mnie wersji Quartus, więc obecnie nie możemy go użyć do syntezy. Jednak ModelSim sobie z nim radzi. Nic nie stoi na przeszkodzie użycia go w symulacji. Odczyt drugiego nagłówka jest analogiczny, dlatego nie znajduje się na listingu. Do odczytania tablicy pikseli używamy dwóch pętli for. Zewnętrzna iteruje po wierszach, a wewnętrzna po kolumnach. Odczytujemy po 3 bajty naraz i zapisujemy w zmiennej c. Następnie uzyskane dane są wypisywane na ekran.

Aby przetestować nasz kod, przygotowałem bardzo krótki moduł bmp_open. Jak widzimy na **listingu 6**, składa się on jedynie z bloku initial, w którym wywołujemy nasze zadanie. Ponieważ blok składa się z pojedynczej linii, nie musimy dodawać słów begin end. Uruchamiamy go poleceniem: `do ./bmp_open.do`.

Fragment uzyskanego wyniku prezentuje **listing 7**. Warto porównać uzyskany efekt z tym z listingu 2. Cenne będą także eksperymenty z własnymi plikami BMP.



Rysunek 2. Kolejność danych w pliku bmp

Tworzenie pliku BMP

To, co nas najbardziej interesuje, to zapisywanie zebranych danych do plików graficznych. Poprzednie eksperymenty miały nas jedynie zapoznać ze strukturą pliku. Dopiero teraz przygotujemy to, co jest nam najbardziej potrzebne. Najciekawsze fragmenty kodu znajdziemy na **listingu 8**. Jak widzimy w linii 79, nasze zadanie przyjmuje tym razem cztery parametry: ścieżkę do pliku, wymiary obrazu (szerokość i wysokość) oraz referencję do dynamicznej tablicy pikseli. Następnie deklarujemy zmienne pomocnicze. Poza naszymi strukturami tworzymy tu także tablicę bajtów o odpowiadającej im długości. Zanim ją wykorzystamy, najpierw wypełnimy nagłówki. W wierszu 87 obliczamy rozmiar pliku, następnie w liniach 89...92 uzupełniamy nagłówek. W wierszu 94 wyjaśnia się,

Listing 5. Odczytywanie zawartości pliku BMP (16_PONG/bmp_pkg.sv)

```
38 task show(string fname);
39   int a1, f, i;
40   logic [7:0]b;
41   bmp_header bh;
42   bmp_info_header bih;
43   logic [2:0][7:0]c;
44   a1 = $fopen(fname, "rb");
45
46   f = $fread(bh, a1);
47   $display("BMP header:");
48   $display("Magic number: 0x%x", bh.mn);
49   $display("size: %d", {<<8{bh.size}});
50   $display("res: %d", {<<8{bh.res}});
51   $display("offset: %d", {<<8{bh.offset}});

69   for (int y=0; y<{<<8{bih.biHeight}}; y++) begin
70     for (int x=0; x<{<<8{bih.biWidth}}; x++) begin
71       f = $fread(c, a1);
72       $display("x: %d, y: %d, r: %d, g: %d, b: %d", x, y, c[0], c[1], c[2]);
73     end
74   end
75   $fclose(a1);
77 endtask
```

Listing 6. Testowy kod odczytujący plik test.bmp (16_PONG/bmp_open.sv)

```
10 module bmp_open;
11
12 initial
13   bmpPkg::show("test.bmp");
14
15 endmodule
```

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl

eprasa.pl ad39d4d9f3

Listing 7. Fragment odczytanego pliku BMP

```
# BMP header:
# Magic number: 0x424d
# size:         78
# res:          0
# offset:         54

# x:           0, y:           0, r:   0, g:   0, b:   0
# x:           1, y:           0, r:   0, g:   0, b:   0
# x:           2, y:           0, r: 255, g: 255, b: 255
# x:           3, y:           0, r: 255, g: 255, b: 255
# x:           0, y:           1, r: 255, g:  10, b:   5
# x:           1, y:           1, r:  10, g:   5, b: 255
# x:           2, y:           1, r:   5, g: 255, b:  10
# x:           3, y:           1, r:   0, g:   0, b:   0
```

