Wydanie elektroniczne dostępne na www.ulubionykiosk.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

EP.com.pl

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● kwiecień ● 4/2025 ●

Tylko Prenumeratorzy

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

inspirujące, użyteczne projekty

• DSP1701A_DSP_MK2 – zestaw z procesorem SigmaDSP ADAU1701 • Mikromoduł z procesorem ATmega32U4 Leo32U4

podzespoły, sprzęt, aplikacje

• Zobaczyć to, co niewidoczne. Nowoczesne kamery termowizyjne FOTRIC • Zaawansowane analizy sportowe dają przewagę nad konkurencją • Wyzwania związane z kompaktową spektroskopią UV w pomiarach jakości wody • Nowoczesna aparatura pomiarowa i systemy akwizycji danych w ofercie Egmont Instruments • Gdy inteligencja spotyka się z precyzją – najnowsze multimetry laboratoryjne GW Instek

tutoriale

• Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych. Detekcja pożaru z płytką Raspberry Pi Pico 2 w języku Python • Oszczędzanie energii w teorii i w praktyce • Wydajność prądowa wyjść mikrokontrolerów ATtiny i ATmega • Pułapki i zasadzki, czyli o trudach wyboru aparatury pomiarowej • Pomiary zespołów głośnikowych. Praktyczne wskazówki do metody MLS • Elementy nieprzydatne w technice audio • Stabilizatory wysokonapięciowe

kursy

• Pomiary charakterystyk częstotliwościowych. Filtry cyfrowe DSP typu IIR • Kurs FPGA Lattice. Zakończenie • Implementacja systemu Linux na platformie STM32MP. Połączenie aplikacji graficznych GUI z peryferiami płytki rozwojowej STM32MP1 • Kurs DSP Audio, czyli SigmaDSP dla każdego. Przegląd oferty

ISSN 1230-3526 Indeks 357677
9 771230 352252 04
18,90 zł (w tym 8% VAT) • PRICE: 8 EUR

APARATURA POMIAROWA

eprasa.pl aaccedu55

prenumerata

–20%
NA START
181,40 zł

–30%
po pierwszym roku prenumeraty
158,80 zł

–40%
po drugim roku prenumeraty
136,10 zł

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Zyskaj nieograniczony dostęp do zasobów dla pasjonatów elektroniki!

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

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

Zacznij korzystać z pełnych zasobów już dziś!

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

Pomiar ma znaczenie

Nie od dziś wiadomo, że „kto mierzy, ten wie" – a kto nie mierzy, ten… no cóż, może mieć nadzieję, że wszystko działa jak należy. W świecie elektroniki taki radosny optymizm to jednak trochę za mało. Niezależnie od tego, czy chodzi o hobbystę walczącego z własnym projektem DIY, inżynierem testującym nowy układ w firmowym laboratorium, czy wykładowcą szykującym kolejną demonstrację dla studentów – nie ma wątpliwości, że aparatura pomiarowa to nasza codzienność i najbliższe otoczenie.

A jakie trendy obecnie rządzą tym niebywale interesującym rynkiem? Co słychać w świecie oscyloskopów, multimetrów, zasilaczy i całej tej elektronicznej menażerii, bez której nie da się sensownie ruszyć z miejsca w żadnym projekcie?

Zacznijmy od króla całego laboratorium, czyli – oczywiście – oscyloskopu. Tu bez zaskoczeń: cyfrowe modele coraz częściej przypominają tablety – są sterowane dotykowo, oszczędne pod względem elektromechanicznego osprzętu. Producenci prześcigają się w „upychaniu" do środka nowych funkcji: dekoderów protokołów, analizy mocy, złożonych obliczeń matematycznych, czy nawet... obsługi skryptowych języków programowania. A wszystko to w obudowie smukłej, lekkiej, z ekranem dotykowym, który reaguje szybciej niż niejedna aplikacja mobilna.

Multimetry? Tu króluje precyzja, ale też – co ciekawe – dostępność. To, co kiedyś było zarezerwowane dla sprzętu za kilka tysięcy złotych, dziś trafia do rąk studentów i majsterkowiczów za ułamek tej ceny. Pomiar True RMS? Jest. Łączność Bluetooth? Też się zdarza. Automatyczna zmiana zakresów? A jakże. Rynek wyraźnie zmierza w stronę smart-multimetrów, to samo dotyczy zresztą nie tylko sprzętu przenośnego – GW Instek wprowadził w swoich najnowszych multimetrach funkcję automatycznego rozpoznawania mierzonego sygnału. Użytkownik nie musi ręcznie przełączać się np. pomiędzy pomiarem napięcia czy rezystancji – multimetr sam ustali, o co (najprawdopodobniej) chodzi operatorowi i dostosuje nie tylko zakres, ale także rodzaj pomiaru. Więcej na temat tego ciekawego urządzenia można znaleźć w artykule, który znalazł się w tym wydaniu EP.

Generatory sygnałowe także przeszły cichą, ale zdecydowaną ewolucję – z topornych skrzynek z pokrętłem w stronę zgrabnych urządzeń z ekranami LCD, zaawansowaną modulacją i źródłem częstotliwości odniesienia o stabilności rzędu 1 ppm. Dziś nikogo nie dziwi, że taki generator łączy się z komputerem, a programowanie go z poziomu skryptu w Pythonie to raczej codzienność, a nie ekstrawagancja. Mało tego – coraz więcej oscyloskopów (nawet tych kieszonkowych miniaturek za niewiele ponad 100 zł) ma wbudowany generator arbitralny, przez co w prostszych konfiguracjach pomiarowych nie trzeba nawet włączać osobnego generatora stacjonarnego – wszystko, co trzeba, mieści się (dosłownie) na dłoni.

W tle – a często na pierwszym planie – pojawiają się także zasilacze laboratoryjne. Oczywiście: regulowane, precyzyjne, wielokanałowe. Ale uwaga – tu też zachodzi zmiana pokoleniowa. Klasyczne pokrętła ustępują miejsca ekranom dotykowym, a interfejs LXI z obsługą komend SCPI czy nawet gniazda USB nie są już domeną wyłącznie high-endu. W praktyce oznacza to, że sterowanie zasilaczem przez komputer to nie fanaberia geeków, tylko standard inżynierski – często stanowiący jedyną sensowną metodę automatyzacji złożonych pomiarów.

A skoro mamy zasilanie, przyda się też… obciążenie elektroniczne, które zyskuje coraz więcej zastosowań. Modele z możliwością precyzyjnego modelowania zachowania odbiornika, szybkim przełączaniem stanów, a do tego chłodzeniem aktywnym – dziś są równie niezbędne, jak same źródła zasilania. I nie chodzi tu wyłącznie o testowanie powerbanków – świat zasilaczy impulsowych i konwerterów DC/DC aż prosi się o porządną weryfikację w boju, w warunkach powtarzalnych i ściśle kontrolowanych parametrów „Wielkiej Czwórki" (napięcia, prądu, rezystancji i mocy).

Na deser – analizatory widma i analizatory wektorowe. Jeszcze niedawno uchodziły za sprzęt z górnej półki dostępny tylko w laboratoriach firm telekomunikacyjnych. A dziś? Analizator wektorowy, bez problemu obsługujący całe pasmo Sub-1 GHz, a nawet „doskakujący" do progu 1,5 GHz, można mieć w kieszeni i to za śmiesznie małe pieniądze. Analizatory widma, podłączane do laptopa przez USB – choć nie zastąpią kilkudziesięciokilogramowego Rohde&Schwarz'a z laboratorium politechnicznego – pozwalają podejrzeć poziom i rozkład zakłóceń, przetestować antenę czy zbadać sygnał BLE, a „na upartego" nawet wykonać zgrubne badanie pre-compliance. A do tego dochodzą wszechobecne rozwiązania SDR (Software Defined Radio), które do świata pomiarów wnoszą nie tylko elastyczność, ale też zupełnie nowe podejście do zbierania i przetwarzania danych.

Czy to wszystko oznacza, że aparatura pomiarowa staje się „inteligentna"? Zdecydowanie tak. I coraz bardziej kompaktowa, przystępna, zintegrowana z cyfrowym workflow elektronika. Czasy, w których laboratorium przypominało scenografię z filmów SF, minęły – dziś wygląda ono raczej jak minimalistyczne biurko z laptopem, sondą i zasilaczem podpiętym do... chmury.

W kwietniowym numerze „Elektroniki Praktycznej" przyglądamy się tym trendom z bliska – tak się złożyło, że obok artykułów nt. klasycznej aparatury dla elektroników znalazł się także temat termowizji, która również okazuje się niezastąpiona w pracowni – chociażby podczas tropienia zwarć czy optymalizacji układów chłodzenia. Dużo dobrego dzieje się też w dziale audio – kontynuujemy cykl dotyczący pomiaru zespołów głośnikowych, przyglądamy się elementom „niesfornym", których w torach sygnałowych lepiej nie stosować, a także... zaczynamy nowy kurs audio DSP, bazujący na procesorach ADI. Te i wiele innych, ciekawych i inspirujących materiałów, znajdziecie na kolejnych stronach pierwszego w tym roku, w pełni wiosennego wydania EP.

Zapraszam do lektury!

Przemysław Musz

eprasa.pl aa6cced055

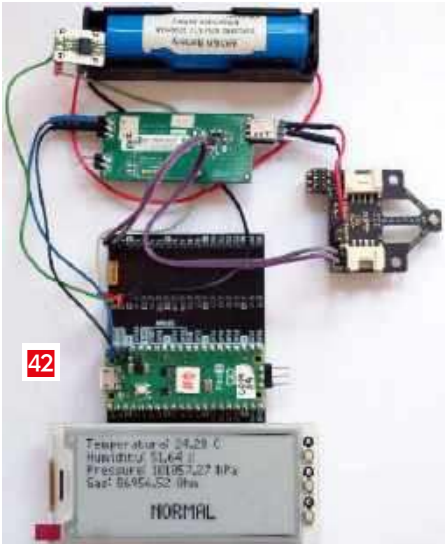
ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

Nr 4 (387) • Kwiecień 2025

12

17

42



Nie przeocz
Nowe podzespoły 5
Dodaj do obserwowanych 11
Koktajl niusów 84

Projekty
DSP1701A_DSP_MK2 – zestaw z procesorem SigmaDSP ADAU1701 12

Miniprojekty
Mikromoduł z procesorem ATmega32U4 Leo32U4 17

Prezentacje
Zobaczyć to, co niewidoczne. Nowoczesne kamery termowizyjne FOTRIC 19
Zaawansowane analizy sportowe dają przewagę nad konkurencją 28
Wyzwania związane z kompaktową spektroskopią UV w pomiarach jakości wody 31
Nowoczesna aparatura pomiarowa i systemy akwizycji danych w ofercie Egmont Instruments 44
Gdy inteligencja spotyka się z precyzją – najnowsze multimetry laboratoryjne GW Instek 54

Temat numeru: Termowizja w praktyce
Termowizja w praktyce 22

Notatnik konstruktora
Oszczędzanie energii w teorii i w praktyce (7) 34
Wydajność prądowa wyjść mikrokontrolerów ATtiny i ATmega 38
Stabilizatory wysokonapięciowe 40

Moduły w aplikacjach
Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (15). Detekcja pożaru z płytką Raspberry Pi Pico 2 w języku Python 42

Elektronika w praktyce
Pułapki i zasadzki, czyli o trudach wyboru aparatury pomiarowej 49

Audio bez tajemnic
Pomiary zespołów głośnikowych (2). Praktyczne wskazówki do metody MLS 56
Elementy nieprzydatne w technice audio 62

Kursy
Pomiary charakterystyk częstotliwościowych (5). Filtry cyfrowe DSP typu IIR 65
Kurs FPGA Lattice (30). Zakończenie 71
Implementacja systemu Linux na platformie STM32MP (5). Połączenie aplikacji graficznych GUI z peryferiami płytki rozwojowej STM32MP1 78
Kurs DSP Audio, czyli SigmaDSP dla każdego (1). Przegląd oferty 80

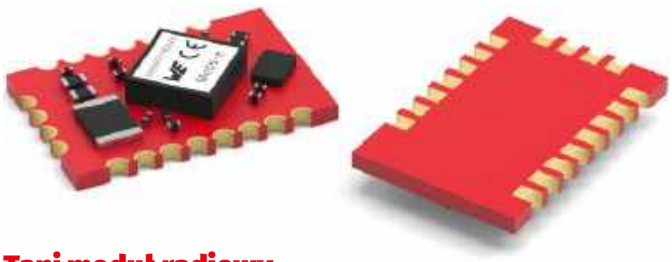
Prenumerata 2
Od wydawcy 3
Hity następnego numeru 87

Dodatkowe materiały do artykułów znajdziesz na https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl aa6cced055

nowe podzespoły

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



Tani moduł radiowy do systemów zdalnego odczytu danych z mierników w standardzie Wireless M-Bus

Würth Elektronik wprowadza na rynek tani moduł radiowy do bezprzewodowego przesyłania danych z mierników zużycia mediów, zgodny z normą M-Bus EN 13757-4. Może on być stosowany zarówno w roli nadajnika do licznika, jak i odbiornika do bramki lub kolektora danych.

Metis-e został oparty na chipsecie SoC CC1310 firmy Texas Instruments i pracuje w paśmie 868 MHz, oferując zasięg transmisji do 1500 m. Jest zamykany w obudowie o wymiarach 12×8×2 mm, ponaddwukrotnie mniejszej (pod względem zajmowanej powierzchni) od podobnych modułów z oferty innych producentów. Ze względu na mały pobór prądu, wynoszący 1,6 µA w trybie standby i 200 nA w trybie shutdown, nadaje się idealnie do zastosowań w urządzeniach bateryjnych. Obsługuje tryby wM-Bus S, T i C, co pozwala na dostosowanie go do wymogów różnych aplikacji.

Wireless M-Bus (wM-BUS) to standard komunikacji bezprzewodowej do bezpiecznej wymiany danych między licznikami i rejestratorami danych SMGW (smart meter gateway), opisany w standardzie EN 13757. Umożliwia monitorowanie zużycia zasobów, optymalizację dostaw oraz budowę zaawansowanej infrastruktury pomiarowej w pasmach radiowych 169 MHz, 434 MHz lub 868 MHz. Standard ten zapewnia duży zasięg komunikacji i odporność na zakłócenia w trudnych warunkach środowiskowych. Znajduje zastosowanie m.in. w licznikach wody, gazu, energii elektrycznej i ciepła.

www.we-online.com

Antena LDS na pasmo 6,0...8,5 GHz w obudowie o wymiarach 6,40×6,40×5,58 mm

Kyocera AVX prezentuje nową, ultraszerokopasmową antenę dookólną 9002305L0-L01K do komunikacji na krótkich dystansach w paśmie 6,0...8,5 GHz. Została ona wyprodukowana w technologii LDS (laser direct structuring), umożliwiającej tworzenie precyzyjnych struktur przestrzennych. Może być montowana w dowolnym miejscu płytki drukowanej, również na jej środku oraz nad elementami metalowymi. Po zamontowaniu na płytce o powierzchni 40×40 mm wykazuje maksymalne opóźnienie grupowe 2 ns, zysk 4,3 dBi i średnią sprawność 61%. Może pracować z mocą ciągłą równą 2 W.

Antena 9002305L0-L01K charakteryzuje się bardzo dobrą stabilnością fazy i stałym opóźnieniem grupowym, co jest istotne w aplikacjach AoA (angle of arrival) i ToF (time of flight). Jej zakres zastosowań obejmuje m.in. aplikacje smart city, akcesoria medyczne i fitness, telematykę, IoT, handel detaliczny oraz systemy śledzenia zasobów.

www.kyocera-avx.com

REKLAMA

HAMMOND®

Obudowy z wytłaczanym kołnierzem 1455F

Dowiedz się więcej:
hammondmfg.com/1455f

eusales@hammfg.com • + 44 1256 812812

eprasa.pl aa6cced055

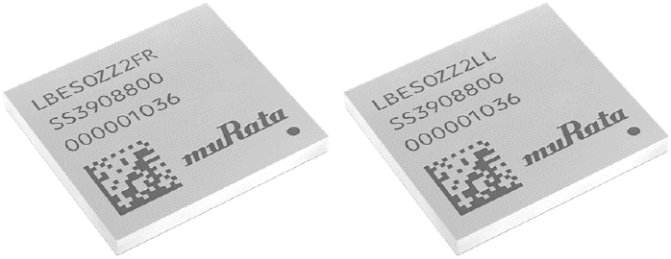
Nowe serie potencjometrów obrotowych w wersjach 1-, 2- i 4-sekcyjnych

Oddział Motion & Control firmy Same Sky wprowadza na rynek serię potencjometrów obrotowych PTN09X/PTN09SX, dostępnych w wersjach o jednej, dwóch i czterech sekcjach. Są one produkowane w obudowach o powierzchni 9,5×9,5 mm z osią o długości 15, 20 lub 25 mm z zakończeniem typu D, radełkowanym (knurled shaft) lub z wycięciem (slotted shaft).

Potencjometry PTN09X/PTN09SX występują w wersjach o rezystancji od 1 kΩ do 1 MΩ z charakterystyką liniową, logarytmiczną i wykładniczą. Charakteryzują się żywotnością 10 tys. cykli i szerokim zakresem temperatury roboczej od –10 do +75°C. Modele PTN09SX zawierają przełącznik on/off i 41 zapadek, natomiast w przypadku PTN09X dostępna jest jedna zapadka centralna.

Ceny hurtowe potencjometrów PTN09X/PTN09SX zaczynają się od 0,82 USD przy zamówieniach 500 sztuk.

www.sameskydevices.com



Tanie moduły komunikacyjne tri-radio z obsługą standardów Wi-Fi 6, Bluetooth 5.4 i Thread

Murata poszerza ofertę modułów do komunikacji bezprzewodowej, wprowadzając na rynek nowe modele 2FR/2FP i 2KL/2LL z obsługą standardów Wi-Fi 6, Bluetooth 5.4 i Thread. Są to moduły tanie i miniaturowe, mogące znaleźć zastosowanie w aplikacjach m.in. smart home i IIoT oraz aparaturze medycznej.

2FR/2FP to w pełni certyfikowany, najmniejszy na rynku moduł tri-radio z obsługą Thread, zamykany w obudowie o wymiarach 12,0×11,0×1,5 mm i sterowany mikroprocesorem ARM Cortex-M33 260 MHz. Może pracować w trybie autonomicznym, obsługując wszystkie stosy sieciowe i aplikacje użytkownika lub komunikować się z zewnętrznym hostem. Obsługuje najnowsze standardy cyberbezpieczeństwa (SESIP3 i PSA3), co eliminuje konieczność stosowania oddzielnego układu zabezpieczającego i jest przeznaczony do aplikacji wymagających kompletnego systemu embedded, zrealizowanego na pojedynczym module.

Murata zaprezentowała również tanie moduły komunikacyjne 2KL/2LL, zaprojektowane z myślą o systemach wyposażonych w mikroprocesory obsługujące Linux i systemy operacyjne czasu rzeczywistego (RTOS). Nie zawierają one własnego mikroprocesora. Zostały oparte na układzie IW610 produkcji NXP, obsługującym stosy sieciowe oraz oferującym kluczowe funkcje bezpieczeństwa.

Pierwsze wersje próbne modułów z nowej oferty mają być dostępne na początku 2025 roku w ofercie największych dystrybutorów, m.in. Future, Arrow, Avnet, Digi-Key i Mouser.

www.murata.com

Pierwszy na rynku kondensator MLCC X7T o pojemności 10 µF w rozmiarze 0603

Samsung Electro-Mechanics wprowadza do oferty pierwszy na rynku kondensator MLCC w rozmiarze 0603 (1,6×0,8 mm) o pojemności 10 µF. Jest to kondensator z dielektrykiem X7T, mogący znaleźć zastosowanie m.in. w samochodowych sterownikach ECU

o dużej gęstości upakowania podzespołów, wymagających komponentów odpornych na ekstremalne temperatury pracy.

CL10Z106MP96PN# charakteryzuje się identyczną pojemnością i napięciem znamionowym (10 V), co wcześniejszy odpowiednik, dostępny w większej obudowie typu 0805 (2,0×1,25 mm). Jest przystosowany do pracy w temperaturze otoczenia od –55 do +125°C.

www.samsungsem.com

Miniaturowe oscylatory TCXO do odbiorników nawigacyjnych

Firma Jauch dodaje do oferty miniaturowych oscylatorów TCXO dwa nowe modele oznaczone symbolami JT21GL i JT11GL, zamykane w obudowach SMD o wymiarach (odpowiednio) 2,0×1,6 mm i 1,6×1,2 mm. Zostały one zaprojektowane specjalnie do zastosowań w odbiornikach nawigacyjnych korzystających z satelitów GPS, GLONASS i Galileo. Generują sygnały o typowych częstotliwościach 26,0 MHz, 38,40 MHz i 52,0 MHz.

JT21GL i JT11GL występują w wersjach o dwóch zakresach temperatury roboczej –30...+85°C i –40...+85°C. Ze względu na niskie napięcie zasilania w zakresie od 1,2 do 1,8 V są polecane do zastosowań w urządzeniach bateryjnych. Pobierają od 2,0 do 2,5 mA w zależności od częstotliwości wyjściowej. Ich stabilność wynosi ±0,5 ppm w szerokim zakresie temperatury roboczej od –40 do +85°C, a poziom szumów fazowych to –137 dBc/Hz @ 1 kHz.

www.jauch.com

Chipowe iskierniki gazowe SMD w obudowie 1206

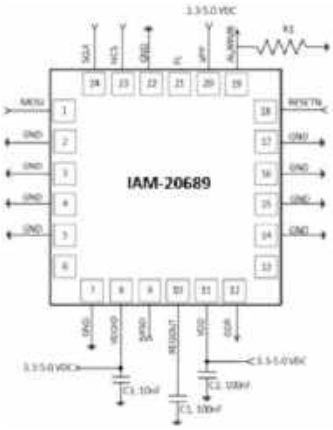
Do oferty firmy Bourns wchodzi seria miniaturowych iskierników gazowych GDT21, produkowanych w 2-elektrodowych obudowach w rozmiarze 1206. Zaprojektowane do aplikacji o dużym stopniu upakowania podzespołów, zapewniają one ochronę obwodów elektronicznych przed przepięciami wywoływanymi przez wyładowania czy też przełączanie elementów indukcyjnych. Mogą bezpiecznie rozpraszać impulsy prądowe o natężeniu nawet do 500 A, nie ulegając uszkodzeniu.

W ramach serii GDT21 produkowanych jest 6 typów iskierników o napięciach znamionowych od 150 do 600 V, zdatnych do pracy w zakresie temperatury otoczenia od –40 do +105°C.

eprasa.pl aa6cced055

Wykazują one małą pojemność wewnętrzną (<0,3 pF @ 1 MHz) i małe straty wtrącone, a także krótki czas odpowiedzi i dużą niezawodność. Przykładem zastosowań mogą być m.in. obwody antenowe, sprzęt telekomunikacyjny, zasilacze impulsowe i dekodery.

www.bourns.com



6-osiowe czujniki inercyjne do systemów wspomagania kierowcy

Do oferty firmy TDK InvenSense wchodzą dwa nowe czujniki inercyjne, zrealizowane w technologii MEMS, przeznaczone do zastosowań w motoryzacji: IAM-20685HP i IAM-20689. Są to układy z kwalifikacją AEC-Q100 Grade 1, mogące pracować w szerokim zakresie temperatury otoczenia od –40 do +125°C. Generują informacje o dynamice pojazdu, używane przez algorytmy do podejmowania decyzji w czasie rzeczywistym – m.in. w systemach wizyjnych i automatycznego parkowania, reflektorach adaptacyjnych i układach zawieszenia aktywnego.

IAM-20685HP i IAM-20689 różnią się klasyfikacją poziomu bezpieczeństwa funkcjonalnego (odpowiednio ASIL B i ASIL D), natomiast są identyczne pod względem funkcjonalności, rozkładu wyprowadzeń, mapy wewnętrznych rejestrów i zestawu wbudowanych mechanizmów bezpieczeństwa, monitorujących wyniki pomiarów w czasie rzeczywistym. Każdy układ 3-osiowy żyroskop, 3-osiowy akcelerometr i dwa czujniki temperatury, zaś całość jest zamknięta w miniaturowej obudowie QFN o wymiarach 4,5×4,5×1,1 mm. Dane ze wszystkich wewnętrznych czujników są przetwarzane przez zintegrowany przetwornik A/C z 16-bitową rozdzielczością. Komunikacja z zewnętrznym mikroprocesorem odbywa się za pośrednictwem interfejsu SPI. Zestaw 30 wbudowanych obwodów diagnostycznych, uruchamianych przy starcie, za pomocą komendy lub aktywowanych na stałe, eliminuje konieczność korzystania z zewnętrznego oprogramowania do zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa funkcjonalnego.

IAM-20685HP i IAM-20689 pracują z napięciem zasilania od 3,0 do 5,5 V, pobierając mniej niż 10 mA prądu we wszystkich trybach pracy. Umożliwiają programowanie zakresu pełnej skali żyroskopu od ±41 dps do ±1966 dps oraz zakresu pełnej skali akcelerometru od ±2 g do ±65 g. Ich struktura jest odporna na przeciążenia do 10 tys. g.

https://invensense.tdk.com

Chipset USB PD EPR z kontrolerem portu typu C i ładowarką akumulatorów Buck-Boost

Renesas Electronics wprowadza na rynek chipset USB PD EPR, obejmujący układ ładowania akumulatorów i kontroler portu USB Type-C.

RAA489118 to kontroler ładowarki obsługujący od 2 do 7 ogniw połączonych szeregowo, mogący też pracować w trybie regulatora

REKLAMA

HAMAMATSU
PHOTON IS OUR BUSINESS

Revolutionize environmental measurements with ultra-compact UV-mini-spectrometer

ultra-compact
UV-mini-spectrometer
C16767MA

- High UV light sensitivity (190-440 nm)
- Unique MEMS technology
- Simultaneous measurement of multiple wavelengths
- Ideal for compact water quality monitors

C16767MA.hamamatsu.de

eprasa.pl aa6cced055

napięcia (z napięciem wejściowym i wyjściowym do 30 V). Został zrealizowany w opatentowanej przez Renesas technologii R3 (Robust Ripple Regulator), łączącej najlepsze cechy trybów o stałej częstotliwości pracy i PWM, w tym brak szumów akustycznych, krótki czas odpowiedzi i dużą sprawność energetyczną w zakresie małych obciążeń, pozwalającą wydłużyć żywotność akumulatora. Zawiera interfejs SMBus. Zakresy napięć wejściowego i wyjściowego są kompatybilne z przenośnymi źródłami energii, ładowanymi za pomocą ogniw solarnych. RAA489118 obsługuje też tryby reverse buck, reverse boost i reverse buck-boost, umożliwiając ładowanie urządzenia wejściowego z akumulatorów.

RAA489400 to kontroler portu USB, zgodny ze specyfikacjami USB Type-C Rev. 2.1 i USB Power Delivery (USB PD) Rev. 3.1. Może być łączony z wieloma układami ładowania RAA489400, zapewniając obsługę wszystkich funkcji USB PD, takich jak negocjowanie mocy czy obsługa trybu alternatywnego na wielu portach. Maksymalne napięcie 60 V na liniach VBUS i CC1/CC2 umożliwia pracę w rozszerzonym trybie EPR do 240 W/48 V. RAA489400 zawiera zabezpieczenia nadprądowe, nadnapięciowe, podnapięciowe i przed odwróceniem polaryzacji.

www.renesas.com

Energooszczędny odbiornik GNSS o wymiarach 2,4×2,4×0,55 mm

UBX-M10150-CC to najnowszy odbiornik GNSS firmy u-blox, wyróżniający się małymi wymiarami i znikomym poborem mocy. Jest zamykany w obudowie o wymiarach jedynie 2,4×2,4×0,55 mm, co pozwala na jego integrowanie m.in. w smartwatchach i innych miniaturowych urządzeniach bateryjnych, przenoszonych na ciele użytkownika.

UBX-M10150-CC został oparty na technologii LEAP (Low Energy Accurate Positioning), pozwalającej zmniejszyć pobór mocy do zaledwie 10 mW. Jest to o połowę mniej niż w przypadku poprzednich układów rodziny M10. Ponadto układ korzysta z algorytmów multipath mitigation, pozwalających ograniczyć błędy powodowane przez zjawisko propagacji wielodrogowej – m.in. w wysokiej zabudowie miejskiej. Oferuje specjalne tryby: biegania, jazdy rowerowej i pływania na otwartych wodach, pozwalające na monitorowanie aktywności użytkownika.

UBX-M10150-CC umożliwia aktualizowanie oprogramowania firmware, co pozwala na jego rozbudowę w przyszłości o nowe funkcje. Sterownik do systemu Android oraz wsparcie standardu SUPL ułatwiają integrowanie układu w docelowym systemie. Produkt obsługuje konstelacje satelitów GPS, Galileo i BeiDou. Zawiera interfejsy UART, SPI i DDC (kompatybilny z I²C). Oferuje dokładność pozycjonowania poziomego do 1,5 m CEP. Jest przystosowany do pracy w temperaturze otoczenia od –20 do +65°C.

www.u-blox.com

Kondensatory elektrolityczne o gwarantowanej żywotności 5000 godzin w temperaturze +125°C

Wysokotemperaturowe kondensatory elektrolityczne serii LHX firmy Nichicon wyróżniają się długą gwarantowaną żywotnością, wynoszącą 5000 godzin w temperaturze otoczenia +125°C. Jest ona prawie dwukrotnie większa od żywotności kondensatorów z wcześniejszej serii LHT przy tym samym napięciu znamionowym, pojemności, wymiarach i prądzie tętnienia.

Kondensatory LHX są polecane do zastosowań w układach zasilania telekomunikacyjnych stacji bazowych, gdzie komponenty są narażone na ekstremalne warunki pracy w hermetycznym zamknięciu i wysokiej temperaturze, a jednocześnie wymaga się od nich dużej niezawodności ze względu na koszty potencjalnego serwisu infrastruktury. Seria LHX obejmuje wersje o pojemności od 220 do 680 µF i napięciu znamionowym 450 V. Są one zamykane w cylindrycznych obudowach o wymiarach od ∅ 30×30 mm do ∅ 35×60 mm z terminalami snap-in. Mogą pracować w zakresie temperatury otoczenia od –40 do +125°C.

www.nichicon.co.jp

Moduł komunikacyjny STM32-ready z obsługą standardów Wi-Fi 6, Bluetooth 5.3 i Thread

STMicroelectronics wprowadza na rynek pierwszy moduł komunikacyjny IoT STM32-ready, zrealizowany przy współpracy z firmą Qualcomm Technologies. Został on oparty na wieloprotokołowym układzie SoC QCC743 z obsługą standardów Wi-Fi 6, Bluetooth 5.3 i Thread. Może być łatwo integrowany z mikroprocesorami i mikrokontrolerami rodziny STM32 oraz zapewnia kompatybilność z narzędziami projektowymi STM32Cube.

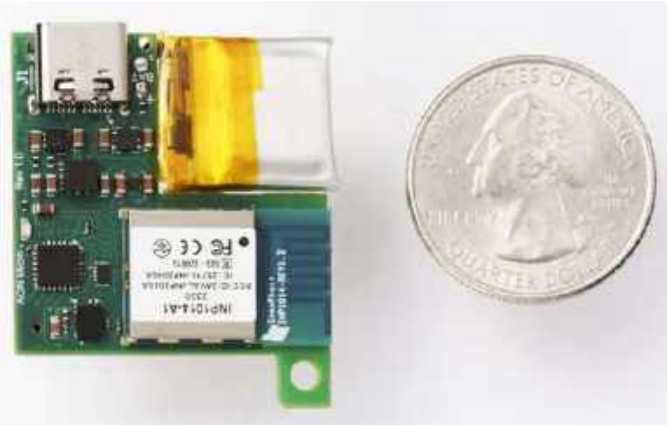
ST67W611M1 zawiera wewnętrzny rezonator kwarcowy 40 MHz oraz 4 MB pamięci Flash do przechowywania kodu i danych, z możliwością bezprzewodowego aktualizowania zawartości (OTA). Wbudowany sprzętowy akcelerator kryptograficzny oraz mechanizmy secure boot i secure debug pozwoliły zapewnić zgodność ze specyfikacją PSA Certified Level 1 w zakresie cyberbezpieczeństwa.

ST67W611M1 to moduł łatwy w implementacji, niewymagający od użytkownika znajomości zagadnień związanych z projektowaniem sekcji radiowej. Charakteryzuje się maksymalną mocą nadajnika równą +20 dBm i maksymalną szybkością transmisji połączenia Bluetooth LE równą 2 Mbps. Jest produkowany w 32-wyprowadzeniowej obudowie LGA, łatwej do integracji na dwuwarstwowych

eprasa.pl aa6cced055

płytkach drukowanych. Dostępne są wersje z wbudowaną anteną (ozn. ST67W611M1A6B) oraz ze złączem micro RF (uFL) do podłączenia anteny zewnętrznej.

www.st.com



Moduł czujnikowy do inteligentnych urządzeń bateryjnych AIoT

AONDevices we współpracy z firmą P-Logic Consulting wprowadza na rynek moduł czujnikowy AONix Edge AI do inteligentnych urządzeń bateryjnych Edge AIoT, pozwalający rozwiązać problemy związane z wdrażaniem sztucznej inteligencji w aplikacjach edge, takie jak duży pobór mocy, skomplikowana integracja w systemie i ograniczone możliwości konfiguracji.

AONix Edge AI to moduł o powierzchni 32×32 mm, pracujący pod kontrolą energooszczędnego mikroprocesora rodziny AON11xx. Zawiera zestaw czujników MEMS produkcji TDK, w tym cyfrowy mikrofon i jednostkę IMU, zapewniające precyzyjne wykrywanie dźwięku i ruchu, a także czujniki parametrów środowiskowych, optyczny sensor do monitorowania tętna, sterownik wyświetlacza LCD i głośnik. Zintegrowane przetwarzanie danych pochodzących z wielu czujników (sensor fusion) pozwala na uzyskiwanie kontekstowych informacji i podejmowanie decyzji przy zachowaniu małego poboru mocy.

AONix Edge AI obsługuje standardy komunikacji bezprzewodowej Wi-Fi, BLE i Matter. Zawiera wbudowane obwody zarządzania akumulatorem, zapewniające ochronę przed przeładowaniem, nadmiernym rozładowaniem i przegrzaniem, pozwalające wydłużyć jego żywotność. Zakres zastosowań modułu obejmuje takie sektory jak medycyna (wykrywanie upadku, głosowa aktywacja alarmów ratunkowych), systemy inteligentnego domu (detekcja akustyczna zdarzeń, monitorowanie parametrów środowiskowych) oraz IIoT (predykcyjne utrzymanie ruchu, zdalne monitorowanie stanu maszyn).

www.aondevices.com

Radar MMIC do samochodowych systemów obrazowania 4D nowej generacji

Wykrywanie pieszych w gęstym środowisku miejskim jest obecnie problemem, którego pokonanie może pozwolić na opracowanie kolejnego poziomu systemów autonomicznego kierowania. Aby sprostać wymogom systemów autonomicznej jazdy L2+ do L4, zdefiniowanej przez SAE, kluczowe jest opracowanie nowej generacji radarów do obrazowania terenu. Firma Infineon wprowadza obecnie na rynek pierwsze wersje próbne nowoczesnego radaru RASIC CTRX8191F, zrealizowanego w technologii MMIC 28 nm. CTRX8191F oferuje jeszcze wyższy stosunek sygnału do szumu niż moduły obrazowania wcześniejszej generacji. Może współpracować z tanimi antenami falowodowymi. Zawiera zestaw 8 zintegrowanych nadajników i 8 odbiorników, umożliwiających wykrywanie przeszkód w odległości do 380 m przed pojazdem, a cyfrowa pętla PLL zapewnia dużą elastyczność w zakresie generowaniu złożonych

przebiegów, przy czasie powrotu do stanu początkowego krótszym od 1 µs.

Infineon oferuje też rozbudowany zestaw Carkit, oparty na module CTRX8191F i ułatwiający projektowanie oraz wdrażanie systemów radarowych. Obsługuje on różne konfiguracje systemu, w tym transmisję danych z przetwornika A/C, danych pośrednich FFT lub danych radarowych za pośrednictwem interfejsu Gigabit Ethernet. Dołączony kod przykładowy i graficzny interfejs użytkownika skracają czas projektowania, umożliwiając projektantom szybkie implementowanie różnych koncepcji systemów radarowych. W zestawie znajduje się również antena falowodowa, którą można wymienić na antenę niestandardową, w zależności od wymogów klienta. Carkit występuje w kilku wersjach, w tym w konfiguracji radaru przedniego 4D z 8 nadajnikami i 8 odbiornikami oraz w taniej konfiguracji radaru narożnego/przedniego z 4 nadajnikami i 4 odbiornikami.

www.infineon.com

Monolityczny radar UWB na pasmo 6...8,5 GHz do domowych i przemysłowych aplikacji IoT

Trimension SR250 to pierwszy radar krótkiego zasięgu UWB na pasmo 6...8,5 GHz z własnym układem przetwarzania sygnału,

REKLAMA

eprasa.pl aa6cced055

ułatwiający projektowanie urządzeń z funkcjami wykrywania obecności, ruchu i lokalizacji. W połączeniu z mikroprocesorami z serii i.MX, RW61x lub MCX umożliwia przetwarzanie danych z wykorzystaniem algorytmów AI/ML, natomiast w aplikacjach o podwyższonych standardach bezpieczeństwa może współpracować z układem zabezpieczającym EdgeLock SE051W. Zgodność ze specyfikacjami FiRa Consortium 3.0 zapewnia interoperacyjność z innymi układami do systemów lokalizacji oraz skraca czas certyfikacji produktów końcowych.

SR250 obsługuje techniki lokalizacyjne AoA (Angle of Arrival), TDOA (Time Difference of Arrival) i ToF (Time of Flight), zapewniając dokładność pomiaru rzędu ±5 cm. Pozwala to na realizację funkcji automatycznego włączania/wyłączania urządzeń po wykryciu obecności/nieobecności użytkownika, zdalnego dostępu do pomieszczeń, a nawet nieinwazyjnego monitorowania bezpieczeństwa osób starszych, bez potrzeby używania kamer. Układ może śledzić przemieszczanie się pracowników i towarów w warunkach przemysłowych, jednocześnie realizując funkcje bezpieczeństwa, takie jak unikanie kolizji i wykrywanie stref niebezpiecznych. Zakres częstotliwości pracy od 6 do 8,5 GHz zapewnia bardzo dobrą penetrację przeszkód w porównaniu z większymi częstotliwościami, a duża odporność na interferencje pomaga zapewnić stabilną pracę.

Jedną z cech wyróżniających Trimension SR250 jest jego zdolność do autonomicznego przetwarzania sygnałów radarowych bez konieczności angażowania mikroprocesora nadrzędnego, co znacznie zmniejsza pobór mocy. W praktyce host może pozostawać w trybie uśpienia, podczas gdy SR250 zajmuje się wykrywaniem osób lub obiektów. Jest to niezbędne w aplikacjach smart home i przemysłowych, w których systemy mogą reagować na zmiany w otoczeniu, bez ciągłej ingerencji człowieka. Na przykład system HVAC lub robot może się automatycznie aktywować lub dezaktywować po wejściu lub wyjściu osoby do/z określonego obszaru.

Firma NXP zapewnia wsparcie techniczne do SR250, obejmujące aktualizacje oprogramowania układowego, środowisko middleware z możliwością programowania w języku C oraz zestaw przykładowych aplikacji.

www.nxp.com

REKLAMA

Pobierz bezpłatnie multimedialne dodatki do tego wydania „Elektroniki Praktycznej”

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

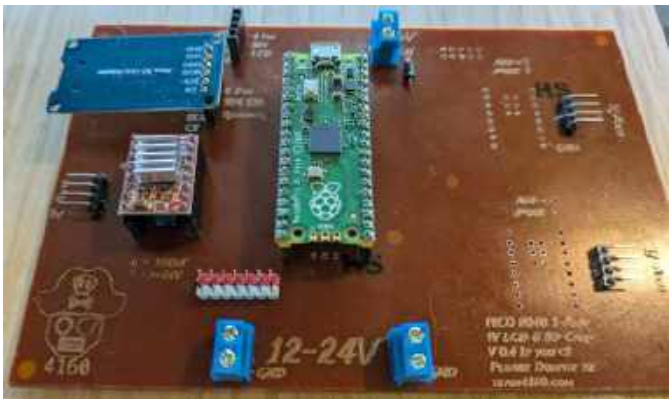
* Kupiłeś magazyn w Ulubionym Kiosku lub masz prenumeratę? Multimedialne dodatki będą odblokowane automatycznie!

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

Szczegóły na UlubionyKiosk.pl/media

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.



WallBuc – robot do rysowania po ścianach

WallBuC, czyli Wall-Based Unibrow Cartridge, to projekt robota rysującego na ścianach, który ma na celu tworzenie dużych rysunków bez konieczności ręcznego malowania. Konstrukcja opiera się na module rysującym, który przesuwa się wzdłuż powierzchni pionowej przy użyciu systemu sterowanego przez mikrokontroler. Projekt ten bazuje na specjalnym mechanizmie z dwoma linami, pozwalającym na precyzyjne przemieszczanie urządzenia i nanoszenie obrazu na ścianę. Aby osiągnąć równomierny ruch, WallBuC jest wyposażony w silniki krokowe i enkodery, które zapewniają stabilność oraz precyzję ruchu.

Oprogramowanie sterujące urządzeniem integruje zaawansowane algorytmy sterowania i komunikację bezprzewodową, co umożliwia użytkownikom zdalne projektowanie wzorów i śledzenie postępów pracy robota. WallBuC potrafi interpretować pliki graficzne i przekształcać je w polecenia dla kontrolerów silników, co sprawia, że możliwe jest tworzenie dowolnych wzorów, napisów czy ilustracji. Interfejs użytkownika pozwala także na łatwe kalibrowanie urządzenia oraz dostosowanie parametrów rysowania, takich jak grubość linii czy tempo pracy.

Koncepcja WallBuC zakłada minimalizację potrzeby interwencji użytkownika. Robot, wyposażony w marker lub inne narzędzie rysujące, samodzielnie przeprowadza proces tworzenia wzoru od początku do końca, co eliminuje potrzebę manualnej pracy. Dzięki temu projekt jest interesującym rozwiązaniem dla artystów, designerów, a także użytkowników indywidualnych, którzy chcą ozdobić swoje wnętrza w unikalny sposób.

https://hackaday.io/project/196648-wallbuc-wall-drawing-robot

Świeczki sterowane modułem ESP32

Digital Wi-Fi Candoliers to projekt cyfrowych świeczek, które dzięki połączeniu z Wi-Fi pozwalają na wygodne sterowanie i synchronizację oświetlenia. Każda świeczka wyposażona jest w diody LED. Moduły te zaprojektowano tak, aby naśladować wygląd i zachowanie tradycyjnych świec, jednocześnie wprowadzając elementy nowoczesnej technologii. Głównym celem tego projektu jest stworzenie atmosfery klasycznych świeczników z możliwością

zdalnego sterowania za pomocą aplikacji mobilnej lub komputera. Dzięki temu użytkownik może dostosować intensywność światła, jego kolor oraz tryby świecenia, co daje niemal nieograniczone możliwości aranżacyjne.

Mózgiem świecznika jest moduł Wi-Fi typu ESP8266. Dzięki temu świeczniki mogą być kontrolowane indywidualnie lub jako grupa, co pozwala na stworzenie dynamicznych efektów świetlnych dostosowanych do potrzeb i nastroju. Projekt zakłada także możliwość synchronizacji świeczników z muzyką lub innymi urządzeniami inteligentnego domu, co umożliwia płynne dostosowanie oświetlenia do otoczenia. Użytkownik może również programować różne scenariusze oświetleniowe, dzięki czemu świeczniki mogą automatycznie zmieniać swoje ustawienia, np. w zależności od pory dnia.

Opisywane urządzenie zostało zaprojektowane jako elegancka alternatywa dla tradycyjnych świec, bez ryzyka związanego z otwartym płomieniem, konieczności wymieniania woskowych wkładów na nowe, etc. Projekt ten jest nie tylko nowoczesnym rozwiązaniem do dekoracji, ale także bezpieczną opcją dla miejsc, gdzie standardowe świeczki byłyby niewskazane. Dzięki prostocie montażu i modułowości świeczniki mogą być łatwo rozbudowane o nowe funkcje, co czyni ten projekt wyjątkowym w zakresie personalizacji i komfortu użytkowania.

https://hackaday.io/project/177279-digital-wi-fi-candoliers

eprasa.pl aa6cced055

AVT sklep

W ofercie AVT*

AVT6075

Najważniejsze parametry:
- Zasilanie: 5 V/500 mA (min.)
- Częstotliwość próbkowania: 44,1 kHz/48 kHz/88,2 kHz/96 kHz (zależnie od zastosowanego rezonatora kwarcowego)
- Wejścia analogowe: liniowe stereo (jack 3,5 mm + SIP)
- Wyjścia analogowe: 2× liniowe stereo 0,9 Vrms (Jack 3,5 mm + SIP)
- Gniazda do podłączenia zewnętrznych modułów I²S i I²C
- Wbudowane dioda LED (wskaźnik zasilania + 2× dioda sterowana z GPIO procesora)
- Dwa przyciski monostabilne oraz podwójny przełącznik DIP do obsługi przez procesor

Projekty pokrewne na stronie www.ep.com.pl
(aktywne linki do artykułów):
- Przedwzmacniacz mikrofonowy z procesorem DSP typu ADAU1772
- Moduł DSP Audio do Raspberry Pi
- STK_ADAU1442 – Mega DSP
- ADAU1466SOM – miniaturowy moduł DSP
- Pico DSP – zestaw ewaluacyjny i moduł z procesorem audio DSP
- Cyfrowy stereofoniczny mikrofon z procesorem DSP
- MegaDSP+. Zestaw do nauki DSP

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

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

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

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

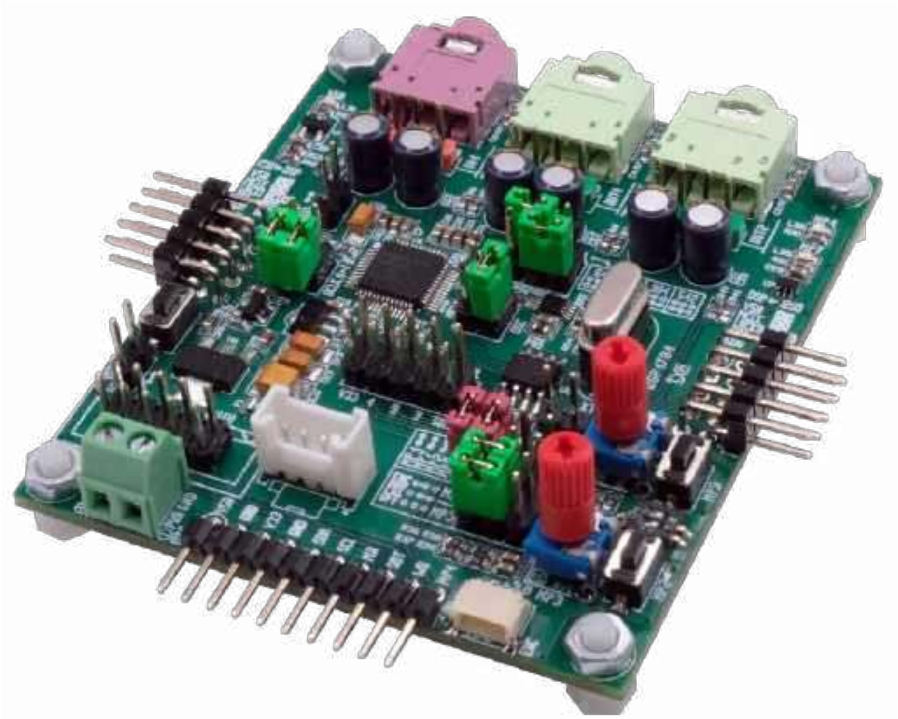
DSP1701A_DSP_MK2 – zestaw z procesorem SigmaDSP ADAU1701

W tym artykule przybliżymy platformę sprzętową, która pozwoli na praktyczne poznanie procesora ADAU1701A firmy Analog Devices, zapoznamy się też z możliwościami sprzętowymi zestawu DSP1701A_DSP_MK2, umożliwiającego opanowanie zasad konfiguracji oraz praktyczne użycie DSP za pomocą środowiska Sigma Studio (v4.7).

DSP1701A_DSP_MK2 jest przystępną cenowo platformą sprzętową dla procesora sygnałowego Analog Devices ADAU1701A, należącego do rodziny SigmaDSP. Zestaw wraz z programatorem USBi (EVAL-ADUSB2EBZ) i darmowym środowiskiem SigmaStudio umożliwia obróbkę sygnału audio zarówno ze źródeł analogowych, jak i cyfrowych (SPDIF/I²S). Modułowa budowa zestawu DSP1701A_DSP_MK2 umożliwia elastyczne dopasowanie zasobów sprzętowych do wymogów aplikacji, ułatwiając szybką rozbudowę funkcjonalną przy zastosowaniu modułów z przetwornikami AD/DA, odbiornikami/nadajnikami SPDIF, wielokanałowymi cyfrowymi końcówkami mocy oraz innymi modułami – opracowanymi według własnego pomysłu lub gotowymi z oferty AVT, Digilent itp. Jednocześnie szczególny nacisk położono na możliwość pracy samodzielnej przy zastosowaniu wbudowanych przetworników AD/DA zawartych w strukturze ADAU1701A i elementów manipulacyjnych zainstalowanych na płytce.

Wygląd płyty głównej zestawu zaprezentowano na **fotografii 1**.

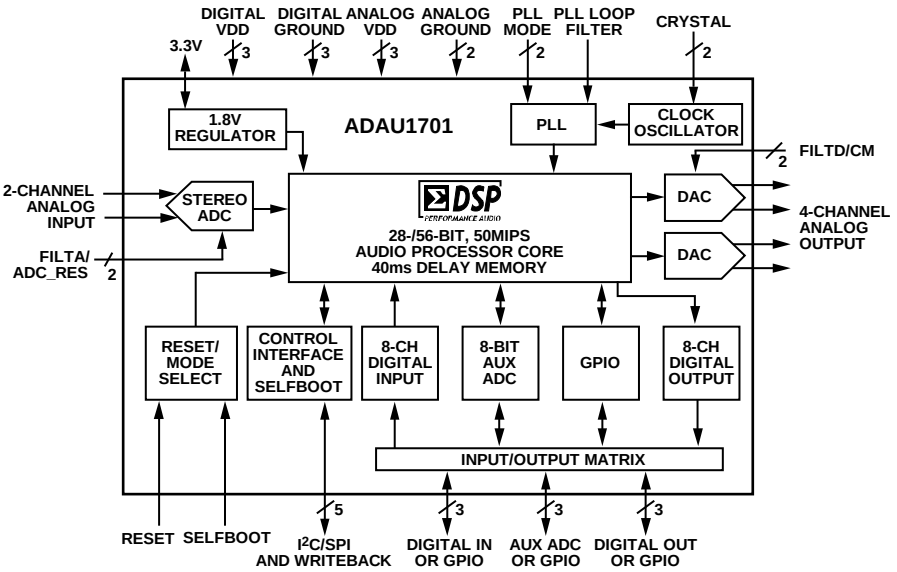
Do rozpoczęcia pracy z DSP1701A_DSP_MK2 konieczny jest jeszcze programator



Fotografia 1. Wygląd płyty głównej zestawu DSP1701A_DSP_MK2

Fotografia 2. Programator USBi EVAL-ADUSB2EBZ

eprasa.pl aa6cced055



Rysunek 1. Schemat blokowy ADAU1701A (za notą Analog Devices)

USBi, którego wygląd pokazano na **fotografii 2**. Umożliwia on pełną konfigurację sprzętową ADAU1701A, symulację w czasie rzeczywistym oraz programowanie pamięci programu (EEPROM), niezbędnej do realizacji trybu pracy samodzielnej SELFBOOT oraz dodatkowo konfigurację (poprzez magistralę I²C) układów audio produkowanych przez Analog Devices. Aktualnie dostępna jest wersja 1.5 programatora, ale wszystkie starsze także bezproblemowo współpracują z płytką DSP1701A_DSP_MK2.

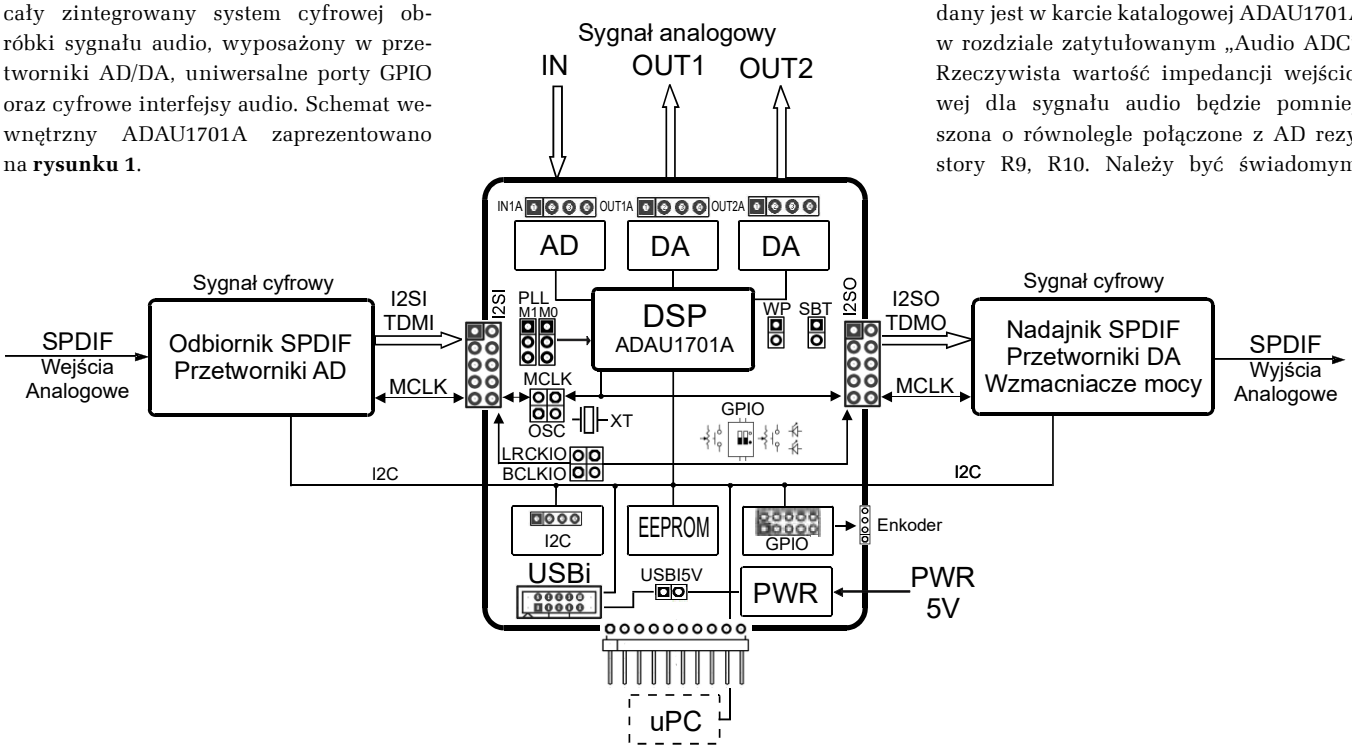
Aby w pełni wykorzystać możliwości zestawu DSP1701A_DSP_MK2, konieczne jest zapoznanie się z budową blokową jego serca, czyli procesora DSP ADAU1701A. Jest to w zasadzie nie tylko procesor DSP, ale cały zintegrowany system cyfrowej obróbki sygnału audio, wyposażony w przetworniki AD/DA, uniwersalne porty GPIO oraz cyfrowe interfejsy audio. Schemat wewnętrzny ADAU1701A zaprezentowano na **rysunku 1**.

Najistotniejsze cechy procesora ADAU1701A to:

- wydajność obliczenowa 50 MIPS, 28-/56-bitowy rdzeń DSP,
- wbudowany oscylator i konfigurowalny blok PLL,
- obsługa częstotliwości próbkowania do 192 kHz,
- wbudowane dwa niezależne przetworniki AD 24 bit (SNR 100 dB),
- wbudowane cztery niezależne przetworniki DA 24 bit (SNR 104 dB),
- dwukierunkowy interfejs cyfrowy (8 kanałów) z możliwością elastycznej konfiguracji trybów I²S, LJ, RJ oraz wielokanałowego trybu multipleksowanego czasowo (TDM),
- programowalne GPIO, w tym cztery wejścia analogowe AD do realizacji interfejsów użytkownika bez konieczności zastosowania procesora zewnętrznego,
- obsługa zewnętrznej pamięci programu i konfiguracji I²C EEPROM,
- możliwa samodzielna praca DSP (tryb SELFBOOT) bez zewnętrznego procesora sterującego,
- tryb WRITEBACK umożliwiający zachowanie parametrów aplikacji DSP w pamięci EEPROM przy pracy samodzielnej (nawet po zaniku napięcia zasilania),
- zasilanie 3,3 V, wbudowany stabilizator do zasilania rdzenia DSP 1,8 V,
- konfiguracja i oprogramowanie za pomocą intuicyjnego, graficznego środowiska Sigma Studio (aktualnie V4.7).

Schemat blokowy zestawu, ilustrujący przepływ sygnałów audio, sterujących oraz połączenia pomiędzy poszczególnymi modułami pokazano na **rysunku 2**, natomiast schemat ideowy zestawu DSP1701A_DSP_MK2 – na **rysunku 3**.

Płytka bazowa umożliwia bezpośrednią obróbkę analogowego sygnału audio doprowadzonego do gniazda wejściowego IN1 typu jack 3,5 mm stereo lub do złącza IN1A typu SIP4. Sygnał audio po separacji składowej stałej doprowadzony jest do wbudowanego przetwornika AD. Rezystory R11, R12, R13 i wbudowany w AD szeregowy rezystor 2 kΩ ustalają impedancję wejściową AD na ok. 20 kΩ i czułość na 2 Vrms dla częstotliwości próbkowania fs=48 kHz. Ewentualne zmiany wartości i sposób ich obliczenia dla innych częstotliwości próbkowania i czułości podany jest w karcie katalogowej ADAU1701A w rozdziale zatytułowanym „Audio ADC". Rzeczywista wartość impedancji wejściowej dla sygnału audio będzie pomniejszona o równolegle połączone z AD rezystory R9, R10. Należy być świadomym,



Rysunek 2. Schemat blokowy płytki bazowej DSP1701A_DSP_MK2

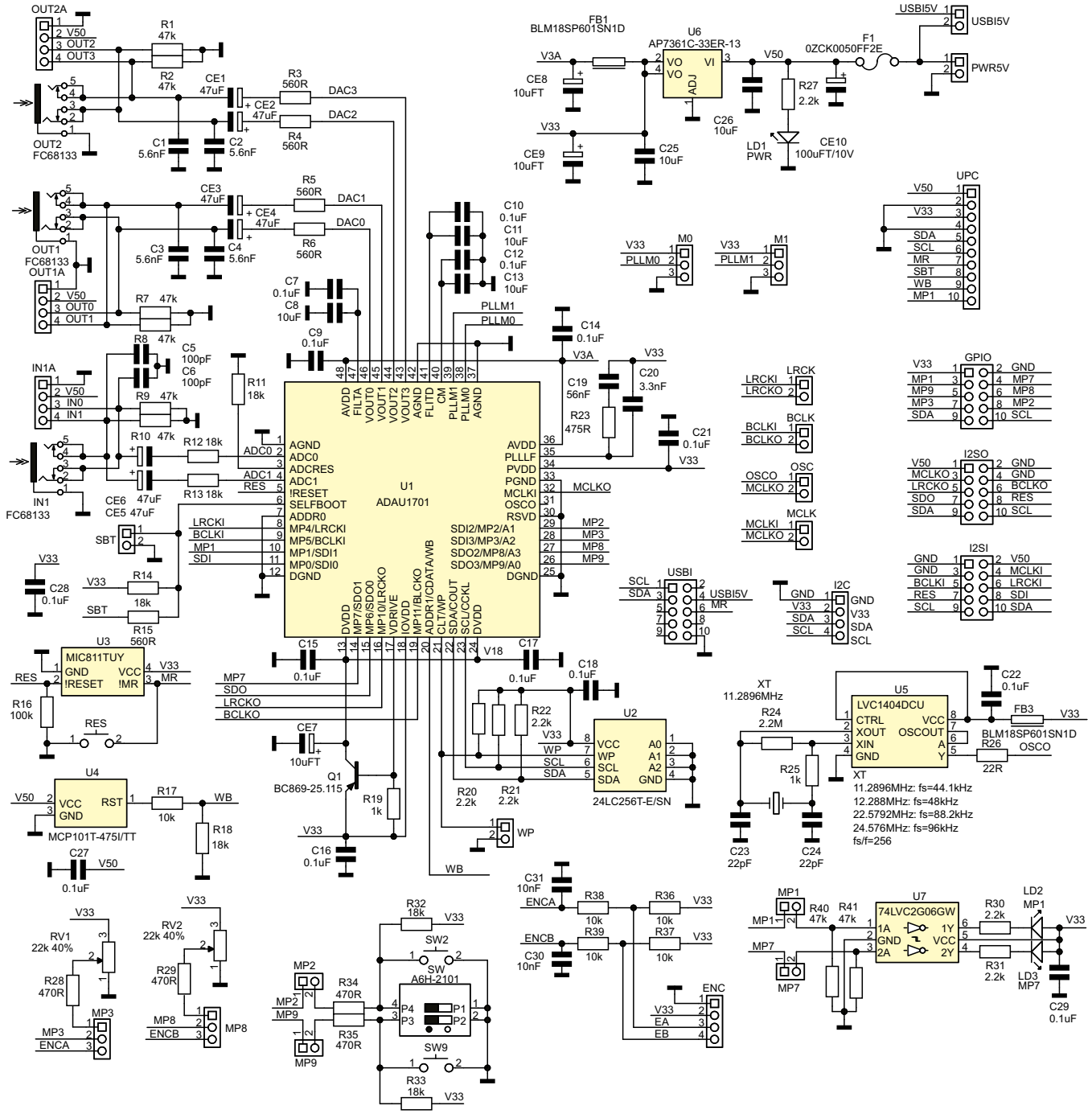
eprasa.pl aa6cced055

że ze względu na możliwość zmiany częstotliwości próbkowania AD wejścia pozbawione są filtrów antyaliasingowych. W większości aplikacji można z nich zrezygnować, jeżeli jednak w sygnale wejściowym obecne są składowe o częstotliwości większej od fs/2, należy zastosować zewnętrzny filtr dolnoprzepustowy podłączony w szereg ze źródłem sygnału audio, o częstotliwości dobranej do fs procesora DSP.

Sygnał wyjściowy z przetworników DA doprowadzony jest odpowiednio do gniazd jack 3,5 mm stereo OUT1 (DAC0/1) i OUT2 (DAC2/3) oraz – podobnie jak w przypadku wejść – dostępny jest także na złączach SIP4, OUT1A/2A. Wyprowadzenie sygnału audio wraz z zasilaniem 5 V na złącza SIP4 ułatwia użycie zewnętrznych analogowych przedwzmacniaczy (w tym mikrofonowych), miniaturowych końcówek mocy (na przykład tych opisanych w EP 5/2019) i innych miniaturowych modułów do aplikacji audio. Maksymalny poziom sygnału wyjściowego przetwornika DA to 0,9 Vrms. Elementy R3, R4 z C1, C2 oraz R5, R6 z C3, C4 stanowią podstawowy filtr dolnoprzepustowy przetwornika DA. Podobnie w tym przypadku – jeżeli zależy nam na uzyskaniu możliwie najlepszych parametrów (S/N), do wyjścia należy podłączyć zewnętrzny filtr dolnoprzepustowy, eliminujący artefakty przetwarzania DA leżące poza pasmem akustycznym.

Uwaga: Należy pamiętać, aby jednocześnie nie zasilać płytki z dwóch źródeł, może to bowiem doprowadzić do uszkodzenia programatora. Jeżeli zasilamy płytkę przez złącze PWR5V, zwora USBi5V musi być obowiązkowo zdjęta.