Listing 8. Zapisywanie tablicy pikseli do pliku BMP (16_PONG/bmp_pkg.sv)

```
079 task automatic save(string fname, int width,
        int height, ref logic [2:0][7:0]c[][]);
080   int f;
081   bmp_header bh;
082   bmp_info_header bih;
083   logic [31:0] size;
084   logic [7:0] bh_b[13:0];
085   logic [7:0] bih_b[39:0];
086
087   size = $bits(bh)/8 + $bits(bih)/8 + width*height*3;
088
089   bh.mn = 16'h424d;
090   bh.size = {<<8{size}};
091   bh.res = '0;
092   bh.offset = {<<8{32'd54}};
093
094   {>>{bh_b}} = bh;

112   f = $fopen(fname, "wb");
113   for (int i=0; i < 14; i++)
114     $fwrite(f, "%c", bh_b[13-i]);

117
118   for (int y = 0; y < height; y++)
119     for (int x = 0; x < width; x++)
120       for (int z = 0; z < 3; z++)
121         $fwrite(f, "%c", c[y][x][2-z]);
122
123   $fclose(f);
124 endtask
```

po co nam dodatkowa tablica bajtów. Zapisujemy w nim nasz nagłówek w odwróconej kolejności bitów. Tu znowu z pomocą przychodzi nam operator strumieniowy. Na końcu, w pętli for, bajt po bajcie wpisujemy nagłówek do pliku. Używamy tu opcji %c polecenia fwrite. Obsługa drugiego nagłówka jest analogiczna. Wpisywanie tablicy pikseli także następuje bajt po bajcie. Użyte są tu 3 pętle: wysokość, szerokość oraz kolory (wiersze 118...121). Na zakończenie plik jest zamykany (wiersz 123).

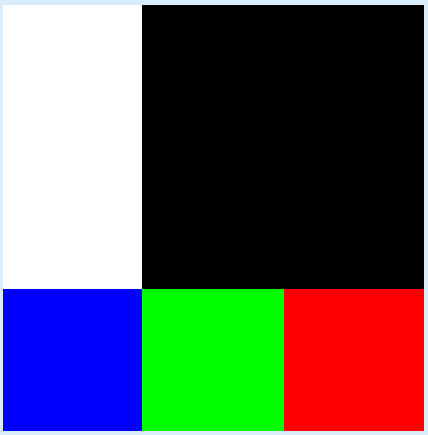
Do pierwszych testów użyjemy modułu bmp_save. Jego fragmenty zostały pokazane na **listingu 9**. Na początku definiujemy zmienne, następnie ustalamy wymiary rysunku na 4×3 piksele. Ciekawe rzeczy dzieją się w liniach 19...21. Tutaj tworzymy dynamiczną

Listing 9. Tworzenie pliku BMP (16_PONG/bmp_save.sv)

```
10 module bmp_save;
11
12   initial begin
13     int width, height;
14     logic [2:0][7:0]c[][];
15
16     width = 4;
17     height = 3;
18
19      c = new[height];
20      for (int y = 0; y < height; y++)
21        c[y] = new[width];
22
23      c[0][0] = {8'd255, 8'd0, 8'd0};
24      c[0][1] = {8'd0, 8'd255, 8'd0};
25      c[0][2] = {8'd0, 8'd0, 8'd255};
26      c[0][3] = {8'd255, 8'd255, 8'd255};

38      bmpPkg::save("save_test.bmp", width, height, c);
39    end
40  endmodule
```

dwuwymiarową tablicę. Jest to tak naprawdę tablica tablic, dlatego jej tworzenie wymaga kilku kroków. Najpierw operatorem new tworzymy tablice wierszy. Następnie w pętli for inicjujemy każdy wiersz jako tablicę pikseli. Kolejną częścią jest jej wypełnienie. Jak widzimy, dostęp do niej jest typowy. Używamy po prostu operatorów []. Tak docieramy do linii 38, gdzie wywołujemy nasze zadanie. Cały program można uruchomić poleceniem:

```
do ./bmp_save.do
```



Rysunek 3. Wygenerowana grafika

Uzyskana grafika powinna być podobna do tej z **rysunku 3**.