Moduł ma wbudowany zasilacz dostarczający napięcia zasilania do wszystkich elementów płytki oraz modułów rozszerzeń podłączonych do złączy I2SI, I2SO. Płytka wymaga zasilania napięciem 5 V o minimalnej obciążalności 500 mA. Napięcie to należy doprowadzić do złącza PWR5V. Alternatywnie, podczas



Rysunek 3. Schemat ideowy płytki DSP1701A_DSP_MK2

eprasa.pl aa6cced055

testów na potrzeby aplikacji o niewielkim poborze mocy, można zastosować programator USBi, pozostawiając założoną zworę USBI5V.

Napięcie 5 V z wybranego źródła doprowadzone jest przez bezpiecznik polimerowy F1 (500 mA) do stabilizatora LDO U6 typu AP7631C-33. Jeżeli mamy w planach zastosowanie nawet niewielkich wzmacniaczy mocy, należy zmienić wartość bezpiecznika F1, w zależności od wymagań na 1 A lub 2 A, stosując bezpieczniki polimerowe typu, odpowiednio: 0ZCK0100FF2E lub PTSLR08058V200 (pobieranie większych prądów nie jest zalecane). W tym przypadku należy zdjąć zworę USBI5V, aby nie dopuścić do przeciążenia i uszkodzenia programatora USBi. Układ U6 stabilizuje napięcie 3,3 V (V33) do zasilania obwodów cyfrowych płytki, a dodatkowy obwód FB1, CE8 zapewnia filtrację napięcia V33A dla obwodów analogowych DSP. Dioda LD1 sygnalizuje obecność zasilania 5 V. Pojemności na szynach zasilania V33, V33A zapewniają odpowiednie odsprzęganie współpracujących wyprowadzeń U1. ADUA1701A ma wbudowany regulator napięcia 1,8 V służący do zasilania rdzenia DSP, którego elementem wykonawczym jest tranzystor Q1 z rezystorem R19. Elementy C15, C17 i CE7 odsprzęgają napięcie V18.

Obwód zasilania uzupełniają dwa układy nadzorujące. Pierwszy – U3 typu MIC811 – monitoruje linię V33 i zapewnia poprawny reset (sygnał RES) układu ADAU1701A po włączeniu zasilania. Wejście MR układu U1, służące do manualnego generowania sygnału RES, podłączone jest do mikroprzełącznika RES oraz do wyjścia RESET programatora USBi, co umożliwia programowe restartowanie ADAU1701, np. po zaprogramowaniu. Drugim układem nadzorującym jest U4 typu MCP101T-475, odpowiedzialny za detekcję zaniku zasilania 5 V. Gdy napięcie spadnie poniżej ok. 4,63 V, U4 generuje narastające zbocze sygnału WB, służące do uruchomienia jednorazowej procedury WRITEBACK, odpowiedzialnej za zapis aktualnych parametrów DSP do nieulotnej pamięci EEPROM w trybie pracy samodzielnej SELFBOOT. Czas niezbędny na poprawny zapis gwarantują odpowiednio dobrane kondensatory filtrujące CE9, CE10.

Jak każdy procesor, także ADAU1701A wymaga do pracy sygnału zegarowego. W przypadku modułu DSP1701A_DSP_MK2 obwód taktujący został nieco rozbudowany, zrezygnowano bowiem z użycia wbudowanego układu generatora współpracującego z kwarcem podłączonym do wyprowadzeń MCLKI i OSCO procesora DSP na rzecz generatora zewnętrznego. Za wytwarzanie sygnału zegarowego MCLK, o częstotliwości zależnej od wymaganej częstotliwości próbkowania fs, odpowiada układ U5 typu LVC1404, współpracujący z kwarcem XT. U5 zawiera w swojej strukturze obwód oscylatora współpracującego z kwarcem, obwód bramkowania generatora oraz bramki buforowe. W zależności od częstotliwości próbkowania fs, należy użyć rezonatora kwarcowego o odpowiedniej częstotliwości: dla fs=44,1 kHz (zgodna ze standardem CD) jest to 11,2896 MHz, dla fs=48 kHz to 12,288 MHz oraz odpowiednio dla 88,2 kHz i 96 kHz; to 22,5792 MHz i 24,576 MHz (dla mnożnika fs=256), dlatego warto zdobyć podstawkę pod kwarc w obudowie HC49, co znacząco ułatwia szybkie zmiany podczas eksperymentów.

Układ generatora uzupełniają dwie zwory OSC i MCLK, odpowiedzialne za konfigurację i dystrybucję sygnału zegarowego. Zwarta zwora OSC łączy wejście zegarowe DSP z wyjściem generatora – jest to podstawowa konfiguracja. W tym przypadku buforowany sygnał zegarowy MCLKO doprowadzony jest także do złącza wyjściowego I2SO interfejsu cyfrowego i może służyć do taktowania przetworników DA wymagających dostarczenia sygnału MCLK. Zwarta zwora MCLK umożliwia doprowadzenie sygnału MCLKO także do złącza wejściowego interfejsu cyfrowego I2SI, co jest bardzo przydatne, gdy współpracujący przetwornik AD wymaga zewnętrznego sygnału MCLK. Odłączenie wbudowanego generatora za pomocą zwory OSC umożliwia współpracę DSP z zewnętrznym sygnałem zegarowym, dostarczanym z interfejsu wejściowego I2SI lub wyjściowego I2SO. Dokładny opis konfiguracji zostanie zaprezentowany w części kursu opisującej korzystanie z interfejsów cyfrowych audio. Układ ADAU1701 ma wbudowany obwód PLL służący do wytwarzania wewnętrznych sygnałów taktujących na podstawie sygnału MCLK – za konfigurację mnożników PLL odpowiadają zwory M0, M1. Domyślnie wybrany powinien być mnożnik 256, co w przypadku kwarcu 12,288 MHz odpowiada częstotliwości próbkowania 48 kHz (fs*256). Elementy R23, C19, C20 tworzą filtr pętli PLL i powinny wykazywać niską tolerancję, co zapewni stabilną pracę pętli.

ADAU1701A ma wbudowane dwa interfejsy cyfrowego audio, jeden 8-kanałowy wejściowy (dostępny na wyprowadzeniach SDI0…3) i jeden 8-kanałowy wyjściowy na wyprowadzeniach SDO0…3. Wyprowadzenia SDI/O, ze względu na ograniczoną liczbę pinów obudowy LQFP48, są współdzielone z GPIO. Kanały SDI0 oraz SDO0, które mogą pracować także w trybie TDM, wyprowadzono odpowiednio na złącza I2SI, I2SO. Zapewniona jest więc spora elastyczność w zakresie doboru współpracujących zewnętrznych przetworników AD/DA i uproszczona część sprzętowa, przy zachowaniu możliwości jednoczesnego przesyłania danych w wielu kanałach w trybie TDM. Wystarczy zastosowanie zaledwie jednej linii sygnałowej i dwóch taktujących. Interfejs cyfrowy uzupełniają sygnały zegarowe LRCK, BCLK oraz – wyprowadzone na złącza I2SI, I2SO – zasilanie 5 V, sygnał RES i magistrala I²C. Należy pamiętać, że sygnały wyprowadzone na złącza interfejsów cyfrowych zgodne są z poziomami logicznymi 3,3 V i podłączenie tam napięcia wyższego zakończy się uszkodzeniem DSP. Wyprowadzenie szyny 5 V umożliwia zasilanie części analogowych współpracujących układów oraz umożliwia wykorzystanie lokalnych stabilizatorów LDO do uzyskania np. napięcia 3,3 V bez dodatkowego obciążania stabilizatora U6, zamontowanego na płytce

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD 0603, 1%)
R1, R2, R7...R10, R40, R41: 47 kΩ
R3...R6, R15: 560 Ω
R11...R14, R18, R32, R33: 18 kΩ
R16: 100 kΩ
R17, R36...R39: 10 kΩ
R19, R25: 1 kΩ
R20...R22, R27, R30, R31: 2,2 kΩ
R23: 475 Ω
R24: 2,2 MΩ
R26: 22 Ω
R28, R29, R34, R35: 470 Ω
RV1, RV2: 22 kΩ (potencjometr leżący + pokrętło, CA6V)

Kondensatory:
C1...C4: 5,6 nF (SMD 0603, NP0, 16 V)
C5, C6: 100 pF (SMD 0603, NP0, 16 V)
C7, C9, C10, C12, C14...C18, C21, C22, C27...C29: 100 nF (SMD 0603, X7R, 10 V)
C8, C11, C13, C25, C26: 10 µF (SMD 0603, X7R, 10 V)
C19: 56 nF (SMD 0603, X7R, 10 V)
C20: 3,3 nF (SMD 0603, NP0, 16 V)
C23, C24: 22 pF (SMD 0603, NP0, 16 V)
C30, C31: 10 nF (SMD 0603, X7R, 10 V)
CE1...CE6: 47 µF (elektrolityczny R=2 mm, D=5 mm)
CE7...CE9: 10 µF/10 V (SMD A 3216, tantalowy)
CE10: 100 µF/10 V (SMD B 3528, tantalowy)

Półprzewodniki:
LD1: dioda LED zielona (SMD 0603)
LD2, LD3: dioda LED czerwona (SMD 0603)
U1: ADAU1701
U2: 24LC256T-E/SN
U3: MIC811TUY
U4: MCP101T-475I/TT
U5: SN74LVC1404DCUR
U6: AP7361C-33ER-13
U7: 74LVC2G07GW.125
Q1: BC869-25.115 (PNP)

Pozostałe:
BCLK, LRCK, MCLK, MP1, MP2, MP7, MP9, OSC, USBI5V, WP, SBT: złącze SIP 2 pin + jumper, proste 2,54 mm
ENC: złącze JST 1 mm, SM04B, kątowe
F1: bezpiecznik PTC, typ 0ZCK0050FF2E (SMD 0805) – patrz opis
FB1, FB3: dławik ferrytowy SMD, typ BLM18SP601SN1D (SMD 0603)
GPIO, USBI: złącze SIP 2×5 pin, proste 2,54 mm
I2C: złącze Grove THT proste,
I2SI, I2SO: złącze SIP 2×5 pin, kątowe 2,54 mm
IN1: złącze Jack 3,5 mm stereo (czerwone), typ FC68133
M0, M1, MP3, MP8: złącze SIP 1×3 pin + jumper, proste 2,54 mm
OUT1, OUT2: złącze Jack 3,5 mm stereo (zielone), typ FC68133
IN1A, OUT1A, OUT2A: złącze SIP 1×4 pin, proste 2,54 mm
PWR5V: złącze śrubowe DG 2 pin 3,5 mm (typ DG381-3.5-2)
SW: przełącznik DIP 2 pozycje (A6H-2101)
SW2, SW9, RES: TACT switch SMD (DTSM31)
UPC: złącze kątowe SIP10 2,54 mm
XT: kwarc HC49U niski 11,2896 MHz

eprasa.pl aa6cced055

bazowej. ADAU1701A, w przypadku interfejsu wejściowego, dopuszcza tylko pracę w trybie slave, w którym sygnały taktujące LRCK, BCLK muszą być doprowadzone do DSP. Aby nie wymuszać dodatkowej komplikacji współpracujących układów AD oraz zachować synchroniczność sygnałów interfejsu cyfrowego, do taktowania można użyć odpowiednio skonfigurowanego w trybie master interfejsu wyjściowego – zwory LRCK, BCLK łączą w tym przypadku wejściowe i wyjściowe sygnały LRCK/BLCK. Traci się w ten sposób dwa wyprowadzenia, ale oszczędza na zewnętrznym układzie generującym sygnały taktujące interfejs. Jest to opcja bardzo przydatna, jeżeli przetwornik AD pracuje tylko w trybie slave (wymaga dostarczenia sygnałów taktujących), nie koliduje to oczywiście z możliwością pracy interfejsu wyjściowego z przetwornikiem DA w trybie master, zapewniając możliwość prostego dodania dodatkowych kanałów analogowych. Podczas normalnej eksploatacji zwory LRCK, BLCK powinny być zdjęte, aby nie dopuścić do uszkodzenia wyprowadzeń DSP w przypadku błędnej konfiguracji.

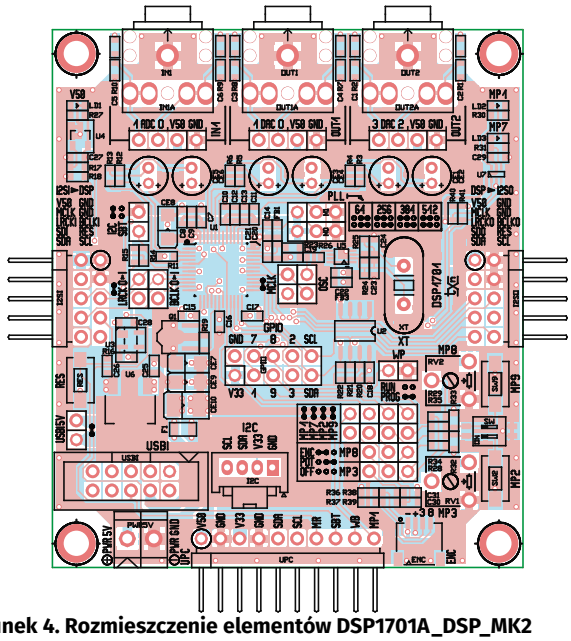
DSP ma możliwość pracy samodzielnej bez konieczności stosowania zewnętrznego procesora konfiguracyjnego. Do przechowywania konfiguracji i parametrów służy pamięć EEPROM U2 typu 24LC256. Zdjęta zwora WP blokuje możliwość zapisu do pamięci (stan wysoki wejścia WP EEPROM). Wyprowadzenie CLT/WP umożliwia ominięcie blokady zapisu parametrów wymuszonych procedurą WRITEBACK. Zwora SBT określa tryb pracy procesora: z zewnętrzną konfiguracją przez I²C (zwora SBT zwarta) lub z konfiguracją samodzielną, pobieraną z pamięci EEPROM (zwora I²C rozwarta). Stan wysoki wyprowadzenia SBT, odczytany w czasie aktywacji sygnału RESET, przełącza procesor w tryb pracy samodzielnej SELFBOOT.

ADAU1701A ma konfigurowalne wyprowadzenia GPIO pracujące z poziomami logicznymi 3,3 V, które wraz z napięciem zasilania 3,3 V dostępne są na złączu GPIO. Udostępnione zostały wyprowadzenia MP1, MP2, MP3 oraz MP7, MP8, MP9 ADAU1701A. Przypisanie sygnałów umożliwia wykorzystanie pozostałych interfejsów cyfrowych, wyprowadzeń GPIO oraz wbudowanego przetwornika AD dostępnego przez GPIO, zwiększając funkcjonalność modułu. Aby ułatwić eksperymenty z DSP, płytka uzupełniona została o elementy interfejsu użytkownika: dwie buforowane diody LED podłączone do wyprowadzeń MP1, MP7, dwa potencjometry podłączone do MP3, MP8 współdzielone z interfejsem enkodera, dwa przyciski chwilowe i przełącznik DIP podłączone wspólnie do MP2, MP8. Elementy R36...R39, C30, C31 filtrują i polaryzują styki A/B enkodera obrotowego, który może zostać podłączony do złącza ENC. Interfejs enkodera stanowi jeden ze standardowych sposobów interakcji z użytkownikiem i jest przez ADAU1701A obsługiwany przy użyciu bibliotek z SigmaStudio. Ze względu na współdzielenie wyprowadzeń MP3, MP8 z potencjometrami obrotowymi, wybór realizowanej funkcji zależny jest od położenia zwory MP3, MP8. W przypadku użycia enkodera zwory należy ustawić w położeniu oznaczonym jako ENC. Ze względu na ograniczoną liczbę wyprowadzeń MPx nie są wtedy dostępne potencjometry. Zdjęcie zworek z MP3, MP8 odłączy obwody potencjometrów oraz enkodera i umożliwi zastosowanie wyprowadzeń do innych celów.

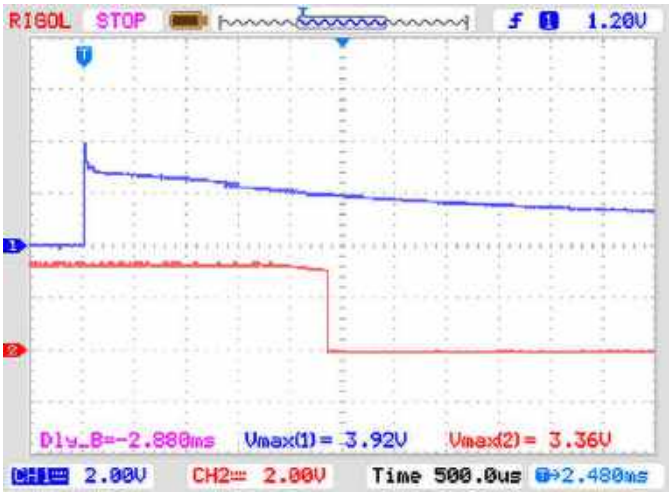
Każde z wyprowadzeń może zostać odłączone za pomocą zwory o odpowiednim numerze, co zapewnia separację i niezakłócone funkcjonowanie wyprowadzeń MPx, gdy podłączony element interfejsu użytkownika nie jest wykorzystywany.

Płytkę uzupełniają: złącze magistrali I²C zgodnej z Grove 3,3 V oraz złącze UPC z wyprowadzonymi najważniejszymi funkcjonalnie sygnałami sterującymi DSP, przeznaczone do współpracy z zewnętrznym procesorem.

Moduł zmontowano na czterowarstwowej płytce drukowanej z wydzielonymi wewnętrznymi płaszczyznami masy i zasilania. Rozmieszczenie elementów DSP1701A_DSP_MK2 pokazano na **rysunku 4**.



Rysunek 4. Rozmieszczenie elementów DSP1701A_DSP_MK2



Rysunek 5. Sekwencja sygnałów WB (niebieski) i RES (czerwony)

Montaż nie wymaga opisu, polecam zgodnie z wcześniejszymi zaleceniami wlutować podstawkę pod kwarc HC49 oraz uzupełnić zestaw kwarców o częstotliwości 11,2896 MHz, 22,5792 MHz i 24,576 MHz, co umożliwi eksperymenty z różnymi częstotliwościami próbkowania.

Po wlutowaniu elementów i zmyciu resztek topnika płytka nie wymaga specjalnego uruchamiania. Każdorazowo warto jednak sprawdzić obecność napięć zasilających. Po domyślnym ustawieniu zwory OSC w pozycji zwartej, wybraniu dzielnika 256 za pomocą zwory PLL (zgodnie z opisem na PCB) i usunięciu pozostałych zwór, można podłączyć do złącza PWR5V zasilacz 5 V/500 mA i sprawdzić obecność napięć 5 V, 3,3 V, 1,8 V w odpowiadających punktach układu oraz sprawdzić obecność sygnału zegarowego OSC zgodnego z użytym kwarcem (domyślnie 12,288 MHz). Warto sprawdzić poprawność działania układów: U3 generującego sygnał resetu RES oraz U4 generującego sygnał WB. Podczas zaniku zasilania 5 V powinna być możliwa do zaobserwowania sekwencja sygnałów WB (niebieski) i RES (czerwony) zgodnie z **rysunkiem 5**.

To wszystko co jest możliwe do sprawdzenia bez zaprogramowania układu ADAU1701A.

W przyszłym miesiącu zaprezentowany zostanie opis instalacji i użytkowania środowiska programowego Sigma DSP w wersji 4.7. Zapraszamy do lektury.

Adam Tatuś, EP

eprasa.pl aa6cced055

AVT sklep

W ofercie AVT*

AVT6074

Najważniejsze parametry:
- konstrukcja oparta na mikrokontrolerze AVR ATMega32U4,
- częstotliwość taktowania: 16 MHz,
- poziom napięć logicznych: 5 V,
- wbudowane złącze USB C do komunikacji i zasilania,
- wbudowany bezpiecznik PTC 500 mA, przycisk RESET oraz dioda LED.

Projekty pokrewne na stronie www.ep.com.pl
(aktywne linki do artykułów):
- Procesor wokalny z efektami echa DRP-10
- SigmaDSP+. Procesor DSP do urządzeń audio
- Minimoduł z mikroprocesorem LPC802
- Przedwzmacniacz mikrofonowy z procesorem DSP typu ADAU1772
- Pico DSP – zestaw ewaluacyjny i moduł z procesorem audio DSP
- Minimoduł z procesorem NXP LPC865
- Minimoduł z mikroprocesorem LPC802

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

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

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

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

Mikromoduł z procesorem ATmega32U4 Leo32U4

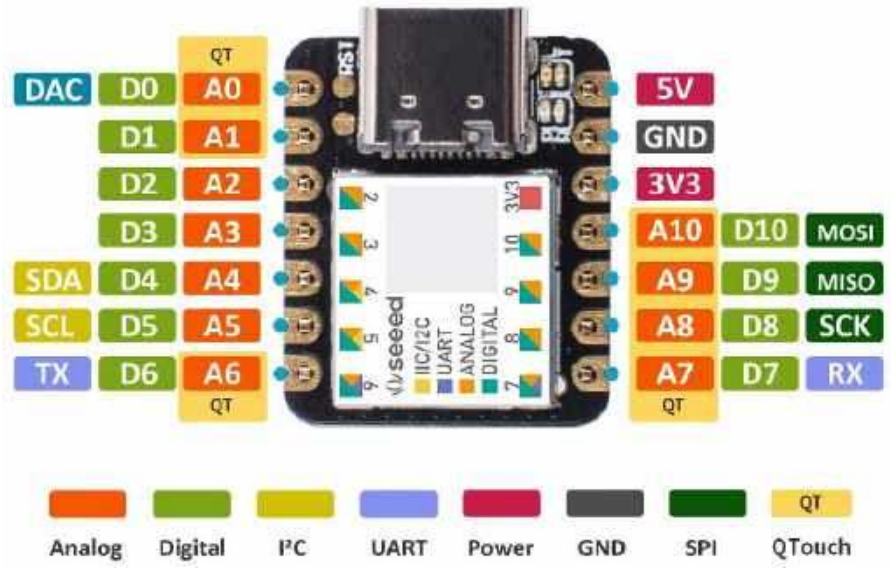
Mikromoduł z mikroprocesorem ATMega32U4 dla pasjonatów płytek stykowych…i nie tylko. Moduł powstał jako uzupełnienie serii miniaturowych modułów XIAO i Adafruit QT Py, które dzięki niewielkim rozmiarom, dobremu wsparciu oraz przystępnej cenie znajdują uznanie wśród twórców DIY, szczególnie w aplikacjach, gdzie na elektronikę nie można poświęcić zbyt wiele miejsca w obudowie.

W skład serii XIAO wchodzą moduły z procesorami ESP32, SAMD21, NRF52840, RP2040, a ostatnio dołączyły do niej wersje z procesoramim VRISC-V, R4M1 oraz RP2350. W opracowaniu są ponadto super-energooszczędne EFR32MG24. Większość modułów wspierana jest przez środowisko Arduino. Przykładowy moduł z procesorem SAMD21 pokazano na **rysunku 1**.

Cała rodzina XIAO i QT PY charakteryzuje się zgodnością wyprowadzeń, niewielkimi wymiarami płytki 22×18 mm oraz komunikacją z użyciem złącza USB typu C. W serii tej nie ma niestety modułów z klasycznymi procesorami AVR, które w dalszym ciągu cieszą się niesłabnąca popularnością.

Do modułu AVR zgodnego z XIAO, wybrałem procesor Atmega32U4. Uzasadnione jest to obecnością interfejsu USB, prostą aplikacją – niezbędną ze względu na ograniczone wymiary modułu – oraz zgodnością z napięciami 5 V, z którymi nie jest kompatybilny bezpośrednio żaden z dostępnych modułów XIAO, a które to napięcie jest wciąż powszechnie używane w aplikacjach DIY. Schemat mikromodułu pokazano na **rysunku 2**.

Moduł pozbawiony jest peryferiów, na płytce mieszczą się jedynie elementy niezbędne do poprawnego funkcjo-



Rysunek 1. Przykładowy moduł Xiao (z materiałów firmy Seeed-Studio)

REKLAMA

LASEROWE
SZABLONY
DO MONTAŻU SMT

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

LASTENIC
LASER STENCILS

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

eprasa.pl aa6cced055

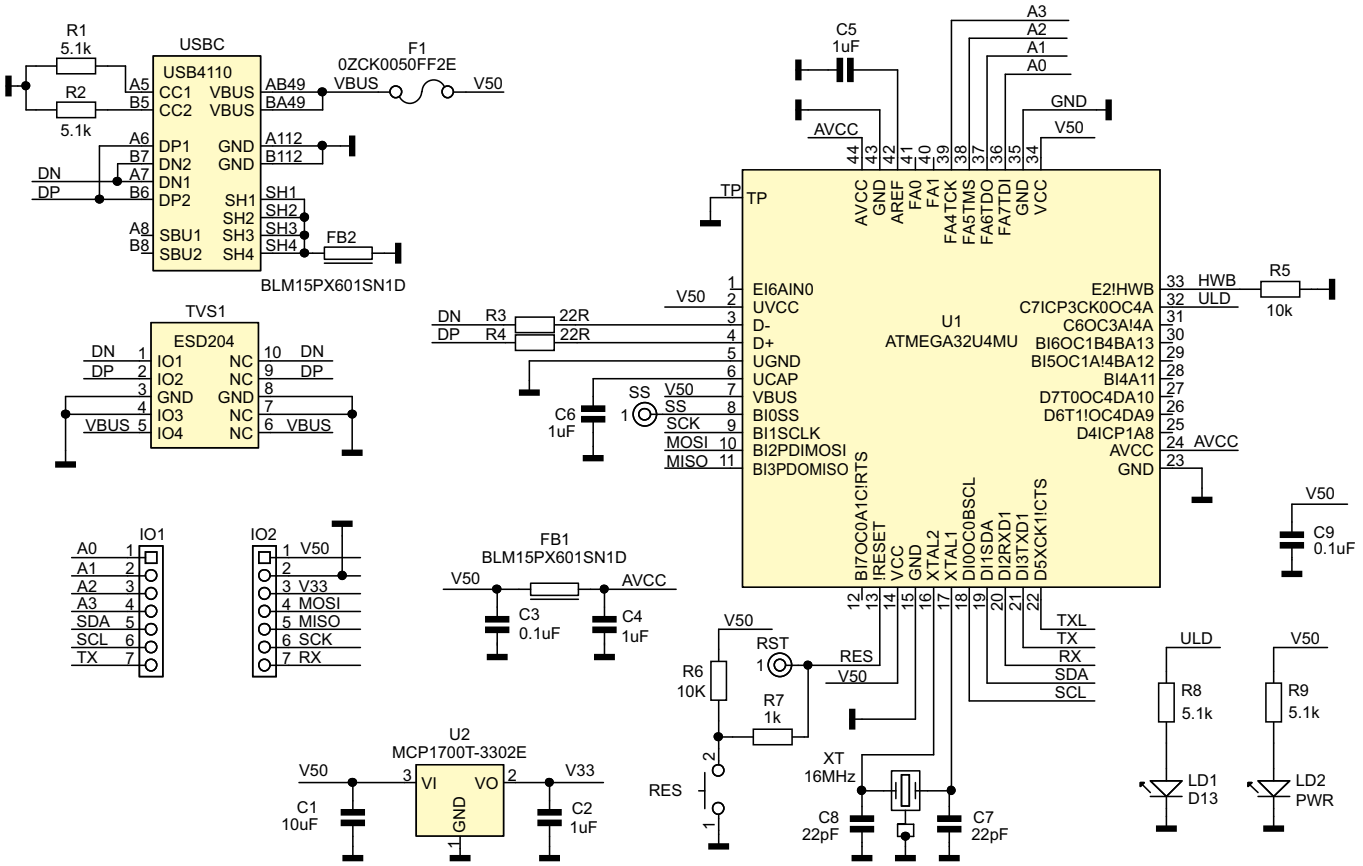
Wykaz elementów:

Rezystory:
R1, R2, R8, R9: 5,1 kΩ
R3, R4: 22 Ω
R5, R6: 10 kΩ
R7: 1 kΩ

Kondensatory:
C1: 10 µF (SMD 0402, X7R, 10 V)
C2, C4...C6: 1 µF (SMD 0402, X7R, 10 V)
C3, C9: 0,1 µF (SMD 0402, X7R, 10 V)
C7, C8: 22 pF (SMD 0402, NP0, 25 V)

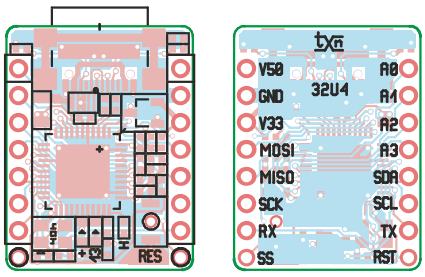
Półprzewodniki:
LD1: dioda LED żółta (SMD 0603)
LD2: dioda LED zielona (SMD 0603)
TVS1: transil ESD204 (USON10)
U1: ATMEGA32U4MU (QFN44_050)
U2: MCP1700T-3302E (SOT-23)

Pozostałe:
F1: bezpiecznik polimerowy 500 mA (SMD 0805, typ 0ZCK0050FF2E)
FB1, FB2: dławik ferrytowy (SMD 0402, typ BLM15PX601SN1D)
IO1, IO2: listwa SIP8 (patrz opis)
RES: przycisk SMD (typ B3U-1000P)
USBC: gniazdo USB C (typ USB4110, GTC)
XT: kwarc 16MHz (SMD 3,2 × 2,5 mm, typ CFPX-180)



Rysunek 2. Schemat ideowy modułu

nowania procesora. ATMEGA32U4 (U1) taktowany jest kwarcem XT1 16 MHz. Komunikacja i zasilanie modułu odbywa się poprzez gniazdo USBC. Układ TVS1 zabezpiecza interfejs przed skutkami przepięć, a bezpiecznik polimerowy F1 (500 mA) przed skutkami zwarcia w prototypowanym układzie. Układ zasilany jest napięciem 5 V z interfejsu USBC, zasilanie dla części analogowej dodatkowo filtrowane jest przez C3, C4, FB2. Z napięcia 5 V zasilany jest też pomocniczy stabilizator LDO 3,3 V w postaci układu U2 typu MCP1700. Dioda LD2 sygnalizuje obecność zasilania. Moduł wyposażony jest tylko w przycisk RES (RESET) oraz diodę użytkownika LD1. Sygnały interfejsów zgodne z XIAO wyprowadzone są na złącza IO1, IO2. Dodatkowo przewidziano pady udostępniające sygnały SS magistrali SPI oraz RST (RESET), pomocne przy programowaniu poprzez ISP, co zwiększa nieco długość modułu. Układ, oprócz przycisku RES, ma także dedykowany rezystor R5, umożliwiający (po jego zwarciu) uaktywnienie



Rysunek 3. Rozmieszczenie elementów

wbudowanego bootloadera, jeżeli taka opcja zostanie wybrana przy programowaniu fusebitów.

Moduł zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej – zrezygnowano z zastosowanych w XIAO złoconych padów bocznych (Castellated Pads), które kilkukrotnie podnoszą cenę płytki. Opis procesu lutowania modułu jest zbędny, ale ze względu na elementy 0402 należy dokładnie sprawdzić jakość montażu. Decyzję o montażu złączy SIP7 lub SIP8, ułatwiających wyprowadzenie sygnałów SS, RES, pozostawiam użytkownikowi. Rozstaw złączy umożliwia montaż modułu na płytkach prototypowych lub stykowych o rozstawie 100 milsów. Rozmieszczenie elementów pokazano na **rysunku 3**, a zmontowany moduł na **fotografii tytułowej**.

Moduł po montażu nie wymaga uruchamiania, należy jedynie sprawdzić obecność napięć 3,3 V i 5 V. Po wgraniu bootloadera Caterina-Leonardo.hex lub Caterina-Micro.hex (przy pomocy FLIP lub Microchip Studio) oraz ustawieniu fuse-bitów zgodnie z plikiem boards.txt, moduł może być używany jako klon płytek Arduino Leonardo lub Micro. Po zaprogramowaniu i resecie modułu oraz ponownej instalacji w systemie otrzymujemy Arduino Leonardo lub Micro gotowe do pracy, oczywiście z ograniczoną liczbą dostępnych wyprowadzeń procesora ATMEGA32U4, ale w zamian za to – w mikroskopijnym formacie.

A teraz można zabrać się za praktyczne zastosowanie modułu.

Adam Tatuś, EP

eprasa.pl aa6cced055

Zobaczyć to, co niewidoczne. Nowoczesne kamery termowizyjne FOTRIC

Kamera termowizyjna stanowi jedno z bardziej zaawansowanych, a zarazem uniwersalnych rozwiązań pomiarowych stosowanych w różnych gałęziach przemysłu. Zakres aplikacji tego typu urządzeń rozciąga się także na elektronikę – obrazowanie w paśmie podczerwieni pozwala niezwykle szybko diagnozować usterki podczas serwisowania bądź prototypowania urządzeń, jednoznacznie wskazując lokalizacje przegrzewających się elementów bądź ścieżek czy też umożliwiając daleko idącą optymalizację układów chłodzenia w systemach wbudowanych, energoelektronice i innych obszarach R&D. Firma NDN – czołowy dystrybutor aparatury pomiarowej w Polsce – wprowadziła niedawno do swojej oferty nowoczesne kamery termowizyjne amerykańskiej marki FOTRIC.

Więcej informacji:
NDN-Zbigniew Daniluk
02-784 Warszawa, ul. Janowskiego 15
tel. 22-644-42-50, ndn@ndn.com.pl
https://ndn.com.pl

Firma FOTRIC skupia się na opracowywaniu i produkcji zaawansowanych systemów obrazowania termowizyjnego i akustycznego, wdrażając do swojej oferty także innowacyjne rozwiązania hybrydowe, łączące obydwie wymienione metody. Dla elektroników szczególne znaczenie mają jednak przede wszystkim kamery termowizyjne – a w tym właśnie obszarze amerykański producent ma do oferowania zdecydowanie najwięcej. Co ciekawe, oprócz kamer przenośnych (typu hand-held) – najpopularniejszych i najbardziej uniwersalnych ze względu na niewielkie rozmiary, mobilność i niezależność od zasilania zewnętrznego – firma opracowała także specjalistyczne kamery stacjonarne, przeznaczone głównie do najbardziej wymagających zastosowań naukowo-badawczych, laboratoryjnych i przemysłowych.

Seria R&D – wydajność godna zawodowców

Zaawansowane kamery termowizyjne FOTRIC z serii R&D, jak sama nazwa wskazuje, dedykowane są przede wszystkim odbiorcom przemysłowym i naukowym, poszukującym nie tylko najwyższej jakości obrazu, ale także wyśrubowanych parametrów w zakresie trybów akwizycji i wizualizacji, stabilności i jednorodności termicznej, szybkości przechwytywania ramek czy też elastycznych funkcji wyostrzania obrazu (focus).

Linia produktów R&D dzieli się na dwie podgrupy. Pierwsza z nich – 220Pro – obejmuje trzy modele kamer różniące się głównie rozdzielczością i parametrami wbudowanej optyki (**tabela 1**). Seria 220Pro oferuje doskonałe parametry przy zachowaniu kompaktowej formy – wciąż mamy tutaj bowiem do czynienia z urządzeniem w pełni mobilnym, choć zapewniającym także możliwość montażu na specjalnym statywie. Dla elektroników niezwykle ważna będzie informacja, że wszystkie modele z rodziny 220Pro można wyposażyć w kompatybilne obiektywy makro, które pozwalają z niebywałą szczegółowością odwzorowywać nawet najdrobniejsze detale małych płytek drukowanych, a nawet… struktur półprzewodnikowych czy rozmaitych elementów mikromechanicznych – rozdzielczość, w zależności od modelu kamery oraz zastosowanego obiektywu, rośnie do 100, 50, a nawet… 20 µm (!).

Fotografia 1. Kamera z serii 220Pro marki FOTRIC

Fotografia 2. Kamera z serii 220Link zamontowana na dedykowanym statywie

eprasa.pl aa6cced055

Tabela 1. Porównanie parametrów kamer termowizyjnych z serii 220Pro marki FOTRIC

Model	229Pro	228Pro	226Pro
Rozdzielczość matrycy termowizyjnej	1280×1024 px	640×480 px	384×288 px
Tryb Super Resolution (SR)	Tak		
Typ detektora	Niechłodzony detektor FPA		
Czułość termiczna (NETD)	30 mK @ 30°C		40 mK @ 30°C
Rozstaw pikseli	12 µm	17 µm	
Zakres spektralny	8...14 µm		
Szybkość odświeżania obrazu	30 Hz		
Kątowe pole widzenia (FOV)	25°×20°	25°×19°	
Rozdzielczość przestrzenna (IFOV)	0,34 mrad	0,68 mrad	1,14 mrad
Minimalna odległość wyostrzania	40 cm	25 cm	10 cm
Ogniskowa	35 mm	25 mm	15 mm
Tryby wyostrzania (focus)	TurboFocus – system ciągłego ostrzenia ze wspomaganiem laserowym, wyostrzanie na bazie kontrastu termicznego, touch AF, focus manualny		
Identyfikacja podłączonego obiektywu	Automatyczna		
Opcjonalne obiektywy wymienne	Szerokokątny 46° Makro 50 µm	Szerokokątny 46° Makro 20 µ Makro 50 µm	Szerokokątny 46° Makro 50 µ Makro 100 µm
Zoom cyfrowy	1...32× (ciągły)	1...16× (ciągły)	1...6× (ciągły)

Fotografia 3. Kamera termowizyjna z serii 220Link

Druga grupa urządzeń należących do rodziny R&D to termowizyjne kamery stacjonarne z serii 220Link. Tutaj także mamy do czynienia z trzema modelami różniącymi się główne rozdzielczością i podstawowymi parametrami optycznymi – porównanie kamer 228Link, 226Link i 223Link można znaleźć w **tabeli 2**. W przypadku wszystkich modeli dokładność pomiaru temperatury wynosi ±2°C lub ±2% (w zależności od tego, która z wartości jest większa), identyczne są również rozmiary kamer (112×68×60 mm) i ich masa (490 g bez obiektywu i mocowania statywowego). Niewielki pobór mocy (nieprzekraczający 4 W), możliwość zasilania w standardzie PoE, wbudowane interfejsy Ethernet i RS-485 oraz wyjścia przekaźnikowe i wejścia/wyjścia z optoizolacją ułatwiają integrację kamer w docelowym systemie. Zakres mierzonych temperatur rozciąga się od –20 do +650°C w przypadku modeli 228Link i 226Link, zaś w przypadku 223Link jest on ograniczony od góry do 350°C.

Fotografia 4. Panel tylny kamery termowizyjnej z serii 220Link

Seria Ti – szerokie możliwości w kompaktowej formie

Firma FOTRIC opracowała także inną serię kamer termowizyjnych, oznaczoną skrótem Ti. Należą do niej dwa modele: Ti7 o rozdzielczości 640×480 px oraz Ti5 z matrycą 384×288 px. Obydwie kamery umożliwiają zwiększenie rozdzielczości (2-krotne

Fotografia 5. Kamera termowizyjna FOTRIC z serii Ti

Tabela 2. Porównanie parametrów kamer termowizyjnych z serii 220Link marki FOTRIC

Model	228Link	226Link	223Link
Rozdzielczość matrycy termowizyjnej	640 × 480	384 × 288	160 × 120
Typ detektora	Niechłodzony detektor FPA		
Czułość termiczna (NETD)	< 30 mK @ 30°C	< 50 mK @ 30°C	< 50 mK @ 30°C
Rozstaw pikseli	17 µm		
Zakres spektralny	8...14 µm		
Szybkość odświeżania obrazu	30 Hz	60 Hz	30 Hz
Kątowe pole widzenia (FOV)	29° × 22°	30° × 22°	28° × 21°
Rozdzielczość przestrzenna (IFOV)	0,79 mrad	1,36 mrad	3,05 mrad
Minimalna odległość wyostrzania	10 cm	30 cm	10 cm
Ogniskowa	21,6 mm	13 mm	6 mm
Wyostrzanie	Manualne		
Opcjonalne obiektywy wymienne	Makro 20 µ Makro 50 µm	Makro 34 µ Makro 1020 µm	Szerokokątny 3 mm (50° × 38°)

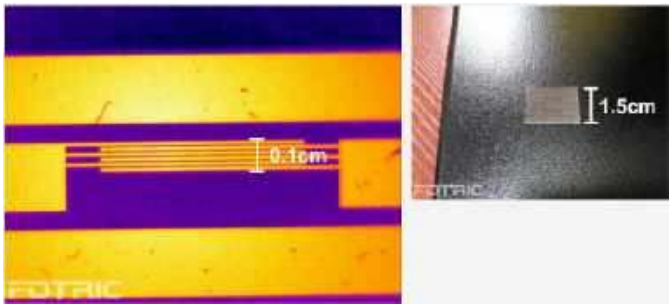
eprasa.pl aa6cced055

w każdym wymiarze, czyli 4-krotne pod względem całkowitej liczby pikseli), za co odpowiada tryb Super Resolution. Czułość NETD wynosi 30 mK (Ti7) lub 40 mK (Ti5). Wszystkie urządzenia z serii Ti umożliwiają obrazowanie termiczne z szybkością odświeżania 30 Hz i oferują minimalną odległość ostrzenia na poziomie 10 cm, co pozwala na wygodne badanie rozkładu temperatury nawet na małych, gęsto upakowanych płytkach drukowanych – i to bez konieczności użycia dodatkowych soczewek makro. Opisywane urządzenia oferują szereg trybów wyostrzania obrazu, znanych z zaawansowanych modeli z grupy R&D – mamy więc do wyboru zarówno ostrzenie manualne i Touch AF, jak i wspierane laserowo ostrzenie TurboFocus oraz autofocus oparty na kontraście termicznym. Zakres pomiarowy wynosi (w przypadku obydwu modeli) –20...+120°C lub 0...+550°C – warto dodać, że inteligentne algorytmy samoczynnie dobierają właściwy zakres pomiarowy, a także korygują skalę reprezentacji barwnej, co pozwala szybko i wygodnie obserwować badane zjawisko w czasie rzeczywistym, bez konieczności żmudnego przestrajania palety kolorów.

Jak przystało na urządzenie przenośne, każda kamera FOTRIC z serii Ti została opracowana z myślą o niezawodności – zapewnia zatem odporność nie tylko na trudne warunki środowiskowe (stopień ochrony IP54), ale także na upadek z wysokości do 2 m. Całe urządzenie waży dokładnie 1 kg i mierzy 313×123×139 mm.

Fotografia 6. Kamera termowizyjna FOTRIC – model Tk8

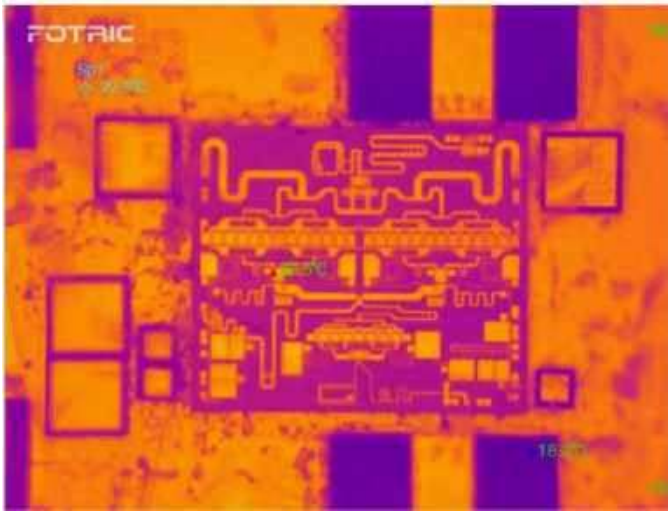
Fotografia 7. Obraz termowizyjny instalacji elektrycznej



Fotografia 8. Przykładowy obraz termowizyjny w trybie makro – widok mikroelektrod wykonanych metodą trawienia laserowego

Seria Tk – najwyższa jakość w racjonalnym budżecie

Kamery termowizyjne FOTRIC Tk8 i Tk7 to propozycja dla wszystkich tych użytkowników, którzy szukają profesjonalnego i niezawodnego sprzętu w cenie przystępnej nawet dla małych przedsiębiorstw. Zastosowany w tych modelach sensor obrazu o rozdzielczości 384×288 px jest wspierany przez 8-megapikselową kamerę pracującą w paśmie światła widzialnego, co pozwala na dokładne dokumentowanie badanych obiektów i późniejszą analizę rozkładu termicznego w kontekście anatomii obrazowanej infrastruktury. Dokładność pomiaru temperatury wynosi ±2°C, a zakres pomiarowy rozciąga się od –20°C do +550°C. Urządzenia z serii Tk ważą 0,8 kg i mają wymiary 243×95×142 mm, a pomimo kompaktowej formy dają użytkownikom szerokie możliwości łączenia kamery z urządzeniami zewnętrznymi – na pokładzie jest bowiem zaimplementowana nie tylko obsługa łączy bezprzewodowych (Wi-Fi i Bluetooth) oraz wbudowany port USB C (wspierający funkcję OTG), ale nawet gniazdo Micro HDMI.



Fotografia 9. Obraz termowizyjny struktury mikroelektronicznej

Zastosowania naukowo-badawcze

O wybitnej jakości kamer termowizyjnych marki FOTRIC niech świadczy obszerna lista publikacji naukowych, które powołują się na zastosowanie urządzeń tego producenta. Badacze używają kamer głównie (choć nie tylko) z serii R&D, m.in. w takich dziedzinach jak fizyka, inżynieria materiałowa, medycyna, mechanika, mikroelektronika, nanotechnologia, a nawet… inżynieria kosmiczna. Pełną listę prac powołujących się na kamery FOTRIC można znaleźć na firmowej stronie producenta: https://www.fotric.com/.

www.ndn.com.pl

eprasa.pl aa6cced055

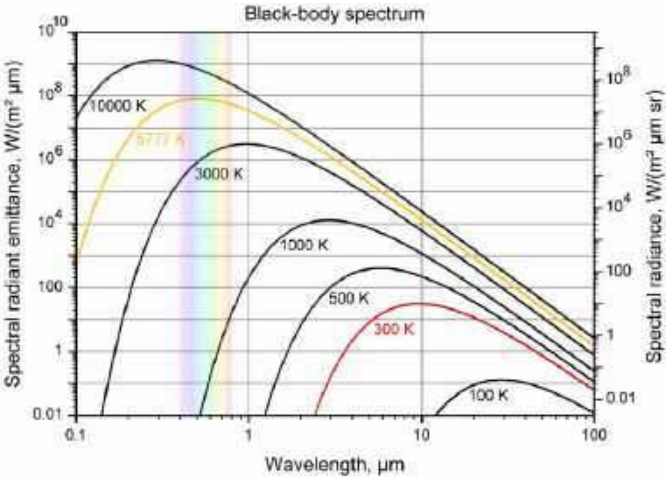
Termowizja w praktyce

Termowizja to technologia umożliwiająca obrazowanie w podczerwieni. Pozwala to na analizę rozkładu temperatur obiektów oraz ich otoczenia. Dzięki temu możliwe jest wykrywanie ukrytych usterek w systemach elektronicznych, kontrola procesów przemysłowych czy diagnostyka termiczna urządzeń. W poniższym artykule przyjrzymy się praktycznym aspektom zastosowania termowizji, jej zasadzie działania i poszczególnym typom sensorów termicznych. Dowiemy się też, jak można interpretować uzyskane obrazy, szczególnie w warsztacie serwisowym.

Współczesna elektronika coraz częściej sięga po zaawansowane metody diagnostyczne, umożliwiające precyzyjną analizę urządzeń bez konieczności ich demontażu. Jednym z takich narzędzi jest termowizja, która dzięki rejestrowaniu promieniowania podczerwonego pozwala zobaczyć, jak ciepło rozchodzi się w układach elektronicznych. Odpowiednia interpretacja obrazów termicznych może ujawnić przegrzewające się komponenty, problemy z chłodzeniem, a nawet wskazać na zwarcia lub uszkodzenia, które mogłyby pozostać niezauważone podczas standardowej diagnostyki. Nie są to oczywiście jedyne zastosowania termowizji. Na rynku dostępnych jest wiele urządzeń, które wykorzystują termografię, które używane są w wielu dziedzinach życia – w automatyce przemysłowej, budownictwie, medycynie, wojsku…

Co to jest termowizja

Każde ciało o temperaturze wyższej niż zero bezwzględne emituje jakieś promieniowanie elektromagnetyczne. Promieniowanie to, określane promieniowaniem ciała doskonale czarnego, opisuje prawo Plancka. Określa ono ilość i rozkład widmowy energii emitowanej przez powierzchnię w funkcji temperatury. Widma tego promieniowania dla szeregu temperatur pokazano na **rysunku 1**. W miarę wzrostu temperatury maksimum emisji przesuwa się w kierunku fal krótszych, co wynika z kolei z prawa Wiena. W typowych warunkach otoczenia większość promieniowania cieplnego emitowanego przez obiekty na Ziemi mieści się w zakresie podczerwieni, niewidzialnej dla ludzkiego oka.



Rysunek 1. Widmo promieniowania ciała doskonale czarnego dla różnych jego temperatur (źródło: Wikimedia Commons)

Termowizja to technika obrazowania, która wykorzystuje promieniowanie podczerwone do analizy rozkładu temperatur. Kamery termowizyjne są wyposażone w detektory czułe na fale podczerwone, które rejestrują promieniowanie cieplne emitowane przez obiekty i konwertują je na sygnał elektryczny. Następnie sygnał ten jest przekształcany w obraz, w którym różne temperatury są przedstawiane np. za pomocą kolorów lub odcieni szarości. Cieplejsze obszary zwykle są oznaczane barwami od żółci po czerwień (ciepłymi), natomiast chłodniejsze mają barwy od niebieskiej do fioletowej (zimnymi). Przykładowy obraz tego rodzaju pokazano na **fotografii 1**.

Dzięki obrazowaniu w podczerwieni możliwe jest obserwowanie obiektów i ich temperatury bez konieczności ich oświetlania światłem widzialnym. Termowizja znajduje szerokie zastosowanie

eprasa.pl aa6cced055

w różnych dziedzinach, takich jak wojsko, ratownictwo, przemysł, diagnostyka budowlana czy medycyna. W warunkach bojowych pozwala wykrywać przeciwników nawet w całkowitej ciemności, a w przemyśle umożliwia lokalizowanie przegrzewających się elementów instalacji. Dodatkowo, w medycynie służy do diagnozowania stanów zapalnych i innych problemów zdrowotnych na podstawie anomalii temperaturowych, a w okresie niedawnej pandemii kamery termowizyjne wykorzystywane były do wykrywania w tłumie osób o podwyższonej temperaturze ciała. Każda z tych aplikacji charakteryzuje się trochę innymi wymaganiami, w szczególności co do różnicy temperatur obrazowanego obiektu i otoczenia, co ma kluczowy wpływ na wybraną technikę obrazowania.

Istotne parametry

Istnieje szereg parametrów detektorów termicznych, które pozwalają na ich charakteryzację i porównywanie między sobą. Część z tych parametrów opisuje bezpośrednio warunki pracy detektora (temperatura pracy, która wpływa na chłodzenie, czy też zakres spektralny/zakres temperatur obrazowania), co wskazuje na sposób i miejsce jego implementacji, a część parametrów to wartości, które pozwalają nam określić jakość jego pracy, która przekłada się na jakość uzyskiwanego obrazu. Oczywiście finalnie istotnym parametrem jest również cena, która w wielu przypadkach dyktuje, jaki detektor możemy w naszej aplikacji zastosować, a jaki jest poza naszym zasięgiem.

Rozdzielczość przestrzenna (matryca detektora)

Rozdzielczość matrycy określa liczbę pikseli detektora w poziomie i pionie, np. 640×480 px lub 1280×1024 px. Im większa rozdzielczość, tym więcej szczegółów można zobaczyć na uzyskanym obrazie. Nowoczesne systemy stosują matryce o wysokiej rozdzielczości, co pozwala na precyzyjne obrazowanie nawet drobnych detali. Oczywiście na wielkość obrazowanych detali wpływ ma również zastosowana optyka, tak jak w zwykłej kamerze.

Wielkość piksela detektora

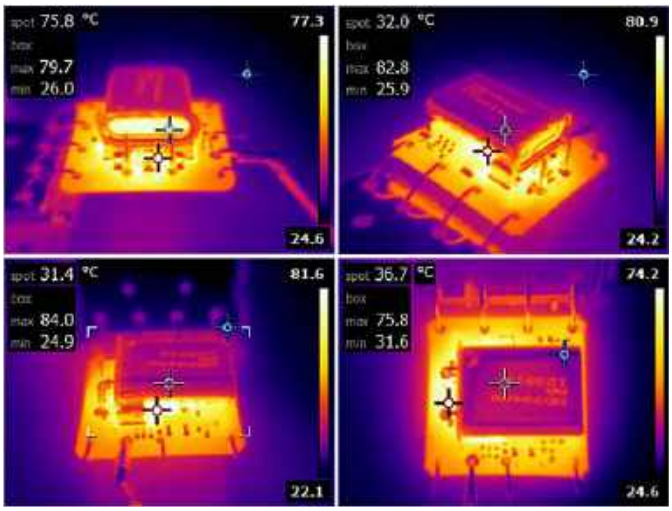
Rozmiar piksela wpływa na zdolność rozdzielczą kamery. Typowe wartości wynoszą od 12 μm do 25 μm dla nowoczesnych detektorów. Mniejsze piksele pozwalają na większą gęstość pikseli i lepszą jakość obrazu przy tej samej wielkości matrycy, jednakże kosztem zmniejszenia czułości. Parametr ten ma podobne znaczenie, jak w przypadku zwykłych kamer.

Zakres spektralny

Zakres spektralny określa, w jakim zakresie długości fal elektromagnetycznych detektor jest czuły. Typowe detektory pracują w zakresie podczerwieni długofalowej (LWIR: 8…14 μm) oraz średniej podczerwieni (MWIR: 3…5 μm). MWIR oferuje wyższą czułość w zakresie wysokich temperatur, natomiast LWIR jest bardziej użyteczne dla obrazowania w temperaturach zbliżonych do temperatury otoczenia/temperatury pokojowej. Parametr ten ma bezpośredni związek z zasadą działania termowizji i widmami emisji, pokazanymi na rysunku 1.

Zakres temperatury pracy i pomiaru

Zakres temperatury pracy oznacza, w jakich warunkach otoczenia detektor może działać, np. od –40°C do +80°C. Parametr ten ma głównie znaczenie dla aplikacji. Z kolei zakres pomiarowy określa temperatury, jakie można obrazować z pomocą danego sensora. Typowe kamery termowizyjne są w stanie obserwować obiekty o temperaturach od –40°C do +1500°C. Obserwacje skrajnych temperatur są o tyle problematyczne, że dla tych temperatur maksimum widma wychodzi już stanowczo poza zakres podczerwieni. Dla niskich temperatur już wspomniane –40°C odpowiada długości fali równej ok. 12,5 μm, czyli już na skraju zakresu



Fotografia 1. Przykładowy termogram pokazujący piecowy oscylator kwarcowy (źródło: Wikimedia Commons)

LWIR. Z drugiej strony widma (i zakresu temperatur) dla wysokich temperatur emisja powoli wchodzi w zakres światła widzialnego.

Rodzaj chłodzenia

Detektory dzielą się na chłodzone i niechłodzone. Chłodzone (np. InSb, MCT) oferują wyższą czułość i lepszą jakość obrazu, ale wymagają dosyć skomplikowanego systemu chłodzenia aktywnych elementów – matrycy sensora. Istnieją dwa podstawowe mechanizmy chłodzenia tego rodzaju detektorów – Stirlinga i Peltiera.

Detektory niewymagające chłodzenia (np. mikrobolometryczne) są znacznie tańsze, bardziej energooszczędne i mają dłuższą żywotność, ale są mniej czułe i są wolniejsze od swoich chłodzonych kuzynów.

Chłodzenie kriogeniczne (Stirlinga)

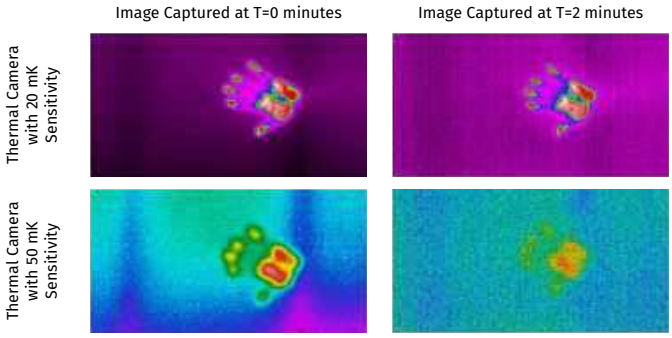
Jednym z najczęściej stosowanych systemów chłodzenia w chłodzonych sensorach termowizyjnych jest chłodzenie kriogeniczne oparte na silniku Stirlinga. Silnik ten działa na zasadzie sprężania i rozprężania gazu roboczego (np. helu), co pozwala osiągnąć bardzo niskie temperatury, często w zakresie 60…100 K (–213…–173°C). Takie chłodzenie jest niezbędne dla detektorów kwantowych, takich jak MCT (rtęć-kadm-tellur) czy InSb (antymonek indu), które wymagają niskiej temperatury, aby zmniejszyć szumy termiczne i zwiększyć czułość.

Główną zaletą tego systemu jest możliwość uzyskania bardzo wysokiej jakości obrazowania termalnego z czułością NETD poniżej 20 mK i dużą szybkością reakcji. Wadą jest wysoka cena, zwiększony rozmiar, ograniczona żywotność (kilka tysięcy godzin pracy silnika) oraz konieczność stosowania dodatkowej energii do zasilania systemu chłodzenia, co ogranicza mobilność urządzeń. Dodatkowo, chłodzenie elementów do temperatur kriogenicznych oznacza ryzyko kondensacji, które eliminuje się, umieszczając sensor w próżni, za okienkiem optycznym, co zwiększa dalej koszt i rozmiar rozwiązania.

Chłodzenie termoelektryczne (Peltiera)

Alternatywnym rozwiązaniem stosowanym w niektórych detektorach termicznych (np. kwantowych) jest chłodzenie termoelektryczne oparte na efekcie Peltiera. Moduły Peltiera transportują ciepło za pomocą półprzewodnikowych elementów termoelektrycznych, które generują różnicę temperatur pod wpływem przepływu prądu elektrycznego (efekt Seebecka). Temperatury uzyskiwane przy wykorzystaniu tego typu chłodzeniu są wyższe niż w przypadku układów z cyklem Stirlinga i zwykle mieszczą się w zakresie 150…250 K (–123…–23°C), co jednak w zupełności wystarcza do ograniczenia szumów w mniej wymagających sensorach.

eprasa.pl aa6cced055



Fotografia 2. Termogramy odcisku dłoni na chłodnym materiale, zebrane w czasie zero (po lewej) i po dwóch minutach (po prawej) sensorem z NETD równym 20 mK (u góry) i 50 mK (na dole). Widoczna jest różnica w ilości detali i kontraście cieplejszego śladu na zimnym tle (ilustracja za Teledyne FLIR, flir.com)

Największą zaletą tego systemu jest brak elementów ruchomych, co zwiększa niezawodność i wydłuża żywotność detektora w porównaniu do chłodzenia Stirlinga. Ponadto moduły Peltiera są bardziej kompaktowe i energooszczędne. Ich wadą jest mniejsza skuteczność chłodzenia oraz ograniczona zdolność do osiągania ultraniskich temperatur, co powoduje, że nie są odpowiednie dla najwyższej klasy sensorów wojskowych i naukowych.

Czułość termiczna (NETD – Noise Equivalent Temperature Difference)

NETD określa najmniejszą różnicę temperatury, jaką detektor jest w stanie zarejestrować. Wyrażana jest na ogół w milikelwinach (mK). Typowe wartości to od 30 mK do 80 mK dla nowoczesnych kamer termowizyjnych, ale najlepsze systemy mogą osiągać wartości nawet poniżej 20 mK. Niższa wartość NETD oznacza lepszą zdolność wykrywania drobnych różnic temperatur. Parametr ten podaje się, na ogół, dla temperatury 30°C lub 300 K.

NETD dobrze obrazuje przykład, pokazany na **fotografii 2**. W tym prostym eksperymencie obrazowany jest termiczny odcisk ciepłej dłoni na zimnym materiale. Różnica temperatur wprowadzona dotykiem nie jest wielka, a z czasem zanika, gdyż materiał stygnie, a temperatura rozkłada się równomierniej po całym materiale. W tym przypadku widać, że aby uchwycić detale odcisku, konieczny jest detektor z mniejszym NETD.

Przyjmuje się obecnie, że detektory z NETD poniżej 30 mK to najwyższa klasa sensorów. Parametr ten w zakresie od 30 do 60 mK to nadal wysoka jakość obrazowania. Kamery z NETD w zakresie od 60 do 80 mK uznawane są za nadal bardzo dobre, a obecnym standardem dla sensorów z niższej półki jest 200 mK.

Czas reakcji i częstotliwość odświeżania

Czas reakcji określa, jak szybko detektor może rejestrować zmiany temperatury. Chłodzone detektory kwantowe (np. InSb, MCT) mają bardzo krótki czas reakcji (rzędu mikrosekund), co pozwala na rejestrowanie szybko poruszających się obiektów. Mikrobolometry niechłodzone mają czas reakcji dłuższy, co może powodować rozmycie obrazu przy szybkim ruchu.

Z czasem reakcji powiązana jest częstotliwość odświeżania obrazu. Parametr ten określa, ile razy na sekundę aktualizowany jest obraz. Standardowe wartości to od 20 Hz do 60 Hz, ale w zastosowaniach szybkich, np. w wojsku czy nauce, stosuje się kamery o częstotliwości odświeżania dochodzącej nawet do 30 000 Hz.

Dynamika sygnału i szum detektora

Parametr ten określa określa, jak szeroki zakres temperatur może być rejestrowany jednocześnie bez utraty szczegółów obrazu. Istotnym parametrem jest również stosunek sygnału do szumu (SNR), który wpływa na jakość obrazu – im wyższy, tym mniej zakłóceń na obrazie termalnym.

Sensory i technologie

Na rynku dostępnych jest wiele rodzajów sensorów termowizyjnych. Odpowiedni dobór sensora do naszej aplikacji to już połowa sukcesu. Przyjrzyjmy się zatem najpopularniejszym na rynku technologiom i ich kluczowym cechom

Detektory piroelektryczne

Pierwsze sensory termowizyjne bazowały na detektorach piroelektrycznych i bolometrycznych – stosunkowo wolnych i oferujących niską rozdzielczość. Detektor piroelektryczny do termowizji działa w oparciu na efekcie piroelektrycznym – zmianie polaryzacji elektrycznej materiału pod wpływem temperatury. Gdy promieniowanie podczerwone pada na powierzchnię detektora wykonanego z materiału piroelektrycznego, np. tytanianu baru lub tantalanu litu, i dochodzi do zmiany jego temperatury, na jego powierzchni gromadzi się ładunek elektryczny. Ponieważ efekt piroelektryczny jest zależny od zmiany temperatury w czasie, detektory te wymagają modulacji sygnału – często poprzez mechaniczne przerywanie promieniowania za pomocą obrotowego dysku z otworami (tzw. choppera). W tradycyjnych zastosowaniach termowizyjnych detektory piroelektryczne były stosowane w układach skanujących, ale ich czas reakcji był ograniczony przez konieczność modulacji sygnału, co sprawiało, że nie nadawały się do dynamicznych obserwacji.

Typowe detektory piroelektryczne charakteryzowały się czułością w zakresie fal podczerwonych od 3 do 14 μm, co obejmuje pasmo termicznego promieniowania obiektów w temperaturach od około –50°C do +500°C. Ich rozdzielczość była jednak bardzo ograniczona – zazwyczaj matryce tych sensorów miały łącznie kilkanaście do kilkuset pikseli, co wymagało stosowania skomplikowanych układów optomechanicznych do uzyskania pełnego obrazu termicznego. Kluczową zaletą detektorów piroelektrycznych było to, że mogły działać w szerokim zakresie temperatur otoczenia bez konieczności aktywnego chłodzenia, co czyniło je stosunkowo prostymi i trwałymi. Ich wadą była jednak konieczność stosowania mechanicznego skanowania obrazu oraz mała szybkość rejestracji sygnału, co ograniczało ich zastosowanie w dynamicznych warunkach. Były one szeroko stosowane w pierwszych kamerach termowizyjnych już w latach 50. i 60. XX wieku. Obecnie detektory te nie są już stosowane w nowoczesnych kamerach termowizyjnych, ponieważ zostały zastąpione przez niechłodzone matryce mikrobolometryczne, które oferują znacznie lepszą rozdzielczość i umożliwiają rejestrowanie obrazu w czasie rzeczywistym. Mikrobolometry eliminują konieczność stosowania elementów ruchomych oraz modulacji sygnału, co znacząco zwiększa ich trwałość i niezawodność. Detektory piroelektryczne nadal znajdują zastosowanie w czujnikach ruchu na podczerwień (popularne czujniki ruchu PIR), używanych np. w systemach alarmowych czy automatycznym sterowaniu oświetleniem, ale ich rola w termowizji została praktycznie wyeliminowana przez nowsze technologie.

Detektory bolometryczne

Detektory bolometryczne używane są od lat 70. XX wieku. Mierzą one zmiany rezystancji cieplnej materiału pod wpływem pochłoniętego promieniowania podczerwonego. Sensory te są bardziej czułe niż piroelektryczne, ale w oryginalnych realizacjach miały równie niską rozdzielczość i wymagały chłodzenia kriogenicznego, co sprawiało, że były duże i kosztowne. Na dzień dzisiejszy ta technologia nie jest stosowana, ale warto ją wymienić, gdyż jest podstawą dla późniejszych, bardziej zaawansowanych sensorów.

Mikrobolometry

Niechłodzone sensory, takie jak mikrobolometry, stały się standardem w zastosowaniach cywilnych i komercyjnych. Bazują na materiałach zmieniających oporność elektryczną w zależności od temperatury, np. tlenku wanadu (VOx) lub amorficznym krzemie (a-Si).

eprasa.pl aa6cced055

Ich zaletą jest niższy koszt i brak potrzeby chłodzenia, co pozwala na miniaturyzację i łatwą integrację z innymi systemami. Mają jednak niższą czułość w porównaniu do chłodzonych detektorów, wykazują też dłuższy czas reakcji.

Inne współczesne sensory

Obecnie na rynku dominują dwie główne grupy sensorów: detektory chłodzone i niechłodzone. Jakkolwiek jest to podział trochę sztuczny i wynikający z typowych warunków aplikacji, a nie fizycznej zasady działania sensora, ale doskonale sprawdza się przy dobieraniu elementów do naszych konstrukcji.

Chłodzone sensory działają na bazie detektorów kwantowych, takich jak MCT (rtęć-kadm-tellur), InSb (antymonek indu) czy QWIP (fotodetektory z kwantowymi studniami). Te sensory zapewniają bardzo wysoką czułość i szybkość reakcji, przez co są wykorzystywane w zastosowaniach wojskowych, naukowych i przemysłowych. Jednak wymagają skomplikowanego chłodzenia do temperatur rzędu 77 K (temperatura ciekłego azotu) lub niższych, aby zmniejszyć ich poziom szumów termicznych. Zwiększa to ich koszt i zmniejsza trwałość systemu. Przekłada się to również na cenę i wielkość takich rozwiązań, co ogranicza ich stosowanie w niektórych aplikacjach.

Sensory MCT

Detektory termowizyjne oparte na rtęci-kadmie-tellurze (MCT) należą do najczęściej stosowanych, chłodzonych sensorów w zaawansowanych systemach termowizyjnych. Materiał ten jest wyjątkowy, ponieważ jego pasmo wzbronione można dostosować poprzez zmianę proporcji kadmu do pozostałych składników stopowych, co pozwala na dostosowanie zakresu pracy detektora do różnych zakresów spektralnych – od średniej podczerwieni (MWIR: 3…5 μm) do długofalowej podczerwieni (LWIR: 8…14 μm). Osiągają bardzo wysoką czułość termiczną, z wartościami NETD poniżej 20 mK. Sensory MCT są dość szybkie i osiągają prędkość obrazowania do 1000 fps.

Sensory InSb

Detektory oparte na InSb (antymonek indu) są niezwykle szybkie i charakteryzują się wyjątkowo wysoką czułością w zakresie średniofalowej podczerwieni (MWIR: 3…5 μm). Są szeroko stosowane w systemach śledzenia celów, obrazowania hiperspektralnego i innych aplikacjach wymagających szybkiej reakcji. Ich główną zaletą jest bardzo wysoka czułość i niezwykle krótki czas odpowiedzi na zmiany promieniowania, dzięki czemu mogą rejestrować szybkie wahania temperatury i poruszające się obiekty. Sensory InSb należą do najszybszych na rynku i pozwalają na obrazowanie z częstotliwością ponad 1000 fps (w niektórych trybach pracy wybrane kamery oferują nawet ponad 3000 fps). Są jednak ograniczone do zakresu MWIR, co sprawia, że nie są idealnym wyborem do zastosowań w warunkach dużej wilgotności lub w obrazowaniu na sporych odległościach (woda – także para wodna – pochłaniają podczerwień z zakresu MWIR). Osiągają NETD na poziomie 15…25 mK.

Sensory QWIP (fotodetektory ze studniami kwantowymi)

Detektory QWIP (Quantum Well Infrared Photodetectors) to zaawansowana technologia wykorzystująca półprzewodnikowe studnie do detekcji promieniowania podczerwonego, głównie w zakresie długofalowej podczerwieni (LWIR: 8…12 μm), ale z uwagi na fakt, iż pasmo wzbronione studni kwantowych można dosyć łatwo kształtować za pomocą ich geometrii, można dostroić ich pasmo pracy do wymagań danej aplikacji.

Główną zaletą technologii QWIP jest wysoka jednorodność matryc detekcyjnych, co umożliwia tworzenie kamer o bardzo dużej rozdzielczości (np. 1024×1024 piksele i większe). Jednak detektory QWIP mają niższą czułość termiczną w porównaniu do MCT i InSb, co oznacza, że wymagają dłuższego czasu integracji sygnału, aby uzyskać wysokiej jakości obraz. Sensory te charakteryzują się NETD na poziomie 25...50 mK. Z uwagi m.in. na dłuższy czas integracji sensory te oferują na ogół możliwość pracy z odświeżaniem do ok. 120 fps.

Ich największą przewagą nad innymi sensorami jest duża rozdzielczość oraz możliwość łatwego dostrojenia do konkretnych długości fal podczerwonych, co czyni je szczególnie przydatnymi w obrazowaniu hiperspektralnym i zastosowaniach specjalistycznych.

Sensory przyszłości

Obecnie prowadzone są prace nad nowymi technologiami, które mają poprawić czułość i rozdzielczość obrazowania termowizyjnego przy jednoczesnym obniżeniu kosztów i zużycia energii. Jednym z kierunków rozwoju są nanomateriały, takie jak grafenowe sensory podczerwieni, które mogą działać w szerokim zakresie spektralnym bez potrzeby chłodzenia. Badania nad detektorami opartymi na kropkach kwantowych oraz metamateriałach również wskazują na możliwość stworzenia bardziej kompaktowych i energooszczędnych sensorów.

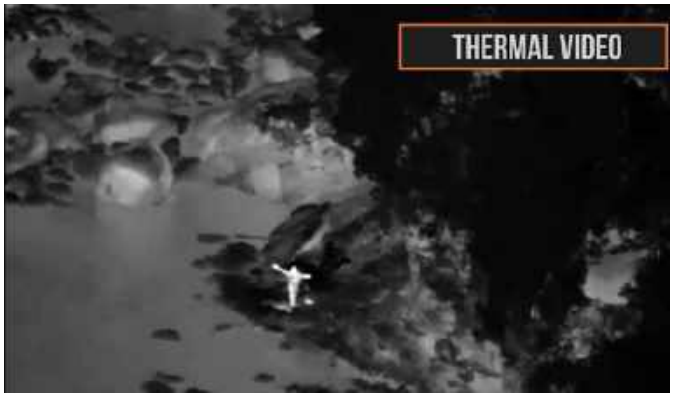
Innym obiecującym kierunkiem są sensory wykorzystujące zjawiska fotonowe i plazmoniczne, które pozwalają na bezpośrednią konwersję promieniowania podczerwonego na sygnał elektryczny z dużą szybkością i precyzją. W przyszłości mogą powstać ultraczułe kamery termowizyjne wielkości smartfona, zdolne do działania bez potrzeby aktywnego chłodzenia, co znacząco poszerzy ich zastosowania w medycynie, przemyśle i elektronice użytkowej.

Aplikacje termowizji

Termowizja znajduje szerokie zastosowania m.in. w serwisowaniu układów elektronicznych, kontroli jakości produkcji czy badaniach nad efektywnością energetyczną urządzeń. Urządzenia termograficzne w połączeniu z innymi metodami pomiarowymi mogą stanowić kluczowe narzędzie dla inżynierów i elektroników, pozwalające na szybsze i dokładniejsze wykrywanie usterek. W tej części artykułu przyjrzymy się niektórym praktycznym zastosowaniom kamer termowizyjnych oraz metodom analizy uzyskiwanych obrazów, które mogą usprawnić codzienną pracę elektroników.

Obserwacje otoczenia

Termowizja znajduje liczne zastosowania w obserwacji otoczenia, umożliwiając detekcję obiektów i organizmów emitujących ciepło, nawet w całkowitej ciemności czy w trudnych warunkach pogodowych. Kamery termowizyjne są powszechnie stosowane w systemach wojskowych i ratowniczych, gdzie pozwalają na wykrywanie ludzi, zwierząt czy pojazdów niezależnie od widoczności optycznej. Wykorzystywane są także przez np. straż graniczną czy w ochronie



Fotografia 3. Zdjęcie z kamery termowizyjnej zamontowanej na śmigłowcu poszukiwawczym. Widoczna jest sylwetka człowieka, który zgubił się na szlaku (źródło: Trap and Trigger Ltd.)

eprasa.pl aa6cced055

infrastruktury krytycznej, gdzie standardowe kamery mogą być niedostatecznie nieskuteczne. Na **fotografii 3** pokazano przykładowy kadr z kamery śmigłowca SAR (Search And Rescue), który prowadził misję poszukiwawczą zagubionego turysty.

W myślistwie i obserwacji przyrody termowizja pozwala na śledzenie zwierząt nocnych oraz monitorowanie populacji w ich naturalnym środowisku. Często stosowane są również celowniki termowizyjne do broni myśliwskiej. Dodatkowo systemy monitoringu termowizyjnego są stosowane w miastach do nadzorowania ruchu drogowego czy wykrywania pożarów w obszarach leśnych i przemysłowych.

Obserwacje Ziemi

W obserwacji satelitarnej Ziemi termowizja odgrywa istotną rolę w monitorowaniu zmian klimatycznych, wykrywaniu anomalii geotermalnych oraz analizie powierzchni planety. Satelity wyposażone w kamery termowizyjne dostarczają cennych danych o rozkładzie temperatur na powierzchni lądów i oceanów, co pozwala na śledzenie wzorców pogodowych, np. prądów oceanicznych czy frontów burzowych. Wulkanolodzy używają termowizji do monitorowania aktywności wulkanicznej, identyfikowania miejsc zwiększonego wypływu lawy oraz analizowania zagrożenia erupcjami. W rolnictwie obrazowanie termiczne pomaga w ocenie zdrowia roślin i wykrywaniu obszarów niedoboru wody, co umożliwia optymalizację nawadniania i zwiększenie plonów.

Przykładem takiej platformy może być HotSat-1, wystrzelony przez Europejską Agencję Kosmiczną w czerwcu 2023 roku. Na swoim pokładzie miał on sensor MWIR (pracujący w dwóch zakresach: 3,7…5 μm w nocy i 4,5…5 μm for za dnia). Rozdzielczość przestrzenna pomiaru wynosiła między 3,5 m a 6,8 m, w zależności od kąta obserwacji. Operator platformy nie podaje danych dotyczących innych danych sensora, ale chwali się czułością na poziomie 2 K, co przekłada się typowo na NETD na poziomie ok. 30 mK. Przykładowy obraz z tego satelity pokazano na fotografii 4. Niestety w grudniu 2023 roku satelita uległ awarii. W tym roku SatVu, operator tych satelitów, zamierza wystrzelić kolejne dwa – HotSat-2 i HotSat-3.

Analizy termiczne

Termowizja znajduje zastosowanie w przemyśle, medycynie i nauce. W laboratoriach i zakładach produkcyjnych umożliwia badanie rozkładu temperatury na powierzchni materiałów, co pozwala na ocenę procesów takich jak utwardzanie, spiekanie czy chłodzenie. Każdy z nas chyba widział, a przynajmniej słyszał o analizach efektywności energetycznej budynków. Analiza budynków przy użyciu termowizji pozwala na ocenę strat ciepła, wykrywanie nieszczelności izolacji oraz lokalizowanie mostków termicznych. Dzięki badaniom termowizyjnym można łatwo zidentyfikować miejsca, przez które ucieka ciepło zimą lub nadmiernie nagrzewające się powierzchnie latem, co umożliwia poprawę efektywności energetycznej budynków.

Kamery termowizyjne są także wykorzystywane do wykrywania zawilgoceń w ścianach, co jest szczególnie istotne przy diagnostyce problemów z wilgocią i pleśnią. W obiektach zabytkowych termowizja pozwala na nieinwazyjne badanie struktury murów, wykrywanie ukrytych elementów konstrukcyjnych czy analizę stanu zachowania tynków i fresków.

W medycynie termografia jest stosowana m.in. do diagnozowania stanów zapalnych, oceniania krążenia krwi oraz monitorowania rehabilitacji pacjentów po urazach, pozwalając na wczesne wykrywanie problemów zdrowotnych bez potrzeby inwazyjnych badań.

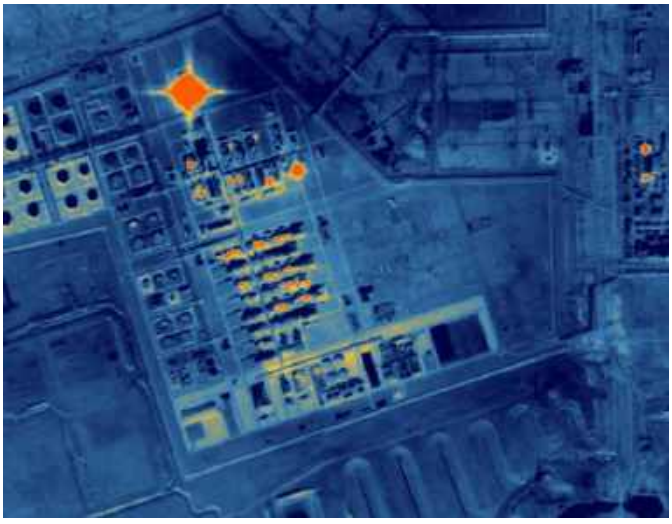
Projektowanie i serwis urządzeń

W elektronice kamery termowizyjne są używane do identyfikacji przegrzewających się komponentów na płytach PCB, co pomaga w optymalizacji projektowania urządzeń oraz w ich serwisie. Kamera termowizyjna umożliwia wizualizację rozkładu temperatury na powierzchni płytek drukowanych (PCB), komponentów i obudów urządzeń, co pozwala na wykrycie wielu potencjalnych problemów, jeszcze zanim doprowadzą one do uszkodzenia układu.

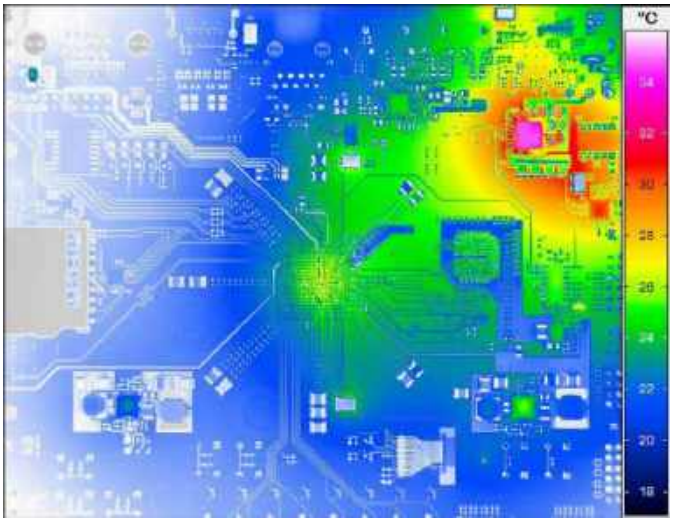
Na **fotografii 5** pokazano przykładowy termogram płytki drukowanej, z jakim można spotkać się np. w serwisie. Widoczny jest gorący element w górnym prawym narożniku płytki. Najczęściej w ten sposób widoczne są zwarcia, więc po zlokalizowaniu miejsca możemy np. usunąć feralny element. Z drugiej strony, jeśli mamy do czynienia np. z przegrzewającym się układem zasilania, to możemy domyśleć się, że zwarta jest linia zasilania, wychodząca z tego układu.

W przypadku prototypowania przegrzewanie się elementów wskazywać może na błędy w projekcie lub występowanie jakichś nieuwzględnionych zjawisk (wszak nie wszystko da się zasymulować). W połączeniu z symulacjami termicznymi, termowizja pozwala na optymalizację rozmieszczenia komponentów, projektowania ścieżek oraz doboru radiatorów i innych elementów chłodzących.

Jednym z kroków projektowania mozaiki ścieżek PCB, szczególnie w układach większej mocy, jest dobór szerokości ścieżek odpowiedniej do płynącego nimi prądu. Jeśli ścieżka będzie zbyt wąska, jej rezystancja będzie zbyt duża, co przełoży się na jej przegrzewanie z powodu nadmiernego spadku napięcia. Jest to oczywiście bardzo niepożądane zjawisko, dlatego jego szybkie wykrycie za pomocą

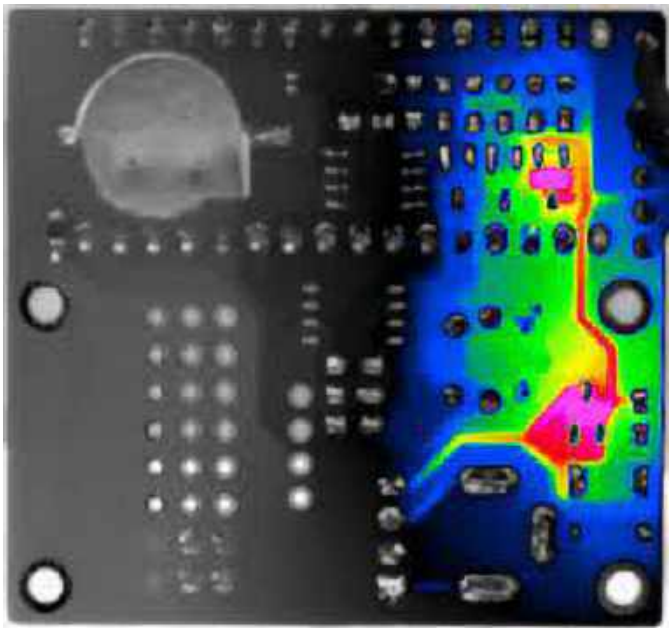


Fotografia 4. Archiwalny obraz z satelity HotSat-1 (źródło: SatVu/ESA)

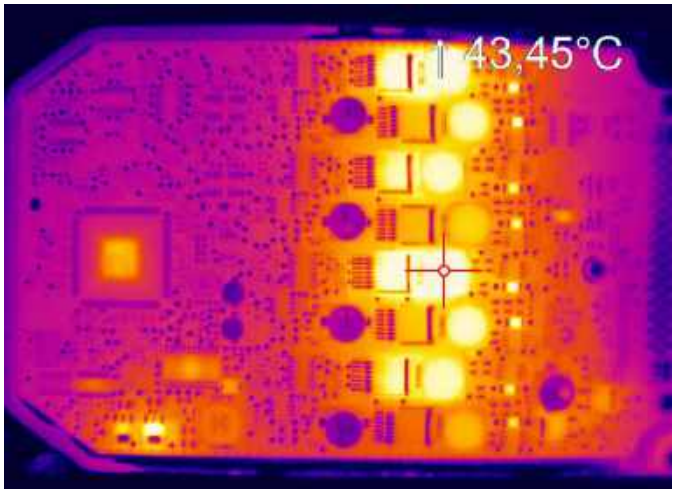


Fotografia 5. Termogram płytki PCB. Widoczny jest nagrzewający się element w górnym prawym narożniku PCB (źródło: InfraTec)

eprasa.pl aa6cced055



Fotografia 6. Przegrzewająca się ścieżka na płytce drukowanej (źródło: Workswell)



Fotografia 7. Gorąca przetwornica impulsowa diagnozowana za pomocą kamery termowizyjnej (źródło: Mangalam Electricals)

kamery termowizyjnej pozwala szybko poprawić projekt. Przykład takiej „gorącej ścieżki" pokazano na **fotografii 6**.

W przypadku układów zasilających, takich jak przetwornice impulsowe, kamery termowizyjne pozwalają ocenić jakość rozpraszania ciepła i dobrać odpowiednie materiały termoprzewodzące lub poprawić wentylację obudowy. Na **rysunku 7** pokazano termogram sekcji zasilania. Widoczne są nagrzane przetwornice w układzie.

Termowizja jest również niezwykle pomocna w diagnozowaniu błędów montażowych. Zimne luty, nieprawidłowe połączenia lub uszkodzenia wewnętrzne elementów mogą prowadzić do lokalnych anomalii termicznych. Obszary, które pozostają nienaturalnie chłodne lub nie wykazują zmian temperatury w czasie pracy, mogą świadczyć o braku przewodzenia prądu lub błędach w prowadzeniu ścieżek sygnałowych lub ich uszkodzeniu. Z kolei nadmierne nagrzewanie może wskazywać na zwarcia lub źle działające komponenty pasywne. Termografia pozwala wykrywać takie problemy bez konieczności mechanicznej ingerencji w układ czy podłączania go do sond testujących.

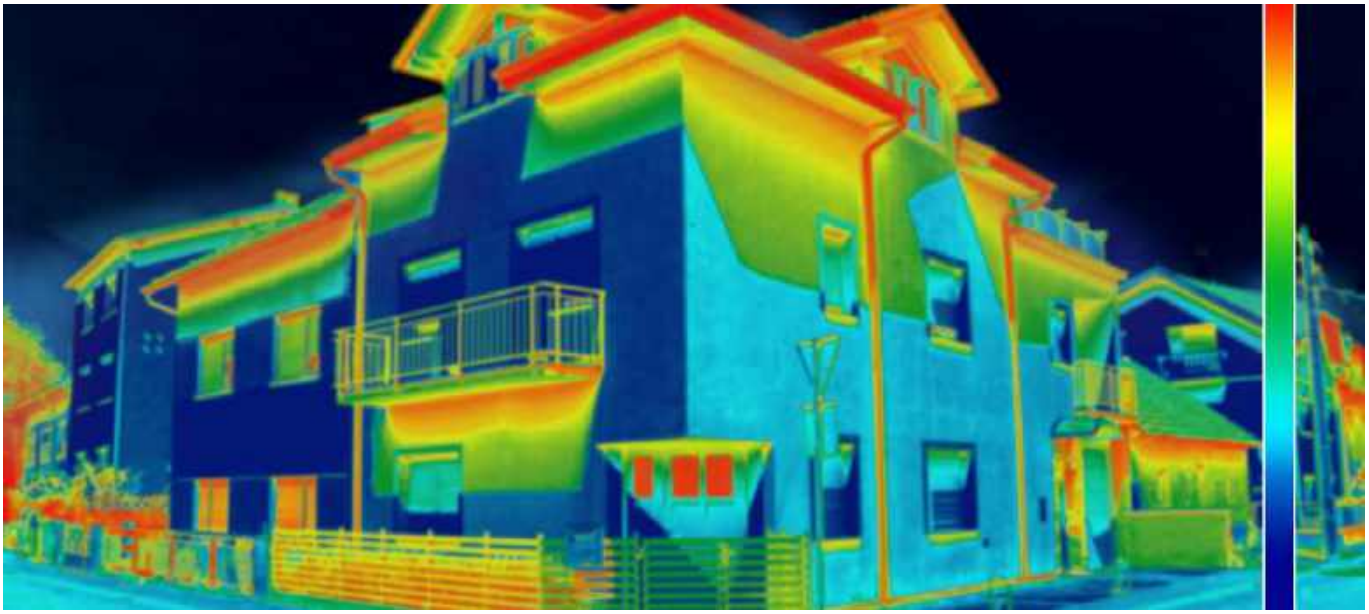
W warsztacie elektronika termowizja może również wspierać proces lutowania. Podczas lutowania elementów SMD i BGA kamera termowizyjna umożliwia obserwację rozkładu ciepła, co pozwala lepiej kontrolować profil nagrzewania i unikać przegrzewania komponentów. W przypadku reballingu układów BGA, gdzie lutowanie często odbywa się bez możliwości sprawdzenia postępu procesu, termowizja pomaga w ocenie, czy cały układ został równomiernie podgrzany i czy proces zakończył się powodzeniem. Jest to również skuteczna metoda kontroli jakości przy montażu seryjnym.

Podsumowanie

Na rynku dostępnych jest wiele kamer IR, przeznaczonych do obrazowania termicznego. W artykule opisaliśmy, jakie współcześnie stosuje się w nich technologie oraz jakimi kluczowymi parametrami opisuje się sensory kamer termowizyjnych. Taka wiedza pozwoli nie tylko ocenić sensory, jeśli konstruujemy urządzenie oparte na obrazowaniu w podczerwieni, ale również porównać kamery termowizyjne między sobą, jeśli będziemy stali przed wyborem urządzenia do własnego warsztatu.

Dzięki coraz większej dostępności kompaktowych i relatywnie niedrogich kamer termowizyjnych obrazowanie termiczne staje się dziś standardową techniką w wielu sektorach przemysłu, również w nowoczesnym warsztacie elektronicznym. Dla elektroników systemy obrazowania termicznego oferują nieocenione wsparcie na etapie projektowania, testowania i serwisowania układów elektronicznych.

Nikodem Czechowski, EP



eprasa.pl aa6cced055

Zaawansowane analizy sportowe dają przewagę nad konkurencją

Najnowsze rozwiązania służące do śledzenia rozgrywek sportowych – za sprawą przekształcania „surowych" danych o wynikach w przydatne informacje przy zastosowaniu przetwarzania brzegowego – pomagają sportowcom, trenerom i zespołom w pełnym wykorzystaniu ich potencjału.

W świecie poważnego, współczesnego sportu – często bardzo lukratywnym – granica między triumfem a porażką bywa cienka niczym włos. O wynikach i miejscu na podium zwykle decydują milisekundy lub milimetry. Ale nawet precyzyjne wskaźniki, takie jak prędkość czy odległość, wciąż dostarczają dość szczątkowych informacji – w najlepszym wypadku mówią nam tylko o tym, co się stało, a nie dlaczego i jak można to poprawić. Prawdziwe korzyści uzyskuje się dzięki zrozumieniu wyników sportowych na znacznie głębszym i bardziej złożonym poziomie.

Tradycyjne metody analizy wyników sportowych często opierają się częściowo lub wyłącznie na obserwacji manualnej i subiektywnej ocenie – czyli na tym, co jest czasami nazywane „próbą wzroku". Oko może być potężnym narzędziem, zwłaszcza gdy obserwatorem jest ekspert z rozległą wiedzą o danym sporcie, ale takie praktyki same w sobie mogą nie wystarczyć. Sama ilość danych generowanych podczas sesji szkoleniowej lub gry może utrudniać identyfikację wzorców i wydobycie miarodajnych spostrzeżeń przy jednoczesnym unikaniu błędów subiektywizacji lub niespójności, które mogłyby prowadzić do fałszywych bądź niedokładnych wniosków.

Podejście oparte na technologii może natomiast pomóc wyeliminować domysły i zawęzić margines błędu. W dzisiejszych czasach zaawansowana analityka przekształca nieprzetworzone dane we wnioski umożliwiające podjęcie działań – zarówno na żywo, jak i retrospektywnie – zapewniając zainteresowanym stronom ze świata sportu ogromne możliwości dalszego rozwoju, niezależnie od uprawianej przez sportowców dziedziny. Praktycznie nie ma bowiem ograniczeń co do ilości informacji, które mogą przynieść wymierne korzyści sportowcom, trenerom i naukowcom sportowym, a także drużynom, ligom, firmom medialnym, a na końcu także… samym widzom.

Ponieważ informacje to potęga, coraz bardziej zaawansowane analizy sportowe stają się niezbędne dla każdego, kto szuka przewagi konkurencyjnej. Najnowsze, bezprzewodowe rozwiązania służące do śledzenia wydarzeń sportowych zostały zaprojektowane specjalnie z myślą o gromadzeniu niestandardowych, dogłębnych danych i zapewnianiu do nich wglądu (w czasie rzeczywistym) w dążeniu do jednego, nadrzędnego celu – natychmiastowej i trwałej poprawy wydajności zawodników.

Wskaźniki, które mają znaczenie

Monitorowanie szybkości poruszania się sportowca lub rzucania piłki przez zawodnika jest przydatną, ale zgrubną miarą jego skuteczności – na przykład znakomity miotacz baseballowy może osiągać prędkość rzutu do 174 km/h. Tak naprawdę jednak dopiero połączenie dziesiątków innych punktów danych pozwala stworzyć unikalny profil umiejętności, techniki, mocy, wytrzymałości,

eprasa.pl aa6cced055

wydajności, regeneracji, czy wreszcie ogólnego rozwoju danej osoby. Ważnymi parametrami w różnych dyscyplinach sportowych mogą być np. ruchy ciała sportowca podczas wykonywania kluczowych czynności czy też pozycja, kąt rzutu, szybkość wirowania i tempo przyspieszenia kija lub piłki na różnych etapach gry.

Każdy sport charakteryzuje się unikalnymi parametrami, które mają znaczenie dla osiąganych wyników. W przypadku sportów indywidualnych, takich jak lekkoatletyka i kolarstwo, kluczowe wskaźniki mogą koncentrować się na sprawności biomechanicznej i precyzji technicznej. W przypadku sportów zespołowych, takich jak piłka nożna czy ręczna, typowymi parametrami będą m.in. sprint, przyspieszenie, opóźnienie i intensywność obciążenia fizycznego. Są to parametry, które pomagają ocenić wytrzymałość, szybkość, jakość ruchów i inne parametry zawodnika. Tymczasem wkład w grę i skuteczność każdego gracza można oceniać na podstawie wielkości bardziej specyficznych dla pozycji, takich jak wskaźniki powodzenia przy starciu, ukończonych podań lub celności strzału.

Technologia sprawia, że te wskaźniki stają się łatwo dostępne. Narzędzia takie jak czujniki inercyjne, urządzenia kotwiczące i usługi lokalizacyjne tworzą systemy, które mierzą różne aspekty sportu i aktywności niemal w czasie rzeczywistym – w tym lokalizację, ruch, prędkość, przyspieszenie, orientację zawodnika, siłę uderzenia piłki, kija czy krążka, a także parametry opisujące stan butów, kasków i innych elementów wyposażenia.

Duże ilości nieprzetworzonych danych mogą być analizowane za pomocą algorytmów działających bezpośrednio w czujniku lub wbudowanym procesorze bezprzewodowego układu SoC, znajdującego się w urządzeniu ubieralnym – jeszcze zanim informacje zostaną przekazane (przy użyciu łączności o niskiej latencji) do współpracującej aplikacji w smartfonie lub do sieciowego pulpitu nawigacyjnego użytkownika.

Śledzenie sportowców, piłek i sprzętu

Istnieją już różne rodzaje rozwiązań do analityki sportowej, przeznaczonych do różnych celów. Na przykład technologia śledzenia piłki dostarcza danych o trajektorii, rotacji i odbijaniu piłki, pomagając w pomiarze jakości i dokładności podań i strzałów, a także w ocenie pozycji w defensywie i ofensywie.

Z kolei technologia śledzenia zawodników zapewnia wgląd w dokładną pozycję, ruchy i aktywność samych sportowców, pomagając w pomiarze ich wyników, kondycji, obciążenia fizycznego i skuteczności podejmowanych decyzji taktycznych.

Co więcej, urządzenia ubieralne przymocowane do nadgarstka, klatki piersiowej lub innych części ciała pozwalają uzyskać znacznie głębsze spojrzenie na dane, potencjalnie ujawniając kluczowe informacje na temat zmienności częstości akcji serca sportowca (HRV), maksymalnego tempa zużycia tlenu podczas wysiłku fizycznego ($VO2_{maks}$), zmęczenia mięśni, tworzenia się kwasu mlekowego, osiąganej mocy wyjściowej i innych ważnych parametrów fizycznych. Projektanci urządzeń do ciągłego monitorowania poziomu glukozy (CGM) również zaczynają wprowadzać swoje technologie na rynek sportowy. Poziom glukozy sygnalizuje sportowcom czy potrzebują dodatkowej energii, aby móc kontynuować trening.

Takie spostrzeżenia mogą pomóc w lepszym zrozumieniu tego, jak sportowiec reaguje na trening, czy jest przetrenowany i czego potrzebuje, aby prawidłowo się zregenerować i zapobiec kontuzjom.

W przypadku gry w koszykówkę czujniki noszone na ciele i modele predykcyjne są już stosowane do śledzenia konkretnych wskaźników, takich jak równowaga ciała, aby wskazać prawdopodobieństwo kontuzji zawodnika w oparciu o jego indywidualne wzorce ruchowe i obciążenie fizyczne. Na przykład w piłce nożnej kluby na całym świecie zainwestowały spore środki finansowe w urządzenia ubieralne do śledzenia i monitorowania danych, takich jak zmęczenie zawodników podczas treningów, ustawienie podczas gry, pokonany dystans i seria udanych akcji.

Jednym z wyróżniających się przykładów jest seria urządzeń Apex z technologią firmy Nordic, używana przez wiele dużych, międzynarodowych organizacji sportowych, w tym przez angielskie kluby piłkarskie Premier League. Opracowane przez północnoirlandzką firmę STATSports (zajmującą się rozwiązaniami w zakresie śledzenia danych) urządzenie Apex jest osadzone w specjalnej, lekkiej kamizelce noszonej przez sportowca i zawiera szereg czujników, w tym wysoko czuły przyspieszeniomierz, żyroskop, magnetometr i rozszerzony system nawigacji satelitarnej (GNSS). Czujniki te dostarczają wyczerpujących danych, w tym o maksymalnej i średniej częstości akcji serca, całkowitym pokonanym dystansie, aktualnej i maksymalnej prędkości, liczbie sprintów, przyspieszeń, uderzeń, obciążeniu dynamicznym i równowadze kroków. Omawiane rozwiązanie korzysta z łączności Bluetooth LE do bezprzewodowej synchronizacji dokładnych i wiarygodnych parametrów sportowych ze smartfonami i tabletami, aby trenerzy mogli podejmować świadome decyzje podczas meczu lub sesji treningowej.

Potęga analityki predykcyjnej

Ostatecznym czynnikiem zmieniającym zasady gry w sektorze sportowym jest modelowanie predykcyjne i analityka oparta na danych, przeprowadzana w tzw. środowisku brzegowym (co oznacza, że podejmowanie decyzji opartych na danych odbywa się możliwie jak najbliżej samych czujników).

Gdy odpowiednie dane są nie tylko wykorzystywane wprost, ale także analizowane i interpretowane z użyciem algorytmów sztucznej inteligencji brzegowej i uczenia maszynowego (ML), analitycy sportowi mogą skorzystać z jeszcze dokładniejszych, spersonalizowanych wskazówek. Dzięki dodaniu sztucznej inteligencji (AI) i uczenia maszynowego (ML) sportowe urządzenie ubieralne (z tymi samymi czujnikami, co wcześniej) może teraz stale monitorować kilka parametrów wydajności jednocześnie, odkrywając istotne wzorce obecne w tym procesie, a niedostrzegalne przez człowieka dokonującego przeglądu oryginalnych danych wejściowych.

Dzięki analizie zarówno danych historycznych, jak i informacji z czujników w czasie rzeczywistym, modele statystyczne mogą pomóc w identyfikacji czynników, które mają duży wpływ na sposób, w jaki sportowcy się przygotowują, pracują i regenerują, nie wspominając o identyfikowaniu strategii przeciwników i ocenie ogólnej dynamiki zespołu. Omawiana technologia przenosi analitykę danych sportowych na zupełnie nowy poziom.

eprasa.pl aa6cced055

Integracja zaawansowanych układów SoC z funkcjami sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego pozwala urządzeniom brzegowym na samodzielne radzenie sobie ze znacznie większym obciążeniem obliczeniowym. Korzyści z przetwarzania brzegowego to m.in. oszczędność mocy (przez ograniczenie przepustowości i/lub częstotliwości nadawania), dłuższy czas pracy baterii oraz obniżenie kosztów związanych ze stosowaniem systemów big data, a także zwiększenie bezpieczeństwa i prywatności danych – oryginalne informacje pozostają bowiem na samym urządzeniu, co jest szczególnie cenne w sporcie zawodowym.

Nie ma wątpliwości, że opisywane technologie będą w coraz większym stopniu wpływać na współczesny sport. Według badania firmy Allied Market Research globalny rynek sztucznej inteligencji w sporcie ma osiągnąć wartość 19,2 miliarda dolarów w 2030 roku, przy zwiększeniu wartości skumulowanego rocznego wskaźnika wzrostu na poziomie 30,3% w latach 2021...2030 [1].

Układy SoC nowej generacji zoptymalizowane pod kątem sztucznej inteligencji brzegowej

Zapotrzebowanie na coraz bardziej zaawansowane rozwiązania analityczne w sporcie zwiększa jednocześnie popyt na bezprzewodowe układy SoC, które stanowią „serce" czujników i urządzeń ubieralnych. Obsługa łączności bezprzewodowej i nadzorowanie wielu czujników, które mogą generować potężne zbiory danych, to tylko jedna strona medalu. Równie ważne jest zrozumienie wszystkich tych danych w odpowiednim kontekście – i to na tyle szybko, aby umożliwić sprawne i skuteczne podejmowanie decyzji. Osiągnięcie tego celu jest możliwe przy zastosowaniu układu SoC o dużej mocy obliczeniowej oraz możliwości implementacji algorytmów uczenia maszynowego i fuzji czujników w środowisku brzegowym.

Algorytmy uczenia maszynowego dają możliwość radzenia sobie z dużą ilością informacji i wyodrębniania istotnych cech z obszernych zbiorów danych. Uzyskanie pełnego obrazu wymaga połączenia różnych strumieni danych z wielu czujników, a to wiąże się z koniecznością zastosowania układu SoC zdolnego do fuzji danych z czujników, aby mógł on filtrować informacje i określić, które punkty danych ze wszystkich sensorów odpowiadają tej samej aktywności, a które nie.

Mając na uwadze fakt, iż pomyślne wdrażanie zastosowań sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego w mikroukładach bezprzewodowych z zasilaniem bateryjnym wymaga potężnych możliwości obliczeniowych przy umiarkowanym poborze mocy, w nowej serii układów SoC serii nRF54 firma Nordic zaoferowała procesor Arm Cortex-M33 do zaawansowanych obliczeń przy najniższym możliwym poborze mocy. Takie rozwiązanie pozwala przetwarzać 10-krotnie większą ilość danych niż było to wcześniej możliwe w tym samym czasie. Alternatywnie można też 10-krotnie szybciej przetwarzać tę samą ilość danych, po czym wprowadzać urządzenie w stan uśpienia o ultraniskim poborze mocy, co w efekcie daje 10-krotne obniżenie zużycia energii.

Dzięki zastosowaniu sztucznej inteligencji brzegowej w układzie SoC serii Nordic nRF54 sportowe urządzenie analityczne będzie

pobierać mniej mocy, niż gdyby wysyłało wszystkie dane bezprzewodowo – a to pozwoli działać dłużej, nawet przy użyciu mniejszej baterii. A ponieważ dane są przetwarzane lokalnie w czasie rzeczywistym, nie ma potrzeby wykorzystywania przepustowości do wysyłania surowych danych, nie trzeba także tracić czasu na oczekiwanie na odpowiedź z chmury.

Opisane postępy technologiczne dobrze wróżą przyszłości sportu. Aby zdobyć przewagę nad konkurencją, czołowi sportowcy, trenerzy i zespoły sięgają po rozwiązania bazujące na przetwarzaniu brzegowym. Dzięki nowoczesnym systemom analizy danych można zyskać głębszy wgląd w sytuację na polu rozgrywek i wynieść sportowe osiągnięcia na wyższy poziom.

Thomas Søderholm
Wiceprezes ds. rozwoju biznesu
Nordic Semiconductor

Bibliografia

1. „Sztuczna inteligencja na rynku sportowym", https://www.alliedmarketresearch.com/artificial-intelligence-in-sports-market-A12905

Biografia autora

Thomas Søderholm jest wiceprezesem ds. rozwoju biznesu w Nordic Semiconductor. Posiada doświadczenie w dziedzinie elektroniki, a także tytuł magistra informatyki i elektroniki zdobyty na Norweskim Uniwersytecie Nauki i Technologii w Trondheim (Norwegia).

Po obronie pracy magisterskiej rozpoczął pracę w firmie Nordic w styczniu 1999 roku jako projektant cyfrowy, a kilka lat później przeszedł do działu sprzedaży jako regionalny menedżer sprzedaży w Europie. Od 15 lat pracuje w dziale rozwoju biznesu, a obecnie kieruje tymże zespołem w firmie Nordic. W swojej karierze w obszarach sprzedaży i rozwoju biznesu koncentrował się na branżach: sportowej, zdrowotnej i medycznej, w których ważnymi aspektami jest zrozumienie wymagań klientów i ścisła współpraca z zespołem ds. produktu w celu opracowania rozwiązań, które są w stanie sprostać wyzwaniom stawianym przez kontrahentów.

W wolnym czasie Søderholm lubi biegać, uprawiać crossfit, jeździć na nartach biegowych i snowboardzie oraz oglądać piłkę nożną.

eprasa.pl aa6cced055

Wyzwania związane z kompaktową spektroskopią UV w pomiarach jakości wody

W miarę sukcesywnego nasilania się globalnych obaw dotyczących jakości wody, ochrona tego niezbędnego do życia zasobu nabiera coraz większego znaczenia. Jakość wody wpływa na wiele aspektów naszego życia – w tym przede wszystkim na systemy żywienia, środowisko naturalne oraz nasze zdrowie. Niestety, czynniki takie jak rosnąca populacja, intensyfikacja rolnictwa czy też ogromna ilość produkowanych co roku odpadów przemysłowych, odbiły się negatywnie na czystości naturalnych źródeł wody. Aby sprostać wszystkim tym wyzwaniom, firma Hamamatsu Photonics opracowała zaawansowane minispektrometry UV, stanowiące innowacyjne rozwiązanie do monitorowania i zarządzania jakością wody, szczególnie w dwóch kluczowych obszarach: badaniu środowiska oraz monitorowaniu jakości wody pitnej.

Monitorowanie środowiska

Kiedy zbiornik wodny staje się zbyt bogaty w składniki odżywcze, takie jak azot i fosfor (zwykle w wyniku działalności człowieka), w rezultacie następuje redukcja poziomu tlenu, co stopniowo uśmierca organizmy wodnych. Problem ten stanowi nie lada wyzwanie dla instytucji działających na rzecz ochrony środowiska i naszego zaopatrzenia w żywność.

Monitorowanie jakości ścieków służy dwóm celom: wczesnemu wykrywaniu zdarzeń związanych z zanieczyszczeniem i ciągłemu zapewnianiu zgodności z obowiązującymi przepisami w zakładach oczyszczania. Na przykład szpitale i zakłady farmaceutyczne generują duże ilości skoncentrowanych ścieków antybiotykowych, które muszą zostać oczyszczone i przeanalizowane przed uwolnieniem do środowiska.

Fotografia 1. Widok modułów C16767MA i C12880MA

Monitorowanie wody pitnej

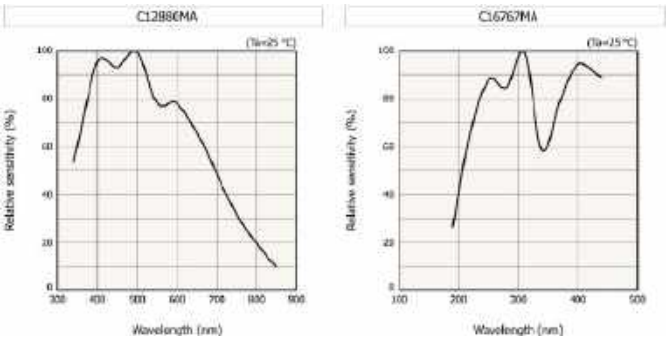
Zakłady wodociągowe zobowiązują się do spełniania norm dotyczących wody pitnej, które często pochodzą z wytycznych Światowej Organizacji Zdrowia.

Monitorowanie i uzdatnianie wody to dwa kluczowe aspekty systemów zarządzania jej jakością, służące: wykrywaniu zdarzeń zagrażających jakości wody oraz zapewnianiu kontroli operacyjnej w celu sprawnego wdrażania odpowiednich środków zapobiegawczych.

Konwencjonalne metody analizy wody

W monitorowaniu jakości wody zwykle stosuje się rutynowy program pobierania próbek, który obejmuje zbieranie i transportowanie ich do laboratorium w celu analizy. Jednak podejście to pozwala tylko częściowo ocenić zmiany jakości wody w czasie i może nie odzwierciedlać wystarczająco dokładnie krótkoterminowych wahań. Ponadto informacje zwrotne z laboratorium są często opóźnione, co utrudnia szybką reakcję na wszelkie incydenty zagrażające jakości wody. Obecnie metody oceny parametrów jakości wody

eprasa.pl aa6cced055



Rysunek 1. Charakterystyki spektralne modułów C12880MA (światło widzialne) i C16767MA (UV-Vis)

składają się głównie z pomiarów wielkości chemicznych, biologicznych i fizycznych. Główne metody chemiczne obejmują analizy: miareczkową i elektrochemiczną, wykorzystywane do określania stężeń zanieczyszczeń w warunkach laboratoryjnych. Jednak metody te wymagają dużego i kosztownego sprzętu oraz sporej liczby odczynników, co może prowadzić do wtórnego zanieczyszczenia.

Metody biologiczne obejmują analizę wzbogacania i technologię czujników biologicznych, ale charakteryzują się niższą dokładnością i czułością w porównaniu z innymi metodami. Wyniki uzyskane metodami chemicznymi i biologicznymi zazwyczaj nie są również dostarczane w czasie rzeczywistym.

Spektroskopia UV-VIS do monitorowania wody w czasie rzeczywistym

Metody fizyczne obejmują technologie zdalnego wykrywania widmowego w zakresie UV oraz w paśmie światła widzialnego. Spektrofotometria UV-Vis opiera się na korelacji między absorpcją określonych długości fal światła przez substancję, a jej stężeniem w badanej próbce.

Dzięki programowej kompensacji cząstek spektrofotometria generalnie nie wymaga filtracji próbek, jest wolna od odczynników i umożliwia szybkie pomiary jakości wody w czasie rzeczywistym. Ta metoda jest w ostatnich latach coraz częściej stosowana do szybkiej oceny jakości wody.

Spośród parametrów, które można mierzyć za pomocą spektrofotometrów UV-Vis, możemy zwykle wyróżnić barwę, stężenie azotanów, zawartość tlenu zubożonego (DOC), całkowitą zawartość tlenu (TOC) i współczynnik absorpcji widmowej SAC254 (czasami określany jako UV254). W ostatnich latach do monitoringu jakości wody przy użyciu spektrofotometrów UV-Vis [8] włączono dodatkowe parametry, takie jak pomiary rozpuszczonej materii organicznej [9], chemicznego zapotrzebowania na tlen w zbiornikach wodnych czy też obecność środków dezynfekujących w wodzie pitnej.

Detektory pojedynczej długości fali i sensory szerokopasmowe

W analizie wody stosuje się głównie dwa rodzaje czujników widmowych: czujniki pojedynczej długości fali (SW) i spektrofotometry. Czujniki SW składają się zazwyczaj z pojedynczego fotodetektora z filtrem pasmowo-przepustowym (fotodiody krzemowej lub fotodiody lawinowej) i źródła światła emitującego promieniowanie o docelowej długości fali. Spektrofotometry bazują natomiast na szerokopasmowych źródłach światła, siatkach dyfrakcyjnych (rozdzielających światło na jego składowe długości fal) i liniowych fotodetektorach matrycowych.

Fotografia 2. Moduł C12880MA w wersji ze złączem światłowodowym SMA

Przyrządy SW UV-Vis mogą mierzyć stężenia określonego parametru wody (najczęściej UV254, azotanów lub azotynów) na podstawie absorbancji wybranej pojedynczej długości fali. Dla porównania spektrofotometry UV-Vis mierzą absorbancję określonego pasma długości fal. Moduły spektrometryczne pozwalają zatem zdejmować złożone charakterystyki spektralne, które są następnie używane do określania parametrów jakości wody na podstawie wbudowanych algorytmów urządzenia pomiarowego.

Porównując wydajność czujników pełnospektralnych i SW można stwierdzić, że te ostatnie są zdolne do mierzenia zmian parametrów w określonych przedziałach czasu, ale mogą nie dokładnie kompensować efekt cząsteczkowy, a dysproporcje w wynikach są szczególnie widoczne, gdy porównamy uzyskane wartości ze standardowymi procedurami laboratoryjnymi i pomiarami. Spektrofotometry zapewniają natomiast lepszą kompensację cząstek i mogą być kalibrowane z większą dokładnością. Znacznie lepiej nadają się zatem do precyzyjnych zastosowań, takich jak monitorowanie wody i procesów uzdatniania w czasie rzeczywistym.

Kompaktowe spektrometry UV firmy Hamamatsu do monitorowania jakości wody w czasie rzeczywistym

Firma Hamamatsu ogłosiła niedawno wprowadzenie na rynek innowacyjnego spektrometru UV-Vis, zaprojektowanego by sprostać współczesnym wymaganiom w zakresie monitorowania jakości wody. To najnowocześniejsze rozwiązanie płynnie łączy

Fotografia 3. Zestawy uruchomieniowe z dwiema wersjami modułu spektrometru

eprasa.pl aa6cced055

Fotografia 4. Zestaw ewaluacyjny z modułem spektrometru i kompatybilną kartą akwizycji danych, wyposażoną w port USB

zaawansowaną technologię i użyteczność, zapewniając dokładną i wydajną analizę w czasie rzeczywistym.

Główne cechy i zalety

Optymalnie dobrany zakres długości fal

Modułowe spektrometry OEM UV-Vis marki Hamamatsu wykazują wyjątkową czułość w zakresie długości fal od 190 do 400 nm. Ten szeroki zakres pozwala na precyzyjny pomiar krytycznych parametrów jakości wody, umożliwiając tym samym kompleksowy wgląd w jej skład.

Niezrównana kompaktowość konstrukcji

Wyjątkowo kompaktowa obudowa omawianych spektrometrów ułatwia bezproblemową integrację z miniaturowymi (w tym przenośnymi) przyrządami pomiarowymi. Czujniki te można bez problemu wbudować bezpośrednio w rurociągi wodne, co doskonale podkreśla łatwość ich implementacji.

Szeroki zakres dynamiki

Spektrometry UV firmy Hamamatsu charakteryzują się niezrównanym zakresem dynamiki, zapewniając niezawodne pomiary nawet w dynamicznych środowiskach. Ta wyjątkowa cecha sprawia, że moduły idealnie nadają się do długotrwałej, niezawodnej pracy w implementacjach cechujących się sporą zmiennością warunków pomiaru.

Podwyższony stosunek sygnału do szumu (SNR)

Nowy spektrometr UV osiąga imponujący współczynnik SNR do 20 000, co umożliwia wczesne wykrywanie nawet najbardziej subtelnych wahań jakości wody i predykcyjne alarmowanie odpowiednich służb w celu podjęcia szybkich działań naprawczych.

Precyzyjne tłumienie światła rozproszonego

Dzięki skutecznemu ograniczaniu przesłuchów między odczytami natężenia promieniowania o różnych długościach fali, dokładność i rozdzielczość spektralna spektrometrów UV Hamamatsu może być porównywalna z odpowiadającymi parametrami oferowanymi przez stacjonarne spektrofotometry. Tak wysoka jakość uzyskiwanych charakterystyk widmowych umożliwia wiarygodną identyfikację i pomiary stężeń substancji znajdujących się w badanych próbkach.

Seria spektrometrów UV-Vis: idealnie dostosowana do Twoich potrzeb

Hamamatsu Photonics oferuje różnorodne, kompaktowe spektrometry UV-Vis – starannie wykonane w oparciu o najnowocześniejsze technologie mikroelektroniczne, aby sprostać zróżnicowanym wymaganiom różnych aplikacji. Głowica minispektrometru C16767MA to najnowsza wersja należącado rodziny modułów OEM, które można znaleźć na stronie:
https://www.hamamatsu.com/eu/en/product/optical-sensors/spectrometers/mini-spectrometer.html

Nowa głowica minispektrometru C16767MA

Model głowicy spektrometrycznej C16767MA to najbardziej kompaktowe, a jednocześnie wydajne rozwiązanie w projektach urządzeń przenośnych. Produkt idealnie nadaje się do bezpośredniej instalacji w rurociągach wodnych lub złożonych systemach monitorowania jakości wody.

Podstawowe parametry modułu C16767MA

- wymiary: 20,1 × 12,5 × 10,1 mm,
- waga: 5 g,
- zakres odpowiedzi widmowej: 190 do 440 nm,
- rozdzielczość widmowa: 5,5 nm (typ.),
- tłumienie światła rozproszonego: –25 dB
- wysoka czułość,
- obsługa całkowania synchronicznego (funkcja elektronicznej migawki),
- kompaktowa forma idealna do integracji z mobilnym sprzętem pomiarowym,
- współczynnik konwersji długości fali jest dostępny na arkuszu kontroli końcowej, dołączanym do produktu.

www.hamamatsu.com

eprasa.pl aa6cced055

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

Oszczędzanie energii w teorii i w praktyce (7)

Technologia Bluetooth od ponad dwóch dekad umożliwia bezprzewodową łączność między różnymi urządzeniami mobilnymi i akcesoriami od zestawów bezprzewodowych do telefonów komórkowych sprzed ery smartfonów, aż po bezprzewodowe klawiatury, mikrofony czy piloty do zdalnego wyzwalania aparatów cyfrowych. Bardzo popularnym zastosowaniem protokołu Bluetooth są wszelkiego rodzaju opaski sportowe, liczniki kroków czy smartwatche. Warto zatem poznać tę technologię, zwłaszcza w jej energooszczędnej formie, czyli Bluetooth Low Energy (BLE).

Bluetooth Low Energy: informacje podstawowe i specyfikacja

Bluetooth Low Energy jest technologią komunikacji bezprzewodowej opracowaną właśnie z myślą o urządzeniach noszonych przez człowieka lub będących w jego pobliżu. BLE nie jest kompatybilne z tradycyjnym protokołem Bluetooth, ale oferuje podobny zasięg przy znacząco mniejszym poborze energii. Obie technologie zwykle koegzystują w urządzeniach bazowych, jak smartfony, tablety czy laptopy, ale nie tylko. Bluetooth Low Energy ma zdefiniowany szereg profili specyficznych dla różnych aplikacji. Profile te definiują sposób organizacji danych w warstwie programowej, podczas gdy implementacja sprzętowa pozostaje stała i od nich niezależna. Inaczej mówiąc – BLE jest implementowane tak samo, jak USB: stała warstwa sprzętowa, różne implementacje programowe zależnie od potrzeb. Podstawowym profilem jest GATT (Generic Attribute Profile – profil ogólny atrybutów). Profil ten określa, w jaki sposób przesyłać niewielkie ilości informacji, zwane atrybutami, między urządzeniem a stacją bazową. Prawie wszystkie inne profile są pochodnymi GATT, stworzonymi do konkretnych zastosowań. Przykładem może być profil HOGP (HID Over GATT), pozwalający na użycie urządzeń USB HID w wariancie bezprzewodowym. Opierają się na nim myszki, klawiatury i kontrolery gier BLE. Jedno urządzenie Bluetooth Low Energy może implementować wiele profili, zależnie od rodzaju przekazywanych informacji.

Wyjątkiem od tych standardowych profili jest odmiana opracowana dla sieci typu Mesh – urządzenia BLE mają bowiem możliwość łączenia się z innymi sprzętami, a implementacja profilu MESH ustala sposób tworzenia sieci i przekazywania informacji między poszczególnymi węzłami. Z kolei MMDL (Mesh Models) to zbiór profili, w tym kontekście zwanych modelami, dedykowanych do specyficznych zastosowań. Ten sposób pracy może być szczególnie pożądany przy tworzeniu sieci czujników monitorujących większą przestrzeń, a awaria lub utrata zasięgu, nawet przez kilka z nich, nie powinna wpływać na łączność pozostałych urządzeń w sieci, chyba że awarii ulegnie jedyny „łącznik" między dwoma obszarami tej infrastruktury.

Oficjalna specyfikacja standardu BLE określa zasięg łączności na poniżej 100 m w otwartej przestrzeni, maksymalną moc

eprasa.pl aa6cced055

nadawania między 10 mW a 500 mW, maksymalny szczytowy pobór prądu poniżej 15 mA. Oczywiście zależy to od warunków propagacji i potrzebnego zasięgu. W praktyce większość urządzeń BLE codziennego użytku ogranicza zasięg do około 10 metrów w otwartej przestrzeni. Prędkość transmisji „w powietrzu" wynosi 128 kbps, 500 kbps, 1 Mbps lub 2 Mbps. Prędkość transferu dostępna dla urządzenia jest odpowiednio niższa ze względu na dodatkowe dane, takie jak preambuła czy suma kontrolna, więc przy prędkości „w powietrzu" 500 kbps użytkownik ma dostępną prędkość do 270 kbps. W przypadku 2 Mbps będzie to wartość 1,37 Mbps – jest to całkiem niezły wynik, wystarczający do implementacji głosowej łączności bezprzewodowej, wymiany danych z opaski sportowej, czy w końcu do grania na konsoli lub komputerze za pomocą bezprzewodowego kontrolera, w którym opóźnienia są zdecydowanie niepożądane. BLE oferuje też wbudowane w warstwę sprzętową szyfrowanie AES-128 w trybie CCM. Implementacja ta pozwala na jednoczesne potwierdzenie „tożsamości" urządzenia i szyfrowaną łączność. Dalsze szyfrowanie nie jest zatem konieczne, choć można je zaimplementować w warstwie aplikacji.

Przegląd układów z Bluetooth Low Energy

Rozważmy typowy scenariusz, w którym trzeba przekazać 1 kB danych z urządzenia noszonego przez użytkownika do jego smartfona. Policzmy średni pobór prądu i czas trwania łączności dla kilku różnych układów. Od razu pojawia się pewien problem: rezultaty wyszukiwania sugerują, iż niemal wszystkie układy BLE występują w komplecie ze zintegrowanym mikrokontrolerem i to głównie ARM. Teoretycznie więc powinniśmy uwzględnić użycie tego wbudowanego mikrokontrolera w naszych obliczeniach, ale nie każdy układ pozwala na zastosowanie owego procesora do aplikacji użytkownika nie związanych z łącznością Bluetooth. Dlatego też nasze obliczenia będą obejmować tylko kwestię łączności, zatem układ będzie aktywny tylko tyle czasu, ile potrzeba by nawiązać połączenie ze stacją bazować i przesłać 1 kB danych używając profilu GATT.

Istotną dla tych rozważań informacją jest moc nadajnika, a ta zależy od warunków propagacji. W przypadkiu, gdy nasze przykładowe urządzenie, czyli opaska sportowaz znajduje się na lewym nadgarstku, a odbiornik – czyli smartfon – w prawej kieszeni spodni, moc nadajnika może wynosić od 0 dBm do +4 dBm. Sytuacja jest zgoła inna, gdy smartfon jest z dala od ciała, które pochłania sygnał Bluetooth – powiedzmy, że mamy do czynienia z odległością dwóch metrów od urządzenia. Wtedy zależnie od warunków propagacji potrzebna moc może wynosić od –12 dBm do 0 dBm. W sytuacji, gdy smartfon jest w ręce użytkownika, wystarczy moc od –20 dBm do –10 dBm. Byłoby wskazane podanie średniego poboru prądu dla każdego z tych scenariuszy, jednakże producenci są innego zdania i podają maksymalny pobór dla 0 dBm oraz dla fazy odbioru danych, zatem uśredniony pobór zostanie podany tylko dla tych wartości.

Firmę STMicroelectronics reprezentuje w naszym zestawieniu mikrokontroler STM32WB15CC, należący do rodziny STM32WB, której głównym przeznaczeniem są wszelkiego rodzaju urządzenia związane z automatyką domową czy monitorowaniem stanu zdrowia. Transceiver będący częścią układów tej rodziny jest kompatybilny zarówno z Bluetooth Low Energy, jak i z protokołami ZigBee i Thread, choć wariant w układzie STM32WB15CC wspiera tylko Bluetooth 5.4 i Bluetooth Low Energy. Moduł radiowy ma też dedykowany, 32-bitowy mikrokontroler ARM Cortex M0+ przeznaczony do obsługi łączności, podczas gdy główny rdzeń, 32-bitowy mikrokontroler ARM Cortex M4, pozostaje nieaktywny. Układ pobiera maksymalnie 5,5 mA w trakcie nadawania (przy mocy 0 dBm), 4,5 mA w trakcie odbioru i tylko 510 nA w stanie oczekiwania z podtrzymaniem pamięci i z aktywnym RTC. W ramach ochrony komunikacji układ obsługuje szyfrowanie AES-128 dla protokołu Bluetooth, ale wspiera też dodatkowy mechanizm kryptograficzny z kilkoma metodami do wyboru oraz sprzętowy generator liczb losowych. Niewielki rozmiar mikrokontrolera oraz niski pobór prądu czynią go atrakcyjnym wyborem do urządzeń noszonych, właśnie takich jak właśnie smartwatche. A główny rdzeń z wbudowanymi FPU i DMA pozwala na tworzenie dość złożonych aplikacji o szerokim spektrum zastosowań.

Microchip ma w swojej ofercie zarówno same układy SoC z serii PIC32CX-BZ3, jak i gotowe moduły (WBZ35x) oparte o 32-bitowy mikrokontroler ARM Cortex M4F i zintegrowany moduł Bluetooth Low Energy 5.2/ZigBee 3.0. Moduły te mają zaimplementowany wspólny system radiowy, któregom moc nadawania jest regulowana w zakresie od –24 dBm do 11 dBm w krokach co 1 dBm. Czułość odbiornika, zależnie od trybu pracy i prędkości transmisji, osiąga od –95 dBm do –108 dBm. Przewagą użycia gotowego modułu zamiast samego układu jest to, że moduł oferuje certyfikaty związane z dopuszczeniem do użycia nadajnika radiowego, co redukuje koszty i upraszcza projekt. Wadą w pewnych wypadkach mogą być wymiary samego modułu, ograniczające rozmiar docelowego produktu – wynoszą one bowiem 15,5×20,7 mm (wariant WBZ351) oraz 13,4×18,7 mm (WBZ350). Warianty różnią się zastosowanym mikrokontrolerem, co wpływa na liczbę wyprowadzeń. Zwykle Microchip w swoich notach chwali się niskim poborem energii mikrokontrolerów i innych układów już na pierwszych stronach, ale w tym jednak przypadku trzeba sięgnąć po dokładne charakterystyki znajdujące się niemal na końcu noty. Spojrzenie w te wartości jest doświadczeniem rozczarowującym: pobór w stanie uśpienia wynosi 550 μA (typ.). W trybie Deep Sleep jest już lepiej: 1,9 μA (typ.), 60 μA (maks.). W trybie XDS (eXtreeme Deep Sleep) jest jeszcze lepiej, bo pobór prądu spada do 90 nA. Moduł łączności w trybie BLE pobiera 26 mA przy nadawaniu z mocą 0 dBm i 20 mA przy odbiorze z czułością –90 dBm.

W ofercie Microchip znajdziemy też układ ATBTLC1000-QFN – mikrokontroler ARM Cortex M0 z modułem BLE 5.0, zamknięty w obudowie QFN. Układ jest bardzo energooszczędny – w stanie Power Down pobiera 90 nA, a w stanie niskiego poboru prądu z timerem BLE i RTC – 2,01 μA, co jest bardzo dobrym wynikiem. W czasie odbioru sygnałów Bluetooth układ pobiera 5,24 mA, a w czasie nadawania z mocą 0 dBm wartość ta rośnie do 3,91 mA. Mikrokontroler taktowany jest zegarem 26 MHz (wartość mniejsza niż w innych układach) i ponadto oferuje 128 kB pamięci RAM, 128 kB pamięci programu oraz sprzętowe wsparcie AES-128 i SHA-256. Układ sprzedawany jest w obudowie QFN-32 o wymiarach 4×4 mm: Microchip dostarcza SDK z gotowym firmware BLE SIG, wsparciem podstawowych protokołów łączności (w tym GATT) oraz szereg gotowych profili przykładowych. Zintegrowany mikrokontroler obsługuje tylko łączność Bluetooth Low Energy, dzięki zaprogramowaniu wybranych parametrów i profili i wymaga zewnętrznego mikrokontrolera do dostarczania danych oraz sterowania trybem pracy. Pod tym względem działa więc jak moduły radiowe prezentowane w jednej z poprzednich części cyklu.