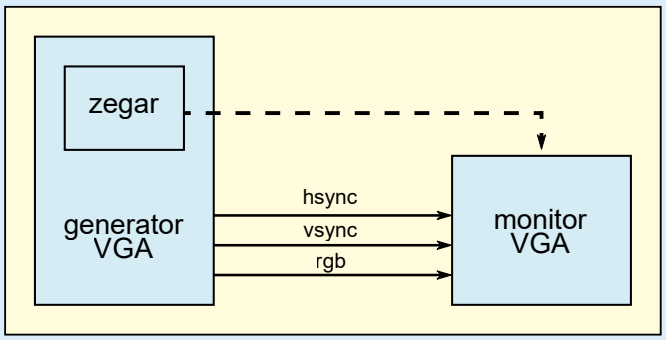
Monitor interfejsu VGA

Jesteśmy już gotowi do implementacji naszego dzisiejszego projektu – monitora VGA. Na **rysunku 4** zostało pokazuje jego połączenie z generatorem sygnału VGA (przygotowanym w poprzednim odcinku). Stosujemy tu małe oszustwo. Oryginalny sygnał VGA nie ma zegara, numer kolumny należy odzyskać na podstawie odstępów pomiędzy kolejnymi sygnałami hsync. My jednak możemy po prostu wyciągnąć zegar z generatora i na jego podstawie ustalić położenie odbieranego piksela. Implementację monitora prezentuje **listing 10**.

Nasz moduł przyjmuje jeden parametr: NAME. Określa on nazwę tworzonego pliku. Wejścia są standardowe: zegar, reset oraz sygnał VGA: synchronizacja i dane. W liniach 19...22 zdefiniujemy pomocnicze parametry. Nasz monitor będzie obsługiwał jedynie rozdzielczość 640 na 480, ale właśnie poprzez modyfikację tych parametrów możemy to zmienić. Parametry V i H oznaczają wysokość i szerokość, a V_offset i H_offset odległość początku danych od końca sygnału synchronizującego.

W bloku initial (28...32) inicjujemy tablicę, w której będziemy zapisywać kolejne piksele. Natomiast cała logika modułu znajduje się w bloku always. Na początku (linie 35...41) obsługiwany jest reset. Następnie sprawdzamy, czy sygnał synchronizacji pionowej jest aktywny. Jeżeli tak, to sprawdzamy, czy w poprzednim kroku nie był jeszcze nieaktywny (stan wysoki). Jeżeli wykryjemy zbocze opadające, wywołamy funkcję zapisującą ramkę do pliku i inkrementujemy jej numer. Następnie wyzerujemy licznik wierszy i kolumn.

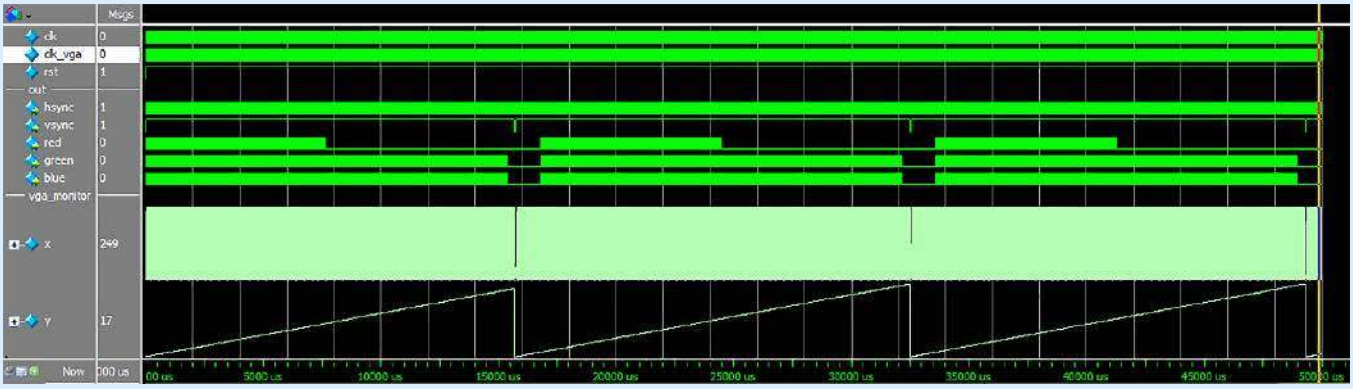
Kolejny krok to wykrycie synchronizacji poziomej. Tutaj wykrycie zbocza opadającego inkrementuje licznik wierszy. Ostatni przypadek to taki, gdy żaden z sygnałów synchronizujących nie jest aktywny. Wtedy po prostu inkrementujemy licznik kolumn. W wierszach 58...61 następuje zapis stanu piksela do tablicy. Dzieje się to tylko



Rysunek 4. Połączenie monitora z generatorem sygnału

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie www.media.avt.pl

eprasa.pl ad39d4d9f3



Rysunek 5. Przebiegi czasowe z symulacji monitora

wtedy, gdy oba liczniki znajdują się wewnątrz obszaru ekranu. Ponieważ w interfejsie VGA wiersze są przesyłane od góry, a w plikach BMP są zapisywane od dołu, musimy zamienić ich kolejność.