Ciekawym wyborem może być moduł ESP32 firmy Espressif Systems. Moduły te spotykane są często w wielu aplikacjach IoT, szczególnie w automatyce domowej. Mają jeden lub dwa mikroprocesory 32-bitowe Xtensa LX6 oraz koprocesor ULP (Ultra Low Power). Obsługa Wi-Fi i Bluetooth, w tym BLE, jest realizowana przez dwa niezależne od siebie moduły sprzętowe, ale współdzielące front-end RF. Łączność BLE może być realizowana nawet wtedy, gdy oba rdzenie są uśpione – warunkiem jest jednak dopilnowanie, by przynajmniej jeden z nich był w trybie „snu płytkiego". ESP32 ma bogaty zestaw wbudowanych peryferiów, wliczając w to też sprzętową obsługę algorytmów AES, SHA i RSA oraz sprzętowy generator liczb losowych. Zatem nic nie stoi na przeszkodzie, by cały projekt zrealizować na tym module. Jednakże pobór prądu jest znaczny, sam moduł Bluetooth pobiera 100 mA przy

eprasa.pl aa6cced055

Tabela 1. Czasy nadawania i odbioru przy wymianie 1 kB danych

Etap	Czas aktywności	
	TX	RX
Rozgłaszanie (Advertisement)		
Kanał 37	376 µs	
Nasłuch na kanale 37		6,29 ms
Kanał 38	376 µs	
Nasłuch na kanale 38		6,29 ms
Kanał 39	376 µs	
Nasłuch na kanale 39		6,29 ms
Kanał 37	376 µs	
Nasłuch na kanale 37		100 µs
Connection Request hosta		272 µs
ACK urządzenia	56 µs	
Transmisja danych w 5 pakietach:		
Pakiet 1 (251 bajtów danych)	1040 µs	
ACK hosta		156 µs
Pakiet 2 (251 bajtów danych)	1040 µs	
ACK hosta		156 µs
Pakiet 3 (251 bajtów danych)	1040 µs	
ACK hosta		156 µs
Pakiet 4 (251 bajtów danych)	1010 µs	
ACK hosta		156 µs
Pakiet 5 (20 bajtów danych)	116 µs	
ACK hosta		156 µs
Koniec połączenia (LL_TERMINATE_IND – 2 bajty)	8 µs	
ACK hosta		156 µs
Łącznie:	5,868 ms	20,178 ms

nadawaniu z mocą 0 dBm, i 90...100 mA w trybie odbioru. Moduł ogólnie pobiera sporo energii: nawet gdy pracuje tylko jeden rdzeń LX6 z częstotliwością 80 MHz, układ będzie i tak pobierał aż 40 mA. Łatwo zatem zauważyć, iż układ ten nie jest energooszczędny. Producent rekomenduje źródło zasilania o wydajności przynajmniej 500 mA. Dlaczego zatem jest wymieniony w zestawieniu? Głównie ze względu na jego popularność i niską cenę samych modułów oraz prostych płytek rozwojowych/prototypowych, jak choćby ESP-WROOM-32.

Firma NXP ma w swojej ofercie kilka interesujących rozwiązań. Najciekawszym z nich jest NHS52S04, ale poza krótkim prospektem reklamowym firma nie oferuje publicznie żadnej dokumentacji ani specyfikacji. Dlaczego ten układ byłby ciekawym elementem zestawienia? Głównie ze względu na jego podstawową cechę – energooszczędność. Niestety, nie dowiemy się, jak wypada pod tym względem układ NXP z rdzeniem ARM Cortex M33, gdyż prospekt reklamowy nie podaje żadnych informacji na temat poboru prądu, a Autor nie uważa za stosowne, by tak podstawowe informacje były traktowane przez producenta jako dane niepubliczne, czy wręcz poufne.

Texas Instruments ma w swojej ofercie kilka rodzin mikrokontrolerów, różniących się głównie rodzajem CPU. Jako przykładowy reprezentant tej firmy wybrany został układ CC2340R53, wyposażony w rdzeń ARM Cortex M0 i oferujący wsparcie standardów Bluetooth Low Energy 5.3, Zigbee i Thread. Przy nadawaniu z mocą 0 dBm układ pobiera 5,1 mA, a przy odbiorze – 5,3 mA. Sam mikrokontroler porzebuje 2,6 mA przy maksymalnej częstotliwości 48 MHz, 710 nA w trybie Standby i 166 nA w trybie całkowitego wyłączenia z wybudzaniem przez zmianę stanu pinu. CC2340R53 ma na pokładzie 512 kB pamięci Flash i 64 kB pamięci RAM, oferuje ponadto opcję aktualizacji firmware drogą radiową – jest to cecha pożądana w urządzeniach noszonych, takich jak opaski sportowe czy monitory tętna. Układ ma też szereg typowych peryferiów – moduły komunikacji szeregowej czy przetwornik ADC. Ciekawostką jest blok monitorujący napięcie zasilania i temperaturę, przeznaczony do testowania stanu baterii. Peryferium to wywołuje przerwanie, gdy temperatura lub napięcie przekroczą jeden z dwóch zadanych progów.

Analiza czasu transmisji danych i poboru energii

Do naszego zestawienia moglibyśmy wytypować więcej układów od innych producentów, ale powyższa lista stanowi adekwatną reprezentację tego, co jest dostępne na rynku. Następnym krokiem jest zatem dokładne policzenie, na bazie struktury pakietów BLE i czasów transmisji w obu kierunkach, średniego poboru prądu w czasie jednej sesji komunikacji. W naszych rozważaniach pomijamy etap parowania urządzenia z hostem i zakładamy idealne warunki łączności, czyli brak jakichkolwiek zakłóceń.

Pierwszym krokiem – od strony urządzenia – jest nadanie pakietu danych informującego o jego istnieniu. Ten etap nazywany jest Advertisement, a pakiet ma maksymalny rozmiar 47 bajtów, z czego 31 bajtów to dane użytkownika. W fazie rozgłaszania transmisja odbywa się zawsze z prędkością 1 Mbps co oznacza, że jeden pakiet Advertisement będzie trwał maksymalnie 376 µs. Każdy pakiet powinien być wysłany trzykrotnie na kolejnych kanałach „reklamowych": 37, 38 i 39. Interwał między kolejnymi transmisjami wynosi typowo 20 ms, ale może przyjmować wartości od 3,75 ms do 100 ms. Host, po odebraniu pakietu reklamowego, odpowiada wysyłając pakiet Connection Request zawierający 34 bajty, w tym m.in. adres do przesłania danych i interwał czasowy. Urządzenie potwierdza odbiór pakietu, i połączenie zostaje nawiązane. Pakiet Connection Request trwa 272 µs, a pakiet ACK: 56 µs. Specyfikacja BLE 5.3 podaje, iż maksymalny rozmiar pakietu z DLE (Data Length Extension) wynosi 260 bajtów, z czego 251 bajtów to dane. Po każdym nadanym pakiecie urządzenie oczekuje na pakiet ACK (14 bajtów) przez maksymalnie jeden interwał czasowy (CI) czyli od 7,5 ms do 4 s, zależnie od wynegocjowanego połączenia. W przypadku prędkości transmisji 2 Mbps daje to 1040 µs na pakiet danych i 56 µs na pakiet ACK. Ważna uwaga: im niższa prędkość transmisji, tym większy zasięg, bo efektywna czułość odbiornika rośnie wraz ze wzrostem długości pojedynczego znaku. **Tabela 1** zestawia i podsumowuje przykładowy scenariusz wraz z czasami transmisji i odbioru. Przyjęto założenie, że pakiet ACK zostanie wysłany 150 µs po odebraniu pakietu. Transmisję wieńczy pakiet kończący połączenie, trwający tylko 8 µs, bo zawierający dwa bajty.

Po zakończeniu sesji moduł łączności można wyłączyć. Warto zauważyć, że czas powtarzania „reklam" został podzielony na trzy mniejsze interwały, by każdy kanał miał czas na odebranie odpowiedzi z hosta. Przyjęto też założenie, że host nie musi zareagować od razu, stąd trzy nieudane próby. Przeliczmy to zatem na średni pobór prądu wybranych układów, nie uwzględniając niczego prócz zapotrzebowania samego modułu łączności Bluetooth. Wyniki zebrano w **tabeli 2**.

Rezultaty obliczeń są miażdżące dla układu ESP32 i raczej dyskwalifikują go w zastosowaniach energooszczędnych. Za to układ od firmy STMicroelectronics wypadł najlepiej. ATBTLC1000-QFN produkcji Microchip znalazł się na drugim miejscu, ale ten układ nie za bardzo daje się do wykorzystania w ramach czegoś więcej, niż tylko pośredniczenia w łączności. Lepszym od niego wyborem może być propozycja firmy Texas Instruments. Oczywiście do średniego, łącznego poboru prądu nie dodano zapotrzebowania energetycznego reszty układu, w trakcie pracy lub/i uśpienia. By wyniki były bardziej miarodajne, należałoby stworzyć kompletną aplikację i zmierzyć rzeczywisty pobór prądu.

eprasa.pl aa6cced055

Tabela 2. Szczytowy i średni pobór prądu przez różne układy wyposażone w moduł łączności Bluetooth Low Energy

Układ	Pobór TX (0 dBm)		Pobór RX		Pobór łączny
	Szczytowy	Średni	Szczytowy	Średni	
STM32WB15CC	5,2 mA	30,5136 µA	4,5 mA	90,801 µA	121,3146 µA
PIC32CX-BZ3	26 mA	152,568 µA	20 mA	403,56 µA	556,128 µA
ATBTLC1000-QFN	3,91 mA	22,94388 µA	5,24 mA	105,73272 µA	128,6766 µA
ESP32	100 mA	586,8 µA	90 mA	1816,02 µA	2402,82 µA
CC2340R53	5,1 mA	29,9268 µA	5,3 mA	106,9434 µA	136,8702 µA

Tabela 3. Dane wg tabeli 2 przy założeniu, że połączenie zostanie od razu nawiązane

Układ	Średni pobór TX	Średni pobór RX	Średni pobór łączny
STM32WB15CC	30,5136 µA	5,886 µA	36,3996 µA
PIC32CX-BZ3	152,568 µA	26,16 µA	178,728 µA
ATBTLC1000-QFN	22,94388 µA	6,85392 µA	29,7978 µA
ESP32	586,8 µA	117,72 µA	704,52 µA
CC2340R53	29,9268 µA	6,9324 µA	36,8592 µA

Jeśli przyjrzymy się czasom podanym w tabeli 1 i zestawimy je z wartościami z tabeli 2 łatwo zauważyć, iż rozsądnym wyborem byłoby wysyłać więcej danych, ale dużo rzadziej, gdyż najwięcej energii wydatkowane jest na nasłuch przy rozgłaszaniu urządzenia. Gdyby przy pierwszej transmisji pakietu Advertisement host odpowiedział, to pobór prądu wyglądałby jak w **tabeli 3**.

Różnice między układami zmniejszyły się nieco. Nadal jednak ESP32 wypada najsłabiej. W ramach niniejszego opracowania nie będziemy jednak przeliczać wpływu prędkości transmisji na pobór prądu, ani poboru dla większej liczby danych – zainteresowany Czytelnik może to zadanie wykonać samodzielnie.

Podsumowanie

Łączność oparta o Bluetooth Low Energy jest świetną alternatywą dla różnych innych trybów komunikacji bezprzewodowej, zwłaszcza jeśli uwzględni się fakt, że każdy niemal człowiek ma w swoim zasięgu przynajmniej kilka urządzeń mogących pełnić funkcję hosta, z którym urządzenie będzie się komunikować. Producenci dostarczają gotowych rozwiązań w formie kompletnych stosów BLE z przykładowymi profilami oraz wiele materiałów edukacyjnych ułatwiających start. Od strony hosta wszystkie systemy operacyjne, od mobilnych (Androida i iOS'a na smartfonach i tabletach), po Windows, macOS X, czy wiele odmian Linuksa (w tym te działające na komputerach jednopłytkowych) wspierają łączność Bluetooth (także BLE) i oferują gotowe API do aplikacji użytkownika. Realizacja własnego projektu staje się więc czymś relatywnie łatwym i dostępnym dla każdego, dlatego warto na etapie projektu rozważyć wybór układu, który poza wydajnym i energooszczędnym mikrokontrolerem zawiera też wszystko, co potrzebne do dodania tej funkcjonalności. W przypadku elektroniki noszonej przez użytkownika jest to wręcz rynkowy wymóg.

W następnej części naszego cyklu spojrzymy na inne rozwiązanie komunikacyjne, a przy okazji dokonamy praktycznego pomiaru, gdyż nota wybranego układu nie zawiera potrzebnych informacji.

Paweł Kowalczyk, EP

REKLAMA

eprasa.pl aa6cced055

Wydajność prądowa wyjść mikrokontrolerów ATtiny i ATmega

Ośmiobitowe mikrokontrolery mają ograniczone możliwości, za to ich cena jest bardzo atrakcyjna. Z tego powodu wciąż można je spotkać w wielu prostych urządzeniach. O jakich ograniczeniach tych układów z rodziny AVR trzeba koniecznie pamiętać? Na pewno jednym z nich jest wydajność prądowa wyjść GPIO.

Przykład z życia wzięty: cewka przekaźnika sygnałowego HFD27/005-H ma rezystancję 167 Ω, zatem pobiera pobiera prąd o natężeniu 30 mA przy zasilaniu nominalnym napięciem o wartości 5 V. Czy można ją zasilać wprost z wyjścia układu ATtiny13A, skoro nota katalogowa zezwala na maksymalny pobór prądu wynoszący 40 mA (dowód na **rysunku 1**)? Chcę możliwie ograniczyć liczbę elementów na płytce, więc pominięcie tranzystora wykonawczego to kuszący pomysł. Powiem więcej, w strukturę układu są przecież wbudowane diody zabezpieczające wejścia (**rysunek 2**), więc może i z nich dałoby się skorzystać? Niezależnie od tego, czy przekaźnik byłby podłączony między wyjście a masę, czy też między wyjście a linię zasilania +5 V, jedna z diod byłaby włączona do cewki antyrównolegle.

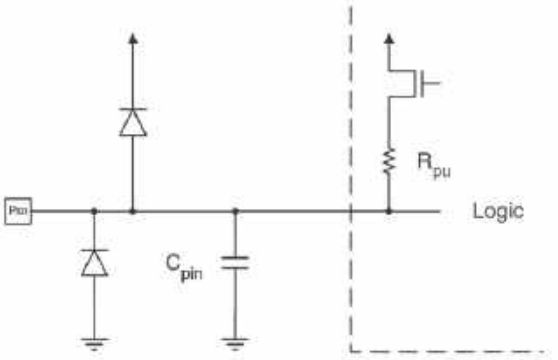
Pomysł w założeniach świetny, tylko jakoś nikt tego nie robi. Warto byłoby więc przyjrzeć się temu zagadnieniu nieco bliżej, bo być może przysłowiowy diabeł tkwi w szczegółach. A te można znaleźć, między innymi, na **rysunku 3**. Wczytując się w komentarze do tabeli można odkryć, że rzeczywistość wcale nie jest taka różowa, na jaką wskazywałaby (interpretowana pobieżnie) informacja z rysunku 1. W telegraficznym skrócie:

- wyprowadzenia PB0 i PB1 mają większą wydajność niż PB2, PB3 i PB4,
- spadek napięcia na wyprowadzeniach PB0 i PB1 w stanie wysokim może wynosić nawet 1 V przy zasilaniu napięciem 5 V i prądzie 20 mA.
- analogiczny parametr przy zasilaniu napięciem 3 V i prądzie 10 mA wynosi 0,7 V (23% napięcia zasilania!).
- w niskim stanie logicznym jest nieco lepiej: 0,8 V przy zasilaniu 5 V i poborze prądu 20 mA oraz 0,6 V przy 3 V i poborze prądu 10 mA
- prąd wypływający jednocześnie z wszystkich wyjść nie powinien przekraczać 60 mA,
- to samo dotyczy prądu wpływającego do wyprowadzeń wyjściowych,
- układ nie zapewnia możliwości dostarczenia (lub przyjęcia) prądu o natężeniu większym od tego, który był użyty w testach.

Nie są to zachwycające dane, praktycznie jakikolwiek przekaźnik elektromagnetyczny nie nadaje się do zasilania wprost z tych wyjść. Przykre jest również to, że nawet diody LED przy napięciu 3 V nie mogą być zasilane prądem o natężeniu większym niż 10 mA, co niekiedy jest jednak potrzebne. W dalszej części noty katalogowej znajdują się jeszcze bardziej szczegółowe dane dotyczące charakterystyki napięciowo-prądowej. Jedna z nich (dla napięcia zasilającego 3 V) znajduje się na **rysunku 4**. Fakt, iż nie została wykreślona dla prądu większego niż wspominane w tabeli z rysunku 3 dziesięć miliamperów jednoznacznie potwierdza, że na większy prąd nie ma co liczyć. Nawet producenci tranzystorów (czy innych podzespołów dyskretnych) zamieszczają na wykresach informacje wykraczające poza dopuszczalny obszar ich pracy, lecz tutaj tego nie ma.

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on any Pin except $\overline{RESET}$ with respect to Ground	-0.5V to V_{CC}+0.5V
Voltage on $\overline{RESET}$ with respect to Ground	-0.5V to +13.0V
Maximum Operating Voltage	6.0V
DC Current per I/O Pin	40.0 mA
DC Current V_{CC} and GND Pins	200.0 mA

Rysunek 1. Maksymalny prąd płynący przez wyjście mikrokontrolera



Rysunek 2. Diody zabezpieczające każde wyprowadzenie mikrokontrolera

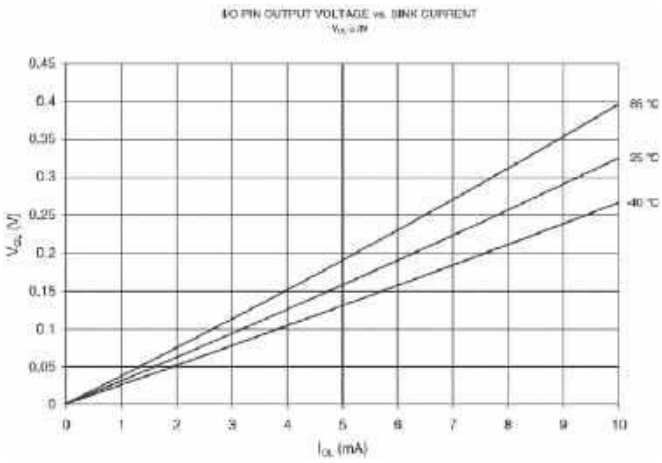
Table 18-1. DC Characteristics, T_A = -40°C to +85°C

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typ[1]	Max	Units
V_{OL}	Output Low Voltage, Pins PB0 and PB1 [5]	I_{OL} = 20 mA, V_{CC} = 5V			0.8	V
		I_{OL} = 10 mA, V_{CC} = 3V			0.6	V
	Output Low Voltage, Pins PB2, PB3 and PB4 [5]	I_{OL} = 10 mA, V_{CC} = 5V			0.8	V
		I_{OL} = 5 mA, V_{CC} = 3V			0.6	V
V_{OH}	Output High Voltage, Pins PB0 and PB1 [6]	I_{OH} = -20 mA, V_{CC} = 5V	4.0			V
		I_{OH} = -10 mA, V_{CC} = 3V	2.3			V
	Output High Voltage, Pins PB2, PB3 and PB4 [6]	I_{OH} = -10 mA, V_{CC} = 5V	4.2			V
		I_{OH} = -5 mA, V_{CC} = 3V	2.5			V

5. Although each I/O port can under non-transient, steady state conditions sink more than the test conditions, the sum of all I_{OL} (for all ports) should not exceed 60 mA. If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not ensured to sink current greater than the listed test condition.
6. Although each I/O port can under non-transient, steady state conditions source more than the test conditions, the sum of all I_{OH} (for all ports) should not exceed 60 mA. If I_{OH} exceeds the test condition, V_{OH} may exceed the related specification. Pins are not ensured to source current greater than the listed test condition.

Rysunek 3. Szczegóły charakterystyki napięciowo-prądowej wyjścia ATtiny13A wraz z komentarzem

eprasa.pl aa6cced055



Rysunek 4. Przykładowa charakterystyka napięciowo-prądowa wyjścia ATtiny13A

Symbol	Parameter	Condition		Min.	Typ.	Max.	Units
V_{OL}	Output Low Voltage[4] except RESET pin	I_{OL} = 20mA, V_{CC} = 5V	T_A=85°C			0.9	
			T_A=105°C			1.0	
		I_{OL} = 10mA, V_{CC} = 3V	T_A=85°C			0.6	
			T_A=105°C			0.7	V
V_{OH}	Output High Voltage[3] except Reset pin	I_{OH} = 20mA, V_{CC} = 5V	T_A=85°C	4.0			
			T_A=105°C	3.9			
		I_{OH} = 10mA, V_{CC} = 3V	T_A=85°C	2.1			
			T_A=105°C	2.0			V

Rysunek 5. Szczegóły charakterystyki napięciowo-prądowej ATmega328PB

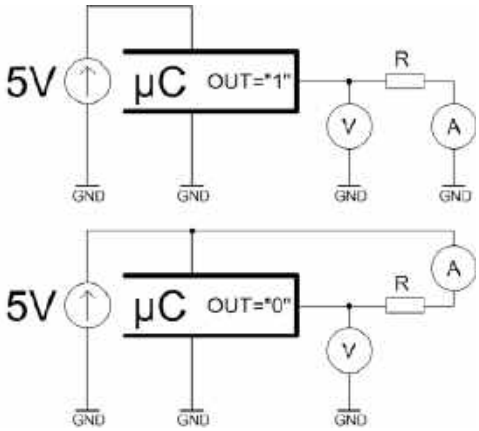
ATtiny13A jest już nieco starym układem, może z nowocześniejszym ATmega328PB (który bardzo lubię) będzie nieco lepiej? Dane widniejące na **rysunku 5** rozwiewają wątpliwości – parametry są takie same lub gorsze. Wprawdzie ta tabela prezentuje tylko informacje dla wysokich temperatur, lecz producenci zwykli chwalić się tym, co najlepsze, zatem na nic więcej tego układu nie stać… 20 mA przy zasilaniu napięciem 5 V oraz 10 mA przy 3 V i koniec.

Moje pytanie, na które nie mogę znaleźć odpowiedzi, brzmi: co ze spadkiem napięcia na tranzystorach obsługujących stopień wyjściowy w przypadku prądu większego niż pokazane w tabelach, ale mniejszego niż dopuszczalne 40 mA? Jak mówi stare porzekadło: kto nie wierzy, niechaj zmierzy. W niektórych zastosowaniach tych kilka miliamperów więcej może uchronić płytkę przed rozbudowaniem o kolejne elementy, które zajmą – niekiedy bardzo potrzebną – powierzchnię.

Mając zmontowany układ według schematu z **rysunku 6** utworzyłem **tabelę 1**. Podczas pomiarów starałem się nie przekroczyć dopuszczalnej wartości 40 mA, toteż ograniczyłem się do trzech punktów pomiarowych. Pomiary te miały na celu jedynie orientacyjne sprawdzenie, jak te układy się zachowują przy zasilaniu 5 V i prądach z przedziału 20…40 mA – nie chodziło o dokładne wyznaczenie charakterystyki. We wszystkich wypadkach układy znajdowały się w temperaturze pokojowej, zasilane napięciem o wartości 5,00 V pochodzącym z zasilacza laboratoryjnego.

Tabela 1. Wyniki pomiarów napięcia wyjściowego układów ATmega328PB i ATtiny13 przy różnych obciążeniach

Wyjście w stanie niskim – „0”				Wyjście w stanie wysokim – „1”				
ATmega328PB		ATtiny13A		ATmega328PB		ATtiny13A		
I [mA]	U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]	U [V]	R [Ω]
21	0,42	21	0,46	21	4,38	21	4,31	200
26	0,54	27	0,61	26	4,24	28	4,15	150
38	0,83	38	0,87	36	3,91	36	3,86	100



Rysunek 6. Schemat układu testowego

We wszystkich wypadkach układ ATtiny13A wykazywał większy spadek napięcia na tranzystorach obsługujących wyjście mikrokontrolera niż ATmega328PB. Spadki napięcia były jednak znaczące – przy prądzie rzędu 35 mA w stanie wysokim na tranzystorach odkładało się napięcie o wartości ponad 1 V, co stanowiło ponad 20% wartości napięcia zasilającego. Nieco lepiej było w stanie niskim, napięcie nie przekraczało 0,9 V. Mimo wszystko zasilenie cewki typowego przekaźnika o nominalnym napięciu 5 V jest możliwe, ale tylko dla wersji wysokoczułych, chociażby takich jak wspomniany już HFD27/005-H. Model ten załącza się już przy napięciu 4 V, pobierając przy tym prąd 24 mA, więc – zgodnie z przeprowadzonymi pomiarami – może być zasilany zarówno w podłączeniu „low-side”, jak i „high-side”, bez jakichkolwiek tranzystorów wykonawczych. Jednak już standardowe wykonanie tego przekaźnika ma cewkę o rezystancji 90 Ω, więc jego podłączenie spowoduje przekroczenie dopuszczalnego prądu wyjściowego.

Z uwagi na moc traconą w tranzystorach wykonawczych stopnia wyjściowego mikrokontrolera, jeszcze lepsze mogłoby być zastosowanie przekaźników bistabilnych. Przykładowo, RSM850B-6112-85-1005 produkcji krajowej firmy Relpol, ma dwie cewki o rezystancji 250 Ω, które mogą być zasilane napięciem nie mniejszym niż 3,75 V. Daje to możliwość zasilania ich wprost z wyprowadzeń mikrokontrolera, nawet bez wykraczania poza obszar pracy objęty katalogowymi charakterystykami.

Michał Kurzela, EP

REKLAMA

eprasa.pl aa6cced055

Stabilizatory wysokonapięciowe

Często projektuję układy lampowe lub inne wymagające wysokich napięć stałych. Do ich utrzymania w ryzach z reguły potrzebne są stabilizatory liniowe. Na rynku znajduje się nieco układów pełniących taką funkcję. Przyjrzałem im się z bliska i porównałem z tym, co stosuję na co dzień.

Przeglądając po raz kolejny przepastną ofertę dobrze znanej hurtowni z trzema literami w nazwie zobaczyłem układ o niewiele mówiącym symbolu LR8K4-G firmy Microchip. Jego opis brzmi High-Input Voltage, Adjustable, 3-Terminal, Linear Regulator i wygląda w swej aplikacji jak LM317 tyle, że obsługujący napięcia do 438 V – patrz **rysunek 1**. Fakt, iż jest dostępny w Polsce oraz kosztuje kilka złotych przykuł moją uwagę, bowiem nieczęsto te dwie rzeczy idą ze sobą w parze. Jego struktura wewnętrzna (**rysunek 2**) naprawdę wygląda jak LM317, tyle że może obsługiwać naprawdę wysokie napięcia. A do tego wbudowane zabezpieczenia, super!

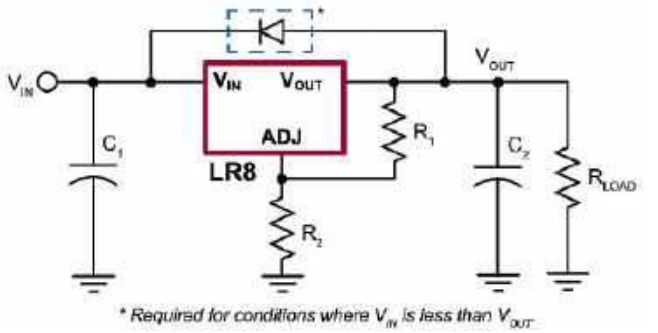
Ma on jednak dwie wady. Pierwsza: występuje w obudowie TO252, która słabo nadaje się do odprowadzania dużych ilości ciepła, bowiem jest przystosowana do montażu powierzchniowego. Owszem, można zastosować radiator SMD, lecz to nie to samo, co przysłowiowy „kawał blachy" o niskiej rezystancji termicznej. Inne wersje tego układu są jeszcze gorsze pod tym względem, bowiem mamy do wyboru LR8N8-G w obudowie SOT89 lub LR8N3-G w… kompletnie plastikowej obudowie TO92. Za drugą wadę mogę uznać stosunkowo niski prąd wyjściowy, gdyż może on wynosić nie więcej niż 10 mA. To ma jednak sens w zestawieniu z obudowami niezbyt skorymi do odprowadzania dużych ilości ciepła (poza TO252, chociaż osobiście wolę solidne TO247).

W porządku, a co w sytuacji, kiedy potrzebuję wyższego prądu wyjściowego, lecz nie chce mi się bawić w stosowanie dodatkowych tranzystorów pełniących funkcję wtórników napięciowych? Takowe można zastosować do LM317, więc i tutaj nie widzę przeciwwskazań, lecz niekiedy ilość miejsca na płytce stanowczo ogranicza moje zapędy w rozbudowywaniu układu. W zależności od wymaganego napięcia, można użyć dobrze wyglądającego TL783, który również aplikuje się jak LM317 – **rysunek 3**. Oferuje on prąd wyjściowy do 700 mA, czyli zaspokajający większość potrzeb typowych układów lampowych, za to różnica napięć między wejściem a wyjściem nie może przekraczać 125 V, więc... znów bez przysłowiowego szału. Można go dostać w obudowie TO220, co ułatwia chłodzenie.

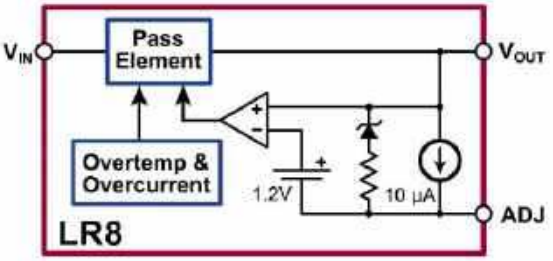
Zarówno ten, jak i poprzednio wspomniany układ, mają wyprowadzoną zewnętrzną pętlę sprzężenia zwrotnego ustalającą napięcie wyjściowe, co pozwala na dodanie kondensatora równolegle do R2. W mojej praktyce stosuję go bardzo często, bowiem znacząco tłumi on tętnienia napięcia wyjściowego. Można w ten sposób bardzo dobrze „odgrodzić się" stabilizatorem liniowym od kiepskiej przetwornicy impulsowej lub innego źródła napięcia o wyjątkowo paskudnej naturze (z punktu widzenia generowanych przezeń zakłóceń).

Bardzo ciekawym układem był dostępny w obudowie TO220 (yeah!) VB408, który umożliwiał stabilizację prądu o natężeniu do 40 mA oraz obsługiwał napięcie wejściowe do 400 V. Brzmi jak wymarzone rozwiązanie do zasilania przedwzmacniaczy lampowych. Niestety, nie jest już produkowany, nie doczekał się również następcy. Być może jakieś „leżaki magazynowe" da się skądś wydobyć, lecz to podejście do produkcji jednostkowej i okazjonalnej, a nie małoseryjnej i powtarzalnej.

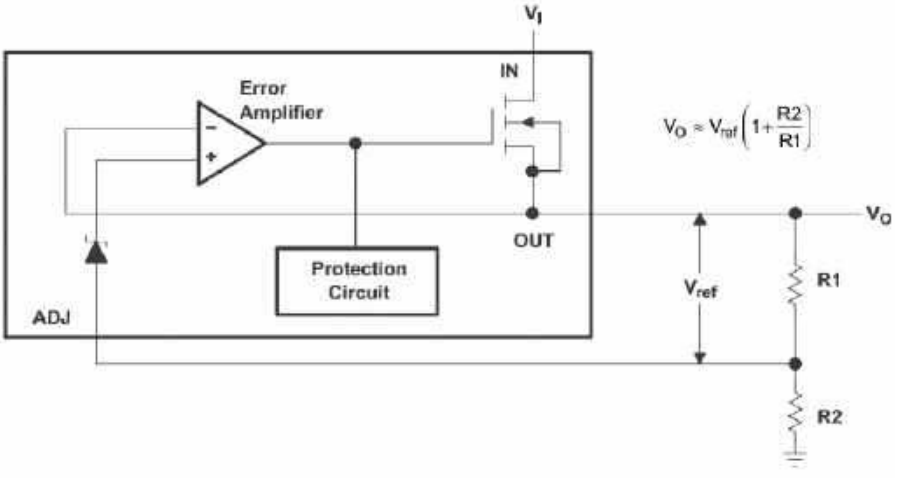
W swoich układach stosuję stabilizator jak na **rysunku 4** – to fragment większego układu. Nie jest on regulowany, lecz – umówmy się – z reguły w takich miejscach, jak wzmacniacz lampowy, nie ma konieczności dokonywania regulacji. Jest to klasyczny układ wtórnika napięciowego z ograniczeniem prądowym. Napięcie odniesienia ustalają cztery diody Zenera o napięciu przebicia 68 V połączone szeregowo, co daje wypadkowo około 272 V, z dokładnością kilku procent. Napięcie referencyjne jest filtrowane przez dwa kondensatory (C6 i C7) w celu zmniejszenia napięcia szumu śrutowego, które diody Zenera ochoczo generują. Użyłem kilku diod połączonych szeregowo aby rozdzielić moc strat, ponieważ do prawidłowej pracy wymagają one prądu o natężeniu nie mniejszym niż kilka miliamperów – stąd obecność rezystora R7.



Rysunek 1. Podstawowa aplikacja stabilizatora z serii LR8



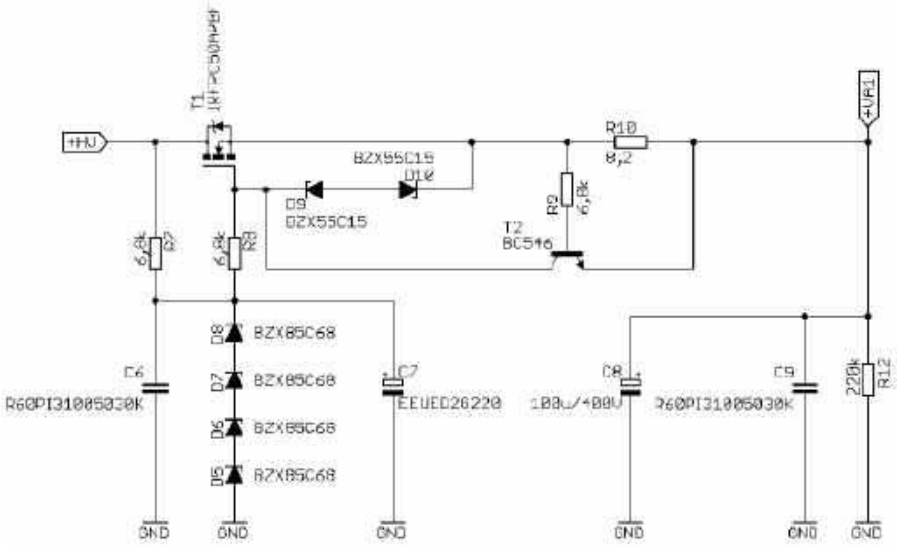
Rysunek 2. Schemat blokowy układu z serii LR8



Rysunek 3. Schemat aplikacyjny układu TL783

eprasa.pl aa6cced055

To napięcie jest „powtarzane” przez tranzystor MOSFET, przez co owe diody nie są w ogóle obciążane prądem jego bramki, zaś potencjał jego źródła jest o około 8…10 V niższy od tego, który ustaliły diody. Układom lampowym jest wszystko jedno, czy będą zasilane napięciem 274 V, czy 272 V, stabilizację stosuję głównie w celu poprawy filtracji tętnień napięcia anodowego. Diody Zenera D9 i D10 chronią tranzystor przez przebiciem jego dielektryka podbramkowego. Temu samemu służy też poniekąd układ ograniczający natężenie prądu wyjściowego, zawierający tranzystor T2, bowiem zmniejsza on napięcie bramka-źródło tranzystora T1 tak, aby na rezystorze R10 odkładało się napięcie nie większe niż około 0,6…0,7 V. Takie sytuacje zdarzają się przede wszystkim podczas ładowania kondensatorów w układzie, tuż po załączeniu zasilania.



Rysunek 4. Stabilizator dyskretny używany w moich układach

W czym mój układ jest gorszy od przedstawionych wcześniej stabilizatorów scalonych? Na pewno nie ma tak wysokiej dokładności ustalenia napięcia wyjściowego, brakuje mu również zabezpieczenia termicznego. Trudno też regulować napięcie wyjściowe, choć stosowny obwód da się dodać, na przykład z potencjometrycznym dzielnikiem napięcia referencyjnego z diod Zenera. Wersje scalone mają ponadto wyższy PSRR.

W porządku, a zalety? Na pewno wyższy prąd wyjściowy, limitowany tylko mocą strat w tranzystorze T1. Oraz to, co dla mnie – projektującego układy pod kątem produkcji seryjnej – jest najważniejsze: możliwość zastąpienia absolutnie każdego podzespołu na co najmniej kilka różnych sposobów. Mając w pamięci doświadczenia sprzed kilku lat, kiedy to kupowało się podzespoły będące w magazynie, a nie te najlepiej pasujące do danego układu, jest to bardzo cenna właściwość, gwarantująca możliwość utrzymania urządzenia w produkcji przez wiele lat.

Michał Kurzela, EP

Bibliografia:
- https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005399B.pdf
- https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl783.pdf
- https://www.mouser.pl/datasheet/2/389/CD00001704-95059.pdf

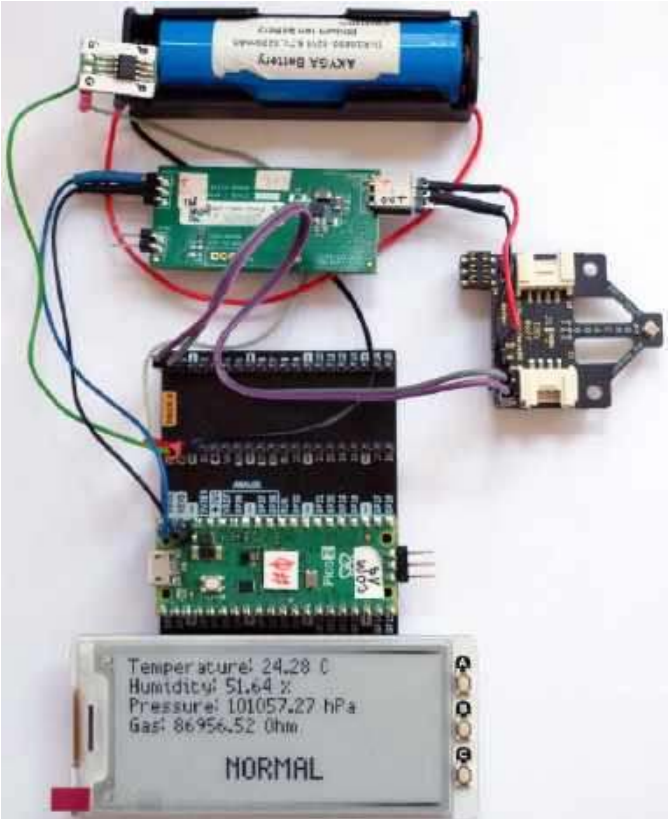
REKLAMA

eprasa.pl aa6cced055

Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (15)

Detekcja pożaru z płytką Raspberry Pi Pico 2 w języku Python

Celem projektu było opracowanie inteligentnego urządzenia wykrywającego pożar. Zostały zastosowane: język MicroPython, płytka RPi Pico 2 i czujnik BME688. Monitorowane parametry środowiska są na bieżąco przetwarzane przez płytkę RPi Pico 2 i pokazywane na wyświetlaczu e-paper. Do wykrywania pożaru został wytrenowany model regresji logistycznej w oparciu o sigmoidalny klasyfikator.



Wprowadzenie wymogu instalowania czujki dymu w – w zasadzie wszystkich – gospodarstwach domowych stwarza konieczność szerszego spojrzenia na zagadnienie. Bo właściwie co powinna monitorować czujka? Czy tylko dym? A co z samym pożarem, który praktycznie nie wytwarza dymu, tli się albo pali za ścianą?

W projekcie została podjęta próba zastosowania do tego zagadnienia nowoczesnego czujnika parametrów środowiska BME688 firmy Bosch [3]. Są doniesienia o użyciu go do wykrywania pożaru w lesie – czujnik reaguje na gazy wytwarzane przez ogień, czyli bada parametr, który nie jest uwzględniany w tradycyjnych czujkach dymu. Jest zatem nadzieja, że takie rozwiązanie może w istotny sposób poprawić jakość działania czujnika pożaru.

Udostępniona niedawno płytka Raspberry Pi Pico 2, o sporych możliwościach obliczeniowych, stwarza możliwość wykonania w sposób łatwy (i za rozsądną cenę) urządzenia typu proof-of-concept do wykonania eksperymentów.

Płytka RPi Pico2 firmy Raspberry Pi

Mikrokontroler RP2350 zawiera dwa rdzenie Arm Cortex-M33 @ 150 MHz z obsługą obliczeń zmiennoprzecinkowych i DSP oraz dwa rdzenie RISC-V Hazard 3 (także 150 MHz). Nowe płytki Pico 2 i Pico 2 W firmy Raspberry Pi (z procesorem RP2350A) są zgodne elektrycznie z płytkami Pico z pierwszej serii (Pico/Pico W). Dokładny opis jest zamieszczony w artykule „Płytka Raspberry Pi Pico 2/2 W z procesorem RP2350" [8].

Pico 2 ma wbudowaną przetwornicę buck-boost, która dostarcza napięcie 3,3 V (do zasilania RP2350 i obwodów zewnętrznych) z szerokiego zakresu napięć wejściowych (1,8 do 5,5 V). Daje to znaczną elastyczność w zasilaniu urządzenia z różnych źródeł, takich jak pojedyncze ogniwo litowo-jonowe lub 3 ogniwa AA połączone szeregowo. Najprostszym sposobem zasilania Pico 2 jest podłączenie kabla do gniazdka micro-USB. W nocie katalogowej Pico 2/2 W jest pokazane, jak poprzez dodanie tranzystora MOS można zrealizować potrzymanie bateryjne zasilania płytki [2].

Akumulator Li-Ion

W projekcie zastosowano akumulator Li-Ion AKY0926 typu 18650 o nominalnym napięciu 3,6 V i pojemności 3200 mAh. Maksymalne napięcie ładowania wynosi 4,2 V, a napięcie odcięcia to 2,75 V. Akumulator nie ma zabezpieczenia przed przeładowaniem i głębokim rozładowaniem. Do ładowania należy zatem stosować ładowarki procesorowe z odcięciem przy napięciu 4,2 V.

Autorzy składają podziękowania p. Maciejowi Michnie z Centrum Badań i Rozwoju Nordic Semiconductor w Krakowie za udostępnienie zestawów sprzętowych Power Profiler Kit II (PPK2).

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

Moduł BME688 Breakout Board firmy pi3g

Moduł BME688 Breakout Board firmy pi3g zawiera układ BME688 firmy Bosch, skonfigurowany do pracy z szyną I²C [3]. Układ scalony BME688 jest zamontowany daleko od złączy płytki, co pozwala na poprawną pracę czujnika z daleka od źródeł ciepła. Moduł pobiera prąd na poziomie 50 mA. Złącze X1 ma wyprowadzone sygnały SCL, SDA oraz masę i zasilanie 3,3 V w sposób kompatybilny ze złączem GPIO płytki Raspberry Pi Pico. Wystarczy wyrównać pozycje 3,3 V na obydwu złączach. Pico ma dwa wyprowadzenia I2C1 (master) na GP27 (SCL) i GP26 (SDA).

Pico Inky Pack – moduł z wyświetlaczem e-Paper

Pico Inky Pack (PIM634) firmy Pimoroni to moduł z czarno-białym wyświetlaczem e-Paper o przekątnej 2,9" i rozdzielczości 296×128 pikseli, przeznaczony do użycia z płytkami z serii Raspberry Pi Pico. Ma wbudowany kontroler, który realizuje komunikację za pomocą interfejsu SPI. Wyświetlacze e-Paper cechują się

eprasa.pl aa6cced055

wysokim kontrastem wyświetlanego obrazu i pobierają prąd tylko podczas zmiany wyświetlanej treści. Moduł ma wbudowane trzy przyciski. Jest zasilany z szyny 3V3 modułu Pico.

Pico Graphics to zunifikowana biblioteka graficzna firmy Pimoroni, umożliwiająca sterowanie wyświetlaczami z Pico w języku MicroPython [5]. Udostępnione są również przykłady.

Ekspander szyny Pico

Ekspandery szyny Pico firmy Pimoroni są przeznaczone do płytek z serii Raspberry Pi Pico. Wyposażone zostały w dwa standardowe złącza żeńskie do bezpośredniego wpięcia płytki serii Pico oraz zestawy męskich listew 2×20 pinów, które umożliwiają podłączenie dodatkowych modułów rozszerzeń. Etykiety pinów, umieszczone na górnej stronie płytki, znacznie ułatwiają prototypowanie. Ekspander Pico Decker (Quad Expander) (PIM555) ma cztery zestawy męskich listew, a Pico Omnibus (Dual Expander) PIM556 – dwa zestawy.

Dołączanie elementów do płytki RPi Pico 2

Układ został skompletowany z użyciem płytki Raspberry Pi Pico 2, modułu BME688 Breakout Board, ekspandera szyny Pico Omnibus, wyświetlacza e-Paper typu Pico Inky Pack, akumulatora Li-Ion typu 18650 oraz płytki z regulatorem LDO typu LT3045 i tranzystora MOSFET typu IRF7425 (**fotografia tytułowa**).

Układ może być zasilany przez gniazdko microUSB płytki Pico 2. W celu zapewnienia autonomicznej pracy, docelowym źródłem zasilania układu jest jeden akumulator typu 18650. Podłączenie tranzystora P-MOSFET typu IRF7425 (drain – do akumulatora, gate – do VBUS, source – do WSYS) umożliwia automatyczne przełączanie na akumulator w przypadku braku zasilania z gniazdka microUSB [2].

Do płytki Raspberry Pi Pico 2 można wlutować złącza goldpin. Najlepiej zastosować złącza z dłuższymi pinami [8]. Wtedy po wpięciu płytki do ekspandera (Pico Omnibus) jest dodatkowo zachowany pełny dostęp do wszystkich zasobów płytki. Bezpośrednio do męskich listew ekspandera został dołączony moduł Pico Inky Pack.

Moduł z czujnikiem BME688 został dołączony do ekspandera z zastosowaniem standardowych kabelków BLS. Linie I²C modułu wpięto do szyny I2C0 płytki Pico 2 (GP0 SDA, GP1 SCL).

Początkowo zasilanie modułu BME688 Breakout Board było dołączone do szyny 3V3 na płytce Pico 2 (masa do masy), jednak w trakcie eksperymentów okazało się, że silne zakłócenia na tej szynie zasilania (13 mVrms) powodują bardzo dużą zmienność wartości odczytywanych parametrów. Dlatego do szyny VSYS (12 mVrms) został dołączony regulator LDO (LT3045), który daje na wyjściu czyste napięcie 3,3 V (79 μVrms) do zasilania układu BME688. W wyniku tej modyfikacji uzyskano ponad dziesięciokrotną poprawę jakości pomiarów.

Druga płytka Pico/Pico 2 jako konwerter USB – UART

Jeśli płytka Pico 2 nie jest dołączona kablem USB do komputera, to nie ma połączenia komunikacyjnego z programem Thonny (ani zasilania 5 V) – energia jest wtedy pobierana z akumulatora, jednak brakuje możliwości podglądu pracy programu głównego. Można jednak zastosować drugą płytkę Pico (lub Pico 2) jako konwerter USB – UART. Trzeba, zgodnie z opisem w [10], pobrać kod *debugprobe_on_pico.py* ze strony [9] i zapisać go do pamięci płytki. Teraz ta płytka Pico, nazwijmy ją „Pico A", pracuje jako debugger sprzętowy. Dołączamy ją do płytki Pico 2 projektu („Pico2 B") w następujący sposób:

- Pico A GND -> Pico2 B GND
- Pico A GP2 -> Pico2 B SWCLK
- Pico A GP3 -> Pico2 B SWDIO
- Pico A GP4/UART1 TX -> Pico2 B GP5/UART1 RX
- Pico A GP5/UART1 RX -> Pico2 B GP4/UART1 TX

Obie płytki muszą mieć wspólne zasilanie, dlatego należy połączyć linie Pico A VSYS -> Pico2 B VSYS.

Płytkę Pico A trzeba połączyć z komputerem kablem USB z rozłączonym przewodem zasilania 5 V. Niestety, nie ma gotowych takich kabli z wtyczką microUSB, więc trzeba go wykonać samemu.

Przygotowanie środowiska programowego

Opracowany kod źródłowy pozwala na:

- wykonywanie pomiarów czujnikiem Bosch BME688 i zapis wyników do pliku *.csv,
- trening czujnika pod kątem klasyfikacji zdarzeń (pożar lub brak pożaru),
- pracę czujnika z algorytmem wykrywania pożaru i wyświetlanie informacji na wyświetlaczu Pico Inky Pack.

Interpreter MicroPython firmy Pimoroni dla Pico 2 zawiera dodatkowo sterowniki wielu czujników oraz wyświetlaczy, w tym BME688 i Pico Inky Pack [1].

1. Zmontuj elementy zgodnie z opisem.
2. Pobierz najnowszy interpreter MicroPythona w pliku *pico2-v0.0.12-pimoroni-micropython.uf2* ze strony firmy Pimoroni [1].
3. Trzymając wciśnięty biały przycisk BOOTSEL podłącz Raspberry Pi Pico2 do komputera kablem microUSB.
4. Skopiuj pobrany plik *.uf2* na Raspberry Pi Pico2. Jest ono widoczne jako dysk RP2350 w eksploratorze plików Windows.
5. W komputerze zainstaluj najnowszą wersję programu Thonny.
6. Uruchom program Thonny.
7. Kliknij na ikonkę trzech linii w prawym dolnym rogu i wybierz „*Configure interpreter*".
8. Ustaw typ interpretera na „*MicroPython* (*Raspberry Pi Pico*)".
9. Z menu w prawym dolnym rogu wybierz *MicroPython* (*Raspberry Pi Pico*) · *Board CD @COMxx*.
   Interpreter w polu Shell z wyświetli informację o wersji: *MicroPython feature/psram-and-wifi, pico2 v0.0.12 on 2025-02-28; Raspberry Pi Pico2 with RP2350*
10. Pobierz folder *code*, zawierający kod aplikacji, z repozytorium dostępnego pod adresem: https://ep.com.pl/files/kcq/13725-code.zip.
11. Otwórz w oknie *Files* folder *code*.
12. Otwórz plik *main.py* w edytorze.
13. Kliknij prawym klawiszem myszy plik *main.py* i wybierz *Upload to*.

Zbieranie danych treningowych

Pierwszym krokiem w celu umożliwienia pracy z czujnikiem służącym jako wykrywacz pożaru jest zebranie danych treningowych. Służy do tego plik *bme_data_to_csv_collector.py*, który wykonuje pomiary z czujnika BME688 i zapisuje je do pliku *.csv.

W ramach zbierania danych treningowych zostały wykonane pomiary:

- w warunkach pokojowych (oznaczone później flagą „0", sygnalizującą brak pożaru),
- w warunkach symulujących pożar: czujnik ogrzewany był zapalniczką, a dym wytworzono z palącego się kadzidełka zapachowego (oznaczone później flagą„1", sygnalizującą pożar).

Przygotowane dane, znajdujące się w pliku */code/data/full_data.csv*, były następnie użyte do treningu czujnika.

Model ML

W projekcie zastosowano model regresji logistycznej z biblioteki *scikit-learn* [6], powszechnie używany w zadaniach klasyfikacji binarnej. Model oblicza prawdopodobieństwo przynależności do jednej z klas na podstawie funkcji sigmoidalnej opisanej wzorem:

$$\sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}$$

gdzie $z = coefficients\ X + intercept$

eprasa.pl aa6cced055

X jest wektorem kolumnowym zawierającym klasyfikowane cechy wejściowe (dane z czujników). Wektor wierszowy *coefficients*, zawierający wagi modelu, a także stała *intercept* wyznaczane są podczas treningu.

Do trenowania modelu, czyli obliczenia wektora *coefficients* i stałej *intercept*, przeznaczony jest kod w pliku *sk_train.py*. Jest to program w języku Python3, do uruchomienia w standardowym interpreterze Pythona. Do poprawnego działania wymaga zainstalowanego pakietu pandas i scikit-learn (np. komendą *pip install pandas scikit-learn*). Dane treningowe powinny być umieszczone w podkatalogu *data*, w pliku data_train.csv (każdy wiersz zawiera oddzielną próbkę danych pomiarowych, ostatnia kolumna jest etykietą – zero oznacza brak pożaru, zaś jedynka – pożar).

Wyniki wykonania sk_train.py na przykładowych danych pokazane są na **rysunku 1**.

```
sk_train.py
import pandas as pd
from sklearn.linear_model import LogisticRegression

file_path = 'data/data_train.csv'

df = pd.read_csv(file_path)

# print(df.head())

X = df.iloc[:, :-1]
y = df.iloc[:, -1]

# Train
model = LogisticRegression()
model.fit(X, y)

Shell
>>> %Run sk_train.py
Coefficients: [ 1.24233848e+00  1.35478985e-04  1.20175935e-01 -3.04352507e-03]
Intercept: 2.622127579240854e-05
>>>
```

Rysunek 1. Rezultat wykonania z użyciem skryptu sk_train.py na przykładowych danych

Program do wykrywania pożaru

Algorytm wykrywania pożaru jest zaimplementowany w programie głównym *main.py*. Obliczone parametry modelu trzeba umieścić w pliku głównym projektu *main.py*, w miejscu oznaczonym: *### Model weights ###*. Za klasyfikację odpowiedzialna jest funkcja *predict*. Argumentami wejściowymi są: zmienna *features*, zawierająca dane pomiarowe oraz zmienne *coefficients* i *intercept*, których wartości zostały wyznaczone w fazie trenowania. Wartością wyjściową funkcji jest 1 w przypadku wykrycia pożaru lub 0 w przypadku jego braku.

*Inicjalizacja:

- Sprawdzanie obecności czujnika na szynie I²C
- Ustawianie wartości początkowych zmiennych: *previous_temperature = None*, *trigger_temperature = None* (temperatura podczas ostatniej zmiany stanu statusu), *pozar_triggered = False*, *normal_triggered = False* oraz *threshold* = 15 (próg zmian temperatury).

*Główna pętla programu:

- Sprawdzanie połączenia z czujnikiem – jeśli czujnik jest odłączony, program oczekuje na ponowne połączenie i wtedy inicjalizuje czujnik.
- Odczyt danych z czujnika: temperatura [°*C*], ciśnienie [*Pa*], wilgotność [%] oraz rezystancja czujnika gazu [*Ohm*].
- W przypadku utraty połączenia z czujnikiem jest wyświetlana i wysyłana informacja debugowa, a program oczekuje na przywrócenie połączenia.
- Obliczenie różnicy temperatury – jeśli jest dostępna poprzednia temperatura *previous_temperature*, obliczana jest różnica: *temp_diff = temperature – previous_temperature*.

Logika wykrywania pożaru lub powrotu do stanu normalnego:

- Jeśli pożar został wykryty (*pozar_triggered = True*), status zmienia się z „POŻAR" na „NORMAL" tylko wtedy, gdy temperatura spadnie o *threshold* względem *trigger_temperature*.
- Jeśli pożar jest aktualnie wykrywany (*normal_triggered = True*): status zmienia się z „NORMAL" na „POŻAR" tylko, jeśli temperatura wzrośnie o *threshold* względem *trigger_temperature*.
- Jeśli żaden z powyższych warunków nie jest spełniony to status, jest ustalany na podstawie wyniku predykcji modelu *predict()*.

Wyświetlanie danych pomiarowych odbywa się na wyświetlaczu Pico Inky Pack przy zastosowaniu biblioteki PicoGraphics [5]. Wyświetlane są dane: temperatura, wilgotność, ciśnienie atmosferyczne, pomiar gazu oraz status pomiaru: „NORMAL" lub „POŻAR".

Status i parametry pomiarowe są wysyłane do konsoli przez port UART. Przykład typowych wartości pokazano na **listingu 1**. Pomiar gazów jest wykonywany trzykrotnie. Dla każdego pomiaru wyświetlany jest status zwracany przez czujnik BME688. Co prawda status drugiego pomiaru wskazuje stabilną pracę, jednak dynamiczny pomiar poboru prądu przez czujnik, pokazany dalej, wykazuje nie do końca poprawne funkcjonowanie – dlatego do analizy brany jest pod uwagę trzeci pomiar.

Po rozpoczęciu pomiarów wartość odczytu gazu (rezystancja) czujnika BME688 szybko rośnie i utrzymuje się na wysokim poziomie (**rysunek 2**). W przypadku wystąpienia gazów typowych dla pożaru (związki siarki) rezystancja szybko maleje do niskiej wartości (typowo około 2000).

Z uwagi na to, że powstawanie pożaru jest zwykle dosyć wolnym zjawiskiem, zdecydowano się na realizację pomiarów w 5...10 sekundowych odstępach czasu.

Testy wykonywane były przy prowizorycznym, sztucznym pożarze. Wykazały one istotną zmianę temperatury, a także widoczne zmiany ciśnienia, wilgotności stężenia gazu (rezystancji czujnika). Eksperyment pokazał, że każda ze zmierzonych wartości może mieć znaczenie przy wykrywaniu pożaru.

Pomiary zasilania

Do dynamicznego pomiaru prądu zasilania bardzo dobrze nadaje się zestaw Power Profiler Kit II (PPK2) firmy Nordic Semiconductor. Jest to samodzielny układ, który bez zewnętrznego sprzętu może mierzyć i dostarczać prądy od poniżej 1 µA do 1 A. Praktyka pokazuje, że zakres pracy rozciąga się do ok. 2 A, symaga to jednak dołączenia dodatkowego portu USB do drugiego gniazdka PPK2. Bardzo przydatne jest osiem kanałów cyfrowych, próbkowanych synchronicznie z prądem. Dokładny opis PPK2 zamieszczono w artykule „Profilowanie mocy z zastosowaniem Power Profiler Kit II" [4].

Pomiary zasilania wykonano przy zasilaniu szyny VSYS płytki napięciem 4,118 V (typowym dla akumulatora Li-Po), bez dołączonego do płytki kabla USB i płytki debugprobe. Pobór prądu w trakcie pierwszego bloku pomiarowego (po uruchomieniu programu) pokazano na **rysunku 3**. Kanały cyfrowe sygnalizują czas wykonywania operacji (poziom wysoki): CH0 – pomiar i odczyt czujnika BME688, CH1 – przetwarzanie i wyświetlanie danych. Dla pierwszego i drugiego pomiaru wykonywanego przez czujnik BME688 prąd grzania nie jest stabilny. Status odczytów temperatury grzejnika czujnika pokazuje niestabilność pierwszego pomiaru i stabilność dwóch następnych. Wygląda na to, że w przypadku drugiego pomiaru nie jest

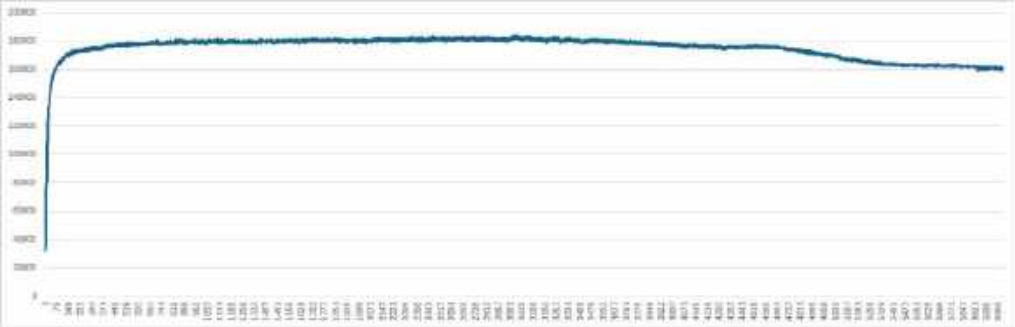
```
Sensor connected to I²C bus.
Temperature, Pressure, Humidity, Gas
Status1: Unstable, Status2: Stable, Status3: Stable
21.68c, 101675.09Pa, 49.36%, 15636.45 Ohm, Heater: Stable Status: NORMAL
Status1: Unstable, Status2: Stable, Status3: Stable
21.68c, 101675.09Pa, 49.22%, 16280.84 Ohm, Heater: Stable Status: NORMAL
Status1: Unstable, Status2: Stable, Status3: Stable
21.68c, 101675.16Pa, 49.26%, 17021.28 Ohm, Heater: Stable Status: NORMAL
Status1: Unstable, Status2: Stable, Status3: Stable
21.68c, 101675.16Pa, 49.27%, 17787.66 Ohm, Heater: Stable Status: NORMAL
Status1: Unstable, Stattus2: Stable, Staus3: Stable
21.68c, 101675.16Pa, 49.27%, 18465.09 Ohm, Heater: Stable Status: NORMAL
```

Listing. 1 Typowe wartości pomiarowe na początku pracy układu

eprasa.pl aa6cced055

to do końca prawdziwe – niestabilność występuje wtedy, gdy czas grzania nie jest wystarczający do osiągnięcia wymaganej temperatury, lub gdy żądaną temperaturę ustawiono na wartość nieosiągalnie wysoką.

Przy włączeniu zasilania płytki Pico 2 występuje przez 0,88 ms prąd rozruchowy o maksymalnej wartości 0,61 A. Może to stwarzać problemy w przypadku źródeł zasilania niskiej mocy (np. odnawialnych).



Rysunek 2. Typowe wartości odczytu gazu (rezystancja) czujnika BME688 (dane za okres ok. 2 godzin)

Średni poziom poboru prądu przez układ podczas operacji pomiaru i odczytu czujnika BME688 wynosi 28,04 mA, przy czym prąd fazy grzania dochodzi do ok. 32,46 mA. Przy średnim poborze prądu przez procesor na poziomie 16,72 mA daje to wynik dla czujnika (w czasie pomiaru) ok. 11,32 mA oraz w czasie grzania: 15,74 mA (ok. 100 ms). Średni pobór prądu całego układu wynosi ok. 17,44 mA przy powtarzaniu bloku pomiaru co ok. 15,74 s. Przy użyciu akumulatora o pojemności 3200 mAh energii wystarczy na około 183 godziny użytkowania, co jest równe ponad 7 dniom ciągłej pracy. Wyraźnie brakuje tutaj funkcji usypiania procesora podczas oczekiwania na następny pomiar. Dodanie obsługi komunikacji USB oraz portu USB tylko minimalnie zwiększa pobór prądu.

Podsumowanie

Zastosowanie płytki Raspberry Pi Pico 2 do obsługi czujnika BME688 okazało się trafionym pomysłem. Jednak dopiero użycie dodatkowego regulatora LDO, który daje czyste napięcie 3,3 V do zasilania układu BME688, przyniosło ponad dziesięciokrotną poprawę jakości pomiarów. Sporo informacji o poprawności pracy czujnika BME688 dał dynamiczny pomiar prądu zasilania z zastosowaniem zestawu Power Profiler Kit II (PPK2) firmy Nordic Semiconductor.

W próbach został zastosowany jeden rdzeń Arm Cortex-M33 mikrokontrolera RP2350, programowany w MicroPythonie. Jednak usypianie rdzenia ARM Cortex-M33 pomiędzy pomiarami okazało się niemożliwe z poziomu tej platformy.

Jest to pierwsze podejście do zagadnienia i wymaga przeprowadzenia szerszych badań, zaczynając już od zbierania wiarygodnych danych w stanie „normalnym" oraz w sytuacji pożaru. Obecne rozwiązanie bazuje przede wszystkim na detekcji szybkiego wzrostu temperatury i pomocniczym zastosowaniu wnioskowania ML. Ale już na tak wczesnym etapie zostały ukazane ciekawe zmiany poziomu ciśnienia i wilgotności w pomieszczeniu z otwartym ogniem.

Opis i realizacja oprogramowania bazuje na projekcie „Praca rdzeni Arm Cortex-M33 płytki Raspberry Pi Pico 2", wykonanego w ramach przedmiotu „Systemy dla Internetu Rzeczy" na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej przez zespół w składzie: Sebastian Albowicz, Aleksander Bujnowski, Vladyslav Kyryk i Wiktor Niemirski.

Podziękowania dla Zbigniewa Szymańskiego za wsparcie w dziedzinie sztucznej inteligencji.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

Bibliografia:

[1] *Pimoroni Pico MicroPython for RP2350/Pico2 boards* https://github.com/pimoroni/pimoroni-pico-rp2350

[2] *Raspberry Pi Pico 2*, Datasheet, 2024-10-15, Raspberry Pi https://datasheets.raspberrypi.com/pico/pico-2-datasheet.pdf

[3] *Czujnik gazu Bosch BME688 ze sztuczną inteligencją*, EP 11/2021, https://ep.com.pl/kursy/15078-systemy-dla-internetu-rzeczy-54-bosch-bme688-czujnik-gazu-ze-sztuczna-inteligencja

[4] *Profilowanie mocy z zastosowaniem Power Profiler Kit II*, EP 5/2022, https://ep.com.pl/kursy/15267-systemy-dla-internetu-rzeczy-60-profilowanie-mocy-z-zastosowaniem-power-profiler-kit-ii

[5] Pico Graphics, Pimoroni, https://github.com/pimoroni/pimoroni-pico/tree/main/micropython/modules/picographics

[6] Scikit-learn: Machine Learning in Python, F. Pedregosa i in., Journal of Machine Learning Research 12 (2011), https://www.jmlr.org/papers/volume12/pedregosa11a/pedregosa11a.pdf

[7] BME68X, Pimoroni, https://github.com/pimoroni/pimoroni-pico/tree/main/micropython/examples/breakout_bme68x

[8] *Pytka Raspberry Pi Pico 2/2W z procesorem RP2350*, EP 3/2025, https://ep.com.pl/projekty/moduly-w-aplikacjach/16453-internet-rzeczy-w-pomiarach-srodowiskowych-15-plytka-raspberry-pi-pico-2-2w-z-procesorem-rp2350

[9] Pico 2 family, Raspberry Pi Pico 2, https://www.raspberrypi.com/documentation/microcontrollers/pico-series.html#pico-2-family

[10] Getting Started with Pico-series Microcontrollers. 2024-10-15, Raspberry Pi, https://datasheets.raspberrypi.com/pico/getting-started-with-pico.pdf

Rysunek 3. Prąd zasilania układu detektora

eprasa.pl aa6cced055

Nowoczesna aparatura pomiarowa i systemy akwizycji danych w ofercie Egmont Instruments

Precyzyjna aparatura pomiarowa jest fundamentem współczesnej nauki, przemysłu i technologii. Dokładne i – co najważniejsze – wiarygodne dane pomiarowe są niezbędne do podejmowania decyzji, optymalizacji procesów, kontroli jakości oraz rozwoju nowych produktów. W ofercie Egmont Instruments – dystrybutora specjalistycznych urządzeń do pomiaru i akwizycji danych – znalazły się urządzenia dostosowane do potrzeb odbiorców z różnych sektorów rynku, począwszy od działów R&D przedsiębiorstw, poprzez naukowe laboratoria akademickie i pracownie studenckie, aż po wyspecjalizowane firmy z branży motoryzacyjnej, biotechnologicznej, medycznej czy kosmicznej.

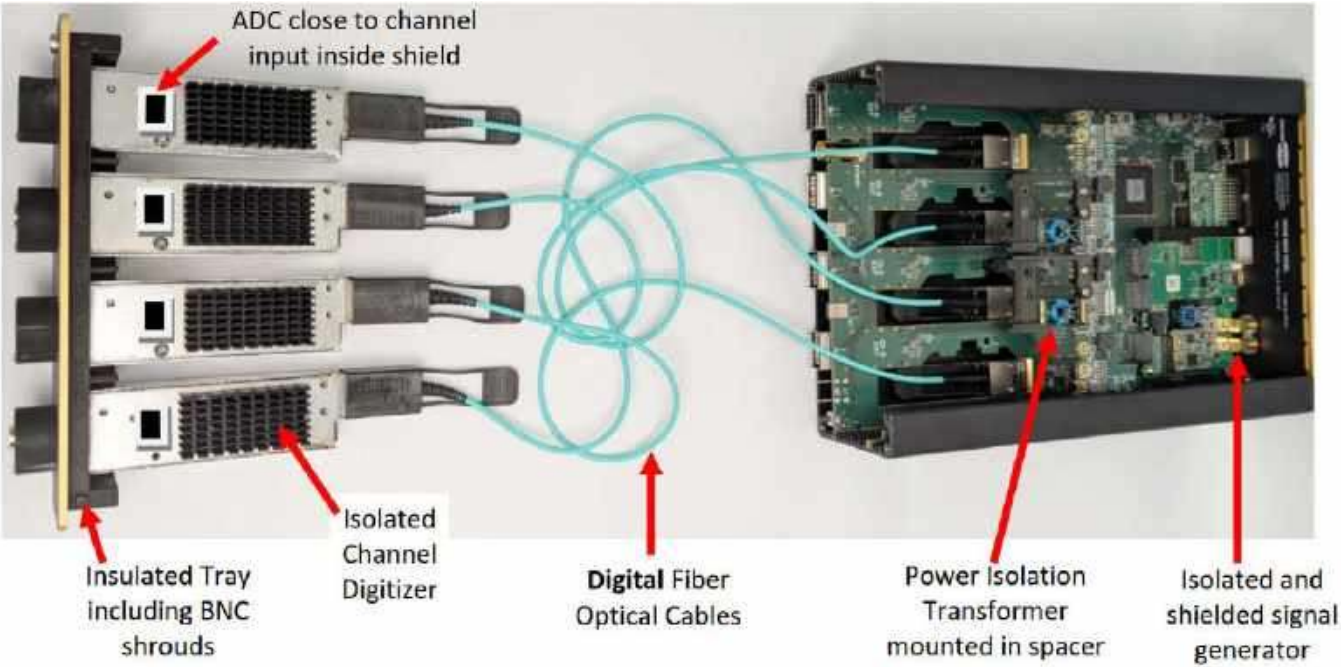
Więcej informacji:
Egmont Instruments – Przemysław Derwojed
00-004 Warszawa, ul. Marszałkowska 136/31
tel. 692501750, 228506205...07
egmont@egmont.com.pl, www.egmont.com.pl

Oscyloskopy USB z wysokonapięciową izolacją kanałów

Jedną z podstawowych bolączek użytkowników klasycznych oscyloskopów cyfrowych jest brak izolacji galwanicznej pomiędzy poszczególnymi kanałami, co nie tylko utrudnia, ale często wręcz uniemożliwia prowadzenie jednoczesnych pomiarów w wielu punktach badanego urządzenia. Problem ten nasila się dodatkowo w przypadku prawie wszystkich oscyloskopów stacjonarnych, które na domiar złego mają masę kanałów wejściowych połączoną z potencjałem uziemienia sieci energetycznej. Takie rozwiązanie nie tylko grozi uszkodzeniem oscyloskopu i/lub badanego urządzenia sieciowego, ale także znacząco ogranicza sposób bezpiecznego korzystania z wielokanałowego oscyloskopu, np. podczas powadzenia pomiarów zasilaczy impulsowych czy falowników.

Fotografia 1. Oscyloskop CS548 marki Cleverscope

Rozwiązaniem obydwu wspomnianych problemów są oscyloskopy z galwaniczną izolacją kanałów, przydatną zwłaszcza podczas prowadzenia pomiarów w układach energoelektronicznych, w których różnica potencjałów pomiędzy poszczególnymi punktami obwodów często przekracza kilkaset woltów. Firma Cleverscope opracowała specjalistyczny, czterokanałowy, 200-megahercowy oscyloskop CS548 z izolacją na poziomie 2 kV (zarówno pomiędzy poszczególnymi wejściami, jak i między kanałami a uziemieniem – **fotografie 1** i **2**). Przy użyciu zewnętrznych digitizerów CS1200 (napięciowy) oraz CS1201 (prądowy – **fotografia 3**) możliwe jest zwiększenie ratingu izolacji aż do 30 kV, przy zachowaniu 150-milimetrowego odstępu pomiędzy głowicą pomiarową, a badanym obwodem. Co ważne, model CS548 umożliwia synchronizację kilku



Fotografia 2. Oscyloskop CS548 z front-endami podłączonymi za pomocą światłowodów w celu zwiększenia odstępu izolacyjnego

eprasa.pl aa6cced055

Fotografia 3. Digitizer prądowy CS1201 z izolacją do 30 kV

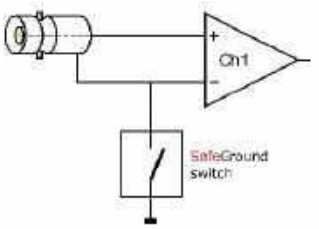
urządzeń – podłączenie 4 modułów pozwala na uzyskanie aż 16 synchronicznie próbkowanych kanałów pomiarowych.

Najważniejsze parametry modelu CS548:

- rozdzielczość: 14 bitów,
- zakres dynamiki: 100 dB,
- pasmo analogowe: 200 MHz,
- zakres napięć wejściowych: ±8 V,
- pojemność do masy: 20 pF,
- szum: 200 μVrms na zakresie 0,8 V,
- wbudowany generator sygnałowy: 65 MHz, sinus, prostokąt, szum, przebiegi AWG.

Modułowe oscyloskopy różnicowe

Pełna bariera galwaniczna oczywiście nie zawsze jest konieczna – w niektórych przypadkach wystarczy jedynie wstępne rozdzielenie kanałów w celu odseparowania ich od siebie i ułatwienia prowadzenia pomiarów w różnych punktach układu. Ciekawe rozwiązanie wprowadziła firma TiePie w serii oscyloskopów Handyscope HS6 DIFF (**fotografia 4**). Urządzenia te umożliwiają prowadzenie w pełni różnicowych pomiarów przy zachowaniu współczynnika CMRR na poziomie –47 dB. Funkcja SafeGround (**rysunek 1**) monitoruje połączenia pomiędzy masami poszczególnych kanałów i w razie wykrycia przypadkowego zwarcia (mogącego doprowadzić



Rysunek 1. Zasada działania funkcji SafeGround

Fotografia 4. Oscyloskop z serii HS6 DIFF marki TiePie

do uszkodzenia przyrządu) automatycznie odłącza masę danego kanału od reszty układu (masy pozostałych wejść oraz współpracującego komputera) w czasie krótszym niż 100 ns.

Oscyloskopy z rodziny HS6 DIFF mogą pracować z sygnałami o amplitudzie do ±80 V. Dla wyższych napięć jest możliwość pracy w trybie różnicowym przy użyciu dodatkowych tłumików różnicowych (symetrycznych, np. 1:10) oraz w klasyczym trybie single ended przy użyciu zwykłych sond pasywnych (niesymetrycznych, np. 1:10, 1:100).

Podstawowe parametry oscyloskopów Handyscope HS6 DIFF:

- 4 wejścia różnicowe,
- rozdzielczość: 8/12/14 bitów (natywna), 16 bitów (oversampling),

Fotografia 5. Zestaw zaawansowanego oscyloskopu motoryzacyjnego ATS610004DW-XMSG marki TiePie Automotive

REKLAMA

Egmont Instruments
ul. Marszałkowska 136/31, 00-004 Warszawa
tel. 228506205-07, kom. 692501750
tiepie@egmont.com.pl, http://www.egmont.com.pl/tiepie

Egmont

WiFiScope WS4, WS5, WS6, WS6 DIFF

przystawki oscyloskopowe DSO + generator AWG + tester EMI

- 2 lub 4 wejścia BNC
- wejścia DIFF lub SE
- próbkowanie do 1 GS/s
- streaming do 200 MS/s
- pasmo do 250 MHz
- rozdzielczość 8, 12, 14, 16 bitów
- zakresy napięć +/-200 mV ... +/-80 V
- pamięć do 256 MS/kanał
- interfejs WiFi 802.11, LAN 1Gb, USB 3.0/2.0
- funkcje: oscyloskop cyfrowy DSO, generator sygnałowy / AWG, tester EMI, analizator widma, woltomierz, data logger / rejestrator, analizator protokołów
- praca synchroniczna wielu modułów
- łącznie dostępnych 108 różnych modeli
- funkcje i parametry zależne od konkretnego modelu

eprasa.pl aa6cced055

Fotografia 6. Wydajny digitizer RazorMax Express 16 CompuScope marki GaGe

- dokładność pionowa (DC): 0,25%, typowo 0,1%,
- próbkowanie: do 1 GSa/s, pasmo do 250 MHz,
- ciągłe przesyłanie strumieniowe: do 200 MSa/s,
- pamięć: do 256 MSa na kanał,
- dokładność podstawy czasu: 1 ppm.

Warto dodać, że w ofercie marki TiePie znalazły się również wyspecjalizowane przystawki oscyloskopowe, przeznaczone do zaawansowanej analizy w warunkach samochodowych stacji diagnostycznych. Przykładowo model ATS610004DW-XMSG (**fotografia 5**) współpracuje z komputerem poprzez łącze Wi-Fi, USB 3.0 lub LAN i – w połączeniu z dedykowanym oprogramowaniem – pozwala nie tylko na prowadzenie precyzyjnych pomiarów sygnałów analogowych (także w trybie różnicowym), ale także umożliwia dekodowanie protokołów czy też analizę specyficznych zestawów sygnałów przy użyciu gotowych presetów (np. do testowania czujników Halla systemu ABS, aktuatorów, akumulatora, sensorów indukcyjnych i wielu innych).

Najwyższej klasy digitizery do wymagających aplikacji

Laboratoria przemysłowe i akademickie, a także działy R&D przedsiębiorstw nierzadko stają przed koniecznością prowadzenia pomiarów w wielu kanałach jednocześnie, przy zachowaniu wysokiej rozdzielczości i/lub częstotliwości próbkowania.

Tam, gdzie klasyczne oscyloskopy przestają wystarczać, zastosowanie znajdują digitizery renomowanej marki GaGe. Jako przykład można wymienić model RazorMax Express 16 CompuScope (**fotografia 6**) – kompaktowa karta akwizycji danych oferuje natywną rozdzielczość na poziomie 16 bitów, pasmo analogowe do 600 MHz i częstotliwość synchronicznego próbkowania danych równą 1 GSa/s w 2 lub 4 kanałach jednocześnie. Zastosowanie interfejsu PCIe Gen3 ×8 pozwala na uzyskanie prędkości przesyłu danych do 5,2 GB/s, zaś wbudowana pamięć pozwala na przechowywanie aż 4 GSa (8 GB) próbek. RazorMax można łączyć z szerokopasmowymi konwerterami częstotliwości, tworząc szerokopasmowe, wielokanałowe systemy analizy i rejestracji sygnału RF/mikrofalowego, obejmującego częstotliwości sygnału do 27 GHz i szerokość pasma 160 MHz.

Kompaktowe systemy akwizycji danych od LabJack

W większości typowych aplikacji stosowane są systemy akwizycji danych o znacznie mniejszej przepustowości, przy czym nacisk jest zwykle położony na łatwość implementacji i wysoką rozdzielczość akwizycji – jako przykład można wymienić wielokanałowe pomiary napięć w systemach ATE, pomiary temperatury w kilku punktach czy też systemy sygnałów mieszanych, integrujące zarówno wejścia i wyjścia analogowe, jak i cyfrowe linie GPIO, pozwalające na bezpośrednią współpracę z zewnętrznym mikrokontrolerem czy też modułami wykonawczymi (np. przekaźnikowymi). To wszystko (i znacznie więcej) oferują karty DAQ USB marki LabJack. Flagowy model tego producenta – LabJack T8 (**fotografia 7**) – pozwala na prowadzenie pomiarów w 8 różnicowych, izolowanych do 1 kV kanałach analogowych i zapewnia rozdzielczość 24 bitów przy częstotliwości próbkowania do 40 kSa/s w każdym kanale. Szeroki zakres obsługiwanych napięć wejściowych (od ±0,075 V do ±11 V) umożliwia bezpośrednie łączenie karty DAQ zarówno z systemami o relatywnie wysokim napięciu (np. przemysłowymi przetwornikami z wyjściem 0...10 V), jak i z czujnikami pasywnymi dostarczającymi sygnały na poziomie mili-, a nawet mikrowoltów (np. termoparami, tensometrami czy mostkami Wheatstone'a). Urządzenie udostępnia ponadto dwa 16-bitowe wyjścia analogowe 0...10 V o wydajności prądowej do 20 mA oraz 20 cyfrowych linii GPIO. Całość współpracuje bezproblemowo z dedykowanymi bibliotekami LabView, bibliotekami API w językach C/C++, Lua, Matlab, C# czy Visual Basic, a także ze środowiskiem deweloperskim HMI/SCADA DAQFactory. Co ciekawe, istnieje nawet możliwość komunikacji z urządzeniem za pomocą… komend w standardzie Modbus TCP.

Fotografia 7. Karta DAQ LabJack T8

Inne urządzenia w ofercie firmy Egmont Instruments

W portfolio Egmont Instruments znalazły się również rozmaite urządzenia do specjalistycznych zastosowań przemysłowych i naukowych. Szczególną grupą produktów są zaawansowane potencjostaty/galwanostaty marki Gamry – szeroko stosowane m.in. w testowaniu akumulatorów, superkondensatorów, ogniw fotowoltaicznych oraz paliwowych, a także w materiałoznawstwie, przemyśle farmaceutycznym i medycznym czy wreszcie w rozmaitych badaniach związanych z czujnikami elektrochemicznymi. Przykładowy model z oferty Gamry – Interface 1010E (**fotografia 8**) umożliwia prowadzenie pomiarów w trybie stałego napięcia lub stałego prądu do ±12 V i ±1 A, w zakresie częstotliwości od 10 μHz do 2 MHz – urządzenie doskonale nadaje się zatem nawet do aplikacji związanych z szerokopasmową spektroskopią impedancyjną. Co ważne, urządzenia z serii 1010E można łączyć w pakiety za pomocą specjalnej chassis, co pozwala na połączenie nawet 8 jednostek w ramach jednego, zintegrowanego systemu wielokanałowego.

Fotografia 8. Potencjostat Interface 1010E marki Gamry

eprasa.pl aa6cced055

Pułapki i zasadzki, czyli o trudach wyboru aparatury pomiarowej

Bez przyrządów pomiarowych to jak bez ręki – o tym chyba nie trzeba przekonywać żadnego praktykującego elektronika. W gąszczu ofert można jednak łatwo się zgubić. Co tak naprawdę trzeba wziąć pod uwagę kupując aparaturę do pracowni? W artykule zebrałem możliwie najszerszy przegląd rodzajów urządzeń, z naciskiem na te parametry, o których wiele osób zapomina porównując oferty dystrybutorów.

Multimetry przenośne i laboratoryjne

Trudno byłoby wyobrazić sobie jakiekolwiek miejsce pracy elektronika bez multimetru. Przyrządy przenośne to oczywiście absolutny „must have", niezależnie od rodzaju wykonywanej pracy – zawsze zdarzy się przecież sytuacja, w której trzeba odejść od stołu (lub wręcz pojechać w teren), a wtedy nikomu raczej nie przyda się stacjonarny multimetr z zasilaniem sieciowym. Nie zawsze warto jednak wybierać sprzęt napakowany funkcjami pomiarowymi niczym koszyczek wielkanocny – zazwyczaj w takich właśnie sprzętach materializuje się słynne powiedzenie które głosi, że „jeżeli coś jest do wszystkiego, to tak naprawdę jest do niczego". Po prostu nie da się upakować w niewielkiej obudowie przyrządu na wskroś uniwersalnego, a zarazem stabilnego i o dużej dokładności podstawowej. Inna sprawa, że często potrzebujemy zmierzyć np. dwa napięcia jednocześnie, a wtedy przydadzą się przynajmniej dwa mierniki – dobrym wyjściem jest zatem zakup różnych modeli, z których każdy obejmie nieco inny obszar zastosowań. Jak to mówią – „w kupie siła".

O czym często zapominają użytkownicy multimetrów? Jedną z kwestii, na które zdecydowanie warto zwrócić uwagę, jest łącze do komunikacji z komputerem. Takie rozwiązanie, na różne sposoby, implementują tacy producenci, jak Brymen czy PeakTech. Część urządzeń ma wbudowany port USB (a optoizolacja znajduje się wewnątrz obudowy miernika), inni preferują bardziej efektowne, choć jednocześnie mniej wygodne rozwiązania. Wspomniany Brymen oferuje do swoich topowych mierników zewnętrzny adapter, który na jednym końcu kabla ma zamontowaną specjalną przejściówkę optyczną – ta komunikuje się z odpowiadającym modułem wbudowanym w multimetr, więc optoizolacja jest widoczna już na pierwszy rzut oka. Przykładowy zestaw kompatybilnych ze sobą urządzeń można zobaczyć na **fotografiach 1** i **2**.

Tak czy inaczej – warto mieć w swoim multimetrze funkcjonalność przesyłu danych do komputera, zwłaszcza jeżeli często mierzymy jakieś parametry, z których potem musimy zbudować tabelę i/lub wykres. Drugi przykład to użycie miernika w postaci loggera danych – długotrwałe monitorowanie czujnika analogowego czy też badanie charakterystyki akumulatora w warunkach rzeczywistych zdecydowanie nie należą do zadań nadających się do manualnego wykonywania przez użytkowników o napiętym grafiku lub ograniczonej cierpliwości...

Fotografia 2. Interfejs optyczny miernik-komputer (akcesorium do mierników marki Brymen). Źródło: https://t.ly/Og_3a

A co z multimetrami stacjonarnymi? Tutaj portfolio dostępnych modeli jest nieporównanie mniejsze, a większość sprzętów pochodzi ze stajni topowych producentów. Topowe są też ceny mierników, zwłaszcza w przypadku modeli o rozdzielczości 6,5 cyfry lub większej (**fotografia 3**). Nie warto jednak dać się zwieść rozmiarom obudowy, która na pierwszy rzut oka może sugerować wyższe parametry – niektóre mierniki, mimo swojej stacjonarnej formy, oferują możliwości przeciętne nawet w zestawieniu ze średniawymi multimetrami przenośnymi. Przykład? Miernik EM8045+ marki EnergyLab (**fotografia 4**) – 4,5 cyfry to wynik przeciętny w tym segmencie przyrządów, szału nie ma też pod względem funkcjonalności. Modelem tym nie zmierzymy np. rezystancji w trybie 4-przewodowym, ale w zamian za to otrzymujemy gniazdo do pomiaru pojemności (sensowne jedynie w przypadku elementów przewlekanych) i funkcję pomiaru hFE, co wprost kojarzy się z tanimi miernikami dla amatorów. Wspomniane ograniczenie w zakresie pomiarów rezystancji dotyczy także innych modeli stacjonarnych, dlatego mając na panelu czołowym kilka gniazd zawsze warto sprawdzić, do czego tak

Fotografia 1. Multimetr z funkcją loggera – Brymen BM525S. Źródło: https://t.ly/AkCLE

Fotografia 3. Kultowy miernik laboratoryjny Keysight 34461A w wersji po liftingu, czyli w czarnej obudowie (która zastąpiła poprzednią, jasnoszarą). Źródło: https://t.ly/FE4d4

eprasa.pl aa6cced055

Fotografia 4. Miernik stacjonarny EM8045+
Źródło: https://t.ly/N3e9i

Fotografia 5. Multimetr laboratoryjny 2831E
Źródło: https://t.ly/CaeHa

naprawdę one służą w danym rodzaju miernika. Choć oczywiście nie zawsze będziemy potrzebować funkcji pomiaru rezystancji w topologii Kelvina, to jednak często taka opcja jest niezwykle ważna – warto pamiętać o ograniczeniach, gdyż nawet niektóre mierniki renomowanych producentów (GW Instek czy BK Precision – **fotografia 5**) także uniemożliwiają prowadzenie pomiarów z kompensacją rezystancji połączeń.

Oscyloskop cyfrowy

O oscyloskopach napisano już bardzo wiele, również na łamach czasopisma „Elektronika Praktyczna". Na dobrą sprawę trudno się temu dziwić – bez oscyloskopu nie da się w elektronice zajść praktycznie nigdzie. Dziś prawie nikt nie używa już poczciwych urządzeń opartych na lampach oscyloskopowych, bo ceny

Fotografia 6. Oscyloskop Siglent SDS1102CML+
Źródło: https://t.ly/OHbNY

Fotografia 7. Oscyloskop Hantek DSO2D15
Źródło: https://t.ly/suQYH

przyrządów cyfrowych spadły niemiłosiernie. Na najtańszy, „zabawkowy" oscyloskop (na którym jednak da się już coś zmierzyć) trzeba dziś wydać około stu złotych, podczas gdy ceny sensownych przyrządów stacjonarnych znanych producentów (np. Siglenta) oscylują już wokół 1200...1400 złotych (przykład można zobaczyć na **fotografii 6**). Na rynku low-endowym najwięcej namieszały – w (z punktu widzenia odbiorców) pozytywnym tego słowa znaczeniu – właśnie firmy takie jak Siglent oraz Rigol, choć w ten sam segment nieśmiało próbują się wbić także takie marki, jak znany z multimetrów chiński UNI-T czy Hantek. Ten ostatni zresztą znacznie podciągnął się pod względem jakości, co można doskonale zaobserwować mając w rękach stare modele skopometrów sprzed kilkunastu lat i nowe modele, np. DSO2D15 (**fotografia 7**). Ten ostatni oferuje nie tylko przemyślany design i naprawdę niezłą ergonomię, ale także pełen zestaw funkcji znanych ze znacznie droższych sprzętów (np. dekodowanie szyn komunikacji szeregowej czy też dość zaawansowane tryby wyzwalania). Z kolei kultowa już seria Rigol DS1000Z wciąż pozostaje jedną z najczęściej spotykanych rodzin oscyloskopów – i to nie tylko na stołach amatorów, ale także w niezliczonych firmach, laboratoriach uczelnianych czy serwisach przemysłowych.

Niestety – dalsze zwiększanie budżetu nie zawsze pozwala liczyć na bezbłędne, stabilne działanie i wiarygodne wyniki pomiarów. Urządzeniom o dalekowschodnim rodowodzie zdarzają się rozmaite, ukryte „bugi" programowe lub problemy wynikające z nazbyt optymistycznego podejścia do sposobu podawania parametrów katalogowych. Przykład? Chyba wszyscy producenci oscyloskopów chwalą się na pierwszych stronach not katalogowych wartościami liczby ramek na sekundę (wfms/s). Parametr ten wprost przekłada się na prawdopodobieństwo przechwycenia rzadko występujących lub wręcz jednostkowych zdarzeń w badanym sygnale. Im więcej ramek w ciągu sekundy, tym trudniej przeoczyć podejrzanie niski impuls czy niechcianą szpilkę. Problem w tym, że niektóre oscyloskopy faktycznie są zdolne do akwizycji tysięcy ramek, ale... jedynie w krótkich, powtarzalnych paczkach, pomiędzy którymi „hula wiatr". Wypadkowe prawdopodobieństwo złapania wadliwego przebiegu na gorącym uczynku spada więc drastycznie wraz z wydłużaniem owych przerw, które sprzęt wykorzystuje prawdopodobnie do przetwarzania danych z bufora.

Taki sposób działania jest wręcz wymuszony koniecznością cięcia kosztów w tańszych modelach oscyloskopów – trudno się spodziewać, by połowa elektroniki takiego urządzenia bazowała na okrutnie drogich, superszybkich macierzach FPGA i sprzętowym przetwarzaniu sygnałów. Zamiast tego łatwiej i taniej jest zebrać próbki za pomocą odpowiedniego zestawu przetworników ADC, wstępnie przetworzyć je w relatywnie taniej macierzy programowalnej, a następnie wypchnąć dane do procesora, który będzie już sam zajmował się np. dokonywaniem pomiarów. Z tego samego względu oscyloskopy takich producentów, jak np. Keysight mogą zaoferować prawdziwą przepustowość zgodną z wartościami wfms/s zadeklarowanymi w nocie katalogowej. Tak jest np. w serii

eprasa.pl aa6cced055

Fotografia 8. Oscyloskop z serii MSO-X 3000 marki Keysight. Źródło: https://t.ly/nlgUe

oscyloskopów InifiniiVision (**fotografia 8**), która faktycznie osiąga deklarowany milion ramek na sekundę (**rysunek 1**). Mało tego – nawet po włączeniu wszystkich możliwych opcji (dekodera protokołów, analizatora stanów logicznych, FFT czy pomiarów automatycznych) oscyloskop nie „przysiada" i wciąż utrzymuje zadane parametry. To wszystko zaleta sprzętowego, równoległego przetwarzania, okupionego rzecz jasna odpowiednią ceną w stosunku do „średniopółkowej" konkurencji o zbliżonych wartościach szerokości pasma i częstotliwości próbkowania.

Zasilacz laboratoryjny

Spoglądając na oferty zasilaczy laboratoryjnych w pierwszej kolejności patrzymy na limity napięcia i prądu oraz liczbę i rodzaj kanałów. Nie ma w tym nic dziwnego, wszak są to główne czynniki brane pod uwagę podczas wyboru takiego urządzenia. Często można jednak zrobić sobie nieprzyjemną niespodziankę, gdy okaże się, że zakupiony sprzęt szumi jak przysłowiowe „sto nieszczęść". Zwykle wynika to w pierwszej kolejności z zastosowanej przez producenta topologii. Zasilacze liniowe – te klasyczne, ze sporym transformatorem, a zatem duże i relatywnie ciężkie (w stosunku do oferowanej mocy wyjściowej) pracują dość „kulturalnie", z niewielkim poziomem szumów. Mało tego – owe szumy mają ograniczone pasmo, gdyż zamiast przetwornicy na zafalowania napięcia/prądu wyjściowego wpływa przede wszystkim prostownik. Bardziej odpowiednim parametrem do oceny będą tu zatem tętnienia.

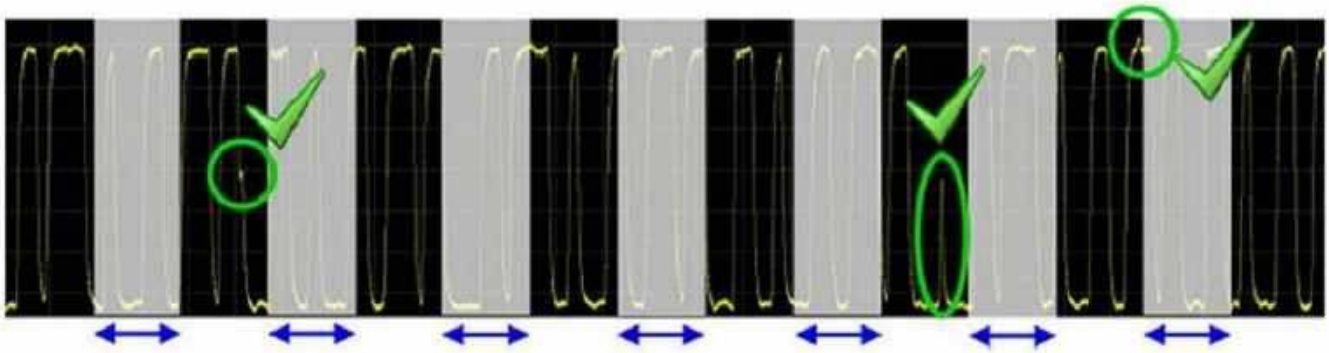
Niezależnie od tego, jak nazwiemy zakłócenia wyjściowe, producenci i tak podają je zwykle jako jeden, sumaryczny parametr „ripple and noise". A ten ma imponujący rozrzut wielkości. Typowy zasilacz liniowy z oferty Teledyne LeCroy (**fotografia 9**), Rigola czy Siglenta będzie miał zazwyczaj zakłócenia na poziomie 350 μVrms i 2 lub 3 mVpp. Gorzej jeżeli zdecydujemy się na kompaktowego malucha o budowie impulsowej. Taki zasilacz (przykład z oferty chińskiej marki UNI-T uwieczniono na **fotografii 10**) może już „wypluwać" na wyjście nawet 50 mVpp, ale coś za coś – trudno byłoby w urządzeniu o wymiarach porównywalnych z typowym

Fotografia 9. Programowalny zasilacz liniowy T3PS23203P marki Teledyne LeCroy. Źródło: https://t.ly/VbkAR

Fotografia 10. Zasilacz impulsowy UDP6953B marki UNI-T. Źródło: https://t.ly/fVn56

generatorem 2-kanałowym zmieścić zasilacz liniowy o mocy rzędu 600 W (tyle bowiem oferuje model UDP6953B). Za krótka kołdra zawsze da o sobie znać – albo decydujemy się na sygnałowy hałas na liniach zasilania, ale oszczędzamy miejsce na stole (i własny kręgosłup, w razie przemeblówki pracowni), albo wybieramy sprzęt ciężki i raczej nieporęczny (zwykle też dość długi, co zabiera cenne centymetry kwadratowe powierzchni blatu), ale przynajmniej „grzecznie" zbliżający się do niskoszumnego ideału.

Wraz z ceną zwiększa się zwykle także dokładność i rozdzielczość regulacji napięcia oraz prądu. I w tym miejscu warto wyraźnie podkreślić, że te dwie wielkości wcale nie muszą iść w parze – o ile dokładność dotyczy bowiem faktycznej zdolności do utrzymywania zadanych wartości U/I, to już rozdzielczość zależy m.in. od zastosowanego systemu sterowania końcówką mocy zasilacza, rozdzielczości wyświetlacza, etc. Może się zatem zdarzyć, że zasilacz o bardzo przyzwoitym wskaźniku napięcia (z rozdzielczością na poziomie pojedynczych miliwoltów) w rzeczywistości nawet nie zbliży się do prezentowanej wartości. Zawsze trzeba więc zajrzeć



Rysunek 1. Wyjaśnienie wpływu „gęstej" akwizycji ramek na prawdopodobieństwo przechwycenia rzadkich zaburzeń w mierzonym sygnale. Źródło: https://t.ly/dEtKH

eprasa.pl aa6cced055

Fotografia 11. Źródło mierzące B2902B marki Keysight.
Źródło: https://t.ly/PI6lN

do noty katalogowej i sprawdzić, czy (przynajmniej wg deklaracji producenta) wysoka rozdzielczość regulacji faktycznie koresponduje z dobrą dokładnością stabilizacji parametrów.

Źródło mierzące

Gwoli ścisłości należy wspomnieć, że w praktyce raczej rzadko będzie potrzebne źródło o bardzo wysokiej dokładności i niskich szumach, a zarazem o dużym prądzie wyjściowym (rzędu 10 A lub więcej). W przypadku gdy dokładność i precyzja nastaw, a także bardzo niskie szumy grają pierwsze skrzypce, trzeba zwrócić się ze swoimi poszukiwaniami w kierunku tzw. źródeł mierzących, czyli SMU (Source Measure Unit). Tego typu urządzenia – bajecznie drogie w porównaniu z nawet najlepszymi zasilaczami laboratoryjnymi – pozwalają z niebywałą dokładnością kontrolować parametry badanego elementu lub obwodu, a to okazuje się fundamentem m.in. w badaniach półprzewodników.

Przykład z życia wzięty? Proszę bardzo. Model B2902B marki Keysight (**fotografia 11**) umożliwia zasilanie i mierzenie napięć do 210 V DC i prądów do 3 A DC (10,5 A w impulsie), przy czym rozdzielczości pomiaru prądu wynoszą 100 fA/100 nV, zaś w trybie źródła jest to odpowiednio 1 pA i 1 μV. Warto dodać, że jest to przyrząd o wskazaniu 6,5 cyfry, czyli oferujący jakość pomiarów na poziomie porównywalnym z wysokiej klasy multimetrami laboratoryjnymi. Podczas pracy w trybie źródła parametr ten spada do „zaledwie" 5,5 cyfry. A ile trzeba zapłacić za takie cudeńko? Jeden z największych dystrybutorów policzył sobie za nie około 70 tysięcy złotych brutto.

Obciążenie elektroniczne

Przyrządem absolutnie niezbędnym podczas testów różnego rodzaju urządzeń zasilających bądź sterujących jest obciążenie programowalne. Tego rodzaju sprzęt jest dostępny w ofertach większości dużych producentów aparatury i oferuje zwykle szereg możliwości sterowania charakterem symulowanego obciążenia (tryb stałego napięcia, prądu, rezystancji lub mocy) oraz jego parametrami

Fotografia 12. Obciążenie elektroniczne DL3021A.
Źródło: https://t.ly/4WMOS

Fotografia 13. Obciążenie AC/DC marki Itech – model IT8200.
Źródło: https://t.ly/_egaR

czasowymi (obciążenie stałe, pulsacyjne o regulowanej szybkości narastania/opadania, etc.). Przykładowe urządzenie marki Rigol trafiło na **fotografię 12** – charakterystyczne zaciski wysokoprądowe są powszechnie stosowane także w innych obciążeniach elektronicznych, zaś dodatkowe gniazda bananowe (4 mm w wersji bezpiecznej) zostały tu użyte do realizacji zewnętrznego sensingu. Rozwiązanie to jest niezbędne, by móc wiarygodnie mierzyć parametry obciążenia (i sterować nimi) – bez uwzględnienia spadku napięcia na kablach połączeniowych dokładność w trybie stałego napięcia lub mocy byłaby bowiem żałośnie niska.

Trzeba w tym miejscu wyraźnie podkreślić bardzo istotny fakt. Znakomita większość obciążeń elektronicznych jest dostosowana do pracy z napięciami i prądami stałymi, co całkowicie dyskwalifikuje je np. w takich zastosowaniach, jak testy wyjść falowników czy chociażby transformatorów sieciowych. Na rynku można wprawdzie znaleźć także zaawansowane urządzenia zdolne do pracy zarówno z sygnałami DC, jak i AC, jednak przeważnie są to sprzęty dużej mocy, zdecydowanie nie nadające się do pracy na typowym stole laboratoryjnym – chociażby ze względu na spore rozmiary, dostosowane do montowania w szafach typu rack. Przykład można zobaczyć na **fotografii 13**. Warto dodać, że – w zależności od wersji – urządzenia z zaprezentowanej na zdjęciu serii mogą pracować z mocą do 15 kVA, dlatego producent zdecydował się na zastosowanie w nich interesującego rozwiązania. Polega ono na spożytkowaniu odbieranej ze źródła energii – zamiast rozpraszać ją w postaci ciepła, urządzenie korzysta z dostarczonej mocy do zasilania własnych obwodów oraz chłodzenia.

Generator funkcyjny

Kolejnym przyrządem niezbędnym w każdej pracowni jest generator funkcyjny. Dziś coraz rzadziej można już spotkać nowe modele prostszych generatorów funkcyjnych (zdolnych do generowania podstawowych przebiegów, czyli sinusa, prostokąta, piły i trójkąta). Zdecydowanie częściej mamy do czynienia z generatorami arbitralnymi, które cyfrowo syntezują dowolny przebieg – ograniczeniem jest jedynie pasmo i pojemność pamięci oraz – oczywiście – częstotliwość próbkowania. Najtańsze generatory stacjonarne mają przeważnie częstotliwość sygnału wyjściowego ograniczoną do 10...20 MHz (wartość ta dotyczy zwykle sinusa, gdyż przebiegi o wyższej zawartości harmonicznych muszą siłą rzeczy mieć niższą częstotliwość maksymalną). Najczęściej spotykane są urządzenia dwukanałowe, jednak i tutaj pojawiają się na rynku obiecujące zmiany. Nie chodzi tylko o bardzo kosztowne, specjalistyczne generatory 4- czy 8-kanałowe (**fotografia 14**), przeznaczone głównie dla użytkowników pracujących w laboratoriach badawczo-rozwojowych (np. nad symulacjami radarów czy zaawansowanymi technikami obrazowania). Jak się okazuje, po odpowiednio skrupulatnym przeszukaniu dostępnej oferty rynkowej można znaleźć np. takie „kwiatki", jak model MFG-2260MRA marki GW Instek (**fotografia 15**). Choć urządzenie to ma zaledwie dwa kanały główne (czyli pod tym względem nie różni się od większości generatorów z dolnej i średniej półki cenowej), to jego projektanci wzbogacili konstrukcję o szereg funkcji dodatkowych. Gniazdo oznaczone kolorem czerwonym udostępnia przebieg w.cz. (do 320 MHz!), zaś gniazdo fioletowe

eprasa.pl aa6cced055

Fotografia 14. Wysokiej klasy generatory 4- i 8-kanałowe marki Active Technologies. Źródło: https://t.ly/qPAhO

Fotografia 15. Generator „5-kanałowy" marki GW Instek – model MFG-2260MRA. Źródło: https://t.ly/mmOFz

Fotografia 16. Panel tylny generatora MFG-2260MRA. Źródło: https://t.ly/mmOFz

– sygnał impulsowy. Jakby tego było mało, na tylnym panelu (**fotografia 16**) znalazł się... jednokanałowy wzmacniacz mocy (do 100 kHz, 20 W). Obecnie jest to najprawdopodobniej jedyne tego typu urządzenie na rynku, które oprócz zwykłych kanałów arbitralnych oferuje tak szeroki zakres funkcjonalności wspierających główne wyjścia sygnałowe.

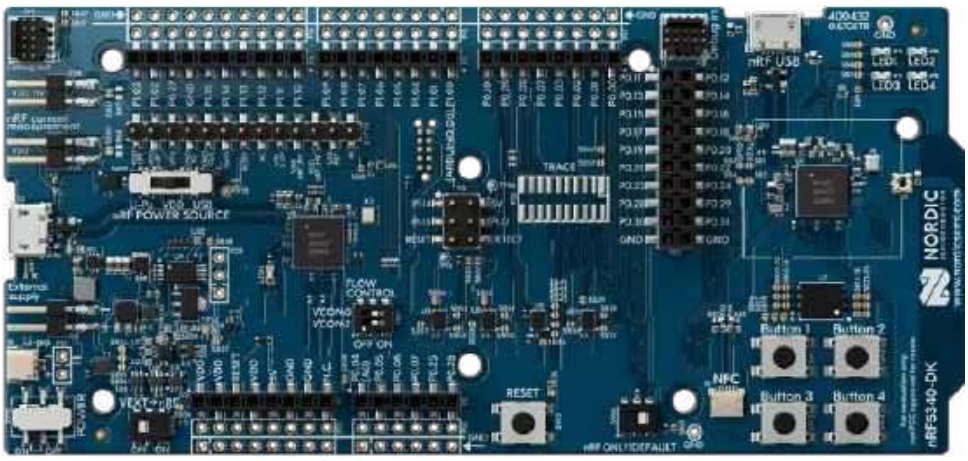
A to wciąż nie wszystko...

Niniejszy artykuł to zaledwie skromny wstęp do niewyczerpanej tematyki, jaką jest współczesna aparatura pomiarowa. W każdej z 6 subiektywnie wybranych kategorii wskazaliśmy po kilka zagadnień, które należy brać pod uwagę podczas wyboru sprzętu – a przecież parametrów, funkcji dodatkowych czy unikalnych cech ważnych z punktu ergonomii bądź użyteczności są setki, czy wręcz tysiące. Jeżeli rozszerzylibyśmy materiał o całą klasę sprzętu do badań RF (generatory sygnałowe RF, analizatory widma, analizatory wektorowe, odbiorniki pomiarowe, komory TEM i GTEM, wzmacniacze mocy, przedwzmacniacze RF, sondy pola bliskiego), modułowe i biurkowe systemy akwizycji danych (DAQ), analizatory stanów logicznych, testery bezpieczeństwa elektrycznego (do pomiaru prądów upływu, rezystancji izolacji czy parametrów uziemienia), przyrządy do pomiaru sieci energetycznej, mierniki zniekształceń harmonicznych, czy wreszcie coraz popularniejsze ostatnimi czasy testery baterii, to wypełniłby on całe wydanie EP, a i tak nie objąłby wszystkich możliwych zagadnień. Eksplorację bogatego (i kosztownego) świata aparatury pomiarowej zostawiamy więc zainteresowanym Czytelnikom.

Jakub Nowicki, EP

REKLAMA

KURS Nordic nRF z BT



Zanurzymy się w konfigurację środowiska z nRF Connect SDK i przyjrzymy się, co sprawia, że płyta deweloperska nRF5340 DK jest tak wszechstronna. Przygotuj się na ekscytującą podróż przez konfigurację, programowanie oraz testowanie, które otworzą przed Tobą nowe możliwości w technologii Bluetooth Low Energy i systemie Zephyr.

ulubionykiosk.pl

eprasa.pl aa6cced055

Fotografia 1. Multimetr laboratoryjny z serii GDM-904x

Gdy inteligencja spotyka się z precyzją – najnowsze multimetry laboratoryjne GW Instek

Firma GW Instek – renomowany producent wysokiej klasy aparatury pomiarowej – wprowadził niedawno na rynek nową serię zaawansowanych multimetrów pomiarowych GDM-904x. Rodzina obejmuje dwa modele: GDM-9041 oraz GDM-9042, zastępujące dotychczasową serię GDM-834x i oferujące innowacyjne funkcje wygodę i efektywność pracy.

Nowatorskie funkcje w ergonomicznym wydaniu

Multimetry z serii GDM-904x wyróżniają się imponującą dokładnością oraz wszechstronnością. Urządzenia te oferują 50 000 zliczeń, czytelny wyświetlacz LCD (zachowujący estetykę i czytelność charakterystyczne dla wszystkich nowych urządzeń marki GW Instek) oraz podstawową dokładność pomiaru napięcia DC na poziomie 0,02%. Dodatkowo nowa seria została wyposażona w funkcję Automatycznej Identyfikacji (A.I.), która w wielu praktycznych sytuacjach eliminuje konieczność ręcznego wyboru trybu pracy – urządzenie samoczynnie rozpoznaje rodzaj sygnału i dostosowuje ustawienia pomiarowe. To sprawia, że użytkownicy mogą skupić się na analizie wyników, a nie na ciągłym przełączaniu funkcji pomiarowych przyrządu.

Wszechstronne możliwości pomiarowe

Seria mierników laboratoryjnych GDM-904x obsługuje zarówno standardowe funkcje – typowe dla większości multimetrów – jak i te spotykane tylko w niektórych tego typu przyrządach, czyli pomiar pojemności oraz temperatury. Nowoczesne rozwiązania technologiczne zastosowane w miernikach z serii GDM-904x sprawiają, że są one idealnym wyborem zarówno dla profesjonalistów, jak i entuzjastów elektroniki poszukujących wysokiej klasy sprzętu w cenie akceptowalnej dla odbiorcy prywatnego. Dzięki funkcji True RMS multimetry zapewniają precyzyjne pomiary rzeczywistych wartości skutecznych napięcia i prądu, co jest niezbędne przy analizie skomplikowanych przebiegów odkształconych AC oraz AC ze składową stałą (AC+DC).

Więcej informacji:
Computer Controls Sp. z o.o.
43-309 Bielsko-Biała, ul. Bystrzańska 94
tel. +48 33 485 94 90, info@ccontrols.pl
www.ccontrols.pl

Zaawansowane funkcje matematyczne i przechowywanie danych

Seria GDM-904x oferuje funkcje matematyczne ułatwiające analizę wyników, takie jak Max/Min, REL, Ref% czy funkcje porównawcze. Co więcej, użytkownicy mają do dyspozycji dwa sposoby przechowywania danych:

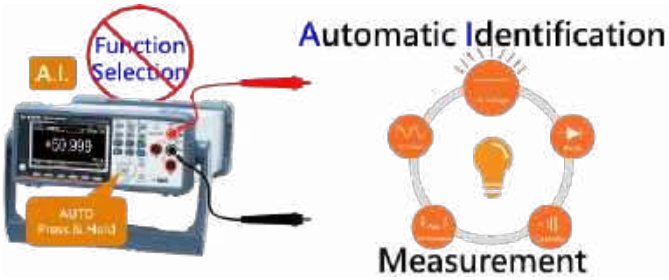
- Pamięć USB – umożliwia bezpośrednie zapisywanie danych na dysku Flash (pendrive) bez konieczności połączenia z komputerem,
- Interfejs USB – wbudowany port obsługuje protokoły USBCDC oraz USBTMC, pozwalając na szybki transfer danych do komputera. Dla użytkowników systemów zautomatyzowanych dostępny jest również opcjonalny interfejs GPIB, montowany fabrycznie na tylnym panelu urządzenia.

Inteligentne pomiary dzięki A.I.

Funkcja Automatycznej Identyfikacji (A.I.) znacząco podnosi komfort użytkowania. Multimetr automatycznie rozpoznaje mierzony sygnał i dostosowuje odpowiedni tryb pomiarowy, eliminując

eprasa.pl aa6cced055

Fotografia 2. Panel tylny przyrządu z serii GDM-904x z zamontowanym fabrycznie intervejsem GPIB



Rysunek 1. Funkcja A.I. automatycznie rozpoznaje rodzaj mierzonej wielkości i odpowiednio dostosowuje ustawienia miernika

błędy wynikające z niewłaściwego wyboru zakresu. Dzięki temu pomiary napięcia rezystancji, testy diod czy też sprawdzanie ciągłości obwodu stają się szybsze i bardziej intuicyjne.

Idealne narzędzie do laboratoriów i dla przemysłu

Seria GDM-904x to doskonałe rozwiązanie do laboratoriów badawczych, zakładów produkcyjnych, placówek edukacyjnych oraz warsztatów elektroniki. Dzięki nowoczesnej funkcjonalności i wysokiej dokładności pomiarów multimetry GW INSTEK gwarantują niezawodność i wygodę użytkowania w każdej sytuacji.

Seria GDM-904x to krok w przyszłość pomiarów – precyzyjne, inteligentne i intuicyjne w obsłudze urządzenia, które spełnią oczekiwania najbardziej wymagających użytkowników.

Najważniejsze parametry multimetrów z serii GDM-904x:

- 50,000 zliczeń,
- wyświetlacz graficzny LCD TFT o przekątnej 4,3”,
- podstawowa dokładność (pomiar DCV): 0,02%,
- funkcja automatycznej identyfikacji (A.I.) samoczynnie rozpoznająca rodzaj mierzonej wielkości i przełączająca multimetr w odpowiedni tryb pracy (napięcie, rezystancja, napięcie przewodzenia diod, test ciągłości),
- 11 funkcji pomiarowych: DCV, ACV, DCI, ACI, 2-przewodowy pomiar rezystancji, częstotliwość, okres, test diod, test ciągłości, pojemność temperatura,
- pomiary True RMS (AC, AC+DC),
- jednoczesny pomiar dwóch wielkości (funkcja Dual Measurement),
- funkcje matematyczne: MIN/MAX/REL, MX+B, 1/X, Ref%, Compare, Hold, dB, dBm,
- standardowe interfejsy: USB Device (wsparcie USBCDC & USBTMC),
- funkcja pomiaru temperatury (tylko w modelu GDM-9042),
- obsługa pamięci USB do zapisu danych pomiarowych (tylko w modelu GDM-9042).

REKLAMA

eprasa.pl aa6cced055

Pomiary zespołów głośnikowych (2)

Praktyczne wskazówki do metody MLS

W pierwszym odcinku tego cyklu wprowadziliśmy naszych Czytelników do tematu pomiarów zespołów głośnikowych, ich zasadności, problemów i tradycyjnych sposobów, w których największą rolę odgrywała komora bezechowa. Nadal jest ona najlepszym sposobem, aby uzyskać wiarygodną charakterystykę w prawie całym paśmie akustycznym, jednak obecnie – na szczęście – już niejedynym.
Komora bezechowa to droga inwestycja, pozostająca w zasięgu tylko największych firm i instytucji. Dla mniejszych producentów i dla hobbystów niedostępna, a jeżeli w ogóle, to od święta. Tymczasem wielu konstruktorów, a także magazynów testujących sprzęt, potrzebuje codziennego sposobu na wykonywanie pomiarów zespołów głośnikowych.
Nie będziemy w akademicki sposób wykładać teoretycznych, matematycznych podstaw, lecz w możliwe najbardziej przystępny i zgodnie z tytułem miesięcznika – praktyczny sposób opiszemy, jak się posługiwać różnymi metodami. W tym odcinku prezentujemy najważniejsze zasady metody MLS.

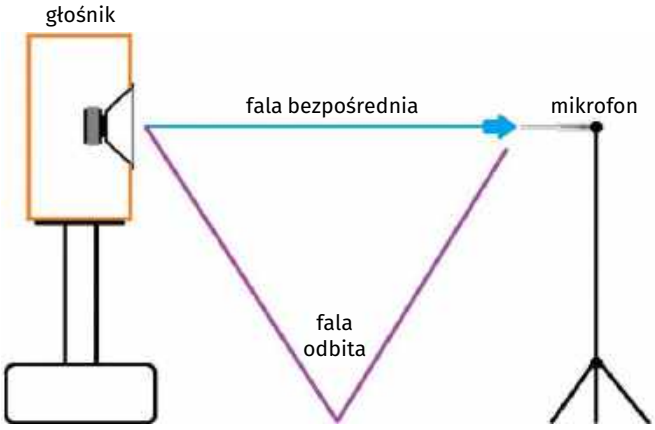
Pierwsza część artykułu znajduje się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

Redakcja miesięcznika „AUDIO" od prawie trzydziestu lat stosuje metodę MLS (maximum length sequence) i przebadała nią prawie dwa tysiące zespołów głośnikowych. Nasz system pomiarowy CLIO (w którym zawarte są też inne funkcje pomiarowe) to produkt firmy Audiomatica, który doczekał się kilku generacji i aktualnych wersji, ale MLS jest ogólną, a nie firmową nazwą metody, dostępnej również w systemach innych firm.

Schemat systemu pomiarowego z pewnością można znaleźć w wielu źródłach, nie będziemy tutaj przytaczać dokładnej instrukcji obsługi (gdzie i jaką wtyczkę włożyć), lecz poruszymy kwestie najważniejsze, akustyczne i podzielimy się naszymi spostrzeżeniami. Jednocześnie będziemy je łączyć z uwagami na temat konstrukcji i parametrów różnego typu zespołów głośnikowych (ale o tym w następnych odcinkach).

Metoda MLS pozwala w praktyce na prowadzenie pomiarów zakresu średnio-wysokotonowego, nawet w pomieszczeniu o powierzchni kilkunastu metrów kwadratowych.

Przypomnijmy krótko, że podstawową zasadą prawidłowego (w klasycznym ujęciu) pomiaru charakterystyki jest odebranie przez mikrofon pomiarowy tylko promieniowania biegnącego bezpośrednio z głośnika. W komorach bezechowych typowym sygnałem pomiarowym jest sinusoida, płynnie przestrajana przez całe pasmo akustyczne. Gdybyśmy do pomiarów w normalnym pomieszczeniu (o powierzchniach odbijających) zastosowali taką metodę, do mikrofonu dotarłoby mnóstwo odbić, zakłócających prawidłowy pomiar.



Układ geometryczny pomiaru metodą MLS

Zespół głośnikowy SourcePoint 8

eprasa.pl aa6cced055

Metoda MLS polega na czymś zupełnie innym. Do głośnika dostarczany jest specyficzny szum (trwający kilka sekund), z którego program najpierw automatycznie wylicza odpowiedź impulsową i pokazuje ją na ekranie. Po nabyciu pewnej wprawy łatwo będzie nam ustalić, gdzie w tej odpowiedzi widać „ząbek" wywołany już nie falą bezpośrednią, ale pierwszym silnym odbiciem, najprawdopodobniej pochodzącym od podłogi, która będzie najbliższą dużą powierzchnią odbijającą. Pojawia się on po ściśle określonym czasie od dotarcia do mikrofonu fali bezpośredniej, odznaczającej się w pomiarze wysokim pierwszym impulsem. Czas ten jest określony przez różnicę długości dróg, jakie muszą przebyć fale: bezpośrednia i odbita.

Na użytek tej sesji pomiarowej użyliśmy zespołu głośnikowego MoFi SourcePoint8. To dwudrożny układ koncentryczny, kreujący tzw. punktowe źródło dźwięku (eliminujący problem fizycznego rozsunięcia przetworników), o dobrej liniowości charakterystyki.

Załóżmy, że głośnik/zespół głośnikowy (na razie potraktujmy go umownie jako punktowe źródło dźwięku) znajduje się na wysokości 0,9 metra i na tym samym poziomie znajduje się mikrofon, w odległości 1 m od głośnika; długość drogi fali odbitej od podłogi wynosi wtedy 2,12 m, różnica dróg – 1,12 m; taką drogę fala (o dowolnej częstotliwości, prędkość dźwięku jest taka sama dla wszystkich częstotliwości, w powietrzu o temperaturze pokojowej i typowej wilgotności wynosi 344 m/s) przebywa w ok. 3 ms. W takiej „odległości" od pierwszego impulsu fali bezpośredniej można spodziewać się na pomiarze śladu fali odbitej. Do dyspozycji mamy kursor, którym możemy odznaczyć na wykresie początek i koniec fragmentu odpowiedzi impulsowej, który chcemy brać pod uwagę dla dalszych operacji. Początek wyznaczamy przed nadejściem czoła fali bezpośredniej, koniec przed śladem pierwszego silnego odbicia i w ten sposób mamy użyteczną część odpowiedzi impulsowej, z której wyeliminowaliśmy odbicia. Są w niej „zaszyfrowane" częstotliwościowe charakterystyki ciśnienia i fazy. Dalej, zgodnie z potoczną nomenklaturą, charakterystykę ciśnienia będziemy nazywali charakterystyką przetwarzania. Operacja matematyczna FFT (szybka transformacja Fouriera – spokojnie, nie musimy być matematykami!) przelicza odpowiedź impulsową i pokazuje charakterystykę przetwarzania. Proste, wygodne, ale nie bez wad. Częstotliwość skorelowana z oknem czasu, w którym trzeba pomiar „zamknąć", aby nie wpadły do niego odbicia, staje się dolną częstotliwością graniczną pomiaru; 3 ms to czas cyklu ok. 330 Hz, więc charakterystyka przetwarzania pokazana przez system poniżej 330 Hz jest nieprawidłowa i bezużyteczna; zazwyczaj łagodnie opada, co może przestraszyć tych, którzy nie wiedząc o tej zależności, na podstawie tak zmierzonych charakterystyk, publikowanych przez niektórych producentów, wyciągają wnioski co do słabego przetwarzania niskich częstotliwości. Tak wyznaczoną (przez okno czasu) częstotliwość graniczną wyświetli nam automatycznie system; nie pilnuje on jednak, abyśmy ustawili koniec czasu pomiaru przed impulsem fali odbitej; jeżeli ustawimy go znacznie dalej, np. po 6 ms (od impulsu fali bezpośredniej), wyświetli nam 165 Hz, do tej częstotliwości konwersja odpowiedzi impulsowej na charakterystykę przetwarzania będzie prawidłowa, ale ta ostatnia już zakłócona odbiciami, których sam system przecież nie musi interpretować jako szkodliwych; co więcej, w pomiarach służących ustaleniu charakterystyki w konkretnych warunkach pomieszczenia, w konkretnym ustawieniu, uwzględnienie odbić może być pożądane.

REKLAMA

eprasa.pl aa6cced055

Co gorsza, dla wyznaczania charakterystyki „czystej", nieobciążonej odbiciami, wysoka dokładność pomiaru zaczyna się jeszcze wyżej niż wskazana przez system teoretyczna częstotliwość graniczna; z praktyki wynika, że ok. 1,5...2× wyżej, w tym przykładzie przy ok. 500...600 Hz. Gdzie dokładnie – zależy od konkretnego przypadku (konstrukcji zespołu głośnikowego); podczas dokonywania pomiarów widać, że każda próba daje nieco inne wyniki, zmierzona charakterystyka „pływa" poniżej częstotliwości granicznej, a nawet nieco wyżej, mimo że głośnik działa tak samo, a czas, po jakim pojawia się odbicie, nie ulega zmianie. Na poziom w zakresie niskich częstotliwości wpływają zakłócenia z zewnątrz (głównie przejeżdżające samochody), dlatego warto zadbać o względną izolację od takich źródeł hałasów. Okno czasu najlepiej zamknąć tuż przed odbiciem, ale w niektórych przypadkach okazuje się, że ustawiając czas odrobinę krótszy, uzyskamy charakterystykę wyglądającą lepiej (bardziej wiarygodną). Powody „dziwnych" zachowań i wyników dostarczanych przez system pomiarowy mogą być różne, część z nich wynika z konstrukcji zespołu głośnikowego, chociaż nic nie dzieje się wbrew prawom fizyki. Czasami odbicia niskich częstotliwości, które nadchodzą najszybciej, gdy przetwornik niskotonowy znajduje się najniżej (tutaj odeszliśmy od założenia, że mierzymy punktowe źródło dźwięku), nie zaznaczają się na odpowiedzi impulsowej wyraźnym „ząbkiem", ale łagodniejszym wzniesieniem.

Jak można przesunąć niżej granicę prawidłowego pomiaru? Zwiększając różnicę między czasem dolotu fal bezpośrednich i odbitych, która wyznacza „okno" czasu. Tutaj wystarczą obliczenia boków trójkąta. Wcześniej zrobiliśmy założenie, że najbliższą dużą powierzchnią odbijającą jest podłoga, bowiem od ścian bocznych łatwiej się odsunąć, jednak pamiętajmy, że każdy obiekt, krawędź mebla, która pojawi się bliżej – może spowodować odbicie, które dotrze wcześniej niż odbicia od podłogi i albo zmusi nas do skrócenia okna czasowego, albo zakłóci charakterystykę. Z tego też powodu mikrofon najlepiej zamontować na długim, cienkim wysięgniku (np. rurce), a nie bezpośrednio na statywie, bowiem nawet odbicia od statywu, dobiegające wówczas niedługo po fali bezpośredniej, zakłócą charakterystykę w zakresie średnich i wysokich częstotliwości.

Jeżeli przy określonej odległości między źródłem dźwięku a mikrofonem będziemy ustawiać wyżej mikrofon niż, źródło, albo jedno i drugie, to będziemy oddalać się od podłogi, zwiększać różnicę dróg między fala odbitą a bezpośrednią, a tym samym przesuwać w dół (korzystnie) częstotliwość prawidłowego pomiaru. Należy jednak pilnować, aby nie zbliżyć się zanadto do… sufitu, aby odbicia od niego nie dobiegły wcześniej niż od podłogi.

Ponieważ większość pomieszczeń mieszkalnych ma wysokość ok. 2,6 metra, najlepiej ustawić mikrofon i źródło na wysokości ok. 1,3 metra. Kolumnę wolno stojącą należy więc ustawić na kilkudziesięciocentymetrowej podstawce, a małą konstrukcję podstawkową – na podstawce wyższej niż standardowa (optymalna do odsłuchu). W tym odcinku mierzymy punktowe źródło dźwięku, ale w praktyce mamy do czynienia z wielodrożnymi zespołami głośnikowymi, a więc z wieloma źródłami dźwięku. W każdym razie zawsze musimy wybrać punkt, który uznamy za reprezentatywny dla całego układu i uznać, że łącząc go z mikrofonem, wyznaczamy tzw. oś główną pomiaru.

Teoretyczne zalecenia, związane z uzyskaniem pomiaru o wysokiej dokładności, stawiają też wymagania co do odległości od źródła. Dystans 1 metra często pojawia się w materiałach źródłowych, ale nie jest to wartość idealna. Mniejsza odległość pozwala zwiększyć różnicę dróg fali bezpośredniej i odbitej, ale zniekształca charakterystykę z innych powodów niż odbicia, zwłaszcza w przypadku wielodrożnego zespołu głośnikowego, którego charakterystyka jest sumą (wektorową – znaczenie ma nie tylko amplituda, ale i faza) ciśnień wszystkich głośników, a relacje wymiarowe i kątowe zmieniają się wraz z odległością. Nawet po wyeliminowaniu odbić, w polu swobodnym, inaczej wyglądają charakterystyki zespołu głośnikowego z odległości 1 metra, pół metra czy też kilku metrów. Biorąc pod uwagę, że kolumn słucha się zwykle z odległości większych niż 1 metr i chcąc zobaczyć charakterystykę już ustabilizowaną (w funkcji odległości mikrofonu od zespołu głośnikowego), zaleca się, aby odległość ta była co najmniej trzykrotnością największego wymiaru zespołu głośnikowego. To jednak warunek bardzo trudny do spełnienia w przypadku kolumn wolno stojących i praktycznie uniemożliwiający tę metodę pomiaru w pomieszczeniu mieszkalnym; kolumny wolno stojące mają przeciętnie ok. 1 metra wysokości, więc odległość musiałaby wynosić co najmniej 3 metry; przy takiej odległości, nawet przy instalacji na wysokości 1,3 metra, droga odbicia wynosi 4 metry, a różnica dróg – 1 metr, dlatego teoretyczna granica prawidłowego pomiaru przesuwa się do ok. 350 Hz (a praktyczna, jak wiemy, jeszcze wyżej). W pewnych sytuacjach, gdy zależy nam na jak najdokładniejszym pomiarze powyżej 700 Hz, takie podejście może być uzasadnione, jednak w większości przypadków będziemy zainteresowani niższą częstotliwością graniczną. Chociaż cała powierzchnia obudowy, a zwłaszcza jej front, poprzez odbicia wpływa na charakterystykę, to rozsądnym kompromisem wydaje się „przeredagowanie" tego warunku w taki sposób, że minimalna odległość to trzykrotność odległości między najbardziej oddalonymi od siebie głośnikami zespołu. To wciąż będzie dużym wyzwaniem w przypadku konstrukcji wolno stojących, których konfiguracja głośników rozciąga się na większej części ich wysokości, ale może zredukować minimalną odległość z 3 metrów np. do 2 metrów, a w przypadku konstrukcji dwudrożnych, dwugłośnikowych (w tym podstawkowych), pozwoli zwykle utrzymać odległość 1 metra.