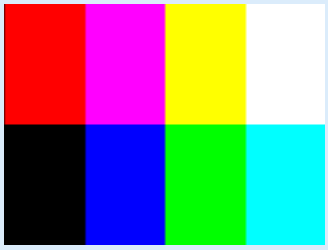
Analizując powyższy kod należy mieć na uwadze, że jest to kod napisany jedynie do symulacji. Nie musimy tutaj zastanawiać się, czy będzie on syntezowalny. Aby wykonać symulację, potrzebujemy jeszcze testbenchu. Jego fragment został zaprezentowany na **listingu 11**. Jest on klasyczny: po prostu łączymy wyjścia z wejściem. Warto tu zwrócić uwagę na notację dut.clk_vga, za pomocą której uzyskujemy dostęp do sygnałów z wnętrza modułu dut. Symulację uruchamiamy rozkazem:

```
do ./vga_top.do
```

Trwa ona dłuższą chwilę. Gdy się zakończy powinniśmy zobaczyć wynik podobny do tego z **rysunku 5**. Widzimy, że wygenerowane zostały trzy ramki. W folderze projektu powinniśmy znaleźć trzy nowe pliki *fame0.bmp*, *frame1.bmp* oraz *frame2.bmp*. Pierwszy z nich został pokazany na **rysunku 6**, a drugi na **rysunku 7**.

Widzimy, że na pierwszej ramce brakuje początkowych wierszy. Wynika to z faktu, że sygnał synchronizujący generujemy dopiero po ramce. Dlatego ten błąd jest spodziewanym efektem. Dopiero druga (i kolejne) ramki złapane przez monitor są poprawne. Warto ją porównać do obrazu z ekranu uzyskanego w poprzednim odcinku.

Rysunek 6. Pierwsza grafika wygenerowana w symulacji



Rysunek 7. Druga grafika wygenerowana w symulacji

Podsumowanie

W tym odcinku było bardzo teoretycznie – same symulacje, bez eksperymentów w sprzęcie. Ale już w kolejnym odcinku użyjemy naszego monitora. Pomoże nam przy implementacji najbardziej klasycznej z gier: PONG-a.

Rafał Kozik
rafkozik@gmail.com

[1] https://bit.ly/3vC0waG
[2] https://bit.ly/3eOZeT4

Listing 10. Implementacja monitora VGA (16_PONG/vga_monitor.sv)

```
10 module vga_monitor #(
11   parameter NAME = "frame"
12 ) (
13   input wire clk,
14   input wire rst,
15   input wire [2:0]c,
16   input wire hsync,
17   input wire vsync
18 );
19   parameter V = 480;
20   parameter V_offset = 33;
21   parameter H = 640;
22   parameter H_offset = 48;
23   int frame;
24   logic [2:0][7:0]ct[][];
25   int x, y;
26   logic last_vsync, last_hsync;
27
28   initial begin
29     ct = new[V];
30     for (int iy = 0; iy < V; iy++)
31       ct[iy] = new[H];
32     end
33
34   always @(posedge clk) begin
35     if (!rst) begin
36       x = 0;
37       y = 0;
38       frame = 0;
39       last_vsync = 1'd0;
40       last_hsync = 1'd0;
41     end else begin
42       if (vsync == 1'd0) begin
43         if (last_vsync == 1'd1) begin
44           bmpPkg::save($sformatf("%s_%02d.bmp", NAME, frame), H, V, ct);
45           frame = frame + 1;
46         end
47         x = 0;
48         y = 0;
49       end else if (hsync == 1'd0) begin
50         x = 0;
51         if (last_hsync == 1'd1)
52           y = y + 1;
53       end else begin
54         x = x + 1;
55       end
56       last_vsync = vsync;
57       last_hsync = hsync;
58       if ((x >= H_offset && x < (H + H_offset)) &&
             (y >= V_offset && y < (V + V_offset))) begin
59         for (int cid = 0; cid < 3; cid++)
60           ct[V-1-(y-V_offset)][x-H_offset][cid] = c[2-cid] ? 8'd255 : 8'd0;
61       end
62     end
63   end
64
65 endmodule
```