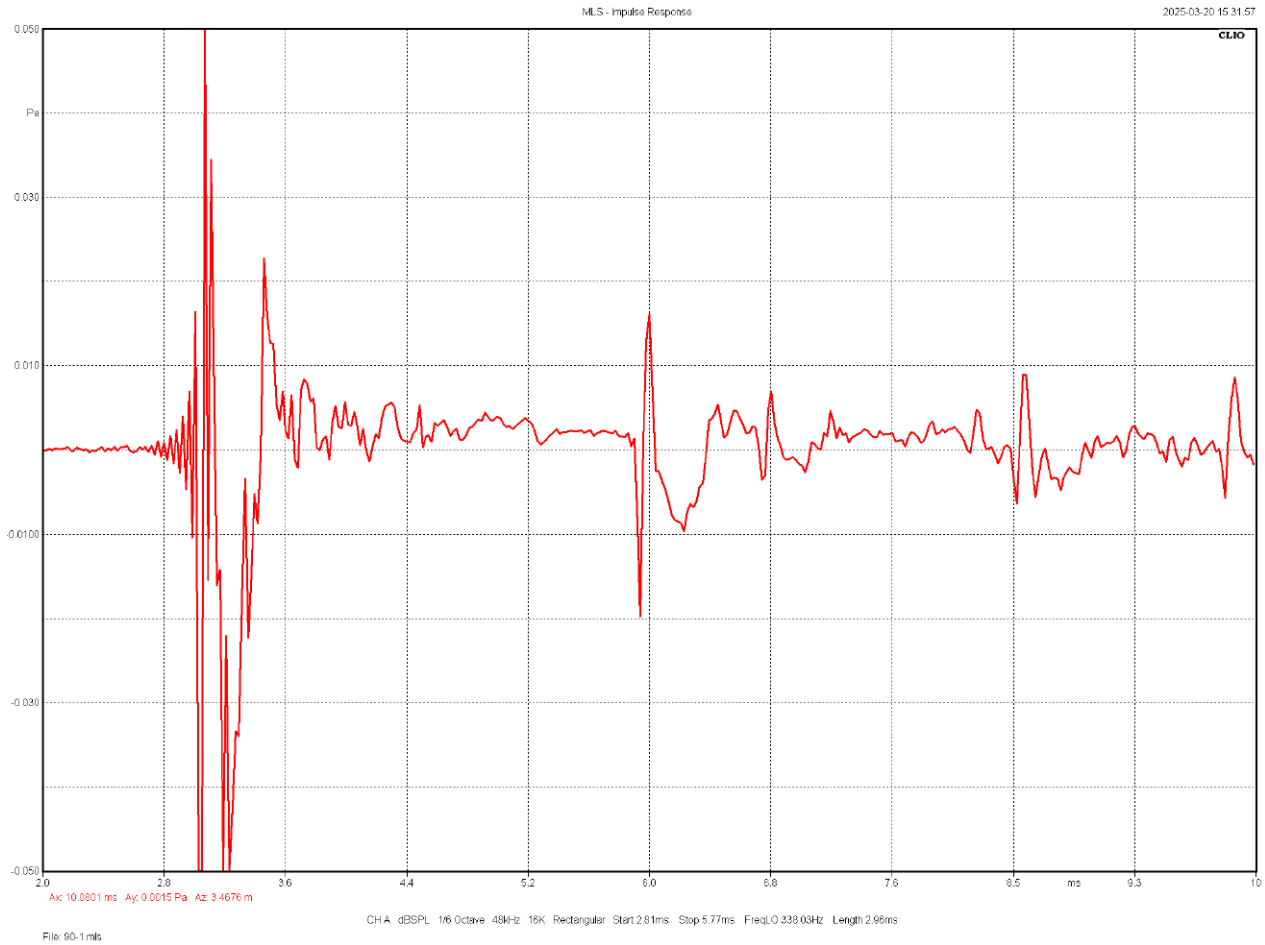
A co z odbiciami od podłogi? Stara porada sugeruje położenie na podłodze, w okolicach miejsca odbicia, materiału tłumiącego – zwiniętego koca, poduszek itp. To na pewno nie zaszkodzi, ale według naszych doświadczeń nie pomaga w takim stopniu, aby zignorować wciąż powstające odbicie (i wydłużenie okna pomiaru). Co więcej, słabe wytłumienie może wprowadzić w błąd poprzez wytłumienie odbić w paśmie wysokich częstotliwości (podatnych na tłumienie nawet cienkimi ustrojami, np. ręcznikiem), przez co na obrazie odpowiedzi impulsowej nie zobaczymy już „ząbka" i pochopnie wydłużymy okno do następnego odbicia (biegnącego np. od ściany); tymczasem odbicie średnich, a zwłaszcza niskich częstotliwości, nie zostało wytłumione, a odznacza się ono (na wykresie odpowiedzi impulsowej) łagodniejszym – czyli niższym i dłuższym – grzbietem, który możemy łatwo przeoczyć. Skuteczne wytłumienie fal rzędu kilkuset herców jest już bowiem znacznie trudniejsze i wymaga w praktyce… komory bezechowej.

Pomiary metodą MLS to sztuka kompromisów w postaci takiego doboru ustawień i parametrów pomiarów, który najlepiej odpowiada założonym celom całej procedury.

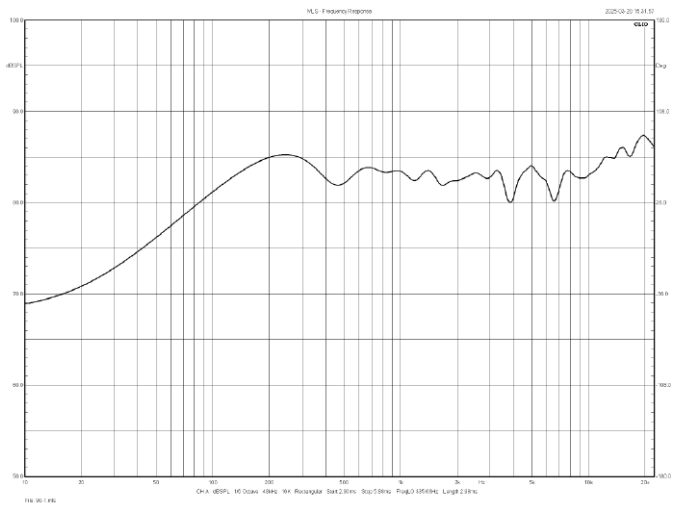
Pomiar zespołów głośnikowych metodą MLS nie może objąć całego pasma akustycznego; jest wyraźnie ograniczony od strony niskich częstotliwości, w praktyce, w zależności od sytuacji (warunków, w jakich przeprowadzamy pomiar, dokładności, z jaką chcemy charakterystykę zobaczyć, konstrukcji zespołu głośnikowego) dolna częstotliwość graniczna pomiaru zawiera się w granicach 300…700 Hz. A co z niskimi częstotliwościami? Nimi musi zająć się pomiar w tzw. polu bliskim. Ale w następnym odcinku będziemy dalej ćwiczyć pomiar MLS, tyle że na trudniejszych przykładach układów wielodrożnych (z rozsuniętymi przetwornikami).

Andrzej Kisiel

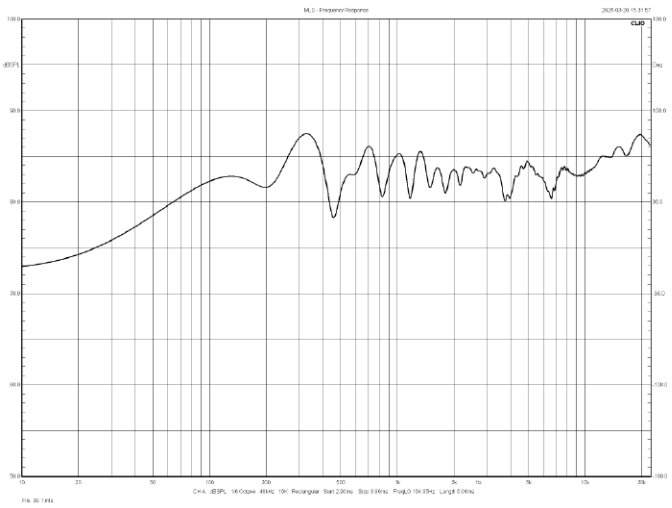
eprasa.pl aa6cced055



Rysunek 1. Odpowiedź impulsowa z odległości 1 m i wysokości 90 cm



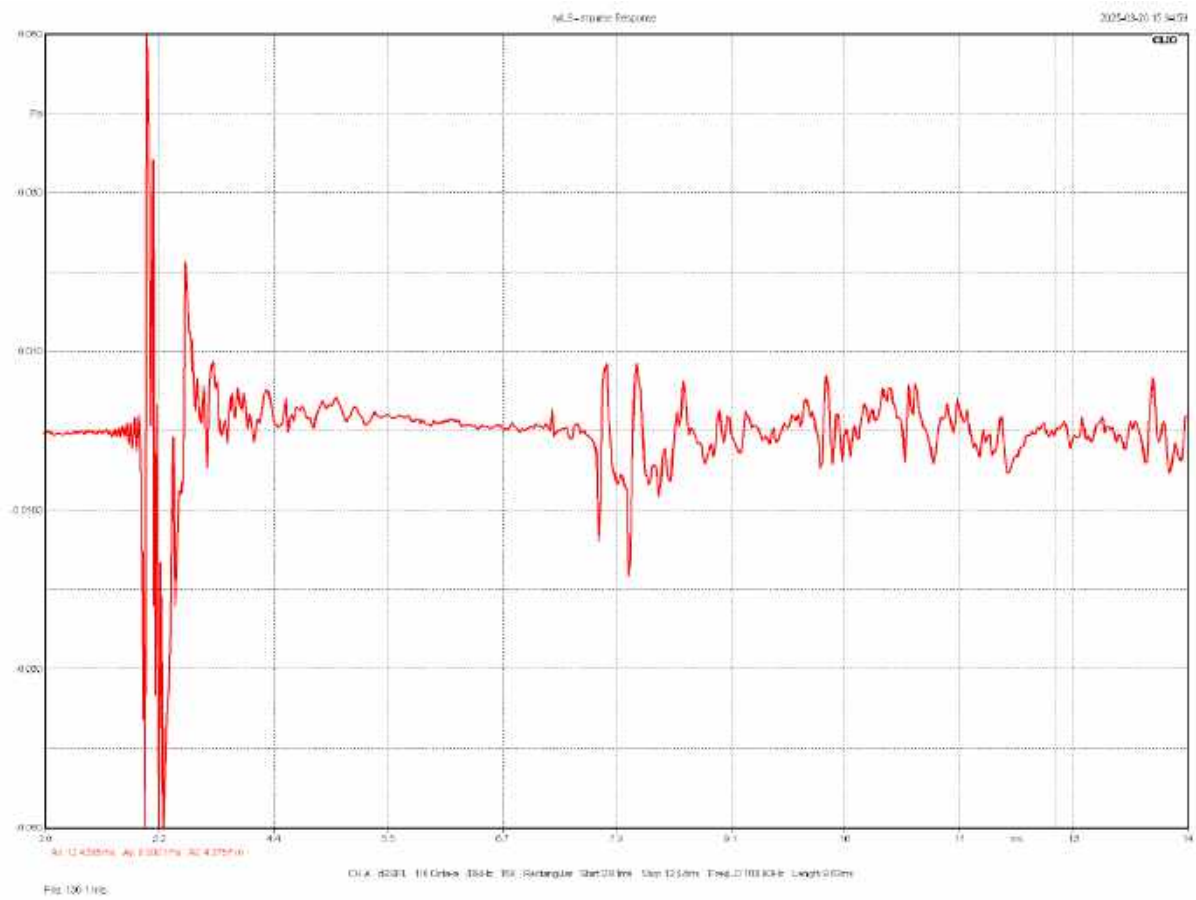
Rysunek 2. Charakterystyka przetwarzania wygenerowana z rysunku 1 z oknem 3 ms



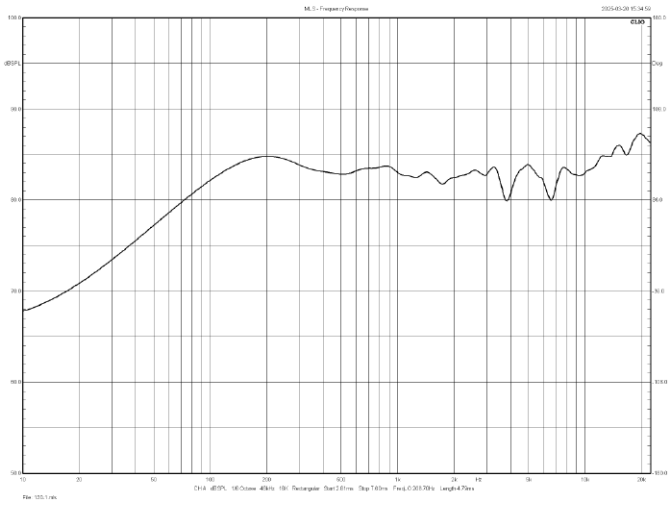
Rysunek 3. Charakterystyka przetwarzania wygenerowana z rysunku 1 z oknem 6 ms

*Na **rysunku 1** widać odpowiedź impulsową z odległości 1 m i wysokości 90 cm; na **rysunku 2** – charakterystykę przetwarzania wyznaczoną na tej podstawie w sposób prawidłowy, z zamknięciem okna czasu przed pierwszym silnym odbiciem (od podłogi), widocznym przy 5,8 ms, a więc 3 ms po otwarciu okna przed nadejściem fali bezpośrednio z głośnika (przy 2,8 ms). Dolna częstotliwość graniczna tego pomiaru to 330 Hz i teoretycznie charakterystyka jest pokazana prawidłowo powyżej tej częstotliwości (a w praktyce powyżej 500...600 Hz). Na **rysunku 3** widać charakterystykę przetwarzania wyznaczoną na podstawie dwa razy dłuższego okna czasu 6 ms (zamknięcie przy przy 8,8 ms). Dolna częstotliwość graniczna tego pomiaru jest więc dwa razy niższa, wynosi 165 Hz, ale pomiar „zbiera" odbicia, zarówno od podłogi przy 5,8 ms, jak od sufitu przy 8,6 ms, które powodują pofalowanie charakterystyki przetwarzania. Taki sposób na obniżenie częstotliwości granicznej pomiaru jest nieskuteczny, jeżeli chcemy zobaczyć „czystą" charakterystykę głośnika, chociaż pokazuje rzeczywistą charakterystykę w określonym miejscu pomieszczenia, wraz z wywołanymi odbiciami (wciąż jednak powyżej określonej częstotliwości granicznej).*

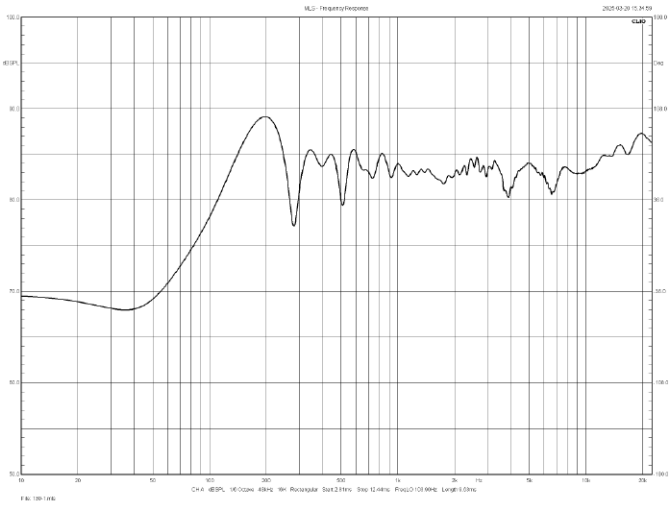
eprasa.pl aa6cced055



Rysunek 4. Odpowiedź impulsowa z odległości 1 m i wysokości 130 cm



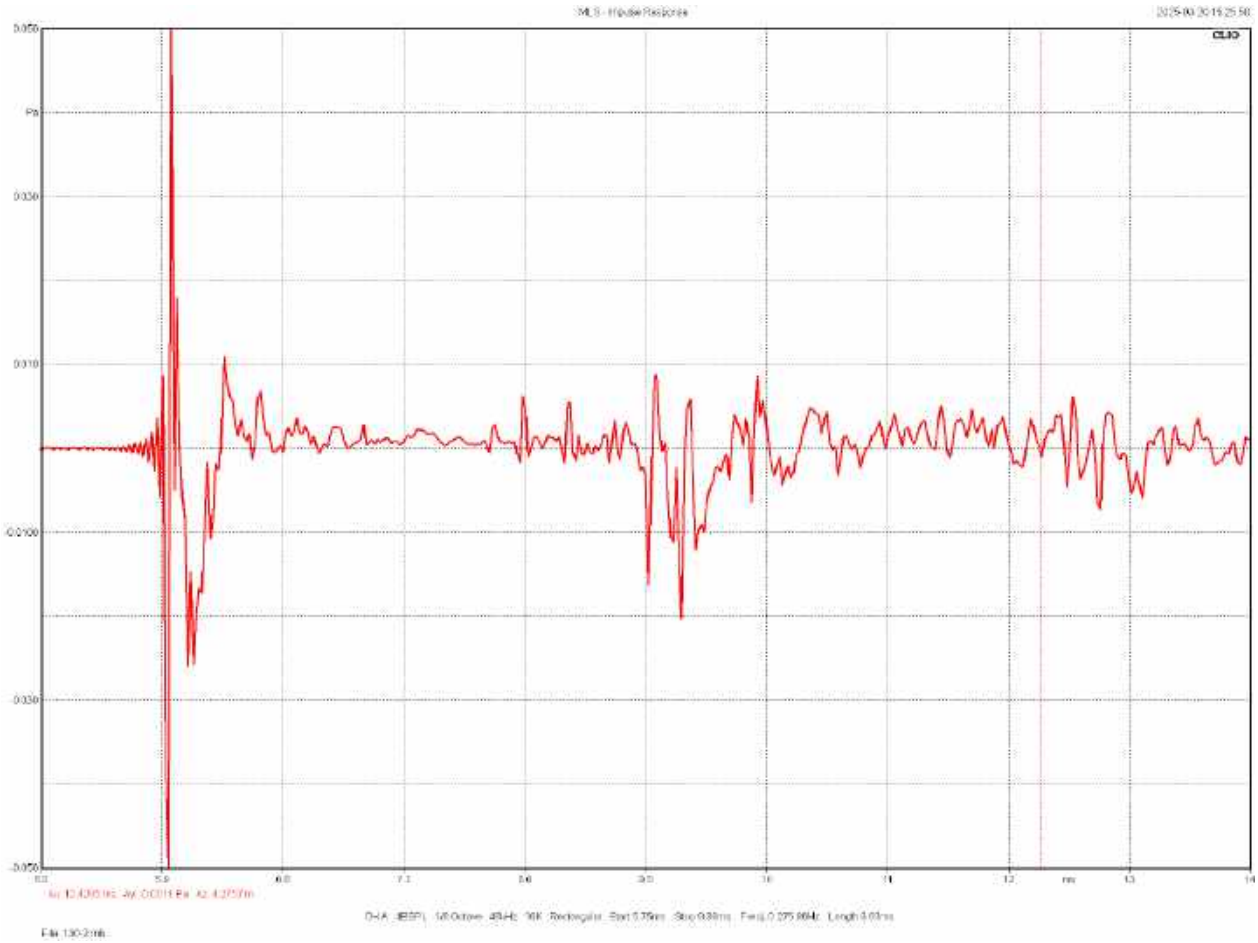
Rysunek 5. Charakterystyka przetwarzania wygenerowana z rysunku 4 z oknem 4,8 ms



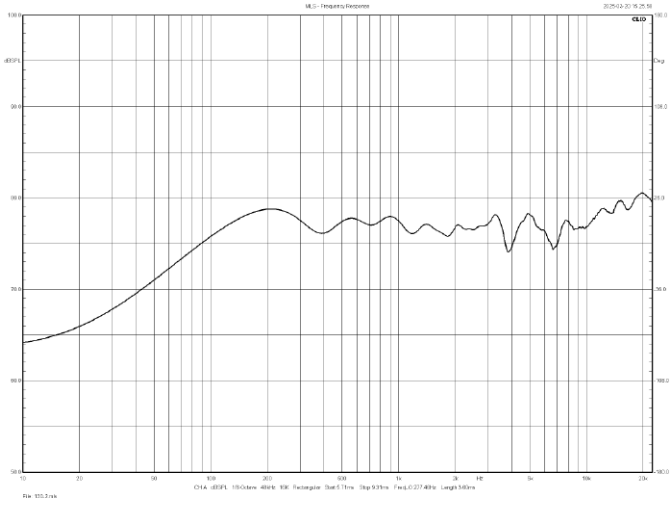
Rysunek 6. Charakterystyka przetwarzania wygenerowana z rysunku 4 z oknem 9,6 ms

*Na **rysunku 4** widać odpowiedź impulsową z odległości 1 m i wysokości 130 cm, a na **rysunku 5** – charakterystykę przetwarzania wyznaczoną na tej podstawie w sposób prawidłowy, z zamknięciem okna czasu przed pierwszym silnym odbiciem (od podłogi), widocznym przy 7,7 ms, a więc ok. 5 ms po otwarciu okna przed nadejściem fali bezpośredniej z głośnika. Dolna częstotliwość graniczna tego pomiaru to 200 Hz (a w praktyce 300...400 Hz). W porównaniu do rysunku 2 zmniejszył się „dołek" przy 450 Hz, co wiąże się z wyższą dokładnością tego pomiaru w tym zakresie. Powyżej 600 Hz różnice między charakterystykami (rysunki 2 i 5) są już minimalne. Charakterystykę na **rysunku 6** wyznaczyliśmy przy dwa razy dłuższym oknie czasu 10 ms (zamknięcie przy przy 12,8 ms), dolna częstotliwość graniczna jest więc dwa razy niższa (100 Hz), ale pomiar rejestruje dużo odbić, nie tylko od podłogi; ich spektrum jest inne niż na rysunku 3, gdyż inna jest także pozycja głośnika i mikrofonu względem powierzchni odbijających. Odbicia w zakresie powyżej 500 Hz są słabsze ze względu na lepszą relację natężenia między falą bezpośrednią a falami odbitymi (większa odległość od powierzchni odbijającej to nie tylko większe opóźnienie, ale i mniejsze ciśnienie).*

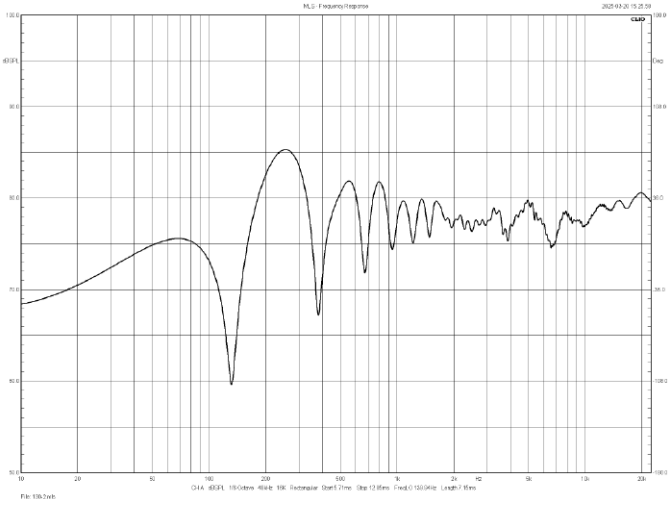
eprasa.pl aa6cced055



Rysunek 7. Odpowiedź impulsowa z odległości 2 m i wysokości 130 cm



Rysunek 8. Charakterystyka przetwarzania wygenerowana z rysunku 7 z oknem 3,6 ms



Rysunek 9. Charakterystyka przetwarzania wygenerowana z rysunku 7 z oknem 7,2 ms

*Na **rysunku 7** widać odpowiedź impulsową z odległości 2 m i wysokości 130 cm, a na **rysunku 8** – charakterystykę przetwarzania wyznaczoną na tej podstawie w sposób prawidłowy, z zamknięciem okna czasu przed pierwszym silnym odbiciem (od podłogi), widocznym przy 9,5 ms, a więc ok. 3,5 ms po otwarciu okna przed nadejściem fali bezpośrednio z głośnika (widocznym przy 6 ms). Dolna częstotliwość graniczna tego pomiaru to 280 Hz i charakterystyka jest pokazana prawidłowo powyżej tej częstotliwości (a w praktyce powyżej 400...500 Hz). Ze względu na podobne (tylko nieco dłuższe) okno czasowe niż w pomiarze z odległości 1 m i wysokości 90 cm, również prawidłowo wyznaczona charakterystyka przetwarzania jest podobna, a więc mniej dokładna poniżej 500 Hz niż charakterystyka wyznaczona z odległości 1 m i wysokości 130 cm. Na **rysunku 9** pokazano charakterystykę przetwarzania wyznaczoną na podstawie dwa razy dłuższego okna czasu 7 ms (zamknięcie przy przy 12,8 ms). Dolna częstotliwość graniczna tego pomiaru jest więc dwa razy niższa, wynosi 140 Hz, ale tak jak wcześniej na rysunkach 3 i 6, pomiar ten obarczony jest odbiciami – w tym przypadku są one najsilniejsze i opanowują zakres średnich tonów, bowiem odsunięcie się na 2 metry pogarsza relację natężeń między falą bezpośrednią a falami odbitymi.*

eprasa.pl aa6cced055

Elementy nieprzydatne w technice audio

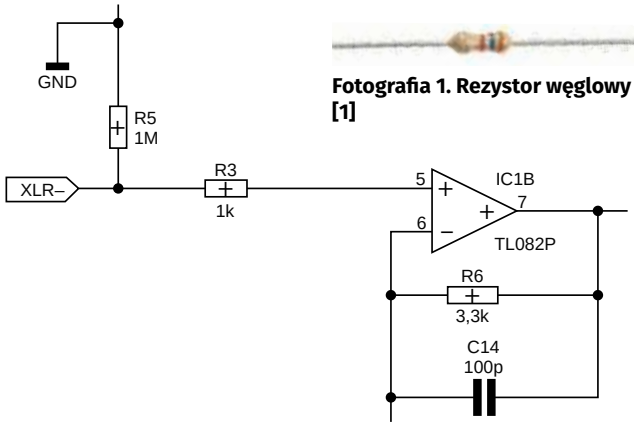
Każda dziedzina elektroniki rządzi się swoimi prawami i potrzebami. Nie inaczej jest w technice audio – z pozoru mało wymagającej, jednak takie wrażenie można odnieść, wyłącznie patrząc bardzo powierzchownie. Jakie podzespoły tylko teoretycznie spełniają wymagania i czemu ich stosowanie to w rzeczywistości proszenie się o kłopoty?

Jeżeli ktoś patrzy na technikę audio przez pryzmat monofonicznych odbiorników tranzystorowych z ubiegłego wieku lub sprzętów o podobnym poziomie zaawansowania, to może odnieść wrażenie, że nie ma czegoś takiego, jak „nieprawidłowe elementy". Niskie częstotliwości, małe moce, niewysokie napięcia – gdzie tu trudności? Kondensator ma pojemność, opornik swoją rezystancję, tranzystor wzmacnia prąd… Przecież wszystko, co tylko będzie spełniało wymagania projektu, nada się z powodzeniem i nie ma o co kruszyć kopii.

Uspokoić pragnę w tym miejscu tutaj tych, którzy wręcz alergicznie reagują na hasła typu „złote kondensatory" albo „platynowe kable". Nie popadajmy ze skrajności w skrajność. Czym innym jest po prostu dobrej jakości element, a czym innym jego wersja okraszona ezoterycznymi opisami i legendami. Kto chce, niechaj takie stosuje, lecz w niniejszym artykule poruszę tylko te zagadnienia, na które mamy realny (i przez to mierzalny) wpływ.

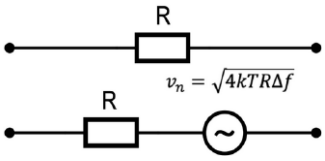
Na pierwszy ogień weźmy rezystory. Skoro przywołałem metaforę ognia, niechaj więc będą te węglowe. Każdy je zna – występują w bardzo wielu układach, ponieważ są tanie, a przez to ludzie chętnie je stosują. W ilościach detalicznych kosztują one kilka groszy za sztukę i wyglądają jak na **fotografii 1**. Mają przeważnie tolerancję 5%, co powinno je dyskwalifikować z wielu zastosowań, na przykład filtrów sygnału, które są czułe na rozrzuty elementów. Jednak są takie miejsca w układzie, w których nawet kilkunastoprocentowy rozrzut nie powinien być problemem – jako przykład podajmy rezystor polaryzujący siatkę sterującą lampy albo wejście wzmacniacza operacyjnego, jak na schemacie z **rysunku 1**. Rezystor R5, który się na nim znajduje, teoretycznie nie przewodzi jakiegokolwiek prądu i nie ma wybitnie ważnej funkcji – ot, polaryzuje wejście nieodwracające potencjałem masy – jednak w praktyce spoczywa na nim wielka odpowiedzialność. Znajduje się on bowiem na samym wejściu układu, w miejscu najbardziej krytycznym dla poziomu szumów w całym układzie.

Fotografia 1. Rezystor węglowy [1]



Rysunek 1. Polaryzacja wejścia wzmacniacza operacyjnego

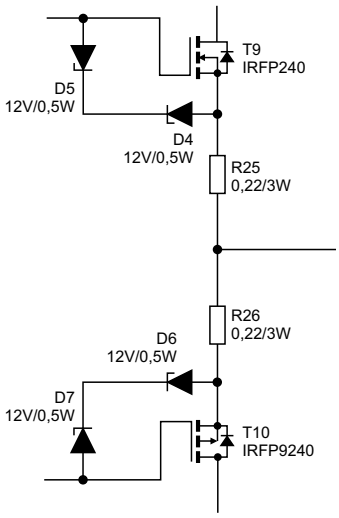
Dla przypomnienia szumowy schemat zastępczy każdego rezystora pokazałem na **rysunku 2**. Wartość skuteczna napięcia szumów zależy od pasma, rezystancji, temperatury. Są to jednak szumy termiczne, z którymi niewiele możemy zrobić poza obcinaniem pasma, zmniejszaniem rezystancji bądź schładzaniem naszych układów. Oprócz nich występują również trudne do uchwycenia (od strony matematycznej) szumy nadmiarowe, które zwiększają całkowity poziom szumów. Ich natura wynika z niejednorodności materiału przewodzącego prąd elektryczny, który na swej drodze napotyka liczne uszkodzenia i deformacje sieci krystalicznej. Zaś tych w rezystorach węglowych jest aż nadto, bowiem prąd w tych elementach przepływa przez spiek takich materiałów jak grafit czy ceramika. Nadaje im to dobre właściwości pod względem wytrzymałości na udary prądowe, lecz z punktu widzenia szumów to fatalne rozwiązanie, gdyż nośniki ładunku rozbijają się o wiele mniejszych i większych, nieregularnie ułożonych fragmentów spieku.



Rysunek 2. Szumowy schemat zastępczy rezystora [2]

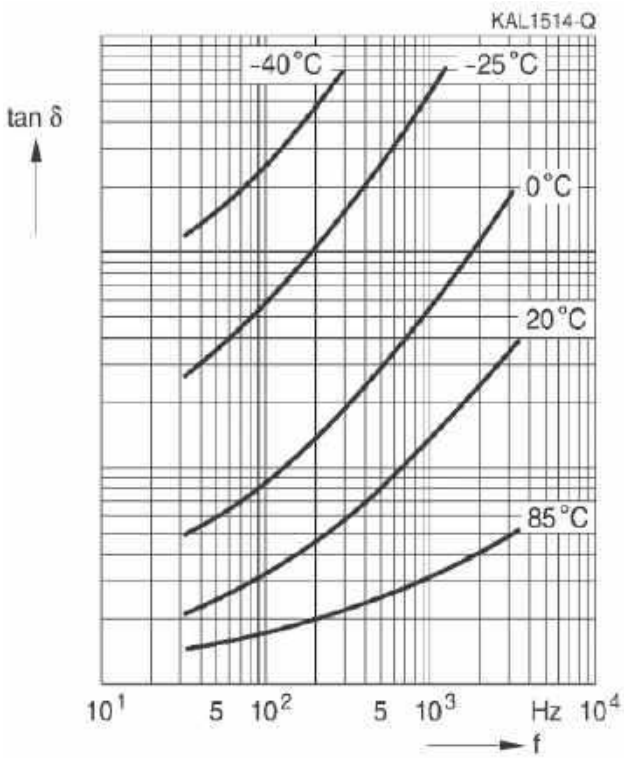
Ze swoich doświadczeń mogę powiedzieć, że naprawdę można usłyszeć Niagarę, testując na głośnikach układ zrobiony „po taniości". W przysłowiowym radyjku na baterie nikogo to nie będzie aż tak raziło, lecz budując układ przeznaczony do odtwarzania muzyki w możliwie wysokiej jakości, taki defekt uznamy już za niedopuszczalny. W takich przypadkach warto postawić na rezystory metalizowane, które w dzisiejszych czasach nie są jakoś znacząco droższe, za to ich parametry (nie tylko szumowe, lecz również te opisujące tolerancję czy stabilność) są zdecydowanie lepsze. Nie oznacza to, że rezystorów węglowych w ogóle nie wolno używać w torze audio – dla nich dobre miejsce jest tam, gdzie mamy do czynienia z bardzo niskimi rezystancjami i wysokimi prądami, na przykład na wyjściu końcówki mocy z **rysunku 3** – tam rezystory węglowe mają przewagę nad drutowymi, które wprowadzają niepotrzebną indukcyjność.

Opisaliśmy już rezystory, teraz czas na kondensatory. Przysłowiowym źródłem „zła wszelakiego" są kondensatory elektrolityczne wstawiane tam, gdzie zachodzi potrzeba sprzęgnięcia zmiennoprądowego dwóch stopni z jednoczesną izolacją składowej stałej.Popierwszeinajważniejsze, trzeba zadbać o prawidłową polaryzację tychże elementów, co często umyka uwadze zwłaszcza mniej doświadczonych konstruktorów – potencjał jednej okładki zawsze musi być wyraźnie wyższy od potencjału drugiej, w przeciwnym przypadku taki element nie pracuje w prawidłowych dla siebie warunkach.



Rysunek 3. Rezystory węglowe mogą być użyte tam, gdzie płyną wysokie prądy

eprasa.pl aa6cced055

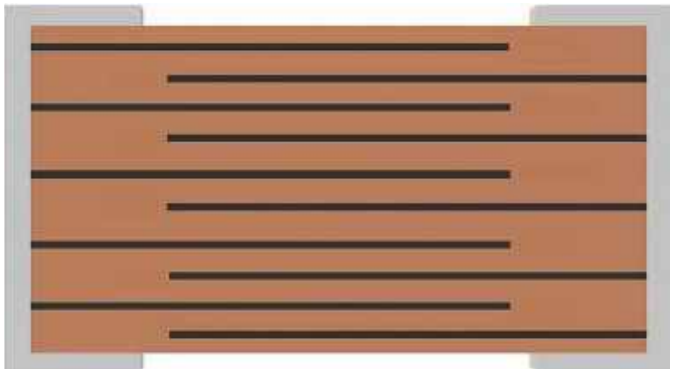


Rysunek 4. Tangens kąta strat w funkcji częstotliwości dla różnych temperatur [3]

Fotografia 2. Kondensatory MLCC w obudowach SMD [4]

Z tychże nieoptymalnych warunków wynikają następne problemy, bardziej ukryte, a mianowicie wzrost tangensa kąta strat (tgΔ) i powiązany z tym wzrost rezystancji szeregowej kondensatora, która… szumi. Co gorsza, tgΔ silnie zależy od częstotliwości i rośnie wraz ze wzrostem takowej (**rysunek 4**), jak i ze spadkiem temperatury. Po prostu klapa i dramat. Nie róbmy tego naszym układom (chyba że to popularne „klaskacze" czy tego typu proste zabawki), nie stosujmy kondensatorów elektrolitycznych w torze audio. Tam jest miejsce dla kondensatorów z dielektrykiem foliowym, który wyróżnia się bardzo niską upływnością, małymi stratami i wysoką stabilnością parametrów w funkcji czasu, temperatury i częstotliwości.

Jest jeszcze jeden rodzaj kondensatorów, których bardzo nie lubię w niektórych zastosowaniach – wielowarstwowe kondensatory ceramiczne, znane pod akronimem MLCC. Te niewielkie elementy w obudowach do montażu powierzchniowego – jak na **fotografii 2** – potrafią osiągać



Rysunek 5. Przekrój kondensatora MLCC w obudowie SMD [5]

całkiem duże pojemności, rzędu 100 μF, w obudowie wielkości główki zapałki. To, co daje im możliwość uzyskiwania tak imponujących pojemności, jest jednocześnie ich przekleństwem, bowiem chodzi o efekt ferroelektryczny.

Budowa takiego kondensatora nie odbiega znacząco od tego, co poznaliśmy w szkole średniej – **rysunek 5**. Jednak klucz kryje się tutaj w dielektryku, który składa się z domen ferroelektrycznych. Pod wpływem zewnętrznej polaryzacji zaczynają się one ustawiać w jednym kierunku (przeciwnie do polaryzacji, zgodnie z prawem przyciągania elektrostatycznego), przez co ich pojemność maleje. Poza tym pojemność ta ma inną wartość, gdy zmienimy polaryzację napięcia przyłożonego do kondensatora, ponieważ nie wszystkie domeny się odwrócą – lecz nie jest to tak dotkliwy problem, jak zmiana pojemności pod wpływem napięcia. Może się okazać, że doskonale dobrany kondensator sprzęgający, o pojemności nominalnej np. 10 μF, tak naprawdę w rzeczywistym układzie ma tylko 2 μF… Kondensatory MLCC jako elementy odsprzęgające zasilanie są jak najbardziej w porządku, ale do samego sygnału analogowego lepiej ich nie dopuszczać. Dotyczy to zwłaszcza dielektryka X7R, który jest używany do budowy kondensatorów o największych pojemnościach. Po przeciwnej stronie barykady mamy dielektryk C0G, który z kolei wykazuje bardzo wysoką stabilność pojemności w funkcji napięcia, tyle że kondensatory zbudowane z jego użyciem osiągają niewielką pojemność, na ogół nie wyższą niż kilkanaście nanofaradów.

Następny problem, nieco rzadziej opisywany w literaturze, a dotkliwy w audio, to mikrofonowanie. Kondensator wielowarstwowy, użyty jako sprzęgający, bardzo dobrze zamienia drgania płytki na impulsy elektryczne, którymi „wzbogaca" przenoszony sygnał. I tutaj znowu zauważyłem pewną prawidłowość: kondensatory

REKLAMA

eprasa.pl aa6cced055

z dielektrykiem X7R albo Y5V, kosztujące pojedyncze grosze za sztukę, mikrofonują całkiem solidnie. Z kolei podzespoły bazujące na ceramice C0G lub NP0, pochodzące od renomowanych producentów, zachowują się całkiem elegancko. Można więc ich użyć na przykład do budowy filtrów, ponieważ mają też z reguły bardzo dobrą tolerancję, rzędu 1%. Z powodzeniem stosuję je w filtrach wejściowych przedwzmacniaczy RIAA, w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego wzmacniaczy operacyjnych oraz w przedwzmacniaczach mikrofonowych do zawężania pasma ich przenoszenia.

Fotografia 3. Kondensator MLCC w obudowie THT [6]

Kondensatory typu MLCC występują również w obudowach do montażu przewlekanego, wyglądających najczęściej tak jak na **fotografii 3**. Tutaj zauważyłem regułę podobną do tej, którą opisałem przy okazji kondensatorów SMD: tanie podzespoły zawierające dielektryk X7R potrafią „płatać figle", z kolei te droższe, bazujące na C0G, spisują się bardzo dobrze. W handlu często nazywa się je „monolitycznymi". Występują również w prostopadłościennych obudowach, najczęściej koloru żółtego – te elementy są bardzo dobre, pod warunkiem użycia dielektryka C0G – ich cena na ogół znacznie przewyższa średnią.

Na koniec warto również wspomnieć o jeszcze jednym rodzaju kondensatorów – ceramicznych, brązowych „piegach", które zna niemal każdy z nas, zwłaszcza z tanich urządzeń RTV z lat dziewięćdziesiątych (**fotografia 4**). Ich cena jest atrakcyjna, bo wynosi z reguły kilka groszy za sztukę, lecz warto zwrócić uwagę na pojemność, która może się wahać w przedziale od –20% do +80% względem nominalnej. Opisywane elementy są też z reguły wykonywane z dielektryków X7R lub Y5V, cechujących się efektem ferroelektrycznym. Tylko te o niewielkich pojemnościach, rzędu pikofaradów, zawierają dielektryk C0G, choć i wtedy ich tolerancja pojemności wynosi ±20% lub, w najlepszym wypadku, ±10%. Ze swojej strony dodam, że nie lubię ich ze względu na bardzo cienkie wyprowadzenia, które łatwo się zginają w czasie montażu lub testów prototypu, a po kilku zgięciach pękają. Pod tym względem zdecydowanie lepsze są pokazane wcześniej kondensatory monolityczne.

Fotografia 4. Kondensator ceramiczny w obudowie THT [7]

Podsumowanie

W dzisiejszych czasach mamy bardzo ułatwiony dostęp do elementów – może nie najwyższej jakości, ale na pewno o przyzwoitych parametrach, jak rezystory metalizowane czy kondensatory foliowe (MKT) lub ceramiczne (z dielektrykiem C0G). Oszczędzanie kilkunastu czy kilkudziesięciu groszy może być sensowne w aplikacjach niskobudżetowych, lecz na pewno będzie to okupione takimi niedogodnościami, jak kiepska tolerancja częstotliwości odcięcia filtru albo uciążliwy efekt mikrofonowania.

Michał Kurzela, EP

Bibliografia:

- https://t.ly/BGCdC
- https://t.ly/hwOVv
- https://t.ly/RMNlF

Źródła:

[1] https://inelsc.pl/pl/p/Rezystor-2%2C2Kohm-0%2C25W-weglowy/6674
[2] https://circuitcellar.com/resources/quickbits/noise-in-passive-circuits/
[3] https://www.tdk-electronics.tdk.com/download/530704/e724fb43668a157bc547c65b0cff75f8/pdf-generaltechnicalinformation.pdf
[4] https://t.ly/GoPfJ
[5] https://t.ly/8Ga6F
[6] https://t.ly/7dvrM
[7] https://t.ly/nH_H9

REKLAMA

UWAGA! Tylko prenumeratorzy czasopism „Elektronika dla Wszystkich", „Elektronika Praktyczna", „Świat Radio" oraz „Elektronik" mogą korzystać z atrakcyjnych rabatów w Sklepie AVT:

- ✓ do 50% na wydania specjalne czasopism Wydawnictwa AVT
- ✓ 20% na kity w wersji A (płytki drukowane do projektów AVT)
- ✓ 10% na pozostałe wersje kitów: (A+, B, C, D)
- ✓ 10% na książki
- ✓ 5% na pozostałe produkty z oferty sklepu

Ponadto każdy prenumerator ww. czasopism korzysta z rabatów od 30% do 50% na zakup czasopism z oferty www.UlubionyKiosk.pl

KLUB AVT ELEKTRONIKA

Jak uzyskać rabat? Podczas zamówienia powołaj się na swój numer prenumeraty – otrzymasz go mailowo po zakupie prenumeraty wraz z kartą członkowską Klubu AVT-Elektronika.

Regulamin Klubu AVT-Elektronika znajdziesz na stronie https://sklep.avt.pl/klub-avt-elektronika

eprasa.pl aa6cced055

Pomiary charakterystyk częstotliwościowych (5)

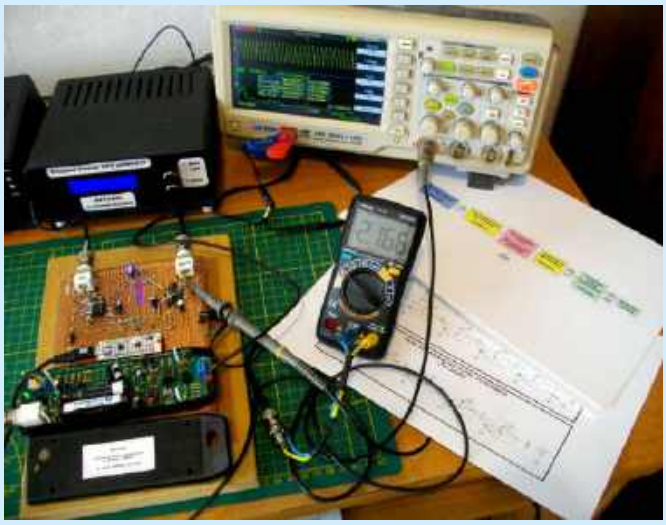
Filtry cyfrowe DSP typu IIR

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

W piątej części cyklu podjęto próbę zmierzenia się z – wciąż nie do końca satysfakcjonującymi – rezultatami filtracji, oferowanymi przez transwersalne filtry cyfrowe (o skończonej odpowiedzi impulsowej – FIR). Dodatkowo pochylono się nad problematyką dokładniejszego pomiaru bardzo małych sygnałów, występujących przy silnym tłumieniu przebiegów wejściowych przez filtry. Fizycznej implementacji filtrów rekursywnych (o nieskończonej odpowiedzi impulsowej – IIR) ponownie dokonano z zastosowaniem modułu NUCLEO-STM32L432KC oraz dedykowanej płytki z towarzyszącymi filtrami analogowymi. Oczywiście podobnie jak poprzednio, charakterystyki wyznaczone symulacyjnie zostały przebadane pomiarowo.

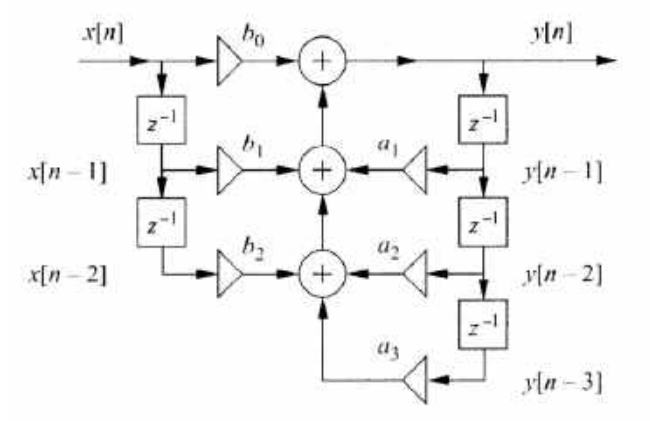
W poprzednim odcinku kursu praktycznie zbadano koncepcję zastąpienia amplifiltrów analogowych za pomocą dość prostych filtrów cyfrowych typu FIR (ang. Finite Impulse Response), czyli filtrów o skończonej odpowiedzi impulsowej. Idea ta zrodziła się w oparciu o wnikliwą analizę niedoskonałości wspomnianych układów analogowych. Z kolei w podsumowaniu poprzedniego artykułu, jako wnioski z praktycznych rozważań nad niedoskonałościami badanych filtrów FIR oraz zastosowanych technik pomiarowych, zaznaczono dalsze kierunki poszukiwań rozwojowych. W szczególności poruszony został aspekt niesatysfakcjonujących charakterystyk częstotliwościowych względnie krótkich filtrów FIR oraz niedostatecznej dokładności pomiarów bardzo małych napięć na wyjściu filtru, tzn. przy jego znacznym tłumieniu.

Z ostatnim z wymienionych zagadnień spróbujemy zmierzyć się po prostu poprzez zastosowanie logarytmicznej sondy pomiarowej o znacznej dynamice. Natomiast większym wyzwaniem są zapewne niesatysfakcjonujące charakterystyki częstotliwościowe prostych filtrów FIR. Jednym z proponowanych wstępnie rozwiązań było znaczne wydłużenie projektowanych struktur FIR na drodze redukcji nakładu obliczeniowego per jednostkowy element filtru. Jakkolwiek po wnikliwym przeanalizowaniu kodu programu realizującego filtry okazało się, że potencjał tego rozwiązania to wydłużenie badanych filtrów o nie więcej niż 15...20%. Wg najlepszej wiedzy i doświadczenia inżynierskiego autora tej publikacji zapewne nie dałoby to radykalnej, w pełni satysfakcjonującej poprawy uzyskiwanych rezultatów filtracji. Kolejnym rozważanym rozwiązaniem było obniżenie zastosowanej częstotliwości próbkowania Fs przy jednoczesnej optymalizacji właściwości analogowych (sprzętowych) filtrów: wejściowego i wyjściowego w opracowanym układzie pomiarowym. Tu z kolei również pole do manewru nie było znaczące (np. zmniejszenie *Fs*/2 z 24 kHz do 22 kHz, to około 10% dodatkowego czasu przetwarzania), ale za to potencjalne konsekwencje techniczne mogłyby być dość przykre (niestandardowa wartość *Fs* oraz bardzo mała odległość dopuszczalnej *Fmax*=20 kHz od *Fs*/2, implikująca konieczność stosowania dość ostrych, trudnych filtrów z uwagi na ryzyko wystąpienia aliasingu). Rozważano także użycie zaawansowanych bibliotek DSP z rodziny CMSIS [1, 2], wspieranych przez wykorzystywany w tym kursie procesor z rodziny ARM, jednak uznano, że uzysk obliczeniowy niekoniecznie byłby w pełni satysfakcjonujący, a na potrzeby edukacyjne warto jest pójść dalej inną drogą. W szczególności podjęto decyzję o zastosowaniu znacznie krótszych (więc i szybszych) filtrów rekursywnych IIR (ang. Infinite Impulse Response), czyli o (teoretycznie) nieskończonej odpowiedzi impulsowej. Dlatego właśnie w dalszej części pracy zaprezentowane zostały najpierw niezbędne podstawy teoretyczne działania filtrów IIR, a następnie – praktyczne projekty filtrów. Oczywiście całość działań została zwieńczona kluczowymi dla tego kursu pomiarami, wraz z ich niezbędną interpretacją.



Zasada działania i projekty filtrów IIR

Na **rysunku 55** pokazano schemat blokowy filtru rekursywnego [3]. Główną zaletą filtracji rekursywnej, w porównaniu z nierekursywną, jest możliwość osiągania bardziej stromych charakterystyk częstotliwościowych za pomocą mniejszej liczby wag. W tym przypadku każda próbka wyjściowa jest średnią ważoną



Rysunek 55. Schemat blokowy filtru rekursywnego [3]

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie **https://ulubionykiosk.pl/media**

eprasa.pl aa6cced055

```
clc;                    %% cleaning the workspace
pkg load signal;        %% load signal processing package

scale=2^12              %% scaling factor
Nord=3                  %% IIR filter order
Fs2=24.0                  %% Fs/2 [kHz]

%% LPF
disp(„LPF”);
[b, a] = butter(Nord, 2.7/Fs2, „low”);
b=round(scale*b); a=round(scale*a);
figure(1); freqz(b/scale, a/scale);
disp(b); disp(a);

%% HPF
disp(„HPF”);
Fs2=24.0;           %% Fs/2 [kHz]
[b, a] = butter(Nord, 3.0/Fs2, „high”);
b=round(scale*b); a=round(scale*a);
figure(2); freqz(b/scale, a/scale);
disp(b); disp(a);

%% BPF
disp(„BPF”);
Fs2=24.0;           %% Fs/2 [kHz]
[b, a] = butter(Nord, [0.31/Fs2, 3.1/Fs2], „bandpass”);
b=round(scale*b); a=round(scale*a);
figure(3); freqz(b/scale, a/scale);
disp(b); disp(a);

%% „peak”
disp(„PEAK filter”);
Fs2=24.0;           %% Fs/2 [kHz]
[b, a] = butter(Nord, [18.5/Fs2, 19.5/Fs2], „bandpass”);
b=round(scale*b); a=round(scale*a);
figure(4); freqz(b/scale, a/scale);
disp(b); disp(a);

%% „notch”
disp(„NOTCH filter”);
Fs2=24.0;           %% Fs/2 [kHz]
[b, a] = butter(Nord, [18.5/Fs2, 19.5/Fs2], „stop”);
b=round(scale*b); a=round(scale*a);
figure(5); freqz(b/scale, a/scale);
disp(b); disp(a);
```

Listing 1.

pewnej liczby ostatnich próbek wejściowych oraz wyjściowych zgodnie ze wzorem (1):

$$y[n]=b_0x[n-0]+b_1x[n-1]+...+b_Mx[n-M]+a_1y[n-1]+...+a_Ny[n-N] \quad (1)$$

W odniesieniu do przykładu z rysunku 55, na którym bloczek oznaczony „z^{-1}” jest tzw. członem opóźniającym, M=2 jest lizcbą opóźniających członów nierekursywnych, natomiast N=3 to liczba opóźniających członów rekursywnych. Jak widać, w filtrze występuje sprzężenie zwrotne, tzn. poprzednie **próbki wyjściowe wpływają na wartość aktualnej próbki wyjściowej**. Powoduje to, że filtr może być niestabilny. Dlatego wartości jego wag $b[m]$ oraz $a[k]$ należy dobierać jeszcze staranniej niż w filtrach nierekursywnych.

Podane informacje teoretyczne zasadniczo wystarczają do praktycznej implementacji prostych filtrów IIR. Projekty filtrów IIR, podobnie jak to było w przypadku filtrów FIR, opracowano w dostępnym bezpłatnie środowisku Octave [4]. **Listing 1** prezentuje zawartość skryptu w języku środowiska Octave, którego użyto do wygenerowania współczynników projektowanych filtrów IIR. Kluczową funkcją, użytą do wygenerowania przedmiotowych filtrów, jest funkcja `[b, a] = butter(n, wc, filter_type)`. Wyciąg z opisu użytecznych tutaj sposobów jej parametryzacji ujęto na **listingu 2**.

```
Function File: [b, a] = butter (n, wc, filter_type)
Generate a Butterworth filter. Default is a discrete space (Z)
filter. The cutoff frequency, wc should be specified in radians
for analog filters. For digital filters, it must be a value between
zero and one. For bandpass filters, wc is a two-element vector
with w(1) < w(2). The filter type must be one of „low”, „high”,
„bandpass”, or „stop”. The default is „low” if wc is a scalar and
„bandpass” if wc is a two-element vector.
Low pass filter with cutoff pi*Wc radians:
 [b, a] = butter (n, Wc)
High pass filter with cutoff pi*Wc radians:
 [b, a] = butter (n, Wc, „high”)
Band pass filter with edges pi*Wl and pi*Wh radians:
 [b, a] = butter (n, [Wl, Wh])
Band reject filter with edges pi*Wl and pi*Wh radians:
 [b, a] = butter (n, [Wl, Wh], „stop”)
```

Listing 2.

```
LPF
   16   49   49   16
   4096  -9407   7454  -2012
HPF
   2759  -8276   8276  -2759
   4096  -9090   7025  -1858
BPF
   18    0  -54    0   54    0  -18
    4096  -21420   46912  -55126   36681  -13108    1965
PEAK filter
   1   0  -3   0   3   0  -1
    4096   18687   39662   48629   36345   15691    3152
NOTCH filter
    3593   17140   38034   48727   38034   17140    3593
    4096   18687   39662   48629   36345   15691    3152
```

Listing 3.

Parametry: *Wc*, *Wl* i *Wh* stanowią wartości częstotliwości granicznych (0…1), wyrażonych względem połowy częstotliwości próbkowania *Fs*/2. W przypadku prostych filtrów LPF oraz HPF (parametryzowanych odpowiednio jako: *low* oraz *high*) wykorzystuje się wyłącznie jeden parametr *Wc*, natomiast w implementacjach bardziej złożonych filtrów BPF, *peak* oraz *notch* (parametryzowanych odpowiednio jako: *bandpass* oraz *stop*) – stosuje się obligatoryjnie dwa parametry: *Wl* i *Wh*, przy czym obowiązkowo musi zachodzić warunek: *Wl* < *Wh*. Do wygenerowania tutaj filtru typu *notch* zastosowano model parametryzacji typu *bandpass* z odpowiednio wąskim przedziałem zadanych częstotliwości. Funkcja `butter(…)` generuje filtry wg tzw. aproksymacji Butterwortha, czyli maksymalnie płaskie. Nie oferuje ona co prawda tak dużej stromości zboczy, jak np. aproksymacja Bessela czy Czebyszewa, jednak minimalizuje zafalowania pasma przenoszenia generowanych filtrów.

Jak wynika z listingu 1, jako częstotliwość próbkowania ponownie przyjęto *Fs*=48 kHz, natomiast jako rząd filtru w przypadku wszystkich projektów zadano N_{ord}=3. Współczynnik skalujący *scale* został użyty w celu dostosowania wartości uzyskanych współczynników $b[n]$ oraz $a[n]$ do arytmetyki całkowitoliczbowej, którą także w tej części kursu użyto w implementacji fizycznej. Warto w tym miejscu podkreślić, że w trakcie eksperymentów z projektowaniem filtrów różne wartości parametru N_{ord} były optymalne dla różnych typów generowanych filtrów, jednak z punktu widzenia tego kursu nie jest to kluczowe zagadnienie.

Listing 3 prezentuje wartości współczynników $b[n]$ oraz $a[n]$ wygenerowanych filtrów IIR. Liczby elementów w poszczególnych ciągach współczynników wynoszą odpowiednio: N_{ord}+1 dla filtrów prostych (LPF oraz HPF) oraz 2·N_{ord}+1 w przypadku filtrów pasmowych (BPF, *peak*, *notch*) co należy rozumieć tak, że te drugie filtry są niejako złożeniem pary filtrów prostych. Na **rysunkach 56…60** zaprezentowano zasymulowane, pełne charakterystyki częstotliwościowe (amplitudowe i fazowe) wszystkich zaprojektowanych rekursywnych filtrów (IIR): dolnoprzepustowego LPF, górnoprzepustowego HPF, pasmowoprzepustowego BPF oraz wąskopasmowych typu *peak* oraz *notch*. Pomimo, że wymagane parametry charakterystyk częstotliwościowych były praktycznie identyczne, jak w przypadku omawianych w poprzednim odcinku cyklu analogicznych filtrów transwersalnych FIR, a rzędy filtrów IIR były znacznie niższe od tych zastosowanych w implementacjach FIR, to charakterystyki amplitudowe tych drugich (IIR) były znacznie bardziej strome. Oczywiście jest tak z uwagi na występujące w filtrach IIR (rekursywnych) sprzężenie zwrotne (nie ma go w filtrach transwersalnych FIR). Jakkolwiek wspomniane zalety filtrów IIR są też okupione bardzo poważnymi wadami:

- w przeciwieństwie do filtrów FIR nie gwarantują one liniowości fazy charakterystyki częstotliwościowej (a więc także stałości opóźnienia grupowego, co może być istotną wadą w niektórych zastosowaniach, np. pomiarowych),
- w przeciwieństwie do filtrów FIR nie gwarantują one stabilności, co (w największej ogólności) znacznie utrudnia zarówno samo projektowanie, jak i „bezpieczną” implementację

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl aa6cced055

fizyczną filtrów IIR. Potencjalna niestabilność tej topologii wynika z występowania w niej sprzężenia zwrotnego i może objawić się choćby na skutek numerycznych niedokładności przetwarzania (szum numeryczny może pobudzać pętlę sprzężenia zwrotnego do pracy jako generator, niestety).

Programowa realizacja filtrów cyfrowych IIR została zaimplementowana tutaj wg ram poniższego, prostego algorytmu:

I. Jednorazowe zdefiniowanie w kodzie programu MCU współczynników $b[n]$ i $a[n]$ filtru IIR oraz dwóch odpowiadających im buforów („B" i „A") – rejestrów przesuwnych FIFO do przechowywania pobranych próbek sygnału wejściowego oraz próbek sygnału wyjściowego.

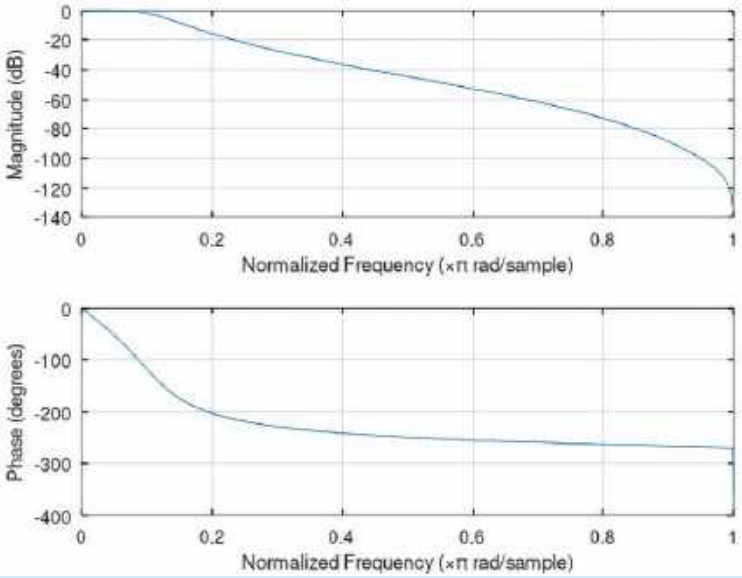
II. Zainicjalizowanie w MCU bloków peryferiów GPIO, ADC oraz DAC i wyznaczenie składowej stałej na wejściu ADC (tzw. *offset* – do usunięcia z pobranych próbek w kolejnych krokach obliczeniowych).

III. Wykonywanie w nieskończonej pętli następujących kroków:
- zlecenie ADC pobrania kolejnej próbki sygnału wejściowego,
- przesunięcie bufora – rejestru FIFO „B" próbek wejściowych o jedną próbkę, „gubiące" najstarszą próbkę na końcu rejestru i przygotowujące miejsce na wpis nowej próbki na jego początku,
- odczyt nowej próbki z ADC i zapis do rejestru FIFO „B" (próbek wejściowych),
- przeliczenie wyjścia filtru IIR wg zależności (1),
- przesunięcie bufora – rejestru FIFO „A" próbek wyjściowych o jedną próbkę, „gubiące" najstarszą próbkę na końcu rejestru i przygotowujące miejsce na wpis nowej próbki na jego początku,
- zapamiętanie na początku rejestru FIFO „A" (próbek wyjściowych) nowo wyliczonej wartości na wyjściu filtru IIR,
- zapis wyliczonej wartości wyjścia filtru IIR do przetwornika DAC w MCU,
- powrót na początek nieskończonej pętli III.

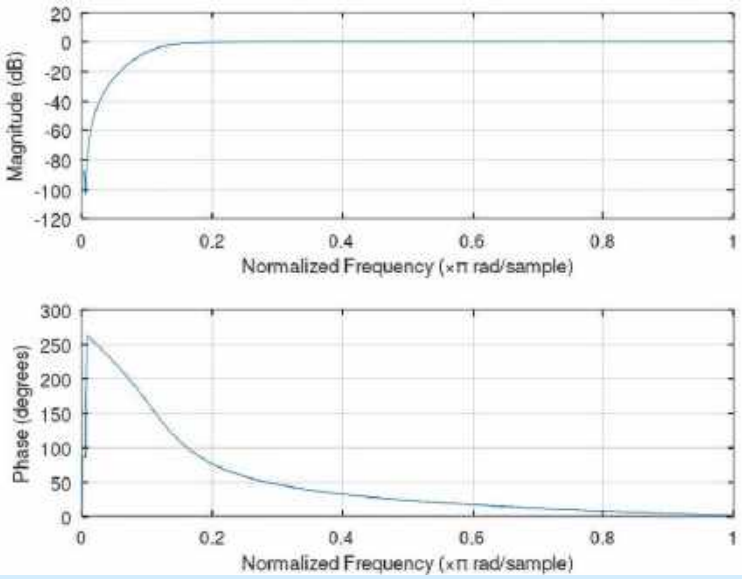
Oprogramowanie opracowano i skompilowano w środowisku STM32CubeIDE [5], dostarczanym bezpłatnie przez producenta mikrokontrolerów STM32, firmę ST Microelectronics.

Pomiary opracowanych filtrów IIR

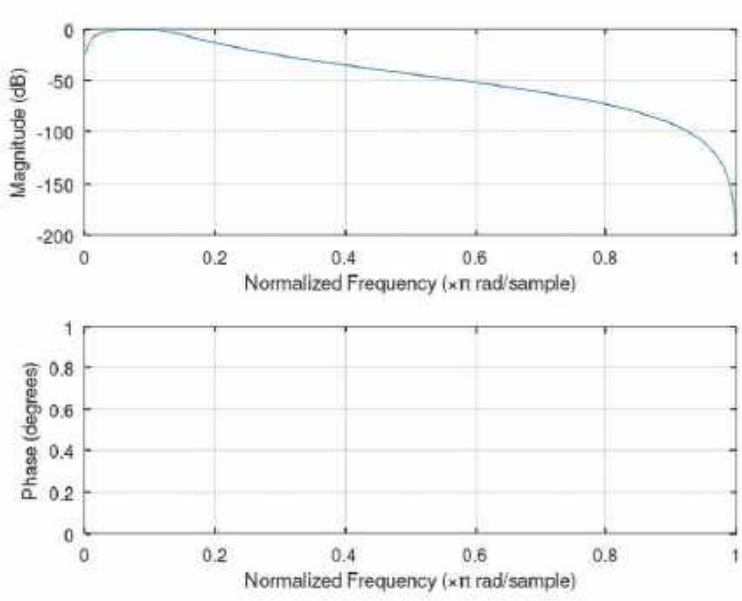
Rysunek 61 prezentuje schemat blokowy zastosowanego toru pomiarowego. Platformę sprzętową do testów, której sercem jest mikrokontroler STM32L432KC, osadzony na 30-pinowym module NUCLEO-STM32L432KC [6, 7, 8], zrealizowano wg niemal identycznej koncepcji, jak to miało miejsce w przypadku testów filtrów FIR i dlatego nie będzie ona tutaj szerzej omawiana. W szczególności zastosowano te same analogowe filtry: wejściowy i wyjściowy. Natomiast jedyną (ale istotną) różnicą było użycie innego ustroju pomiarowego, a mianowicie prosty oscyloskop cyfrowy o stosunkowo niskiej, 8-bitowej rozdzielczości przetwornika ADC (a – w konsekwencji – oferującego niską dokładność przetwarzania) służył jedynie do kontroli obecności i kształtu sygnału wyjściowego. Jako zasadniczy przyrząd pomiarowy zastosowano sondę logarytmiczną o dużej dynamice przetwarzania wg projektu AVT5991 [9] oraz półautomatyczny woltomierz cyfrowy. Sonda została uprzednio skalibrowana i wyskalowana tak, że przy



Rysunek 56. Charakterystyki częstotliwościowe i fazowe filtru IIR LPF (symulacja)



Rysunek 57. Charakterystyki częstotliwościowe i fazowe filtru IIR HPF (symulacja)



Rysunek 58. Charakterystyki częstotliwościowe i fazowe filtru IIR BPF (symulacja)

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

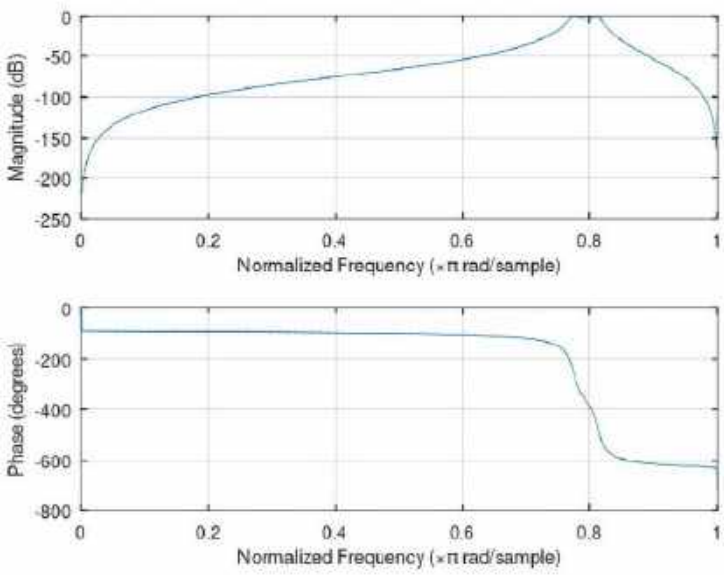
eprasa.pl aa6cced055

Tabela 8. Dane pomiarowe filtrów IIR (LPF, HPF i BPF)

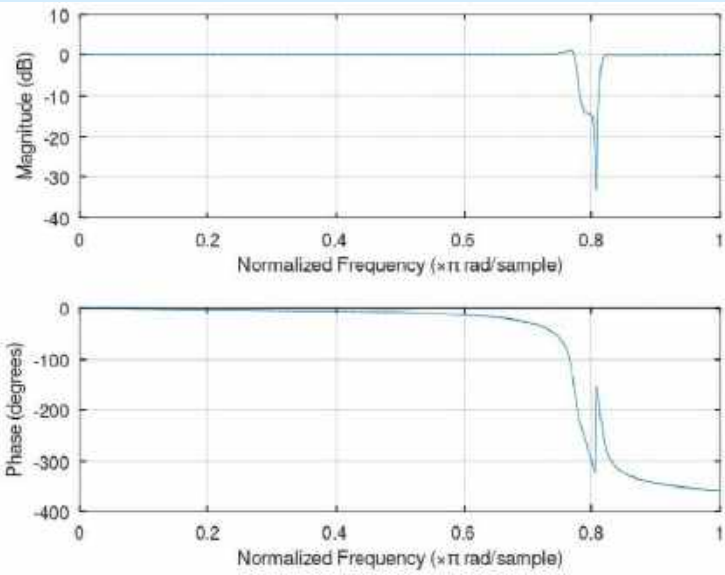
F [kHz]	A [dB]		
	LPF	HPF	BPF
0,5	−0,1	−46,7	0,3
1,0	−0,1	−29,0	0,1
1,5	−0,1	−19,0	0,3
2,0	−0,3	−11,3	0,1
2,5	−1,3	−6,6	−1,0
3,0	−4,6	−3,4	−2,1
3,5	−7,5	−1,4	−4,4
4,0	−10,1	−0,1	−9,0
4,5	−13,6	−1,1	−12,0
5,0	−16,7	−0,9	−15,1
5,5	−19,4	−0,5	−17,5
6,0	−23,0	−0,6	−20,4

Tabela 9. Dane pomiarowe filtrów IIR (*peak* i *notch*)

F [kHz]	A [dB]	
	peak	notch
17,0	−33,5	−0,8
17,2	−30,2	0,2
17,4	−28,4	0,0
17,6	−24,6	0,7
17,8	−21,3	0,2
18,0	−17,2	−0,3
18,2	−11,9	−0,6
18,4	−5,1	−0,9
18,6	−0,6	−6,8
18,8	−0,6	−21,8
19,0	0,1	−81,9
19,2	−0,7	−26,6
19,4	−1,2	−7,4
19,6	−6,2	−1,2
19,8	−13,4	−0,1
20,0	−20,1	0,0
20,2	−25,5	−1,1
20,4	−30,4	0,2
20,6	−34,0	−0,5
20,8	−38,7	−0,3
21,0	−42,2	0,3
21,2	−46,0	0,0
21,4	−50,4	0,4
21,6	−53,0	−0,1
21,8	−56,6	0,0
22,0	−59,8	0,0



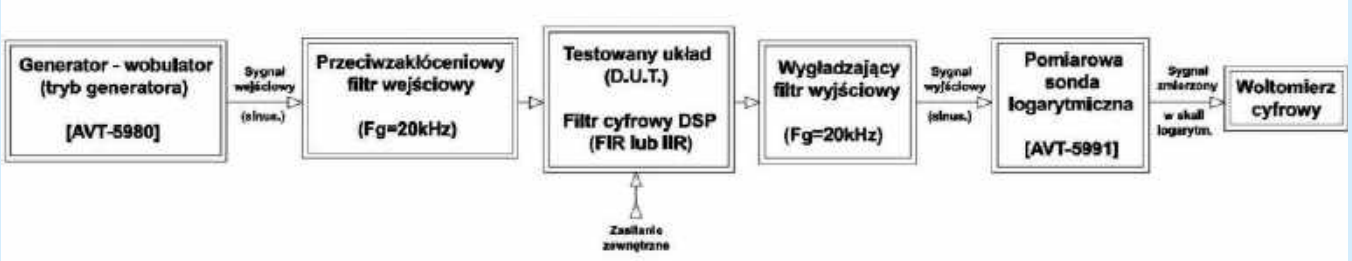
Rysunek 59. Charakterystyki częstotliwościowe i fazowe filtru IIR *peak* (symulacja)



Rysunek 60. Charakterystyki częstotliwościowe i fazowe filtru IIR *notch* (symulacja)

napięciu wejściowym sinusoidalnym Uwe=1 Vp-p o częstotliwości F=1 kHz, przetworzone logarytmicznie napięcie stałe na wyjściu sondy wynosiło Uwy=2,2 V. Dodatkowo zmiana zmiennego napięcia wejściowego Uwe o 1 dB skutkowała zmianą stałego napięcia wyjściowego Uwy o 10 mV (czyli współczynnik przetwarzania sondy wynosił 10 mV/dB). Ostatecznie zastosowanie w pomiarach półprofesjonalnej sondy logarytmicznej zaowocowało znacznym zwiększeniem dynamiki i dokładności realizowanych pomiarów.

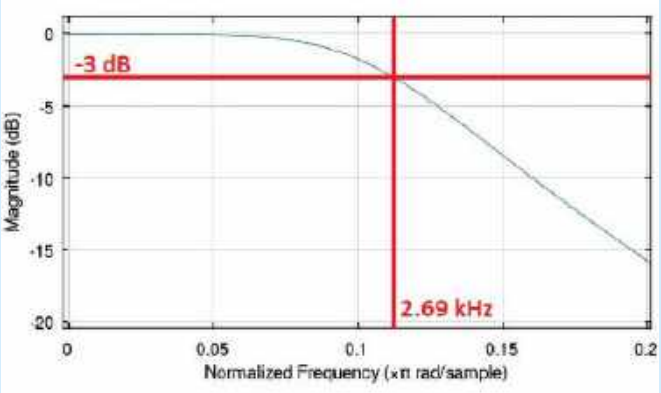
Na **rysunkach 62...66** pokazano zasymulowane komputerowo charakterystyki częstotliwościowe przebadanych filtrów,



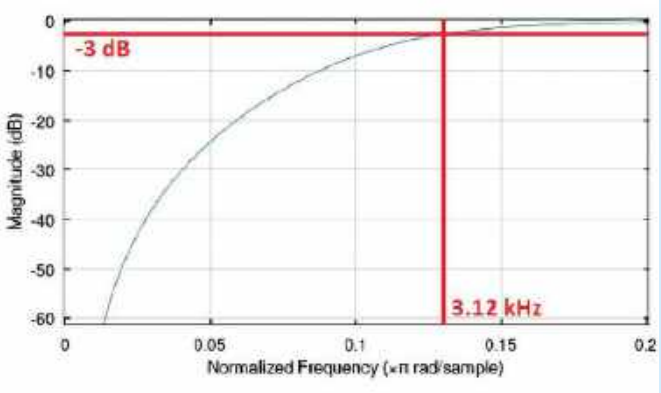
Rysunek 61. Schemat blokowy zastosowanego toru pomiarowego

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

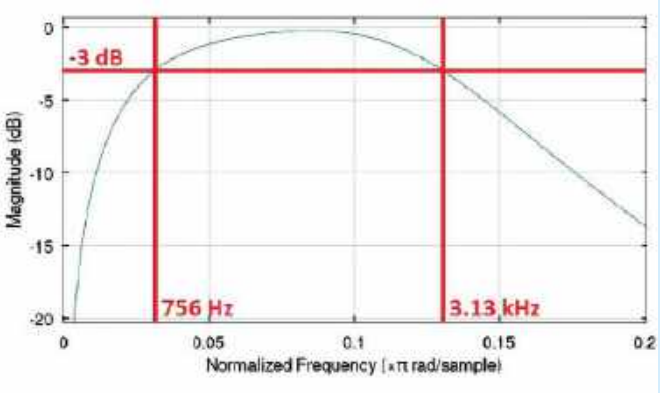
eprasa.pl aa6cced055



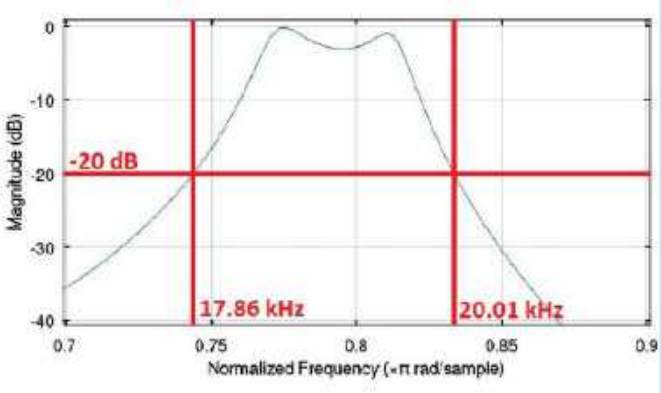
Rysunek 62. Zasymulowana charakterystyka częstotliwościowa filtru IIR LPF (zbliżenie)



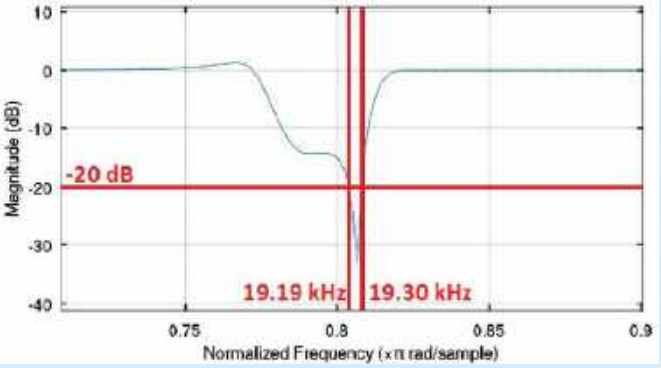
Rysunek 63. Zasymulowana charakterystyka częstotliwościowa filtru IIR HPF (zbliżenie)



Rysunek 64. Zasymulowana charakterystyka częstotliwościowa filtru IIR BPF (zbliżenie)



Rysunek 65. Zasymulowana charakterystyka częstotliwościowa filtru IIR *peak* (zbliżenie)

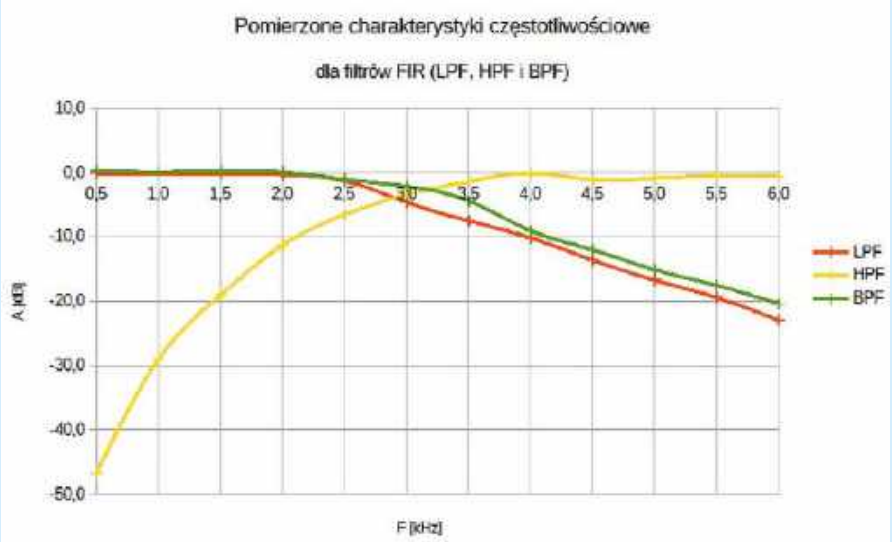


Rysunek 66. Zasymulowana charakterystyka częstotliwościowa filtru IIR *notch* (zbliżenie)

przy czym powiększono najbardziej interesujące, a zarazem najistotniejsze zakresy ich zmienności. Dodatkowe opisy wartości na osi częstotliwości mają na celu ułatwienie ich analizy i interpretacji, ponieważ nominalnie program Octave skaluje oś częstotliwości wykresów wartością znormalizowaną względem połowy częstotliwości próbkowania *Fs*/2. Z kolei rezultaty fizycznych pomiarów tychże charakterystyk częstotliwościowych badanych filtrów ujęto w **tabelach 8** i **9** (dane liczbowe) oraz na wykresach, zamieszczonych na **rysunkach 67** i **68**. W tym przypadku, przy względnie niewielkich błędach pomiarowych, uzyskano całkiem satysfakcjonującą zgodność rezultatów pomiaru charakterystyk filtrów cyfrowych IIR z wynikami teoretycznych symulacji komputerowych ich prototypów. Dalszą, dokładną analizę porównawczą zaprezentowanych danych polecam uwadze wnikliwych Czytelników.

Podsumowanie i wnioski

W artykule zaprezentowano teoretyczne podstawy praktycznej realizacji cyfrowych filtrów rekursywnych (IIR), czyli o nieskończonej odpowiedzi impulsowej. Następnie pokazano projekty pięciu różnych filtrów o wymaganych parametrach zbliżonych do parametrów prezentowanych wcześniej amplifiltrów analogowych oraz transwersalnych filtrów cyfrowych (FIR) – o skończonej odpowiedzi impulsowej. Przeprowadzone pomiary fizycznych realizacji zaprojektowanych komputerowo filtrów IIR wykazały całkiem satysfakcjonującą zgodność z ich teoretycznymi prototypami. Artykuł stał się również pretekstem do przeprowadzenia dyskusji



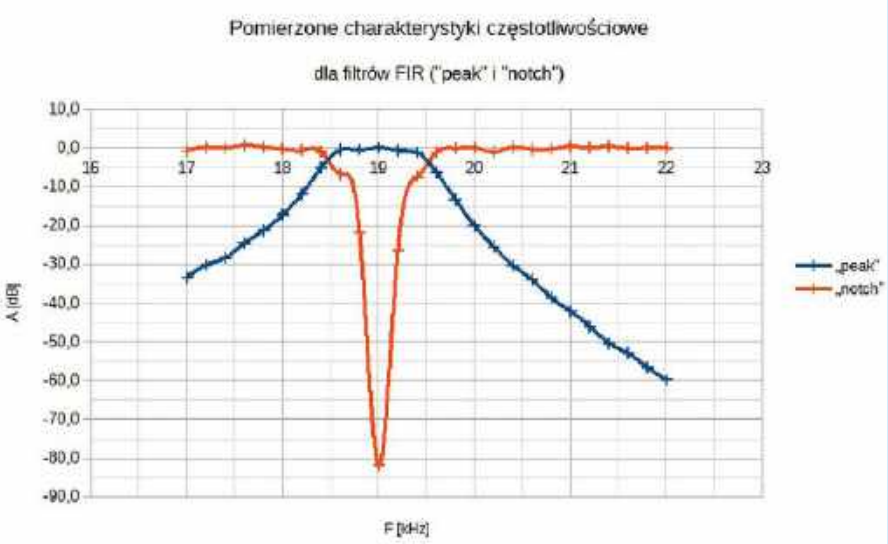
Rysunek 67. Zmierzone charakterystyki częstotliwościowe filtrów IIR (LPF, HPF i BPF)

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl aa6cced055

porównawczej nad właściwościami (wadami i zaletami) filtrów cyfrowych typu FIR oraz IIR. Wnioski z przeprowadzonych badań i analiz zostaną zapewne w przyszłości wykorzystane do planowanej przez autora publikacji projektu mini-kombajnu pomiarowego DSP. W kolejnych odcinkach tego cyklu edukacyjnego autor zamierza pochylić się nad pomiarami analogowych torów liniowych fizycznych urządzeń m.cz. oraz w.cz.

Adam Sobczyk, EP



Rysunek 68. Zmierzone charakterystyki częstotliwościowe filtrów IIR (*peak* i *notch*)

Literatura:

[1] What is CMSIS?, https://www.keil.arm.com/cmsis

[2] CMSIS Ver. 6.1.0, https://arm-software.github.io/CMSIS_6/latest/General/index.html

[3] *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów w telekomunikacji. Podstawy. Multimedia. Transmisja*, Praca zbiorowa pod redakcją naukową: Tomasz P. Zieliński oraz Przemysław Korohoda i Roman Rumian, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2014, Wyd. 1,

[4] *Signal processing tools, including filtering, windowing and display functions*, https://octave.sourceforge.io/signal/overview.html

[5] *Zasoby dotyczące środowiska programistycznego STM32CubeIDE*, https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html

[6] *STM32L432KB STM32L432KC*. Datasheet – production data, www.st.com, May 2018, DS11451, Rev. 4

[7] *UM1956*. User manual. STM32 Nucleo-32 boards (MB1180), November 2018, Rev. 5

[8] *UM1884*. User manual. Description of STM32L4/L4+ HAL and low-layer drivers, www.st.com, September 2021, Rev. 9

[9] *Sonda logarytmiczna z układem AD8307*, https://serwis.avt.pl/manuals/AVT5991.pdf

REKLAMA

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl aa6cced055

Kurs FPGA Lattice (30)

Zakończenie

Jest to ostatni odcinek kursu FPGA Lattice. Dokończymy terminal VGA i zastanowimy się... co dalej? Jest to drugi najdłuższy kurs w 32-letniej historii Elektroniki Praktycznej. Pomimo to niniejszy materiał należy traktować jako wstęp do tematyki układów FPGA oraz języka Verilog, pozostaje bowiem wiele tematów, o których nawet nie wspomniałem. W ostatnim odcinku kursu postaram się chociaż skrótowo opowiedzieć o funkcjonalnościach, których na łamach EP nie prezentujemy.

Moduł Memory

Moduł Memory jest najdłuższym i najbardziej zawiłym modułem w tym projekcie. Długo zastanawiałem się, czy nie byłoby lepiej podzielić go na pamięć czcionki i pamięć danych do wyświetlenia, lecz ostatecznie stwierdziłem, że te wszystkie obszary danych będą w jednym miejscu.

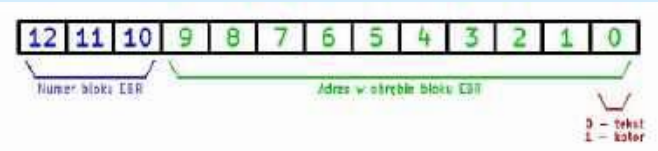
Moduł składa się z dwóch funkcjonalnych części, tworzących jedną logiczną całość. Pierwszą z nich jest odbieranie bajtów, pochodzących z interfejsu UART. Bajty te mogą być znakami sterującymi kursorem – enter, backspace i escape (który umieszcza kursor na pozycji (0,0), czyli w lewym górnym rogu). Mogą być też kodem ASCII znaku lub informacjami o kolorach. Druga część to obsługiwanie zapytań z VGA, co wiąże się z odczytywaniem danych z pamięci obrazu i czcionki.

W tym momencie musimy przyjrzeć się dokładniej pamięci RAM, w której zapisywany jest tekst oraz kolory. Musimy w niej przechowywać 2400 bajtów tekstu i 2400 bajtów informacji o kolorach, czyli razem 4800 bajtów. Wygodnie byłoby mieć osobne pamięci na tekst i kolory. Wtedy bajt tekstu i bajt koloru w obu pamięciach miałyby te same adresy, a ponadto operacje odczytu/zapisu z/do obu pamięci mogłyby wykonywać się jednocześnie. Potrzebowalibyśmy trzech bloków EBR na tekst i kolejnych trzech na kolor. Problem tylko w tym, że mamy do dyspozycji 5 bloków EBR o pojemności 1024 bajty każdy.

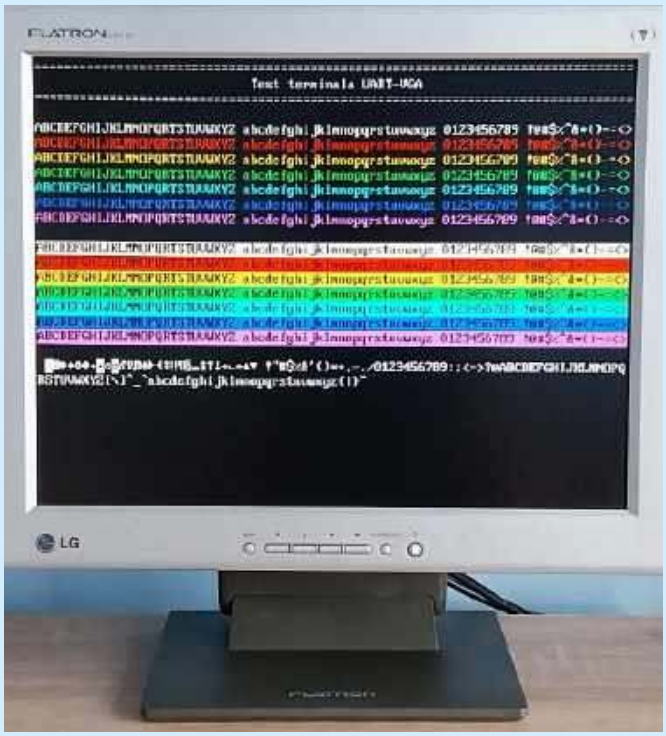
Zatem musimy scalić wszystko w jedną pamięć, aby pomieścić się w pięciu blokach EBR. Kod znaku i kolory umieścimy w następujących po sobie bajtach. Tworzy to ciekawą właściwość – jeżeli najmłodszy bit adresu ma wartość 0 to adres wskazuje na bajt tekstu, a jeżeli 1 to na bajt koloru (**rysunek 8**). Ta cecha jest wspólna dla wszystkich znaków w pamięci. Pozostałą część adresu można łatwo obliczyć znając numer kolumny i wiersza. Wystarczy numer wiersza przemnożyć przez 80 i dodać numer kolumny – a te właśnie informacje kontroler pamięci otrzymuje od modułu VGA.

Aby zaadresować 4800 bajtów potrzebujemy 13-bitowego adresu. I tutaj pojawia się problem, bo Lattice Synthesis Engine, mając 13-bitowy adres, syntezuje pamięć o rozmiarze, jaki maksymalnie można zaadresować wykorzystując adres o takiej szerokości, tzn 8192 bajty. Na etapie mapowania dostaniemy błąd, bo taka pamięć potrzebuje 8 bloków EBR, a mamy tylko 5. Poza tym nawet, gdybyśmy mieli jeszcze trzy wolne bloki EBR do użytku, to zostałyby one bezsensownie zmarnowane.

Rozwiązaniem tego problemu jest skorzystanie z dodatku IP Express lub rozbicie pamięci na osobne bloki i scalenie ich przy pomocy własnego dekodera adresu. Wybrałem tę drugą opcję aby pokazać, jak można to zrobić.



Rysunek 8. Adresowanie pamięci obrazu



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

Spójrz jeszcze raz na rysunek 8. Wejście adresowe bloku EBR jest 10-bitowe, ponieważ w pojemność bloku EBR to 1024 bajty (2^{10}=1024). Skoro potrzebujemy pięciu takich bloków, to musimy wstawić dodatkową zmienną 3-bitową, aby wskazywać który blok EBR chcemy odczytać lub zapisać. W ten sposób tworzymy 13-bitowy adres, który składa się z numeru bloku EBR i adresu wewnątrz EBR.

Przejdźmy wreszcie do kodu pokazanego na **listingu 3**.

Pierwsza część kodu odpowiedzialna jest za odbieranie znaków z UART i ich analizowanie. Na potrzeby tego zadania musimy utworzyć kilka zmiennych pomocniczych, zaczynając od linii 1.

- **WriteStep1** i **WriteStep2** to rejestry ułatwiające zapisywanie kolejno po sobie bajtów koloru i tekstu. Omówimy je dokładniej później.
- **WriteRequest** to rejestr sterujący wejściami **WriteEnable_i** wszystkich pamięci RAM. Ustawienie tego rejestru w stan wysoki spowoduje, że przy najbliższym zboczu rosnącym pamięć zapisze dane z wejścia **Data_i** pod adresem, wskazywanym przez wartość znajdującą się na wejściu **WriteAddress_i**.

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie **https://ulubionykiosk.pl/media**

eprasa.pl aa6cced055

```
// Plik memory.v

`default_nettype none

module Memory(
    input wire Clock,
    input wire Reset,

    // Żądanie zapisu danych z UART do pamięci obrazu RAM
    input wire       AnalyzeRequest_i,
    input wire [7:0] DataFromUART_i,

    // Żądanie odczytu z modułu VGA
    input wire       GetImageRequest_i,
    input wire [6:0] Column_i,      // Zakres 0..79
    input wire [4:0] Row_i,         // Zakres 0..29
    input wire [3:0] Line_i,        // Zakres 0..15 (każdy znak składa się z 16 linii)

    // Wyjście z kontrolera pamięci do modułu VGA
    output reg  [7:0] Pixels_o,
    output reg  [2:0] ColorForeground_o,
    output reg  [2:0] ColorBackground_o
);

    // Zmienne do obsługi zapisu danych do pamięci obrazu
    reg        WriteStep1;                                                  // 1
    reg        WriteStep2;
    reg        WriteRequest;
    reg [ 7:0] WriteBuffer;
    reg [12:0] WriteAddress;
    reg [ 7:0] ColorBuffer;

    // Współrzędne znaku, który ma zostać zapisany jako kolejny
    reg [ 6:0] CursorX;                                  // Zakres 0..79
    reg [ 4:0] CursorY;                                  // Zakres 0..29
    wire [31:0] WriteCharNum = CursorY * 80 + CursorX;   // Zakres 0..2399      // 2

    // Maszyna stanów do analizowania danych odebranych przez UART
    // i do zapisywanie ich w pamięci obrazu
    always @(posedge Clock, negedge Reset) begin                             // 3
        if(!Reset) begin
            WriteStep1   <= 0;
            WriteStep2   <= 0;
            WriteRequest <= 0;
            WriteBuffer  <= 0;
            WriteAddress <= 0;
            ColorBuffer  <= 8'b1_111_0_000;     // Biały tekst na czarnym tle      // 4
            CursorX      <= 0;
            CursorY      <= 0;
        end

        // Jeżeli odebrano bajt danych przez UART
        // to analizujemy, co dalej robić z tym bajtem
        else if(AnalyzeRequest_i) begin                                      // 5
            casex(DataFromUART_i)                                            // 6

                // Przejście do nowej linii
                8'h0D: begin
                    CursorX <= 0;

                    if(CursorY != 29)
                        CursorY <= CursorY + 1'b1;
                    else
                        CursorY <= 0;
                end

                // Backspace
                8'h7F: begin
                    if(CursorX != 0)
                        CursorX <= CursorX - 1'b1;
                    else begin
                        CursorX <= 79;
                        if(CursorY != 0)
                            CursorY <= CursorY - 1'b1;
                        else
                            CursorY <= 29;
                    end
                end

                // Przesuń kursor na początek ekranu
                8'h1B: begin
                    CursorX <= 0;
                    CursorY <= 0;
                end

                // Ustaw kolor
                8'b1XXXXXXX: begin                                           // 7
                    ColorBuffer <= DataFromUART_i;
                end

                // Zapisz tekst
                8'b0XXXXXXX: begin                                           // 8
                    // Kod ASCII znaku zostanie zapisany w kolejnym takcie zegara
                    WriteStep1   <= 1;                                       // 9
                    WriteRequest <= 1;
                    WriteBuffer  <= DataFromUART_i;
                    WriteAddress <= {WriteCharNum[11:0], 1'b0};
                end
```

Listing 3. Kod pliku memory.v

- **WriteBuffer** – 8-bitowy rejestr przechowujący dane do zapisania w pamięci RAM. W zależności od fazy zapisu, jest to bajt koloru lub bajt tekstu.
- **ColorBuffer** to 8-bitowy rejestr przechowujący ostatnio odebrany bajt koloru, domyślnie ustawiony jest w taki sposób, aby wyświetlać biały tekst na czarnym tle. Po odebraniu bajtu koloru ten rejestr zostanie zaktualizowany, a następnie wszystkie znaki odebrane później będę pokolorowane tak samo do czasu, aż zostanie odebrany inny bajt koloru.
- **WriteAddress** – adres pod którym ma zostać zapisany bajt tekstu lub koloru.
- **CursorX** i **CursorY** – współrzędne znaku, do którego ma zostać zapisany następny bajt tekstu, odebrany przez UART.
- **WriteCharNum** – numer znaku, obliczony metodą z linii 2 (a zarazem bity [12:1] adresu do zapisania).

W linii 3 rozpoczyna się blok always, którego celem jest analizowanie danych z UART i zapisywanie ich we właściwym miejscu pamięci RAM. Podczas resetu zerujemy wszystkie wymienione wcześniej zmienne, za wyjątkiem **ColorBuffer**, bo chcemy, aby domyślnie tekst miał kolor biały na czarnym tle (linia 4). Gdybyśmy wyzerowali też **ColorBuffer**, to wyświetlany byłby czarny tekst na czarnym tle.

Niniejszy blok always to drzewko decyzyjne if-else, które sprawdza czy zmienne **AnalyzeRequest_i**, **WriteStep1** lub **WriteStep2** są ustawione w stan wysoki. Jeżeli wszystkie te zmienne mają stan niski, to nic się nie dzieje.

Wejście **AnalyzeRequest_i** (linia 5) jest ustawiane przez odbiornik UART i sygnalizuje, że pojawiły się nowe dane na wejściu **DataFromUART_i**. Analizę tych danych wykonujemy przy pomocy instrukcji casex (linia 6). Różni się to od zwykłego case tym, że możemy wskazać bity nieistotne i oznaczyć je jako X. Mogą przyjmować stan 0 lub 1. Pierwsze trzy akcje, jakie mogą się wykonać, to operacje przesuwania kursora. Jeżeli odebrany został bajt 0D, to przechodzimy do kolejnej linii, 7F to backspace, a 1B top escape, który ustawia kursor w zerowym wierszu i zerowej kolumnie. Kod tych operacji jest prosty i nie wymaga komentarza.

W linii 7 sprawdzamy, czy odebrany bajt to 8'b1XXXXXXX – tak sformułowany zapis oznacza, że najstarszy bit musi być jedynką, a pozostałe bity mogą mieć wartość dowolną. Zgodnie z **rysunkiem 5** jest to bajt koloru, zatem linijkę niżej zapisujemy ów bajt do rejestru **ColorBuffer**.

W linii 8 mamy podobną sytuację. Jeżeli najstarszy bit jest zerem,

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl aa6cced055

```
            endcase
        end

        // W poprzednim cyklu, kod znaku ASCII został zapisany pod adresem XXXXXXXXXXXX0
        // Teraz chcemy zapisać ColorBuffer pod adresem XXXXXXXXXXXX1
        else if(WriteStep1) begin                                                   // 10
            WriteStep1   <= 0;
            WriteStep2   <= 1;
            WriteRequest <= 1;
            WriteBuffer  <= ColorBuffer;
            WriteAddress <= {WriteCharNum[11:0], 1'b1};
        end

        // W poprzednim cyklu, najt koloru zapisany pod adresem XXXXXXXXXXXX0
        // Teraz chcemy skasować żądanie zapisu i przesuwamy kursor na kolejną pozycję
        else if(WriteStep2) begin                                                   // 11
            WriteStep2   <= 0;
            WriteRequest <= 0;

            if(CursorX != 79) begin
                CursorX <= CursorX + 1'b1;
            end else begin
                CursorX <= 0;
                if(CursorY != 29)
                    CursorY <= CursorY + 1'b1;
                else
                    CursorY <= 0;
            end
        end
    end

    // Odczytywanie danych tekstu i koloru z pamięci RAM
    reg [ 2:0] ReadState;                                                           // 12
    reg [12:0] ReadAddress;
    reg [10:0] FontAddress;
    wire [31:0] ReadCharNum  = Row_i * 80 + Column_i;    // Zakres 0..2399

    always @(posedge Clock, negedge Reset) begin                                    // 13
        if(!Reset) begin
            ReadState         <= 0;
            ReadAddress       <= 0;
            FontAddress       <= 0;
            Pixels_o          <= 0;
            ColorForeground_o <= 0;
            ColorBackground_o <= 0;
        end

        else case(ReadState)                                                        // 14

            // Odczytaj kod ASCII znaku z pamięci obrazu RAM
            0: begin
                if(GetImageRequest_i) begin
                    ReadAddress <= {ReadCharNum[11:0], 1'b0};
                    ReadState   <= ReadState + 1'b1;
                end
            end

            // Odczytaj bajt koloru z pamięci obrazu RAM
            1: begin
                ReadAddress <= {ReadCharNum[11:0], 1'b1};
                ReadState   <= ReadState + 1'b1;
            end

            // Odczytaj bitmapę czcionki. DataFromImageRAM to kod ASCII znaku,
            // żądanego dwa cykle zegarowe wcześniej
            2: begin
                FontAddress <= {DataFromImageRAM[6:0], Line_i[3:0]};
                ReadState   <= ReadState + 1'b1;
            end

            // Nic nie rób, czekamy aż FontROM wystawi odpowiedź na swoje wyjście
            3: begin
                ReadState <= ReadState + 1'b1;
            end

            // Skopiowanie wszystkich odczytanych danych na wyjścia modułu
            4: begin
                Pixels_o          <= DataFromFontROM[7:0];
                ColorForeground_o <= DataFromImageRAM[6:4];
                ColorBackground_o <= DataFromImageRAM[2:0];
                ReadState         <= 0;
            end

        endcase
    end

    // Pamięć obrazu - tekst i kolor
    // Każdy blok EBR ma pojemność 1024*8bit
    wire [7:0] DataFromImageRAM_[0:4];

    wire [7:0] DataFromImageRAM = (ReadAddress[12:10] == 3'd0) ? DataFromImageRAM_[0] :
                                  (ReadAddress[12:10] == 3'd1) ? DataFromImageRAM_[1] :
                                  (ReadAddress[12:10] == 3'd2) ? DataFromImageRAM_[2] :
                                  (ReadAddress[12:10] == 3'd3) ? DataFromImageRAM_[3] :
                                                                 DataFromImageRAM_[4];

    PseudoDualPortRAM #(
        .ADDRESS_WIDTH(10),
        .DATA_WIDTH(8),
```

Listing 3. Kod pliku memory.v – cd.

to traktujemy go jako tekst (za wyjątkiem trzech specjalnych bajtów do sterowania kursorem, opisanych wcześniej). W takiej sytuacji modyfikujemy kilka zmiennych, aby zrealizować zapis do pamięci. Ustawiamy **WriteRequest** w stan wysoki, do bufora **WriteBuffer** kopiujemy bajt z UART, a adres do zapisu tworzymy, biorąc **WriteCharNum[11:0]** i doklejając zero na najmłodszym bicie. I wreszcie, ustawiamy **WriteStep1** w stan wysoki.

Przechodzimy teraz do linii 10, gdzie wykonują się różne operacje, kiedy **WriteStep1** jest w stanie wysokim. Pamiętaj, że równolegle, w tym samym czasie, pamięć RAM zapisuje bajt tekstu w taki sposób, jak to przed chwilą zostało opisane. Musimy teraz skonfigurować zapis koloru. Tym razem do **WriteBuffer** wpisujemy informacje o kolorach, które przechowywane są w **ColorBuffer**, a adres do zapisu tworzymy, biorąc **WriteCharNum[11:0]** i doklejając jedynkę na najmłodszym bicie. Zerujemy **WriteStep1** i ustawiamy **WriteStep2** w stan wysoki.

W linii 11 mamy operacje wykonywane wtedy, gdy ustawiony jest **WriteStep2**. Pamięć równolegle zapisuje bajt koloru – w tym samym czasie, w którym wykonywane są operacje z tego bloku. Pozostaje już tylko posprzątać po procedurze zapisu – zerujemy zatem **WriteStep2** oraz **WriteRequest**, by w kolejnym cyklu zegarowym już nic do pamięci się nie zapisywało. Ponadto musimy przesunąć kursor na kolejną pozycję w prawo lub na początek kolejnej linii.

Nauczyliśmy się zapisywać dane tekstu i kolory do pamięci RAM, a teraz zobaczymy, jak je odczytywać. Przypominam, że pamięć obrazu to pseudo-dwuportowa pamięć RAM, zatem nie musimy się przejmować problemami wynikającymi z jednoczesnego zapisu i odczytu.

W linii 12 tworzymy kilka zmiennych na potrzeby odczytu. **ReadState** to rejestr maszyny stanów – będzie on przyjmować jedną z pięciu wartości. Nie będziemy ich jakoś konkretnie nazywać przy pomocy definicji. Będą to liczby od 0 do 4 – każdy z tych stanów następuje kolejno i trwa dokładnie przez czas jednego taktu zegarowego. **ReadAddress** to adres danych odczytywanych z pamięci obrazu, a **FontAddress** jest używany przez pamięć ROM czcionki. Ponadto mamy numer odczytywanego znaku **ReadCharNum**, obliczany w taki sam sposób, jak **WriteCharNum**.

Blok always, odpowiedzialny za odczyt danych, rozpoczyna się w linii 13. Składa się on tylko z inicjalizacji zmiennych podczas resetu i instrukcji case, która wykonuje akcje na podstawie wartości zmiennej **ReadState** i obsługuje wszystkie możliwe fazy odczytywania (linia 14).

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl aa6cced055

```
        .MEMORY_DEPTH(1024)
    ) ImageRAM_0(
        .ReadClock(Clock),
        .WriteClock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .ReadEnable_i(ReadAddress[12:10] == 3'd0),
        .WriteEnable_i(WriteRequest && (WriteAddress[12:10] == 3'd0)),
        .ReadAddress_i(ReadAddress[9:0]),
        .WriteAddress_i(WriteAddress[9:0]),
        .Data_i(WriteBuffer),
        .Data_o(DataFromImageRAM_[0])
    );

    PseudoDualPortRAM #(
        .ADDRESS_WIDTH(10),
        .DATA_WIDTH(8),
        .MEMORY_DEPTH(1024)
    ) ImageRAM_1(
        .ReadClock(Clock),
        .WriteClock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .ReadEnable_i(ReadAddress[12:10] == 3'd1),
        .WriteEnable_i(WriteRequest && (WriteAddress[12:10] == 3'd1)),
        .ReadAddress_i(ReadAddress[9:0]),
        .WriteAddress_i(WriteAddress[9:0]),
        .Data_i(WriteBuffer),
        .Data_o(DataFromImageRAM_[1])
    );

    PseudoDualPortRAM #(
        .ADDRESS_WIDTH(10),
        .DATA_WIDTH(8),
        .MEMORY_DEPTH(1024)
    ) ImageRAM_2(
        .ReadClock(Clock),
        .WriteClock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .ReadEnable_i(ReadAddress[12:10] == 3'd2),
        .WriteEnable_i(WriteRequest && (WriteAddress[12:10] == 3'd2)),
        .ReadAddress_i(ReadAddress[9:0]),
        .WriteAddress_i(WriteAddress[9:0]),
        .Data_i(WriteBuffer),
        .Data_o(DataFromImageRAM_[2])
    );

    PseudoDualPortRAM #(
        .ADDRESS_WIDTH(10),
        .DATA_WIDTH(8),
        .MEMORY_DEPTH(1024)
    ) ImageRAM_3(
        .ReadClock(Clock),
        .WriteClock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .ReadEnable_i(ReadAddress[12:10] == 3'd3),
        .WriteEnable_i(WriteRequest && (WriteAddress[12:10] == 3'd3)),
        .ReadAddress_i(ReadAddress[9:0]),
        .WriteAddress_i(WriteAddress[9:0]),
        .Data_i(WriteBuffer),
        .Data_o(DataFromImageRAM_[3])
    );

    PseudoDualPortRAM #(
        .ADDRESS_WIDTH(10),
        .DATA_WIDTH(8),
        .MEMORY_DEPTH(704)
    ) ImageRAM_4(
        .ReadClock(Clock),
        .WriteClock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .ReadEnable_i(ReadAddress[12:10] == 3'd4),
        .WriteEnable_i(WriteRequest && (WriteAddress[12:10] == 3'd4)),
        .ReadAddress_i(ReadAddress[9:0]),
        .WriteAddress_i(WriteAddress[9:0]),
        .Data_i(WriteBuffer),
        .Data_o(DataFromImageRAM_[4])
    );

    // Pamięć czcionki
    // Obsługuje znaki o kodach ASCII od 0 do 127
    // Rozmiar każdego znaku to 16x8 pikseli, czyli 16 B na każdy znak.
    // Cała pamięć ma pojemność 2048 bajtów.
    wire [7:0] DataFromFontROM;

    ROM #(
        .ADDRESS_WIDTH(11),
        .DATA_WIDTH(8),
        .MEMORY_DEPTH(2048),
        .MEMORY_FILE(„font_0_127.mem”)
    ) FontROM(
        .Clock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .ReadEnable_i(1'b1),
        .Address_i(FontAddress),
        .Data_o(DataFromFontROM)
    );

endmodule

`default_nettype wire
```

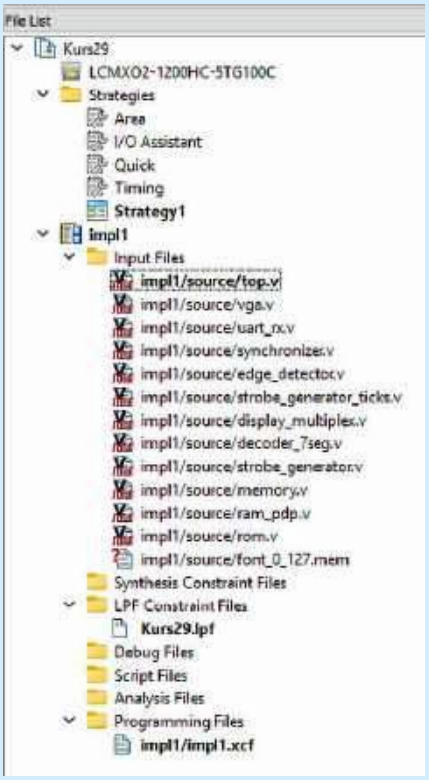
Listing 3. Kod pliku memory.v – cd.

```
// Char 70
00 // ........
00 // ........
FE // #######.
66 // .##..##.
62 // .##...#.
68 // .##.#...
78 // .####...
68 // .##.#...
60 // .##.....
60 // .##.....
60 // .##.....
F0 // ####....
00 // ........
00 // ........
00 // ........
00 // ........
```

Listing 4. Fragment pliku font_0_127.mem

W fazie 0 sprawdzamy, czy na wejściu **GetImage Request_uri** pojawił się stan wysoki. To wejście jest ustawiane przez moduł VGA i rozpoczyna cały proces odczytu. Do rejestru ReadAddress wpisujemy numer znaku do odczytu z doklejonym zerem na najmłodszym bicie, po czym inkrementujemy zmienną **ReadState**.

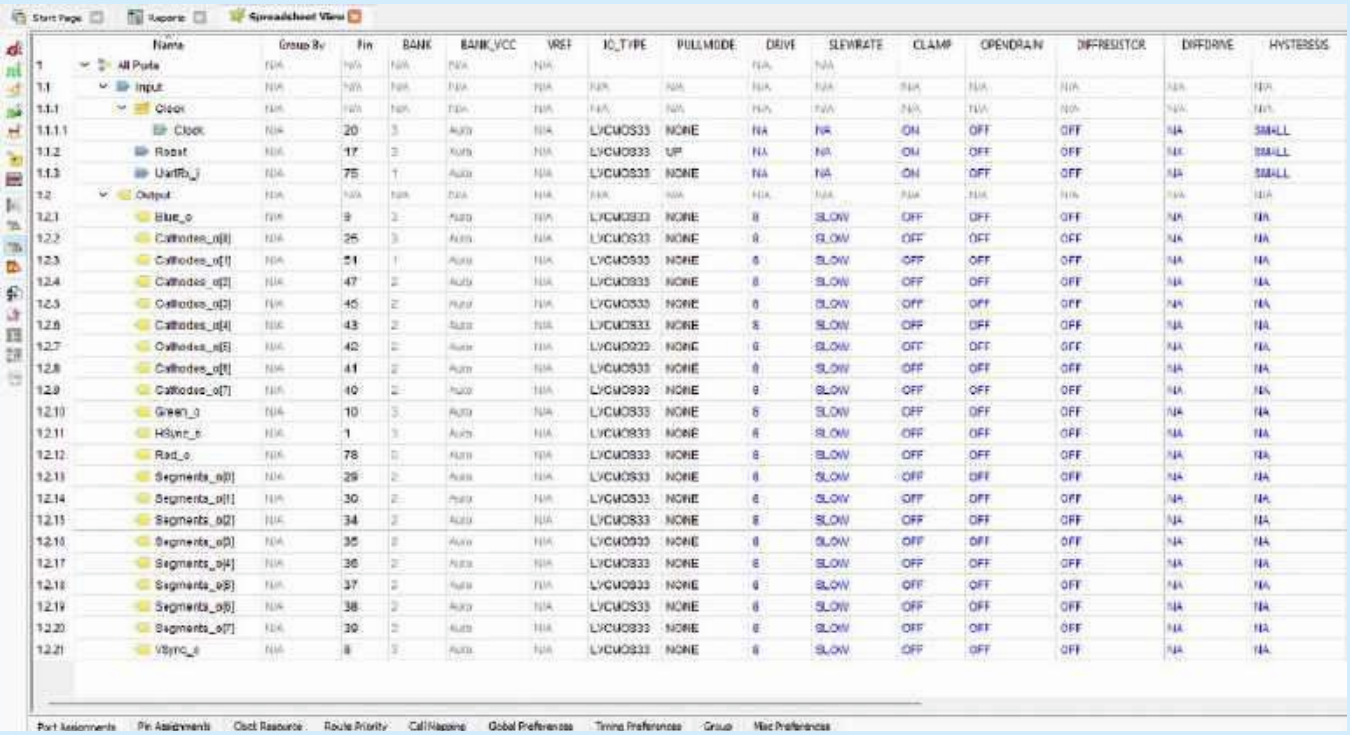
W kolejnym takcie zegarowym, kiedy **ReadState** jest równe 1, pamięć RAM odczytuje żądanie, jakie wystosowaliśmy w powyższym akapicie, a odpowiedź pojawi się na wyjściach pamięci w kolejnym takcie. Wydaje się, że mamy tutaj dwa cykle zegarowe zmarnowane. Nie do końca. W czasie, kiedy pamięć odczytuje dane, możemy na jej wejściach przygotować adres kolejnego bajtu do odczytu. Zatem do zmiennej **ReadAddress** wpisujemy ponownie numer znaku do odczytu z doklejoną jedynką na końcu. Inkrementujemy **ReadState**.



Rysunek 9. Drzewko projektu

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl aa6cced055



	Name	Group By	Pin	BANK	BANK_VCC	VREF	IO_TYPE	PULLMODE	DRIVE	SLEWRATE	CLAMP	OPENDRAIN	INFRESISTOR	DIFFDRIVE	HYSTERESIS
1	All Ports	NA	NA	NA	NA	NA			NA	NA					
1.1	Input	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1.1.1	Clock	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1.1.1.1	Clock	NA	20	3	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	NA	NA	ON	OFF	OFF	NA	SMALL
1.1.2	Reset	NA	17	3	Auto	NA	LVCMOS33	UP	NA	NA	ON	OFF	OFF	NA	SMALL
1.1.3	Uart_i	NA	75	1	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	NA	NA	ON	OFF	OFF	NA	SMALL
1.2	Output	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1.2.1	Blue_o	NA	9	2	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.2	Cathodes_o[0]	NA	25	3	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.3	Cathodes_o[1]	NA	51	1	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.4	Cathodes_o[2]	NA	47	2	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.5	Cathodes_o[3]	NA	45	2	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.6	Cathodes_o[4]	NA	43	2	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.7	Cathodes_o[5]	NA	42	2	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.8	Cathodes_o[6]	NA	41	2	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.9	Cathodes_o[7]	NA	40	2	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.10	Green_o	NA	10	3	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.11	HSync_o	NA	1	3	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.12	Red_o	NA	78	1	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.13	Segments_o[0]	NA	29	2	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.14	Segments_o[1]	NA	30	2	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.15	Segments_o[2]	NA	34	2	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.16	Segments_o[3]	NA	35	2	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.17	Segments_o[4]	NA	36	2	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.18	Segments_o[5]	NA	37	2	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.19	Segments_o[6]	NA	38	2	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.20	Segments_o[7]	NA	39	2	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA
1.2.21	VSync_o	NA	8	3	Auto	NA	LVCMOS33	NONE	8	SLOW	OFF	OFF	OFF	NA	NA

Rysunek 10. Konfiguracja pinów w Spreadsheet

Mamy teraz fazę 2. Pamięć RAM wystawiła na swoje wyjście jakieś dane (a konkretnie – kod ASCII znaku). Odczytujemy ten kod, doklejając do niego numer jednej z szesnastu linii, która ma zostać wyświetlona (zobacz rysunek 4 z poprzedniego odcinka kursu). Zapisując wartość do zmiennej **FontAddress** spowodujemy, że w kolejnym cyklu pamięć czcionki zacznie odczytywać bitmapę znaku do wyświetlenia. Jednocześnie pamięć RAM odczytuje bajt koloru. Ponownie inkrementujemy **ReadState**.

W fazie 3 pamięć RAM wystawia na swoje wyjście bajt koloru. Jednak nic z nim nie robimy, bo czekamy, aż pamięć czcionki skończy odczyt. Inkrementujemy **ReadState** i nic więcej.

Teraz dochodzimy do fazy 4, która kończy procedurę odczytu danych z pamięci. Wszystkie pamięci już udostępniły potrzebne informacje. Musimy jedynie skopiować wyniki na wyjścia kontrolera pamięci, aby moduł VGA mógł je wyświetlić. Zatem kopiujemy wyjście z pamięci czcionki **DataFromFontROM** na wyjście Pixels_o, a do **ColorForeground_o** i **ColorBackground_o** kopiujemy odpowiednie trzy bity uzyskane z pamięci obrazu.

Zdaję sobie sprawę z tego, że to co opisałem może wydawać się strasznie zagmatwane. Dane „wyplute" przez jedną pamięć stają się adresem odczytu drugiej pamięci, a ta pierwsza równolegle coś jeszcze odczytuje… Możliwość jednoczesnego działania wielu elementów w tym samym czasie sprawia, że układy FPGA mogą mieć fenomenalną wydajność, ale taki sposób pracy bywa trudny do zrozumienia, ponieważ jesteśmy przyzwyczajeni, że program wykonuje się linia po linii. Sposób pracy FPGA to coś, do czego najtrudniej jest się przyzwyczaić programistom.

W dalszej części kodu tworzymy poszczególne pamięci i przypisujemy do nich sygnały, jakie już omówiliśmy.

Zobaczmy jak wygląda plik czcionki font_0_127.mem, którym inicjalizujemy pamięć ROM. Składa się on z bitmap wszystkich znaków zapisanych w postaci szesnastkowej oraz z komentarzy, aby zawartość tego pliku była zrozumiała dla człowieka. Porównaj **listing 4** z rysunkiem 3. Plik ten został wygenerowany automatycznie.

W tym miejscu powinniśmy omówić testbenche do wszystkich modułów, lecz niniejszy odcinek nawet bez nich jest bardzo długi, a testbenche do VGA są… okropnie nudne. Nie ma w nich nic ciekawego, a testowanie polega tylko na ręcznym sprawdzaniu, co robią poszczególne elementy w kolejnych cyklach zegara i czy timing sygnałów jest właściwy. Jeżeli chcesz zobaczyć testbenche i wyniki symulacji, to zajrzyj do repozytorium na GitHubie, dostępnego pod adresem [1].

Testujemy na żywo

Przebrnęliśmy przez całą teorię, więc czas wreszcie zobaczyć efekty naszej pracy. Uruchom Lattice Diamond i utwórz w nim nowy projekt, do którego dodasz pliki, które pokazano na **rysunku 9**. Nie wymaga to żadnego komentarza. Przeprowadź syntezę, a następnie otwórz Spreadsheet i skonfiguruj piny układu FPGA w taki sposób, jak na rysunku 9. Pamiętaj, by w Spreadsheet wybrać zakładkę Timing Preferences i skonfigurować częstotliwość sygnału zegarowego, dostarczonego do wejścia Clock (**rysunek 10**).

Syntezujemy, wgrywamy bitstream do FPGA, podłączamy monitor i… nic. Ale tak właśnie miało być. Musimy jeszcze przesłać jakieś dane, które nasz terminal ma wyświetlić. W tym celu posłużymy się mikrokontrolerem ESP32, który można umieścić na płytce User Interface Board.

Na **listingu 5** pokazano prosty skrypt w MicroPythonie. Należy go uruchomić w edytorze Thonny lub innym współpracującym ze środowiskiem MicroPython na ESP32. Kod jest na tyle prosty, że do jego zrozumienia wystarczą komentarze zawarte w pliku. Aby uruchomić kod w Thonny należy nacisnąć przycisk F5. Natychmiast na monitorze powinien pojawić się taki obraz, jak na **zdjęciu tytułowym**. Obraz powinien być ostry i stabilny, a kolory powinny być bardzo intensywne – takie, jak we wczesnych komputerach z lat 90.

Co dalej?

Pewnie większość Czytelników słyszała o tym, że w FPGA można zaimplementować procesor. Oczywiście jest to prawda i czasami takie rozwiązanie bywa lepsze niż „normalny" procesor, ale jest związany z tym szereg różnych problemów. Musimy sobie najpierw odpowiedzieć na szereg pytań związanym z własnym procesorem:

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl aa6cced055

- **Jaki rdzeń CPU?** Możemy zastosować gotowe rozwiązania, zarówno płatne jak i dostępne za darmo w Internecie. Niektórzy hobbyści stworzyli repliki rdzeni 8051, AVR, PIC, STM, które możemy obudować swoimi peryferiami. Możemy także spróbować sił i stworzyć własny rdzeń. Wbrew pozorom, wcale to nie jest takie trudne.
- **Jaka architektura?** Istnieje szereg różnych metod łączenia CPU z pamięcią programu i pamięcią RAM oraz peryferiami. Dobrym pomysłem jest zapoznanie się z typowymi interfejsami stosowanymi w FPGA, takich jak Wishbone, AXI i Avalon.
- **Jakie peryferia?** Aby procesor był użyteczny do czegokolwiek, musi mieć jakieś peryferia, takie jak porty czy różne interfejsy komunikacyjne. Tutaj zastosowanie FPGA stwarza wielkie możliwości, bo możemy sami sobie stworzyć peryferia takie, jakch potrzebujemy. W szczególności może to być bardzo istotne, jeżeli mamy bardzo nietypowe potrzeby i żaden mikrokontroler dostępny na rynku nie oferuje odpowiadających nam peryferiów.
- **Jaki język programowania?** Każdy procesor można zaprogramować w assemblerze, ale bywa to uciążliwe, zwłaszcza w bardziej rozbudowanych systemach. Miło byłoby mieć kompilator C lub C++, ale skąd kompilator ma wiedzieć, jak działa nasz procesor? Tutaj pojawia się duży problem, bo o ile napisanie procesora w Verilogu jest stosunkowo proste, to opracowanie własnego kompilatora to już nie lada wyzwanie. Najlepiej byłoby wykorzystać jakiś gotowy kompilator, ale to ogranicza nas do takich procesorów, jakie ów kompilator obsługuje.

Z pomocą przychodzą wszyscy producenci FPGA, oferując rdzenie, peryferia i kompilatory. Lattice oferuje nam dwa rozwiązania.

Pierwszym jest **LatticeMico System**. Jest to kompletne środowisko, pozwalające wybrać i skonfigurować prosty procesor 8- lub

```
# Plik demo.py

# Zaimportowanie modułu UART
from machine import UART

# Tworzenie i konfiguracja portu UART
# Port 1, szybkość 115200 bit/s, numer pinu nadajnika Tx, numer pinu odbiornika Rx
uart = UART(1, baudrate=115200, tx=16, rx=17)

uart.write(bytearray([0x1B]))                   # Escape, powrót kursora na pozycję 0,0
uart.write(bytearray([0xF0]))                   # Białe znaki, czarne tło
uart.write(„==============================================================================”)
uart.write(„                              Test terminala UART-VGA                          „)
uart.write(„==============================================================================”)

uart.write(bytearray([0x0D]))                   # Nowa linia

uart.write(bytearray([0b11110000]))             # Białe znaki, czarne tło
uart.write(„ABCDEFGHIJKLMNOPQRTSTUVWXYZ abcdefghijklmnopqrstuvwxyz 0123456789 !@#$%^&*()-=<>”)

uart.write(bytearray([0b11000000]))             # Czerwone znaki, czarne tło
uart.write(„ABCDEFGHIJKLMNOPQRTSTUVWXYZ abcdefghijklmnopqrstuvwxyz 0123456789 !@#$%^&*()-=<>”)

uart.write(bytearray([0b11100000]))             # Żółte znaki, czarne tło
uart.write(„ABCDEFGHIJKLMNOPQRTSTUVWXYZ abcdefghijklmnopqrstuvwxyz 0123456789 !@#$%^&*()-=<>”)

uart.write(bytearray([0b10100000]))             # Zielone znaki, czarne tło
uart.write(„ABCDEFGHIJKLMNOPQRTSTUVWXYZ abcdefghijklmnopqrstuvwxyz 0123456789 !@#$%^&*()-=<>”)

uart.write(bytearray([0b10110000]))             # Cyan foreground, black background
uart.write(„ABCDEFGHIJKLMNOPQRTSTUVWXYZ abcdefghijklmnopqrstuvwxyz 0123456789 !@#$%^&*()-=<>”)

uart.write(bytearray([0b10010000]))             # Blue foreground, black background
uart.write(„ABCDEFGHIJKLMNOPQRTSTUVWXYZ abcdefghijklmnopqrstuvwxyz 0123456789 !@#$%^&*()-=<>”)

uart.write(bytearray([0b11010000]))             # Magenta foreground, black background
uart.write(„ABCDEFGHIJKLMNOPQRTSTUVWXYZ abcdefghijklmnopqrstuvwxyz 0123456789 !@#$%^&*()-=<>”)

uart.write(bytearray([0x0D]))                   # Nowa linia

uart.write(bytearray([0b10000111]))             # Czarne znaki, białe tło
uart.write(„ABCDEFGHIJKLMNOPQRTSTUVWXYZ abcdefghijklmnopqrstuvwxyz 0123456789 !@#$%^&*()-=<>”)

uart.write(bytearray([0b10000100]))             # Czarne znaki, czerwone tło
uart.write(„ABCDEFGHIJKLMNOPQRTSTUVWXYZ abcdefghijklmnopqrstuvwxyz 0123456789 !@#$%^&*()-=<>”)

uart.write(bytearray([0b10000110]))             # Czarne znaki, żółte tło
uart.write(„ABCDEFGHIJKLMNOPQRTSTUVWXYZ abcdefghijklmnopqrstuvwxyz 0123456789 !@#$%^&*()-=<>”)

uart.write(bytearray([0b10000010]))             # Czarne znaki, zielone tło
uart.write(„ABCDEFGHIJKLMNOPQRTSTUVWXYZ abcdefghijklmnopqrstuvwxyz 0123456789 !@#$%^&*()-=<>”)

uart.write(bytearray([0b10000011]))             # Czarne znaki, błękitne tło
uart.write(„ABCDEFGHIJKLMNOPQRTSTUVWXYZ abcdefghijklmnopqrstuvwxyz 0123456789 !@#$%^&*()-=<>”)

uart.write(bytearray([0b10000001]))             # Czarne znaki, niebieskie tło
uart.write(„ABCDEFGHIJKLMNOPQRTSTUVWXYZ abcdefghijklmnopqrstuvwxyz 0123456789 !@#$%^&*()-=<>”)

uart.write(bytearray([0b10000101]))             # Czarne znaki, fioletowe tło
uart.write(„ABCDEFGHIJKLMNOPQRTSTUVWXYZ abcdefghijklmnopqrstuvwxyz 0123456789 !@#$%^&*()-=<>”)

# Ikony
uart.write(bytearray([0x0D]))                   # Nowa linia
uart.write(bytearray([0xF0]))                   # Białe znaki, czarne tło

for char in range(0x00, 0x80):                  # Pętla od 0x00 do 0x7F
    if char == 0x0D:                            # Jeżeli aktualny znak to 0x0D (nowa linia)
        continue                                # Wykonaj kolejny obieg pętli
    if char == 0x1B:                            # Jeżeli aktualny znak to 0x1B (powrót na początek)
        continue;                               # Wykonaj kolejny obieg pętli
    uart.write(bytearray([char]))               # Prześlij znak przez UART
```

Listing 5. Kod pliku demo.py

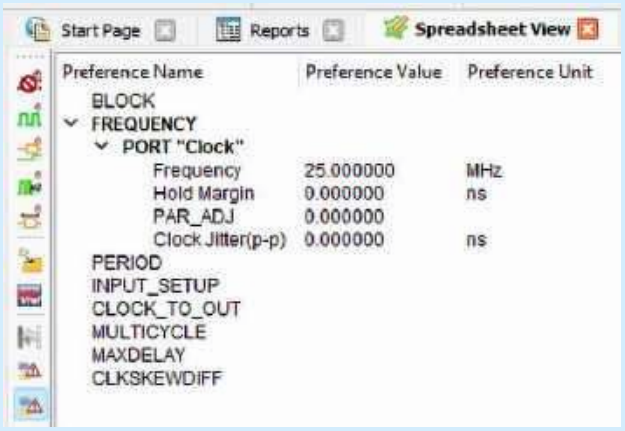
Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl aa6cced055

Zobacz więcej:
- Repozytorium modułów wykorzystywanych w kursie https://github.com/leonow32/verilog-fpga
- Projekt w programie Diamond https://ep.com.pl/files/eez/13720-kurs_fpga_lattice_29._terminal_tekstowy_vga.zip

32-bitowy, pamięci i peryferia. Poszczególne elementy systemu łączy się przy pomocy interface'u Wishbone. W programie jest dostępny także kompilator języka C i programator. LatticeMico generuje wszystko to, co potrzebne jest do umieszczenia gotowego rozwiązania wewnątrz FPGA, jednak jest to rozwiązanie bardzo stare i już nie rozwijane, a ostatnia aktualizacja była opublikowana w 2010 roku.