Listing 11. Połączenie monitora z generatorem (16_PONG/vga_top_tb.sv)

```
11 module vga_top_tb;

28 vga_top dut (
29 .clk(clk),
30 .rst(rst),
31 .hsync(hsync),
32 .vsync(vsync),
33 .red(r),
34 .green(g),
35 .blue(b));
36
37 vga_monitor monitor (
38 .clk(dut.clk_vga),
39 .rst(rst),
40 .c({r, g, b}),
41 .hsync(hsync),
42 .vsync(vsync));
43
44 endmodule
```

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie www.media.avt.pl

eprasa.pl ad39d4d9f3

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 2021 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

RACK i Eurocarta 19" Wyposażenie szaf 19"
www.obudowa.pl
Producent obudów dla elektroniki tel. 032-230-2301

www.ep.com.pl

NINIEJSZE OGŁOSZENIA SĄ INFORMACJĄ HANDLOWĄ I NIE STANOWIĄ OFERTY W MYŚL ART. 66, § 1 KODEKSU CYWILNEGO. EWENTUALNIE PODANE CENY MOGĄ ULEC ZMIANIE.

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

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

Wydawca:
Wiesław Marciniak

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:
Damian Sosnowski

Redaktor Programowy, Przewodniczący Rady Programowej:
Piotr Zbysiński

Menedżer Magazynu:
Katarzyna Gugała

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Grzegorz Becker

Redakcja strony internetowej *www.ep.com.pl*
MAD Sp. z o.o.

Zespół marketingu i reklamy:
Katarzyna Gugała, tel. 22 257 84 64
Bożena Krzykawska, tel. 22 257 84 42
Grzegorz Krzykawski, tel. 22 257 84 60

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

DTP i okładka:
MAD Sp. z o.o.

Stali Współpracownicy:
Nikodem Czechowski, Jakub Tyburski, 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

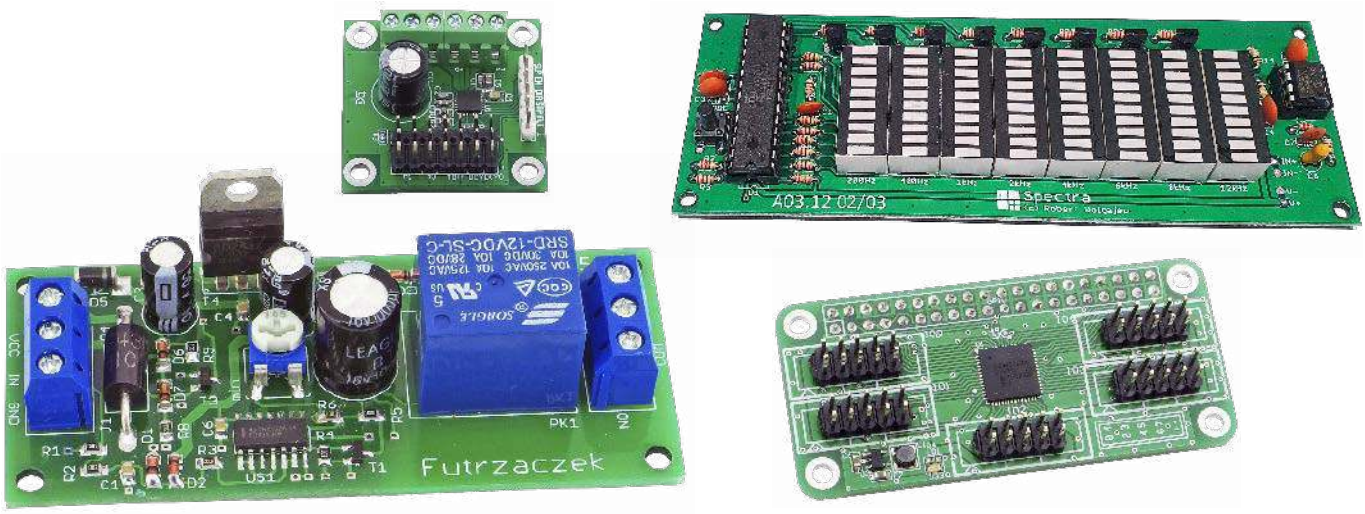
Wydawnictwo AVT-Korporacja Sp. z o.o. należy do **Izby Wydawców Prasy**

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".

eprasa.pl ad39d4d9f3

Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 6/2021



Spectra – analizator widma sygnału akustycznego

W EP 12/2019 zaprezentowaliśmy artykuł opisujący zagadnienia z zakresu DSP w odniesieniu do transformacji Fouriera w ujęciu realizacji na prostych, 8-bitowych mikrokontrolerach o ograniczonej mocy obliczeniowej i niewielkiej ilości pamięci RAM. Autor pokazał, jak przy użyciu arytmetyki stałoprzecinkowej i współczynników wektora rotującego (tzw. twiddle factors) w prosty sposób jesteśmy w stanie wykonać dyskretną transformatę Fouriera (DFT) sygnału audio, otrzymując widmo jego mocy. Posiłkując się tym unikalnym materiałem, postanowiłem odświeżyć swój wcześniejszy projekt analizatora widma sygnału akustycznego Spectrum (EP 9/2019), który cieszył się sporym zainteresowaniem wśród Czytelników, leczy tym razem z wykorzystaniem wspomnianej techniki DSP.

Mikrokrokowy sterownik silnika z układem DRV8424

Silnik krokowe są jednymi z powszechniej stosowanych elementów elektromechanicznych. Ich prosta konstrukcja i osiągane parametry niestety są okupione dosyć skomplikowanym układem sterowania, szczególnie gdy wymagana jest praca z dokładnym pozycjonowaniem położenia wirnika – tzw. mikrokrokiem. Projekt powstał z użyciem jednego z najnowszych opracowań TI – jest to układ DRV8424. Zawiera kompletny sterownik silnika krokowego z obsługą mikrokoku, aż do 1/256 oraz driver z dwoma mostkami H na tranzystorach MOSFET zdolnych do dostarczenia ciągłego prądu 2,5 A na każdy mostek (w szczycie 4 A), przy napięciu zasilania w zakresie 4,5...33 V.

Expander 40 I/O dla RPi

Zgodna mechanicznie z Raspberry Pi Zero nakładka z ekspanderem 40 cyfrowych wyprowadzeń GPIO będzie przydatna w rozbudowanych systemach monitorowania lub domowych systemach automatyki. Umożliwia monitorowanie stanów wejść lub sterowanie do 40 wyjść cyfrowych o poziomie 3,3 V. Każde z wyprowadzeń może pełnić dowolną funkcję wejścia lub wyjścia. Sterowanie odbywa się poprzez magistralę I^2C, a dzięki prostej adresacji możliwa jest realizacja systemu o 320 wyprowadzeniach GPIO. Wszystko dzięki zastosowaniu układu PCA9506BS od NXP.

Wyłącznik zasilania z opóźnieniem

Niektóre urządzenia wymagają wydłużenia czasu ich działania w porównaniu z resztą systemu. Może to być podświetlenie zewnętrzne, które działa jeszcze przez jakiś czas od wyłączenia stacyjki, czy wentylator chłodzący wnętrze rozgrzanej maszyny jeszcze przez pewien czas od jej wyłączenia. Odcięcie dopływu prądu powinno nastąpić wtedy automatycznie. To proste, ale pożyteczne zadanie realizuje zaprezentowany układ.

a ponadto tematy wiodące EP 6/2021:

- AI I ML – ZASTOSOWANIA, KORZYŚCI I ZAGROŻENIA
- OSCYLOSKOPY (I NIE TYLKO) USB

Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

AKSOTRONIK 122
ARMEL 122
ARROW 15, 62
BORNICO 12
COMPUTER CONTROLS 7
ELMAX 122
FAULHABER 13, 58
FERYSTER 9
GAMMA 9
GLYN 27, 60
IMPAKT 17
PIEKARZ 9
RENEX 9
UNISYSTEM 11, 84

eprasa.pl ad39d4d9f3

INTERESUJESZ SIĘ **ELEKTRONIKĄ** LUB **TECHNIKĄ?**

SIĘGNIJ PO DUŻĄ DAWKĘ SPECJALISTYCZNEJ WIEDZY

NA **WWW.ULUBIONYKIOSK.PL** - PRZESYŁKA GRATIS

eprasa.pl ad39d4d9f3