Nowszym rozwiązaniem jest **Lattice Propel**, które bazuje na architekturze RISC-V, która staje się coraz popularniejsza w dzisiejszych czasach. Na przykład firma Espressif wszystkie nowe układy ESP32 opiera właśnie na rdzeniach RISC-V i zastępuje wcześniej stosowany Tensilica Xtensa. RISC-V jest procesorem open source, który każdy może zastosować bez ponoszenia żadnych opłat licencyjnych. Ponadto dostępne są także kompilatory C i C++, obsługujące współczesne standardy tych języków.



Rysunek 11. Konfiguracja zegara w Spreadsheet

W tym miejscu kończymy kurs FPGA Lattice. **W następnym wydaniu „Elektroniki Praktycznej" rozpoczniemy nowy kurs – będzie to MicroPython dla mikrokontrolerów ESP32!**

Dominik Bieczyński
leonow32@gmail.com

REKLAMA

Wydawnictwo AVT nawiąże współpracę redakcyjną z osobami dobrze operującymi terminologią elektroniki i słowem pisanym. Propozycja szczególnie interesująca dla nauczycieli elektroniki, autorów artykułów, skryptów i książek.
Aplikacje prosimy kierować na adres:
redakcja@elportal.pl

Implementacja systemu Linux na platformie STM32MP (5)

Połączenie aplikacji graficznych GUI z peryferiami płytki rozwojowej STM32MP1

Możliwość połączenia graficznego interfejsu użytkownika z funkcjami sterowania peryfieria procesora (np. portem wejścia/wyjścia czy dowolnym innym z dostępnych interfejsów) otwiera przed programistą nowe możliwości tworzenia kodu. Interfejs użytkownika jest bowiem w dzisiejszych czasach nieodłącznym elementem wielu różnych systemów i aplikacji.

Jesteśmy przyzwyczajeni do korzystania z GUI w wielu aplikacjach – począwszy od prostych programów na mikrokontroler, korzystających z wyświetlaczy TFT do komunikowania się z użytkownikiem, a kończąc na bardziej złożonych aplikacjach na PC. Oprogramowanie takie towarzyszy nam w domach (pralki, lodówki, itp.), w zakładach produkcyjnych (sterowanie maszynami za pomocą paneli operatorskich) i w niezliczonych innych obszarach techniki. Popularność GUI sprawia, że sama myśl, iż takiego interfejsu mogłoby zwyczajnie w świecie nie być, wydaje nam się nie do pomyślenia.

Czym jest GUI?

GUI to nic innego, jak skrót od Graphic User Interface, czyli – w dosłownym tłumaczeniu – graficzny interfejs użytkownika. GUI stanowi swego rodzaju pomost pomiędzy aplikacją a użytkownikiem, pozwalając na łatwe i szybkie kontrolowanie zachowania systemu przez eksploatatora. Należy tu zauważyć, że nie zawsze jesteśmy

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

```
import gi  # Import biblioteki GObject Introspection

# Wymaganie wersji GTK 3.0
gi.require_version(„Gtk”, „3.0”)
from gi.repository import Gtk  # Import modułu GTK

def set_led(state):
    ”””
    Funkcja zmienia stan diody LED systemowej poprzez zapis do pliku brightness.
    Parametr:
        state (int): 1 - włączenie LED, 0 - wyłączenie LED.
    ”””
    try:
        with open(„/sys/class/leds/heartbeat/brightness”, „w”) as led:
            led.write(str(state))  # Zapis stanu diody LED do pliku systemowego
    except IOError as e:
        print(f”Error accessing LED file: {e}”)  # Obsługa błędu w przypadku problemu z dostępem do pliku

def on_switch_activated(switch, gparam):
    ”””
    Obsługuje zdarzenie zmiany stanu przełącznika.
    Parametry:
        switch (Gtk.Switch): Obiekt przełącznika GTK.
        gparam: Nieużywany parametr przekazywany przez sygnał.
    ”””
    state = 1 if switch.get_active() else 0  # Sprawdzenie, czy przełącznik jest aktywny (włączony)
    set_led(state)  # Ustawienie stanu LED
    print(„Switch was turned”, „on” if state else „off”)  # Wypisanie aktualnego stanu

# Tworzenie głównego okna aplikacji
win = Gtk.Window(title=”LED Control”)
win.set_border_width(10)  # Ustawienie marginesu wokół zawartości okna
win.connect(„destroy”, Gtk.main_quit)  # Zamknięcie aplikacji po zamknięciu okna

# Tworzenie poziomego kontenera Box dla elementów interfejsu
hbox = Gtk.Box(spacing=6)
win.add(hbox)  # Dodanie Box do głównego okna

# Tworzenie przełącznika (Switch) i podłączenie funkcji obsługującej zmianę stanu
switch = Gtk.Switch()
switch.connect(„notify::active”, on_switch_activated)  # Reakcja na zmianę stanu przełącznika
hbox.pack_start(switch, True, True, 0)  # Dodanie przełącznika do kontenera Box

# Wyświetlenie wszystkich elementów interfejsu
win.show_all()
Gtk.main()  # Uruchomienie głównej pętli GTK
```

Listing 1. Kod skryptu

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl aa6cced055

Fotografia 1.

Fotografia 2.

Fotografia 3.

w stanie przewidzieć zachowanie aplikacji, zwłaszcza jeśli zostaną dostarczone do niej niepoprawne dane wejściowe. W takich przypadkach najczęściej aplikacja będzie zabezpieczona przez programistę w samym kodzie źródłowym. Mówiąc w wielkim skrócie – GUI zwalcza użytkownikowi na szybkie i proste kontrolowanie aplikacji, systemu wbudowanego czy też maszyny.

Tworzenie aplikacji

Jedną z najprostszych możliwych aplikacji na mikrokontroler jest zaświecenie diody LED, co robiliśmy już zresztą we wcześniejszych odcinkach tego kursu. Tym razem jednak połączymy kod z wcześniejszych części niniejszego cyklu z pewnymi ulepszeniami i modyfikacjami.

Stworzymy prosty interfejs użytkownika, wyposażony w przełącznik suwakowy pozwalający nam na kontrolowanie stanu diody LED. Aplikacja zostanie napisana w języku Python, z uwagi na łatwość pisania skryptu i jego niewielką objętość.

Kod aplikacji widoczny jest na **listningu 1**.

Wgranie kodu do pamięci i uruchomienie

Do wgrania naszej aplikacji na płytkę rozwojową używamy polecenia scp, znanego z wcześniejszych części kursu. Uruchomienie aplikacji również odbywa się w sposób analogiczny do tego, który opisaliśmy wcześniej.

Efektem działania prostego programu z listingu 1 będzie zaświecenie diody LED – suwak w pozycji załączonej jest widoczny na **fotografii 1**, a w pozycji nieaktywnej – na **fotografii 2**. Warto również zwrócić uwagę na wyświetlające się w terminalu komunikaty o załączeniu lub zgaszeniu naszej diody LED (**fotografia 3**). Takiego rodzaju logi często są przydatne w przypadku większych aplikacji, ponieważ pozwalają nam na kontrolowanie działania aplikacji i diagnostykę ewentualnych problemów. Należy pamiętać, że nie wszystkie informacje są umieszczane w GUI – spora ich część ląduje często w logach systemowych.

inż. Wiktor Hubaj

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl aa6cced055

Kurs DSP Audio, czyli SigmaDSP dla każdego (1)

Przegląd oferty

Czy na pewno dla każdego? Tak, ponieważ w przeciwieństwie do procesorów DSP innych rodzin, SigmaDSP firmy Analog Devices cechuje się wyjątkowo niskim progiem wejścia. Procesory serii ADAU są przeznaczone do obróbki sygnału audio i doskonale sprawdzają się w urządzeniach stacjonarnych (zarówno konsumenckich, jak i profesjonalnych), technice nagłośnienia samochodowego, a najmniejsze (pod względem wymiarów) – w elektronice ubieralnej.

Zestaw EVAL-ADAU1466 (z materiałów Analog Devices)

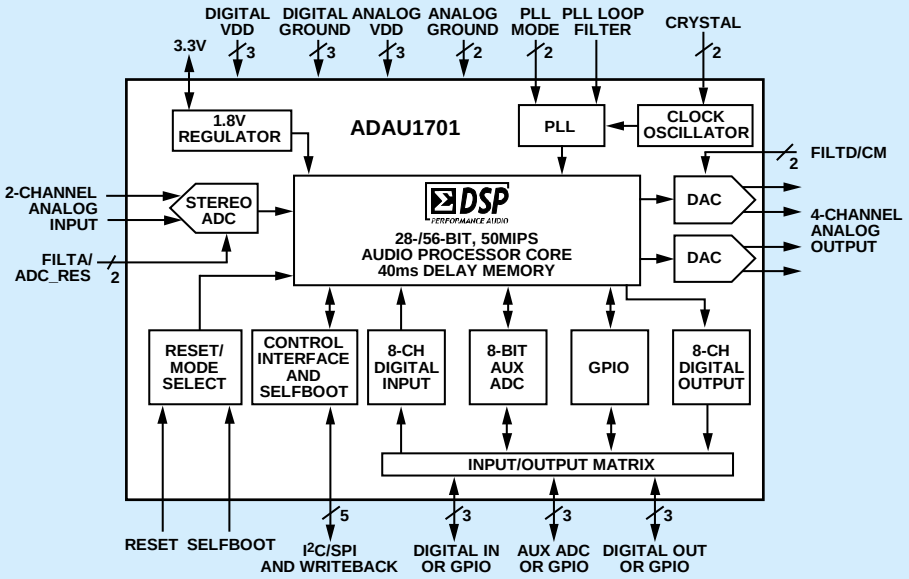
Rozpoczęcie pracy z SigmaDSP – podobnie jak z każdym innym procesorem – wymaga jedynie (!) zestawu uruchomieniowego z programatorem/debuggerem oraz czasu na zapoznanie się z dokumentacją układu i środowiska programistycznego. Zastosowane przez Analog Devices podejście oparte na „graficznym programowaniu" procesorów przy użyciu środowiska narzędziowego SigmaStudio zapewnia w pełni intuicyjne tworzenie aplikacji DSP. Proces przebiega w sposób identyczny do rysowania schematu blokowego, odzwierciedlającego przepływ rzeczywistego sygnału audio, a w większości przypadków polega wręcz na zestawianiu połączeń pomiędzy urządzeniami – takimi jak miksery, filtry, korektory, kompresory, ograniczniki – dokładnie tak, jak ma to miejsce podczas konfiguracji fizycznego systemu audio. „Program" rysowany jest z dostarczonych przez producenta, udokumentowanych (mniej lub bardziej szczegółowo) i sprawdzonych bloków funkcjonalnych, od najprostszych (typu sumowanie sygnału), aż do złożonych (typu Pitch Transposer, Noise Cancelling lub Beam Forming). Po połączeniu bloków w aplikację wystarczy załadować wynik kompilacji do procesora i… gotowe.

Umożliwia to zastosowanie procesorów Sigma DSP przez osoby niemające obeznania z asemblerem, językiem C, a – co bardzo ważne – do rozpoczęcia pracy nie jest też konieczna zaawansowana wiedza w zakresie cyfrowego przetwarzania sygnału. Przed opracowaniem omawianego ekosystemu ADI klasyczne programowanie DSP ograniczone było do wąskiego grona specjalistów, posiadających zarówno szerokie umiejętności programistyczne, jak i znajomość zaawansowanego aparatu matematycznego. Pozostali – np. realizatorzy, muzycy czy konstruktorzy DIY, nieposiadający tej wiedzy, ale doskonale znający metody i używane do obróbki sygnału urządzenia – skazani byli na korzystanie z gotowych rozwiązań bazujących na DSP, co dzięki procesorom rodziny ADAU i środowisku SigmaStudio uległo diametralnej zmianie.

Obecnie oferta SigmaDSP składa się z kilkunastu układów należących do kilku rodzin. Zestawienie wybranych procesorów, wraz z porównaniem najważniejszych parametrów, zaprezentowano w **tabeli 1**.

Reprezentatywnym przedstawicielem układów z wbudowanym kodekiem audio jest model ADAU1701, występujący też w wersji z mniejszą pamięcią programu – ADAU1702. Budowę wewnętrzną ADAU1701 pokazano na **rysunku 1**.

Jakość wbudowanych przetworników AD/DA jest wystarczająca i w większości przypadków aplikacyjnych umożliwia rezygnację z układów zewnętrznych – o ile wystarczą nam dwa kanały analogowe wejściowe i cztery wyjściowe (THD+N > 83 dB, SN > 100 dB). ADAU1701 – oprócz wbudowanych przetworników AD/DA – ma także elastycznie konfigurowany, cyfrowy interfejs szeregowy. Maksymalna częstotliwość próbkowania może wynosić 192 kHz przy rozdzielczości 24 bitów. DSP pracuje w trybie synchronicznym, taktowanym kwarcem lub zewnętrznym sygnałem zegarowym pozyskanym z interfejsu cyfrowego, niestety bez możliwości konwersji częstotliwości próbkowania pomiędzy cyfrowymi kanałami wejściowymi i wyjściowymi (układ pozbawiony jest modułu konwertera częstotliwości próbkowania ASRC). Interfejs cyfrowy daje możliwość wymiany danych w typowych formatach I²S (LJ, RJ) i TDM (multipleksowanie czasowe kilku



Rysunek 1. Budowa wewnętrzna procesorów z serii ADAU144x (za notą Analog Devices)

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl aa6cced055

Tabela 1. Zestawienie procesorów rodziny SigmaDSP

	AD1940	ADAU1701 ADAU1702	ADAU1761	ADAU1442 ADAU1445 ADAU1446	ADAU1450 ADAU1451 ADAU1452	ADAU1462 ADAU1466	ADAU1463 ADAU1463
Częstotliwość taktowania rdzenia [MHz]	75	50/25	50	172	147/294	147/294	147/294
Pamięć programu [kWord]	1.5	1/0.5	1	3.5	8/16/40	16/24	16/24
Liczba instrukcji/próbka dla f =48 kHz	1536	1024/512	1024	3584	3072/6144	6144	6144
Pamięć parametrów [kWord]	1	1	1	4	8/16/40	48/80	48/80
Pamięć danych [kWord]	6	2/0.5	4	8	dzielona z pamięcią parametrów	dzielona z pamięcią parametrów	dzielona z pamięcią parametrów
Wbudowane przetworniki ADC/DAC	0/0	2/4	2/2	0/0	0/0	0/0	0/0
Liczba kanałów cyfrowych	16/16	8/8	8/8	24/24	48/48	48/48	48/48
GPIO/ADC		12/4-8bit	4/0	12/4-10bit	14/6-10bit	14/6-10bit	26/8-10bit
Selfboot		I²C		I²C	I²C/SPI	I²C/SPI	I²C/SPI
SPDIF				1/1/0	0/1/1	1/1	1/1
ASCR (CH/SR)				1442: 16/8 1445 16/2 1446: 0/0	0/16/8	8	8
Inne			Interfejs mikrofonu		4×PDM Interfejs master/slave I²C/SPI	4×PDM Interfejs master/slave I²C/SPI	4×PDM Interfejs master/slave I²C/SPI
Obudowa	LQFP48 P0.5	LQFP48 P0.5	LFCSP32 5×5 mm P0.5	TQFP100 16×16 mm P0.5	LFCSP72 10×10 mm P0.5	LFCSP72 10×10 mm P0.5	LFCSP88 12×12 mm P0.5
Cena	8,1 $	5,8/4,7 $	4,7 $	10 $	5.4/6.6/7.2 $	6,6/9,4 $	7,3/10 $
Zastosowanie	ogólne	ogólne		ogólne, automotiv	ogólne, automotiv	ogólne, automotiv	ogólne, automotiv

kanałów). Interfejs kanałów wyjściowych może być skonfigurowany w trybie master – wtedy ADAU1701 generuje przebiegi taktujące BCLK/LRCK (maksymalnie przetwarzanie do 96 kHz) – lub w trybie slave, w którym za generowanie przebiegów odpowiada współpracujący układ (do 192 kHz). Interfejs szeregowy umożliwia połączenie z zewnętrznymi przetwornikami AD/DA, kodekami audio, odbiornikami/nadajnikami SPDIF, konwerterami ASRC, cyfrowymi mikrofonami MEMS lub z cyfrowymi końcówkami mocy.

ADAU1701 wyposażony jest tryb pracy Selfboot, umożliwiający samodzielną pracę DSP bez zewnętrznego procesora sterującego. W trybie tym konfiguracja oraz parametry są odczytywane i zapisywane do zewnętrznej pamięci EEPROM I²C. Aby tryb pracy samodzielnej był bardziej elastyczny i umożliwiał interakcje z użytkownikiem, procesory wyposażone są w programowane linie GPIO oraz wbudowany, uniwersalny przetwornik AD o rozdzielczości 8 bitów. Takie rozwiązanie ułatwia podłączenie typowych elementów manipulacyjnych, takich jak przełączniki, enkodery czy potencjometry, co upraszcza opracowywanie aplikacji czułych na koszty BOM.

Reasumując, możemy stwierdzić, że ADAU1701 to pełnoprawny SoC Audio, znacząco upraszczający projekt urządzenia. Pomimo kilku ograniczeń układ jest chętnie stosowany w konstrukcjach DIY. W zasadzie jest to procesor „pierwszego wyboru" z rodziny SigmaDSP – tym bardziej że występuje w lutowalnej „amatorsko" obudowie LQFP48 o rastrze 0,5 mm, która przy odpowiedniej aplikacji umożliwia realizację układu na taniej, dwustronnej płytce drukowanej.

Popularnym wyborem, ale delikatnie ustępującym najnowszym rozwiązaniom, są układy z serii ADAU144x. Strukturę wewnętrzną ADAU144x pokazano na **rysunku 2**. Układy pozbawione są wbudowanych przetworników AD/DA, obsługują jednak tryb autonomiczny Selfboot oraz oferują rozbudowany interfejs GPIO z przetwornikiem AD o rozdzielczości zwiększonej do 10 bitów. Procesory z omawianej rodziny wyposażone są w zwiększoną pamięć i taktowany szybszym zegarem rdzeń DSP o podwyższonej wydajności, a struktura uzupełniona jest dodatkowo w sprzętowy układ wielokanałowego konwertera częstotliwości próbkowania ASRC (zależnie od układu: w ADAU1442 – 16 kanałów, 8 domen zegarowych, zaś w ADAU1445 – 16 kanałów, 2 domeny zegarowe; najtańszy ADAU1446 pozbawiony jest bloku ASRC). Blok ASRC umożliwia bezpośrednią współpracę ze źródłami audio o różnych częstotliwościach próbkowania, a krosownica sygnału FARM umożliwia elastyczne konfigurowanie sygnałów z różnych domen zegarowych. Istotnym wyposażeniem układów jest wbudowany, kompletny odbiornik i nadajnik sygnału w standardzie SPDIF (96 kHz), eliminujący konieczność zastosowania zewnętrznych układów WM/CS/DIX blokujących zasoby interfejsów cyfrowych DSP (należy pamiętać, że model ADAU1446 jest pozbawiony bloku SPDIF). Układy

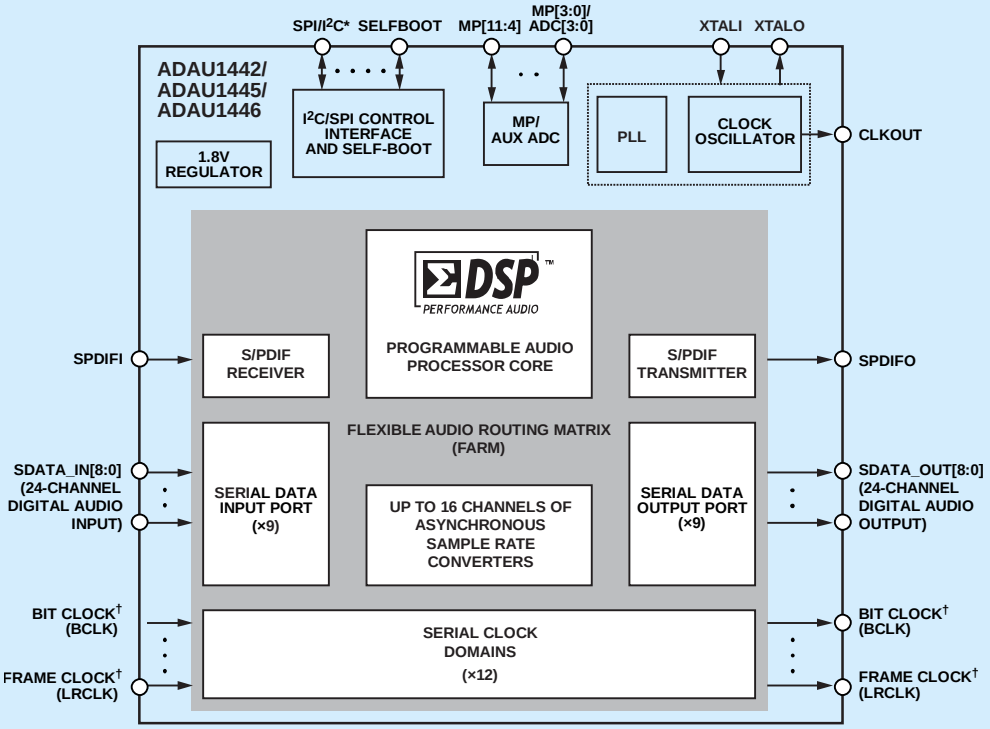
Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl aa6cced055

ADAU144x mają także konfigurowalny sprzętowo, buforowany generator sygnału zegarowego, ułatwiający współpracę z układami wymagającymi sygnału MCLK (np. z przetwornikami DAC).

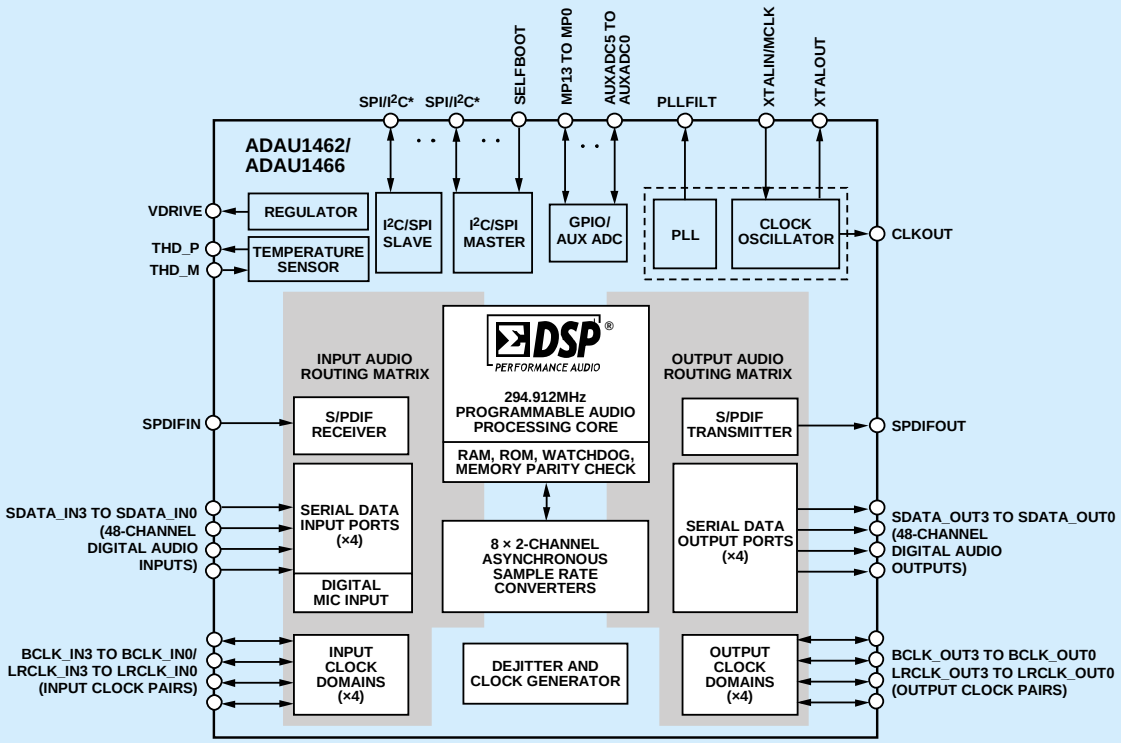
Kilka dostępnych typów układów umożliwia precyzyjne dopasowanie do potrzeb konkretnej aplikacji i pozwala zaoszczędzić kilka dolarów, jeżeli użycie ASRC lub SPDIF nie jest konieczne. Procesory ADAU144x są wzajemnie kompatybilne „w górę". Układy dostępne są w obudowach TQFP/LQFP100 o rastrze wyprowadzeń 0,5 mm, wyposażonych we wkładkę radiatorową.

Zarówno ADAU1701, jak i ADAU144x wykonują obliczenia w rozdzielczości 28 bitów (format 5.23) w trybie normalnym i 56 bitów w trybie podwójnej precyzji – wybór trybu pracy zależy od konfiguracji bloków programu.



Rysunek 2. Budowa wewnętrzna procesora ADAU1701 (za notą Analog Devices)

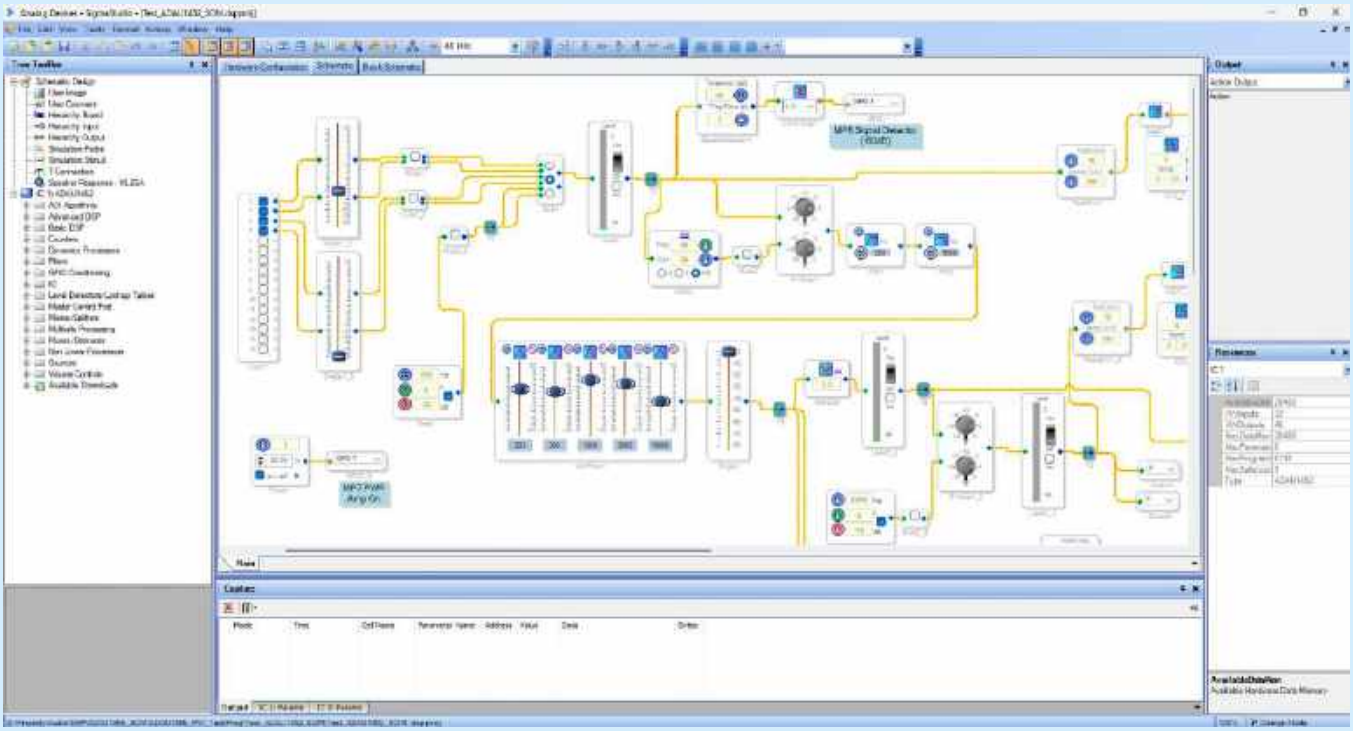
Rodziny: ADAU145x oraz jej rozbudowana kontynuacja ADAU146x, ze względu na wspólne cechy, mogą zostać omówione razem. Podstawowe cechy okazują się identyczne, a same procesory są zamienne w „górę", podobnie jak rodzina ADAU144x. Strukturę wewnętrzną ADAU146x zaprezentowano na **rysunku 3**. Najważniejszą jej cechą jest rozbudowana pamięć i dwukrotnie zwiększona wydajność. W zależności od potrzeb można dobrać układ „pełnowymiarowy" bądź dostępny w wersji ekonomicznej (z mniejszym rozmiarem pamięci, niższym taktowaniem rdzenia i okrojonym blokiem ASRC/SPDIF). Układy ADAU145x/6x także pozbawione są przetworników AD/DA. Interfejs cyfrowy rozszerzony został do 48 kanałów, nieporównywalnie większa jest też elastyczność konfiguracji trybów pracy, co zwększa zakres możliwych do zastosowania przetworników AD/DA. Istotną zmianą jest rozbudowa interfejsu komunikacyjnego SPI/I²C, który w ADAU145x/146x rozdzielony został na osobne interfejsy master i slave. Umożliwia to nie tylko komunikację z DSP w celu konfiguracji lub obsługi trybu Selfboot, ale także (w trybie master) konfigurację współpracujących układów, np. przetworników AD/DA lub współpracę z zewnętrzną pamięcią SPI RAM/Flash bezpośrednio przez procesor DSP (np. w celu uzyskania bardzo długich opóźnień cyfrowych sygnału).



Rysunek 3. Budowa wewnętrzna układów z serii ADAU145x/6x (za notą Analog Devices)

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl aa6cced055



Rysunek 4. Środowisko SigmaStudio

Podobnie jak poprzednicy, omawiane procesory oferują tryb pracy samodzielnej Selfboot, pracujący tym razem z pamięcią zewnętrzną EEPROM – nie tylko poprzez interfejs I²C, ale także SPI, co zdecydowanie przyspiesza ładowanie programu i umożliwia stosowanie pamięci o poszerzonej adresacji. Wyprowadzenia cyfrowe interfejsu GPIO oraz wejścia przetwornika AD zostały rozdzielone AD – linie konwertera AD GPIO wyprowadzone są na dedykowane piny ADAU145x/6x. W przypadku ADAU1463/67 dodatkowo powiększony został interfejs GPIO (z 14 do 26 wyprowadzeń), co przydaje się w aplikacjach samodzielnych. Wszystkie układy z rodziny ADAU145x/146x oferują wbudowany, konfigurowany programowo układ generujący sygnał zegarowy. Procesory ADAU145x/146x wykonują obliczenia w rozdzielczości 32 bitów (format 8.24) w trybie normalnym i 64 bitów w trybie podwójnej precyzji.

Układy zamknięte są w niewielkich obudowach LFCSP72 o rozmiarach 10×10 mm i rastrze wyprowadzeń 0,5 mm. Dostępne w ramach omawianej rodziny układy ADAU1463/1467, o zwiększonej do 26 liczbie wyprowadzeń GPIO, zamknięte są w obudowach LFCSP88 12×12 mm.

Warto też wspomnieć o procesorach ADAU1772, ADAU1777, ADAU1778, które mają wbudowany rdzeń DSP zgodny z SigmaDSP, ale przez producenta nie są wymieniane na liście procesorów SigmaDSP. W istocie są to... kodeki audio z wbudowanym rdzeniem DSP. Wysoka integracja oraz miniaturowe obudowy LFCSP, WLSCP pozycjonują układy głównie w obszarze zastosowań mobilnych. Szybkie rdzenie DSP (ADAU1788) o niskiej latencji umożliwiają realizację m.in. energooszczędnych układów aktywnego tłumienia hałasu, wbudowanych w zestawy słuchawkowe – co ważne, jest to możliwe przy zachowaniu bardzo małych rozmiarów układu, co ma pierwszorzędne znaczenie w aplikacjach mobilnych. Przykładowo układ ADAU1788 ma obudowę WLSCP o wymiarach 2,695×2,3 mm z rastrem 0,35 mm. Niestety, pomimo ciekawych parametrów, układy nie nadają się do samodzielnego wykorzystania w konstrukcjach DIY.

Oczywiście do każdego z wymienionych układów dostępny jest oficjalny zestaw uruchomieniowy – za zestaw z programatorem trzeba zapłacić kilkaset złotych. Korzystając z alternatywnych płytek uruchomieniowych, należy nabyć programator USBi w cenie ok. 500 złotych, niestety jest to sporo więcej niż w przypadku większości podstawowych programatorów do klasycznych procesorów STM32 czy AVR. Przykładowy zestaw uruchomieniowy na bazie ADAU1466 pokazano na **fotografii tytułowej**.

Każdy z opisanych procesorów współpracuje z środowiskiem SigmaStudio (**rysunek 4**), co jest najważniejszą cechą układów i jednocześnie ich największym atutem. Oprogramowanie narzędziowe SigmaStudio (aktualna wersja 4.7) jest udostępnione za darmo, wymaga jedynie rejestracji na stronie producenta. Jak wspominałem wcześniej, jest to środowisko graficzne, w którym „rysujemy" schemat z gotowych, parametryzowanych bloków funkcjonalnych. Zwalnia to programistę z konieczności żmudnego opanowywania asemblera DSP i zagłębiania się w tony dokumentacji. Dzięki niewielkiemu nakładowi sił potrzebnych na opanowanie „programowania" SigmaDSP, możliwa jest realizacja nawet złożonych, jednostkowych projektów, w bardzo krótkim czasie.

W tym miejscu kończę skrótowe przedstawienie procesorów SigmaDSP i zachęcam do pobrania i instalacji SigmaStudio przed publikacją kolejnego odcinka naszego kursu.

Adam Tatuś, EP

REKLAMA

facebook.com/ElektronikaPraktyczna

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie **https://ulubionykiosk.pl/media**

eprasa.pl aa6cced055

koktajl niusów

Nowa metoda recyklingu baterii samochodowych opracowana przez Toyotę

Od jesieni 2023 roku firma Toyota bada nową technologię recyklingu akumulatorów, w której wyeliminowano proces spalania. Znajdujący się w akumulatorach elektrolit jest destylowany, a następnie usuwa się go, by zredukować ryzyko pożaru podczas procesu przetwarzania. Na kolejnych etapach ogniwa podlegają rozdrabnianiu, sortowaniu oraz ponownemu użyciu w dalszych procesach. W ten sposób odzyskiwane są m.in. znaczące porcje aluminium i żelaza oraz „czarna masa", czyli proszek zawierający różne rzadkie metale, poddawane dalszemu przetwarzaniu przez firmy partnerskie w celu produkcji, a później sprzedaży całkowicie nowych egzemplarzy akumulatorów. Inżynierowie firmy Toyota jako pierwsi na świecie – jeszcze w 2010 roku – opracowali ponadto efektywną, w pełni stosowalną technologię recyklingu baterii niklowo-metalowo-wodorkowych (NiMH). Od tego czasu w najważniejszym zakładzie firmy w Handzie, w prefekturze Aichi zbierane są, a następnie przetwarzane stare baterie pochodzące z samochodów hybrydowych. By jednak cykl życia samochodów zyskał całkowitą neutralność klimatyczną, trzeba dokładnie prześledzić i zweryfikować wszystkie źródła emisji CO_2: od produkcji, przez wycofanie pojazdu z eksploatacji, aż po recykling akumulatorów – i krok po kroku te emisje redukować. W tym względzie pomocny może okazać się opisany wcześniej recykling baterii bez wcześniejszego ich spalania, którym specjaliści z Toyoty zainteresowali się jesienią 2023 roku, a obecnie są już po pierwszych, udanych jego testach – dających nadzieję, że technologia ta okaże się użyteczna w praktyce.

https://tiny.pl/m541t91m

Vasco Translator E1: rewolucyjne słuchawki tłumaczące dla dwóch rozmówców

Prezentowane słuchawki Vasco Translator E1 działają z przeznaczoną dla nich darmową aplikacją o nazwie Vasco Connect przewidzianą na systemy operacyjne Android lub iOS. Dzięki aplikacji obsługują minimum 50 języków mówionych, a oprócz niej współpracują także z innymi tłumaczami – np. Vasco Translator V4 – jeżeli zachodzi taka potrzeba. Vasco Translator E1 może być używany w trybach: słuchawkowym bądź głośnomówiącym, z których pierwszy sprawdza się doskonale w odsłuchu nagrań, a drugi przewidziany jest do prowadzenia konwersacji. W ramach trybu słuchawkowego każdy rozmówca korzysta z przypisanej mu słuchawki (i nie wykonuje żadnych dodatkowych działań). Natomiast w trybie głośnomówiącym jeden rozmówca używa słuchawki, a drugi mówi do mikrofonu urządzenia, do którego wgrana została aplikacja Vasco Connect. Korzystanie z opisywanych słuchawek okazuje się szczególnie komfortowe i proste przy wyborze opcji tłumaczenia bezdotykowego, gwarantującego naturalny przepływ rozmowy. Po włączeniu tej funkcji użytkownik nie musi obsługiwać ani urządzenia, ani aplikacji: przed rozpoczęciem rozmowy wystarczy wybrać opcję tłumaczenia bezdotykowego w aplikacji na urządzeniu lub w Vasco Translator V4. Użytkowanie Vasco Translator E1 jest również higieniczne, ponieważ nie wymaga wprowadzania słuchawki do kanału słuchowego, a elastyczny element konstrukcji zapewnia idealne dopasowanie do każdego ucha.

https://tiny.pl/2gx63v_c

Epson prezentuje pierwszą drukarkę do tekstyliów w technologii DTFilm

Urządzenie o symbolu SC-G6000 to znakomity debiut firmy Epson na nieustannie rozwijającym się rynku technologii DTFilm. Model oferowany jest przez autoryzowanych sprzedawców, którzy zapewniają również wszystkie niezbędne akcesoria do niego, w tym kompatybilne wytrząsarki do proszków i specjalistyczne rozwiązania przeznaczone do wycinania. W porównaniu z konkurencyjnymi rozwiązaniami oferowanymi w sprzedaży, drukarka SC-G6000 eliminuje potrzebę ręcznej, regularnej konserwacji dzięki zautomatyzowanemu systemowi czyszczenia głowicy, korzystającemu zwłaszcza z wipera tkaninowego. Zastosowana w opisywanej drukarce cyrkulacja białego atramentu zapobiega zatykaniu się i osadzaniu zanieczyszczeń, z kolei głowica drukująca PrecisionCore, bazująca na najnowszych technologiach Epson, nie wymaga skomplikowanej obsługi. Nie ulega wątpliwości, że model SC-G6000 stanowi bezpośrednią odpowiedź na zapotrzebowanie rynku, na którym coraz wyraźniej zyskuje na znaczeniu druk na odzieży. Propozycja Epson stanowi doskonałe dopełnienie rozwiązań hybrydowych DTG oraz DTFilm w 3 modelach: SC-F1000, SC-F2200 i SC-F3000. Dzięki integracji z oprogramowaniem Edge Print Pro użytkownicy SC-G6000 zyskują przyjazny produkt, którym mogą zarządzać właśnie za pośrednictwem wspomnianej aplikacji.

https://tiny.pl/m0qxgdwk

eprasa.pl aa6cced055

Bezprzewodowa kłódka Aperio P100

Bezprzewodowa kłódka Aperio P100 zapewnia dogodną kontrolę dostępu w znaczącej, żeby nie powiedzieć: nieograniczonej liczbie lokalizacji. Urządzenie bazuje na wielokrotnie nagradzanej technologii Aperio. Dzięki niej skutecznie zabezpiecza kluczowe zasoby, a także skraca czas potrzebny na zamknięcie kłódki – wliczając w to manualne sprawdzenie, czy zabezpieczenie faktycznie zadziałało. Jak każde rozwiązanie z rodziny Aperio, prezentowana kłódka współpracuje z niemal wszystkimi stosowanymi współcześnie systemami kontroli dostępu. Administratorzy obiektów mogą z łatwością zarządzać wszystkimi zamknięciami poprzez wbudowany interfejs, oparty na pojedynczej bazie danych. Typowa żywotność baterii wynosi 2 lata w standardowych warunkach pracy. Stopień ochrony modelu Aperio P100 wynosi IP66, co gwarantuje urządzeniu wysoką trwałość, jak również odporność na warunki atmosferyczne. Jest to produkt bezproblemowo współpracujący ze znaczną gamą protokołów RFID – zarówno w trybie online, jak i offline. Mobilne dane uwierzytelniające stanowią opcjonalny sposób bezkluczowego dostępu do kłódki, a zintegrowana funkcja audytu rejestruje, kto i kiedy pozyskał dostęp do danego obszaru, przyspieszając w ten sposób wykrywanie groźnych incydentów. Nie zapomniano również o niezwykle dogodnej obsłudze standardu NFC, ponadto zagwarantowano właściwe zarządzanie bezpieczeństwem przez użytkownika dysponującego kłódką Aperio P100 – nawet w trybie online, gdy zachodzi potrzeba zdalnej kontroli obiektu z dowolnego miejsca na świecie.

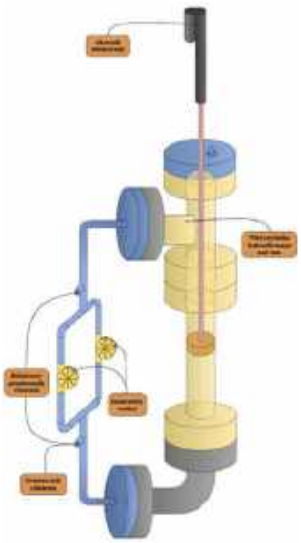
https://tiny.pl/6r9bry2x

Czujnik ruchu PIR CR-23 PET – idealny dla właścicieli zwierząt

Dzięki innowacyjnej technologii czujnik ruchu PIR CR-23 PET doskonale sprawdza się w domach – szczególnie jeśli są w nim obecne również psy czy koty. Zwierzęta zyskują dzięki niemu swobodę ruchu w nocy i mogą funkcjonować zgodnie ze swoim rytmem dobowym bez niepokojenia właścicieli niepotrzebnym włączaniem oświetlenia. Aby światło zostało załączone, ruch muszą bowiem zarejestrować jednocześnie oba detektory znajdujące się w czujniku. Gwarantowany jest absolutny brak niechcianych aktywacji w wyniku przemieszczania się mniejszych zwierząt, co zdecydowanie poprawia komfort użytkowania i przyczynia się do oszczędności energii w największym możliwym zakresie. Zarówno czas świecenia, jak i czułość sensora można dostosować do światła dziennego, dlatego model PIR CR-23 PET umożliwia bezproblemową adaptację do indywidualnych potrzeb każdego z użytkowników. Czujnik działa bez zarzutu w wielu środowiskach: nadaje się do użytku zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz (stopień ochrony obudowy spełnia wymogi poziomu IP65).

https://tiny.pl/ngrmmbbn

Prototyp elektrowni maremotorycznej realizowany przez Koło Naukowe Energetyków PW



Tworzony w ramach Koła Naukowego Energetyków PW prototyp elektrowni maremotorycznej umożliwi produkcję energii elektrycznej przy użyciu dedykowanych pływaków, które unosząc się na falach, pozwolą na wydajne przeniesienie okresowego ruchu tych fal na specjalny tłok. Za sprawą wspomnianego tłoka nacisk będzie następnie przenoszony na płyn hydrauliczny znajdujący się w rurach – przepływ cieczy umożliwi zaś napędzenie turbiny generującej energię elektryczną. Zanim jednak to nastąpi, trzeba zaprojektować stosowne układy hydrauliczne i mechaniczne, przeprowadzić ich montaż, zaimplementować niezbędną aparaturę pomiarową i przeprowadzić obserwację parametrów, aby zweryfikować, czy konstrukcja pracuje zgodnie z założeniami. Zanim opracowywany prototyp zostanie użyty w praktyce, tzn. w morzu, na etapie pomiarów będzie testowany przy użyciu specjalnego silnika do zasymulowania ruchu fal morskich w wodzie w warunkach laboratoryjnych. Na sam koniec zostanie przeprowadzona analiza wraz z interpretacją wyników pomiarów oraz określeniem potencjalnych zastosowań elektrowni. Planowany czas termin realizacji projektu to 20 sierpnia 2025 r.

https://tiny.pl/919jd-qh

Panele biurkowe z serii DPF – ponadczasowy klasyk, który ewoluuje przez cały czas

Panele biurkowe z serii DPF cieszą się sporym uznaniem ze względu na niezawodność działania i dowolność miejsca montażu. Za sprawą klasycznego wzornictwa (2 opcje kolorystyczne) opisywane panele zyskują coraz więcej zwolenników na całym świecie i zapewniają nieograniczone możliwości projektowe. Niektóre ich modele obejmują także dedykowane czujniki antykolizyjne. Seria paneli rekomendowana jest do wielu zastosowań – od wózków do transportu, aż po stojaki na monitory i wyświetlacze. Ich zasadniczy element składowy stanowią specjalne, dobrze wyprofilowane i ergonomiczne przyciski, a w ramach dodatkowej opcji

eprasa.pl aa6cced055

możliwa jest personalizacja folii pokrywającej przód paneli. Obecne w niektórych modelach paneli czujniki antykolizyjne zapobiegają uszkodzeniom biurek czy innych przedmiotów znajdujących się nad bądź pod blatem, w trakcie zmiany wysokości stołu.

https://tiny.pl/0fr_jsb0

Reflektor LED o symbolu KE 808

W reflektorze KE 808 zastosowano białe diody LED o średnicy 10 mm i jasności na poziomie 15 cd. Wytwarzane przez nie światło bazuje na dobrze skolimowanych wiązkach z zakresu 15...30°, a jednocześnie jest energooszczędne i nie prowadzi do szybkiego rozładowania baterii. W celu silniejszego wyróżnienia efektu świetlnego, w miejsce białych diod LED można zastosować diody o innych kolorach. Reflektor LED o symbolu KE 808 wykonany jest z metalu w kolorze złotym. Nadaje się do użycia w wielu wnętrzach, w przeróżnych, zwłaszcza reprezentatywnych punktach. Należy jednak unikać miejsc o podwyższonym poziomie wilgotności, nie wolno również wystawiać reflektora na oddziaływanie wysokich temperatur, które mogą stać się przyczyną uszkodzeń podzespołów elektronicznych, trwałych odkształceń bądź stopienia elementów plastikowych. Przeznaczony do samodzielnego montażu model KE 808 jest bardzo prosty w obsłudze, jak również w konserwacji. Napięcie zasilania urządzenia wynosi 12 V. Do czyszczenia reflektora wystarczy użyć delikatnej, czystej ściereczki nasączonej odpowiednimi detergentami.

https://www.nordelektronik.pl/KIT.reflektor.led.KE808

Radioodtwarzacz samochodowy JBL Celebrity 150

Radioodtwarzacz samochodowy JBL Celebrity 150 wspiera wiele modeli głośników stosowanych obecnie w pojazdach. Umożliwia swobodny wybór preferowanego źródła dźwięku, ze szczególnym uwzględnieniem interfejsu Bluetooth i radia, które obsługuje zarówno zakres fal długich, jak i UKF (AM/FM). W trakcie jazdy samochodem można słuchać jednej z 12 stacji AM albo 18 stacji FM, a podwójne wyjście liniowe RCA przeznaczone jest do podłączenia zewnętrznych przedwzmacniaczy, by odsłuchiwane materiały audio były zawsze doskonałej jakości. Bezprzewodowe przesyłanie strumieniowe Bluetooth zapewnia dodatkowo wysoką jakość połączenia w trybie głośnomówiącym. Wygodny dostęp do muzyki w każdych okolicznościach możliwy jest również dzięki czytnikowi kart SD oraz wejściom AUX i USB. Instalacja JBL Celebrity 150 (za pomocą złącza ISO) jest łatwa, a przy maksymalnej mocy wyjściowej 4×50 W wspomniany radioodbiornik może zastąpić fabryczne zestawy audio w wielu pojazdach, nawet klasy premium. Przedni panel odtwarzacza wyróżnia się ciekawym designem, a możliwość jego zdejmowania stanowi dodatkowo zabezpieczenie przed kradzieżą.

https://www.jbl.com.pl/jbl-celebrity-150,p31,a608.html

Systemy elektroenergetyczne Estonii, Litwy i Łotwy pomyślnie zsynchronizowane z systemem Europy kontynentalnej

W dniu 9 lutego 2025 roku, niespełna 5 minut po godzinie 13, Estonia, Litwa i Łotwa pomyślnie zsynchronizowały własne systemy elektroenergetyczne z obszarem synchronicznym Europy kontynentalnej. Z punktu widzenia wspomnianych krajów bałtyckich oznacza to historyczny przełom: w jego wyniku wszystkie połączenia od strony Rosji i Białorusi zostały odłączone. Dotychczas do potrzeb zarządzania częstotliwością prądu przesyłanego za pośrednictwem sieci Estonia, Litwa i Łotwa korzystały z przynależącego do Rosji systemu IPS/UPS. Obecnie te trzy kraje należą już do obszaru synchronicznego Europy kontynentalnej, na którego działaniu polega na co dzień ok. 400 milionów mieszkańców kontynentu. Na realizację tego zadania z sukcesem trzeba było poświęcić przynajmniej kilka lat, przy pełnej współpracy ze strony wszystkich operatorów systemów przesyłowych na terenie państw bałtyckich, a także ich odpowiedników w obszarze synchronicznym – wliczając w to Polskie Sieci Energetyczne (PSE), odpowiedzialne za koordynację projektu. To właśnie za pośrednictwem polskiego systemu nastąpiła przeprowadzona 9 lutego synchronizacja, a wszystkie kraje, które jej wówczas dokonały, przeszły bez zarzutu również tzw. test pracy wyspowej, obejmujący zarządzanie systemami bez pracujących połączeń synchronicznych. Synchronizacja systemów realizowana była w szczególności przy udziale ekspertów z europejskiego stowarzyszenia operatorów systemów przesyłowych energii elektrycznej ENTSO-E – ich wkład obejmował wytyczne techniczne i niezbędną wiedzę operacyjną. Dzięki nim bezpieczeństwo energetyczne Estonii, Litwy i Łotwy zdecydowanie wzrosło i takie pozostanie już na lata, niezależnie od sytuacji panującej w Rosji.

https://surl.li/vdrhqm

Produkty firmy Baseus już dostępne w ofercie TME

Ostatnimi czasy katalog firmy TME został wzbogacony o produkty marki Baseus. Jest to pochodzący z Azji producent akcesoriów, który zdobywa coraz większą popularność w Europie w segmencie telefonów, komputerów i samochodów. Marka posługuje się hasłem: „Based on user" (po polsku: oparty na użytkowniku) – wyrażonew nim podejście przekłada się wprost na zapewniane przez firmę Baseus rozwiązania. Dostarczany przez TME asortyment firmy Baseus obejmuje produkty takie jak: adaptery, zasilacze, powerbanki i akcesoria ochronne do telefonów lub laptopów. Wśród rozwiązań samochodowych można wyróżnić: uchwyty na telefon, ładowarki samochodowe, transmitery FM, powerbanki z funkcją rozrusznika, odkurzacze samochodowe i akcesoria ochronne do lusterek. Z kolei w przypadku sprzętu audio można znaleźć głośniki i słuchawki, szczególnie nauszne, douszne, przewodowe bądź bezprzewodowe.

https://tiny.pl/tkz0m16m

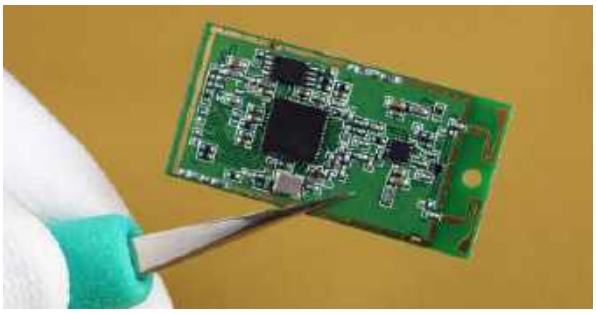
Jakub Tyburski
jakub.tyburski@elportal.pl

eprasa.pl aa6cced055

Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 5/2025

Temat numeru: Technologie i rozwiązania wspierające osoby z niepełnosprawnością

Osoby niepełnosprawne istnieją równie długo, jak i cała ludzkość jako taka. W różnych czasach i kręgach kulturowych były one traktowane w najróżniejszy sposób, od całkowitego ostracyzmu, po pełne wsparcie ze strony społeczności, przy czym dużo zależało od rodzaju niepełnosprawności. Jednak wielki XIX i XX przyniosły w tym aspekcie dość dużą zmianę, zwłaszcza za sprawą ogromnej liczby weteranów pierwszej wojny światowej. Równoległy postęp medycyny pozwolił lepiej zrozumieć przyczyny i mechanizmy różnych niepełnosprawności, jak choroby wzroku, utrata słuchu czy fizyczne i psychologiczne skutki urazów mózgu. Jednak dopiero ostatnie trzy dekady zapewniły prawdziwy skok jakościowy pod względem możliwości technologicznych i stopnia integracji oraz miniaturyzacji. W artykule dokonamy pobieżnego przeglądu obecnie dostępnych technologii asystujących i wspierających, opracowanych z myślą o osobach z niepełnosprawnością oraz spojrzymy na przyszłość tych technologii.



Elektronika w Praktyce: Moduły do prototypów i produkcji

Projektowanie urządzeń elektronicznych z użyciem gotowych, sprawdzonych modułów, okazuje się doskonałym rozwiązaniem i to pod wieloma względami. Zalety projektowania w oparciu o moduły OEM są widoczne szczególnie w przypadku transceiverów Wi-Fi, BLE, ZigBee czy GSM – używając gotowego „klocka” konstruktor nie tylko oszczędza na czasie implementacji toru radiowego, ale także zyskuje pewność, że prawidłowo podłączony i ulokowany moduł będzie działał prawidłowo i zgodnie ze specyfikacją. To zaś toruje drogę do szybszej i tańszej certyfikacji. Modułów nie należy jednak utożsamiać wyłącznie z komunikacją radiową – ten sam trend jest widoczny także w wielu innych obszarach elektroniki, nad którymi pochylimy się w majowej odsłonie „Elektroniki w Praktyce”.

Zaawansowany licznik czasu pracy maszyny

– Panie majster, ta tokarka coś rzęzić zaczyna, kiedy ona była w serwisie?

– Yyy, no ten… W zeszłym roku, patrząc po fakturach. Licząc dziennie po jakieś cztery godziny pracy, po pięć dni w tygodniu, to minęło coś koło…

– No to będzie już tysiąc godzin? Bo tak mam w DTR. Panie majster, bo jak tu behapowiec wpadnie, to będzie lipa.

Po co się tak męczyć? Po to wynaleziono tranzystor, a potem całą masę innych elektronicznych cudeniek, aby sobie upraszczać życie, a nie je komplikować. Do czynności tak banalnej, a jednocześnie żmudnej, jak mierzenie czasu pracy jakiejś maszyny przemysłowej, wystarczą łatwo dostępne podzespoły. Zaprezentowany w artykule układ jest na tyle zaawansowany, że potrafi nawet zatrzymać dalszą pracę maszyny po upływie określonego czasu, jeżeli taka potrzeba by zaszła. Urządzenie mierzy czas, ale potrafi robić to na kilka różnych sposobów: do góry, do dołu, po załączeniu zasilania lub po wykryciu przepływu prądu. Po co? Żeby na bieżąco monitorować, ile czasu pracuje dane urządzenie. Mało tego – licznik może je nawet zatrzymać, jeżeli limit czasu pracy od ostatniego serwisu zostanie już wyczerpany.

Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

AKSOTRONIK 63
BORNICO 9
COMPUTER CONTROLS 54, 55
EGMONT INSTRUMENTS 46, 47
HAMAMATSU 7, 31
HAMMOND 5
LASTENIC LASER 17
NDN 19, 88
NORDIC SEMICONDUCTOR 28

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

Wydawnictwo:
AVT Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, e-mail: avt@avt.pl

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
e-mail: redakcja@ep.com.pl, www.ep.com.pl

Redaktor Naczelny:
Przemysław Musz

Redaktor Programowy, Przewodniczący Rady Programowej:
Piotr Zbysiński

Menedżer Magazynu:
Katarzyna Gugała, tel. 22 257 84 64

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Jakub Sobański

Zespół marketingu i reklamy:
Katarzyna Gugała, Bożena Krzykawska, Grzegorz Krzykawski

Stali współpracownicy:
Lucjan Bryndza, Nikodem Czechowski, Jarosław Doliński, Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński, Paweł Kowalczyk, Henryk Kowalski, Rafał Kozik, Michał Kurzela, Jakub Nowicki, Szymon Panecki, Adam Sobczyk, Damian Sosnowski, Ryszard Szymaniak, Adam Tatuś, Jakub Tyburski, Robert Wołgajew

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

DTP, redakcja strony internetowej www.ep.com.pl:
MAD Sp. z o.o.

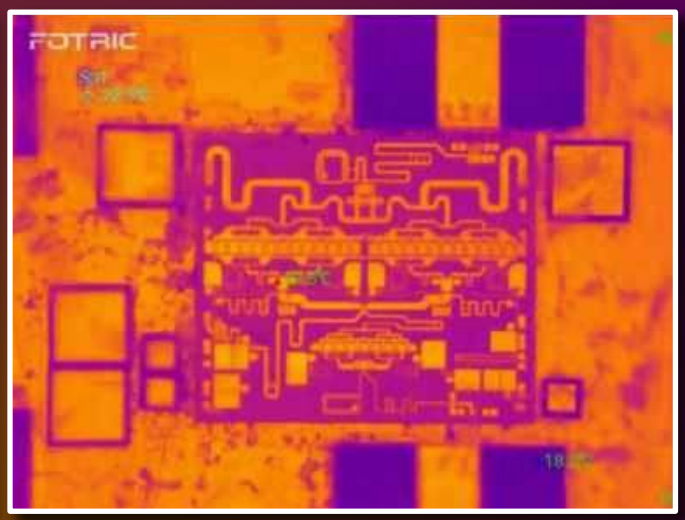
Prenumerata w Wydawnictwie AVT
www.ulubionykiosk.pl lub tel. 22 257 84 22 (godz. 10.00–14.00)
e-mail: prenumerata@avt.pl

Copyright AVTKorporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11

Projekty publikowane w „Elektronice Praktycznej”. mogą być wykorzystywane wyłącznie do własnych potrzeb. Korzystanie z tych projektów do innych celów, zwłaszcza do działalności zarobkowej, wymaga zgody redakcji „Elektroniki Praktycznej”. Przedruk oraz umieszczanie na stronach internetowych całości lub fragmentów publikacji zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej”. jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej”.

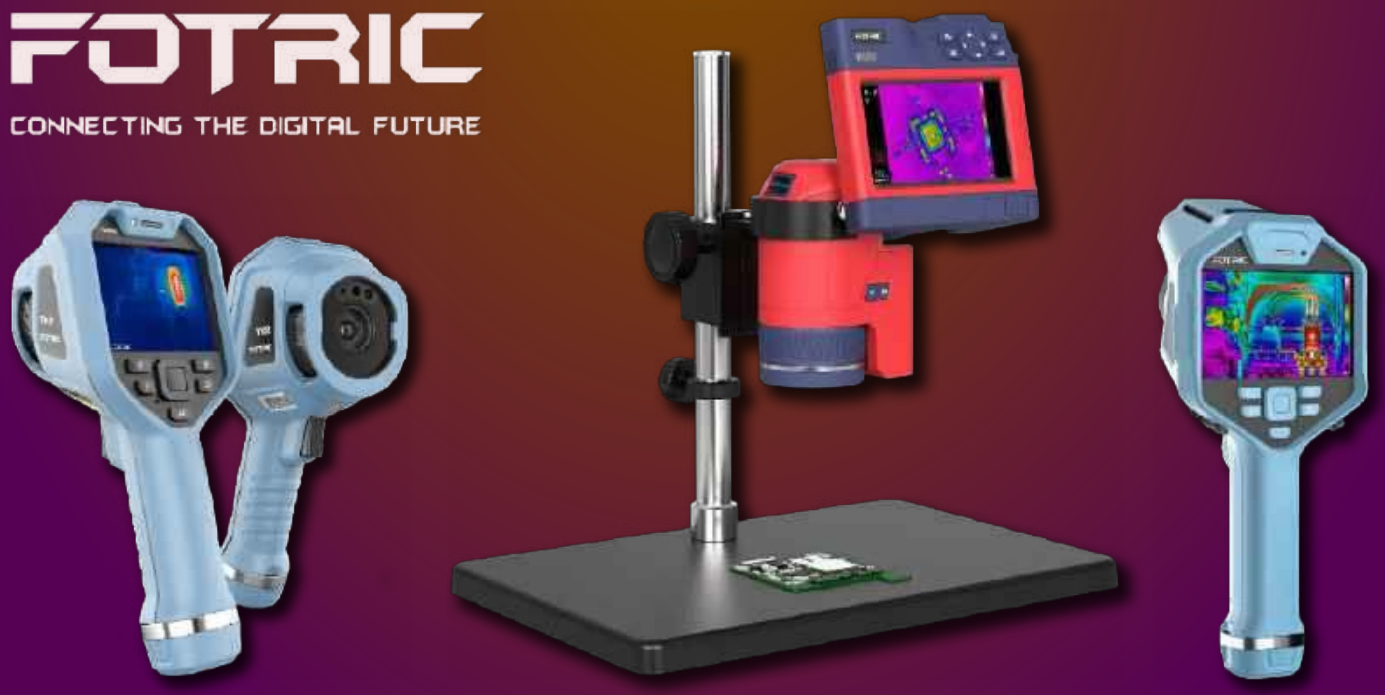
eprasa.pl aa6cced055

Zobacz to, czego nie widać
– termowizyjna precyzja w każdym detalu!



Zaufaj technologii, która dostrzega nawet najmniejsze zmiany temperatury

FOTRIC
CONNECTING THE DIGITAL FUTURE



Dzięki nam zobaczysz więcej – termowizyjne rozwiązania na wyciągnięcie ręki

NDN-Zbigniew Daniluk
02-784 Warszawa • ul. Janowskiego 15 • tel. 22 644 42 50
ndn@ndn.com.pl • www.ndn.com.pl

eprasa.pl aa6cced055